

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ
EXECUTIVE MBA
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΥΓΕΙΑΣ



ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΟΣΧΟΣ

A.M.: 1328

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΕΤΡΟΣ ΜΑΡΑΒΕΛΑΚΗΣ

Πειραιάς

Νοέμβριος 2016

Παράρτημα Β: Βεβαίωση Εκπόνησης Διπλωματικής Εργασίας



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΣΤΕΛΕΧΗ

ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

«Δηλώνω υπεύθυνα ότι η διπλωματική εργασία για τη λήψη του μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών, του Πανεπιστημίου Πειραιώς, στη Διοίκηση Επιχειρήσεων για Στελέχη : E-MBA» με τίτλο **ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΥΓΕΙΑΣ** έχει συγγραφεί από εμένα αποκλειστικά και στο σύνολό της. Δεν έχει υποβληθεί ούτε έχει εγκριθεί στο πλαίσιο κάποιου άλλου μεταπτυχιακού προγράμματος ή προπτυχιακού τίτλου σπουδών, στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό, ούτε είναι εργασία ή τμήμα εργασίας ακαδημαϊκού ή επαγγελματικού χαρακτήρα. Δηλώνω επίσης υπεύθυνα ότι οι πηγές στις οποίες ανέτρεξα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας, αναφέρονται στο σύνολό τους, κάνοντας πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου»

Υπογραφή Μεταπτυχιακού Φοιτητή

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Dimitrios Moschos', is written over a horizontal line.

Όνοματεπώνυμο : ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΟΣΧΟΣ

Ημερομηνία 08 /11/2016

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	
1 Κεφάλαιο: Εισαγωγή	4
1.1. Η Ποιότητα και η σημασία της στο επιχειρείν	4
1.2. Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας και Στατιστικός Έλεγχος Διεργασιών	6
1.3. Στατιστικός Έλεγχος Διεργασιών σε Μονάδες Υγείας	8
2 Κεφάλαιο: Τα Διαγράμματα Ελέγχου	10
2.1. Στατιστικός Έλεγχος Διεργασιών	10
2.2. Διαγράμματα Ελέγχου	14
2.3. Διαγράμματα Ελέγχου Μεταβλητών	18
3 Κεφάλαιο: Τα Διαγράμματα Ελέγχου στην ανίχνευση και παρακολούθηση των ενδονοσοκομειακών λοιμώξεων	29
3.1. Διαγράμματα Ελέγχου στον τομέα της υγείας	29
3.2. Ιδιαιτερότητες στην εφαρμογή των SPC και των διαγραμμάτων ελέγχου στον τομέα της υγείας	32
3.3. Το Διάγραμμα Shewhart	35
3.4. Το Διάγραμμα CUSUM	39
3.5. Το Διάγραμμα EWMA	41
4 Κεφάλαιο: Εφαρμογή Διαγραμμάτων Ελέγχου στην πρόβλεψη μολύνσεων	43
4.1. Υπολογισμός Cusum (value and score)	43
4.2. Διάγραμμα SHEWHART	45
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	50
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	51

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Η Ποιότητα και η σημασία της στο επιχειρείν

Ο έλεγχος και η βελτίωση της ποιότητας αποτελεί πλέον μία σημαντική επιχειρηματική στρατηγική για πολλούς κλάδους, όπως αυτοί της βιομηχανίας, των μεταφορών, επιχειρήσεων που παρέχουν οικονομικές υπηρεσίες και υπηρεσίες υγείας, καθώς και για πολλούς κρατικούς οργανισμούς. Η διατήρηση υψηλής ποιότητας στα παρεχόμενα προϊόντα και υπηρεσίες δίνει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην εκάστοτε επιχείρηση, και η επιχείρηση που μπορεί να ικανοποιήσει τους πελάτες της, βελτιώνοντας την ποιότητα μπορεί να κυριαρχήσει έναντι των ανταγωνιστών της.

(Montgomery 2013, p.1)

Ο οργανισμός American Society for Quality στο σχετικό γλωσσάρι του ιστότοπου που διαθέτει, δίνει τον πιο κάτω ορισμό για την ποιότητα: «Πρόκειται για υποκειμενικό όρο, για τον οποίο κάθε άτομο ή κλάδος έχει το δικό του ορισμό. Κατά την τεχνική χρήση του όρου έχει δύο σημασίες: 1. Τα χαρακτηριστικά ενός προϊόντος ή μίας υπηρεσίας που έχουν την ικανότητα να ικανοποιήσουν μία εκφρασμένη ή εννοούμενη ανάγκη 2. Ένα προϊόν ή μία υπηρεσία απαλλαγμένη από ελαττώματα. Σύμφωνα με τον J. Juran, ποιότητα σημαίνει καταλληλότητα για χρήση, ενώ σύμφωνα με τον P. Crosby σημαίνει συμμόρφωση σε απαιτήσεις» (<http://asq.org/glossary/q.html>)

Οι διαστάσεις της ποιότητας είναι οι εξής:

- Οι λειτουργίες/ Απόδοση (Performance)
- Αξιοπιστία (Reliability)
- Αντοχή (Durability)
- Ικανότητα Επισκευής (Service ability)
- Αισθητικά χαρακτηριστικά (Aesthetics)
- Χαρακτηριστικά (Features)
- Αντίληψη της ποιότητας (Perceived Quality)
- Συμμόρφωση με προδιαγραφές (Conformance to Standards)

Στην περίπτωση της παροχής υπηρεσιών (όπως είναι η υγεία), μπορούμε στις πιο πάνω διαστάσεις να προσθέσουμε και τις εξής:

- Ανταποκρισιμότητα (Responsiveness)
- Επαγγελματισμός (Professionalism)
- Προσήλωση/ προσοχή (Attentiveness) (Montgomery2013, p.4)

Η ποιότητα υπήρξε ανέκαθεν αναπόσπαστο κομμάτι σε κάθε παρεχόμενο προϊόν και υπηρεσία. Παρ' όλα αυτά η σπουδαιότητά της, καθώς και η εισαγωγή ειδικών μεθόδων για τον έλεγχο και τη βελτίωσή της υπήρξε σταδιακή.(Montgomery2013, p.9)

Την ιστορική εξέλιξη αυτής της διαδικασίας μπορεί κανείς να παρακολουθήσει στον πιο κάτω πίνακα. (Montgomery2013, p.10)

Πίνακας 1. Ιστορική Αναδρομή της Ποιότητας

1901	Τα πρώτα εργαστήρια προτύπων (standards) ιδρύονται στη Μ. Βρετανία
1907	Η AT & T Bell Laboratories αρχίζει τη συστηματική επιθεώρηση και έλεγχο προϊόντων και υλικών
1919	Η Ένωση Τεχνικών Επιθεωρητών ιδρύεται στην Αγγλία. Αργότερα μετονομάζεται σε Ινστιτούτο Διασφάλισης της Ποιότητας
1920	Στα εργαστήρια της AT & T Bell Laboratories ιδρύεται τμήμα ποιότητας
1924	Ο W. A. Shewhart εισάγει τα διαγράμματα ελέγχου σε ένα Technical Report στην AT & T Bell
1928	Το δειγματοληπτικό σχέδιο αποδοχής σωρού αναπτύσσεται από τους Dodge και Romig
1931	Ο W.A. Shewhart εκδίδει το περιοδικό "Economic Control of Quality of Manufactured Product"
1932	Ο W.A. Shewhart δίνει διαλέξεις για τις στατιστικές μεθόδους στην παραγωγή και για τα διαγράμματα ελέγχου, στο Πανεπιστήμιο του Λονδίνου
1938	Ο W.E. Deming προσκαλεί τον Shewhart για σεμινάρια στα διαγράμματα ελέγχου στο U.S. Department of Agriculture Graduate School
1940	Το Υπουργείο Πολέμου των Η.Π.Α. εκδίδει ένα οδηγό για την ανάλυση δεδομένων με χρήση διαγραμμάτων ελέγχου
1946	Ιδρύεται η American Society for Quality Control (ASQC)
1946	Ο W.E. Deming προσκαλείται στην Ιαπωνία για να δώσει σεμινάρια Στατιστικού Ποιοτικού Ελέγχου
1948	Ο Καθηγητής G. Taguchi αρχίζει τη μελέτη των πειραματικών σχεδιασμών
1950	Ο W.E. Deming αρχίζει την εκπαίδευση ανώτατων στελεχών βιομηχανιών της

Ιαπωνίας

- 1950 Ο K. Ishikawa εισάγει το διάγραμμα αιτίου-αποτελέσματος (cause and effect diagram)
- 1954 Ο J. M. Juran προσκαλείται από την Ιαπωνία για να δώσει διαλέξεις σε θέματα διοίκησης και βελτίωσης της ποιότητας. Ο E.S. Page εισάγει το διάγραμμα ελέγχου CUSUM
- 1959 Ο S. Roberts εισάγει το διάγραμμα ελέγχου EWMA. Ξεκινά η έκδοση του επιστημονικού περιοδικού Technometrics
- 1960 Η ιδέα των κύκλων ποιότητας εισάγεται από τον K. Ishikawa
- 1969 Τα περιοδικά Quality Progress και Journal of Quality Technology αρχίζουν να εκδίδονται
- 1975 Εμφανίζονται τα πρώτα βιβλία σε σχεδιασμό πειραμάτων
- 1989 Αρχίζει να εκδίδεται το περιοδικό Quality Engineering. Η Motorola εισάγει την έννοια six-sigma.
- 1990 Σταδιακή αύξηση της ζήτησης στην βιομηχανία για πιστοποίηση κατά ISO 9000
- 1997 Η προσέγγιση six-sigma της Motorola υιοθετείται και από άλλες βιομηχανίες

1.2. Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας και Στατιστικός Έλεγχος Διεργασιών

Ο Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας (Statistical Quality Control), αποτέλεσε το πρώτο βήμα προς τη Διοίκηση Ολικής Ποιότητας (Total Quality Management ή Total Quality Assurance). Πρόκειται για ένα εργαλείο των επιχειρήσεων, το οποίο συνεισφέρει σε αποφάσεις σχετικές με τις προδιαγραφές, την ίδια την παραγωγική διαδικασία, αλλά και τον τελικό έλεγχο των προϊόντων. Έτσι, το εργαλείο αυτό γίνεται αποτελεσματικό μόνο όταν εφαρμόζεται σε επιχειρήσεις που έχουν ως στόχο τους τη συστηματική βελτίωση της ποιότητας σε όλα τα επίπεδα λειτουργίας τους. (Αντζουλάκος 2009, p.9)

Ο Στατιστικός Έλεγχος ποιότητας βασίζεται σε μεθόδους στατιστικής ανάλυσης δεδομένων, οι οποίες προάγουν την ποιότητα. Διακρίνονται τρία τέτοια σύνολα μεθόδων, τα οποία αφορούν σε διαφορετικές φάσεις της παραγωγικής διαδικασίας. Αυτά είναι:

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

Το πρώτο σύνολο, ο Σχεδιασμός και η Ανάλυση Πειραμάτων, αφορά στη βέλτιστη σχεδίαση της παραγωγικής διαδικασίας, εφόσον οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται αποκαλύπτουν την επίδραση των μεταβλητών στις ποιοτικές παραμέτρους των παραγόμενων προϊόντων.

Ο Στατιστικός Έλεγχος Διεργασιών περιλαμβάνει εκείνες τις στατιστικές μεθόδους που είναι αναγκαίες για τον έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας των προϊόντων.

Τέλος, η Δειγματοληψία Αποδοχής αφορά σε απαραίτητες τεχνικές, οι οποίες καθορίζουν την έγκριση ή απόρριψη μίας παρτίδας παραγμένων προϊόντων. (Αντζουλάκος 2009, p.13)

Ιστορικά, η βασική θεωρία του στατιστικού ελέγχου διεργασιών αναπτύχθηκε στα τέλη του 1920 από τον Walter Shewhart, ενώ έγινε γνωστή από τον Edwards Deming. Και οι δύο παρατήρησαν ότι οι επαναλαμβανόμενες μετρήσεις μίας διαδικασίας, παρουσίαζαν διακύμανση. Αρχικά, ο Shewhart ασχολήθηκε με τις διαδικασίες στο βιομηχανικό περιβάλλον, όμως τόσο ο ίδιος όσο και ο Deming, γρήγορα συνειδητοποίησαν, ότι οι παρατηρήσεις τους μπορούσαν να εφαρμοστούν σε οποιαδήποτε διαδικασία. Εάν μία διαδικασία ήταν σταθερή, τότε οι διακυμάνσεις της θα μπορούσαν να προβλεφθούν και να περιγραφούν από κάποιο μοντέλο στατιστικής κατανομής. (Benney anetal., 2003)

Ο Στατιστικός Έλεγχος Διεργασιών είναι εφαρμόσιμος σε όλες τις διαδικασίες. Τα κυριότερα εργαλεία, από τα οποία απαρτίζεται και τα οποία επιβλέπουν, τόσο τη σταθερότητα μιας διεργασίας, όσο και τη μείωση της μεταβλητότητάς της, άρα τη βελτίωση της ικανότητάς της, είναι τα ακόλουθα επτά:

- Το Ιστόγραμμα ή το Διάγραμμα Μίσχου-Φύλλων (Histogram of Stem-and-Leaf Plot)
- Το φύλλο Ελέγχου (Check Sheet)
- Το Διάγραμμα Pareto (Pareto Chart)
- Το Διάγραμμα Αιτίας-Αποτελέσματος (Cause-and-Effect Diagram)
- Το Διάγραμμα Συγκέντρωσης Ελαττωμάτων (Defect Concentration Diagram)
- Το Διάγραμμα Διασποράς ή Διασκόρπισης (Scatter Plot)
- Το Διάγραμμα Ελέγχου (Control Chart)

Τα εργαλεία αυτά αναφέρονται συχνά και με τον όρο “the magnificent seven”.

