



ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΠΑΡΕΧΟΜΕΝΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ "ΠΟΣΕΙΔΩΝ" ΚΥΜΑΤΙΚΕΣ ΠΡΟΓΝΩΣΕΙΣ

Παναγιώτα Π. Βαμβακούση

ΔΙΑΤΡΙΒΗ

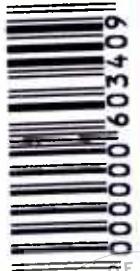
Που υποβλήθηκε στο Τμήμα Στατιστικής
του Οικονομικού Πανεπιστημίου Αθηνών
ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση
Μεταπτυχιακού Διπλόματος Ειδίκευσης στη
Στατιστική με κατεύθυνση «Εποπτικές Μέθοδοι
στη Λήψη Αποφάσεων»

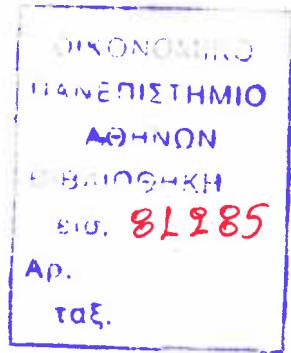
Αθήνα
Μάιος 2007



ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

KATA0002





ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΠΑΡΕΧΟΜΕΝΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ «ΠΟΣΕΙΔΩΝ» ΚΥΜΑΤΙΚΕΣ ΠΡΟΓΝΩΣΕΙΣ

Παναγιώτα Π. Βαμβακούση

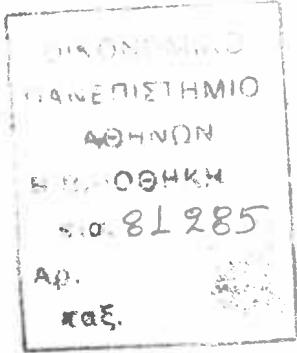
ΕΡΓΑΣΙΑ

Που υποβλήθηκε στο Τμήμα Στατιστικής
του Οικονομικού Πανεπιστημίου Αθηνών
ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση
Μεταπτυχιακού Διπλώματος
Ειδίκευσης στη Στατιστική
Μερικής Παρακολούθησης (Part-time)



Αθήνα
Μάιος 2007





ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ

Εργασία που υποβλήθηκε ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση

Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στη Στατιστική
με κατεύθυνση «Ποσοτικές Μέθοδοι στη Λήψη Αποφάσεων»

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΠΑΡΕΧΟΜΕΝΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ "ΠΟΣΕΙΔΩΝ" ΚΥΜΑΤΙΚΕΣ ΠΡΟΓΝΩΣΕΙΣ

Παναγιώτα Π. Βαμβακούση

Υπεύθυνο μέλος ΔΕΠ:

Στ. Ψαράκης
Επίκουρος Καθηγητής

Ο Διευθυντής Μεταπτυχιακών Σπουδών

Επαμεινώνδας Πανάς
Καθηγητής



ΑΦΙΕΡΩΣΗ

Αφιερώνω την παρούσα διατριβή στην μητέρα μου Αθανασία και στον πατέρα μου Πέτρο, οι οποίοι συνεχίζουν να υποστηρίζουν έμπρακτα τις προσωπικές μου επιλογές, χωρίς ποτέ να φείδονται κόπων, κοστών, υπομονής και αγάπης.



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο εξώφυλλο της παρούσας διατριβής, όπως και σε κάθε άλλη, αναφέρεται το όνομα του συγγραφέα αυτής. Ωστόσο, πίσω από το όνομα αυτό κρύβονται πολλά ακόμη ονόματα, ανθρώπων, χωρίς την στήριξη των οποίων, δεν θα ήταν δυνατή η εκπόνηση της εργασίας. Θεωρώ πως οφείλω να ευχαριστήσω τους ανθρώπους αυτούς οι οποίοι βοήθησαν, καθείς με τον τρόπο του, να ολοκληρωθεί η προσπάθειά μου αυτή.

Καταρχήν λοιπόν, οφείλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Δρ. Στέλιο Ψαράκη. Και αν ο τίτλος του επιβλέποντα είναι τυπικός, η συνεισφορά του κάθε άλλο παρά τυπική ήταν. Ένα ειλικρινές ευχαριστώ είναι το λιγότερο που μπορώ να του προσφέρω για το χρόνο που μου αφιέρωσε, την καθοδήγηση που μου παρείχε και την πάντα διαθέσιμη παρουσία του που εξαφάνιζε δισταγμούς, απορίες και αδιέξοδα. Ευελπιστώ πώς τουλάχιστον το αποτέλεσμα θα είναι αντάξιο και των δικών του προσπαθειών και προσδοκιών.

Στην μέχρι τώρα επιστημονική μου πορεία, καταλυτική ήταν και η παρουσία του Δρ. Τακβόρ Σουκισιάν. Του οφείλω ένα εγκάρδιο ευχαριστώ, όχι τόσο για την αφανή συνεισφορά του στην παρούσα εργασία, όσο για ό,τι μου έχει προσφέρει κατά την διάρκεια των τελευταίων χρόνων που μαθήτευσα δίπλα του. Και καθώς δεν μου δόθηκε η ευκαιρία στο παρελθόν να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου για τις πολύτιμες γνώσεις και εμπειρίες που απέκτησα κοντά του, δράττομαι της ευκαιρίας να το κάνω τώρα, έστω και καθυστερημένα.

Ευχαριστώ, τέλος, όσους καθ(οδ)ηγητές πίστεψαν σε μένα καθ' όλη την διάρκεια των μαθητικών και φοιτητικών μου χρόνων και εύχομαι πως δεν θα τους απογοητεύσω στην μετέπειτα πορεία μου.





ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Γεννήθηκα στις 2 Αυγούστου του 1981 στη Αθήνα. Τον Σεπτέμβρη του 2000 εισήχθη πρώτη με εισαγωγικές εξετάσεις στο Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας του Πανεπιστημίου Αιγαίου, από όπου ανακηρύχθηκα πτυχιούχος τον Οκτώβριο του 2005, με βαθμό πτυχίου Λίαν Καλώς. Τον Σεπτέμβρη του ιδίου έτους έγινα δεκτή στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Ποσοτικές Μέθοδοι στη Λήψη Αποφάσεων» του Τμήματος Στατιστικής του Οικονομικού Πανεπιστημίου Αθηνών.





ABSTRACT

Penny Vamvakoussi

STATISTICAL QUALITY CONTROL IN WAVE FORECASTS PROVIDED BY THE SYSTEM “POSEIDON”

May 2007

The purpose of the present thesis is the quality control of wave forecasts provided by the POSEIDON system. In order this to be achieved, the Statistical Quality Control methodology was applied on a long enough time series of the forecast error. The current autocorrelation, due to the type of the phenomenon as well as the automated way of sampling, required a more complex approach: initially, the appropriate ARIMA model was selected in order to diminish the serial dependence of the data. Consequently, the appropriate techniques were applied to the residuals. The results indicate a variable efficiency of the system regarding the quality of the provided forecasts. In particular, it was observed by the POSEIDON wave forecast model an underestimation of the strong wave conditions and satisfactory estimation of the mild ones. This particular behavior of the WAM model, requires further thorough study although is in line with the respective results of other evaluating methods.





ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παναγιώτα Βαμβακούση

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΠΑΡΕΧΟΜΕΝΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ «ΠΟΣΕΙΔΩΝ» ΚΥΜΑΤΙΚΕΣ ΠΡΟΓΝΩΣΕΙΣ

Απρίλιος 2007

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο ποιοτικός έλεγχος των παρεχόμενων από το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ κυματικών προγνώσεων. Για την επίτευξη αυτού, εφαρμόζεται, σε μεγάλου μήκους χρονοσειρά του σφάλματος πρόγνωσης, η μεθοδολογία του Στατιστικού Ελέγχου Ποιότητας. Η υφιστάμενη, λόγω της φύσης του φαινομένου αλλά και του αυτοματοποιημένου τρόπου δειγματοληψίας, αυτοσυσχέτιση επέβαλε πιο σύνθετη προσέγγιση: αρχικά, επελέγη κατάλληλο υπόδειγμα ARIMA ούτως ώστε να εξαλειφθεί η σειριακή εξάρτηση των δεδομένων. Στη συνέχεια, εφαρμόσθηκαν οι κατάλληλες τεχνικές στα εναπομείναντα κατάλοιπα. Τα προκύπτοντα αποτελέσματα υποδεικνύουν μεταβλητή απόδοση του συστήματος σε ότι αφορά την ποιότητα των παρεχόμενων προγνώσεων. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε υποεκτίμηση των έντονων και ικανοποιητική εκτίμηση των ήπιων κυματικών καταστάσεων από το κυματικό μοντέλο του ΠΟΣΕΙΔΩΝΑ. Η συμπεριφορά αυτή του WAM, όπως αναδείχτηκε από τον Στατιστικό Έλεγχο Ποιότητας, χρήζει εκτενέστερης μελέτης, παρόλο που συμφωνεί με ανάλογα αποτελέσματα άλλων μεθόδων.





ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

	<u>Σελίδα</u>
Ευχαριστίες	I
Βιογραφικό Σημείωμα	III
Abstract	V
Περίληψη	VII
Κατάλογος Περιεχομένων	IX
Κατάλογος Γραφημάτων	XI
Κατάλογος Εικόνων	XIII
1. Εισαγωγή	1
2. Το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ	5
2.1 Η έννοια και η σημασία της πρόγνωσης	5
2.2 Το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ	6
2.3 Τα μέρη του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ	7
2.4 Τα προϊόντα του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ	11
2.5 Πρόγνωση κυματισμού	12
2.6 Περιγραφή των δεδομένων	13
3. Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας	17
3.1 Η έννοια της ποιότητας	17
3.2 Ιστορική εξέλιξη του στατιστικού ελέγχου ποιότητας	18
3.3 Στατιστικός έλεγχος παραγωγικής διαδικασίας	20
3.3.1 Στατιστικό υπόβαθρο των διαγραμμάτων ελέγχου	22
3.3.2 Διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών μέτρησης	25
3.3.2.1 Διάγραμμα ελέγχου του μέσου	27
3.3.2.2 Διάγραμμα ελέγχου του εύρους	29
3.3.2.3 Διάγραμμα ελέγχου της τυπικής απόκλισης	30
3.3.2.4 Διάγραμμα ελέγχου συσσωρευμένων αθροισμάτων	32
3.3.2.5 Διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων	34
3.3.2.6 Διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων	35



3.3.3 Στατιστικός έλεγχος διαδικασίας με εξαρτημένα δείγματα	38
3.3.4 Ανάλυση χρονολογικών σειρών	39
4 Μεθοδολογία	45
4.1 Μεθοδολογία Box-Jenkins	46
4.2 Μεθοδολογία στατιστικού ελέγχου διαδικασίας	59
5 Αποτελέσματα	63
5.1 1 ^η διαμέριση: Δειγματοληψία ανά τρίωρο	63
5.2 2 ^η διαμέριση: Ημερήσια δειγματοληψία	68
5.3 3 ^η διαμέριση: Δειγματοληψία ανά τριήμερο	74
5.4 4 ^η διαμέριση: Εβδομαδιαία δειγματοληψία	79
6 Συμπεράσματα	85
Βιβλιογραφικές αναφορές	89



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

<u>Γράφημα</u>	<u>Σελίδα</u>
4.1: Χρονολογική σειρά του μετρημένου και του προσομοιωμένου σημαντικού ύψους κύματος από 4/2/2003 μέχρι και 4/8/2003	45
4.2: Χρονολογική σειρά του σφάλματος πρόγνωσης από 4/2/2003 μέχρι και 4/8/2003	46
4.3: Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης του σφάλματος για 20 χρονικές υστερήσεις	47
4.4: Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης του σφάλματος για 100 χρονικές υστερήσεις	48
4.5: Μετασχηματισμένη χρονολογική σειρά του σφάλματος πρόγνωσης	49
4.6: Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης του διαφοροποιημένου σφάλματος για 100 χρονικές υστερήσεις	51
4.7: Συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης του διαφοροποιημένου σφάλματος για 100 χρονικές υστερήσεις	52
4.8: Χρονολογική σειρά των $ARIMA(1,1,1) \times (1,0,1)_8$ καταλοίπων	53
4.9: Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης των $ARIMA(1,1,1) \times (1,0,1)_8$ καταλοίπων για 20 χρονικές υστερήσεις	54
4.10: Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης των $ARIMA(1,1,1) \times (1,0,1)_8$ καταλοίπων για 50 χρονικές υστερήσεις	55
4.11: Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης των $ARIMA(1,1,1) \times (1,0,1)_8$ καταλοίπων για 100 χρονικές υστερήσεις	56
4.12: Συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης των $ARIMA(1,1,1) \times (1,0,1)_8$ καταλοίπων για 20 χρονικές υστερήσεις	57
4.13: Συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης των $ARIMA(1,1,1) \times (1,0,1)_8$ καταλοίπων για 50 χρονικές υστερήσεις	58
4.14: Συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης των $ARIMA(1,1,1) \times (1,0,1)_8$ καταλοίπων για 100 χρονικές υστερήσεις	59
5.1: Διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων για μεμονωμένα δείγματα	63



5.2: Διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων για μεμονωμένα δείγματα	65
5.3: Διάγραμμα ελέγχου συσσωρευμένων αθροισμάτων για μεμονωμένα δείγματα	66
5.4: Διάγραμμα ελέγχου του μέσου για δείγματα μεγέθους 8	68
5.5: Διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων για δείγματα μεγέθους 8	69
5.6: Διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων για δείγματα μεγέθους 8	70
5.7: Διάγραμμα ελέγχου συσσωρευμένων αθροισμάτων για δείγματα μεγέθους 8	72
5.8: Διάγραμμα ελέγχου του μέσου για δείγματα μεγέθους 24	74
5.9: Διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων για δείγματα μεγέθους 24	75
5.10: Διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων για δείγματα μεγέθους 24	76
5.11: Διάγραμμα έλέγχου συσσωρευμένων αθροισμάτων για δείγματα μεγέθους 24	77
5.12: Διάγραμμα ελέγχου του μέσου για δείγματα μεγέθους 56	79
5.13: Διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων για δείγματα μεγέθους 56	80
5.14: Διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων για δείγματα μεγέθους 56	81
5.15: Διάγραμμα ελέγχου συσσωρευμένων αθροισμάτων για δείγματα μεγέθους 56	82



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<u>Εικόνα</u>	<u>Σελίδα</u>
2.1: Ποντισμένος ωκεανογραφικός σταθμός	7
2.2: Το δίκτυο πλωτών μετρητικών σταθμών του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ	8
2.3: Δορυφορικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα INMARSAT-C	9
2.4: Σταθμοί εργασίας του Επιχειρησιακού Κέντρου	10
2.5: Ο επιλεγμένος σταθμός στην θαλάσσια περιοχή ανοιχτά της χερσονήσου του Άθω.	14
3.1: Τρόπος κατασκευής του διαγράμματος ελέγχου μέσης τιμής	28
3.2: Τρόπος κατασκευής του διαγράμματος ελέγχου του εύρους	30
3.3: Τρόπος κατασκευής του διαγράμματος ελέγχου της τυπικής απόκλισης	32





ΚΕΦΑΛΑΙΟ #1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Βασικός σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αξιολόγηση της ποιότητας των παρεχόμενων από το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ κυματικών προγνώσεων, όσον αφορά στην ακρίβεια αυτών. Για το σκοπό αυτό, εφαρμόζεται σε μεγάλου μήκους χρονοσειρά του σφάλματος πρόγνωσης η μεθοδολογία του Στατιστικού Ελέγχου Ποιότητας. Παράλληλα και εξυπηρετώντας τους σκοπούς της ανάλυσης, εφαρμόζονται και τεχνικές ανάλυσης χρονοσειρών.

Το μέλλον είναι εξ' ορισμού αβέβαιο. Η αβεβαιότητα, από τις απαρχές του πολιτισμένου κόσμου, φοβίζει τα άτομα και είναι ο φόβος αυτός που τα ωθεί σε προσπάθειες πρόβλεψης του μέλλοντος. Υπάρχουν πλήθος παράξενων τεχνικών που έχει επινοήσει ο άνθρωπος κατά την διάρκεια της πορείας του στο χρόνο, στην προσπάθειά του να μαντέψει τα γεγονότα πριν αυτά συμβούν. Η σύγχρονη επιστήμη, αποκρινόμενη στην ανάγκη έγκαιρης γνώσης όσων επίκεινται, δημιούργησε το σύνθετο οικοδόμημα των τεχνικών προγνώσεων.

Η σημασία της πρώιμης γνώσης, ειδικά στο σύνθετα δομημένο σύγχρονο κόσμο, είναι ευνόητη. Οι προβλεπτικές μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται ευρέως, έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμες στην διαμόρφωση έγκυρων εκτιμήσεων των επικείμενων καταστάσεων. Προφανώς, οι μέθοδοι πρόβλεψης δεν καθιστούν δυνατή την προ-γνώση των μελλούμενων. Ωστόσο, καθιστούν δυνατή την εξαγωγή αξιόπιστων εκτιμήσεων των συνθηκών στο βραχυπρόθεσμο μέλλον. Προβλέψεις γίνονται σε πολλούς τομείς της σύγχρονης επιστήμης, με σκοπό την αποφυγή σημαντικών απωλειών ή κόστους.

Όσον αφορά στις κυματικές προγνώσεις, το κόστος μη αξιόπιστων ή και ανύπαρκτων προβλέψεων της κατάστασης θάλασσας μεταφράζεται σε απώλεια κερδών για τις ναυτιλιακές εταιρείες, περιβαλλοντική υποβάθμιση αλλά και απώλεια ανθρώπινων ζωών σε ναυτικά ατυχήματα ή ακραία θαλάσσια φαινόμενα. Η ύπαρξη ποιοτικών προγνώσεων, όσον αφορά στην



ακρίβεια αυτών, μπορεί να ελαχιστοποιήσει ή ακόμη και να εξαλείψει τα κόστη αυτά. Σχηματίζοντας μία συνεπή και έγκυρη άποψη σχετικά με τις μελλοντικές πιθανότητες, καθίσταται δυνατό για τους εκάστοτε λήπτες αποφάσεων να επιστρατεύουν έγκαιρα τους απαραίτητους πόρους ώστε να διευκολύνουν ή να ασφαλίζουν την επίτευξη του στόχου και κατά συνέπεια να μειώνουν κατά το δυνατόν το κόστος εσφαλμένου σχεδιασμού.

Η έννοια της ποιότητας, αν και όχι δυσνόητη, δεν ορίζεται ούτε αταλαιπώρητα ούτε μονοσήμαντα. Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται στις μέρες μας από καταναλωτές προϊόντων, χρήστες υπηρεσιών, στελέχη επιχειρήσεων, ακαδημαϊκούς, ερευνητές κλπ. Κάποιοι από αυτούς, χρησιμοποιούν τον όρο «ποιότητα» μετά από προσεκτικό και σαφή ορισμό, σε αντίθεση με την πλειονότητα, που χρησιμοποιεί τον όρο με μία πιο χαλαρή ή γενική ή τελικά υποκειμενική έννοια. Όταν λοιπόν γίνεται αναφορά στον όρο «ποιότητα» δεν είναι βέβαιο ότι όλοι αναφέρονται στο ίδιο πράγμα.

Παραδοσιακά, ποιότητα θεωρείτο η εναρμόνιση με κάποιες προδιαγραφές. Σύμφωνα με πιο πρόσφατες θεωρήσεις, η ποιότητα ταυτίζεται περισσότερο με την ικανοποίηση των απαιτήσεων, τόσο του καταναλωτή – χρήστη, όσο και όλων των εμπλεκόμενων ομάδων και ατόμων. Με άλλα λόγια, η ποιότητα δεν υφίσταται απόλυτα ως αντικειμενικό χαρακτηριστικό και ανεξάρτητα από την γνώμη του πελάτη, αλλά αντίθετα, ο χρήστης – καταναλωτής είναι ο τελικός κριτής της.

Η ποιότητα ενός προϊόντος ή μιας παρεχόμενης υπηρεσίας μπορεί να αξιολογηθεί ποικιλοτρόπως, γι' αυτό και συνιστά πολυδιάστατη έννοια. Τα φυσικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά, η οικονομία, η αξιοπιστία, η διάρκεια ζωής, η αισθητική, η φιλικότητα προς το περιβάλλον είναι μερικές μόνο από τις διαστάσεις της ποιότητας που αναφέρονται σε χειροπιαστά προϊόντα. Κατ' ανάλογο τρόπο, η αξιοπιστία, η εμπιστοσύνη, η επάρκεια, η πρόσβαση, η επικοινωνία είναι κάποιες από τις διαστάσεις της ποιότητας που σχετίζονται με τις υπηρεσίες.



Το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ είναι ένα σύστημα παρακολούθησης, πρόγνωσης και πληροφόρησης για την κατάσταση των Ελληνικών θαλασσών.

Στην Ελλάδα, η καθημερινή ζωή και η επιχειρηματική δραστηριότητα είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τη θάλασσα. Κατά συνέπεια, η έγκαιρη και έγκυρη πληροφόρηση για την κατάσταση αυτής είναι πρωταρχικής σημασίας. Το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ αποτελεί μία πρωτοποριακή υποδομή που δημιουργήθηκε προκειμένου να ικανοποιήσει την ανάγκη αυτής.

Το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ αποτελεί ένα ζωτικής σημασίας «εργαλείο» για τον εθνικό σχεδιασμό, με στόχο τη διαχείριση και προστασία του θαλασσίου περιβάλλοντος της χώρας. Παράλληλα, αποτελεί ένα πολύτιμο σύνεργο για την ασφαλή ανάπτυξη οικονομικών δραστηριοτήτων στη θαλάσσιο και παράκτιο περιβάλλον, την πρόληψη καταστροφικών περιστατικών και την διασφάλιση της ανθρώπινης ζωής.

Στο 2ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται το σύστημα παρακολούθησης, πρόγνωσης και πληροφόρησης για την κατάσταση των Ελληνικών θαλασσών, ΠΟΣΕΙΔΩΝ. Μετά την περιγραφή των κύριων μερών και των προϊόντων αυτού, γίνεται αναλυτική παρουσίαση των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία. Επίσης επισημαίνεται η σημασία και οι δυνατές χρήσεις των κυματικών προγνώσεων. Η ποιότητα αυτών μένει να αξιολογηθεί στην μετέπειτα ανάλυση.

Στο 3^ο Κεφάλαιο καταρχήν αποσαφηνίζεται και ορίζεται η έννοια της ποιότητας. Ακολουθεί συνοπτική αναφορά στην ιστορική εξέλιξη του Στατιστικού Ελέγχου Ποιότητας. Στην συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά οι βασικές τεχνικές και τα εργαλεία του Ελέγχου Παραγωγικής Διαδικασίας καθώς και το θεωρητικό υπόβαθρο αυτών, αναφέρονται ένα προς ένα τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα διαγράμματα ελέγχου και επεξηγείται λεπτομερώς ο τρόπος κατασκευής τους. Επίσης, επισημαίνονται τα προβλήματα που προκαλεί κατά τους ελέγχους η εξάρτηση των δεδομένων και αναφέρονται οι τρόποι αντιμετώπισης αυτών. Τέλος, παρουσιάζεται όσο το



δυνατόν πιο συνοπτικά η θεωρία της ανάλυσης χρονολογικών σειρών με χρήση αυτοπαλίνδρομων υποδειγμάτων κινητού μέσου.

Στο 4^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προκειμένου να εξαλειφθεί η εξάρτηση στα δεδομένα. Περιγράφονται ένα προς ένα τα βήματα της Box-Jenkins μεθοδολογίας όπως αυτή εφαρμόσθηκε στην παρούσα εργασία και για τα συγκεκριμένα δεδομένα. Επίσης, αναφέρεται η μεθοδολογία που εφαρμόσθηκε για τον έλεγχο ποιότητας των διαθέσιμων κυματικών δεδομένων, οι θεωρούμενες διαμερίσεις και τυχόν επισημάνσεις.

Στο 5^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθοδολογίας του Ελέγχου Παραγωγικής Διαδικασίας στο σύστημα παροχής κυματικών προγνώσεων ΠΟΣΕΙΔΩΝ. Παρατίθενται όλα τα διαγράμματα ελέγχου που κατασκευάσθηκαν για τις θεωρούμενες διαμερίσεις του συνόλου των δεδομένων και σχολιάζονται.

Στο 6^ο Κεφάλαιο αναπτύσσονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας του Ελέγχου Παραγωγικής Διαδικασίας στο σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ. Αξιολογείται η ποιότητα της υπηρεσίας που αυτό παρέχει όσον αφορά στην ακρίβεια των κυματικών προγνώσεων και επισημαίνονται πολλά σημεία που χρήζουν περαιτέρω έρευνας.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ #2

ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΣΕΙΔΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο επισημαίνεται η χρησιμότητα των κυματικών προγνώσεων και παρουσιάζεται το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ, ένα σύστημα παρακολούθησης, πρόγνωσης και πληροφόρησης για την κατάσταση των Ελληνικών θαλασσών. Επίσης, περιγράφεται το σύνολο των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην μετέπειτα ανάλυση.

2.1 Η έννοια και η σημασία της πρόγνωσης

Η καθημερινή ζωή και πορεία των ατόμων, των ομάδων, των κοινωνιών, των εθνών, του ανθρώπινου είδους γενικότερα, διασταυρώνεται συνεχώς με το απρόσμενο. Το μέλλον είναι εξ' ορισμού αβέβαιο Η σημασία της πρώιμης γνώσης, δηλαδή της προ-γνώσης, ειδικά στο σύνθετα δομημένο σύγχρονο κόσμο, είναι ευνόητη. Η σύγχρονη επιστήμη, αποκρινόμενη στην ανάγκη αυτή, δημιούργησε το σύνθετο οικοδόμημα των τεχνικών προγνώσεων. Οι προβλεπτικές μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται ευρέως, έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμες στην διαμόρφωση έγκυρων εκτιμήσεων των επικείμενων καταστάσεων. Προφανώς, οι μέθοδοι πρόβλεψης δεν καθιστούν δυνατή την προ-γνώση των μελλούμενων. Ωστόσο, καθιστούν δυνατή την εξαγωγή αξιόπιστων εκτιμήσεων των συνθηκών στο βραχυπρόθεσμο κυρίως μέλλον. Προβλέψεις γίνονται σε πολλούς τομείς της σύγχρονης επιστήμης, με σκοπό την αποφυγή σημαντικών απωλειών ή κόστους.

Όσον αφορά στις κυματικές προγνώσεις, το κόστος μη αξιόπιστων ή και ανύπαρκτων προβλέψεων της κατάστασης θάλασσας μεταφράζεται σε απώλεια κερδών για τις ναυτιλιακές εταιρείες, περιβαλλοντική υποβάθμιση αλλά και απώλεια ανθρώπινων ζωών σε ναυτικά ατυχήματα ή ακραία θαλάσσια φαινόμενα. Η ύπαρξη αξιόπιστων προγνώσεων μπορεί να ελαχιστοποιήσει ή ακόμη και να εξαλείψει τα κόστη αυτά. Σχηματίζοντας μία

συνεπή και έγκυρη άποψη σχετικά με τις μελλοντικές πιθανότητες, καθίσταται δυνατό για τους εκάστοτε λήπτες αποφάσεων να επιστρατεύουν έγκαιρα τους απαραίτητους πόρους ώστε να διευκολύνουν ή να ασφαλίζουν την επίτευξη του στόχου και κατά συνέπεια να μειώνουν κατά το δυνατόν το κόστος εσφαλμένου σχεδιασμού.

2.2 Το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ

Στην Ελλάδα, η καθημερινή ζωή και η επιχειρηματική δραστηριότητα είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τη θάλασσα. Κατά συνέπεια, η έγκαιρη και έγκυρη πληροφόρηση για την κατάσταση αυτής είναι πρωταρχικής σημασίας. Το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών, με χρηματοδότηση από το Χρηματοδοτικό Μηχανισμό του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου και το Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας, δημιουργήθηκε προκειμένου να ικανοποιήσει την ανάγκη αυτή.

Αποτελούμενο από ένα δίκτυο πλωτών ωκεανογραφικών μετρητικών σταθμών (buoys) και ένα ειδικό επιχειρησιακό κέντρο για την πρόγνωση και επεξεργασία των δεδομένων, το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ αποτελεί μία πρωτοποριακή υποδομή για τα Ευρωπαϊκά δεδομένα. Το δίκτυο των πλωτών μετρητικών σταθμών καταγράφει τις φυσικές, βιολογικές και χημικές παραμέτρους του Αιγαίου Πελάγους. Στη συνέχεια, τα δεδομένα μεταδίδονται στο Επιχειρησιακό Κέντρο, όπου και τροφοδοτούν προγνωστικά μοντέλα τελευταίας γενιάς [11].

Το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ αποτελεί ένα ζωτικής σημασίας «εργαλείο» για τον εθνικό σχεδιασμό, με στόχο τη διαχείριση και προστασία του θαλασσίου περιβάλλοντος της χώρας. Παράλληλα, αποτελεί ένα ανεκτίμητο πλεονέκτημα για την ασφαλή ανάπτυξη οικονομικών δραστηριοτήτων στο θαλάσσιο και παράκτιο περιβάλλον, την πρόληψη καταστροφικών περιστατικών και την διασφάλιση της ανθρώπινης ζωής [11].



