



# **Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας**

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

Διαχείριση και Τεχνολογία Ποιότητας

## **Διπλωματική Εργασία**

«Εφαρμογή εργαλείων στατιστικού ελέγχου ποιότητας και  
πειραματικού σχεδιασμού στην διαδικασία παραγωγής  
παραδοσιακών κουφέτων αμυγδάλου.»

Ειρήνη Γκολοβόδα

Επιβλέπουσα καθηγήτρια : Παρασκευή Καπετανοπούλου

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2024

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας (Ειρήνης Γκολοβόδα) που την εκπόνησε στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης 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 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 συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



## **Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας**

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Διαχείριση και Τεχνολογία Ποιότητας»

### **Διπλωματική Εργασία**

«Εφαρμογή εργαλείων στατιστικού ελέγχου ποιότητας και  
πειραματικού σχεδιασμού στην διαδικασία παραγωγής  
παραδοσιακών κουφέτων αμυγδάλου.»

Ειρήνη Γκολοβόδα

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα καθηγήτρια

Συν - Επιβλέπων καθηγητής

Παρασκευή Καπετανοπούλου

Λάζαρος Καραογλάνογλου

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Μέλος ΣΕΠ ΔΙΠ/ΣΘΕΤΕ

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2024

Σε πέντε όμορφα πλάσματα,  
στον άντρα της ζωής μου Αλέξανδρο  
και στα παιδιά μας  
την Έλενα, τον Βασίλη, την Σπυριδούλα και την Μαριλένα

*Ευχαριστώ....*

*Την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κυρία Καπετανοπούλου Παρασκευή για την υποστήριξή της στην εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας με το ενδιαφέρον της και την άμεση απόκριση όποτε απαιτήθηκε και τον β' επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Καραογλάνογλου Λάζαρο για τον σχολιασμό και την καθοδήγησή του κατά την συγγραφή της εν λόγω εργασίας.*

*Τον ανιψιό μου Παναγιώτη Χατζηαγοράκη, Υπεύθυνο Διαχείρισης Ποιότητας της Επιχείρησης που αποτελεί αντικείμενο αυτής της Διπλωματικής Εργασίας για την συνδρομή του και την παροχή όλων των απαραίτητων πληροφοριών σε όλα τα στάδια της εκπόνησης της.*

*Την μαμά μου Ελένη Γκολοβόδα γιατί μου έμαθε την αξία των 'γραμμμάτων' στην ζωή.*

*Τα τέσσερα υπέροχα παιδιά μου Έλενα, Βασίλη, Σπυριδούλα και Μαριλένα για την κατανόησή τους όταν δεν μπορούσα να είμαι μαζί τους , την στήριξη και την αγάπη τους σε όλη την διάρκεια αυτών των χρόνων.*

*Και τέλος, τον άντρα της ζωής μου Αλέξανδρο Καππέ που χωρίς την στήριξη και την αγάπη του δεν θα πίστευα ότι αυτό τον εγχείρημα ήταν εφικτό.*

## Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η εφαρμογή σύγχρονων στατιστικών εργαλείων ποιοτικού ελέγχου στη διαδικασία παραγωγής κουφέτων αμυγδάλου. Πιο συγκεκριμένα, έχει επιλεγεί μία νέα σύγχρονη μονάδα κουφετοποιίας, η εταιρεία ‘Παραδοσιακό Κουφέτο Σερρών’ στη Θεσσαλονίκη.

Ειδικότερα, θα μελετηθεί η επιμέρους διαδικασία της επίστρωσης της εξωτερικής λευκής στρώσης ζάχαρης των κουφέτων αμυγδάλου. Η ποιότητα του προϊόντος κουφέτου αμυγδάλου συνίσταται σε συνδυασμό χαρακτηριστικών όπως η ομοιόμορφη λευκή επικάλυψη, η αναλλοίωτη λευκότητα, η λεία επιφάνεια του κουφέτου, το διακριτικό άρωμα βανίλιας και το σταθερό μέγεθος ανά τεμάχιο. Ως τιμή αναφοράς θα χρησιμοποιηθεί η ποσότητα τελικού προϊόντος κουφέτο αμυγδάλου που παράγεται από αρχική πρώτη ύλη 20 κιλών ωμού αμυγδάλου με την φλούδα χωρίς το κέλυφος. Τιμή στόχος για τις μετρήσεις μας θα είναι 80 κιλά κουφέτων αμυγδάλου ανά 20 κιλά αρχικής πρώτης ύλη αμυγδάλου.

Στην παρούσα μελέτη θα εφαρμοστεί αρχικά ο ‘Έν Σειρά’ έλεγχος ποιότητας ώστε να ελεγχθεί η διεργασία επίστρωσης ως προς τη σταθερότητα. Σε αυτό το στάδιο θα γίνει προσπάθεια να εντοπιστούν τα πιθανά σημεία που απαιτούν περαιτέρω έλεγχο και να επιλεγεί το κατάλληλο διάγραμμα ελέγχου (ΔΕ). Έχοντας επιλεγεί ως τιμή ελέγχου της σταθερότητας η μεταβλητή Βαθμός Πυκνότητας (BRIX) Σιροπιού Ζάχαρης θεωρείται κατάλληλο το διάγραμμα μεμονωμένων τιμών και κινούμενου μέσου εύρους (I-MR).

Στη συνέχεια, μετά την ολοκλήρωση του ελέγχου σταθερότητας θα ακολουθήσει ο ‘Εκτός Σειράς’ έλεγχος. Θα χρησιμοποιηθεί ο Σχεδιασμός Παραμέτρων του Taguchi. Σε αυτή τη φάση, με τη χρήση της μεθόδου καταιγισμού ιδεών (Brain Storming), θα εντοπιστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα της επίστρωσης του κουφέτου, οι οποίοι διαχωρίζονται στους ελεγχόμενους παράγοντες ελέγχου (ΠΕ) και στους πιο δύσκολα ελεγχόμενους παράγοντες θορύβου (ΠΘ). Έπειτα θα καθοριστούν οι κατάλληλες στάθμες στις οποίες θα μελετηθεί ο κάθε παράγοντας και θα προταθεί η κατάλληλη εσωτερική και εξωτερική διάταξη για το πείραμα. Με την ολοκλήρωση του πειράματος θα αναλυθούν οι μετρήσεις με τη μέθοδο Ανάλυσης της Διασποράς (ANOVA) ώστε να αναδειχθούν οι παράγοντες Θορύβου, Στόχου και Κόστους. Τέλος, θα ελεγχθεί η ορθότητα των αποτελεσμάτων του πειράματος με ένα πείραμα επιβεβαίωσης.

**Λέξεις κλειδιά:** Ανάλυση Διασποράς, Κουφέτο Αμυγδάλου, Στατιστικός Έλεγχος Διεργασίας, Διαγράμματα Ελέγχου Μεταβλητών, Πειραματικός Σχεδιασμός.

## Abstract

The subject of this thesis is the application of modern statistical quality control tools in the production process of almond dragees. More specifically, a new modern dragees-making unit has been selected, the company 'Traditional Dragees of Serres' in Thessaloniki.

In particular, the individual process of coating the outer white sugar layer of the almond dragees will be studied. The quality of the almond dragees product consists of a combination of characteristics such as uniform white coating, unaltered whiteness, smooth surface of the fudge, distinctive vanilla aroma and consistent piece size. The reference value will be the quantity of finished almond dragees produced from the initial raw material of 20 kg of raw almonds with the skin. Target price for our measurements will be 80kg of almond dragees per 20kg of raw almond raw material.

In this study the 'In Series' quality control will be applied initially to check the coating process for stability. At this stage we will try to identify possible points that require further control and select the appropriate control chart (CCH). Having chosen as a stability control value the variable produced Degree of Density (BRIX) of Sugar Syrop we consider the chart of individual values and moving average range (I - MR ) appropriate.

Then, after completing the stability check we will proceed to an 'Out of Line' check. We will use Taguchi 's Parametric Design . In this phase, using the brainstorming method ( Brainstorming ), the factors that affect the quality of the coating of the dragees will be identified, which are divided into the controllable factors (CP) and the more difficult to control noise factors (PO). Then the appropriate levels at which each factor will be studied will be determined and the appropriate internal and external setup for the experiment will be proposed. Upon completion of the experiment we will analyze the measurements with the Analysis of Variance ( ANOVA ) method in order to highlight the Noise, Target and Cost factors. Finally, we will attempt to check the correctness of the experimental results with a confirmation experiment.

**Keywords :** Analysis of Scatter, Almond Dragees, Statistical Process Control, Variable Control Charts, Experimental Design.



## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	1
1.1. Σκοπός.....	1
1.2. Πεδίο Εφαρμογής.....	1
1.3. Σκοπιμότητα Ανάλυσης .....	1
1.4. Επιθυμητά Αποτελέσματα .....	2
2. Σύντομη αναφορά στην επιχείρηση και στο κουφέτο αμυγδάλου γενικότερα στην Ελλάδα και τον κόσμο.....	4
2.1. Παρουσίαση Επιχείρησης .....	4
Στόχοι της εταιρείας.....	4
2.2. Διάγραμμα ροής παραγωγής κουφέτων αμυγδάλου .....	5
2.3. Χαρακτηριστικά Ποιότητας Κουφέτου Αμυγδάλου .....	9
2.4. Παραγωγική Διαδικασία Παρασκευής Κουφέτων Αμυγδάλου .....	10
2.5. Το κουφέτο στον κόσμο χτες και σήμερα.....	12
2.6. Βιβλιογραφικές Αναφορές .....	13
3. Εν Σειρά Έλεγχος Ποιότητας και Στατιστικός Έλεγχος Διεργασίας.....	16
3.1. Εν Σειρά Έλεγχος Ποιότητας.....	16
3.2. Διαγράμματα Ελέγχου και Κριτήρια Σταθερότητας.....	17
3.3. Κατηγορίες Διαγραμμάτων Ελέγχου .....	19
3.4. Η εφαρμογή των ΔΕ και ο προσδιορισμός των Ορίων Ελέγχου (ΟΕ) .....	19
3.5. Καθορισμός Λογικών Υπό ομάδων .....	20
3.6. ΔΕ Μεταβλητών.....	21
3.7. ΔΕ για Μεμονωμένες Παρατηρήσεις, ΔΕ I-MR.....	22
4. Θεωρητικό Υπόβαθρο Σχεδιασμός Πειραμάτων .....	24
4.1. Εκτός Σειράς Έλεγχος Ποιότητας.....	24
4.2. Εισαγωγή στη Θεωρία του Taguchi.....	25
4.3. Είδη Παραγόντων Θορύβου και Ελέγχου .....	25
4.4. Μέτρα Επίδοσης Taguchi.....	27
4.5. Πώς επιλέγεται το Κατάλληλο Μέτρο Επίδοσης.....	27
4.6. Στάδια Εφαρμογής Μεθόδων του Taguchi .....	29
5. Εφαρμογή Μεθόδων Στατιστικής στην εν λόγω επιχείρηση .....	31

5.1. Περιγραφή Δεδομένων για τον Εν Σειρά Έλεγχο .....	31
5.2. Εφαρμογή Διαγράμματος Ελέγχου .....	33
5.3. Σχεδίαση Πειράματος.....	35
5.4. Διεξαγωγή Πειράματος .....	43
5.5. Έλεγχος Δεδομένων Μετρήσεων .....	45
5.6. Επιλογή Κατάλληλων Μέτρων Επίδοσης.....	49
5.7. Προσδιορισμός των ΠΕΘ και ΠΕΣ.....	52
5.8. Επιβεβαίωση Πειράματος .....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>
6. Συμπεράσματα-Επίλογος .....	60

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 Φάση Διαλογής.....	7
Εικόνα 2 Διάγραμμα Ροής Παραγωγής Κουφέτων Αμυγδάλου.....	8
Εικόνα 3 Χαρακτηριστικά ποιότητας κουφέτων αμυγδάλου .....	10
Εικόνα 4 Αποτέλεσμα Αρχικού ‘Καταιγισμού Ιδεών’ .....	12
Εικόνα 5 Τυπική Μορφή Διαγράμματος Ελέγχου.....	19
Εικόνα 6 Διάγραμμα Κατανομής Τιμών Μέτρησης Βαθμού Σιροπιού.....	34
Εικόνα 7 Διάγραμμα I-MR Τιμών Μέτρησης Βαθμού Σιροπιού .....	35
Εικόνα 8 Αποτελέσματα Τελικού ‘Καταιγισμού Ιδεών’ .....	36
Εικόνα 9 Διάγραμμα Κατανομής Τιμών Βάρους Πειράματος .....	46
Εικόνα 10 Αποτελέσματα Ανάλυσης Υπολοίπων των Εξαγόμενων Τιμών του Πειράματος .....	48
Εικόνα 11 Διάγραμμα Ελέγχου Ομοσκεδαστικότητας.....	49
Εικόνα 12 Διάγραμμα Διασκόρπισης .....	51
Εικόνα 13 Διαγράμματα Κυρίων Επιδράσεων ΠΘ.....	53
Εικόνα 14 Διαγράμματα Κυρίων Επιδράσεων ΠΕ .....	54
Εικόνα 15 Διάγραμμα Κατανομής Τιμών Βάρους Πειράματος Επιβεβαίωσης .....	59

## Κατάσταση Πινάκων

Πίνακας 1 Παρατηρήσεις τιμών μέτρησης βαθμού BRIX σιροπιού .....	33
Πίνακας 2 Επίπεδα ΠΕ και ΠΘ .....	41
Πίνακας 3 Εσωτερική Διάταξη ΠΕ.....	42
Πίνακας 4 Εξωτερική Διάταξη ΠΘ.....	43
Πίνακας 5 Πίνακας Μετρήσεων Βάρους ανά Παρτίδα Κουφετών .....	45
Πίνακας 6 Πίνακας Κατανομής Εξαγόμενων Τιμών του Πειράματος .....	47
Πίνακας 7 Τιμές Ανάλυσης Παλινδρόμησης.....	50
Πίνακας 8 Πίνακας Τιμών ΜΣ και ΜΘ.....	52
Πίνακας 9 Πίνακας Επίπεδων Παραγόντων .....	53
Πίνακας 10 Πίνακας Τιμών Βάρους Πειράματος Επιβεβαίωσης.....	58

## Συντομογραφίες - Ακρωνύμια

ΑΟΕ	Άνω Όριο Ελέγχου
ΔΕ	Διάγραμμα Ελέγχου
ΔΕ I-MR	Διάγραμμα Ελέγχου Μεμονωμένων Τιμών και Κινουμένου Εύρους
ΔΕΙ	Διάγραμμα Ελέγχου Ιδιοτήτων
ΔΕΜ	Διάγραμμα Ελέγχου Μεταβλητών
ΕΝΣΕΠ	Εν Σειρά Έλεγχος Ποιότητας
ΕΣΕΠ	Εκτός Σειράς Έλεγχος Ποιότητας
ΚΓ	Κεντρική Γραμμή
ΚΟΕ	Κάτω Όριο Ελέγχου
ΚΟΘ	Κεντρικό Οριακό Θεώρημα
ΛΣΘ	Μέτρο Σήματος προς Θόρυβο
ΜΕ	Μέτρο Επίδοσης
ΜΘ	Μέτρο Θορύβου
ΜΣ	Μέτρο Μέσου
ΟΕ	Όριο Ελέγχου
ΠΕ	Παράγοντας Ελέγχου
ΠΕΘ	Παράγοντας Ελέγχου Θορύβου
ΠΕΚ	Παράγοντας Ελέγχου Κόστους
ΠΕΣ	Παράγοντας Ελέγχου Μέσου
ΠΘ	Παράγοντας Θορύβου
ΠΣ	Πειραματικός Σχεδιασμός
ΣΑ	Σχεδιασμός Ανοχών
ΣΑΔ	Στατιστική Ανάλυση Διασποράς
ΣΕΔ	Στατιστικός Έλεγχος Διεργασίας
ΣΕΠ	Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας
ΣΠ	Σχεδιασμός Παραμέτρων

## **1. Εισαγωγή**

### **1.1. Σκοπός**

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εφαρμογή σύγχρονων στατιστικών μεθόδων με στόχο τον έλεγχο της ποιότητας στη διαδικασία παραγωγής παραδοσιακών κουφέτων αμυγδάλου. Πιο συγκεκριμένα, επιχειρείται ο έλεγχος της σταθερότητας ενός σταδίου της διεργασίας, του σταδίου της λευκής επίστρωσης των αμυγδάλων με το σιρόπι ζάχαρης, δηλαδή η φάση της κουφετοποίησης, που αποτελεί το σημαντικότερο στάδιο παρασκευής των κουφέτων. Και εν συνεχεία ο εντοπισμός των βασικότερων παραγόντων ελέγχου (ΠΕ) και Θορύβου (ΠΘ) με σκοπό την μείωση της μεταβλητότητας της διεργασίας.

### **1.2. Πεδίο Εφαρμογής**

Πεδίο εφαρμογής και άντλησης των μετρήσεων που μελετώνται επιλέχθηκε η γραμμή παραγωγής της επιχείρησης παραγωγής κουφέτων αμυγδάλου με έδρα τη Θεσσαλονίκη ‘Παραδοσιακό Κουφέτο Σερρών’.

### **1.3. Σκοπιμότητα Ανάλυσης**

Η εν λόγω επιχείρηση μέχρι πρότινος ακολουθούσε την πρακτική των δειγματοληπτικών ελέγχων και τη λήψη διορθωτικών μέτρων, όποτε απαιτούνταν, ως ενέργεια για τον έλεγχο ποιότητας της γραμμής παραγωγής. Όμως με την είσοδο στην επιχείρηση των νεαρότερων γενεών άρχισε να γίνεται προσπάθεια αναζήτησης σύγχρονων μεθόδων διαχείρισης της ποιότητας που θα προσφέρουν την δυνατότητα να εμφανίζονται οι αστοχίες γρηγορότερα ώστε να γίνονται άμεσα διορθωτικές ενέργειες. Επιπλέον να εντοπίζονται οι βασικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την μεταβλητότητα της απόδοσης με έναν οικονομικό τρόπο χωρίς να μειώνεται η ποιότητα του τελικού προϊόντος αλλά να επιτυγχάνεται η συνεχής βελτίωσή της.

Κατάλληλες μέθοδοι για αυτή την περίπτωση θεωρούνται αρχικά ο ‘Έν Σειρά’ έλεγχος ποιότητας με τον Στατιστικό Έλεγχο της ήδη υπάρχουσας διεργασίας μέσω των

Διαγραμμάτων Ελέγχου (ΔΕ) και στη συνέχεια ο Έκτός Σειράς έλεγχος με τη χρήση του Σχεδιασμού Παραμέτρων (ΣΠ) και του Σχεδιασμού Ανοχών.

#### **1.4. Επιθυμητά Αποτελέσματα**

Όπως είναι προφανές η επιχείρηση παραγωγής κουφέτων αμυγδάλου θα έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων της και έτσι να κερδίσει την αποδοχή των καταναλωτών της, να μειώσει τα κόστη των διορθωτικών ενεργειών και να αυξήσει τα κέρδη της από τις πωλήσεις. Αυτό μπορεί να συμβεί με την καταγραφή, τη μελέτη και την ανάλυση των επιμέρους διεργασιών που συνιστούν τη διαδικασία παραγωγής του κουφέτου έτσι ώστε να εντοπιστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος και χρήζουν βελτίωσης.

Από την παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας προέκυψε ότι βασικό κομμάτι αυτής αποτελεί η διεργασία της τοποθέτησης της λευκής επίστρωσης ζάχαρης, δηλαδή του λευκού σκληρού περιβλήματος του κουφέτου, επί του αμυγδάλου. Αυτή η επίστρωση είναι η τελευταία επεξεργασία πριν τη γυάλιση που δεν αποτελεί πολύπλοκη εργασία. Οπότε συμπεραίνεται ότι είναι ιδιαίτερης σημασίας να εκτελεστεί σωστά η διεργασία της επικάλυψης. Έτσι ώστε να επιτευχθούν κάποια από τα βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά ενός κουφέτου αμυγδάλου όπως είναι:

- ✓ η αναλλοίωτη λευκότητα
- ✓ η λευκή επικάλυψη ζάχαρης που να σπάει εύκολα στο δάγκωμα
- ✓ η λεία επιφάνεια που να δίνει μία φίνα αίσθηση στο στόμα
- ✓ η ύπαρξη ολόκληρου καβουρδισμένου αμυγδάλου ώστε να αναδεικνύεται η πλούσια γεύση του ξηρού καρπού σε αρμονία με τη γλυκύτητα της ζάχαρης
- ✓ η δυνατότητα διατήρησης του γλυκού για 12 με 24 μήνες χωρίς αλλοιώσεις, διατηρώντας τη γεύση και το άρωμα του κουφέτου.

Για την όποια βελτίωση λοιπόν της παραγωγικής διαδικασίας θα εκτελεστεί αρχικά ο Έν Σειρά Έλεγχος ώστε να επιβεβαιωθεί η σταθερότητα της διεργασίας και στη συνέχεια ο Έκτός Σειράς Έλεγχος με το Σχεδιασμό Παραμέτρων ανεξάρτητα από την παραγωγή. Δηλαδή θα εκτελεστεί ένα πείραμα που θα αποσκοπεί στο να αναδείξει τις βέλτιστες συνθήκες παραγωγικής διεργασίας που θα προσδιορίσει τους παράγοντες θορύβου (ΠΘ) που μπορεί να παρεμβαίνουν αλλοιώνοντας την. Βασική επιδίωξη είναι η απόκτηση χρήσιμων πληροφοριών που αφορούν στην παραγωγική διαδικασία, που θα προσφέρουν

την δυνατότητα να προκύψουν ορισμένα συμπεράσματα και στην συνέχεια θα οδηγήσουν στην λήψη αποφάσεων που θα βελτιώσουν την ποιότητα ελαχιστοποιώντας την μεταβλητότητα με το ελάχιστο δυνατό κόστος, όπως περιγράφουν οι αρχές διασφάλισης της ποιότητας στο σύγχρονο κόσμο.



## **2. Σύντομη αναφορά στην επιχείρηση και στο κουφέτο αμυγδάλου γενικότερα στην Ελλάδα και τον κόσμο.**

### **2.1. Παρουσίαση Επιχείρησης**

Η επιχείρηση στην ουσία ξεκίνησε γύρω στα 1990 στις Σέρρες όταν ο παππούς της οικογένειας διδάχτηκε από έναν παλιό παραδοσιακό κουφετοποιό από την Πόλη, ο οποίος θέλησε να του μεταλαμπαδεύσει την εμπειρία και τις γνώσεις του για την παρασκευή του κουφέτου αμυγδάλου. Στη συνέχεια γύρω στο 2000 η επιχείρηση πέρασε στα χέρια του γαμπρού της οικογένειας, ο οποίος την επέκτεινε και την μετέφερε στη Θεσσαλονίκη σε σύγχρονες εγκαταστάσεις με περισσότερες γραμμές παραγωγής. Ενώ, τα τελευταία 10 χρόνια ο εγγονός της οικογένειας έχει αναλάβει την εξέλιξη της επιχείρησης επιχειρώντας την παραγωγή κι άλλων προϊόντων όπως οι σοκολατένιες ελίτσες και τα σοκολατένια κουφέτα.

Ταυτόχρονα παρακολουθεί τις εξελίξεις στον τομέα αυτό με επισκέψεις και εκπαιδεύσεις σε διάφορες χώρες της Ευρώπης και όχι μόνο. Σήμερα η επιχείρηση απευθύνεται και δρα σε όλη την ελληνική αγορά και καταφέρνει με σταθερά βήματα να εδραιωθεί στο χώρο της κουφετοποιίας.

### **Στόχοι της εταιρείας**

Όπως είναι προφανές η λειτουργία των σύγχρονων εταιρειών της Ευρώπης στο συγκεκριμένο αντικείμενο έχει γίνει παράδειγμα προς μίμηση και έχει επηρεάσει τη νεότερη γενιά των ιδιοκτητών της επιχείρησης. Στα πλαίσια αυτά είναι λογικό η σύγχρονη γενιά της επιχείρησης να ενδιαφέρεται και να έρευνα για την υιοθέτηση μεθόδων ποιοτικού ελέγχου της παραγωγικής διεργασίας που θα οδηγήσουν σε αύξηση της ποιότητας των προϊόντων και σε μείωση του κόστους ποιότητας.