1.3. Στατιστικός Έλεγχος Διεργασιών σε Μονάδες Υγείας

Οι πιο πάνω μέθοδοι χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς του χώρου της υγείας. Ήδη, από το 1916, ο Frank Gilberth, πρότεινε τη χρήση μιας ανάλυσης της διαδικασίας ροής, καθώς επίσης μελέτες καταγραφής χρόνου και κινήσεως των νοσοκομειακών συστημάτων, με στόχο τη βελτίωση των χειρουργικών αποτελεσμάτων, και τη μείωση του χρόνου αναμονής. Κατά την περίοδο 1967 έως 1982, μία ομάδα επιστημόνων αποτελούμενη από μηχανικούς, ερευνητές της υγείας και άλλες ειδικότητες, ανέπτυξαν ομάδες διαγνωστικών κριτηρίων, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως ένα συγκεκριμένο προϊόν/ υπηρεσία, παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται από το βιομηχανικό κλάδο, και έχουν ως στόχο την αποτελεσματικότερη διαχείριση, ανάλυση, προϋπολογισμό, κοστολόγηση, και έλεγχο της ποιότητας. (Benneyan, 1998)

Από την άλλη πλευρά, στις τελευταίες δύο δεκαετίες, και παρά την τεράστια πρόοδο που έχει επέλθει στην ιατρική και την τεχνολογία, το σύστημα υγείας εξακολουθεί να λειτουργεί σε επίπεδα χαμηλότερα του αποδεκτού στους τομείς της ασφάλειας των ασθενών, καθώς και στην αντιμετώπιση των αναγκών των ασθενών. Στην Αμερική, συγκεκριμένα, τα ιατρικά λάθη οδηγούν σε πολυάριθμους θανάτους (σύμφωνα με εκτιμήσεις, από 44.000 – 98.000). Το χάσμα μεταξύ της άποψης των ιατρών για τη θεραπεία των ασθενών και

της πραγματικότητας, κοστίζει περισσότερα από 9 δις δολάρια κατ' έτος σε χαμένη παραγωγικότητα, και σχεδόν 2 δις δολάρια κατ' έτος σε νοσοκομειακά έξοδα. (Varkeyetal., 2007)

Συγκεκριμένα για την Αμερική, το κόστος της ιατρικής περίθαλψης ενδεχομένως να είναι και το πλέον σοβαρό θέμα που έχουν να αντιμετωπίσουν πολλοί κλάδοι.(Montgomery 2013, p.20)

Οι ενδείξεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο Στατιστικός Έλεγχος Διεργασιών μπορεί να είναι ένα δυναμικό και ευέλικτο εργαλείο για τη διαχείριση αλλαγών στον τομέα της υγείας. Και ενώ στην αρχή αυτός εφαρμόστηκε σε συνθήκες εργαστηρίου, στη συνέχεια βρήκε εφαρμογή στην άμεση περίθαλψη ασθενών, μαζί με άλλες τεχνικές βελτίωσης της ποιότητας. (Thor, 2007)

Από μελέτες, γίνεται φανερό ότι ο Στατιστικός Έλεγχος Διεργασιών, βοηθά τα διάφορα εμπλεκόμενα και ενδιαφερόμενα μέρη (stakeholders) στη διαχείριση και βελτίωση των διαδικασιών της υγείας. Επιπλέον, μπορεί να βοηθήσει τους κλινικούς ιατρούς να κατανοήσουν και να βελτιώσουν την υγεία των ασθενών τους, εφόσον ο έλεγχος εφαρμοστεί απευθείας σε δείκτες υγείας, όπως είναι τα επίπεδα σακχάρου στο αίμα στους διαβητικούς ασθενείς. Στην τελευταία αυτή περίπτωση το «αντικείμενο μελέτης» κατέχει ενεργό ρόλο στη διαδικασία, με τους ασθενείς να εφαρμόζουν το Στατιστικό Έλεγχο Διεργασιών στην ίδια τους την υγεία. Μάλιστα, ικανός αριθμός μελετών καταδεικνύουν το όφελος μιας τέτοιας λειτουργίας για την ενδυνάμωση των ασθενών. (Thor, 2007)

Πολυάριθμες, επίσης, είναι και οι μελέτες που εκθειάζουν και τη χρήση του διαγράμματος ελέγχου - εργαλείο του Στατιστικού Ελέγχου Διεργασιών - στο χώρο της υγείας. Ο Thor στη μελέτη του παραπέμπει στα αποτελέσματα της χρήσης του Στατιστικού Ελέγχου Διεργασιών από τον IHC (Inter mountain Health Care, USA). Συγκεκριμένα, αποτυπώνεται ότι, κάτω από βέλτιστες συνθήκες, τα διαγράμματα ελέγχου, αυτές οι γραφικές αναπαραστάσεις της απόδοσης των διαδικασιών, επιτρέπουν στους συμμετέχοντες να γνωρίζουν τι ακριβώς συμβαίνει με τη διαδικασία, καθώς δεδομένα πραγματικού χρόνου τους δίνουν τη δυνατότητα να λάβουν τις κατάλληλες αποφάσεις.

Αυτή η δυνατότητα της κατανόησης των διαδικασιών και των διακυμάνσεων έγκαιρα, οδηγεί σε σημαντικές, άμεσες και συνεχείς βελτιώσεις, συγκριτικά με οποιαδήποτε άλλη τεχνική. (Thor, 2007)

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Μερικές από τις βασικότερες έννοιες του Στατιστικού Ελέγχου Διεργασιών και των Διαγραμμάτων Ελέγχου, παρουσιάζονται πιο κάτω.

2.1. Στατιστικός Έλεγχος Διεργασιών

Κάθε παραγωγική διαδικασία, ανεξάρτητα από το πόσο καλά είναι σχεδιασμένη και πόσο καλά συντηρείται, συνοδεύεται πάντα από μία φυσική μεταβλητότητα, μικρή σε μέγεθος. Δηλαδή, εμπεριέχει πολλές μικρές αιτίες, οι οποίες οδηγούν τα παραγόμενα προϊόντα σε ελάχιστη διαφοροποίηση μεταξύ τους, σε κάποιο ή κάποια από τα χαρακτηριστικά τους. Οι αιτίες αυτές είναι γνωστές ως κοινές, ή συνήθεις, ή τυχαίες αιτίες μεταβλητότητας (common or chance causes of variation). Μία διεργασία λειτουργεί «εντός στατιστικού ελέγχου (in statistical control process) ή σε ευσταθή κατάσταση (stable state), όταν επηρεάζεται μόνο από τη φυσική μεταβλητότητα, και οι αιτίες αυτές θεωρούνται αναπόσπαστο μέρος της διεργασίας.

Είναι όμως πιθανό, άλλα είδη μεταβλητότητας, περιστασιακά να εμφανίζονται σε μία διαδικασία. Αυτή η μεταβλητότητα σε σημαντικά ποιοτικά χαρακτηριστικά, συνήθως, οφείλεται σε τρεις λόγους: σε κακή ρύθμιση των μηχανημάτων, σε κακό χειρισμό των μηχανημάτων ή σε ελαττωματική πρώτη ύλη. Η μεταβλητότητα αυτή είναι συνήθως μεγάλη, οδηγεί σε μη αποδεκτά επίπεδα λειτουργίας της παραγωγικής διαδικασίας και καλείται ειδική μεταβλητότητα. Οι αιτίες αυτής ονομάζονται ειδικές ή προσδιορισμένες αιτίες μεταβλητότητας (special or assignable causes of variation). Σε τέτοια

περίπτωση, η διεργασία λειτουργεί εκτός στατιστικού ελέγχου (out of statistical control process) ή σε ασταθή κατάσταση (unstable state).

Άμεσα συνδεδεμένη έννοια με την παραγωγή ενός προϊόντος είναι τα όρια προδιαγραφών (specifications limits) των ποιοτικών χαρακτηριστικών (quality characteristics) του προϊόντος, τα οποία καθορίζονται στη φάση σχεδιασμού του. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά αξιολογούνται συγκρινόμενα με προδιαγραφές. Για ένα βιομηχανικό προϊόν οι προδιαγραφές είναι οι επιθυμητές μετρήσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών των εξαρτημάτων τα οποία συγκροτούν το προϊόν, όπως επίσης και οι επιθυμητές τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος. Στο χώρο της παροχής υπηρεσιών, οι προδιαγραφές εκφράζονται συνήθως σε χρονικούς όρους, οι οποίοι απαιτούνται για τη διεκπεραίωση και παροχή της υπηρεσίας.

Η τιμή μίας μέτρησης που ανταποκρίνεται στην επιθυμητή τιμή του ποιοτικού χαρακτηριστικού, ονομάζεται «τιμή στόχος» (nominal or target value). Αυτή η τιμή στόχος οριοθετείται από μία σειρά τιμών επαρκώς κοντινές, ώστε, όταν το ποιοτικό χαρακτηριστικό βρίσκεται εντός αυτού του εύρους, να μην υπάρχει επίπτωση στη λειτουργία ή απόδοση του προϊόντος. Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή για το ποιοτικό αυτό χαρακτηριστικό ονομάζεται «άνω όριο προδιαγραφών» (upper specification limit, USL), και η μικρότερη επιτρεπόμενη τιμή ονομάζεται «κάτω όριο προδιαγραφών» (lower specification limit, LSL). Συνεπώς, για να είναι ποιοτικά αποδεκτό ένα παραγόμενο προϊόν, οι τιμές του ποιοτικού χαρακτηριστικού θα πρέπει να βρίσκονται εντός αυτών των ορίων. Υπάρχουν και περιπτώσεις χαρακτηριστικών για τα οποία απαιτείται μόνο το ένα από τα δύο όρια. Σε συνθήκες φυσικής μεταβλητότητας η πλειονότητα των τιμών βρίσκεται εντός των ορίων των προδιαγραφών, γεγονός που δεν ισχύει στις συνθήκες ειδικής μεταβλητότητας.

Οι προδιαγραφές είναι συνήθως αποτέλεσμα της διαδικασίας του βιομηχανικού σχεδιασμού ενός προϊόντος. Επειδή όμως η κατασκευή και ο έλεγχος ενός πρωτοτύπου δε γίνεται πάντα με δομημένο τρόπο, πολλά προβλήματα ποιότητας μπορεί να προκύψουν όταν το προϊόν βγει στην παραγωγή. Ως αποτέλεσμα, προκύπτουν εξαρτήματα ή και προϊόντα μη συμμορφωμένα (non conforming products), δηλαδή προϊόντα των οποίων ένα τουλάχιστον ποιοτικό χαρακτηριστικό έχει τιμή εκτός των ορίων προδιαγραφών, και συνεπώς προϊόντα τα οποία δεν πληρούν μία ή περισσότερες από τις προδιαγραφές τους. Ένα τέτοιο προϊόν δεν είναι απαραίτητα ακατάλληλο προς χρήση. Θεωρείται όμως ελαττωματικό (defective), αν έχει ένα ή περισσότερα ελαττώματα, τα οποία είναι αρκετά σοβαρά ώστε να επηρεάζουν σημαντικά την ασφαλή ή αποτελεσματική χρήση του προϊόντος.

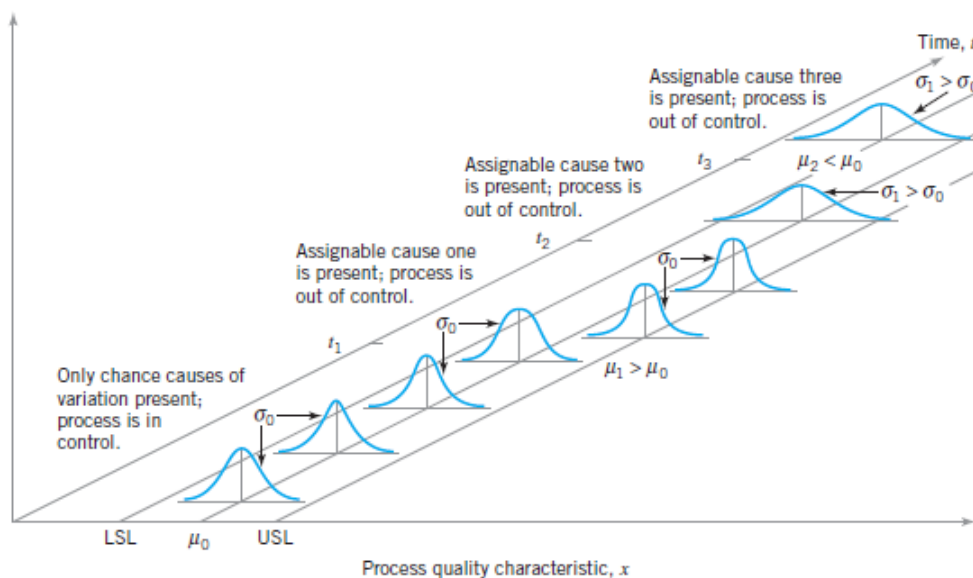
Στην παραγωγική διαδικασία το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην παρακολούθηση της συμπεριφοράς μίας κρίσιμης ποσότητας ενός ποιοτικού χαρακτηριστικού του παραγόμενου προϊόντος. Αυτή, βασίζεται σε μετρήσεις που προκύπτουν από την επιλογή τυχαίων δειγμάτων σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Έτσι, με την παρακολούθηση των τιμών στα διάφορα δείγματα, επιτυγχάνεται η παρακολούθηση της συμπεριφοράς της κρίσιμης ποσότητας.

Όλα τα πιο πάνω, αποτυπώνονται στο διάγραμμα 1. Μέχρι το χρονικό σημείο t_1 , η διαδικασία, όπως φαίνεται, είναι εντός στατιστικού ελέγχου, δηλαδή εμφανίζονται μόνο τυχαίες αιτίες μεταβλητότητας. Ως αποτέλεσμα, τόσο η μέση όσο και η τυπική απόκλιση της διαδικασίας, βρίσκονται εντός ελέγχου (m_0 & s_0). Στο χρονικό σημείο t_1 εμφανίζεται μία προσδιορισμένη αιτία με αποτέλεσμα τη μετατόπιση του μέσου της διαδικασίας ($m_1 > m_0$). Στο χρονικό σημείο t_2 άλλη μία προσδιορισμένη αιτία εμφανίζεται, έχοντας ως αποτέλεσμα $m = m_0$. Τώρα, όμως έχει μετατοπιστεί η τυπική απόκλιση της διαδικασίας ($s_1 > s_0$). Στο χρονικό t_3 σημείο παρουσιάζεται μία ακόμα προσδιορισμένη αιτία, η οποία επηρεάζει τόσο τη μέση όσο και την τυπική απόκλιση. Γίνεται φανερό, ότι από το χρονικό σημείο t_1 η παρουσία των προσδιορισμένων αιτιών έχουν ως αποτέλεσμα μία διαδικασία εκτός ελέγχου.

Στο ίδιο διάγραμμα, γίνεται φανερό, πως όταν η διαδικασία είναι εντός ελέγχου, το μεγαλύτερο μέρος των παραγόμενων προϊόντων βρίσκεται μεταξύ των άνω και κάτω ορίων προδιαγραφών. Όταν όμως η διαδικασία βρίσκεται εκτός ελέγχου, ένα μεγαλύτερο μέρος βρίσκεται εκτός αυτών των προδιαγραφών.

Οι διαδικασίες συχνά λειτουργούν εντός στατιστικού ελέγχου για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Στην πραγματικότητα όμως καμία διαδικασία δε μένει εντός ελέγχου μόνιμα, και τελικά προσδιορισμένες αιτίες θα εμφανιστούν, φαινομενικά τυχαία, έχοντας ως αποτέλεσμα μία μετατόπιση της διαδικασίας σε κατάσταση εκτός ελέγχου, κατά την οποία τα αποτελέσματα, δηλαδή τα παραγόμενα προϊόντα, δεν θα είναι συμμορφούμενα με τις προδιαγραφές.

Διάγραμμα 1.