Το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ σε πλήρη λειτουργία προσφέρει:

- ✓ αμεση (on-line) και έγκυρη πληροφόρηση
- ✓ αξιόπιστη πρόγνωση
- ✓ προστασία του θαλάσσιου οικοσυστήματος
- ✓ ενίσχυση της θαλάσσιας έρευνας

2.3 Τα μέρη του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ

Το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ αποτελείται από τα παρακάτω κύρια μέρη :

- Δίκτυο πλωτών ωκεανογραφικών σταθμών
- Τηλεπικοινωνιακά συστήματα μετάδοσης δεδομένων
- Επιχειρησιακό κέντρο με αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης

Το δίκτυο των πλωτών ωκεανογραφικών σταθμών απαρτίζεται από πλωτήρες τύπου Sea-Watch (της Νορβηγικής εταιρείας Oceanor, βλ. Εικόνα 2.1) [6], οι οποίοι έχουν ποντιστεί σε καίρια σημεία του Αιγαίου Πελάγους (βλ. Εικόνα 2.2). Οι πλωτοί μετρητικοί σταθμοί είναι εξοπλισμένοι με αισθητήρες καταγραφής των εξής παραμέτρων [11]:

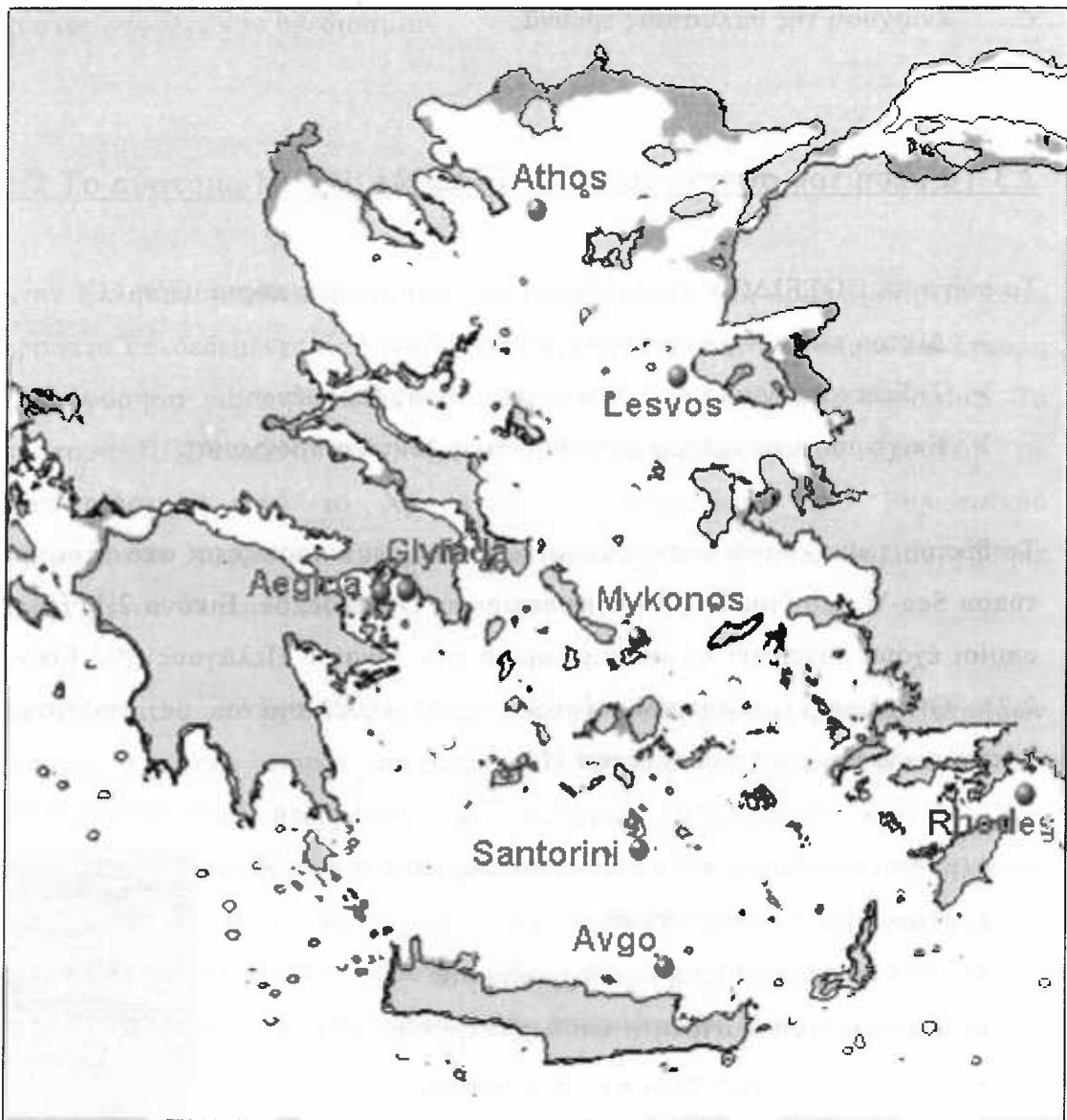
- Ύψος, περίοδος, και κατεύθυνση κύματος
- Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου
- Ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία
- Επιφανειακή αλατότητα και θερμοκρασία
- Επιφανειακή ταχύτητα και κατεύθυνση ρεύματος
- Επιφανειακό διαλυμένο οξυγόνο
- Απορρόφηση φωτεινότητας
- Αλατότητα και θερμοκρασία σε βάθη μέχρι 50 m
- Επιφανειακή ραδιενέργο ακτινοβολία
- Χλωροφύλλη-α
- Θρεπτικά στοιχεία



Εικόνα 2.1: Ποντισμένο buoy



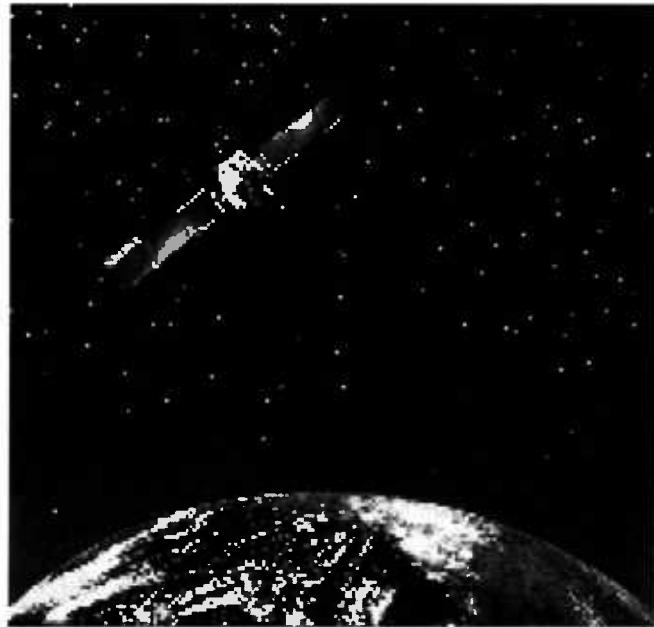
Κυματικές μετρήσεις πραγματοποιούνται κάθε 3 ώρες και η διάρκεια καταγραφής είναι 17 λεπτά.



Εικόνα 2.2: Το δίκτυο πλωτών μετρητικών σταθμών του συστήματος
ΠΟΣΕΙΔΩΝ

Οι πλωτοί ωκεανογραφικοί σταθμοί επικοινωνούν με το Επιχειρησιακό Κέντρο του ΠΟΣΕΙΔΩΝΑ για την αποστολή των δεδομένων χρησιμοποιώντας τρία τηλεπικοινωνιακά συστήματα:

- Δορυφορικό INMARSAT-C
- Ραδιοκυμάτων UHF
- Κινητής Τηλεφωνίας GSM



Εικόνα 2.3: Δορυφορικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα INMARSAT-C

Το Επιχειρησιακό Κέντρο του ΠΟΣΕΙΔΩΝΑ περιλαμβάνει τον παρακάτω εξοπλισμό:

➤ Υπολογιστική Υποδομή

- Υπολογιστικό σύστημα υψηλής απόδοσης (SGI-ORIGIN 2000) με 8 μονάδες παράλληλης επεξεργασίας και επαρκή υπολογιστική ισχύ για την ολοκλήρωση των αριθμητικών μοντέλων πρόγνωσης.
- Σταθμοί εργασίας, τόσο σε περιβάλλον UNIX όσο και MS Windows, για την επεξεργασία και παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

➤ Λογισμικό

- Διαχείριση βάσης δεδομένων ORACLE για την αποθήκευση και διαχείριση των δεδομένων.

- Λογισμικό στατιστικής επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων.
- Λογισμικό παρουσίασης, τόσο των αποτελεσμάτων της στατιστικής επεξεργασίας, όσο και των προγνωστικών μοντέλων.
- Γεωγραφικό Σύστημα Αναφοράς (GIS) για την παρακολούθηση της λειτουργίας του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ σε πραγματικό χρόνο.

➤ Αριθμητικά Μοντέλα Πρόγνωσης

- Ατμοσφαιρική κατάστασης
- Κυματισμών ανοιχτής θάλασσας
- Θαλάσσιας Δυναμικής κυκλοφορίας
- Κυματισμών παράκτιας ζώνης
- Επιφανειακής Διασποράς Επιπλεόντων Ρυπαντών.



Εικόνα 2.4: Σταθμοί εργασίας του Επιχειρησιακού Κέντρου

2.4 Τα προϊόντα του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ

Η λειτουργία του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ παράγει μια σειρά από δεδομένα και προϊόντα επεξεργασίας που αποτελούν τη βάση για την παροχή υπηρεσιών και πληροφοριών στους χρήστες. Βασικά προϊόντα είναι [11]:

- ✓ Πρωτογενή δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν το σύνολο των πληροφοριών που προέρχονται από τους πλωτούς μετρητικούς σταθμούς.
- ✓ Ιστορικά στοιχεία και χρονοσειρές δεδομένων, στοιχεία που προέρχονται από ανασύνθεση και στατιστικές αναλύσεις.
- ✓ Πρόγνωση της κατάστασης των Ελληνικών θαλασσών για το επόμενο 24-ωρο και μακροχρόνιες επιχειρησιακές προβλέψεις.

Τα προϊόντα του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ αποτελούν ένα απαραίτητο εργαλείο για τους σύγχρονους οργανισμούς και επιχειρήσεις που έχουν σαν αντικείμενο ή χώρο δραστηριοποίησης το θαλάσσιο περιβάλλον. Το εύρος των εφαρμογών στις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα του ΠΟΣΕΙΔΩΝΑ είναι τεράστιο. Ενδεικτικά αναφέρονται ορισμένοι μόνο τομείς όπου τα προϊόντα του ΠΟΣΕΙΔΩΝΑ μπορούν να βρουν εφαρμογή:

- Επιχειρήσεις σχετικές το θαλάσσιο περιβάλλον: ναυτιλιακές εταιρείες, ναυπηγεία, τουριστικές επιχειρήσεις, ιχθυοκαλλιέργειες, κλπ.
- Φορείς αθλητικών και ναυταθλητικών διοργανώσεων, όπως Αθήνα 2004, ναυταθλητικοί και καταδυτικοί όμιλοι
- Κρατικοί φορείς αρμόδιοι για την προστασία και διαχείριση του θαλάσσιου περιβάλλοντος, όπως Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., Οργανισμοί Λιμένων και Οργανισμοί Ύδρευσης και Αποχέτευσης
- Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης
- Ερευνητικά κέντρα και πανεπιστήμια
- Διεθνείς οργανισμοί για τη μελέτη και την προστασία του περιβάλλοντος: UNEP/MAP, WWF, IOC, GOOS, MedWet

Η ορθή αξιοποίηση των τελικών προϊόντων του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ από τους εκάστοτε χρήστες δύναται να αποφέρει:

- αυξημένη ασφάλεια στις θαλάσσιες μεταφορές
- έγκαιρη αντιμετώπιση περιστατικών θαλάσσιας ρύπανσης
- τουριστική ανάπτυξη
- μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας και ασφάλεια των ιχθυοκαλλιεργητικών μονάδων
- διαχείριση και προστασία της παράκτιας ζώνης
- ορθολογικός σχεδιασμός λιμενικών και θαλασσίων έργων
- ενίσχυση της επιστημονικής έρευνας - εισαγωγή τεχνογνωσίας

2.5 Πρόγνωση κυματισμού

Το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων του και με τη βοήθεια του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ, παράγει και παρέχει μέσω του διαδικτύου (www.poseidon.hcmr.gr), σε καθημερινή βάση από το 1998, πρόγνωση κύματος για όλη την περιοχή του Αιγαίου και του Ανατολικού Ιονίου Πελάγους [6]. Το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ, με τη βοήθεια των κυματικών αριθμητικών μοντέλων που διαθέτει, παρέχει τη δυνατότητα πρόγνωσης των συνθηκών κυματισμού στο Αιγαίο Πέλαγος για τις επόμενες 72 ώρες, χρησιμοποιώντας κυρίως τις προγνώσεις των μετεωρολογικών μοντέλων. Η πρόγνωση κυματισμού αφορά κύρια στις ακόλουθες κυματικές παραμέτρους:

- Σημαντικό ύψος κύματος
- Μέση κατεύθυνση κύματος
- Μέση περίοδος κύματος

Το βασικό αριθμητικό μοντέλο που αφορά στον κυματισμό και κυρίως χρησιμοποιείται από το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ είναι το WAM-cycle 4, το οποίο βρίσκεται σε προγνωστική λειτουργία από το 1999. Το ίδιο κυματικό

μοντέλο έχει χρησιμοποιηθεί και στο παρελθόν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY) στα πλαίσια του προγράμματος «ΝΗΡΕΑΣ», χωρίς ωστόσο να έχουν μέχρι στιγμής αξιολογηθεί ή δημοσιευθεί τα σχετικά αποτελέσματα [6].

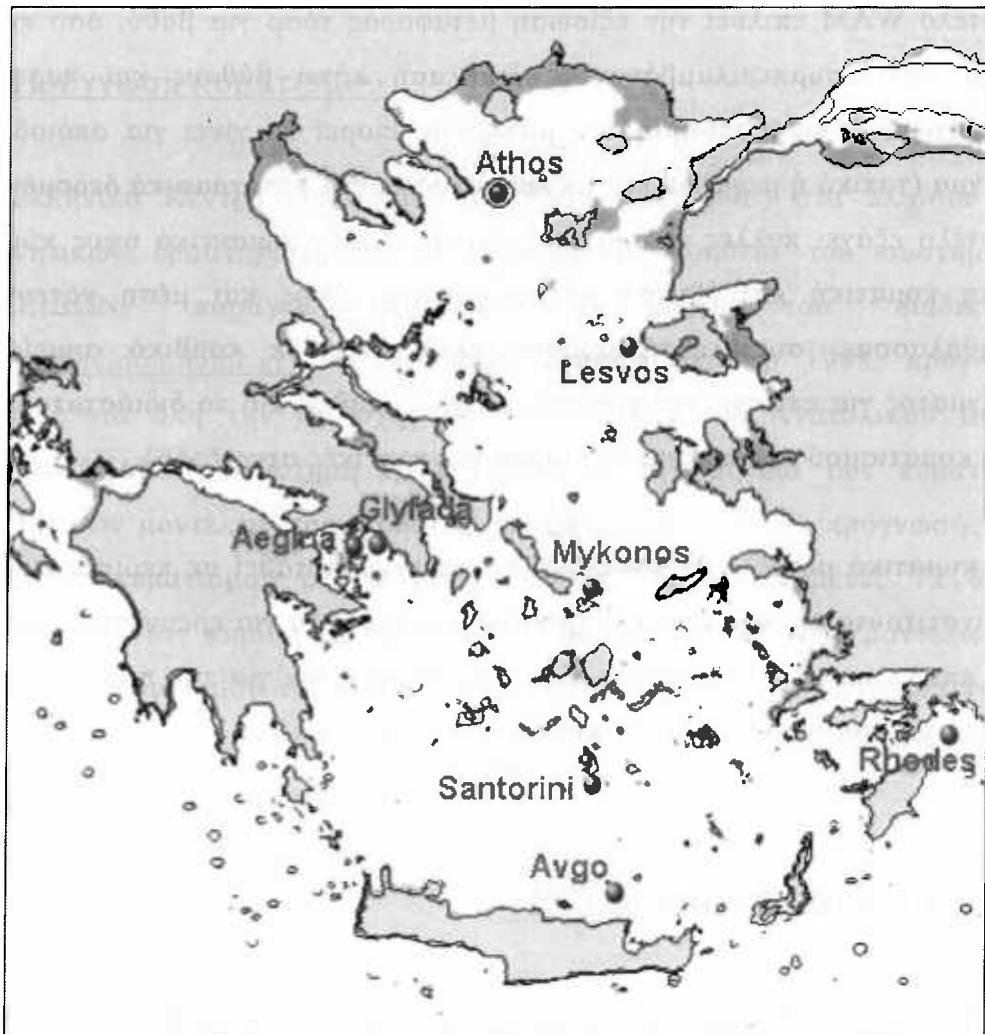
Το WAM-cycle 4 είναι ένα φασματικό κυματικό μοντέλο τρίτης γενιάς που υπολογίζει την εξέλιξη του διδιάστατου φάσματος της κυματικής ενέργειας με μία σαφή αναλυτική μέθοδο, χωρίς καμία a priori υπόθεση για τη μορφή του. Τροφοδοτείται με ανεμολογικά πεδία που προκύπτουν από το εκάστοτε μοντέλο μετεωρολογικής πρόγνωσης. Συγκεκριμένα για το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ, το αντίστοιχο μετεωρολογικό μοντέλο βασίζεται στο σύστημα ΣΚΙΡΩΝ, το οποίο αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο Αθηνών [6]. Το μοντέλο WAM επιλύει την εξίσωση μεταφοράς τόσο για βαθύ, όσο και για ρηχό νερό, συμπεριλαμβάνοντας διάθλαση λόγω βάθους και παρουσίας ρευμάτων. Η ενεργοποίηση του μοντέλου μπορεί να γίνει για οποιοδήποτε πλέγμα (τοπικό ή μεγαλύτερο) με προκαθορισμένα τοπογραφικά δεδομένα. Το μοντέλο εξάγει πολλές φασματικές παραμέτρους (σημαντικό ύψος κύματος, μέση κυματική κατεύθυνση και συχνότητα, ύψος και μέση κατεύθυνση αποθάλασσας, συντελεστή σύρσης κλπ) σε κάθε κομβικό σημείο του πλέγματος για επιλεγμένες χρονικές στιγμές, καθώς και το διδιάστατο φάσμα του κυματισμού σε επιλεγμένα σημεία και χρονικές στιγμές [6].

Το κυματικό μοντέλο WAM-cycle 4 έχει εγκατασταθεί σε περισσότερα από 35 ινστιτούτα παγκοσμίως και χρησιμοποιείται τόσο για ερευνητικές, όσο και για επιχειρησιακές εφαρμογές. Επίσης, εφαρμόζεται για την παρουσίαση και βελτιστοποίηση δορυφορικών κυματικών δεδομένων.

2.6 Περιγραφή των δεδομένων

Δεδομένου ότι σκοπός της παρούσας εργασίας αποτελεί ο ποιοτικός έλεγχος των παρεχόμενων από το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ κυματικών προγνώσεων, απαιτούνται δεδομένα τόσο πρόγνωσης από το αντίστοιχο αριθμητικό

μοντέλο του συστήματος (WAM-cycle 4), όσο και μέτρησης από τους πλωτούς ωκεανογραφικούς σταθμούς. Τα σημεία του Αιγαίου Πελάγους για τα οποία διατίθεται συνδυασμένη πληροφορία (πρόγνωση και μέτρηση) δεν είναι πολλά λόγω της περιορισμένης κάλυψης του δικτύου πλωτών μετρητικών σταθμών. Επελέγη η θαλάσσια περιοχή νοτιοανατολικά της χερσονήσου του Άθω, στην οποία βρίσκεται πλωτός μετρητικός σταθμός και ταυτόχρονα είναι μια περιοχή απαλλαγμένη από γειτνιάζοντα νησιά. Η θέση του πλωτού μετρητικού σταθμού που επελέγη φαίνεται στην Εικόνα 2.5. Η σχετικά υψηλή ανάλυση του κυματικού μοντέλου WAM-cycle 4, επέτρεψε την επιλογή ενός σημείου από το διαθέσιμο πλέγμα πολύ κοντά στο σημείο πόντισης του μετρητικού σταθμού.



Εικόνα 2.5: Ο επιλεγμένος σταθμός στην θαλάσσια περιοχή ανοιχτά της χερσονήσου του Άθω.

Με τον τρόπο αυτό, κατέστη δυνατή η χωρική αντιστοίχηση δύο διαφορετικών χρονοσειρών, μιας χρονοσειράς ύψους κύματος όπως αυτή μετρήθηκε από τον πλωτό σταθμό και μίας χρονοσειράς ύψους κύματος όπως αυτή προγνώσθηκε από το κυματικό μοντέλο WAM-cycle 4.

Η χρονική περίοδος επιλέχθηκε κατά τρόπο τέτοιο ώστε αφενός να διατίθενται επαρκή δεδομένα για την μετέπειτα ανάλυση, αφετέρου να μην υπάρχουν πολλά και συνεχόμενα κενά. Προφανώς, τα κενά αφορούν μόνο στη χρονολογική σειρά του μετρημένου ύψους κύματος και προκύπτουν είτε λόγω βλαβών λειτουργίας των μετρητικών πλωτήρων, είτε λόγω της τακτικής διαδικασίας συντήρησης αυτών. Τελικά, επελέγησαν δεδομένα διάρκειας έξι μηνών, από τα μεσάνυχτα της 04/02/2003 έως και τις 21:00 της 04/08/2003.

Τόσο οι μετρητικοί σταθμοί, όσο και το κυματικό μοντέλο παρέχουν δεδομένα ανά τρίωρο. Επομένως, και οι δύο χρονολογικές σειρές αποτελούνται από 1456 μετρήσεις, οι οποίες αντιστοιχούν σε ανάλογη ώρα της εκάστοτε ημέρας. Με άλλα λόγια, λόγω χωρικής και χρονικής συμφωνίας, κατέστη δυνατή η πλήρης και ορθή αντιστοίχηση των δύο χρονολογικών σειρών.

Όπως προαναφέρθηκε, σκοπός της παρούσας εργασίας αποτελεί ο ποιοτικός έλεγχος των παρεχόμενων από το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ κυματικών προγνώσεων. Κατά συνέπεια, το μέγεθος ενδιαφέροντος είναι το σφάλμα πρόγνωσης και όχι αυτό καθαυτό το ύψος κύματος. Για το λόγο αυτό και με διαθέσιμες τις χρονοσειρές μέτρησης και πρόγνωσης, σχηματίζεται η χρονολογική σειρά του σφάλματος πρόγνωσης με απλή αφαίρεση των δύο. Με άλλα λόγια, αν $H_{S,meas}(t)$ η χρονολογική σειρά του ύψους κύματος όπως μετρήθηκε από τον πλωτό μετρητικό σταθμό και $H_{S,WAM}(t)$ η χρονολογική σειρά του ύψους κύματος όπως προγνώσθηκε από το αριθμητικό μοντέλο WAM-cycle 4, η χρονολογική σειρά του σφάλματος πρόγνωσης ορίζεται ως ακολούθως:



$$error : X(t) = H_{S,meas}(t) - H_{S,WAM}(t) \quad t = 1, \dots, 1456$$

Η χρονοσειρά του προγνωστικού σφάλματος είναι αυτή στην οποία θα εφαρμοσθούν οι τεχνικές του στατιστικού ελέγχου ποιότητας, με σκοπό να διαγνωσθούν πιθανές μεταβολές της ακρίβειας των παρεχόμενων προγνώσεων μέσω ελέγχου της απόκλισης της πραγματικής (μετρημένης) από την προγνωσθείσα τιμή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ #3

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Στο παρόν κεφάλαιο αποσαφηνίζεται η έννοια της ποιότητας και παρουσιάζεται εν συντομίᾳ η ιστορική εξέλιξη του ελέγχου αυτής. Ακόμη, περιγράφονται συνοπτικά οι κυριότερες μέθοδοι και εργαλεία του ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας, ο οποίος και εφαρμόζεται στην παρούσα εργασία.

3.1 Η έννοια της ποιότητας

Η έννοια της ποιότητας, αν και όχι δυσνόητη, δεν ορίζεται ούτε αταλαιπώρητα ούτε μονοσήμαντα. Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται στις μέρες μας από καταναλωτές προϊόντων, χρήστες υπηρεσιών, στελέχη επιχειρήσεων, ακαδημαϊκούς, ερευνητές κλπ. Κάποιοι από αυτούς, χρησιμοποιούν τον όρο «ποιότητα» μετά από προσεκτικό και σαφή ορισμό, σε αντίθεση με την πλειονότητα, που χρησιμοποιεί τον όρο με μία πιο χαλαρή ή γενική ή τελικά υποκειμενική έννοια. Όταν λοιπόν γίνεται αναφορά στον όρο «ποιότητα» δεν είναι βέβαιο ότι όλοι αναφέρονται στο ίδιο πράγμα.

Παραδοσιακά, η ποιότητα θεωρείτο η εναρμόνιση με κάποιες προδιαγραφές. «Ποιότητα είναι συμμόρφωση προς τις απαιτήσεις ή προδιαγραφές» κατά Crosby. Πιο πρόσφατη θεώρηση ταυτίζει την ποιότητα με την ικανοποίηση των απαιτήσεων, τόσο του χρήστη, όσο και όλων των εμπλεκόμενων ομάδων και ατόμων (προσωπικού, προμηθευτών, συνεργατών κλπ). Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 8402 (1986): «Ποιότητα είναι το σύνολο των ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών ενός προϊόντος, διαδικασίας ή υπηρεσίας που καθορίζουν την ικανότητα ανταπόκρισης σε δηλωμένες ή εννοούμενες ανάγκες» [7].

Όλοι οι κορυφαίοι μελετητές του θέματος της ποιότητας στον 20^ο αιώνα, όπως ο Dr Edward Deming, ο Philip Crosby, και ο Joseph Juran, συγκλίνουν στο ότι η ποιότητα ταυτίζεται περισσότερο με την ικανοποίηση του

καταναλωτή - χρήστη παρά με την συμφωνία με κάποιες αυθαίρετες προδιαγραφές. Με άλλα λόγια, η ποιότητα δεν υφίσταται ως αντικειμενικό χαρακτηριστικό και ανεξάρτητα από την γνώμη του πελάτη, αλλά αντίθετα, ο χρήστης - καταναλωτής είναι ο τελικός κριτής της [10]. Στη συνέχεια συνοψίζονται και παρατίθενται ορισμένοι δημοφιλείς ορισμοί του όρου.

- Ποιότητα είναι το σύνολο των ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών ενός προϊόντος, διαδικασίας ή υπηρεσίας που καθορίζουν την ικανότητα ανταπόκρισης σε δηλωμένες ή εννοούμενες ανάγκες [7]
- Ποιότητα είναι συμμόρφωση προς τις απαιτήσεις ή προδιαγραφές [7]
- Ποιότητα είναι καταλληλότητα για χρήση [3]
- Ποιότητα είναι ο βαθμός στον οποίο ένα σύνολο ενδογενών χαρακτηριστικών ικανοποιεί τις απαιτήσεις. [10]
- Ποιότητα είναι ο βαθμός στον οποίο τα χαρακτηριστικά του προϊόντος, των διεργασιών ή του συστήματος, ικανοποιούν τις απαιτήσεις (διατυπωμένες, αναγκαστικές ή εννοούμενες) όλων των ενδιαφερόμενων μερών. [10]
- Η ποιότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη της μεταβλητήτας [3].

Η ποιότητα ενός προϊόντος ή μιας παρεχόμενης υπηρεσίας μπορεί να αξιολογηθεί ποικιλοτρόπως, γι' αυτό "και συνιστά πολυδιάστατη έννοια. Συχνά κρίνεται χρήσιμος ο διαχωρισμός των επιμέρους διαστάσεων του όρου [3],[9]. Τα φυσικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά, η οικονομία, η αξιοπιστία, η διάρκεια ζωής, η αισθητική, η φιλικότητα προς το περιβάλλον είναι μερικές μόνο από τις διαστάσεις της ποιότητας που αναφέρονται σε χειροπιαστά προϊόντα. Κατ' ανάλογο τρόπο, η αξιοπιστία, η εμπιστοσύνη, η επάρκεια, η πρόσβαση, η επικοινωνία είναι κάποιες από τις διαστάσεις της ποιότητας που σχετίζονται με τις υπηρεσίες.

3.2 Ιστορική εξέλιξη του στατιστικού ελέγχου ποιότητας

Η θεωρία και η πράξη του ελέγχου ποιότητας δρομολογείται από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης, περίοδος κατά την οποία επετεύχθη και η

τυποποίηση (των παραγόμενων προϊόντων. Η πρωταρχική φάση του ελέγχου ποιότητας είναι η απλή επιθεώρηση των παραγόμενων προϊόντων. Κατά την φάση αυτή, η διασφάλιση της ποιότητας βασίζεται αποκλειστικά στον εντοπισμό και επισκευή των ελαττωματικών.

Την απλή επιθεώρηση ως μέσο ελέγχου ποιότητας ακολούθησε η ανάπτυξη του στατιστικού ελέγχου ποιότητας. Δύο μεγάλες περιοχές του σύγχρονου στατιστικού ελέγχου ποιότητας αναπτύχθηκαν σχεδόν ταυτόχρονα: ο έλεγχος ποιότητας αποδοχής και ο έλεγχος παραγωγικής διαδικασίας. Ακολούθησε αργότερα και τρίτη μεγάλη περιοχή, αυτή του σχεδιασμού και ανάλυσης στατιστικών πειραμάτων.

Η πρώτη μεγάλη περιοχή του στατιστικού ελέγχου ποιότητας, ο έλεγχος ποιότητας αποδοχής, αναπτύχθηκε μετά την συνειδητοποίηση του υψηλού κόστους και περιορισμένης ωφέλειας της τακτικής επιθεώρησης του συνόλου των παραγόμενων προϊόντων. Αντί αυτής της τακτικής, δημιουργήθηκαν δειγματοληπτικά σχήματα ελέγχου παρτίδων παραγωγής, ικανά να υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την αποδοχή ή απόρριψη συγκεκριμένης παρτίδας.

Η δεύτερη μεγάλη περιοχή του στατιστικού ελέγχου ποιότητας, ο έλεγχος παραγωγικής διαδικασίας εισήγαγε για πρώτη φορά την έννοια της πρόληψης στον έλεγχο ποιότητας. Εμπνευστής του ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας υπήρξε ο Walter Shewhart, ο οποίος δημιούργησε και τα ομώνυμα διαγράμματα ελέγχου και τα οποία εξακολουθούν να αποτελούν τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα εργαλεία για τον έλεγχο της ομαλής λειτουργία της παραγωγικής διαδικασίας. Θεμελιώδης έννοια του ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας είναι η διασπορά: η διασπορά τιμών ενός χαρακτηριστικού ποιότητας είναι αναπόφευκτη κατά την παραγωγική διαδικασίας, αλλά ένα μέρος της οφείλεται σε τυχαίες, μη ελεγχόμενες αιτίες και ένα άλλο μέρος της οφείλεται σε συστηματικές αιτίες [7]. Η διασφάλιση επομένως της ποιότητας βασίζεται στην εξάλειψη των αιτιών των συστηματικών μεταβολών.

Η τρίτη μεγάλη περιοχή του στατιστικού ελέγχου ποιότητας, ο σχεδιασμός και ανάλυση στατιστικών πειραμάτων, εκφράζει τις πλέον σύγχρονες τάσεις στο χώρο της ποιότητας. Οι προσπάθειες για βελτίωση της ποιότητας οφείλουν να καλύπτουν ολόκληρο τον κύκλο ανάπτυξης και παραγωγής του προϊόντος, με ιδιαίτερη έμφαση στα αρχικά του στάδια. Ο σχεδιασμός στατιστικών πειραμάτων και η ανάλυση των αποτελεσμάτων αυτών συμβάλλει στην ορθολογική σχεδίαση και βελτίωση προϊόντων και παραγωγικών διαδικασιών [7].

Η ευρεία χρήση των μεθόδων του στατιστικού ελέγχου ποιότητας δεν απόνησε με την εμφάνιση νέων τάσεων, φάσεων, μεθοδολογιών και εννοιών στο πεδίο του ελέγχου ποιότητας.

3.3 Στατιστικός έλεγχος παραγωγικής διαδικασίας

Ο στατιστικός έλεγχος παραγωγικής διαδικασίας αναμφισβήτητα αποτελεί την ευρύτερα χρησιμοποιούμενη μέθοδο διασφάλισης της ποιότητας. Οι τεχνικές του ελέγχου αυτού επιχειρούν να εξασφαλίσουν την ομαλή λειτουργία της ίδιας της παραγωγικής διαδικασίας, με στόχο την πρόληψη παραγωγής ελαττωματικών προϊόντων .

Τα κύρια εργαλεία –επτά το πλήθος- του ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας επιτρέπουν την εφαρμογή του ελέγχου σε οποιαδήποτε διαδικασία. Τα επτά βασικά εργαλεία του ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας είναι [3]:

- Ιστόγραμμα ή / και διάγραμμα μίσχου-φύλλου (Stem-and-leaf plot)
- Check sheet
- Διάγραμμα Pareto
- Διάγραμμα αιτίας-αποτελέσματος (Cause-and-effect diagram)
- Defect concentration diagram
- Καρτεσιανό διάγραμμα (Scatter diagram)
- Διάγραμμα ελέγχου (Control chart)

Διάγραμμα Pareto: Από τα πλέον χρήσιμα εργαλεία του ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας. Το διάγραμμα Pareto δεν είναι τίποτε άλλο παρά κατανομή συχνότητας ή ιστόγραμμα κατηγορικών δεδομένων που σκοπό έχει την ανάδειξη των βασικών αιτιών που προκαλούν παρεκκλίσεις των χαρακτηριστικών ποιότητας. Βασική φιλοσοφία του διαγράμματος αυτού είναι ότι το 80% των ελαττωμάτων οφείλεται στο 20% των αιτιών [9].

Διάγραμμα αιτίας-αποτελέσματος: Η περαιτέρω ανάλυση διαπιστωμένων ανεπιθύμητων αποτελεσμάτων απαιτεί τη χρήση διαγραμμάτων αιτίας-αποτελέσματος, προκειμένου να αποκαλυφθούν οι δυνατοί ενυπάρχοντες παράγοντες ή αιτίες αυτού του αποτελέσματος.

