



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Στοχαστική ανάλυση και προσομοίωση  
υδρομετεωρολογικών διεργασιών σχετικών με  
την αιολική και ηλιακή ενέργεια**



Γεώργιος Τσεκούρας

Επιβλέπων: Δημήτριος Κουτσογιάννης, καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα Οκτώβριος 2012



## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Δημήτριο Κουτσογιάννη, καθηγητή Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, ο οποίος υπήρξε ο επιβλέπων καθηγητής αυτής της εργασίας, για τις πολλές ώρες από τον χρόνο του που μου αφιέρωσε και για το γεγονός ότι ήταν πάντα πρόθυμος να με βοηθήσει σε οποιοδήποτε πρόβλημα προέκυπτε. Χωρίς την βοήθεια του θα ήταν αδύνατη η εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Δρ. Αντρέα Ευστρατιάδη για τη σημαντική βοήθεια που μου προσέφερε με τις παρατηρήσεις και τα σχόλια του στο κείμενο που ακολουθεί.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες Γιάννη Μαρκόνη και Παναγιώτη Δημητριάδη για την τεχνική βοήθεια που μου προσέφεραν στα πρώτα στάδια της εργασίας και τους Στέφανο Κοζάνη και Γιάννη Διαλυνά για τη βοήθεια και τις κατευθύνσεις που μου προσέφεραν σε ό,τι έχει να κάνει με την *Κασταλία*.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υποστήριξη που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου.



## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες .....	i
Περίληψη .....	vii
Abstract .....	ix
1. Εισαγωγή.....	1
1.1. Γενική τοποθέτηση.....	1
1.2. Αντικείμενο της εργασίας .....	1
1.3. Διάρθρωση της εργασίας.....	2
2. Βιβλιογραφική επισκόπηση .....	5
2.1. Μακροπρόθεσμη εμμονή στην ταχύτητα ανέμου και στην διάρκεια ηλιοφάνειας .....	5
2.2. Συνάρτηση κατανομής διάρκειας ηλιοφάνειας σε ημερήσια κλίμακα .....	8
3. Δεδομένα.....	11
3.1. Ταχύτητα ανέμου .....	11
3.1.1. Συλλογή δεδομένων.....	11
3.1.2. Επεξεργασία δεδομένων.....	13
3.1.3. Δεδομένα Reanalysis .....	15
3.2. Διάρκεια ηλιοφάνειας .....	17
3.2.1. Συλλογή δεδομένων.....	17
3.3. Ετεροσυσχέτιση ανέμου-ηλιοφάνειας.....	19
4. Θεωρητικό υπόβαθρο μεθόδων υπολογισμού συντελεστή Hurst-Εφαρμογή στα δεδομένα .....	23
4.1. Δυναμική Hurst-Kolmogorov .....	23
4.1.1. Εισαγωγικά στοιχεία .....	23
4.1.2. Μοντέλο απλής ομοιοθεσίας .....	23
4.1.3. Ταυτόχρονη εκτίμηση διασποράς και συντελεστή Hurst.....	25
4.1.4. Αλγόριθμος για την αναπαραγωγή απλής ομοιοθετικής ανέλιξης (SSS)-Η λογική των τυχαίων διακυμάνσεων πολλαπλής κλίμακας .....	26
4.2. Εφαρμογή των μεθόδων .....	28
4.2.1. Μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης.....	28
4.2.2. Μέθοδος LSSD.....	30
4.2.3. Προσδιορισμός χαρακτηριστικών τιμών του συντελεστή Hurst.....	30

5.Θεωρητικό υπόβαθρο - Το υπολογιστικό σύστημα «Κασταλία».....	33
5.1.Στοχαστική προσομοίωση.....	33
5.2.Το πρόγραμμα Κασταλία - Γενικά στοιχεία .....	33
5.3.Συνοπτική περιγραφή του σχήματος γέννησης συνθετικών χρονοσειρών προσανατολισμένη στην χρήση του συστήματος .....	35
5.3.1.Μεθοδολογία αναπαραγωγής της εμμονής .....	35
5.3.1.1.Γενικευμένη συνάρτηση αυτοσυνδιασποράς.....	35
5.3.1.2.Εκτίμηση παραμέτρων συνάρτησης αυτοσυνδιασποράς.....	37
5.3.2.Γέννηση ετήσιων χρονοσειρών .....	39
5.3.2.1.Μοντέλο συμμετρικών κινούμενων μέσων (SMA).....	39
5.3.2.2.Εκτίμηση παραμέτρων μοντέλου κινούμενων μέσων (SMA).....	40
5.3.2.3.Γενίκευση του σχήματος (SMA) για πολυμεταβλητή προσομοίωση	40
5.3.3.Γέννηση μηνιαίων χρονοσειρών .....	41
5.3.3.1.Περιοδικό μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης ( PAR(1) )..	41
5.3.3.2.Αποκατάσταση συνέπειας μηνιαίων χρονοσειρών και επαναληπτική διαδικασία τύπου Monte Carlo για το μηνιαίο PAR(1).....	42
5.3.4.Γέννηση ημερήσιων τιμών .....	42
5.3.4.1.Περιοδικό μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης ( PAR(1) )..	42
5.3.4.2.Διατήρηση ασυμμετρίας.....	43
5.3.4.3.Διατήρηση πιθανότητας εμφάνισης ξηρών περιόδων (Probability dry).....	43
5.3.4.4.Αποκατάσταση συνέπειας ημερήσιων χρονοσειρών και επαναληπτική διαδικασία τύπου Monte Carlo για το ημερήσιο PAR(1).....	45
6.Εφαρμογή του προγράμματος.....	47
6.1.Δεδομένα εισόδου 1 <sup>ης</sup> εφαρμογής .....	47
6.2.Αποτελέσματα 1 <sup>ης</sup> εφαρμογής.....	48
6.2.1.Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ετήσιας κλίμακας.....	49
6.2.2.Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών μηνιαίας κλίμακας.....	52
6.2.3.Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ημερήσιας κλίμακας.....	55
6.3.Συμπεράσματα 1 <sup>ης</sup> εφαρμογής .....	58
6.4.Λογαριθμική μετατροπή της μεταβλητής της διάρκειας ηλιοφάνειας.....	60
6.5.Θεωρητική τεκμηρίωση συνάρτησης κατανομής διάρκειας ηλιοφάνειας.....	61
6.6.Δεδομένα εισόδου 2 <sup>ης</sup> εφαρμογής .....	64
6.7.Αποτελέσματα 2 <sup>ης</sup> εφαρμογής.....	64

6.7.1. Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ετήσιας κλίμακας.....	65
6.7.2. Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών μηνιαίας κλίμακας.....	68
6.7.3. Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ημερήσιας κλίμακας.....	71
6.8. Συμπεράσματα 2 <sup>ης</sup> εφαρμογής .....	74
7. Σύνοψη και συμπεράσματα .....	77
Αναφορές .....	79
Παράρτημα Α – Κλιμακογράμματα της τυπικής απόκλισης για τις μεταβλητές της ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας.....	83
Α.1 Ταχύτητα ανέμου.....	83
Α.2 Διάρκεια ηλιοφάνειας.....	84
Παράρτημα Β - Παράμετροι εμμονής $\beta$ .....	87
Β.1 Εφαρμογή 1 .....	87
Β.2 Εφαρμογή 2 .....	88
Παράρτημα Γ – Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών υπόλοιπων μετρητικών σταθμών-1 <sup>η</sup> Εφαρμογή.....	91
1. Σταθμός De Bilt .....	91
2. Σταθμός De Kooy.....	100
3. Σταθμός Hohenpeissenberg.....	109
4. Σταθμός Karlsruhe .....	118
5. Σταθμός Maastricht .....	127
6. Σταθμός Potsdam .....	136
7. Σταθμός Vlissingen .....	145
Παράρτημα Δ – Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών υπόλοιπων μετρητικών σταθμών-2 <sup>η</sup> Εφαρμογή.....	155
1. Σταθμός De Bilt .....	155
2. Σταθμός De Kooy.....	164
3. Σταθμός Hohenpeissenberg.....	173
4. Σταθμός Karlsruhe .....	182
6. Σταθμός Potsdam .....	200
7. Σταθμός Vlissingen .....	209
Παράρτημα Ε – Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών σταθμού Αγίου Κοσμά με συντελεστή Hurst μέσης ταχύτητας ανέμου 0.84 και διάρκειας ηλιοφάνειας 0.82...219	
Παράρτημα Ζ – Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών Σταθμού Αγίου Κοσμά με συντελεστή Hurst μέσης ταχύτητας ανέμου 0.64 και διάρκειας ηλιοφάνειας 0.61...227	





## Περίληψη

Διερευνάται η ύπαρξη μακροπρόθεσμης εμμονής μέσω του υπολογισμού του συντελεστή Hurst για τις μεταβλητές της ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας σε ετήσια κλίμακα στην Ευρώπη. Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν λήφθηκαν σε μορφή ημερήσιων χρονοσειρών από τις βάσεις δεδομένων KNMI, ECA&D και METEIREANN και αναφέρονται σε χρονική περίοδο τουλάχιστον 70 χρόνων. Συλλέχθηκαν καταγραφές ταχύτητας ανέμου από 20 μετρητικούς σταθμούς οι οποίες επεξεργάστηκαν κατάλληλα για την αναγωγή τους σε ενιαία υψόμετρο μέτρησης και καταγραφές διάρκειας ηλιοφάνειας από 21 μετρητικούς σταθμούς. Ο υπολογισμός του συντελεστή Hurst έγινε με την μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης και με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων βασισμένη στην τυπική απόκλιση (LSSD) και διαπιστώθηκε η ύπαρξη εμμονής και για τα δύο μεγέθη. Επιπλέον βρέθηκαν οι χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή Hurst και για τις δύο μεταβλητές, γύρω από τις οποίες συγκεντρώνονται οι τιμές των συντελεστών Hurst στους μετρητικούς σταθμούς που εξετάστηκαν.

Επιπλέον επιχειρείται η ταυτόχρονη αναπαραγωγή συνθετικών χρονοσειρών των δύο μεταβλητών σε ετήσια, μηνιαία και ημερήσια κλίμακα κάνοντας χρήση πολυμεταβλητού στοχαστικού μοντέλου μέσω του υπολογιστικού συστήματος *Κασταλία*. Πραγματοποιούνται δύο εφαρμογές του προγράμματος, μία για τα πρωτογενή δεδομένα και μία με λογαριθμικό μετασχηματισμό της μεταβλητής της διάρκειας ηλιοφάνειας πριν την είσοδο στο πρόγραμμα λόγω του φραγμένου πεδίου ορισμού της. Συμπεραίνεται ότι με τη χρήση του λογαριθμικού μετασχηματισμού η *Κασταλία* είναι σε θέση να αναπαράγει ικανοποιητικά συνθετικές χρονοσειρές και αυτών των δύο μεταβλητών.



## Abstract

We investigate the existence of long-term persistence by estimating the Hurst coefficient for wind speed and sunshine duration variable on an annual scale in Europe. The data we used were retrieved in the form of daily time series, from the KNMI, ECA & D and METEIREANN databases, and refer to a period of at least 70 years. Wind speed records collected from 20 measuring stations were treated appropriately according to their transformation to form a single measurement altitude; as well as sunshine duration records from 21 measuring stations. Hurst coefficient was estimated using the method of linear regression and the method of least squares based on the standard deviation (LSSD); the existence of persistence was observed for both variables. Moreover, we found characteristic values of the Hurst coefficient for both variables, around which the coefficients of the measuring stations we surveyed are gathered.

Furthermore a simultaneous generation of synthetic time series of these two variables on a yearly, monthly and daily scale is attempted using a multivariate stochastic model through the computing system *Castalia*. Two applications of the program are made, one for the raw data and one using a logarithmic transformation of the sunshine duration variable before entering into the program because of its blocked definition field. We conclude that using the logarithmic transformation, *Castalia* is able to generate satisfactorily synthetic time series of these two variables.



# 1. Εισαγωγή

## 1.1. Γενική τοποθέτηση

Η μελέτη των υδρομετεωρολογικών φαινομένων είναι ένα αντικείμενο το οποίο απασχολεί την επιστημονική κοινότητα κατά την διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, καθώς, εκτός των άλλων, η σταδιακή εξάλειψη των διαφόρων συμβατικών πηγών ενέργειας και η ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος έχουν οδηγήσει στην αναζήτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η υδροηλεκτρική, η αιολική και η ηλιακή. Για τον υπολογισμό αυτών των μορφών ενέργειας απαιτείται η γνώση υδρομετεωρολογικών δεδομένων σχετικών με τη διαθεσιμότητα του ύδατος, του ανέμου και του ήλιου, και συγκεκριμένα των χρονοσειρών απορροής ποταμών, ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας (έμμεσα) ή ηλιακής ακτινοβολίας (άμεσα). Για την σωστή αξιοποίηση των παραπάνω μορφών ενέργειας κρίνεται απαραίτητη η ακριβής γνώση της στοχαστικής δομής των παραπάνω χρονοσειρών, καθώς η κλιματική μεταβλητότητα και η δυναμική Hurst-Kolmogorov είναι χαρακτηριστικά τα οποία δεν μπορούν να αγνοηθούν. Μέχρι στιγμής έχει μελετηθεί κυρίως η απορροή ποταμών, ως προς τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η μελέτη της δυναμικής Hurst-Kolmogorov και για την ταχύτητα ανέμου και την διάρκεια ηλιοφάνειας ή την ηλιακή ακτινοβολία.

Το τυπικό πρόβλημα που αντιμετωπίζεται στον σχεδιασμό των έργων αξιοποίησης των παραπάνω μορφών ενέργειας είναι η έλλειψη καταγραφών μεγάλου μήκους για τις χρονοσειρές των υδρομετεωρολογικών διεργασιών. Η σύγχρονη φιλοσοφία σχεδιασμού προϋποθέτει την χρήση χρονοσειρών μεγάλου μήκους για την επίτευξη του απαιτούμενου βαθμού αξιοπιστίας, ο οποίος εξαρτάται από το διαθέσιμο μήκος χρονοσειράς. Ωστόσο, η καταγραφή μετεωρολογικών δεδομένων σχετιζόμενων με τον άνεμο και τον ήλιο ξεκίνησε στις αρχές του προηγούμενου αιώνα, και όπως είναι λογικό οι καταγραφές σπανίως ξεπερνούν τα 100 έτη. Για τον λόγο αυτό κρίνεται αναγκαία η χρήση συνθετικών χρονοσειρών, η γέννηση των οποίων πραγματοποιείται μέσω στοχαστικών μοντέλων. Ένα τέτοιο πολυμεταβλητό στοχαστικό μοντέλο, εκτός από το να αναπαράγει τα στατιστικά χαρακτηριστικά των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών στην ημερήσια, μηνιαία και ετήσια κλίμακα, πρέπει να λαμβάνει υπόψη του και τη δυναμική Hurst-Kolmogorov.

## 1.2. Αντικείμενο της εργασίας

Αντικείμενο της εργασίας είναι η διερεύνηση της μακροπρόθεσμης εμμονής των μετεωρολογικών μεταβλητών της μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου και της μέσης ετήσιας διάρκειας ηλιοφάνειας. Η διερεύνηση γίνεται με τον υπολογισμό του συντελεστή Hurst, κάνοντας χρήση των δεδομένων από 20 μετρητικούς σταθμούς για την μεταβλητή της ταχύτητας του ανέμου και 21 μετρητικούς σταθμούς για την μεταβλητή της διάρκειας ηλιοφάνειας στην Ευρώπη. Η έλλειψη καταγραφών μεγάλου μήκους στις βάσεις δεδομένων για την ηλιακή ακτινοβολία αποτρέπει την διερεύνηση της μακροπρόθεσμης εμμονής και για αυτή τη μεταβλητή. Ωστόσο, καθώς η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να εκτιμηθεί συναρτήσει της διάρκειας

ηλιοφάνειας (Κουτσογιάννης, 2000), είναι δυνατή η έμμεση εξαγωγή συμπερασμάτων και για αυτή την μεταβλητή, η οποία σχετίζεται άμεσα με τον σχεδιασμό των έργων αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Στόχος είναι να εξεταστεί η ύπαρξη της συμπεριφοράς Hurst-Kolmogorov για τα δύο αυτά μεγέθη, καθώς και η εύρεση μιας πιθανής αντιπροσωπευτικής τιμής του συντελεστή Hurst για το σύνολο των καταγραφών, για την κάθε μεταβλητή.

Επιπλέον, επιχειρείται η στοχαστική προσομοίωση των δύο μεταβλητών με σκοπό τη γέννηση συνθετικών χρονοσειρών που διατηρούν τα ιστορικά στατιστικά χαρακτηριστικά και ταυτόχρονα αναπαράγουν την δυναμική Hurst-Kolmogorov. Για τον σκοπό αυτό εξετάζεται κατά πόσο είναι δυνατή η χρήση του υπολογιστικού συστήματος «Κασταλία», το οποίο αναπτύχθηκε από την ερευνητική ομάδα Ιτιά (Ευστρατιάδης κ.ά., 2005), και πρόσφατα αναβαθμίστηκε για την πολυμεταβλητή στοχαστική προσομοίωση της ημερήσιας βροχόπτωσης (Διαλυνάς, 2011). Στα πλαίσια αυτής της εργασίας διερευνάται η δυνατότητα της πολυμεταβλητής στοχαστικής προσομοίωσης της μέσης ημερήσιας ταχύτητας ανέμου και της μέσης ημερήσιας διάρκειας ηλιοφάνειας από το συγκεκριμένο υπολογιστικό σύστημα.

### **1.3. Διάρθρωση της εργασίας**

Η διπλωματική αυτή εργασία χωρίζεται σε 6 κεφάλαια και 6 παραρτήματα.

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στο αντικείμενο μελέτης και στους στόχους της διπλωματικής εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται βιβλιογραφική επισκόπηση του φαινομένου της μακροπρόθεσμης εμμονής στις μεταβλητές της ταχύτητας ανέμου, της διάρκειας ηλιοφάνειας και της ηλιακής ακτινοβολίας. Επισημαίνεται, συνοπτικά, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε σε κάθε επιστημονική εργασία τόσο στην συλλογή των δεδομένων όσο και στον υπολογισμό του συντελεστή Hurst. Επιπλέον, εξετάζονται οι εργασίες που αναφέρονται στην συνάρτηση κατανομής, η οποία προσεγγίζει καλύτερα τις ημερήσιες χρονοσειρές ηλιοφάνειας.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη συλλογή των δεδομένων. Συγκεκριμένα καταγράφονται οι βάσεις δεδομένων από τις οποίες λήφθηκαν οι χρονοσειρές και επισυνάπτονται κάποιες βασικές πληροφορίες (metadata) σχετικά με την τοποθεσία του κάθε σταθμού. Επιπλέον, περιγράφονται τα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν τόσο στην συλλογή όσο και στην μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων, μέχρι αυτά να καταστούν αξιόπιστα για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με την δυναμική Hurst-Kolmogorov. Τέλος, διερευνάται η ετεροσυσχέτιση των δύο μεταβλητών σε όλους τους κοινούς σταθμούς και σε όλες τις χρονικές κλίμακες.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθεται το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας. Συγκεκριμένα, περιγράφεται τόσο το φυσικό νόημα όσο και η μαθηματική περιγραφή της δυναμικής Hurst-Kolmogorov και αναλύονται οι γενικοί τρόποι υπολογισμού του συντελεστή Hurst. Ακόμη, αναλύεται ο αλγόριθμος για την γέννηση συνθετικών τιμών με συγκεκριμένο συντελεστή Hurst. Ακολούθως, επισημαίνονται οι δύο μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας για τον υπολογισμό

του συντελεστή Hurst για τις δύο μεταβλητές, και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων τους. Τέλος, εκτιμώνται οι χαρακτηριστικές τιμές των συντελεστών Hurst για κάθε μεταβλητή, μέσω σύγκρισης των ιστορικών τιμών των συντελεστών Hurst και των αντίστοιχων συνθετικών, που παράγονται μέσω της διαδικασίας Monte Carlo.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αρχικά εισάγεται η έννοια της στοχαστικής προσομοίωσης και στη συνέχεια παρουσιάζεται το υπολογιστικό σύστημα «Κασταλία». Αρχικά περιγράφονται η δομή και ο συνολικός τρόπος λειτουργίας του, και στη συνέχεια παρατίθεται, συνοπτικά, το μαθηματικό υπόβαθρο, με βάση με το οποίο γίνεται η γέννηση των συνθετικών χρονοσειρών σε όλες τις χρονικές κλίμακες. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στα σημεία όπου απαιτείται η συμμετοχή του χρήστη για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος, και συγκεκριμένα στη ρύθμιση των παραμέτρων που σχετίζονται με την διατήρηση της εμμονής των ανελιξέων και των ασυμμετριών σε όλες τις χρονικές κλίμακες.

Το έκτο κεφάλαιο αφορά στην εφαρμογή του προγράμματος. Αρχικά, παρουσιάζονται τα στατιστικά χαρακτηριστικά των δεδομένων εισόδου καθώς και τα αποτελέσματα της πρώτης εφαρμογής του προγράμματος, με παράθεση όλων των απαραίτητων διαγραμμάτων και πινάκων, και εντοπίζονται τα προβλήματα που προέκυψαν. Στη συνέχεια, προτείνεται μια τροποποίηση των δεδομένων εισόδου για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δεύτερης εφαρμογής, η οποία και τελικά προτείνεται.

Στο έβδομο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση και κρίνεται το κατά πόσο είναι δυνατή η χρήση της «Κασταλίας» για την στοχαστική προσομοίωση των δύο μεταβλητών.

Στο παράρτημα Α παρατίθενται τα κλιμακογράμματα για τους υπόλοιπους μετρητικούς σταθμούς στους οποίους υπολογίστηκε ο συντελεστής Hurst για τις δύο μεταβλητές (στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται, ενδεικτικά, μόνο για τέσσερις σταθμούς).

Στο παράρτημα Β παρατίθενται οι τιμές της παραμέτρου εμμονής  $\beta$  που επιλέχθηκαν για κάθε μία μεταβλητή και κάθε σταθμό, για την εφαρμογή της «Κασταλίας».

Στα παραρτήματα Γ και Δ παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πρώτης και δεύτερης εφαρμογής, αντίστοιχα, για τους όλους τους μετρητικούς σταθμούς εκτός από τον σταθμό Eelde, που έχει ήδη παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 6.

Τέλος στα παραρτήματα Ε και Ζ παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής με την τροποποίηση στα δεδομένα εισόδου για τον σταθμό Άγιος Κοσμάς με υψηλό και χαμηλό συντελεστή Hurst αντίστοιχα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην διπλωματική εργασία του Χ.Ιωάννου (2012).





## 2. Βιβλιογραφική επισκόπηση

Στα πλαίσια αυτού του κεφαλαίου πραγματοποιείται βιβλιογραφική επισκόπηση των σημαντικότερων επιστημονικών εργασιών που σχετίζονται με το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

### 2.1. Μακροπρόθεσμη εμμονή στην ταχύτητα ανέμου και στην διάρκεια ηλιοφάνειας

Βασική προϋπόθεση για την διερεύνηση της μακροπρόθεσμης εμμονής είναι η εξάλειψη της εποχικότητας της χρονοσειράς που εξετάζεται, καθώς σε διαφορετική περίπτωση τα αποτελέσματα που εξάγονται δεν είναι αξιόπιστα. Για τον λόγο αυτό είναι προτιμότερη η διερεύνηση της εμμονής σε χρονοσειρές τουλάχιστον ετήσιας κλίμακας, όπου δεν υπάρχει το φαινόμενο της εποχικότητας. Όσον αφορά την μεταβλητή της ταχύτητας ανέμου, οι Bakker and Bart (2011) διερεύνησαν την μακροπρόθεσμη μνήμη χρονοσειρών ταχύτητας γεωστροφικών ανέμων αυτής της κλίμακας, στη Βορειοδυτική Ευρώπη, κάνοντας ταυτόχρονη εκτίμηση της τυπικής απόκλισης του συντελεστή Hurst, με χρήση της μεθόδου μέγιστης πιθανοφάνειας (Tyralis and Koutsoyiannis, 2011). Οι χρονοσειρές λήφθηκαν από τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής πίεσης στο επίπεδο της θάλασσας σε 12 μετρητικούς σταθμούς, με τη μέθοδο των τριγώνων (Alexandersson *et al.*, 1998) και η διάρκεια των καταγραφών τους είναι τουλάχιστον 90 χρόνια. Ο συντελεστής Hurst βρέθηκε ότι κυμαίνεται από 0.58 έως 0.74, κάτι που υποδεικνύει την ύπαρξη εμμονής.

Στις περισσότερες επιστημονικές εργασίες, ωστόσο, γίνεται χρήση χρονοσειρών μικρότερης κλίμακας για την διερεύνηση της δυναμικής Hurst-Kolmogorov, και συγκεκριμένα ημερήσιας και ωριαίας. Οι Haslett and Raftery (1987) διερεύνησαν την μακροχρόνια εξάρτηση ημερήσιων χρονοσειρών ταχυτήτων ανέμου, προσαρμόζοντας αυτές σε ένα μοντέλο ARFIMA και κάνοντας χρήση των εκτιμητριών μέγιστης πιθανοφάνειας, αφού πρώτα αφαίρεσαν το φαινόμενο της εποχικότητας. Τα δεδομένα λήφθηκαν από 12 μετεωρολογικούς σταθμούς στην Ιρλανδία και αναφέρονται σε χρονική περίοδο 18 χρόνων. Η παράμετρος εμμονής  $d$  η οποία ορίζεται στο διάστημα (0,0.5) προέκυψε 0.328, κάτι που αποδεικνύει την ύπαρξη μακροχρόνιας μνήμης. Οι Bouette *et al.* (2006), βασιζόμενοι στην παραπάνω εργασία, προσπάθησαν να επαληθεύσουν τα αποτελέσματά τους, δείχνοντας ότι το μοντέλο ARFIMA δεν είναι κατάλληλο να αποδώσει την συμπεριφορά των χρονοσειρών αυτών. Προσάρμοσαν ένα μοντέλο GARMA με σκοπό την αναπαραγωγή και της εποχικότητας και της μακροπρόθεσμης μνήμης. Εφάρμοσαν δύο μεθόδους, τη μέθοδο περιοδογράμματος και τη μέθοδο Whittle, μέσω των οποίων οι παράμετροι εμμονής  $d$  προέκυψαν 0.15 και 0.18, αντίστοιχα, και έτσι κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι συγκεκριμένες ανελίξεις δεν χαρακτηρίζονται από τη μακροπρόθεσμη μνήμη, αλλά κυρίως από την εποχικότητα.

Επιπλέον, αρκετοί ερευνητές προσπάθησαν να διερευνήσουν το φαινόμενο της εμμονής κάνοντας χρήση της μεθόδου Detrended Fluctuation Analysis και διαφόρων προσαρμογών της. Οι Feng *et al.* (2009) χρησιμοποίησαν την μέθοδο Multi-Fractal Detrended Fluctuation Analysis για την ανάλυση της ομοιοθετικής συμπεριφοράς

ημερήσιων χρονοσειρών ταχύτητας ανέμου στην Κίνα, έχοντας προηγουμένως απομακρύνει την εποχικότητα των χρονοσειρών. Συγκεκριμένα, χρησιμοποίησαν δεδομένα τεσσάρων μετεωρολογικών σταθμών, με διάρκεια καταγραφών 50 χρόνια. Από την ανάλυση των δεδομένων βρήκαν ότι δύο από τους σταθμούς παρουσιάζουν μεγάλο εύρος πολυκλασματικού φάσματος  $\Delta\alpha$  (0.315, 0.389), και άρα έντονη ομοιοθετική συμπεριφορά, και οι άλλοι δύο μικρό (0.088, 0.093), και άρα λιγότερο έντονη. Συνεπώς, δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο συγκεκριμένο συμπέρασμα. Επιπλέον, οι Kavasseri and Nagarajan (2004) ανέλυσαν ωριαίες χρονοσειρές ταχύτητας ανέμου στη Βόρεια Ντακότα επίσης με την μέθοδο Multi-Fractal Detrended Fluctuation Analysis, έχοντας αφαιρέσει την εποχικότητα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποίησαν δεδομένα τεσσάρων μετεωρολογικών σταθμών με διάρκεια καταγραφών δύο χρόνια. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης τους έδειξαν ότι ο γενικευμένος συντελεστής Hurst  $h(q)$  μεταβάλλεται ανάλογα με την τάξη  $q$  της συνάρτησης διακύμανσης και ότι το εύρος του πολυκλασματικού φάσματος  $\Delta\alpha$  είναι μεγάλο (0.4475-0.4862), ιδιότητες που αποτελούν χαρακτηριστικό των πολυκλασματικών ανελιξιών. Ένας ακόμα ερευνητής που χρησιμοποίησε την μέθοδο Detrended Fluctuation Analysis για τη διερεύνηση της μακροπρόθεσμης εμμονής σε ωριαίες χρονοσειρές ταχύτητας ανέμου ήταν ο Kocak (2009). Για την ανάλυση έκανε χρήση δεδομένων από 20 μετρητικούς σταθμούς στην βορειοδυτική Τουρκία, με καταγραφές διάρκειας 5 έως 6 χρόνων. Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η περιοχή κλιμάκωσης χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος, ο μέσος συντελεστής κλίμακας  $\alpha$  είναι 1.54 και συνεπώς τα δεδομένα έχουν τυχαίες διακυμάνσεις (λευκός θόρυβος). Αντίθετα, στο δεύτερο μέρος, όπου ο μέσος συντελεστής κλίμακας  $\alpha$  είναι 0.87, οι χρονοσειρές χαρακτηρίζονται από μακροχρόνιες συσχετίσεις.

Ακόμα οι Rehman and Siddiqi (2007) υπολόγισαν τον συντελεστή Hurst των ημερήσιων χρονοσειρών ταχύτητας ανέμου στην Σαουδική Αραβία, κάνοντας χρήση της μεθόδου wavelet. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποίησαν δεδομένα από εννέα μετεωρολογικούς σταθμούς, με καταγραφές διάρκειας 16 χρόνων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι ο συντελεστής Hurst κυμαίνεται στο διάστημα (0.5, 1) για κάποιους από τους σταθμούς, που αποδεικνύει την ύπαρξη εμμονής. Στους υπόλοιπους σταθμούς ο συντελεστής Hurst κυμαίνεται στο διάστημα (0, 0.5), που υποδηλώνει την ύπαρξη αντι-εμμονής. Όπως είναι αντιληπτό, δεν ήταν δυνατή η εξαγωγή κάποιου συγκεκριμένου συμπεράσματος. Τέλος, οι Benth and Saltyte (2012) ισχυρίζονται ότι η μοντελοποίηση ημερήσιων χρονοσειρών ταχύτητας ανέμου στη Λιθουανία είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί με χρήση του μοντέλου AR τρίτης και τέταρτης τάξης, αφού προφανώς προηγηθεί η εξάλειψη του εποχικού φαινομένου των χρονοσειρών. Το συμπέρασμα αυτό υποδηλώνει ότι οι συγκεκριμένες χρονοσειρές δεν χαρακτηρίζονται από μακροχρόνια εμμονή, καθώς τα μοντέλα AR είναι βραχυπρόθεσμης μνήμης.

Πίνακας 2.1: Συγκεντρωτική επισκόπηση επιστημονικών εργασιών που αναφέρονται στο φαινόμενο της μακροπρόθεσμης εμμονής στις μεταβλητές της ταχύτητας ανέμου, της διάρκειας ηλιοφάνειας και της ηλιακής ακτινοβολίας

Αναφορά	Μεταβλητή	Χρονικό βήμα	Περιοχή	Μήκος (έτη)	Μέθοδος υπολογισμού εμμονής	Παράμετρος εμμονής
Bakker & Bart (2011)	Ταχύτητα γεωστροφικού ανέμου	Ετήσιο	ΒΔ Ευρώπη	>90	Ταυτόχρονη εκτίμηση $\sigma$ και $H$ με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας	Συντελεστής $H$ : 0.58-0.74
Haslett & Raftery (1987)	Ταχύτητα ανέμου	Ημερήσιο	Ιρλανδία	18	Προσαρμογή μοντέλου ARFIMA	Παράμετρος $d$ : 0.328
Bouette et al. (2006)	Ταχύτητα ανέμου	Ημερήσιο	Ιρλανδία	18	Προσαρμογή μοντέλου GARMA	Παράμετρος $\delta$ : 0.15-0.18
Feng et al. (2009)	Ταχύτητα ανέμου	Ημερήσιο	Κίνα	50	Multi-Fractal Detrended Fluctuation Analysis	Εύρος φάσματος $\Delta\alpha$ : 0.088-0.389
Kavasseri & Nagarajan (2004)	Ταχύτητα ανέμου	Ωριαίο	Βόρεια Ντακότα	2	Multi-Fractal Detrended Fluctuation Analysis	Εύρος φάσματος $\Delta\alpha$ : 0.4475-0.4862
Kocak (2009)	Ταχύτητα ανέμου	Ωριαίο	ΒΔ Τουρκία	5	Detrended Fluctuation Analysis	Συντελεστής κλίμακας $\alpha$ : 0.87-1.54
Rehman & Siddiqi (2007)	Ταχύτητα ανέμου	Ημερήσιο	Σαουδική Αραβία	16	Wavelet Method	Συντελεστής $H$ : 0.38-0.9
Benth & Saltyte (2012)	Ταχύτητα ανέμου	Ημερήσιο	Λιθουανία	>30	Προσαρμογή μοντέλου AR	-
Liu Liu et al. (2011)	Διάρκεια ηλιοφάνειας	Ετήσιο	Κίνα	52	Ανάλυσης εύρους (R/S analysis)	Συντελεστής $H$ : 0.8923-0.9954
Tsekov (2003)	Διάρκεια ηλιοφάνειας	Ημερήσιο	Βουλγαρία	50	Detrended Fluctuation Analysis	Συντελεστής κλίμακας $\alpha$ : 0.59
Harrouni & Guessoum (2008)	Παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία	Ημερήσιο, ετήσιο	Παναμάς-ΗΠΑ	15, 205	Fractal Dimension	Συντελεστής $D$ : 1.8-2

Όσον αφορά στην μεταβλητή της διάρκειας ηλιοφάνειας, οι Liu *et al.* (2011) διερεύνησαν την μακροχρόνια εξάρτηση της διάρκειας ηλιοφάνειας σε ετήσιες χρονοσειρές, κάνοντας χρήση της ανάλυσης εύρους (R/S analysis). Χρησιμοποίησαν δεδομένα από έξι μετεωρολογικούς σταθμούς στην Κίνα με διάρκεια καταγραφών 52 χρόνια. Ο συντελεστής Hurst προέκυψε ιδιαίτερα υψηλός για το σύνολο των σταθμών, με τιμές οι οποίες φτάνουν και ξεπερνούν το 0.90, γεγονός που υποδηλώνει έντονη ομοιοθετική συμπεριφορά. Επιπλέον, ο Tsekov (2003) χρησιμοποίησε την μέθοδο Detrended Fluctuation Analysis για να εξετάσει την ύπαρξη μακροπρόθεσμης εμμονής σε ημερήσιες χρονοσειρές διάρκειας ηλιοφάνειας στην Βόρεια Βουλγαρία. Για την ανάλυση χρησιμοποίησε δεδομένα ενός σταθμού με διάρκεια καταγραφής 50 χρόνων και κατέληξε στο συντελεστή κλίμακας 0.59. Ο συντελεστής αυτής είναι αντίστοιχος του συντελεστή Hurst, κάτι που υποδεικνύει ότι οι διακυμάνσεις της διάρκειας ηλιοφάνειας εκεί είναι μάλλον τυχαίες.

Τέλος οι Harrouni and Guessoum (2008) διερεύνησαν την ύπαρξη μακροχρόνιας εμμονής στην μεταβλητή της παγκόσμιας ηλιακής ακτινοβολίας. Για την ποσοτικοποίηση της χρησιμοποίησαν την μέθοδο της κλασματικής διάστασης (fractal dimension). Η ανάλυση έγινε τόσο σε ημερήσιες χρονοσειρές όσο και σε ετήσιες. Τα

ημερήσια δεδομένα λήφθηκαν από τον Παναμά και η διάρκεια καταγραφής τους είναι 15 χρόνια. Τα ετήσια δεδομένα αναφέρονται στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και δίνονται σε μορφή κάρναβου. Το μήκος των χρονοσειρών είναι 205 χρόνια εκ των οποίων τα 98 είναι από ιστορικές καταγραφές και τα υπόλοιπα έχουν εκτιμηθεί μέσω Reanalysis. Τόσο για τα ημερήσια όσο και για τα ετήσια δεδομένα, ο συντελεστής  $D$ , ο οποίος είναι αντίστοιχος του συντελεστή Hurst, κυμάνθηκε στο διάστημα (1.8, 2.0), κάτι που είναι ενδεικτικό έντονης αντι-εμμονής.

Τα βασικά στοιχεία της παραπάνω βιβλιογραφικής επισκόπησης δίνονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 2.1.

## 2.2. Συνάρτηση κατανομής διάρκειας ηλιοφάνειας σε ημερήσια κλίμακα

Κατά τη στοχαστική προσομοίωση της διάρκειας ηλιοφάνειας στην ημερήσια κλίμακα, αντιμετωπίστηκε το πρόβλημα της έντονης ασυμμετρίας, και για αυτόν τον λόγο προτάθηκε η λογαριθμική μετατροπή αυτής. Συγκεκριμένα, δεν ήταν δυνατή η προσαρμογή της μεταβλητής, χωρίς πρώτα να υποστεί κάποια μετατροπή σε κάποια από τις συναρτήσεις κατανομής που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα «Κασταλία». Για τον λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική επισκόπηση ώστε να επιλεγεί η συνάρτηση κατανομής που προσεγγίζει τη μεταβλητή της διάρκειας ηλιοφάνειας.

Οι Sulaiman *et al.* (1998) εξέτασαν την προσαρμογή της κατανομής βήτα σε ημερήσιες χρονοσειρές σχετικής διάρκειας ηλιοφάνειας στην Μαλαισία και έλεγξαν την προσαρμογή της κάνοντας χρήση του ελέγχου Kolmogorov-Smirnov (K-S). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τέσσερις μετεωρολογικούς σταθμούς, που καλύπτουν περίοδο 10 χρόνων. Η ανάλυση έδειξε ότι σε δύο από τους σταθμούς υπήρξε καλή εφαρμογή για τους περισσότερους μήνες και σε κανένα μήνα ο έλεγχος προσαρμογής δεν ήταν αρνητικός για επίπεδο εμπιστοσύνης 5%. Στους άλλους δύο σταθμούς, και σε ορισμένους μήνες, υπήρχε αρκετή απόκλιση μεταξύ των δεδομένων και της κατανομής βήτα.

Οι Bashahu and Nsabimana (2005) προσάρμοσαν την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής βήτα στις κατανομές συχνοτήτων ημερήσιων χρονοσειρών σχετικής διάρκειας ηλιοφάνειας στην Αφρική. Ο έλεγχος προσαρμογής έγινε με την χρήση τριών μεθόδων, της μεθόδου του μέσου σφάλματος μεροληψίας (MBE), της μεθόδου του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) και της μεθόδου t-statistics. Τα δεδομένα λήφθηκαν από έξι μετεωρολογικούς σταθμούς και αναφέρονται σε περίοδο καταγραφών πέντε χρόνων. Και οι τρεις μέθοδοι έδειξαν ότι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής βήτα δεν απέχει πολύ από την εμπειρική συνάρτηση κατανομής της σχετικής διάρκειας ηλιοφάνειας.

Άλλοι ερευνητές εξέτασαν την προσαρμογή της κατανομής βήτα σε χρονοσειρές ημερήσιας διάρκειας νεφοκάλυψης, θεωρώντας ότι αυτή ισούται με  $1 - n/N$ , όπου  $n$  είναι η διάρκεια ηλιοφάνειας και  $N$  η αστρονομική διάρκεια ημέρας. Η διερεύνησή τους βασίζεται στην υπόθεση ότι όταν μία μεταβλητή  $X$  ακολουθεί την κατανομή βήτα, με παραμέτρους  $\alpha$  και  $\beta$ , τότε και η μεταβλητή  $1 - X$  ακολουθεί την κατανομή βήτα, με παραμέτρους  $\beta$  και  $\alpha$ , λόγω συμμετρίας. Ωστόσο, στην πραγματικότητα, η

σχέση δεν είναι απολύτως ντετερμινιστική καθώς υπάρχει και ο παράγοντας της τυχαιότητας. Οι Chia and Hutchinson εξέτασαν την δυνατότητα προσαρμογής της κατανομής βήτα στη κατανομή συχνότητας της ημερήσιας διάρκειας νεφοκάλυψης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποίησαν δεδομένα από 11 μετεωρολογικούς σταθμούς στην Αυστραλία με διάρκεια καταγραφών τουλάχιστον 10 χρόνια και η ορθότητα της προσαρμογής διαπιστώθηκε με τον έλεγχο Kolmogorov-Smirnov (K-S). Η ανάλυση έδειξε ότι η προσαρμογή της κατανομής βήτα ήταν ικανοποιητική για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.



### 3. Δεδομένα

#### 3.1. Ταχύτητα ανέμου

##### 3.1.1. Συλλογή δεδομένων

Για την διερεύνηση της μακροπρόθεσμης εμμονής του ανέμου είναι απαραίτητη η χρήση χρονοσειρών μεγάλου μήκους. Για τον σκοπό αυτό έγινε συλλογή καταγραφών της μέσης ημερήσιας ταχύτητας ανέμου, οι οποίες καλύπτουν χρονική περίοδο τουλάχιστον 70 χρόνων. Ωστόσο καταγραφές αυτού του μήκους ανά τον κόσμο είναι σπάνιες για τους εξής λόγους:

1. Στις περισσότερες βάσεις δεδομένων με ελεύθερη πρόσβαση δεν υπάρχουν καθόλου καταγραφές μέσης ημερήσιας ταχύτητας ανέμου για κάποιες ηπείρους (π.χ., Ασία, Αφρική)
2. Αρκετές καταγραφές αναφέρονται σε χρονική διάρκεια μικρότερη των 50 χρόνων (π.χ., Ευρώπη, Αμερική)
3. Σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται πληρωμή για την προμήθεια τέτοιων καταγραφών.

Μετά από εκτενή αναζήτηση, και για τους λόγους που εξηγήθηκαν παραπάνω, βρέθηκαν αποκλειστικά για τον ευρωπαϊκό χώρο καταγραφές, οι οποίες πληρούσαν τα ανωτέρω κριτήρια χρονικής διάρκειας. Οι καταγραφές αφορούσαν 29 μετρητικούς σταθμούς, ωστόσο λόγω έλλειψης πληροφοριών (metadata) χρησιμοποιήθηκαν τελικά μόνο 20 από αυτούς. Στον Πίνακα 3.1 δίνονται οι βασικές πληροφορίες των σταθμών αυτών και στο Σχήμα 3.1 οι μέσες ετήσιες τιμές της ταχύτητας ανέμου για κάθε σταθμό. Η κατανομή των σταθμών παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.2.

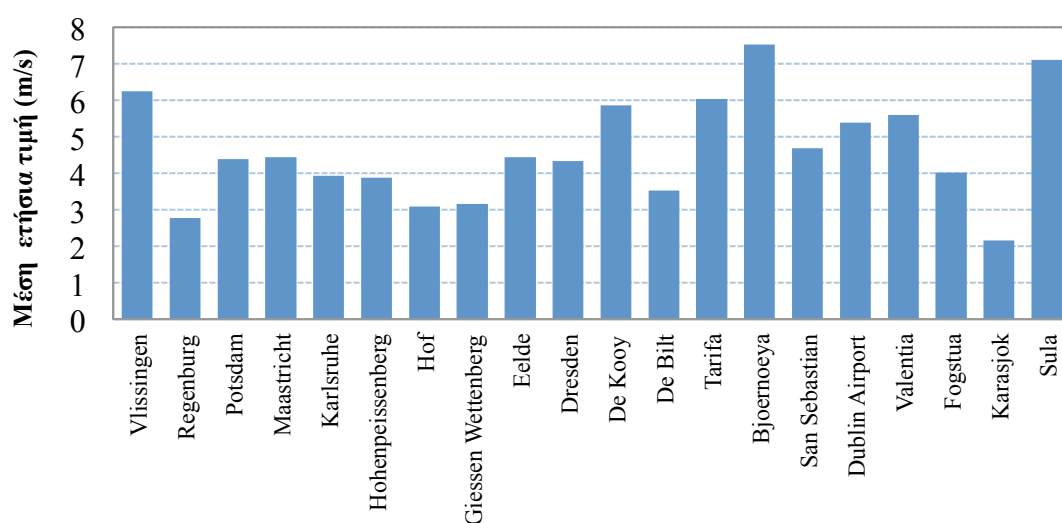
Οι βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής :

1. KNMI Climate Explorer (<http://climexp.knmi.nl/>)
2. European Climate Assessment & Dataset (ECA&D) (<http://eca.knmi.nl/>)
3. Deutscher Wetterdienst (<http://www.dwd.de>)

Οι χρονοσειρές για τους ιρλανδικούς σταθμούς Dublin Airport και Valentia δεν λήφθηκαν από κάποια βάση δεδομένων, αλλά ψηφιοποιήθηκαν με την χρήση του λογισμικού Engauge από την ιστοσελίδα της Ιρλανδικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (<http://www.met.ie/climate-ireland/wind.asp>) και σε αντίθεση με όλες τις υπόλοιπες χρονοσειρές, αναφέρονται σε μέσες ετήσιες τιμές.

Πίνακας 3.1 : Σταθμοί με μετρήσεις ταχύτητας ανέμου.

Σταθμός	Χώρα	Γεωγραφικό μήκος (°)	Γεωγραφικό πλάτος (°)	Υψόμετρο μέτρησης από το έδαφος (m)	Υψόμετρο (m)	Πηγή	Περίοδος καταγραφών
Vlissingen	Ολλανδία	3.60 E	51.45N	15	8	KNMI	1909-2011
Regenburg	Γερμανία	12.10 E	49.00 N	15	377	ECA&D	1946-2011
Potsdam	Γερμανία	13.10 E	52.40 N	37,7	81	ECA&D	1911-2011
Maastricht	Ολλανδία	5.78 E	50.92 N	10	114	KNMI	1906-2011
Karlsruhe	Γερμανία	8.40 E	49.00 N	47.4	113	ECA&D	1945-2011
Hohenpeissenberg	Γερμανία	11.00 E	47.80 N	15	980	ECA&D	1939-2011
Hof	Γερμανία	11.90 E	50.30 N	12	624	ECA&D	1946-2011
Giessen Wetztenberg	Γερμανία	8.38 E	50.36 N	10	203	ECA&D	1939-2011
Eelde	Ολλανδία	6.58 E	53.13 N	10	3.5	KNMI	1904-2011
Dresden	Γερμανία	13.80 E	51.10 N	10	220	KNMI	1941-2011
De Kooy	Ολλανδία	4.78 E	52.92 N	10	0.5	KNMI	1908-2011
De Bilt	Ολλανδία	5.18 E	52.10 N	20	1.9	KNMI	1904-2011
Tarifa	Ισπανία	5.35 W	36.00 N	10	32	ECA&D	1945-2012
Bjoernoeya	Νορβηγία	19.0 E	74.50 N	-	16	ECA&D	1920-2011
San Sebastian	Ισπανία	2.54 W	43.18 N	-	251	ECA&D	1933-2011
Dublin Airport	Ιρλανδία	6.30 W	53.42 N	-	85	MET EIREANN	1944-2010
Valentia	Ιρλανδία	10.24 W	51.94 N	-	9	MET EIREANN	1940-2010
Fokstua	Νορβηγία	9.17 E	62.07 N	10	975	ECA&D	1923-2011
Karasjok	Νορβηγία	25.52 E	69.47 N	10	133	ECA&D	1939-2011
Sula	Νορβηγία	8.45 E	63.85 N	10	6	ECA&D	1938-2011



Σχήμα 3.1 : Ραβδογράμματα ετήσιας μέσης τιμής της ταχύτητας ανέμου για το σύνολο των σταθμών.





Σχήμα 3.2 : Γεωγραφική κατανομή των σταθμών μέτρησης ταχύτητας ανέμου.

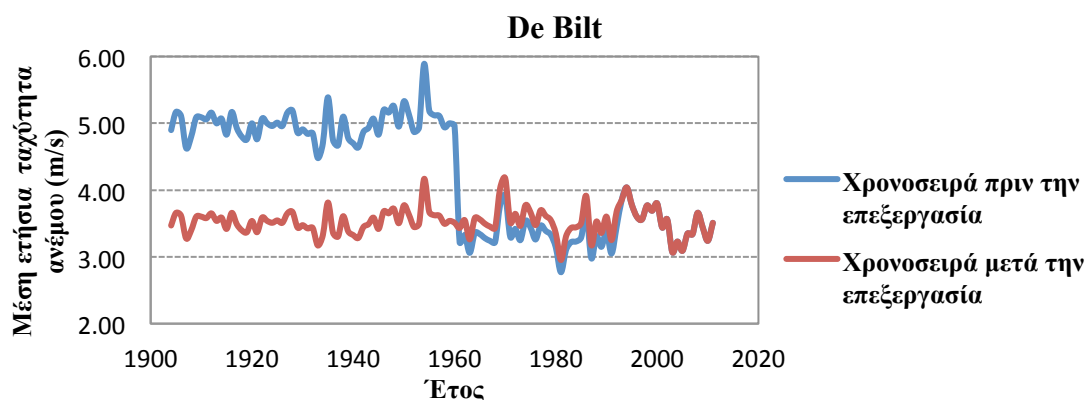
### 3.1.2. Επεξεργασία δεδομένων

Από τους σταθμούς που χρησιμοποιήθηκαν, μόνο αυτοί που συλλέχθηκαν από τη βάση δεδομένων KNMI Climate Explorer συνοδεύονταν από λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία των σταθμών, τον τρόπο και το υψόμετρο μέτρησης (metadata). Για την ανάλυση, ωστόσο, είναι ιδιαίτερα σημαντική η γνώση του υψόμετρου μέτρησης, καθώς η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το υψόμετρο. Διαπιστώθηκε ότι το ύψος μέτρησης κατά την διάρκεια όλων των ετών μετρήσεων δεν είναι σταθερό, και επομένως κρίθηκε απαραίτητη η μετατροπή όλων των καταγραφών σε κοινό υψόμετρο αναφοράς. Επισημαίνεται ότι τυχόν παράβλεψη της παραπάνω μετατροπής θα οδηγούσε σε λανθασμένη εκτίμηση της μακροπρόθεσμης εμμονής όταν οι ημερήσιες τιμές συναθροιστούν στην ετήσια κλίμακα, καθώς θα αναφέρονται σε ταχύτητες ανέμου σε διαφορετικά υψόμετρα. Κατά κανόνα, μια τέτοια έλλειψη συμβατότητας έχει ως αποτέλεσμα την υπερεκτίμηση της τιμής του συντελεστή Hurst.

Για τους σταθμούς που βρίσκονται στην Γερμανία (Regensburg, Potsdam, Karlsruhe, Hohenpeissenberg, Hof, Giessen Wettenberg, Dresden), τα μεταδεδομένα τους αποκτήθηκαν από την ιστοσελίδα της Γερμανικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (<http://www.dwd.de>). Τα μεταδεδομένα των υπόλοιπων σταθμών αποκτήθηκαν μετά από προσωπική επικοινωνία. Συγκεκριμένα, για τους νορβηγικούς σταθμούς αποκτήθηκαν μετά από επικοινωνία με τον κ. Hildegunn Nygaard (Νορβηγικό

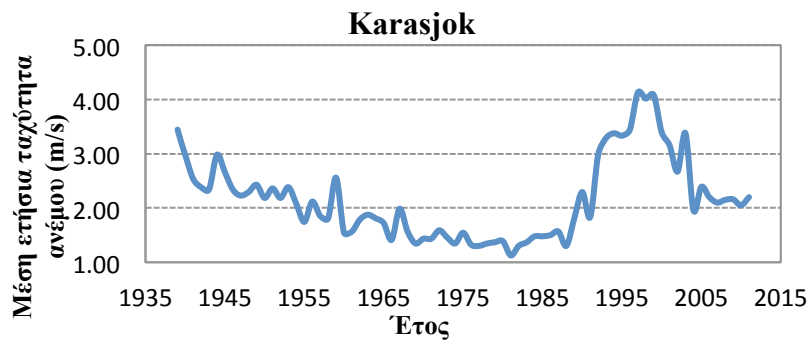
Μετεωρολογικό Ινστιτούτο) και για τους ισπανικούς σταθμούς μετά από επικοινωνία με τον κ. Gerard van der Schrier (ECA&D Group).

Στη συνέχεια έγινε επεξεργασία των στοιχείων, με γνώμονα όλες οι καταγραφές να αναφέρονται στο τελευταίο χρονικά, δηλαδή το πλέον πρόσφατο υψόμετρο μέτρησης. Για τον σκοπό αυτό υπολογίστηκαν, με χρήση του λογισμικού *Υδρογνώμον*, οι μέσες ετήσιες τιμές των καταγραφών της μέσης ημερήσιας ταχύτητας του ανέμου και στη συνέχεια χωρίστηκαν σε κλάσεις των οποίων κοινό χαρακτηριστικό ήταν το ενιαίο υψόμετρο μέτρησης. Ο αποδεκτός αριθμός τέτοιων κλάσεων ήταν το πολύ τρεις. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος των μέσων ετήσιων τιμών της κάθε κλάσης και τέλος πολλαπλασιάστηκαν οι ημερήσιες τιμές της κάθε κλάσης (εκτός από την χρονικά τελευταία κλάση) με το λόγο του μέσου όρου της τελευταίας κλάσης προς το μέσο όρο της κάθε κλάσης. Στο Σχήμα 3.3 φαίνεται η χρονοσειρά της μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt, πριν και μετά την παραπάνω επεξεργασία. Γίνεται αντιληπτό ότι χωρίς αυτήν την επεξεργασία η τιμή του συντελεστή Hurst θα προέκυπτε πολύ μεγάλη (κοντά στην μονάδα), χωρίς αυτό να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, καθώς είναι παράλογη μία τέτοια απότομη διαφοροποίηση στην μέση ετήσια τιμή, όπως αυτής του διαγράμματος.

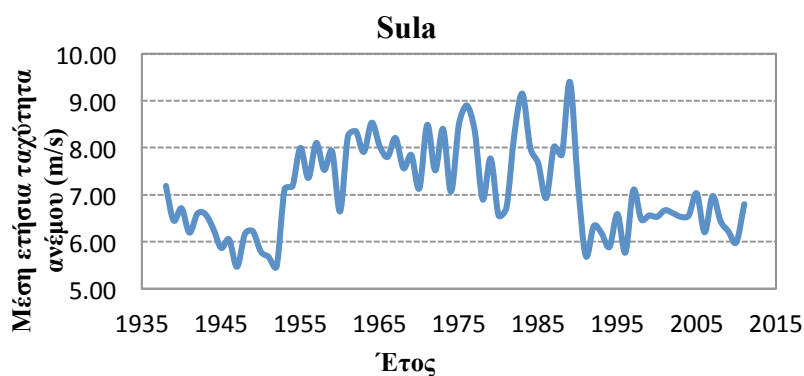


Σχήμα 3.3: Χρονοσειρά μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt, πριν και μετά την επεξεργασία

Σημειώνεται ότι οι χρονοσειρές των βορβηγικών σταθμών Karasjok και Sula, παρόλο που διορθώθηκαν με τον παραπάνω τρόπο συνεχίζουν να έχουν αρκετά απότομες διακυμάνσεις, όπως φαίνεται στα Σχήματα 3.4 και 3.5. Συνεπώς, ο συντελεστής Hurst που προκύπτει για αυτές δίνεται με κάποια επιφύλαξη.



Σχήμα 3.4 : Χρονοσειρά μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karasjok μετά την επεξεργασία.



Σχήμα 3.5: Χρονοσειρά μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Sula μετά την επεξεργασία.

### 3.1.3. Δεδομένα Reanalysis

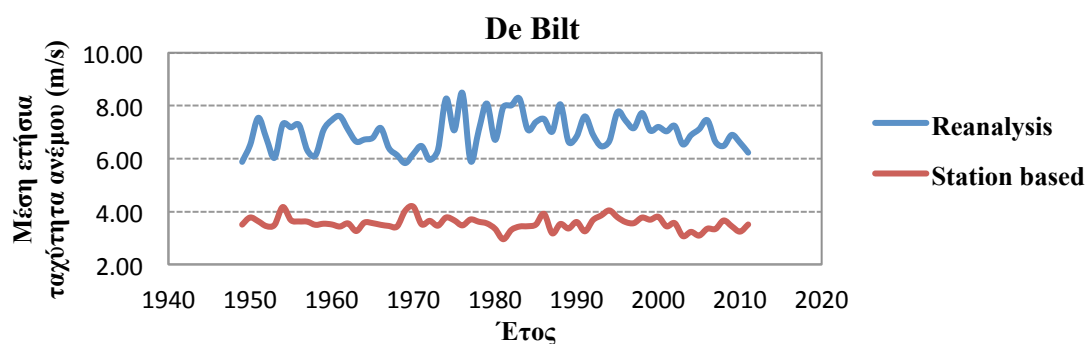
Με σκοπό την περαιτέρω διερεύνηση της μακροπρόθεσμης εμμονής και σε άλλες περιοχές όπου δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα, είτε λόγω ανεπαρκούς μήκους χρονοσειρών είτε λόγω παντελούς έλλειψης καταγραφών, έγινε χρήση και δεδομένων Reanalysis.

Τα Reanalysis data (Δεδομένα Πλήρους Επεξεργασίας) χρησιμοποιούνται στην κλιματολογία και την μετεωρολογία για την επεξεργασία μεταβλητών που προέρχονται από τις ιστορικές παρατηρήσεις, σε συνδυασμό με κάποιο αριθμητικό μοντέλο. Καλύπτουν αρκετά μεγάλα χρονικά διαστήματα και δίνουν αποτελέσματα από την επιφάνεια της γης μέχρι την στρατόσφαιρα. Είναι δεδομένα μη πραγματικού χρόνου και χρησιμοποιούνται για μελέτες του υδρολογικού κύκλου και για την επαλήθευση μοντέλων. Οι ιστορικές παρατηρήσεις πάνω στις οποίες βασίζονται προέρχονται από δορυφορικές μετρήσεις, από μετρήσεις από αεροσκάφη και από πλωτήρες στον ωκεανό. Στα πλαίσια της εργασίας γίνεται χρήση δεδομένων Reanalysis από την βάση δεδομένων NCEP/NCAR. Τα δεδομένα καλύπτουν την χρονική περίοδο από το 1871 μέχρι το 2012 σε ανάλυση καννάβου  $2^{\circ} \times 2^{\circ}$  και αναφέρονται σε μέσες μηνιαίες τιμές σε υψόμετρο 10 μέτρα από την επιφάνεια του

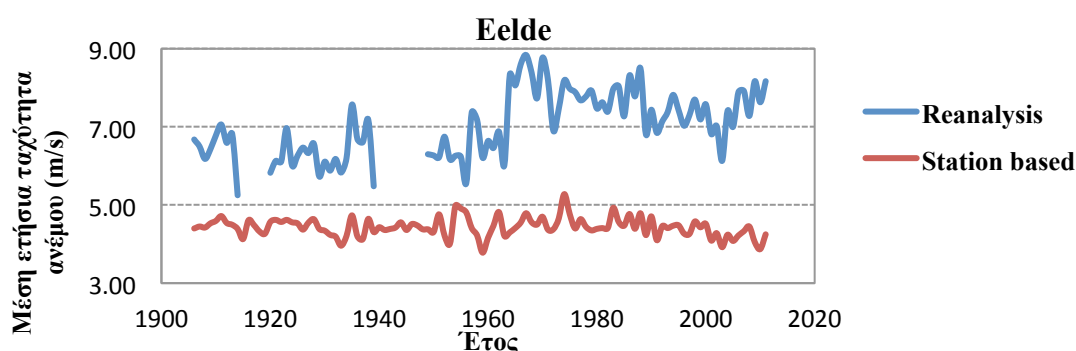
εδάφους. Βρίσκονται σε μορφή netcdf και η ανάγνωση τους έγινε με χρήση του προγράμματος Panoply.

Επιλέχθηκαν δεδομένα τα οποία αντιστοιχούσαν στο γεωγραφικό πλάτος και μήκος τριών μετρητικών σταθμών (De Bilt, Eelde, De Kooy), των οποίων οι καταγραφές λήφθηκαν από τις βάσεις δεδομένων που αναφέρθηκαν στο εδάφιο 3.1.1. Οι μέσες μηνιαίες τιμές αυτών μετατράπηκαν σε μέσες ετήσιες με σκοπό τη σύγκριση τους με τις μέσες ετήσιες τιμές των καταγραφών των σταθμών, έτσι ώστε να διαπιστωθεί η αξιοπιστία τους και άρα η δυνατότητα χρήσης τους και για άλλες περιοχές.

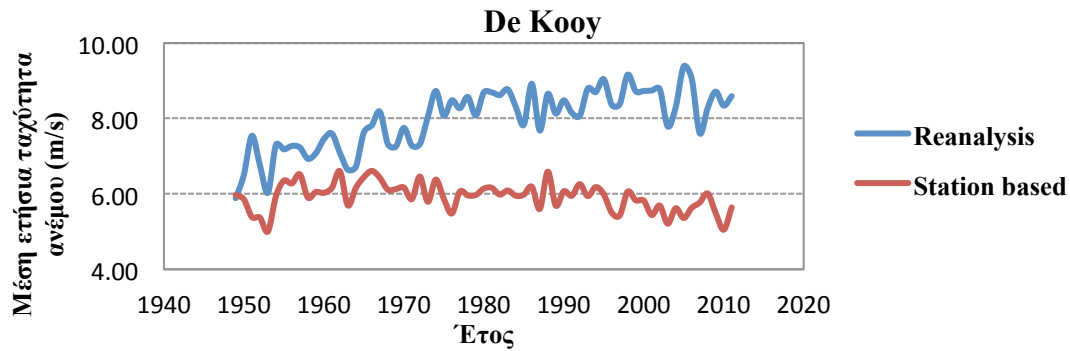
Όπως γίνεται αντιληπτό από τα Σχήματα 3.6, 3.7, 3.8 προέκυψε αναντιστοιχία στις μέσες ετήσιες τιμές. Συγκεκριμένα, οι τιμές των δεδομένων Reanalysis προέκυψαν μεγαλύτερες. Αυτό, ωστόσο, δεν κρίνεται λογικό, καθώς αναφέρονται σε ταχύτητα ανέμου 10 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους και άρα θα έπρεπε να έχουν χαμηλότερη τιμή από τις ταχύτητες που μετρήθηκαν στους σταθμούς, όπου η μέτρηση έγινε σε ίδιο ή μεγαλύτερο υψόμετρο (De Bilt-20 μέτρα, Eelde-10 μέτρα, De Kooy-10 μέτρα). Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται όσο αυξάνεται το υψόμετρο από την επιφάνεια του εδάφους. Επομένως τα δεδομένα κρίθηκαν αναξιόπιστα και δεν χρησιμοποιήθηκαν περαιτέρω. Αυτό άλλωστε ήταν αναμενόμενο, καθώς συστήνεται να χρησιμοποιούνται για την μελέτη φαινομένων που δεν πραγματοποιούνται κοντά στην επιφάνεια της γης, δεδομένου ότι για τη σύνθεση τους δεν χρησιμοποιούνται παρατηρήσεις στην επιφάνεια του εδάφους ή κοντά σε αυτή.



Σχήμα 3.6: Χρονοσειρά μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt για τις πραγματικές καταγραφές και για τα δεδομένα Reanalysis



Σχήμα 3.7: Χρονοσειρά μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde για τις πραγματικές καταγραφές και για τα δεδομένα Reanalysis



Σχήμα 3.8: Χρονοσειρά μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy για τις πραγματικές καταγραφές και για τα δεδομένα Reanalysis

### 3.2. Διάρκεια ηλιοφάνειας

#### 3.2.1. Συλλογή δεδομένων

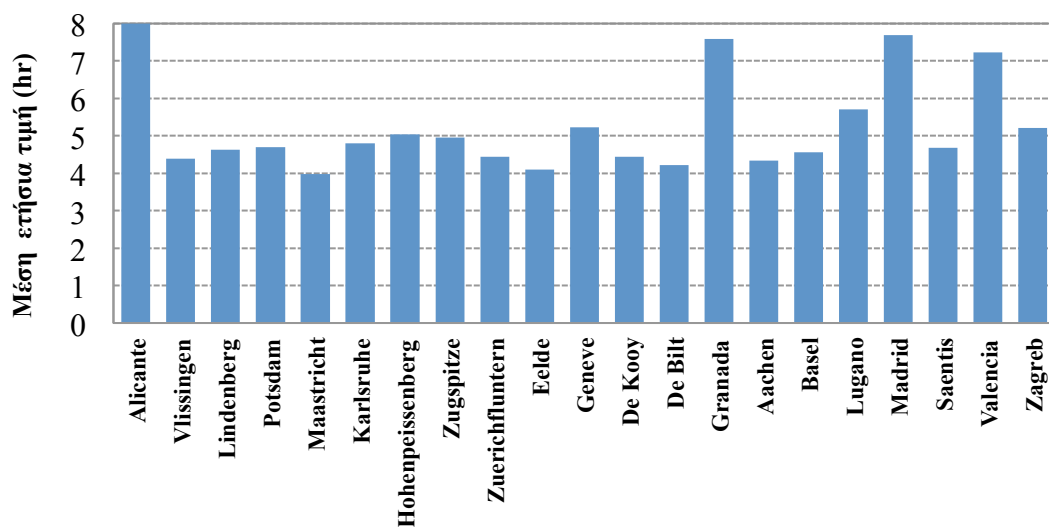
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, για τη διερεύνηση της μακροπρόθεσμης εμμονής οποιουδήποτε φυσικού φαινομένου, άρα και της διάρκειας ηλιοφάνειας, είναι απαραίτητη η χρήση χρονοσειρών μεγάλου μήκους. Για την ανάλυση έγινε συλλογή καταγραφών της ημερησίας οι οποίες καλύπτουν χρονική διάρκεια τουλάχιστον 70 χρόνων. Καταγραφές αυτού του μήκους ανά τον κόσμο δεν είναι τόσο συχνές, για τους ίδιους λόγους με την ταχύτητα ανέμου. Τελικά, βρέθηκαν 21 μετρητικοί σταθμοί με καταγραφές ημερησίων τιμών. Στον Πίνακα 3.2 δίνονται οι βασικές πληροφορίες των σταθμών αυτών και στο Σχήμα 3.9 οι μέσες ετήσιες τιμές της διάρκειας ηλιοφάνειας για κάθε σταθμό. Η κατανομή των σταθμών παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.10.