2.2. Διαγράμματα Ελέγχου

Ο κυριότερος στόχος του Στατιστικού Ελέγχου Διεργασιών, είναι η έγκαιρη ανίχνευση μετατοπίσεων λόγω της εμφάνισης ειδικών αιτιών μεταβλητότητας, ώστε να είναι εφικτή η διερεύνηση της διεργασίας και η λήψη διορθωτικών μέτρων, πριν την παραγωγή μεγάλου αριθμού μη συμμορφούμενων προϊόντων. Το διάγραμμα ελέγχου χρησιμοποιείται ευρέως για το σκοπό αυτό, ως μία τεχνική επιτόπιας και άμεσης παρακολούθησης. Τα διαγράμματα ελέγχου μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν στην αξιολόγηση των παραμέτρων μίας παραγωγικής διαδικασίας, και μέσω αυτού στον προσδιορισμό της παραγωγικής δυνατότητας. Τέλος, μια και η εξάλειψη της μεταβλητότητας μίας διεργασίας αποτελεί το βασικό στόχο του Στατιστικού Ελέγχου Διεργασιών, το διάγραμμα ελέγχου είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο μείωσης, κατά το εφικτό, αυτής της μεταβλητότητας.

Τα διαγράμματα ελέγχου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο μεγάλες ομάδες. Στην περίπτωση που το ποιοτικό χαρακτηριστικό είναι μετρήσιμο και μπορεί να εκφραστεί ως ένας αριθμός μίας συνεχούς κλίμακας μέτρησης, καλείται «μεταβλητή». Στις περιπτώσεις αυτές είναι χρήσιμο να περιγράφεται το ποιοτικό χαρακτηριστικό με συστήματα μέτρησης της κεντρικής τάσης και της μεταβλητότητας. Τέτοια διαγράμματα ελέγχου ονομάζονται «διαγράμματα ελέγχου για συνεχή χαρακτηριστικά» (variables control charts). Πολλά όμως ποιοτικά χαρακτηριστικά δε μετρώνται σε συνεχή κλίμακα ή ακόμα και σε ποσοτική κλίμακα. Στις περιπτώσεις αυτές αξιολογούμε κάθε μονάδα προϊόντος ως συμμορφωμένο ή μη συμμορφωμένο, ανάλογα με το αν διαθέτει ή όχι κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Εναλλακτικά, μπορούμε να μετρήσουμε τον αριθμό των ατελειών που παρουσιάζει μία μονάδα προϊόντος. Διαγράμματα ελέγχου για τέτοιου είδους ποιοτικά χαρακτηριστικά ονομάζονται «διαγράμματα ελέγχου για διακριτά χαρακτηριστικά» (attributes control charts).

Ένα γενικό μοντέλο για ένα διάγραμμα ελέγχου μπορεί να είναι το ακόλουθο: έστω w ένα στατιστικό που μετρά κάποιο ποιοτικό χαρακτηριστικό, και ο μέσος του w είναι m_w και η τυπική απόκλιση του w είναι s_w . Τότε η κεντρική γραμμή, και τα άνω και κάτω όρια ελέγχου γίνονται: $UCL = M_w + L\sigma_w$, Center Line = M_w , $LCL = M_w - L\sigma_w$, όπου L είναι η απόσταση των ορίων ελέγχου από την κεντρική γραμμή, εκφρασμένη σε μονάδες τυπικής απόκλισης. Όταν το $L = 3$, τότε πρόκειται για κατασκευή ορίων ελέγχου τριών σίγμα (three sigma control limits, 3σ). Για μεγάλες τιμές του L η απόσταση των ορίων ελέγχου από την κεντρική γραμμή μεγαλώνει και έτσι μειώνεται ο κίνδυνος να βρεθεί ένα σημείο του διαγράμματος εκτός των ορίων ελέγχου, άρα μειώνεται η πιθανότητα του σφάλματος τύπου I (ή ρίσκο α), αλλά ταυτόχρονα αυξάνεται η πιθανότητα του σφάλματος τύπου II (ή ρίσκο β). Για μικρές τιμές του L έχουμε τα αντίθετα αποτελέσματα.

Αυτή η γενική θεωρία των διαγραμμάτων ελέγχου εισάχθηκε αρχικά από τον Walter A. Shewhart. Για το λόγο αυτό, τα διαγράμματα ελέγχου που αναπτύχθηκαν σύμφωνα με αυτές τις αρχές, συχνά καλούνται Διαγράμματα Ελέγχου Shewhart.

Παρατηρώντας, λοιπόν, και ερμηνεύοντας τη συμπεριφορά των δεδομένων καθώς αυτά απεικονίζονται στο κατάλληλο διάγραμμα ελέγχου συναρτήσει του χρόνου, είναι δυνατό να προσδιοριστεί η σταθερότητα της διαδικασίας. Αξίες εκτός των ορίων ελέγχου, ξεπερνούν το εύρος πιθανοτήτων και γι' αυτό αποτελούν σαφείς ενδείξεις εξω- συστημικών αιτιών, οι οποίες θα πρέπει να αναγνωριστούν και να εξαλειφθούν, ώστε να επιτευχθεί μία σταθερή και προβλεπόμενη διαδικασία. Επίσης, δε θα πρέπει να υπάρχουν ενδείξεις μη- τυχαίας συμπεριφοράς μεταξύ των ορίων, όπως τάσεις, κύκλοι, και μετατοπίσεις, πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή. (Benneyanetal., 2001).

Τα όρια ελέγχου προκύπτουν από τη φυσική μεταβλητότητα της διαδικασίας, μετρούμενα με την τυπική απόκλιση της διαδικασίας, δηλαδή από τα φυσικά όρια ανοχής μίας διεργασίας. Τα άνω και κάτω φυσικά όρια ανοχής, όπως καλούνται, προσδιορίζονται ως $3s$ πάνω και κάτω από το μέσο της διαδικασίας. Σε καμία περίπτωση, πάντως, τα όρια αυτά δεν πρέπει να συγχέονται με τα όρια των προδιαγραφών, τα οποία ορίζονται εκτός

διαδικασίας, όπως για παράδειγμα από τη διοίκηση, τον κατασκευαστή, τον πελάτη κλπ.

Μία έννοια που σχετίζεται με τα διαγράμματα ελέγχου και τις αποφάσεις σχετικά με το μέγεθος και τη συχνότητα ενός δείγματος, είναι το Μέσο Μήκος Ροής ή Διαδρομής (Average run length, ARL). Ουσιαστικά, πρόκειται για το μέσο αριθμό σημείων, που θα σχεδιαστούν σε ένα διάγραμμα, πριν την εμφάνιση ενός σημείου εκτός ελέγχου. Αν οι παρατηρήσεις δεν συσχετίζονται, τότε για ένα διάγραμμα ελέγχου Shewhart, το Μέσο Μήκος Ροής υπολογίζεται από τον τύπο $ARL = \frac{1}{p}$ όπου p είναι η πιθανότητα να βρεθεί ένα σημείο εκτός ορίων ελέγχου. Ο τύπος αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της απόδοσης του διαγράμματος ελέγχου, αν και η πρακτική αυτή έχει υποστεί κριτική τα τελευταία χρόνια.

Ο έλεγχος μίας παραγωγικής διαδικασίας με τη χρήση διαγραμμάτων ελέγχου εμπεριέχει 2 φάσεις, τη φάση I και τη φάση II, κάθε μία από τις οποίες έχει έναν διαφορετικό και διακριτό στόχο. Στην πρώτη φάση (Phase I), ένα σύνολο δεδομένων συγκεντρώνεται και αναλύεται ταυτόχρονα σε μία αναδρομική (retrospective) ανάλυση, οικοδομώντας δοκιμαστικά όρια ελέγχου ώστε να προσδιοριστεί αν η διαδικασία βρισκόταν εντός ελέγχου κατά τη χρονική διάρκεια συλλογής των δεδομένων. Παράλληλα, διευκρινίζεται αν αξιόπιστα όρια ελέγχου μπορούν να τεθούν ώστε να πραγματοποιείται η παρακολούθηση της μελλοντικής παραγωγής. Τα διαγράμματα ελέγχου στη φάση I, κυρίως βοηθούν τους χειριστές να προσαρμόσουν τη διαδικασία σε μία κατάσταση στατιστικού ελέγχου. (Montgomery 2013, p.206)

Η φάση II ξεκινά αμέσως μόλις συλλεχθεί ένα σύνολο δεδομένων το οποίο βρίσκεται σε σταθερές συνθήκες και υποδηλώνει απόδοση μίας εντός ελέγχου διαδικασίας, η διαδικασία, δηλαδή, θεωρείται σταθερή. Στη φάση αυτή το διάγραμμα ελέγχου χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της διαδικασίας, συγκρίνοντας το στατιστικό δείγμα για κάθε επόμενο δείγμα, όπως αυτό προκύπτει από τη διαδικασία στα όρια ελέγχου. (Montgomery 2013, p.206)

Οι ειδικές αιτίες μεταβλητότητας που προκύπτουν στη φάση αυτή έχουν ως αποτέλεσμα μικρές μετατοπίσεις, μια και οι κυριότερες πηγές μεταβλητότητας έχουν ήδη αντιμετωπιστεί κατά την πρώτη φάση. Έμφαση πλέον δίνεται στην παρακολούθηση της διαδικασίας. Το Μέσο Μήκος Ροής είναι πια το κατάλληλο εργαλείο για την αξιολόγηση της απόδοσης ενός διαγράμματος ελέγχου κατά τη φάση II. Αντίθετα, το διάγραμμα ελέγχου τύπου Shewhart, θα είναι μάλλον αναποτελεσματικό, μια και δεν είναι ευαίσθητο με μικρές ή και μέτριες μετατοπίσεις. Κατάλληλα επίσης σε αυτή τη φάση είναι και τα διαγράμματα ελέγχου EWMA και Cumulative Sum.

Ένα πολύ σημαντικό τμήμα της διαδικασίας διορθωτικών ενεργειών, το οποίο σχετίζεται με τη χρήση του διαγράμματος ελέγχου, είναι το «εκτός ελέγχου πρόγραμμα δράσης» (out of control action plan, OCAP). Πρόκειται για ένα διάγραμμα ροής, ή μία λεκτική περιγραφή της ακολουθίας των ενεργειών που πρέπει να πραγματοποιηθούν κάθε φορά που εκδηλώνεται ένα ιδιαίτερο περιστατικό (activating event). Τέτοια είναι συνήθως σήματα εκτός ορίων, όπως αυτά προκύπτουν από το διάγραμμα ελέγχου. Το OCAP συνίσταται από σημεία ελέγχου (checkpoints), τα οποία είναι πιθανές ειδικές αιτίες μεταβλητότητας, και σε τελικά σημεία (terminators), τα οποία είναι ενέργειες για την επίλυση της εκτός ελέγχου κατάστασης, συνήθως με την εξάλειψη της ειδικής αιτίας μεταβλητότητας. Είναι πολύ σημαντικό το OCAP να είναι αναλυτικό και περιγραφικό, και μάλιστα με τέτοιο τρόπο ώστε να διευκολύνει τις διαγνωστικές ενέργειες. Συχνά, η ανάλυση προηγούμενων αποτυχιών μίας διαδικασίας ή και ενός προϊόντος, αποτελεί χρήσιμο εργαλείο στο σχεδιασμό αυτής της παραμέτρου ενός OCAP. Επιπλέον, πρόκειται για ένα «ζωντανό έγγραφο», εφόσον τροποποιείται συστηματικά, καθώς συσσωρεύεται όλο και περισσότερη γνώση για μια διαδικασία. Για τους πιο πάνω λόγους ένα διάγραμμα ελέγχου πρέπει πάντα να συνοδεύεται από ένα OCAP, ώστε να αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο βελτίωσης μίας διαδικασίας.

2.3. Διαγράμματα Ελέγχου Μεταβλητών

Είναι δεδομένο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, ότι κατά τη διαδικασία παραγωγής είναι ανέφικτο να προκύψουν έστω και δύο μονάδες προϊόντος πανομοιότυπες. Κάποια διακύμανση είναι αναπόφευκτη. Η στατιστική είναι η επιστήμη, η οποία αναλύει δεδομένα και καταλήγει σε συμπεράσματα λαμβάνοντας υπόψη αυτή τη διακύμανση.

Το διάγραμμα Μίσχου – Φύλων καθώς και το Ιστόγραμμα, παρέχουν μία απεικόνιση τριών ιδιοτήτων ενός δείγματος δεδομένων: το σχήμα κατανομής των δεδομένων, την κεντρική τάση των δεδομένων και τη διασπορά ή τη μεταβλητότητα των δεδομένων. Είναι όμως απαραίτητη και η χρήση αριθμητικών μετρήσεων της κεντρικής τάσης και διασποράς.

Για την εκτίμηση της Μέσης Τιμής και Διασποράς, και συγκεκριμένα για την περίπτωση των μεμονωμένων παρατηρήσεων, έχουμε τα πιο κάτω:

Υποθέτουμε ότι x_1, x_2, \dots, x_n είναι οι παρατηρήσεις ενός δείγματος. Η βασικότερη μέτρηση της κεντρικής τάσης είναι ο μέσος όρος του δείγματος,

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\alpha),$$
 όπου ο μέσος όρος του δείγματος \bar{x} είναι ο αριθμητικός μέσος των παρατηρήσεων.

Η μεταβλητότητα στο δείγμα δεδομένων μετράται με τη δειγματική διακύμανση $s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$ (β).

Γενικότερα όσο μεγαλύτερη είναι η δειγματική διακύμανση s^2 τόσο μεγαλύτερη είναι η μεταβλητότητα του δείγματος δεδομένων.

Η διασπορά ή μεταβλητότητα σε μία κατανομή εκφράζεται από τη διακύμανση σ^2 , η οποία τελικά εκφράζεται ως $\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}$. Όσο αυξάνεται η μεταβλητότητα, τόσο αυξάνεται και η διακύμανση σ^2 .

Μπορούμε να υπολογίσουμε έναν αμερόληπτο εκτιμητή της τυπικής απόκλισης από τον τύπο $\hat{\sigma} = \frac{s}{c_4}$. Σε τυχαίο δείγμα x_1, x_2, \dots, x_n με n παρατηρήσεις από κανονική κατανομή με μέσο μ και διακύμανση σ^2 , το εύρος R (range) του δείγματος είναι $R = \max(x_i) - \min(x_i) = x_{\max} - x_{\min}$. Με

άλλα λόγια το R είναι η διαφορά μεταξύ της μεγαλύτερης και της μικρότερης τιμής των παρατηρήσεων. Η τυχαία μεταβλητή $W = R/\sigma$ ονομάζεται σχετικό εύρος. Ο μέσος W είναι μία σταθερά της d_2 , η οποία εξαρτάται από το μέγεθος του δείγματος, δηλαδή $E(W) = d_2$. Συνεπώς ένας αμερόληπτος εκτιμητής της τυπικής απόκλισης σ μίας κανονικής κατανομής είναι $\hat{\sigma} = \frac{R}{d_2}$.

Για την περίπτωση των δειγμάτων: έστω ότι έχουμε στη διάθεσή μας m ανεξάρτητα δείγματα μεγέθους n το καθένα, τα $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$, $1 \leq i \leq m$, από ένα κανονικό πληθυσμό $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ με μέση τιμή μ και διακύμανση σ^2 .