Το κυριότερο εργαλείο του ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας αποτελεί το διάγραμμα ελέγχου. Βασικός σκοπός των διαφόρων τύπων διαγραμμάτων ελέγχου είναι ο έγκαιρος εντοπισμός συστηματικών μεταβολών της διαδικασίας, καθώς τέτοιου είδους μεταβολές προκαλούν παρεκκλίσεις των χαρακτηριστικών ποιότητας από τις επιθυμητές τιμές. Με τη ορθολογική χρήση και ερμηνεία των διαγραμμάτων ελέγχου καθίσταται δυνατό να προληφθεί η παραγωγή ελαττωματικών προϊόντων μέσω έγκαιρου εντοπισμού των συστηματικών αιτιών. Με άλλα λόγια, η χρήση διαγραμμάτων ελέγχου αποσκοπεί στον έγκαιρο εντοπισμό συστηματικών μεταβολών της διαδικασίας, ούτως ώστε να αποφευχθεί η λειτουργία της διαδικασίας σε εκτός ελέγχου κατάσταση για μεγάλο χρονικό διάστημα και η συνακόλουθη παραγωγή μεγάλου αριθμού ελαττωματικών προϊόντων [7].

Καθ' όλη την διάρκεια ανάπτυξης του ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας, σχεδιάσθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν πολλοί τύποι διαγραμμάτων ελέγχου. Παρά τις όποιες διαφορές τους σε ότι αφορά τη μορφή, το είδος του υπό έλεγχο χαρακτηριστικού ή την χρησιμοποιούμενη εκτιμήτρια, τα διαγράμματα ελέγχου στο σύνολό τους διέπονται από τις ίδιες γενικές αρχές και θεμελιώνονται στο ίδιο στατιστικό υπόβαθρο.

3.3.1 Στατιστικό υπόβαθρο των διαγραμμάτων ελέγχου

Το διάγραμμα ελέγχου αποτελεί γραφική παράσταση μιας εκτιμήτριας ως προς τον αριθμό δείγματος ή το χρόνο. Η εκτιμήτρια ή στατιστική δείγματος αναφέρεται σε συγκεκριμένο χαρακτηριστικό ποιότητας και υπολογίζεται ή μετράται απευθείας από τυχαία δείγματα που λαμβάνονται κατά την διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας.

Το διάγραμμα ελέγχου τυπικά χαρακτηρίζεται από μία κεντρική γραμμή και τα όρια ελέγχου. Η κεντρική γραμμή αντιστοιχεί είτε στην πραγματική, είτε στην ονομαστική μέση τιμή του χαρακτηριστικού ποιότητας, όταν η παραγωγική διαδικασία βρίσκεται εντός ελέγχου (δηλαδή ενυπάρχουν μονάχα τυχαίες, μη ελεγχόμενες αιτίες διασποράς). Εκατέρωθεν της κεντρικής γραμμής βρίσκονται το άνω και το κάτω όριο ελέγχου. Οι γραμμές των ορίων ελέγχου μπορεί να είναι ευθείες ή τεθλασμένες, παράλληλες ή όχι της κεντρικής γραμμής, ανάλογα με τον τύπο του διαγράμματος. Στα ευρέως χρησιμοποιούμενα διαγράμματα Shewhart τα όρια ελέγχου είναι ευθείες γραμμές, παράλληλες της κεντρικής και απέχουν συνήθως τρεις τυπικές αποκλίσεις από αυτή. Γενικά, τα όρια ελέγχου επιλέγονται κατά τέτοιον τρόπο ώστε όταν η διαδικασία είναι εντός ελέγχου, σχεδόν όλες οι στατιστικές δείγματος να βρίσκονται εντός των ορίων. Όταν κάποιο σημείο του διαγράμματος βρεθεί εκτός των ορίων ελέγχου, τότε αυτό αποτελεί ένδειξη μεταβολής της διαδικασίας λόγω της αυξημένης απόστασης του σημείου αυτού από την κεντρική γραμμή.

Αξίζει στο σημείο αυτό να τονιστεί ότι η ερμηνεία των διαγραμμάτων ελέγχου δεν είναι ούτε εύκολη ούτε μονοσήμαντη. Τόσο η σχετική θέση ενός σημείου ως προς την κεντρική γραμμή, όσο και η διάταξη διαδοχικών σημείων αποτελούν ενδείξεις για την εντός ή εκτός ελέγχου κατάσταση της παραγωγικής διαδικασίας. Παραδείγματος χάριν, η αλληλουχία αρκετών σημείων εντός των ορίων ελέγχου αλλά από την ίδια πλευρά της κεντρικής γραμμής αποτελεί μια διάταξη ιδιαίτερα ύποπτη για μεταβλημένη διαδικασία, καθώς υπό κανονικές, εντός ελέγχου συνθήκες τα σημεία θα έπρεπε να

εμφανίζουν καθαρά τυχαία πρότυπα. Γενικά, μη τυχαίες διατάξεις σημείων είναι εξίσου ύποπτες με εκτός ελέγχου σημεία.

Τα διαγράμματα ελέγχου, αν και φαινομενικά απλές γραφικές τεχνικές, δεν στερούνται στατιστικής θεωρίας. Συγκεκριμένα, το διάγραμμα ελέγχου είναι μία εφαρμογή και γραφική απεικόνιση του στατιστικού ελέγχου υποθέσεων: η σύγκριση της σχετικής θέσης κάθε σημείου ως προς την κεντρική γραμμή και τα όρια ελέγχου είναι στατιστικός έλεγχος της υπόθεσης ότι η κατανομή του υπό μελέτη χαρακτηριστικού ποιότητας δεν μεταβλήθηκε [3]. Πιο συγκεκριμένα, η μηδενική υπόθεση υποστηρίζει ότι η διαδικασία βρίσκεται σε στατιστικό έλεγχο και άρα εμπεριέχει μόνο τη φυσική μεταβλητότητα που οφείλεται σε τυχαίες, μη ελεγχόμενες αιτίες, ενώ η εναλλακτική υπόθεση υποστηρίζει ότι η διαδικασία βρίσκεται εκτός στατιστικού ελέγχου και άρα εμπεριέχει επιπρόσθετη μεταβλητότητα, πέραν της φυσικής, που οφείλεται σε συστηματικές αιτίες. Όταν κάποιο σημείο στο διάγραμμα ελέγχου (δηλαδή η τιμή της στατιστικής δείγματος) προκύπτει εντός των ορίων ελέγχου, η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται, ενώ όταν κάποιο σημείο προκύπτει εκτός των ορίων ελέγχου, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται.

Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι η χρήση των διαγραμμάτων ελέγχου προϋποθέτει την ισχύ ορισμένων υποθέσεων. Συγκεκριμένα για τα συνήθη διαγράμματα που περιγράφονται στα επόμενο υποεδάφια, θεωρείται ότι η κατανομή του υπό έλεγχο χαρακτηριστικού ποιότητας είναι κανονική με μέση τιμή μ_0 και διασπορά σ^2 . Οι στατιστικές ιδιότητες των διαγραμμάτων ελέγχου που αναφέρονται στη συνέχεια, βασίζονται στην παραδοχή αυτή.

Στα πλαίσια του στατιστικού ελέγχου υποθέσεων, είναι χρήσιμο να εξετασθεί και η απόδοση των διαγραμμάτων ελέγχου. Η πιθανότητα σφάλματος τύπου I, που απαντάται στη θεωρία του ελέγχου υποθέσεων, αντιστοιχεί στην πιθανότητα να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση ενώ ισχύει. Κατά παρόμοιο τρόπο ορίζεται και η πιθανότητα σφάλματος τύπου II, που αντιστοιχεί στην πιθανότητα να μην απορριφθεί η μηδενική υπόθεση ενώ στην πραγματικότητα ισχύει η εναλλακτική. Συγκεκριμένα για τα διαγράμματα ελέγχου, η

πιθανότητα σφάλματος τύπου I αντιστοιχεί στην πιθανότητα η εκτιμήτρια να βρεθεί εκτός των ορίων ελέγχου (ένδειξη για εκτός ελέγχου κατάσταση της διαδικασίας) ενώ στην πραγματικότητα η διαδικασία βρίσκεται σε στατιστικό έλεγχο. Κατά όμοιο τρόπο, η πιθανότητα σφάλματος τύπου II αντιστοιχεί στην πιθανότητα η εκτιμήτρια να βρεθεί εντός των ορίων ελέγχου (καμία ένδειξη για εκτός ελέγχου κατάσταση της διαδικασίας) ενώ στην πραγματικότητα η διαδικασία βρίσκεται εκτός ελέγχου. Τα σφάλματα τύπου I και II προσδιορίζουν την διακριτική ικανότητα των διαγραμμάτων ελέγχου.

- *Πιθανότητα σφάλματος τύπου I:* $\alpha = P(H_0 | H_1)$
- *Πιθανότητα σφάλματος τύπου II:* $\beta = P(H_1 | H_0)$

Η πιθανότητα σφάλματος τύπου I καθορίζεται αποκλειστικά από την παράμετρο θέσης των ορίων ελέγχου, ενώ η πιθανότητα σφάλματος τύπου II εξαρτάται τόσο από την τιμή της παραμέτρου θέσης των ορίων ελέγχου, όσο και από το μέγεθος του δείγματος [6]. Μικρή τιμή της παραμέτρου αντιστοιχεί σε στενά όρια ελέγχου και παρά την καλή διαχωριστική ικανότητα του διαγράμματος (μικρή πιθανότητα σφάλματος τύπου II), αυξάνεται η συχνότητα σφαλμάτων τύπου I (false alarm). Μεγάλη τιμή της παραμέτρου αντιστοιχεί σε πλατύτερα όρια ελέγχου και παρόλο που μειώνεται η πιθανότητα σφάλματος τύπου I (σπανιότερες λανθασμένες ενδείξεις), ελαττώνεται επίσης και η διαχωριστική ικανότητα του διαγράμματος (αυξάνεται η πιθανότητα σφάλματος τύπου II) με αποτέλεσμα να καθίσταται δυσκολότερος ο εντοπισμός συστηματικών αιτιών μεταβλητότητας. Η επιλογή της τιμής της παραμέτρου θέσης των ορίων ελέγχου μεταφράζεται σε συμβιβασμό ανάμεσα στα δύο είδη στατιστικών σφαλμάτων και θα πρέπει να βασίζεται σε οικονομικά κριτήρια [7].

Ως ισχύς του διαγράμματος ελέγχου ορίζεται η πιθανότητα σωστής διάγνωσης προβλήματος από ένα σημείο εκτός των ορίων ελέγχου [7]. Η ισχύς ισούται με την συμπληρωματική πιθανότητα σφάλματος τύπου II και ταυτίζεται με τον προαναφερθέντα όρο «διακριτική ικανότητα» των διαγραμμάτων ελέγχου.

- Ισχύς: $1 - \beta = P(H_1 | H_1)$

Η ισχύς του διαγράμματος ελέγχου καθορίζει με τη σειρά της ένα άλλο ενδιαφέρον μέγεθος, το μέσο αριθμό δειγμάτων ή ARL (Average Run Length). Το ARL αναφέρεται στο μέσο αριθμό δειγμάτων από την στιγμή της μεταβολής στη διαδικασία μέχρι και το πρώτο δείγμα το οποίο θα δώσει ένδειξη της μεταβολής. Το ARL είναι αντίστροφο της ισχύος.

- $ARL = \frac{1}{1 - \beta}$

Όταν η διαδικασία βρίσκεται σε στατιστικό έλεγχο, το ARL εκφράζει το μέσο αριθμό δειγμάτων μέχρι την πρώτη εσφαλμένη ένδειξη εκτός ελέγχου που οφείλεται σε σφάλμα τύπου I [7].

Κατ' ανάλογο τρόπο μπορεί να ορισθεί και ο μέσος χρόνος σήματος ή ATS (Average Time to Signal). Το ATS αναφέρεται στο μέσο χρόνο που μεσολαβεί από τη στιγμή που κάποια συστηματική αιτία θα διαταράξει την διαδικασία, μέχρι κάποιο δείγμα να σημάνει τον εντοπισμό αυτής [9]. Το ATS εξαρτάται τόσο από την ισχύ, όσο και από τη συχνότητα δειγματοληψίας. Αν h η συχνότητα της δειγματοληψίας, θα είναι:

- $ARL = h \cdot ARL = \frac{h}{1 - \beta}$

3.3.2 Διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών μέτρησης

Ανάλογα με το αν το υπό μελέτη χαρακτηριστικό ποιότητας είναι μέτρησης ή διαλογής, χρησιμοποιούνται τα αντίστοιχα διαγράμματα. Τα διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών μέτρησης παρακολουθούν την πορεία στο χρόνο της θέσης (μέσης τιμής) και της διασποράς της κατανομής του χαρακτηριστικού για τυχόν μεταβολές. Στην περίπτωση των διαγραμμάτων

ελέγχου χαρακτηριστικών διαλογής, στόχος αυτών είναι ο έγκαιρος εντοπισμός μεταβολών της αναλογίας ελαττωματικών προϊόντων ή του μέσου αριθμού ελαττωμάτων ανά μονάδα. Στην παρούσα εργασία, το υπό μελέτη χαρακτηριστικό ποιότητας (η απόκλιση δηλαδή της τιμής πρόγνωσης από την πραγματική ή αλλιώς το σφάλμα πρόγνωσης) είναι χαρακτηριστικό μέτρησης και ως εκ τούτου έγινε χρήση των αντίστοιχων διαγραμμάτων ελέγχου.

Ένα χαρακτηριστικό ποιότητας το οποίο μετράται και εκφράζεται στην αριθμητική κλίμακα αποτελεί χαρακτηριστικό ποιότητας μέτρησης και αποτελεί μεταβλητή ποιότητας. Παραδείγματα ποιοτικών χαρακτηριστικών μέτρησης είναι οι διαστάσεις, το βάρος, η θερμοκρασία, η περιεκτικότητα και λοιπά. Η μελέτη της συμπεριφοράς μιας μεταβλητής ποιότητας απαιτεί τον συνεχή έλεγχο της μέσης τιμής και της μεταβλητότητας αυτής. Ο έλεγχος του μέσου της μεταβλητής ποιότητας πραγματοποιείται με χρήση του ομώνυμου διαγράμματος ελέγχου (\bar{x} -chart) ενώ ο έλεγχος της μεταβλητότητας πραγματοποιείται με χρήση διαγράμματος ελέγχου, είτε του εύρους (R-chart), είτε της τυπικής απόκλισης (s-chart).

Τα τυπικά διαγράμματα ελέγχου (διαγράμματα Shewhart) αποτελούνται από την κεντρική γραμμή και τα όρια ελέγχου k τυπικών αποκλίσεων. Η επιλογή του k προσαρμόζεται στην εκάστοτε διαδικασία και στις εκάστοτε ανάγκες. Παρόλα αυτά, μία συνήθης τιμή για το k στα διαγράμματα Shewhart είναι το τρία. Στις προσεχείς υποενότητες περιγράφεται ο τρόπος κατασκευής των βασικότερων διαγραμμάτων ελέγχου. Τα διαγράμματα ελέγχου του μέσου (\bar{x} -chart), του εύρους (R-chart) και της τυπικής απόκλισης (s-chart) είναι τα απλούστερα και τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα και βασίζονται στις γενικές αρχές που ανέπτυξε ο Shewhart. Τα υπόλοιπα διαγράμματα ελέγχου είναι περισσότερο εξειδικευμένα και δύσχρηστα αλλά, σε αντίθεση με τα διαγράμματα Shewhart, λαμβάνουν υπόψη και πληροφορία του παρελθόντος, γεγονός που τα καθιστά περισσότερο ευαίσθητα στον εντοπισμό μικρών μεταβολών.

3.3.2.1 Διάγραμμα ελέγχου του μέσου

Το διάγραμμα ελέγχου του μέσου (\bar{x} chart) πραγματοποιεί και απεικονίζει γραφικά διαδοχικούς ελέγχους των εξής υποθέσεων:

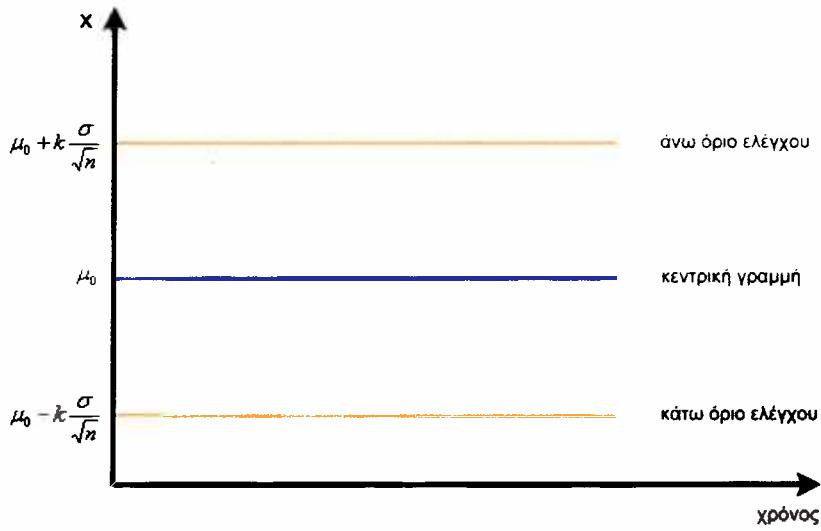
$$H_0 : \mu = \mu_0$$

$$H_1 : \mu \neq \mu_0$$

Το μ αναφέρεται στη μέση τιμή της κατανομής του εκάστοτε δείγματος (\bar{x}_i) και αποτελεί την στατιστική δείγματος για το συγκεκριμένο διάγραμμα. Το μ_0 προσδιορίζει τη θέση της κεντρικής γραμμής και αντιστοιχεί είτε στην ονομαστική μέση τιμή, όπως αυτή προσδιορίσθηκε από την ανάλυση δυνατοτήτων της παραγωγικής διαδικασίας, είτε στην επιθυμητή μέση τιμή της διαδικασίας. Στις περιπτώσεις όπου η μέση τιμή της διαδικασίας δεν είναι γνωστή, χρησιμοποιείται αντί αυτής ο μέσος των δειγματικών μέσων που ορίζεται ως:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i$$

Όπως προαναφέρθηκε, η θέση της κεντρικής γραμμής προσδιορίζεται από τη μέση τιμή της διαδικασίας. Η θέση των ορίων ελέγχου προσδιορίζεται από την τυπική απόκλιση της μέσης τιμής δείγματος. Θεωρώντας γνωστή και ίση με σ την τυπική απόκλιση της διαδικασίας (δηλαδή της μεταβλητής ποιότητας), η τυπική απόκλιση της μέσης τιμής δείγματος είναι $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$. Τα όρια ελέγχου k τυπικών αποκλίσεων σχεδιάζονται εκατέρωθεν της κεντρικής γραμμής σε απόσταση $k \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ το κάθε ένα (βλ. Εικόνα 3.1). Σε περίπτωση που η τυπική απόκλιση της διαδικασίας δεν είναι γνωστή, χρησιμοποιούνται αντί αυτής κατάλληλες εκτιμήτριες.



Εικόνα 3.1: Τρόπος κατασκευής του διαγράμματος ελέγχου μέσης τιμής

Συνοψίζοντας, η κεντρική γραμμή και τα όρια ελέγχου στο διάγραμμα ελέγχου του μέσου προσδιορίζονται ως ακολούθως:

$$\text{Άνω όριο ελέγχου: } \mu_0 + k \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Κεντρική γραμμή: } \mu_0$$

$$\text{Κάτω όριο ελέγχου: } \mu_0 - k \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Σε περίπτωση που η μέση τιμή της διαδικασίας δεν είναι γνωστή, χρησιμοποιείται αντί αυτής ο μέσος των δειγματικών μέσων και η κεντρική γραμμή και τα όρια ελέγχου διαμορφώνονται ως ακολούθως:

$$\text{Άνω όριο ελέγχου: } \bar{x} + k \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Κεντρική γραμμή: } \bar{x}$$

$$\text{Κάτω όριο ελέγχου: } \bar{x} - k \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Τέλος, σε περίπτωση που η τυπική απόκλιση της διαδικασίας δεν είναι γνωστή, χρησιμοποιούνται αντί αυτής κατάλληλες εκτιμήτριες και η κεντρική γραμμή και τα όρια ελέγχου διαμορφώνονται ανάλογα.

3.3.2.2 Διάγραμμα ελέγχου του εύρους

Το διάγραμμα ελέγχου του εύρους (R-chart) χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της μεταβλητότητας της υπό μελέτη μεταβλητής ποιότητας. Αν $R_i = x_{i,\max} - x_{i,\min}$ είναι το εύρος του δείγματος i , τότε το μέσο εύρος ορίζεται ως:

$$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i$$

Το μέσο εύρος προσδιορίζει την κεντρική γραμμή του διαγράμματος ελέγχου. Τα όρια ελέγχου σχεδιάζονται εκατέρωθεν της κεντρικής γραμμής και η θέση τους εξαρτάται από την τυπική απόκλιση του δειγματικού εύρους. Εκτιμήτρια της τυπικής απόκλισης του εύρους δείγματος είναι η:

$$\hat{\sigma}_R = \frac{d_3}{d_2} \bar{R},$$

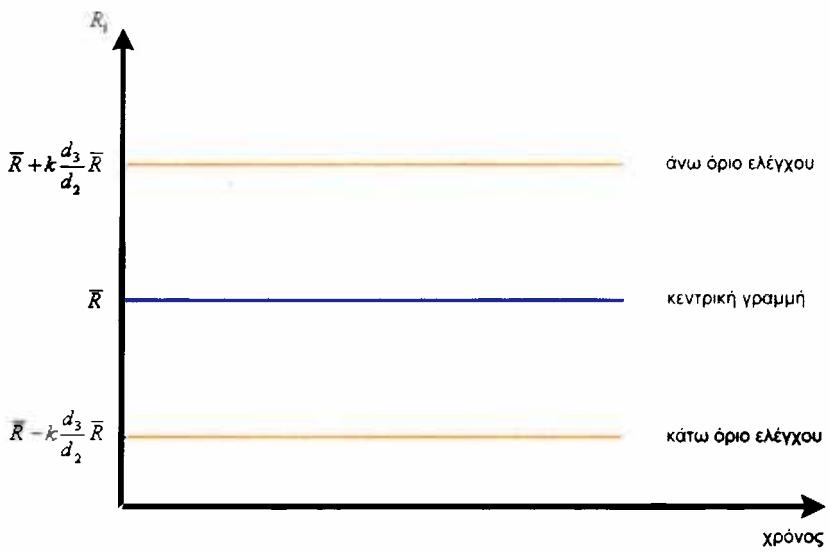
όπου οι σταθερές d_2 και d_3 σχετίζονται με το μέγεθος του δείγματος.

Επομένως, η κεντρική γραμμή και τα όρια ελέγχου του R-chart διαμορφώνονται ως ακολούθως:

$$\text{Άνω όριο ελέγχου: } \bar{R} + k \frac{d_3}{d_2} \bar{R}$$

Κεντρική γραμμή: \bar{R}

$$\text{Κάτω όριο ελέγχου: } \bar{R} - k \frac{d_3}{d_2} \bar{R}$$



Εικόνα 3.2: Τρόπος κατασκευής του διαγράμματος ελέγχου των εύρους

3.3.2.3 Διάγραμμα ελέγχου της τυπικής απόκλισης

Το διάγραμμα ελέγχου της τυπικής απόκλισης (s-chart) χρησιμοποιείται και αυτό για τον έλεγχο της μεταβλητότητας της υπό μελέτη μεταβλητής ποιότητας. Θεωρείται γνωστό ότι η δειγματική απόκλιση s δεν αποτελεί αμερόληπτη εκτιμήτρια της τυπικής απόκλισης του πληθυσμού ($E(s) \neq \sigma$). Μπορεί μάλιστα να δειχθεί ότι:

$$E(s) = c_4 \sigma,$$

όπου c_4 μία σταθερά που εξαρτάται μόνο από το μέγεθος των δείγματος. Επομένως, αμερόληπτη εκτιμήτρια της τυπικής απόκλισης του πληθυσμού είναι η:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{c_4}$$

Η τυπική απόκλιση της δειγματικής τυπικής απόκλισης προκύπτει ως ακολούθως:

$$\sigma_s = \sigma \sqrt{1 - c_4^2} = \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$

Στην περίπτωση που η τυπική απόκλιση του πληθυσμού σ είναι γνωστή, η κεντρική γραμμή του διαγράμματος ελέγχου προσδιορίζεται από τη δειγματική τυπική απόκλιση, δηλαδή:

Κεντρική γραμμή: $c_4\sigma$

Τα όρια ελέγχου σχεδιάζονται εκατέρωθεν της κεντρικής γραμμής και η θέση τους εξαρτάται από την τυπική απόκλιση της δειγματικής τυπικής απόκλισης. Συγκεκριμένα:

$$\text{Άνω όριο ελέγχου: } c_4\sigma + k\sigma \sqrt{1 - c_4^2} = \sigma \left(c_4 + k \sqrt{1 - c_4^2} \right)$$

$$\text{Κάτω όριο ελέγχου: } c_4\sigma - k\sigma \sqrt{1 - c_4^2} = \sigma \left(c_4 - k \sqrt{1 - c_4^2} \right)$$

Στην περίπτωση που η τυπική απόκλιση του πληθυσμού σ είναι άγνωστη, χρησιμοποιείται αντί αυτής η προαναφερθείσα αμερόληπτη εκτιμήτρια

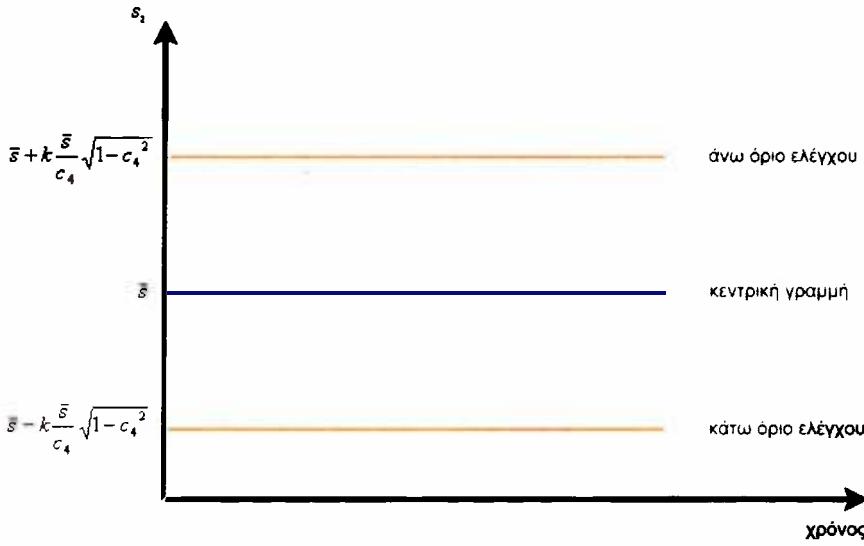
$\hat{\sigma} = \frac{s}{c_4}$ και η κεντρική γραμμή και τα όρια ελέγχου του s-chart

διαμορφώνονται ως ακολούθως:

$$\text{Άνω όριο ελέγχου: } \bar{s} + k \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$

Κεντρική γραμμή: \bar{s}

$$\text{Κάτω όριο ελέγχου: } \bar{s} - k \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$



Εικόνα 3.3: Τρόπος κατασκευής του διαγράμματος ελέγχου της τυπικής απόκλισης

3.3.2.4 Διάγραμμα ελέγχου συσσωρευμένων αθροισμάτων

Σε αντίθεση με τα διαγράμματα ελέγχου του μέσου (\bar{x} -chart), του εύρους (R-chart) και της τυπικής απόκλισης (s-chart), το διάγραμμα συσσωρευμένων αθροισμάτων (cusum control chart) λαμβάνει υπόψη όχι μόνο την τελευταία τιμή της στατιστικής δείγματος αλλά και όλη τη διαθέσιμη παρελθούσα πληροφορία. Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό μεταβολών διαφόρων εκτιμητριών (πχ. τυπική απόκλιση), αλλά κυρίως για τον εντοπισμό μεταβολών της μέσης τιμής της διαδικασίας και είναι αποτελεσματικότερο του \bar{x} -chart στον εντοπισμό μικρών μεταβολών (0.5σ – 1.5σ) [7]. Επίσης, είναι κατάλληλο για χρήση σε διαδικασίες με μεμονωμένα δείγματα.

Το διάγραμμα συσσωρευμένων αθροισμάτων ενσωματώνει απευθείας την διαθέσιμη πληροφορία από την παρελθούσα διαδοχή στατιστικών δείγματος υπολογίζοντας και απεικονίζοντας συσσωρευμένα αθροίσματα

διαδοχικών αποκλίσεων της στατιστικής δείγματος από την επιθυμητή τιμή. Πιο αναλυτικά και συγκεκριμένα για τη μέση τιμή, υπολογίζεται ως στατιστική δείγματος η ποσότητα:

$$C_i = \sum_{j=1}^i (\bar{x}_j - \mu_0),$$

όπου μ_0 η επιθυμητή τιμή του υπό έλεγχο χαρακτηριστικού ποιότητας και \bar{x}_j η στατιστική (δειγματικός μέσος) του δείγματος j.

Το συσσωρευμένο άθροισμα C_i εμπεριέχει όλη τη διαθέσιμη πληροφορία από όλα τα προηγούμενα δείγματα και για το λόγο αυτό είναι περισσότερο ευαίσθητο στον εντοπισμό μικρών μεταβολών.

Σε εντός ελέγχου κατάσταση της διαδικασίας, τα συσσωρευμένα αθροίσματα κυμαίνονται εκατέρωθεν του μηδενός (συγκεκριμένα αποτελούν τυχαίο περίπατο με μέση τιμή μηδέν). Οποιαδήποτε αλλαγή της διαδικασίας αντικατοπτρίζεται με ανοδική (αύξηση) ή καθοδική (μείωση) τάση στις εν λόγω ποσότητες.

Η απεικόνιση των συσσωρευμένων αθροισμάτων, όπως περιγράφηκε μέχρι τώρα, δεν αποτελεί διάγραμμα ελέγχου καθώς δεν διαθέτει όρια ελέγχου. Μέσω κατάλληλων απεικονίσεων, αλγορίθμικής ή γραφικής (V-mask), το διάγραμμα συσσωρευμένων αθροισμάτων γίνεται διάγραμμα ελέγχου και καθίσταται δυνατός ο έλεγχος της μέσης τιμής ή της μεταβλητότητας της διαδικασίας.

Οι πιθανότητες των σφαλμάτων τύπου I και II και η ισχύς των διαγραμμάτων συσσωρευμένων αθροισμάτων δεν είναι δυνατό να ορισθούν κατά τρόπο παρόμοιο των διαγραμμάτων Shewhart, αφενός εξαιτίας της εξάρτησης των διαδοχικών αθροισμάτων και αφετέρου εξαιτίας της χρονικής μεταβολής αυτών των μεγεθών [7]. Οι στατιστικές ιδιότητες των διαγραμμάτων αυτών εκφράζονται στην πράξη μέσω ενός κατάλληλα τροποποιημένου ARL.

3.3.2.5 Διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων

Το διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων, όπως και το διάγραμμα συσσωρευμένων αθροισμάτων, λαμβάνει υπόψη όχι μόνο την τελευταία τιμή της στατιστικής δείγματος αλλά και όλη τη διαθέσιμη παρελθούσα πληροφορία. Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό μεταβολών του πληθυσμιακού μέσου και είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό στον εντοπισμό μικρών μεταβολών. Όπως και το διάγραμμα συσσωρευμένων αθροισμάτων, χρησιμοποιείται και τον έλεγχο διαδικασιών με μεμονωμένα δείγματα.

Υποθέτοντας ότι $\bar{X}_i, \bar{X}_{i-1}, \dots, \bar{X}_{i-w+1}$ είναι οι μέσοι των w διαδοχικών δειγμάτων που λαμβάνονται σε χρονική περίοδο t , ο κινητός μέσος αυτών ορίζεται ως ακολούθως:

$$M_i = \frac{\bar{X}_i + \bar{X}_{i-1} + \dots + \bar{X}_{i-w+1}}{w}$$

Θεωρείται γνωστό από το κεντρικό οριακό θεώρημα ότι $\bar{X} \sim N(\mu_0, \sigma^2/n)$, όπου μ_0 η επιθυμητή μέση τιμή και σ^2 η διασπορά της διαδικασίας. Ως εκ τούτου, η μέση τιμή του κινητού μέσου είναι $E(M_i) = \mu_0$ και η διασπορά του είναι $\text{var}(M_i) = \sigma^2/nw$.