Οι βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν :

1. KNMI Climate Explorer
2. European Climate Assessment & Dataset (ECA&D)

Πίνακας 3.2 : Σταθμοί με μετρήσεις διάρκειας ηλιοφάνειας

Σταθμός	Χώρα	Γεωγραφικό μήκος (°)	Γεωγραφικό πλάτος (°)	Υψόμετρο (m)	Πηγή	Περίοδος καταγραφών
Alicante	Ισπανία	0.60 W	38.30 N	82	ECA&D	1939-2011
Vlissingen	Ολλανδία	3.60 E	51.45N	8	KNMI	1907-2011
Lindenberg	Γερμανία	14.10 E	52.20 N	112	ECA&D	1907-2011
Potsdam	Γερμανία	13.10 E	52.40 N	81	ECA&D	1901-2011
Maastricht	Ολλανδία	5.78 E	50.92 N	114	KNMI	1906-2011
Karlsruhe	Γερμανία	8.40 E	49.00 N	113	ECA&D	1936-2011
Hohenpeissenberg	Γερμανία	11.00 E	47.80 N	980	ECA&D	1937-2011
Zugspitze	Γερμανία	11.00 E	47.40 N	2960	ECA&D	1901-2011
Zuerichfluntern	Ελβετία	8.57 E	47.38 N	556	ECA&D	1901-2011
Eelde	Ολλανδία	6.58 E	53.13 N	3.5	KNMI	1906-2011
Geneve	Ελβετία	6.10 E	46.20 N	238	ECA&D	1901-2011
De Kooy	Ολλανδία	4.78 E	52.92 N	0.5	KNMI	1909-2011
De Bilt	Ολλανδία	5.18 E	52.10 N	1.9	KNMI	1901-2011
Granada	Ισπανία	3.59 W	37.17 N	680	ECA&D	1942-2010
Aachen	Γερμανία	6.10 E	50.80 N	264	ECA&D	1935-2010
Basel	Ελβετία	7.61 E	47.56 N	265	ECA&D	1901-2011
Lugano	Ελβετία	8.97 E	46.00 N	276	ECA&D	1901-2011
Madrid	Ισπανία	3.65 W	40.40 N	687	ECA&D	1920-2011
Saentis	Ελβετία	9.40 E	47.20 N	2500	ECA&D	1901-2011
Valencia	Ισπανία	0.38 W	39.48 N	35	ECA&D	1938-2011
Zagreb	Κροατία	16.03 E	45.82 N	123	ECA&D	1900-2011



Σχήμα 3.9 : Ραβδογράμματα ετήσιας μέσης τιμής της διάρκειας ηλιοφάνειας για το σύνολο των σταθμών



Σχήμα 3.10 : Γεωγραφική κατανομή των σταθμών μέτρησης ταχύτητας ανέμου.

### 3.3. Ετεροσυσχέτιση ανέμου-ηλιοφάνειας

Η συνδυασμένη μελέτη του ανέμου και της ηλιοφάνειας, που απαιτείται στα υβριδικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία κάνουν χρήση αιολικής και ηλιακής ενέργειας, προϋποθέτει εκτός από την μελέτη της στοχαστικής δομής των δύο φαινομένων και την χωρική ετεροσυσχέτιση αυτών. Για τον λόγο αυτό εξετάζεται η ετεροσυσχέτιση του ανέμου και της ηλιοφάνειας στους κοινούς μετρητικούς σταθμούς, σε όλες τις κλίμακες (ημερήσια, μηνιαία, ετήσια). Οι αντίστοιχοι συντελεστές δίνονται στους Πίνακες 3.3, 3.4 και 3.5.

Από την ανάλυση προκύπτει πως οι δύο μεταβλητές έχουν γενικά αρνητική ετεροσυσχέτιση σε όλες τις χρονικές κλίμακες, η οποία δεν ξεπερνάει το -0.40 στην ετήσια κλίμακα, το -0.30 στην μηνιαία κλίμακα και το -0.70 στην ημερήσια κλίμακα. Δηλαδή η αύξηση της τιμής της μίας μεταβλητής συνεπάγεται την μείωση της τιμής της άλλης κάτι το οποίο ήταν και αναμενόμενο.

Πίνακας 3.3: Ετήσιος συντελεστής ετεροσυσχέτισης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας

Σταθμός	Συντελεστής ετεροσυσχέτισης
Aachen	-0.31
Bamberg	-0.11
De Bilt	-0.23
De Kooy	-0.14
Eelde	-0.31
Gilze	0.01
Hohenpeissenberg	0.07
Karlsruhe	-0.01
Lindenberg	0.06
Maastricht	-0.07
Potsdam	-0.13
Valkenburg	-0.27
Vlissingen	-0.39
Μέγιστη τιμή	0.07
Ελάχιστη τιμή	-0.39

Πίνακας 3.4: Μηνιαίος συντελεστής ετεροσυσχέτισης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας

Σταθμός	Συντελεστής ετεροσυσχέτισης											
	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ
Aachen	-0.38	-0.23	-0.30	-0.30	-0.29	-0.21	-0.36	-0.26	-0.23	-0.50	-0.31	-0.34
Bamberg	-0.26	-0.22	-0.20	-0.26	-0.29	-0.23	-0.24	0.03	0.21	-0.43	-0.15	-0.25
De Bilt	-0.23	-0.13	-0.25	-0.15	-0.07	-0.31	-0.14	0.01	-0.17	-0.32	-0.19	-0.35
De Kooy	-0.25	-0.25	-0.30	-0.13	0.16	-0.18	-0.26	-0.05	-0.29	-0.30	-0.30	-0.34
Eelde	-0.19	-0.09	-0.28	-0.06	0.03	-0.21	-0.16	-0.14	-0.26	-0.35	-0.29	-0.34
Gilze	-0.23	-0.05	-0.14	-0.04	0.02	-0.24	-0.05	0.05	-0.12	-0.15	0.09	-0.06
Hohenpeissenberg	-0.25	-0.31	-0.22	0.05	-0.18	-0.31	-0.30	-0.11	-0.11	-0.48	-0.16	-0.24
Karlsruhe	-0.29	0.00	-0.20	0.00	-0.03	-0.25	-0.40	-0.01	-0.33	-0.47	-0.30	-0.46
Lindenberg	-0.09	-0.13	-0.19	-0.05	-0.04	-0.10	-0.08	-0.08	-0.11	-0.66	-0.40	-0.21
Maastricht	-0.20	-0.35	-0.15	-0.25	-0.16	-0.21	-0.09	0.00	-0.10	-0.08	-0.08	-0.28
Potsdam	-0.06	0.07	-0.13	-0.11	-0.07	-0.08	-0.08	0.02	-0.15	-0.59	-0.27	-0.33
Valkenburg	-0.32	-0.24	-0.23	0.00	0.15	-0.09	-0.16	-0.18	-0.38	-0.44	-0.24	-0.47
Vlissingen	-0.26	-0.14	-0.27	-0.11	0.00	-0.28	-0.24	-0.13	-0.31	-0.42	-0.50	-0.37
Μέγιστη τιμή	-0.06	0.07	-0.13	0.05	0.16	-0.08	-0.05	0.05	0.21	-0.08	0.09	-0.06
Ελάχιστη τιμή	-0.38	-0.35	-0.30	-0.30	-0.29	-0.31	-0.40	-0.26	-0.38	-0.66	-0.50	-0.47



Πίνακας 3.5: Ημερήσιος συντελεστής ετεροσυσχέτισης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας

Σταθμός	Συντελεστής ετεροσυσχέτισης											
	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ
Aachen	-0.23	-0.24	-0.29	-0.29	-0.25	-0.24	-0.22	-0.18	-0.19	-0.20	-0.20	-0.21
Bamberg	-0.13	-0.11	-0.15	-0.18	-0.18	-0.18	-0.14	-0.08	-0.06	-0.11	-0.11	-0.12
De Bilt	-0.13	-0.10	-0.17	-0.16	-0.12	-0.14	-0.08	-0.01	-0.02	-0.07	-0.09	-0.11
De Kooy	-0.13	-0.10	-0.08	-0.08	-0.04	-0.07	-0.08	-0.04	-0.07	-0.13	-0.14	-0.15
Eelde	-0.13	-0.10	-0.13	-0.12	-0.12	-0.13	-0.12	-0.05	-0.07	-0.12	-0.12	-0.14
Gilze	-0.03	-0.05	-0.05	-0.02	0.00	-0.03	-0.01	0.01	0.02	0.05	0.06	0.04
Hohenpeissenberg	-0.20	-0.20	-0.22	-0.23	-0.25	-0.22	-0.16	-0.13	-0.16	-0.23	-0.21	-0.20
Karlsruhe	-0.20	-0.15	-0.17	-0.17	-0.19	-0.24	-0.22	-0.18	-0.19	-0.24	-0.23	-0.23
Lindenberg	-0.05	-0.04	-0.04	-0.07	-0.10	-0.11	-0.06	-0.01	-0.03	-0.12	-0.11	-0.07
Maastricht	-0.15	-0.17	-0.14	-0.15	-0.14	-0.17	-0.15	-0.08	-0.09	-0.13	-0.12	-0.16
Potsdam	-0.07	-0.01	-0.01	-0.01	-0.05	-0.09	-0.05	0.01	-0.06	-0.15	-0.13	-0.11
Valkenburg	-0.17	-0.13	-0.13	-0.13	-0.09	-0.12	-0.13	-0.08	-0.09	-0.14	-0.15	-0.17
Vlissingen	-0.19	-0.14	-0.14	-0.13	-0.09	-0.12	-0.14	-0.09	-0.11	-0.17	-0.21	-0.22
Μέγιστη τιμή	-0.03	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.03	-0.01	0.01	0.02	0.05	0.06	0.04
Ελάχιστη τιμή	-0.23	-0.24	-0.29	-0.29	-0.25	-0.24	-0.22	-0.18	-0.19	-0.24	-0.23	-0.23



## 4. Θεωρητικό υπόβαθρο μεθόδων υπολογισμού συντελεστή Hurst-Εφαρμογή στα δεδομένα

### 4.1. Δυναμική Hurst-Kolmogorov

#### 4.1.1. Εισαγωγικά στοιχεία

Η πλειονότητα των υδρομετεωρολογικών φαινομένων χαρακτηρίζεται από την δυναμική Hurst-Kolmogorov. Την δυναμική αυτή επισήμανε πρώτος ο Βρετανός μηχανικός Hurst (1951) κατά την διάρκεια της μελέτης του φράγματος Ασουάν μέσω της παρατήρησης των χρονοσειρών των απορροών του ποταμού Νείλου. Ο Hurst διαπίστωσε την τάση που έχουν τα έτη με μεγάλες απορροές να ομαδοποιούνται όπως αντίστοιχα και τα έτη με μικρές απορροές. Δέκα χρόνια νωρίτερα ο Kolmogorov (1940) είχε διαπιστώσει την ίδια συμπεριφορά μελετώντας την τύρβη και εισήγαγε ένα μαθηματικό μοντέλο για την περιγράψει, γνωστό ως στοχαστικό μοντέλο αυτό-όμοιο (Simple Scaling Stochastic model) ή κλασματικός Γκαουσιανός θόρυβος (Fractal Gaussian Noise). Η ανωτέρω συμπεριφορά, γνωστή και ως φαινόμενο Hurst, επεκτείνεται σε αρκετές περιβαλλοντικές μεταβλητές, όπως η απορροή ποταμών (Eltahir 1996; Koutsoyiannis 2002, 2003; Jiang et al. 2005; Wang *et al.*, 2006; Sakalauskiene 2003; Radziejewski and Kundzewicz, 1997), η θερμοκρασία (Bloomfield 1992; Koscielny-Bunde *et al.*, 1998; Koutsoyiannis 2003a, b; Fraedrich and Blender 2003; Yano *et al.*, 2004, Varotsos and Kirk-Davidoff, 2006; Alvarez-Ramirez *et al.*, 2008; Fraedrich *et al.*, 2009), οι κλιματικοί δείκτες της βόρειας Ατλαντικής ταλάντωσης (Stephenson *et al.*, 2000) και της δεκαετούς ταλάντωσης Ατλαντικού (Khaliq and Gachon, 2010) και τα πεδία ατμοσφαιρικής πίεσης (Giannoulis et al., 2012), φανερώνοντας την τάση ομαδοποίησης ακραίων γεγονότων στη φύση.

Οι ιστορικές χρονοσειρές με τέτοια συμπεριφορά παρουσιάζουν διακυμάνσεις σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες, σε αντίθεση με τις χρονοσειρές τυχαίων μεταβλητών. Η ύπαρξη αυτής της μακροχρόνιας μνήμης ή εμμονής στις ιστορικές χρονοσειρές διερευνάται μέσω του υπολογισμού του συντελεστή Hurst. Σε χρονοσειρές με υψηλό συντελεστή Hurst η αβεβαιότητα αυξάνεται, όπως αποδεικνύεται στα επόμενα εδάφια. Είναι λοιπόν σαφές ότι η ποσοτικοποίηση της μεταβλητότητας κρίνεται ιδιαίτερος σημαντική για τα έργα πολιτικού μηχανικού. Ειδικότερα, όσον αφορά την ταχύτητα ανέμου και την διάρκεια ηλιοφάνειας η αγνόηση της μακροχρόνιας εμμονής τους θα οδηγήσει στην υποεκτίμηση της μεταβλητότητας τους και άρα σε λανθασμένο σχεδιασμό κάποιου συστήματος στο οποίο γίνεται εκμετάλλευση αιολικής και ηλιακής ενέργειας.

#### 4.1.2. Μοντέλο απλής ομοιοθεσίας

Θεωρούμε την στοχαστική ανέλιξη  $X_i$  με  $i = 1, 2, \dots$  σε διακριτό χρόνο. Η μέση τιμή της ανέλιξης είναι  $\mu := E[X_i]$ , η αυτοσυνδιασπορά της  $\gamma_j := \text{Cov}[X_i, X_{i+j}]$ , ο

συντελεστής αυτοσυσχέτισης της  $\rho_j := \text{Corr}[X_i, X_{i+j}] = \gamma_j/\gamma_0$  ( $j=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) και η τυπική απόκλιση της  $\sigma := \sqrt{\gamma_0}$  (Κουτσογιάννης, 2002)

Έστω  $k$  θετικός ακέραιος ο οποίος αναπαριστά την χρονική κλίμακα (η οποία είναι μεγαλύτερη από 1) της ανέλιξης  $X_i$ . Η μέση συναθροισμένη ανέλιξη είναι:

$$X_i^{(k)} := \left(\frac{1}{k}\right) \sum_{l=(i-1)k+1}^{ik} X_l \quad (4.1)$$

με μέση τιμή  $E[X_i^{(k)}] = \mu$ . Η διασπορά και αυτοσυνδιασπορά της ανέλιξης εξαρτώνται από την δομή της  $\gamma_j$ . Η ανέλιξη απλής ομοιοθεσίας ορίζεται από την εξίσωση:

$$(X_i^{(k)} - \mu) =_d \left(\frac{k}{l}\right)^H (X_j^{(l)} - \mu), \quad 0 < H < 1 \quad (4.2)$$

Όπου το σύμβολο  $=_d$  δηλώνει την ισότητα στην από κοινού κατανομή,  $i, j, k$  και  $l$  είναι οποιοδήποτε ακέραιοι και  $H$  ο συντελεστής Hurst. Τιμή του Hurst στο διάστημα  $(0,0.5)$  αποδεικνύει την ύπαρξη αντι-εμμονής η οποία δηλώνει ότι μία αύξηση των τιμών της χρονοσειράς ακολουθείται από μείωση των τιμών της. Τιμή του Hurst στο διάστημα  $(0.5,1)$  αποδεικνύει την ύπαρξη εμμονής η οποία δηλώνει ότι μία αύξηση των τιμών της χρονοσειράς ακολουθείται από περαιτέρω αύξηση των τιμών της. Τέλος τιμή του Hurst ίση με 0.5 συνεπάγεται την τυχαία αύξηση ή μείωση των τιμών της χρονοσειράς γνωστή και ως λευκός θόρυβος.

Θέτοντας  $i = j = l = 1$  στην εξίσωση (2) λαμβάνουμε την διασπορά :

$$\gamma_0^{(k)} = k^{2H-2} \gamma_0 \quad (4.3)$$

Επιπλέον ορίζουμε την συναθροισμένη ανέλιξη για κάθε χρονική κλίμακα:

$$Z_i^{(k)} := \sum_{l=(i-1)k+1}^{ik} X_l = kX_i^{(k)} \quad (4.4)$$

για την οποία ισχύουν :

$$E[Z_i^{(k)}] = k\mu, \gamma_0^{(k)} = \text{Var}[Z_i^{(k)}] = k^{2H} \gamma_0, \sigma^{(k)} = (\gamma_0^{(k)})^{1/2} \quad (4.5)$$

Η συνάρτηση αυτοσυνδιασποράς της ανέλιξης τόσο της  $X_i^{(k)}$  όσο και της  $Z_i^{(k)}$  είναι ανεξάρτητη της κλίμακας  $k$  και δίνεται από την σχέση:

$$\rho_j^{(k)} = \rho_j = |j+1|^{2H}/2 + |j-1|^{2H}/2 - |j|^{2H} \quad (4.6)$$

ή προσεγγιστικά :

$$\rho_j^{(k)} = \rho_j = H(2H-1)j^{2H-2} \quad (4.7)$$

Η αβεβαιότητα μίας μεταβλητής με τυχαία ανέλιξη εκφράζεται από την διακύμανση της εκτιμήτριας της μέσης τιμής σύμφωνα με την σχέση:

$$\text{var}[X] = \frac{\sigma^2}{n} \quad (4.8)$$

Ωστόσο για χρονοσειρές που χαρακτηρίζονται από την δυναμική Hurst-Kolmogorov με βάση την σχέση (1) λαμβάνεται:

$$\text{var}[X] = \frac{\sigma^2}{n^{2-2H}} \quad (4.9)$$

Η παραπάνω σχέση φανερώνει ότι για μία χρονοσειρά που χαρακτηρίζεται από εμμονή η εκτίμηση του τυπικού σφάλματος είναι αρκετά χειρότερη.

#### 4.1.3. Ταυτόχρονη εκτίμηση διασποράς και συντελεστή Hurst

Μετά από μία συστηματική μελέτη, μέσω ανάλυση Monte Carlo, ο Koutsoyiannis (2003a, b) βρήκε μια εκτιμήτρια  $S$  της τυπικής απόκλισης  $\sigma$ , περίπου αμερόληπτη για γνωστό συντελεστή Hurst και για ανέλιξη  $X_i$  που ακολουθεί την κανονική κατανομή η οποία είναι:

$$\tilde{S} := \sqrt{\frac{n - \frac{1}{2}}{(n - n^{(2H-1)})}} S = \sqrt{\frac{n - \frac{1}{2}}{(n-1)(n - n^{(2H-1)})}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - X_n^{(n)})^2} \quad (4.10)$$

$$\tilde{S}^2 := \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - X_n^{(n)})^2 \quad (4.11)$$

όπου  $X_i^{(n)}$  ισούται με την μέση τιμή του δείγματος από την εξίσωση (4.1). Ο αλγόριθμος βασίζεται στις κλασσικές δειγματικές εκτιμήτριες  $s^{(k)}$  της τυπικής απόκλισης  $\sigma^{(k)}$  με την κλίμακα  $k$  να κυμαίνεται από 1 μέχρι  $k' = [n/10]$  έτσι ώστε η εκτιμήτρια  $s^{(k)}$  να υπολογίζεται από τουλάχιστον 10 τιμές.

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (4.5) και (4.10), κάνοντας την υπόθεση ότι  $E[\tilde{S}] = \sigma$  και με χρήση της ομοιοθετικής ικανότητας της ανέλιξης λαμβάνουμε :

$$E[S^{(k)}] \cong c_k(H) k^H \sigma \quad \text{όπου } c_k(H) := \sqrt{\frac{\frac{n}{k} - \left(\frac{n}{k}\right)^{2H-1}}{\frac{n}{k} - \frac{1}{2}}} \quad (4.12)$$

Αν αγνοήσουμε στην εξίσωση (4.12) τον όρο  $c_k(H)$  είναι δυνατή η εκτίμηση του συντελεστή  $H$  και της τυπικής απόκλισης  $\sigma$  κάνοντας γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ του  $\ln s(k)$  και του  $\ln k$ . Αυτή η παλινδρόμηση είναι ένας γνωστός αλγόριθμος (Montanari *et al.*, 1997; Koutsoyiannis, 2002) ο οποίος ωστόσο εισάγει αρνητική μεροληψία στον υπολογισμό τόσο του συντελεστή Hurst όσο και της τυπικής απόκλισης για υψηλή τιμή του Hurst. Η μεροληψία μπορεί να μειωθεί αν χρησιμοποιηθεί η εκτίμηση του Hurst από την παλινδρόμηση για τον προσδιορισμό

του  $c_k(H)$  και στην συνέχεια γίνει νέα παλινδρόμηση του  $\ln s(k)$  με το  $\ln[c_k(H)k]$ . Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να προκύψει σύγκλιση.

Ένας άλλος αλγόριθμος για την ταυτόχρονη εκτίμηση των δύο παραμέτρων είναι αυτός που ελαχιστοποιεί το σφάλμα  $e^2(\sigma, H)$ . Πρόκειται για τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων βασισμένη στην τυπική απόκλιση (LSSD), που αναπτύχθηκε από τους Tyralis and Koutsoyiannis (2011):

$$e^2(\sigma, H) := \sum_{k=1}^k \frac{[\ln E[S^{(k)}] - \ln s^{(k)}]^2}{k^p} + \frac{H^{q+1}}{q+1} = \sum_{k=1}^k \frac{[\ln \sigma + H \ln k + \ln c_k(H) - \ln s^{(k)}]^2}{k^p} + \frac{H^{q+1}}{q+1} \quad (4.13)$$

όπου  $1/k^p$  ο συντελεστής βάρους στο σφάλμα κάθε κλίμακας. Για τιμή του  $p$  ίση με 0 οι συντελεστές βάρους είναι ίσοι για όλες τις κλίμακες ενώ για  $p = 1, 2, \dots$ , μειούμενοι συντελεστές βάρους προσαρμόζονται σε αυξανόμενες κλίμακες κάτι που είναι λογικό καθώς το μέγεθος του δείγματος είναι μικρότερο σε μεγαλύτερες κλίμακες γεγονός που αυξάνει την αβεβαιότητα. Μετά από Monte Carlo πειράματα βρέθηκε ότι τιμή του  $p$  ίση με 2 δίνει πιο αξιόπιστες εκτιμήσεις. Ο όρος  $\frac{H^{q+1}}{q+1}$  είναι ένας όρος ποινής, που για υψηλή τιμή του  $q$  (ίση με 50) απορρίπτει την τιμή  $\hat{H} = 1$  εξαναγκάζοντας την σε ελαφρώς χαμηλότερες τιμές. Έτσι, αποτρέπονται τιμές της τυπικής απόκλισης που τείνουν στο άπειρο (Tyralis and Koutsoyiannis, 2011).

#### 4.1.4. Αλγόριθμος για την αναπαραγωγή απλής ομοιοθετικής ανέλιξης (SSS)-Η λογική των τυχαίων διακυμάνσεων πολλαπλής κλίμακας

Ένας αρκετά απλός τρόπος αναπαραγωγής της απλής ομοιοθετικής ανέλιξης είναι μέσω της λογικής των τυχαίων διακυμάνσεων πολλαπλής κλίμακας. Το σταθμισμένο άθροισμα τριών εκθετικών συναρτήσεων της χρονικής υστέρησης προσεγγίζει ικανοποιητικά την συνάρτηση αυτοσυσχέτισης μίας απλής ομοιοθετικής ανέλιξης στην ετήσια χρονική κλίμακα (Koutsoyiannis, 2002). Συγκεκριμένα, η ανέλιξη παράγεται ως το άθροισμα τριών ανελιξεων AR(1) από την σχέση :

$$X_i = A_i + B_i + C_i \quad (4.14)$$

Αριθμητική αναζήτηση έδειξε ότι οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης των τριών ανελιξεων για υστέρηση 1 οι οποίοι δίνουν την καλύτερη προσέγγιση (σε όρους μέσου τετραγωνικού σφάλματος) της εξίσωσης (4) είναι αντίστοιχα:

$$\rho = 1.52 (H-0,5)^{1.32} \quad (4.15)$$

$$\varphi = 0.953 - 7.69 (1-H)^{3.85} \quad (4.16)$$

$$\zeta = \begin{cases} 0.932 + 0.087 H, & H \leq 0.76 \\ 0.993 + 0.007 H, & H > 0.76 \end{cases} \quad (4.17)$$

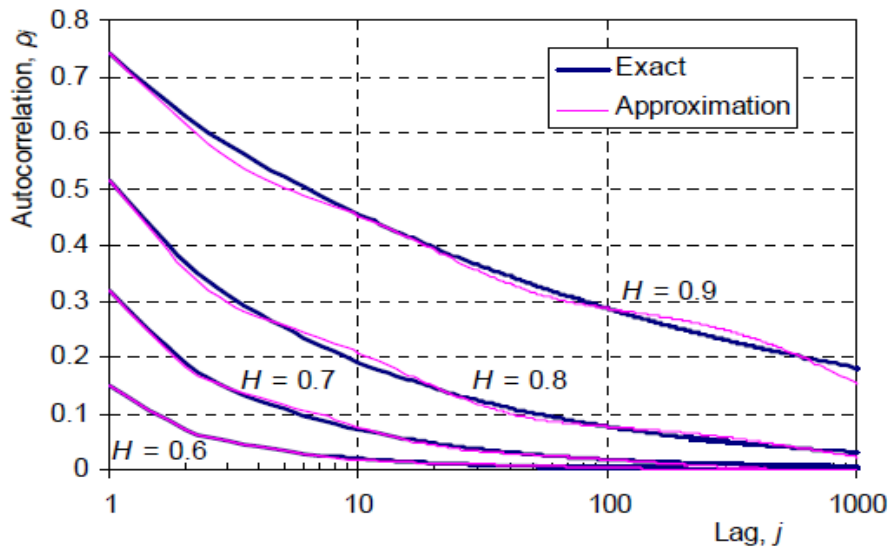
Η διασπορά των ανελιξων AR(1) είναι :

$$(1 - c_1 - c_2)\gamma_0, \quad c_1 \gamma_0, \quad c_2 \gamma_0 \quad (4.18)$$

Οι συντελεστές  $c_1$  και  $c_2$  υπολογίζονται έτσι ώστε η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης του αθροίσματος των τριών ανελιξων να ταυτίζεται με την θεωρητική αυτοσυσχέτιση της ανέλιξης απλής ομοιοθεσίας, για υστέρηση 1 και 100. Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης του αθροίσματος είναι :

$$\rho_j = (1 - c_1 - c_2)\rho^j + c_1\varphi^j + c_2\zeta^j \quad (4.19)$$

Στο Σχήμα 4.1 δίνονται συγκριτικά διαγράμματα της προσεγγιστικής συνάρτησης αυτοσυσχέτισης βασισμένη στις εξισώσεις (4.15), (4.16) και (4.17) με την ακριβή συνάρτηση αυτοσυσχέτισης του κλασματικού γκαουσιανού θορύβου (FGN) για διάφορες τιμές του συντελεστή Hurst.

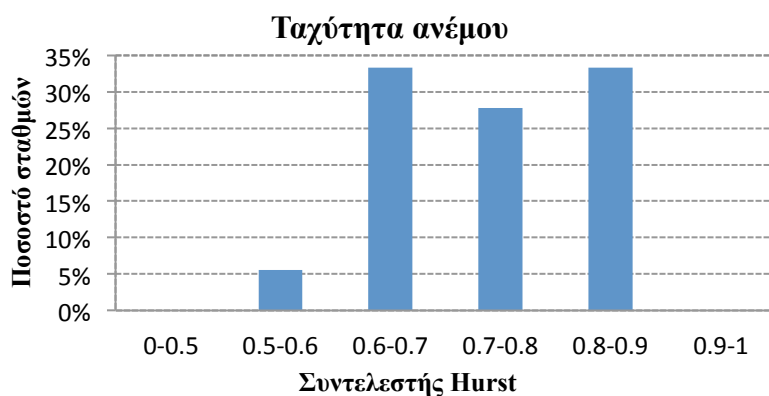


Σχήμα 4.1: Σύγκριση της προσεγγιστικής συνάρτησης αυτοσυσχέτισης η οποία είναι βασισμένη στις εξισώσεις (4.15), (4.16) και (4.17) και της ακριβούς συνάρτησης αυτοσυσχέτισης του κλασματικού γκαουσιανού θορύβου (FGN) για διάφορες τιμές του συντελεστή Hurst (Πηγή: Κουτσογιάννης 2002).

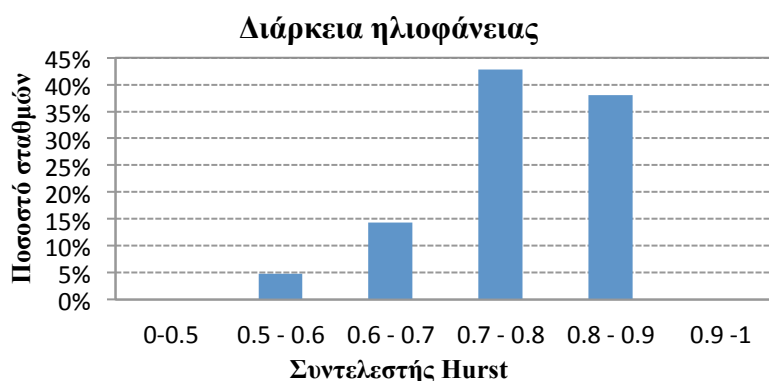
## 4.2. Εφαρμογή των μεθόδων

### 4.2.1. Μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης

Στα πλαίσια της εργασίας χρησιμοποιήθηκε ένας απλούστερος τρόπος από αυτόν που αναφέρθηκε στο εδάφιο 4.1.3. Συγκεκριμένα, αντί να γίνεται γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ των  $\ln s^{(k)}$  και  $\ln k$  με σκοπό την ταυτόχρονη εκτίμηση της τυπικής απόκλισης  $\sigma$  και του συντελεστή Hurst κάνοντας χρήση των δειγματικών τυπικών αποκλίσεων και στη συνέχεια διόρθωση αυτών μέσω του συντελεστή  $c_k(H)$ , εδώ γίνεται η παραδοχή ότι οι τυπικές αποκλίσεις ισούνται με την δειγματικές τιμές τους αγνοώντας τον όρο  $c_k(H)$ . Συνεπώς, λαμβάνεται ο συντελεστής Hurst από την κλίση του διπλού λογαριθμικού διαγράμματος της συναθροισμένης τυπικής απόκλισης  $s^{(k)}$  με τη κλίμακα  $k$  χωρίς την περαιτέρω επαναληπτική διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω. Όπως είναι φυσικό, η απλουστευμένη αυτή μέθοδος οδηγεί σε μεροληπτική εκτίμηση του συντελεστή Hurst. Η διαδικασία πραγματοποιείται σε υπολογιστικό φύλλο Excel.



Σχήμα 4.2: Ιστόγραμμα συχνότητας συντελεστών Hurst για τις χρονοσειρές της μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου με την μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης.



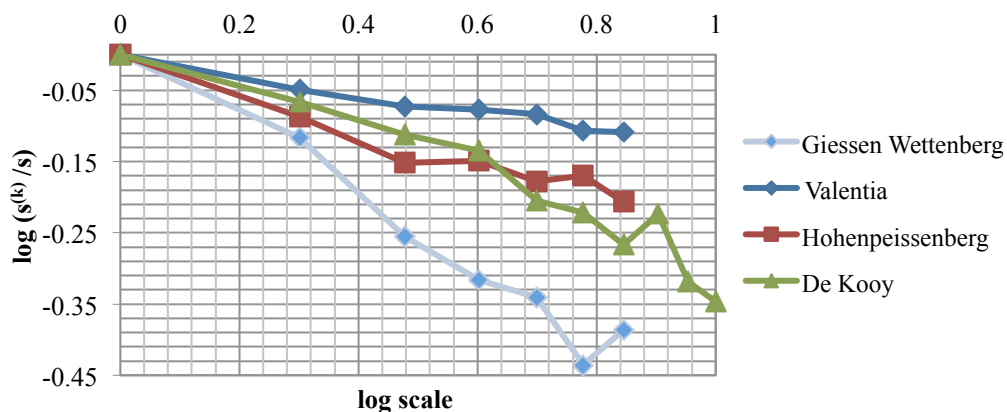
Σχήμα 4.3: Ιστόγραμμα συχνότητας συντελεστών Hurst για τις χρονοσειρές της μέσης ετήσιας διάρκειας ηλιοφάνειας με την μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης.

Τα Σχήματα 4.2 και 4.3 απεικονίζουν τα ιστογράμματα των συντελεστών Hurst για την μέση ταχύτητα του ανέμου και τη διάρκεια ηλιοφάνειας, που υπολογίστηκαν με

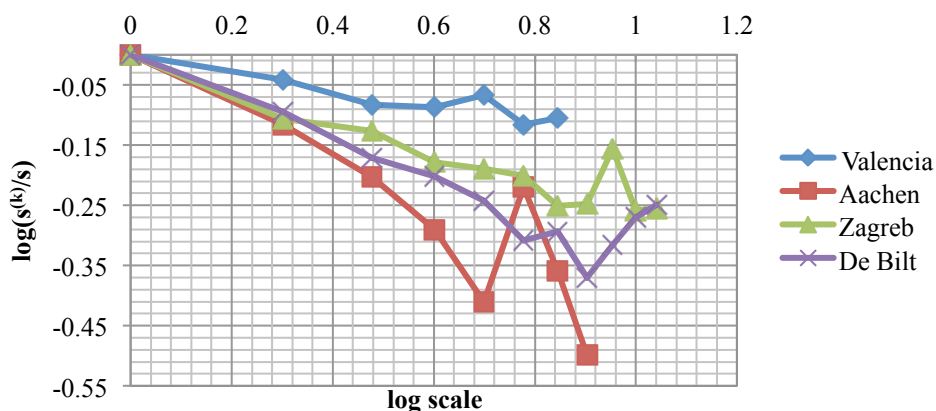


την μέθοδο γραμμικής παλινδρόμησης. Παρατηρείται ότι και για τις δύο μεταβλητές ο συντελεστής είναι μεγαλύτερος του 0.5. Στην περίπτωση της μέσης ταχύτητας ανέμου, η πλειονότητα των τιμών συγκεντρώνεται μεταξύ 0.6 και 0.9, ενώ για την περίπτωση της διάρκειας ηλιοφάνειας μεταξύ των τιμών 0.7 και 0.9.

Τα Σχήματα 4.4 και 4.5 δείχνουν τα λογαριθμικά κλιμακογράμματα της αδιαστατοποιημένης τυπικής απόκλισης των μέσων συναθροισμένων ανελιξέων με την χρονική κλίμακα  $k$ . Με τον όρο αδιαστατοποιημένη τυπική απόκλιση εννοείται ο λόγος της τυπικής απόκλισης συναθροισμένης κλίμακας προς την τυπική απόκλιση μοναδιαίας κλίμακας  $s^{(k)}/s$ . Η συγκεκριμένη μετατροπή γίνεται έτσι ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση χρονοσειρών με διαφορετική τυπική απόκλιση σε ένα ενιαίο διάγραμμα. Τα κλιμακογράμματα των χρονοσειρών προσεγγίζουν την ευθεία γραμμή μέχρι κάποια τιμή της κλίμακας  $k$ , και από εκεί και μετά έχουν έντονες διακυμάνσεις. Η ύπαρξη μεγάλου τμήματος του κλιμακογράμματος σε ευθεία γραμμή αποδεικνύει την καταλληλότητα της χρήσης του μοντέλου απλής ομοιοθεσίας για τις χρονοσειρές που εξετάζονται. Ο συντελεστής Hurst εκτιμάται από την κλίση της ευθείας (ειδικότερα, του τμήματος του διαγράμματος με ευθεία γραμμή). Όσο μικρότερη είναι η (αρνητική) κλίση, τόσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής Hurst.



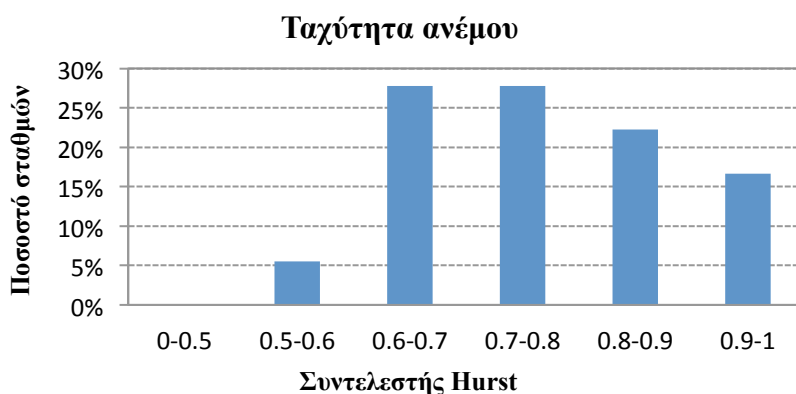
Σχήμα 4.4: Κλιμακόγραμμα τυπικής απόκλισης για την μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου για τους σταθμούς Giessen Wettenberg, Valencia, Hohenpeissenberg, De Kooy.



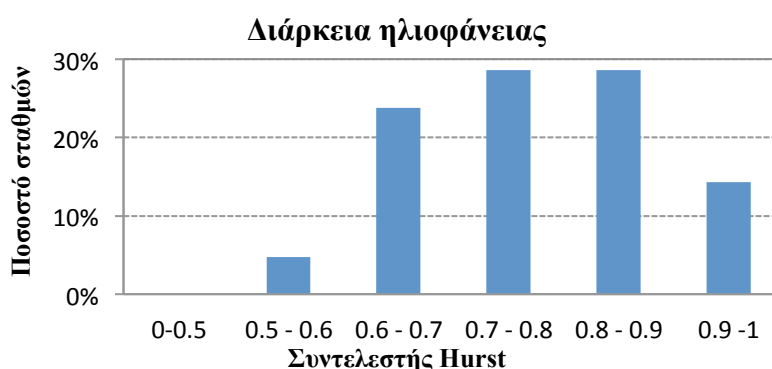
Σχήμα 4.5: Κλιμακόγραμμα τυπικής απόκλισης για την μέση ετήσια διάρκεια ηλιοφάνειας για τους σταθμούς Valencia, Aachen, Zagreb, De Bilt.

#### 4.2.2. Μέθοδος LSSD

Για την αμερόληπτη εκτίμηση του συντελεστή Hurst έγινε χρήση της μεθόδου LSSD (Tyrallis and Koutsoyiannis, 2011), με κατάλληλη μακροεντολή σε υπολογιστικό φύλλο Excel.



Σχήμα 4.6: Ιστογράμμο συχνότητας συντελεστών Hurst για τις χρονοσειρές της μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου με την μέθοδο LSSD.



Σχήμα 4.7: Ιστογράμμο συχνότητας συντελεστών Hurst για τις χρονοσειρές της μέσης ετήσιας διάρκειας ηλιοφάνειας με την μέθοδο LSSD.

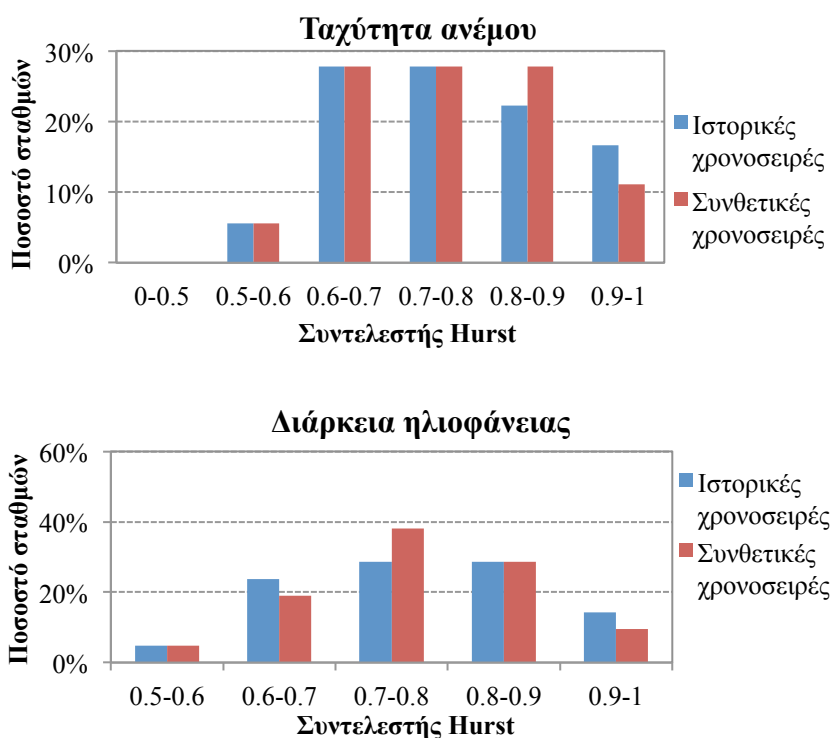
Τα Σχήματα 4.6 και 4.7 απεικονίζουν τα ιστογράμματα του συντελεστή Hurst τόσο για την μέση ταχύτητα του ανέμου όσο και για την διάρκεια ηλιοφάνειας όπως αυτός υπολογίστηκε από τις χρονοσειρές των σταθμών με την μέθοδο LSSD. Παρατηρείται ότι και για τις δύο μεταβλητές ο συντελεστής είναι επίσης μεγαλύτερος του 0.5 ενώ ταυτόχρονα και στις δύο περιπτώσεις προέκυψαν και αρκετά μεγάλες τιμές του συντελεστή Hurst, στο διάστημα (0.9, 1), σε αντίθεση με την μέθοδο γραμμικής παλινδρόμησης. Γενικά και οι δύο μέθοδοι υποδεικνύουν μια συμπεριφορά Hurst-Kolmogorov τόσο για την μέση ταχύτητα ανέμου όσο και για την διάρκεια ηλιοφάνειας. Για την περαιτέρω ανάλυση προτιμώνται οι τιμές που προέκυψαν με την μέθοδο LSSD καθώς είναι σχεδόν αμερόληπτος ο υπολογισμός του .

#### 4.2.3. Προσδιορισμός χαρακτηριστικών τιμών του συντελεστή Hurst

Με σκοπό την περαιτέρω ανάλυση των τιμών του συντελεστή Hurst που υπολογίστηκαν, κατασκευάζονται συνθετικές χρονοσειρές για κάθε μία από τις δύο

μεταβλητές, μέση ταχύτητα ανέμου και διάρκεια ηλιοφάνειας, με την μέθοδο των τυχαίων διακυμάνσεων πολλαπλής κλίμακας που αναφέρθηκε παραπάνω (Koutsoyiannis, 2002). Ο αριθμός των παραγόμενων χρονοσειρών είναι ίδιος με τον αριθμό των χρονοσειρών των σταθμών. Η κάθε μία από αυτές έχει την ίδια μέση τιμή, τυπική απόκλιση και το ίδιο μήκος καταγραφών με την αντίστοιχη χρονοσειρά του κάθε σταθμού. Για την σύνθεση τους χρησιμοποιείται μία θεωρητική τιμή του συντελεστή Hurst στη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης η οποία είναι κοινή για όλες τις συνθετικές χρονοσειρές. Στο τέλος της διαδικασίας υπολογίζεται η πραγματική τιμή του συντελεστή Hurst που προέκυψε για κάθε μία από τις αυτές με την μέθοδο LSSD και καταρτίζονται τα ιστογράμματα τους.

Κάνοντας αρκετές δοκιμές των θεωρητικών τιμών του συντελεστή Hurst και συγκρίνοντας τα ιστογράμματα των συνθετικών χρονοσειρών με αυτά των ιστορικών καταλήγουμε, όπως φαίνεται στα διαγράμματα του Σχήματος 4.8, στην τιμή του συντελεστή Hurst 0.84 για την μέση ταχύτητα ανέμου και τη διάρκεια ηλιοφάνειας. Οι τιμές αυτές μπορούν να θεωρηθούν χαρακτηριστικές για τον συντελεστή Hurst για τις ιστορικές χρονοσειρές που εξετάστηκαν καθώς, όπως παρατηρείται, η γέννηση ίδιου αριθμού συνθετικών χρονοσειρών με τα ίδια στατιστικά χαρακτηριστικά και ίδιο μήκος με τις ιστορικές δίνει παρεμφερή ιστογράμματα.



Σχήμα 4.8: Σύγκριση ιστογραμμάτων συχνότητας συντελεστών Hurst των ιστορικών και των συνθετικών χρονοσειρών με θεωρητική τιμή Hurst 0.84 για τις χρονοσειρές μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου (πάνω) και μέσης ετήσιας διάρκειας ηλιοφάνειας (κάτω).



## **5. Θεωρητικό υπόβαθρο - Το υπολογιστικό σύστημα «Κασταλία»**

### **5.1. Στοχαστική προσομοίωση**

Με τον όρο στοχαστική ή Monte Carlo προσομοίωση αναφέρονται οι υπολογιστικές τεχνικές που κάνουν χρήση γεννητριών τυχαίων αριθμών και χρησιμοποιούνται για την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων τα οποία είτε δεν έχουν αναλυτική λύση ή η αριθμητική τους επίλυση είναι χρονοβόρα. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την προσομοίωση πολύπλοκων συστημάτων, τα οποία διέπονται από διάφορες αβεβαιότητες ως προς τα δεδομένα εισόδου. Η πλειονότητα των συστημάτων υδατικών πόρων χαρακτηρίζεται από την παραπάνω ιδιαιτερότητα και για αυτόν τον λόγο είναι ευρέως διαδεδομένη η εφαρμογή μεθόδων στοχαστικής προσομοίωσης.

Χαρακτηριστική περίπτωση είναι τα συστήματα που σχετίζονται με τις υδρομετεωρολογικές διεργασίες, όπως ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση ανανεώσιμων πηγών. Όπως είναι γνωστό, είναι αδύνατη η πρόβλεψη της εξέλιξης των υδρομετεωρολογικών διεργασιών καθώς η συμπεριφορά τους είναι χαοτική και έτσι ασφαλής πρόγνωση αυτών είναι δυνατό να γίνει μόνο για χρονικό ορίζοντα λίγων ημερών. Αυτή η αδυναμία πρόγνωσης οδηγεί στην θεώρηση αυτών των διεργασιών ως τυχαίων μεταβλητών και την αντιμετώπιση τους ως στοχαστικές ανελίξεις. Με γνώμονα αυτή την θεώρηση και κάνοντας χρήση στοχαστικών υδρολογικών μοντέλων, τα οποία ποσοτικοποιούν την αβεβαιότητα γύρω από την ανέλιξη των υδρομετεωρολογικών διεργασιών, γίνεται η γέννηση συνθετικών χρονοσειρών. Οι συγκεκριμένες χρονοσειρές αναπαράγουν την στοχαστική δομή και τα κύρια στατιστικά χαρακτηριστικά των ιστορικών χρονοσειρών. Συνήθως, οι συνθετικές χρονοσειρές αποτελούν δεδομένα εισόδου σε πιο σύνθετα μοντέλα, π.χ. μοντέλα βελτιστοποίησης συστημάτων υδατικών όρων.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται η ταυτόχρονη γέννηση συνθετικών χρονοσειρών μέσης ημερήσιας ταχύτητας ανέμου και ημερήσιας διάρκειας ηλιοφάνειας χρονικής διάρκειας 1000 ετών, με χρήση του υπολογιστικού συστήματος *Κασταλία*. Οι συνθετικές χρονοσειρές που παράγονται, ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία τους είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

### **5.2. Το πρόγραμμα Κασταλία - Γενικά στοιχεία**

Η *Κασταλία* πραγματοποιεί στοχαστική ανάλυση πολλαπλών δειγμάτων μεταβλητών (στην παρούσα έκδοση είναι δυνατή η ανάλυση μέχρι 10 μεταβλητών), οι οποίες αναφέρονται σε διαφορετικές διεργασίες στην ίδια θέση ή σε διαφορετικές θέσεις. Οι διεργασίες αυτές έχουν συσχέτιση μεταξύ τους και ανήκουν σε συστήματα με κοινή υδρολογική δίαυτα, όπως για παράδειγμα μια λεκάνη απορροής. Πρόκειται δηλαδή

για ένα πολυμεταβλητό στοχαστικό μοντέλο, που αρχικά αναπτύχθηκε για τη μελέτη μηνιαίων υδρολογικών μεταβλητών, όπως η βροχή και η απορροή (Ευστρατιάδης και Κουτσογιάνης, 2004, Ευστρατιάδης κ.ά., 2005). Πρόσφατα, στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας του Διαλυνά (2011), έγινε επέκταση του μοντέλου, ώστε να υποστηρίζει την γέννηση βροχοπτώσεων σε ημερήσιο χρονικό βήμα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνάται η δυνατότητα αξιοποίησης του συστήματος για την ανάλυση και άλλων μετεωρολογικών μεταβλητών, και συγκεκριμένα της μέσης ημερήσιας ταχύτητας του ανέμου και της ημερήσιας διάρκειας ηλιοφάνειας.

Η ανάλυση των ιστορικών δειγμάτων και η γέννηση των συνθετικών χρονοσειρών πραγματοποιείται σε τρία βασικά βήματα: στο πρώτο πραγματοποιείται η γέννηση συνθετικών χρονοσειρών ετήσιας χρονικής κλίμακας, στο δεύτερο πραγματοποιείται η γέννηση των χρονοσειρών μηνιαίας χρονικής κλίμακας και, τέλος, στο τρίτο βήμα πραγματοποιείται η γέννηση των χρονοσειρών ημερήσιας χρονικής κλίμακας. Οι συνθετικές χρονοσειρές στις διάφορες χρονικές κλίμακες παράγονται με διαφορετικά στοχαστικά μοντέλα. Στην ετήσια κλίμακα χρησιμοποιούνται στοχαστικά μοντέλα που αναπαράγουν την μακροπρόθεσμη εμμονή των υδρολογικών διεργασιών, γνωστή ως φαινόμενο Hurst, ενώ σε μηνιαία και ημερήσια κλίμακα χρησιμοποιούνται μοντέλα που αναπαράγουν την περιοδικότητα και άλλα χαρακτηριστικά των διεργασιών λεπτής χρονικής κλίμακας.

Και στις δύο περιπτώσεις, τα μοντέλα αναπαράγουν το ελάχιστο σύνολο των ουσιωδών στατιστικών παραμέτρων δηλαδή: α) τις παραμέτρους των περιθωρίων συναρτήσεων κατανομής κάθε μεταβλητής, και συγκεκριμένα την μέση τιμή, την διασπορά και τον συντελεστή ασυμμετρίας, και β) τις παραμέτρους των από κοινού συναρτήσεων κατανομής των μεταβλητών, και συγκεκριμένα τους συντελεστές αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης και τους συντελεστές ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης. Με τον τρόπο αυτό παράγονται χρονοσειρές στατιστικά ισοδύναμες με τις ιστορικές, ενώ ταυτόχρονα διατηρείται η χωρική (ετεροσυσχέτιση) και χρονική εξάρτηση (βραχυπρόθεσμη εμμονή), καθώς και η στοχαστική δομή των ιστορικών χρονοσειρών. Για την γέννηση των συνθετικών χρονοσειρών γίνεται η χρήση της κατανομής γάμα τριών παραμέτρων. Η κατανομή αυτή θεωρείται κατάλληλη για την περιγραφή υδρολογικών μεταβλητών στις εξεταζόμενες χρονικές κλίμακες (ετήσια, μηνιαία και ημερήσια), αφού ορίζεται μόνο για θετικές τιμές της μεταβλητής και είναι σε θέση να αναπαράγει την ασυμμετρία των ιστορικών δειγμάτων, η οποία είναι αρκετά μεγάλη, ιδιαίτερα στην ημερήσια κλίμακα.

Οι παραγόμενες συνθετικές χρονοσειρές πρέπει να χαρακτηρίζονται από συνέπεια στις διαφορετικές κλίμακες, δηλαδή η μηνιαία κλίμακα πρέπει να είναι συνεπής με την ετήσια και η ημερήσια με την μηνιαία. Στο μοντέλο, οι μηνιαίες μεταβλητές παράγονται ανεξάρτητα από τις ετήσιες και με διαφορετικό σχήμα προσομοίωσης όπως επίσης και οι ημερήσιες παράγονται χωρίς αναφορά στις μηνιαίες. Για τον λόγο αυτό, μετά την αρχική γέννηση των χρονοσειρών, πραγματοποιείται αναγωγή τους μέσω μιας μεθοδολογίας επιμερισμού. Ο επιμερισμός εφαρμόζεται αρχικά για τις μηνιαίες τιμές, ώστε το άθροισμα τους να ισούται με την αντίστοιχη ετήσια

συνθετική τιμή, και στη συνέχεια για τις ημερήσιες τιμές, ώστε το άθροισμα τους να ισούται με την αντίστοιχη μηνιαία συνθετική τιμή. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν οι τελικές ημερήσιες και μηνιαίες τιμές εξόδου του συστήματος.

### 5.3. Συνοπτική περιγραφή του σχήματος γέννησης συνθετικών χρονοσειρών προσανατολισμένη στην χρήση του συστήματος

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η *Κασταλία* αναπαράγει ικανοποιητικά την μέση τιμή, την τυπική απόκλιση, τον συντελεστή ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης και τον συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί από τον χρήστη στην ρύθμιση των παραμέτρων που σχετίζονται με την διατήρηση της εμμονής της ανέλιξης καθώς και της ασυμμετρίας σε όλες τις χρονικές κλίμακες. Στη συνέχεια παρουσιάζεται συνοπτικά το θεωρητικό υπόβαθρο του συστήματος. Στο κείμενο δίνεται έμφαση στην επισήμανση των ιδιαιτεροτήτων στην επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων που σχετίζονται με τη γέννηση συνθετικών χρονοσειρών μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας. Εκτενής περιγραφή του θεωρητικού υποβάθρου του μοντέλου δίνεται στα σχετικά τεύχη τεκμηρίωσης και δημοσιεύσεις.

#### 5.3.1. Μεθοδολογία αναπαραγωγής της εμμονής

##### 5.3.1.1. Γενικευμένη συνάρτηση αυτοσυνδιασποράς

Το φαινόμενο της μακροπρόθεσμης εμμονής ή φαινόμενο Hurst είναι ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό όλων των υδρομετεωρολογικών διεργασιών και η αναπαραγωγή του είναι πολύ σημαντική. Στο πρόγραμμα, η αναπαραγωγή της εμμονής γίνεται μέσω μίας γενικευμένης προσέγγισης η οποία είναι απλή στην εφαρμογή της.

Έστω η στοχαστική ανέλιξη  $X_i$  σε διακριτό χρόνο  $i$ , με αυτοσυνδιασπορά:

$$\gamma_j = \text{Cov} [ X_i, X_{i+j} ] \quad (5.1)$$

Η ανέλιξη  $X_i$  στάσιμη με μέση τιμή  $\mu_x = E[X_i]$ , διασπορά  $\gamma_0$  και συντελεστή ασυμμετρίας  $\xi_x = E[(X_i - \mu_x)^3] / \gamma_0$ . Τα περιθώρια στατιστικά χαρακτηριστικά δηλαδή οι παράμετροι  $\mu_x$ ,  $\gamma_0$ ,  $\xi_x$  μπορούν να εκτιμηθούν από ένα δείγμα της ανέλιξης  $X_i$ , δηλαδή από την ιστορική χρονοσειρά, μεγέθους  $n$ , ήτοι μία ακολουθία τιμών  $(x_1, \dots, x_n)$  ενώ οι αυτοσυνδιασπορές  $\gamma_j$  μέσω της εμπειρικής συνάρτησης:

$$\gamma_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+j} - \mu_x)(x_i - \mu_x) \quad (5.2)$$

Ο λόγος  $\rho_j = \gamma_j / \gamma_0$  είναι ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης της ανέλιξης και η γραφική παράστασή του συναρτήσει της υστέρησης (lag)  $j$  αποτελεί το αυτοσυσχετόγραμμα της ανέλιξης. Μία ανέλιξη που χαρακτηρίζεται από μακροπρόθεσμη εμμονή εμφανίζει θετικές τιμές αυτοσυσχέτισης, για μεγάλες τιμές της χρονικής υστέρησης  $j$ . Επομένως από την μορφή του αυτοσυσχετογράμματος μιας ανέλιξης είναι δυνατός ο

εμπειρικός εντοπισμός της μακροπρόθεσμης εμμονής, καθώς σε αυτή τη περίπτωση το διάγραμμα έχει μορφή μακριάς ουράς. Ωστόσο, επειδή το μήκος των δειγμάτων είναι κατά κανόνα μικρό (μερικές δεκάδες χρόνια) μόνο οι αυτοσυνδιασπορές για μικρές υστερήσεις μπορούν να εκτιμηθούν με ακρίβεια μέσω της σχέσης (5.2). Επιπλέον, οι δειγματικές εκτιμήσεις των αυτοσυνδιασπορών εισάγουν αρνητική μεροληψία με αποτέλεσμα να φθίνουν σχετικά γρήγορα συναρτήσει του χρόνου (Koutsoyiannis, 2003). Τα παραπάνω λοιπόν μπορούν να οδηγήσουν στο λανθασμένο συμπέρασμα ότι οι αυτοσυνδιασπορές μηδενίζονται μετά από κάποια τιμή της υστέρησης, κάτι που δεν ισχύει σε περίπτωση που η ανέλιξη χαρακτηρίζεται από εμμονή.

Για την αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος και την σωστή αναπαραγωγή του φαινομένου της εμμονής, στην *Κασταλία* γίνεται χρήση μιας θεωρητικής *γενικευμένης* συνάρτησης *αυτοσυνδιασποράς* (Koutsoyiannis, 2000), οι τιμές της οποίας δεν μηδενίζονται μετά από κάποια υστέρηση, σε αντίθεση με τις αυτοσυνδιασπορές των ιστορικών δειγμάτων. Οι τιμές της θεωρητικής αυτοσυνδιασποράς για διάφορες υστερήσεις  $j$  προσαρμόζονται όσο το δυνατό καλύτερα στις τιμές των αυτοσυνδιασπορών των ιστορικών δειγμάτων με διάφορες μεθόδους, οι οποίες εξηγούνται στο εδάφιο 5.3.1.2. Στη συνέχεια, το σύστημα χρησιμοποιεί τις τιμές των θεωρητικών αυτοσυνδιασπορών στα διάφορα σχήματα γέννησης. Η *γενικευμένη συνάρτηση αυτοσυνδιασποράς* έχει την μορφή:

$$\gamma_j = \gamma_0 [1 + \kappa \beta j]^{-1/\beta} \quad (5.3)$$

όπου  $\kappa$ ,  $\beta$  παράμετροι. Η παράμετρος  $\kappa$  περιγράφει το σχήμα της συνάρτησης αυτοσυνδιασποράς και η παράμετρος  $\beta$  σχετίζεται με την εμμονή της ανέλιξης. Η παράμετρος  $\beta$  λαμβάνει τιμές στο διάστημα  $[0, +\infty)$ . Για  $\beta = 0$  και  $\kappa = -\ln \rho$  η (5.3) είναι ταυτόσημη με τη θεωρητική συνάρτηση αυτοσυνδιασποράς των μοντέλων τύπου ARMA( $p$ ,  $q$ ), τα οποία είναι βραχείας μνήμης και δεν αναπαράγουν την μακροπρόθεσμη εμμονή. Η θεωρητική συνάρτηση αυτοσυνδιασποράς αυτών των μοντέλων δίνεται από την σχέση:

$$\gamma_j = \alpha \varphi^j \quad (5.4)$$

όπου  $\alpha$ ,  $\varphi$  παράμετροι με  $0 \leq \varphi \leq 1$ .

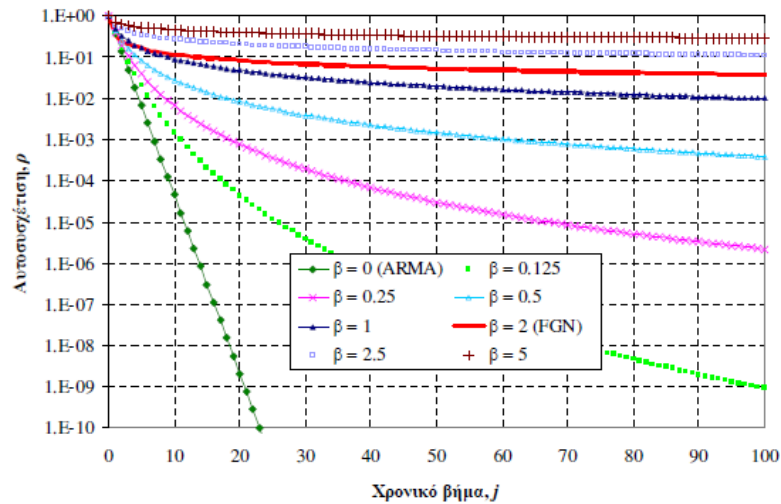
Για  $\beta > 1$  και

$$\kappa =: \frac{1}{(\beta(1 - \frac{1}{\beta})(1 - \frac{1}{2\beta}))^\beta} = \kappa_0 \quad (5.5)$$

η εξίσωση δύναμης (5.3) προσεγγίζει ικανοποιητικά (με εξαίρεση τους πρώτους όρους) την ακολουθία της θεωρητικής συνάρτησης αυτοσυνδιασποράς του μοντέλου κλασματικού γκαουσιανού θορύβου (FGN).



Ωστόσο η γενικευμένη συνάρτηση αυτοσυνδιασποράς αποτελεί μία εφικτή δομή συνδιασποράς και για την γενικότερη περίπτωση  $\kappa = \kappa_0$  ή για τιμές της παραμέτρου  $\beta$  στο διάστημα  $(0, 1)$ . Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.1, όσο αυξάνεται η τιμή της παραμέτρου  $\beta$  τόσο αυξάνεται και η μνήμη της στοχαστικής ανέλιξης, δηλαδή η παράμετρος  $\beta$  είναι αντίστοιχη του συντελεστή Hurst.



Σχήμα 5.1 : Παραδείγματα εφαρμογής της γενικευμένης συνάρτησης αυτοσυνδιασποράς για την παράμετρο σχήματος  $\kappa=1$  και διάφορες τιμές της παραμέτρου εμμοής  $\beta$  (Πηγή : (Ευστρατιάδης και Κουτσογιάννης, 2004))

### 5.3.1.2. Εκτίμηση παραμέτρων συνάρτησης αυτοσυνδιασποράς

Οι παράμετροι της γενικευμένης συνάρτησης αυτοσυνδιασποράς είναι η διασπορά  $\gamma_0$ , η παράμετρος εμμοής  $\beta$  και η παράμετρος σχήματος  $\kappa$ . Η διασπορά εκτιμάται από το ιστορικό δείγμα μέσω της γνωστής στατιστικής σχέσης :

$$s_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2 \quad (5.6)$$

όπου  $n$  το μέγεθος του δείγματος.

Η εκτίμηση των παραμέτρων  $\beta$  και  $\kappa$  γίνεται με τέσσερις εναλλακτικές μεθόδους και η επιλογή της μεθόδου γίνεται από τον χρήστη του προγράμματος. Συγκεκριμένα η επιλογή είναι δυνατό να γίνει μέσω της βέλτιστης προσαρμογής του θεωρητικού αυτοσυσχετογράμματος στο εμπειρικό, μέσω της διατήρησης του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για υστέρηση 1, μέσω της διατήρησης του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για υστέρηση 1 και 2 και μέσω αυθαίρετης επιλογής της παραμέτρου εμμοής  $\beta$ .

α) Βέλτιστη προσαρμογή θεωρητικού αυτοσυσχετογράμματος στο εμπειρικό

Στη μέθοδο αυτή ορίζεται το πρόβλημα ελαχιστοποίησης της αντικειμενικής συνάρτησης :

$$f(\beta, \kappa) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\hat{\rho}_j - \rho_j)^2 \quad (5.7)$$

όπου  $\hat{\rho}_j = \hat{\gamma}_j / \hat{\gamma}_0$  η ακολουθία των εμπειρικών συντελεστών αυτοσυσχέτισης, όπως εκτιμώνται από τη σχέση (5.2), και  $\rho_j = \gamma_j / \gamma_0$  η ακολουθία των θεωρητικών συντελεστών αυτοσυσχέτισης, που εκτιμώνται από την γενικευμένη συνάρτηση αυτοσυνδιασποράς. Η αντικειμενική συνάρτηση (5.7) εκφράζει τη μέση τετραγωνική απόκλιση μεταξύ δειγματικών και θεωρητικών συντελεστών αυτοσυσχέτισης.

β) Διατήρηση συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1

Ορίζεται το ίδιο πρόβλημα ελαχιστοποίησης όπως προηγουμένως, με την διαφορά ότι προστίθεται ο περιορισμός  $\hat{\rho}_1 = \rho_1$ , ο οποίος εισάγεται στην αντικειμενική συνάρτηση ως όρος ποινής, δηλαδή:

$$f(\beta, \kappa) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\hat{\rho}_j - \rho_j)^2 + M(\hat{\rho}_1 - \rho_1)^2 \quad (5.8)$$

όπου  $M$  μεγάλος θετικός αριθμός

γ) Διατήρηση συντελεστών αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1 και 2

Στην περίπτωση αυτή οι παράμετροι  $\beta$ ,  $\kappa$  προκύπτουν από την επίλυση του συστήματος των μη γραμμικών εξισώσεων:

$$\hat{\gamma}_1 = \hat{\gamma}_0 [1 + \kappa\beta]^{-1/\beta} \quad (5.9)$$

$$\hat{\gamma}_2 = \hat{\gamma}_0 [1 + 2\kappa\beta]^{-1/\beta} \quad (5.10)$$

δ) Αυθαίρετη επιλογή παραμέτρου εμμονής

Οι μέθοδοι (α), (β) και (γ) είναι κατάλληλες σε περιπτώσεις στις οποίες το μήκος του ιστορικού δείγματος είναι μεγάλο, άρα το δειγματικό αυτοσυσχετόγραμμα μπορεί να θεωρηθεί σχετικά αξιόπιστο (κάτι το οποίο δεν είναι σύνηθες). Για τον λόγο αυτό, δίνεται στον χρήστη η δυνατότητα «χειροκίνητης» επιλογής της τιμής της παραμέτρου εμμονής  $\beta$ . Σε αυτή την περίπτωση η παράμετρος  $\kappa$  είτε υπολογίζεται αναλυτικά (με την θεώρηση διατήρησης του συντελεστή αυτοσυσχέτισης για υστέρηση 1) είτε μέσω βελτιστοποίησης, ελαχιστοποιώντας την απόκλιση του θεωρητικού από το δειγματικό αυτοσυσχετόγραμμα.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, η πλειονότητα των προβλημάτων αντιμετωπίστηκε με την συγκεκριμένη μέθοδο, ώστε να επιτευχθεί μια ρεαλιστική τιμή του συντελεστή Hurst, μέσω διαδοχικών δοκιμών.