Για την εκτίμηση του μ : έστω $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$ οι δειγματικοί μέσοι των m δειγμάτων, η ποσότητα $\bar{\bar{x}}$ ακολουθεί κατανομή $N(\mu, \sigma^2/nm)$ και χρησιμοποιείται ως αμερόληπτος εκτιμητής του μ , δηλαδή $\hat{\mu} = \bar{\bar{x}}$.

Για την εκτίμηση του σ (μέθοδος R): έστω R_1, R_2, \dots, R_m τα εύρη m των δειγμάτων, η ποσότητα \bar{R}/d_2 χρησιμοποιείται ως αμερόληπτος εκτιμητής της ποσότητας σ , δηλαδή $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$.

Για την εκτίμηση του σ (μέθοδος S): έστω S_i η ποσότητα που ορίζεται από τη σχέση $S_i = \sqrt{S_i^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}$, $1 \leq i \leq m$ Η ποσότητα \bar{S}/C_4 χρησιμοποιείται ως αμερόληπτος εκτιμητής της ποσότητας σ , δηλαδή $\hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{C_4}$.

Για την εκτίμηση του σ (Μέθοδος S^2): έστω $S_1^2, S_2^2, \dots, S_m^2$ οι ποσότητες που ορίζονται από τη σχέση $S_i^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$, $1 \leq i \leq m$ Το $\sqrt{\bar{S}^2}$ αν και δεν είναι αμερόληπτος εκτιμητής του σ , χρησιμοποιείται ως εκτίμηση της ποσότητας σ , δηλαδή $\hat{\sigma} = \sqrt{\bar{S}^2}$.

Στην περίπτωση των Διαγραμμάτων Ελέγχου για Δείγματα και συγκεκριμένα για τα διαγράμματα ελέγχου για τη μέση τιμή έχουμε τις πιο κάτω υποθέσεις:

- Κανονική κατανομή του χαρακτηριστικού X παραγόμενων προϊόντων
- Γνωστά τα μ και σ
- Διατίθενται ανεξάρτητα τυχαία δείγματα X_i μεγέθους n , όπου $i \geq 1$ και για κάθε τέτοιο ο δειγματικός μέσος ακολουθεί την κατανομή $N(\mu, \sigma^2/n)$ και είναι αμερόληπτος εκτιμητής της μέσης τιμής μ με αποτέλεσμα να προκύπτει το διάστημα $[\mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}]$ απ' όπου ο δειγματικός μέσος παίρνει τιμές.

Χρησιμοποιώντας διάγραμμα ελέγχου στο οποίο θα απεικονίζεται η τιμή του δειγματικού μέσου $W_i = \bar{X}_i$ στα διάφορα δείγματα με όρια $LCL = \mu_{X_1} - 3\sigma_{X_1} = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, $CL = \mu_{X_1} = \mu$, $UCL = \mu_{X_1} + 3\sigma_{X_1} = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, και με την προϋπόθεση ότι η διακύμανση σ^2 του X κατά τη διάρκεια συλλογής των δειγμάτων παρέμεινε σταθερή, τότε μπορούμε να ισχυριστούμε τα εξής:

- Εφόσον τα σημεία του διαγράμματος βρίσκονται εντός των ορίων ελέγχου και συμπεριφέρονται με τυχαίο τρόπο, θεωρούμε ότι η διεργασία είναι εντός ελέγχου, η μέση τιμή μ του X δεν έχει μετατοπιστεί και συνεπώς το 99,73% των σημείων του διαγράμματος βρίσκεται εντός ελέγχου.
- Αν ένα σημείο του διαγράμματος βρεθεί εκτός ορίων (πιθανότητα 0,0027), τότε υπάρχει ένδειξη ότι η διεργασία είναι εκτός ελέγχου λόγω μετατόπισης της τιμής του X και τότε έχουμε τα πιο κάτω όρια ελέγχου εντός 3σ φάσης II του διαγράμματος \bar{X} :

$UCL = \mu + A\sigma$
$CL = \mu$
$LCL = \mu - A\sigma$

Όπου η σταθερά A είναι ίση με $A = \frac{3}{\sqrt{n}}$

Πίνακας 2. \bar{X} διάγραμμα με 3σ Όρια Ελέγχου Φάσης II

Για ανάπτυξη ορίων ελέγχου εκτός 3σ τότε:

$UCL = \mu + L \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
$CL = \mu$
$LCL = \mu - L \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

Πίνακας 3. \bar{X} διάγραμμα με $L\sigma$ Όρια Ελέγχου Φάσης II

Για ανάπτυξη ορίων ελέγχου πιθανότητας α τότε:

$UCL = \mu + Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
$CL = \mu$
$LCL = \mu - Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

Πίνακας 4. \bar{X} διάγραμμα με Όρια Ελέγχου Πιθανότητας α Φάσης II

Στην περίπτωση που οι ποσότητες μ και σ του χαρακτηριστικού X είναι, ή θεωρούνται άγνωστες, όπως συμβαίνει στη φάση I, δε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα πιο πάνω πλαίσια. Στην περίπτωση της φάσης I συλλέγουμε *μανεξάρτητα* προκαταρκτικά τυχαία δείγματα μεγέθους n . Για το διάγραμμα χρησιμοποιούμε τη στατιστική συνάρτηση $W_i = \bar{X}_i$ και τα όρια ελέγχου 3σ , όπως δίνονται από τις σχέσεις $LCL = \mu_{\bar{x}_i} - 3\sigma_{\bar{x}_i} = \mu - 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, $CL = \mu_{\bar{x}_i} = \mu$, $UCL = \mu_{\bar{x}_i} + 3\sigma_{\bar{x}_i} = \mu + 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$. Στη θέση των αγνώστων μ και σ θα χρησιμοποιήσουμε εκτιμήσεις.

Χρησιμοποιώντας ως εκτίμηση του μ την ποσότητα $\hat{\mu} = \bar{\bar{X}}$ και ως εκτίμηση του σ την ποσότητα $\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$ τότε έχουμε τα πιο κάτω όρια ελέγχου για τη μέση τιμή:

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$$

$$CL = \bar{\bar{X}}$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$$

$$\text{Όπου } A = \frac{3}{d_2\sqrt{n}}$$

Πίνακας 5. \bar{X} διάγραμμα με 3σ Όρια Ελέγχου Φάσης I Μέθοδος R

Χρησιμοποιώντας ως εκτίμηση του μ την ποσότητα $\hat{\mu} = \bar{\bar{X}}$ και ως εκτίμηση του σ την ποσότητα $\hat{\sigma} = \bar{S}/c_4$, έχουμε τα παρακάτω όρια ελέγχου για τη μέση τιμή:

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S}$$

$$CL = \bar{\bar{X}}$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S}$$

$$\text{Όπου } A = \frac{3}{c_4\sqrt{n}}$$

Πίνακας 6. \bar{X} διάγραμμα με 3σ Όρια Ελέγχου Φάσης I Μέθοδος S

Χρησιμοποιώντας ως εκτίμηση του μ την ποσότητα $\hat{\mu} = \bar{\bar{X}}$ και ως εκτίμηση του σ την ποσότητα $\hat{\sigma} = \sqrt{\bar{S}^2}$, έχουμε τα πιο κάτω όρια ελέγχου για τη μέση τιμή:

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A\sqrt{\bar{S}^2}$$

$$CL = \bar{\bar{X}}$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A\sqrt{\bar{S}^2}$$

Πίνακας 7. \bar{X} διάγραμμα με 3σ Όρια Ελέγχου Φάσης I Μέθοδος S²

Έστω ότι τα μνημεία που απεικονίζονται στα διαγράμματα που σχεδιάζονται με τα πιο πάνω στοιχεία βρίσκονται όλα εντός ορίων ελέγχου των διαγραμμάτων και συμπεριφέρονται με τυχαίο τρόπο, τότε ισχυριζόμαστε ότι η διεργασία είναι εντός ελέγχου και τα όρια είναι κατάλληλα και μπορούν να αποτελούν πλέον τα όρια ελέγχου φάσης II. Στην περίπτωση που κάποιο ή κάποια σημεία βρεθούν εκτός ορίων ελέγχου στο εκάστοτε διάγραμμα, τότε εξετάζουμε την πιθανότητα ειδικής αιτίας μεταβλητότητας, ώστε αυτό το

σημείο/ δείγμα να εξαιρεθεί από τη διαδικασία, θέτοντας ολοένα και στενότερα όρια και μέχρις ότου όλα τα σημεία των διαγραμμάτων να βρεθούν εντός ορίων ελέγχου.

Στα διαγράμματα ελέγχου για Διασπορά υποθέτουμε ότι το χαρακτηριστικό X ακολουθεί κατανομή $N(\mu, \sigma^2)$ με σ γνωστό. Στο διάγραμμα η απεικονιζόμενη ποσότητα θα είναι το εύρος R_i των δειγμάτων και με όρια ελέγχου 3σ θα προκύπτει:

$$UCL = D_2\sigma$$

$$CL = d_2\sigma$$

$$LCL = D_1\sigma$$

Πίνακας 8. R διάγραμμα με 3σ Όρια Ελέγχου Φάσης II

Επίσης, στο διάγραμμα μπορεί η απεικονιζόμενη ποσότητα να είναι οι δειγματικές τυπικές αποκλίσεις S_i και με 3σ θα προκύπτει:

$$UCL = B_6\sigma$$

$$CL = C_4\sigma$$

$$LCL = B_5\sigma$$

$$\text{Όπου } B_5 = C_4 - 3\sqrt{1 - C_4^2}, B_6 = C_4 + 3\sqrt{1 - C_4^2}$$

Πίνακας 9. S διάγραμμα με 3σ Όρια Ελέγχου Φάσης II

Επίσης, μπορούμε να αναπτύξουμε διάγραμμα ελέγχου με όρια πιθανότητας α.

Ένα διάγραμμα ελέγχου για την παρακολούθηση της διασποράς του χαρακτηριστικού X μπορεί να βασιστεί σε ένα διάγραμμα όπου η απεικονιζόμενη ποσότητα θα είναι η δειγματική διακύμανση S_i^2 και περιγράφεται ως εξής:

$$UCL = \frac{\sigma^2}{n-1} X_{n-1; \alpha/2}^2$$

$$CL = \sigma^2$$

$$LCL = \frac{\sigma^2}{n-1} X_{n-1; 1-\alpha/2}^2$$

Πίνακας 10. S^2 διάγραμμα με Όρια Ελέγχου Πιθανότητας α Φάσης II

Στην περίπτωση της φάσης I το Rδιάγραμμα ελέγχου συνοψίζεται ως εξής:

$$UCL = D_4 \bar{R}$$

$$CL = \bar{R}$$

$$LCL = D_3 \bar{R}$$

$$\text{Όπου } D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2}, D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$$

Πίνακας 11. R διάγραμμα με 3σ Όρια Ελέγχου Φάσης I

Το διάγραμμα S της φάσης I είναι:

$$UCL = B_4 \bar{S}$$

$$CL = \bar{S}$$

$$LCL = B_3 \bar{S}$$

$$\text{Όπου } B_3 = 1 - \frac{3}{c_4} \sqrt{1 - C_4^2}, B_4 = 1 + \frac{3}{c_4} \sqrt{1 - C_4^2}$$

Πίνακας 12. S^2 διάγραμμα με 3σ Όρια Ελέγχου Φάσης I

Τέλος το διάγραμμα S^2 για τη φάση I είναι:

$$UCL = \frac{\bar{S}^2}{n-1} X_{n-1; a/2}^2$$

$$CL = \bar{S}^2$$

$$LCL = \frac{\bar{S}^2}{n-1} X_{n-1; 1-a/2}^2$$

Πίνακας 13. S^2 διάγραμμα με Όρια Ελέγχου Πιθανότητας α Φάσης I

Ως προς τα διαγράμματα ελέγχου για μεμονωμένες παρατηρήσεις, το μέγεθος του δείγματος είναι ίσο με 1, και προκύπτουν τα πιο κάτω όρια:

$$UCL = \mu + 3\sigma$$

$$CL = \mu$$

$$LCL = \mu - 3\sigma$$

Αφορά $n = 1$

Πίνακας 14. \bar{X} διάγραμμα με 3σ Όρια Ελέγχου Φάσης II

Το διάγραμμα R , το οποίο πλέον δεν έχει νόημα εφόσον $n = 1$, αντικαθίσταται από το κινούμενο εύρος (movingrange) των παρατηρήσεων και προκύπτει:

$$UCL = D_2\sigma$$

$$CL = d_2\sigma$$

$$LCL = D_1\sigma$$

Όπου οι σταθερές D_1 και D_2
υπολογίζονται για $n = 2$

Πίνακας 15. MR διάγραμμα με 3σ Όρια Ελέγχου Φάσης II

Στην περίπτωση της φάσης I, για την εκτίμηση της άγνωστης μέσης τιμής μ έχουμε:

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

$$CL = \bar{X}$$

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

Πίνακας 16. X διάγραμμα με 3σ Όρια Ελέγχου Φάσης I

Ενώ για το MR διάγραμμα ελέγχου φάσης I έχουμε:

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

$$CL = \overline{MR}$$

$$LCL = D_3 \overline{MR}$$

$$\text{Όπου } D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2}, D_4 = 1 +$$

$3 \frac{d_3}{d_2}$ και οι D_3 και D_4 υπολογίζονται

για $n = 2$

Πίνακας 17. MR διάγραμμα με 3σ Όρια Ελέγχου Φάσης I

Ως προς τη λειτουργία των διαγραμμάτων ελέγχου μπορούμε να κάνουμε γενικά τις πιο κάτω παρατηρήσεις:

Όρια ελέγχου και κεντρική γραμμή: Για την περιοδική διόρθωση των ορίων ελέγχου ενός διαγράμματος ελέγχου ακολουθούμε τη διαδικασία και τους κανόνες της Φάσης I. Επίσης, η κεντρική γραμμή μπορεί να αντικατασταθεί από την τιμή στόχο του ποιοτικού χαρακτηριστικού. Η χρήση των ορίων 3σ δεν είναι υποχρεωτική πάντα. Όταν ο έλεγχος απαιτεί χρονοβόρες και κοστοβόρες τεχνικές μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ευρύτερα όρια ελέγχου (συνήθως 3.5), ενώ σε αντίθετη περίπτωση μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε στενότερα όρια ελέγχου (συνήθως 2.5).

\bar{X} και S έναντι \bar{X} και R διαγράμματος ελέγχου: Τα διαγράμματα \bar{X} και S προτιμούνται έναντι των \bar{X} και R συνήθως όταν το μέγεθος του δείγματος είναι μεγάλο ($n > 10$) και όταν υπάρχει ευχέρεια εφαρμογής για μεταβλητό μέγεθος δειγμάτων.