Ως συνέπεια των παραπάνω, η κεντρική γραμμή και τα όρια ελέγχου k τυπικών αποκλίσεων διαμορφώνονται ως ακολούθως:

$$\text{Άνω όριο ελέγχου: } \mu_0 + k \frac{\sigma}{\sqrt{nw}}$$

Κεντρική γραμμή: μ_0

$$\text{Κάτω όριο ελέγχου: } \mu_0 - k \frac{\sigma}{\sqrt{nw}}$$

Η επιλογή του w σχετίζεται με την ευαισθησία του διαγράμματος όσον αφορά στο μέγεθος των ανιχνεύσιμων αλλαγών: μεγάλες τιμές του w επιτρέπουν την ανίχνευση μικρών αλλαγών, με τίμημα όμως την γρήγορη ανίχνευση μεγάλων αλλαγών [3].

3.3.2.6 Διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων

Σε αντίθεση με το διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων που μόλις περιγράφηκε, το οποίο αποδίδει ίσα βάρη (w^{-1}) στους w το πλήθος πιο πρόσφατους δειγματικούς μέσους, το διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων (EWMA chart) δίνει μεγαλύτερη βαρύτητα στα πιο πρόσφατα δείγματα, αποδίδοντας εκθετικά μειούμενα βάρη σε όλο το πλήθος των παρελθόντων δειγματικών μέσων. Δηλαδή, πέραν των σταθμισμένων βαρών, λαμβάνει υπόψη όλη τη διαθέσιμη πληροφορία. Το διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της μέσης τιμής. Ωστόσο, η βασική ιδέα λειτουργίας αυτού επεκτείνεται και στον έλεγχο της μεταβλητότητας της διαδικασίας (πχ. διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων μέσου τετραγωνικού σφάλματος) [3].

Το διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων χρησιμοποιεί ως συνολική στατιστική τον εκθετικά σταθμισμένο κινητό μέσο όρο z_i , ο οποίος ορίζεται ως:

$$z_i = \lambda \bar{x}_i + (1 - \lambda) z_{i-1},$$

όπου $\lambda \in (0,1]$ η σταθερά εκθετικής εξομάλυνσης.

Μέσω διαδοχικών αντικαταστάσεων στην αναδρομική σχέση, προκύπτει:

$$z_i = \lambda \bar{x}_i + \lambda(1-\lambda)\bar{x}_{i-1} + \lambda(1-\lambda)^2\bar{x}_{i-2} + \dots + \lambda(1-\lambda)^{i-1}\bar{x}_1 + (1-\lambda)^i z_0 = \lambda \sum_{j=0}^{i-1} (1-\lambda)^j \bar{x}_{i-j} + (1-\lambda)^i z_0$$

Ως αρχική τιμή z_0 χρησιμοποιείται είτε η ονομαστική μέση τιμή μ_0 της διαδικασίας, είτε ο μέσος των διαθέσιμων ιστορικών δειγματικών μέσων \bar{x} .

Η τελευταία σχέση φανερώνει ξεκάθαρα τη βασική αρχή του EWMA chart, την απόδοση δηλαδή εκθετικά μειούμενων βαρών στο σύνολο των παρελθόντων δειγματικών μέσων. Στην ουσία πρόκειται για έναν εκθετικά σταθμισμένο κινητό μέσο άπειρης τάξης (exponentially weighted $MA(\infty)$).

Τα βάρη $\lambda(1-\lambda)^j$ μειώνονται κατά γεωμετρικό τρόπο ως προς τον φθίνον αριθμό δείγματος [3]. Επιπρόσθετα, τα βάρη αθροίζουν στη μονάδα, καθώς:

$$\sum_{j=0}^{i-1} \lambda(1-\lambda)^j = \lambda \left[\frac{1-(1-\lambda)^i}{1-(1-\lambda)} \right] = 1 - (1-\lambda)^i$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο συντελεστής εκθετικής εξομάλυνσης $\lambda \in (0,1]$ καθορίζει τη σχετική βαρύτητα των διαφόρων δειγματικών μέσων και κατά συνέπεια την ταχύτητα απόκρισης του z_i στη μεταβλητότητα των δειγματικών μέσων: αυξανομένου του συντελεστή, μειώνεται η σχετική συνεισφορά παλαιότερων μετρήσεων και αυξάνεται η σχετική συνεισφορά των πλέον πρόσφατων. Αντίθετα, μειούμενου του συντελεστή εκθετικής εξομάλυνσης, αυξάνεται η σχετική συνεισφορά παλαιότερων μετρήσεων και μειώνεται η σχετική συνεισφορά των πλέον πρόσφατων. Γενικά προτιμώνται μικρές τιμές για τον συντελεστή εκθετικής εξομάλυνσης, της τάξης του 0,25. Για $\lambda=1$, το διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων ταυτίζεται με το Shewhart διάγραμμα ελέγχου του μέσου.

Μετά από υπολογισμούς, η μέση τιμή και η διασπορά του z_i προκύπτουν ως ακολούθως:

$$E(z_i) = \mu_0$$

$$\text{var}(z_i) = \sigma^2 \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) \cdot \left(1 - (1-\lambda)^{2i} \right)$$

Κατά συνέπεια, η κεντρική γραμμή και τα L τυπικών αποκλίσεων όρια του EWMA chart διαμορφώνονται ως ακολούθως:

$$\text{Άνω όριο ελέγχου: } \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} (1 - (1-\lambda)^{2i})}$$

Κεντρική γραμμή: μ_0

$$\text{Κάτω όριο ελέγχου: } \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} (1 - (1-\lambda)^{2i})}$$

Δεδομένου ότι ο όρος $(1 - (1-\lambda)^{2i})$ τείνει στη μονάδα αυξανομένου του αριθμού δείγματος i , τα όρια του διαγράμματος αρχικά διευρύνονται και σταδιακά τείνουν σε σταθεροποίηση, προσεγγίζοντας τις τιμές:

$$\text{Άνω όριο ελέγχου: } \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}$$

$$\text{Κάτω όριο ελέγχου: } \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}$$

Το διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για χρήση με μεμονωμένα δείγματα και για τον εντοπισμό μικρών σχετικά μεταβολών της διαδικασίας. Οι στατιστικές του ιδιότητες και η απόδοσή του εξαρτώνται από την τιμή του συντελεστή εκθετικής εξομάλυνσης λ και το L [7]. Οι τιμές τώρα των λ και L προσαρμόζονται στις ανάγκες ελέγχου της εκάστοτε διαδικασίας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι για μεγάλες μεταβολές του μέσου της διαδικασίας, το διάγραμμα EWMA υστερεί του απλού διαγράμματος Shewhart στην ταχύτητα εντοπισμού αλλά υπερτερεί του διαγράμματος συσσωρευμένων αθροισμάτων [7].

Γενικά, προτείνεται η συνδυασμένη χρήση διαφόρων τύπων διαγραμμάτων, ούτως ώστε να εξασφαλίζεται πάντα βέλτιστη απόδοση όσον αφορά στην ταχύτητα εντοπισμού και στο μέγεθος της ανιχνεύσιμης αλλαγής.

3.3.3 Στατιστικός έλεγχος διαδικασίας με εξαρτημένα δείγματα

Οι βασικές υποθέσεις, κανονικότητας και ανεξαρτησίας, δεν ισχύουν πάντα και για όλες τις διαδικασίες. Πέραν της φύσης ορισμένων διαδικασιών (πχ. χημικές και άλλες συνεχείς παραγωγικές διαδικασίες) που εξ' ορισμού εμφανίζουν εξάρτηση, η αυξανόμενη χρήση αυτοματοποιημένων συστημάτων παρακολούθησης των διαδικασιών με υψηλές συχνότητες δειγματοληψίας δημιουργεί εξάρτηση και σε άλλες διαδικασίες που παραδοσιακά δεν θα εμφάνιζαν.

Η χρήση των συνήθων διαγραμμάτων ελέγχου δεν ενδείκνυται για τον έλεγχο τέτοιων διαδικασιών καθώς η ύπαρξη ακόμη και μικρών επιπέδων αυτοσυσχέτισης διαταράσσει τις στατιστικές ιδιότητες και μειώνει την ισχύ των διαγραμμάτων ελέγχου. Πιο συγκεκριμένα, η ύπαρξη θετικής αυτοσυσχέτισης αυξάνει τη συχνότητα εσφαλμένων ενδείξεων εκτός ελέγχου, μειώνοντας το ARL, δηλαδή το μέσο αριθμό δειγμάτων μέχρι την πρώτη εσφαλμένη ένδειξη εκτός ελέγχου που οφείλεται σε σφάλμα τύπου I [3].

Μία εύκολη και προφανής λύση στο πρόβλημα της αυτοσυσχέτισης αποτελεί η μείωση της συχνότητας δειγματοληψίας (στα αυτοματοποιημένα συστήματα συνήθως μέσω μείωσης των χρησιμοποιούμενων μετρήσεων). Η τακτική αυτή ενώ κατά κανόνα εξασφαλίζει ικανοποιητικά χαμηλά επίπεδα αυτοσυσχέτισης, εμφανίζει ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα που την καθιστούν μη προτιμητέα [3]. Το βασικό μειονέκτημα της τακτικής αυτής είναι ότι εξαιτίας της ελλιπούς εκμετάλλευσης της διαθέσιμης πληροφορίας, καθυστερεί η ανίχνευση μεταβολών της διαδικασίας. Για το λόγο αυτό, προτιμώνται περισσότερο σύνθετες προσεγγίσεις.

Από τις πλέον δημοφιλείς εναλλακτικές προσεγγίσεις αποτελεί η υποδειγματοποίηση της δομής αυτοσυσχέτισης των δεδομένων με ARIMA (Autoregressive Integrated Moving-Average) υποδείγματα χρονοσειρών. Η προσαρμογή στα δεδομένα κατάλληλου υποδείγματος παράγει κανονικώς κατανεμημένα και ανεξάρτητα κατάλοιπα (στην χειρότερη περίπτωση μη ικανοποιητικού υποδείγματος, η σειριακή αυτοσυσχέτιση είναι αμελητέα και τα κατάλοιπα προσεγγίζουν ικανοποιητικά την κανονική κατανομή). Μετά την προσαρμογή κατάλληλου υποδείγματος χρονοσειρών, τα συνήθη διαγράμματα ελέγχου εφαρμόζονται στα κατάλοιπα χωρίς περαιτέρω προβλήματα [1],[3].

3.3.4 Ανάλυση χρονολογικών σειρών

Η ανάλυση χρονολογικών σειρών περιλαμβάνει ένα πλήθος μεθοδολογιών. Μεταξύ των πλέον χρησιμοποιούμενων είναι η Box-Jenkins μεθοδολογία για την εφαρμογή ARMA υποδειγμάτων (autoregressive moving average models) σε στάσιμες διαδικασίες (ή ARIMA υποδειγμάτων σε μη στάσιμες). Μετά από σύντομη περιγραφή των υποδειγμάτων, παρουσιάζονται τα βασικά στάδια προσδιορισμού του βέλτιστου υποδείγματος.

Το αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα τάξης p ($AR(p)$) είναι της μορφής:

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t,$$

όπου $\phi_i, i = 1, \dots, p$ οι αυτοπαλίνδρομοι συντελεστές και $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$.

Κάνοντας χρήση του backshift operator B (υπενθυμίζεται ότι: $B^j x_t = x_{t-j}$), προκύπτει η συμπαγής μορφή του γενικού αυτοπαλίνδρομου υποδείγματος:

$$\phi_p(B)Y_t = \varepsilon_t,$$

όπου $\phi_p(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)$.

Το υπόδειγμα κινητού μέσου τάξης q ($MA(q)$) είναι της μορφής:

$$Y_t = \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q},$$

όπου θ_j , $j = 1, \dots, q$ οι συντελεστές κινητού μέσου και $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$.

Κάνοντας χρήση του backshift operator B , προκύπτει η συμπαγής μορφή του γενικού υποδείγματος κινητού μέσου:

$$Y_t = \theta_q(B) \varepsilon_t$$

όπου $\theta_q(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)$.

Συνδυασμός των δύο είναι τα μικτά $ARMA(p, q)$ υποδείγματα, όπου p η τάξη της αυτοπαλίνδρομης συνιστώσας και q η τάξη της συνιστώσας κινητού μέσου.

Το αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα κινητού μέσου $ARMA(p, q)$ είναι της μορφής:

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q},$$

όπου $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$.

Κάνοντας χρήση του backshift operator B , προκύπτει η συμπαγής μορφή του γενικού αυτοπαλίνδρομου υποδείγματος κινητού μέσου:

$$\phi_p(B) Y_t = \theta_q(B) \varepsilon_t$$

όπου $\phi_p(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)$ και $\theta_q(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)$.

Τα αυτοπαλίνδρομα κινητού μέσου υποδείγματα απαιτούν στασιμότητα της διαδικασίας. Μη στάσιμες διαδικασίες υποδειγματοποιούνται μέσω *ARIMA* υποδειγμάτων (autoregressive integrated moving average models) [4]. Στην ουσία, μία *ARIMA* στοχαστική διαδικασία μετατρέπεται μέσω κατάλληλων μετασχηματισμών σε *ARMA*. Πιο συγκεκριμένα, έστω X_t η αρχική, μη στάσιμη διαδικασία: μέσω d το πλήθος διαφοροποίησεων αυτής προκύπτει η στάσιμη διαδικασία Y_t όπου $Y_t = (1 - B)^d X_t$, η οποία με τη σειρά της υποδειγματοποιείται μέσω *ARMA*(p, q).

Κατά συνέπεια, τα υποδείγματα *ARIMA*(p, d, q) είναι της μορφής:

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q}$$

$$Y_t = (1 - B)^d X_t$$

όπου X_t η αρχική, μη στάσιμη χρονολογική σειρά και Y_t η στάσιμη χρονολογική σειρά που προέκυψε μετά από d το πλήθος διαφοροποίησεις της αρχικής.

Η τάξη των διαφορών d είναι ο αναγκαίος και ικανός βαθμός διαφοροποίησης που πρέπει να επιβληθεί στην αρχική μη στάσιμη χρονοσειρά ώστε να επιτευχθεί στασιμότητα.

Κάνοντας χρήση του backshift operator B , προκύπτει η συμπαγής μορφή του γενικού *ARIMA* υποδείγματος:

$$\boxed{\phi_p(B)Y_t = \phi_p(B)(1 - B)^d X_t = \theta_q(B)\varepsilon_t \Leftrightarrow Y_t = (1 - B)^d X_t = \frac{\theta_q(B)}{\phi_p(B)} \varepsilon_t}$$

Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι μία διαδικασία λευκού θορύβου αντιστοιχεί στην *ARIMA*(0,0,0) διαδικασία (δηλαδή εξ' ορισμού ταυτίζεται με

το ε_t), ενώ μία διαδικασία τυχαίου περιπάτου αντιστοιχεί στην $ARIMA(0,1,0)$ διαδικασία [4].

Τα υποδείγματα $ARIMA$ είναι δυνατό να επεκταθούν κατά τρόπο τέτοιο ώστε να συμπεριλάβουν και δομές εποχικότητας που τυχόν υπάρχουν στην υπό μελέτη χρονολογική σειρά. Η μορφή ενός πολλαπλασιαστικού εποχικού $ARIMA(p,d,q)$ υποδείγματος είναι:

$$\phi_{P,S}(B^s)\psi_p(B)(1-B)^d(1-B^s)^D Y_t = \theta_q(B)\Theta_{Q,S}(B^s)\varepsilon_t$$

Το ανωτέρω πολλαπλασιαστικό εποχικό υπόδειγμα συμβολίζεται ως: $ARIMA(p,d,q) \times (P,D,Q)_s$, όπου το s αναφέρεται στην περίοδο της ενυπάρχουσας εποχικότητας.

Από τα πλέον κρίσιμα στάδια στην ανάλυση χρονολογικών σειρών είναι ο προσδιορισμός του βέλτιστου υποδείγματος όσον αφορά στην τάξη της αυτοπαλίνδρομης συνιστώσας p , στην τάξη της συνιστώσας κινητού μέσου q , στην τάξη διαφοροποίησης d καθώς και σε άλλους μετασχηματισμούς ή συνιστώσες που τυχόν απαιτούνται ή υπάρχουν.

Αρχικά, απεικονίζεται η υπό μελέτη χρονολογική σειρά. Προσεκτική εξέταση αυτής μπορεί να φανερώσει τα βασικά χαρακτηριστικά της και να καταδείξει φαινόμενα μη στασιμότητας ούτως ώστε να γίνουν οι απαραίτητοι μετασχηματισμοί.

Ακολούθως, υπολογίζεται και εξετάζεται η δομή της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης (autocorrelation function - ACF) και μερικής αυτοσυσχέτισης (partial autocorrelation function - PACF) της μετασχηματισμένης χρονοσειράς. Οι συναρτήσεις αυτές καταρχήν δίνουν ενδείξεις σχετικά με το βαθμό διαφοροποίησης της χρονοσειράς. Πιο συγκεκριμένα, μπορούν να καταδείξουν είτε την ανεπαρκή είτε την υπερβολική διαφοροποίηση της χρονολογικής σειράς. Στην ιδανική περίπτωση αναγκαίας και ικανούς

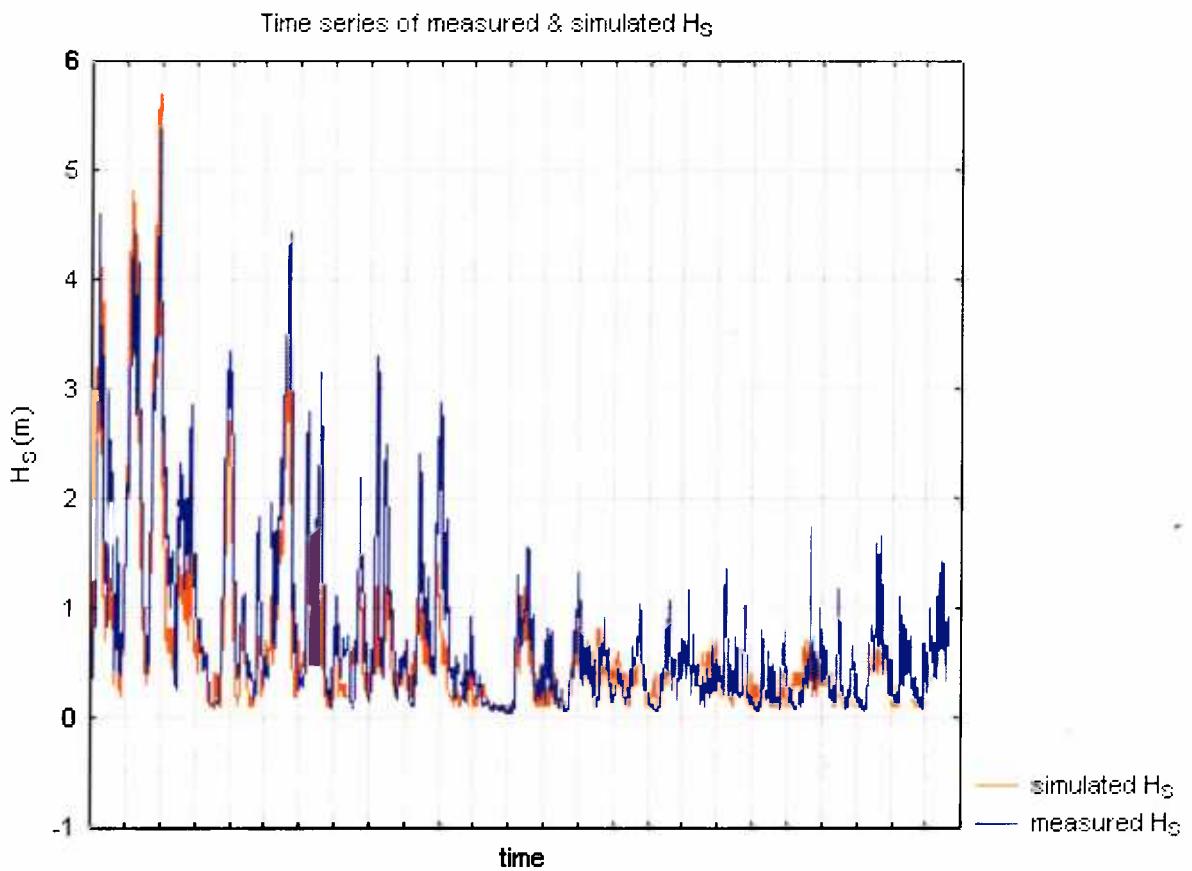
διαφοροποίησης, οι ACF και PACF είναι τα βασικά εργαλεία προσδιορισμού των p και q καθώς η μορφή τους ορίζει τις κατευθυντήριες για τον τύπο και την τάξη του κατάλληλου υποδείγματος. Αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με το θέμα αυτό υπάρχουν στα περισσότερα εγχειρίδια ανάλυσης χρονοσειρών. Ενδεικτικά αναφέρονται: [2],[4].

Μετά τον προσδιορισμό των υποψήφιων υποδειγμάτων, απαιτείται να εξετασθεί η ικανότητα και η πληρότητα αυτών. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί πλήθος διαγνωστικών ελέγχων και μεγεθών. Από τα πλέον βασικά χαρακτηριστικά ενός πλήρους υποδείγματος είναι η απορρόφηση και περιγραφή του συνόλου της αυτοσυσχέτισης. Με άλλα λόγια, οι ACF και PACF των καταλοίπων δεν θα πρέπει να εμφανίζουν στατιστικά σημαντικές αυτοσυσχετίσεις. Αν συμβαίνει κάτι τέτοιο, απαιτείται επαναπροσδιορισμός του υποδείγματος. Γενικά, η καταλληλότητα του υποδείγματος διαγιγνώσκεται μέσω ελέγχων των καταλοίπων όσων αφορά στην κανονικότητα, ανεξαρτησία, ομοσκεδαστικότητα, κλπ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ #4

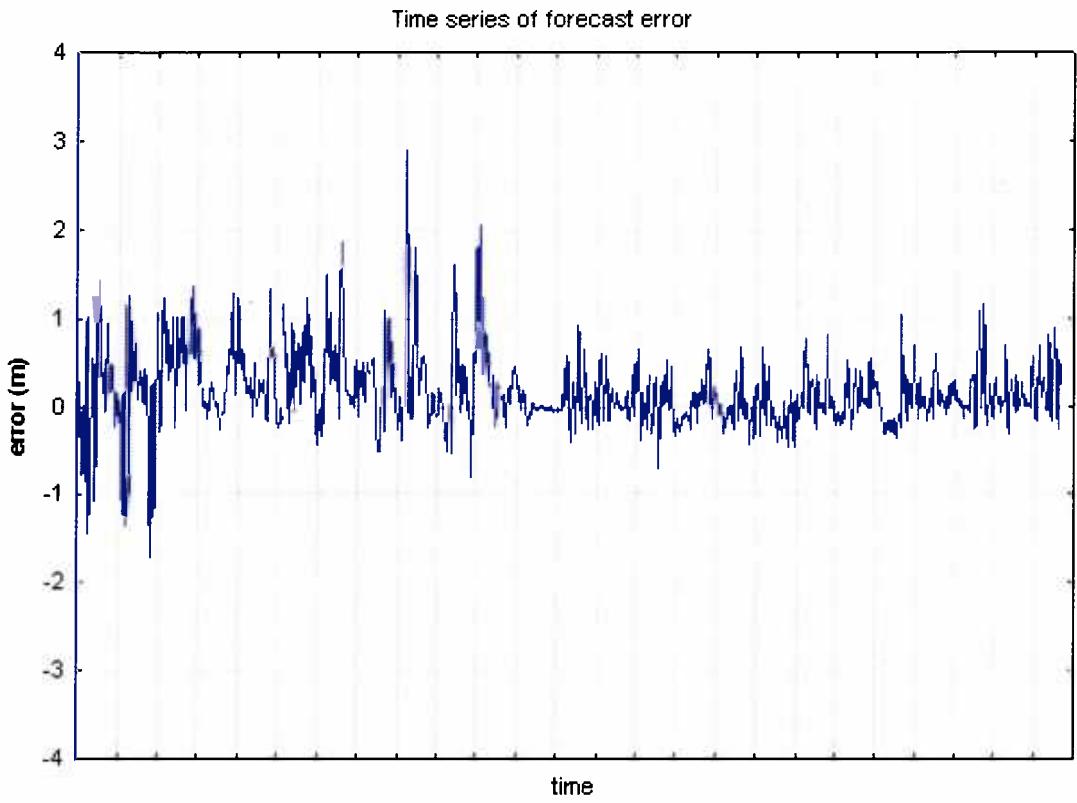
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο έλεγχος ποιότητας των παρεχόμενων από το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ προγνώσεων που αφορούν στο σημαντικό ύψος κύματος H_s . Οι χρονολογικές σειρές του μετρημένου και του προσομοιωμένου H_s για την χρονική περίοδο ενδιαφέροντος παρουσιάζεται Γράφημα 4.1. Η χρονολογική σειρά του σφάλματος πρόγνωσης, που αποτελεί και την υπό μελέτη μεταβλητή, απεικονίζεται Στο Γράφημα 4.2.



Γράφημα 4.1: Χρονολογική σειρά του μετρημένου και του προσομοιωμένου σημαντικού ύψους κύματος από 4/2/2003 μέχρι και 4/8/2003

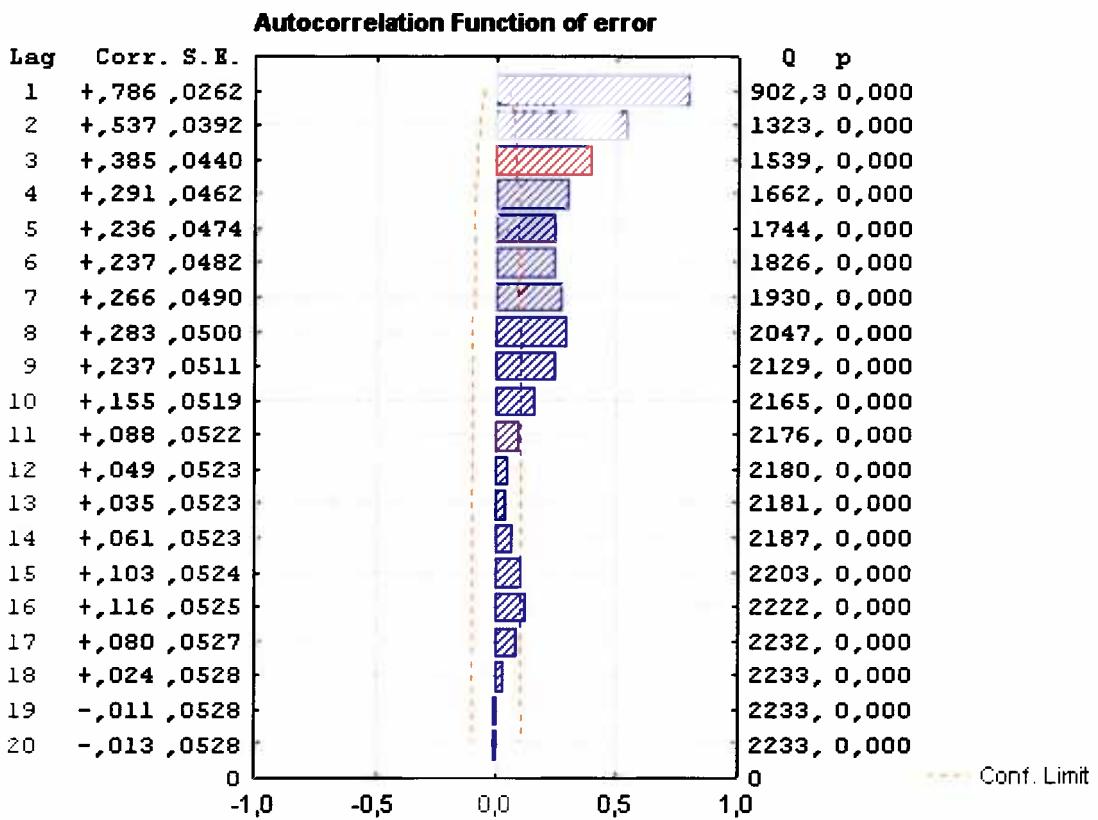




Γράφημα 4.2: Χρονολογική σειρά του σφάλματος πρόγνωσης από 4/2/2003 μέχρι και 4/8/2003

4.1 Μεθοδολογία Box-Jenkins

Η χρονολογική σειρά του σφάλματος πρόγνωσης δεν πληρεί τις απαραίτητες προϋποθέσεις ώστε να εφαρμοσθούν σε αυτή οι τεχνικές του στατιστικού ελέγχου διαδικασίας. Κύριο χαρακτηριστικό της υπό μελέτη χρονοσειράς είναι η έντονη σειριακή αυτοσυγχέτιση των δεδομένων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, η ύπαρξη ακόμη και μικρών επιπέδων αυτοσυγχέτισης διαταράσσει τις στατιστικές ιδιότητες και μειώνει την ισχύ των διαγραμμάτων ελέγχου. Στο Γράφημα 4.3 απεικονίζεται η συνάρτηση αυτοσυγχέτισης της χρονοσειράς του προγνωστικού σφάλματος για είκοσι χρονικές υστερήσεις.



Γράφημα 4.3: Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης του σφάλματος για 20 χρονικές υστερήσεις

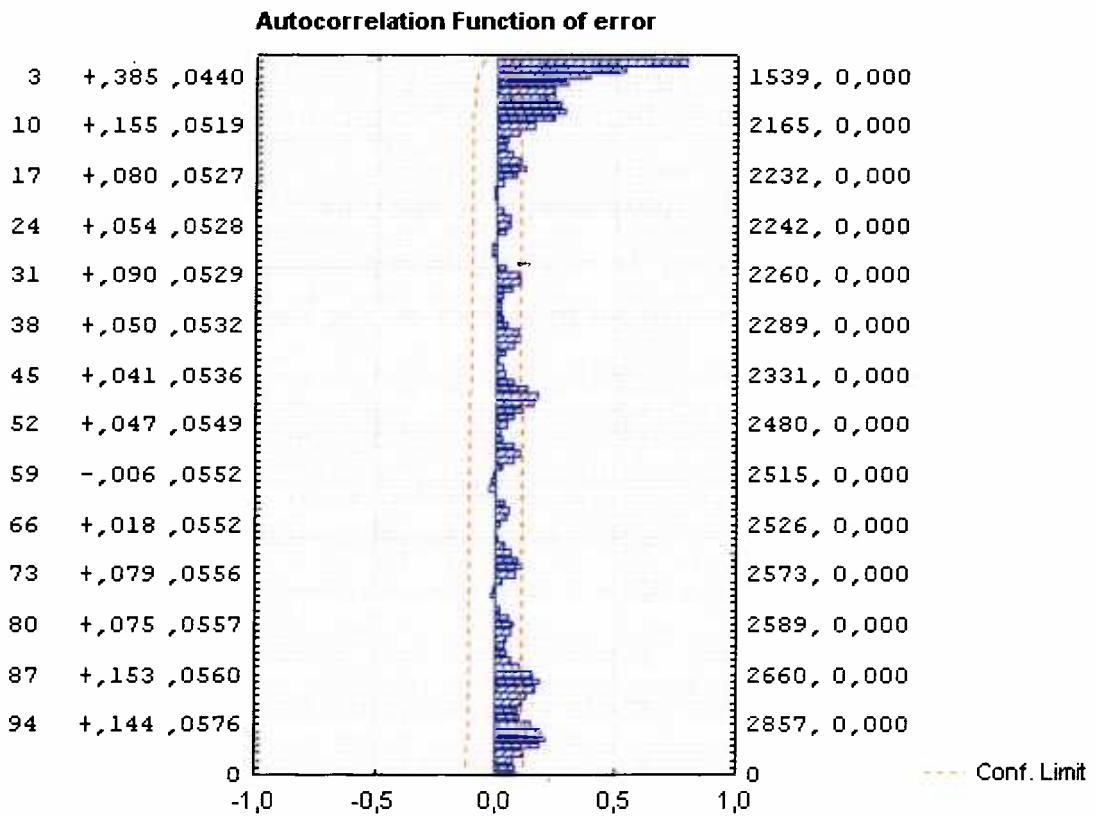
Η χρονοσειρά του προγνωστικού σφάλματος εμφανίζει ισχυρή αυτοσυσχέτιση. Οι τιμές της ACF για τις είκοσι πρώτες χρονικές υστερήσεις καταδεικνύουν την έντονη σειριακή συσχέτιση των σφαλμάτων. Ιδιαίτερα η τιμή για την πρώτη χρονική υστέρηση (lag 1) είναι πολύ υψηλή ($r_1 = 0.786$), αρκετή ώστε να εξουδετερώσει την ισχύ των διαγραμμάτων ελέγχου. Κατά συνέπεια, πριν την εφαρμογή της μεθοδολογίας του στατιστικού ελέγχου ποιότητας απαιτείται να εξαλειφθεί η αυτοσυσχέτιση των δεδομένων.