### 5.3.2. Γέννηση ετήσιων χρονοσειρών

#### 5.3.2.1. Μοντέλο συμμετρικών κινούμενων μέσων (SMA)

Η γέννηση των συνθετικών χρονοσειρών γίνεται με χρήση ενός σχήματος κινούμενων μέσων όρων διπλής κατεύθυνσης (SMA) (Koutsoyiannis, 2000), το οποίο είναι συμμετρικό στο χρόνο και προσεγγίζεται με την πεπερασμένη ακολουθία :

$$X_i = \sum_{j=-s}^s a_{|j|} V_{(i+j)} = a_s V_{i-s} + \dots + a_{-1} V_{i-1} + a_0 V_i + a_1 V_{i+1} + \dots + a_s V_{i+s} \quad (5.11)$$

όπου  $X_i$  η στοχαστική ανέλιξη,  $a_j$  οι συντελεστές στάθμισης, που προσδιορίζονται από την ακολουθία των αυτοσυνδιασπορών  $\gamma_j$ , και  $V_i$  ο λευκός θόρυβος ή αλλιώς μεταβλητές ανανέωσης. Οι μεταβλητές αυτές σχετίζονται με τα στατιστικά χαρακτηριστικά της ανέλιξης και θεωρούνται ότι είναι στοχαστικά ανεξάρτητες μεταξύ τους, με διασπορά ίση με 1. Οι συντελεστές στάθμισης  $a_j$  συνδέονται με τις αυτοσυνδιασπορές  $\gamma_j$ , άρα και με την αναπαράγωγή της εμμοής της ανέλιξης, μέσω ενός συστήματος  $2s + 1$  εξισώσεων :

$$\gamma_i = \sum_{j=-s}^{s-i} a_{|j|} a_{|i+j|} \quad (5.12)$$

ή

$$\gamma_i = \begin{cases} \sum_{j=0}^i a_j a_{i-j} + 2 \sum_{j=i+1}^s a_j a_{j-i} & i = 0 \dots s \\ \sum_{j=i-s}^s a_j a_{i-j} & i = s + 1 \dots 2s \end{cases} \quad (5.13)$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το μοντέλο SMA αναπαράγει τους  $s + 1$  όρους της ακολουθίας αυτοσυνδιασπορών  $\gamma_j$  της θεωρητικής συνάρτησης αυτοσυνδιασποράς ενώ και οι επόμενοι όροι (έως  $j = 2s$ ) εξακολουθούν να είναι μη μηδενικοί. Με αυτόν τον τρόπο αναπαράγεται η εμμοή στην ετήσια κλίμακα. Συγκεκριμένα, οι τιμές που προκύπτουν από την θεωρητική συνάρτηση αυτοσυνδιασποράς διατηρούνται ύστερα από κατάλληλη ρύθμιση των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την εμμοή για το μήκος αυτοσυσχετογράμματος, που επίσης επιλέγεται από τον χρήστη. Ταυτόχρονα, αναπαράγονται θετικές τιμές των συντελεστών αυτοσυσχέτισης για μήκος διπλάσιο του μήκους του αυτοσυσχετογράμματος διατηρώντας έτσι την μακροπρόθεσμη μνήμη της ανέλιξης.

### 5.3.2.2. Εκτίμηση παραμέτρων μοντέλου κινούμενων μέσων (SMA)

Η εκτίμηση των συντελεστών στάθμισης του μοντέλου SMA από την γενικευμένη συνάρτηση αυτοσυνδιασποράς γίνεται είτε με αναλυτική επίλυση είτε με αριθμητική (Koutsoyiannis, 2000) και εξαρτάται άμεσα από τις τιμές των παραμέτρων  $\beta$  και  $\kappa$ .

Η εκτίμηση των στατιστικών χαρακτηριστικών των μεταβλητών ανανέωσης, και συγκεκριμένα της μέσης τιμής  $\mu_v = E[V_i]$  και του συντελεστή ασυμμετρίας  $\xi_v = E[(V_i - \mu_v)^3]$ , γίνεται μέσω των σχέσεων:

$$(\alpha_0 + 2 \sum_{j=1}^s a_j) \mu_v = \mu_x \quad (5.14)$$

$$(a_0^3 + 2 \sum_{j=1}^s a_j^3) \xi_v = \xi_x \gamma_0^{3/2} \quad (5.15)$$

Στο μοντέλο, οι διασπορές  $V_i$  λαμβάνονται ίσες με την μονάδα, δηλαδή:

$$\text{Var}[V_i] = 1 \quad (5.16)$$

Η εκτίμηση των τιμών του λευκού θορύβου γίνεται μέσω μίας γεννήτριας τυχαίων αριθμών κατανομής γάμα τριών παραμέτρων με στατιστικά χαρακτηριστικά  $\mu_v$ ,  $\text{Var}[V_i]$  και  $\xi_v$ , όπως αναφέρθηκαν παραπάνω.

### 5.3.2.3. Γενίκευση του σχήματος (SMA) για πολυμεταβλητή προσομοίωση

Η πολυμεταβλητή στοχαστική προσομοίωση στο μοντέλο SMA προϋποθέτει την διατήρηση της ετεροσυνδιασποράς μεταξύ των διαφορετικών μεταβλητών. Έτσι για τον προσδιορισμό των συντελεστών στάθμισης, οι οποίοι σχετίζονται αποκλειστικά με το φαινόμενο της εμμονής, ακολουθείται η ίδια ακριβώς διαδικασία για την κάθε μεταβλητή, ενώ για τον προσδιορισμό των μεταβλητών ανανέωσης γίνεται χρήση εκτός των στατιστικών χαρακτηριστικών του δείγματος και του δειγματικού μητρώου ετεροσυνδιασπορών  $\mathbf{g}$ , με στοιχεία :

$$g^{lk} = \text{Cov}[X^l, X^k] \quad (5.17)$$

όπου  $X_i = (X_i^1, \dots, X_i^m)^T$  το διάνυσμα  $m$  μεταβλητών κατά την χρονική περίοδο  $i$  σε κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί ο δείκτης  $l$ . Η εκτίμηση των μεταβλητών ανανέωσης, με τρόπο ώστε να διατηρούνται οι συντελεστές ετεροσυσχέτισης των δειγμάτων, βασίζεται σε πρωτότυπη μεθοδολογία του Koutsoyiannis (1999).

### 5.3.3. Γέννηση μηνιαίων χρονοσειρών

#### 5.3.3.1. Περιοδικό μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης ( PAR(1) )

Κάθε μηνιαία στοχαστική ανέλιξη θεωρείται κυκλοστάσιμη, δηλαδή διατηρεί σταθερά στατιστικά χαρακτηριστικά σε κάθε χρονική υποπερίοδο (μήνα). Συνεπώς, στη μηνιαία χρονική κλίμακα δίνεται έμφαση στη διατήρηση της περιοδικότητας. Το σχήμα γέννησης που χρησιμοποιείται για την γέννηση των μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών είναι το περιοδικό σχήμα αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης PAR(1), γενικευμένο για πολυμεταβλητή προσομοίωση.

Έστω το διάνυσμα  $X_\tau = (X_\tau^1, \dots, X_\tau^m)^T$  το οποίο αντιπροσωπεύει την ταυτόχρονη πραγματοποίηση  $m$  στοχαστικά εξαρτημένων ανεξίξεων κατά την υποπερίοδο  $\tau$ . Το πολυμεταβλητό PAR(1) περιγράφει την εξάρτηση των μεταβλητών  $X_\tau^l$  ως προς των χρόνο μέσω της αναδρομικής σχέσης :

$$X_\tau = a_\tau X_{\tau-1} + b_\tau V_\tau \quad (5.18)$$

όπου  $a_\tau$ ,  $b_\tau$  μητρώα παραμέτρων διαστάσεων  $(m \times m)$  τα οποία εξαρτώνται με περιοδικό τρόπο από την υποπερίοδο και  $V_\tau = (V_\tau^1, \dots, V_\tau^m)^T$  το διάνυσμα λευκού θορύβου μεγέθους  $m$  με μοναδιαία διασπορά.

Οι παράμετροι του μοντέλου εκτιμώνται με βάση τα από κοινού στατιστικά χαρακτηριστικά του ιστορικού δείγματος ως εξής:

$$a_\tau = Cov[X_\tau, X_{\tau-1}] \{Cov[X_{\tau-1}, X_{\tau-1}]\}^{-1} \quad (5.19)$$

$$b_\tau b_\tau^T = Cov[X_\tau, X_\tau] - a_\tau Cov[X_{\tau-1}, X_{\tau-1}] a_\tau^T \quad (5.20)$$

Οι μέσες τιμές των λευκών θορύβων  $V_\tau$  υπολογίζονται από την (5.18) αν λάβουμε αναμενόμενες τιμές, δηλαδή:

$$E[V_\tau] = b_\tau^{-1} \{E[X_\tau] - a_\tau E[X_{\tau-1}]\} \quad (5.21)$$

Οι διασπορές των  $V_\tau$  είναι εξ ορισμού ίσες με την μονάδα:

$$Var[V_\tau] = [1, \dots, 1]^T \quad (5.22)$$

Οι τρίτες ροπές, οι οποίες σχετίζονται με την ασυμμετρία, προκύπτουν αν υψώσουμε τα δύο μέλη της (18) στον κύβο και στην συνέχεια λάβουμε αναμενόμενες τιμές ως εξής:

$$\mu_3[V_\tau] = (b_\tau^{(3)})^{-1} \{\mu_3[X_\tau] - \mu_3[a_\tau X_{\tau-1}]\} \quad (5.23)$$

Οι τυχαίες μεταβλητές  $V_\tau$  παράγονται μέσω γεννήτριας τυχαίων αριθμών που ακολουθούν την κατανομή γάμα τριών παραμέτρων, με στατιστικά χαρακτηριστικά  $E[V_\tau]$ ,  $Var[V_\tau]$  και  $\mu_3[V_\tau]$ .

Η τελική αναδρομική σχέση που προκύπτει είναι :

$$X_{\tau}^l = \alpha_{\tau}^l X_{\tau-1}^l + \sum_{k=1}^m b_{\tau}^{lk} V_{\tau}^k \quad (5.24)$$

### 5.3.3.2. Αποκατάσταση συνέπειας μηνιαίων χρονοσειρών και επαναληπτική διαδικασία τύπου Monte Carlo για το μηνιαίο PAR(1)

Η γέννηση των μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών γίνεται ανεξάρτητα από την γέννηση των ετήσιων χρονοσειρών. Για τον λόγο αυτό γίνεται αποκατάσταση της συνέπειας, έτσι ώστε το άθροισμα των μηνιαίων τιμών να ισούται με την ετήσια τιμή, μέσω μιας διαδικασίας αναγωγής.

Μέσω της διαδικασίας γραμμικής αναγωγής ωστόσο υποεκτιμώνται οι ασυμμετρίες και οι ετεροσυσχετίσεις στη μηνιαία κλίμακα. Επιπλέον, σε αρκετές περιπτώσεις, δεν διατηρείται ο συντελεστής συσχέτισης του πρώτου χρονικού βήματος μιας περιόδου με το τελευταίο της προηγούμενης. Για τον λόγο αυτό, πριν τη διαδικασία αναγωγής, πραγματοποιείται μια επαναληπτική διαδικασία τύπου Monte Carlo. Η διαδικασία αυτή αποσκοπεί στην εύρεση μιας στατιστικά ανεξάρτητης ακολουθίας μηνιαίων μεταβλητών, η οποία προσεγγίζει όσο το δυνατόν την ετήσια τιμή. Έτσι, για κάθε χρονική περίοδο παράγεται ένα πλήθος πραγματοποιήσεων των μηνιαίων μεταβλητών μέσω του μοντέλου PAR(1), ώσπου η απόσταση:

$$\Delta Z = \|Z - \check{Z}\| \quad (5.25)$$

να γίνει μικρότερη από κάποια αποδεκτή τιμή  $\Delta Z_{max}$ , που ορίζεται από τον χρήστη. Η απόσταση  $\Delta Z$  ισούται με :

$$\Delta Z = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n \frac{|Z^l - \check{Z}^l|}{\sqrt{var[Z^l]}} \quad (5.26)$$

Όπου  $Z$  η τιμή της ετήσιας μεταβλητής η οποία παράγεται μέσω του μοντέλου SMA και  $\check{Z}$  το άθροισμα των μηνιαίων παραγόμενων τιμών  $X$ . Επομένως σε περίπτωση που εμφανιστεί μεγάλη διαφορά μεταξύ των συνθετικών και ιστορικών συντελεστών ασυμμετρίας, τότε ο χρήσης μπορεί να επέμβει στις επιλογές του αλγορίθμου γέννησης μηνιαίων χρονοσειρών θέτοντας αυστηρότερο κριτήριο σύγκλισης ή αυξάνοντας τον μέγιστο αριθμό επαναλήψεων. Στην παρούσα εργασία, το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με την προαναφερθείσα τακτική.

### 5.3.4. Γέννηση ημερήσιων τιμών

#### 5.3.4.1. Περιοδικό μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης ( PAR(1) )

Όπως οι μηνιαίες, έτσι και οι ημερήσιες στοχαστικές ανελίξεις θεωρούνται κυκλοστάσιμες, οπότε και στην ημερήσια κλίμακα δίνεται έμφαση στη διατήρηση της περιοδικότητας. Το σχήμα γέννησης που χρησιμοποιείται και σε αυτή την κλίμακα

είναι το περιοδικό σχήμα παλινδρόμησης πρώτης τάξης PAR(1), γενικευμένο για πολυμεταβλητή προσομοίωση.

Έστω το διάνυσμα  $Y_{s,\tau} = (Y_{s,\tau}^1, \dots, Y_{s,\tau}^m)^T$ , που αντιπροσωπεύει την ταυτόχρονη πραγματοποίηση  $m$  στοχαστικά ανεξάρτητων ανεξίτητων κατά την ημέρα  $\tau$  και τον μήνα  $s$ . Η αναδρομική σχέση που περιγράφει την εξάρτηση των μεταβλητών και η εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου και των στατιστικών παραμέτρων του λευκού θορύβου δίνονται από τις σχέσεις (5.18), (5.19), (5.20), (5.21), (5.22), (5.23) και (5.24) που χρησιμοποιούνται για τις μηνιαίες χρονοσειρές, αν αντικατασταθεί το διάνυσμα  $X_\tau$  με το διάνυσμα  $Y_{s,\tau} = (Y_{s,\tau}^1, \dots, Y_{s,\tau}^m)^T$ , οι παράμετροι  $a_\tau, b_\tau$  με τις παραμέτρους  $a_s, b_s$  και ο λευκός θόρυβος  $V_\tau$  με τον  $V_{s,\tau}$ .

#### 5.3.4.2. Διατήρηση ασυμμετρίας

Είναι γνωστό ότι οι υδρολογικές διεργασίες στις μικρές χρονικές κλίμακες (π.χ. ημερήσια, ωριαία) ακολουθούν ασύμμετρες κατανομές με σχετικά μεγάλους συντελεστές ασυμμετρίας. Για τον λόγο αυτό η διατήρηση της ασυμμετρίας σε αυτές τις κλίμακες είναι πολύ σημαντική.

Στο σχήμα γέννησης ημερήσιων συνθετικών χρονοσειρών, η ασυμμετρία διατηρείται μετά από κατάλληλο μετασχηματισμό δύναμης της μορφής :

$$Y'_t := Y_t^{(m)} \quad (5.27)$$

όπου ο συμβολισμός  $(m)$  σημαίνει ότι όλα τα στοιχεία του διανύσματος  $Y_t$  υψώνονται στη δύναμη  $m$  με  $0 < m < 1$ . Ο μετασχηματισμός των ιστορικών δεδομένων προηγείται της εισαγωγής τους στο σχήμα προσομοίωσης, όπως αναλύεται στην εργασία του Διαλυνά (2011). Ωστόσο, επειδή δεν είναι ακόμα διαθέσιμη η έκδοση του λογισμικού που περιλαμβάνει αυτόν τον μετασχηματισμό, η αναπαραγωγή των ημερήσιων χρονοσειρών έγινε για τιμή της δύναμης  $(m)$  ίση με 1.

#### 5.3.4.3. Διατήρηση πιθανότητας εμφάνισης ξηρών περιόδων (Probability dry)

Το πρόγραμμα *Κασταλία* χρησιμοποιείται και για την γέννηση ημερήσιων συνθετικών χρονοσειρών βροχόπτωσης. Είναι γνωστό ότι στην ημερήσια κλίμακα η βροχόπτωση χαρακτηρίζεται από διαλείπουσα συμπεριφορά και για αυτό τον λόγο η διατήρηση της πιθανότητας εμφάνισης ξηρών περιόδων κρίνεται απαραίτητη.

Στο μοντέλο PAR(1) δεν γίνεται διάκριση υγρών και ξηρών ημερών. Έτσι αν και πραγματοποιείται η παραγωγή πολύ μικρών ημερήσιων τιμών, όταν η μέση τιμή του ύψους βροχής είναι αρκετά μικρή, δεν είναι δυνατή η αναπαραγωγή του ποσοστού των ημερήσιων τιμών βροχόπτωσης που είναι ακριβώς ίσες με μηδέν. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος εφαρμόζονται τρεις μέθοδοι.

Η πρώτη αφορά τον προσδιορισμό από τον χρήστη ενός ορίου (π.χ. 0.1 ως 0.3 mm), κάτω από το οποίο ένα ποσοστό  $\pi_0$  παραγόμενων συνθετικών τιμών τίθενται ίσες με το μηδέν. Σύμφωνα με τους Koutsoyiannis *et al.* (2003), ένα σημαντικό ποσοστό

μικρών τιμών ύψους βροχής στο διάστημα από 0 έως 0.1 mm μετρώνται από βροχογράφους ως μηδενικές, παρά το γεγονός ότι είναι θετικές τιμές, και προφανώς δεν είναι δυνατός ο ακριβής προσδιορισμός του αριθμού των πολύ μικρών αυτών τιμών βροχόπτωσης.

Η δεύτερη μέθοδος αφορά τον μηδενισμό των αρνητικών τιμών που παράγονται αναπόφευκτα μέσω του μοντέλου PAR(1), όταν ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι μεγάλος.

Η τρίτη μέθοδος λαμβάνει υπόψη τη διάσταση του χώρου για τις ημέρες με ηλιοφάνεια και λειτουργεί σε συνδυασμό με ένα Μαρκοβιανό στοχαστικό μοντέλο. Η επιλογή των μηδενικών τιμών γίνεται με τυχαίο τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη την ιδιότητα του μοντέλου Μαρκόφ. Σύμφωνα με αυτή αν στο προηγούμενο χρονικό βήμα (προηγούμενη μέρα) έχουμε ξηρή περίοδο τότε η πιθανότητα  $k_1$  να έχουμε ξηρή περίοδο και στο επόμενο χρονικό βήμα είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την πιθανότητα  $k_2$  να έχουμε ξηρή περίοδο στο επόμενο βήμα αν στο προηγούμενο είχαμε υγρή περίοδο. Οι πιθανότητες  $k_1$  και  $k_2$  ορίζονται ως ποσοστά της πιθανότητας εμφάνισης ξηρών περιόδων που προκύπτει από τα ιστορικά δεδομένα. Δηλαδή, αν  $p$  είναι η ημερήσια πιθανότητα εμφάνισης ξηρών περιόδων, τότε για κάθε μήνα  $j$  ισχύει:

$$k_{1,j} = \lambda_1 p_j \quad (5.28)$$

$$k_{2,j} = \lambda_2 p_j \quad (5.29)$$

όπου  $\lambda_1$  και  $\lambda_2$  ποσοστά που ορίζονται από τον χρήστη.

Επιπλέον, λαμβάνεται υπόψη και η πιθανότητα  $k_3$  να έχουμε ξηρή περίοδο σε όλους τους σταθμούς αν για το ίδιο χρονικό βήμα έχουμε ξηρή περίοδο σε ένα σταθμό κατά την διάρκεια μίας μέρας με ηλιοφάνεια. Η πιθανότητα  $k_3$  ορίζεται επίσης από τον χρήστη. Ο τελικός αριθμός ξηρών περιόδων προκύπτει από το άθροισμα των ξηρών περιόδων των τριών μεθόδων.

Προκειμένου να επιτευχθεί η αναπαραγωγή ρεαλιστικών ημερήσιων χρονοσειρών ανέμου και ηλιοφάνειας, μελετάται η συμπεριφορά των δύο φαινομένων σε ημερήσια κλίμακα. Η μέση ταχύτητα του ανέμου όπως είναι λογικό δεν παίρνει μηδενικές τιμές ούτε τιμές πολύ κοντά στο μηδέν, σε αντίθεση με την διάρκεια ηλιοφάνειας η οποία εμφανίζει αρκετά μικρές αλλά και μηδενικές τιμές, κυρίως την χειμερινή περίοδο.

Συγκεκριμένα όσον αφορά την μέση ταχύτητα ανέμου η επιλογή του ορίου κάτω από το οποίο ένα ποσοστό των παραγόμενων τιμών τίθενται μηδενικές δεν έχει ιδιαίτερο νόημα, καθώς η μέση τιμή της συγκεκριμένης μεταβλητής δεν είναι σχεδόν ποτέ τόσο μικρή ώστε να γίνει αναπαραγωγή αρκετά μικρών τιμών. Επιπλέον, ούτε οι πιθανότητες  $k_1$ ,  $k_2$  και  $k_3$  έχουν νόημα, καθώς δεν υπάρχει ιστορικό προηγούμενο εμφάνισης μηδενικής τιμής.

Συνεπώς, η επιλογή των παραμέτρων για την πιθανότητα εμφάνισης μηδενικής τιμής επηρεάζει κυρίως την διάρκεια ηλιοφάνειας. Όσον αφορά το όριο που αναφέρθηκε, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μία τιμή παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται για τις



βροχοπτώσεις (πχ 0.3). Επιπλέον η πιθανότητα  $k_3$  πρέπει να ληφθεί μηδενική έτσι ώστε να μην προκύψει μηδενική τιμή για την ταχύτητα ανέμου σε κάποιο χρονικό βήμα με μηδενική διάρκεια ηλιοφάνειας. Όσον αφορά τις πιθανότητες  $k_1, k_2$  η επιλογή των τιμών γίνεται μετά από δοκιμές, για την επίτευξη ενός ρεαλιστικού αποτελέσματος.

#### **5.3.4.4.Αποκατάσταση συνέπειας ημερήσιων χρονοσειρών και επαναληπτική διαδικασία τύπου Monte Carlo για το ημερήσιο PAR(1)**

Η γέννηση των συνθετικών ημερήσιων χρονοσειρών είναι ανεξάρτητη από την γέννηση των μηνιαίων, όπως και η γέννηση των μηνιαίων είναι ανεξάρτητη από αυτή των ετήσιων. Για τον λόγο αυτό, όπως και στις μηνιαίες χρονοσειρές, γίνεται αποκατάσταση της συνέπειας μέσω μίας διαδικασίας αναγωγής, έτσι ώστε το άθροισμα των ημερήσιων τιμών να ισούται με την αντίστοιχη μηνιαία τιμή.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος υποεκτίμησης της ασυμμετρίας και των ετεροσυσχετίσεων, καθώς και για την διατήρηση του συντελεστή συσχέτισης του πρώτου χρονικού βήματος μίας περιόδου με το τελευταίο της προηγούμενης, εφαρμόζεται όπως ακριβώς και στην μηνιαία χρονική κλίμακα, μια επαναληπτική διαδικασία τύπου Monte Carlo πριν την διαδικασία αναγωγής. Έτσι, σε κάθε χρονική περίοδο παράγεται ένα πλήθος πραγματοποιήσεων των ημερήσιων μεταβλητών μέσω του μοντέλου PAR(1), ώσπου η απόσταση :

$$\Delta X = \|X - \tilde{X}\| \quad (5.30)$$

να γίνει μικρότερη από κάποια αποδεκτή τιμή  $\Delta X_{max}$  αντίστοιχη με την τιμή η οποία χρησιμοποιείται για την αποκατάσταση της συνέπειας της μηνιαίας μεταβλητής, με  $X$  τη τιμή της συνθετικής μηνιαίας μεταβλητής και  $\tilde{X}$  το άθροισμα των ημερήσιων παραγόμενων τιμών  $Y$ . Επομένως, σε περίπτωση που εμφανιστεί μεγάλη απόκλιση στα στατιστικά χαρακτηριστικά, τότε ο χρήστης μπορεί να επέμβει στις επιλογές του αλγόριθμου γέννησης ημερήσιων χρονοσειρών θέτοντας αυστηρότερο κριτήριο σύγκλισης ή αυξάνοντας τον μέγιστο αριθμό επαναλήψεων.

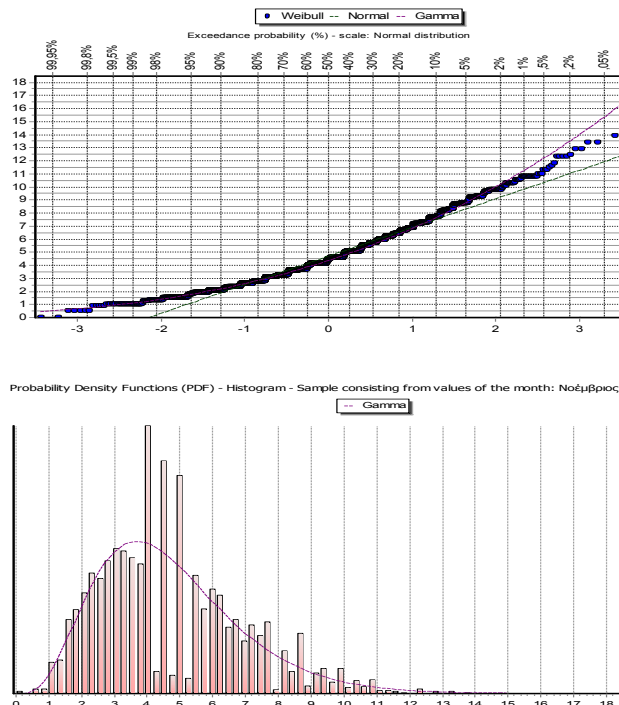


## 6. Εφαρμογή του προγράμματος

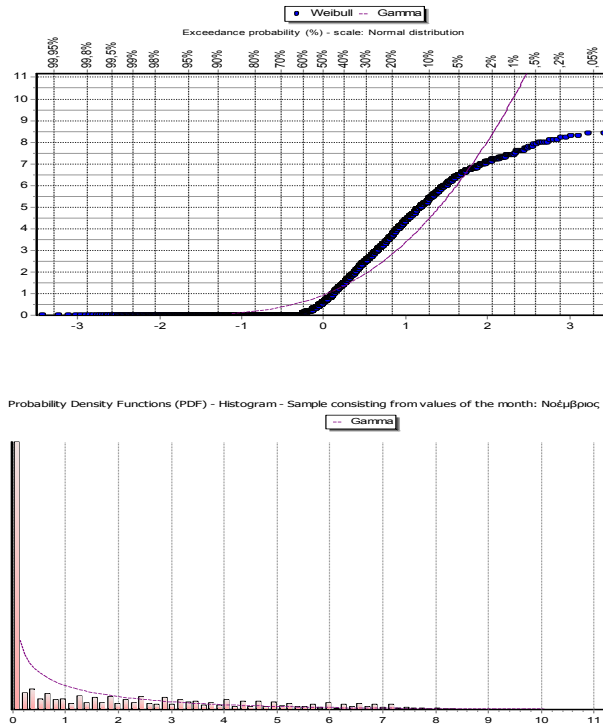
### 6.1. Δεδομένα εισόδου 1<sup>ης</sup> εφαρμογής

Από το σύνολο των μετρητικών σταθμών, αυτοί με κοινές καταγραφές μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας είναι οκτώ. Οι ημερήσιες χρονοσειρές αυτών των σταθμών εισάγονται στο πρόγραμμα *Κασταλία*, μέσω του οποίου γίνεται η πολυμεταβλητή στοχαστική τους προσομοίωση για την γέννηση συνθετικών χρονοσειρών διάρκειας 1000 ετών.

Στα Σχήματα 6.1 και 6.2 παρατίθενται, ενδεικτικά, οι εμπειρικές, οι θεωρητικές συναρτήσεις κατανομής γάμα των ημερήσιων ιστορικών χρονοσειρών των δύο μεταβλητών καθώς και τα ιστογράμματα πυκνότητας πιθανότητας. Τα δεδομένα αναφέρονται στον σταθμό Eelde για το μήνα Νοέμβριο. Μέσω των διαγραμμάτων γίνεται αντιληπτή η ύπαρξη ασυμμετρίας στις ιστορικές χρονοσειρές της μέσης ημερήσιας ταχύτητας του ανέμου και η σχεδόν μηδενική πιθανότητα εμφάνισης μηδενικών τιμών. Όσον αφορά την διάρκεια ηλιοφάνειας είναι εμφανής η ασυμμετρία και η μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης μηδενικών τιμών καθώς και το γεγονός ότι δεν προσαρμόζεται ικανοποιητικά στη κατανομή γάμα. Άλλωστε η μεταβλητή της διάρκειας ηλιοφάνειας δεν ορίζεται στο διάστημα  $[0, +\infty)$  το οποίο είναι το πεδίο ορισμού της κατανομής γάμα αλλά σε ένα κλειστό διάστημα το οποίο εξαρτάται από την αστρονομική διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 6.1 : Εμπειρική (μπλε) και θεωρητική (μωβ) συνάρτηση κατανομής (πάνω) και ιστογράμματα-συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (κάτω) ιστορικών ημερήσιων χρονοσειρών της μέσης ταχύτητας ανέμου για το σταθμό Eelde για το μήνα Νοέμβριο.



Σχήμα 6.2 : Εμπειρική (μπλε) και θεωρητική (μωβ) συνάρτηση κατανομής (πάνω) και ιστόγραμμα-συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας ιστορικών ημερήσιων χρονοσειρών της διάρκειας ηλιοφάνειας για το σταθμό Eelde για το μήνα Νοέμβριο.

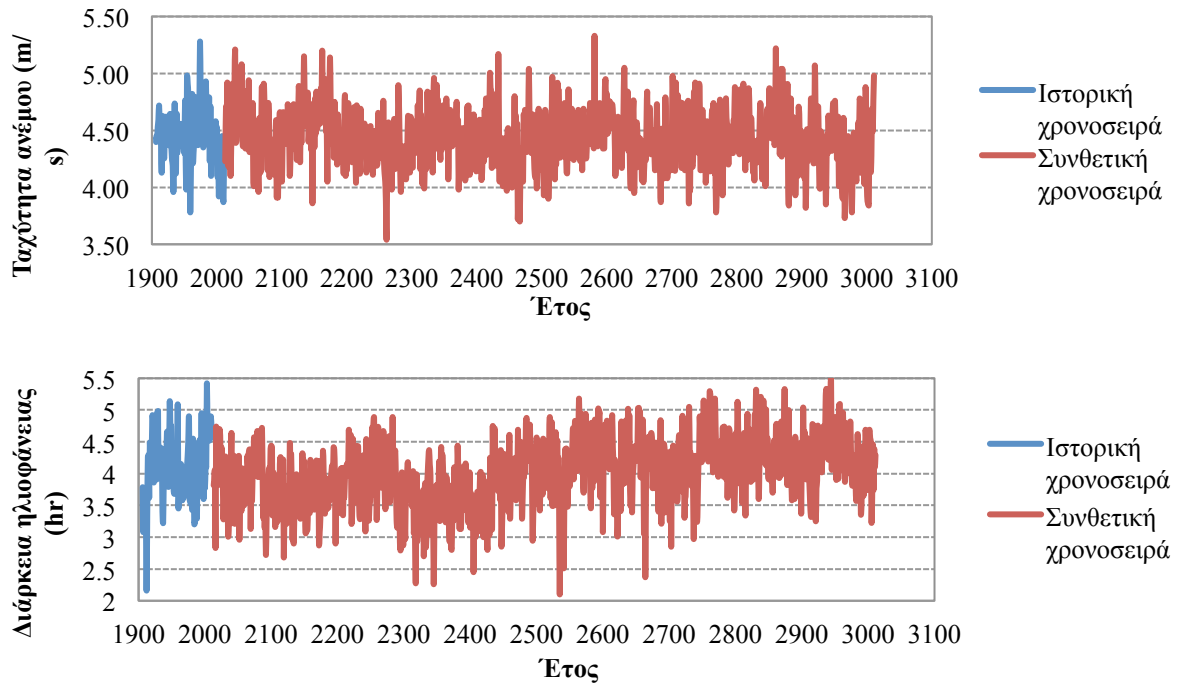
Ωστόσο, παρά την ύπαρξη αυτής της ιδιαιτερότητας για τις ημερήσιες ιστορικές χρονοσειρές της διάρκειας ηλιοφάνειας, τα δεδομένα εισάγονται στην *Κασταλία* χωρίς κάποια μετατροπή, και για τον λόγο αυτό αναμένεται να υπάρξει πρόβλημα στην διατήρηση της ασυμμετρίας λόγω του πεδίου ορισμού της κατανομής γάμα.

Στα σενάρια που εφαρμόστηκαν για την αναπαραγωγή των δύο μεταβλητών τέθηκε αναγκαστικά στον μετασχηματισμό δύναμης, όπως αναφέρθηκε, μοναδιαία τιμή του εκθέτη  $m$  (βλ.εδάφιο 5.3.4.2). Επιπλέον επιλέχθηκε το ποσοστό  $\pi_0 = 0.9$  και το όριο  $l_0 = 0.4$  για τη στρογγυλοποίηση των πολύ μικρών τιμών των μεταβλητών. Για την εφαρμογή της μεθόδου Markov για τη διατήρηση της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών επιλέχθηκαν τα ποσοστά  $\lambda_1 = 0.30$ ,  $\lambda_2 = 0.10$  και η πιθανότητα  $k_3 = 0$  (βλ.εδάφιο 5.3.4.3). Τα κριτήρια σύγκλισης και ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων της μεθόδου Markov, τόσο για τις μηνιαίες όσο και για τις ημερήσιες χρονοσειρές, επιλέχθηκαν κατά περίπτωση σε κάθε σταθμό μέσω επαναληπτικών διαδικασιών έτσι ώστε να επιτευχθεί η ασυμμετρία των ιστορικών χρονοσειρών στις συνθετικές. Ομοίως, οι παράμετροι εμμονής  $\beta$  για κάθε σενάριο επιλέχθηκαν κατά περίπτωση και μέσω επαναληπτικών διαδικασιών, ώστε να επιτευχθεί η τιμή του συντελεστή Hurst των ιστορικών χρονοσειρών. Η τιμή της παραμέτρου εμμονής που επιλέχθηκε για κάθε μεταβλητή σε κάθε σταθμό δίνεται στο Παράρτημα Β.

## 6.2. Αποτελέσματα 1<sup>ης</sup> εφαρμογής

Στη συνέχεια παρατίθενται, ενδεικτικά, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τον σταθμό Eelde. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι ιστορικές και συνθετικές

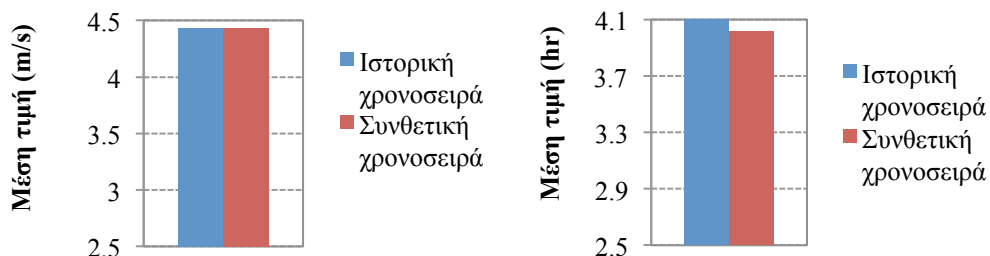
χρονοσειρές των δύο μεταβλητών, γίνεται σύγκριση των στατιστικών χαρακτηριστικών στην ετήσια, τη μηνιαία και την ημερήσια κλίμακα, και απεικονίζονται οι τιμές των συντελεστών Hurst. Τα γραφήματα για τους υπόλοιπους επτά σταθμούς δίνονται στο Παράρτημα Γ.



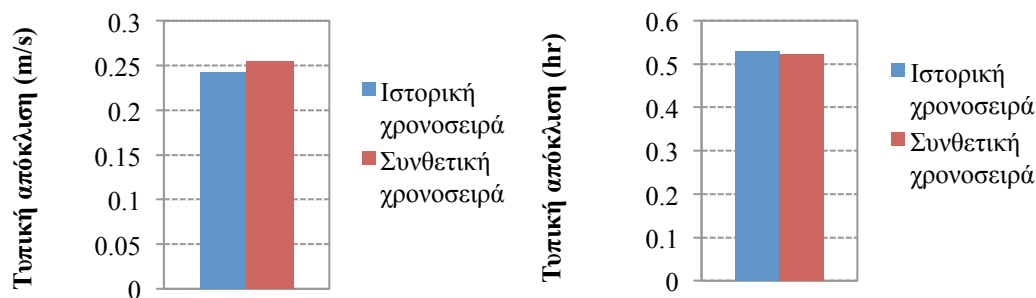
Σχήμα 6.3 : Ιστορική (μπλε) και συνθετική (κόκκινη) χρονοσειρά μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου (πάνω) και διάρκειας ηλιοφάνειας (κάτω)

### 6.2.1. Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ετήσιας κλίμακας

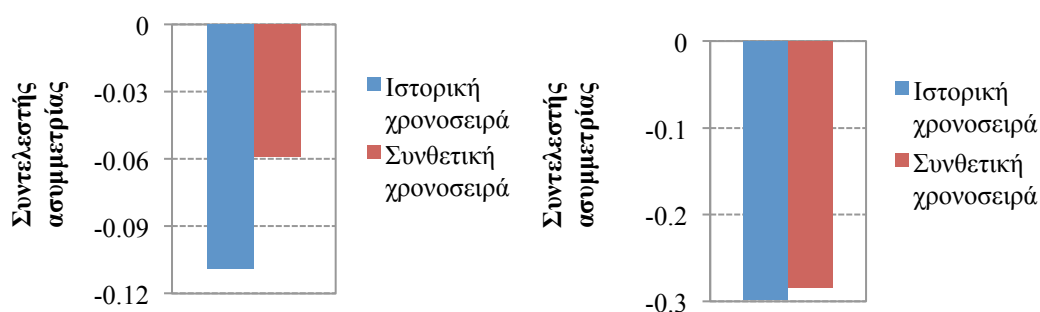
Στα σχήματα που ακολουθούν γίνεται η σύγκριση των στατιστικών χαρακτηριστικών και της στοχαστικής δομής μεταξύ των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών σε ετήσια κλίμακα και για τις δύο μεταβλητές.



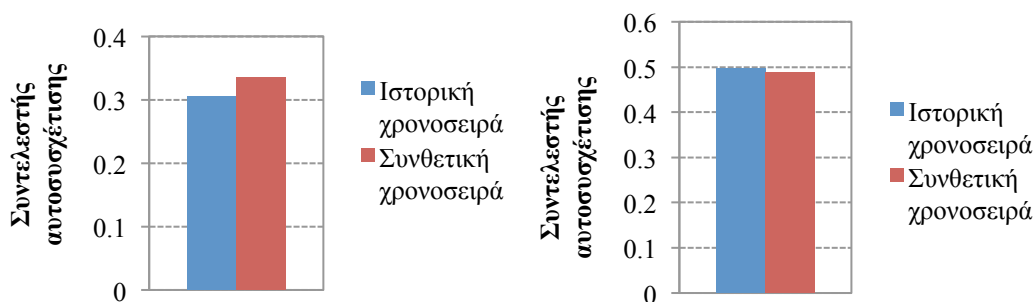
Σχήμα 6.4 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας μέσης τιμής του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



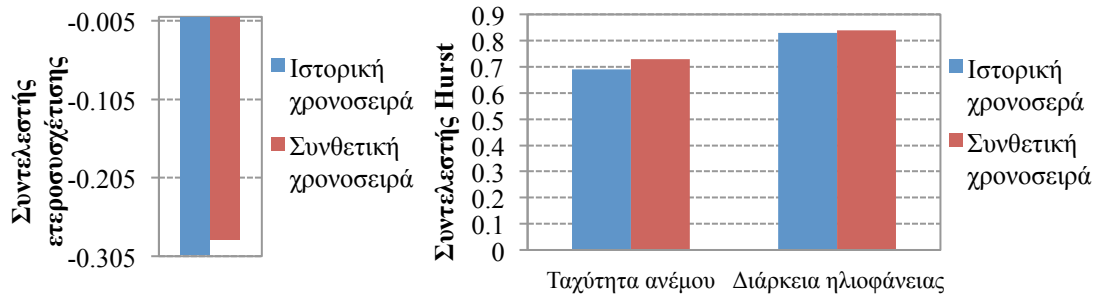
Σχήμα 6.5 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας τυπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



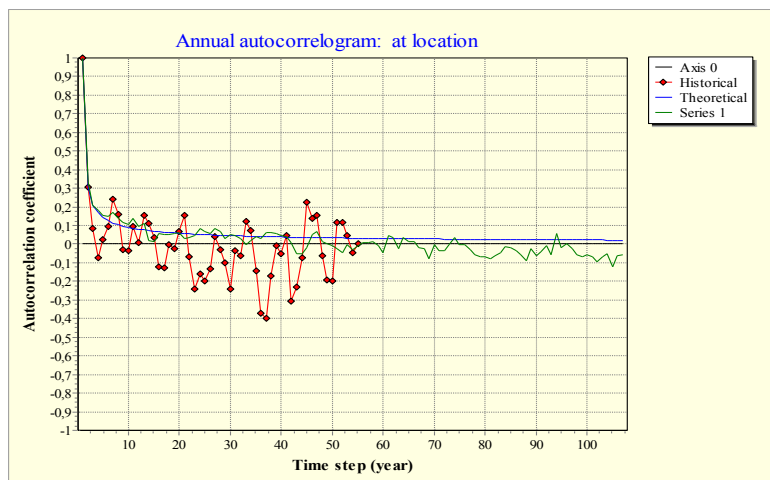
Σχήμα 6.6 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



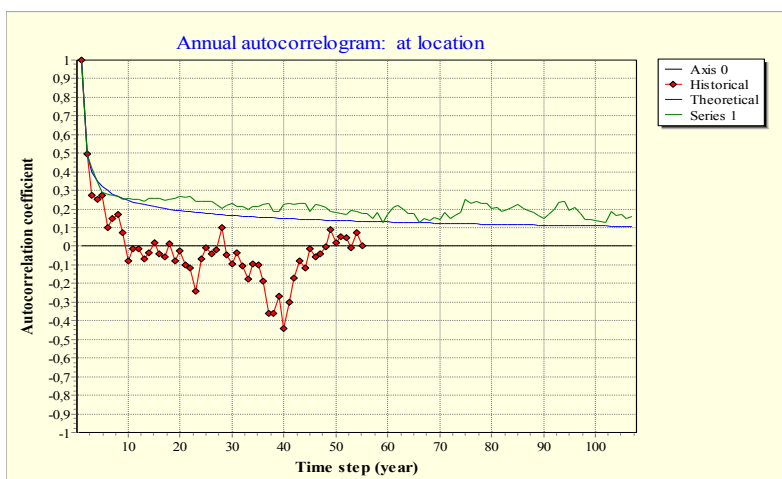
Σχήμα 6.7 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



Σχήμα 6.8 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου δειγματικού και συνθετικού συντελεστή ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας και τιμές του συντελεστή Hurst των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών των δύο μεταβλητών για τον σταθμό Eelde.



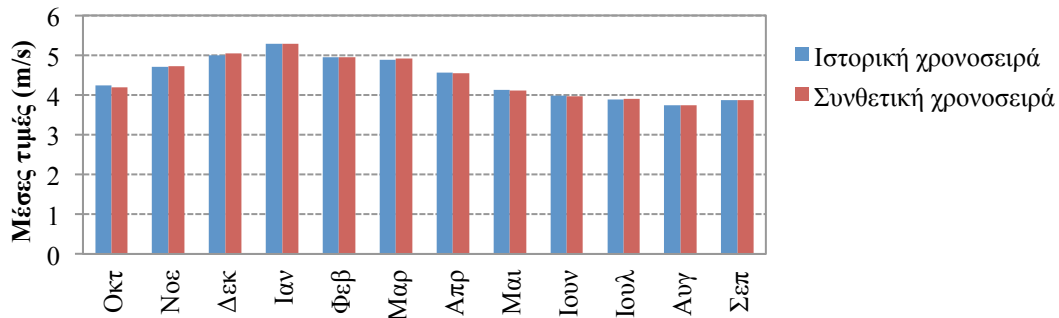
Σχήμα 6.9 : Θεωρητικό αυτοσυσχετόγραμμα (μπλε γραμμή), δειγματικό αυτοσυσχετόγραμμα (κόκκινη γραμμή) και συνθετικό αυτοσυσχετόγραμμα (πράσινη γραμμή) ετήσιας χρονοσειράς ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.



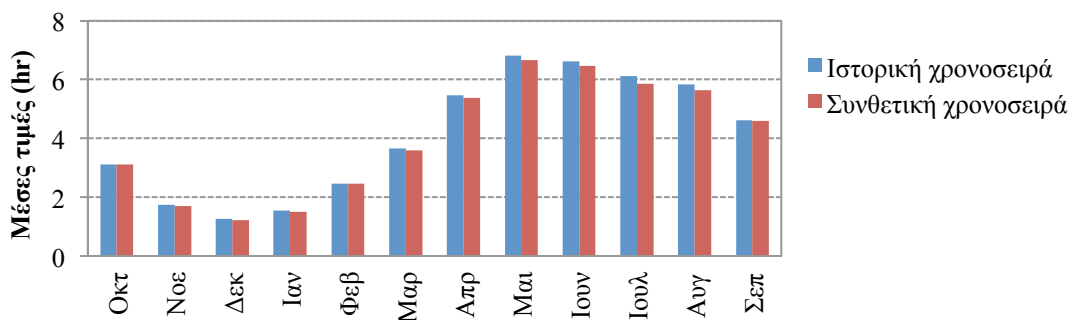
Σχήμα 6.10 : Θεωρητικό αυτοσυσχετόγραμμα (μπλε γραμμή), δειγματικό αυτοσυσχετόγραμμα (κόκκινη γραμμή) και συνθετικό αυτοσυσχετόγραμμα (πράσινη γραμμή) ετήσιας χρονοσειράς διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.

### 6.2.2. Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών μηνιαίας κλίμακας

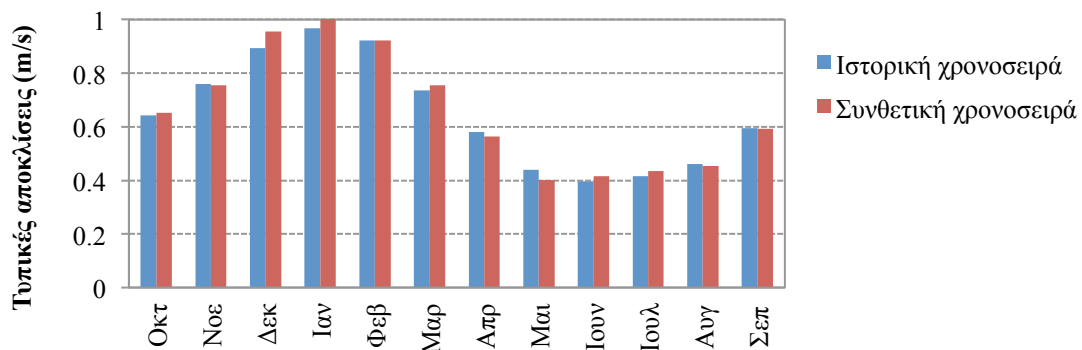
Στα σχήματα που ακολουθούν γίνεται η σύγκριση των στατιστικών χαρακτηριστικών μεταξύ των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών σε μηνιαία κλίμακα και για τις δύο μεταβλητές.



Σχήμα 6.11 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.

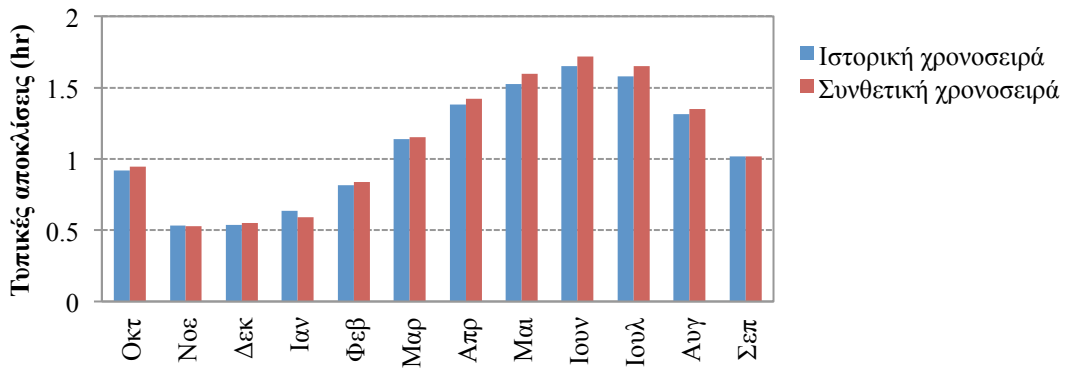


Σχήμα 6.12 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.

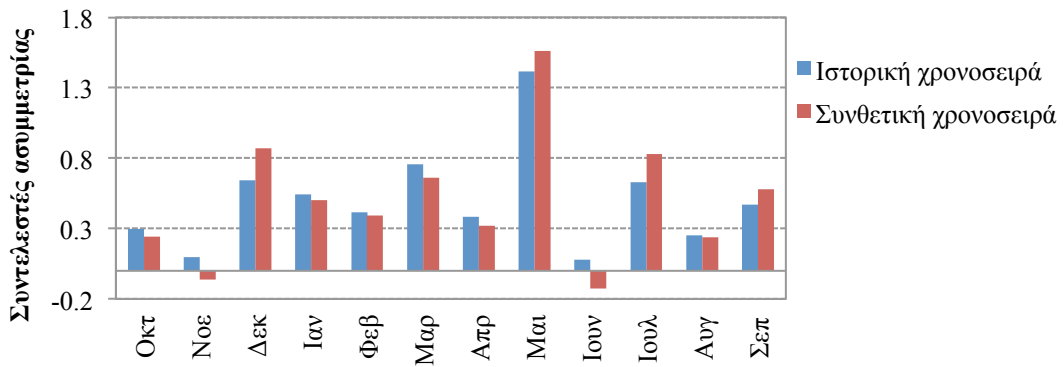


Σχήμα 6.13 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.

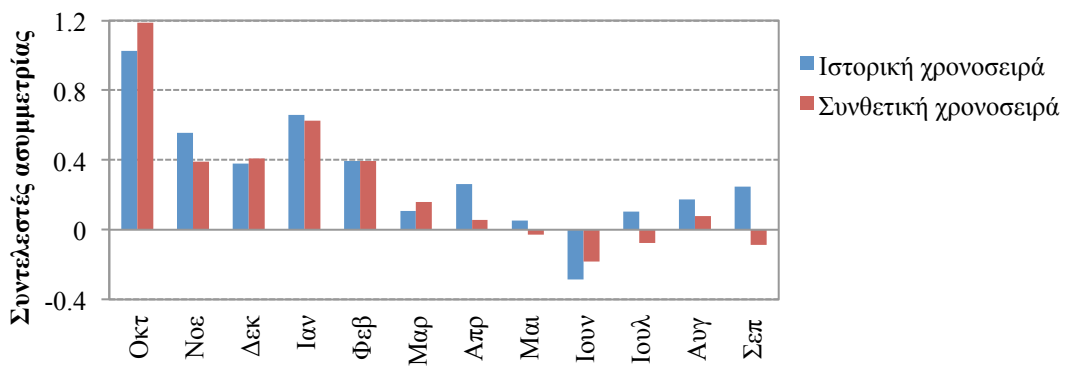




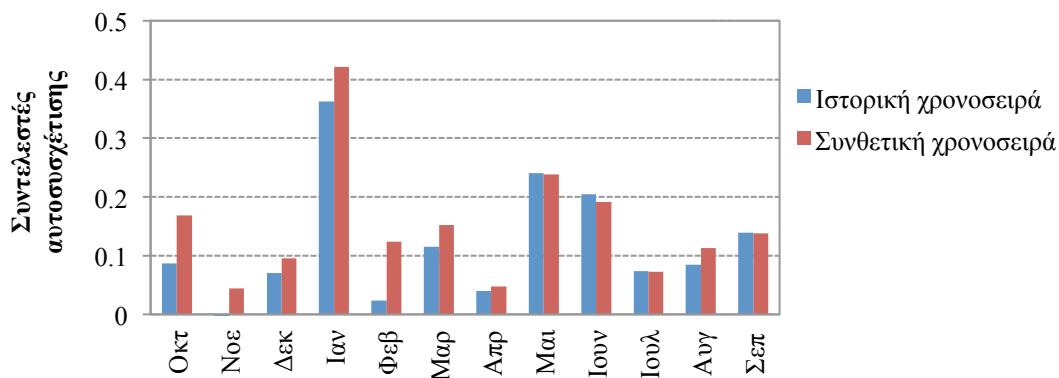
Σχήμα 6.14 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



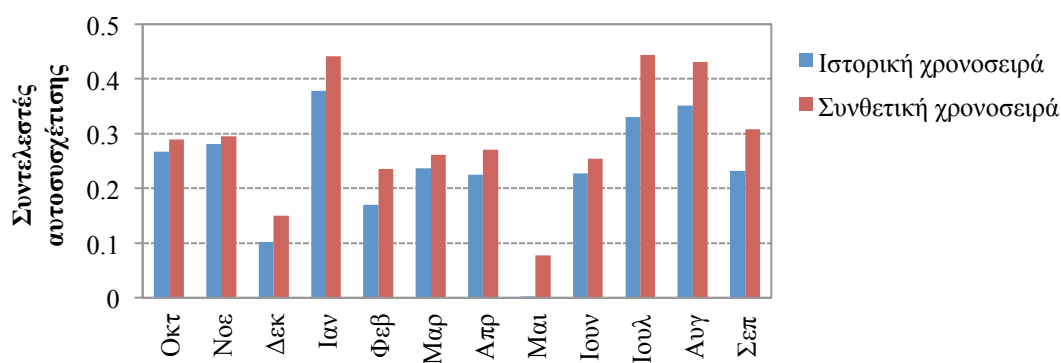
Σχήμα 6.15 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.



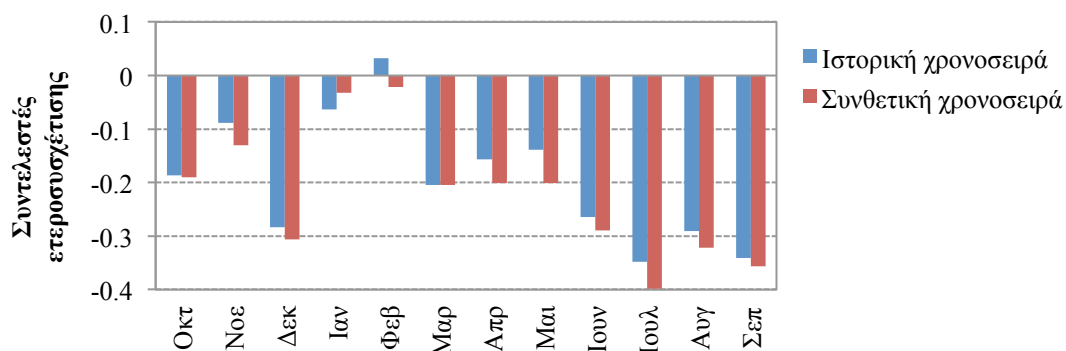
Σχήμα 6.16 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



Σχήμα 6.17 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.



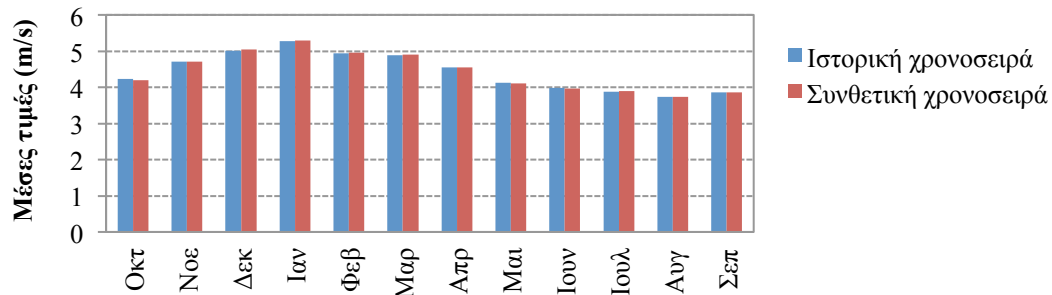
Σχήμα 6.18 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



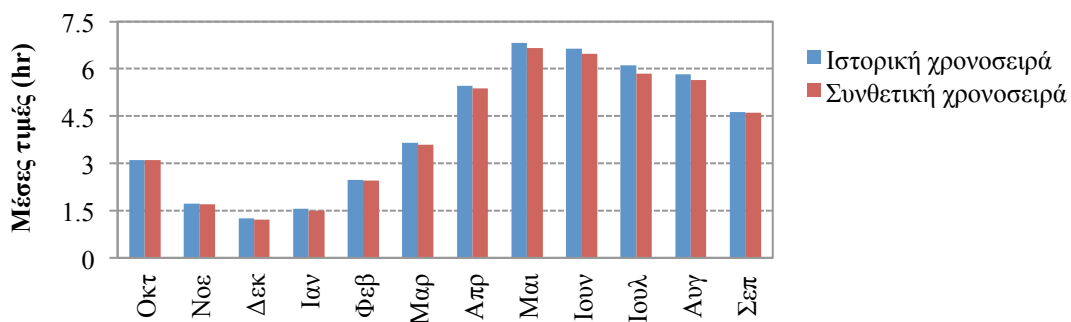
Σχήμα 6.19 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.

### 6.2.3. Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ημερήσιας κλίμακας

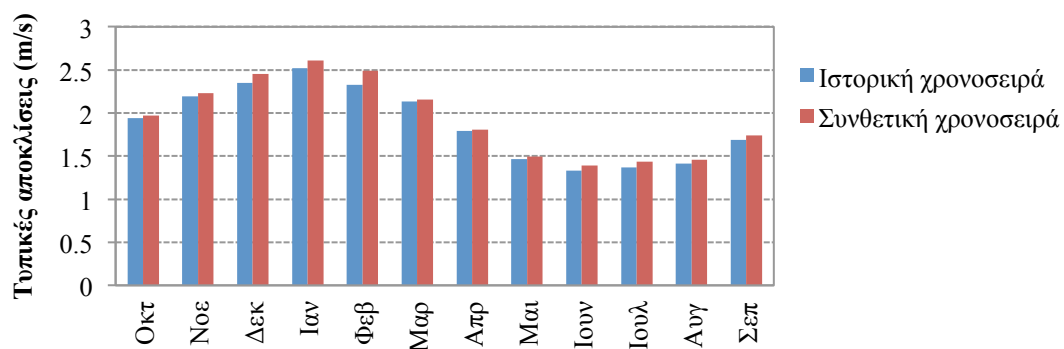
Στα σχήματα που ακολουθούν γίνεται η σύγκριση των στατιστικών χαρακτηριστικών μεταξύ των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών σε ημερήσια κλίμακα και για τις δύο μεταβλητές.



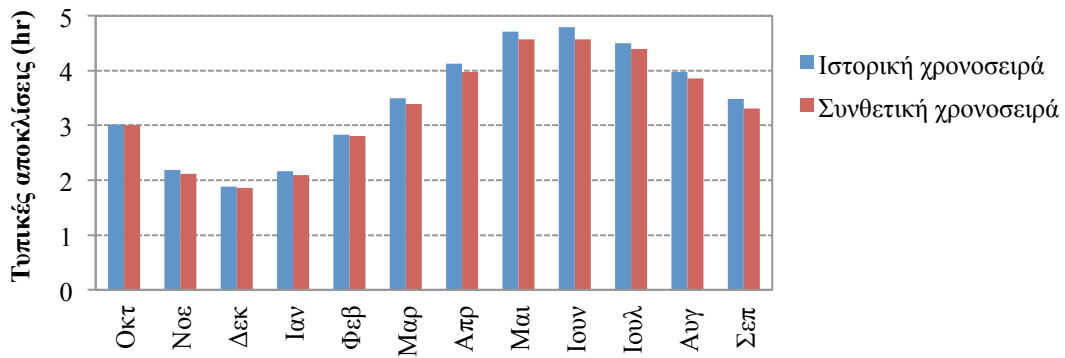
Σχήμα 6.20 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.



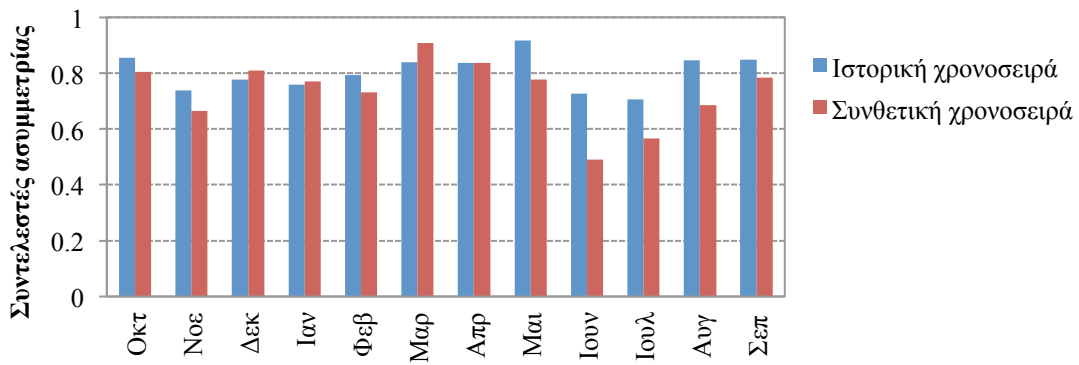
Σχήμα 6.21 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



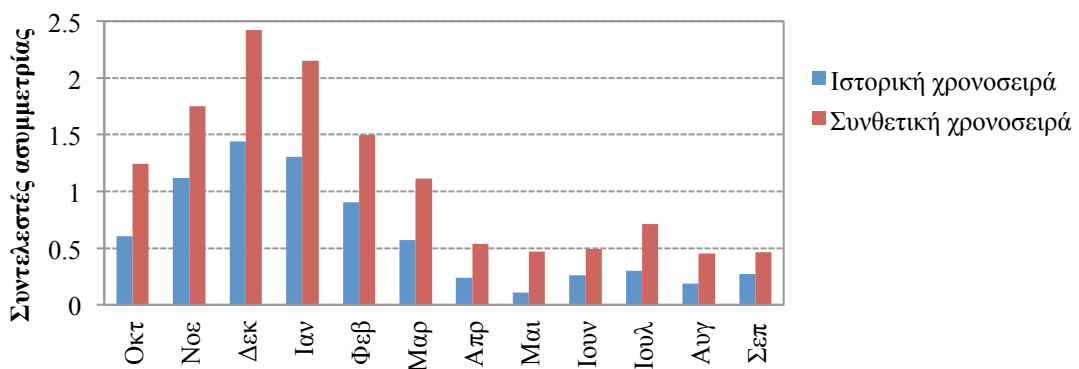
Σχήμα 6.22 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.



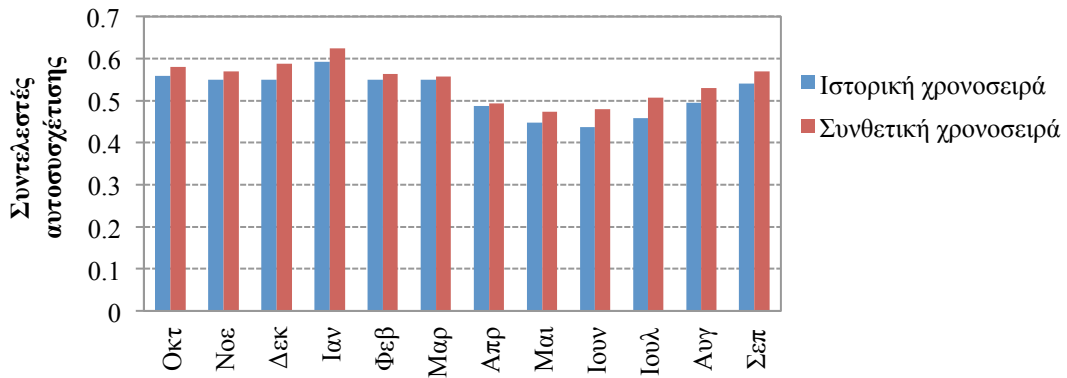
Σχήμα 6.23 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



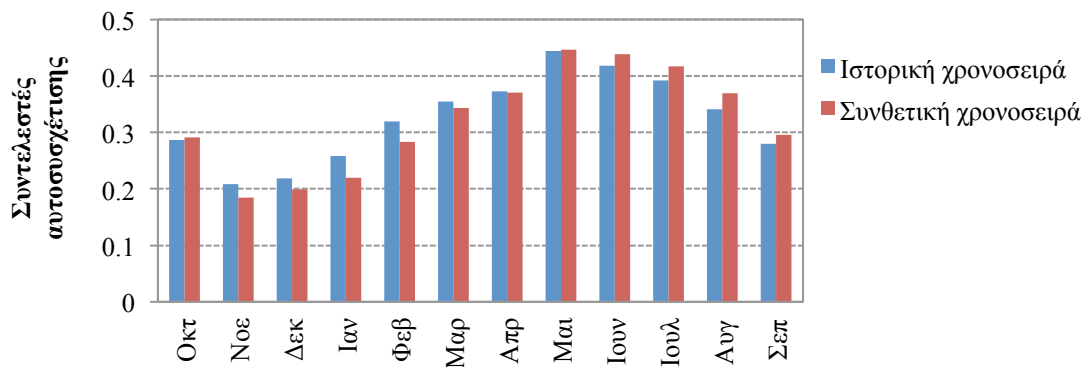
Σχήμα 6.24 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.



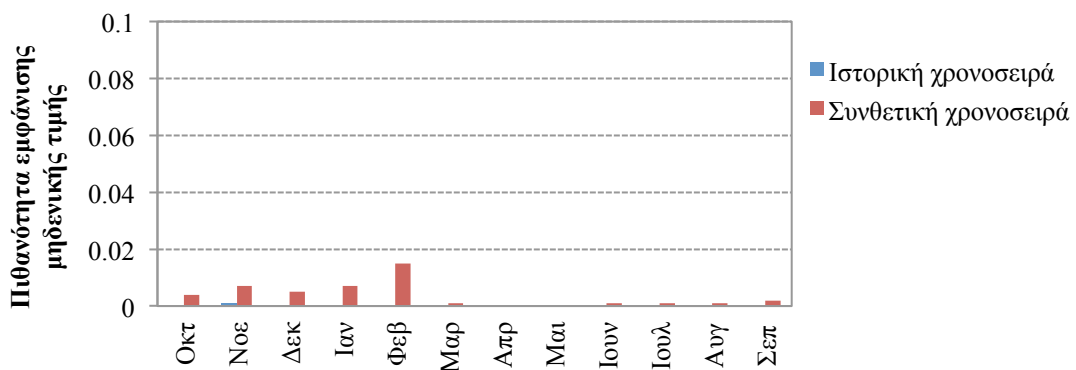
Σχήμα 6.25 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



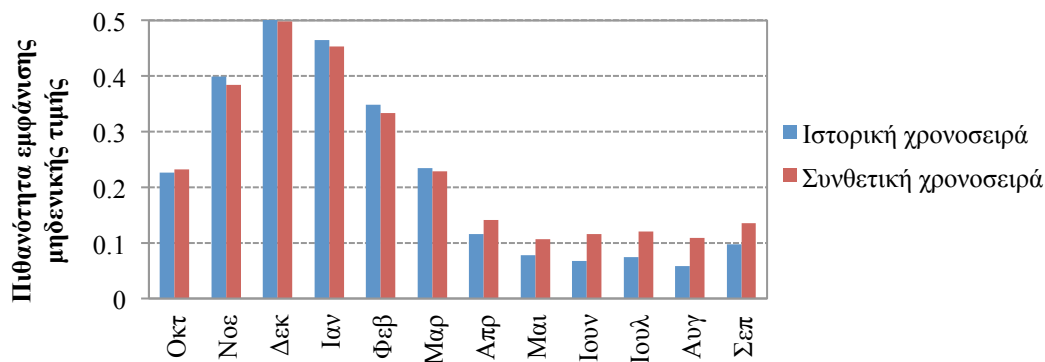
Σχήμα 6.26 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.