Κανονικότητα Παρατηρήσεων: Τα διαγράμματα \bar{X}, R, S και S^2 σύμφωνα με μελέτες είναι πολύ ανθεκτικά στην παραβίαση της υπόθεσης της κανονικότητας για δείγματα μεγέθους τουλάχιστον 4 ή 5, εκτός και αν η κατανομή X απέχει σημαντικά από την κανονική κατανομή. Το \bar{X} διάγραμμα ελέγχου χρησιμοποιείται ακόμα και για άγνωστη κατανομή του χαρακτηριστικού X , ενώ το X διάγραμμα ελέγχου είναι πολύ ευαίσθητο στην παραβίαση της υπόθεσης της κανονικότητας του ποιοτικού χαρακτηριστικού X .

Ανίχνευση μικρών μετατοπίσεων της μέσης τιμής: Τα διαγράμματα ελέγχου X και \bar{X} αδυνατούν να εντοπίσουν εγκαίρως μικρές μετατοπίσεις στη μέση τιμή του ποιοτικού χαρακτηριστικού X .

Υπολογισμός ρίσκων α και β στο R διάγραμμα ελέγχου: Επειδή η κατανομή του εύρους R δεν είναι κανονική, το ρίσκο α για 3σ δεν είναι ίσο με 0,0027 και για τον υπολογισμό του χρησιμοποιούμε τη συνάρτηση κατανομής $F_w(W)$ της τυχαίας μεταβλητής $W = R/\sigma$, που ονομάζεται σχετικό εύρος. Αντίστοιχα πράττουμε και για τον υπολογισμό του ρίσκου β .

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΔΟΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑΚΩΝ ΛΟΙΜΩΞΕΩΝ

3.1. Διαγράμματα Ελέγχου στον τομέα της υγείας

Είναι γνωστό ότι όλες οι βελτιώσεις σε μία διαδικασία απαιτούν κάποια αλλαγή. Είναι επίσης όμως βέβαιο, ότι όλες οι αλλαγές δεν θα οδηγήσουν σε βελτίωση της διαδικασίας αυτής. Το κλειδί για τον εντοπισμό των ωφέλιμων αλλαγών είναι η ποσοτικοποίηση. Οι κυριότεροι συντελεστές της ποσοτικοποίησης είναι: (1) ο προσδιορισμός και ο καθορισμός των βασικών δεικτών, (2) η συλλογή των κατάλληλων δεδομένων, και (3) η ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων αυτών. Ο τελευταίος αυτός συντελεστής, η ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων, γίνεται εφικτός με τη χρήση του στατιστικού ελέγχου διεργασιών. (Benneyanetal., 2003).

Ο στατιστικός έλεγχος διεργασιών είναι ένας τομέας της στατιστικής ο οποίος συνδυάζει την αυστηρότητα των κλασσικών στατιστικών μεθόδων, με την ευαίσθητη στο χρόνο πραγματιστική βελτίωση. Συνδυάζει μεθόδους ανάλυσης χρονοσειρών με γραφικές παρουσιάσεις των δεδομένων, συχνά παρέχοντας την πληροφορία από τα δεδομένα ταχύτερα και με τρόπο πιο κατανοητό. Γιατί με την ενσωμάτωση της δυναμικής των τεστ στατιστικής σημαντικότητας με τη χρονολογική ανάλυση των γραφημάτων, που προέρχονται από τα δεδομένα καθώς αυτά προκύπτουν, ο στατιστικός έλεγχος διεργασιών είναι εφικτό να ανιχνεύσει σε μία διαδικασία αλλαγές και τάσεις ταχύτερα (Benneyanetal., 2003).

Ο στατιστικός έλεγχος διεργασιών με κύριο εργαλείο του το διάγραμμα ελέγχου, μετατρέπει τη θεωρία της στατιστικής σε μία σχετικά πιο απλή φόρμουλα. Τα διαγράμματα εύκολα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από μη στατιστικολόγους, παρέχοντας έτσι, γενικά στον εκάστοτε ερευνητή, καλύτερη κατανόηση των δεδομένων (Benneyan etal., 2003).

Το διάγραμμα ελέγχου αποτελεί ένα εργαλείο μέτρησης και ποσοτικοποίησης, προερχόμενο από την επιστήμη της Διαχείρισης Ποιότητας. Αυτό το γράφημα δεδομένων, καταδεικνύει στατιστικώς προερχόμενα άνω και κάτω όρια ελέγχου. Τα όρια αυτά δείχνουν το εύρος της αναμενόμενης μεταβλητότητας, αν αυτή η μεταβλητότητα υπόκειται μόνο σε παράγοντες που εμφανίζονται τυχαία και λίγες φορές και οι οποίοι είναι εγγενείς της διαδικασίας. Εάν η διαδικασία είναι σταθερή και αναμενόμενη, περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης μπορεί να προέλθει μόνο από δομικές αλλαγές της ίδιας της διαδικασίας. Διαφορετικά, η παρέμβαση σε μεμονωμένα περιστατικά αυξομείωσης, πάντα εντός ορίων ελέγχου, είναι μάλλον μία αντιπαραγωγική διαδικασία. (Plesk, 1999).

Όταν τα δεδομένα οδηγούν εκτός ορίων ελέγχου, ή επιδεικνύουν μη φυσιολογικά μοτίβο εντός ορίων ελέγχου, τότε υπάρχει στατιστική ένδειξη ότι η μεταβλητότητα δεν είναι τυχαία και ως εκ τούτου πρέπει να απομονωθεί και απομακρυνθεί η πηγή αυτή από τη διαδικασία (Plesk, 1999).

Αν και τα διαγράμματα ελέγχου αρχικά χρησιμοποιήθηκαν στην παραγωγική διαδικασία και στο βιομηχανικό περιβάλλον, παρ' όλα αυτά δεν αποτελούν εργαλείο μόνο αυτού του τομέα. Μπορούν εξίσου να χρησιμεύσουν στην εξέταση και ερμηνεία άλλων δεδομένων παραγόμενων από άλλου τύπου διαδικασίες, όπως είναι και ο χώρος της υγείας. Μάλιστα, είναι αξιοσημείωτο ότι το κλασσικό κείμενο του Shewhart "Statistical Method from the View point of Quality Control", προέκυψε από μία σειρά διαλέξεων, μετά από πρόσκληση του Υπουργείου Γεωργίας, και σε μία προσπάθεια να διερευνηθεί πώς αυτή η θεωρία και μέθοδος θα μπορούσε να εφαρμοστεί στην σχετική με τη γεωργία έρευνα. Από αυτό ακόμα το κείμενο ο Shewhart τονίζει ότι τα διαγράμματα ελέγχου μπορούν να εφαρμοστούν σε μία ευρεία γκάμα επιστημών. (Benneyan, 1998).

Τα διαγράμματα ελέγχου βρίσκουν πολλές εφαρμογές στον τομέα της υγείας, με κυριότερη την παρακολούθηση και επιτήρηση της δημόσιας υγείας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παρακολούθηση της νοσοκομειακής απόδοσης όσον αφορά στο ρυθμό μόλυνσης των ασθενών, στις πτώσεις ή

στα ατυχήματα ασθενών, στους χρόνους αναμονής στα επείγοντα, ή στα αποτελέσματα χειρουργικών επεμβάσεων σε διάφορους τύπους εγχειρήσεων (Montgomery 2013, p.496). Οι ερευνητές που ασχολούνται με τον τομέα της υγείας, καθώς και οι θεράποντες ιατροί, με το στατιστικό έλεγχο διεργασιών και τα διαγράμματα ελέγχου, έχουν μία μέθοδο καλύτερης κατανόησης και επικοινωνίας των δεδομένων που προκύπτουν από τις προσπάθειες βελτίωσης της περίθαλψης. (Benneyan et al., 2003).

Για παράδειγμα, μελετώντας τη συμπεριφορά του ρυθμού επιμόλυνσης σε ένα διάγραμμα ελέγχου, μπορούν να προκύψουν τα κατάλληλα συμπεράσματα σχετικά με τη διαδικασία που ελέγχεται. Με την επεξεργασία των δεδομένων και την άμεση παρουσίασή τους στο διάγραμμα, ουσιαστικά, μπορεί να παρέμβει κανείς έγκαιρα και να διερευνήσει περαιτέρω, ή να παρέμβει με διορθωτικές κινήσεις στην υπάρχουσα διαδικασία. (Benneyan, 1998).

Εκτός από τα γραφήματα τύπου Shewhart, που είναι και τα πλέον κλασικά, υπάρχουν και πιο εκλεπτυσμένα διαγράμματα, όπως είναι το διάγραμμα εκθετικού βαρυκεντρικού κινούμενου μέσου (exponentially weighted moving average - EWMA), και το διάγραμμα σωρευτικού αθροίσματος (Cumulative Sum – CUSUM). Τα διαγράμματα αυτά, αν και λίγο πιο περίπλοκα στην κατασκευή και την ερμηνεία τους, είναι σε θέση να ανιχνεύουν μικρότερες μετατοπίσεις, πιο έγκαιρα και με μικρό ποσοστό εμφάνισης ψευδών συναγερμών. Επιπλέον, όπως συμβαίνει και στο διάγραμμα τύπου Shewhart, δεν προϋποθέτουν κάποια χρονική αναμονή για την παρατήρηση της εμφάνισης μίας ανεπιθύμητης ενέργειας, αλλά η παρατήρηση γίνεται άμεσα. (Benneyan, 2001). Τα διαγράμματα αυτά, φαίνεται να είναι καταλληλότερα σε περιπτώσεις μελέτης ενδονοσοκομειακών λοιμώξεων. (Morton et al., 2001)

Τέλος, υπάρχουν εφαρμογές σχετικές όχι μόνο με την παρακολούθηση μίας πιθανής εμφάνισης κάποιας μολυσματικής νόσου, αλλά ακόμα και γεγονότων βιο-τρομοκρατίας. Η διαδικασία, μάλιστα, αυτή είναι γνωστή και ως «συνδρομική επιτήρηση». Για τη συνδρομική επιτήρηση συλλέγονται

δεδομένα από διάφορες πηγές, όπως είναι τα αρχεία των επειγόντων περιστατικών, οι πωλήσεις των φαρμάκων - συνταγογραφούμενων και μη - οι επισκέψεις στα ιατρεία, καθώς και από άλλες πηγές, σε μία συνολική προσπάθεια να προστεθούν στοιχεία στην παραδοσιακή παρακολούθηση των αναμενόμενων εμφανίσεων νόσων ή επιθέσεων βιο – τρομοκρατίας. (Montgomery 2013, p.496).

3.2. Ιδιαιτερότητες στην εφαρμογή των SPC και των διαγραμμάτων ελέγχου στον τομέα της υγείας

Στον τομέα της υγείας μία σημαντική μέθοδος βελτίωσης της ποιότητας της περίθαλψης και ασφάλειας των ασθενών είναι η μελέτη και η μείωση των ανεπιθύμητων αποτελεσμάτων. Καθώς οι ενδονοσοκομειακές λοιμώξεις έχουν μεγάλη κλινική αλλά και οικονομική σημασία, μέθοδοι παρακολούθησης των δεικτών μόλυνσης όπως οι χειρουργικές επιλοιμώξεις (SSI), οι αιματολογικές λοιμώξεις (BSI) και οι λοιμώξεις από ανθεκτικά μικροβιακά στελέχη (MRO) είναι σημαντικές προσθήκες στη βελτίωση της ασφάλειας των ασθενών. Οι μέθοδοι αυτοί πρέπει να μπορούν να προειδοποιούν τους κλινικούς ιατρούς όταν προκύπτει αλλαγή του ρυθμού επιμολύνσεων, πάντα όμως μέσα σε εύλογο χρονικό διάστημα, παρέχοντας με τον τρόπο αυτό έγκαιρη ανίχνευση, καθώς και τη δυνατότητα έγκαιρης παρέμβασης (Morton et al., 2001).

Αν και ο Στατιστικός Έλεγχος Διεργασιών και τα Διαγράμματα Ελέγχου εφαρμόζονται πλέον παραδοσιακά και στο περιβάλλον της υγείας και παρακολούθησης νοσημάτων, υπάρχουν ορισμένες σημαντικές διαφορές μεταξύ του τομέα αυτού και του βιομηχανικού και επιχειρηματικού περιβάλλοντος, όπου και πρωτοεμφανίστηκαν. (Montgomery 2013, p.496).

Στον τομέα της υγείας, συνήθως, χρησιμοποιούνται μονόπλευρες μέθοδοι ώστε να είναι εφικτή η εστίαση στην ανίχνευση της αύξησης του ρυθμού, που αποτελεί και τον κύριο στόχο. Αμφίπλευροι μέθοδοι τυπικά χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία και επιχειρηματικότητα. Μερικές από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην περίθαλψη, αναπτύχθηκαν ανεξάρτητα από το πεδίο του βιομηχανικού στατιστικού ελέγχου διεργασιών, και συχνά, τα μετρικά συστήματα απόδοσης που χρησιμοποιούνται είναι διαφορετικά από αυτά του βιομηχανικού στατιστικού ελέγχου διεργασιών (SPC). Συχνά, τα δεδομένα

υπό παρακολούθηση σε αυτού του τύπου το περιβάλλον είναι μη στατικά, ενώ διατίθενται ενσωματωμένα μοντέλα ως μέρος της διαδικασίας. Ως παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί ο ιός της γρίπης, ο οποίος κυρίως εμφανίζεται τους χειμερινούς και τους ανοιξιάτικους μήνες. Σε μερικές εφαρμογές παρακολούθησης της δημόσιας υγείας, η παράμετρος η οποία εκτιμά και μετρά την αβεβαιότητα, ενημερώνεται καθώς νέες παρατηρήσεις προστίθενται, ή η γραμμή εκκίνησης (baseline) προσαρμόζεται. Πρόκειται για μεθόδους κατάλληλες για δεδομένα μη στατικής φύσης. (Montgomery 2013, p.496).

Μία επιπλέον διαφορά αφορά στο είδος των δεδομένων. Τα δεδομένα ποιοτικών χαρακτηριστικών – τα οποία μπορούν να δώσουν τις διακριτές τυχαίων μεταβλητών - είναι πολλά περισσότερα στον τομέα της υγείας συγκρινόμενα με το βιομηχανικό και επιχειρηματικό τομέα. Για παράδειγμα, στην παρακολούθηση της εμφάνισης μίας συγκεκριμένης νόσου, ο ρυθμός ή ο αριθμός των περιστατικών στον πληθυσμό ενδιαφέροντος ανά μονάδα χρόνου, τυπικά, παρακολουθείται. Επιπλέον, όπως προαναφέρθηκε, η εμφάνιση νοσημάτων είναι πολύ πιθανό να είναι παροδική, με σταδιακές αυξήσεις και μειώσεις, σε αντίθεση με τη διακριτή μετατόπιση, η οποία συμβαίνει στις βιομηχανικές εφαρμογές. (Montgomery 2013, p.496).