Από τις προτεινόμενες προσεγγίσεις για εξάλειψη της σειριακής αυτοσυσχέτισης των δεδομένων, στην παρούσα εργασία προτιμήθηκε η υποδειγματοποίηση της δομής αυτοσυσχέτισης των δεδομένων με ARIMA υποδείγματα χρονοσειρών. Μέσω κατάλληλης υποδειγματοποίησης η σειριακή αυτοσυσχέτιση του σφάλματος πρόγνωσης εξαλείφεται και η μεθοδολογία του στατιστικού ελέγχου διαδικασίας μπορεί να εφαρμοσθεί στα εναπομείναντα κατάλοιπα.

Η επιλογή του βέλτιστου υποδείγματος χρονοσειρών βασίσθηκε στην μεθοδολογία Box & Jenkins [2],[4] και πραγματοποιήθηκε με χρήση του στατιστικού πακέτου Statistica.

Πριν από όλα, απαιτείται γραφική απεικόνιση και προσεκτική εξέταση της υπό μελέτη χρονοσειράς. Το γράφημα αυτής απεικονίζεται στο Γράφημα 4.2. Προσεκτική θεώρηση αποκαλύπτει μη-στασιμότητα και ενδεχομένως ύπαρξη κυκλικότητας. Ακόμη, εμφανίζεται χρονικά μεταβαλλόμενη διασπορά.

Προσεκτική εξέταση της ACF είναι απαραίτητη καθώς η δομή αποκαλύπτει τους αναγκαίους μετασχηματισμούς που απαιτούνται για την εξασφάλιση στάσιμης χρονοσειράς. Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης της χρονοσειράς του προγνωστικού σφάλματος για εκατό χρονικές υστερήσεις απεικονίζεται στο Γράφημα 4.4.

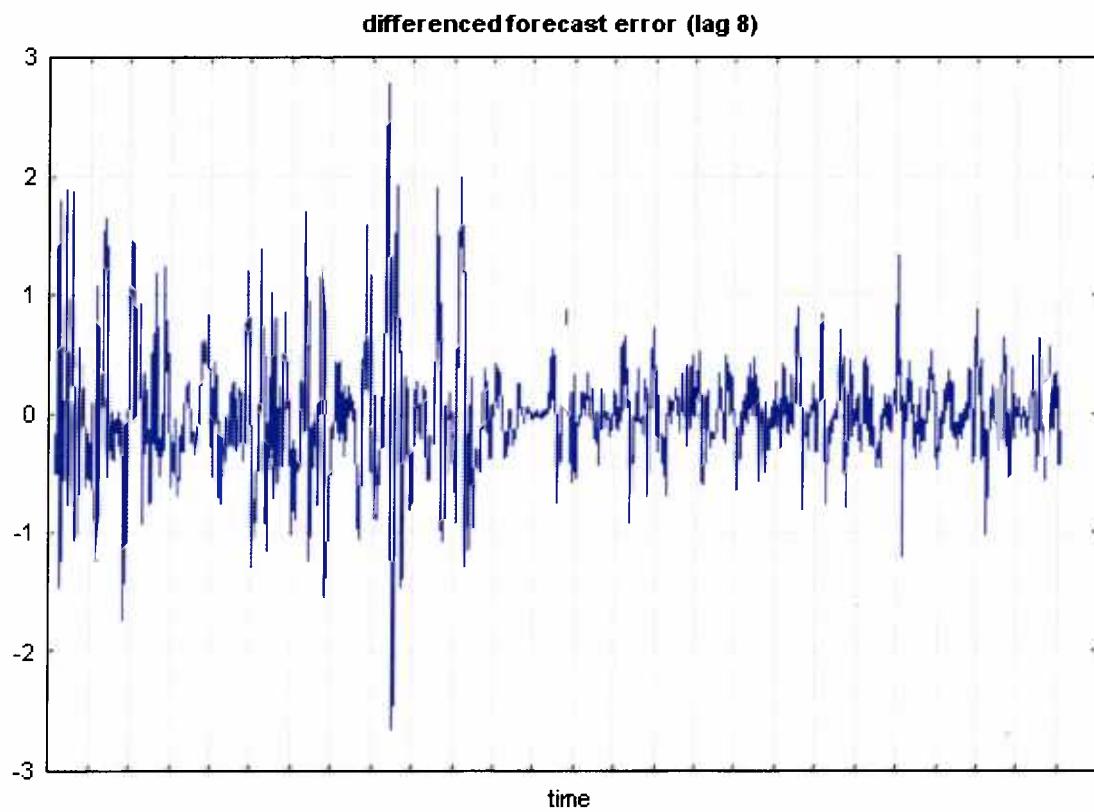


Γράφημα 4.4: Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης του σφάλματος για 100 χρονικές υστερήσεις

Η ACF αποκαλύπτει, πέραν της έντονης αυτοσυγχέτισης, κυκλική συμπεριφορά οκτώ χρονικών υστερήσεων που αντιστοιχεί σε μη αμελητέα ημερήσια κυκλικότητα. Επίσης υποδηλώνει τη μη στασιμότητα της χρονοσειράς. Καθώς η εφαρμογή της μεθοδολογία Box & Jenkins απαιτεί στάσιμη χρονοσειρά, κρίνεται απαραίτητος ο μετασχηματισμός της υπό μελέτη χρονολογικής σειράς. Λόγω της ημερήσιας κυκλικότητας, πραγματοποιείται διαφοροποίηση της χρονοσειράς στην όγδοη χρονική υστέρηση, δηλαδή λαμβάνονται οι όγδοες διαφορές ως ακολούθως:

$$Y_t = X_t - X_{t-8}, \quad t = 9, \dots, 1456$$

Η μετασχηματισμένη χρονοσειρά Y_t απεικονίζεται στο Γράφημα 4.5.

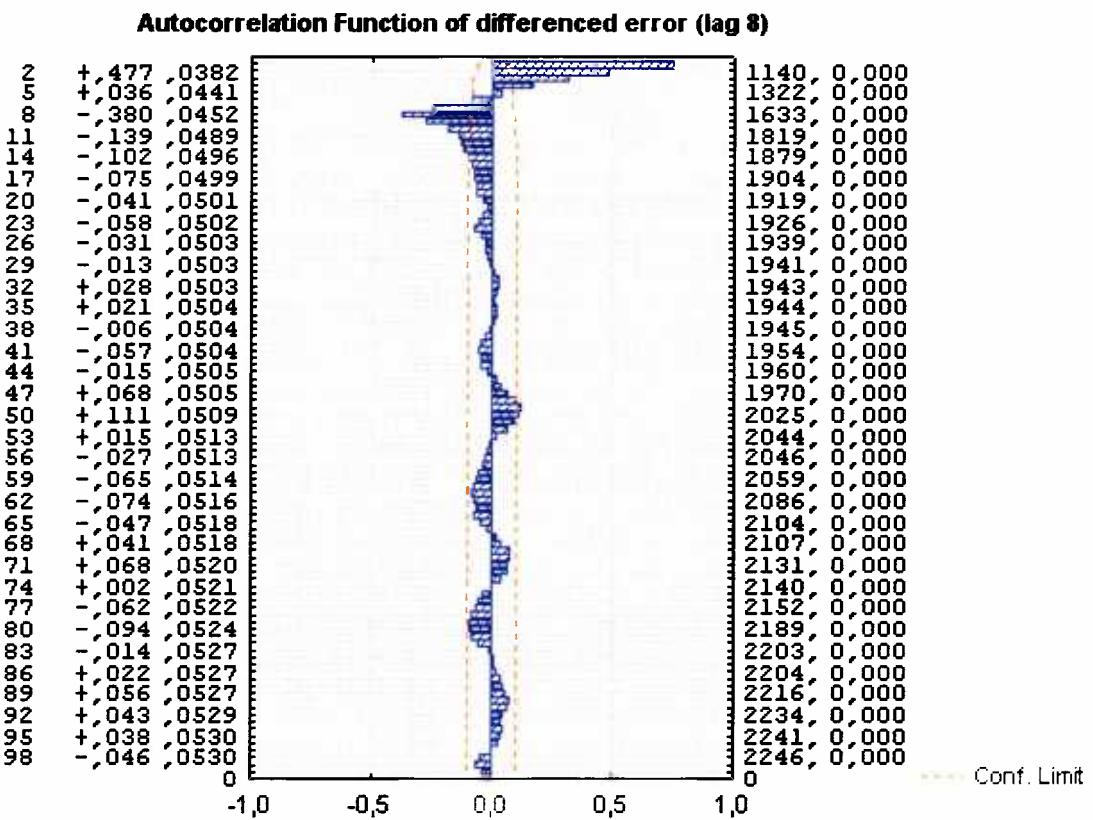


Γράφημα 4.5: Μετασχηματισμένη χρονολογική σειρά του σφάλματος πρόγνωσης

Το γράφημα της μετασχηματισμένης χρονοσειράς Y_t δεν αναδεικνύει εκ πρώτης όψεως μη στασιμότητα. Επίσης, φαίνεται ότι έχει μετριασθεί σημαντικά η κυκλικότητα. Ωστόσο, παραμένουν οι κλάσεις μεταβλητότητας (volatility clustering). Επειδή όμως το χαρακτηριστικό της ύπαρξης κλάσεων μεταβλητότητας δεν είναι ιδιαίτερα έντονο, δεν κρίνεται απαραίτητος περαιτέρω μετασχηματισμός της χρονολογικής σειράς.

Εφόσον λοιπόν η διαφοροποίηση στην όγδοη χρονική υστέρηση της χρονοσειράς κρίνεται αναγκαίος και ικανός μετασχηματισμός ούτως ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητές ιδιότητες, καθίσταται πλέον συμβατή η εφαρμογή της Box-Jenkins μεθοδολογίας για την επιλογή κατάλληλου υποδείγματος.

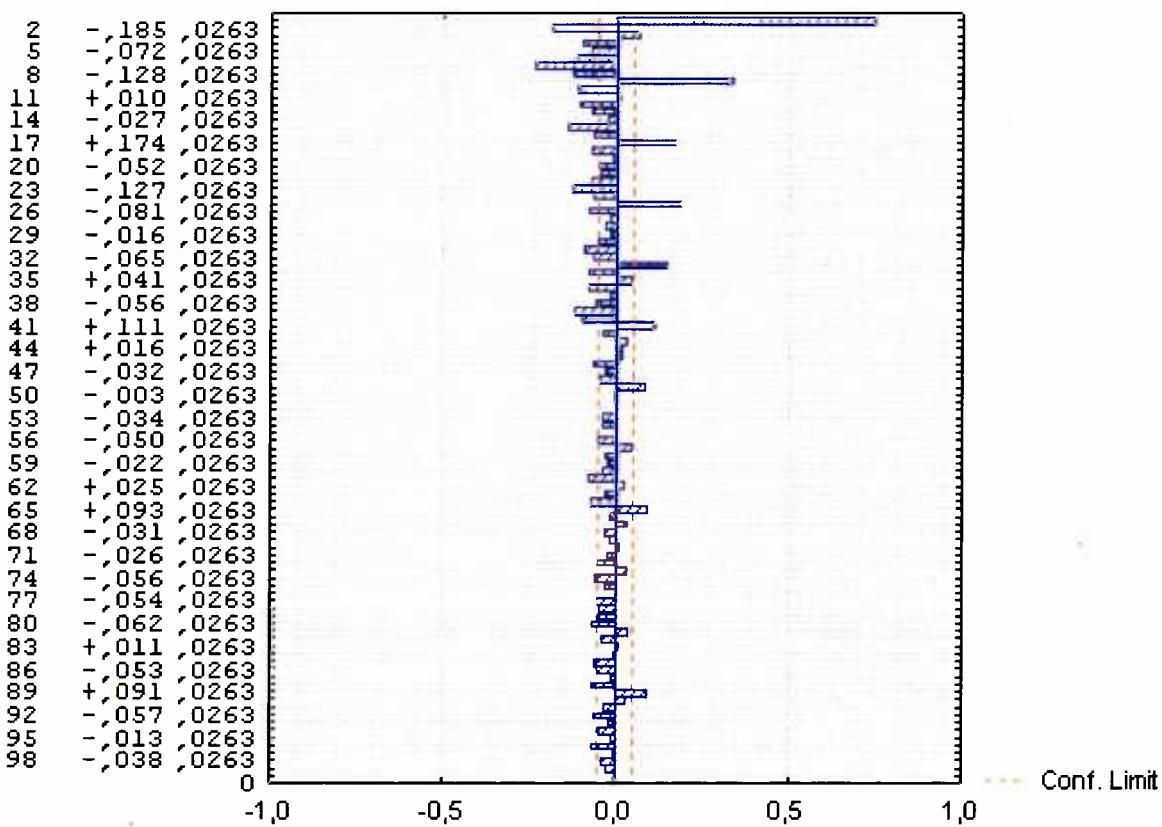
Προκειμένου να προσδιορισθεί η μορφή και η τάξη κατάλληλου υποδείγματος, απαιτείται παρατήρηση τόσο της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης όσο και της συνάρτησης μερικής αυτοσυσχέτισης της μετασχηματισμένης χρονοσειράς. Η ACF της μετασχηματισμένης χρονολογικής σειράς απεικονίζεται στο Γράφημα 4.6, ενώ η PACF αυτής απεικονίζεται στο Γράφημα 4.7.



Γράφημα 4.6: Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης του διαφοροποιημένου σφάλματος για 100 χρονικές υστερήσεις

Οι δομές των ACF και PACF καταρχήν υποδηλώνουν ότι η υπό μελέτη διαδικασία δεν είναι σαφώς αυτοπαλίνδρομη ή σαφώς κινητού μέσου, οπότε απαιτείται εφαρμογή μικτών υποδειγμάτων ARIMA. Η τάξη διαφοροποίησης d ισούται με τη μονάδα, αφού απαιτήθηκε ένας μόνο μετασχηματισμός διαφορών ούτως ώστε να καταστεί στάσιμη η χρονολογική σειρά. Επιπλέον, εξαιτίας της ημερήσιας κυκλικότητας απαιτείται η χρήση εποχικού υποδείγματος. Συνοψίζοντας λοιπόν, η υπό μελέτη μετασχηματισμένη χρονολογική σειρά είναι μία $ARIMA(p,1,q)\times(P,0,Q)_8$ διαδικασία. Αρκεί πλέον να προσδιορισθούν η τάξη p της αυτοπαλίνδρομης συνιστώσας, η τάξη q της συνιστώσας κινητού μέσου καθώς και οι αντίστοιχες τάξης P και Q της εποχικής συνιστώσας.

Partial Autocorrelation Function of differenced error (lag 8)



Γράφημα 4.7: Συνάρτηση μερικής αυτοσυγχέτισης του διαφοροποιημένου σφάλματος για 100 χρονικές υστερήσεις

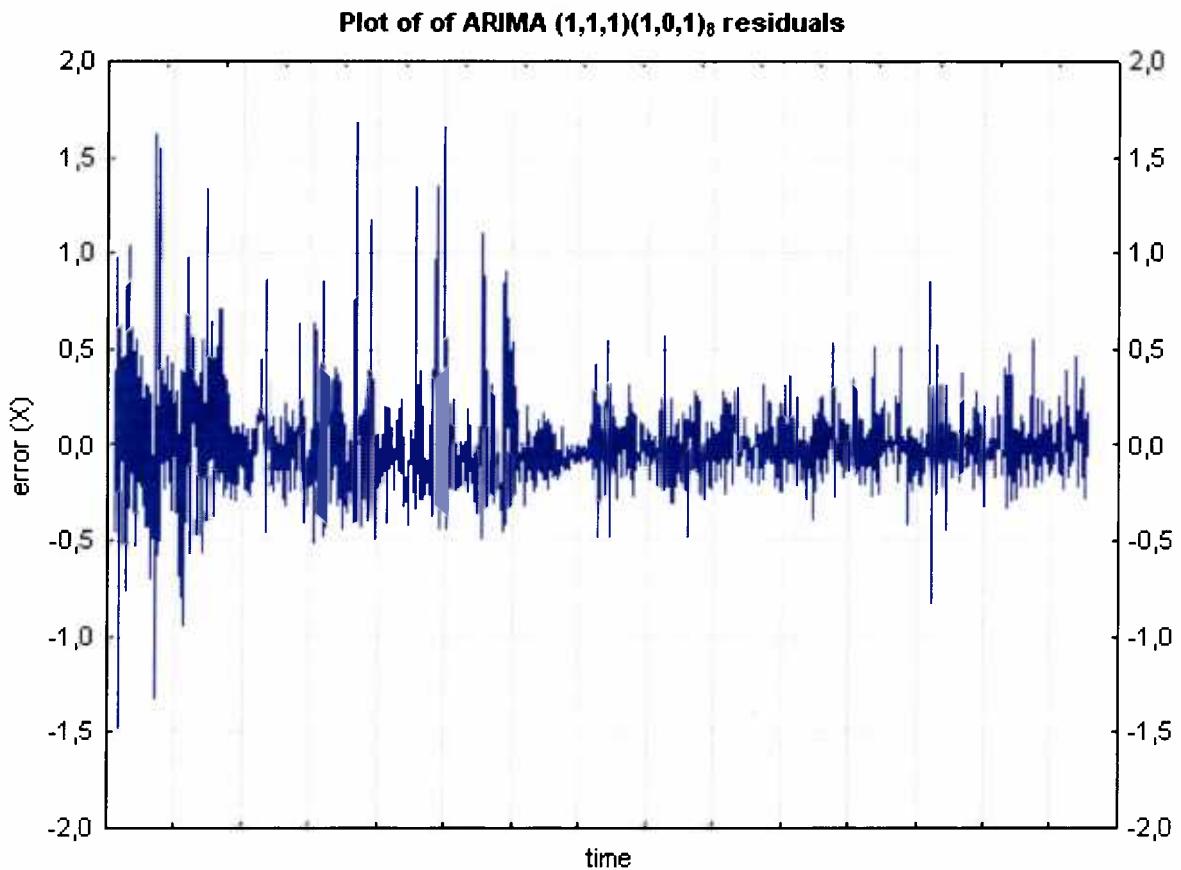
Με οδηγό τις δομές των ACF και P^ACF και μετά από δοκιμές υποψήφιων υποδειγμάτων και εξέταση των ιδιοτήτων των καταλοίπων αυτών, προσδιορίσθηκε το βέλτιστο υπόδειγμα ως ακολούθως:

$$ARIMA(1,1,1) \times (1,0,1)_8$$

Το υπόδειγμα αυτό είναι το απλούστερο ικανό να περιγράψει την ενυπάρχουσα δομή σειριακής αυτοσυγχέτισης, δηλαδή το αναγκαίο και ικανό και κατά συνέπεια το βέλτιστο.

Η καταλληλότητα και πληρότητα του υποδείγματος εξασφαλίζεται από τις ιδιότητες των καταλοίπων. Γενικά, η καταλληλότητα του υποδείγματος διαγνωσκεται μέσω ελέγχων των καταλοίπων όσων αφορά στην

κανονικότητα, ανεξαρτησία, ομοσκεδαστικότητα, κλπ. Η χρονολογική σειρά των $ARIMA(1,1,1)\times(1,0,1)_8$ καταλοίπων απεικονίζεται στο Γράφημα 4.8.

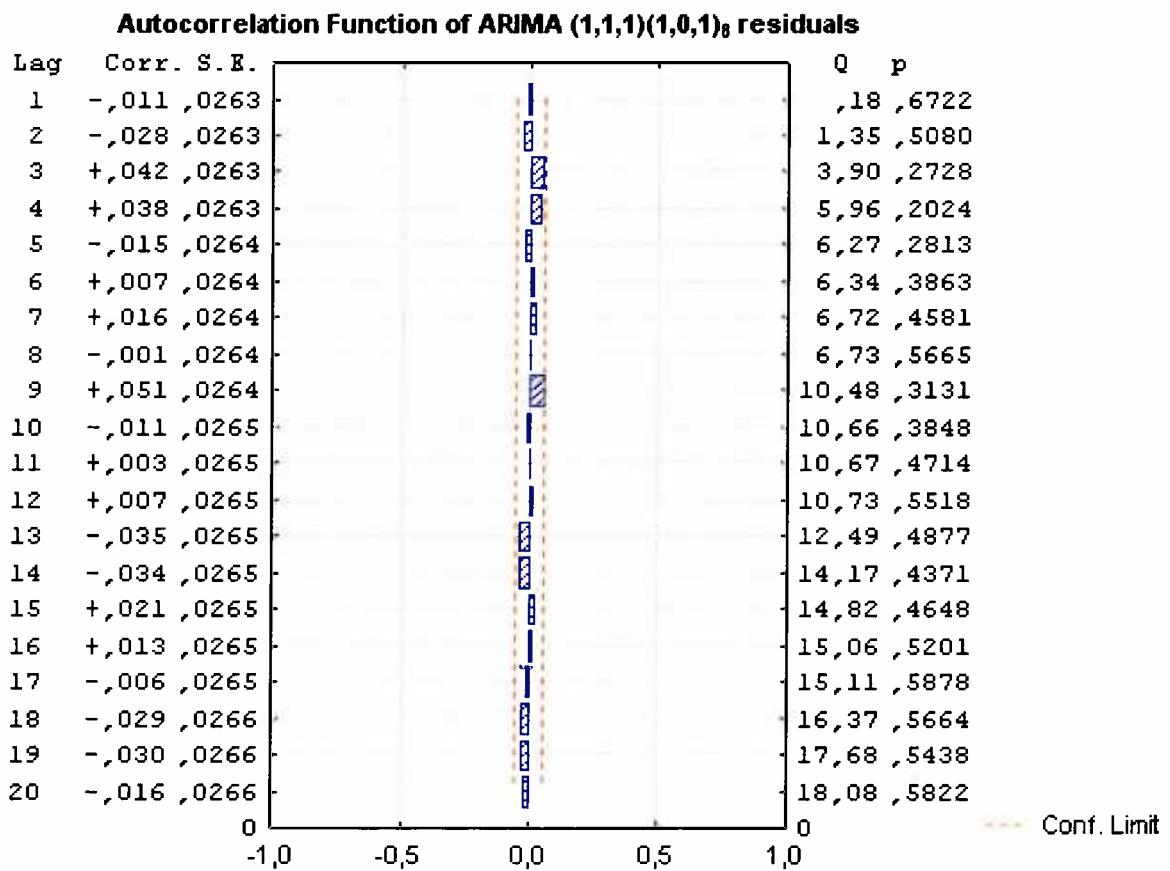


Γράφημα 4.8: Χρονολογική σειρά των $ARIMA(1,1,1)\times(1,0,1)_8$ καταλοίπων

Η δομή της χρονοσειράς των καταλοίπων δεν αναδεικνύει συγκεκριμένα «ύποπτα» πρότυπα, αντιθέτως, προσομοιάζει ικανοποιητικά τη δομή λευκού θορύβου.

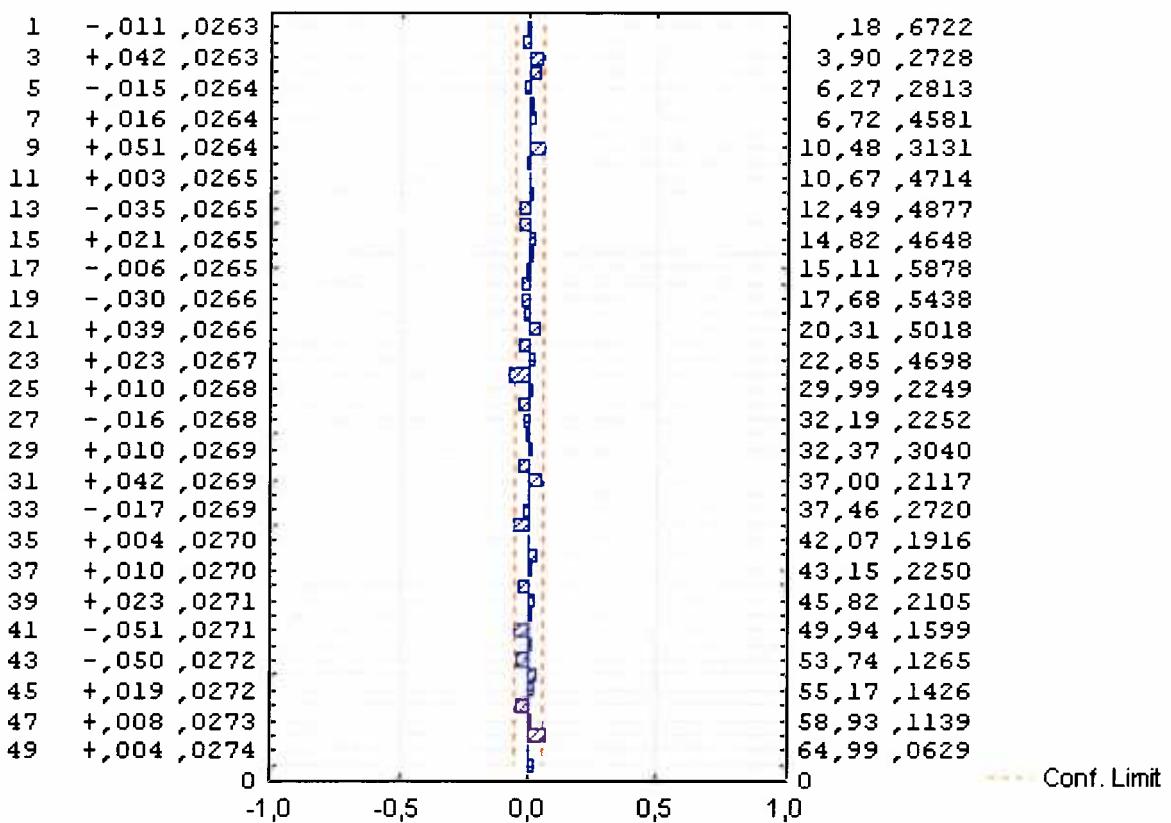
Από τα πλέον βασικά χαρακτηριστικά ενός πλήρους υποδείγματος είναι η απορρόφηση και περιγραφή του συνόλου της αυτοσυσχέτισης. Με άλλα λόγια, οι ACF και PACF των καταλοίπων δεν θα πρέπει να εμφανίζουν στατιστικά σημαντικές αυτοσυσχετίσεις. Αν συμβαίνει κάτι τέτοιο, απαιτείται επαναπροσδιορισμός του υποδείγματος.

Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης των $ARIMA(1,1,1) \times (1,0,1)_8$ καταλοίπων για 25, 50 και 100 χρονικές υστερήσεις απεικονίζεται στα Γραφήματα 4.9, 4.10 και 4.11, ενώ η συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης των καταλοίπων για 25, 50 και 100 χρονικές υστερήσεις απεικονίζεται στα Γραφήματα 4.12, 4.13 και 4.14. Είναι εμφανές ότι η υπολειπόμενη αυτοσυσχέτιση και μερική αυτοσυσχέτιση είναι στατιστικά μη σημαντικές ακόμη και για πολλές χρονικές υστερήσεις.