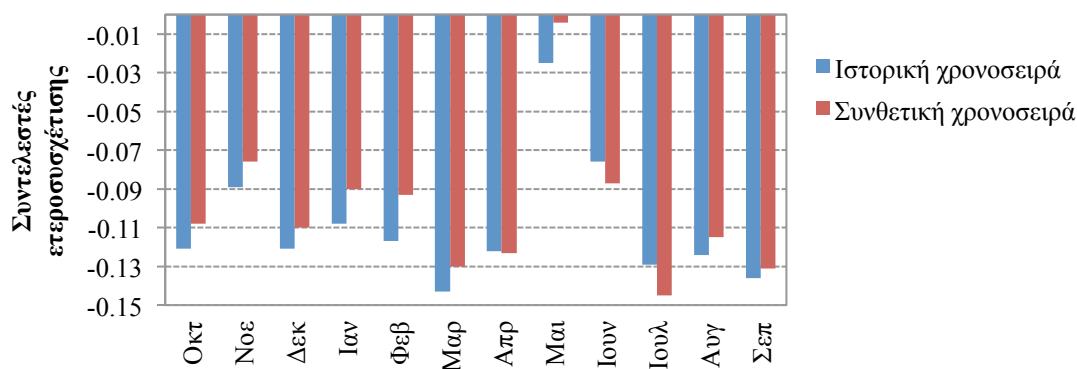
Σχήμα 6.27 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



Σχήμα 6.28 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.



Σχήμα 6.29 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



Σχήμα 6.30 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.

### 6.3. Συμπεράσματα 1<sup>ης</sup> εφαρμογής

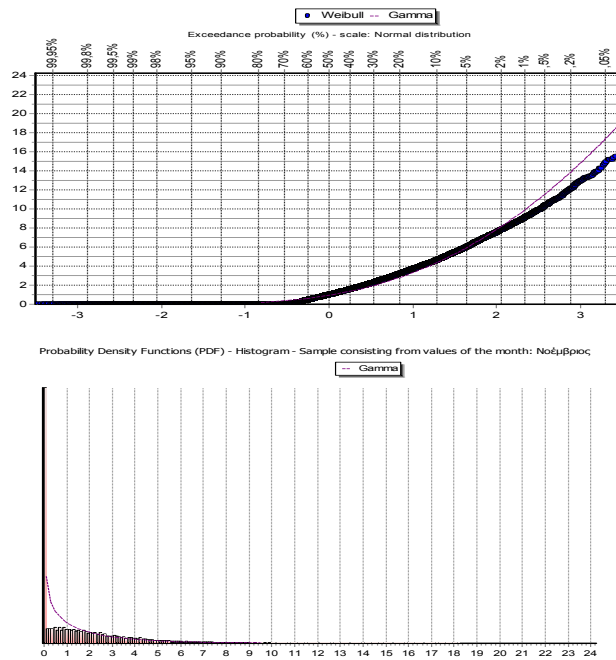
Όσον αφορά τα αποτελέσματα της ετήσιας και μηνιαίας κλίμακας (Σχήματα 6.4 έως 6.19) παρατηρείται ότι η διατήρηση των στατιστικών χαρακτηριστικών είναι ικανοποιητική. Στα ραβδογράμματα αυτά γίνεται η σύγκριση των στατιστικών χαρακτηριστικών για τις ιστορικές και συνθετικές χρονοσειρές της ετήσιας και μηνιαίας κλίμακας, του συντελεστή ετεροσυσχέτισης μεταξύ των δύο μεταβλητών σε αυτές τις κλίμακες καθώς και των τιμών του συντελεστή Hurst για τις ιστορικές και συνθετικές χρονοσειρές. Επιπλέον παρατίθενται και τα αυτοσυσχετογράμματα για κάθε μεταβλητή, τα οποία φανερώνουν τη διατήρηση της δομής της αυτοσυσχέτισης μέσω του σχήματος γέννησης ετήσιων χρονοσειρών (Σχήματα 6.9 και 6.10). Είναι αντιληπτό ότι σε όλα τα γραφήματα οι αποκλίσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών των ιστορικών και των συνθετικών χρονοσειρών είναι πολύ μικρές, κάτι που δείχνει ότι η αναπαραγωγή έγινε με ικανοποιητική ακρίβεια. Σε ορισμένες μόνο περιπτώσεις

παρατηρείται μικρή υπερεκτίμηση της ασυμμετρίας της ηλιοφάνειας στην μηνιαία κλίμακα, η οποία ωστόσο δεν είναι ουσιώδης.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα της ημερήσιας κλίμακας (Σχήματα 6.20 έως 6.30) παρατηρείται ότι η διατήρηση των στατιστικών χαρακτηριστικών δεν είναι το ίδιο ικανοποιητική. Στα παραπάνω ραβδογράμματα γίνεται η σύγκριση των στατιστικών χαρακτηριστικών για τις ιστορικές και συνθετικές χρονοσειρές της ημερήσιας κλίμακας καθώς και του συντελεστή ετεροσυσχέτισης μεταξύ των δύο μεταβλητών σε αυτή την κλίμακα. Επιπλέον παρατίθεται η σύγκριση της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικής τιμής μεταξύ των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών. Οι αποκλίσεις των χαρακτηριστικών μεταξύ των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών είναι σε όλα τα γραφήματα μικρές εκτός από τα ραβδογράμματα στα οποία γίνεται σύγκριση του συντελεστή ασυμμετρίας της διάρκειας ηλιοφάνειας. Συγκεκριμένα παρατηρείται υπερεκτίμηση των συντελεστών ασυμμετρίας για όλους τους μήνες, η οποία οφείλεται στο γεγονός ότι το στοχαστικό μοντέλο για την αναπαραγωγή των ημερήσιων συνθετικών χρονοσειρών κάνει χρήση της κατανομής γάμα η οποία έχει πεδίο ορισμού το  $[0, +\infty)$  ενώ η μεταβλητή της διάρκειας ηλιοφάνειας δεν ορίζεται σε ολόκληρο το διάστημα αυτό αλλά σε ένα κλειστό διάστημα. Η υπερεκτίμηση αυτή καθώς και η αδυναμία αναπαραγωγής ημερήσιων χρονοσειρών διάρκειας ηλιοφάνειας μέσω της κατανομής γάμα γίνεται αντιληπτή και από το Σχήμα 6.31 στο οποίο παρουσιάζονται η εμπειρική, η θεωρητική συνάρτηση κατανομής γάμα της ημερήσιας συνθετικής χρονοσειράς διάρκειας ηλιοφάνειας καθώς και το ιστόγραμμα πυκνότητας πιθανότητας για το μήνα Νοέμβριο. Παρατηρείται σημαντική απόκλιση της συνθετικής από την αντίστοιχη ιστορική εμπειρική συνάρτηση κατανομής και του συνθετικού από το αντίστοιχο ιστορικό ιστόγραμμα πυκνότητας πιθανότητας. Για τον λόγο αυτό απαιτείται κατάλληλη τροποποίηση της συγκεκριμένης μεταβλητής πριν την εισαγωγή της στο σύστημα, έτσι ώστε να είναι δυνατή η προσαρμογή της στην κατανομή γάμα.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι η απόκλιση η οποία παρατηρείται στο ραβδογράμμα 6.28, στο οποίο γίνεται η σύγκριση της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών για τη μέση ταχύτητα ανέμου είναι φαινομενική, καθώς στο συνθετικό δείγμα είναι πάρα πολύ μικρή ενώ στο ιστορικό σχεδόν μηδενική και άρα η απόκλιση εντοπίζεται στην κλίμακα του γραφήματος.

Παρόμοια συμπεριφορά σε όλες τις χρονικές κλίμακες παρατηρείται και για τα δεδομένα των υπόλοιπων επτά σταθμών, με το πρόβλημα να εντοπίζεται στην διατήρηση του σωστού συντελεστή ασυμμετρίας στη ημερήσια κλίμακα για την διάρκεια ηλιοφάνειας.



Σχήμα 6.31 : Εμπειρική (μπλε) και θεωρητική (μωβ) συνάρτηση κατανομής (πάνω) και ιστόγραμμα-συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας συνθετικών ημερήσιων χρονοσειρών της διάρκειας ηλιοφάνειας για το σταθμό Eelde για το μήνα Νοέμβριο.

#### 6.4. Λογαριθμική μετατροπή της μεταβλητής της διάρκειας ηλιοφάνειας

Προκειμένου να γίνει ακριβής αναπαράγωγή της μεταβλητής που αναπαριστά την διάρκεια ηλιοφάνειας απαιτείται κατάλληλη τροποποίηση της πριν την εισαγωγή της στο πρόγραμμα *Κασταλία* έτσι ώστε η συνάρτηση κατανομής της τροποποιημένης μεταβλητής να προσεγγίζει ικανοποιητικά την κατανομή γάμα. Στην συνέχεια το σύστημα παράγει συνθετικές χρονοσειρές της τροποποιημένης μεταβλητής οι οποίες κατά την εξαγωγή τους από αυτό υφίστανται την αντίστροφη μετατροπή έτσι ώστε να επανέλθουν στην αρχική μορφή των ιστορικών χρονοσειρών.

Έστω  $n^k$  η μεταβλητή που αναπαριστά την διάρκεια ηλιοφάνειας σε ένα σταθμό  $k$ . Το πεδίο ορισμού για κάθε μεταβλητή  $n^k$  δεν είναι κοινό αλλά εξαρτάται από την αστρονομική διάρκεια ημέρας, δηλαδή τον αριθμό ωρών από την ανατολή μέχρι τη δύση του ήλιου, η οποία διαφέρει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος. Για τον λόγο αυτό ορίζεται η μεταβλητή  $X^k$  η οποία αναπαριστά την σχετική διάρκεια ηλιοφάνειας και ισούται με τον λόγο της διάρκειας ηλιοφάνειας προς την αστρονομική διάρκεια της κάθε μέρας δηλαδή  $X^k = n^k/N$  όπου  $N$  η αστρονομική διάρκεια ημέρας. Το πεδίο ορισμού της νέας μεταβλητής  $X^k$  είναι το  $[0,1]$ , και είναι κοινό για κάθε σταθμό.

Η αστρονομική διάρκεια της ημέρας μετρημένη σε ώρες είναι:

$$N = (24/\pi) \omega_s \tag{6.1}$$

όπου  $\omega_s$  η γωνία δύσης του ήλιου μετρημένη σε rad, η οποία, αν πολλαπλασιαστεί επί  $12/\pi$  δίνει την ώρα δύσης μετά το μεσημέρι, δηλαδή:



$$\omega_s = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (6.2)$$

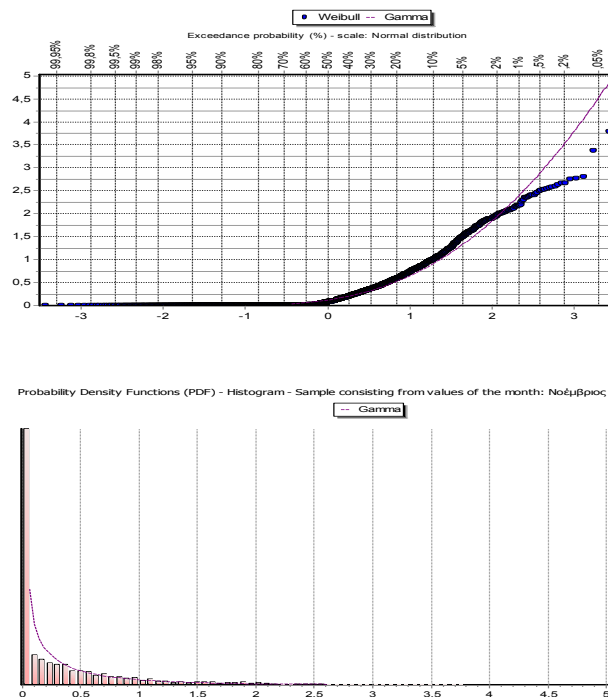
όπου  $\varphi$  το γεωγραφικό πλάτος σε rad με  $|\varphi| \leq 1.161 \text{ rad} = 66.5^\circ$

και  $\delta$  η ηλιακή απόκλιση μετρημένη επίσης σε rad ,δηλαδή το γεωγραφικό πλάτος όπου οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν κάθετα το μεσημέρι. Είναι:

$$\delta = -0.409 \cos\left(\frac{2\pi}{365}J + 0.16\right) \quad (6.3)$$

όπου  $J$  ο αριθμός της ημέρας με 1 την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου και 365 την 31<sup>η</sup> Δεκεμβρίου (Κουτσογιάννης 2000).

Έστω τώρα η μεταβλητή  $Y^k = -\ln(1 - X^k)$  που λαμβάνει τιμές στο διάστημα  $[0, +\infty)$ , στο οποίο ορίζεται και η κατανομή γάμα. Από τα Σχήμα 6.32 στο οποίο δίνεται η πιθανότητα υπέρβασης για την εμπειρική και τη θεωρητική συνάρτηση κατανομής γάμα καθώς και το ιστόγραμμα και η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για το μήνα Νοέμβριο παρατηρείται ότι η μεταβλητή  $Y^k$  προσαρμόζεται σχετικά ικανοποιητικά στη κατανομή γάμα. Για τον λόγο αυτό, αυτή η μετατροπή χρησιμοποιείται πριν την εισαγωγή των δειγμάτων στην *Κασταλία*.



Σχήμα 6.32: Εμπειρική (μπλε) και θεωρητική (μωβ) συνάρτηση κατανομής (πάνω) και ιστόγραμμα-συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (κάτω) ιστορικών ημερήσιων χρονοσειρών διάρκειας ηλιοφάνειας για το σταθμό Eelde για το μήνα Νοέμβριο.

### 6.5. Θεωρητική τεκμηρίωση συνάρτησης κατανομής διάρκειας ηλιοφάνειας

Στην ενότητα αυτή γίνεται διερεύνηση της συνάρτησης κατανομής που ακολουθεί η μεταβλητή  $X^k$  που αναπαριστά την σχετική διάρκεια ηλιοφάνειας, με δεδομένο ότι με

την εισαγωγή της μεταβλητής  $Y^*$  γίνεται ικανοποιητική αναπαράγωγή των χαρακτηριστικών της σχετικής διάρκειας ηλιοφάνειας. Έστω ότι η τυχαία μεταβλητή  $Y = -\ln(1-X)$  ακολουθεί την συνάρτηση κατανομής γάμα. Ισχύει:

$$X = 1 - e^{-Y} = g(Y) \quad (6.4)$$

$$Y = -\ln(1-X) = g^{-1}(X) \quad (6.5)$$

Η  $X$  είναι επίσης τυχαία μεταβλητή και το γεγονός  $\{X \leq x\}$  είναι ταυτόσημο με το γεγονός  $\{Y \leq g^{-1}(x)\}$ . Κατά συνέπεια, οι συναρτήσεις κατανομής των  $Y$  και  $X$  συνδέονται με την:

$$F_x(x) = P\{X \leq x\} = P\{Y \leq g^{-1}(x)\} = F_y(g^{-1}(x)) \quad (6.6)$$

Εφόσον οι μεταβλητές είναι συνεχείς και η συνάρτηση  $g$  είναι παραγωγίσιμη με

$$g'(Y) = (1 - e^{-Y})' = e^{-Y} \quad (6.7)$$

αποδεικνύεται ότι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της  $X$  δίνεται συναρτήσει της πυκνότητας της  $Y$  από την

$$f_x(x) = \frac{f_y(g^{-1}(x))}{|g'(g^{-1}(x))|} = \frac{1}{e^{-Y}} f_y(-\ln(1-X)) \quad (6.8)$$

και καθώς η μεταβλητή  $Y$  ακολουθεί την συνάρτηση γάμα είναι

$$f_x(x) = \frac{1}{e^{-Y}} \frac{\lambda^\kappa}{\Gamma(\kappa)} [-\ln(1-X)]^{\kappa-1} e^{-\lambda(-\ln(1-X))} \quad (6.9)$$

$$\text{ή } f_x(x) = \frac{1}{1-X} \frac{\lambda^\kappa}{\Gamma(\kappa)} [-\ln(1-x)]^{\kappa-1} (1-x)^\lambda \quad (6.10)$$

$$\text{ή } f_x(x) = (1-X)^{\lambda-1} \frac{\lambda^\kappa}{\Gamma(\kappa)} [-\ln(1-X)]^{\kappa-1} \quad (6.11)$$

όπου  $\lambda > 0$  παράμετρος κλίμακας και  $\kappa > 0$  παράμετρος σχήματος

Η συνάρτηση κατανομής της μεταβλητής  $X$  είναι

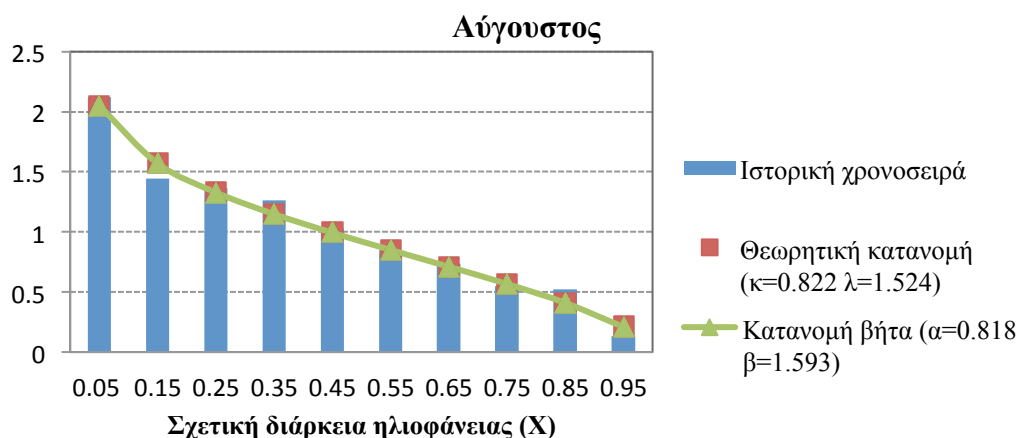
$$F_x(x) = F_y(-\ln(1-x)) = \int_0^y f_y(-\ln(1-X)) d(-\ln(1-X)) \quad (6.12)$$

$$\text{ή } \int_0^y (1-X)^{\lambda-1} \frac{\lambda^\kappa}{\Gamma(\kappa)} [-\ln(1-X)]^{\kappa-1} d(-\ln(1-X)) \quad (6.13)$$

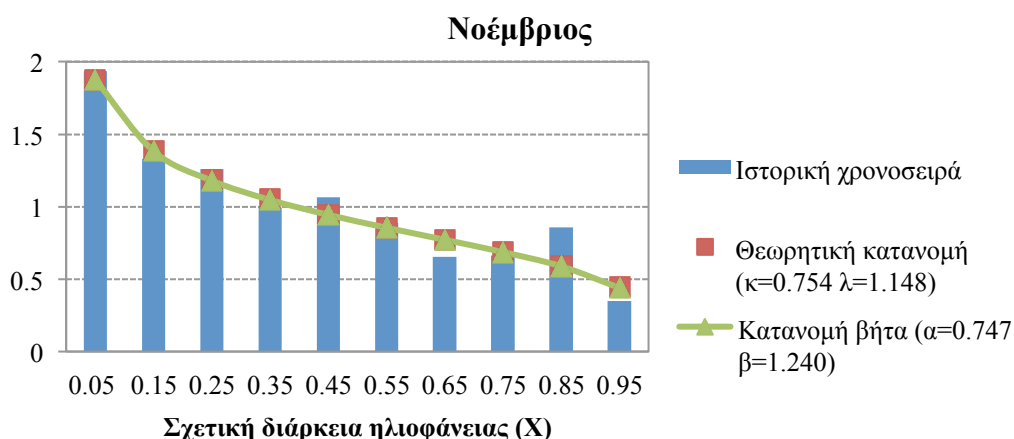
$$\text{ή } \int_0^y (1-X)^{\lambda-1} \frac{\lambda^\kappa}{\Gamma(\kappa)} [-\ln(1-X)]^{\kappa-1} \frac{1}{1-X} dx \quad (6.14)$$

$$\int_0^y (1 - X)^{\lambda-2} \frac{\lambda^\kappa}{\Gamma(\kappa)} [-\ln(1 - X)^{\kappa-1}] dx \quad (6.15)$$

Στα Σχήματα 6.33 και 6.34 παρατίθενται τα ιστογράμματα των ιστορικών χρονοσειρών της σχετικής διάρκειας ηλιοφάνειας και οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας της θεωρητικής κατανομής την οποία αποδείχτηκε ότι ακολουθεί η σχετική διάρκεια ηλιοφάνειας (6.11) και της κατανομής βήτα για τους μήνες Αύγουστο και Νοέμβριο. Παρατηρείται ότι οι δύο κατανομές είναι σχεδόν πανομοιότυπες και ότι τα ιστορικά δεδομένα προσαρμόζονται πολύ καλά σε αυτές. Το γεγονός αυτό έρχεται σε συμφωνία με τους Sulaiman *et al.* (1998) και Bashahu and Nsabimana (2005), οι οποίοι υποστηρίζουν ότι η διάρκεια ηλιοφάνειας ακολουθεί κατανομή βήτα.



Σχήμα 6.33: Ιστόγραμμα-συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας της σχετικής διάρκειας ηλιοφάνειας για το σταθμό Eelde για το μήνα Αύγουστο.



Σχήμα 6.34: Ιστόγραμμα-συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας της σχετικής διάρκειας ηλιοφάνειας για το σταθμό Eelde για το μήνα Νοέμβριο.

## 6.6. Δεδομένα εισόδου 2<sup>ης</sup> εφαρμογής

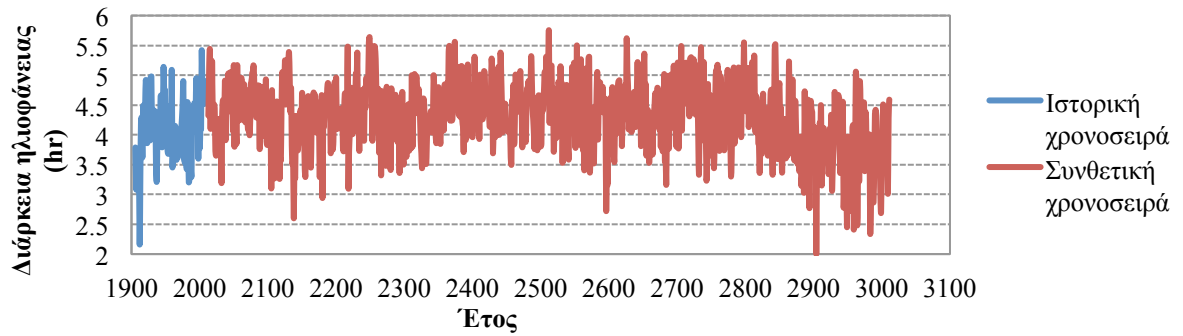
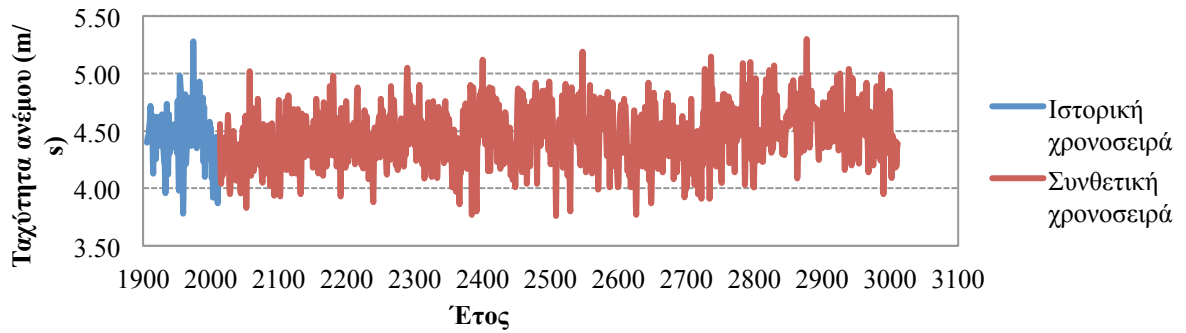
Όπως αναφέρθηκε, οι σταθμοί με κοινές καταγραφές μέσης ημερήσιας ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας είναι οκτώ. Οι ημερήσιες χρονοσειρές της μέσης ταχύτητας ανέμου και της τροποποιημένης διάρκειας ηλιοφάνειας για κάθε σταθμό εισάγονται στην *Κασταλία*, για την γέννηση συνθετικών χρονοσειρών 1000 ετών.

Οι χρονοσειρές της μέσης ταχύτητας του ανέμου δεν έχουν υποστεί κάποια τροποποίηση και επομένως συνεχίζουν να παρουσιάζουν ασυμμετρία στην ημερήσια κλίμακα και σχεδόν μηδενική πιθανότητα εμφάνισης μηδενικών τιμών. Όσον αφορά την διάρκεια ηλιοφάνειας όπως γίνεται αντιληπτό από το σχήμα 6.32 συνεχίζει να υπάρχει ασυμμετρία στην ημερήσια κλίμακα και για την τροποποιημένη μεταβλητή  $Y^k$  και ταυτόχρονα η ιστορική πιθανότητα εμφάνισης μηδενικών τιμών είναι ακριβώς ίδια με την μεταβλητή  $X^k$  καθώς για μηδενική τιμή της μεταβλητής  $X^k$  η  $Y^k$  λαμβάνει επίσης μηδενική τιμή.

Στα πλαίσια των σεναρίων της εφαρμογής 2 χρησιμοποιήθηκε επίσης αναγκαστικά ο εκθέτης  $m = 1$  (βλ.εδάφιο 5.3.4.2). Όσον αφορά το ποσοστό  $\pi_0$ , επιλέχθηκε  $\pi_0=0.9$  και το όριο για τη στρογγυλοποίηση των πολύ μικρών τιμών των μεταβλητών  $l_0=0$ . Για την εφαρμογή της μεθόδου Markov για τη διατήρηση της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών επιλέχθηκαν τα ποσοστά  $\lambda_1=0.30$ ,  $\lambda_2=0.1$  και η πιθανότητα  $k_3=0$  (βλ.εδάφιο 5.3.4.3). Τα κριτήρια σύγκλισης και ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων της μεθόδου Markov τόσο για τις μηνιαίες όσο και για τις ημερήσιες χρονοσειρές επιλέχθηκαν κατά περίπτωση σε κάθε σταθμό μέσω επαναληπτικών διαδικασιών έτσι ώστε να επιτευχθεί η ασυμμετρία των ιστορικών χρονοσειρών στις συνθετικές. Τέλος οι παράμετροι εμμονής  $\beta$  για κάθε σενάριο επιλέχθηκαν επίσης κατά περίπτωση και μέσω επαναληπτικών διαδικασιών έτσι ώστε να επιτευχθεί η τιμή του συντελεστή Hurst των ιστορικών χρονοσειρών. Η τιμή της παραμέτρου εμμονής που επιλέχθηκε για κάθε μεταβλητή και κάθε σταθμό δίνεται στο παράρτημα Β.

## 6.7. Αποτελέσματα 2<sup>ης</sup> εφαρμογής

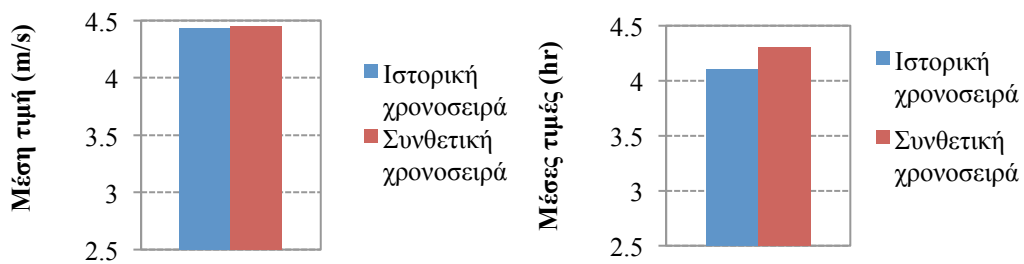
Στη συνέχεια παρατίθενται, ενδεικτικά, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τον σταθμό Eelde. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι ιστορικές και συνθετικές χρονοσειρές των δύο μεταβλητών, γίνεται σύγκριση των στατιστικών χαρακτηριστικών στην ετήσια, τη μηνιαία και την ημερήσια κλίμακα, και απεικονίζονται οι τιμές των συντελεστών Hurst. Τα γραφήματα για τους υπόλοιπους επτά σταθμούς δίνονται στο Παράρτημα Δ.



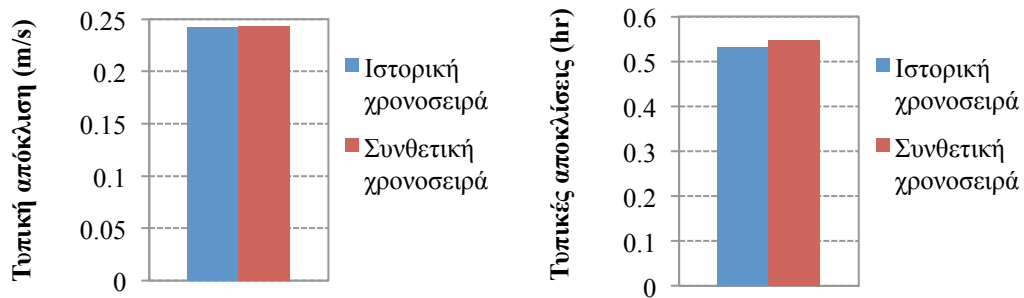
Σχήμα 6.35 : Ιστορική (μπλε) και συνθετική (κόκκινη) χρονοσειρά μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου (πάνω) και διάρκειας ηλιοφάνειας (κάτω)

### 6.7.1. Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ετήσιας κλίμακας

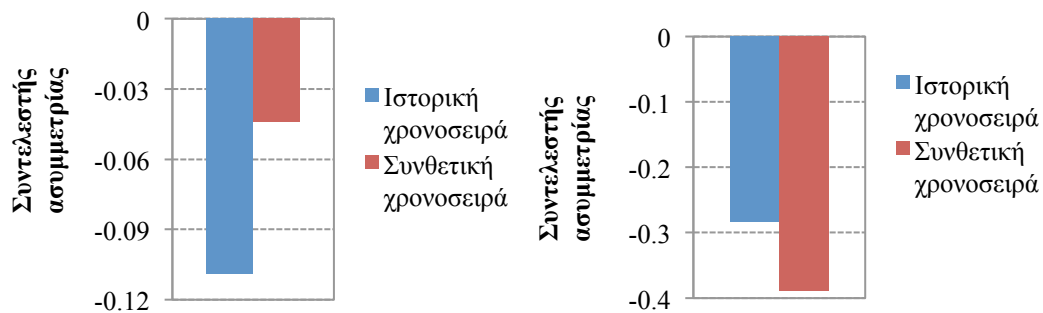
Στα σχήματα που ακολουθούν γίνεται η σύγκριση των στατιστικών χαρακτηριστικών και της στοχαστικής δομής μεταξύ των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών σε ετήσια κλίμακα και για τις δύο μεταβλητές.



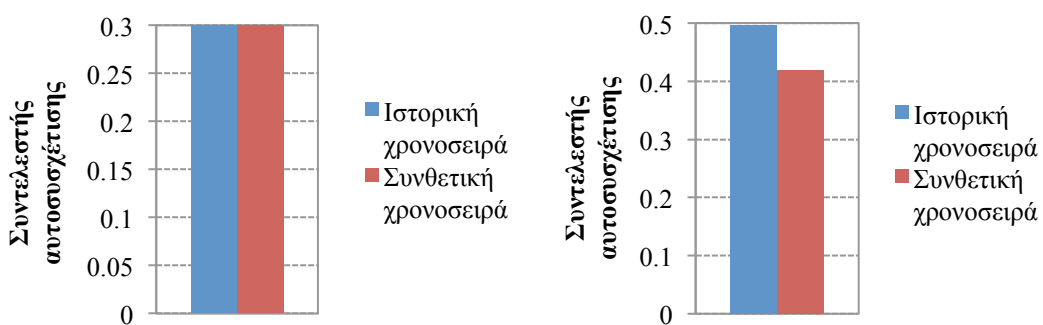
Σχήμα 6.36 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας μέσης τιμής του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



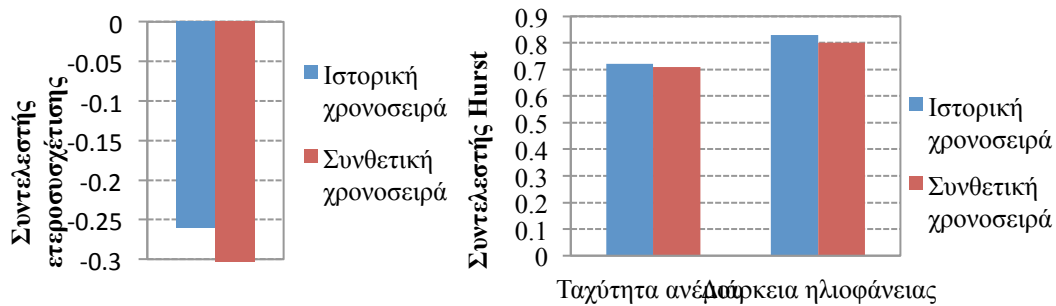
Σχήμα 6.37 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας τυπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



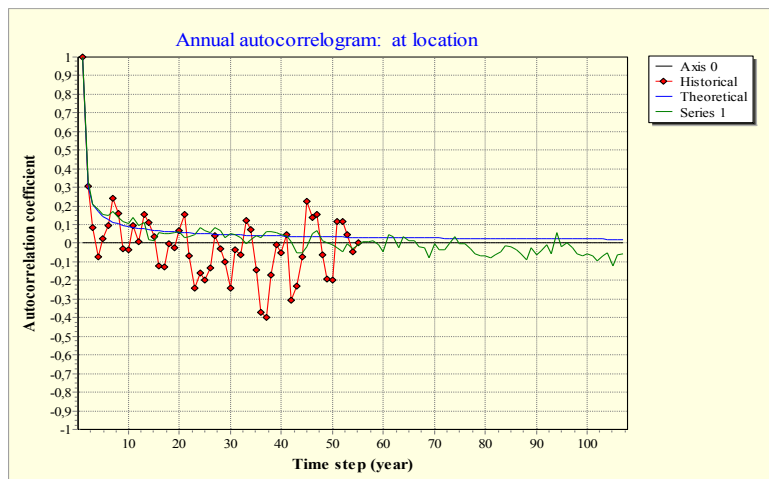
Σχήμα 6.38 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



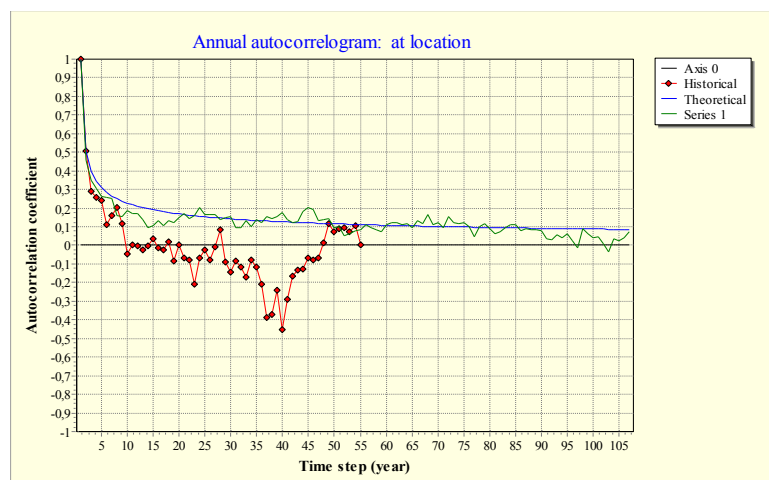
Σχήμα 6.39 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



Σχήμα 6.40 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου δειγματικού και συνθετικού συντελεστή ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας και τιμές του συντελεστή Hurst των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών των δύο μεταβλητών για τον σταθμό Eelde.



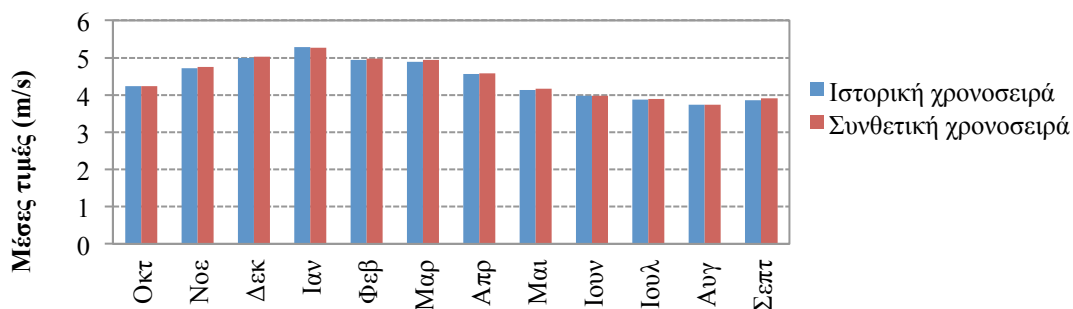
Σχήμα 6.41 : Θεωρητικό αυτοσυσχετόγραμμα (μπλε γραμμή), δειγματικό αυτοσυσχετόγραμμα (κόκκινη γραμμή) και συνθετικό αυτοσυσχετόγραμμα (πράσινη γραμμή) ετήσιας χρονοσειράς ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.



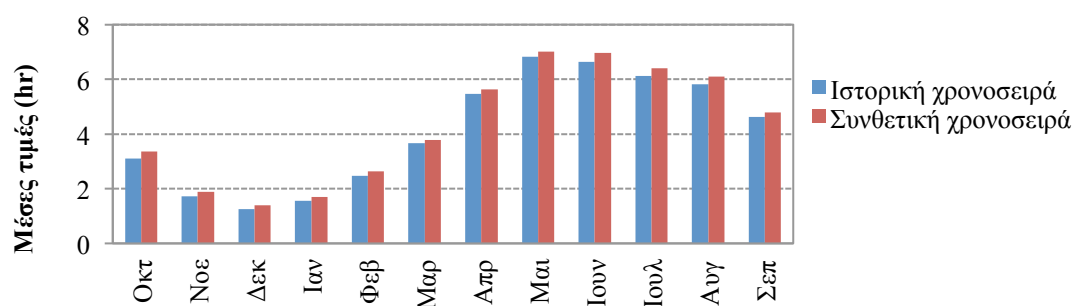
Σχήμα 6.42 : Θεωρητικό αυτοσυσχετόγραμμα (μπλε γραμμή), δειγματικό αυτοσυσχετόγραμμα (κόκκινη γραμμή) και συνθετικό αυτοσυσχετόγραμμα (πράσινη γραμμή) ετήσιας χρονοσειράς διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.

### 6.7.2. Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών μηνιαίας κλίμακας

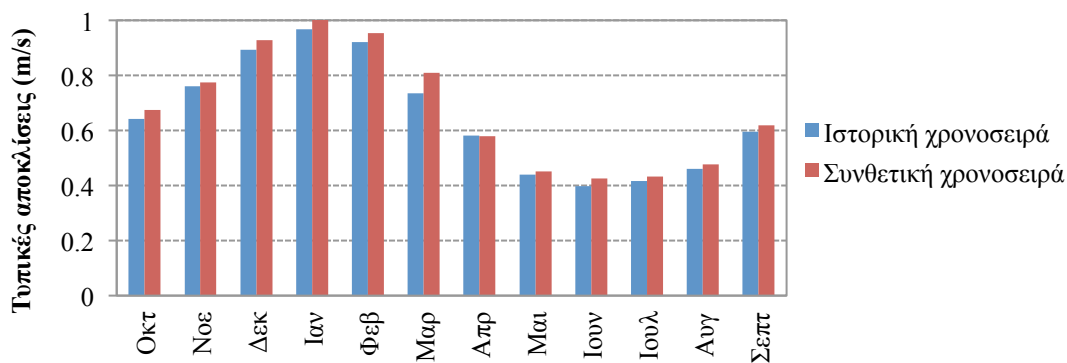
Στα σχήματα που ακολουθούν γίνεται η σύγκριση των στατιστικών χαρακτηριστικών μεταξύ των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών σε μηνιαία κλίμακα και για τις δύο μεταβλητές



Σχήμα 6.43 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.



Σχήμα 6.44 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.

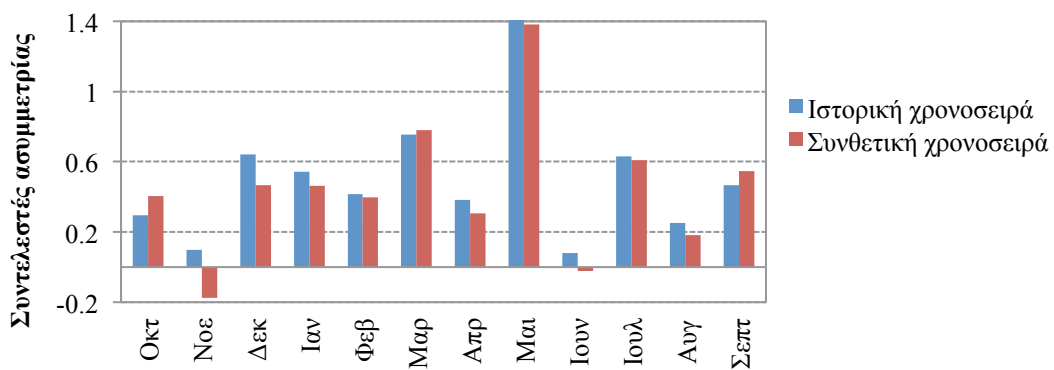


Σχήμα 6.45 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.

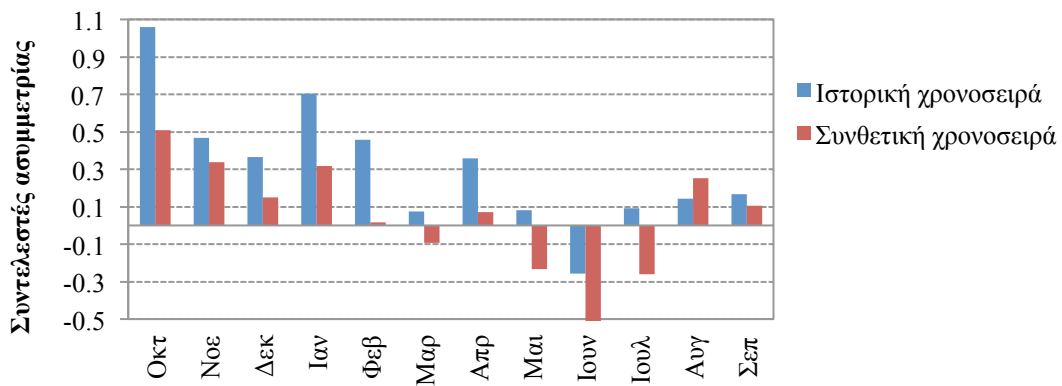




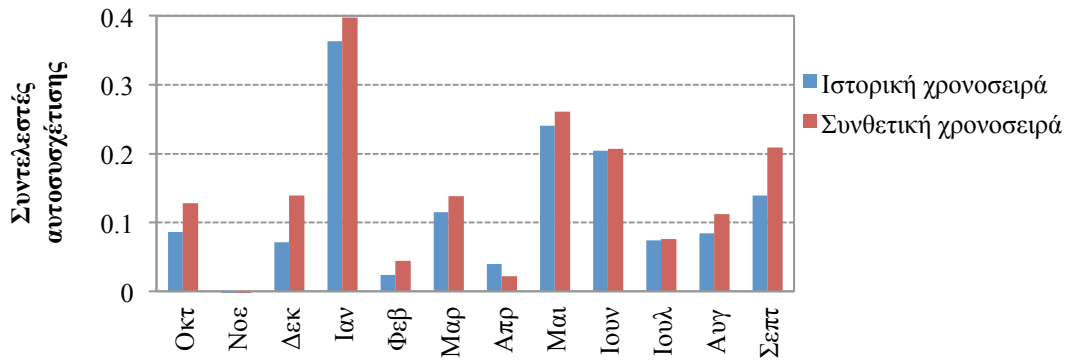
Σχήμα 6.46 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



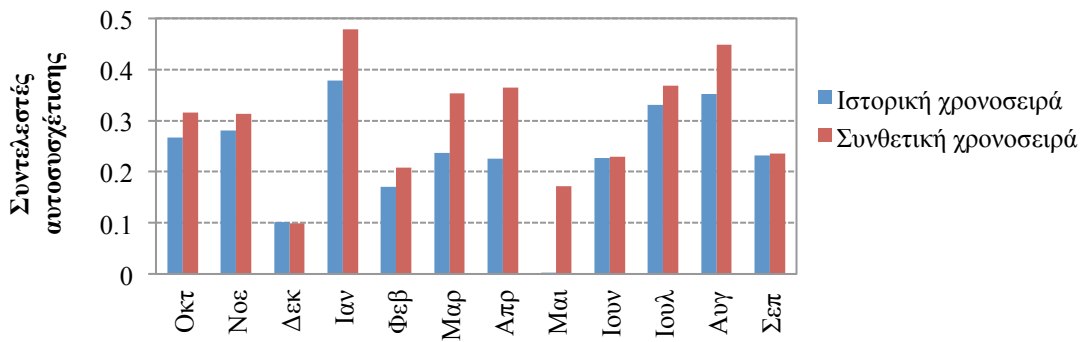
Σχήμα 6.47 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.



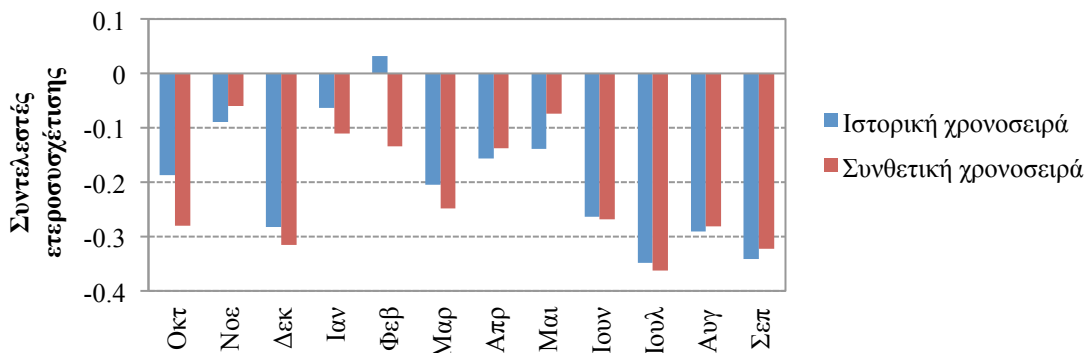
Σχήμα 6.48 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



Σχήμα 6.49 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.



Σχήμα 6.50 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



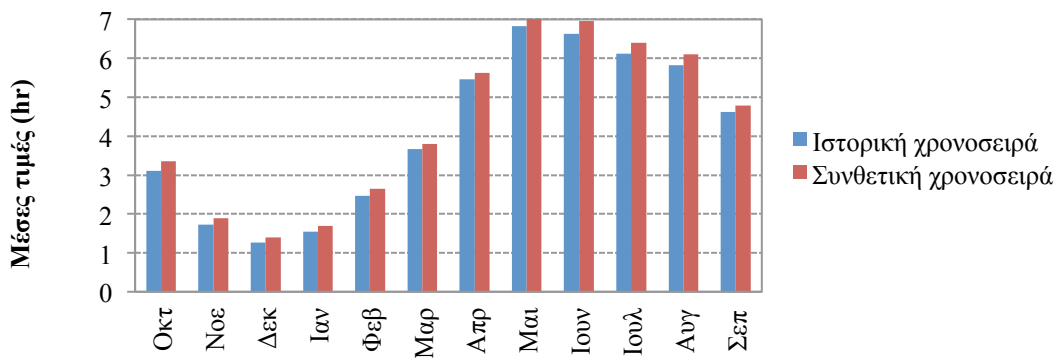
Σχήμα 6.51 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.

### 6.7.3. Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ημερήσιας κλίμακας

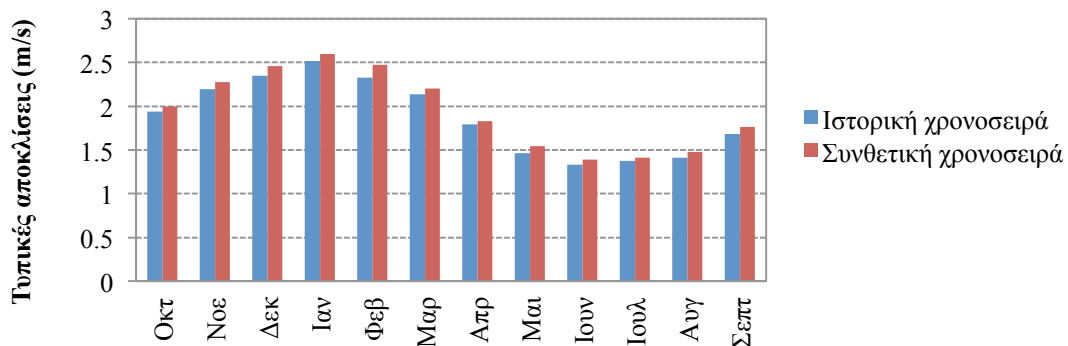
Στα σχήματα που ακολουθούν γίνεται η σύγκριση των στατιστικών χαρακτηριστικών μεταξύ των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών σε ημερήσια κλίμακα και για τις δύο μεταβλητές



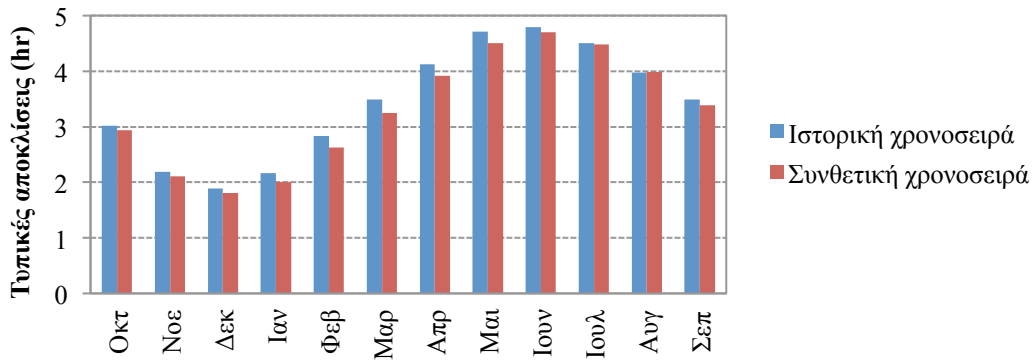
Σχήμα 6.52 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.



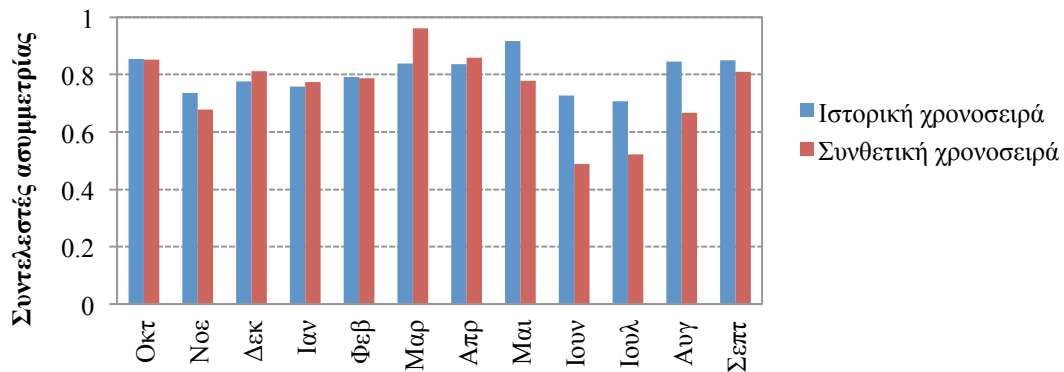
Σχήμα 6.53 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



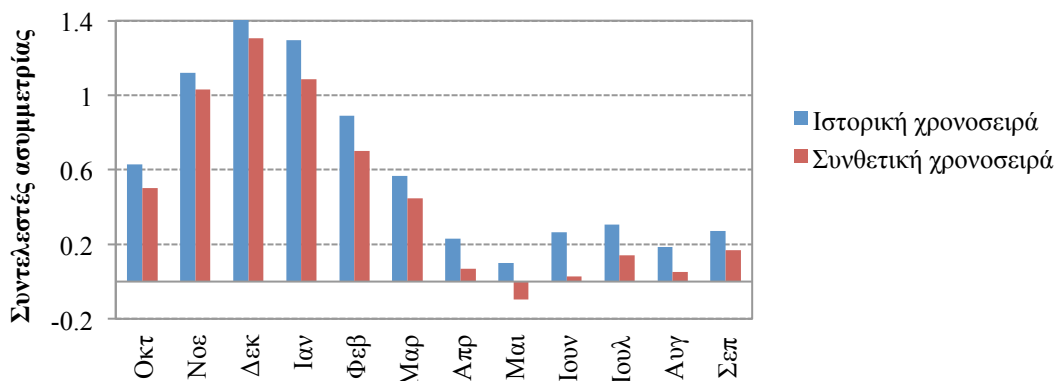
Σχήμα 6.54 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.



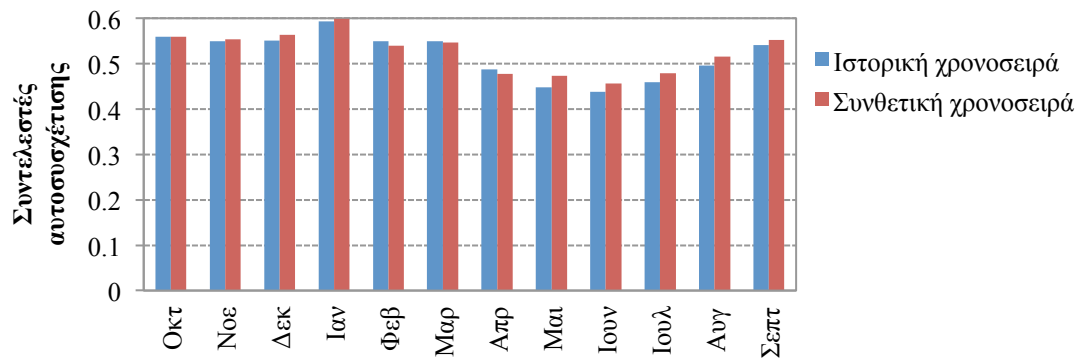
Σχήμα 6.55 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



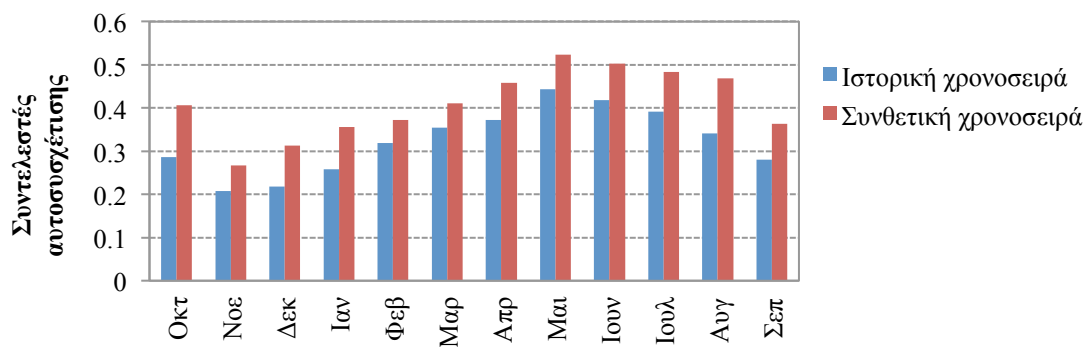
Σχήμα 6.56 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.



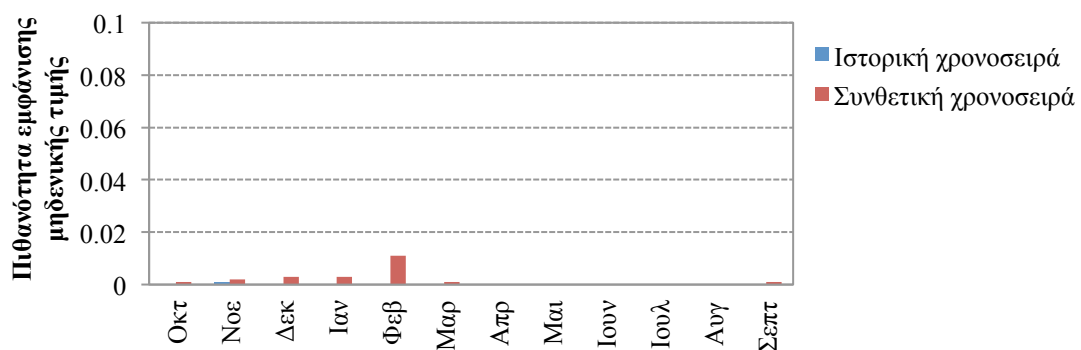
Σχήμα 6.57 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



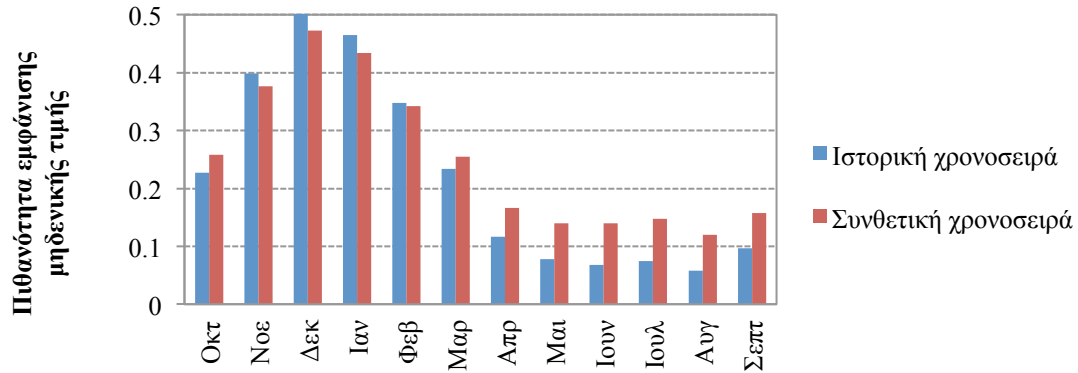
Σχήμα 6.58 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.



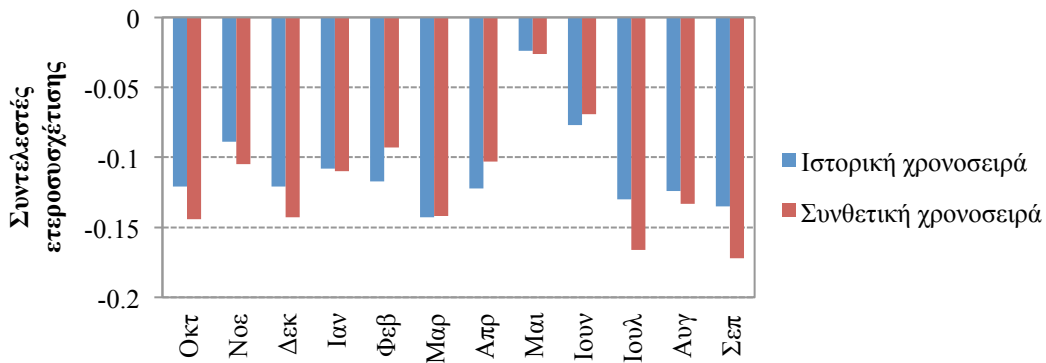
Σχήμα 6.59 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



Σχήμα 6.60 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Eelde.



Σχήμα 6.61 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.



Σχήμα 6.62 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Eelde.

### 6.8. Συμπεράσματα 2<sup>ης</sup> εφαρμογής

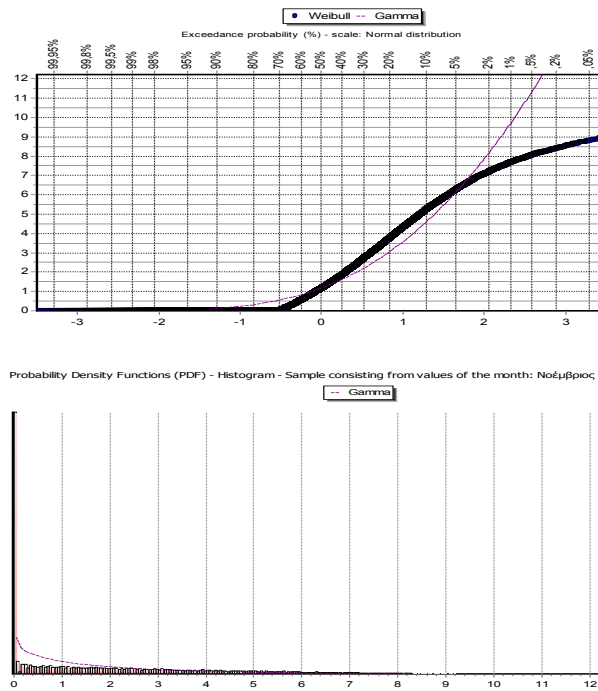
Στην ετήσια και μηνιαία κλίμακα (Σχήματα 6.36 έως 6.51) παρατηρείται ότι και στην εφαρμογή 2 η διατήρηση των στατιστικών χαρακτηριστικών είναι ικανοποιητική. Στα ραβδογράμματα γίνεται σύγκριση των στατιστικών χαρακτηριστικών για τις ιστορικές και συνθετικές χρονοσειρές της ετήσιας και μηνιαίας κλίμακας, του συντελεστή ετεροσυσχέτισης μεταξύ των δύο μεταβλητών σε αυτές τις κλίμακες καθώς και των τιμών του συντελεστή Hurst για τις ιστορικές και συνθετικές χρονοσειρές. Επιπλέον παρατίθενται και τα αυτοσυσχετογράμματα για κάθε μεταβλητή, τα οποία φανερώνουν τη διατήρηση της δομής της αυτοσυσχέτισης μέσω του σχήματος γέννησης ετήσιων χρονοσειρών (Σχήματα 6.41 και 6.42). Στα παραπάνω γραφήματα οι αποκλίσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών των ιστορικών και των συνθετικών χρονοσειρών στην ετήσια κλίμακα είναι μικρές, κάτι που δείχνει ότι και σε αυτήν την εφαρμογή η αναπαραγωγή έγινε με ικανοποιητική ακρίβεια.

Το χαρακτηριστικό στο οποίο παρατηρείται απόκλιση στις συνθετικές χρονοσειρές για το σταθμό Eelde είναι ο συντελεστής ασυμμετρίας της διάρκειας ηλιοφάνειας, ο οποίος υποεκτιμάται στη μηνιαία κλίμακα. Στους υπόλοιπους σταθμούς παρατηρείται απόκλιση και στο συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης για τη διάρκεια ηλιοφάνειας, καθώς γίνεται υπερεκτίμηση του συντελεστή. Οι αποκλίσεις αυτές πολύ πιθανό οφείλονται στο γεγονός ότι η μετατροπή της μεταβλητής της διάρκειας ηλιοφάνειας γίνεται εκτός του προγράμματος, και έτσι η διαδικασία αναγωγής και η επαναληπτική διαδικασία τύπου Monte Carlo πραγματοποιείται για την λογαριθμική μετατροπή της μεταβλητής και όχι για την μεταβλητή. Ωστόσο η μηνιαία κλίμακα δεν είναι ιδιαίτερα κρίσιμη, καθώς ο σχεδιασμός των υβριδικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας, με συνδυασμένη χρήση αιολικής και ηλιακής ενέργειας, γίνεται σε ημερήσια κλίμακα.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα της ημερήσιας κλίμακας (Σχήματα 6.52 έως 6.62) παρατηρείται ότι η διατήρηση των στατιστικών χαρακτηριστικών είναι ικανοποιητική, σε αντίθεση με την 1<sup>η</sup> εφαρμογή. Στα ραβδογράμματα γίνεται η σύγκριση των στατιστικών χαρακτηριστικών για τις ιστορικές και συνθετικές χρονοσειρές της ημερήσιας κλίμακας καθώς και του συντελεστή ετεροσυσχέτισης μεταξύ των δύο μεταβλητών σε αυτή την κλίμακα. Επιπλέον παρατίθεται η σύγκριση της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικής τιμής μεταξύ των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών. Οι αποκλίσεις των χαρακτηριστικών μεταξύ των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών είναι σε όλα τα γραφήματα μικρές εκτός από τα ραβδογράμματα στα οποία γίνεται σύγκριση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης για την διάρκεια ηλιοφάνειας όπου παρατηρείται μία μικρή υπερεκτίμηση. Η απόκλιση αυτή είναι πιθανό να οφείλεται στους ίδιους λόγους με προηγουμένως. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι ο συντελεστής ασυμμετρίας για την μεταβλητή αυτή, ο οποίος δεν ήταν δυνατό να διατηρηθεί στη 1<sup>η</sup> εφαρμογή και ήταν ο λόγος για τον οποίο έγινε η τροποποίηση της μεταβλητής αυτής, στην 2<sup>η</sup> εφαρμογή διατηρείται σε ικανοποιητικό βαθμό. Η ικανοποιητική ακρίβεια της αναπαραγωγής των συνθετικών χρονοσειρών της διάρκειας ηλιοφάνειας γίνεται αντιληπτή και από το Σχήμα 6.63 στο οποίο παρουσιάζονται η εμπειρική, η θεωρητική συνάρτηση κατανομής γάμα της ημερήσιας συνθετικής χρονοσειράς διάρκειας ηλιοφάνειας καθώς και το ιστόγραμμα πυκνότητας πιθανότητας για το μήνα Νοέμβριο. Παρατηρείται ότι η εμπειρική συνάρτηση κατανομής της συνθετικής χρονοσειράς είναι πανομοιότυπη με την αντίστοιχη ιστορική συνάρτηση κατανομής όπως και το συνθετικό ιστόγραμμα πυκνότητας πιθανότητας με το αντίστοιχο ιστορικό.