Στις εφαρμογές των διαγραμμάτων ελέγχου στο χώρο της περίθαλψης και υγείας, είναι σημαντικό να γίνονται οι σχετικές προσαρμογές κινδύνου, πριν την κατασκευή του διαγράμματος. Για παράδειγμα, μεταβλητές που σχετίζονται με την υγεία, συχνά χρησιμοποιούνται σε μοντέλα παλινδρόμησης με σκοπό την πρόβλεψη της θνησιμότητας των ασθενών. Έτσι, σε ένα σύνολο ασθενών που έχουν υποστεί καρδιολογική χειρουργική επέμβαση, και οι οποίοι διαφέρουν ως προς την ηλικία, αλλά και τη γενικότερη κατάσταση της υγείας τους, δεν είναι λογικό να αναμένει κανείς την ίδια πιθανότητα βραχυχρόνιας επιβίωσης. (Woodalletal., 2006).

Η συλλογή δείγματος στο χώρο της υγείας είναι διαφορετική από αυτή του βιομηχανικού περιβάλλοντος με αποτέλεσμα ένα μέρος των μεθόδων των βιομηχανικών στατιστικών διεργασιών ελέγχου να μην είναι εφικτό να εφαρμοστεί στο τομέα της υγείας. Τέλος, στον τομέα αυτό, είναι πρακτικά

δύσκολο να προσαρμοστεί γρήγορα μία διαδικασία, έτσι ώστε να επιστρέψει άμεσα σε αποτελέσματα εντός στατιστικού ελέγχου (Woodalletal., 2006).

Αναφορικά με τις ενδονοσοκομειακές λοιμώξεις, η φύση τους είναι τέτοια, που οι παραδοσιακές μέθοδοι παρακολούθησης είναι δυνατό να αποτύχουν στην έγκαιρη ανίχνευση των αλλαγών. Ανεπιθύμητα αποτελέσματα που μπορεί να προκύπτουν, αν και μεγάλης κλινικής σημασίας, εφόσον είναι μη συστηματικά και σπάνια στην εμφάνισή τους, έχουν ως αποτέλεσμα την επιμήκυνση του απαιτούμενου χρόνου για τη συγκέντρωση ενός ικανού δείγματος που θα επιτρέψει την ανίχνευση των στατιστικά σημαντικών διαφορών. Το γεγονός αυτό με τη σειρά του καθυστερεί την αναγνώριση αυτών των περιστατικών, περιορίζοντας έτσι την αποτελεσματική παρέμβαση.(Mortonetal., 2001).

Κατά κανόνα ποιοτικά δεδομένα του ελεγχόμενου πληθυσμού (denominator data) είναι απαραίτητα για να προκύψει ο ρυθμός λοιμώξεων σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Τέτοιου τύπου δεδομένα, τα οποία σχετίζονται με τον έλεγχο των λοιμώξεων, ποικίλουν πολύ στη φύση τους αλλά και στη διαθεσιμότητά τους, κάνοντας δύσκολο τον υπολογισμό του ρυθμού και τις συγκρίσεις μεταξύ χρονικών περιόδων. Η χρήση των διαγραμμάτων ελέγχου, περιορίζει αυτή τη δυσκολία. (Mortonetal., 2001).

Το είδος των δεδομένων είναι εκείνο που θα καθορίσει τελικά τα μέσα που θα χρησιμοποιηθούν. Στατιστικοί έλεγχοι διεργασιών, όπως είναι οι CUSUM και EWMA, είναι κατάλληλα εργαλεία για την ανίχνευση μικρών αυξήσεων ασυνήθιστων περιστατικών, ενώ το διάγραμμα Shewhart ανιχνεύει αποτελεσματικά μεγαλύτερες και πιο απότομες αλλαγές. Όταν διατίθενται μηνιαίες παρατηρήσεις, τα διαγράμματα Shewhart και EWMA, μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς ποιοτικά δεδομένα του ελεγχόμενου πληθυσμού (denominator data), τα οποία στα προγράμματα ελέγχου λοιμώξεων είναι δύσκολο να προσδιοριστούν και χρονοβόρα να συγκεντρωθούν. (Mortonetal., 2001).

Πολλοί δείκτες λοιμώξεων, όπως οι SSI και BSI, είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους, και η παρακολούθησή τους μπορεί να γίνει επιτυχώς με το συνηθισμένο διάγραμμα Shewhart, καθώς και τα CUSUM και EWMA βασισμένα στην κατανομή Poisson, ή σε προσαρμογές τέτοιων διαγραμμάτων για τη

διωνυμική κατανομή. Παρ' όλα αυτά ο αποικισμός και οι επιλοιμώξεις από ανθεκτικά μικροβιακά στελέχη, μπορεί να μην είναι ανεξάρτητα γεγονότα, καθώς οι διασταυρούμενες λοιμώξεις μπορούν να δημιουργήσουν σημαντικές συστάδες. Στις συνθήκες αυτές, η μεταβλητότητα είναι μεγάλη, και αν χρησιμοποιηθούν τα συνηθισμένα διαγράμματα ελέγχου, τότε θα εμφανιστούν ψευδώς θετικά στοιχεία. Τα διαγράμματα Shewhart και EWMA μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση τέτοιων συσχετιζόμενων γεγονότων, χρησιμοποιώντας την αρνητική διωνυμική κατανομή για να τεθούν όρια ελέγχου. Με τον τρόπο αυτό τα ψευδώς θετικά σημεία μπορούν να μειωθούν σε αποδεκτό επίπεδο και παράλληλα να παρέχουν έγκαιρη αναγνώριση, ώστε να είναι εφικτή η αποτελεσματική κλινική παρέμβαση. (Mortonetal., 2001).

Η επιλογή του κατάλληλου διαγράμματος ελέγχου σε κάθε περίπτωση είναι πολύ σημαντική και βασίζεται στην εξακρίβωση του είδους των δεδομένων που βρίσκονται υπό διερεύνηση. (Benneyan, 1998).

Τέλος, σκόπιμο είναι να αναφερθεί ότι στην παρακολούθηση του τομέα της δημόσιας υγείας, συχνά, χρησιμοποιούνται και μέθοδοι στατιστικού σκαναρίσματος έναντι των πιο συμβατικών μεθόδων διαγραμμάτων ελέγχου, όπως τα CUSUM και EWMA. (Montgomery 2013, p.496).

3.3. Το διάγραμμα Shewhart

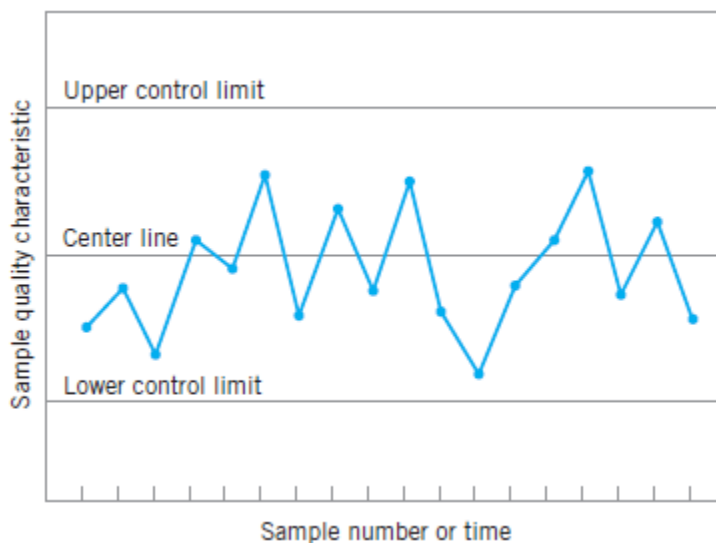
Το διάγραμμα ελέγχου Shewhart, είναι το πιο γνωστό διάγραμμα ελέγχου, μια γραφική απεικόνιση για την παρακολούθηση της μέσης τιμής της κατανομής ενός χαρακτηριστικού. Το όνομά του το πήρε από τον εισηγητή του, Walter A. Shewhart.

Τα βασικά στοιχεία ενός τέτοιου διαγράμματος, όπως αυτά περιγράφονται από τον Morton σε μελέτη του (2001) πιο κάτω, μπορούμε να τα δούμε επίσης στο διάγραμμα 2.

- Οι παρατηρήσεις (Count): πρόκειται για τις παρατηρούμενες τιμές, οι οποίες απεικονίζονται, συναρτήσεως του χρόνου, συνήθως με σημεία συνδεδεμένα σε μία γραμμή.
- Η μέση τιμή (Mean value), όπως αυτή προκύπτει από τη λειτουργία μιας εντός ελέγχου διεργασίας. Αυτή απεικονίζεται με μία κεντρική γραμμή (centerline). Στην περίπτωση διαγράμματος για την παρακολούθηση των ενδονοσοκομειακών λοιμώξεων, θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται δεδομένα τουλάχιστον 20 μηνών, έστω και αν θα πρόκειται για ιστορικά δεδομένα, ώστε να είναι εφικτή η εκτίμηση της τιμής αυτής.
- Τα άνω και κάτω όρια ελέγχου (Upper and Lower control limits, UCL and LCL), τα οποία απεικονίζονται με δύο οριζόντιες γραμμές. Όσο οι τιμές των παρατηρήσεων που έχουμε είναι εντός ορίων ελέγχου και παρουσιάζουν τυχαία συμπεριφορά, τότε η διεργασία παραμένει εντός ελέγχου. Το αντίθετο, αποτελεί ένδειξη ότι η διαδικασία βρίσκεται εκτός ελέγχου. Τα σημεία των δειγμάτων, όπως απεικονίζονται στο διάγραμμα ενώνονται σε μία γραμμή, με στόχο την απεικόνιση του αποτελέσματος.

Διάγραμμα 2.

Ένα τυπικό Διάγραμμα Ελέγχου

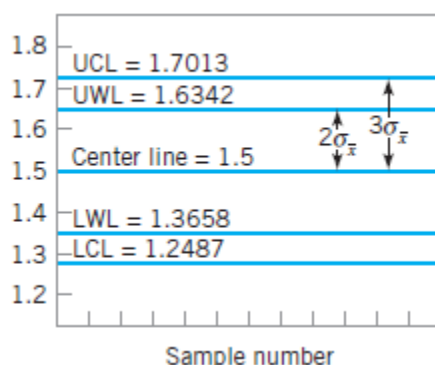


Ένα σημείο που χρήζει προσοχής, είναι το κατά πόσο τα σημεία στο γράφημα συμπεριφέρονται τυχαία. Έτσι, αν η συμπεριφορά τους είναι συστηματική και όχι τυχαία, ακόμα και αν όλα τα σημεία βρίσκονται εντός ορίων ελέγχου, θεωρείται ότι η διαδικασία βρίσκεται εκτός ελέγχου. Οι βασικότερες μορφές προτύπων ή μοτίβων (patterns) μη τυχαίου τρόπου συμπεριφοράς είναι τα πρότυπα κύκλων (cycles), τα μικτά πρότυπα (mixtures), τα πρότυπα αλμάτων (shifts in the process level), τα πρότυπα τάσεων (trends), και τα πρότυπα έλλειψης μεταβλητότητας (stratification).

Πολλοί αναλυτές, εκτός από τη χρήση των άνω και κάτω ορίων ελέγχου σε ένα διάγραμμα, προτείνουν και τη χρήση άλλων προειδοποιητικών ορίων (warning limits), έτσι όπως φαίνονται στο διάγραμμα 3. Όταν ένα ή περισσότερα σημεία βρίσκονται μεταξύ των προειδοποιητικών ορίων και των ορίων ελέγχου, ή πολύ κοντά στα προειδοποιητικά όρια, τότε αυτό αποτελεί ένδειξη ότι η διαδικασία μπορεί να μη λειτουργεί σωστά. Σε μία τέτοια περίπτωση μπορούμε να αυξήσουμε τον αριθμό, ή τη συχνότητα του δείγματος, ώστε σύντομα να συγκεντρώσουμε περισσότερες πληροφορίες για τη διαδικασία. Αυτά τα προειδοποιητικά όρια μπορούν να αυξήσουν την ευαισθησία ενός διαγράμματος ελέγχου, δηλαδή να επιτρέπουν την πιο γρήγορη επισήμανση μίας μετατόπισης στη διαδικασία.

Διάγραμμα 3.

Διάγραμμα \bar{X} με προειδοποιητικά όρια ελέγχου 2σ και 3σ



Σε ένα διάγραμμα ελέγχου, ως προειδοποιητικά όρια χρησιμοποιούνται κυρίως τα εξωτερικά προειδοποιητικά όρια (outer warning limits), τα οποία σχεδιάζονται σε απόσταση 2σ από την κεντρική γραμμή του διαγράμματος. Επίσης, χρησιμοποιούνται και τα εσωτερικά προειδοποιητικά όρια (inner warning limits), τα οποία σχεδιάζονται σε απόσταση 1σ από την κεντρική γραμμή του διαγράμματος. Τόσο τα όρια ελέγχου όσο και τα προειδοποιητικά όρια χωρίζουν το διάγραμμα σε τρεις ζώνες, με τελικό στόχο ένα πιο ευαίσθητο στην έγκαιρη ανίχνευση μιας ειδικής μεταβλητότητας διάγραμμα.

Ο αντίλογος για τη χρήση των προειδοποιητικών ορίων περιλαμβάνει επιχειρήματα που αφορούν στη δυσκολία εφαρμογής τους από τους χειριστές (αύξηση πολυπλοκότητας), καθώς και στον κίνδυνο αύξησης του αριθμού των ψευδών συναγερμών (false alarms).

Στην περίπτωση της μελέτης των ενδονοσοκομειακών λοιμώξεων το άνω όριο ελέγχου παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, και παίρνει την τιμή 2σ (2 sigma warning limit, U2S). Σύμφωνα με τη μελέτη του Morton (2001) όταν το άνω αυτό όριο ξεπεραστεί, τότε αυτό υποδηλώνει μία στατιστικά σημαντική αύξηση του ρυθμού επιλοιμώξεων. Επιπλέον, υπονοεί ότι η αύξηση αυτή είναι αποτέλεσμα κακής χρήσης της διεργασίας και όχι ότι η ίδια η διεργασία είναι υποδεέστερη.

Τα διαγράμματα ελέγχου τύπου Shewhart είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά στη φάση I, γιατί είναι εύκολα να κατασκευαστούν και να ερμηνευθούν, καθώς επίσης γιατί είναι αποτελεσματικά στην ανίχνευση μεγάλων και επίμονων μετατοπίσεων, δηλαδή σε μεγάλες μετατοπίσεις που μπορεί να παρατηρηθούν εξαιτίας των ειδικών αιτιών μεταβλητότητας που προκύπτουν στη φάση I, καθώς και στις ακραίες τιμές, στην καταμέτρηση σφαλμάτων και άλλων παρόμοιων στοιχείων. Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε, είναι εύκολο ως προς την επεξήγησή του και μπορεί κανείς να συνάγει ένα άμεσο συμπέρασμα από αυτό. (Montgomery2013, p.206).