Παράλληλα ο έντονος ανταγωνισμός και οι έντονες απαιτήσεις της αγοράς για ποιοτικότερα και οικονομικότερα προϊόντα οδηγεί την διοίκηση της επιχείρησης στην συνεχή επιδίωξη της βελτίωσης των προϊόντων και στην αναζήτηση λύσεων άμεσων, γρήγορων, ποιοτικών και οικονομικών και στην αναζήτηση διαρκώς υψηλότερων στόχων. Στο πλαίσιο αυτό και

μετά από επικοινωνία με τον υπεύθυνο ποιοτικού ελέγχου της επιχείρησης διαπιστώθηκε ότι η διοίκηση της επιχείρησης επιδιώκει :

- την μείωση του κόστους αστοχιών μέσω της υιοθέτησης μεθόδων ποιοτικού ελέγχου.
- την επιλογή ποιοτικών πρώτων υλών όπως είναι το αμύγδαλο, η ζάχαρη, οι αρωματικές ύλες, το προϊόν γυάλισης των κουφέτων κτλ.
- την υιοθέτηση φιλικών προς το περιβάλλον πρακτικών προσπαθώντας να ελαχιστοποιήσει τα απόβλητα κάθε κατηγορίας και να εξοικονομήσει ενέργεια.
- την συνεχή παρακολούθηση των σύγχρονων εξελίξεων και απαιτήσεων στη βιομηχανία τροφίμων.
- την άμεση αντικατάσταση των μηχανημάτων και εξοπλισμών τους όποτε απαιτείται με ανώτερης ενεργειακής κλάσης ώστε να μην επιβαρύνεται το περιβάλλον.

## 2.2. Διάγραμμα ροής παραγωγής κουφέτων αμυγδάλου

Για την παραγωγή των κουφέτων αμυγδάλου η παραγωγική διαδικασία που ακολουθείται από τις πρώτες ύλες μέχρι την συσκευασία του προϊόντος περιγράφεται παρακάτω και απεικονίζεται σχηματικά στο Διάγραμμα Ροής στην Εικόνα 2 .:

Παραλαβή πρώτων υλών : Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του κουφέτου αποτελούν ένα από τα βασικότερα στάδια για την ποιότητα του. Τα ωμά αμύγδαλα με τη φλούδα, η ζάχαρη, οι φυσικές αρωματικές ύλες, το αλεύρι και το προϊόν στύλβωσης. Ιδιαίτερα η έρευνα και ο εντοπισμός αξιόλογων προμηθευτών για την αγορά αμυγδάλου και ζάχαρης άριστης ποιότητας είναι μία από τις βασικότερες παραμέτρους για την επιτυχία της διεργασίας.

Αποθήκευση πρώτων υλών : Οι πρώτες ύλες αποθηκεύονται σε ξεχωριστά ράφια σε χώρο καλά κλιματιζόμενο ώστε να μην υποστούν αλλοιώσεις.

Διαλογή αμυγδάλων και ψήσιμο στο φούρνο : Σε αυτό το στάδιο τα ωμά αμύγδαλα με την φλούδα τοποθετούνται σε μεγάλες λαμαρίνες και μπαίνουν σε επαγγελματικούς φούρνους και καβουρντίζονται σε ελεγχόμενη θερμοκρασία ώστε να ψηθούν σωστά και να είναι νόστιμα και τραγανά στο εσωτερικό του κουφέτου και όχι υπερβολικά ψημένα. Στη συνέχεια γίνεται η διαλογή τους ώστε να απομακρυνθούν τα σπασμένα ή να διαχωριστούν

τα μικρότερα. Συνήθως υπάρχουν 80% στο επιθυμητό μέγεθος που θα χρησιμοποιηθούν για την κατηγορία Ι (230 με 250 ανά κιλό) και ένα 20% μικρότερα που θα δώσουν την κατηγορία ΙΙ (280 με 300 κουφέτα ανά κιλό) ή άλλα προϊόντα που παράγει η εταιρεία με επικάλυψη σοκολάτας.

Αλεύρωμα : Στη συνέχεια τα αμύγδαλα μεταφέρονται στις κουφετιέρες αλευρώματος όπου ένα στρώμα λεπτού αλευρού επικάθεται στα αμύγδαλα ώστε να απορροφήσει την όποια υγρασία και να δημιουργήσει τη βάση για την επίστρωση της ζάχαρης στη συνέχεια.

Μετά το αλεύρωμα τα αμύγδαλα μεταφέρονται σε ανοιχτά τραπέζια σε καλά κλιματιζόμενο περιβάλλον και παραμένουν εκεί για να στεγνώσουν για 24 ώρες (μία μέρα ξεκούραση).

Επικάλυψη με σιρόπι ζάχαρης (σιρόπιασμα): Μετά την έλευση των 24 ωρών τα αμύγδαλα μεταφέρονται σε λέβητες ή καζάνια ή λεκάνες. Ο λέβητας ή καζάνι μέσα στον οποίο δουλεύονται τα κουφέτα κατασκευάζεται από ανοξείδωτο χάλυβα ή χαλκό. Συνήθως προτιμάται ο χαλκός για την καλύτερη μετάδοση της θερμότητας στο προϊόν. Οι κουφετιέρες είναι κατασκευασμένες σύμφωνα με τα πρότυπα ασφαλείας της Ευρωπαϊκής Ένωσης για σκεύη που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τροφίμων. Αποτελείται από το καζάνι που περιστρέφεται, το φλόγιστρο που θερμαίνει το καζάνι, τον αεραγωγό από τον οποίο εισέρχεται αέρας περιβάλλοντος για εξισορρόπηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του καζανιού και ένα χειριστήριο. Έχει ρύθμιση αυξομείωσης ταχύτητας της περιστροφής του καζανιού. Καθώς τα καζάνια περιστρέφονται πάνω από το φλόγιστρο στο εσωτερικό τους εισέρχεται διάλυμα ζάχαρης με νερό (σιρόπι) το οποίο λόγω του θερμού αέρα εξατμίζεται αφήνοντας ένα ομοιόμορφο στρώμα ζάχαρης πάνω στα αλευρωμένα αμύγδαλα. Η διαδικασία ολοκληρώνεται με φάσεις διαβροχής και ξήρανσης ώστε να δημιουργηθούν ομοιογενείς στρώσεις ζάχαρης πάνω στο αμύγδαλο.

Μετά την ολοκλήρωση τους σιροπιάσματος τα κουφέτα μεταφέρονται σε ανοιχτά τραπέζια σε καλά κλιματιζόμενο χώρο όπου παραμένουν για 24 ώρες μέχρι να στεγνώσουν καλά.

Εξομάλυνση και Στίλβωση : Όταν ολοκληρωθεί το στάδιο της επικάλυψης ζάχαρης η επιφάνεια του κουφέτου είναι ζαρωμένη και ακανόνιστη, οπότε απαιτείται το στάδιο της εξομάλυνσης και της στίλβωσης. Αυτό συμβαίνει κατά την διαδικασία της εξομάλυνσης

στα καζάνια με την ίδια φιλοσοφία που αναφέραμε παραπάνω και ακολουθεί η στίλβωση με την εφαρμογή διάφανης επικάλυψης. Εάν στο κουφέτο εφαρμοστεί χρωματισμός, αυτό συμβαίνει μετά την φάση της εξομάλυνσης του προϊόντος και πριν τη στίλβωση.

Γενικά η διαδικασία είναι απαιτητική και μπορεί να χρειαστεί και 2 μέρες ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος και την γνώση και την εμπειρία του τεχνίτη.

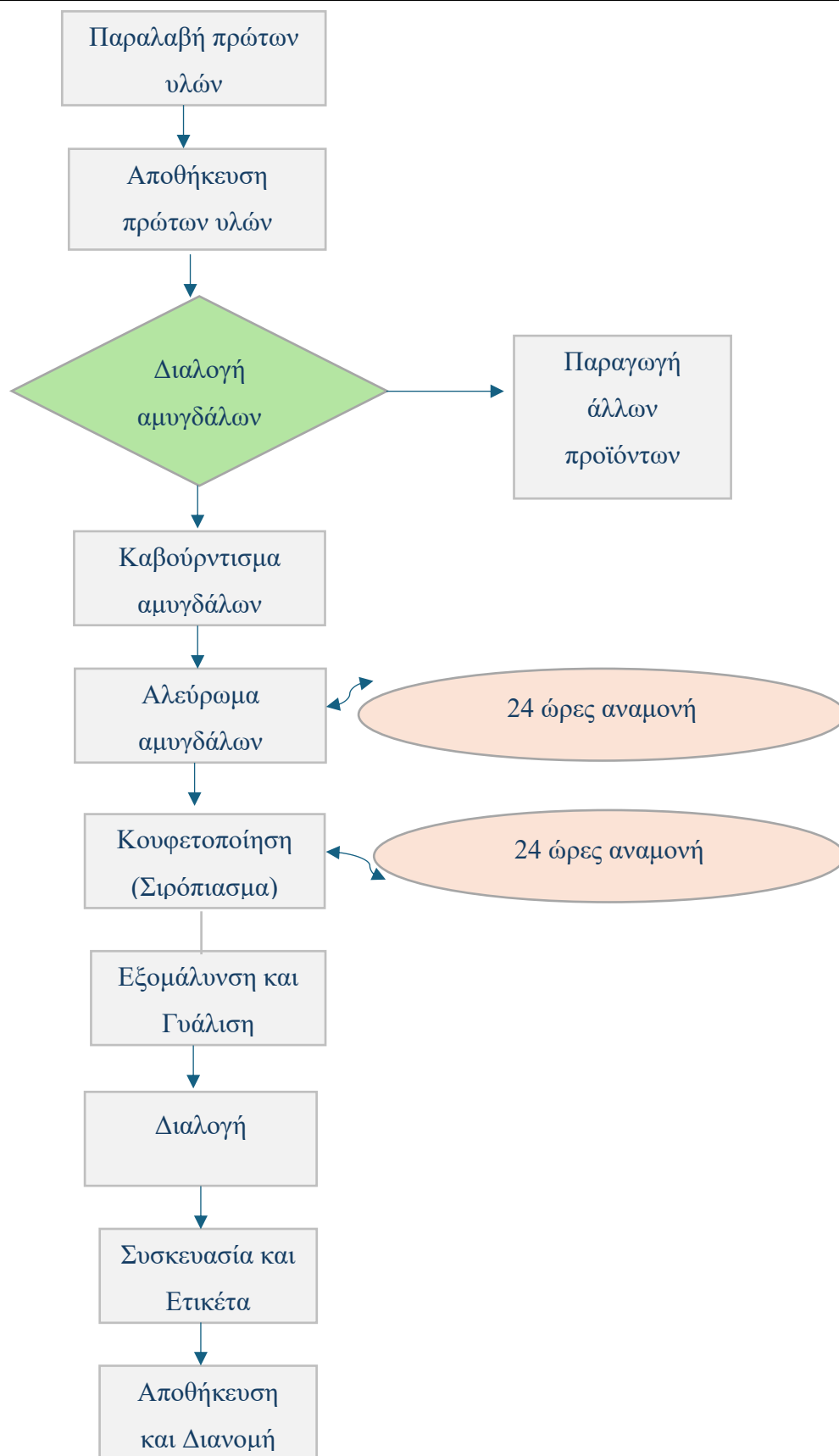
Διαλογή : Τα έτοιμα κουφέτα επιθεωρούνται για άλλη μία φορά και γίνεται η τελική διαλογή ώστε να βεβαιωθεί ότι όλα τα διαλεγμένα κουφέτα έχουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που αναφέραμε παραπάνω. Τα χτυπημένα κουφέτα απομακρύνονται ενώ γίνεται ο διαχωρισμός σε κατηγορία Ι και ΙΙ που αναφέραμε ανωτέρω. (Εικόνα 1)



**Εικόνα 1 Φάση Διαλογής**

Συσκευασία και ετικέτες: Στη συνέχεια τα κουφέτα τοποθετούνται σε συσκευασίες του ενός (1) κιλού ή των πέντε (5) κιλών και προστίθενται οι αντίστοιχες ετικέτες όπως προβλέπονται από το διεθνή κανονισμό τροφίμων.

Αποθήκευση και Διανομή: Τέλος, οι έτοιμες συσκευασίες κουφέτων αποθηκεύονται σε κατάλληλο χώρο και μεταφέρονται όποτε απαιτείται στα σημεία πώλησης με επαγγελματικά αυτοκίνητα έτσι ώστε να μην υπάρχουν αλλοιώσεις στο τελικό προϊόν.



Εικόνα 2 Διάγραμμα Ροής Παραγωγής Κουφέτων Αμυγδάλου

## 2.3. Χαρακτηριστικά Ποιότητας Κουφέτου Αμυγδάλου

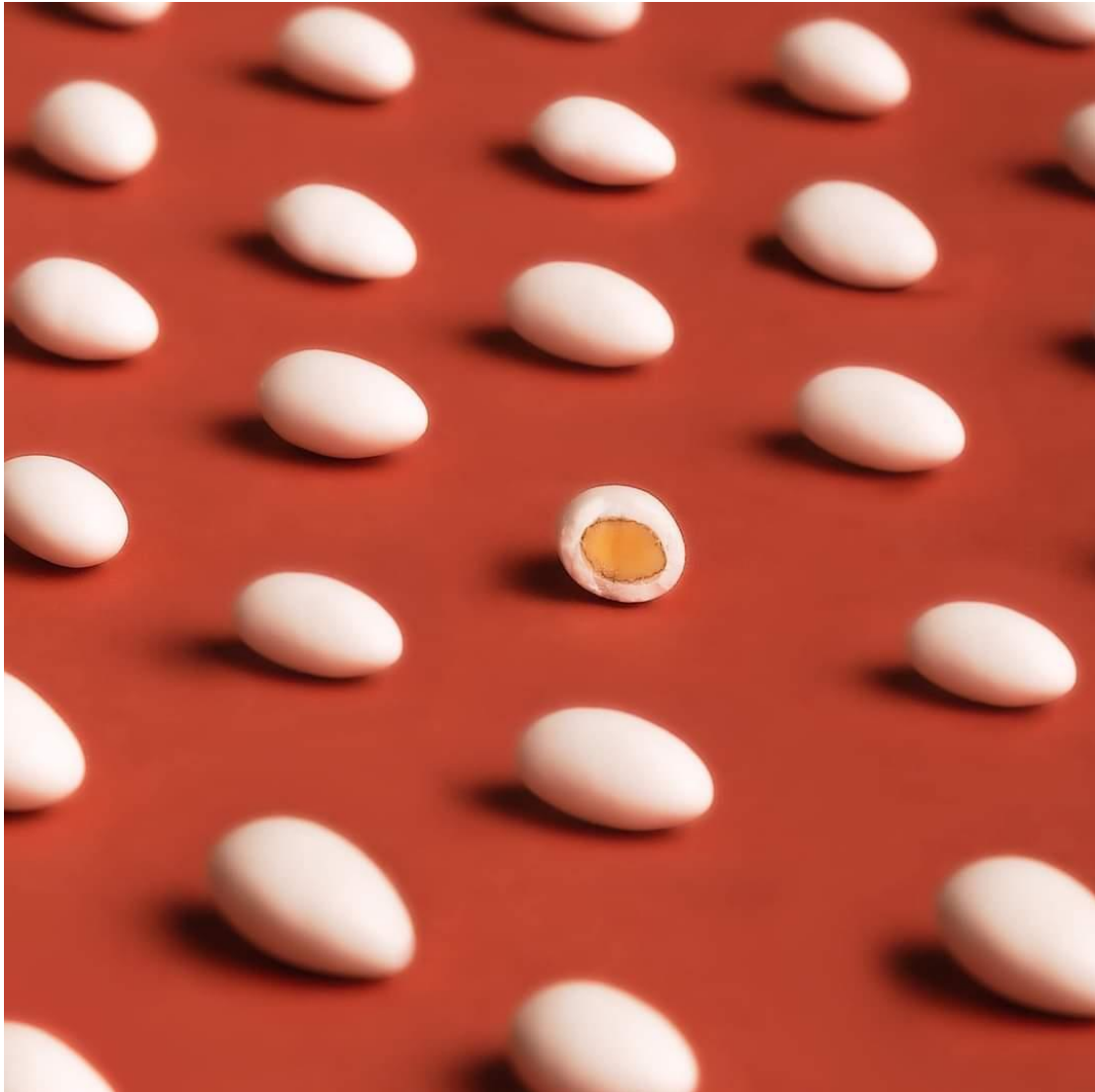
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η επιχείρηση συνδυάζει την παραδοσιακή τεχνική με τις κορυφαίες και σύγχρονες μεθόδους παρασκευής του κουφέτου. Στόχος είναι η παρασκευή κουφέτων αμυγδάλου που πληρούν τα χαρακτηριστικά ποιότητας τα οποία είναι :

1. Το ολόκληρο καβουρντισμένο αμύγδαλο (Εικόνα 3) που προσφέρει την αίσθηση τραγανότητας του ξηρού καρπού και εξισορροπεί τη γλυκύτητα της ζάχαρης.
2. Η λεπτή επικάλυψη ζάχαρης που περιβάλλει το αμύγδαλο και επιτρέπει στο κουφέτο να σπάει εύκολα στο δάγκωμα.
3. Η λεία επιφάνεια του κουφέτου που είναι αποτέλεσμα απαιτητικής διαδικασίας παρασκευής και δίνει μια αίσθηση πολυτέλειας στο στόμα.
4. Η λευκότητα του κουφέτου που είναι αποτέλεσμα της κορυφαίας ποιότητας ζάχαρης και του άρτιου σιροπιάσματος στην κατάλληλη θερμοκρασία.
5. Η διατηρησιμότητα των κουφέτων για τουλάχιστον 12 μήνες χωρίς αλλοιώσεις στη γεύση και στα αρώματα. Επιπλέον, επισημαίνεται ότι τα κουφέτα μπορεί να καταναλωθούν σε διάφορες περιστάσεις γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί να βρίσκονται για κάποιο χρονικό διάστημα πριν καταναλωθούν σε συνθήκες ζέστης, υγρασίας κτλ οπότε όσο πιο καλή είναι η ποιότητα παρασκευής τους τόσο πιο ανθεκτικά θα είναι.
6. Οι άριστες πρώτες ύλες (αμύγδαλα, αλεύρι, ζάχαρη κρυσταλλική, φυσικές αρωματικές ύλες, υλικό γυάλισης) που επιλέγονται για την παραγωγή τους.
7. Το μέγεθος των κουφέτων που έχει άμεση σχέση με το αρχικό μέγεθος των αμυγδάλων και στην συνέχεια της επίστρωσης με την ζάχαρη. Η χαρακτηριστική τιμή αναφοράς που διαχωρίζει τα κουφέτα πέρα των ανωτέρω ποιοτικών χαρακτηριστικών που ισχύουν για όλες τις κατηγορίες είναι ο αριθμός των κουφέτων ανά κιλό (τεμάχια ανά κιλό) και χωρίζονται σε
  - κατηγορία I με 230-250 τεμάχια ανά κιλό που είναι η ακριβότερη.
  - κατηγορία II με 280-300 τεμάχια ανά κιλό που είναι η πιο οικονομική.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι τελική ποιότητα ενός κουφέτου αμυγδάλου αφορά στο συνδυασμό χαρακτηριστικών εμφάνισης, αντοχής, γεύσης, αρώματος, διατηρησιμότητας και μεγέθους κουφέτου. Και σαφώς επισημαίνεται ότι η επίτευξη ισορροπίας μεταξύ των γεύσεων και των υφών είναι το χαρακτηριστικό που απογειώνει την



ποιότητα του κουφέτου και εκτιμάται περισσότερο από τον τελικό αποδέκτη που δεν είναι άλλος από τον καταναλωτή



Εικόνα 3 Χαρακτηριστικά ποιότητας κουφέτων αμυγδάλου

## 2.4. Παραγωγική Διαδικασία Παρασκευής Κουφέτων Αμυγδάλου

Οι υπεύθυνοι ποιότητας της επιχείρησης έπειτα από πολλές συναντήσεις ανταλλαγής ιδεών μέσω του ‘Καταιγισμού των Ιδεών’ (Brainstorming), όπως απεικονίζεται στο ψαροκόκαλο της Εικόνας 4, κατέληξαν ότι ένας από όπως βασικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του κουφέτου αμυγδάλου είναι η διαδικασία παραγωγής, και πιο συγκεκριμένα

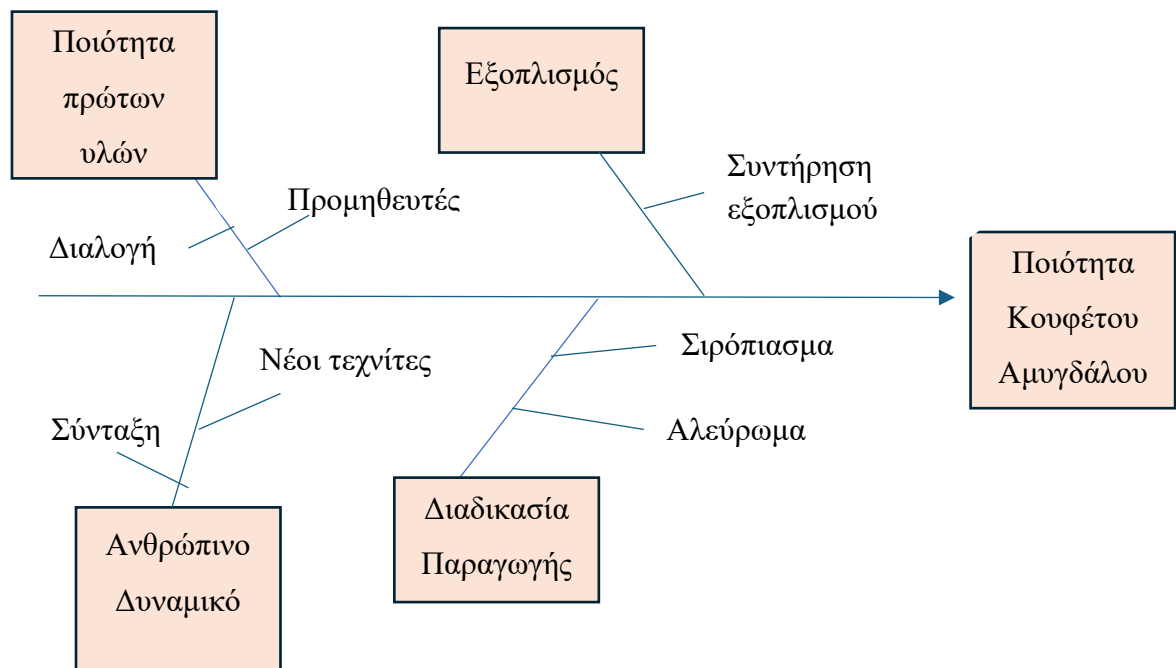
το στάδιο που θα έπρεπε να μελετηθεί πρώτο είναι το στάδιο του σιροπιάσματος δηλαδή της επίστρωσης της ζάχαρης επί του αμυγδάλου, η κουφετοποίηση.

Οι υπεύθυνοι ποιότητας με την ίδια διαδικασία προσπάθησαν να προσδιορίσουν το ιδανικό μέγεθος με το οποίο θα μπορούσαν να μετρήσουν την ποιότητα και το πάχος της επικάλυψης ζάχαρης στα αμύγδαλα, έχοντας ως δεδομένο ότι η κατηγορία I των κουφέτων θεωρείται η άριστη κατηγορία ως προς το μέγεθος και όλα τα υπόλοιπα κριτήρια ποιότητας που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, καθώς αυτό επιβεβαιώνεται από την σχολαστική διαλογή. Η κατηγορία I αναφέρεται σε 230-250 τεμάχια (κουφέτα) ανά κιλό. Με βάση αυτό και χρησιμοποιώντας έναν ζυγό ακριβείας υπολόγισαν ότι αυτή η τιμή στόχος για τον αριθμό των κουφέτων ανά κιλό επιτυγχάνεται όταν τιμή στόχος σε κιλά που ισχύει είναι παραγόμενα 80 κιλά κουφέτα από αρχική πρώτη ύλη 20 κιλά αμύγδαλα, ωμά με τη φλούδα, πριν το καβούρντισμα. Πιο συγκεκριμένα, έλεγξαν δειγματοληπτικά παρτίδες κουφέτων που προέρχονταν από την κατηγορία 80 κιλά διαλεγμένου παραγόμενου προϊόντος ανά 20 kg αμυγδαλού αρχικής πρώτης ύλης και διαπίστωσαν ότι σε ένα κιλό από αυτά τα κουφέτα αντιστοιχούν 230-250 τεμάχια, δηλαδή η κατηγορία I, που είναι η άριστη ως προς το σχήμα το μέγεθος, την υφή, το χρώμα, τη γεύση και το άρωμα.