Τέλος, όπως και στην εφαρμογή 1, η απόκλιση που παρατηρείται στην πιθανότητα εμφάνισης μηδενικών τιμών (Σχήμα 6.60) για τη μέση ταχύτητα ανέμου είναι φαινομενική, καθώς στο συνθετικό δείγμα είναι πάρα πολύ μικρή ενώ στο ιστορικό σχεδόν μηδενική και άρα η απόκλιση εντοπίζεται στην κλίμακα του γραφήματος.

Παρόμοια συμπεριφορά σε όλες τις χρονικές κλίμακες παρατηρείται και για τα δεδομένα των υπόλοιπων 7 σταθμών.



Σχήμα 6.63: Εμπειρική (μπλε) και θεωρητική (μωβ) συνάρτηση κατανομής (πάνω) και ιστόγραμμα-συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (κάτω) συνθετικών ημερήσιων χρονοσειρών διάρκειας ηλιοφάνειας για το σταθμό Eelde για το μήνα Νοέμβριο.



## 7. Σύνοψη και συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία διερευνάται η ύπαρξη μακροπρόθεσμης εμμονής για τα χαρακτηριστικά της ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας των αντίστοιχων μετεωρολογικών διεργασιών στην Ευρώπη, για τα οποία δεν υπήρχε κάποια συστηματική διερεύνηση μέχρι σήμερα. Η γνώση της στοχαστικής δομής των δύο μεταβλητών κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική καθώς η αιολική ενέργεια και η ηλιακή ακτινοβολία, οι οποίες αποτελούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, προκύπτουν από αυτές. Επιπλέον, εξετάζεται η δυνατότητα ταυτόχρονης αναπαραγωγής συνθετικών χρονοσειρών μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας με χρήση των ιστορικών δεδομένων από τους μετρητικούς σταθμούς με κοινές καταγραφές μέσω του υπολογιστικού συστήματος *Κασταλία* για την ημερήσια, μηνιαία και ετήσια κλίμακα. Η συγκεκριμένη εφαρμογή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη γιατί πάνω της βασίζεται ο ορθολογικός σχεδιασμός ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας με την χρήση αιολικής και ηλιακής ενέργειας.

Τα αποτελέσματα της διερεύνησης δείχνουν ότι τόσο η ταχύτητα ανέμου όσο και η διάρκεια ηλιοφάνειας χαρακτηρίζονται από συντελεστή Hurst μεγαλύτερο του 0.5 για το σύνολο των σταθμών. Ειδικότερα, για τα περισσότερα δείγματα, παρατηρείται αρκετά υψηλή τιμή του συντελεστή, με την τιμή 0.84 να κρίνεται αντιπροσωπευτική και για τις δύο μεταβλητές. Είναι συνεπώς σαφές ότι οι δύο αυτές διεργασίες χαρακτηρίζονται από το φαινόμενο της μακροπρόθεσμης εμμονής. Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι, εξαιτίας των σχετικά λίγων δειγμάτων και της δυσκολίας στην συλλογή τους, απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση. Τα επόμενα χρόνια, όταν θα είναι δυνατή η χρήση καταγραφών από σταθμούς στους οποίους οι μετρήσεις ξεκίνησαν μετά την δεκαετία του 1940, αναμένεται να υπάρξουν εκτενέστερες αναλύσεις, ώστε να εξαχθούν πιο ασφαλή συμπεράσματα.

Όσον αφορά στη γέννηση συνθετικών χρονοσειρών για τις δύο μεταβλητές σε πολυμεταβλητό σχήμα, συμπεραίνεται ότι το πρόγραμμα *Κασταλία* παρουσιάζει γενικά καλή συμπεριφορά στη στοχαστική προσομοίωση. Όμως παρουσιάζει ένα πρόβλημα στην προσομοίωση της μεταβλητής της διάρκειας ηλιοφάνειας στην ημερήσια κλίμακα καθώς δεν είναι δυνατό να αναπαραγάγει με ακρίβεια συνθετικές χρονοσειρές αυτής της μεταβλητής χωρίς κάποιον άμεσο μετασχηματισμό της. Αυτό οφείλεται στο πεδίο ορισμού της διάρκειας ηλιοφάνειας το οποίο είναι κλειστό διάστημα κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την υπερεκτίμηση της ασυμμετρίας της από το πρόγραμμα στην ημερήσια κλίμακα, η οποία είναι και η κλίμακα σχεδιασμού των ενεργειακών έργων. Σε αυτήν την περίπτωση οι συνθετικές χρονοσειρές δεν είναι ακριβείς.

Κάνοντας χρήση της προτεινόμενης λογαριθμικής μετατροπής, είναι δυνατή μια περισσότερο ακριβής αναπαραγωγή της ημερήσιας ασυμμετρίας. Ωστόσο με αυτή την μετατροπή προκύπτουν μη αποδεκτές αποκλίσεις στην μηνιαία ασυμμετρία και το μηνιαίο συντελεστή αυτοσυσχέτισης και, σε ορισμένες περιπτώσεις, στον ημερήσιο συντελεστή αυτοσυσχέτισης. Βεβαίως, τα μηνιαία στατιστικά

χαρακτηριστικά δεν κρίνονται ιδιαίτερα κρίσιμα για τον σχεδιασμό, καθώς αυτός πραγματοποιείται σε ημερήσια κλίμακα.

Σε κάθε περίπτωση, το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί με την ενσωμάτωση της λογαριθμικής μετατροπής στο υπολογιστικό σύστημα, σε αντιστοιχία με τον ήδη υπάρχοντα μετασχηματισμό δύναμης. Με τον τρόπο αυτό, το λογισμικό *Κασταλία* θα μπορεί να υποστηρίζει τη συνεπή στοχαστική προσομοίωση μεγάλου φάσματος υδρομετεωρολογικών μεταβλητών, στις τρεις χρονικές κλίμακες ενδιαφέροντος.

## Αναφορές

1. Bakker A.M.R., Bart J. J. M. van den Hurk, Estimation of persistence and trends in geostrophic wind speed for the assessment of wind energy yields in Northwest Europe 4, *Climate Dynamics*, 39( 3-4), 767-782, August 2012
2. Bashahu M., Nsabimana J.C., Statistical analysis of sunshine duration measurements in Burundi using beta distributions, *World Conference on Physics and Sustainable Development Durban Poster No102244*, South Africa, 31 October-02 November 2005
3. Benth J.S., Saltyte L., Spatial-temporal model for wind speed in Lithuania *Journal of Applied Statistics*, 38(6), 1151-1168, 2011
4. Bloomfield P, Trends in global temperature, *Climate Change*, 21(1), 1-16, 1992
5. Bouette JC., Chassagneux JF., Sibai D., Terron R., Charpentier A., Wind in Ireland: long memory or seasonal effect ?, *Stochastic Environmental Research Risk Assess*, 20(3), 141-151, 2006
6. Chia E., Hutchinson M.F., The beta distribution as a probability model for daily cloud duration, *Agricultural and Forest Meteorology*, 56 (1991), 195-208
7. Eltahir EAB, El Niño and the Natural Variability in the Flow of the Nile River, *Water Resources Research* , 32(1), 131-137, 1996
8. Feng T., Fu Z., Deng X., Mao J., A brief description to different multi-fractal behaviors of daily wind speed records over China, *Physics Letters A*, 373, 4134-4141, 2009
9. Fraedrich K, Blender R, Scaling of Atmosphere and Ocean Temperature Correlations in Observations and Climate Models, *Physical Review Letters*, 90(10), 1-4, 2003
10. Harrouni S., Guessoum A., Using fractal dimension to quantify long-range persistence in global solar radiation, *Chaos, Solitons and Fractals*, 41(3), 1520-1530, 15 August 2009
11. Haslett J., Raftery A.E., Space modeling with long memory dependence: assessing Ireland's wind power resource, *Applied Statistics*, 38(1), 1-50, 1989

12. Jiang T., Zhang Q., Blender R., Fraedrich K. Yangtze, Delta floods and droughts of the last millennium: Abrupt changes and long term memory *Theoretical and Applied Climatology*, 82(3-4),131-141, 2005
13. Kavasseri R.G., Nagarajan R., A multifractal description of wind speed records, *Chaos, Solitons and Fractals*, 24 , 165-173, 2005
14. Khaliq MN, Gachon P. Pacific Decadal Oscillation Climate Variability and Temporal Pattern of Winter Flows in Northwestern North America, *Journal of Hydrometeorology*, 11(4),917-933, 2010
15. Kocak K., Examination of persistence properties of wind speed records using detrended fluctuation analysis, *Energy*, 34(11), 1980-1985, 2009
16. Koscielny-Bunde E, Bunde A, Havlin S, Roman HE, Goldreich Y, Schellnhuber HJ, Indication of a universal persistence law governing atmospheric variability, *Physical Review Letters*, 81(3), 729-732, 1998
17. Koutsoyiannis, D., Optimal decomposition of covariance matrices for multivariate stochastic models in hydrology, *Water Resources Research*, 35 (4), 1219–1229, 1999.
18. Koutsoyiannis, D., A generalized mathematical framework for stochastic simulation and forecast of hydrologic time series, [\*Water Resources Research\*](#), 36 (6), 1519–1533, 2000
19. Koutsoyiannis D., The Hurst phenomenon and fractional Gaussian noise made easy, *Hydrological Sciences Journal*, 47(4), 573-595, 2002
20. Koutsoyiannis, D., C. Onof, and H. S. Wheater, Multivariate rainfall disaggregation at a fine timescale, *Water Resources Research*, 39 (7), 1173, doi:10.1029/2002WR001600, 2003
21. Koutsoyiannis D, Climate change, the Hurst phenomenon, and hydrological statistics, *Hydrological Sciences Journal* 48(1), 3-24, 2003a

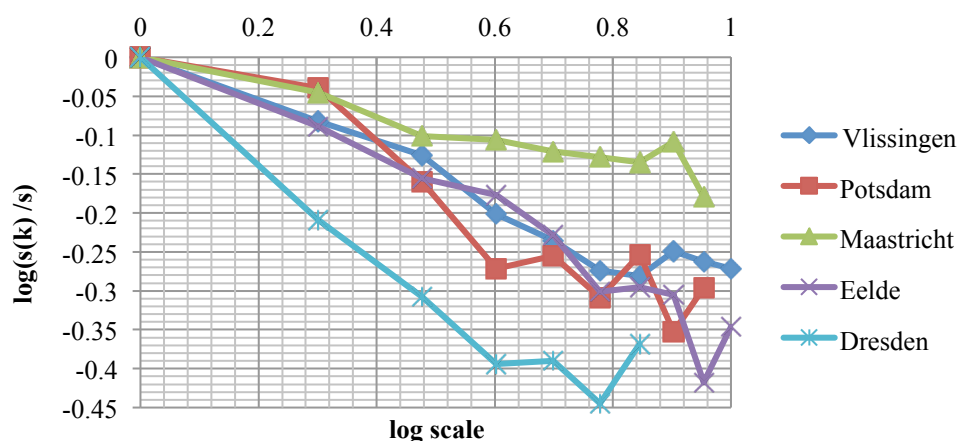
22. Koutsoyiannis, D. (2003b), Hydrological statistics for engineering design in a varying climate, *EGS-AGU-EUG Joint Assembly Geophysical Research Abstracts*, 5, Nice, April 2003, European Geophysical Society, American Geophysical Union (<http://www.itia.ntua.gr/g/docinfo/565/>)
23. Liu Liu, Xu ZX, Huang JX, Spatial-temporal variation and abrupt changes for major climate variables in the Taihu Basin, China, *Stochastic Environmental Research Risk Assess*, 26(6), 777-791, 2011
24. Montanari A, Rosso R, Taqqu MS, Fractionally differenced ARIMA models applied to hydrological time series, *Water Resources Research* 33(5), 1035-1044, 1997
25. Radziejewski M, Kundzewicz ZW (1997) Fractal analysis of flow of the river Warta, *Journal of Hydrology*, 200(1-4), 280–294, 1997
26. Rehman S., Siddiqi A.H., Wavelet based hurst exponent and fractal dimensional analysis of Saudi climatic dynamics, *Chaos, Solitons and Fractals*, 40(3), 1081-1090, 2009
27. Sakalauskiene G, The Hurst Phenomenon in Hydrology, *Environmental Research, Engineering and Management*, 3(25), 16-20, 2003
28. Sulaiman Y. M., Hlaing O.W.M., Wahab M. A., Zakaria A., Application of beta distribution model to Malaysian sunshine data, *Renewable Energy*, 18(4) , 573-579, 1999
29. Tsekov M., Detrended fluctuation analysis of weather records from local place in south Bulgaria, *Comptes Rendus de l'Academie Bulgare des Sciences*, 56, 8-25, 2003
30. Tyrallis, H., and D. Koutsoyiannis, Simultaneous estimation of the parameters of the Hurst-Kolmogorov stochastic process, *Stochastic Environmental Research & Risk Assessment*, 25 (1), 21–33, 2011.
31. Wang G., Jiang T., Chen G., Structure and long-term memory of discharge series in Yangtze River, *Acta Geographica Sinica*, 61(1), 47-56, 2006

32. Ευστρατιάδης, Α., και Δ. Κουτσογιάννης, Κασταλία (έκδοση 2.0) - Σύστημα στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών μεταβλητών, Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας, Τεύχος 23, 103 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιανουάριος 2004.
33. Ευστρατιάδης, Α., Δ. Κουτσογιάννης, και Σ. Κοζάνης, Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών μεταβλητών «Κασταλία», Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ), Ανάδοχος: ΝΑΜΑ Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές Α.Ε., Τεύχος 3, 61 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2005.
34. Διαλυνάς, Ι., Ανάπτυξη υπολογιστικού συστήματος για τον πολυμεταβλητό στοχαστικό επιμερισμό μηνιαίων σε ημερήσιες υδρολογικές χρονοσειρές, Διπλωματική εργασία, 337 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 2011
35. Κουτσογιάννης Δ., Σημειώσεις Υδρομετεωρολογίας - Μέρος 1 Αθήνα 2000

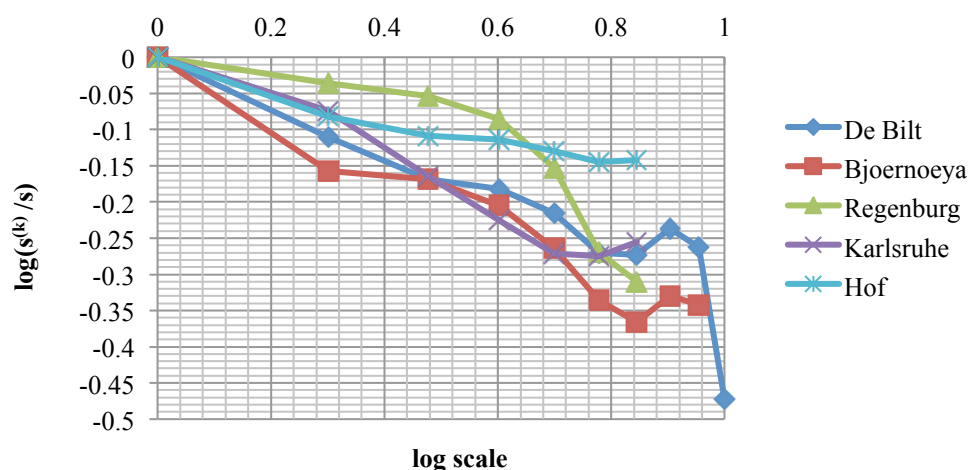
## Παράρτημα Α – Κλιμακογράμματα της τυπικής απόκλισης για τις μεταβλητές της ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας

Στη συνέχεια παρατίθενται τα λογαριθμικά κλιμακογράμματα της αδιαστατοποιημένης τυπικής απόκλισης των μέσων συναθροισμένων ανερίξεων με την χρονική κλίμακα  $k$  για τους υπόλοιπους σταθμούς και για τις δύο μεταβλητές (Σχήμα Α.1 έως Α.6)

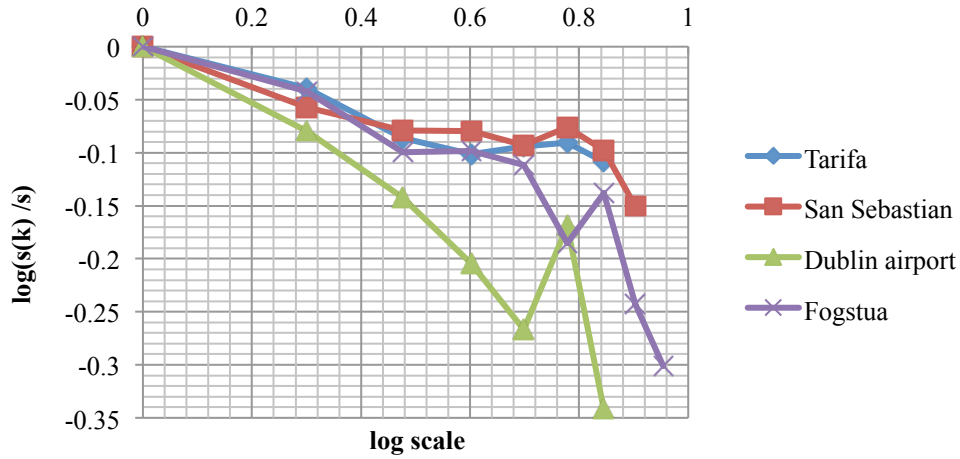
### Α.1 Ταχύτητα ανέμου



Σχήμα Α.1: Κλιμακογράμματα της τυπικής απόκλισης για την μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου για τους σταθμούς Vlissingen, Potsdam, Maastricht, Eelde, Dresden

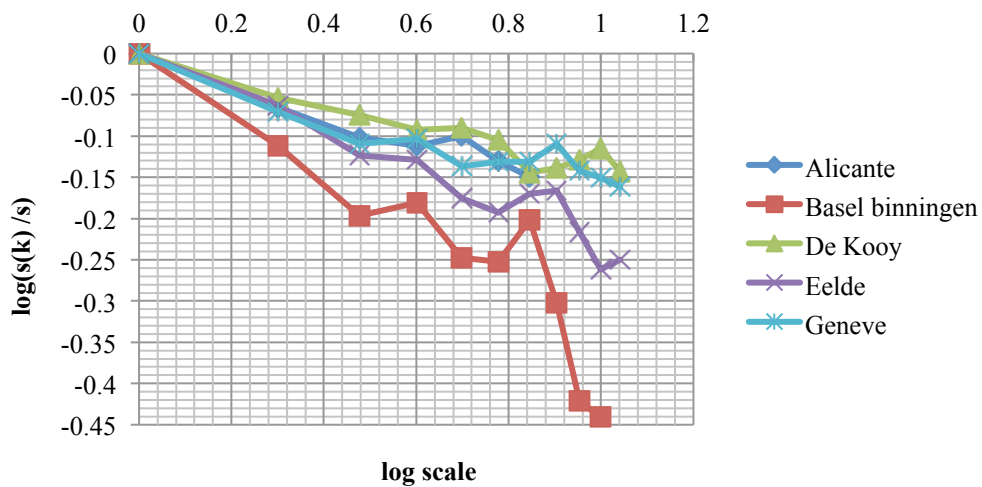


Σχήμα Α.2: Κλιμακογράμματα της τυπικής απόκλισης για την μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου για τους σταθμούς De Bilt, Bjoernoeya, Regensburg, Karlsruhe, Hof



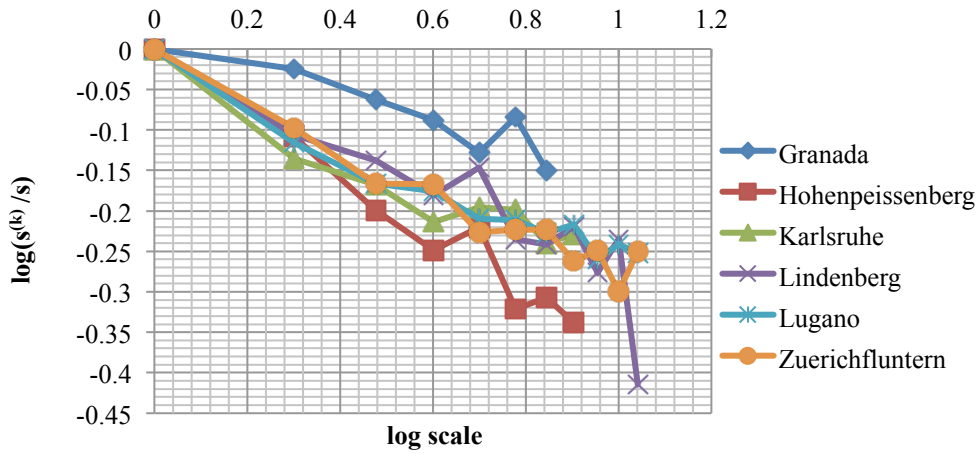
Σχήμα Α.3: Κλιμακόγραμμα της τυπικής απόκλισης για την μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου για τους σταθμούς Tarifa, San Sebastian, Dublin airport, Fogstua

## A.2 Διάρκεια ηλιοφάνειας

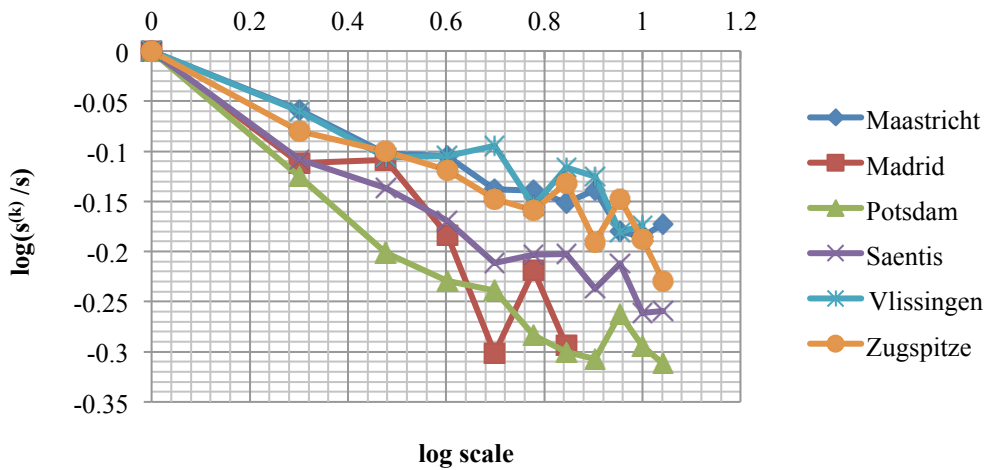


Σχήμα Α.4: Κλιμακόγραμμα της τυπικής απόκλισης για την μέση ετήσια διάρκεια ηλιοφάνειας για τους σταθμούς Alicante, Basel binningen, De Kooy, Eelde, Geneve





Σχήμα Α.5: Κλιμακόγραμμα της τυπικής απόκλισης για την μέση ετήσια διάρκεια ηλιοφάνειας για τους σταθμούς Granada, Hohenpeissenberg, Karlsruhe, Lindenberg, Lugano, Zuerichfluntern



Σχήμα Α.6: Κλιμακόγραμμα της τυπικής απόκλισης για την μέση ετήσια διάρκεια ηλιοφάνειας για τους σταθμούς Maastricht, Madrid, Potsdam, Saentis, Vlissingen, Zugspitze



## Παράρτημα Β - Παράμετροι εμμονής $\beta$

Στους πίνακες Β.1 και Β.2 παρατίθενται οι τιμές των παραμέτρων εμμονής  $\beta$  (καθώς και ο τρόπος υπολογισμού της παραμέτρου σχήματος  $\kappa$ ) οι οποίες επιλέχθηκαν για την αναπαραγωγή του συντελεστή Hurst των δύο μεταβλητών σε κάθε σταθμό μέσω του προγράμματος *Κασταλία* για τις δύο εφαρμογές.

### Β.1 Εφαρμογή 1

Σταθμός	Ταχύτητα ανέμου		Διάρκεια ηλιοφάνειας	
	Παράμετρος εμμονής $\beta$	Τρόπος υπολογισμού παραμέτρου $\kappa$	Παράμετρος εμμονής $\beta$	Τρόπος υπολογισμού παραμέτρου $\kappa$
De Bilt	1.68	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1	1.52	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1
De Kooy	2.80	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1	6	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1
Eelde	1.70	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1	2.95	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1
Hohenpeissenberg	2.70	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1	2	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1
Karlsruhe	1.69	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1	1.93	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1

	Ταχύτητα ανέμου		Διάρκεια ηλιοφάνειας	
Σταθμός	Παράμετρος εμμονής $\beta$	Τρόπος υπολογισμού παραμέτρου $\kappa$	Παράμετρος εμμονής $\beta$	Τρόπος υπολογισμού παραμέτρου $\kappa$
Maastricht	4.70	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1	0.02	Βέλτιστη προσαρμογή του θεωρητικού αυτοσυσχετογράμματος στο εμπειρικό
Potsdam	2.10	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1	1.80	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1
Vlissingen	2.10	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1	0.838	Βέλτιστη προσαρμογή του θεωρητικού αυτοσυσχετογραμματος στο εμπειρικό

## B.2 Εφαρμογή 2

	Ταχύτητα ανέμου		Διάρκεια ηλιοφάνειας	
Σταθμός	Παράμετρος εμμονής $\beta$	Τρόπος υπολογισμού παραμέτρου $\kappa$	Παράμετρος εμμονής $\beta$	Τρόπος υπολογισμού παραμέτρου $\kappa$
De Bilt	2.70	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1	4	Βέλτιστη προσαρμογή του θεωρητικού αυτοσυσχετογράμματος στο εμπειρικό
De Kooy	2.80	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1	1	Βέλτιστη προσαρμογή του θεωρητικού αυτοσυσχετογράμματος στο εμπειρικό

	Ταχύτητα ανέμου		Διάρκεια ηλιοφάνειας	
Σταθμός	Παράμετρος εμμονής β	Τρόπος υπολογισμού παραμέτρου κ	Παράμετρος εμμονής β	Τρόπος υπολογισμού παραμέτρου κ
Eelde	1	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1	2.50	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1
Hohenpeissenberg	4.7	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1	0.6	Βέλτιστη προσαρμογή του θεωρητικού αυτοσυσχετογράμματος στο εμπειρικό
Karlsruhe	1.5	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1	0.20	Βέλτιστη προσαρμογή του θεωρητικού αυτοσυσχετογράμματος στο εμπειρικό
Maastricht	3	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1	1.231 (προεπιλογή)	Βέλτιστη προσαρμογή του θεωρητικού αυτοσυσχετογράμματος στο εμπειρικό
Potsdam	2	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1	0.60	Βέλτιστη προσαρμογή του θεωρητικού αυτοσυσχετογράμματος στο εμπειρικό
Vlissingen	2.10	Διατήρηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του δείγματος για χρονική υστέρηση 1	2.386 (προεπιλογή)	Βέλτιστη προσαρμογή του θεωρητικού αυτοσυσχετογράμματος στο εμπειρικό

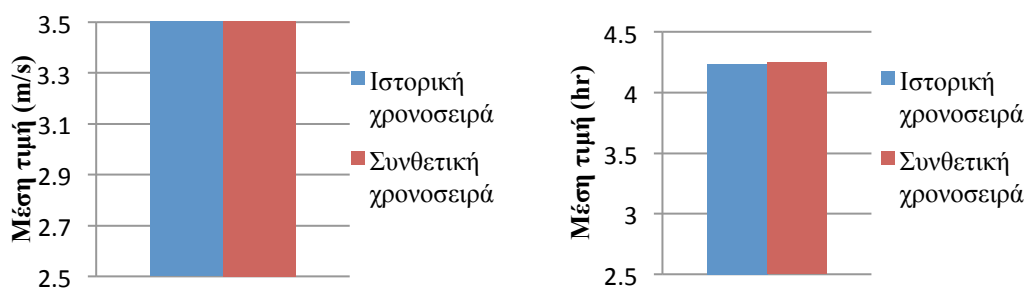


## Παράρτημα Γ – Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών υπόλοιπων μετρητικών σταθμών-1<sup>η</sup> Εφαρμογή

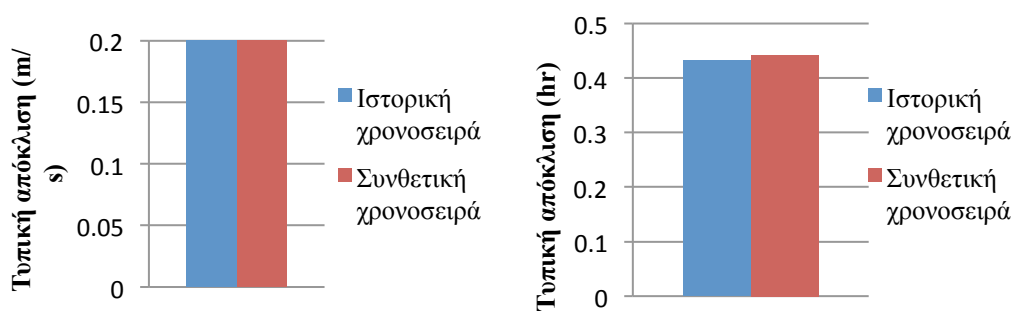
Στα σχήματα που ακολουθούν γίνεται σύγκριση των στατιστικών χαρακτηριστικών των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών στην ετήσια, τη μηνιαία και την ημερήσια κλίμακα, και απεικονίζονται οι τιμές των συντελεστών Hurst για τις δύο μεταβλητές στους υπόλοιπους επτά μετρητικούς σταθμούς για την Εφαρμογή 1.

### 1. Σταθμός De Bilt

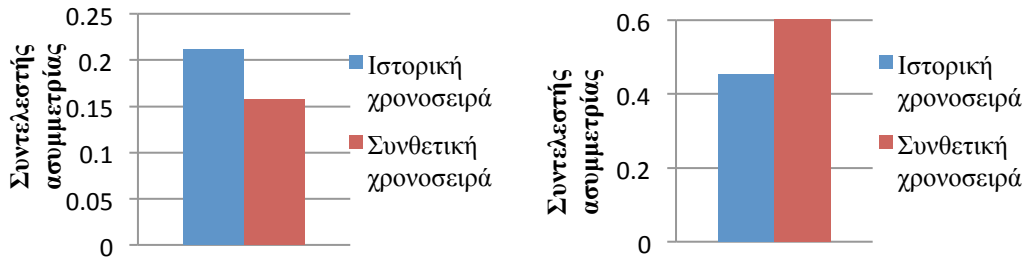
#### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ετήσιας κλίμακας



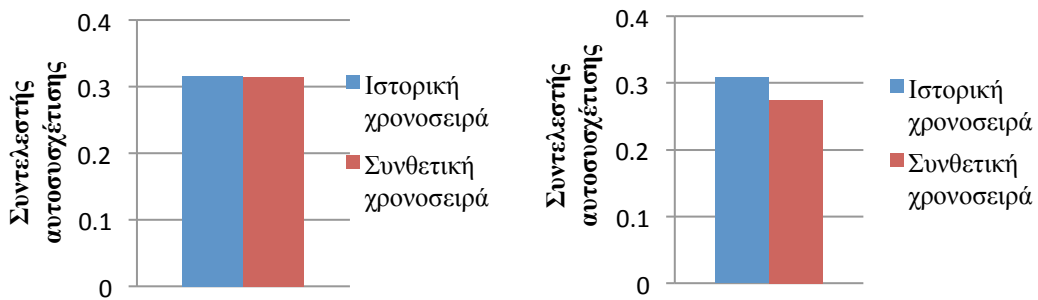
Σχήμα Γ.1 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας μέσης τιμής του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



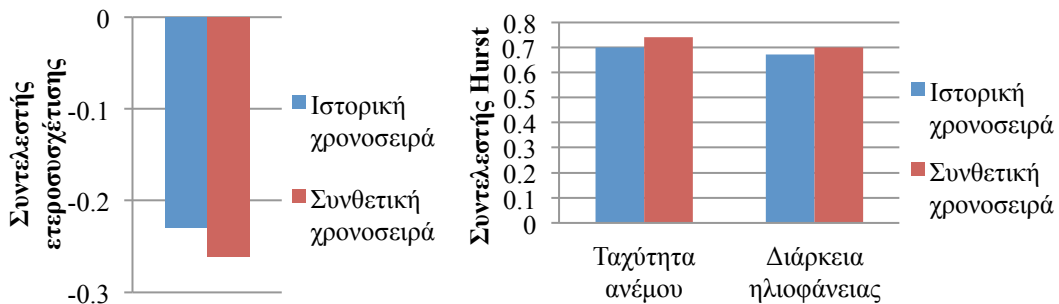
Σχήμα Γ.2 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας τοπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



Σχήμα Γ.3 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.

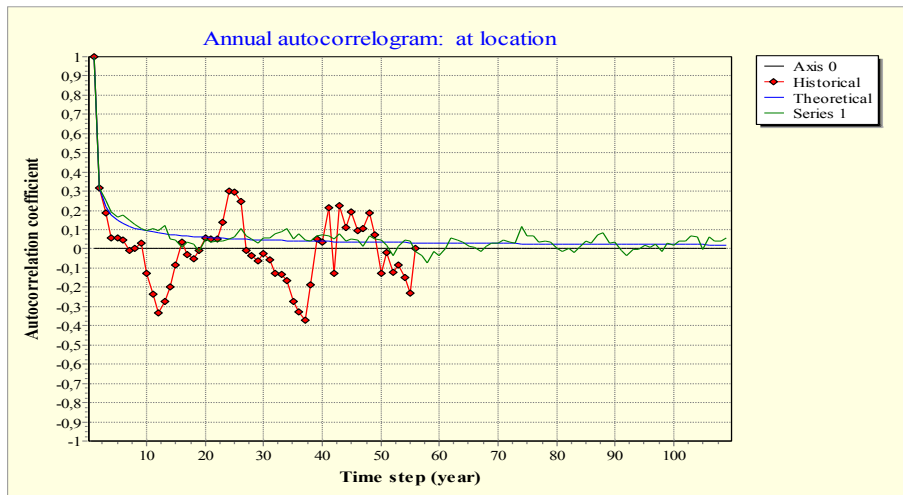


Σχήμα Γ.4 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.

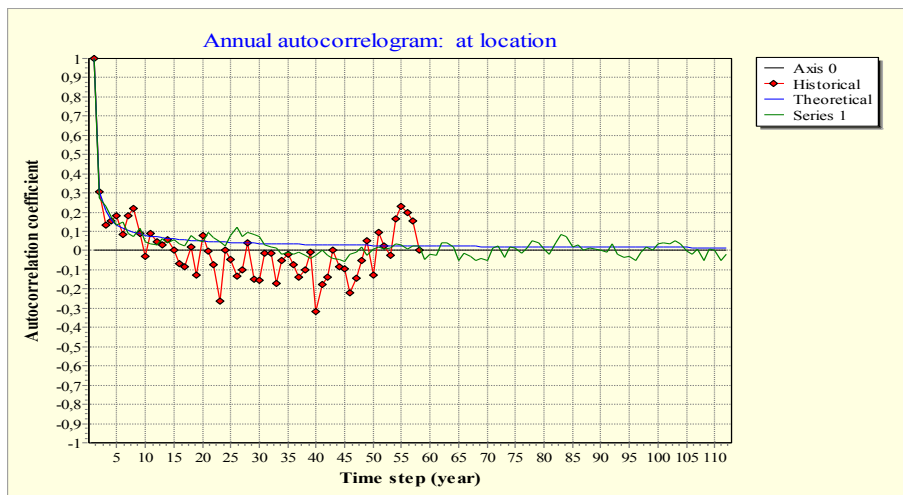


Σχήμα Γ.5 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου δειγματικού και συνθετικού συντελεστή ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας και τιμές του συντελεστή Hurst των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών των δύο μεταβλητών για τον σταθμό De Bilt.



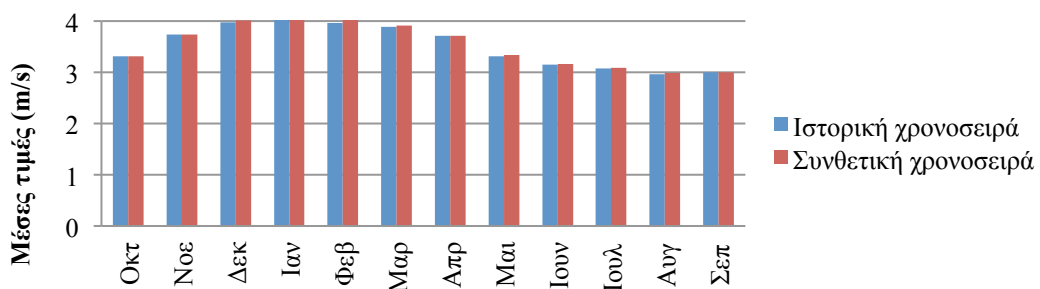


Σχήμα Γ.6 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt.

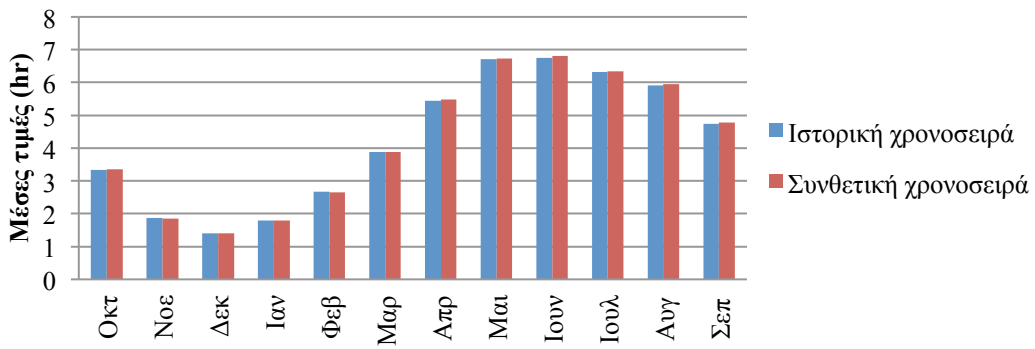


Σχήμα Γ.7 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.

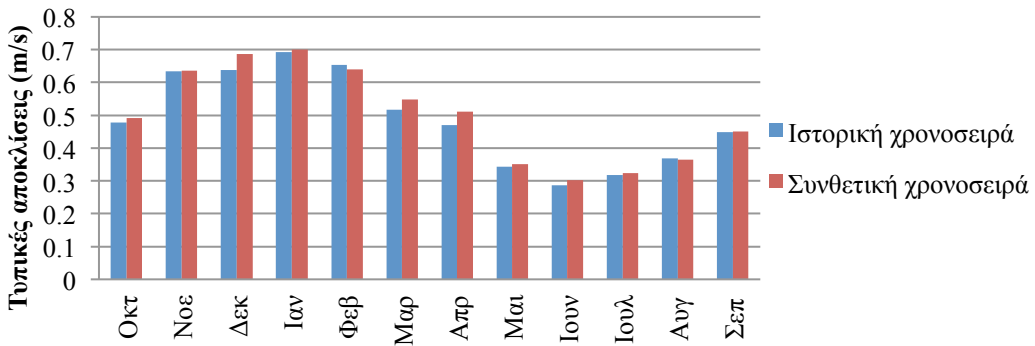
**Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών μηνιαίας κλίμακας**



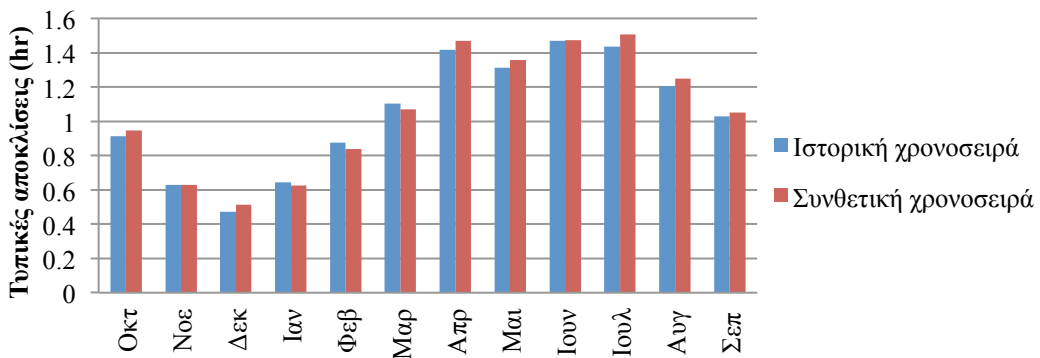
Σχήμα Γ.8 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt.



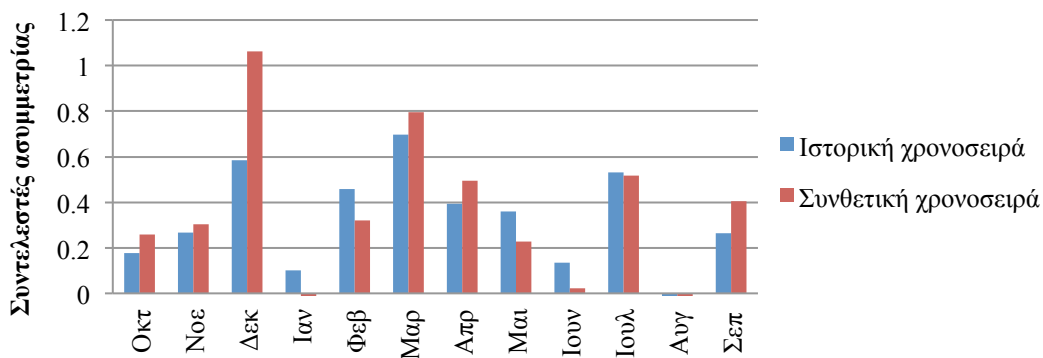
Σχήμα Γ.9 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



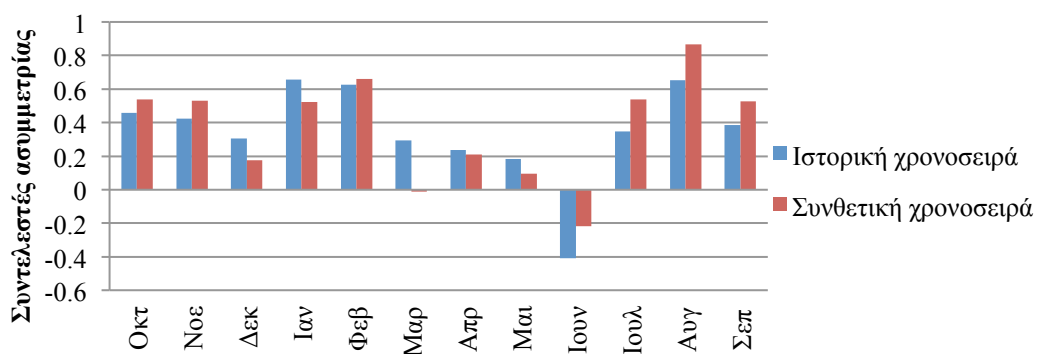
Σχήμα Γ.10 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt.



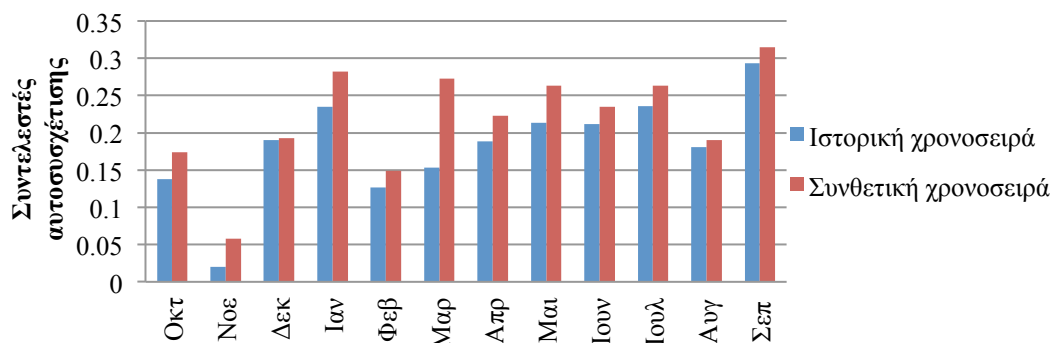
Σχήμα Γ.11 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



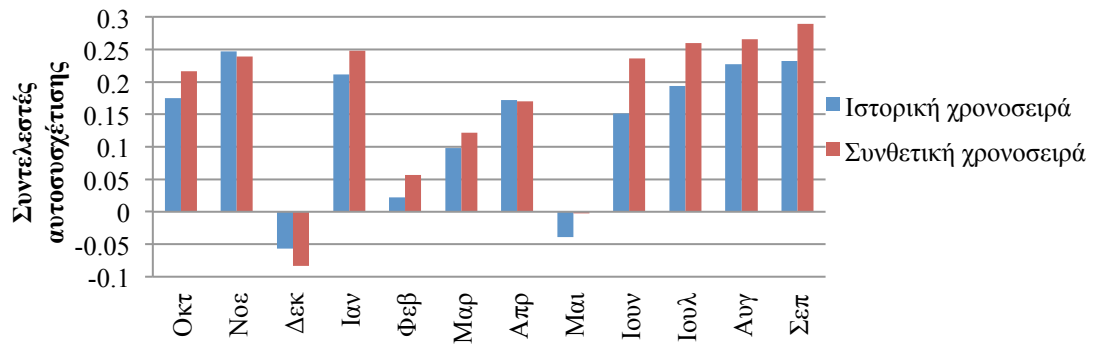
Σχήμα Γ.12 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για το σταθμό De Bilt.



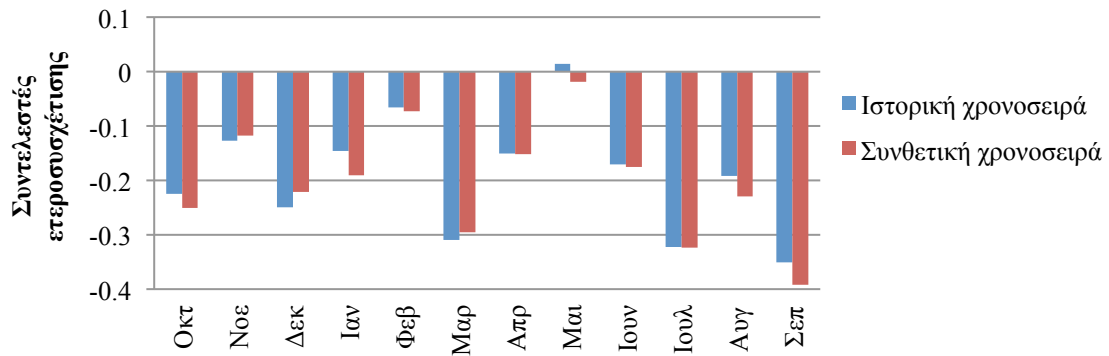
Σχήμα Γ.13 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



Σχήμα Γ.14 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt.

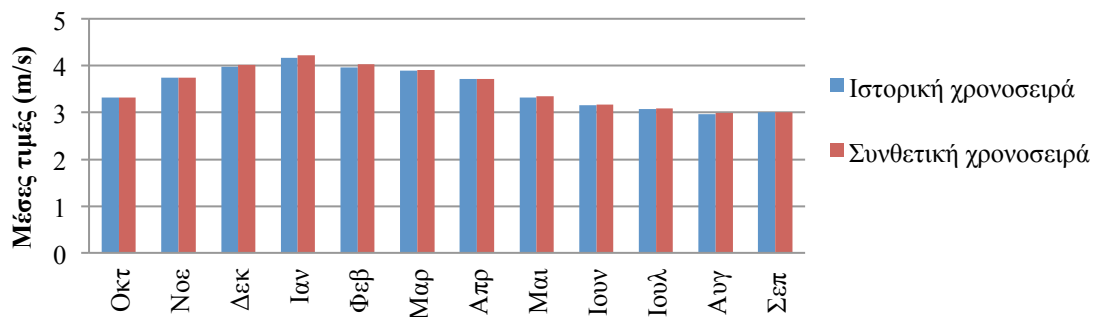


Σχήμα Γ.15 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.

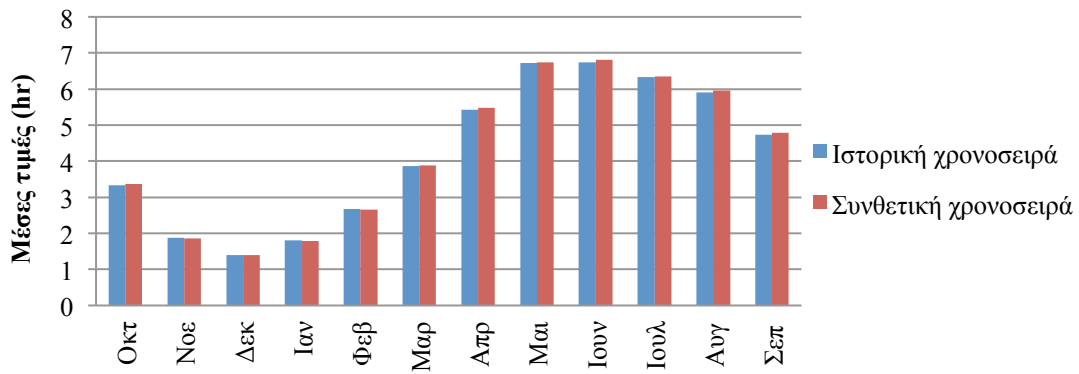


Σχήμα Γ.16 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.

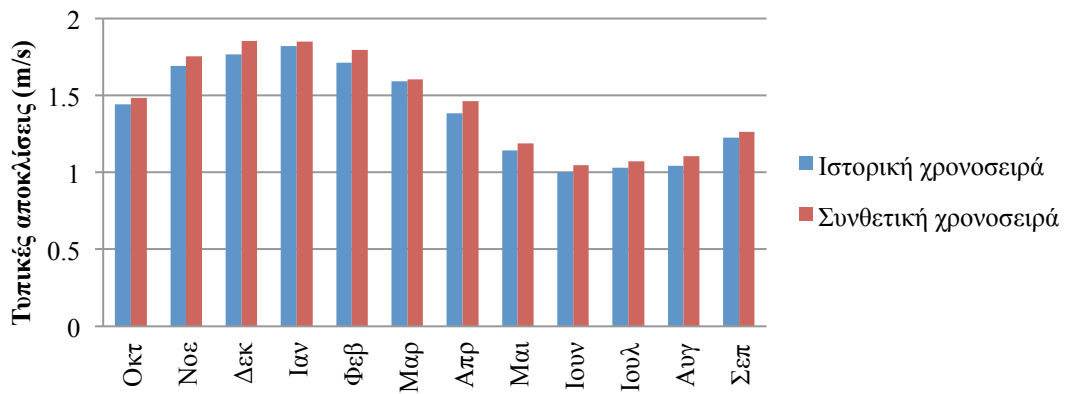
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ημερήσιας κλίμακας



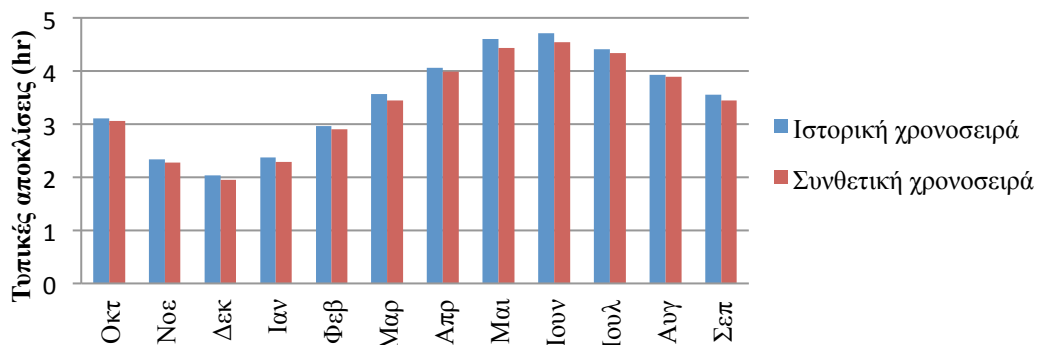
Σχήμα Γ.17 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt.



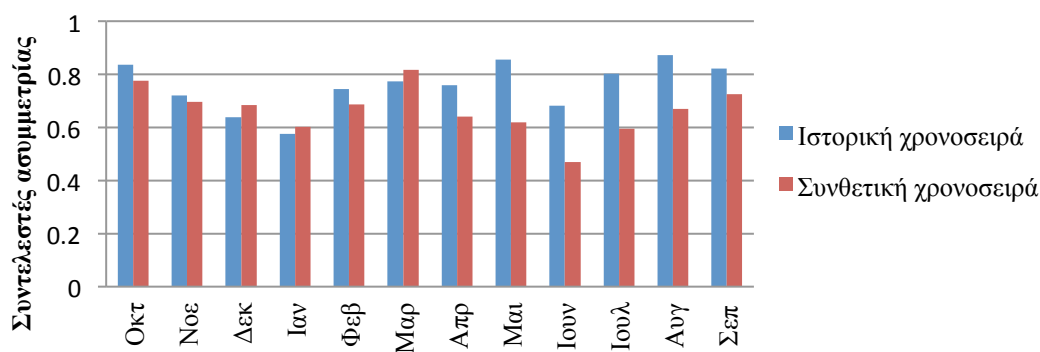
Σχήμα Γ.18 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



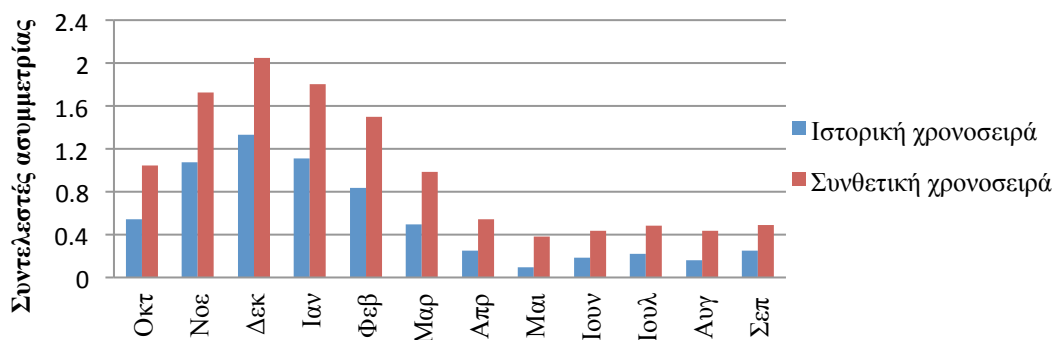
Σχήμα Γ.19 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt.



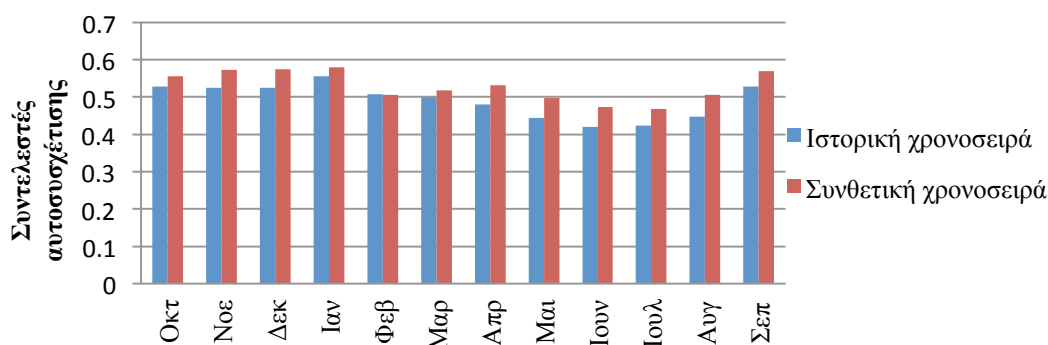
Σχήμα Γ.20 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



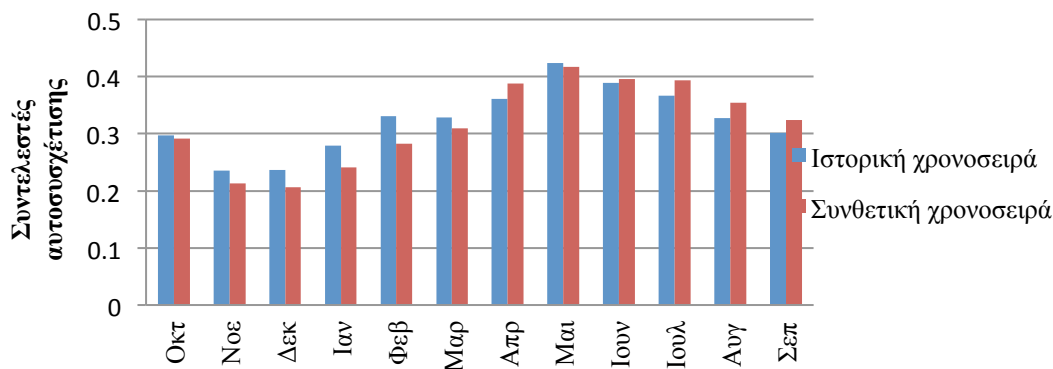
Σχήμα Γ.21 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt.



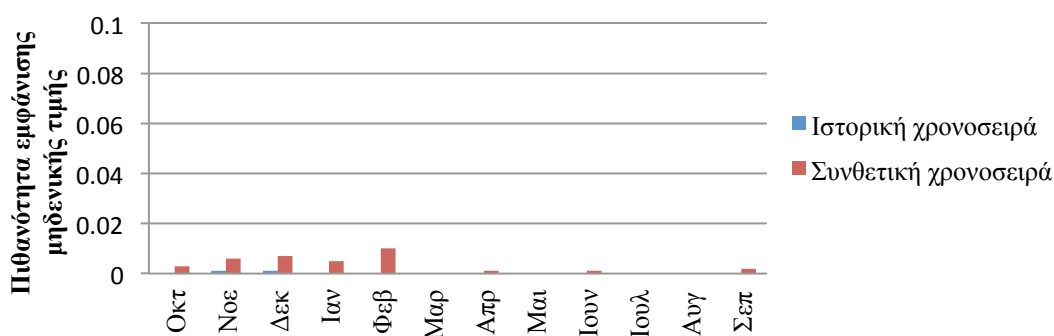
Σχήμα Γ.22 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



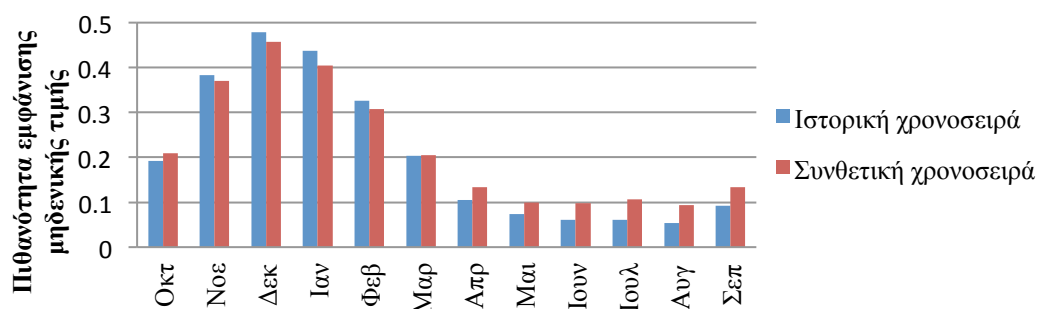
Σχήμα Γ.23 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt.



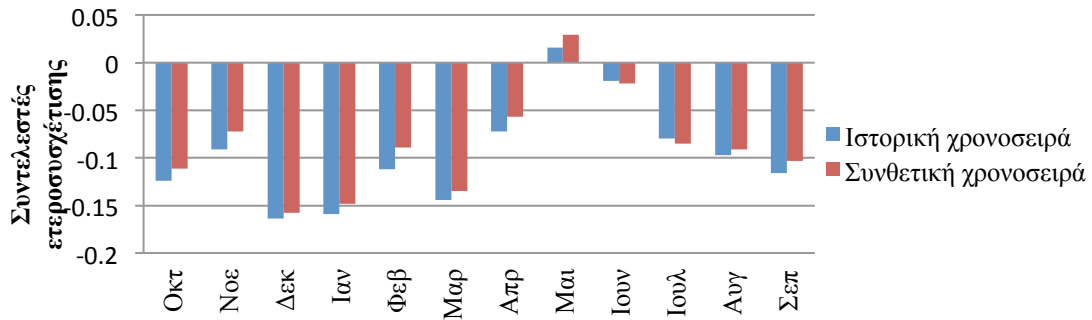
Σχήμα Γ.24 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



Σχήμα Γ.25 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt.



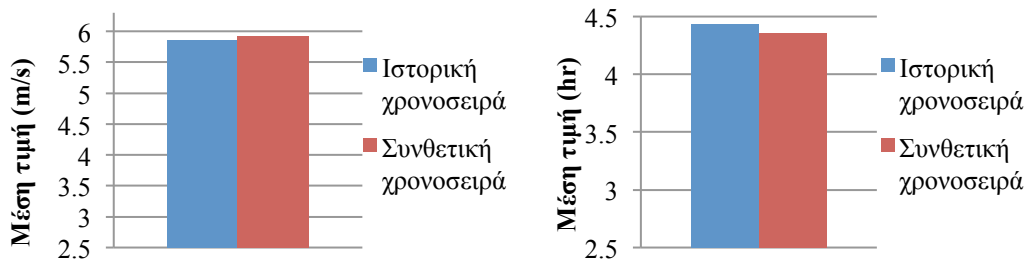
Σχήμα Γ.26 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



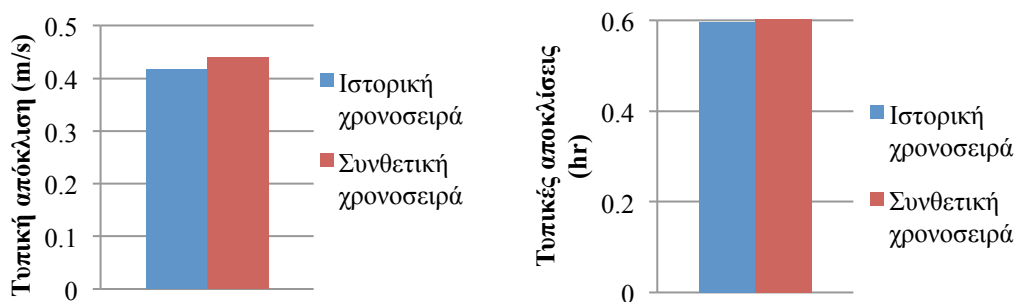
Σχήμα Γ.27 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.

## 2. Σταθμός De Kooy

### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ετήσιας κλίμακας

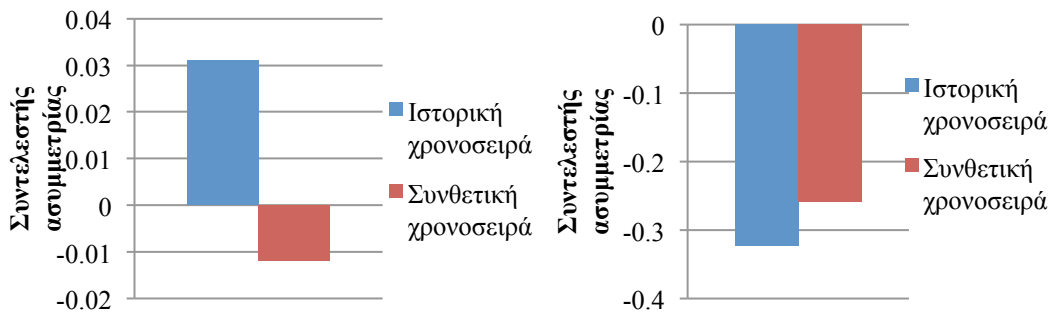


Σχήμα Γ.28 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας μέσης τιμής του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.

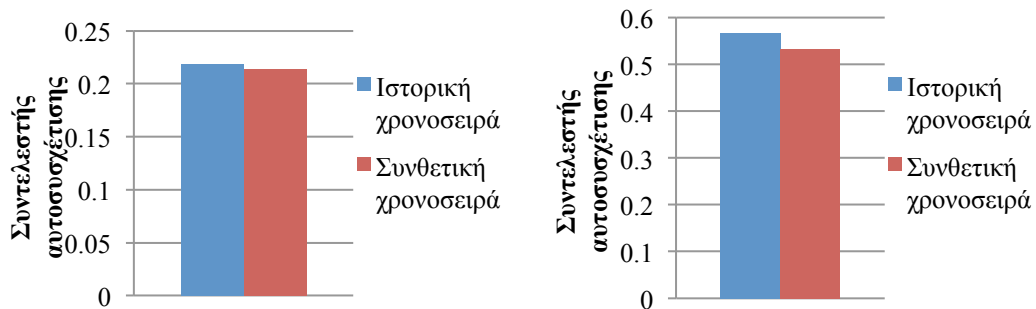


Σχήμα Γ.29 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας τυπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.

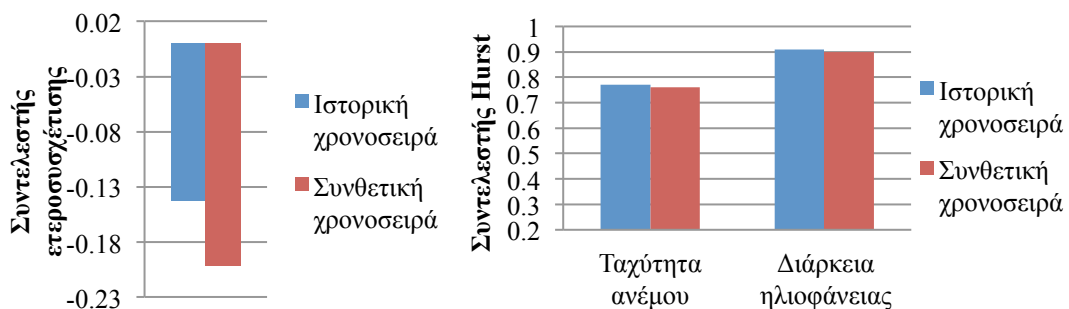




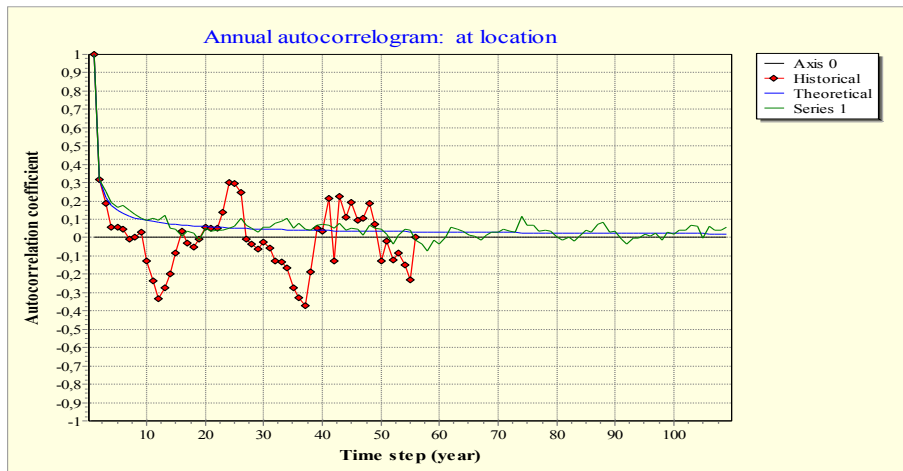
Σχήμα Γ.30 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.