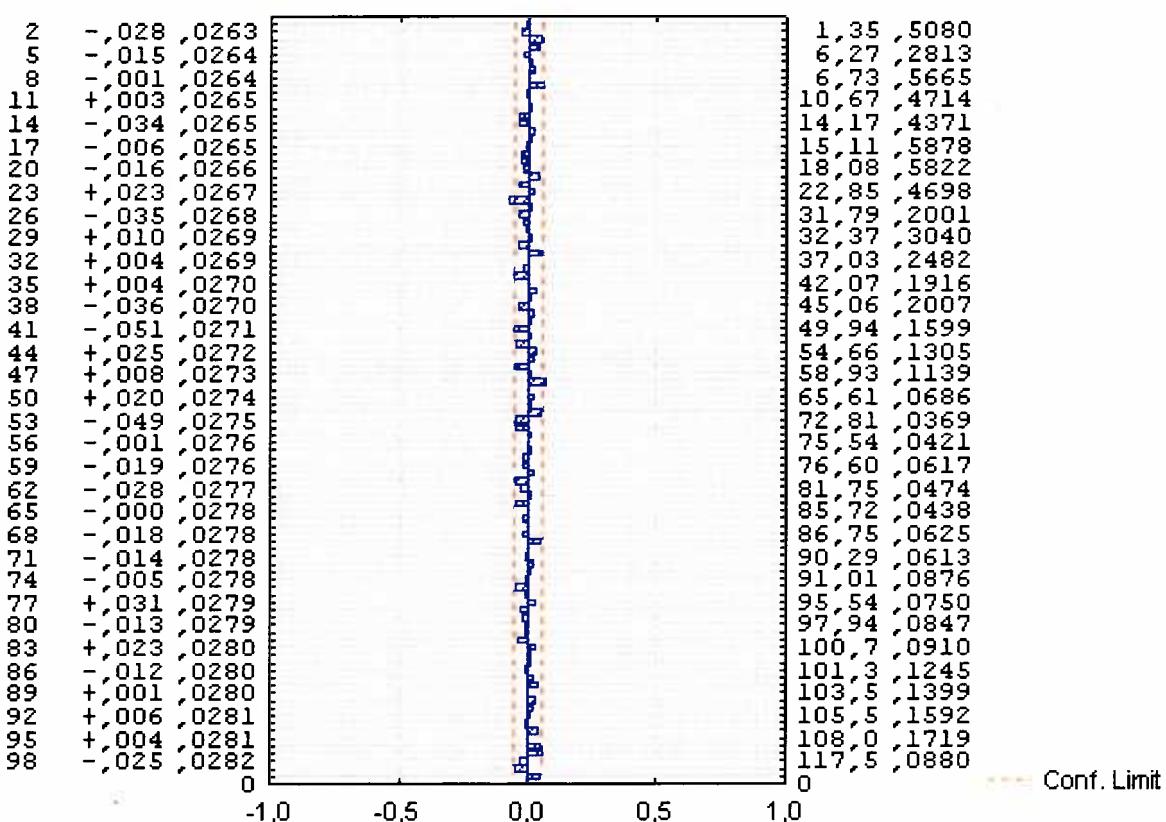
Γράφημα 4.9: Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης των $ARIMA(1,1,1) \times (1,0,1)_8$ καταλοίπων για 20 χρονικές υστερήσεις

Autocorrelation Function of ARIMA (1,1,1)(1,0,1)₈ residuals



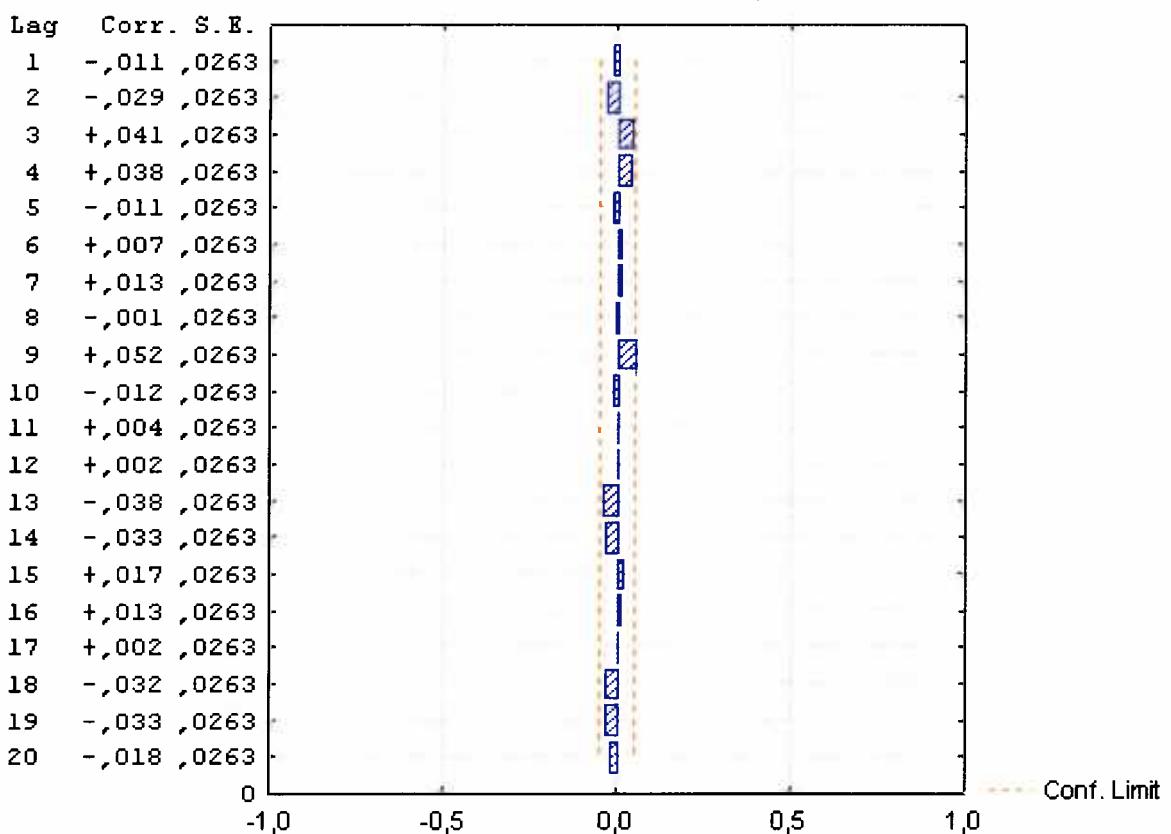
Γράφημα 4.10: Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης των $ARIMA(1,1,1)\times(1,0,1)_8$ καταλοίπων για 50 χρονικές υστερήσεις

Autocorrelation Function of ARIMA (1,1,1)(1,0,1)₈ residuals



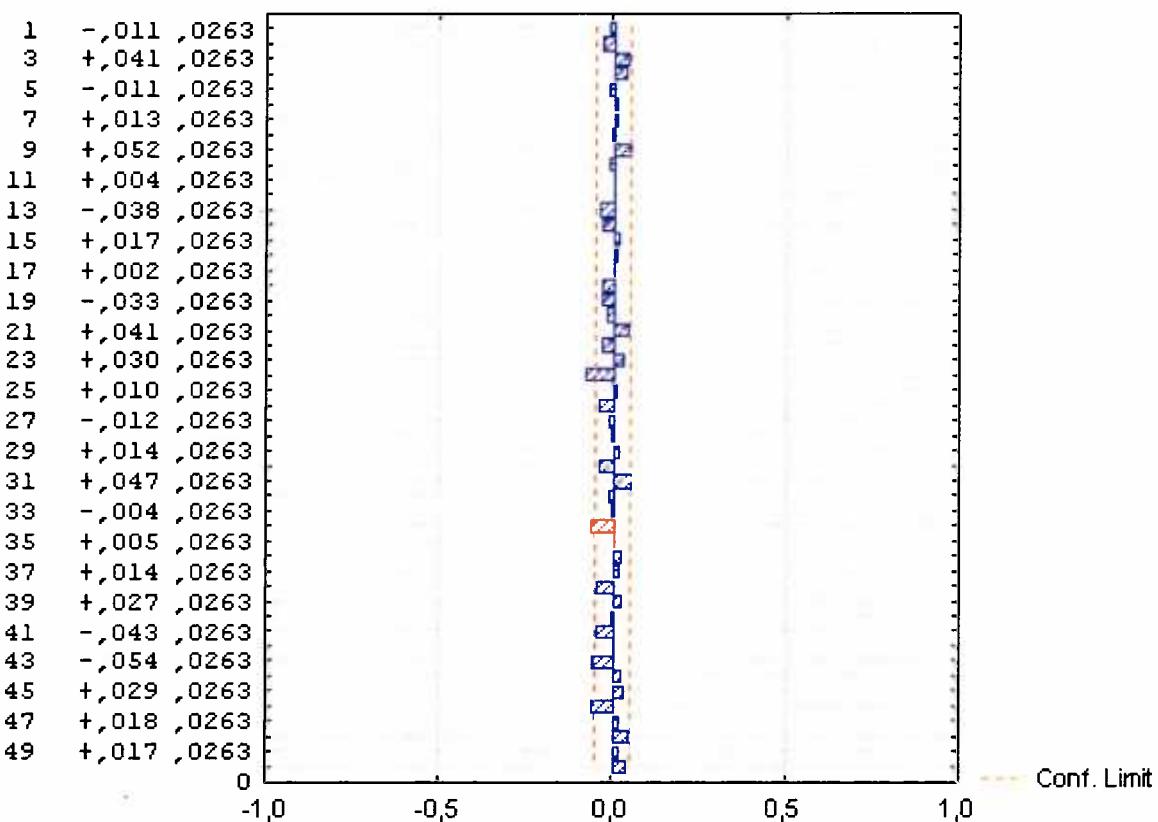
Γράφημα 4.11: Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης των $ARIMA(1,1,1)\times(1,0,1)_8$ καταλοίπων για 100 χρονικές υστερήσεις

Partial Autocorrelation Function of ARIMA (1,1,1)(1,0,1)₈ residuals



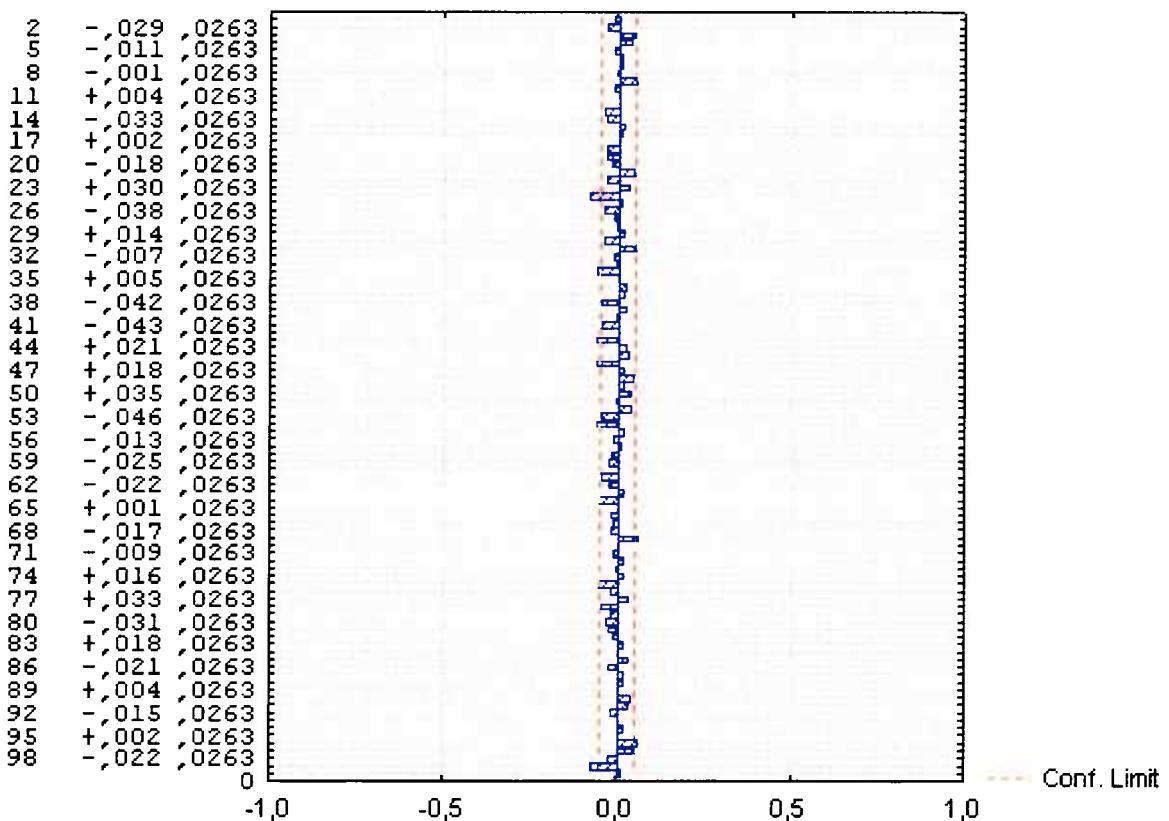
Γράφημα 4.12: Συνάρτηση μερικής αυτοσυγχέτισης των $ARIMA(1,1,1)\times(1,0,1)_8$ καταλοίπων για 20 χρονικές υστερήσεις

Partial Autocorrelation Function of ARIMA (1,1,1)(1,0,1)₈ residuals



Γράφημα 4.13: Συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης των $ARIMA(1,1,1)\times(1,0,1)_8$ καταλοίπων για 50 χρονικές υστερήσεις

Partial Autocorrelation Function of ARIMA (1,1,1)(1,0,1)₈ residuals



Γράφημα 4.14: Συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης των $ARIMA(1,1,1)\times(1,0,1)_8$ καταλοίπων για 100 χρονικές υστερήσεις

Τελικά, παρόλο που κατά τον έλεγχο κανονικότητας των $ARIMA(1,1,1)\times(1,0,1)_8$ καταλοίπων απερρίφθη η υπόθεση της κανονικότητας, μπορεί να θεωρηθεί ότι αυτά πληρούν τις απαραίτητες προϋποθέσεις ώστε να εφαρμοσθούν σε αυτά οι τεχνικές του στατιστικού ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας.

4.2 Μεθοδολογία στατιστικού ελέγχου διαδικασίας

Τα διαγράμματα ελέγχου κατασκευάζονται με χρήση του στατιστικού πακέτου Minitab. Το σύνολο των διαθέσιμων παρατηρήσεων ανέρχεται στις 1448, καθώς διατίθενται δεδομένα από τα μεσάνυχτα της 04/02/2003 έως τις 21:00 της 04/08/2003 ανά τρίωρο. Το σύνολο αυτό των 1448 παρατηρήσεων μπορεί να θεωρηθεί αφενός ως σύνολο μεμονωμένων δειγμάτων με μέγεθος

δείγματος ένα, αφετέρου ως σύνολο λιγότερων δειγμάτων με μέγεθος δείγματος μεγαλύτερο της μονάδας, ελαττώνοντας στην ουσία τη συχνότητα δειγματοληψίας. Κατά τον τρόπο αυτό, είναι δυνατό να θεωρηθούν και άλλες διαμερίσεις του αρχικού συνόλου ούτως ώστε να προκύψει πληρέστερη εικόνα της ακρίβειας του συστήματος πρόγνωσης. Στην παρούσα εργασία θεωρούνται και χρησιμοποιούνται στην κατασκευή διαγραμμάτων ελέγχου τέσσερις διαφορετικές διαμερίσεις που αντιστοιχούν σε διαφορετικούς ρυθμούς δειγματοληψίας:

Δειγματοληψία ανά τρίωρο: 1448 δείγματα μεγέθους 1 ($m = 1448, n = 1$)

Δειγματοληψία ανά ημέρα: 181 δείγματα μεγέθους 8 ($m = 181, n = 8$)

Δειγματοληψία ανά τριήμερο: 60 δείγματα μεγέθους 24 ($m = 60, n = 24$)

Δειγματοληψία ανά εβδομάδα: 26 δείγματα μεγέθους 56 ($m = 26, n = 56$)

Οι χρησιμοποιούμενες διαμερίσεις του αρχικού συνόλου δεδομένων δεν προκύπτουν κατά τυχαίο τρόπο αλλά βασίζονται τόσο στη φύση του κυματικού φαινομένου όσο και στη σημασία εξαγωγής απτών και εύχρηστων αποτελεσμάτων όσον αφορά στην ποιότητα των παρεχόμενων προγνώσεων. Το αυτοματοποιημένο σύστημα παρακολούθησης παρέχει μεμονωμένες μετρήσεις ανά τρίωρο. Η θεωρούμενη ως ημερήσια δειγματοληψία εσωκλείει την ημερήσια κυκλικότητα του κυματικού φαινομένου. Η θεωρούμενη ως δειγματοληψία ανά τριήμερο επιτρέπει τον διαχωρισμό μεμονωμένων κυματικών φαινομένων καθώς είναι γνωστό ότι η μέση διάρκεια μιας καταιγίδας κυμαίνεται περί τις τρεις ημέρες. Η θεωρούμενη ως εβδομαδιαία δειγματοληψία παρόλο που στερείται φυσικής σημασίας, κρίνεται χρήσιμη για μία πιο αδρή ανάλυση του συστήματος.

Για κάθε θεωρούμενη διαμέριση, εξαιρουμένων των μεμονωμένων δειγμάτων, εφαρμόζονται τέσσερα διαφορετικά διαγράμματα ελέγχου: το διάγραμμα ελέγχου του μέσου, το διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων, το διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων και το διάγραμμα ελέγχου συσσωρευμένων αθροισμάτων. Λόγω του ότι τα $ARIMA(1,1,1) \times (1,0,1)_8$ κατάλοιπα δεν πληρούν την υπόθεση της κανονικότητας, δεν κρίνεται

ενδεδειγμένη η χρήση διαγράμματος ελέγχου του μέσου για το σύνολο των μεμονωμένων παρατηρήσεων. Ωστόσο, παρά τη μη πλήρωση της υπόθεσης της κανονικότητας, το συγκεκριμένο διάγραμμα ενδείκνυται να εφαρμοσθεί στις υπόλοιπες τρεις διαμερίσεις όπου λαμβάνονται μέσες τιμές κατά την ανάλυση, λόγω της κανονικότητας που εμφανίζει η κατανομή των μέσων τιμών των παρατηρήσεων. Επομένως, ειδικά για το σύνολο των μεμονωμένων παρατηρήσεων, εφαρμόζονται τα υπόλοιπα τρία διαγράμματα ελέγχου (κινητών μέσων, εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων και συσσωρευμένων αθροισμάτων), τα οποία εκ φύσεως είναι τα πλέον κατάλληλα για χρήση με μεμονωμένα δείγματα.

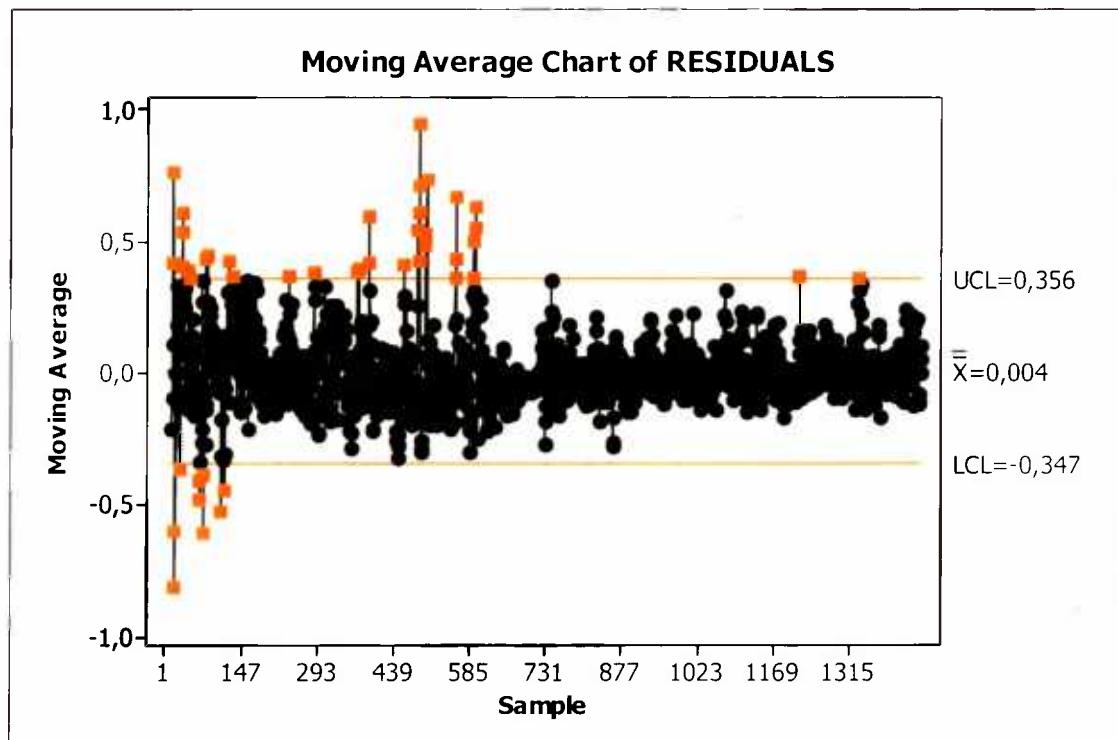


ΚΕΦΑΛΑΙΟ #5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθοδολογίας του ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας στο σύστημα παροχής κυματικών προγνώσεων ΠΟΣΕΙΔΩΝ. Παρατίθενται όλα τα διαγράμματα ελέγχου που κατασκευάσθηκαν για τις τέσσερις χρησιμοποιούμενες διαμερίσεις του συνόλου των δεδομένων και σχολιάζονται.

5.1 1^η διαμέριση: Δειγματοληψία ανά τρίωρο



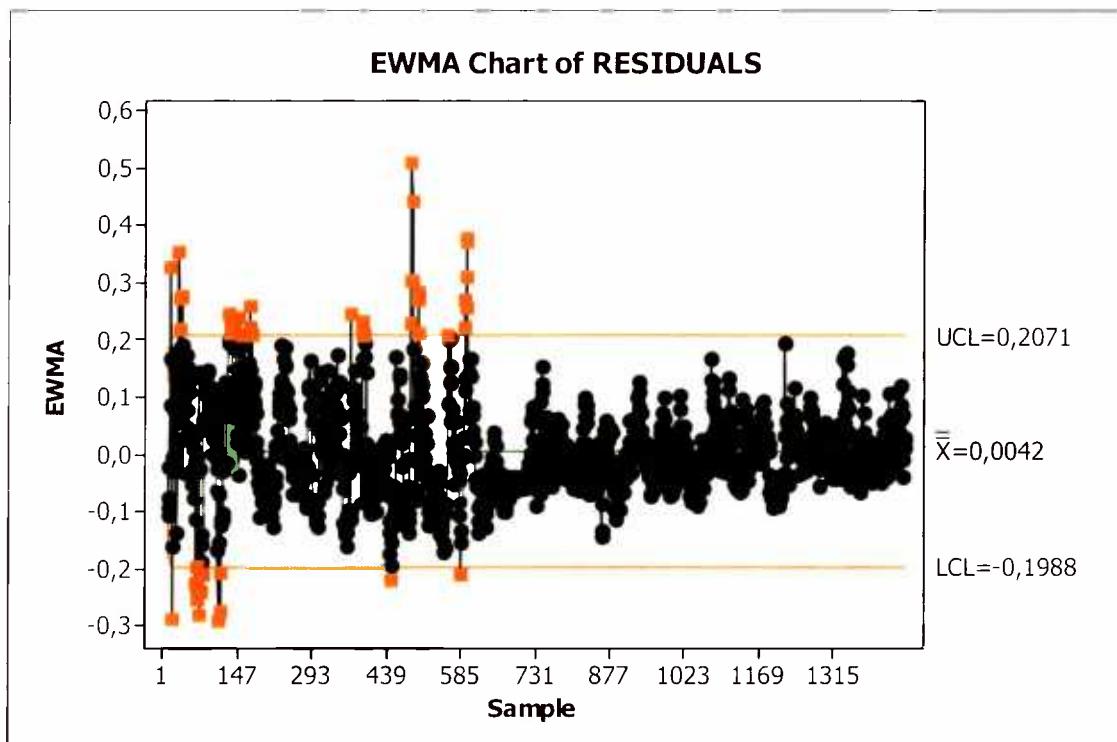
Γράφημα 5.1: Διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων για μεμονωμένα δείγματα

Στο ανωτέρω διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων, 45 σημεία προέκυψαν εκτός ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι από τους 1448 ελέγχους υποθέσεων που διενεργήθηκαν κατά την κατασκευή του συγκεκριμένου διαγράμματος, οι 45 οδήγησαν σε απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης που ισχυρίζεται σταθερότητα της διαδικασίας.

Εκ πρώτης όψεως, το πλήθος των εκτός ελέγχου σημείων δεν κρίνεται ανησυχητικά υψηλό για το συγκεκριμένο μέγεθος δείγματος, καθώς το ποσοστό τους ανέρχεται στο 3% επί του συνόλου. Ωστόσο, η κατανομή και η διάταξη αυτών κάθε άλλο παρά τυχαία μπορεί να χαρακτηριστεί. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι η συντριπτική πλειονότητης αυτών (τα 43 από τα 45) ανήκουν στο πρώτο μισό του συνόλου των διαθέσιμων παρατηρήσεων. Επίσης, τα σημεία στο δεύτερο μισό του συνόλου των παρατηρήσεων εμφανίζουν μικρότερη διασπορά περί της κεντρικής γραμμής από αυτή των σημείων του πρώτου μισού.

Δεδομένου ότι οι μήνες Ιανουάριος, Φεβρουάριος και Μάρτιος συγκροτούν την εποχή του χειμώνα όσον αφορά στο φαινόμενο του κύματος (κυματικός χειμώνας) και δεδομένου ότι το χρονικό εύρος των χρησιμοποιούμενων μετρήσεων κυμαίνεται από 04/02/2003 μέχρι και 04/08/2003, το πρώτο μισό αποτελείται από χειμέριες και πρώιμες εαρινές μετρήσεις. Το δεύτερο μισό του συνόλου του δείγματος απαρτίζεται από όψιμες εαρινές και θερινές παρατηρήσεις. Κατά συνέπεια, από το ανωτέρω διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων συνάγεται ότι η συντριπτική πλειονότητης των εκτός ελέγχου σημείων αφορούν χειμέριες ή πρώιμες εαρινές μετρήσεις.

Ο σημαντικός αριθμός εκτός ελέγχου σημείων κατά την διάρκεια της χειμέριας περιόδου σε συνδυασμό με τον αμελητέο αριθμό τέτοιων και τη μειωμένη μεταβλητότητα κατά την διάρκεια της θερινής, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το η διαδικασία κατά τη διάρκεια της χειμέριας περιόδου βρίσκεται συχνά εκτός ελέγχου παρέχοντας ανακριβείς ή λιγότερο ακριβείς προγνώσεις σε σχέση με αυτές της θερινής περιόδου κατά την οποία η διαδικασία βρίσκεται σε στατιστικό έλεγχο. Με άλλα λόγια, η ακρίβεια των παρεχόμενων από το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ κυματικών προγνώσεων μεταβάλλεται συναρτήσει της εποχής του φαινομένου,

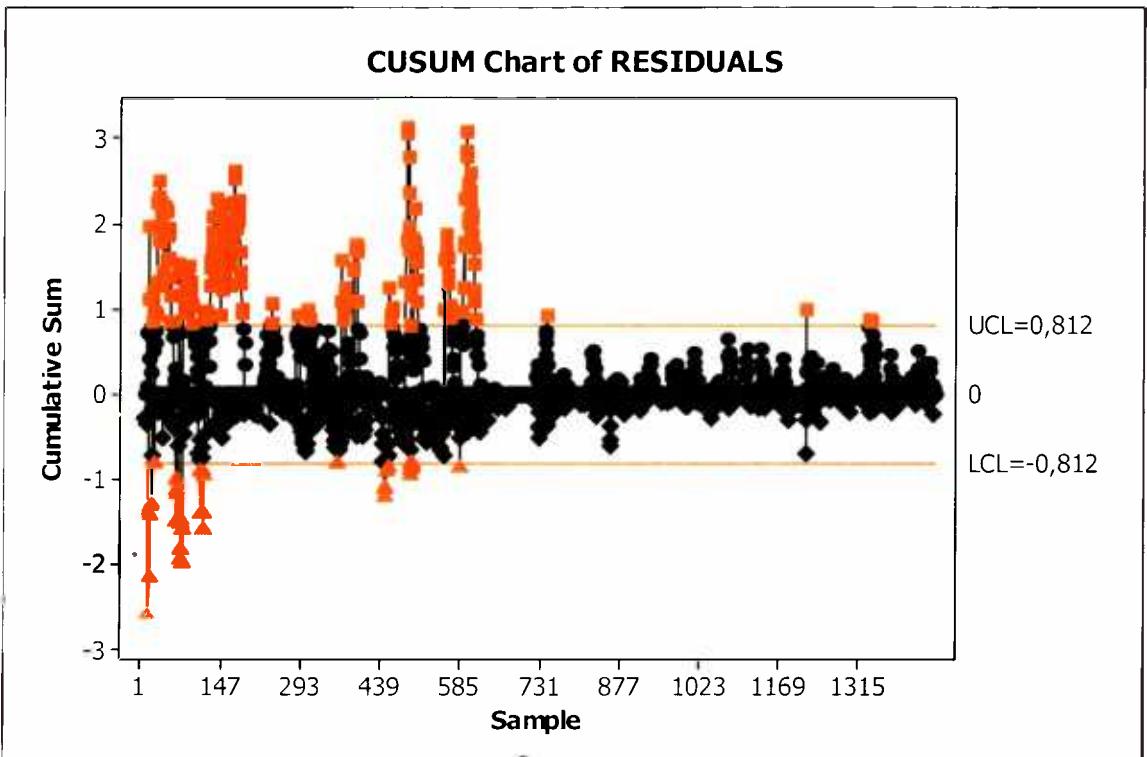


Γράφημα 5.2: Διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων για μεμονωμένα δείγματα

Στο ανωτέρω διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων, 51 σημεία προέκυψαν εκτός ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι από τους 1448 ελέγχους υποθέσεων που διενεργήθηκαν κατά την κατασκευή του συγκεκριμένου διαγράμματος, οι 51 οδήγησαν σε απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης που ισχυρίζεται σταθερότητα της διαδικασίας.

Και σε αυτή την περίπτωση, το πλήθος των εκτός ελέγχου σημείων δεν κρίνεται ανησυχητικά υψηλό για το συγκεκριμένο μέγεθος δείγματος, ωστόσο η κατανομή και η διάταξη αυτών εγείρει υπόνοιες για εκτός ελέγχου διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα, εκ των 51 εκτός ελέγχου σημείων, ουδέν αντιστοιχεί σε όψιμη εαρινή ή θερινή μέτρηση, καθώς είναι όλα συγκεντρωμένα στο πρώτο μισό του συνόλου του δείγματος. Επίσης, και στο συγκεκριμένο διάγραμμα, τα σημεία στο δεύτερο μισό του συνόλου των παρατηρήσεων εμφανίζουν σημαντικά μικρότερη διασπορά περί της κεντρικής γραμμής από αυτή των σημείων του πρώτου μισού.

Το διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων συνάδει τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά με το διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων που απεικονίζεται στο Γράφημα 5.1 και ως εκ τούτου ισχυροποιεί τα συμπεράσματα που εξήχθησαν εξ' αυτού περί μη σταθερής ακρίβειας των παρεχόμενων προγνώσεων καθ' όλη την διάρκεια του έτους.



Γράφημα 5.3: Διάγραμμα ελέγχου συσσωρευμένων αθροισμάτων για μεμονωμένα δείγματα

Στο ανωτέρω διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων, 205 σημεία προέκυψαν εκτός ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι από τους 1448 ελέγχους υποθέσεων που διενεργήθηκαν κατά την κατασκευή του συγκεκριμένου διαγράμματος, οι 205 οδήγησαν σε απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης που ισχυρίζεται σταθερότητα της διαδικασίας.

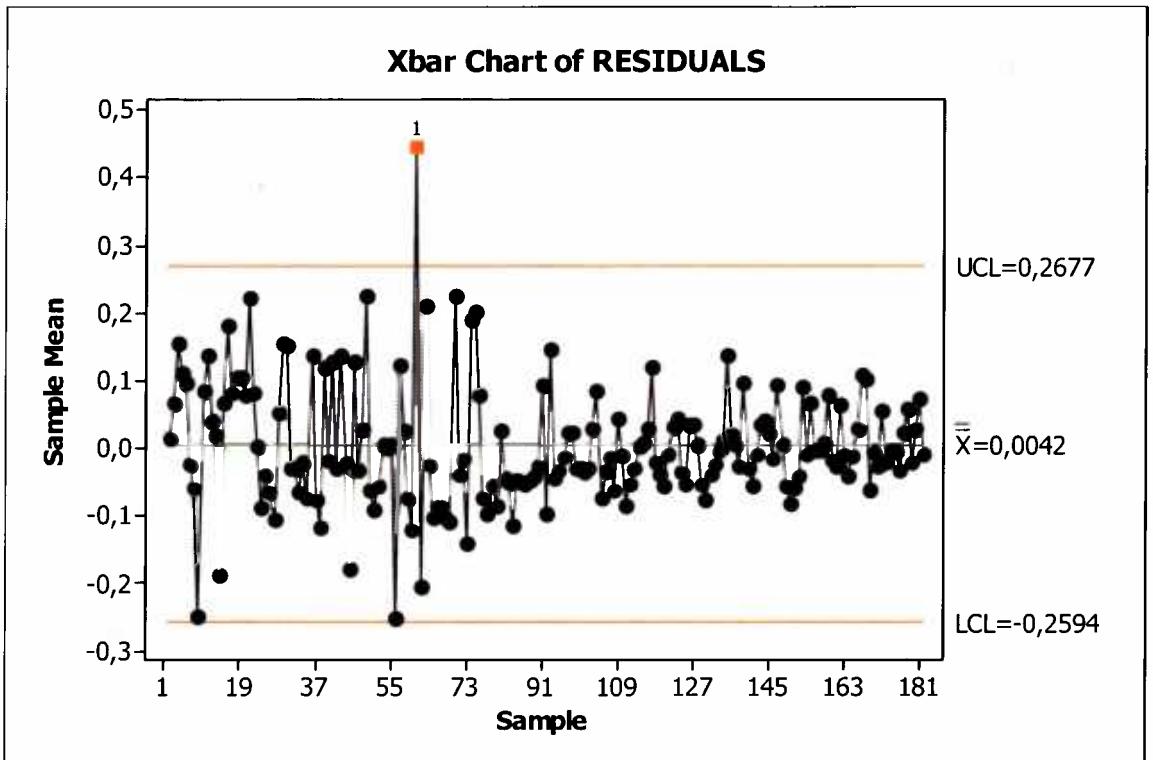
Στην περίπτωση αυτή, το πλήθος των εκτός ελέγχου παρατηρήσεων είναι σημαντικά μεγαλύτερο από αυτό των άλλων δύο διαγραμμάτων ελέγχου, τα οποία συμβαδίζουν ως προς τον αριθμό των εκτός ελέγχου σημείων τους. Το

γεγονός αυτό ίσως υποδεικνύει πιθανή υπερευαισθησία του συγκεκριμένου διαγράμματος ελέγχου.

Όσον αφορά στην διάταξη των εκτός ελέγχου σημείων, και στο διάγραμμα αυτό, η συντριπτική πλειονότητας αυτών (τα 201 από τα 205) ανήκουν στο πρώτο μισό του συνόλου των διαθέσιμων παρατηρήσεων, δηλαδή αφορούν χειμέριες ή πρώιμες εαρινές παρατηρήσεις. Επίσης, και πάλι η διασπορά των σημείων περί της κεντρικής γραμμής εμφανίζεται σημαντικά μικρότερη στο δεύτερο μισό του συνόλου των παρατηρήσεων.

Επομένως, το διάγραμμα ελέγχου συσσωρευμένων αθροισμάτων συνάδει ποιοτικά, τόσο με το διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων που απεικονίζεται στο Γράφημα 5.1, όσο και με το διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων που απεικονίζεται στο Γράφημα 5.2. Ως εκ τούτου, ισχυροποιεί τα συμπεράσματα που εξήχθησαν εξ' αυτών περί μη σταθερής ακρίβειας των παρεχόμενων από το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ προγνώσεων καθ' όλη την διάρκεια του έτους.