Επισημαίνεται ότι τα υπόλοιπα κριτήρια ποιοτικών χαρακτηριστικών που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα πληρούνται είτε για την κατηγορία I είτε για την κατηγορία II των κουφέτων

Άλλωστε, η τιμή στόχος 80 κιλά κουφέτα ανά 20 κιλά αμυγδάλου είναι εύκολα μετρήσιμη και υπολογίσιμη καθώς καθημερινά παράγονται παρτίδες των 80 κιλών για την εξυπηρέτηση των πελατών τους. Αυτή την μεταβλητότητα επιθυμούν να ελέγξουν καθώς παρατηρούν μια διακύμανση λίγο κάτω ή λίγο πάνω από τα 80 κιλά ανά παρτίδα κουφέτων.





Εικόνα 4 Αποτέλεσμα Αρχικού 'Καταιγισμού Ιδεών'

## 2.5. Το κουφέτο στον κόσμο χτες και σήμερα

Το κουφέτο είναι ένα γλύκισμα που κύρια συστατικά του είναι το αμύγδαλο και η ζάχαρη. Βέβαια υπάρχουν ευρέως πολλές παραλλαγές, με άλλου είδους ξηρό καρπό στο εσωτερικό και ζάχαρη ή μέλι εξωτερικά. Είναι ένα δώρο που συνηθίζεται να προσφέρεται σε χαρούμενα γεγονότα της ζωής του ανθρώπου, σύμβολο τύχης και ευημερίας. Η σκληρότητα του αμυγδάλου συμβολίζει την αντοχή του γάμου και γενικά την αντοχή του ανθρώπου στις δυσκολίες, ενώ η ζάχαρη με τη γλύκα της αντιπροσωπεύει τις χαρές της ζωής.

Παράγεται από τα αρχαία χρόνια. Υπάρχουν μαρτυρίες ότι το κουφέτο χρονολογείται γύρω στα 3.000 π.Χ. για τους Έλληνες και για τους Άραβες. Υπάρχουν μαρτυρίες ότι το κουφέτο ήταν ήδη γνωστό στη ρωμαϊκή εποχή όπου το έφτιαχναν για να γιορτάσουν, σε γεννήσεις και γάμους, αλλά ήταν παρασκευασμένο με αμύγδαλο, αλεύρι και μέλι. Στη σημερινή του μορφή ξεκίνησε να παρασκευάζεται γύρω στα 700μ.Χ. με την εμφάνιση της ζάχαρης στην Ευρώπη, εισαγόμενη από τους Άραβες. Πολύ αργότερα, γύρω στα 1400μ.Χ. ξεκίνησε να χρησιμοποιείται όπως είναι τα σημερινά κουφέτα.

Σήμερα είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο και χρησιμοποιείται για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω σε διάφορες χώρες όπως στην Ιταλία ως Confetti, στην Ισπανία ως Pelagillas, στην Γαλλία ως Dragee και στον Αραβικό κόσμο ως Halwayat. Ιδιαίτερα η Ιταλία και η Ισπανία έχουν μακρά παράδοση στην κουφετοποιία.

## **2.6. Βιβλιογραφικές Αναφορές**

Είναι αλήθεια ότι το συγκεκριμένο αντικείμενο θέματος, η παραγωγική διαδικασία κουφέτου αμυγδάλου δεν έχει απασχολήσει τον ερευνητικό κόσμο και δεν υπάρχει κάποια εστιασμένη μελέτη ως προς αυτό. Υπάρχουν, όμως πολύ ενδιαφέρουσες μελέτες και άφθονο επιστημονικό υλικό που άπτεται των μεθόδων στατιστικής ανάλυσης που έχουν χρησιμοποιηθεί και αναλύονται στη συνέχεια και οδηγούν στην βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων, τα οποία αποτελούν και αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Στην σύγχρονη εποχή της παγκόσμιας αγοράς, η ποιότητα αποτελεί το κλειδί για τις επιχειρήσεις ώστε να διατηρήσουν την εμπιστοσύνη των καταναλωτών τους και να γίνουν πιο ανταγωνιστικές. Για αυτό το λόγο η ποιότητα δεν μπορεί να είναι απλά το αποτέλεσμα μιας διαδικασίας επιθεώρησης αλλά πρέπει να αποτελεί κομμάτι της φιλοσοφίας και της στρατηγικής της επιχείρησης (Rowlans, 2000). Με άλλα λόγια θα πρέπει να είναι αναπόσπαστο κομμάτι της σχεδίασης του προϊόντος και να πάψει να βασίζεται στην επιθεώρηση για να διασφαλιστεί ότι υφίσταται (McKeown, 1992)

Το πρώτο βήμα για την επίτευξη της ποιότητας των προϊόντων και των διεργασιών από τις οποίες παράγονται είναι η ουσιαστική και ευρεία γνώση τους. Αυτή η γνώση έχει άμεση σχέση με τις πληροφορίες και τα δεδομένα από τα οποία πηγάζει. Όμως, για να συγκεντρωθούν πληροφορίες αξιόπιστες είναι θεμελιώδες να υιοθετηθούν ακριβείς πειραματικές διαδικασίες και αναλύσεις στατιστικών δεδομένων (Cost, 2006). Ο Σχεδιασμός Πειραμάτων (ΣΠ), (Design of Experiments, DoE), έχει αποδείξει ότι είναι μία από τις πανίσχυρες τεχνικές για την βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας (Antony, 2019). Ο σημαντικότερος, ίσως, εκπρόσωπος αυτής της Σχολής είναι ο Δρ Genichi Taguchi, ο οποίος εισήγαγε και εφάρμοσε με επιτυχία την Μέθοδο του Πειραματικού Σχεδιασμού και την μελέτη των Παραγόντων που μπορούν να επηρεάσουν μια διεργασία.

Σύμφωνα με τον Taguchi, η παραδοσιακή προσέγγιση της ανάδρασης που προκύπτει από την επιθεώρηση των προϊόντων και των διεργασιών από τις οποίες προέρχονται είναι ένα εντοπισμένο πρόβλημα. Είναι μια ιστορική προσέγγιση και εστιάζει σε παρελθόντα γεγονότα, που ήδη συμβαίνουν. Αντιθέτως, μια ‘προ της δράσης’ προσέγγιση δίνει έμφαση στη λήψη μέτρων, στην ανάλυση, στην πρόβλεψη και την πρόληψη. Πιο συγκεκριμένα, η εστίαση θα πρέπει να γίνεται στο σχεδιασμό των διαδικασιών έτσι ώστε να προληφθούν οι αστοχίες και τα ελαττώματα που θα προκύψουν κατά την εκτέλεσή της και άρα στο ίδιο το προϊόν. Σημασία έχει το τμήμα διαχείρισης ποιότητας ενός οργανισμού να εργαστεί στο σχεδιασμό των προϊόντων παρά στα ίδια με την δειγματοληψία στο τελικό στάδιο (Rowlands, 2000).

Και αυτή η απαίτηση για σωστό σχεδιασμό των προϊόντων εξ αρχής γίνεται ολοένα και εντονότερη. Πλέον η επιχειρηματική βιωσιμότητα δεν σχετίζεται μόνο με τις κλασικές αρχές της αξιοπιστίας, της ανθεκτικότητας, της απόδοσης, της στιβαρότητας ή της έγκυρης παράδοσης αλλά επηρεάζεται από νέες αντιλήψεις και συμπεριφορές. Με άλλα λόγια αρκετά προϊόντα απορρίπτονται για μοντέρνους λόγους (σχήμα, λειτουργία, ξεπερασμένη τεχνολογία) ή για λόγους περιβαλλοντικής ευαισθησίας (μη φιλικά προς το περιβάλλον ή απαιτούν περισσότερη ενέργεια κτλ). Αυτό συνεπάγεται ότι τα προϊόντα πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται μελετημένα και να είναι αποτελέσματα πειραματισμού μέσω του οποίου να επιβεβαιώνεται η ποιότητα και η χρηστικότητά τους (Costa, 2019).

Σαφώς, υπάρχουν κάποια τυπικά εμπόδια στην εφαρμογή των μεθόδων Σχεδίασης Πειραμάτων στις επιχειρήσεις. Το πρώτο έχει να κάνει με την ανύπαρκτη εκπαίδευση, καθώς πολλοί μηχανικοί, με πολλά πτυχία στο ενεργητικό τους, δεν έχουν διδαχτεί των ΣΠ. Άλλες φορές γνωρίζουν αλλά ελλιπώς, κάτι που τους καθιστά αρχάριους ή ενδιάμεσης εμπειρίας οπότε και ανίκανους να εφαρμόσουν σωστά την μέθοδο. Το δεύτερο εμπόδιο προέρχεται από την διοίκηση, καθώς πολλοί διευθυντές παραγωγής δεν βλέπουν μακροπρόθεσμα, βλέπουν μόνο την άμεση παραγωγή ( ‘are after fire-fighting’) και δεν εκτιμούν τον ΣΠ. Το τρίτο, αφορά στην έλλειψη επικοινωνίας μεταξύ ακαδημαϊκού και επιχειρηματικού κόσμου, γεγονός που καθυστερεί την είσοδο του ΣΠ στην αληθινή παραγωγή (Antony, 2006).

Μια ενδιαφέρουσα πρόταση για την ευρεία εφαρμογή της μεθόδου Πειραματικού Σχεδιασμού του Taguchi, είναι να προωθηθεί η προσέγγισή της μεταξύ των επιχειρήσεων

μέσω ενός εσωτερικού δικτύου ανταλλαγής των εμπειριών τους ή κάποιων σεμιναρίων και εργαστηρίων εξοικείωσης. Αρχικά θα εκπαιδευτούν οι διευθυντές και οι επικεφαλής και στην συνέχεια να ακολουθήσουν εκπαιδεύσεις από έμπειρους εκπαιδευτές που ξέρουν καλά την μέθοδο και την έχουν εφαρμόσει στην πράξη (Antony, 2004).

Τέλος, επισημαίνεται ότι, ακόμα κι αν υπάρχουν κάποιες αντιρρήσεις για την ορθότητα ή την ευκολία στην πράξη της μεθόδου Taguchi, η αξία της μεθόδου έγκειται στο ότι καταφέρνει να ενσωματώσει τις μεθόδους της στατιστικής ανάλυσης σε μια δυναμική παραγωγική διαδικασία. Κι αυτό γιατί, για να έχει επιτυχία η εφαρμογή της μεθόδου ΣΠ θα πρέπει να συντονιστούν ο σχεδιασμός, η παραγωγή, η επικοινωνία, η στατιστική ανάλυση και η ομαδική εργασία. Με άλλα λόγια, θα πρέπει να συνεργαστούν οι κατάλληλοι άνθρωποι για τον συγκεκριμένο σκοπό και να εργαστούν πάνω σε αυτό συντονισμένα (Rowlands, 2000).

### 3. Εν Σειρά Έλεγχος Ποιότητας και Στατιστικός Έλεγχος Διεργασίας

#### 3.1. Εν Σειρά Έλεγχος Ποιότητας

Οι ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις για την άριστη ποιότητα από το σύγχρονο καταναλωτή οδηγούν τα στελέχη των επιχειρήσεων σε συνεχή αναζήτηση λύσεων για την βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων και υπηρεσιών. Χρήσιμο εργαλείο σε αυτή την προσπάθεια αποτελεί η τεχνική του Στατιστικού Ελέγχου Διεργασιών (ΣΕΔ). Πρόκειται για ένα από τα βασικότερα εργαλεία των ‘Εν Σειρά’ ελέγχων βελτίωσης της ποιότητας, δηλαδή της προσπάθειας για έλεγχο και μείωση της μεταβλητότητας κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας που ήδη υφίστανται και λαμβάνει χώρα (Λογοθέτης 2001).

Πρόκειται για ελέγχους επί της διεργασίας που εκτελείται ήδη, όποτε για τον έλεγχό της γίνεται χρήση των δεδομένων που προέρχονται από αυτήν. Τα αποτελέσματα μιας διεργασίας μεταβάλλονται κάθε φορά που αυτή συμβαίνει οπότε είναι χρήσιμο και σημαντικό να μελετηθούν προσεκτικά τα στάδια της και να εξετασθούν οι παράγοντες που την επηρεάζουν. Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι η ποιότητα των πρώτων υλών, το περιβάλλον, η εκπαίδευση και η κατάρτιση του προσωπικού, ο εξοπλισμός, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται και τα ποιοτικά κριτήρια που έχουν υιοθετηθεί κατά το σχεδιασμό της διεργασίας. Σε κάθε περίπτωση ο συνδυασμός των παραπάνω παραγόντων μπορεί να επηρεάσει τη σταθερότητα μιας διεργασίας αυξάνοντας τη μεταβλητότητά της.

Με βάση τον Shewhart δύο ειδών είναι τα αίτια που προκαλούν μεταβλητότητα σε μία διεργασία (Γεωργακάκος, 2002) :

- τα Συνήθη αίτια ή Κοινά ή Τυχαία: πρόκειται για παράγοντες χωρίς ιδιαίτερη σημασία που επηρεάζουν τη μεταβλητότητα και είναι δύσκολο να εντοπιστούν και να υπολογιστούν. Αυτά τα αίτια είναι αναπόφευκτα.
- τα Ειδικά αίτια ή Ασυνήθη ή Ασήμαντες Αλλαγές: πρόκειται για παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη μεταβλητότητα αλλά μπορούν να εντοπιστούν και να προσδιοριστούν σε μεγάλο βαθμό. Τέτοιοι παράγοντες είναι οι απορρύθμιση μιας μηχανής, η απειρία ενός τεχνικού, κτλ.

Δεδομένου ότι σε κάθε παραγωγική διαδικασία είναι επιθυμητή η σταθερότητα στο αποτέλεσμα γίνεται κατανοητό ότι στόχος είναι ο περιορισμός και ιδανικά η εξάλειψη της μεταβλητότητας. Προφανώς είναι ουτοπικό να επιδιώκεται η εξάλειψη της μεταβλητότητας γιατί δεν είναι εφικτός ο εντοπισμός όλων εκείνων των τυχαίων παραγόντων που θα οδηγήσουν σε παρέκκλιση από το στόχο. Αυτό που μπορεί όμως να τίθεται ως στόχος με σιγουριά είναι η συνεχής βελτίωση που είναι επακόλουθο της συνεχούς μείωσης μεταβλητότητας με τη χρήση και την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως ο Στατιστικός Έλεγχος Διεργασίας (ΣΕΔ) δίνει τη δυνατότητα να εντοπιστούν έγκαιρα και να περιοριστούν σε μηδενικό σημείο τα ειδικά αίτια που επηρεάζουν τη σταθερότητα της διεργασίας. Έτσι η διεργασία τίθεται 'υπό έλεγχο', δηλαδή είναι σε κατάσταση στατιστικού ελέγχου. Πιο συγκεκριμένα, η διεργασία έχει σταθερότητα και η όποια μεταβλητότητά της επηρεάζεται κυρίως από τυχαίους παράγοντες. Διαφορετικά η διεργασία θα βρισκόταν εκτός στατιστικού ελέγχου.

### 3.2. Διαγράμματα Ελέγχου και Κριτήρια Σταθερότητας

Βασικό εργαλείο του ΣΕΔ για τον έλεγχο σταθερότητας μιας διεργασίας αποτελούν τα Διαγράμματα Ελέγχου (ΔΕ). Εφαρμόστηκαν αρχικά γύρω στα 1920 από τον W. Shewhart στην επιχείρηση Beel Laboratories. Είναι γραφικά εργαλεία μέσω των οποίων κατανοείται και μελετάται αν η διαδικασία που εξετάζεται προχωράει όπως αναμενόταν ή επιβάλλονται διορθωτικές ενέργειες.

Για την εφαρμογή τους απαιτείται η ύπαρξη ενός δείγματος προερχόμενου από το πληθυσμό της διεργασίας που πρόκειται να εξεταστεί. Στην ουσία είναι μία γραφική παράσταση που απεικονίζει τη μεταβλητότητα μιας διεργασίας. Είναι γραφική παράσταση των παρατηρήσεων από το δείγμα της διεργασίας ως προς το χρόνο. Βέβαια οι παρατηρήσεις αυτές πρέπει να αναφέρονται σε κρίσιμα χαρακτηριστικά, ιδιότητες ή μεταβλητές της διεργασίας, ώστε να υπάρχει ρεαλιστική απεικόνιση για την κατάσταση της διεργασίας.

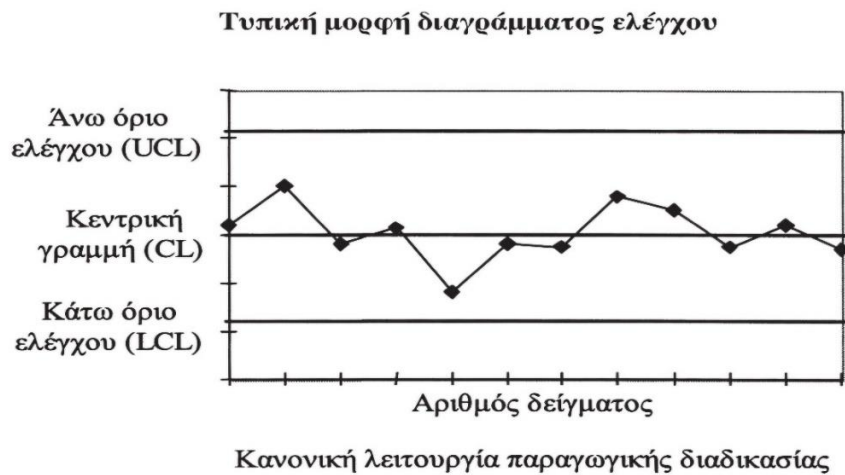
Πιο συγκεκριμένα, το ΔΕ απεικονίζει το κατά πόσο και κατά ποιον τρόπο μεταβάλλονται στο χρόνο η μέση τιμή της διεργασίας. Άρα για την κατασκευή τους απαιτείται ένα χρονοδιάγραμμα. Στον οριζόντιο άξονα (X) αποτυπώνεται ο χρόνος ή ο αριθμός του δείγματος που έχει ληφθεί σε διαφορετικούς χρόνους και στον κάθε το άξονα (Y) αποτυπώνονται οι τιμές που προέρχονται από τις παρατηρήσεις της διεργασίας αντίστοιχα.

Δηλαδή τις παρατηρήσεις του κρίσιμου χαρακτηριστικού ελέγχου. Επιπλέον, στο ΔΕ υπάρχουν δύο οριζόντιες γραμμές οι οποίες ορίζονται ως Όρια Ελέγχου (ΟΕ). Το Άνω Όριο Ελέγχου (Upper Control Limit), (ΑΟΕ) (UCL) και το Κάτω Όριο Ελέγχου (Lower Control Limit), (ΚΟΕ) (LCL). Η Κεντρική Γραμμή (Center Line) του ΔΕ ισοδυναμεί με τη μέση τιμή του αποτελέσματος της διεργασίας το οποίο μελετάται.

Μια τυπική μορφή του ΔΕ είναι η *Εικόνα 5*. Όσο τα σημεία του διαγράμματος των τιμών που μελετώνται είναι μεταξύ των γραμμών των Ορίων Ελέγχου (ΟΕ) η διεργασία είναι υπό στατιστικό έλεγχο και καμία διορθωτική ενέργεια δεν απαιτείται. Βέβαια δεν σημαίνει ότι εκτός στατιστικού ελέγχου είναι μία διαδικασία μόνο όταν κάποια σημεία εμφανίζονται εκτός των Άνω και Κάτω Ορίων Ελέγχου. Υπάρχουν κάποιοι κανόνες ευαισθητοποίησης (Run Tests) τα οποία επισημαίνονται παρακάτω:

- Ένα ή περισσότερα σημεία εκτός των ορίων.
- Δύο από τα τρία συνεχόμενα σημεία κοντά στα Άνω και Κάτω Όρια αντίστοιχα.
- Οχτώ (8) συνεχόμενα σημεία πάνω ή κάτω από την Κεντρική Γραμμή.
- Έξι (6) συνεχόμενα σημεία σε αύξουσα ή φθίνουσα διάταξη.
- Δεκατέσσερα (14) συνεχόμενα σημεία σε εναλλασσόμενη μορφή.
- Ένα ή περισσότερα σημεία κοντά σε οποιοδήποτε όριο.
- Οποιαδήποτε ασυνήθιστη ή μη τυχαία ακολουθία σημείων.

Όλες οι ανωτέρω περιπτώσεις μπορούν να ερμηνευτούν ως κριτήρια για το ότι η διεργασία είναι Εκτός Ελέγχου και ότι θα πρέπει να επανεξεταστεί για την ύπαρξη ειδικών αιτίων και την απαίτηση λήψης διορθωτικών ενεργειών για την εύρεση και θεραπεία τους.



Εικόνα 5 Τυπική Μορφή Διαγράμματος Ελέγχου

### 3.3. Κατηγορίες Διαγραμμάτων Ελέγχου

Ανάλογα με το κύριο χαρακτηριστικό μιας διεργασίας που μελετάται τα ΔΕ που θα χρησιμοποιηθούν χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

- Τα Διαγράμματα Ελέγχου Μεταβλητών, που χρησιμοποιούνται όταν το χαρακτηριστικό ποιότητας που μελετάται μπορεί να μετρηθεί και να αποδοθεί με αριθμούς σε μία συνεχή μέτρηση, όπως το βάρος, τα κιλά, η υγρασία και τα λοιπά. Το βασικότερο ΔΕ αυτής της κατηγορίας είναι το Διάγραμμα Ελέγχου Μέσου Όρου και Εύρους (X-R).
- Τα Διαγράμματα Ελέγχου Ιδιοτήτων, που χρησιμοποιούνται όταν το χαρακτηριστικό ποιότητας που μελετάται είναι διακριτό και δεν μπορεί να αποδοθεί αριθμητικά σε μία συνεχή κλίμακα μέτρησης, όπως ο αριθμός ελαττωμάτων σε μία επιφάνεια λαμαρίνας. Τα βασικά Διαγράμματα Ιδιοτήτων είναι τα ΔΕ p, np, c και u.

Κατά κανόνα οι πληροφορίες που λαμβάνονται από την επεξεργασία των ΔΕ μεταβλητών είναι περισσότερες από αυτές που προκύπτουν από τα ΔΕ ιδιοτήτων (Γεωργακάκος, 2002).

### 3.4. Η εφαρμογή των ΔΕ και ο προσδιορισμός των Ορίων Ελέγχου (ΟΕ)

Για να εφαρμοστούν τα ΔΕ χρειάζεται να ακολουθηθούν τα παρακάτω βήματα:



- Να οριστούν τα χαρακτηριστικά ποιότητα της παραγωγικής διαδικασίας που θα μελετηθεί.
- Να προσδιοριστεί το στάδιο της διεργασίας που είναι πιο κρίσιμο ώστε να εφαρμοστεί ο έλεγχος.
- Να επιλεγεί ο καταλληλότερος τύπος διαγράμματος ελέγχου ανάλογα με τη φύση των δεδομένων που εξετάζονται.
- Τέλος, να ληφθούν οι απαραίτητες διορθωτικές ενέργειες με βάση τα αποτελέσματα των ελέγχων των ΔΕ με σκοπό τη βελτίωση της διεργασίας.

Για να είναι αποτελεσματικός ο έλεγχος είναι η σημαντικό να επιλεγούν σωστά και να καθοριστούν εύστοχα τα όρια ελέγχου (ΟΕ). Πιο συγκεκριμένα, η απόσταση των ορίων ελέγχου από την Κεντρική Γραμμή του ΔΕ επηρεάζει τον τύπο σφάλματος που θα υποπέσει ο μελετητής. Έτσι όσο μετακινείται το ΟΕ μακριά από την Κεντρική Γραμμή μειώνεται το σφάλμα τύπου I. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται το εύρος και μπορεί να θεωρηθεί ότι μία τιμή οριακά Εκτός Ορίων είναι Εντός Ορίων λόγω των αυξημένων ΟΕ. Δηλαδή αυξάνεται το σφάλμα τύπου II με κίνδυνο να βρεθεί κάποιο σημείο Εντός Ελέγχου ενώ η διεργασία στην ουσία είναι Εκτός Ελέγχου. Αντίθετα όταν περιοριστεί το εύρος και μετακινηθούν τα ΟΕ κοντά στην Κεντρική Γραμμή αυξάνεται πιθανότητα σφάλματος I και μειώνεται η πιθανότητα σφάλματος II.

Για τον καθορισμό των ΟΕ συνήθως επιλέγεται το τριπλάσιο της τυπικής απόκλισης ( $\pm 3\sigma$ ) ως απόσταση από την κεντρική γραμμή, με τη θεώρηση ότι η διεργασία ακολουθεί την κανονική κατανομή ή για τη χρήση μεγαλύτερων δειγμάτων με το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα (ΚΟΘ). Με αυτή την παραδοχή ως δεδομένο για την κανονικότητα προκύπτει η ίδια ευαισθησία στο ΔΕ είτε έχουμε ένα πιο περιορισμένο δείγμα στην κανονική κατανομή είτε για μεγαλύτερο δείγμα στο ΚΟΘ.