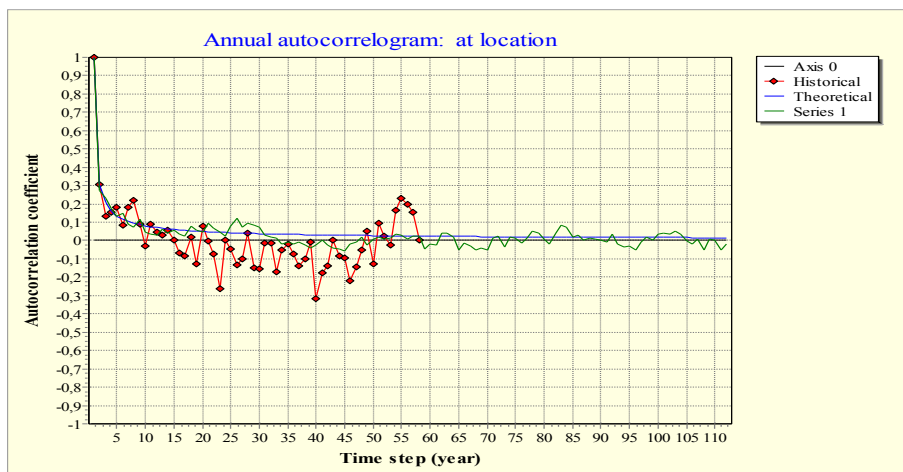
Σχήμα Γ.31 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.



Σχήμα Γ.32 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου δειγματικού και συνθετικού συντελεστή ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας και τιμές του συντελεστή Hurst των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών των δύο μεταβλητών για τον σταθμό De Kooy.

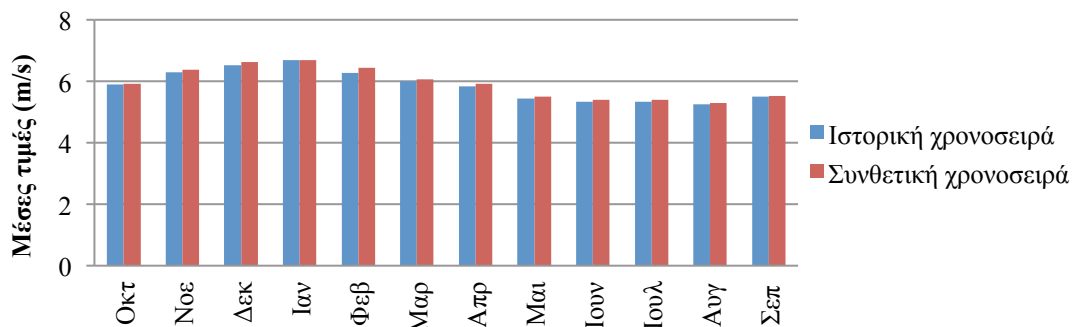


Σχήμα Γ.33 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.

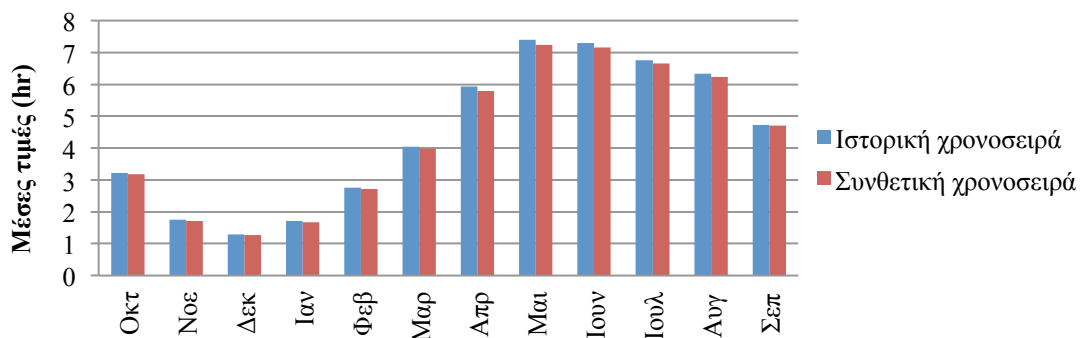


Σχήμα Γ.34 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.

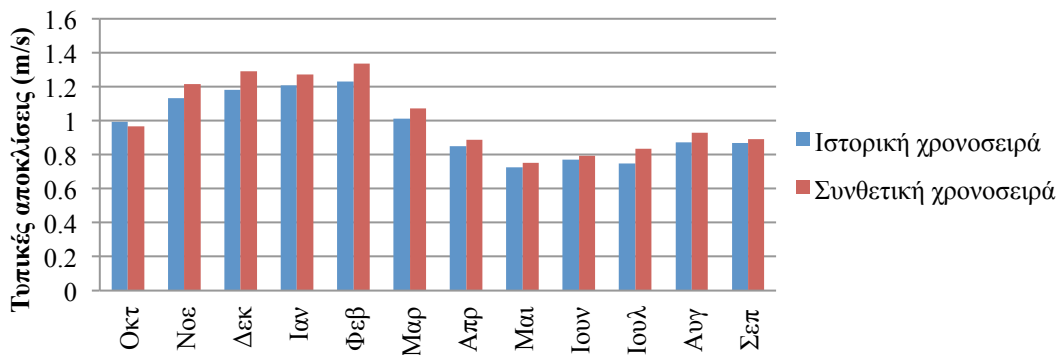
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών μηνιαίας κλίμακας



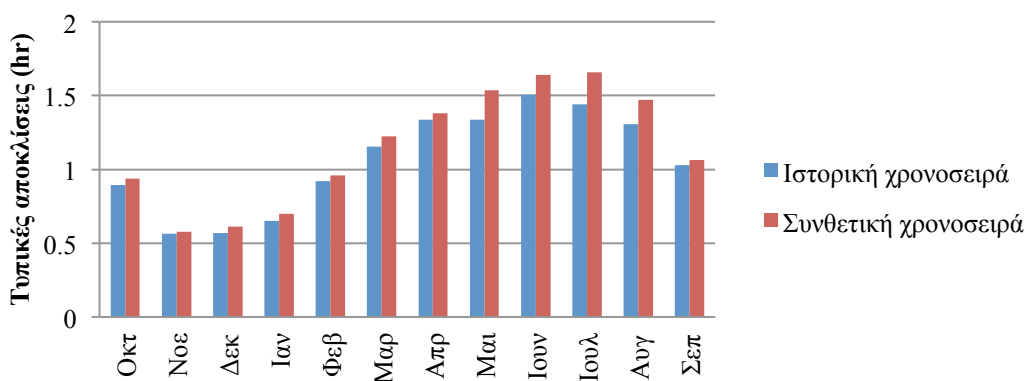
Σχήμα Γ.35 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.



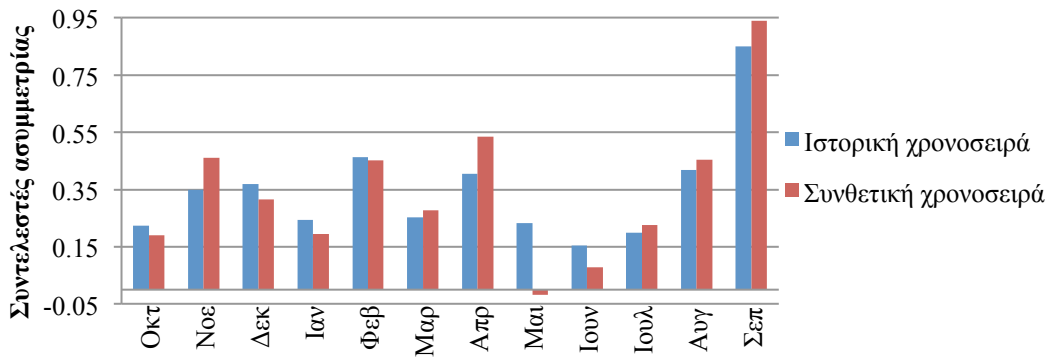
Σχήμα Γ.36 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.



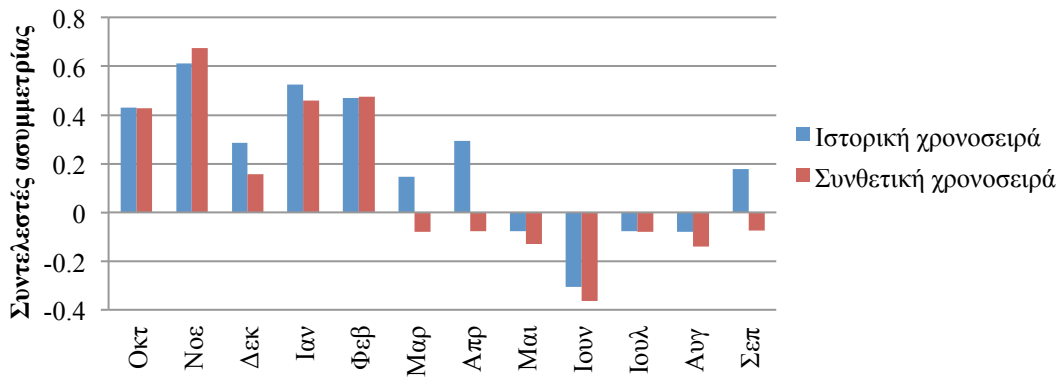
Σχήμα Γ.37 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.



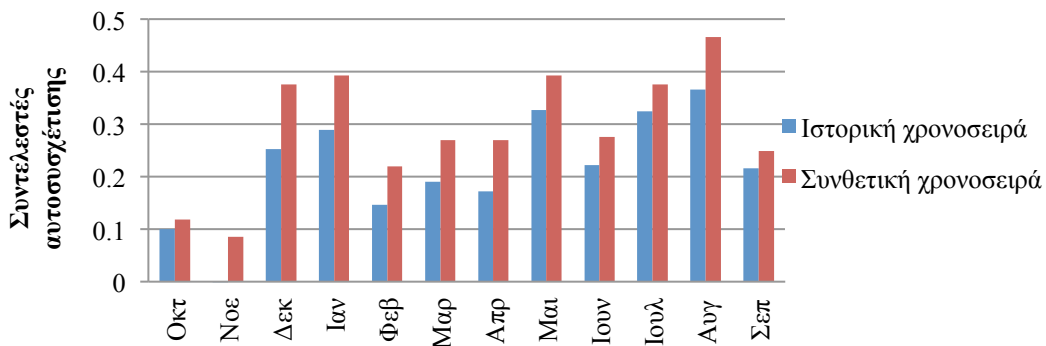
Σχήμα Γ.38 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.



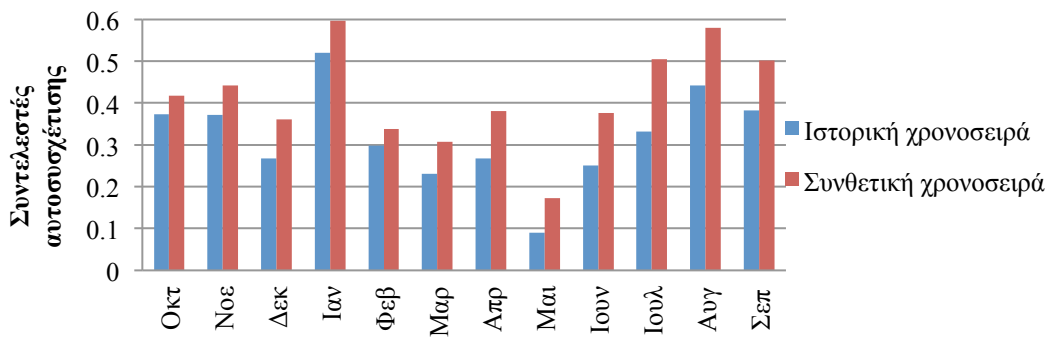
Σχήμα Γ.39 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.



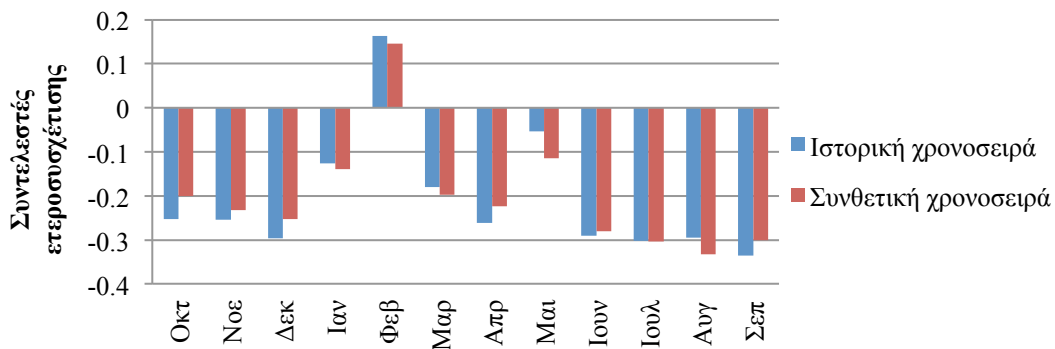
Σχήμα Γ.40 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.



Σχήμα Γ.41 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.

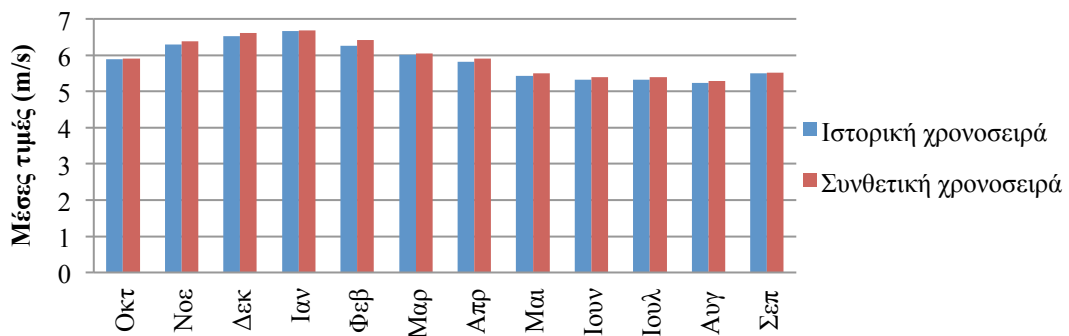


Σχήμα Γ.42 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.

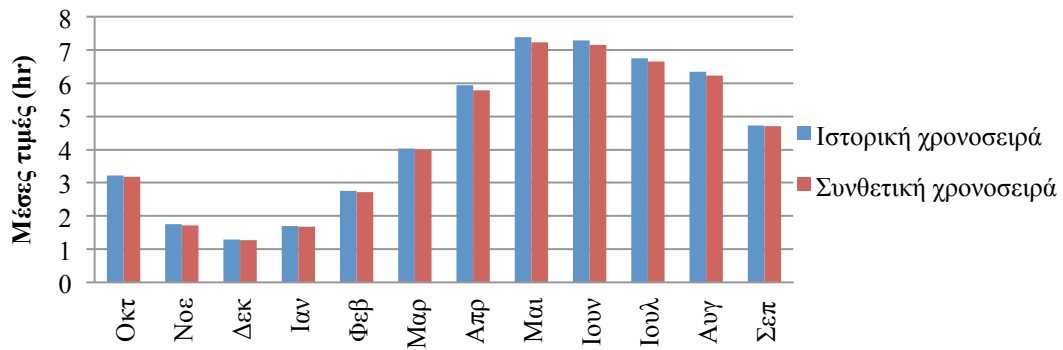


Σχήμα Γ.43 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.

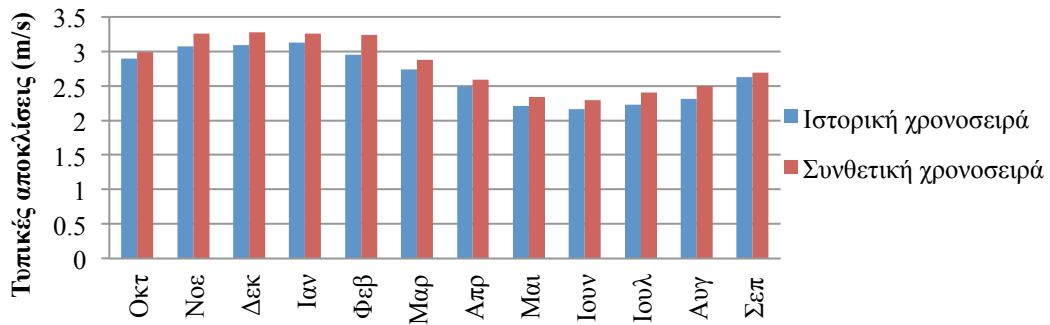
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ημερήσιας κλίμακας



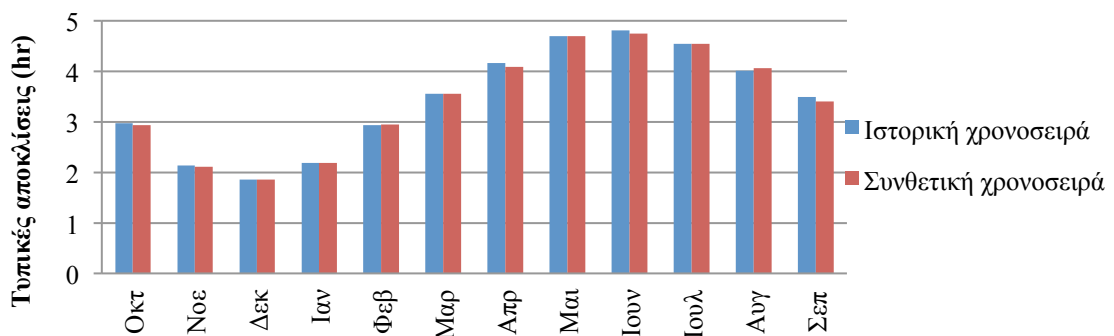
Σχήμα Γ.44 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.



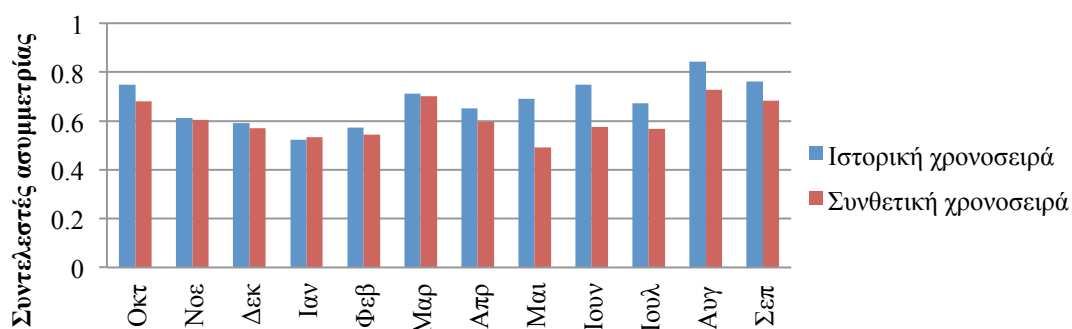
Σχήμα Γ.45 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.



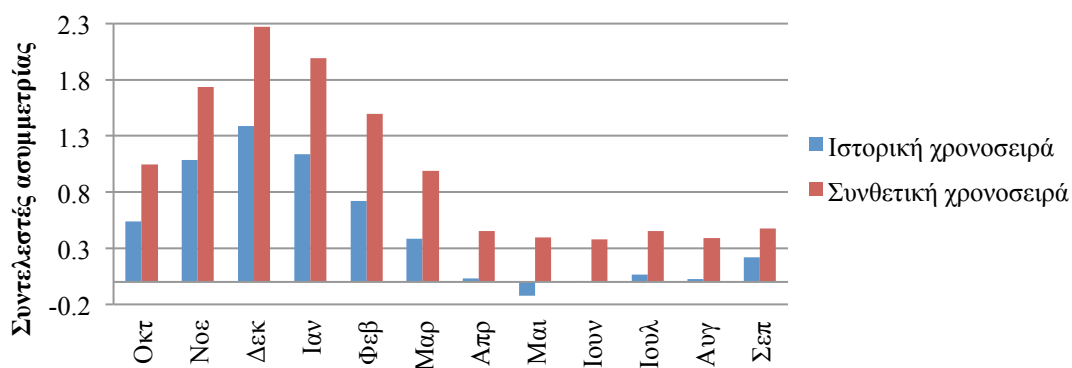
Σχήμα Γ.46 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.



Σχήμα Γ.47 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.



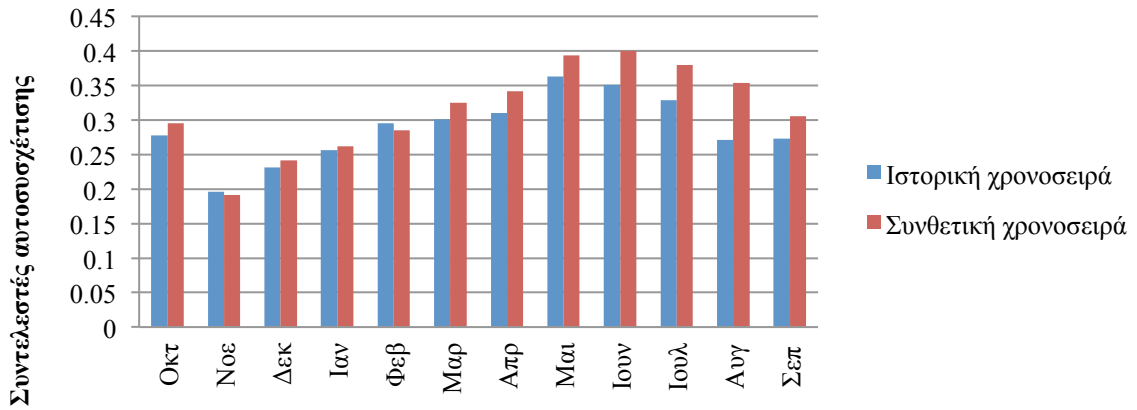
Σχήμα Γ.48 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.



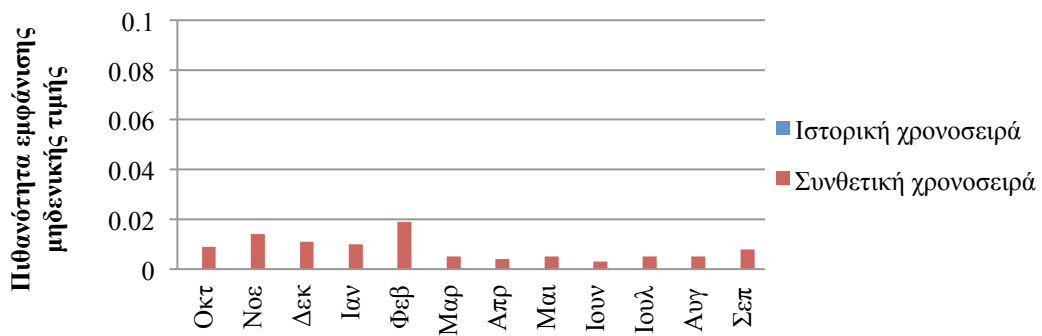
Σχήμα Γ.49 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.



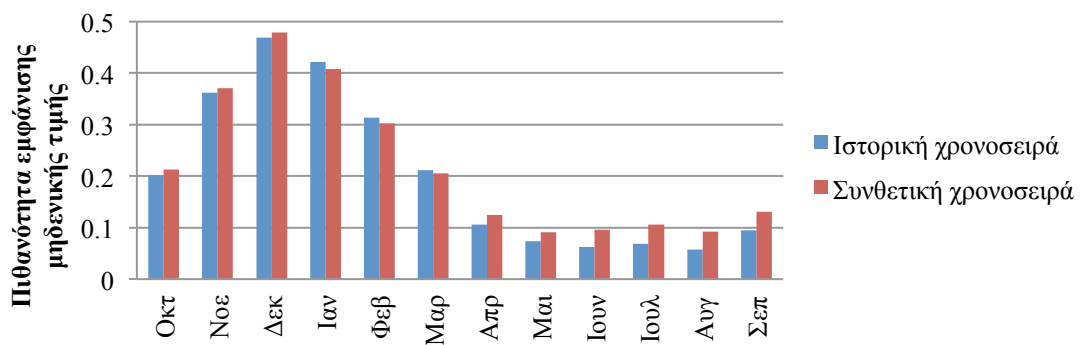
Σχήμα Γ.50 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.



Σχήμα Γ.51 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.

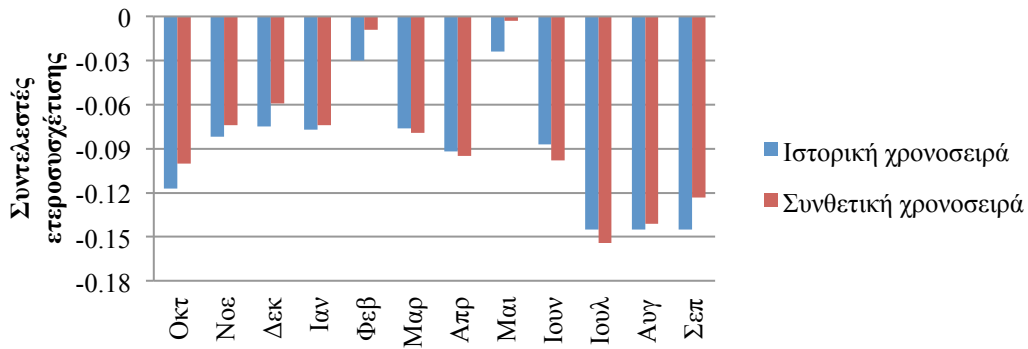


Σχήμα Γ.52 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.



Σχήμα Γ.53 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.

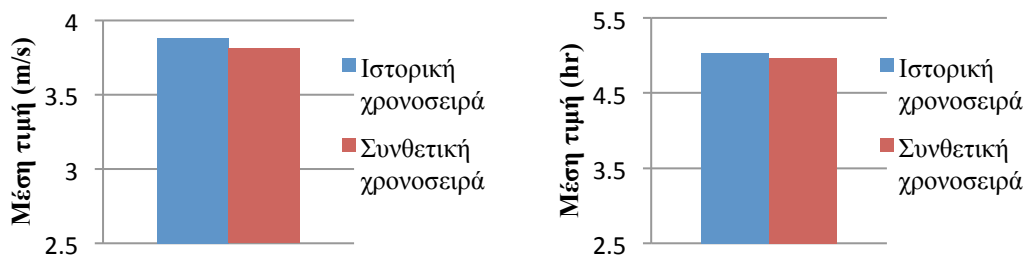




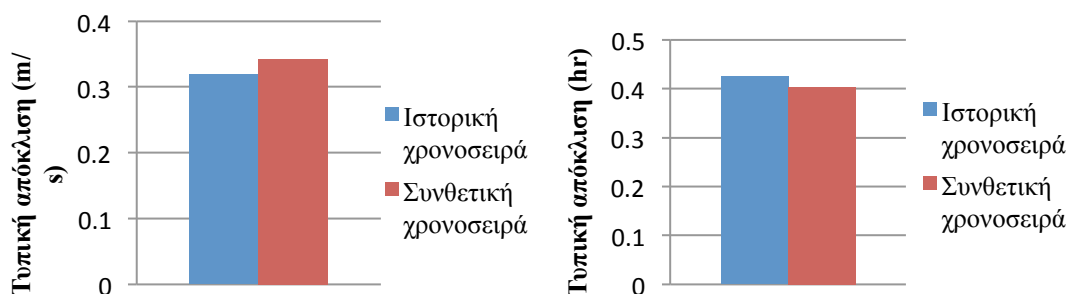
Σχήμα Γ.54 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.

### 3.Σταθμός Hohenpeissenberg

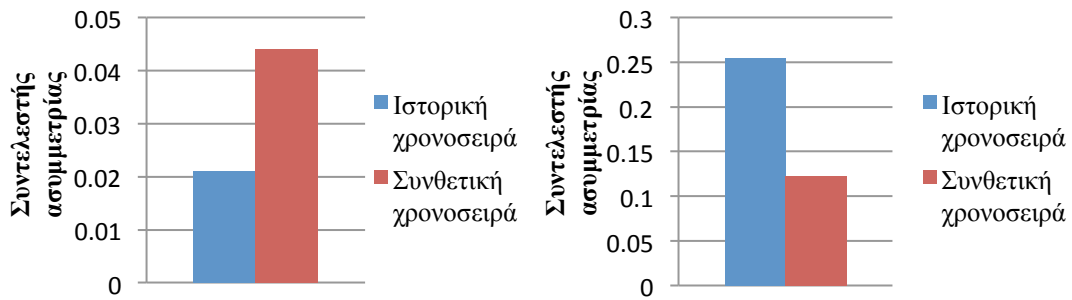
#### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ετήσιας κλίμακας



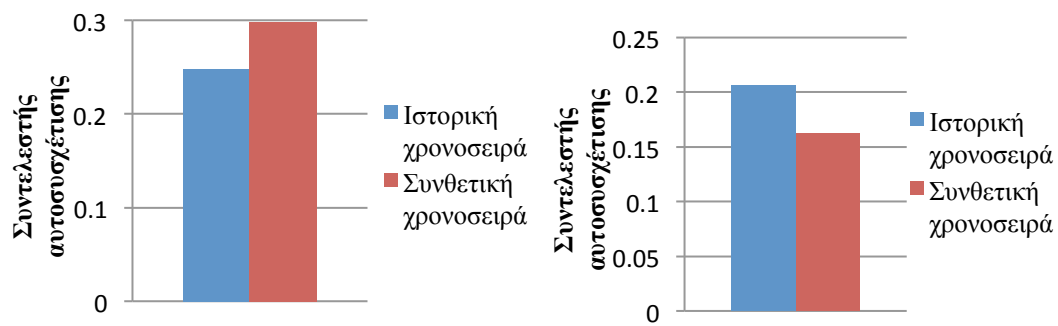
Σχήμα Γ.55 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας μέσης τιμής του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



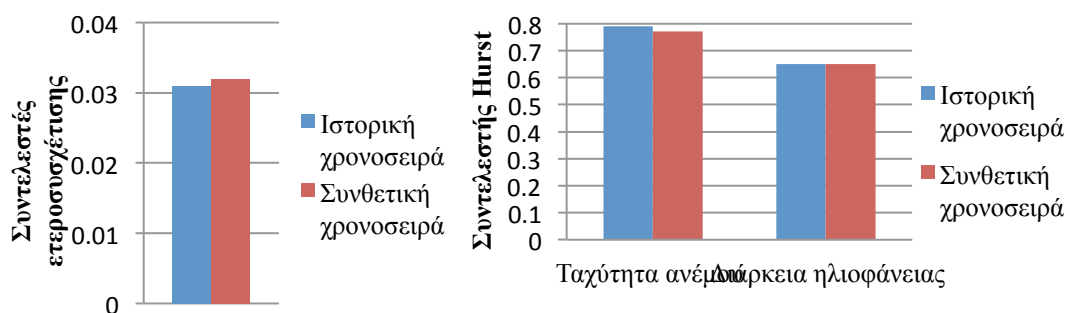
Σχήμα Γ.56 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας τυπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



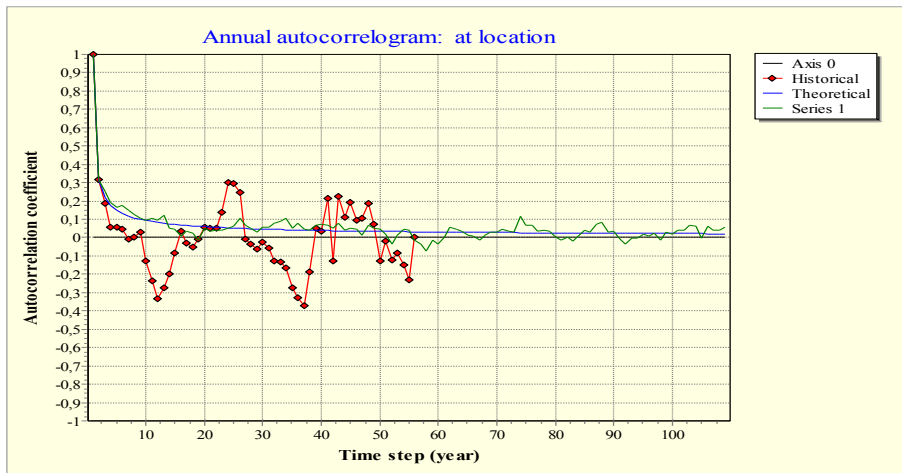
Σχήμα Γ.57 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



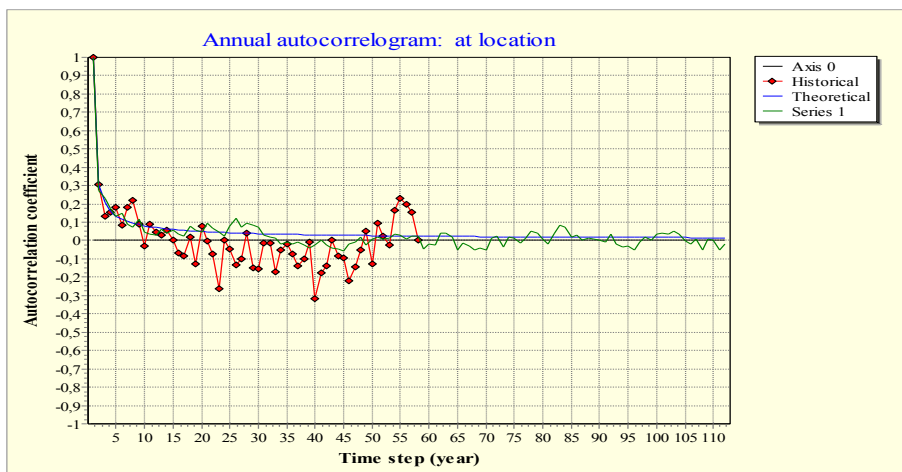
Σχήμα Γ.58 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



Σχήμα Γ.59 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου δειγματικού και συνθετικού συντελεστή ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας και τιμές του συντελεστή Hurst των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών των δύο μεταβλητών για τον σταθμό Hohenpeissenberg.

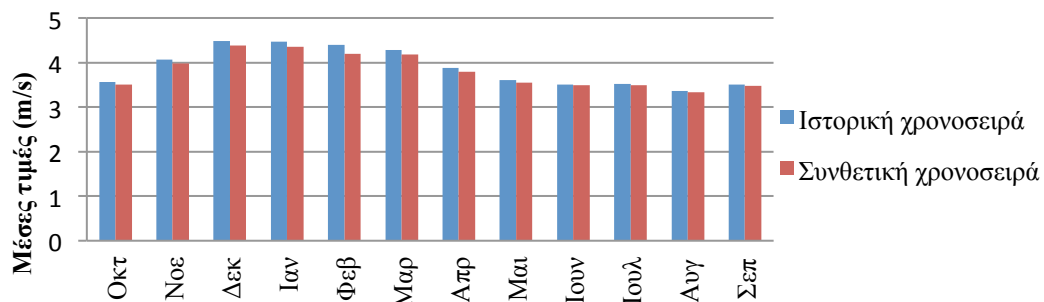


Σχήμα Γ.60 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.

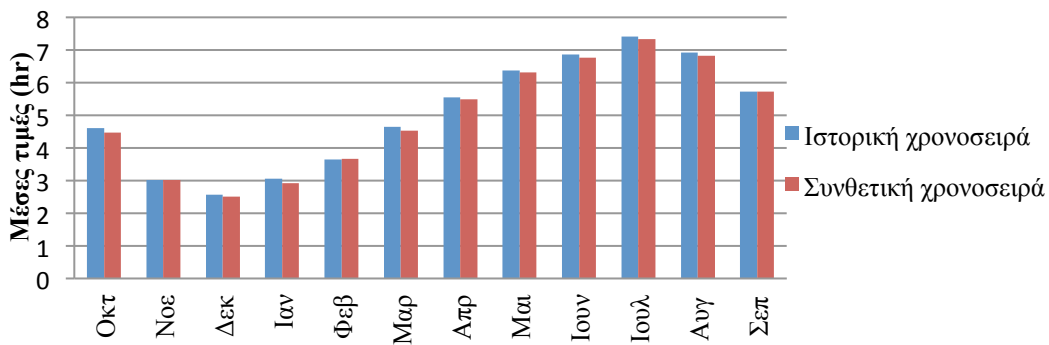


Σχήμα Γ.61 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.

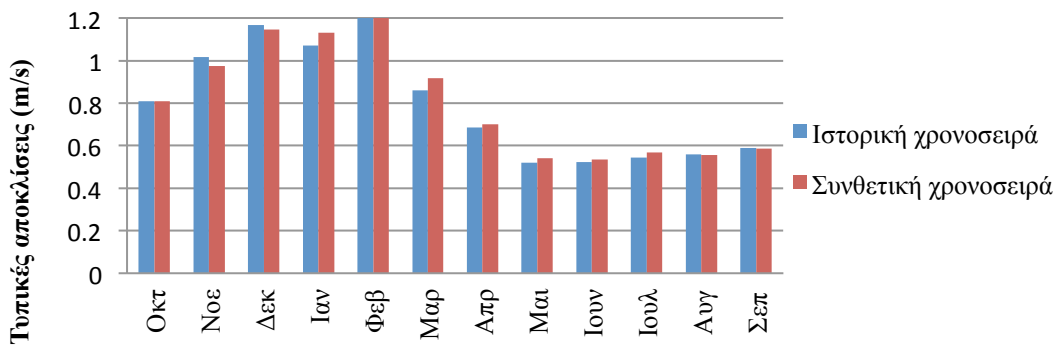
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών μηνιαίας κλίμακας



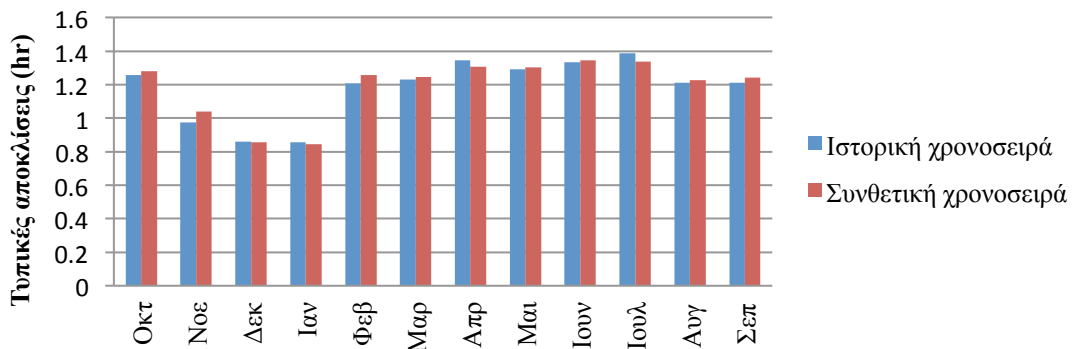
Σχήμα Γ.62 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



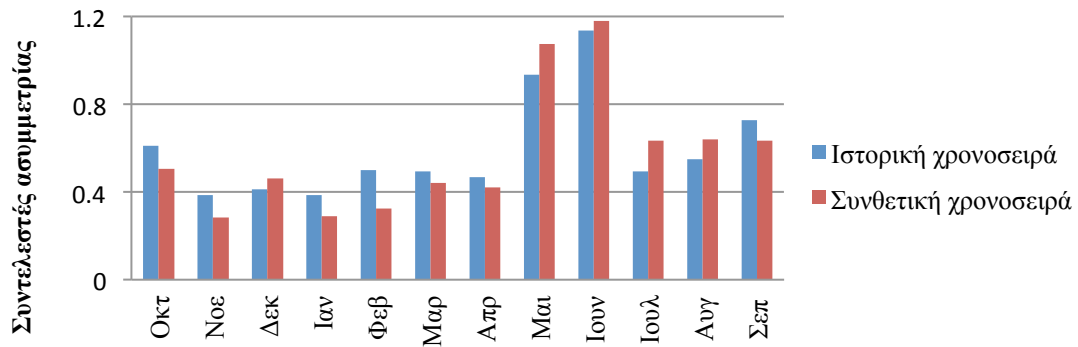
Σχήμα Γ.63 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για το σταθμό Hohenpeissenberg



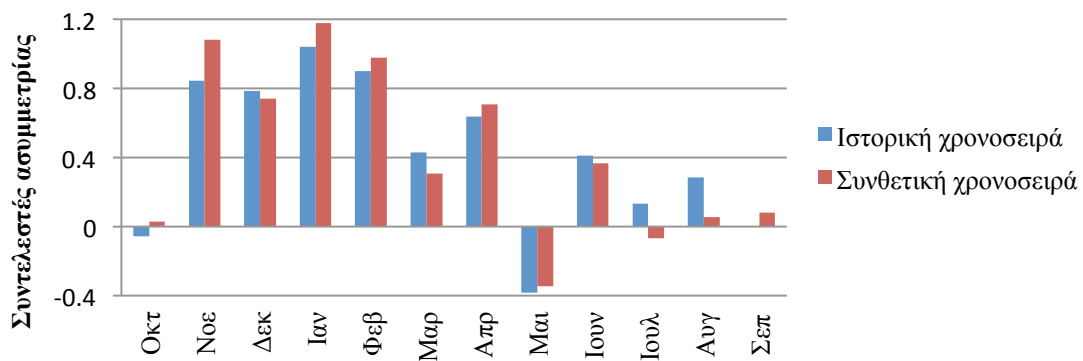
Σχήμα Γ.64 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



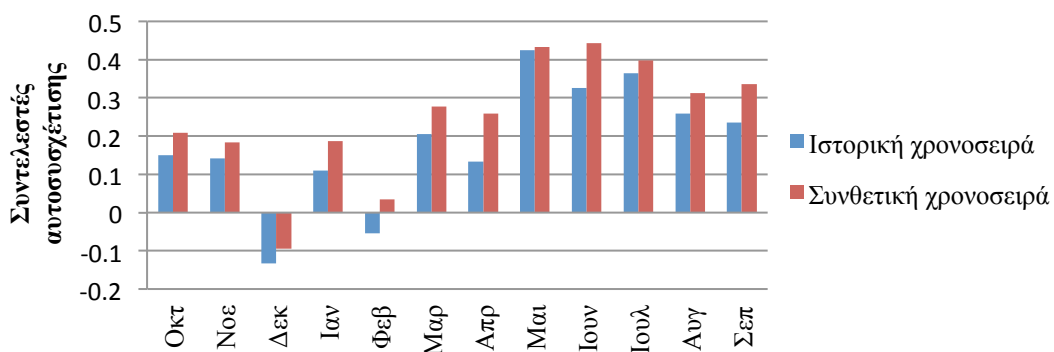
Σχήμα Γ.65 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



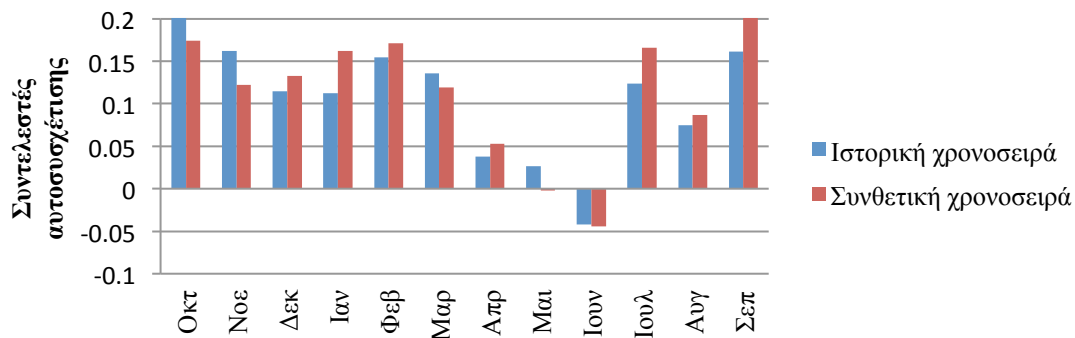
Σχήμα Γ.66 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



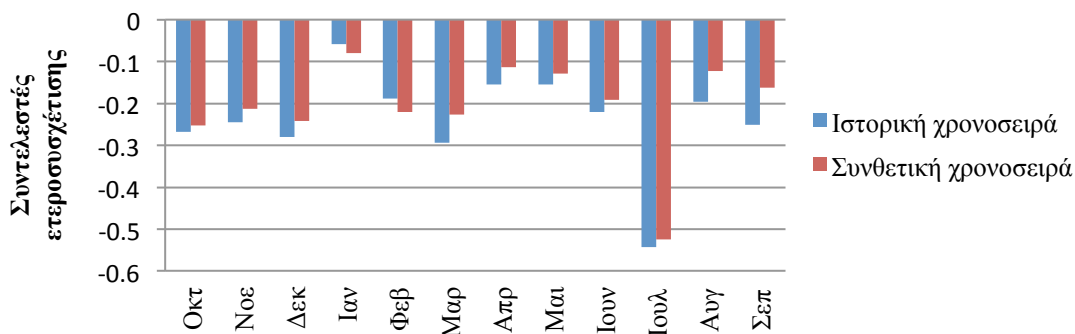
Σχήμα 4.67 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



Σχήμα Γ.68 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.

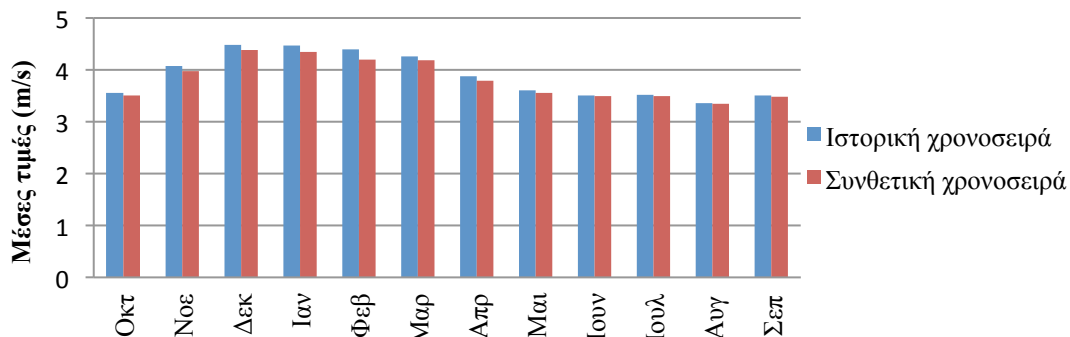


Σχήμα Γ.69 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.

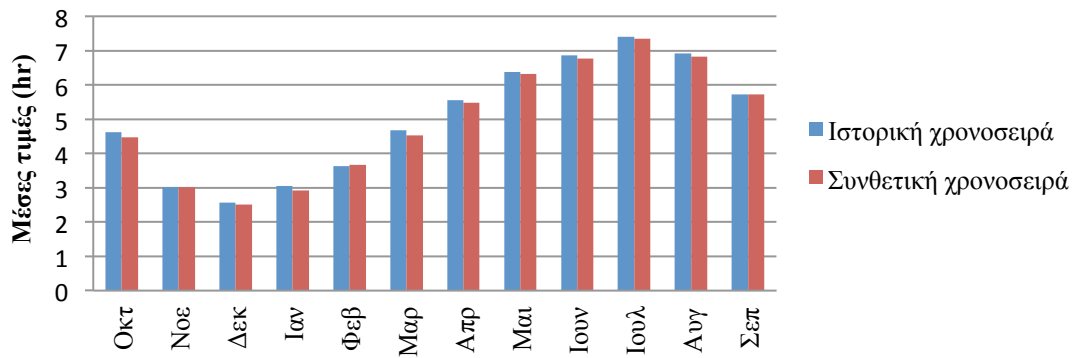


Σχήμα Γ.70 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.

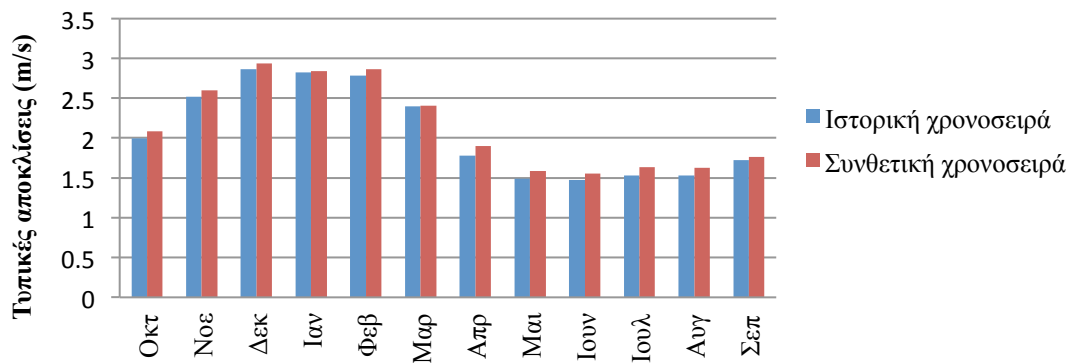
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ημερήσιας κλίμακας



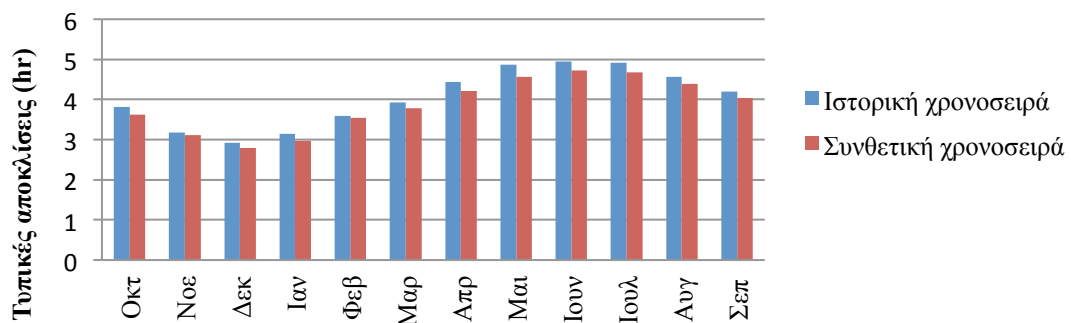
Σχήμα Γ.71 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



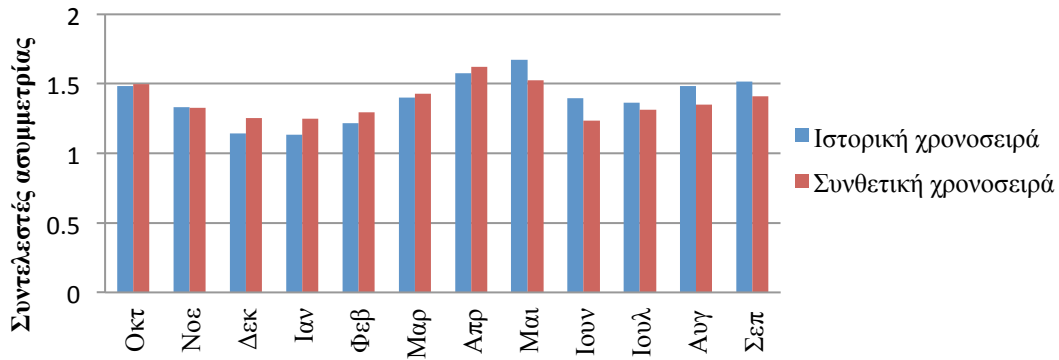
Σχήμα Γ.72 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



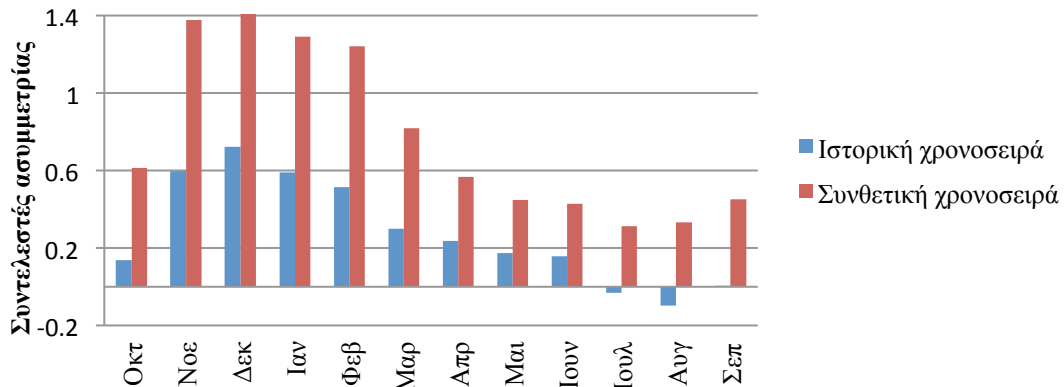
Σχήμα Γ.73 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



Σχήμα Γ.74 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



Σχήμα Γ.75 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.

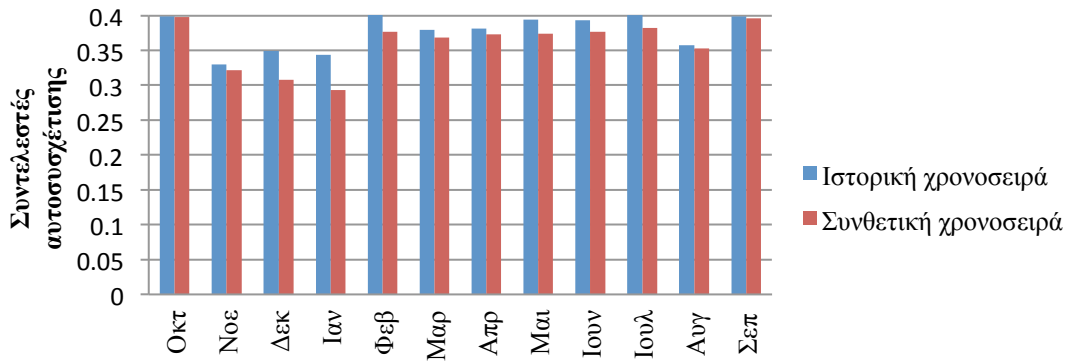


Σχήμα Γ.76 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για το σταθμό Hohenpeissenberg

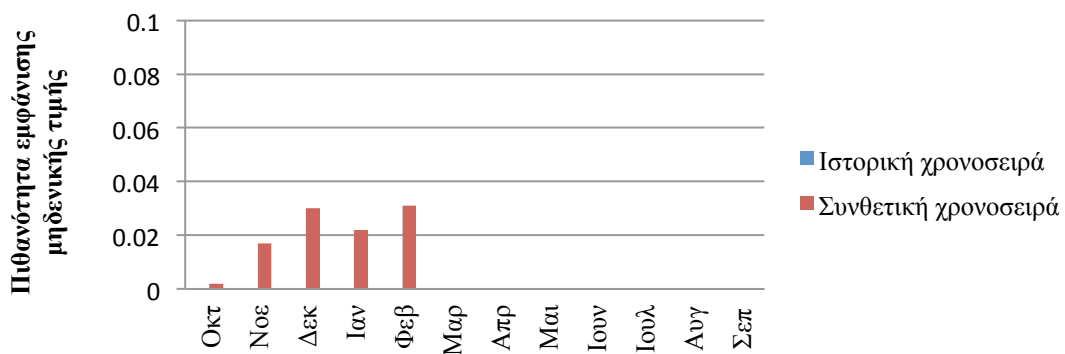


Σχήμα Γ.77 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.

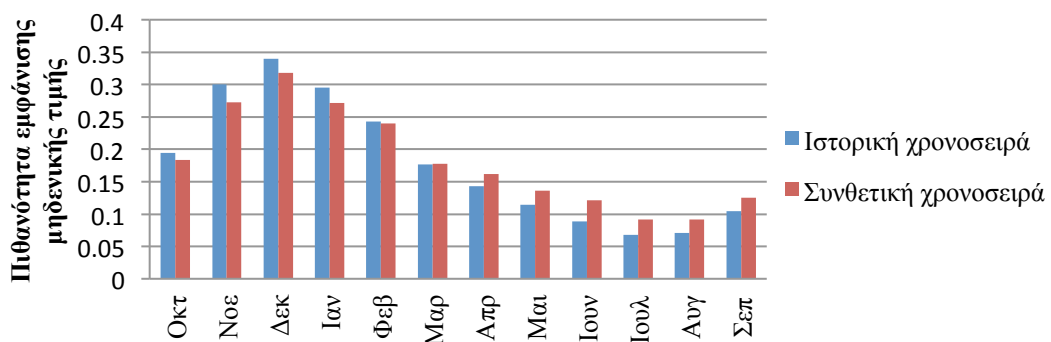




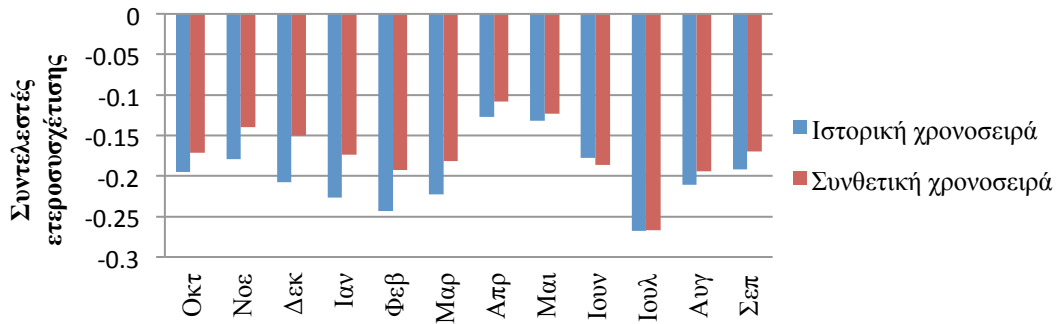
Σχήμα Γ.78 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



Σχήμα Γ.79 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



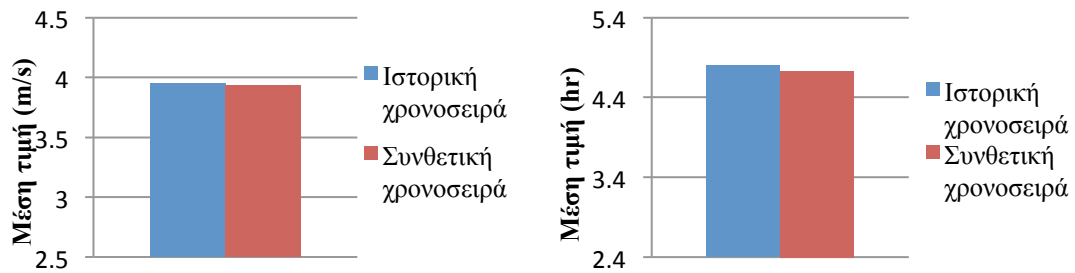
Σχήμα Γ.80 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



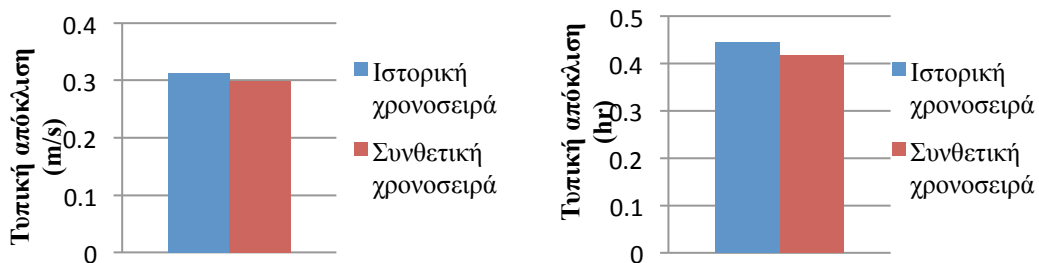
Σχήμα Γ.81 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.

#### 4.Σταθμός Karlsruhe

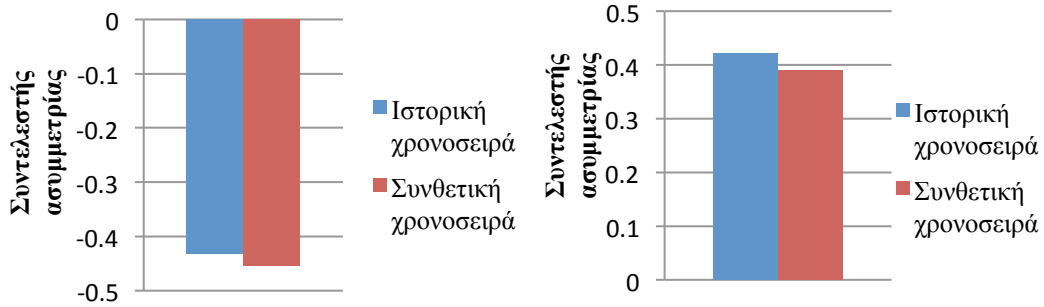
##### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ετήσιας κλίμακας



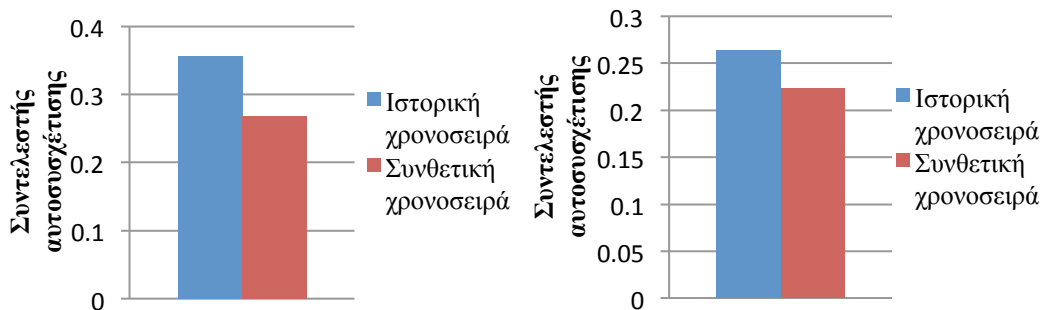
Σχήμα Γ.82 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας μέσης τιμής του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



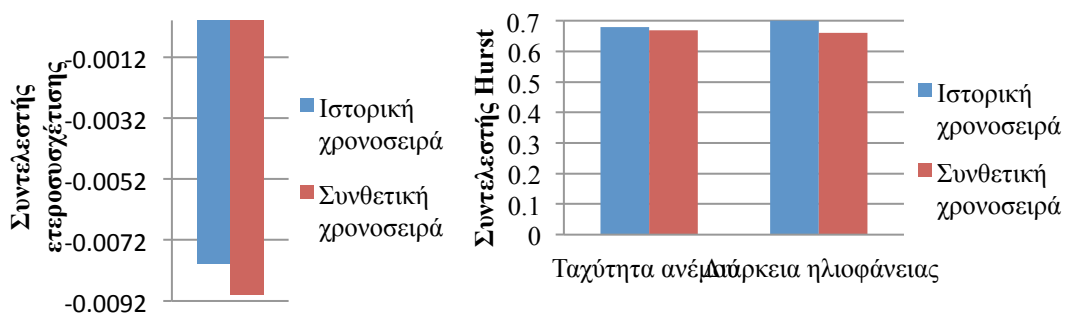
Σχήμα Γ.83 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας τυπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και για την διάρκεια ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



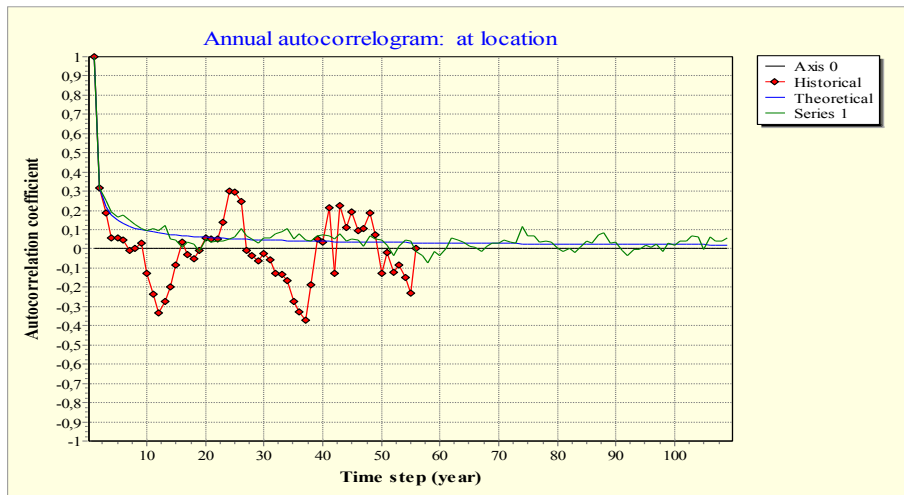
Σχήμα Γ.84 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



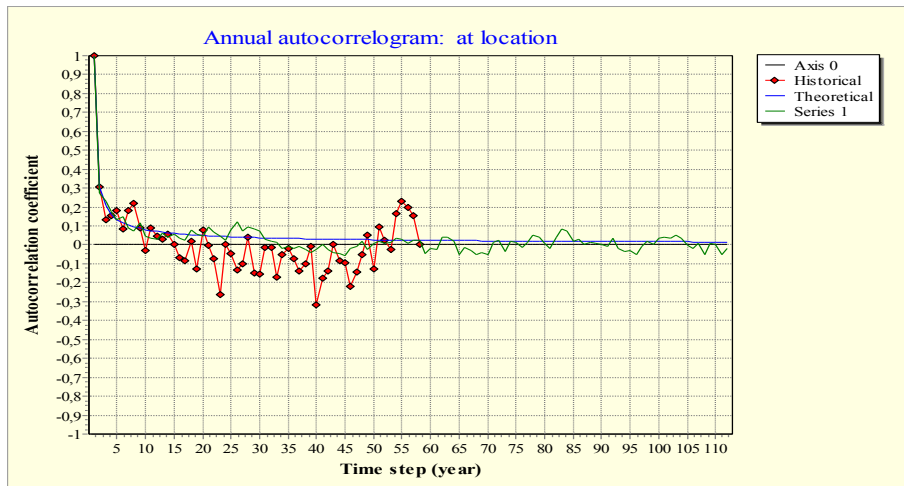
Σχήμα Γ.85 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



Σχήμα Γ.86 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου δειγματικού και συνθετικού συντελεστή ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας και τιμές του συντελεστή Hurst των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών των δύο μεταβλητών για τον σταθμό Karlsruhe.

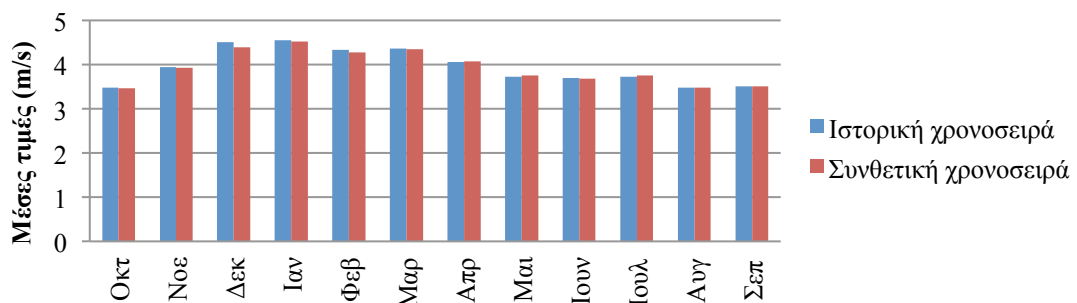


Σχήμα Γ.87 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.