5.2 2^η διαμέριση: Ημερήσια δειγματοληψία

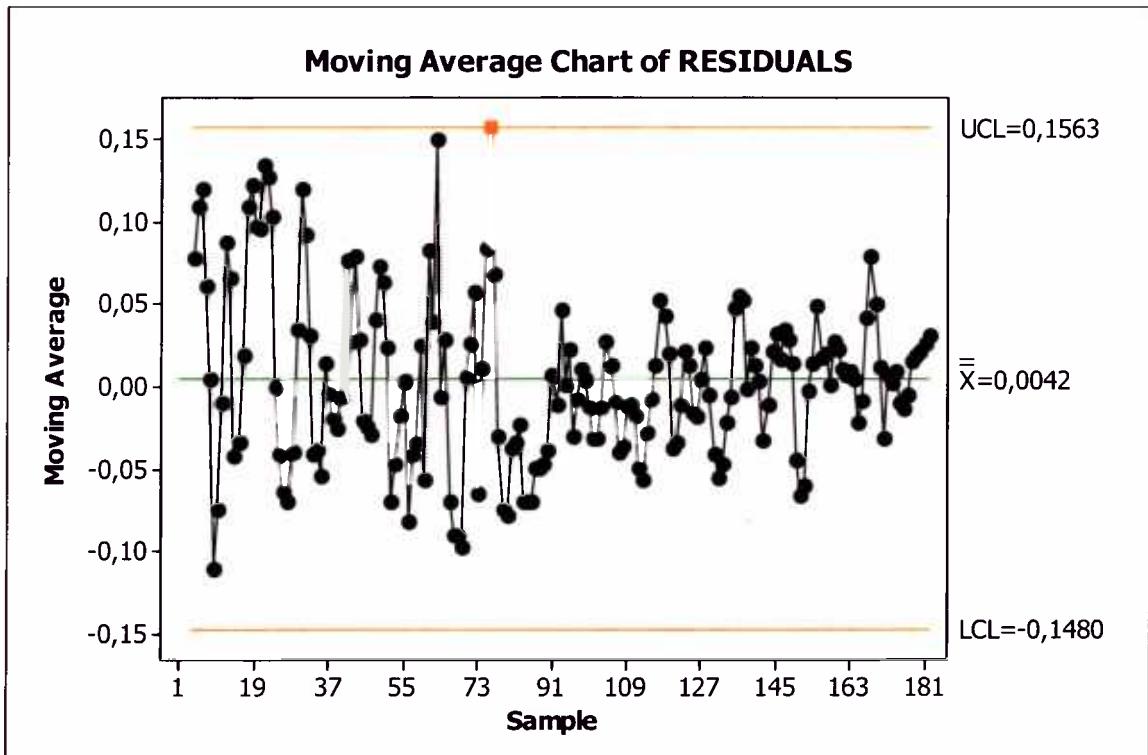


Γράφημα 5.4: Διάγραμμα ελέγχου του μέσου για δείγματα μεγέθους 8

Στο ανωτέρω διάγραμμα ελέγχου του μέσου, ένα σημείο (το \bar{x}_{61}) προέκυψε εκτός ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι από τους 181 ελέγχους υποθέσεων που διενεργήθηκαν κατά την κατασκευή του συγκεκριμένου διαγράμματος, μόνο ένας οδήγησε σε απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης που ισχυρίζεται σταθερότητα της διαδικασίας.

Το ένα και μοναδικό εκτός ελέγχου σημείο δεν αποτελεί ισχυρή ένδειξη ότι η διαδικασία παροχής προγνώσεων βρίσκεται εκτός στατιστικού ελέγχου, καθώς μπορεί πάντα να ερμηνευθεί ως σφάλμα τύπου I. Ωστόσο, η διάταξη των παρατηρήσεων φανερώνει μία δομή αρκετά ύποπτη που δύσκολα μπορεί να χαρακτηριστεί τυχαία. Συγκεκριμένα, εμφανίζεται σημαντική μείωση της μεταβλητότητας των παρατηρήσεων από 76° περίπου σημείο και μετά. Η δομή αυτή καταδεικνύει κάποια μεταβολή της διαδικασίας προς το καλύτερο, περίπου στο μέσο του συνόλου των παρατηρήσεων και συνάδει απόλυτα με τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τα διαγράμματα ελέγχου για μεμονωμένα

δείγματα που παρουσιάσθηκαν στο προηγούμενο εδάφιο. Η 76^η παρατήρηση αντιστοιχεί στο 608^ο μεμονωμένο δείγμα και τοποθετείται χρονικά περίπου στο μέσο της εαρινής περιόδου. Δηλαδή, ακόμη και με πιο αδρή διαμέριση, το φαινόμενο της χρονικά μεταβαλλόμενης απόδοσης του συστήματος όσον αφορά στην ακρίβεια των παρεχόμενων προγνώσεων, συνεχίζει να είναι ορατό.

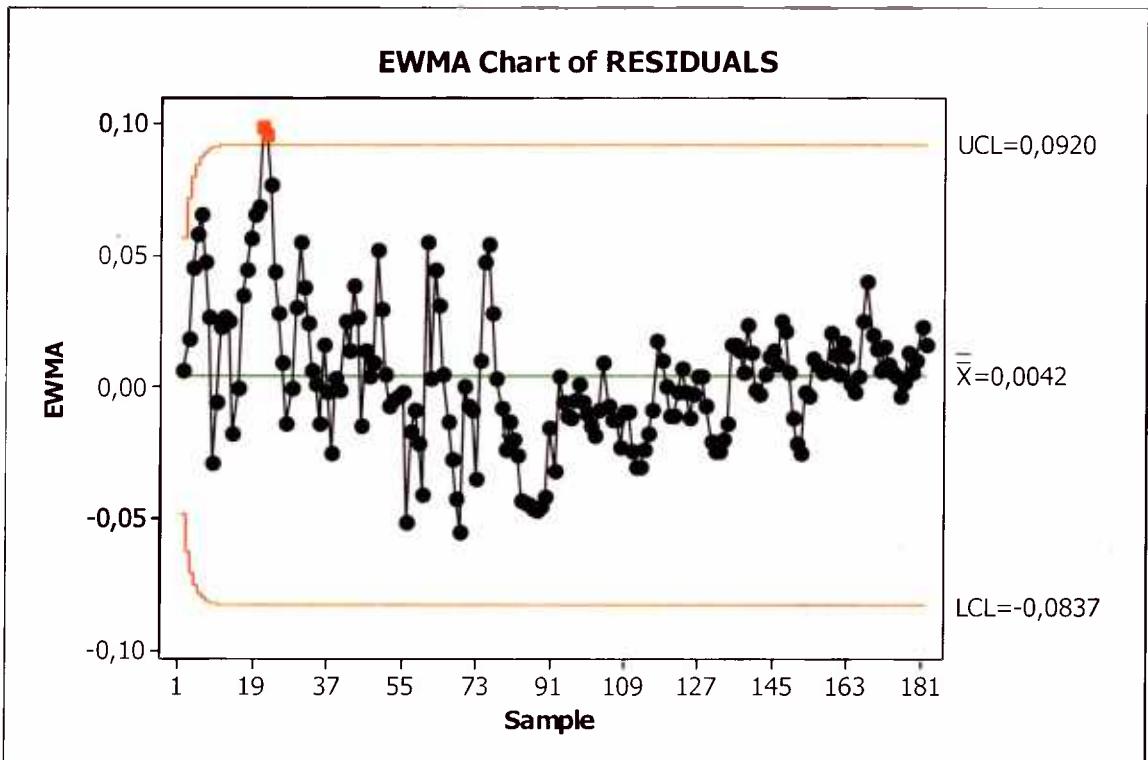


Γράφημα 5.5: Διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων για δείγματα μεγέθους 8

Στο ανωτέρω διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων, ένα σημείο (το M_{76}) προέκυψε εκτός ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι από τους 181 ελέγχους υποθέσεων που διενεργήθηκαν κατά την κατασκευή του συγκεκριμένου διαγράμματος, μόνο ένας οδήγησε σε απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης που ισχυρίζεται σταθερότητα της διαδικασίας.

Και στην περίπτωση αυτή, το ένα και μοναδικό εκτός ελέγχου σημείο δεν αποτελεί ισχυρή ένδειξη ότι η διαδικασία παροχής προγνώσεων βρίσκεται εκτός στατιστικού ελέγχου, καθώς μπορεί πάντα να ερμηνευθεί ως σφάλμα τύπου I. Ωστόσο, και σε αυτό το διάγραμμα, η διάταξη των παρατηρήσεων

δεν εμφανίζει τυχαία πρότυπα. Πιο συγκεκριμένα, εμφανίζεται σημαντική μείωση της μεταβλητότητας των παρατηρήσεων από 78° περίπου σημείο και μετά. Η δομή αυτή καταδεικνύει μεταβολή της διαδικασίας προς το καλύτερο, περίπου στο μέσο του συνόλου των παρατηρήσεων και συνάδει απόλυτα τόσο με τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τα διαγράμματα ελέγχου για μεμονωμένα δείγματα που παρουσιάσθηκαν στο προηγούμενο εδάφιο, όσο και με το διάγραμμα ελέγχου του μέσου που απεικονίζεται στο Γράφημα 5.4. Η 78° τοποθετείται χρονικά περίπου στο μέσο της εαρινής περιόδου. Δηλαδή, το φαινόμενο της χρονικά μεταβαλλόμενης απόδοσης του συστήματος όσον αφορά στην ακρίβεια των παρεχόμενων προγνώσεων, συνεχίζει να είναι ορατό παρόλο που δεν προκύπτει σημαντικός αριθμός εκτός ελέγχου σημείων.



Γράφημα 5.6: Διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων για δείγματα μεγέθους 8

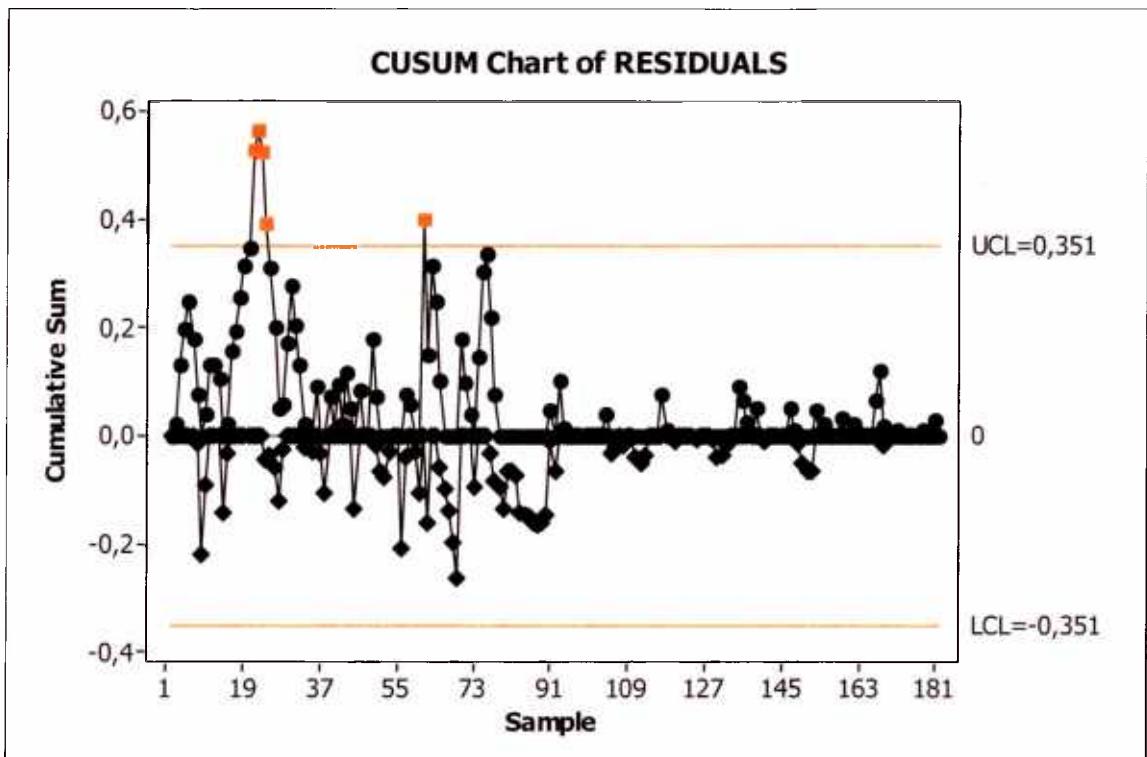
Στο ανωτέρω διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων, δύο σημεία (z_{21} και z_{22}) προέκυψαν εκτός ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι από τους 181 ελέγχους υποθέσεων που διενεργήθηκαν κατά την κατασκευή του

συγκεκριμένου διαγράμματος, μόνο δύο οδήγησαν σε απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης που ισχυρίζεται σταθερότητα της διαδικασίας.

Και στην περίπτωση αυτή, το πλήθος των εκτός ελέγχου σημείων δεν αποτελεί ισχυρή ένδειξη ότι η διαδικασία παροχής προγνώσεων βρίσκεται εκτός στατιστικού ελέγχου. Ωστόσο, και σε αυτό το διάγραμμα, εμφανίζεται το πρότυπο σημαντικής μείωσης της διακύμανσης, από το 79^o περίπου σημείο του συνόλου των παρατηρήσεων και μετά.

Δηλαδή, το φαινόμενο της χρονικά μεταβαλλόμενης απόδοσης του συστήματος όσον αφορά στην ακρίβεια των παρεχόμενων προγνώσεων, συνεχίζει να είναι ορατό παρόλο που δεν προκύπτει σημαντικός αριθμός εκτός ελέγχου σημείων.

Επομένως, το διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων συνάδει ποιοτικά, τόσο με το διάγραμμα ελέγχου του μέσου που απεικονίζεται στο Γράφημα 5.4, όσο και με το διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων που απεικονίζεται στο Γράφημα 5.5. Ως εκ τούτου, ισχυροποιεί τα συμπεράσματα που εξήχθησαν εξ' αυτών. Ακόμη, επισημαίνεται και πάλι ότι παρά την πιο αδρή διαμέριση (δειγματοληψία ανά ημέρα \Rightarrow δείγματα μεγέθους οκτώ) σε σχέση με αυτή των μεμονωμένων δειγμάτων, το φαινόμενο της μη σταθερής απόδοσης του συστήματος συνεχίζει να είναι εμφανές, παρόλο που δεν προκύπτει σημαντικός αριθμός εκτός ελέγχου σημείων.



Γράφημα 5.7: Διάγραμμα ελέγχου συσσωρευμένων αθροισμάτων για δείγματα μεγέθους 8

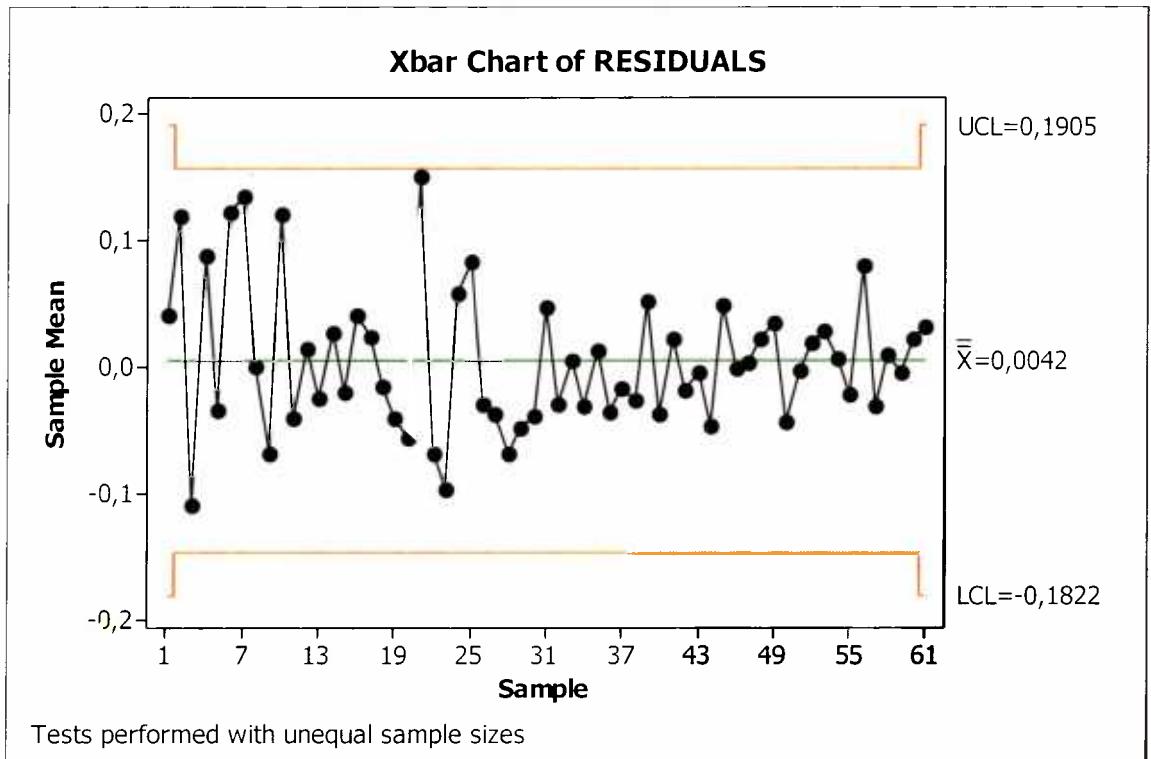
Στο ανωτέρω διάγραμμα ελέγχου συσσωρευμένων αθροισμάτων, πέντε σημεία ($C_{21}, C_{22}, C_{23}, C_{24}$ και C_{61}) προέκυψαν εκτός ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι από τους 181 ελέγχους υποθέσεων που διενεργήθηκαν κατά την κατασκευή του συγκεκριμένου διαγράμματος, πέντε οδήγησαν σε απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης που ισχυρίζεται σταθερότητα της διαδικασίας παροχής προγνώσεων.

Στην περίπτωση αυτή, το πλήθος των εκτός ελέγχου σημείων σε συνδυασμό με το πλήθος των εντός ελέγχου σημείων που όμως βρίσκονται πολύ κοντά στο άνω όριο ελέγχου, αποτελεί ένδειξη ότι η διαδικασία παροχής προγνώσεων βρίσκεται εκτός στατιστικού ελέγχου. Επιπλέον, το πρότυπο σημαντικής μείωσης της διακύμανσης, από το μέσο του συνόλου των παρατηρήσεων και μετά, είναι ιδιαίτερα εμφανές στο συγκεκριμένο διάγραμμα.

Τα δύο από τα πέντε εκτός ελέγχου σημεία (C_{21} και C_{21}) ταυτίζονται με τα σημεία που προέκυψαν εκτός ελέγχου στο διάγραμμα εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων (z_{21} και z_{22}) του Γραφήματος 5.6. Το εκτός ελέγχου σημείο C_{61} ταυτίζεται με το σημείο που προέκυψε εκτός ελέγχου στο διάγραμμα ελέγχου του μέσου (\bar{x}_{61}) του Γραφήματος 5.4. Τα άλλα δύο εκτός ελέγχου σημεία (C_{23} και C_{24}) δεν προέκυψαν εκτός ελέγχου σε κανένα άλλο διάγραμμα της συγκεκριμένης διαμέρισης, ενώ το σημείο που προέκυψε εκτός ελέγχου στο διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων (M_{76}) του Γραφήματος 5.5, εμφανίζεται στο ανωτέρω διάγραμμα ελέγχου συσσωρευμένων αθροισμάτων πολύ κοντά στο άνω όριο ελέγχου. Δεδομένων αυτών, το συγκεκριμένο διάγραμμα ελέγχου αποδεικνύεται περισσότερο ευαίσθητο, τουλάχιστον για την υπό μελέτη διαδικασία.

Τελικά, το διάγραμμα ελέγχου συσσωρευμένων αθροισμάτων, αν και ελαφρώς περισσότερο ευαίσθητο, συμφωνεί με τα υπόλοιπα διαγράμματα ελέγχου που εφαρμόσθηκαν για την συγκεκριμένη διαμέριση (δειγματοληψία ανά ημέρα), ενισχύοντας με τον τρόπο αυτό τα συμπεράσματα που έχουν ήδη εξαχθεί.

5.3 3^η διαμέριση: Δειγματοληψία ανά τριήμερο

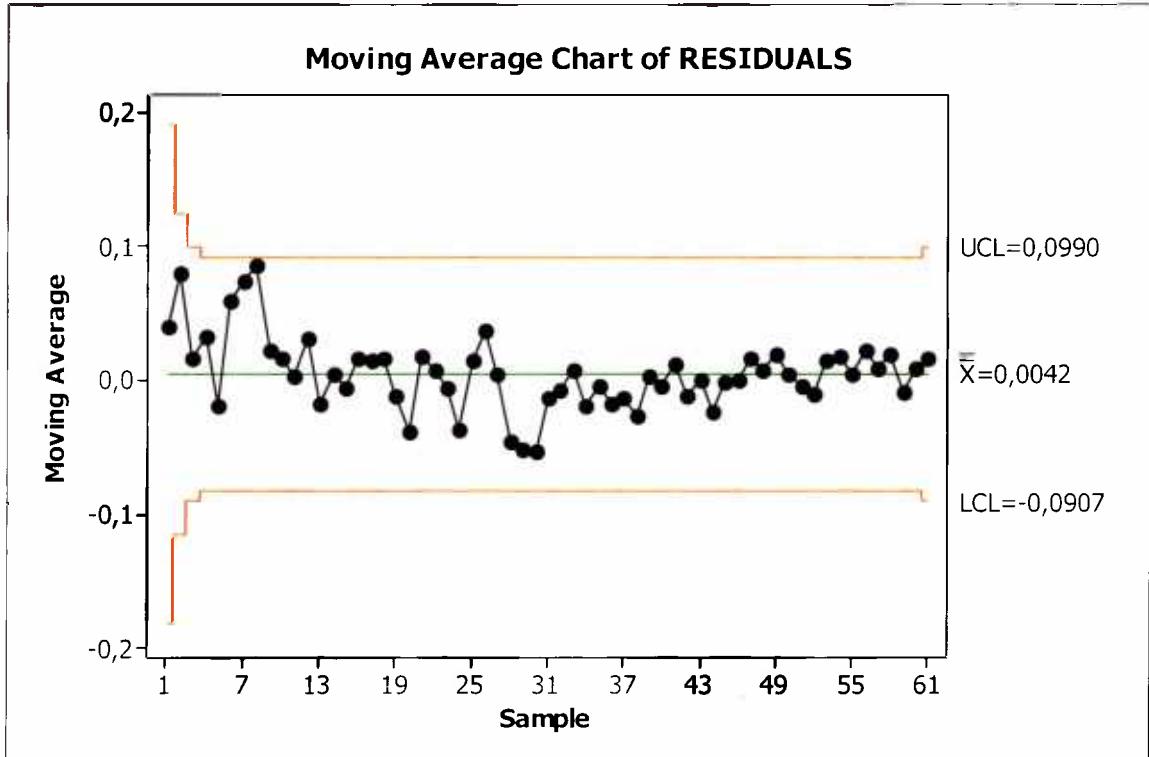


Γράφημα 5.8: Διάγραμμα ελέγχου του μέσου για δείγματα μεγέθους 24

Στο ανωτέρω διάγραμμα ελέγχου του μέσου, κανένα σημείο δεν προέκυψε εκτός ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι από τους 61 ελέγχους υποθέσεων που διενεργήθηκαν κατά την κατασκευή του συγκεκριμένου διαγράμματος, κανείς δεν οδήγησε σε απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης που ισχυρίζεται σταθερότητα της διαδικασίας παροχής προγνώσεων.

Παρά την απουσία εκτός ελέγχου σημείων, η διάταξη των διαδοχικών σημείων δεν εμφανίζει αμιγώς τυχαία πρότυπα. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μη αμελητέα μείωση της διασποράς των παρατηρήσεων από το 26^ο σημείο και μετά. Η δομή αυτή καταδεικνύει κάποια μεταβολή της διαδικασίας προς το καλύτερο, λίγο πριν το μέσο του συνόλου των παρατηρήσεων και συνάδει ποιοτικά με τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τα διαγράμματα ελέγχου για δειγματοληψία ανά τρίωρο (μεμονωμένα δείγματα) και ανά ημέρα, που παρουσιάσθηκαν στα προηγούμενα εδάφια. Η 26^η παρατήρηση τοποθετείται χρονικά περίπου στο μέσο της εαρινής περιόδου. Δηλαδή, ακόμη και με πιο

αδρή διαμέριση, το φαινόμενο της χρονικά μεταβαλλόμενης απόδοσης του συστήματος όσον αφορά στην ακρίβεια των παρεχόμενων προγνώσεων, συνεχίζει να είναι ορατό.

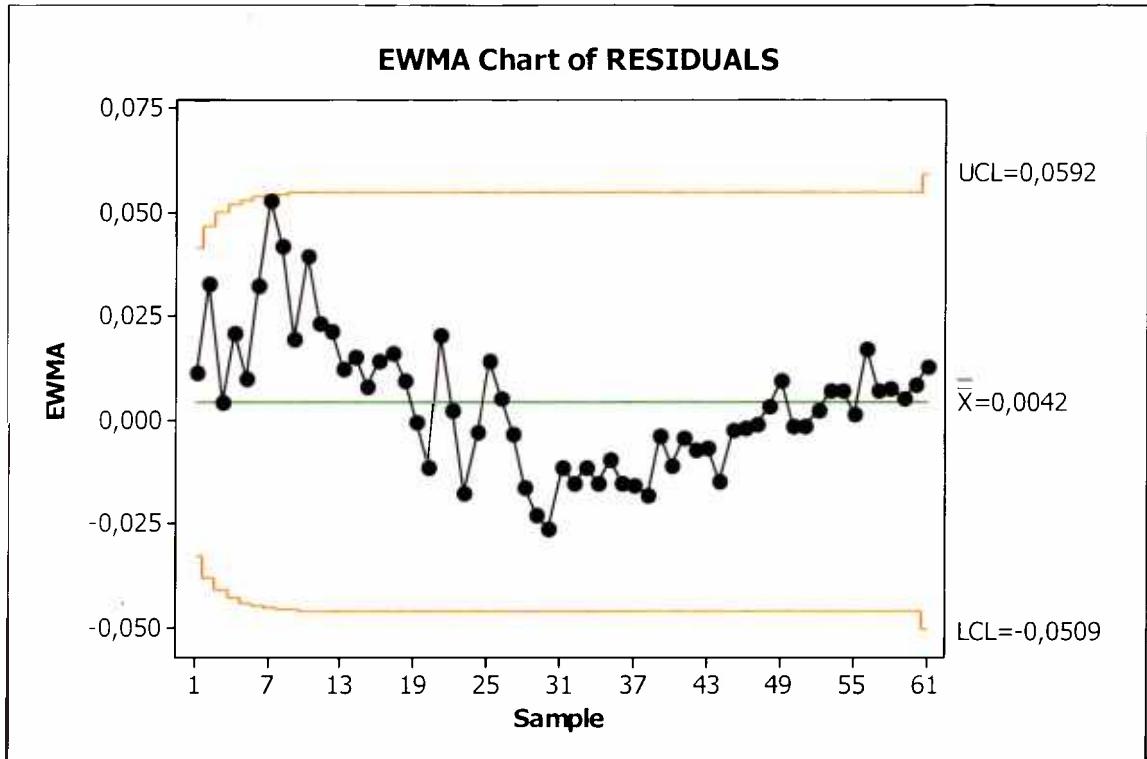


Γράφημα 5.9: Διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων για δείγματα μεγέθους 24

Στο ανωτέρω διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων, κανένα σημείο δεν προέκυψε εκτός ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι από τους 61 ελέγχους υποθέσεων που διενεργήθηκαν κατά την κατασκευή του συγκεκριμένου διαγράμματος, κανείς δεν οδήγησε σε απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης που ισχυρίζεται σταθερότητα της διαδικασίας παροχής προγνώσεων.

Ωστόσο, παρά την απουσία εκτός ελέγχου σημείων, και στην περίπτωση αυτή η διάταξη των διαδοχικών σημείων εμφανίζεται ύποπτη. Συγκεκριμένα, παρατηρείται σημαντική μείωση της διασποράς των παρατηρήσεων από το 26^o σημείο και μετά, το οποίο τοποθετείται χρονικά περίπου στο μέσο της εαρινής περιόδου. Η δομή αυτή καταδεικνύει κάποια μεταβολή της διαδικασίας προς το καλύτερο, λίγο πριν το μέσο του συνόλου των παρατηρήσεων. Το διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων συμφωνεί απόλυτα με

το διάγραμμα ελέγχου του μέσου που παρουσιάζεται στο Γράφημα 5.8 και ως εκ τούτου ενισχύει και αυτό τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τα διαγράμματα ελέγχου για δειγματοληψία ανά τρίωρο (μεμονωμένα δείγματα) και ανά ημέρα, που παρουσιάσθηκαν στα προηγούμενα εδάφια.

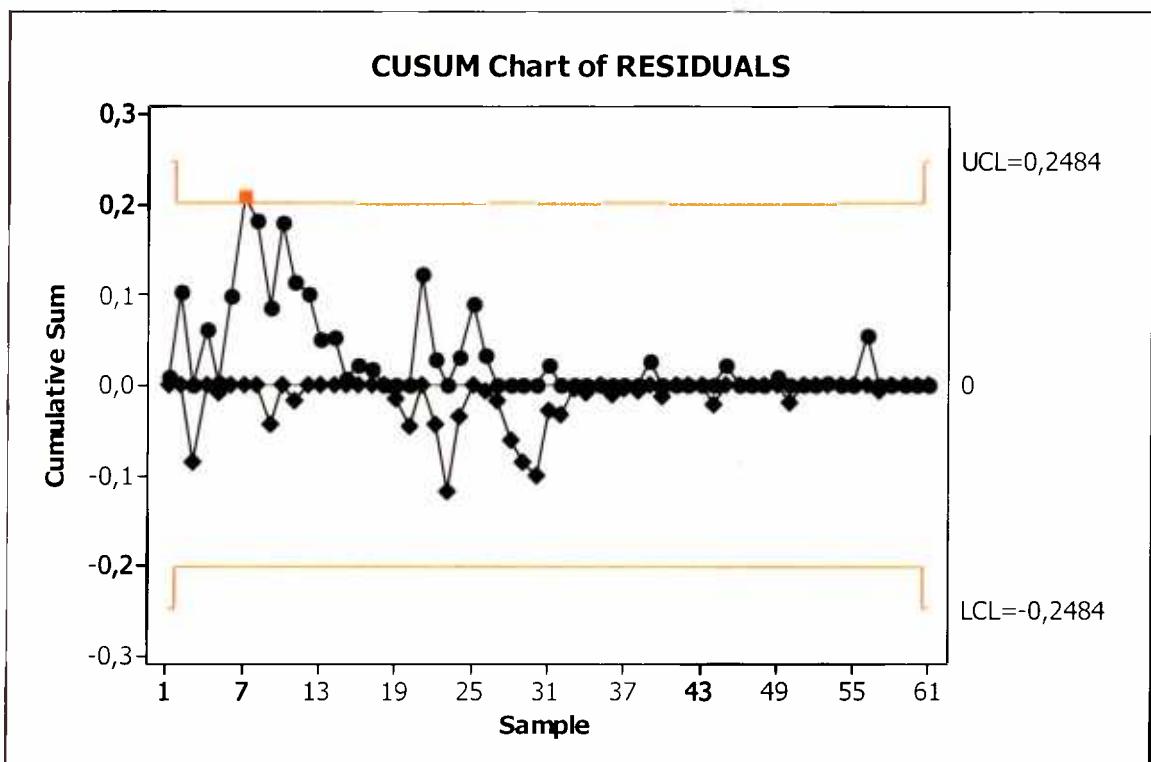


Γράφημα 5.10: Διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων για δείγματα μεγέθους 24

Στο ανωτέρω διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων, κανένα σημείο δεν προέκυψε εκτός ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι από τους 61 ελέγχους υποθέσεων που διενεργήθηκαν κατά την κατασκευή του συγκεκριμένου διαγράμματος, κανείς δεν οδήγησε σε απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης που ισχυρίζεται σταθερότητα της διαδικασίας παροχής προγνώσεων.