### **3.5. Καθορισμός Λογικών Υπό ομάδων**

Είναι πολύ βασικό να επιλέγονται ορθά οι υπό ομάδες για την κατασκευή των ΔΕ έτσι ώστε να μειώνεται ο ‘θόρυβος’, δηλαδή η μη ενδιαφέρουσα μεταβλητή μεταξύ των δειγμάτων (Γεωργακάκος, 2002). Οι ορθολογικώς επιλεγμένες υπό ομάδες (rational groups) είναι η

πρόταση του W. Shewhart για την καλύτερη οργάνωση των δειγμάτων για ΔΕ σε ομάδες. Στόχος είναι :

- Η μεταβλητότητα μέσα στα δείγματα των υπό ομάδων που θα επιλεγούν να οφείλεται κυρίως σε κοινά αίτια.
- Να εντοπίζονται και να επισημαίνονται οι διαφορές μεταξύ των δειγμάτων των υπό ομάδων ώστε να διαφαίνονται τα ειδικά αίτια της διεργασίας.

Με αυτόν τον τρόπο επιλογής οι όποιες ειδικές αιτίες θα οδηγούν σε μεγιστοποίηση των αποκλίσεων μεταξύ των υπό ομάδων και εντός των υπό ομάδων οι αποκλίσεις θα εστιάζονται σε τυχαίες αιτίες που θα οφείλονται σε απόκλιση της ίδιας της διεργασίας.

Μία παράμετρος για διαφοροποίηση μεταξύ των υπό ομάδων θα μπορούσε να είναι η αλλαγή βαρδιών σε μία παραγωγική διαδικασία. Άλλη θα είναι η χρήση διαφορετικών μετρητικών οργάνων. Σε αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει ο μελετητής να λάβει υπόψη του αυτές τις παραμέτρους όταν επιλέγει τη χρονική σειρά παραγωγής η οποία κατά τα άλλα αποτελεί λογική βάση ομαδοποίησης με γνώμονα τον προσδιορισμό ειδικών αιτιών στο χρόνο.

### 3.6. ΔΕ Μεταβλητών

Λόγω του αντικειμένου της παρούσας μελέτης το οποίο θα παρουσιαστεί αναλυτικότερα στο 5ο κεφάλαιο από τα δύο είδη ΔΕ θα χρησιμοποιηθούν τα διαγράμματα μεταβλητών. Τα ΔΕ μεταβλητών αποτυπώνουν και μελετούν δύο βασικά χαρακτηριστικά δεδομένων μεταβλητών, την μέση τιμή και την μεταβλητότητα. Όταν παρατηρείται έλλειψη σταθερότητας των τιμών αυτών των χαρακτηριστικών υπάρχει η υποψία ύπαρξης κάποιου προβλήματος στη διεργασία από την οποία προέρχονται οι τιμές. Όταν η μέση τιμή και η μεταβλητότητα των τιμών είναι υπό έλεγχο και η διεργασία από την οποία προέρχονται οι τιμές θα είναι υπό έλεγχο.

Τα δύο σημαντικότερα διαγράμματα αυτών των χαρακτηριστικών είναι :

- Το διάγραμμα ελέγχου μέσου όρου ή ΔΧ όπως περιγράφεται με το οποίο παρακολουθείτε η μέση τιμή της διεργασίας.

- Το διάγραμμα ελέγχου εύρους ή ΔR όπως είναι γνωστό με το οποίο ελέγχεται η μεταβλητότητα της διεργασίας και το οποίο είναι καλύτερα να προηγείται του διαγράμματος μέσου όρου γιατί δίνει ταχύτερη απεικόνιση εισόδου ειδικών αιτιών στην διεργασία (Γεωργακάκος 2002).

Υπάρχουν και άλλα διαγράμματα ελέγχου μεταβλητότητας που χρησιμοποιούν ως δεδομένα τη δειγματική τυπική απόκλιση, τη δειγματική διασπορά, τη δειγματική μέση τιμή και τη δειγματική διάμεσο και άλλα τα οποία χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση ανάλογα με τα ζητούμενα εξαγόμενα συμπεράσματα του μελετητή.

Πρακτικώς ανάλογα με τους στόχους του μελετητή ορίζεται η απαίτηση για ανίχνευση μικρών ή μεγάλων αλλαγών, δηλαδή η απαίτηση διαφορετικής ευαισθησίας κάθε φορά. Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί το ΔΕ Μεμονωμένων Τιμών ΔΕ I-MR το οποίο θα αναφερθεί στη συνέχεια.

### 3.7. ΔΕ για Μεμονωμένες Παρατηρήσεις, ΔΕ I-MR

Όταν το δείγμα προς εξέταση της παραγωγικής διαδικασίας που πρόκειται να ελεγχθεί αποτελεί μεμονωμένη παρατήρηση δηλαδή για  $n=1$  μπορεί να χρησιμοποιηθούν ΔΕ μεμονωμένων παρατηρήσεων, ΔΕ I-MR. Τέτοιες περιπτώσεις άπτονται διεργασιών που μπορούν να παράγουν τιμές προς μέτρηση και έλεγχο κάθε παραγόμενης μονάδας επειδή ο αριθμός παραγωγής δεν είναι τόσο μεγάλος ώστε να επιτρέπει τη συλλογή δειγμάτων για  $n>1$ . Πρόκειται για διεργασίες που δίνουν δεδομένα τα οποία δεν μπορούν να προέρθουν από λογικές υπό ομάδες και χρησιμοποιούν τα μεμονωμένα διαγράμματα ΔX σε σχέση με το χρόνο (Χρονοσειρά). Δηλαδή σχεδίαση μεμονωμένων μετρήσεων στον άξονα (Y) ως προς τη χρονική ακολουθία της παρατήρησης στον άξονα (X).

Σε αυτή την περίπτωση όμως δεν προκύπτει ένα διάγραμμα ελέγχου γιατί δεν ελέγχονται οι διαφορές μεταξύ ομάδων. Οπότε για να υφίσταται ΔΕ θα πρέπει να υπολογιστεί ή να θεωρηθεί ΟΕ και να δημιουργηθούν κάποιες ομάδες σημείων (Ψευτο-ομάδες). Αυτό γίνεται με τη μέθοδο των ΔΕ Κινούμενων Σημείων που δίνουν τη δυνατότητα να αναδειχθούν οι διαφορές μεταξύ ομάδων ατομικών μετρήσεων που συμβαίνουν σε διαφορετικές φάσεις ή συνθήκες. Συνήθως είναι ομάδες μεμονωμένων διαδοχικών μετρήσεων ανά δύο, για μήκος

$V=2$ , χωρίς αυτό να είναι απαραίτητο. Δηλαδή, για ζεύγη  $\{x_1, x_2\}$ ,  $\{x_2, x_3\}$ , ...,  $\{x_{n-1}, x_n\}$  προκύπτουν ψευτο-ομάδες. Το εύρος μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων προκύπτει:

η Κινούμενη Περιοχή (Moving Range),  $MR_i$  όπου  $MR_i = |x_i - x_{i+1}|$

ο μέσος όρος όλων των Κινούμενων Περιοχών  $\overline{MR} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} |x_i - x_{i+1}|$

Ενώ τα ΟΕ προκύπτουν από τη σχέσεις (3.1), Τόμος Α, ΔΙΠ 60, σελ. 135

$$UCL_X = \bar{X} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} = \bar{X} + 3 \frac{\overline{MR}}{1.128}$$

$$LCL_X = \bar{X} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} = \bar{X} - 3 \frac{\overline{MR}}{1.128}$$

Όπου  $d_2 = 1.128$  για  $V=2$  από τους Πίνακες του παραρτήματος Ι, τόμος Α, ΔΙΠ60.

Για δειγματικό μέγεθος  $n=1$ , το ΔΧ συνδυάζεται με το Διάγραμμα Κινούμενου Εύρους (MR) και προκύπτει το Διάγραμμα Μεμονωμένων Τιμών και Κινούμενου Εύρους (I-MR).

Τα Όρια Ελέγχου του ΔΕ MR είναι αντιστοίχως

$$UCL = D_4 \overline{MR} = 3.267 \overline{MR}$$

$$LCL = D_3 \overline{MR} = 0 \quad \text{για } V=2.$$

Όπου  $d_3 = 0$  και  $d_4 = 3.267$  από τους Πίνακες του παραρτήματος Ι, τόμος Α, ΔΙΠ60.

## 4. Θεωρητικό Υπόβαθρο Σχεδιασμός Πειραμάτων

### 4.1. Εκτός Σειράς Έλεγχος Ποιότητας

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε μία σύντομη αναφορά στη σημασία και στη χρησιμότητα του ‘Έν Σειρά’ ελέγχου και το Σχεδιασμό Ελέγχου Διεργασίας (ΣΕΔ). Είναι αβίβωλα ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τον έλεγχο της σταθερότητας μιας διεργασίας, αλλά καθώς οι σύγχρονες απαιτήσεις για την συνεχή βελτίωση που επιχειρείται μέσω της Διαχείρισης Ολικής Ποιότητας ολοένα και αυξάνουν, τα οφέλη του ‘Έν Σειρά’ ελέγχου δεν είναι αρκετά. Η νέα τάση που τα τελευταία χρόνια καταλαμβάνει περισσότερο έδαφος είναι ο σχεδιασμός σε αρχικό στάδιο του πλάνου ποιότητας κάθε παραγωγικής διαδικασίας. Πριν καν ξεκινήσει η αρχική παραγωγή, στη φάση του αρχικού σχεδιασμού μιας διεργασίας ή κατά το στάδιο της αναδιαμόρφωσης και αναδιοργάνωσης της παραγωγικής διαδικασίας.

Έτσι η παραγωγή διαχωρίζεται από τις προσπάθειες αύξησης της ποιότητας διεργασιών και άρα των παραγόμενων προϊόντων. Η ποιότητα δεν αφορά μόνο στο τελικό στάδιο, της διαλογής και της τελευταίας επιθεώρησης, αλλά στο τελικό στάδιο φαίνονται τα αποτελέσματά της και μόνο. Πλέον εισάγεται στις επιχειρήσεις η έννοια της πρόληψης και της έγκυρης αντιμετώπισης των προβλημάτων ποιότητας στη φάση του σχεδιασμού του προϊόντος. Είναι ο λεγόμενος ‘Εκτός σειράς’ έλεγχος της ποιότητας (ΕΣΕΠ) και είναι ένας συνδυασμός σύγχρονων στατιστικών μεθόδων πειραματισμού και ανάλυσης, πριν την έναρξη της παραγωγής.

Η βασική καινοτομία των ΕΣΕΠ είναι ότι στοχεύουν στον εντοπισμό των τυχαίων παραγόντων που έχουν αντοχή στο χρόνο και δεν εντοπίζονται εύκολα και προκαλούν αύξηση της μεταβλητότητας. Οπότε ο ΕΣΕΠ στοχεύει στο να χαμηλώσει την επιρροή του ‘Θορύβου’ και να δημιουργήσει παραγωγικές διεργασίες και προϊόντα ανθεκτικά στο Θόρυβο. Στόχος δεν είναι να εξαιρεθεί ο Θόρυβος αλλά να περιοριστεί η επίδρασή του στην μεταβλητότητα της διεργασίας.

Επιπλέον, είναι σαφές ότι ο ‘Εκτός Σειράς’ έλεγχος της ποιότητας δεν μπορεί να προχωρήσει χωρίς να έχει προηγηθεί ο ‘Έν Σειρά’ έλεγχος που θα έχει βεβαιώσει αν η διεργασία είναι υπό έλεγχο ή απαιτούνται διορθωτικές ενέργειες και επανεξέταση. Με αυτό τον τρόπο θα έχουν πρώτα εξαλειφθεί τα ειδικά αίτια ώστε να είναι ξεκάθαρη η προσπάθεια βελτίωσης της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων και υπηρεσιών.

## 4.2. Εισαγωγή στη Θεωρία του Taguchi

Ο Ιάπωνας Δρ. Genichi Taguchi, μηχανικός Τηλεπικοινωνιών, είναι ο κύριος υπεύθυνος για την εμφάνιση και την καθιέρωση μεθόδων στατιστικής ελέγχου ποιότητας στο αρχικό στάδιο σχεδίασης μιας παραγωγικής διαδικασίας. Για αυτή του τη δράση του έχει άλλωστε απονεμηθεί τέσσερις (4) φορές το βραβείο Deming και έχει αναγορευτεί σε Διευθυντή της Ιαπωνικής Ακαδημίας Ποιότητας.

Ο Ιάπωνας μηχανικός εισήγαγε τον Σχεδιασμό Παραμέτρων (ΣΠ) που είναι μία χαρακτηριστική μέθοδος ΕΣΕΠ. Σύμφωνα με αυτήν, οι μηχανικοί ποιότητας εισάγουν και εφαρμόζουν στο αρχικό στάδιο της παραγωγής ή στη φάση αναδιαμόρφωσης της παραγωγικής διεργασίας Πειραματικό Σχεδιασμό (ΠΣ) συνδυαζόμενο με την Στατιστική Ανάλυση Διασποράς (ΣΑΔ) της διεργασίας για τον αρχικό ιδανικό στόχο της, υπό την επίδραση των συνήθων αιτίων (Παράγοντες Θορύβου, ΠΘ). Έτσι, προσδιορίζονται οι εύκολα ελέγξιμοι παράγοντες και οι τιμές τους ώστε να ελαχιστοποιηθεί η μεταβλητότητα στη διεργασία και να διατηρηθεί η απόδοση πλησίον της τιμής στόχου. Αυτοί οι παράγοντες ονομάζονται Παράγοντες Ελέγχου (ΠΕ) και όταν λαμβάνουν τις ιδανικές τιμές του το παραγόμενο προϊόν ή η υπηρεσία δεν θα επηρεάζεται ποιοτικά από τους Παράγοντες Θορύβου (ΠΘ) και θα μένουν πιστά στην τιμή στόχο. Αυτό οδηγεί στην επίτευξη της απομάκρυνσης του αρνητικού αποτελέσματος του αιτίου και όχι απαραίτητα στην απομάκρυνση του ίδιου το αιτίου.

## 4.3. Είδη Παραγόντων Θορύβου και Ελέγχου

Σύμφωνα με τον Taguchi οι Παράγοντες Θορύβου χωρίζονται σε :

- Εξωτερικούς Παράγοντες Θορύβου όπως είναι η θερμοκρασία και η υγρασία του περιβάλλοντος, η σκόνη, το ανθρώπινο δυναμικό που επεμβαίνει στην διεργασία κτλ και
- Εσωτερικούς Παράγοντες Θορύβου όπως είναι η καταπόνηση του εξοπλισμού και των προϊόντων λόγω χρήσης, οι ανοχές μεταξύ των εξαρτημάτων κτλ.

Για τον Taguchi οι επιδράσεις των ΠΘ μπορούν να ελαττωθούν με κατάλληλους συνδυασμούς των τιμών των ΠΕ, γιατί οι δεύτεροι είναι εύκολα και οικονομικά ελέγξιμοι ώστε να επιτραπεί η βελτίωση της παραγωγής.

Με την σειρά τους οι ΠΕ χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες σύμφωνα με τον Taguchi που είναι :

- Παράγοντες Ελέγχου του Θορύβου (ΠΕΘ) : πρόκειται για ΠΕ που επηρεάζουν σημαντικά τη μεταβλητότητα της διεργασίας. Εντοπίζονται με την ανάλυση του στατιστικού Μέτρου Επίδοσης του Θορύβου (ΜΘ) και το οποίο χαρακτηρίζει το βαθμό μεταβλητότητας στα εξερχόμενα αποτελέσματα του πειραματικού συνδυασμού των ΠΕ. Για παράδειγμα, η συνάρτηση της τυπικής απόκλισης των τιμών σε κάθε δοκιμή. Αναλύοντας στατιστικά το ΜΘ εντοπίζονται οι τιμές των ΠΕΘ από τις εξεταζόμενες οι οποίες είναι ιδανικότερες, δηλαδή εντοπίζεται ο συνδυασμός τιμών που διαφαίνεται ότι θα μειώσει στο ελάχιστο τη μεταβλητότητα της διεργασίας ή του παραγόμενου προϊόντος. Έτσι όσο μικρότερη είναι η μεταβλητότητα τόσο μικρότερη είναι και η τιμή της τυπικής απόκλισης  $\sigma$ .

- Παράγοντες Ελέγχου του Στόχου (ΠΕΣ) : πρόκειται για ΠΕ που επιδρούν σημαντικά στην αλλαγή της μέσης απόδοσης και όχι της μεταβλητότητας. Είναι γνωστοί ως Παράγοντες Σήματος (ΠΣ). Εντοπίζονται με την ανάλυση του στατιστικού Μέτρου Επίδοσης του Στόχου (ΜΣ) των εξερχόμενων αποτελεσμάτων κάθε συνδυασμού των ΠΕ. Συνήθως ως ΜΣ θεωρείται μία συνάρτηση της μέσης τιμής  $\mu$  των εξερχόμενων τιμών της πειραματικής δοκιμής. Αναλύοντας στατιστικά το ΜΣ εντοπίζεται η κατάλληλη κατεύθυνση που θα οδηγηθούν οι ΠΕΣ για να επιτευχθεί η ιδανική τιμή στόχος. Η απόδοση μεταβάλλεται γραμμικά ως προς τους ΠΕΣ.

- Παράγοντες Ελέγχου του Κόστους (ΠΕΚ) πρόκειται για ΠΕ που δεν επηρεάζουν ούτε τη μεταβλητότητα ούτε τη μέση τιμή αλλά εξετάζονται ως προς το οικονομικό συμφέρον και με βάση αυτό ορίζονται οι ιδανικές στάθμες τους.

#### 4.4. Μέτρα Επίδοσης Taguchi

Ο Taguchi έχοντας ως γνώμονα το επιθυμητό αποτέλεσμα της παραγωγικής διεργασίας (Λογοθέτης, 2001) προτείνει τα παρακάτω Μέτρα Επίδοσης του Θορύβου (ΜΕΘ):

- Όταν το προσδοκώμενο είναι μία τιμή στόχος σε σχέση με την απόδοση που είναι επιθυμητό ιδανικό μέτρο επίδοσης είναι ο *Λόγος Σήματος προς το Θόρυβο* και δίνεται από την σχέση

$ΔΣΘ = 10 \log_{10} \left( \frac{\bar{y}}{s} \right)^2$ , όπου  $\bar{y}$  και  $s$  είναι αντίστοιχα ο αριθμητικός μέσος και η τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων κάθε δοκιμής.

- Όταν το προσδοκώμενο είναι η χαμηλότερη τιμή να είναι ο στόχος προτείνεται το μέτρο  $n$  και δίνεται από την σχέση

$n = -10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{n} \sum y^2 \right\}$ ,  $n$  αναφέρεται στο πλήθος των παρατηρήσεων  $y$  σε κάθε πειραματική δοκιμή.

- Αντίθετα, όταν το προσδοκώμενο είναι όσο μεγαλύτερη τιμή τόσο καλύτερα προτείνεται το μέτρο  $\theta$  και δίνεται από την σχέση

$\theta = -10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{n} \sum y^{-2} \right\}$  όπου  $n$  αναφέρεται στο πλήθος των παρατηρήσεων  $y$  σε κάθε πειραματική δοκιμή.

- Τέλος, όταν το προσδοκώμενο έχει να κάνει με την ιδιότητα καλό ή κακό, συμμορφούμενο ή μη, επιτυχία ή αποτυχία, οπότε είναι ναι ή όχι, δυαδική μορφή προτείνεται το  $M\theta$  και δίνεται από την σχέση

$M\theta = -10 \log_{10} \left( \frac{p}{1-p} \right)$  όπου  $p$  είναι η πιθανότητα επιτυχίας.

#### 4.5. Πώς επιλέγεται το Κατάλληλο Μέτρο Επίδοσης

Είναι πολύ σημαντικό κατά την επιλογή των καταλληλότερων Μέτρων Επίδοσης να αποφεύγεται όσο τον δυνατόν η αλληλοεπικάλυψη μεταξύ των ΠΕΘ και ΠΕΣ. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται στο ελάχιστο ο κίνδυνος οποιoσδήποτε ΠΕ να είναι ταυτόχρονα και ΠΕΘ και ΠΕΣ.

Όσον αφορά στον ΜΣ συνήθως επιλέγεται ο αριθμητικός μέσος  $\bar{y}$  των αποτελεσμάτων των παρατηρήσεων κάθε πειραματικής δοκιμής γιατί καλύπτει τη μέση απόδοση στη δεδομένη



παραγωγική διαδικασία. Έτσι ο ΜΣ μπορεί να αναλυθεί και να οδηγήσει στον εντοπισμό των ΠΕ που επιδρούν στην απόδοση σε οποιαδήποτε συνθήκη παραγωγής (ΠΕΣ).

Από την άλλη με τον ΜΘ τα πράγματα είναι πιο σύνθετα. Το ΜΘ θεωρητικά θα πρέπει να εκφράζει μόνο το Θόρυβο, δηλαδή τη μεταβλητότητα στην απόδοση και αυτό δεν συμβαίνει σε όλες τις περιπτώσεις με τα ΜΘ τα προτεινόμενα από τον Taguchi. Για παράδειγμα το μέτρο ΛΣΘ που δίνεται από την ποσότητα  $(10 \log_{10} (\frac{\bar{y}}{s})^2)$  είναι εφαρμόσιμο μόνο όταν η διασπορά  $s^2$  συνδέεται με το μέσο όρο  $\bar{y}$  των αποτελεσμάτων της δοκιμής με τη σχέση  $s = k\bar{y}$ , δηλαδή όταν συνδέονται γραμμικά. Έτσι η επίδραση του  $\bar{y}$  στην ποσότητα εξαλείφεται και το μέτρο αφορά μόνο στο Θόρυβο επί της απόδοσης.

Αντίστοιχα, για το μέτρο  $\theta$  για το στόχο 'όσο μεγαλύτερη τιμή τόσο καλύτερη' σχέση που δίνεται από τη σχέση

$$\theta = -10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{n} \sum y^{-2} \right\} = -10 \log_{10} \left\{ 3 \frac{s^2}{\bar{y}^4} + \frac{1}{\bar{y}^2} \right\}$$

όπου είναι εμφανής η επίδραση του μέσου στο μέτρο επίδοσης.