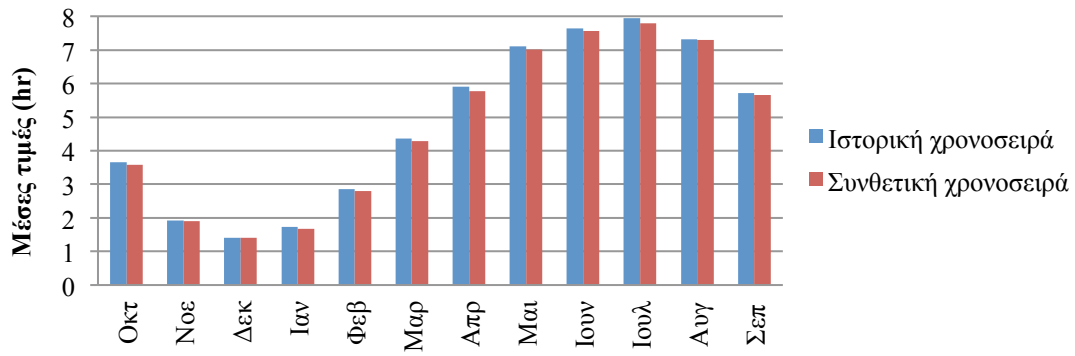


Σχήμα Γ.88 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.

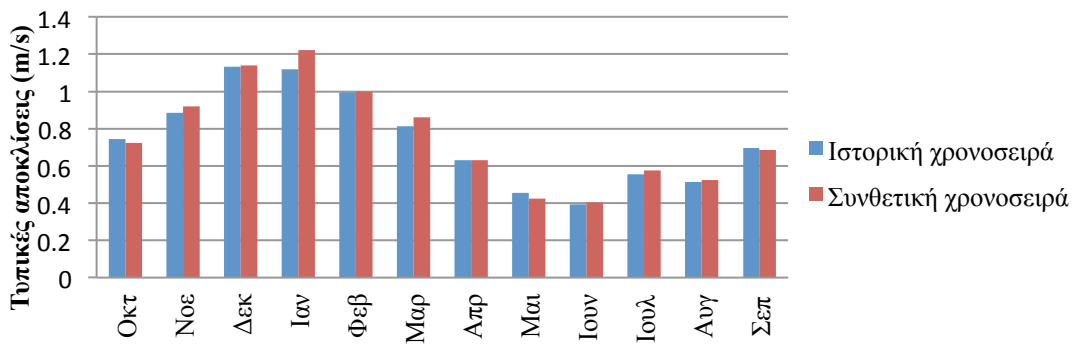
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών μηνιαίας κλίμακας



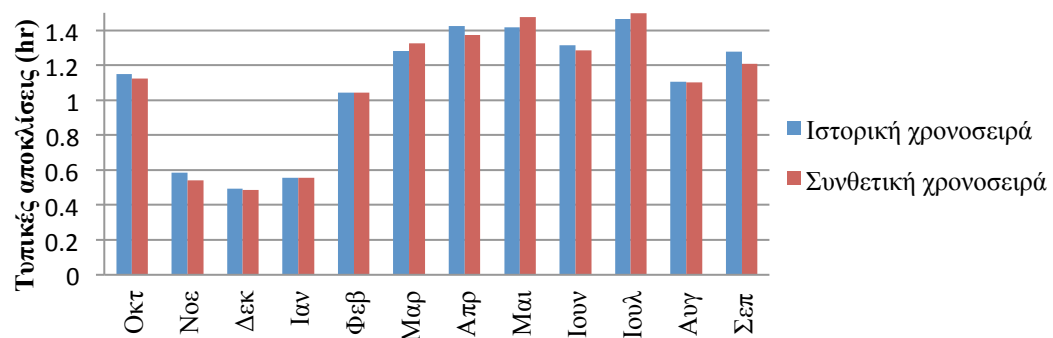
Σχήμα Γ.89 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.



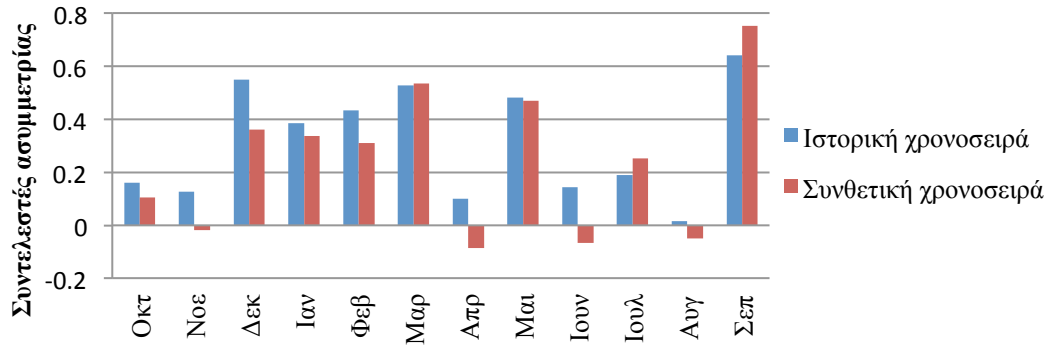
Σχήμα Γ.90 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



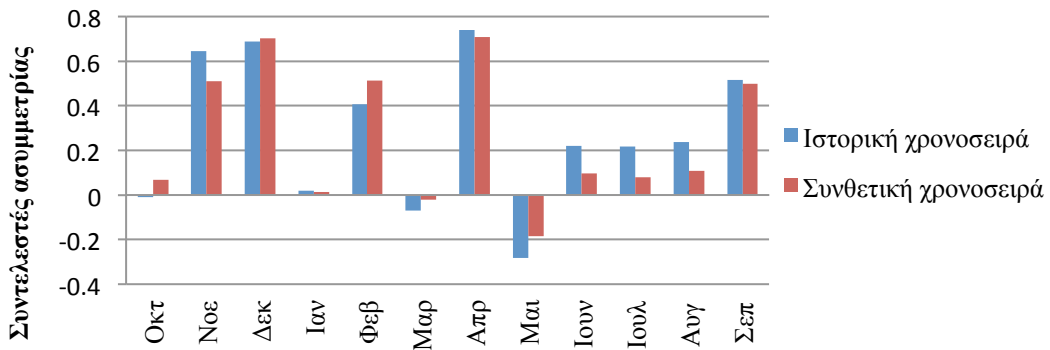
Σχήμα Γ.91 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.



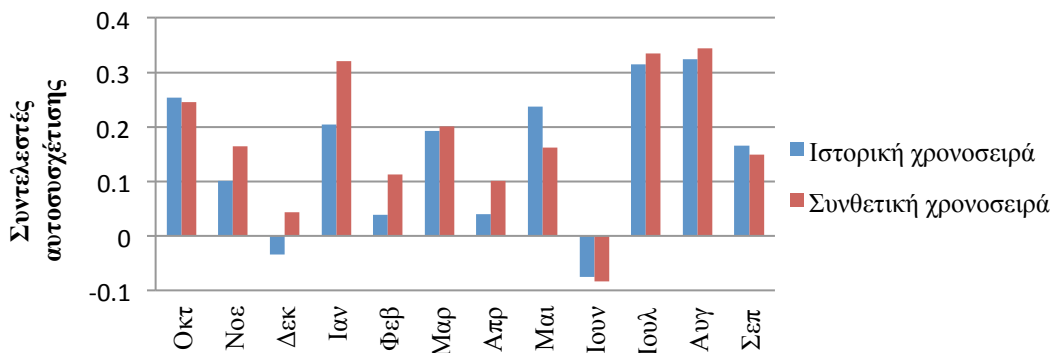
Σχήμα Γ.92 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



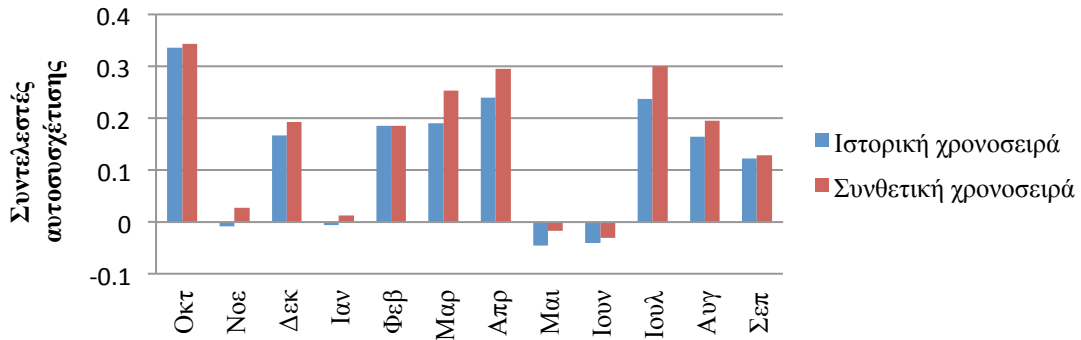
Σχήμα Γ.93 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.



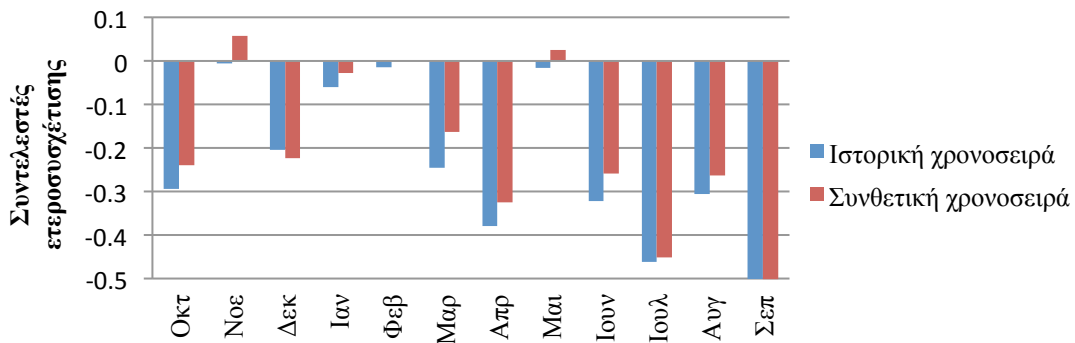
Σχήμα Γ.94 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



Σχήμα Γ.95 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.

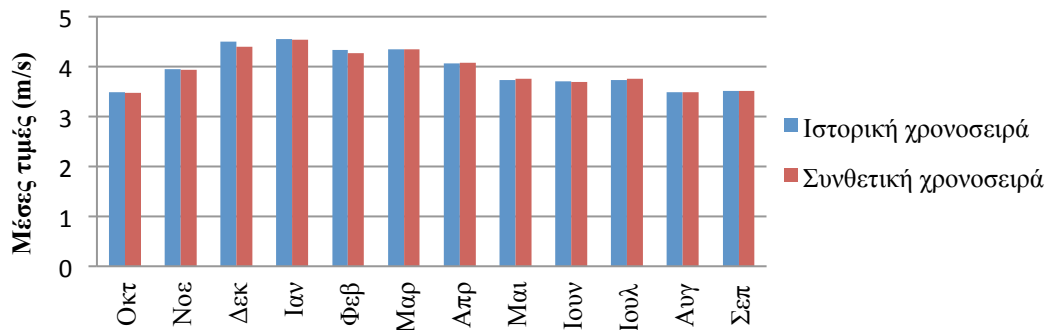


Σχήμα Γ.96 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.

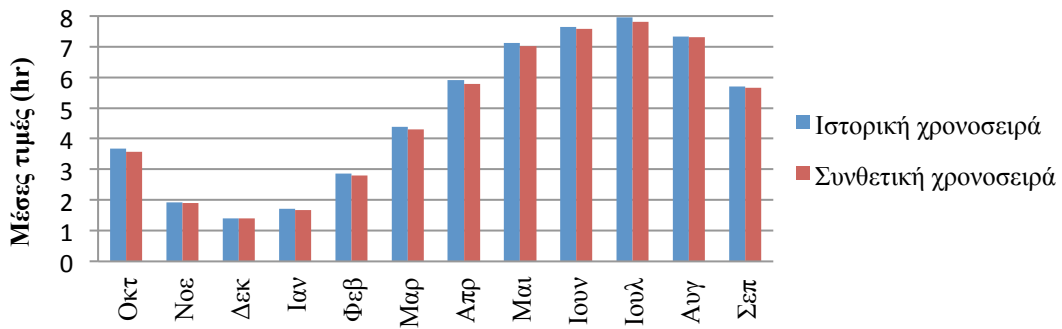


Σχήμα Γ.97 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.

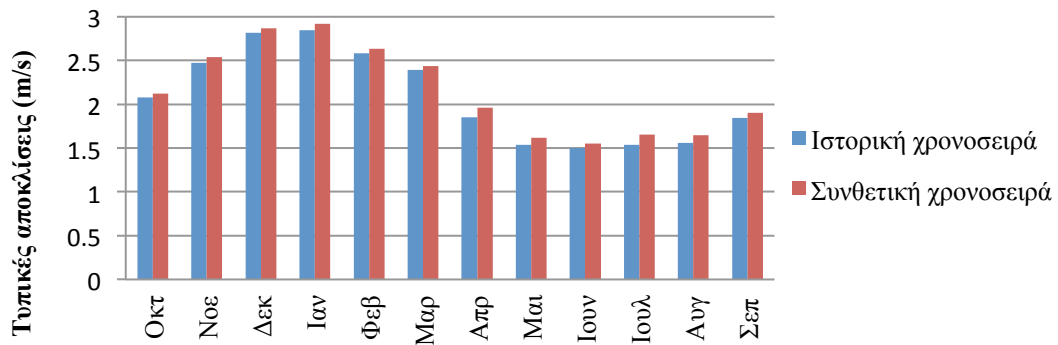
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ημερήσιας κλίμακας



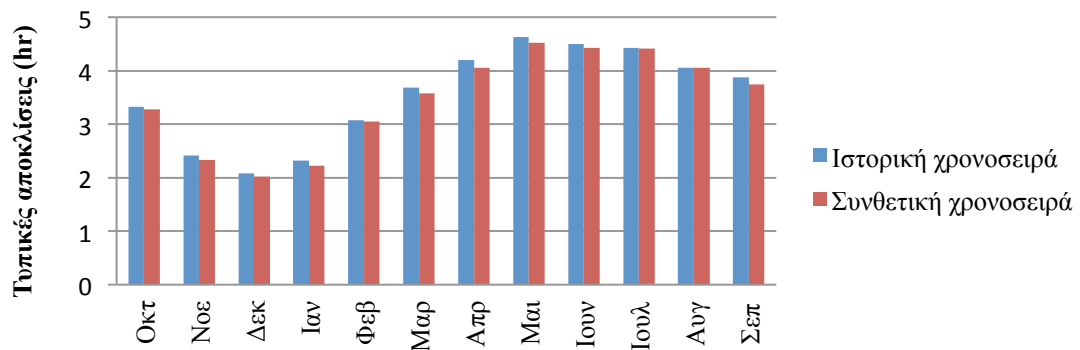
Σχήμα Γ.98 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.



Σχήμα Γ.99 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.

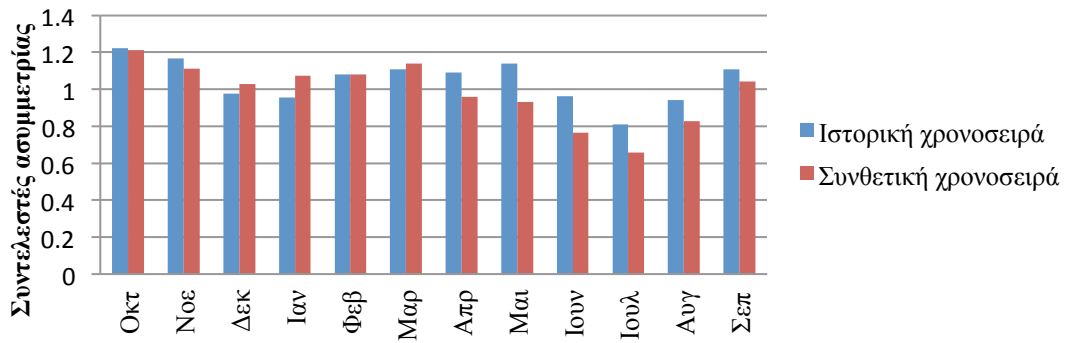


Σχήμα Γ.100 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.

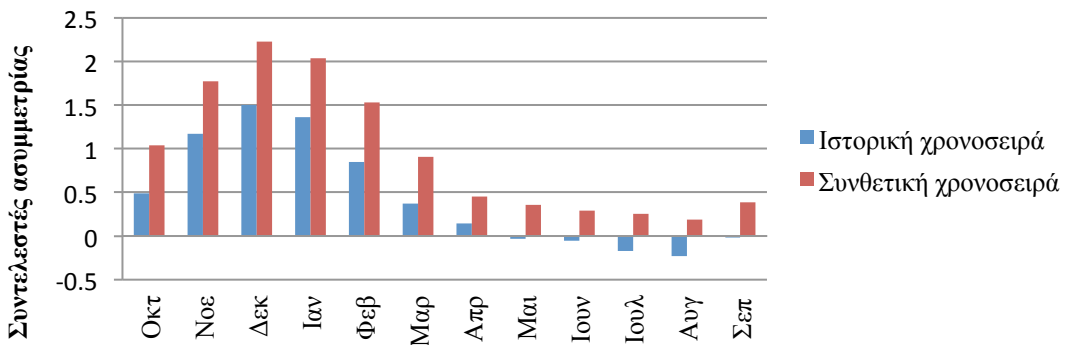


Σχήμα Γ.101 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.





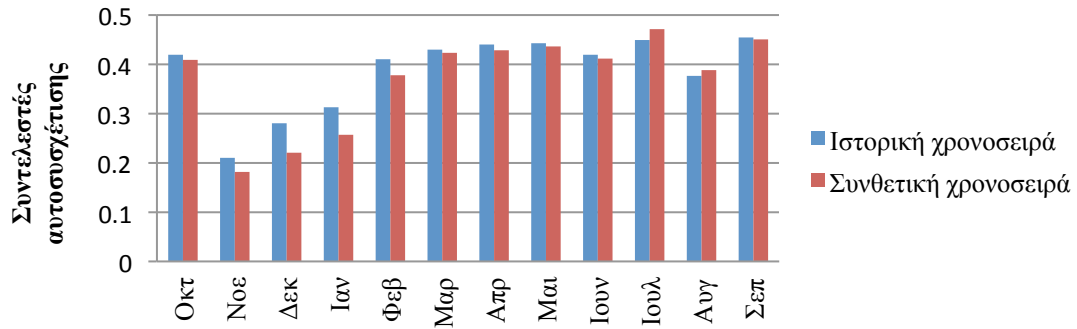
Σχήμα Γ.102 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.



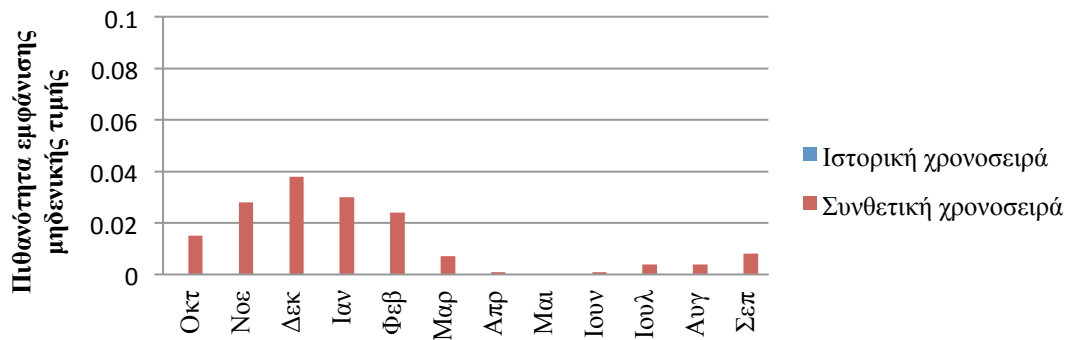
Σχήμα Γ.103 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



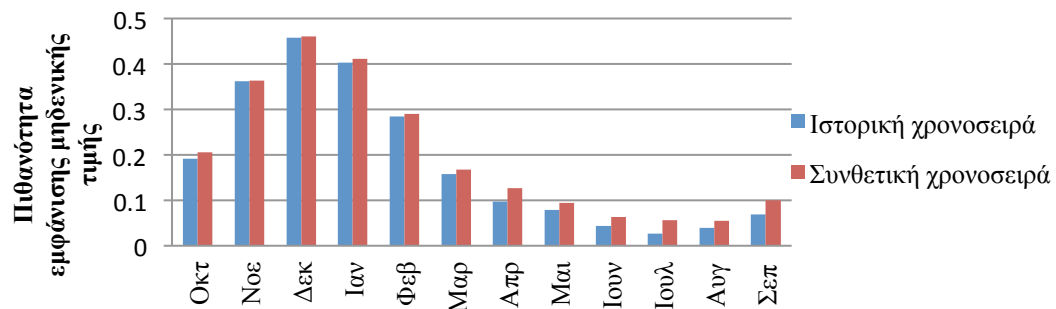
Σχήμα Γ.104 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.



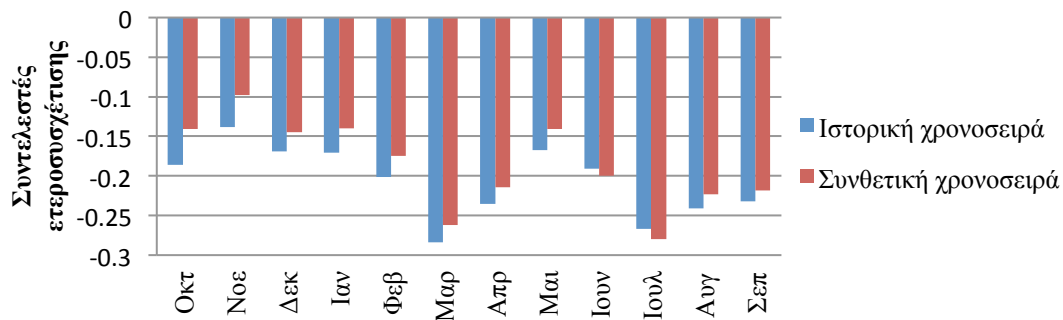
Σχήμα Γ.105 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



Σχήμα Γ.106 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.



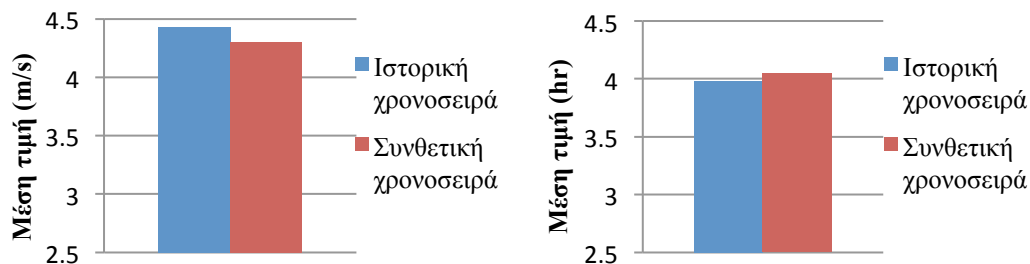
Σχήμα Γ.107 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



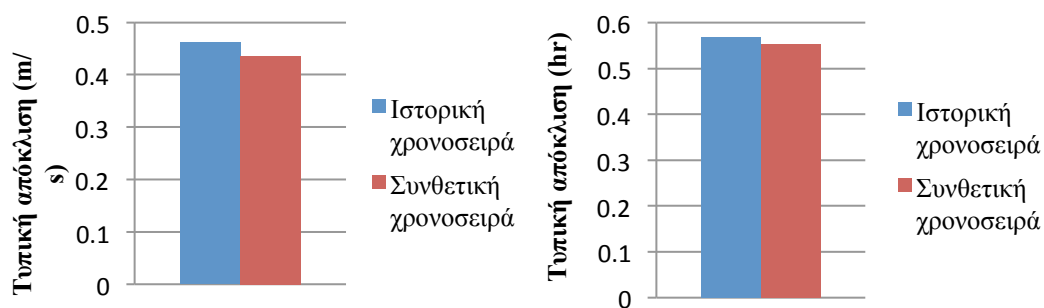
Σχήμα Γ.108 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.

## 5.Σταθμός Maastricht

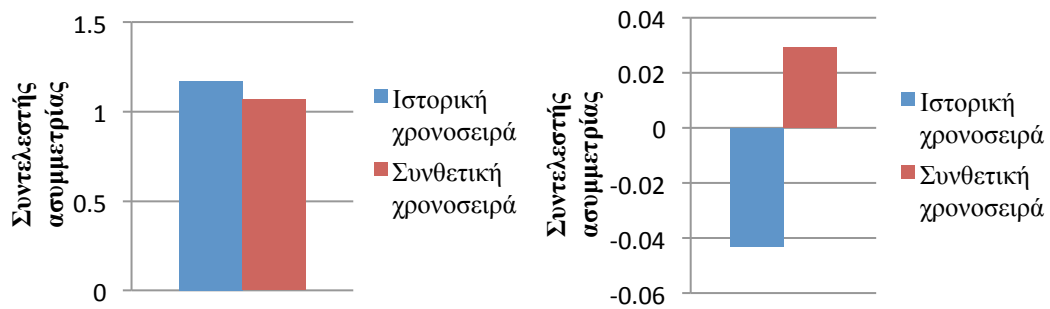
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ετήσιας κλίμακας



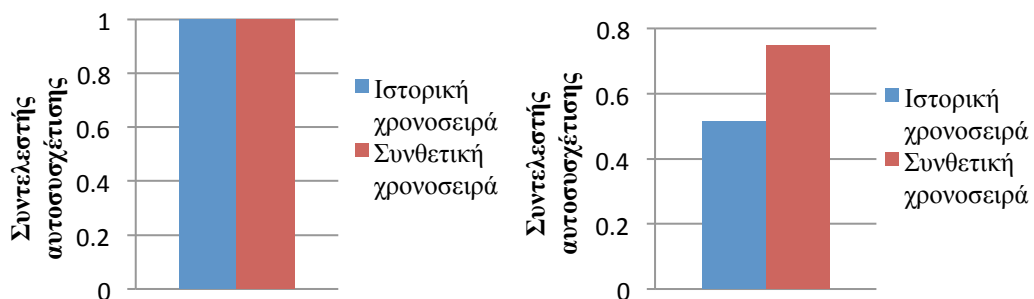
Σχήμα Γ.109 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας μέσης τιμής του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



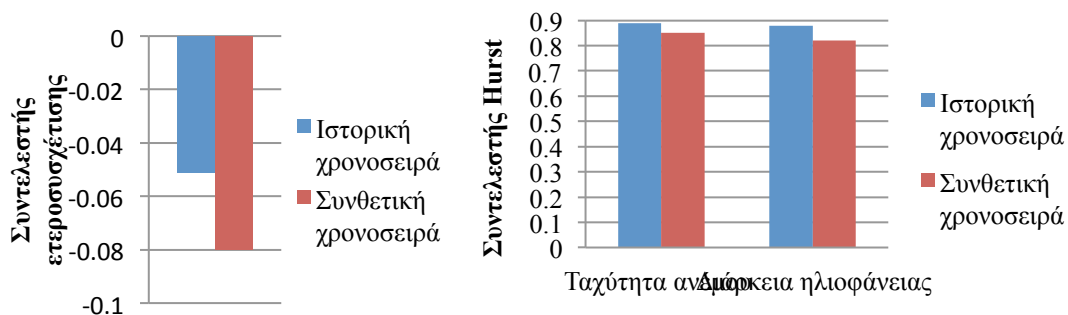
Σχήμα Γ.110 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας τυπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



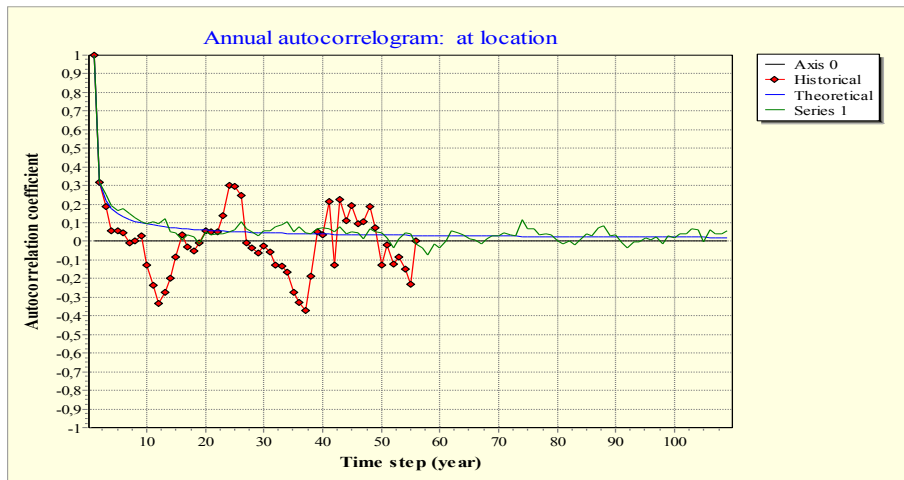
Σχήμα Γ.111 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



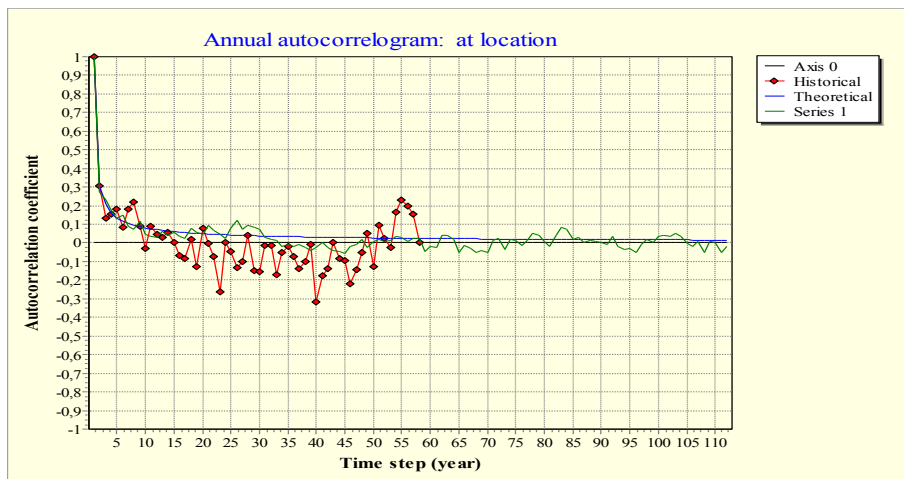
Σχήμα Γ.112 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



Σχήμα Γ.113 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου δειγματικού και συνθετικού συντελεστή ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας και τιμές του συντελεστή Hurst των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών των δύο μεταβλητών για τον σταθμό Maastricht.

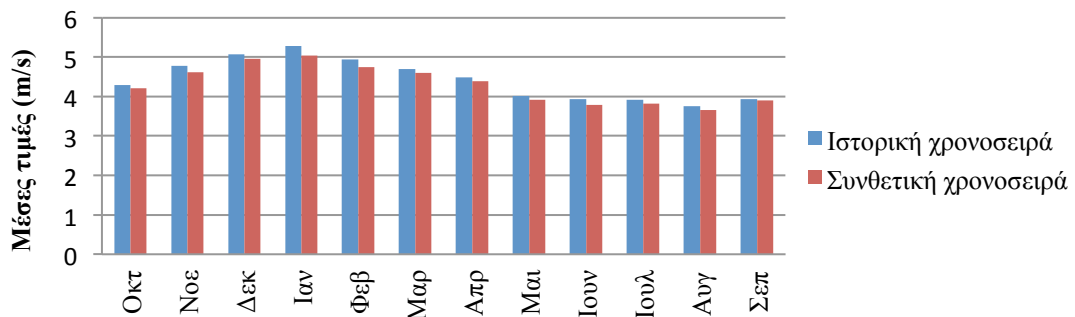


Σχήμα Γ.114 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.

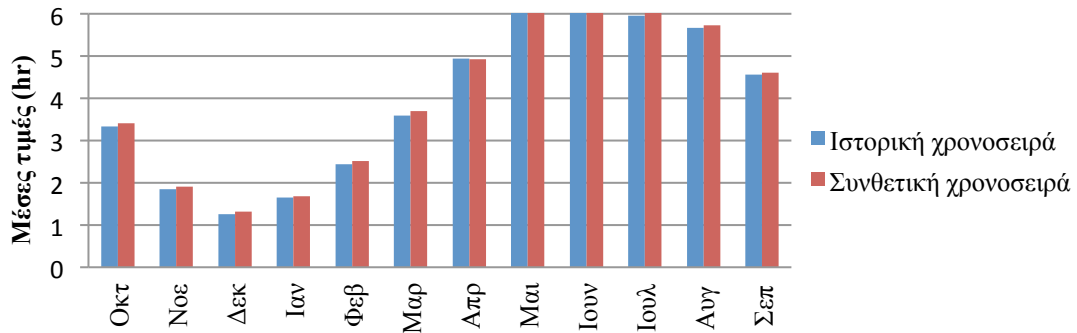


Σχήμα Γ.115 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.

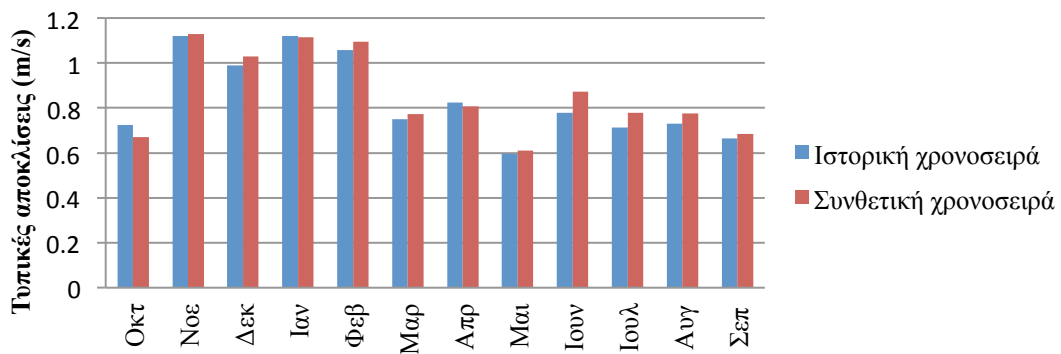
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών μηνιαίας κλίμακας



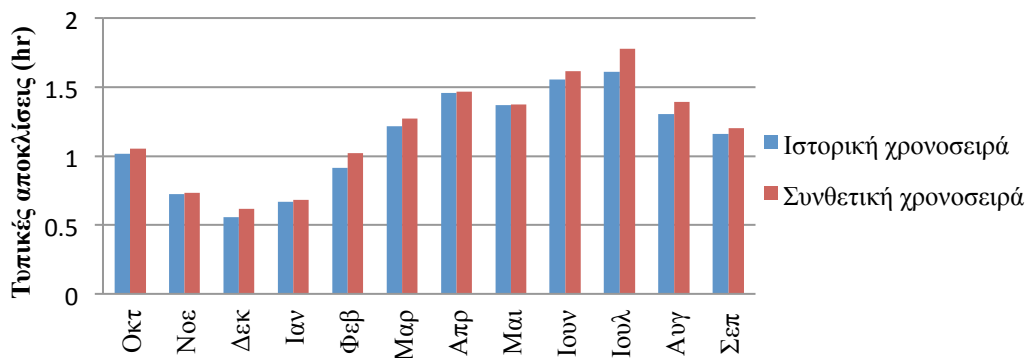
Σχήμα Γ.116 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.



Σχήμα Γ.117 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



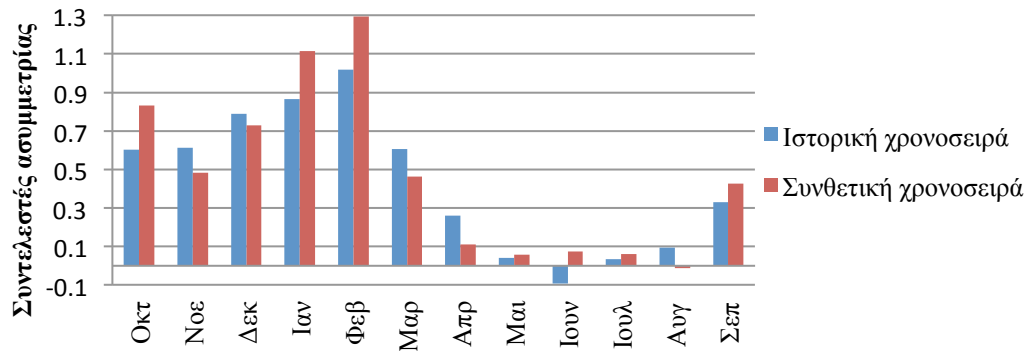
Σχήμα Γ.118 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.



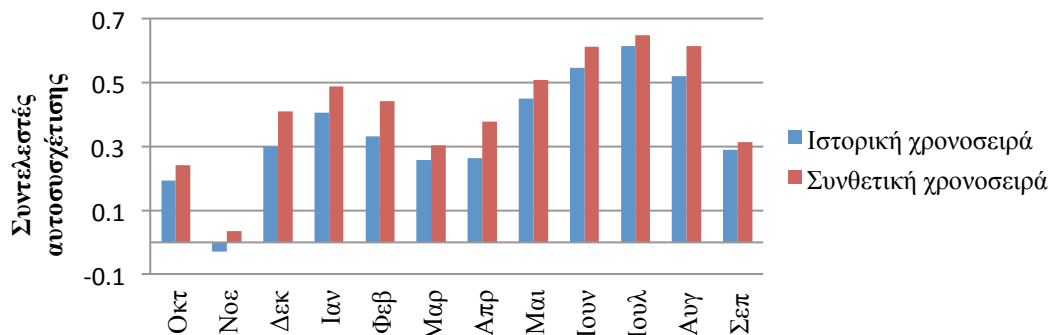
Σχήμα Γ.119 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



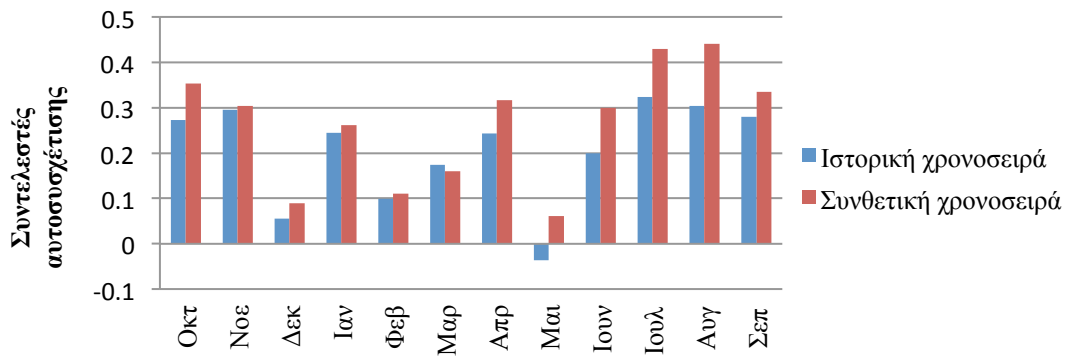
Σχήμα Γ.120 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.



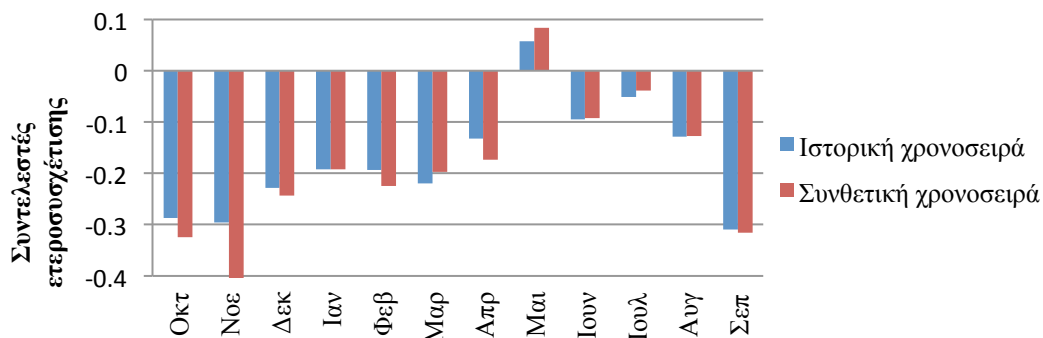
Σχήμα Γ.121 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



Σχήμα Γ.122 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.

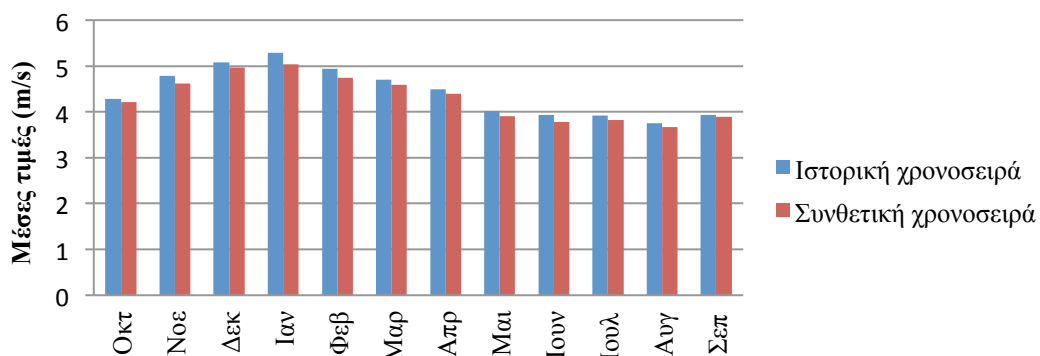


Σχήμα Γ.123 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



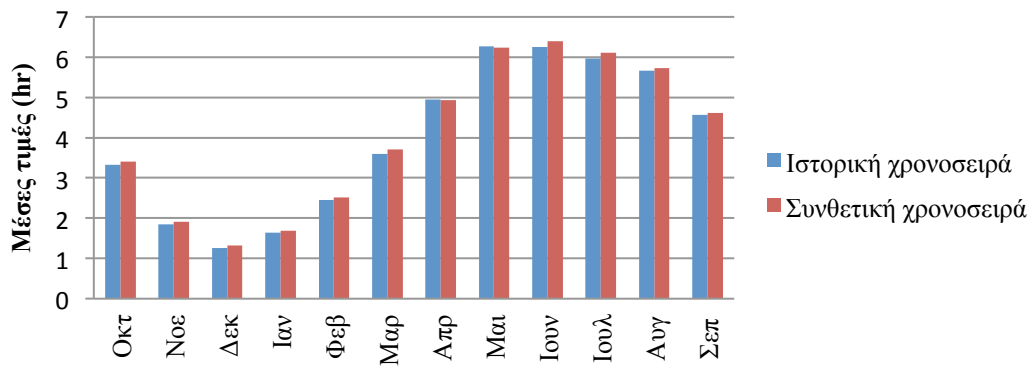
Σχήμα Γ.124 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.

### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ημερήσιας κλίμακας

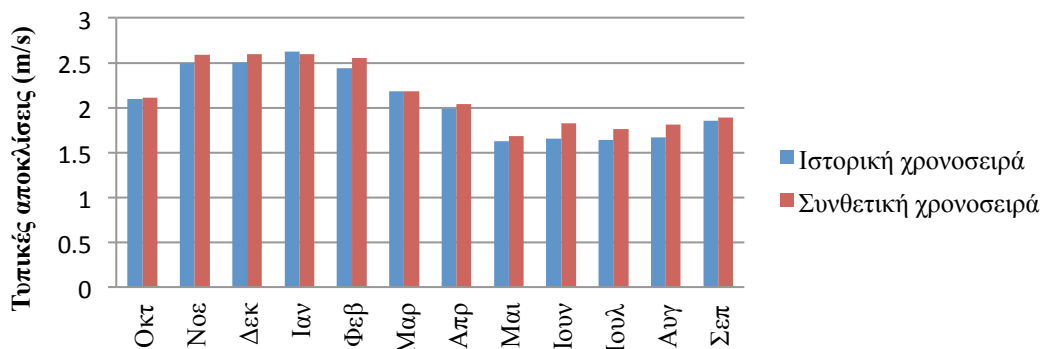


Σχήμα Γ.125 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.

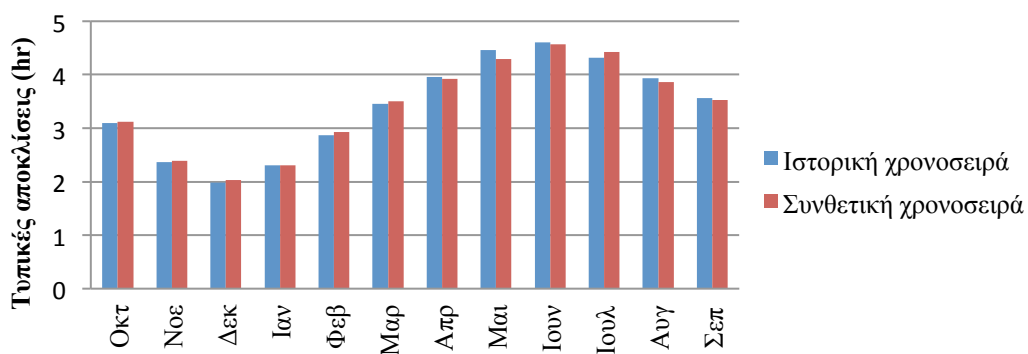




Σχήμα Γ.126 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



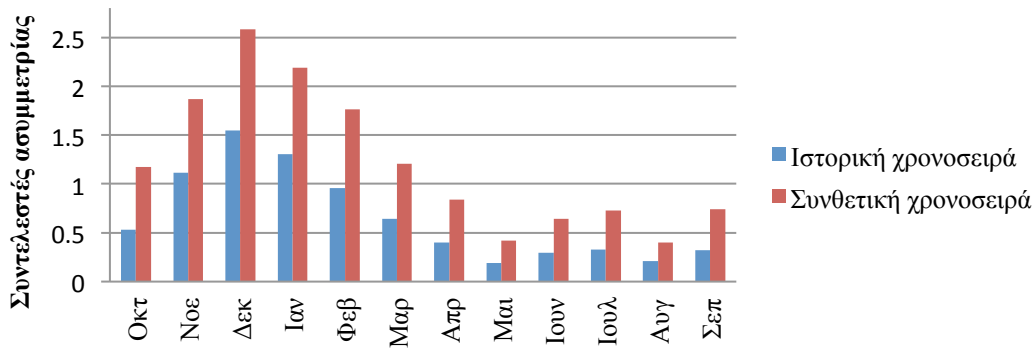
Σχήμα Γ.127 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.



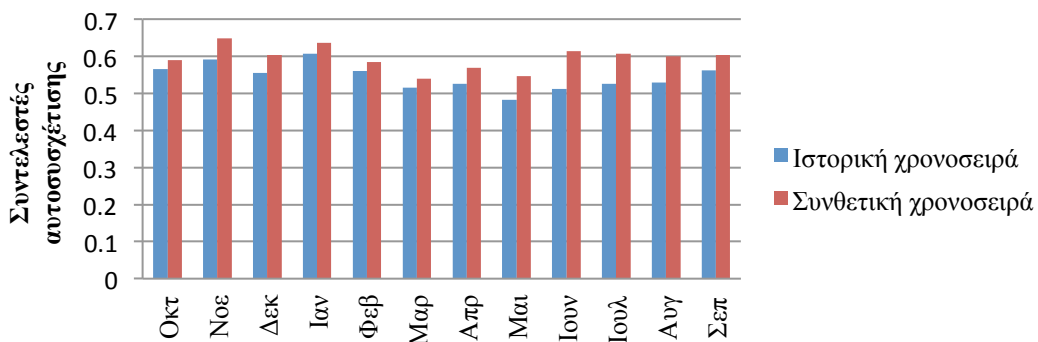
Σχήμα Γ.128 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



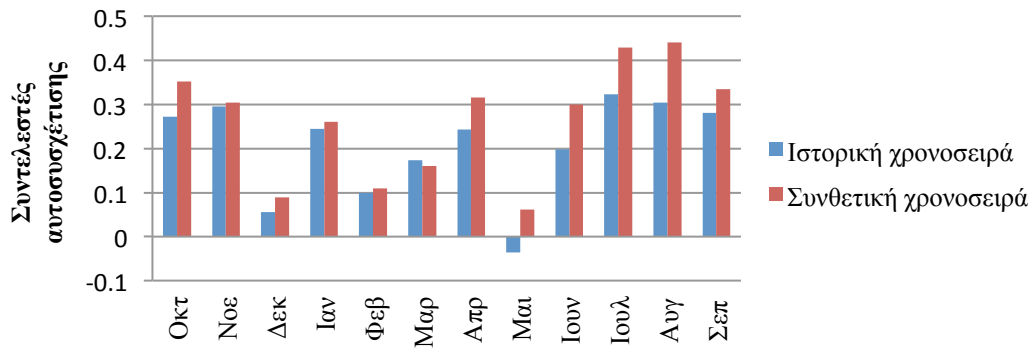
Σχήμα Γ.129 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.



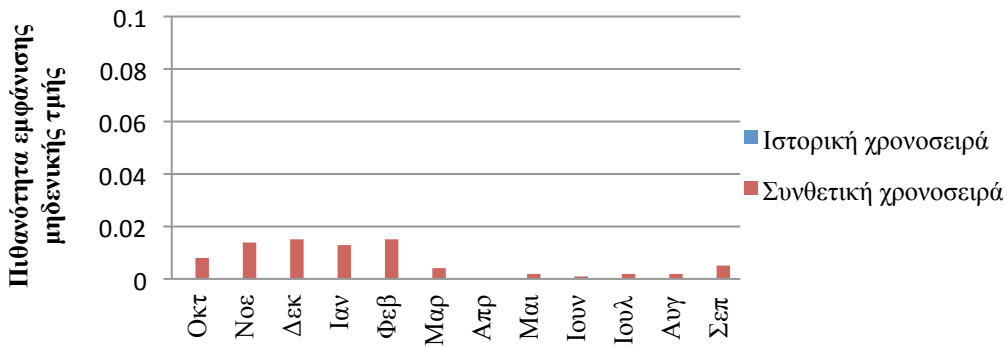
Σχήμα Γ.130 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



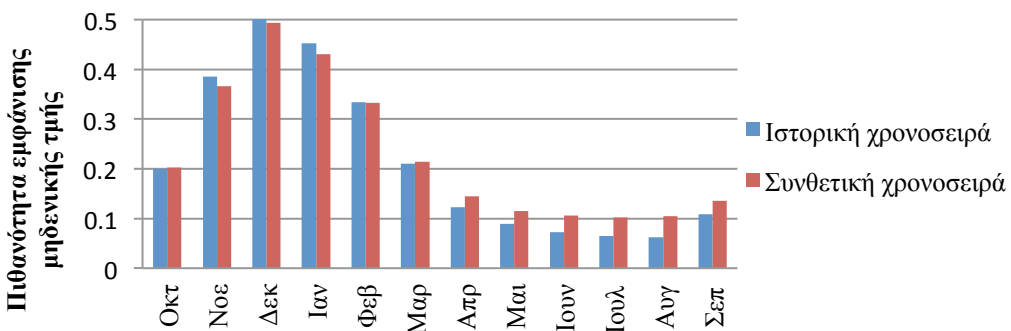
Σχήμα Γ.131 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.



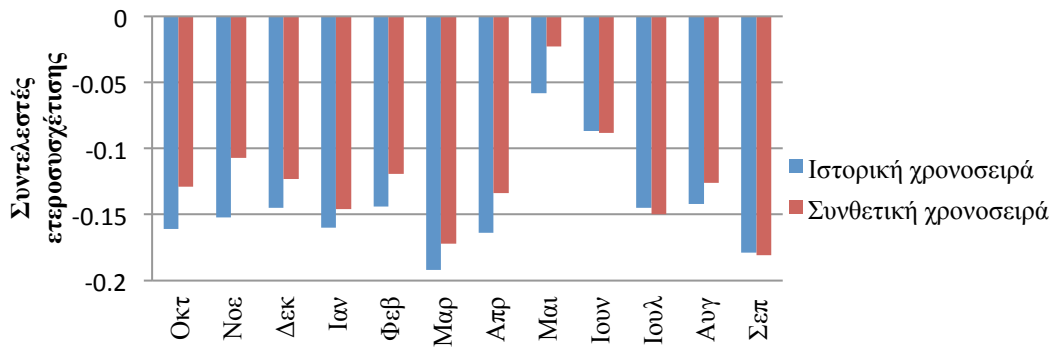
Σχήμα Γ.132 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



Σχήμα Γ.133 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.



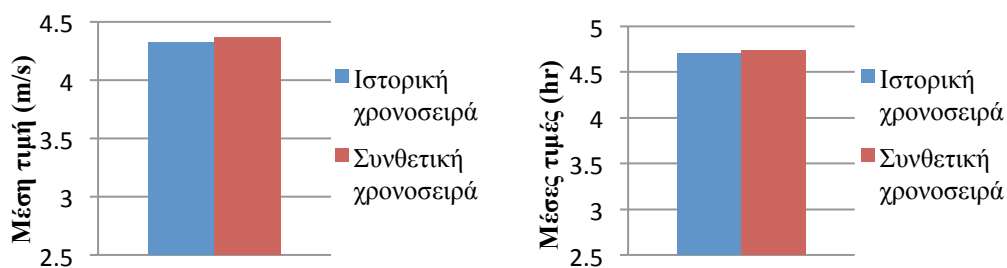
Σχήμα Γ.134 Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



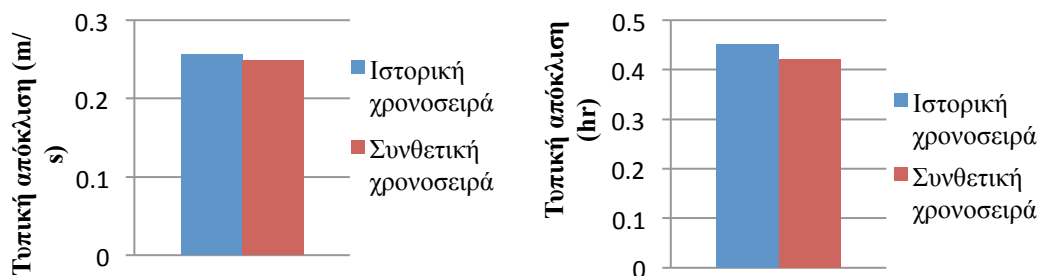
Σχήμα Γ.135 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastriicht.

## 6.Σταθμός Potsdam

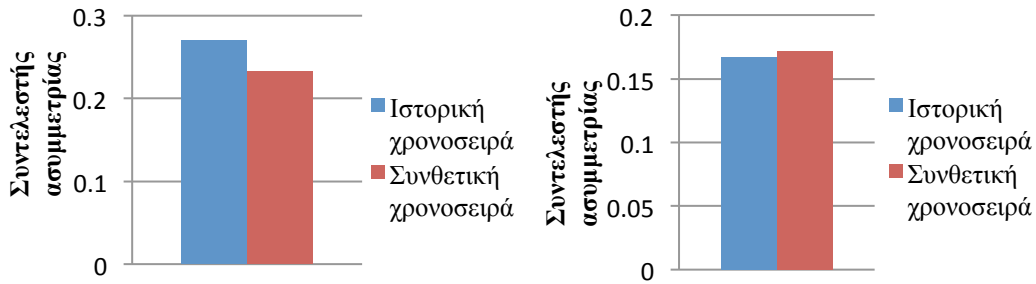
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ετήσιας κλίμακας



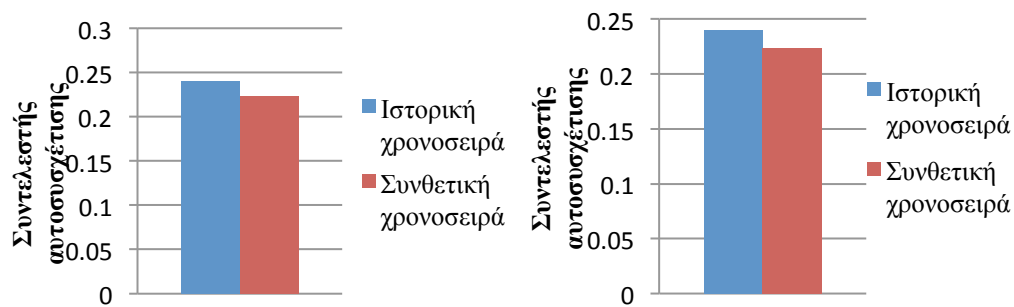
Σχήμα Γ.136 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας μέσης τιμής του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



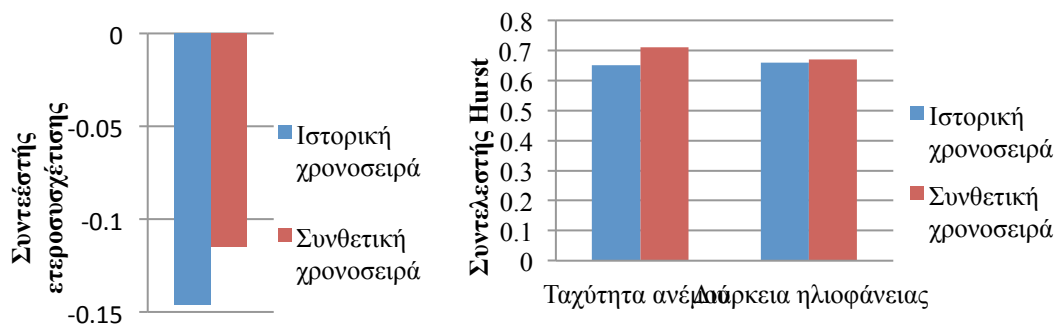
Σχήμα Γ.137 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας τυπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



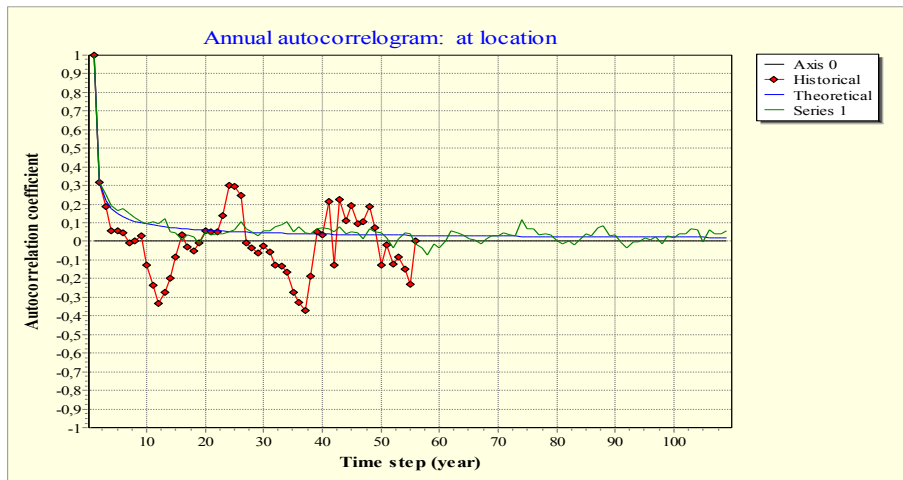
Σχήμα Γ.138 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



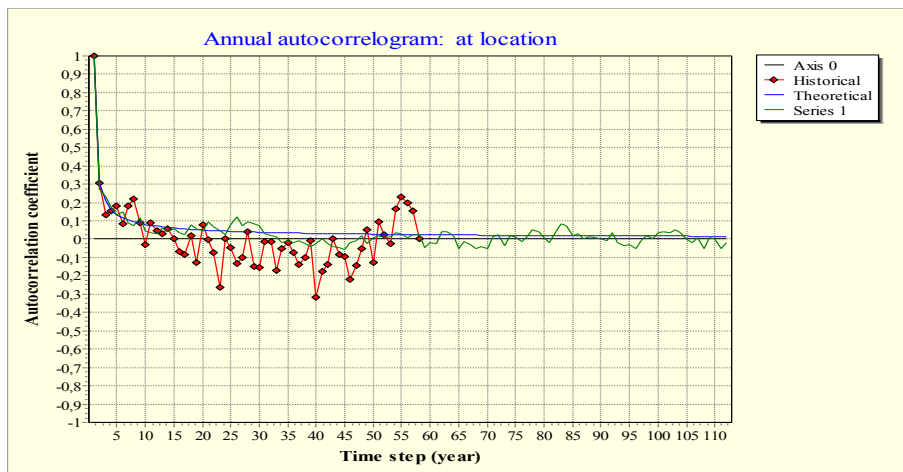
Σχήμα Γ.139 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



Σχήμα Γ.140 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου δειγματικού και συνθετικού συντελεστή ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας και τιμές του συντελεστή Hurst των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών των δύο μεταβλητών για τον σταθμό Potsdam.

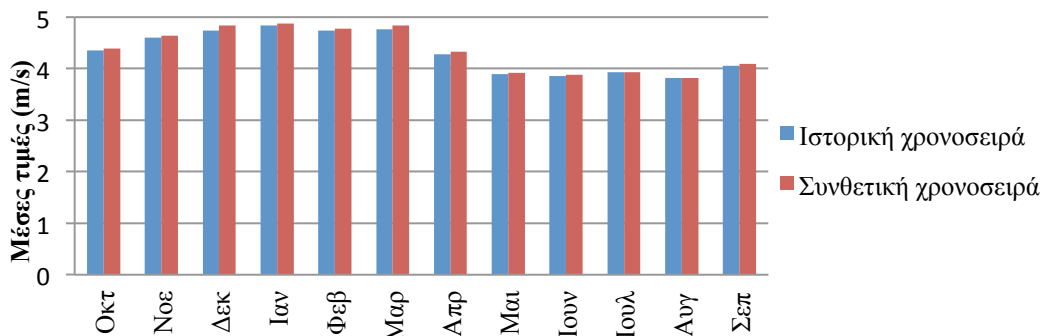


Σχήμα Γ.141 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.

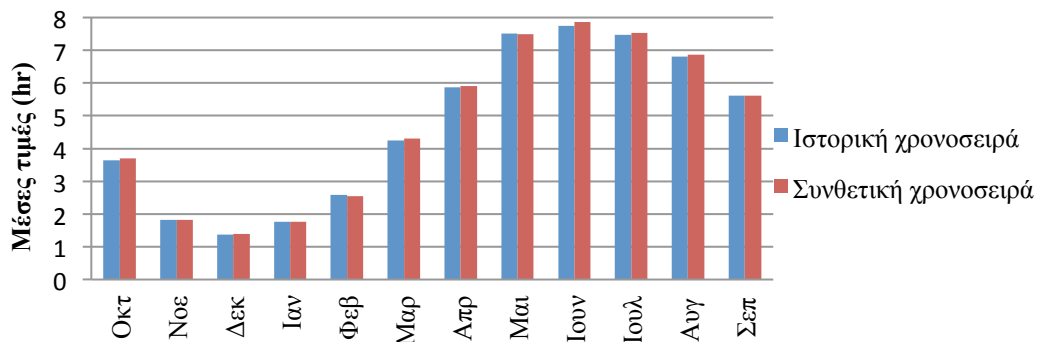


Σχήμα Γ.142 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.

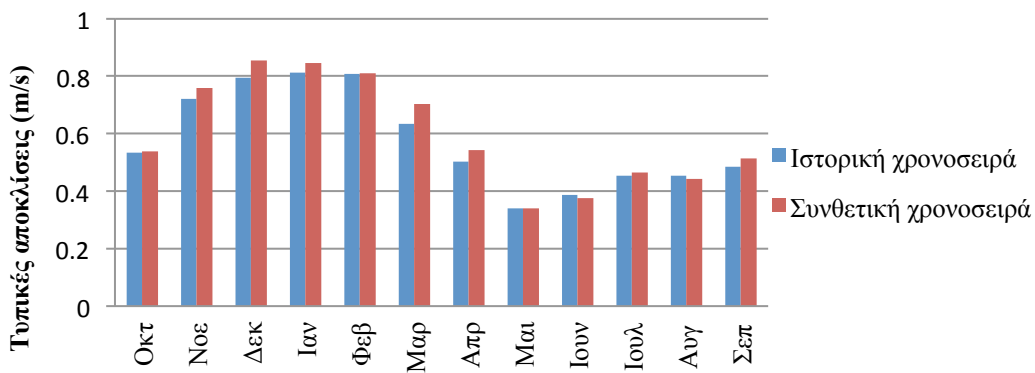
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών μηνιαίας κλίμακας



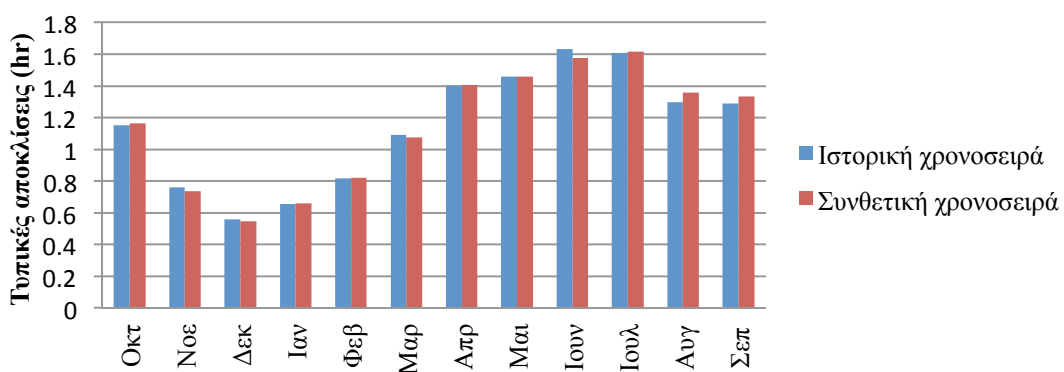
Σχήμα Γ.143 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.



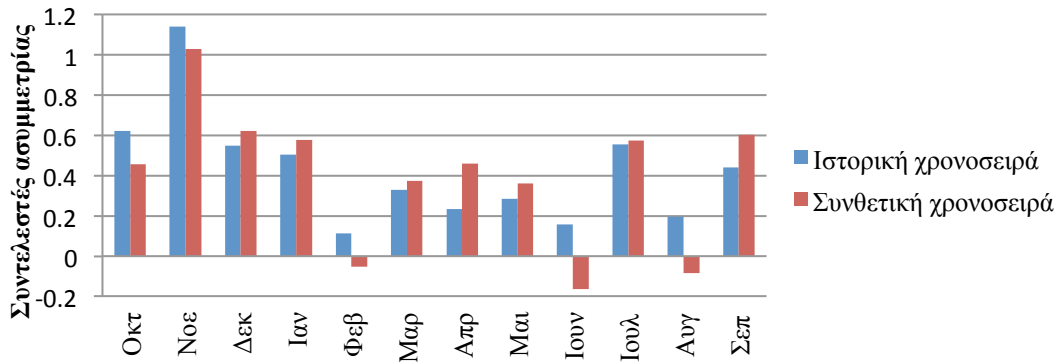
Σχήμα Γ.144 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



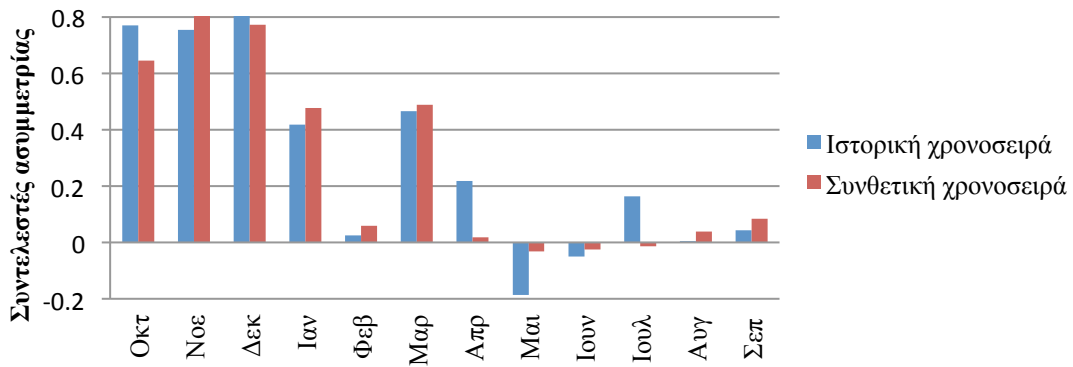
Σχήμα Γ.145 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.