Και σε αυτή την περίπτωση και παρά την απουσία εκτός ελέγχου σημείων, η διάταξη των διαδοχικών σημείων εμφανίζεται ύποπτη. Κατά όμοιο τρόπο, παρατηρείται σημαντική μείωση της διασποράς των παρατηρήσεων από το 28^o σημείο και μετά, το οποίο τοποθετείται χρονικά περίπου στο μέσο της

εαρινής περιόδου. Η δομή αυτή καταδεικνύει κάποια μεταβολή της διαδικασίας προς το καλύτερο, λίγο πριν το μέσο του συνόλου των παρατηρήσεων. Το διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων συμφωνεί απόλυτα τόσο με το διάγραμμα ελέγχου του μέσου που παρουσιάζεται στο Γράφημα 5.8, όσο και το διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων παρουσιάζεται στο Γράφημα 5.9. Ως εκ τούτου, ενισχύει τα συμπεράσματα που εξήχθησαν εξ' αυτών.



Γράφημα 5.11: Διάγραμμα ελέγχου συσσωρευμένων αθροισμάτων για δείγματα μεγέθους 24

Στο ανωτέρω διάγραμμα ελέγχου συσσωρευμένων αθροισμάτων, ένα σημείο (το C_{61}) προέκυψε εκτός ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι από τους 61 ελέγχους υποθέσεων που διενεργήθηκαν κατά την κατασκευή του συγκεκριμένου διαγράμματος, μόνο ένας οδήγησε σε απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης που ισχυρίζεται σταθερότητα της διαδικασίας παροχής προγνώσεων.

Το ένα και μοναδικό εκτός ελέγχου σημείο δεν αποτελεί ισχυρή ένδειξη ότι η διαδικασία παροχής προγνώσεων βρίσκεται εκτός στατιστικού ελέγχου,

καθώς μπορεί πάντα να ερμηνευθεί ως σφάλμα τύπου I. Ωστόσο, το συγκεκριμένο εκτός ελέγχου σημείο προκύπτει πολύ κοντά στο άνω όριο ελέγχου στα υπόλοιπα διαγράμματα της συγκεκριμένης διαμέρισης. Επομένως, δεν κρίνεται φρόνιμο να ερμηνευθεί ως σφάλμα τύπου I.

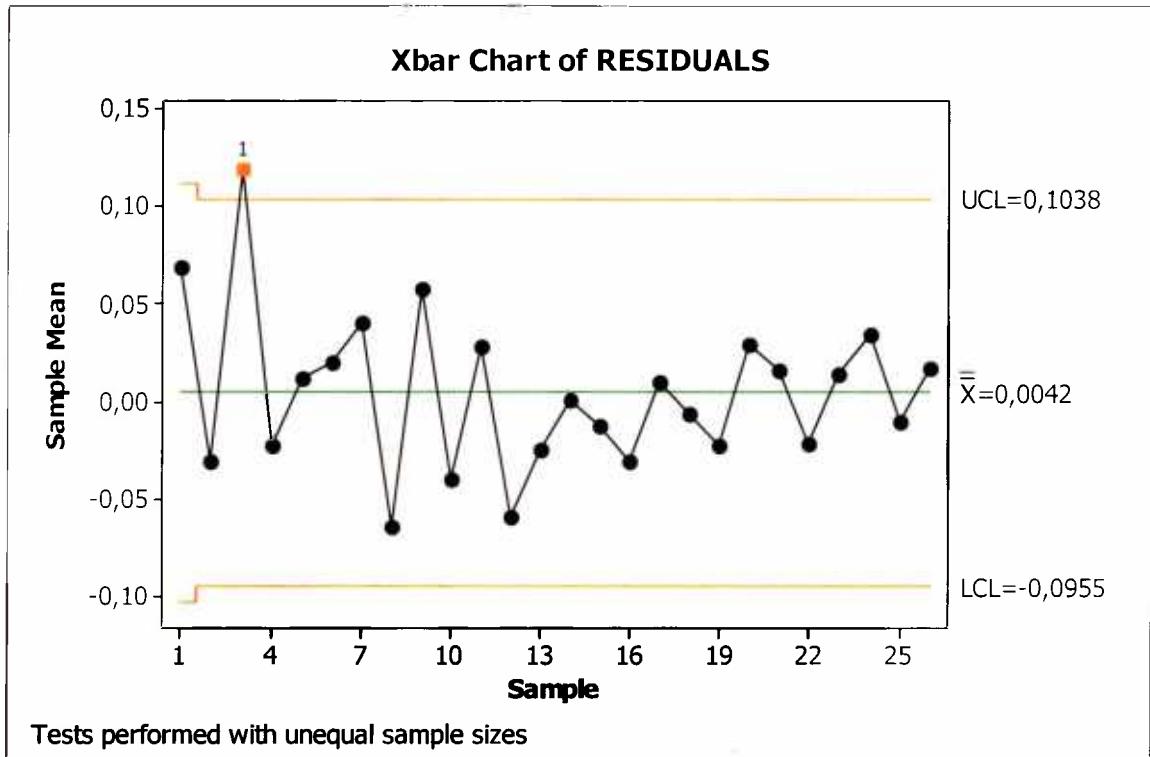
Όσον αφορά στην διάταξη των παρατηρήσεων στο διάγραμμα αυτό, και εδώ εμφανίζεται η μη τυχαία δομή που έχει εμφανισθεί σε όλα τα διαγράμματα: μείωση της διακύμανσης περί της κεντρικής γραμμής των παρατηρήσεων. Ιδιαίτερα για το συγκεκριμένο διάγραμμα, η μείωση αυτή είναι ιδιαίτερα έντονη. Επομένως, καθώς το διάγραμμα ελέγχου συσσωρευμένων αθροισμάτων συνάδει με τα υπόλοιπα διαγράμματα που κατασκευάσθηκαν για μέγεθος δείγματος 24, ενισχύει τα συμπεράσματα που εξήχθησαν εξ' αυτών.

Τελικά, ακόμη και με πιο αδρή διαμέριση, το φαινόμενο της χρονικά μεταβαλλόμενης απόδοσης του συστήματος όσον αφορά στην ακρίβεια των παρεχόμενων προγνώσεων, συνεχίζει να είναι ορατό, παρόλο που αυξανομένου του μεγέθους δείγματος τα φαινόμενο τείνει να φθίνει.

~



5.4 4^η διαμέριση: Εβδομαδιαία δειγματοληψία



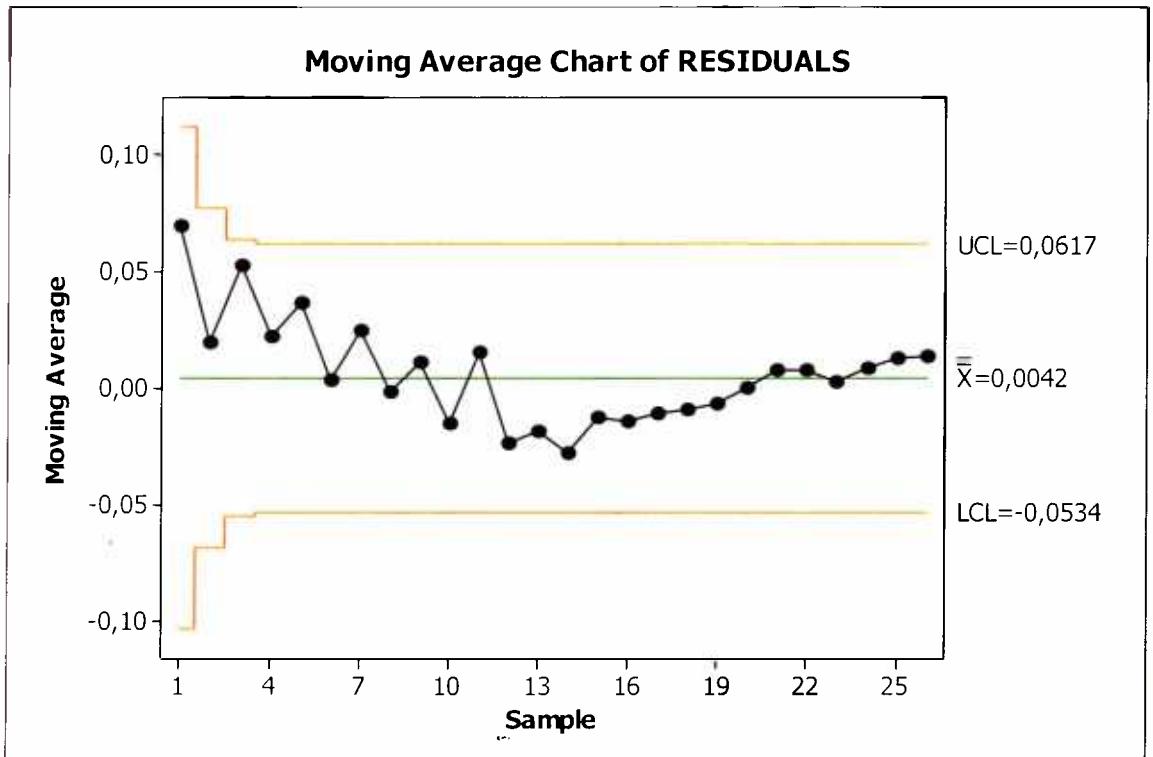
Γράφημα 5.12: Διάγραμμα ελέγχου του μέσου για δείγματα μεγέθους 56

Στο ανωτέρω διάγραμμα ελέγχου του μέσου, ένα σημείο (το \bar{x}_3) προέκυψε εκτός ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι από τους 26 ελέγχους υποθέσεων που διενεργήθηκαν κατά την κατασκευή του συγκεκριμένου διαγράμματος, μόνο ένας οδήγησε σε απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης που ισχυρίζεται σταθερότητα της διαδικασίας παροχής προγνώσεων.

Το ένα και μοναδικό εκτός ελέγχου σημείο δεν αποτελεί ισχυρή ένδειξη ότι η διαδικασία παροχής προγνώσεων βρίσκεται εκτός στατιστικού ελέγχου, καθώς μπορεί πάντα να ερμηνευθεί ως σφάλμα τύπου I.

Οσον αφορά στην διάταξη των παρατηρήσεων στο διάγραμμα αυτό, παρατηρείται ότι η δομή μείωσης της διακύμανσης, παρόλο που συνεχίζει να υφίσταται, είναι λιγότερο έντονη. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενό δεδομένης της αύξησης του μεγέθους δείγματος.

Βάσει λοιπόν μόνο του συγκεκριμένου διαγράμματος, δεν είναι δυνατόν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με την εξέλιξη της διαδικασίας παροχής προγνώσεων. Δεδομένων όμως όλων των προηγούμενων διαγραμμάτων, το διάγραμμα αυτό καθίσταται ικανό να υποστηρίξει τα συμπεράσματα που έχουν ήδη εξαχθεί.



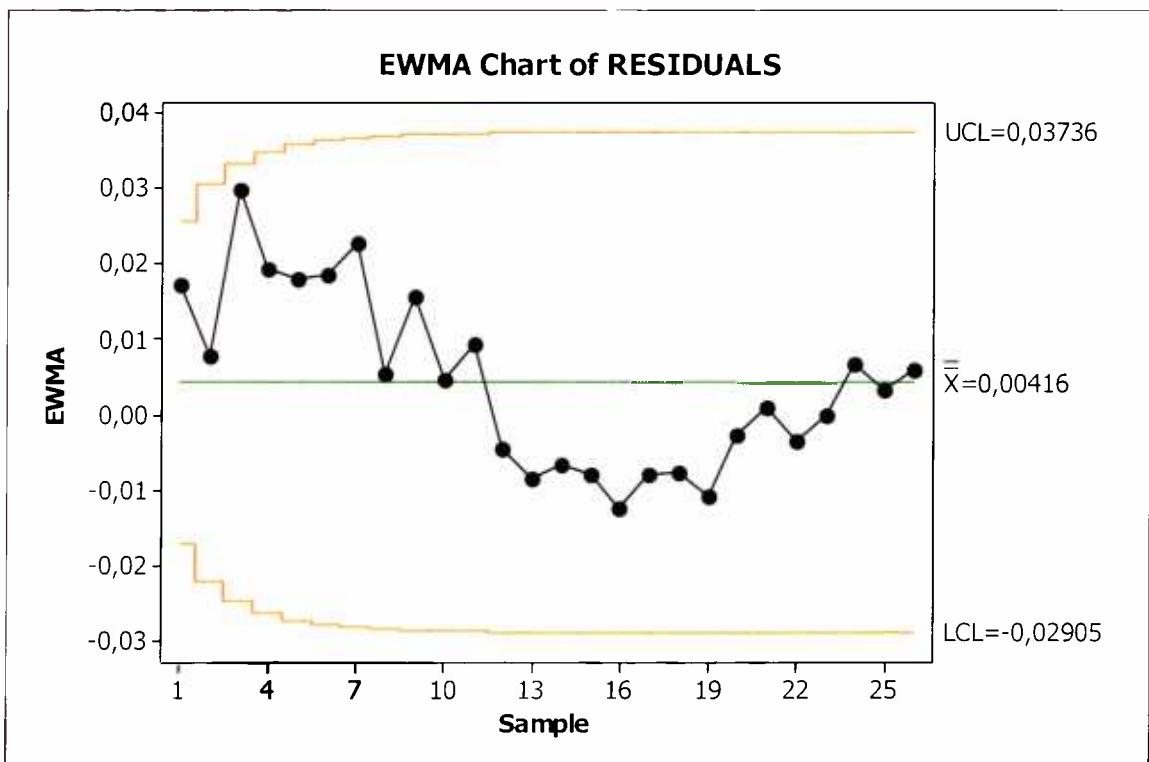
Γράφημα 5.13: Διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων για δείγματα μεγέθους 56

Στο ανωτέρω διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων, κανένα σημείο δεν προέκυψε εκτός ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι από τους 26 ελέγχους υποθέσεων που διενεργήθηκαν κατά την κατασκευή του συγκεκριμένου διαγράμματος, κανείς δεν οδήγησε σε απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης που ισχυρίζεται σταθερότητα της διαδικασίας παροχής προγνώσεων.

Ωστόσο, παρά την απουσία εκτός ελέγχου σημείων, η διάταξη των διαδοχικών σημείων εμφανίζεται και πάλι ύποπτη. Συγκεκριμένα, παρατηρείται το ίδιο πρότυπο που εμφανίζεται σε όλα τα διαγράμματα: σημαντική μείωση της διασποράς των παρατηρήσεων από το μέσο περίπου και μετά. Η μεταβολή αυτή στο διάγραμμα ελέγχου κινητών μέσων είναι σημαντικά πιο έντονη.

σχέση με το αντίστοιχο διάγραμμα ελέγχου του μέσου που απεικονίζεται στο Γράφημα 5.12.

Η δομή αυτή καταδεικνύει κάποια μεταβολή της διαδικασίας προς το καλύτερο, περίπου στο μέσο του συνόλου των παρατηρήσεων και ενισχύει τα συμπεράσματα που έχουν εξαχθεί από όλα τα διαγράμματα και για όλες τις χρησιμοποιούμενες διαμερίσεις.

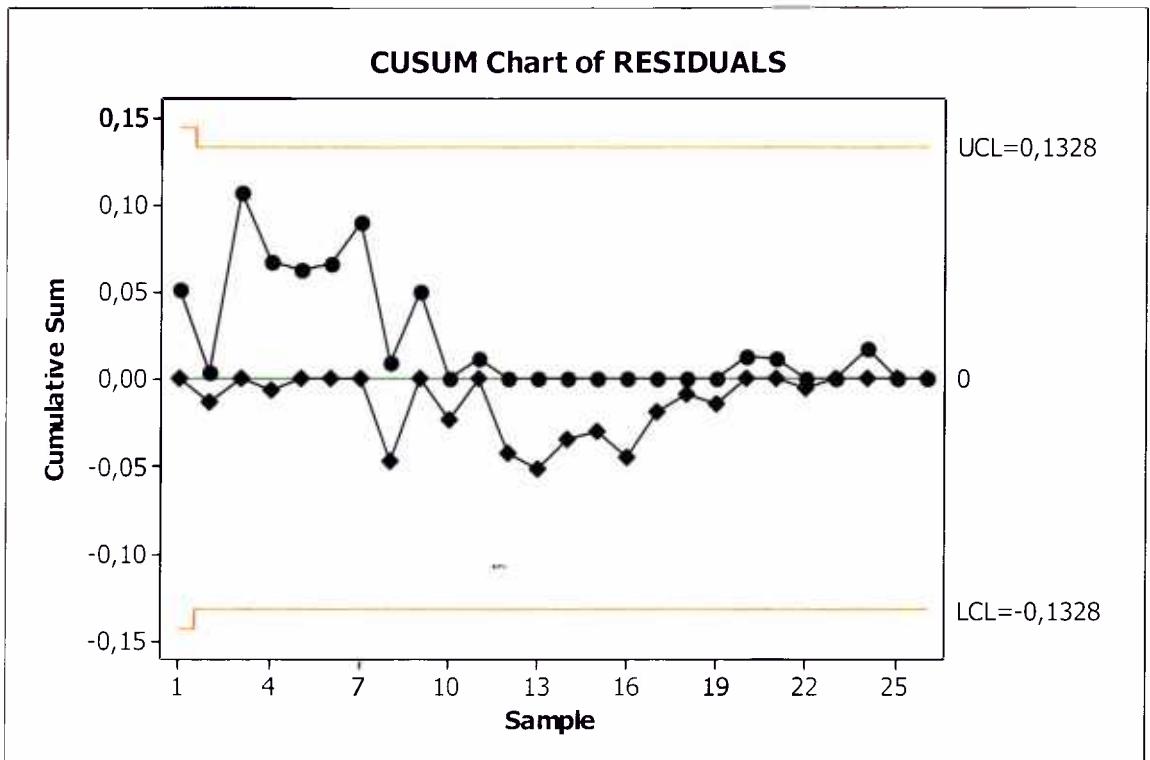


Γράφημα 5.14: Διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων για δείγματα μεγέθους 56

Στο ανωτέρω διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένων κινητών μέσων, κανένα σημείο δεν προέκυψε εκτός ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι από τους 26 ελέγχους υποθέσεων που διενεργήθηκαν κατά την κατασκευή του συγκεκριμένου διαγράμματος, κανείς δεν οδήγησε σε απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης που ισχυρίζεται σταθερότητα της διαδικασίας παροχής προγνώσεων.

Και στην περίπτωση αυτή, παρά την απουσία εκτός ελέγχου σημείων, δεν μπορεί να θεωρηθεί σταθερή η διαδικασία παροχής προγνώσεων εξαιτίας της διάταξης των παρατηρήσεων που εμφανίζει το ίδιο πρότυπο μείωσης της μεταβλητότητας από το μέσο περίπου και μετά.

Επομένως, για μία ακόμη φορά παρέχονται ισχυρές ενδείξεις περί μεταβλητής ακρίβειας των παρεχόμενων από το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ κυματικών προγνώσεων συναρτήσει της εποχής.



Γράφημα 5.15: Διάγραμμα ελέγχου συσσωρευμένων αθροισμάτων για δείγματα μεγέθους 56

Στο ανωτέρω διάγραμμα ελέγχου συσσωρευμένων αθροισμάτων, κανένα σημείο δεν προέκυψε εκτός ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι από τους 26 ελέγχους υποθέσεων που διενεργήθηκαν κατά την κατασκευή του συγκεκριμένου διαγράμματος, κανείς δεν οδήγησε σε απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης που ισχυρίζεται σταθερότητα της διαδικασίας παροχής προγνώσεων.

Και στην περίπτωση αυτή, παρά την απουσία εκτός ελέγχου σημείων, δεν μπορεί να θεωρηθεί σταθερή η διαδικασία παροχής προγνώσεων εξαιτίας της διάταξης των παρατηρήσεων που εμφανίζει το ίδιο πρότυπο μείωσης της μεταβλητότητας από το μέσο περίπου και μετά.

Επομένως, για μία ακόμη φορά παρέχονται ισχυρές ενδείξεις περί μεταβλητής ακρίβειας των παρεχόμενων από το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ κυματικών προγνώσεων συναρτήσει της εποχής.

Τελικά, το φαινόμενο της χρονικά μεταβαλλόμενης απόδοσης του συστήματος όσον αφορά στην ακρίβεια των παρεχόμενων προγνώσεων, συνεχίζει να είναι ορατό, παρόλο που αυξανομένου του μεγέθους δείγματος τα φαινόμενο τείνει να φθίνει. Σε ότι αφορά τη συγκεκριμένη διαμέριση, χρησιμοποιώντας δεδομένα μονάχα από εβδομαδιαία δειγματοληψία, δεν θα μπορούσαν να εξαχθούν απολύτως ασφαλή συμπεράσματα. Για το λόγο αυτό συστήνεται η συνδυαστική χρήση κατάλληλων διαμερίσεων.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ #6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο αναπτύσσονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας του ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας στο σύστημα παροχής κυματικών προγνώσεων ΠΟΣΕΙΔΩΝ.

Πριν από όλα, αξίζει να παρουσιασθεί συνοπτικά η όλη διαδικασία που ακολουθήθηκε μέχρις αυτό το σημείο.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο ποιοτικός έλεγχος των παρεχόμενων από το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ κυματικών προγνώσεων. Το μέγεθος του σημαντικού ύψους κύματος H_s επελέγη λόγω του ότι η αξιόπιστη πρόγνωση αυτού είναι πρωταρχικής σημασίας για πλήθος δραστηριοτήτων που εκτελούνται στο θαλάσσιο χώρο. Ο ποιοτικός έλεγχος των παρεχόμενων προγνώσεων πραγματοποιήθηκε με εφαρμογή της μεθοδολογίας του Ελέγχου Παραγωγικής Διαδικασίας στην χρονοσειρά του προγνωστικού σφάλματος. Τόσο λόγω της φύσης της διαδικασίας (η αλληλουχία κυματικών μετρήσεων εξ' ορισμού δεν μπορεί να είναι τυχαία), όσο και λόγω του αυτοματοποιημένου τρόπου παρακολούθησης (αυτοματοποιημένη δειγματοληψία ανά τρίωρο), τα διαθέσιμα δεδομένα παρουσιάζουν έντονη αυτοσυσχέτιση, καθιστώντας αναξιόπιστη την απευθείας εφαρμογή των διαγραμμάτων ελέγχου. Για το λόγο, πριν την εφαρμογή της μεθοδολογίας του Ελέγχου Παραγωγικής Διαδικασίας, απαιτήθηκε η εξάλειψη της αυτοσυσχέτισης μέσω κατάλληλης υποδειγματοποίησης της χρονοσειράς. Για τον σκοπό αυτό, ακολουθήθηκε η Box-Jenkins μεθοδολογία ανάλυσης χρονοσειρών. Τα εναπομείναντα, μετά την επιλογή βέλτιστου υποδείγματος, κατάλοιπα πληρούν όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την περαιτέρω ανάλυση του ελέγχου ποιότητας. Αφού θεωρήθηκαν τέσσερις διαφορετικές διαμερίσεις του συνόλου των δεδομένων, κατασκευάσθηκαν και σχολιάσθηκαν τα κατάλληλα διαγράμματα ελέγχου για κάθε μία από αυτές.



Όπως κατέστη εμφανές στο προηγούμενο κεφάλαιο, σε όλα τα διαγράμματα ελέγχου και για όλες τις θεωρούμενες διαμερίσεις εμφανίσθηκαν έντονα ή λιγότερο έντονα δύο συγκεκριμένα πρότυπα. Πιο συγκεκριμένα, από τα διαγράμματα ελέγχου σε μεμονωμένα δείγματα, παρατηρήθηκε ότι η συντριπτική πλειονότητα των εκτός ελέγχου σημείων αφορούν χειμέριες ή πρώιμες εαρινές μετρήσεις. Από τα διαγράμματα ελέγχου που κατασκευάσθηκαν για τις υπόλοιπες διαμερίσεις και στα οποία δεν προέκυψε σημαντικός αριθμός εκτός ελέγχου σημείων, εμφανίσθηκε ιδιαίτερα έντονο το πρότυπο μείωσης της διασποράς των σημείων από το μέσο του συνόλου των παρατηρήσεων και μετά.

Από τα δύο αυτά πρότυπα συνάγεται το συμπέρασμα ότι η απόδοση του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ, σε ότι αφορά την ακρίβεια των παρεχόμενων κυματικών προγνώσεων, δεν παραμένει σταθερή καθ' όλη την διάρκεια του έτους αλλά αντιθέτως, μεταβάλλεται συναρτήσει της εποχής του έτους. Πιο συγκεκριμένα, κατά την διάρκεια της χειμέριας περιόδου και μέχρι περίπου τα μέσα της εαρινής περιόδου (Απρίλιος, Μάιος και Ιούνιος), το σύστημα εμφανίζεται να παρέχει μειωμένης ακρίβειας προγνώσεις σε σχέση με αυτές της θερινής περιόδου. Τόσο το πλήθος και η διάταξη των εκτός ελέγχου σημείων, όσο και το πρότυπο μείωσης της διασποράς συνηγορούν υπέρ αυτού του γεγονότος. Αντιθέτως, κατά την διάρκεια της όψιμης εαρινής και θερινής περιόδου, το σύστημα φαίνεται να παρέχει μεγαλύτερης ακρίβειας κυματικές προγνώσεις αφού το σφάλμα πρόγνωσης παρουσιάζει μικρότερη διακύμανση περί της μηδενικής κεντρικής γραμμής.

Κατά την διάρκεια του κυματικού χειμώνα (Ιανουάριος, Φεβρουάριος και Μάρτιος), τα κυματικά φαινόμενα, κατά κανόνα και πλην ορισμένων εξαιρέσεων, είναι περισσότερο έντονα. Η αυξημένη ένταση του κυματικού φαινομένου αποτυπώνεται με υψηλές τιμές σημαντικού ύψους κύματος και συχνότερες υπερβάσεις του μέσου ύψους μιας συγκεκριμένης περιοχής. Δεδομένων αυτών, συνάγεται το συμπέρασμα ότι το κυματικό αριθμητικό μοντέλο του ΠΟΣΕΙΔΩΝA WAM-cycle 4, αποτυγχάνει πολύ συχνά να εκτιμήσει με ακρίβεια τα μεγάλα ύψη κύματος, υποεκτιμώντας συστηματικά τα έντονα κυματικά φαινόμενα της χειμέριας περιόδου. Με άλλα λόγια, η μη

σταθερή απόδοση του συστήματος δεν σχετίζεται με αυτές καθαυτές τις εποχές του έτους, αλλά με τα ύψη κύματος που κατά κανόνα απαντώνται κατά την διάρκεια αυτών. Δηλαδή, η αστοχία του κυματικού μοντέλου εντοπίζεται στη συστηματική υποεκτίμηση μεγάλων υψών κύματος. Η αστοχία αυτή του WAM-cycle 4 κρίνεται πρωτευούσης σημασίας καθώς η υποεκτιμούμενη πρόγνωση έντονων κυματικών καταστάσεων δύναται να αποβεί μοιραία όταν αυτή εμπλέκεται σε διαδικασίες λήψης αποφάσεων ή σχεδιασμού σχετικά με θαλάσσιες μεταφορές και λοιπές συναφείς δραστηριότητες. Η συμπεριφορά αυτή του μοντέλου στη Μεσόγειο έχει παρατηρηθεί και από άλλους ερευνητές [6], γεγονός που, εκτός των άλλων, επιβεβαιώνει την καταλληλότητα της συγκεκριμένης μεθόδου. Τα κατά κανόνα χαμηλά ύψη κύματος κατά την διάρκεια της όψιμης εαρινής και θερινής περιόδου, προγιγνώσκονται επιτυχώς και με ικανοποιητική ακρίβεια από το κυματικό αριθμητικό μοντέλο του ΠΟΣΕΙΔΩΝΑ.

Αξίζει να τονιστεί ωστόσο ότι η χρονική διάρκεια των διαθέσιμων παρατηρήσεων, δεν επαρκεί ώστε να εξαχθούν με ασφάλεια και επιστημονική μεθοδολογία έγκυρα και αδιαμφισβήτητα συμπεράσματα όσον αφορά στην προγνωστική απόδοση του συστήματος. Αφενός, τα δεδομένα τα οποία ήταν διαθέσιμα και χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανάλυση στην παρούσα εργασία δεν καλύπτουν την χρονική διάρκεια ενός πλήρους έτους, καθιστώντας έως και αβάσιμα τα προκύπτοντα συμπεράσματα. Αφετέρου, για την εξαγωγή έγκυρων και επαρκώς βεβαιωμένων συμπερασμάτων απαιτούνται δεδομένα πλέον του ενός έτους, ούτως ώστε να καταστεί δυνατή η μακροχρόνια αξιολόγηση της προγνωστικής απόδοσης του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ.

Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την επιβεβλημένη ανάγκη ύπαρξης του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ, αλλά και λοιπών ανάλογων συστημάτων, καθιστά τον ποιοτικό έλεγχο αυτών επί σειράς ετών, τουλάχιστον συνιστόμενο. Ακόμη, η ίδια μεθοδολογία οφείλει να εφαρμοσθεί σε περισσότερα σημεία του Αιγαίου Πελάγους ούτως ώστε να καταστεί δυνατή μία πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ, καθώς τα αποτελέσματα του σημειακού ελέγχου δεν δύναται να χαρακτηρίσουν ολόκληρο το πλέγμα πρόγνωσης. Η εφαρμογή του στατιστικού ελέγχου

ποιότητας σε συστήματα παροχής κυματικών προγνώσεων δεν είχε μέχρι πρότινος εφαρμοσθεί και τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας κρίνονται ελπιδοφόρα για περαιτέρω έρευνα.

Αξίζει στο σημείο αυτό να επισημανθεί ότι ανάλογη μεθοδολογία προτείνεται να εφαρμοσθεί και σε προγνωστικά συστήματα άλλων παραμέτρων, περιβαλλοντικών και μη, καθώς οι προγνώσεις, θεωρούμενες ως προϊόν παροχής υπηρεσιών, όχι μόνο μπορούν αλλά και οφείλουν να υπόκεινται σε ποιοτικό έλεγχο.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- [1] **Apley, D. W. and Shi, J. (1999).** The GLRT for statistical process control of autocorrelated processes, *IIE Transactions on Quality and Reliability*, Vol. 31, No. 12, pp. 1123-1134
- [2] **Makridakis, S. G., Wheelwright, S. C. and Hyndman, R. J. (1998).** *Forecasting: Methods and Applications*. John Wiley & Sons, Inc
- [3] **Montgomery, D. C. (2005).** *Statistical Quality Control, fifth edition*. John Wiley & Sons, Inc.
- [4] **Wei, W. W. S. (1990).** *Time series analysis - Univariate and multivariate methods*. Addison-Wesley publishing company, Inc.

Ελληνική βιβλιογραφία

- [5] **Βαμβακούση, Π. (2005).** Βελτίωση κυματικών προγνώσεων με χρήση στοχαστικών μεθόδων, Πτυχιακή εργασία, Μυτιλήνη
- [6] **Σουκισιάν, Τ. X. και Προσπαθόπουλος, A. M. (2003).** Εφαρμογή του κυματικού μοντέλου WAM-Cycle 4 στο Αιγαίο Πέλαγος, *Τεχνικά Χρονικά*, Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, IV, τεύχ. 1-2
- [7] **Ταγαράς, Γ. N. (2001).** *Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
- [8] **Φλαμπούρης, Σ. (2003).** Βελτίωση κυματικής πρόγνωσης μοντέλου WAM με χρήση θεωρίας χρονοσειρών, Πτυχιακή εργασία, Μυτιλήνη



- [9] Ψαράκης, Σ. (2005). *Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας*, Πανεπιστημιακές σημειώσεις

Διαδικτυακές πηγές

- [10] Νικολάου, Χ. Μ. *Σκέψεις γύρω από την έννοια και τη χρήση του όρου ποιότητα*. Κέντρο Παραγωγικότητας Κύπρου. Ανακτήθηκε 17 Οκτωβρίου 2006 από το <<http://www.kepa.gov.cy/bizportal/articles>>
- [11] Περιβολιώτης, Λ. *Σόστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ*. Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών. Ανακτήθηκε 20 Νοεμβρίου 2006 από το <<http://www.poseidon.hcmr.gr>>.





Δωρεά