Στο ΜΘ που προτείνει ο Ιάπωνας μηχανικός για όταν 'η χαμηλότερη τιμή είναι η καλύτερη τιμή' διαπιστώνεται σύγχυση των επιδράσεων που προκαλούνται με τις αλλαγές του  $\bar{y}$  των αποτελεσμάτων της δοκιμής με τις αντίστοιχες επιδράσεις λόγω αλλαγών της διασποράς  $s^2$ . Η σύγχυση είναι εντονότερη για  $\bar{y} \gg s^2$  (πολύ μεγαλύτερο). Σε αυτές τις περιπτώσεις το  $\bar{y}$  επικρατεί στο μέτρο και η ανάλυση του τείνει να είναι όμοια με την ανάλυση του ΜΣ και αυτό προκαλεί σύγχυση μεταξύ ΠΕΣ και ΠΕΘ, όπως φαίνεται και από την σχέση για την τιμή του μέτρου  $n$  παρακάτω :

$$n = -10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{n} \sum y^2 \right\} = -10 \log_{10} \left\{ (\bar{y})^2 + \frac{n-1}{n} s^2 \right\}$$

Αυτό που είναι ιδιαιτέρως σημαντικό είναι ότι η λύση προκύπτει αν αντί για τα αρχικά δεδομένα των δοκιμών χρησιμοποιηθεί μοντέλο T που θα εξασφαλίζει το πιο απλό δυνατό μοντέλο, συνήθως γραμμικό της απόδοσης και των ΠΕ και την απεξάρτηση του ΜΘ από το  $\bar{y}$ . Ο μέσος  $\mu_T$  δεν σχετίζεται με τη διασπορά  $\sigma_T^2$  και ο προσδιορισμός των ΠΕΘ και ΠΕΣ γίνεται ευκολότερα με την ανάλυση της διασποράς και του μέσου όρου των αποτελεσμάτων σε κάθε πειραματική δοκιμή, δηλαδή

$$M\Theta = -10 \log_{10}(s_T^2) \quad \text{και} \quad M\Sigma = \bar{y}_T$$

#### 4.6. Στάδια Εφαρμογής Μεθόδων του Taguchi

Όπως περιγράφεται και στον Τόμο Γ, της ΔΙΠ60, Γεωργακάκος 2001 ο Taguchi προτείνει έξι (6) στάδια για την έρευνα και τη μελέτη για το Στατιστικό Πειραματισμό τα οποία αναφέρονται επιγραμματικά στην συνέχεια :

- 1ο Στάδιο : Ορισμός Προβλήματος και Στόχος Έρευνας κατά τον οποίο είναι σημαντικό να εντοπιστεί και να διατυπωθεί το πρόβλημα που πρέπει να επιλυθεί και να προσδιοριστεί σαφώς το αποτέλεσμα που αναμένεται να επιτευχθεί μετά την ολοκλήρωση του πειράματος. Σε αυτή τη φάση προσδιορίζονται ξεκάθαρα τα χαρακτηριστικά που θα μετρηθούν (λειτουργίες προϊόντος, αποδόσεις ή επιδόσεις παραγωγής) που απαιτείται να μελετηθούν και ορίζεται η μέθοδος μέτρησης. Ενδέχεται να απαιτηθεί ένα επιπλέον πείραμα για να επιβεβαιωθεί η αξιοπιστία της μέτρησης.
- 2ο Στάδιο : Σύγκλιση Εμπειρογνομώνων (Brain Storming) κατά τον οποίο όλοι οι εμπλεκόμενοι με την παραγωγική διαδικασία εκφράζουν τις απόψεις και τις ιδέες τους με την τεχνική του ‘καταιγισμού ιδεών’. Στόχος είναι να εντοπιστούν όλοι οι ΠΕ και ΠΘ και να προσδιοριστούν οι στάθμες τους (επίπεδα) που θα χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια του πειράματος. Επιπλέον, ορίζεται το επίπεδο σημαντικότητας που θα χρησιμοποιηθεί κατά τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του πειράματος. Θα εξεταστούν παράγοντες που αφορούν στο προϊόν αλλά και στα μέσα παραγωγής. Τέλος, εξετάζονται αλληλεπιδράσεις μεταξύ των εξεταζόμενων παραγόντων με τη μέθοδο των υποθέσεων, στοιχείο χρήσιμο για τη μετέπειτα επιλογή του Πειραματικού Σχεδιασμού.
- 3ο Στάδιο : Σχεδιασμός Πειραμάτων κατά τον οποίο προσδιορίζεται ο Πειραματικός Σχεδιασμός που θα χρησιμοποιηθεί για τους ΠΕ. Πρόκειται για μία ‘Εσωτερική Διάταξη’ που συνηθίζεται να είναι ένας κλασματικός και ορθογώνιος σχεδιασμός ( $d$  συνδυασμοί για τις στάθμες) για οικονομία στις δοκιμές που απαιτούνται. Για την επίδραση των ΠΘ στην παραγωγή γίνεται εξομοίωση με ένα δεύτερο σχεδιασμό την ‘εξωτερική διάταξη’. Στην περίπτωση που αριθμός των ΠΘ και των επιπέδων τους είναι μεγάλος, γίνεται επιλογή ενός δευτέρου κλασματικού σχεδιασμού που θα περιορίσει τις απαιτούμενες δοκιμές. Έτσι, καθένας από τους  $m$  συνδυασμούς στάθμων για τους ΠΕ εκτελείται τόσες φορές όσοι οι συνδυασμοί των στάθμων των ΠΘ (έστω  $n$ ). Οπότε  $d*n$  μετρήσεις στο σύνολο.

- 4<sup>ο</sup> Στάδιο : Εκτέλεση Πειραμάτων και Συλλογή Δεδομένων κατά το οποίο εκτελείται πείραμα πριν αρχίσει η παραγωγή ή ανεξάρτητα από αυτήν, με βάση το σχεδιασμό του 3ου σταδίου. Γίνεται λεπτομερής και αναλυτική καταγραφή των εξερχόμενων μετρήσεων του πειράματος ώστε να εντοπιστούν στην στατιστική ανάλυση.

- 5<sup>ο</sup> Στάδιο : Στατιστική Ανάλυση κατά την οποία λαμβάνονται τα αποτελέσματα όλων των μετρήσεων των συνδυασμών  $d \cdot n$  και χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν οι κατάλληλοι ΜΘ και ΜΣ. Έτσι υπολογίζονται οι  $d$  τιμές για τα ΜΘ και ΜΣ που στην συνέχεια αναλύονται στατιστικά ώστε να προσδιορίσουν :

- ποιοι είναι οι ΠΕΘ και σε ποιες ιδανικές στάθμες τους επιδρούν με μείωση της μεταβλητότητας.

- ποιοι είναι οι ΠΕΣ και προς τα πού είναι βέλτιστο να κινηθούν για την επίτευξη του στόχου.

Όσοι από τους ΠΕ δεν ξεχωρίσουν ως ΠΕΘ ή ως ΠΕΣ θα χαρακτηριστούν ΠΕΚ και θα χρησιμοποιηθούν στην οικονομικότερη στάθμη τους.

- 6<sup>ο</sup> Στάδιο : Επιβεβαίωση κατά το οποίο μετά την ολοκλήρωση του καταλληλότερου συνδυασμού των τιμών των ΠΕ ακολουθεί το ‘Πείραμα Επιβεβαίωσης’. Σε αυτή τη φάση χρησιμοποιούνται οι τιμές στο ΠΕ που προέκυψαν στα προηγούμενα στάδια με βάση τις οποίες αναμένεται η μείωση της μεταβλητότητας και η διατήρηση της σταθερότητας της παραγωγής πλησίον του στόχου με όσο το δυνατόν πιο μικρό κόστος. Στην περίπτωση που τα παραπάνω δεν επαληθευτούν θα πρέπει να επαναληφθεί όλο το πρόγραμμα από την αρχή. Έτσι ορίζουν άλλωστε και οι αρχές του Deming για την προσπάθεια συνεχούς επιδίωξης για βελτίωση της ποιότητας στο σύνολο των σταδίων της παραγωγικής διαδικασίας.

## **5. Εφαρμογή Μεθόδων Στατιστικής στην εν λόγω επιχείρηση**

### **5.1. Περιγραφή Δεδομένων για τον Εν Σειρά Έλεγχο**

Έχει αποφασιστεί να αναλυθεί η διαδικασία σιροπιάσματος (κουφετοποίησης), δηλαδή η επίστρωση σιροπιού ζάχαρης επί του αλευρωμένου αμυγδάλου με τη χρήση μεθόδου Σχεδιασμού Παραμέτρων των τεχνικών Πειραματικού Σχεδιασμού του Taguchi. Πρόκειται για έναν ‘Εκτός Σειράς’ Έλεγχο όπως έχει ήδη αναφερθεί. Πριν όμως ξεκινήσει ο Σχεδιασμός του Πειράματος θα πρέπει να ελεγχθεί και να επιβεβαιωθεί η εν λόγω διαδικασία ως προς την σταθερότητά της. Εάν δεν υφίσταται αυτή η παραδοχή ο Πειραματικός Σχεδιασμός δεν έχει λόγο να εκτελεστεί.

Έτσι επιλέγεται να μελετηθεί με στατιστική ανάλυση ένας παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά της σταθερότητα της διεργασίας, το ‘σιρόπιασμα’. Πρόκειται για τη παρασκευή του σιροπιού ζάχαρης που θα χρησιμοποιηθεί κατά τη διαδικασία της εφαρμογής της λευκής επίστρωσης στα αλευρωμένα αμύγδαλα. Το σιρόπι ζάχαρης εισέρχεται στο καζάνι που περιστρέφεται το οποίο θερμαινόμενο επιπλέον με το θερμό αέρα επικάθεται στα αμύγδαλα που περιφέρονται στο εσωτερικό του καζανιού. Οπότε είναι αναμενόμενο η σύσταση και η ομοιογένεια του σιροπιού να είναι καθοριστικής σημασίας για την έκβαση του συγκεκριμένου σταδίου, της επικάλυψης ζάχαρης.

Η διαδικασία της προετοιμασίας του σιροπιού είναι καθοριστικής σημασίας και πρέπει να εμφανίζει σταθερότητα. Για παράδειγμα ένα ανομοιογενές μείγμα θα επηρεάσει την υφή των επιστρώσεων του σιροπιού στα αμύγδαλα με διάφορες συνέπειες. Μπορεί να υπάρξουν σβόλοι επί της λευκής επίστρωσης και πιθανότητα εγκλωβισμού αέρα, γεγονός που θα έχει σαν αποτέλεσμα μια σαθρή επικάλυψη που θα αποκολλάται από το αμύγδαλο. Από την άλλη αν η πυκνότητα του σιροπιού δεν είναι σταθερή από παραγωγή σε παραγωγή οι χρόνοι και η διαδικασία σιροπιάσματος συνεχώς θα μεταβάλλονται και αυτό θα έχει ως επακόλουθο τη συνεχή μεταβολή του αποτελέσματος της διεργασίας του μελετάμε.

Άρα το ενδιαφέρον στρέφεται στην πυκνότητα ή αλλιώς στο βαθμό κορεσμού του σιροπιού. Για να γίνει όμως λίγο πιο κατανοητό αναφέρεται ότι ανάλογα με το βαθμό κορεσμού υπάρχουν στην ζαχαροπλαστική τρία (3) είδη σιροπιών :

- Σιρόπια κάτω των 30° βαθμών, τα υποκορεσμένα με αυξημένο κίνδυνο αλλοιώσεων. Υποκορεσμένο είναι ένα διάλειμμα μέσα στο οποίο μπορεί να διαλυθεί και άλλη ζάχαρη από όση περιέχει ήδη.
- Σιρόπια 30°-32° βαθμών, τα κορεσμένα με ιδανική αναλογία ζάχαρης με νερό. Κορεσμένο είναι ένα διάλειμμα το οποίο περιέχει ακριβώς τη ζάχαρη που μπορεί να διαλυθεί μέσα του.
- Σιρόπια άνω των 32° βαθμών, τα υπερκορεσμένα με κίνδυνο ανακρυστάλλωσης. Υπερκορεσμένο είναι ένα διάλειμμα που περιέχει μεγαλύτερη ποσότητα ζάχαρης από όσο μπορεί να διαλυθεί μέσα του.

Πώς μετριέται όμως ο βαθμός του σιροπιού και τι σημαίνει; Ως βαθμοί σιροπιού αναφέρονται οι βαθμοί κλίμακας Brix. Οι βαθμοί Brix εκφράζουν τα γραμμάρια ζάχαρης ανά ένα κιλό διαλείμματος, σαν ποσοστό επί της 100. Αυτή η τιμή είναι γνωστή αλλιώς με τον όρο *Γράδα* και μετριέται με γραδόμετρο ή διαθλασίμετρο ή άλλο όργανο μέτρησης σακχάρων.

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω στη συγκεκριμένη περίπτωση επιθυμητός στόχος είναι να στερεοποιηθεί το σιρόπι, άρα στην ουσία να παραχθεί ένα υπερκορεσμένο διάλειμμα ζάχαρης. Απαιτείται να έχει περίπου 70° Brix σε θερμοκρασία των 50 βαθμών κελσίου πριν να εισέρθει στο καζάνι για την επεξεργασία του σιροπιάσματος. Με γνώμονα την ιδιαιτερότητα του σταδίου η επιχείρηση προμηθεύτηκε συσκευή αυτόματης ανάμιξης και προετοιμασίας του μείγματος σιροπιού που αναμειγνύει αυτόματα ζάχαρη και νερό και τα θερμαίνει σε καθορισμένο χρόνο.

Η προμήθεια αυτή έχει αποδειχθεί πολύ χρήσιμη λόγω εξοικονόμησης εργατοωρών και κόστους. Παρόλα αυτά δεν φέρει ενσωματωμένο κάποιο γραδόμετρο οπότε δεν προσφέρει καμία προειδοποίηση αν η τιμή της πυκνότητας του σιροπιού δεν είναι η επιθυμητή σε περίπτωση αστοχίας του εν δείκτη ποσότητας ζάχαρης ή νερού ή του θερμοστάτη. Οπότε υπάρχει πιθανότητα το παρασκευασμένο σιρόπι να μην πληροί την απαιτούμενη πυκνότητα και να αλλοιώσει το αποτέλεσμα της διεργασίας, κάτι το οποίο θα είναι επιζήμιο τόσο για την ποιότητα όσο και για το κόστος.

Για να διασφαλιστεί η σταθερότητα της διεργασίας ‘προετοιμασία σιροπιού’ χρησιμοποιήθηκε ένα κατάλληλο Διάγραμμα Ελέγχου (ΔΕ), πριν τη διαδικασία του Πειραματικού Σχεδιασμού. Αφού διασφαλιστεί η σταθερότητα του εν λόγω σταδίου της

διεργασίας και μετά την ολοκλήρωση του πειράματος το συγκεκριμένο εργαλείο στατιστικής ανάλυσης μπορεί να χρησιμοποιείται από την παραγωγή για να βεβαιώνεται ότι η παραγωγική διαδικασία βρίσκεται εντός ελέγχου.

## 5.2. Εφαρμογή Διαγράμματος Ελέγχου

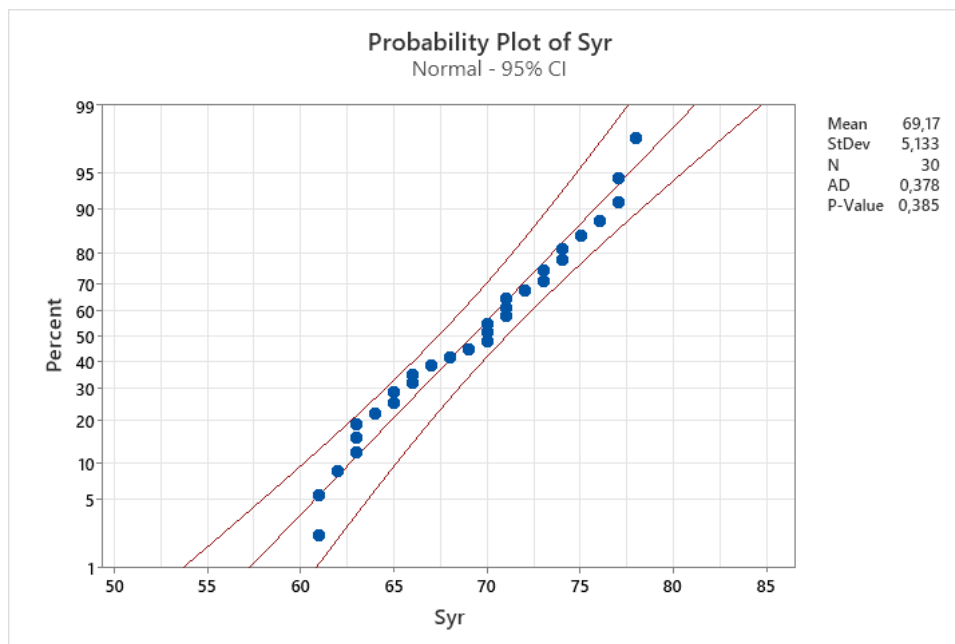
Με στόχο να πιστοποιηθεί η διεργασία ‘προετοιμασία σιροπιού ζάχαρης’ κάθε φορά που προετοιμάζεται το μείγμα για την κουφετοποίηση μετριοούνται οι βαθμοί σιροπιού με τη χρήση γραδόμετρο. Οι μετρήσεις λαμβάνονται αμέσως πριν την είσοδο του σιροπιού στο καζάνι και αυτό γιατί έχει υπολογιστεί ότι καθώς τρέχει η διαδικασία της κουφετοποίησης (για περίπου μισή ώρα που διαρκεί) θα μειώνεται η θερμοκρασία του σιροπιού αλλά δεν θα επηρεάζεται η εφαρμογή του επί των αμυγδάλων αν οι αρχικοί του βαθμοί πριν την είσοδο είναι γύρω στους 70° Brix. Οπότε η επιθυμητή τιμή ορίζεται στους 70° Brix. Οι παρατηρήσεις ενός (1) μήνα φαίνονται στον Πίνακα 1 στη συνέχεια.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ΤΙΜΗ	65	71	67	61	66	74	70	64	78	62	68	69	70	63	73
MR		6	4	6	5	8	4	6	12	16	6	1	1	7	10
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ΤΙΜΗ	76	71	70	73	61	75	77	71	74	77	63	65	63	72	66
MR	3	5	1	2	12	14	2	6	3	3	13	2	2	9	6

Πίνακας 1 Παρατηρήσεις τιμών μέτρησης βαθμού BRIX σιροπιού

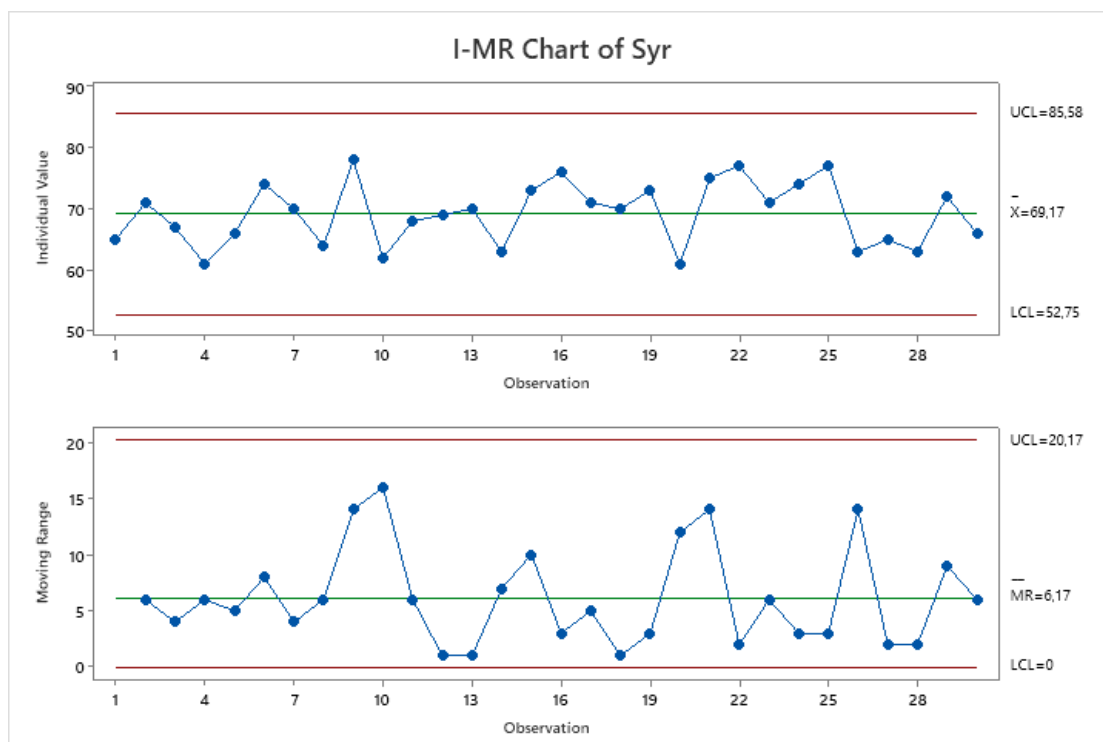
Επειδή οι μετρήσεις που αποτυπώνονται στον παραπάνω πίνακα είναι μεμονωμένες τιμές σε σχέση με τη χρονική στιγμή της κάθε παρατήρησης το κατάλληλο Διάγραμμα Ελέγχου (ΔΕ) είναι το Διάγραμμα Ελέγχου Μεμονωμένων Τιμών και Κινούμενο Εύρους (Control Chart for Individuals and Moving Range). Αρχικά θα πρέπει να ελεγχθεί αν οι παρατηρήσεις των βαθμών πυκνότητας του σιροπιού ανήκουν κατά προσέγγιση σε κανονική κατανομή. Ο έλεγχος θα γίνει μέσω του minitab ακολουθώντας τη διαδικασία *Graph>Probability*

Plot>Single και εισάγοντας στο εδάφιο *Graph Variables* τη στήλη που έχουν τοποθετηθεί οι 30 διαθέσιμες μετρήσεις. Θα προκύψει το παρακάτω διάγραμμα στην Εικόνα 6.



Εικόνα 6 Διάγραμμα Κατανομής Τιμών Μέτρησης Βαθμού Σιροπιού

Επισημαίνεται ότι επειδή πρόκειται για μεμονωμένες τιμές δεν ισχύει το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα (ΚΟΘ) οπότε το  $\Delta E I - MR$  θα στηριχθεί στην υπόθεση της κανονικότητας. Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι η κατανομή των δεδομένων προσεγγίζει ικανοποιητικά την κανονική κατανομή. Αναλυτικότερα, η υπόθεση της κανονικότητας είναι αποδεκτή σε επίπεδο εμπιστοσύνης  $\alpha=0,05$  για  $P Value=0.385$  ( $P>\alpha$ ). Η υπόθεση κανονικότητας των μετρήσεων έχει πιστοποιηθεί και θα ακολουθήσει η κατασκευή του διαγράμματος ελέγχου με μήκος του κινούμενου εύρους την τιμή  $V=2$  δηλαδή θα εξεταστούν οι διαφορές μεταξύ παρακείμενων παρατηρήσεων και μόνος στόχος είναι να εντοπιστεί η εμφάνιση του ειδικού αίτιου, στην προκειμένη περίπτωση κάποιας αστοχίας στην συσκευή προετοιμασίας σιροπιού, όσο το δυνατόν πιο γρήγορα. Ακολουθείται η διαδικασία *Stat>Control Charts>Variables Charts For Individuals>I-MR* στο Minitab, και προκύπτει το σχήμα 5.2.



**Εικόνα 7 Διάγραμμα I-MR Τιμών Μέτρησης Βαθμού Σιροπιού**

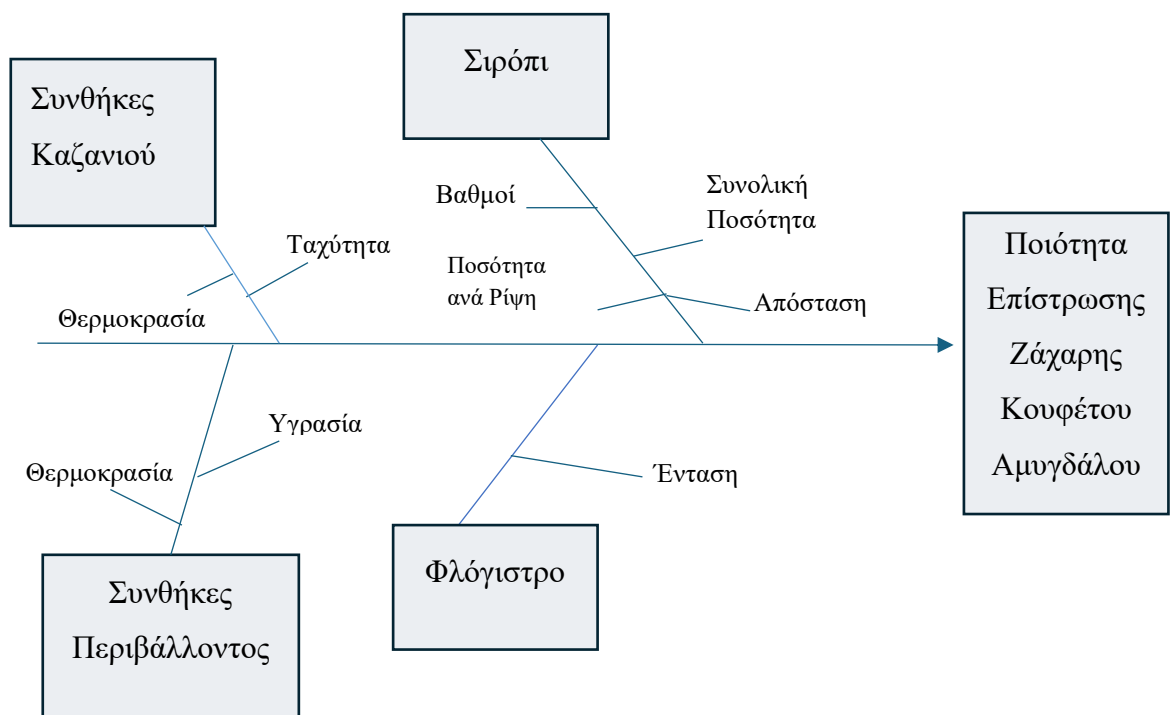
Όπως προκύπτει από το ΔΕ της Εικόνας 7 δεν εντοπίζεται κάποιο ανησυχητικό σημείο. Δεν παρατηρείται η ύπαρξη κάποιου σημείου εκτός των ΟΕ ούτε κάποιο μοτίβο που υπονοεί ότι η διαδικασία είναι εκτός ελέγχου από τα εξερχόμενα το Minitab. Οπότε η διεργασία ‘προετοιμασία του διαλύματος σακχάρου (σιροπιού)’ παρατηρείται ότι είναι εντός ορίων, δηλαδή είναι υπό έλεγχο και διασφαλίζεται η σταθερότητά της. Θεωρείται πλέον Δεδομένο Πρότυπο με δεδομένα Όρια Ελέγχου. Με αυτά τα όρια θα πιστοποιείται η διεργασία ‘προετοιμασία σιροπιού’ κατά την μετέπειτα εκτέλεση του πειράματος και θα ελέγχεται η πιθανότητα ύπαρξης ειδικού αιτίου αν εμφανιστεί κάποια τιμή βαθμού σιροπιού ανώτερη των 85°. Εάν συμβεί αυτό θα γίνει άμεσα αντιληπτή η απαίτηση για διακοπή της διεργασίας και η λήψη διορθωτικών ενεργειών προτού επηρεαστεί η ποιότητα της συνολικής διεργασίας.