Ένα μεγάλο μειονέκτημα του διαγράμματος αυτού είναι ότι χρησιμοποιεί μόνο πληροφορίες για τη διαδικασία, οι οποίες περιέχονται στην τελευταία ομάδα παρατηρήσεων αγνοώντας οποιαδήποτε πληροφορία δίνεται πιο πριν, δηλαδή από ολόκληρη τη ροή των σημείων. Αυτό είναι και το στοιχείο που κάνει το διάγραμμα Shewhart μη ευαίσθητο στις μικρές μετατοπίσεις και κατά συνέπεια μάλλον ακατάλληλο για τη φάση II, καθώς επίσης και για παρακολούθηση δεδομένων που ενδεχομένως από τη φύση τους να παρουσιάζουν μικρές μετατοπίσεις και συστηματικότητα (π.χ. ενδονοσοκομειακές λοιμώξεις) (Montgomery 2013, p.414).

3.4. Το διάγραμμα CUSUM

Το διάγραμμα CUSUM, όπως και το διάγραμμα EWMA, αποτελούν δύο εξαιρετικές εναλλακτικές του διαγράμματος Shewhart, ιδιαίτερα όταν στη διαδικασία υπάρχουν μικρές μόνο μετακινήσεις.

Το σωρευτικό αθροιστικό διάγραμμα (CUSUM) εισήγαγε το 1954 ο Page, και χρησιμοποιείται κυρίως στην ανίχνευση μικρών εκτροπών (drifts) από τη μέση τιμή των δειγμάτων ελέγχου. Η δημιουργία του απαιτεί τον υπολογισμό του σωρευτικού αθροίσματος και ουσιαστικά είναι το άθροισμα των διαφορών κάθε δείγματος ελέγχου από τη μέση τιμή των ορίων ελέγχου. Το σωρευτικό άθροισμα ορίζεται από την εξίσωση:

$$C_i = \sum_{j=1}^i (X_j - \mu_0)$$

όπου X_i είναι η ημερήσια τιμή ελέγχου, μ_0 είναι η τιμή στόχος, δηλαδή η μέση τιμή ορίων ελέγχου, και C_i είναι το συσσωρευτικό άθροισμα, για δείγματα αριθμού $n \geq 1$. Οποιοδήποτε συστηματικό σφάλμα όσο μικρό και αν είναι θα δημιουργήσει ένα υπολογίσιμο συσσωρευτικό άθροισμα που θα αποκλίνει σημαντικά από την τιμή του μηδενός κάνοντας εμφανή την παρουσία του στο αντίστοιχο διάγραμμα. Έτσι λοιπόν, το διάγραμμα CUSUM άμεσα ενσωματώνει όλες τις πληροφορίες σε μία σειρά αξιών, απεικονίζοντας το

σωρευτικό άθροισμα των αποκλίσεων των αξιών από την αξία στόχο (Montgomery2013, p.416).

Ο Morton σε μελέτη του (2001) σχετική με τις ενδονοσοκομειακές λοιμώξεις, χρησιμοποιεί το διάγραμμα CUSUM, και εξηγεί την εφαρμογή του στον τομέα αυτό. Στη συγκεκριμένη μελέτη το διάγραμμα χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των μετεγχειρητικών λοιμώξεων (SSI). Μικρές αλλαγές στα ποσοστά λοιμώξεων μπορεί να αφορούν τυχαία περιστατικά και όχι συστηματική κατάσταση. Το διάγραμμα CUSUM σε τέτοιες περιπτώσεις βοηθά να διευκρινιστεί το αίτιο της αλλαγής.

Ο Morton στην ίδια μελέτη παρουσιάζει τα βασικά στοιχεία του διαγράμματος τα οποία είναι:

- Τα blocks: πρόκειται για σύνολα, ομάδες, στα οποία κατατάσσονται οι χειρουργικές επεμβάσεις, σε ό,τι αφορά στη συγκεκριμένη μελέτη. Στην περίπτωση αυτή το δείγμα θα πρέπει να παρουσιάζει ομοιογένεια ως προς τον κίνδυνο. Επίσης, θα πρέπει να έχει ικανό μέγεθος ώστε να εντοπιστούν οι αλλαγές και να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα.
- Το μέσο μήκος ροής (Average run length, ARL): το μέγεθος αυτό δηλώνει τον αναμενόμενο αριθμό δειγμάτων που πρέπει να σχεδιαστούν στο διάγραμμα για να εμφανιστεί ένα σημείο εκτός των ορίων ελέγχου. Στην περίπτωση που διατηρείται το αναμενόμενο ποσοστό, τότε το μέσο μήκος ροής θα πρέπει να έχει ικανό μέγεθος μέχρι την εμφάνιση ενός τυχαίου συμβάντος. Έτσι, η περίπτωση ενός ψευδώς θετικού συναγερμού ελαχιστοποιείται. Αν, από την άλλη πλευρά, τα ποσοστά παρουσιάσουν σημαντική αύξηση σε σχέση με ό,τι αναμένεται, τότε το μέσο μήκος ροής θα είναι κατά το δυνατό πιο μικρό, ώστε άμεσα να υπάρξει συναγερμός και να αποφευχθεί μία ψευδώς αρνητική κατάσταση. Γίνεται, λοιπόν, φανερό, ότι το μέσο μήκος ροής αποτελεί το σημείο ισορροπίας μεταξύ δύο αναγκών, την ανάγκη για έγκαιρη επισήμανση μίας πραγματικής αύξησης, και την ανάγκη για ελαχιστοποίηση των ψευδώς θετικών συναγερμών.
- Σταθερές: δύο είναι οι σταθερές που σχετίζονται με το διάγραμμα CUSUM. Η πρώτη επισημαίνεται με το γράμμα h και αφορά στο διάστημα απόφασης. Η δεύτερη επισημαίνεται με το γράμμα k και αφορά στην τιμή

αναφοράς. Ουσιαστικά, είναι το μέσο του αθροίσματος μεταξύ του αναμενόμενου και του μη αποδεκτού αριθμού περιστατικών ανά block.

- CUSUM Value και CUSUM Score: το CUSUM Value είναι το άθροισμα του αριθμού των περιστατικών σε ένα block και του CUSUM Score του προηγούμενου block. Το CUSUM Score υπολογίζεται αφαιρώντας τη σταθερά k από το CUSUM Value στο τέλος ενός block.
- Επίπεδο Απόφασης: συμβολίζεται με το γράμμα d , προκύπτει από το άθροισμα των δύο σταθερών h και k ($d=h+k$), και προσδιορίζει πότε το CUSUM Value φτάνει σε σημείο στατιστικά σημαντικό.

Σηματοδότηση ενός συναγερμού και επανεκκίνηση του CUSUM Value: όταν το CUSUM Value φτάνει το προκαθορισμένο επίπεδο απόφασης d , ένας συναγερμός θα εμφανιστεί στο διάγραμμα CUSUM. Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση των ανεπιθύμητων περιστατικών είναι απίθανο να είναι αποτέλεσμα τυχαίας διακύμανσης και χρήζει αξιολόγησης. Μετά τη σήμανση ενός συναγερμού, το διάγραμμα μηδενίζει και ξεκινά ένα καινούριο block.

3.5. Το διάγραμμα EWMA

Όπως το διάγραμμα CUSUM, έτσι και το διάγραμμα EWMA είναι κατάλληλο για μικρές μετατοπίσεις. Επιπλέον διαθέτει το πλεονέκτημα της ενσωμάτωσης παλαιότερων δεδομένων, γεγονός που εξυπηρετεί στη μη αλλοίωση των μεταβολών της διαδικασίας στην παρούσα χρονική στιγμή (NHS).

Η απόδοσή του είναι ισοδύναμη με εκείνη του διαγράμματος CUSUM, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις είναι πιο εύκολο στη λειτουργία τους. Τυπικά, όπως και το CUSUM, χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις μεμονωμένων παρατηρήσεων (Montgomery2013, p.433).

Το διάγραμμα του εκθετικού κινούμενου μέσου (Exponentially Weighted Moving Average, EWMA, κάποιες φορές και καλούμενο ως Geometric Moving Average, GMA), περιγράφηκε για πρώτη φορά από το Robertsto 1959.

Στο διάγραμμα αυτό, δε χρησιμοποιείται η ίδια η τιμή ελέγχου. Αντιθέτως, οι τιμές ελέγχου (x_i) μετασχηματίζονται σε τιμές z_i σύμφωνα με την πιο κάτω εξίσωση:

$$z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)z_{i-1}$$

Όπου $0 < \lambda \leq 1$ είναι η σταθερά και $i=1$. Σύμφωνα με την προηγούμενη σχέση η τιμή z_i δεν εξαρτάται μόνο από την σημερινή τιμή ελέγχου (x_i) αλλά και από τις προηγούμενες της (z_{i-1}). Η διαδικασία αυτή ονομάζεται εξομάλυνση(smoothing). Ο συντελεστής που καθορίζει την εξάρτηση κάθε τιμής z_i από την προηγούμενη της ονομάζεται συντελεστής βαρύτητας (weighting factor) και συμβολίζεται με το Ελληνικό γράμμα λ . Στην διαδικασία εξομάλυνσης οφείλεται η δυνατότητα του διαγράμματος EWMA να ανιχνεύει μικρές μετατοπίσεις ή εκτροπές των τιμών ελέγχου γύρω από την τιμή στόχο δηλαδή συστηματικά σφάλματα. Από την τιμή z_i προέρχεται ο χαρακτηρισμός κινούμενος μέσος και από τον συντελεστή βαρύτητας λ ο χαρακτηρισμός σταθμισμένος. Ο χαρακτηρισμός εκθετικός προέρχεται από τις εκθετικές συναρτήσεις υπολογισμού των ορίων ελέγχου της μεθόδου. (Montgomery 2013, p.433).

Ο Morton στη μελέτη του (2001) καταγράφει τα κύρια στοιχεία ενός διαγράμματος EWMA:

- Συντελεστής βαρύτητας
- EWMA Value: πρόκειται για μία σταθμισμένη εκτίμηση του μέσου μηνιαίου αριθμού δειγμάτων – στη συγκεκριμένη περίπτωση, μολύνσεων
- Upper EWMA controllimit (U2E): ο υπολογισμός του άνω ορίου ελέγχου EWMA, είναι περίπλοκος μια και η αρχική αναμενόμενη τιμή θεωρείται ότι δεν ποικίλει.

Στην περίπτωση που η γραμμή EWMA ξεπερνά το άνω όριο ελέγχου, τότε αυτό υποδηλώνει μία στατιστικώς σημαντική μετατόπιση στη μέση τιμή. Κάτι τέτοιο μπορεί να οφείλεται σε κάποια κοινή αιτία διακύμανσης, δηλαδή η ίδια η διαδικασία να μην είναι η δόκιμη.

4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΜΟΛΥΝΣΕΩΝ

4.1

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Υπολογισμός Cusum value and score

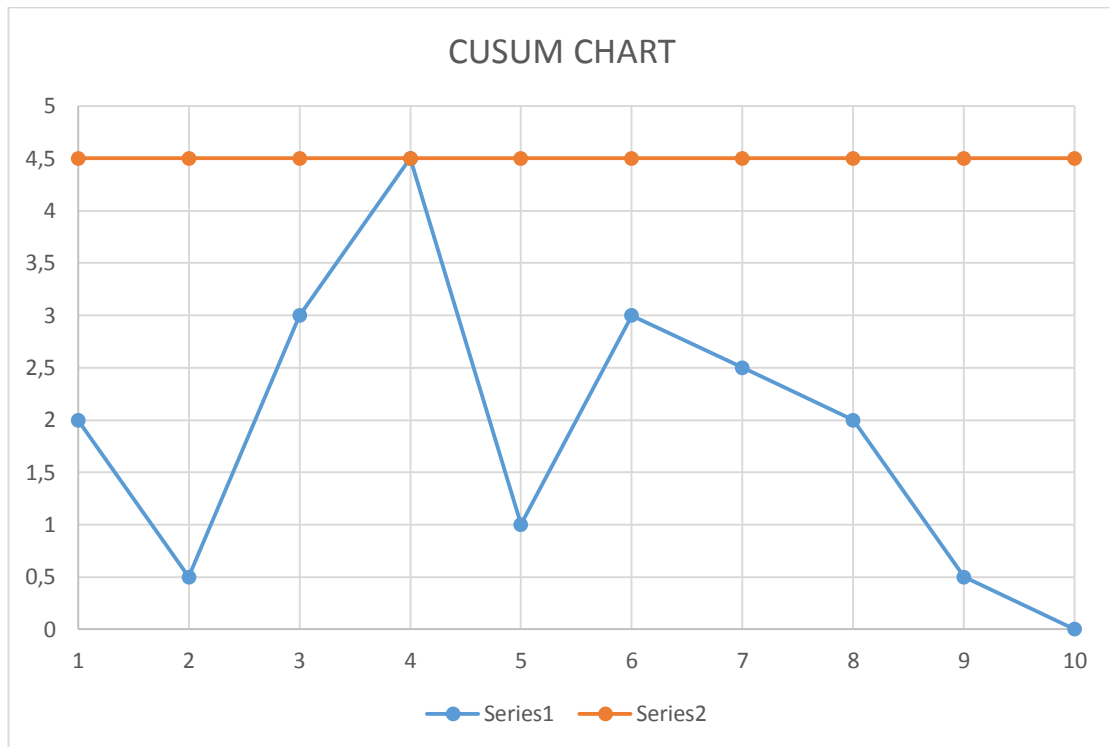
Block	Αριθμός Μολύνσεων	Cucum value	Cusum score
1	2	2.0	0.5 (2.0-1.5)
2	0	0.5 (0+0.5)	0.0 (0.5-1.5)
3	3	3.0 (3+0)	1.5 (3.0-1.5)
4	3	4.5 (3 + 1.5)	0.0 (reset)
5	1	1.0	0.0 (1.0-1.5)
6	3	3.0	1.5 (3.0-1.5)
7	1	2.5	1.0 (2.5-1.5)
8	1	2.0	0.5 (2.0-1.5)
9	0	0.5	0.0 (0.5-1.5)
10	0	0.0	0.0 (0.0-1.5)

Αναλύοντας τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα από το άρθρο του MORTON βλέπουμε ότι διενεργούνται 10 εγχειρήσεις. Για τη πρώτη εγχείρηση ο αριθμός των μολύνσεων φτάνει τον αριθμό 2. Στη δεύτερη εγχείρηση δεν έχουμε καμία μόλυνση, ενώ για τη τρίτη και τέταρτη επέμβαση έχουμε από 3 μολύνσεις για κάθε μία. Η πέμπτη στη σειρά εγχείρηση έχει μία μόλυνση ενώ καταλήγουμε στις τελευταίες δύο ένατη και δέκατη στις οποίες δεν παρατηρείται καμία μόλυνση.

Για να κατανοήσουμε το διάγραμμα Cusum εισαγάγουμε δυο μεταβλητές. Η πρώτη μεταβλητή είναι η h δηλαδή το επίπεδο της απόφασης της οποίας η τιμή καθορίζεται στο 3 μιας και σειρά μετρήσεων έχει δείξει ότι για $h=3$ παρατηρείται μια μείωση του ρυθμού λανθασμένων ενδείξεων περίπου μία για κάθε 50 τιμές. Η δεύτερη μεταβλητή είναι η K της οποίας η τιμή προτείνεται να είναι 1.5.