### 5.3. Σχεδίαση Πειράματος

Αφού διασφαλίστηκε η σταθερότητα της διεργασίας σιροπιάσματος ακολουθεί η σχεδίαση του πειράματος. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο οι υπεύθυνοι Διαχείρισης



Ποιότητας της επιχείρησης μαζί με το εμπλεκόμενο προσωπικό (τεχνίτες κουφετοποίησης) προσδιόρισαν ότι η διεργασία που χρήζει μελέτης είναι αυτή της επίστρωσης επικάλυψης της ζάχαρης στα αλευρωμένα αμύγδαλα. Στην συνέχεια ακολούθησε εκ νέου συζήτηση με το υπεύθυνο προσωπικό που ειδικεύεται σε αυτή την διεργασία και τους Υπεύθυνους Διαχείρισης Ποιότητας ώστε να αναλυθούν οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την διαδικασία σιροπιάσματος και να αλλοιώσουν το ποιοτικό αποτέλεσμα. Οι παράγοντες που εντοπίστηκαν φαίνονται στην Εικόνα 8



Εικόνα 8 Αποτελέσματα Τελικού ‘Καταιγισμού Ιδεών’

Αφού επιλέχθηκαν οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την διεργασία σιροπιάσματος αποφασίστηκε η κατηγοριοποίηση τους σε Παράγοντες Ελέγχου (ΠΕ) και σε Παράγοντες Θορύβου (ΠΘ). Στην συνέχεια θα αναφερθούν επιγραμματικά παρακάτω :

✓ Η συνολική ποσότητα του σιροπιού που χρησιμοποιείται για την επίστρωση (ΤQ). Η ποσότητα σιροπιού που θα χρησιμοποιηθεί συνολικά επηρεάζει το πάχος της επίστρωσης, δηλαδή της επικάλυψης ζάχαρης του κουφέτου. Πρέπει να είναι σταθερή χωρίς πολλές διακυμάνσεις, καθώς μικρότερη ποσότητα της προβλεπόμενης θα έχει σαν αποτέλεσμα την ύπαρξη μιας λεπτής επικάλυψης και την αλλοίωση της γεύσης και της υφής του κουφέτου. Αντίθετα, η επιπλέον ποσότητα σιροπιού μπορεί να αυξήσει την σκληρότητα του κουφέτου

γεγονός που δυσκολεύει την κατανάλωση του (δάγκωμα). Είναι ένας παράγοντας που μπορεί να ελεγχθεί εύκολα και ανέξοδα (αρκεί μια ζυγαριά) για αυτό και κατατάσσεται στους ΠΕ.

✓ Η ποσότητα σιροπιού που προστίθεται σταδιακά ( $Q$ ) (ποσότητα σιροπιού ανά ρίψη).

Το σιρόπι δεν εισέρχεται στα καζάνια όλο μαζί αλλά προστίθεται σταδιακά σε μικρές ποσότητες με τη χρήση αντίστοιχου σκεύους (π.χ βαθιά κουτάλα). Ο λόγος είναι ότι η αργή και προσεκτική ρίψη σιροπιού επιτρέπει την ομοιόμορφη επίστρωση της ζάχαρης και την συνολική καλή επικάλυψη του κουφέτου. Επίσης η ποσότητα που θα προστίθεται σε κάθε ρίψη ρυθμίζεται, οπότε θεωρείται ΠΕ.

✓ Η απόσταση ρίψης του σιροπιού ( $D$ ). Η απόσταση από την οποία προστίθεται το σιρόπι στο καζάνι επηρεάζει το πάχος της επικάλυψης καθώς από όσο πιο ψηλά γίνεται η ρίψη τόσο μεγαλύτερη θα είναι η διάχυση του στα τοιχώματα του καζανιού παρά στα αμύγδαλα. Δηλαδή τόσο λιγότερο σιρόπι θα φτάνει στην επικάλυψη του κουφέτου. Με κατάλληλη εκπαίδευση του προσωπικού μπορεί να ρυθμιστεί η απόσταση ρίψης του σιροπιού χωρίς κόστος και πολύπλοκες διαδικασίες, οπότε θεωρείται ένας ΠΕ.

✓ Η ταχύτητα περιστροφής του καζανιού ( $To$ ). Η ταχύτητα περιστροφής του καζανιού μπορεί να ρυθμιστεί σε διάφορες τιμές έτσι ώστε να επηρεάζει την ομοιόμορφη κατανομή του σιροπιού πάνω στα αμύγδαλα. Η γρήγορη περιστροφή του καζανιού μπορεί να επιταχύνει το χρόνο επίστρωσης του σιροπιού αλλά μπορεί να αλλοιώσει την ποιότητα του αποτελέσματος (κάποια κουφέτα μπορεί να χτυπηθούν στα τοιχώματα των καζανιών). Επίσης, και η αργή ταχύτητα περιστροφής δεν επιδιώκεται γιατί δεν επιτρέπει την ομοιόμορφη εφαρμογή των στρώσεων ζάχαρης. Η ταχύτητα επιλέγεται από τον πίνακα ελέγχου της κουφετιέρας και άρα θεωρείται ένας εύκολα ελέγξιμος ΠΕ.

✓ Η εσωτερική θερμοκρασία του καζανιού ( $F$ ) : Η σταδιακή ρίψη του σιροπιού και στη συνέχεια η εφαρμογή του επί του αμυγδάλου σε στρώσεις γίνονται υπό ελεγχόμενη θερμοκρασία. Απαιτείται η διατήρηση της θερμοκρασίας σε σταθερό επίπεδο ώστε να μπορεί το σιρόπι να επεξεργάζεται ('δουλεύεται') όσο το δυνατόν στην ίδια θερμοκρασία ώστε να μην υπερθερμανθεί και μεταβληθεί η πυκνότητά του ( η γράδα του) γεγονός που θα επηρέαζε την υφή του. Η θερμοκρασία ελέγχεται με θερμόμετρο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας και ρυθμίζεται από τον τεχνίτη με τον έλεγχο της εισροής αέρα μέσω ενός αεραγωγού στο πάνω τμήμα του καζανιού. Οπότε πρόκειται για ένα ΠΕ ελέγξιμο χωρίς ιδιαίτερο κόστος ή δυσκολία.

✓ Η ένταση του φλόγιστρου ( $F$ ) : Παράλληλα, η αύξηση ή διατήρηση της θερμοκρασίας εντός του καζανιού επιτυγχάνεται με ένα φλόγιστρο που βρίσκεται στο κάτω μέρος του. Η ένταση της φωτιάς παίζει καθοριστικό ρόλο καθώς η πιθανότητα υπερθέρμανσης στο εσωτερικό του καζανιού μπορεί να προκαλέσει απότομη άνοδο της θερμοκρασίας στο σιρόπι και να το μετατρέψει σε καραμέλα, να το κολλήσει στα τοιχώματα του καζανιού και να καταστρέψει όλη την παρτίδα κουφέτων, αφού είτε θα κολλήσουν μεταξύ τους είτε θα χτυπηθούν κάτι το οποίο δεν είναι επιθυμητό. Ο έλεγχος της εσωτερικής θερμοκρασίας γίνεται συνεχώς με τη μέτρηση με θερμόμετρο σε όλο το στάδιο, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Η ένταση του φλόγιστρου ελέγχεται εύκολα με το ρυθμιστή της φλόγας οπότε θεωρείται ένας ΠΕ.

✓ Η υγρασία του περιβάλλοντος ( $H$ ) : Οι κουφετιέρες (καζάνια) εντός των οποίων γίνεται το σιρόπιασμα είναι τοποθετημένες σε χώρο του εργοστασίου που επηρεάζεται από τις εξωτερικές συνθήκες περιβάλλοντος, την υγρασία και τη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία εντός του καζανιών ρυθμίζεται και ελέγχεται, όπως αναφέραμε προηγουμένως. Αλλά το γεγονός ότι είναι ανοιχτά (τα καζάνια) αλλά και ότι ο αέρας που εισέρχεται από τον αεραγωγό στο πάνω μέρος των καζανιών είναι ο εξωτερικός αέρας (π.χ. ένας υγρός αέρας) δεν μπορεί παρά να επηρεάσει τις συνθήκες στις οποίες συμβαίνει η διεργασία. Εξάλλου η περιοχή στην οποία βρίσκεται το εργοστάσιο έχει υψηλή υγρασία αρκετές μέρες το χρόνο λόγω της θάλασσας (Θεσσαλονίκη) και μεγάλες αλλαγές θερμοκρασίες μέσα στη μέρα. Από την μέχρι τώρα εμπειρία των υπευθύνων της εταιρείας έχει διαπιστωθεί ότι οι αλλαγές στην υγρασία επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα. Ιδανική θα ήταν η μόνωση του χώρου από τις περιβαλλοντικές συνθήκες αλλά πρόκειται για ένα έργο υψηλού κόστους που απαιτεί χρόνο για να υλοποιηθεί. Είναι στα σχέδια της επιχείρησης η εγκατάσταση ενός μόνιμου συστήματος ελέγχου περιβαλλοντικών συνθηκών με ό,τι αυτό συνεπάγεται (προμήθεια, εγκατάσταση, προετοιμασία χώρου, εκπαίδευση εργαζομένων και συντήρηση) αλλά προς το παρόν αυτό δεν είναι εφικτό. Οπότε ο παράγων υγρασία θα αντιμετωπιστεί ως ΠΘ.

✓ Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ( $T$ ) : Η θερμοκρασία θα αντιμετωπιστεί επίσης ως ΠΘ για όλους τους λόγους που αναφέρθηκαν και για την περίπτωση της υγρασίας.

✓ Η κατάσταση του σιροπιού ( $G$ ) : Όπως είπαμε το σιρόπι ελέγχεται μετρώντας τους βαθμούς *Brix* (βαθμοί γράδας) και στην ουσία ελέγχεται η πυκνότητά του. Το σιρόπι αποτελεί ένα πολύ βασικό παράγοντα για την έκβαση της διεργασίας της κουφετοποίησης. Το στάδιο της προετοιμασίας σιροπιού και άρα η ρύθμιση της πυκνότητας ελέγχθηκε με  $\Delta E$   $I-MR$  σε προηγούμενη ενότητα και διαπιστώθηκε ότι είναι εντός ελέγχου. Έχει διαπιστωθεί

από την εμπειρία των υπευθύνων της εταιρείας ότι η υφή του σιροπιού μεταβάλλεται καθώς αλλάζει η θερμοκρασία του καθώς περνάει ο χρόνος κατά την διεργασία του σιροπιάσματος γεγονός που επηρεάζει έντονα την διεργασία εάν δεν εντοπιστεί έγκυρα. Για παράδειγμα, λόγω μιας πιθανής αστοχίας του θερμοστάτη που ελέγχει την θερμοκρασία του σκεύους μέσα στο οποίο διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία το σιρόπι ή λόγω των απωλειών θερμότητας εξαιτίας του ότι το σκεύος είναι ανοιχτό στο πάνω μέρος του (χωρίς καπάκι) κατά την διάρκεια της διεργασίας και προφανώς η απώλεια θερμοκρασίας επηρεάζεται από την εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος. Και καθώς η όποια μεταβλητότητα που μπορεί να προκληθεί από τα ανωτέρω στο σιρόπι μπορεί να επηρεάσει μη ελεγχόμενα τη διαδικασία, θα αντιμετωπιστεί ως Θόρυβος. Άρα προκύπτει ένας ακόμα ΠΘ.

Όπως προκύπτει από τα ανωτέρω εντοπίστηκαν εννιά (9) παράγοντες που επιδρούν στην ποιότητα της διεργασίας σιροπιάσματος του κουφέτου αμυγδάλου, έξι (6) εκ των οποίων αντιμετωπίζονται ως Παράγοντες Ελέγχου (ΠΕ) και τρεις (3) ως Παράγοντες Θορύβου (ΠΘ). Στη συνέχεια θα προσδιοριστούν τα επίπεδα (στάθμες) των παραγόντων στα οποία θα εφαρμοστεί το πείραμα και έπειτα θα επιλεγεί ο κατάλληλος Πειραματικός Σχεδιασμός για τους ΠΕ και ΠΘ, δηλαδή θα επιλεγούν η εσωτερική και η εξωτερική διάταξη του πειράματος.

Οι παράγοντες ελέγχου είναι ποσοτικοί αφού τα επίπεδά τους λαμβάνουν αριθμητικές τιμές. Με στόχο τον περιορισμό της εκτέλεσης πολλών δοκιμών ο κάθε παράγοντας θα ελεγχθεί στις ακραίες τιμές του, δηλαδή στη μικρότερη και στη μεγαλύτερη ώστε να εντοπιστούν οι βασικές μεταβολές για το πείραμα. Άλλωστε αυτό είναι ένα από τα πλεονεκτήματα του Πειραματικού Σχεδιασμού, η ανάδειξη της βέλτιστης τιμής για τους παράγοντες που μελετώνται. Επιπλέον, για την εν λόγω διεργασία του σιροπιάσματος, ο περιορισμός των δοκιμών κατά την εκτέλεση του πειράματος είναι καίριας σημασίας αφού με αυτόν τον τρόπο μειώνεται αισθητά ο χρόνος που απαιτείται για το πείραμα. Πιο συγκεκριμένα, δεν είναι εφικτό να δεσμευτεί ο χώρος και οι πόροι της επιχείρησης μόνο για την εκτέλεση δοκιμών για μεγάλο χρονικό διάστημα λόγω της καθημερινής απαίτησης για παραγωγή κουφέτων με στόχο την εξυπηρέτηση των πελατών της επιχείρησης. Αντίθετα, είναι ιδιαίτερος βολικό ότι αρκετές από τις δοκιμές είναι κομμάτι της παραγωγής και από αυτές παρέχονται τα ευρήματα και τα δεδομένα για τους διάφορους συνδυασμούς που θα εξεταστούν στη συνέχεια. Έτσι μπορεί να συνδυαστεί πείραμα και παραγωγή χωρίς να υπάρχουν καθυστερήσεις και ταυτόχρονα να περιοριστεί το κόστος του πειράματος.

Όσον αφορά στην επιλογή των επιπέδων για τους ΠΕ επιλέγονται οι τιμές σε δύο (2) επίπεδα (στάθμες), κατά προτίμηση τις ακραίες τιμές, ώστε να χρειαστεί ο ελάχιστος δυνατός αριθμός δοκιμών χωρίς να επηρεάζεται η ποιότητα και η αποτελεσματικότητα του πειράματος. Αντίστοιχα, γίνεται και στην περίπτωση των ΠΘ επιλέγοντας δύο (2) επίπεδα δοκιμών. Οπότε, η θερμοκρασία ελέγχεται σε ένα υψηλό και σε ένα χαμηλό επίπεδο προσομοιώνοντας κατά την εκτέλεση του πειράματος τις μέρες πιο ψυχρές ( $T < 20^{\circ} \text{C}$ ) και τις πιο θερμές ( $T > 20^{\circ} \text{C}$ ). Επισημαίνεται, ότι εξετάζεται η εξωτερική θερμοκρασία καθώς ο αέρας που εισέρχεται στα καζάνια μέσω του αεραγωγού είναι ο εξωτερικός ατμοσφαιρικός αέρας. Ομοίως, για την υγρασία επιλέχθηκαν μέρες και συνθήκες με υψηλότερη υγρασία (πιο βροχερές μέρες ή οι πρωινές ώρες) με  $H > 50\%$  ή χαμηλότερη με  $H < 50\%$  (πιο ζεστές και ηλιόλουστες μέρες ή το μεσημέρι). Τέλος, για τον ΠΘ 'Κατάσταση Σιροπιού' επιλέχθηκαν ως επίπεδο 1 η τιμή  $65^{\circ} \text{Brix}$  και για το επίπεδο 2 η τιμή  $75^{\circ} \text{Brix}$ , τιμές που διατηρούν την διεργασία εντός ελέγχου.

Συνολικά, οι ΠΕ και ΠΘ και τα επίπεδα τους για την εκτέλεση του πειράματος αποτυπώνονται στον Πίνακα 2 που ακολουθεί.

Παράγοντες Ελέγχου	Επίπεδο 1	Επίπεδο 2
Ταχύτητα Περιστροφής Καζανιού (U)	30Hz	35Hz
Συνολική Ποσότητα Σιροπιού (TQ)	70L	80L
Απόσταση Ρίψης Σιροπιού (D)	Χαμηλά	Ψηλά
Εσωτερική Θερμοκρασία Καζανιού (To)	30° C	40 °C
Ένταση Φλόγιστρου (F)	Χαμηλή	Υψηλή
Ποσότητα Σιροπιού ανά Ρίψη (Q)	200 ml/ρίψη	300ml/ρίψη
Παράγοντες Θορύβου	Επίπεδο 1	Επίπεδο 2
Υγρασία (H)	Χαμηλή	Υψηλή
Θερμοκρασία (T)	Χαμηλή	Υψηλή
Κατάσταση Σιροπιού (G)	65° Brix	75° Brix

Πίνακας 2 Επίπεδα ΠΕ και ΠΘ

Στη συνέχεια θα πρέπει να επιλεγεί ο κατάλληλος Πειραματικός Σχεδιασμός για τους ΠΕ και τους ΠΘ. Έχουν επιλεγεί για το πείραμα με έξι (6) ΠΕ με δύο (2) στάθμες ο καθένας και τρεις (3) ΠΘ με δύο (2) στάθμες ορθογώνιοι πειραματικοί σχεδιασμοί και μήτρες αλληλεπίδρασης που προτείνει ο Taguchi, έχοντας ως γνώμονα το πλήθος των πλεονεκτημάτων τους. Θεωρείται ότι οι παράγοντες δεν αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους οπότε μελετώνται μόνο οι κυρίες επιδράσεις. Για τους ΠΕ προτιμάται η διάταξη  $OA_8(2^7)$  γιατί δίνει τη δυνατότητα να μελετηθούν μέχρι επτά (7) κύριες επιδράσεις δι-σταθμικών παραγόντων και καμία αλληλεπίδραση σε ένα σχεδιασμό  $2^{(7-4)}$  παραγοντικό. Αυτός θεωρείται ο πιο οικονομικός για τη μελέτη των κυρίων επιδράσεων των έξι (6)

εντοπισμένων ΠΕ αφού χρειάζονται μόνο οχτώ (8) δοκιμές. Τονίζεται ξανά ότι μεταξύ των ΠΕ δεν υπάρχει καμία αλληλεπίδραση από τη μελέτη που να χρήζει εξέτασης σε επιπλέον στήλη του σχεδιασμού. Συνεχίζοντας, η ανάθεση των έξι (6) ΠΕ φαίνεται στις στήλες (1-6) του ορθογώνιου σχεδιασμού με την 7η στήλη να μένει κενή όπως φαίνεται στον Πίνακα 3 που ακολουθεί.

Εσωτερική διάταξη (Παράγοντες Ελέγχου)						
1	2	3	4	5	6	7
U	TQ	D	To	F	Q	
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	2	2	2	2
1	2	2	1	1	2	2
1	2	2	2	2	1	1
2	1	2	1	2	1	2
2	1	2	2	1	2	1
2	2	1	1	2	2	1
2	2	1	2	1	1	2

Πίνακας 3 Εσωτερική Διάταξη ΠΕ

Κατά αντιστοιχία για τους ΠΘ προτιμάται ο σχεδιασμός  $OA_4(2^3)$  που δίνει τη δυνατότητα να μελετηθούν μέχρι τρεις (3) κύριες επιδράσεις, χωρίς καμία αλληλεπίδραση σε διάταξη  $2^{(3-1)}$  παραγοντικό. Η ανάθεση των τριών (3) ΠΘ απεικονίζεται στις στήλες (1-3) του ΟΣ στον Πίνακα 4 που ακολουθεί και χρειάζονται μόνο τέσσερις (4) δοκιμές.

Εξωτερική Διάταξη (Παράγοντες Θορύβου)				
1		2	3	
H		T	G	
[	1	1	1	]
	1	2	2	
	2	1	2	
	2	2	1	

**Πίνακας 4 Εξωτερική Διάταξη ΠΘ**

Από τις δύο αυτές διατάξεις προκύπτει ότι κάθε συνδυασμός επιπέδων της εσωτερικής διάταξης πρέπει να επαναληφθεί 4 φορές όπως υποδεικνύεται από την εξωτερική διάταξη. Οπότε θα χρειαστούν  $4 \times 8 = 32$  μετρήσεις συνολικά βάρους τελικού προϊόντος ‘κουφέτου αμυγδάλου’ ανά 20 κιλά αρχικής πρώτης ύλης ‘ωμού αμυγδάλου’.

#### 5.4. Διεξαγωγή Πειράματος

Όπως προκύπτει από τον Πειραματικό Σχεδιασμό που επιλέχτηκε πιο πριν απαιτείται η παραγωγή κουφέτων αμυγδάλου στους συνδυασμούς τιμών που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα έτσι ώστε το πείραμα να προσομοιώσει τις πραγματικές συνθήκες παραγωγής. Η παραγωγή τριάντα δύο (32) παρτίδων κουφέτων αμυγδάλου δεν μπορούσε να εκτελεστεί σε πολύ περιορισμένο χρονικό διάστημα για αυτό διευρύνθηκε το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο έλαβε χώρα η παραγωγή των παρτίδων ώστε να μπορέσουν να συντρέξουν όλες οι συνθήκες που προϋπόθεταν τα δεδομένα του Πειραματικού Σχεδιασμού. Κυρίως οι συνθήκες περιβάλλοντος (υγρασία και θερμοκρασία) οι οποίες έπρεπε να συνδυαστούν με τους ΠΕ που μπορούν να ρυθμιστούν εύκολα χωρίς επιπλέον κόστος. Οπότε οι 32 μετρήσεις ελήφθησαν σε βάθος έξι (6) μηνών όταν οι καιρικές συνθήκες το επέτρεπαν συνδυασμένες με τον φόρτο παραγωγής της επιχείρησης.



Επίσης, ευνοϊκές συγκυρίες για την υλοποίηση του πειράματος (μεγάλος όγκος απαιτούμενων παρτίδων που έπρεπε να εκτελεστούν χάριν του πειράματος) θεωρούνται από την μία η επιθυμία της νεότερης γενιάς της διοίκησης της επιχείρησης για πειραματισμό και έρευνα επί της παραγωγής ώστε να βελτιωθούν οι συνθήκες της διεργασίας και η ποιότητα των εξερχόμενων προϊόντων και από την άλλη ότι το γεγονός ότι καμία από τις 32 παρτίδες δεν θα επέφερε ζημία στην επιχείρηση. Πιο αναλυτικά, επισημαίνεται ότι η διεργασία όπως αποδείχτηκε σε προηγούμενη ενότητα είναι υπό έλεγχο οπότε οι παραγόμενες παρτίδες θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμη κι αν δεν έχουν ως αποτέλεσμα παραγωγή κουφέτων αμυγδάλου Κατηγορίας Ι. Δηλαδή, η επιχείρηση είχε το περιθώριο να αξιοποιήσει τις 32 παρτίδες ανάλογα με το αποτέλεσμα διαλέγοντάς τις σε 2<sup>η</sup> ή 3<sup>η</sup> διαλογής και να τα διαθέσει σε πελάτες που επιθυμούσαν ποιοτικά προϊόντα αλλά με κάποιο ελάττωμα το οποίο θα γνώριζαν και το οποίο θα οδηγούσε σε μείωση της τιμής αγοράς. Έτσι σε κάθε περίπτωση η επιχείρηση εκτός από το κέρδος της προσκόμισης γνώσης για την βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων της που είναι και το βασικότερο ζητούμενο μπόρεσε να διαθέσει τις παρτίδες που δεν πληρούσαν στο σύνολο τους τα βέλτιστα χαρακτηριστικά του κουφέτου αμυγδάλου σε πελάτες οι οποίοι επιθυμούσαν ποιοτικά είδη αλλά με κάποιες παραδοχές και με μειωμένη τιμή (για παράδειγμα ανομοιόμορφο σχήμα ή κάποια χτυπήματα στην λευκή επικάλυψη του κουφέτου).

Όσον αφορά στο μέγεθος, την τιμή αναφοράς στην ουσία, που επιλέχτηκε από τους υπεύθυνους τμήματος διαχείρισης ποιότητας της επιχείρησης για να μετρηθεί η ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος αυτή είναι η ποσότητα σε κιλά παραγόμενου τελικό προϊόντος που προκύπτει μετά την τελική διαλογή ανά 20 κιλά αρχικής πρώτης ύλης ‘ωμό αμύγδαλο με φλούδα’. Προτιμήθηκε ως το πιο χαρακτηριστικό μέγεθος της απόδοσης της διεργασίας γιατί προσφέρει ρεαλιστική απεικόνιση των αποτελεσμάτων με βάση την εμπειρία του εμπλεκόμενου προσωπικού δεδομένου ότι η μέτρηση του πάχους της επικάλυψης ζάχαρης δεν μπορεί να μετρηθεί με κάποιο τρόπο. Άλλωστε, η ομοιόμορφη επικάλυψη της ζάχαρης επί του αμυγδάλου καθώς και τα υπόλοιπα ποιοτικά χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη ενότητα διαπιστώνονται εύκολα ανά παρτίδα με οπτικό έλεγχο στην φάση της διαλογής. Οπότε όσο πιο κοντά στην τιμή στόχο (80 κιλά κουφέτο αμυγδάλου ανά 20 κιλά αρχικής πρώτης ύλης αμυγδάλου) είναι το βάρος μιας παρτίδας τόσο πιο αποδοτική είναι η διεργασία επικάλυψη ζάχαρης και τόσο πιο μικρό το βάρος των μη συμμορφούμενων κουφέτων. Επισημαίνεται ότι το βάρος το οποίο εξετάζεται αναφέρεται ως το βάρος των

κουφέτων αμυγδάλου που πληρούν όλα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που έχουν αναφερθεί (σχήμα, χρώμα, υφή, ρωγμές ή χτυπήματα) καθώς υπολογίζεται μετά από την διαλογή του τελικού προϊόντος.

Οπότε, οι μετρήσεις του βάρους των παρτίδων που προέκυψαν με βάση τον Πειραματικό Σχεδιασμό που έχει επιλεγεί καταγράφονται στον Πίνακα 5 που ακολουθεί :

Δοκιμή	Τιμές βάρους παρτίδων κουφέτου			
1	78,0	80,3	80,3	82,5
2	79,5	80,7	79,8	83,8
3	79,1	78,9	77,9	83,1
4	77,5	81,2	78,7	82,3
5	81,6	80,0	83,2	82,6
6	79,0	81,2	78,9	83,1
7	82,3	82,1	78,7	83,5
8	78,1	80,3	81,7	84,1

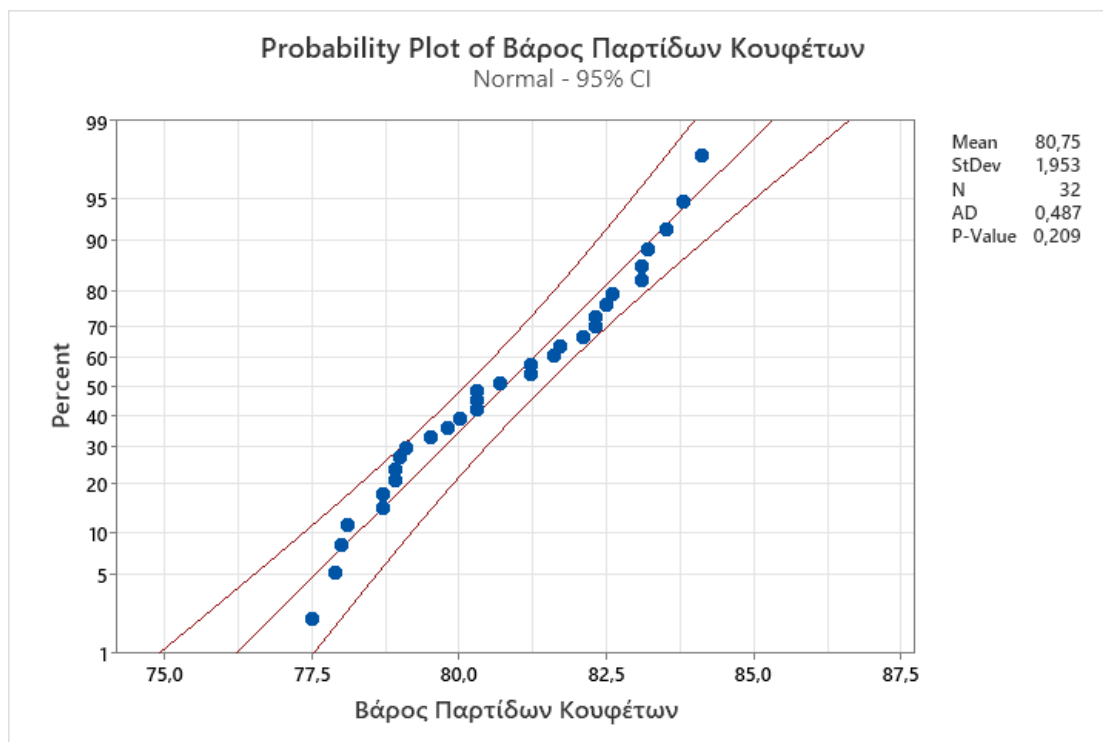
**Πίνακας 5 Πίνακας Μετρήσεων Βάρους ανά Παρτίδα Κουφετών**

## 5.5. Έλεγχος Δεδομένων Μετρήσεων

Αφού συγκεντρώθηκαν τα δεδομένα των μετρήσεων του πειράματος εκτελείται έλεγχος της κανονικότητας και της ομοσκεδαστικότητας , δηλαδή εάν τα δεδομένα των παρατηρήσεων κάθε θεραπείας προέρχονται από κανονικούς και με ίσες διασπορές πληθυσμούς. Η διαπίστωση της κανονικότητας των δεδομένων των μετρήσεων απαιτείται στην συνέχεια στην Ανάλυση Διασποράς η οποία προϋποθέτει αυτές τις δύο ιδιότητες για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

Ο έλεγχος για την κανονικότητα θα γίνει μέσω του minitab ακολουθώντας τη διαδικασία *Graph>Probability Plot>Single* και εισάγοντας στο εδάφιο *Graph Variables* τη στήλη που

έχουν τοποθετηθεί οι 32 διαθέσιμες μετρήσεις. Θα προκύψει το παρακάτω διάγραμμα στην Εικόνα 9. Στο διάγραμμα φαίνεται ότι η κατανομή των μετρήσεων του βάρους των παρτίδων κουφέτων προσεγγίζει ικανοποιητικά την κανονική κατανομή. Αναλυτικότερα, η υπόθεση της κανονικότητας είναι αποδεκτή σε επίπεδο εμπιστοσύνης  $\alpha=0,05$  για  $P\text{-Value}=0.209$  ( $P>\alpha$ ) και η υπόθεση κανονικότητας των μετρήσεων έχει πιστοποιηθεί.



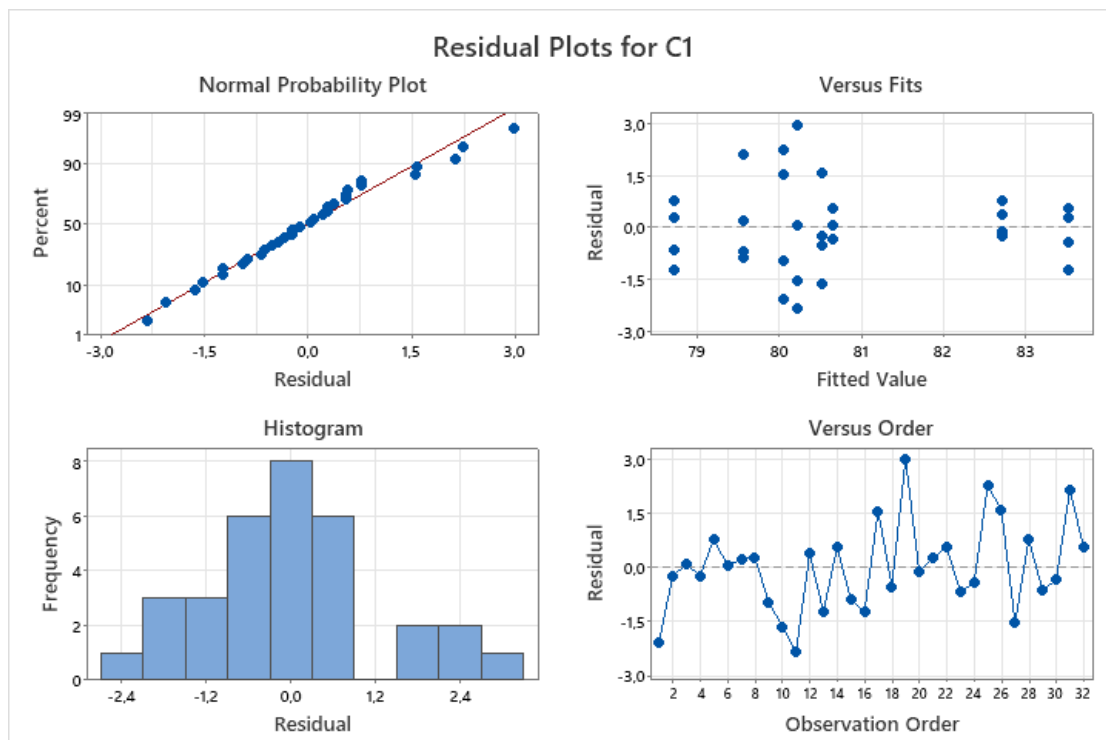
Εικόνα 9 Διάγραμμα Κατανομής Τιμών Βάρους Πειράματος

Στην συνέχεια εξετάζεται η κανονικότητα και η ομοσκεδαστικότητα των μετρήσεων που αντιστοιχούν στην κάθε θεραπεία , όχι στο σύνολο των μετρήσεων γιατί δεν προέρχονται από τις ίδιες κατανομές. Βεβαίως, αν επιδιώκεται η εξαγωγή πιο ασφαλών αποτελεσμάτων για τον έλεγχο της κανονικότητας μπορεί να διεξαχθεί έλεγχος στα υπόλοιπα που προκύπτουν μετά την προσαρμογή του προτύπου, δηλαδή να γίνει η ανάλυση υπολοίπων. Μέσω του minitab ακολουθείται η διαδικασία *Stat>ANOVA>General Linear Model*, εισάγονται στα πεδία *Results* και *Model* οι στήλες του Πίνακα 6 σε αντιστοιχία και μετά επιλέγεται *Four in one* στο εδάφιο *Graphs* και προκύπτουν τα διαγράμματα της Εικόνας 10.

Παράγοντες Ελέγχου						Μετρήσεις
U	TQ	D	To	F	Q	BRK
1	1	1	1	1	1	78
1	1	1	2	2	2	80,3
1	2	2	1	1	2	80,3
1	2	2	2	2	1	82,5
2	1	2	1	2	1	79,5
2	1	2	2	1	2	80,7
2	2	1	1	2	2	79,8
2	2	1	2	1	1	83,8
1	1	1	1	1	1	79,1
1	1	1	2	2	2	78,9
1	2	2	1	1	2	77,9
1	2	2	2	2	1	83,1
2	1	2	1	2	1	77,5
2	1	2	2	1	2	81,2
2	2	1	1	2	2	78,7
2	2	1	2	1	1	82,3
1	1	1	1	1	1	81,6
1	1	1	2	2	2	80
1	2	2	1	1	2	83,2
1	2	2	2	2	1	82,6
2	1	2	1	2	1	79
2	1	2	2	1	2	81,2
2	2	1	1	2	2	78,9
2	2	1	2	1	1	83,1
1	1	1	1	1	1	82,3
1	1	1	2	2	2	82,1
1	2	2	1	1	2	78,7
1	2	2	2	2	1	83,5
2	1	2	1	2	1	78,1
2	1	2	2	1	2	80,3
2	2	1	1	2	2	81,7
2	2	1	2	1	1	84,1

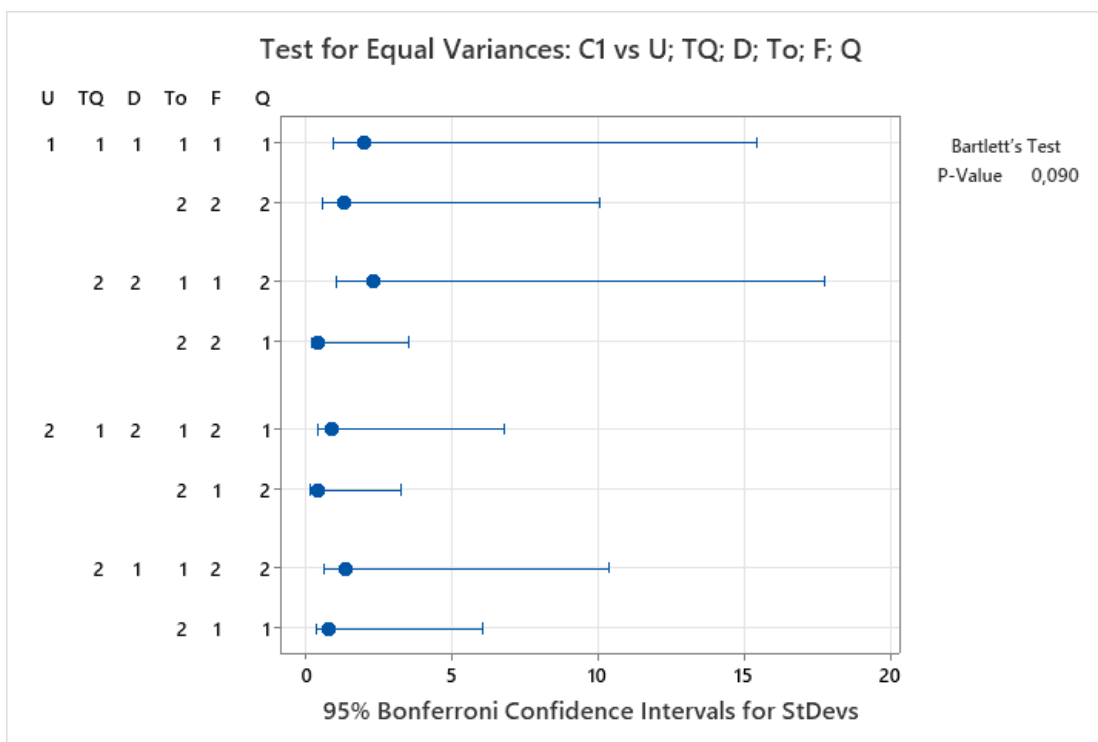
**Πίνακας 6** Πίνακας Κατανομής Εξαγόμενων Τιμών του Πειράματος

Από την παρατήρηση των διαγραμμάτων της Εικόνας 10 και συγκεκριμένα του κανονικού διαγράμματος πιθανότητας των υπολοίπων αποδεικνύεται με τον καλύτερο τρόπο η αποδοχή της υπόθεσης κανονικότητας, αφού τα σημεία των υπολοίπων βρίσκονται εντελώς πλησίον της ευθείας γραμμής.



Εικόνα 10 Αποτελέσματα Ανάλυσης Υπολοίπων των Εξαγόμενων Τιμών του Πειράματος

Για τον έλεγχο της ομοσκεδαστικότητας, μέσω του minitab θα ακολουθηθεί η διαδρομή *Stat>ANOVA>Tests for Equal Variances* και εισάγοντας στα εδάφια *Response* και *Factors* τις αντίστοιχες τιμές και επιλέγοντας στα *Options* το *Normal distribution* του Πίνακα 6 θα προκύψει το διάγραμμα του Εικόνας 11.



Εικόνα 11 Διάγραμμα Ελέγχου Ομοσκεδαστικότητας

Από το διάγραμμα της Εικόνας 11 είναι εμφανές πόσο κοντά βρίσκονται οι τυπικές αποκλίσεις των δεδομένων κάθε θεραπείας, ενώ σε επίπεδο εμπιστοσύνης  $\alpha=0,05$  για την τιμή  $P\text{ Value}=0.090>\alpha$  επαληθεύεται και η υπόθεση της ομοσκεδαστικότητας.

Οπότε με τα μέχρι τώρα δεδομένα των μετρήσεων του βάρους των παρτίδων κουφέτων επιβεβαιώνεται ότι ισχύει η κανονικότητα και η ομοσκεδαστικότητα και άρα δεν απαιτείται κάποιος μετασχηματισμός των δεδομένων. Επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια του πειράματος για την επιλογή των Μέτρων Επίδοσης και την στατιστική ανάλυση που θα ακολουθήσει μέσω ANOVA.

## 5.6. Επιλογή Κατάλληλων Μέτρων Επίδοσης

Μετά την ολοκλήρωση της συλλογής των δεδομένων, ακολουθεί η επεξεργασία τους και ο υπολογισμός των Μέτρων Επίδοσης ώστε να ακολουθήσει η στατιστική ανάλυση που θα αναδείξει τους ΠΕΘ, ΠΕΣ και ΠΕΚ.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η τιμή στόχος για την διεργασία του σιροπιάσματος των κουφέτων αμυγδάλου είναι τα 80 κιλά παραγόμενου τελικού προϊόντος. Με βάση την

θεωρία του Taguchi όταν στόχος είναι μια συγκεκριμένη τιμή ως προς την απόδοση (δηλαδή μια βέλτιστη ονομαστική τιμή) προτείνεται ως ΜΘ ο Λόγος Σήματος προς το Θόρυβο ( $\Delta\Sigma\Theta = 10 \log_{10}(\frac{\bar{y}}{s})^2$ ). Για να είναι εφαρμόσιμο αυτό το ΜΕ θα πρέπει η μέση τιμή  $\bar{y}$  των αποτελεσμάτων των δοκιμών να συνδέεται με γραμμική σχέση με την διασπορά  $s^2$ , θα πρέπει δηλαδή να είναι ευθέως ανάλογα  $s \approx k\bar{y}$ . Εάν δεν υφίσταται αυτή η προϋπόθεση η εφαρμογή του  $\Delta\Sigma\Theta$  θα προκαλούσε μια μεροληψία του μέσου κατά την ανάλυση για τον προσδιορισμό των ΠΕΘ.

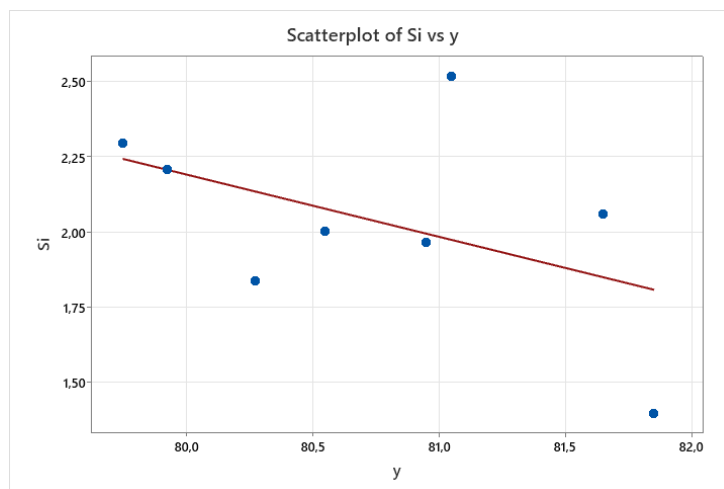
Για να αποφευχθεί η πιθανότητα σύγχυσης μεταξύ των ΠΕΘ και των ΠΕΣ ο προσδιορισμός του ΜΕ θα γίνει με την χρήση της σχέσης  $M\Theta = 10 \log_{10}(\frac{\bar{y}^b}{s})^2$  όπως περιγράφεται στο τόμο Γ', της ΔΠ 60 (Λογοθέτης, 2001). Ο υπολογισμός και ο έλεγχος σημαντικότητας του συντελεστή  $b$  και της σχέσης συνάρτησης  $\sigma = f(\mu) = k\mu^b$ , εκτελείται με την Ανάλυση Γραμμικής Παλινδρόμησης που προσφέρει μια σχέση της μορφής  $\log(s_i) = a + b \log(\bar{y}_i) + \varepsilon_i$ ,  $i=1,2,\dots,8$  μεταξύ των  $\log(s_i)$  και  $\log(\bar{y}_i)$  για την τυπική απόκλιση και του μέσου κάθε δοκιμής αντίστοιχα. Οι τιμές που απαιτούνται για την Ανάλυση Παλινδρόμησης φαίνονται στον Πίνακα 7 στην συνέχεια.

Δοκιμή	Μέσος ( $\bar{y}_i$ )	Τυπική Απόκλιση ( $s_i$ )	$\Delta\Sigma\Theta$	$\log(s_i)$	$\log(\bar{y}_i)$
1	80,275	1,83734	26,9088	0,608321	4,38546
2	80,950	1,96723	26,0616	0,676627	4,39383
3	79,750	2,29420	23,7499	0,830382	4,37890
4	79,925	2,20964	24,2849	0,792829	4,38109
5	81,850	1,39881	31,2321	0,335621	4,40489
6	80,550	2,00416	25,7324	0,695226	4,38888
7	81,650	2,06155	25,5284	0,723459	4,40244
8	81,050	2,51595	22,7422	0,922650	4,39507

Πίνακας 7 Τιμές Ανάλυσης Παλινδρόμησης

Ο έλεγχος για την ανεξαρτησία μεταξύ των  $\log(s_i)$  και  $\log(\bar{y}_i)$  εκτελείται μέσω της ερμηνείας του διαγράμματος διασκόρπισης της Εικόνας 12, το οποίο προκύπτει από το minitab με την ακολουθία βημάτων Graph>Scatterplot>With Regression όπου στον άξονα X τοποθετείται το  $\log(\bar{y}_i)$  και στον άξονα του Y το  $\log(s_i)$ . Όπως διαπιστώνεται τα σημεία

τοποθετούνται ακανόνιστα γύρω από την ευθεία, οπότε δεν τίθεται θέμα ύπαρξης ή όχι γραμμικής σχέσης μεταξύ των  $\log(s_i)$  και  $\log(\bar{y}_i)$ .



Εικόνα 12 Διάγραμμα Διασκόρπισης

Προς επιβεβαίωση της ανωτέρω διαπίστωσης οι τιμές  $\log(s_i)$  και  $\log(\bar{y}_i)$  του Πίνακα 7 χρησιμοποιούνται για τον στατιστικό έλεγχο μέσω της Ανάλυσης Γραμμικής Παλινδρόμησης, ακολουθώντας στο minitab την διαδικασία *Stat>Regression>Regression* με *Response* το  $\log(s)$  και *Predictor* το  $\log(\bar{y}_i)$  και το εξερχόμενο αποτέλεσμα φαίνεται στο παρακάτω πλαίσιο :

<b>Regression Equation</b>					
$\log(Si) = 31,5 - 7,16 \log(yi)$					
<b>Coefficients</b>					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	31,5	31,1	1,01	0,351	
$\log(yi)$	-7,16	7,09	-1,01	0,351	1,00
<b>Model Summary</b>					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
0,407767	14,54%	0,30%	0,00%		



Από αυτό προκύπτει ότι η εξίσωση παλινδρόμησης είναι η :

$\log(s) = 31.5 - 7.16 \log(y_i)$  και αυτό συνεπάγεται ότι ο ζητούμενος συντελεστής  $b = -7.16$ . Επίσης, από την τιμή της  $P\text{value} = 0.351$  που αναφέρεται σ αυτόν και από την τιμή της μηδενικής μεταβλητότητας  $R\text{-Sq (adj)}$ , συμπεραίνεται ότι ο συντελεστής δεν είναι σημαντικός . Οπότε στην σχέση  $M\Theta = 10 \log_{10}(\frac{\bar{y}^b}{s})^2$  μπορεί να θεωρηθεί η τιμή του συντελεστή μηδενική και η σχέση που αποδίδει τον  $M\Theta$  να διαμορφωθεί στη ποσότητα  $M\Theta = -20 \log_{10}(s_i)$ .

Αναφορικά με το  $M\Sigma$  , αυτό ισούται με τον κάθε μέσο ανά δοκιμή και δίνεται από τη σχέση:  $M\Sigma = \bar{y}_i$ . Αναλυτικά οι τιμές των  $M\Theta$  και  $M\Sigma$  απεικονίζονται στον Πίνακα 8 παρακάτω.