Για να υπολογίσουμε το Cusum Value προσθέτουμε στον αριθμό των μολύνσεων το Cusum Score κάθε φορά ενώ για το Cusum Score αφαιρούμε κάθε φορά από το Cusum Value τη τιμή της μεταβλητής K . Όπως έχουμε ήδη αναφέρει το Cusum είναι ένα στατιστικό διάγραμμα που παρέχει ένα σήμα ή μια ειδοποίηση, όταν η αναλογία των ανεπιθύμητων ενεργειών υπερβαίνει προκαθορισμένο επίπεδο, που στο παράδειγμά μας είναι ο αριθμός 4.5, σε βαθμό που είναι απίθανο να οφείλεται σε τυχαία διακύμανση. Αυτό φαίνεται στη τέταρτη επέμβαση όπου το $\text{Cusum Value} = \text{αριθμός μολύνσεων} + \text{cusum score} = 3.0 + 1.5 = 4.5$. Κάθε φορά που γίνεται κάτι τέτοιο μηδενίζεται το Cusum Score και επαναλαμβάνεται η διαδικασία πάλι από την αρχή.

Κάτι τέτοιο γίνεται αντιληπτό και στη παρακάτω γραφική παράσταση όπου παρατηρούμε, ότι στη τέταρτη επέμβαση που πραγματοποιήθηκε η γραφική παράσταση "ακουμπάει" την οριζόντια γραμμή του άνω ορίου που έχουμε θέσει.



4.2

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ SHEWHART

Το διάγραμμα SHEWHART, όπως έχουμε προαναφέρει μετράει τον αριθμό συμβάντων που γίνονται κάθε μήνα συναρτήσει του χρόνου ενώ για να βγάλει ασφαλή συμπεράσματα χρειάζονται τουλάχιστον 20 μηνών δεδομένα.

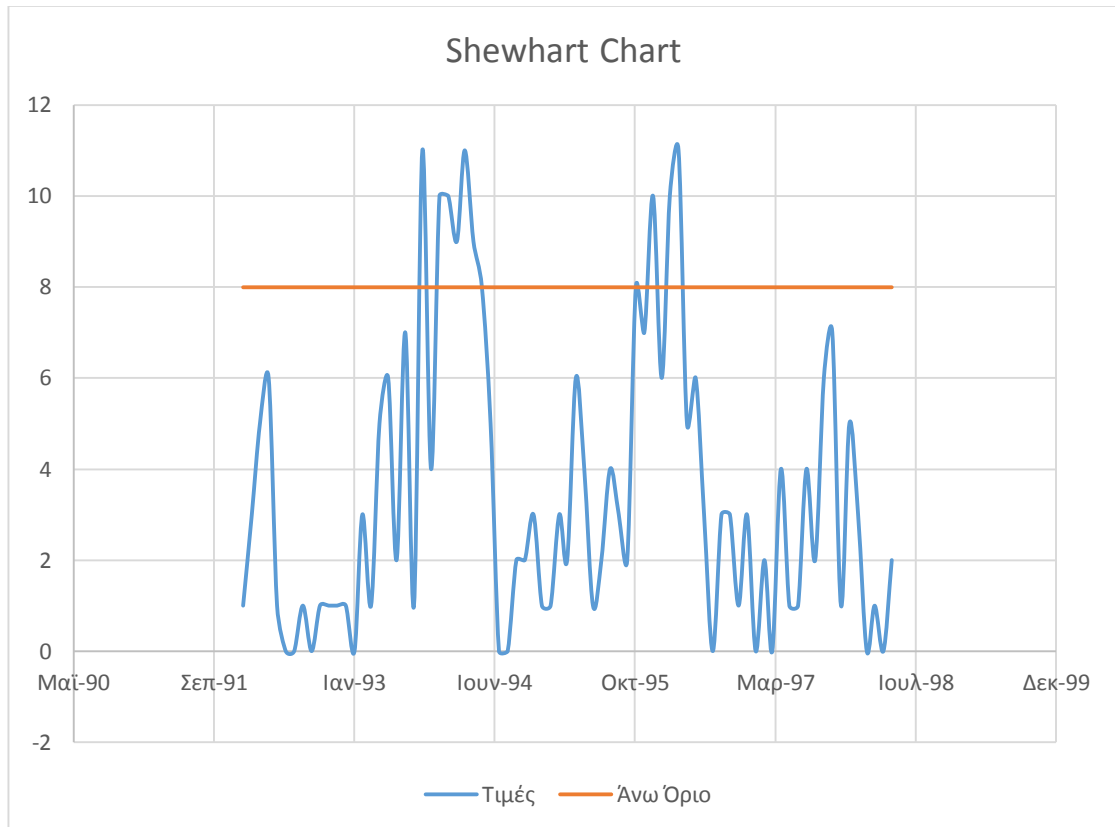
Στο παράδειγμά μας σύμφωνα με το άρθρο του Morton (Πίνακας 2) έχουμε δεδομένα από τον Γενάρη του 1992 έως το Μάιο του 1998 που αφορούν μηνιαίες μετρήσεις για την εμφάνιση του βακτηρίου *Klebsiella* σε νοσοκομειακή μονάδα

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Μηνιαίες μετρήσεις του βακτηρίου KLEBSIELLA

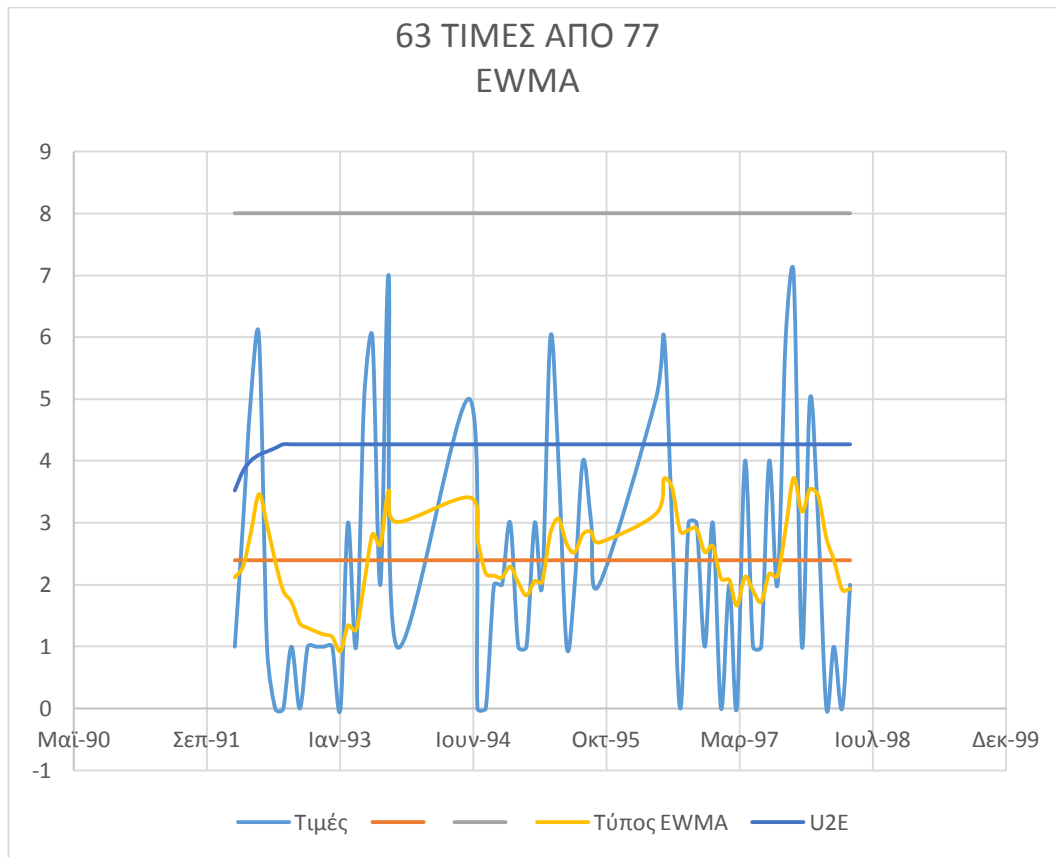
Μήνας	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	10	1	10	0	3
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	3	0	9	3	6	2	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	5	3	11	2	10	0	1
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	6	1	9	6	11	4	0
ΜΑΙΟΣ	1	5	8	4	5	1	2
ΙΟΥΝΙΟΣ	0	6	5	1	6	1	
ΙΟΥΛΙΟΣ	0	2	0	2	3	4	
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	1	7	0	4	0	2	
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0	1	2	3	3	6	
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	1	11	2	2	3	7	
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	1	4	3	8	1	1	
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	1	10	1	7	3	5	

Τοποθετώντας τα δεδομένα μας σε ειδικό πρόγραμμα καταλήξαμε στο επόμενο γράφημα στο οποίο είναι φανερό ότι δυο σαφώς καθορισμένοι περίοδοι επιδημίας είναι από Οκτώβρη 1993 έως Μάιο 1994 η πρώτη και από Νοέμβριο 1995 έως Απρίλιο 1996 η δεύτερη.

Παρατηρούμε ότι το άνω όριο ελέγχου είναι το 8, το οποίο παριστάνεται στο γράφημα με την οριζόντια πορτοκαλί γραμμή. Στην περίπτωση μας η γραμμή EWMA ξεπερνά το άνω όριο ελέγχου, πράγμα το οποίο υποδηλώνει μία στατιστικώς σημαντική μετατόπιση στη μέση τιμή.



Αν θέλουμε να βγάλουμε πιο ασφαλή συμπεράσματα μπορούμε να απομονώσουμε τα δεδομένα που αφορούν τις δύο περιόδους με τις μεγάλες εξάρσεις επιδημίας και να κρατήσουμε τις υπόλοιπες 63 παρατηρήσεις κάτι το οποίο φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα.



ΠΙΝΑΚΑΣ 3:

Μήνας	Τιμή	Μέση τιμή	Άνω όριο shewhart	ΕWMA	Άνω όριο ΕWMA
1	5	2.4	8	2.92	3.52
2	0	2.4	8	2.34	3.84
3	0	2.4	8	1.87	4.00
4	2	2.4	8	1.90	4.10
5	2	2.4	8	1.92	4.15
6	3	2.4	8	2.14	4.21
7	1	2.4	8	1.91	4.27

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως γίνεται φανερό από τη μελέτη του Morton (2001) η συνδυαστική εφαρμογή των διαγραμμάτων ελέγχου Shewhart, CUSUM και EWMA, στην παρακολούθηση των δεικτών επιμολύνσεων, επιτρέπει την συνεχή αξιολόγηση σε πραγματικό χρόνο. Έτσι, το διάγραμμα Shewhart θα ανιχνεύσει τις μεγάλες αλλαγές, ενώ τα δύο άλλα θα μπορούν να ανιχνεύουν μικρότερες αλλαγές. Ο συνδυασμός των διαγραμμάτων Shewhart και EWMA θεωρείται ιδανικός για την παρακολούθηση των τιμών των βακτηρίων καθώς και των ανθεκτικών μικροοργανισμών. Παράλληλα ο συνδυασμός των διαγραμμάτων Shewhart και CUSUM είναι κατάλληλος για την παρακολούθηση των χειρουργικών επιμολύνσεων. Morton et al.(2001)

Όπως και το CUSUM, το διάγραμμα EWMA αποδίδει καλά σε περιπτώσεις μικρών μετατοπίσεων, αλλά δεν αντιδρά σε μεγάλες αλλαγές τόσο γρήγορα όσο το διάγραμμα Shewhart. Ένας καλός τρόπος για να βελτιώσει κανείς περαιτέρω την ευαισθησία της διαδικασίας σε μεγάλες αλλαγές χωρίς να θυσιάζει τη δυνατότητα να ανιχνεύει μικρές αλλαγές γρήγορα είναι να συνδυάσει ένα διάγραμμα Shewhart με το EWMA. Αυτές οι συνδυασμένες ελέγχου Shewhart-EWMA διαδικασίες είναι αποτελεσματικές κατά των μεγάλων και μικρών μετατοπίσεων. Κατά τη χρήση αυτών των συστημάτων, έχουμε βρει ότι είναι χρήσιμο να χρησιμοποιούν ελαφρώς μεγαλύτερα από τα συνηθισμένα όρια του διαγράμματος Shewhart (ας πούμε, 3.25-σίγμα, ή ακόμη και 3,5-σίγμα).

Το ινστιτούτο στο οποίο διεξήχθη και η μελέτη, χρησιμοποιεί τις μεθόδους αυτές για περισσότερο από 5 έτη και με τη βοήθεια βάσεων δεδομένων διαμορφώνονται αυτόματα διαγράμματα ελέγχου με συστηματική αξιολόγηση από το προσωπικό, μιας και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων των γραφημάτων είναι εύκολη στην κατανόηση. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται αξιολόγηση σε πραγματικό χρόνο ενός ικανού εύρους ενδείξεων επιλοιομόξεων. Morton et al.(2001)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αντζουλάκος Δ., «Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας», Σημειώσεις Παραδόσεων, Πειραιάς 2009, Β' Έκδοση

American Society for Quality; <http://asq.org/glossary/q.html>

Benneyan J.C. “Statistical quality control methods in infection control and hospital epidemiology, part I: introduction and basic theory” Infection Control Hospital Epidemiology 1998; 19:194-214

Benneyan J.C. “Number – Between g -Type Statistical Quality Control Charts for Monitoring Adverse Events” Health Care Management Science 4, 305-318; 2001

Benneyan J.C. et al., “Statistical process control as a tool for research and healthcare improvement” Qual. Saf. Health Care 2003; 12:458-464

Gilberth FB. Motion study in Surgery. Canadian Journal of Medical Surgery 1916;40(1):22-31

Montgomery C. Douglas “Introduction to Statistical Quality Control 7th Edition

Morton A.P. et al., “The application of statistical process control charts to the detection and monitoring of hospital – acquired infections” J. Qual. Clin. Practice; (2001) 21,112-117

NHS (National Services Scotland), Statistical Process Control; Tutorial Guide Monitoring Quality in Healthcare Quality Improvement Team; http://www.academia.edu/3822542/Tutorial_Guide_Statistical_Monitoring_Quality_in_Healthcare_Process_Clinical_Indicators_Support_Team

Plesk Paul E. “Quality Improvement Methods in Clinical Medicine” Pediatrics Vol. 103 No1 January 1999

ThorJ. et al., “Application of statistical process control in healthcare improvement: systematic review” Qual Saf Health Care 2007;16:387–399. doi: 10.1136/qshc.2006.022194

Varkey P. et al., “Basics of Quality Improvement in Health Care” Mayo Clin Proc. 2007;82(6):735-739

Woodall W.H. “The Use of Control Charts in Health – Care and Public – Health Surveillance” Journal of Quality Technology; Vol 38, No2, April 2006