Δοκιμή	$M\Sigma$	$M\Theta$ ( $-20 \log_{10}(s_i)$ )
1	80,275	-5,28381
2	80,950	-5,87711
3	79,750	-7,21261
4	79,925	-6,88642
5	81,850	-2,91517
6	80,550	-6,03866
7	81,650	-6,28389
8	81,050	-8,01404

Πίνακας 8 Πίνακας Τιμών  $M\Sigma$  και  $M\Theta$

## 5.7. Προσδιορισμός των ΠΕΘ και ΠΕΣ

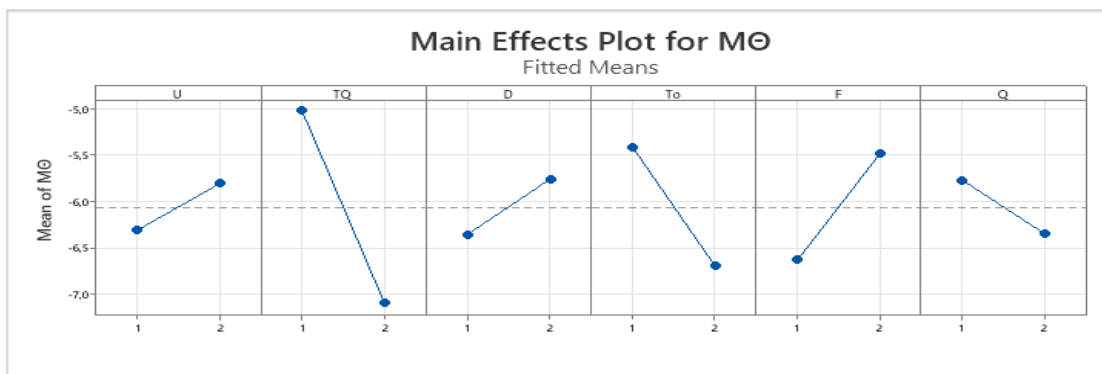
Αφού έχει βρεθεί το κατάλληλο  $M\Theta$  και έχουν υπολογιστεί οι τιμές των  $M\Theta$  και  $M\Sigma$  για κάθε δοκιμή, ακολουθεί η στατιστική ανάλυση των τιμών ώστε να προσδιοριστούν οι ΠΕΘ και οι ΠΕΣ. Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί είναι η Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) θεωρώντας ότι υπάρχουν μόνο κύριες επιδράσεις.

Αρχικά εισάγονται στις στήλες του minitab τις στήλες του Πίνακα 9 που αντιστοιχούν στα επίπεδα των παραγόντων U, TQ, D, To, F και Q.

U	TQ	D	To	F	Q
1	1	1	1	1	1
1	1	1	2	2	2
1	2	2	1	1	2
1	2	2	2	2	1
2	1	2	1	2	1
2	1	2	2	1	2
2	2	1	1	2	2
2	2	1	2	1	1

Πίνακας 9 Πίνακας Επίπεδων Παραγόντων

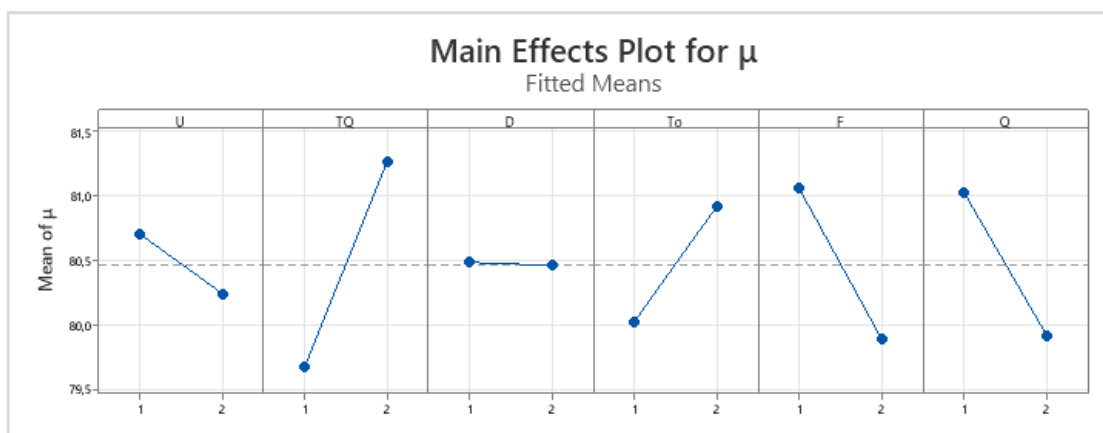
Αρχικά κρίνεται σκόπιμο να εξεταστούν τα διαγράμματα κύριων επιδράσεων και για τα δύο Μέτρα Επίδοσης, που προκύπτουν με την ακολουθία βημάτων στο minitab *Stat>ANOVA>General Linear Model* και στο εδάφιο *Factor Plots* επιλέγεται *Main Effects Plots*. Οπότε προκύπτουν τα διαγράμματα κυρίων επιδράσεων των ΠΘ στην Εικόνα 13 που ακολουθεί.



Εικόνα 13 Διαγράμματα Κυρίων Επιδράσεων ΠΘ

Από τα διαγράμματα αυτά επισημαίνεται η σημαντικότητα των παραγόντων Συνολική Ποσότητα Σιροπιού (TQ), Εσωτερική Θερμοκρασία (To) του καζανιού και η Ένταση του φλόγιστρου (F) λόγω της μεγάλης κλίσης που παρουσιάζουν.

Επιπλέον, ακολουθώντας την σειρά βημάτων στο minitab *Stat>ANOVA>General Linear Model* και στο εδάφιο *Factor Plots* επιλέγεται *Main Effects Plots* προκύπτουν τα διαγράμματα κυρίων επιδράσεων των ΠΕ της Εικόνας 14.



Εικόνα 14 Διάγράμματα Κυρίων Επιδράσεων ΠΕ

Από τα διαγράμματα αυτά επίσης φαίνεται η σημαντικότητα των παραγόντων Συνολική Ποσότητα Σιροπιού (TQ), Εσωτερική Θερμοκρασία του καζανιού (To) και η Ένταση του φλόγιστρου (F) λόγω της μεγάλης κλίσης που παρουσιάζουν. Επίσης, ο παράγοντας Ποσότητα ανά ρίψη (Q) φαίνεται σημαντικός μόνο ως ΠΕΣ.

Οπότε προκύπτει ότι υπάρχει σύγκριση μεταξύ των τριών παραγόντων αυτών και κρίνεται σκόπιμο να διασαφηνιστεί η σημαντικότητά τους με την χρήση της ανάλυσης διασποράς (ANOVA) σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Η ανάλυση θα ξεκινήσει από τους ΠΕΘ επιλέγοντας στο minitab την ακολουθία *Stat>ANOVA>General Linear Model* και για *Responses* την στήλη που έχει υπολογιστεί στη προηγούμενη ενότητα με τις τιμές του *MΘ* ανά δοκιμή.

Τα εξερχόμενα του minitab φαίνονται παρακάτω :

### Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
U	Fixed	2	1; 2
TQ	Fixed	2	1; 2
D	Fixed	2	1; 2
To	Fixed	2	1; 2
F	Fixed	2	1; 2
Q	Fixed	2	1; 2

## Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
U	1	0,5041	0,50411	17,96	0,148
TQ	1	8,5744	8,57438	305,49	0,036
D	1	0,7236	0,72360	25,78	0,124
To	1	3,2778	3,27776	116,78	0,059
F	1	2,6295	2,62953	93,69	0,066
Q	1	0,6686	0,66865	23,82	0,129
Error	1	0,0281	0,02807		
Total	7	16,4061			

## Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,167533	99,83%	98,80%	89,05%

Ακολουθούν οι ΜΕΘ. Τα βήματα που ακολουθούνται είναι ανάλογα με αυτά των ΠΕΘ μόνο που χρησιμοποιείται η τιμή του ΜΣ αντί του ΜΘ. Επιλέγεται στο minitab η ακολουθία *Stat>ANOVA>General Linear Model* και για *Responses* την στήλη που έχει υπολογιστεί στη προηγούμενη ενότητα με τις τιμές του ΜΣ ανά δοκιμή.

Τα αποτελέσματα του minitab φαίνονται παρακάτω :

## Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
U	Fixed	2	1; 2
TQ	Fixed	2	1; 2
D	Fixed	2	1; 2
To	Fixed	2	1; 2
F	Fixed	2	1; 2
Q	Fixed	2	1; 2

## Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,123744	99,88%	99,14%	92,11%

## Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
U	1	0,4278	0,42781	27,94	0,119
TQ	1	5,1200	5,12000	334,37	0,035
D	1	0,0012	0,00125	0,08	0,823
To	1	1,6200	1,62000	105,80	0,062
F	1	2,7613	2,76125	180,33	0,047
Q	1	2,4753	2,47531	161,65	0,050
Error	1	0,0153	0,01531		
Total	7	12,4209			

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι υπάρχει πλήρης ταύτιση των Μέτρων Επίδοσης του Taguchi για τον παράγοντα Συνολική Ποσότητα Σιροπιού (TQ), οπότε ο παράγοντας Συνολική Ποσότητα Σιροπιού (TQ) θα χαρακτηριστεί ως ΠΕΘ με  $P\text{value}=0.036 < \alpha$ , για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0.05$ , ο οποίος επηρεάζει σημαντικά τη μεταβλητότητα της απόδοσης της διεργασίας σιροπιάσματος, επίστρωσης με ζάχαρη των αμυγδάλων και ο οποίος θα πρέπει να ελέγχεται και να ρυθμίζεται κατάλληλα ώστε να περιοριστεί στο ελάχιστο η μεταβλητότητα που προκαλεί.

Για τον διαπιστωμένο ΠΕΘ, την TQ πρέπει να υπολογιστεί στην άριστη στάθμη του, που είναι πιθανότατα μια ενδιάμεση τιμή, δηλαδή 75 L σιροπιού ζάχαρης ανά 20 κιλά αμυγδάλου. Άριστες στάθμες είναι οι τιμές των παραγόντων που οδηγούν στην ελάχιστη μεταβλητότητα της διεργασίας, δηλαδή στην υψηλότερη τιμή του ΜΘ για κάθε παράγοντα.

Όσον αφορά τους υπόλοιπους παράγοντες, με  $P\text{value}=0.047$  και  $0.05$  επιλέγονται ως ΠΕΣ οι παράγοντες ένταση φλόγιστρου (F) και ποσότητα σιροπιού ανά ρίψη (Q). Οπότε η ένταση της φλόγας στο κάτω μέρος του καζανιού και η ποσότητα της ζάχαρης που πέφτει φαίνεται να επηρεάζουν σημαντικά την μεταβλητότητα της απόδοσης της διεργασίας σιροπιάσματος.

Για τους διαπιστωμένους ΠΕΣ, από τα αποτελέσματα του πειράματος, θεωρείται ότι για την ένταση του φλόγιστρου (F) η ιδανική τιμή είναι η υψηλή ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη

θέρμανση του σιροπιού και για τη ποσότητα σιροπιού ανά ρίψη (Q) τα 250ml ανά ρίψη (η ενδιάμεση ποσότητα).

Κλείνοντας, οι παράγοντες U (Ταχύτητα περιστροφής καζανιού), D (Απόσταση Ρίψης σιροπιού) και To (Θερμοκρασία στο εσωτερικό του καζανιού) κρίνονται στατιστικά μη σημαντικοί και δεν αναγνωρίζονται ούτε ως ΠΕΘ ούτε ως ΠΕΣ. Αυτοί μπορούν να χαρακτηριστούν ΠΕΚ και να ρυθμίζονται η Ταχύτητα (U) στο υψηλό επίπεδο για να επιταχύνεται η διεργασία (λιγότερη ώρα που δουλεύουν τα μηχανήματα συνεπάγεται λιγότερη ενέργεια και κόστος) , η Απόσταση Ρίψης (D) στην ενδιάμεση τιμή για να μην υπάρχουν απώλειες και η Θερμοκρασία (To) στο εσωτερικό του καζανιού στους 35° C.

## 5.8. Επιβεβαίωση Πειράματος

Σε αυτό το στάδιο έχουν πλέον αναγνωριστεί οι ΠΕ και έχουν προσδιοριστεί τα βέλτιστα επίπεδα που θα πρέπει να λάβουν οι τιμές τους ώστε να περιοριστεί η μεταβλητότητα της διεργασίας ‘σιρόπιασμα κουφέτων αμυγδάλου’. Για να επιβεβαιωθεί η εγκυρότητα των ελέγχων απαιτείται να εκτελεστεί ένας περιορισμένος αριθμός δοκιμών, δηλαδή η παραγωγή παρτίδων κουφέτων σε προτεινόμενο συνδυασμό των ΠΕ που έχει δείξει ο Πειραματικός Σχεδιασμός ότι είναι ο ιδανικός για την βελτίωση της διεργασίας που μελετάται.

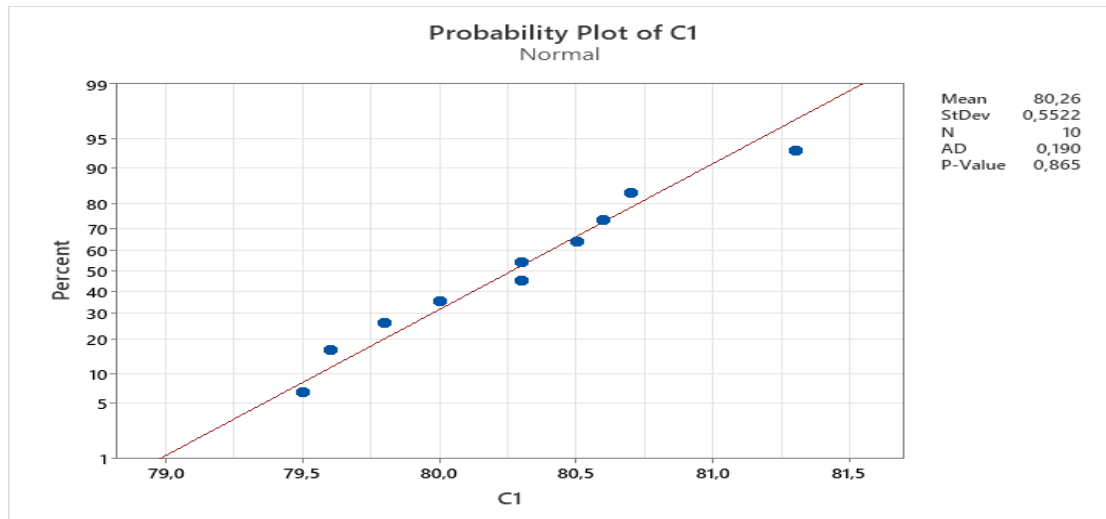
Οι προτεινόμενες τιμές για τον επανέλεγχο είναι η ποσότητα σιροπιού ανά ρίψη στα 250 ml, η εσωτερική θερμοκρασία των καζανιών στους 35° C, η ένταση του φλόγιστρου στην υψηλή στάθμη και συνολική ποσότητα σιροπιού στα 70 κιλά σιρόπι ανά 20 κιλά πρώτης ύλης αμύγδαλο ωμό. Η ταχύτητα περιστροφής του καζανιού ρυθμίστηκε στην υψηλή στάθμη και η απόσταση ρίψης του σιροπιού στην ενδιάμεση θέση για τους λόγους που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Το πείραμα εκτελέστηκε με τον ίδιο τρόπο και με τις ίδιες συνθήκες με το αρχικό και τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στο Πίνακα 10.

Αριθμός Δείγματος	Βάρος παρτίδας κουφέτου
1	80,3
2	79,5
3	80,6
4	80,3
5	79,6
6	79,8
7	80,7
8	80
9	81,3
10	80,5

Πίνακας 10 Πίνακας Τιμών Βάρους Πειράματος Επιβεβαίωσης

Παρακάτω στην Εικόνα 15 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατανομής των δεδομένων του Πειράματος Επιβεβαίωσης. Ο νέος μέσος και η νέα τυπική απόκλιση παρουσιάζουν εμφανή βελτίωση ( $\mu=80.26$  και  $s=0.5522$ ) επιβεβαιώνοντας την επιτυχία του πειραματισμού.



Εικόνα 15 Διάγραμμα Κατανομής Τιμών Βάρους Πειράματος Επιβεβαίωσης



## 6. Συμπεράσματα-Επίλογος

Καθώς ολοκληρώνεται η παρούσα εργασία διαπιστώνεται η σημασία και η αξία του Πειραματικού Σχεδιασμού για την βελτίωση της διεργασίας σιροπιάσματος κατά την διαδικασία παραγωγής κουφέτων αμυγδάλου. Είναι γεγονός ότι ένα πείραμα σχεδιάστηκε, οργανώθηκε και πραγματοποιήθηκε σε άμεση συνεργασία με τους υπεύθυνους παραγωγής της επιχείρησης κουφετοποιίας που στοχεύουν στην βελτίωση της ποιότητας των διεργασιών της επιχείρησης και κατ' επέκταση στην ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων της.

Κατά την εκτέλεση του πειραματικού σχεδιασμού και των δοκιμών ορίστηκε ως στόχος η τιμή 80 κιλά διαλεγμένου παραγόμενο κουφέτο αμυγδάλου από αρχική πρώτη ύλη 20 κιλά ωμά αμύγδαλα με τη φλούδα. Εντοπίστηκαν και προσδιορίστηκαν όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή κουφέτου. Στην συνέχεια έγινε ο διαχωρισμός τους σε Παράγοντες Θορύβου (ΠΘ) και Παράγοντες Ελέγχου (ΠΕ). Έγινε αντιληπτό ότι οι ΠΘ είναι δύσκολα ελέγξιμοι και ο μόνος τρόπος να περιοριστεί η επίδρασή τους στην μεταβλητότητα είναι η όσο το δυνατό καλύτερη ρύθμιση των ελέγξιμων ΠΕ. Έτσι, επιβεβαιώθηκε μέσω του Πειράματος ότι καλύτερος τρόπος να περιοριστεί η μεταβλητότητα λόγω της υγρασίας και των θερμοκρασιακών μεταβολών του γύρω χώρου είναι η διατήρηση των παραγόντων ελέγχου στα βέλτιστα επίπεδα τους.

Μεγάλο το όφελος για την επιχείρηση αποτελεί η διαπίστωση ότι υπάρχουν οικονομικοί τρόποι να βελτιώσουν την παραγωγή τους αρκεί να ασχοληθούν με τις διάφορες παραμέτρους που επηρεάζουν την έκβαση της παραγωγικής διαδικασίας. Ακόμα μεγαλύτερη επιτυχία είναι η διαπίστωση ότι υλοποιήθηκε και πραγματοποιήθηκε ένα πείραμα το οποίο απαιτεί ταυτόχρονα ομαδική δουλειά, σχεδιασμό, υλοποίηση, παραγωγή, στατιστική ανάλυση και επικοινωνία (Hefin, 2000) . Αυτό από μόνο του είναι η ώθηση για την επιχείρηση να ελέγξει με σκοπό να βελτιώσει και άλλα στάδια της παραγωγικής διεργασίας.

Λαμβάνοντας υπό όψη την επιτυχία του συγκεκριμένου πειράματος εκτιμάται ότι ο Σχεδιασμός Παραμέτρων που εισάγει ο Taguchi θα μπορούσε να βοηθήσει στην βελτίωση της ποιοτικής εκτέλεσης κι άλλων διεργασιών της συνολικής διαδικασίας παραγωγής παραδοσιακών κουφέτων αμυγδάλου. Δύο εξίσου σημαντικές διεργασίες που χρήζουν

μελέτης και επηρεάζουν το αποτέλεσμα της παραγωγής τελικού προϊόντος αποτελούν η προετοιμασία και σωστή διατήρηση του σιροπιού σε ιδανική πυκνότητα πριν την είσοδό του στα καζάνια και η διεργασία της εξομάλυνσης και στίλβωσης των κουφέτων που εξασφαλίζει την τελειότητα σε ένα αψεγάδιαστο τελικό προϊόν. Δηλαδή, ακολουθώντας τα αντίστοιχα βήματα του Πειραματικού Σχεδιασμού μπορούν να αναδειχθούν οι ΠΕΘ και οι ΠΕΣ και οι ιδανικές στάθμες τους για κάθε μία από τις δύο προαναφερθείσες διεργασίες οδηγώντας την παραγωγή της επιχείρησης σε ακόμα καλύτερα και ποιοτικότερα αποτελέσματα.

Επιπρόσθετα, επισημαίνεται ότι βασική προϋπόθεση για την όποια μελέτη και εφαρμογή των σύγχρονων μεθόδων στατιστικής ανάλυσης και πειραματικού σχεδιασμού δεν θα μπορούσε να εκτελεστεί εάν δεν διασφαλιζόταν με τη χρήση των Διαγραμμάτων Ελέγχου ότι η διεργασία είναι υπό στατιστικό έλεγχο. Παράλληλα, οι υπεύθυνοι της επιχείρησης ήρθαν σε επαφή με τις βασικότερες αρχές του ποιοτικού ελέγχου και διαπίστωσαν την σημασία του ποιοτικού ελέγχου στην βελτίωση της παραγωγής αλλά και την αύξηση των κερδών, καθώς ποιοτικότερα προϊόντα οδηγούν σε άνοδο των πωλήσεων και άρα των κερδών. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η μελέτη αποτελεί ένα παράθυρο για την επιχείρηση προς τις αρχές ποιότητας από σχεδιασμού (Quality by Design) αλλά στο μέλλον μπορεί να ενδιαφερθεί και για τις πιο πρόσφατες αντιλήψεις ως προς την αειφόρα και ασφαλή από σχεδιασμού (safe and sustainable by design) βελτίωση της ποιότητας.

Τέλος, η εφαρμογή μεθόδων Πειραματικού Σχεδιασμού και η ανάγκη για συνεχή έλεγχο μέσω των ΔΕ για το αν η παραγωγική διεργασία είναι υπό στατιστικό έλεγχο έχει βραχυπρόθεσμο ορίζοντα. Δεν θα έχει κανένα μακροπρόθεσμο αποτέλεσμα εάν η ποιότητα δεν γίνει μέρος της καθημερινότητας των διεργασιών των επιχειρήσεων και δεν γίνει αντιληπτό ότι ο κύκλος συνεχούς βελτίωσης χρειάζεται καθημερινή προσπάθεια και μελλοντικό προγραμματισμό.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γεωργακάκος Γ, (2002), Στατιστικός Έλεγχος Διεργασίας
2. Καραγρηγορίου Α., Καλλιγέρης, Εμ. Ν., Γραμμικά Μοντέλα και Σχεδιασμός και Ανάλυση Πειραμάτων με εφαρμογές R και Minitab, (2023), Τύπος: Ηλεκτρονικό Βιβλίο Διαθέτης (Εκδότης): Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα - Αποθετήριο "Κάλλιπος".
3. Καραγρηγορίου Α. , Βόντα Φ. (2012), Εφαρμοσμένη Στατιστική και Ανάλυση και Στοιχεία πιθανοτήτων , Εκδ. Παρασκήνιο, Αθήνα.
4. Καρλής Δ., (2005), Πολυμεταβλητή Στατιστική Ανάλυση, Εκδ. Σταμούλης, Αθήνα.
5. Κουτρούβελης Ι. (2002), Σχεδιασμός και Ανάλυση Πειραμάτων
6. Λογοθέτης Ν. (2001), Διαδικασίες και Τεχνικές Συνεχούς Βελτίωσης της Ποιότητας.
7. Antony J., Blecharz P, (2004), Appication of Taguchi approach to Statistical Design of Experiments in Czech Republication Industries, V.53, No.5, pag. 447-457, Emerald Group Publising Limited,1741-0401,doi.org/10.1108/17410400410545914.
8. Antony J, Perry D., Wang C., Kumar M, (2006), An application of Taguchi method of experimental design for new product design and development process, Strategy and Leadership Groop, UK, Vol26, No1, 2006, pp.18-24, Emerald Publishing Limited, ISSN 0144-5154, doi 10.1108/01445150610645611.
9. Antony J, Karamperidis S, Antony F., Cudney E., (2019), Understanding and evaluating teaching effectiveness in the UK higher education sector using experimental design, Vol 36, No 2, Pages 202-216, 2019, 0265-671X doi: 10.1108/IJQRM-01.-2018-0011.
10. Costa N, Pires A, (2006), Guidelines to help practitioners of design of experiments, The TQM Magazine, Vol. 18, No.4, 2006, Emerald Group Publishing Limited, 0954-478X, doi 10.1108/09544780610671057.
11. Costa N, (2019), Design of Experiments- overcome hindrances and bad practices, The TQM Journal, Vol. 31, No.5, 2019, p. 772-789, Emerald Group Publishing Limited, 1754-2731, doi 10.1108/TQM-02-2019-0035.
12. Douglas C. Montgomery, Introduction to Statistical Quality Control, (2019), 8th Edition, Arizona State University, John Wiley & Sons.

13. McKeown P.,(1992), Implementing Quality Improvement Programmes, Robotics & Computer Integrated Manufacturing, Vol. 9, No.4/5, pp.311-20.
14. Rowlands H., Antony J., Knowles G., (2000), The TQM Magazine, Vol. 12, No2, 2000, pp. 78-83, MCB University Press, ISSN 0954-478X.

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.