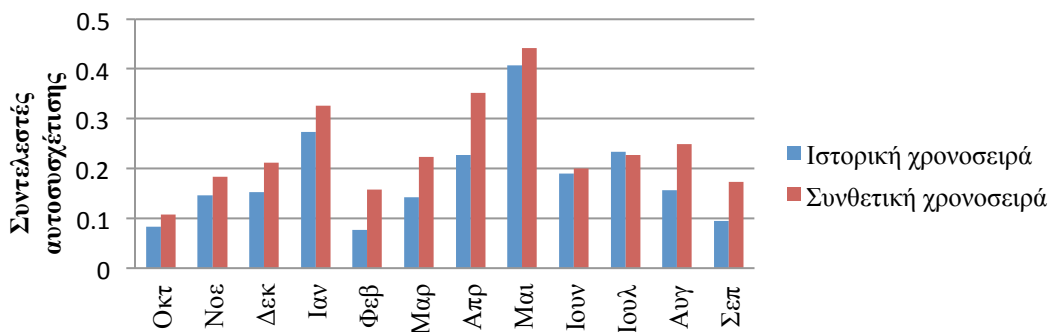
Σχήμα Γ.146 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας για τον σταθμό Potsdam.



Σχήμα Γ.147 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.

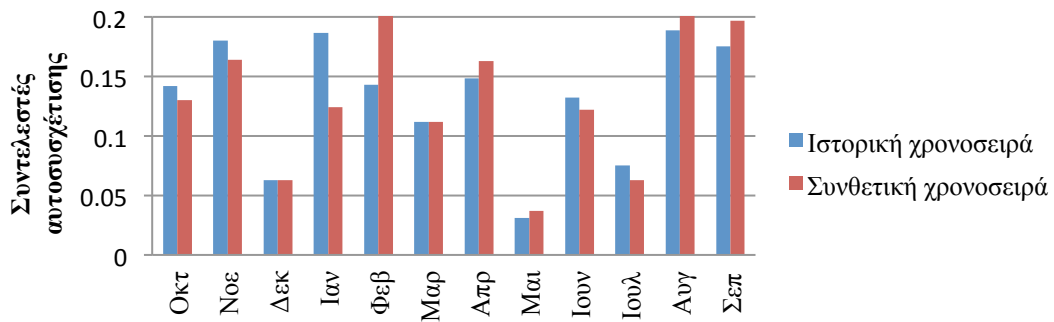


Σχήμα Γ.148 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.

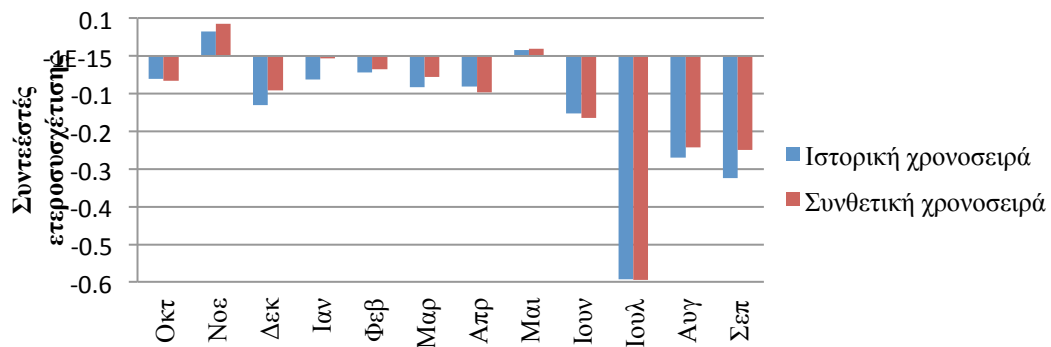


Σχήμα Γ.149 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.



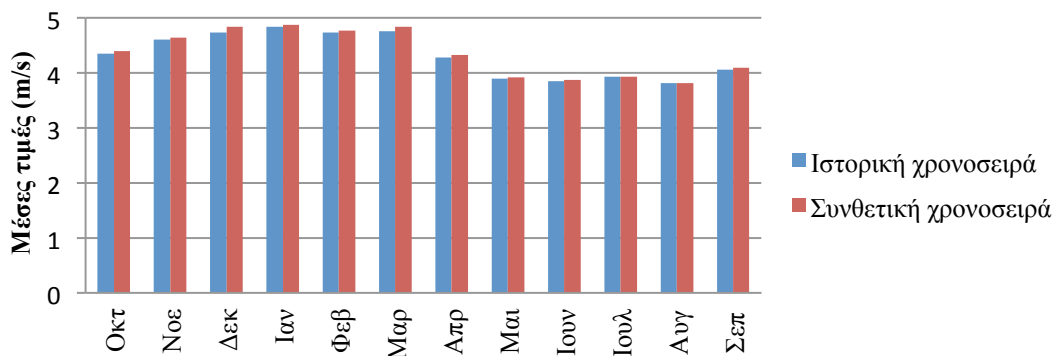


Σχήμα Γ.150 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.

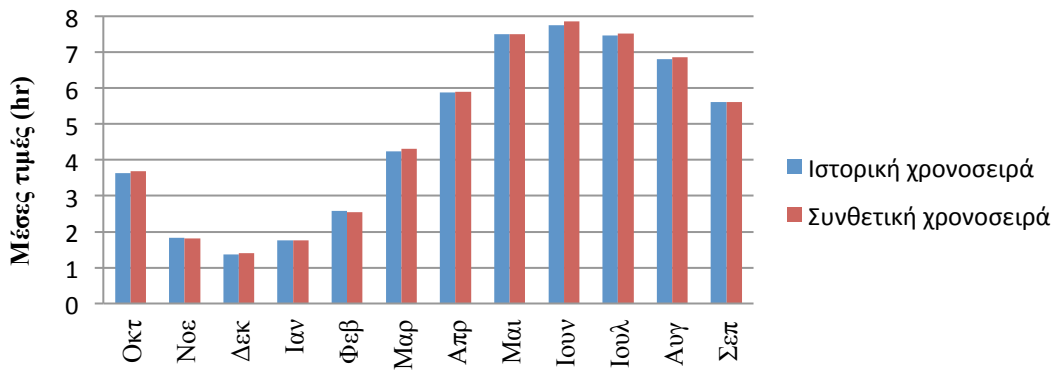


Σχήμα Γ.151 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.

### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ημερήσιας κλίμακας



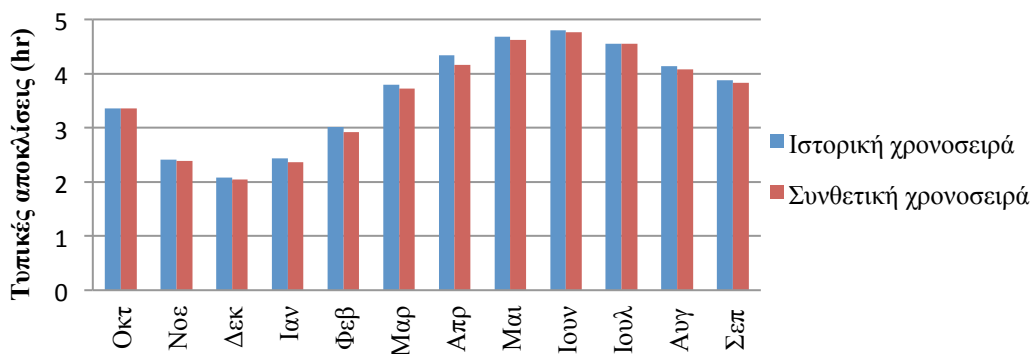
Σχήμα Γ.152 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.



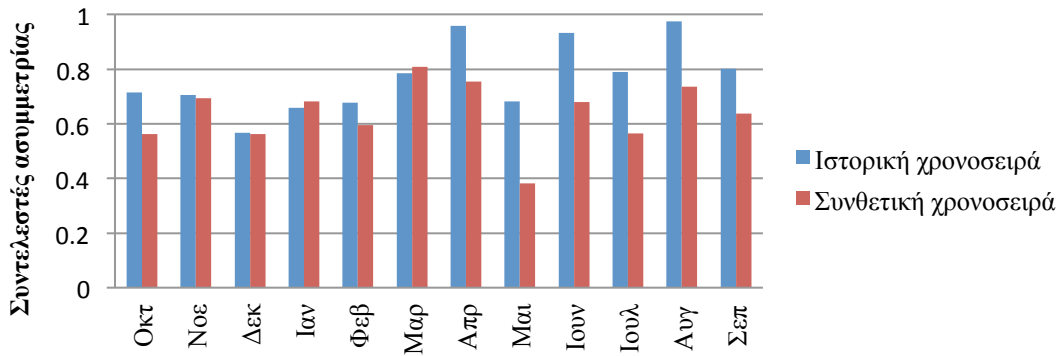
Σχήμα Γ.153 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



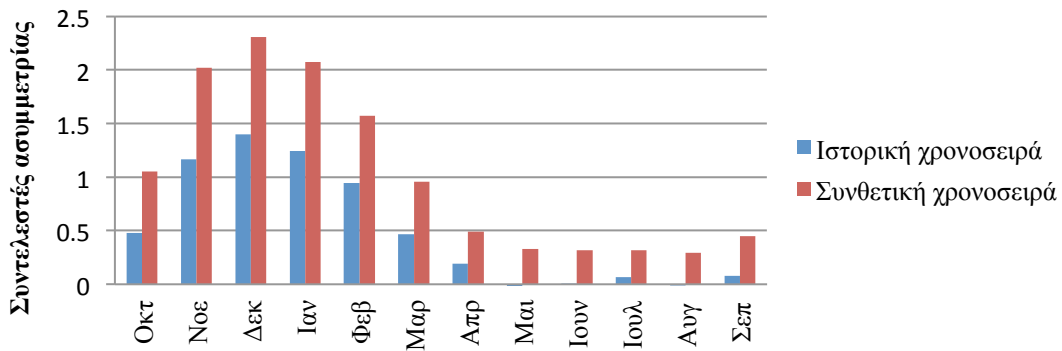
Σχήμα Γ.154 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.



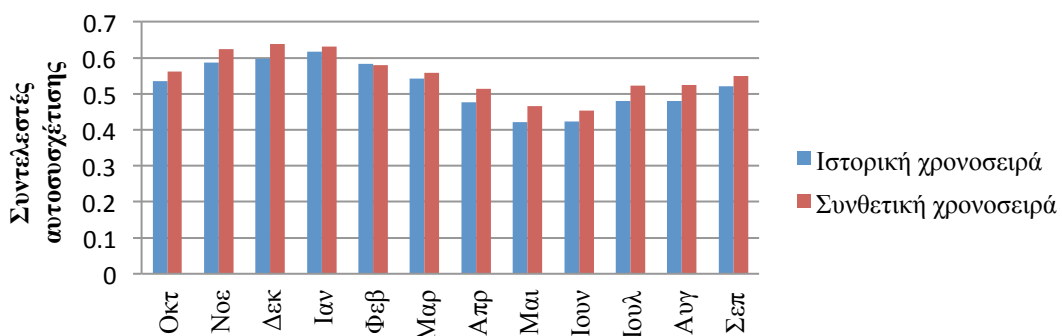
Σχήμα Γ.155 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



Σχήμα Γ.156 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.



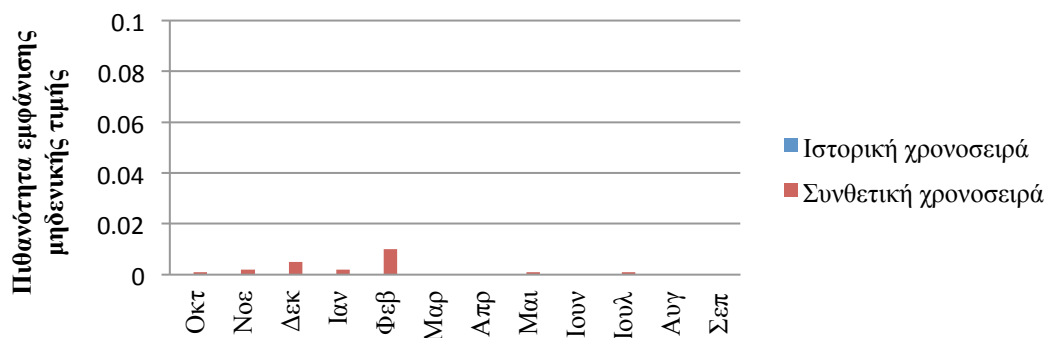
Σχήμα Γ.157 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



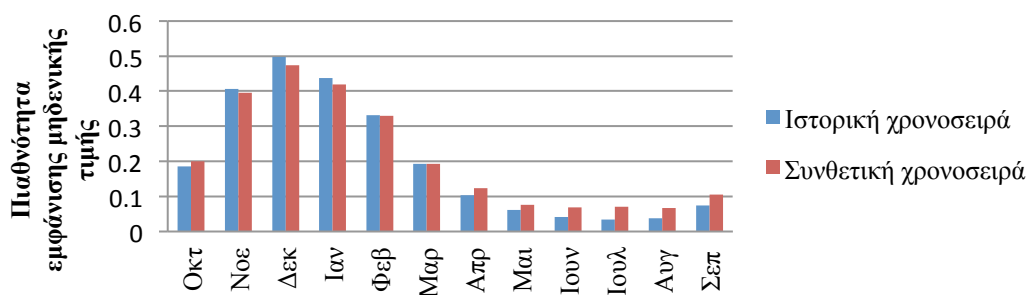
Σχήμα Γ.158 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.



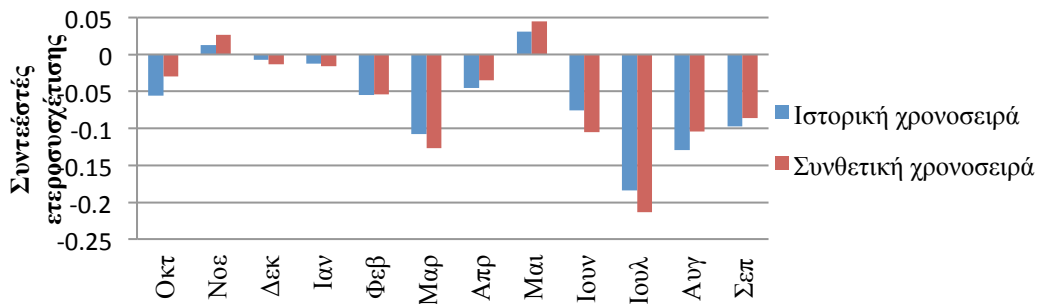
Σχήμα Γ.159 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



Σχήμα Γ.160 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.



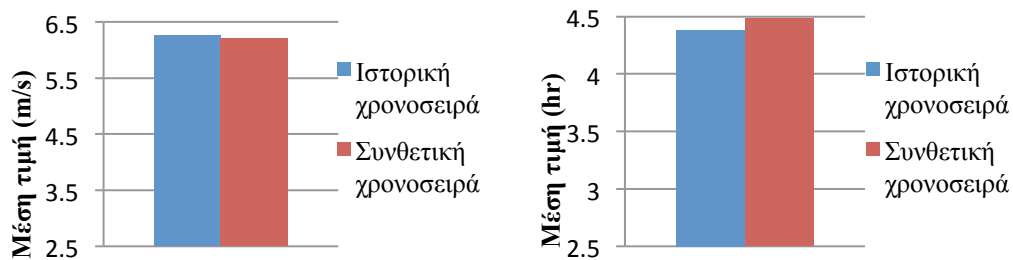
Σχήμα Γ.161 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



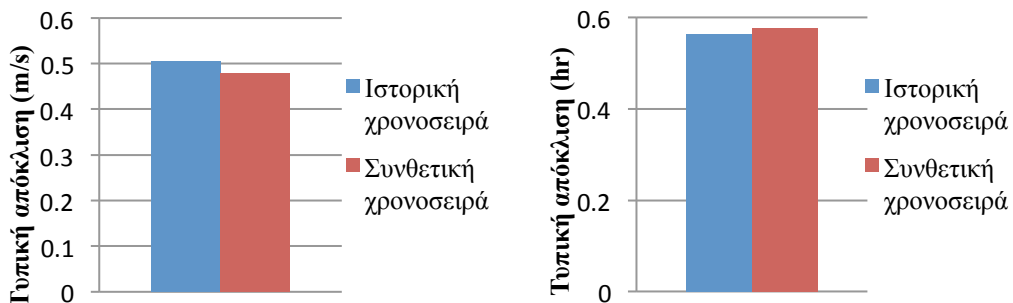
Σχήμα Γ.162 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.

## 7.Σταθμός Vlissingen

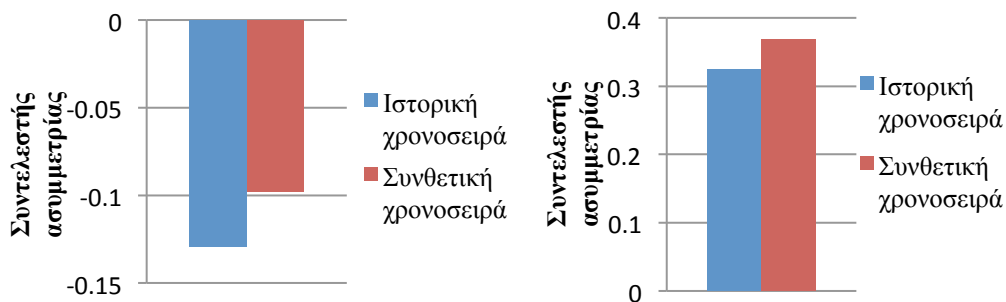
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ετήσιας κλίμακας



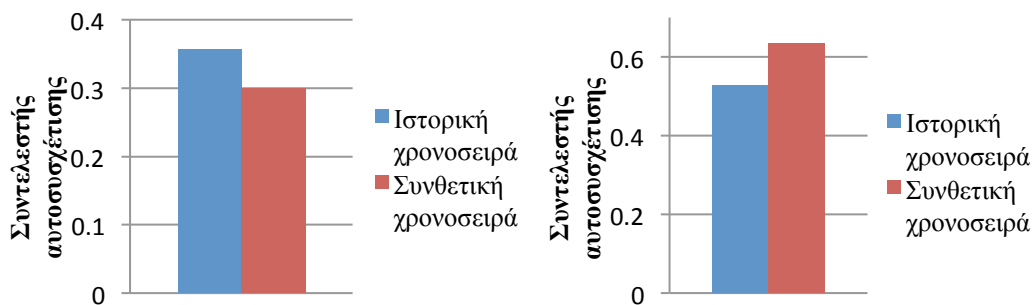
Σχήμα Γ.163 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας μέσης τιμής του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.



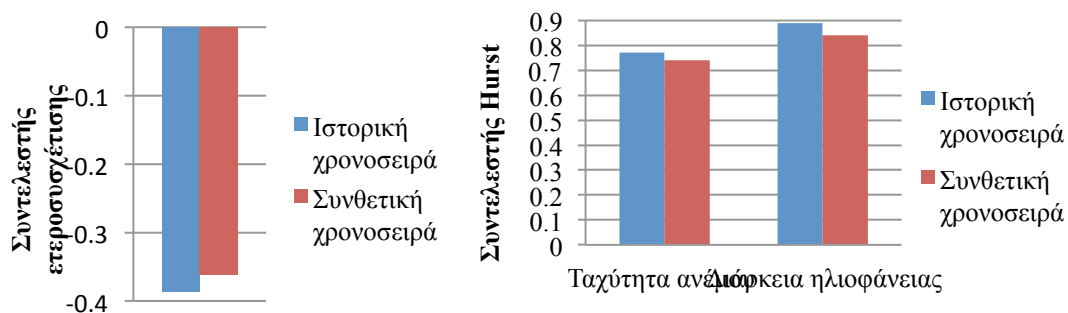
Σχήμα Γ.164 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας τυπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.



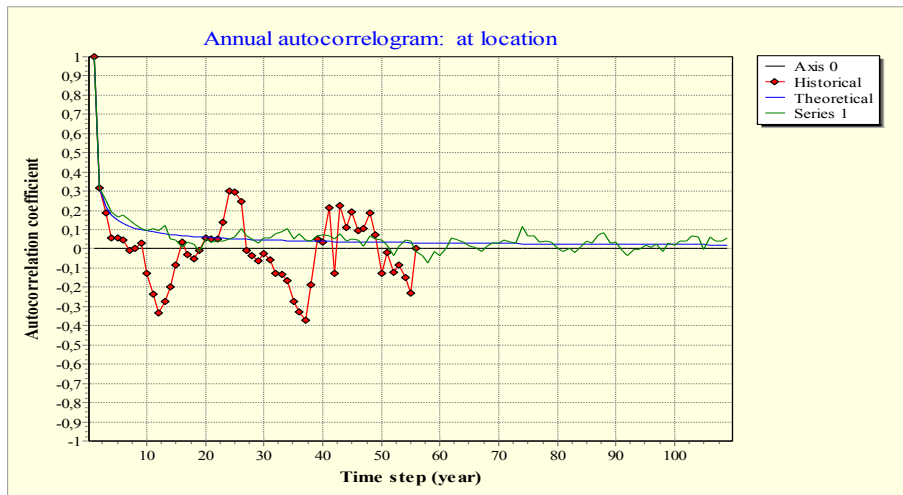
Σχήμα Γ.165 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.



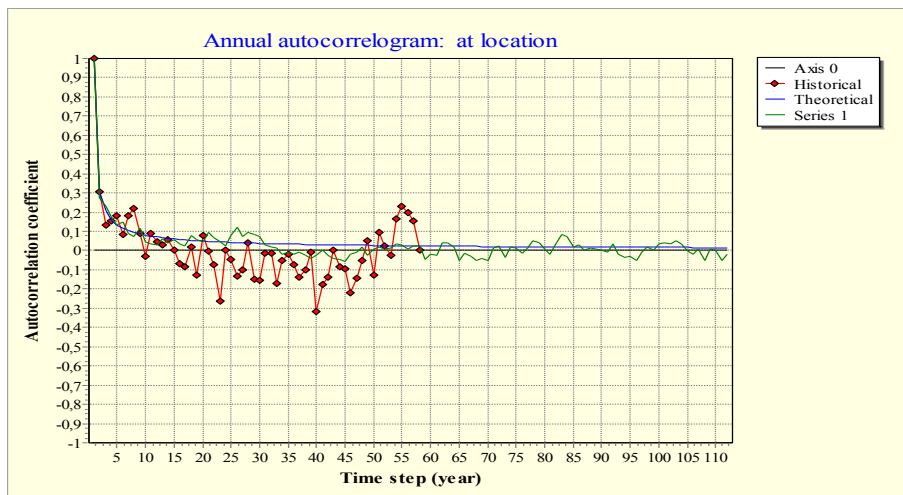
Σχήμα Γ.166 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.



Σχήμα Γ.167 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου δειγματικού και συνθετικού συντελεστή ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας και τιμές του συντελεστή Hurst των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών των δύο μεταβλητών για τον σταθμό Vlissingen.

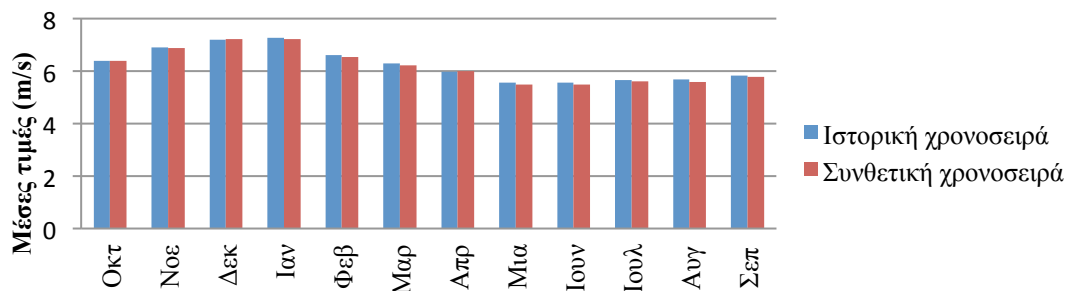


Σχήμα Γ.168 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Vlissingen.

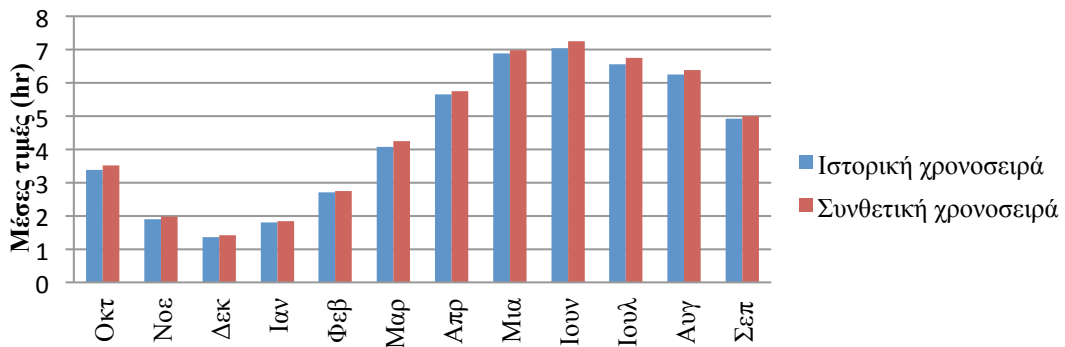


Σχήμα Γ.169 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.

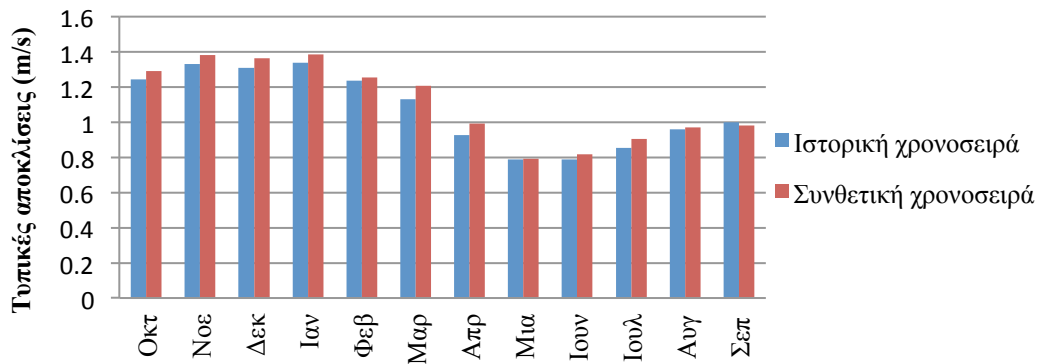
**Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών μηνιαίας κλίμακας**



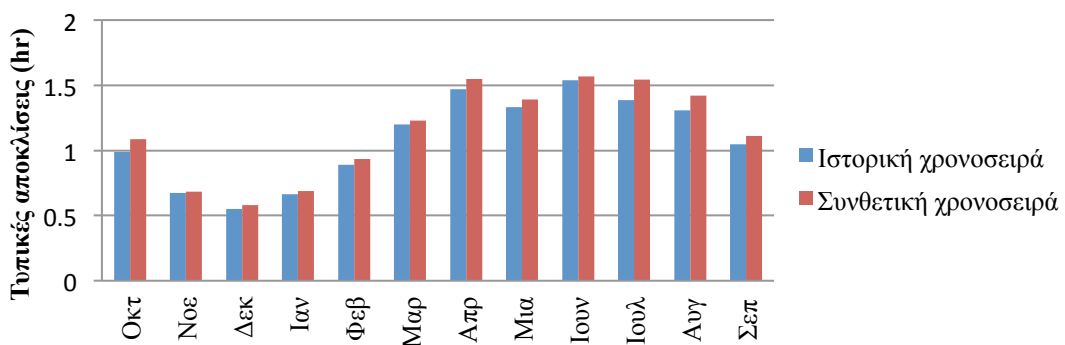
Σχήμα Γ.170 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Vlissingen.



Σχήμα Γ.171 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.

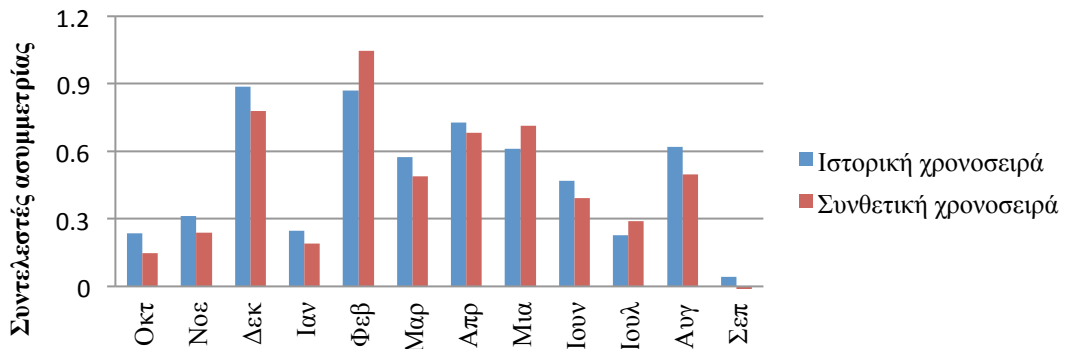


Σχήμα Γ.172 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Vlissingen.

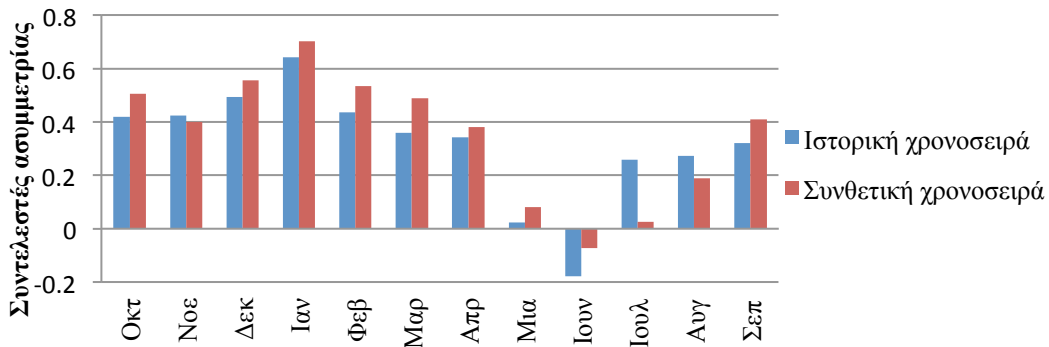


Σχήμα Γ.173 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.

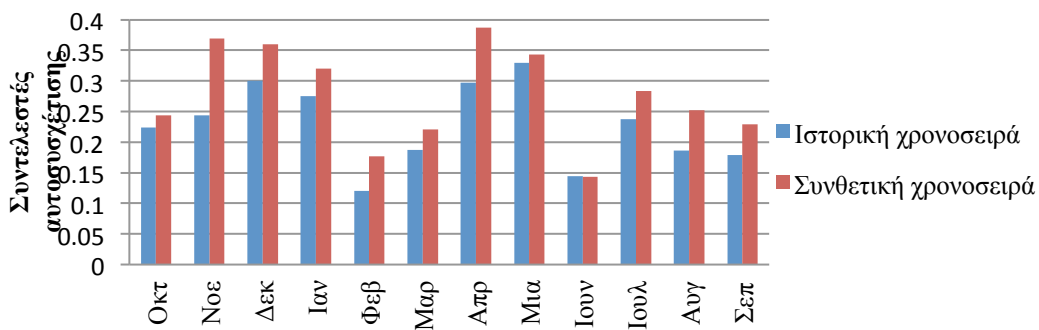




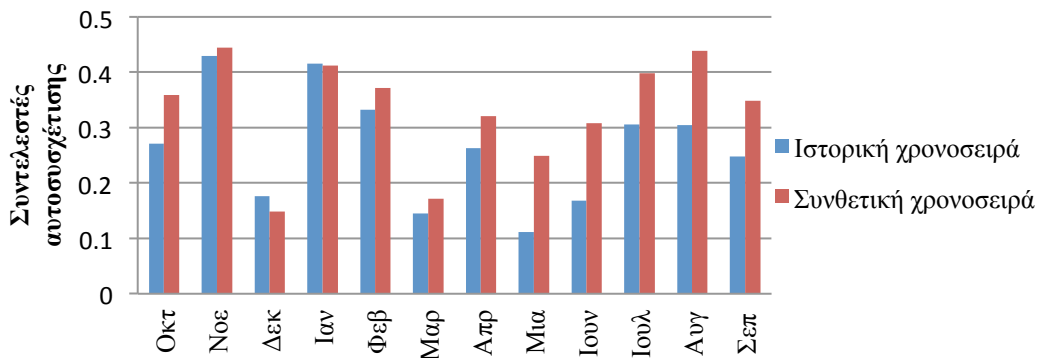
Σχήμα Γ.174 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Vlissingen.



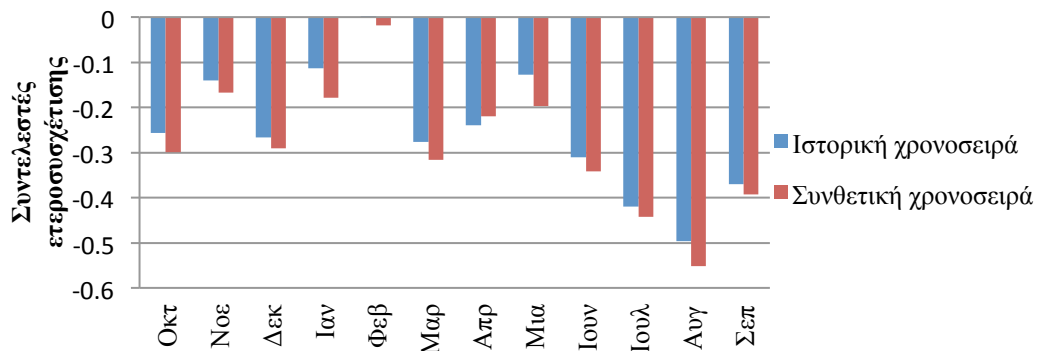
Σχήμα Γ.175 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.



Σχήμα Γ.176 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Vlissingen.

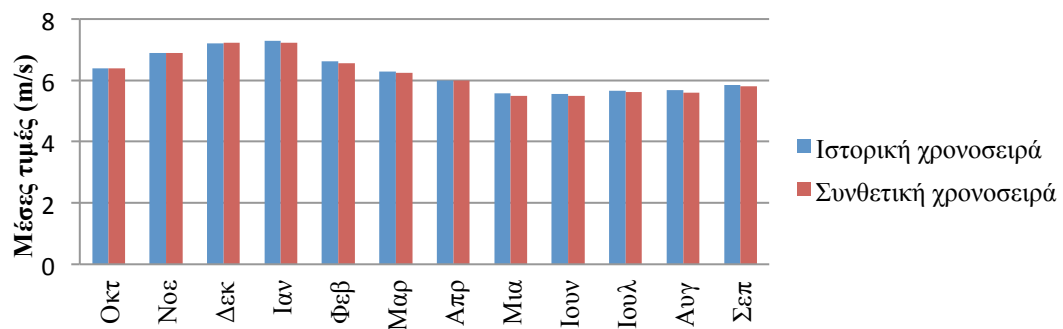


Σχήμα Γ.177 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.

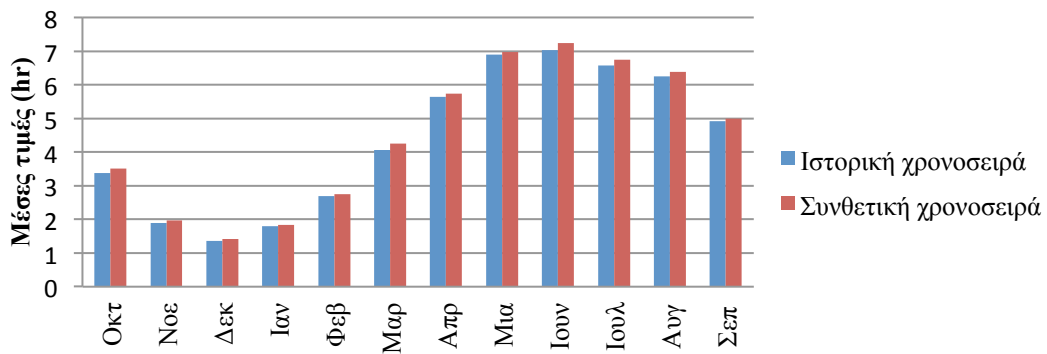


Σχήμα Γ.178 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.

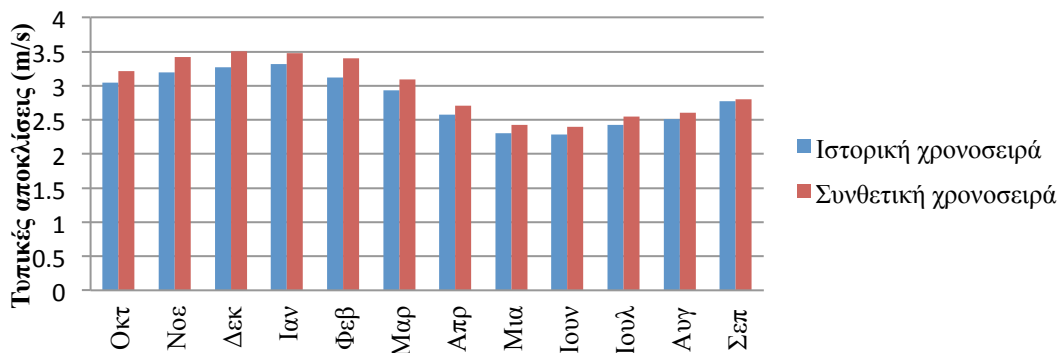
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ημερήσιας κλίμακας



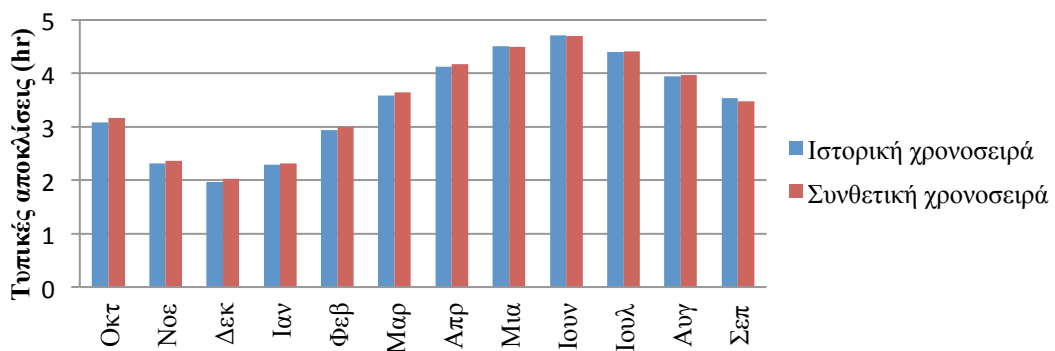
Σχήμα Γ.179 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Vlissingen.



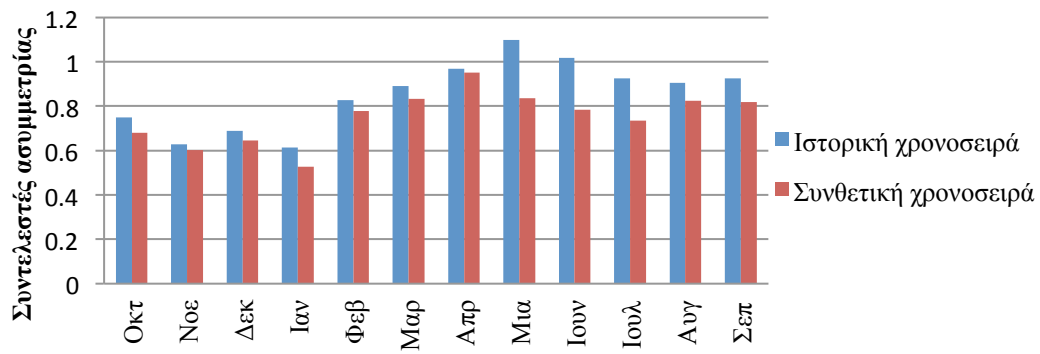
Σχήμα Γ.180 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.



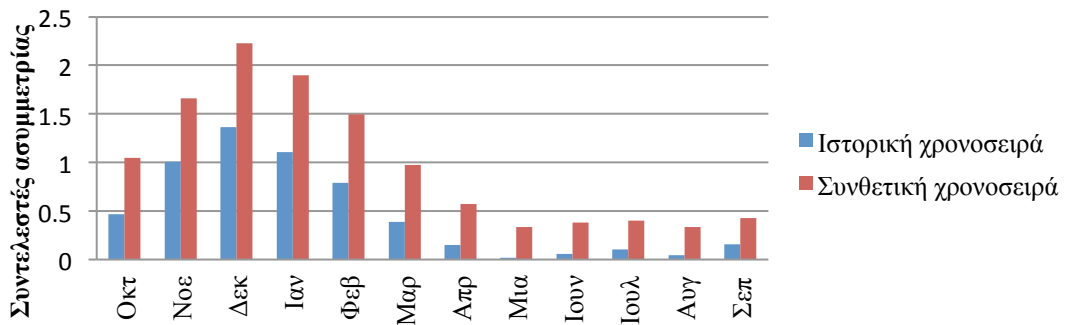
Σχήμα Γ.181 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Vlissingen.



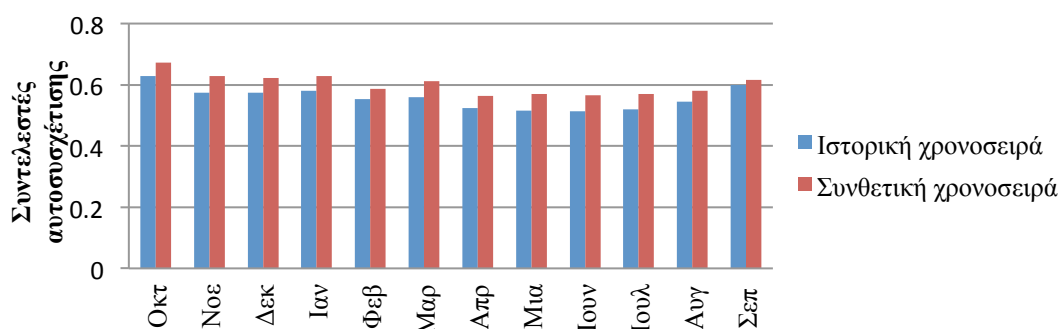
Σχήμα Γ.182 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.



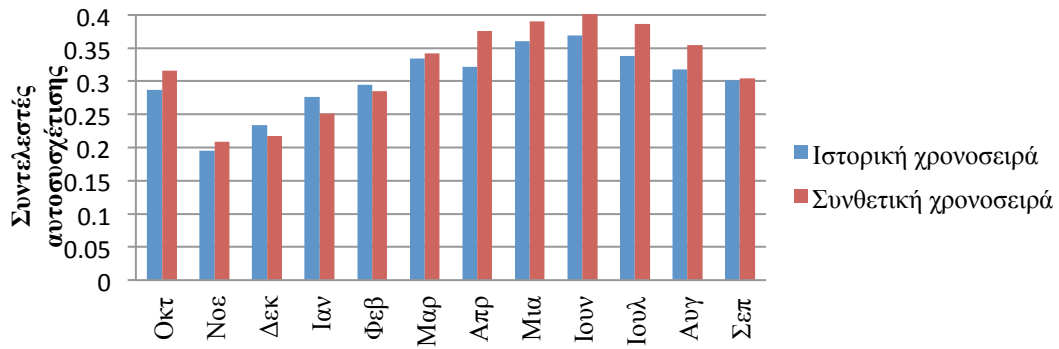
Σχήμα Γ.183 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Vlissingen.



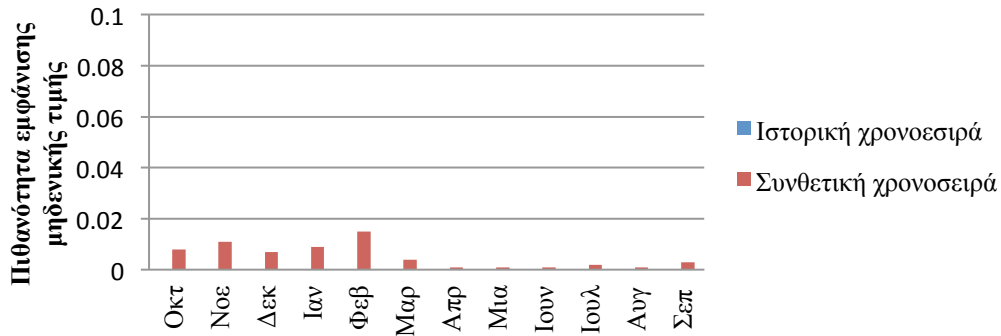
Σχήμα Γ.184 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.



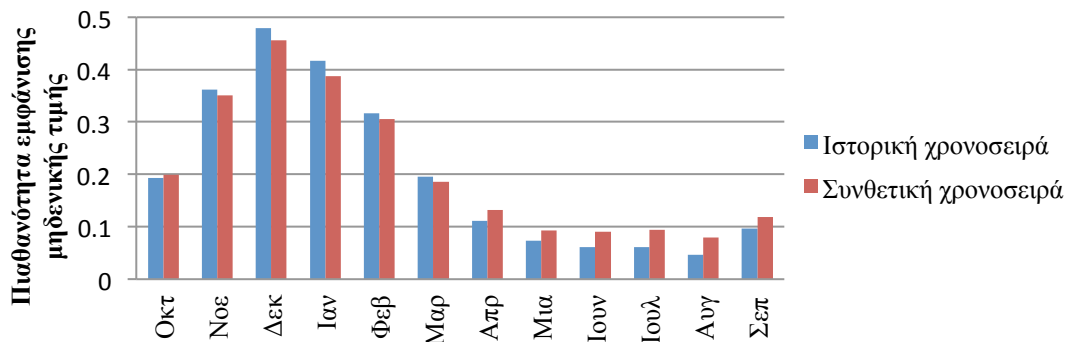
Σχήμα Γ.185 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Vlissingen.



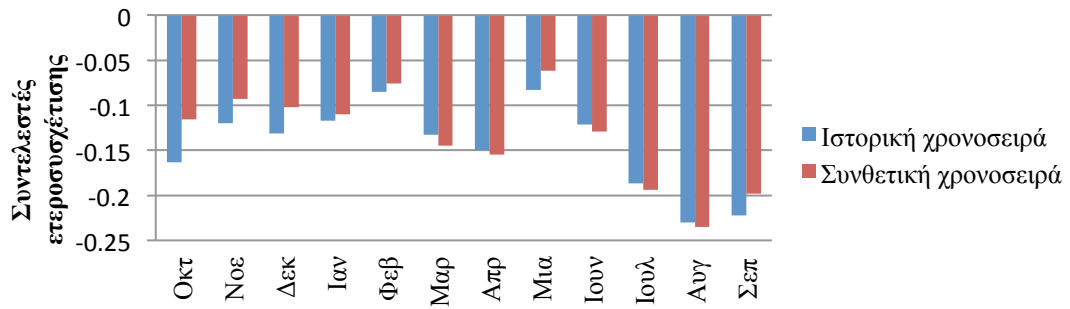
Σχήμα Γ.186 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.



Σχήμα Γ.187 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Vlissingen.



Σχήμα Γ.188 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.



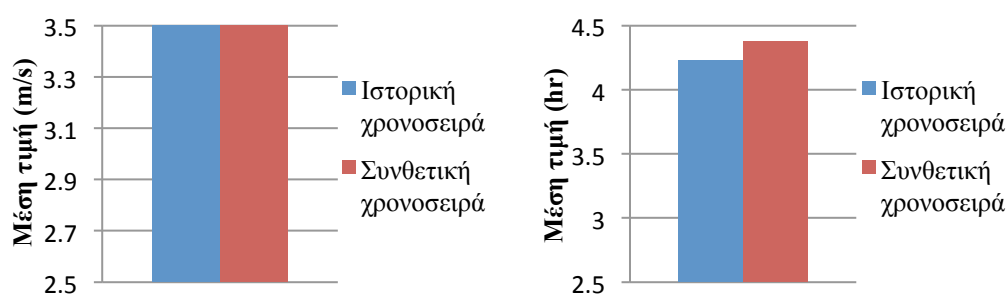
Σχήμα Γ.189 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.

## Παράρτημα Δ – Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών υπόλοιπων μετρητικών σταθμών-2<sup>η</sup> Εφαρμογή

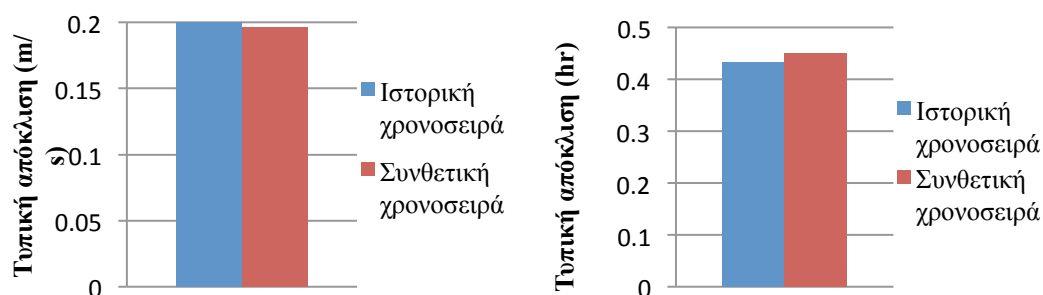
Στα σχήματα που ακολουθούν γίνεται σύγκριση των στατιστικών χαρακτηριστικών των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών στην ετήσια, τη μηνιαία και την ημερήσια κλίμακα, και απεικονίζονται οι τιμές των συντελεστών Hurst για τις δύο μεταβλητές στους υπόλοιπους επτά μετρητικούς σταθμούς για την 2<sup>η</sup> Εφαρμογή.

### 1. Σταθμός De Bilt

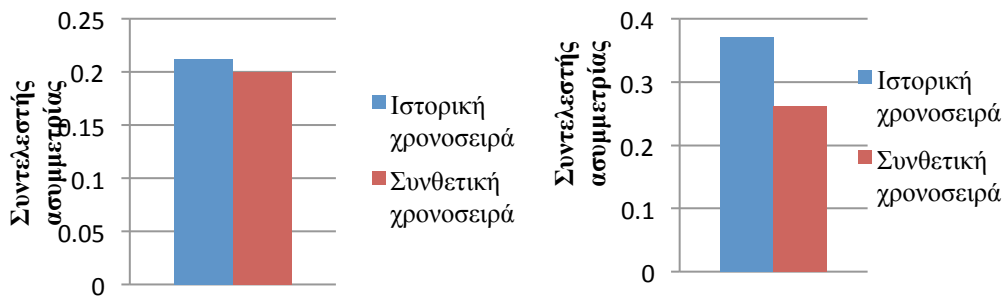
#### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ετήσιας κλίμακας



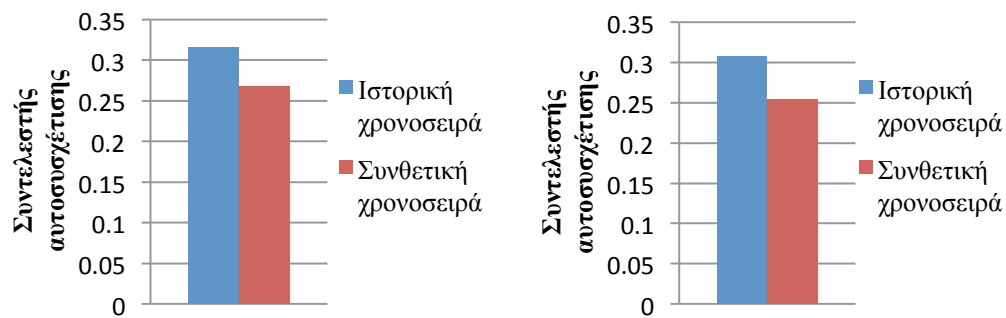
Σχήμα Δ.1 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας μέσης τιμής του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



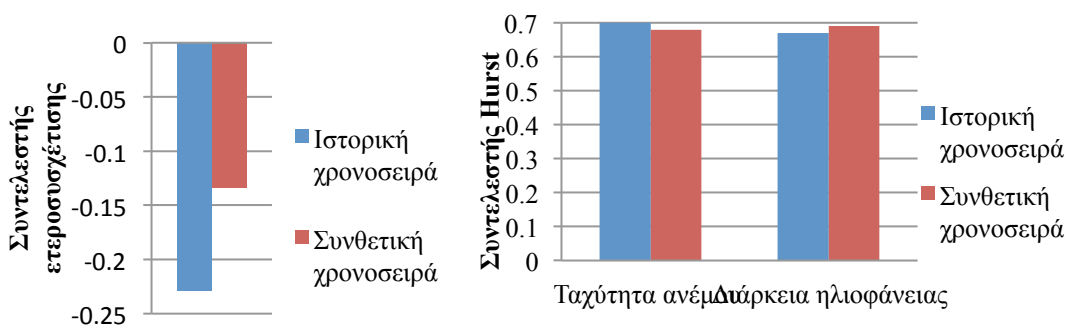
Σχήμα Δ.2 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας τυπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



Σχήμα Δ.3 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.

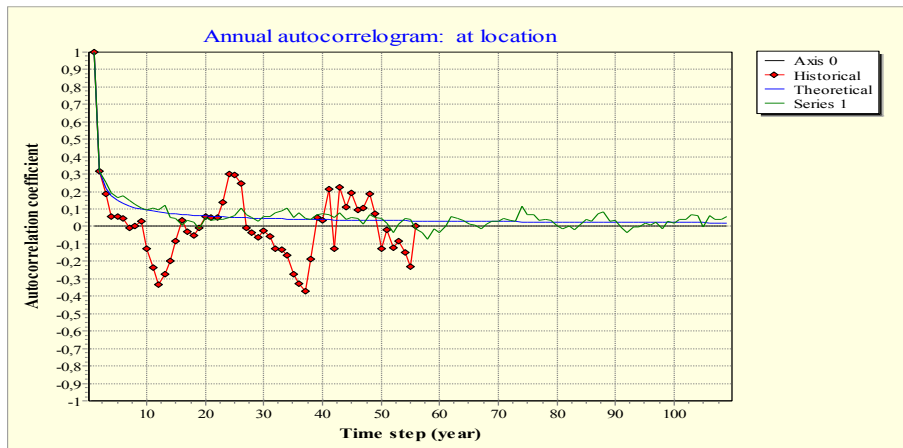


Σχήμα Δ.4 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.

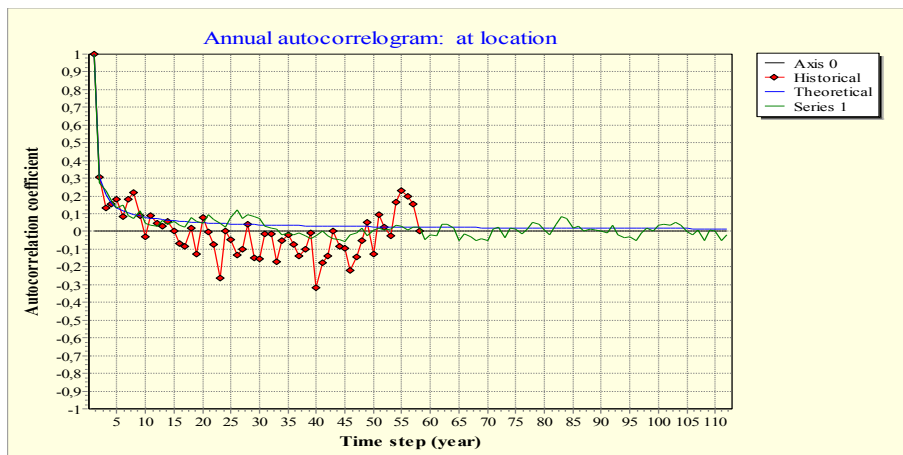


Σχήμα Δ.5 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου δειγματικού και συνθετικού συντελεστή ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας και τιμές του συντελεστή Hurst των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών των δύο μεταβλητών για τον σταθμό De Bilt.



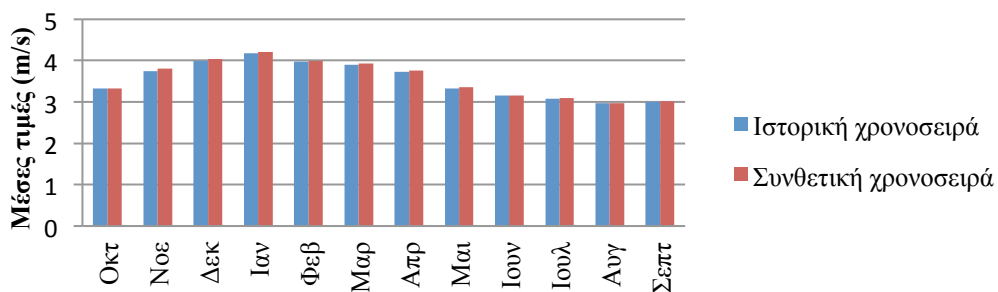


Σχήμα Δ.6 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt.

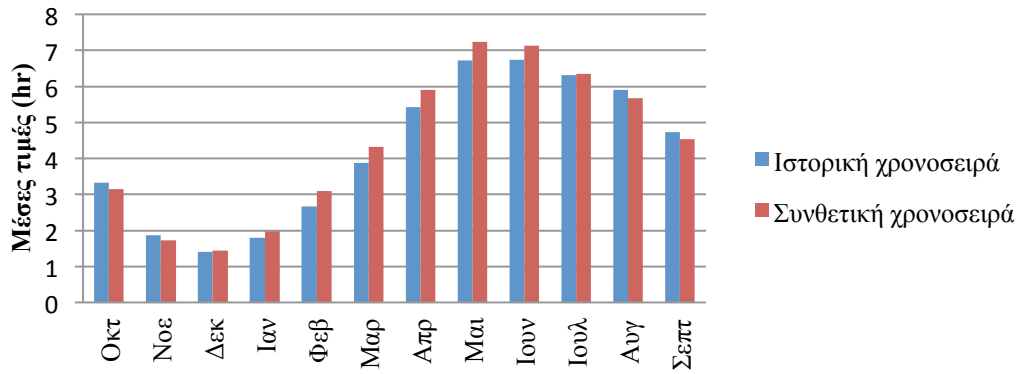


Σχήμα Δ.7 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.

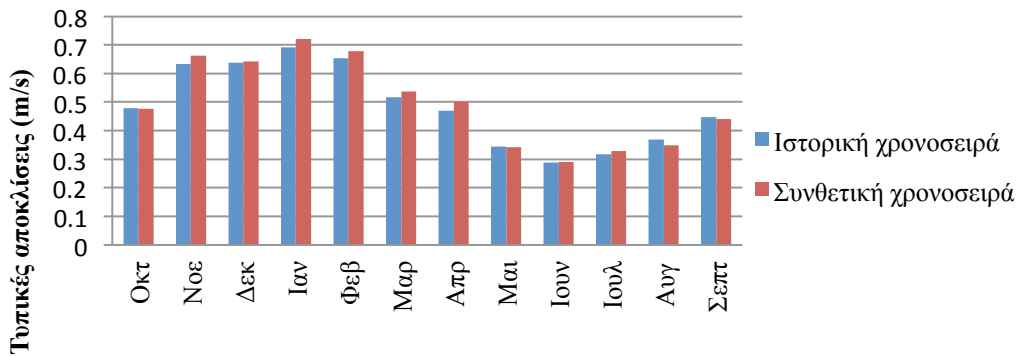
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών μηνιαίας κλίμακας



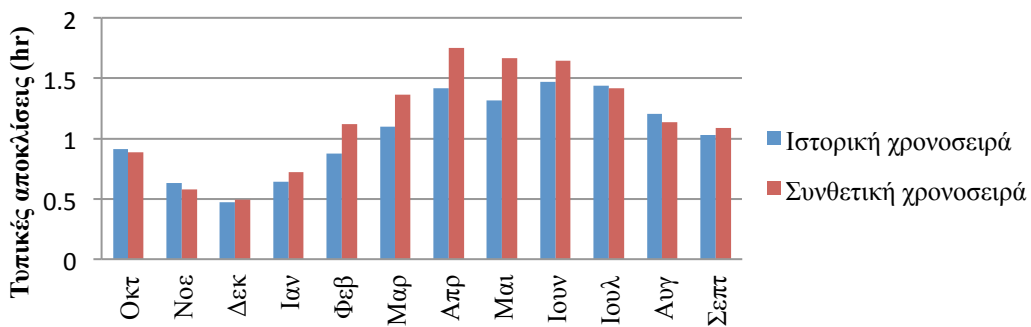
Σχήμα Δ.8 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt.



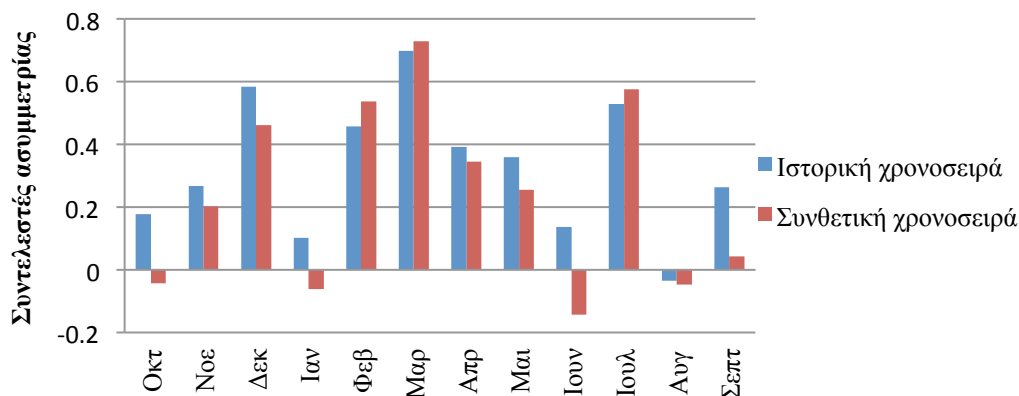
Σχήμα Δ.9 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



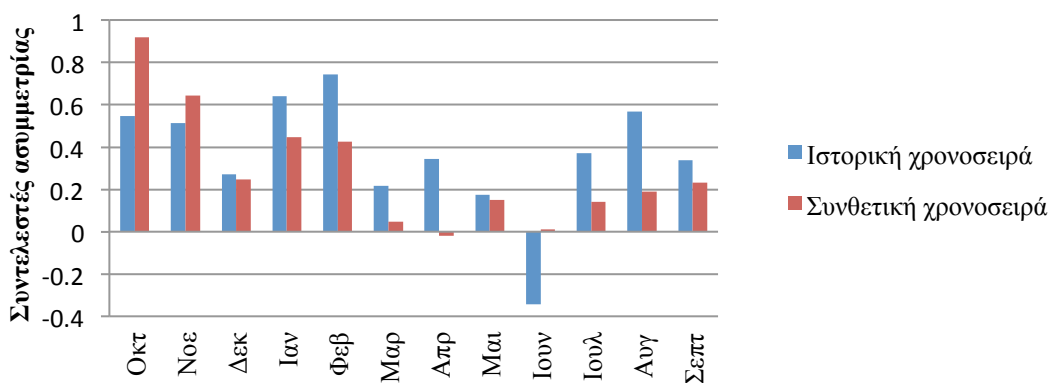
Σχήμα Δ.10 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt.



Σχήμα Δ.11 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



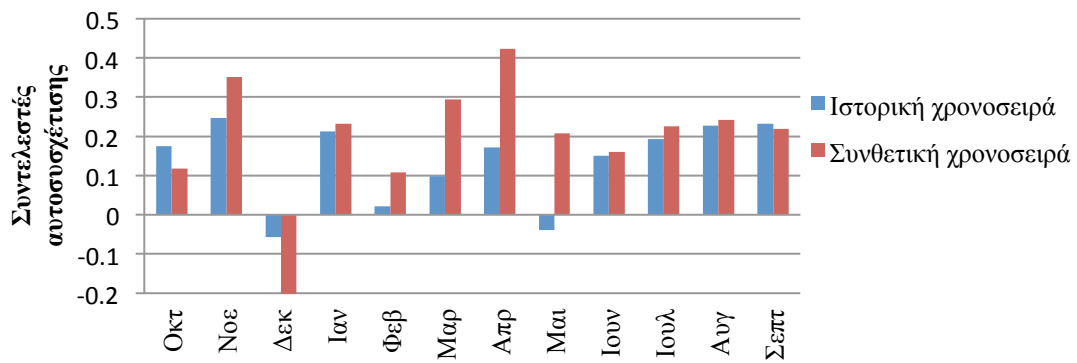
Σχήμα Δ.12 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt.



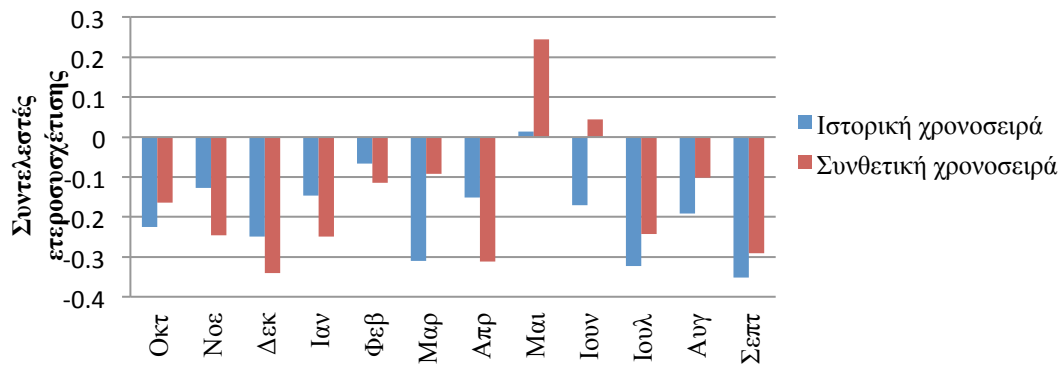
Σχήμα Δ.13 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



Σχήμα Δ.14 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt.



Σχήμα Δ.15 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.

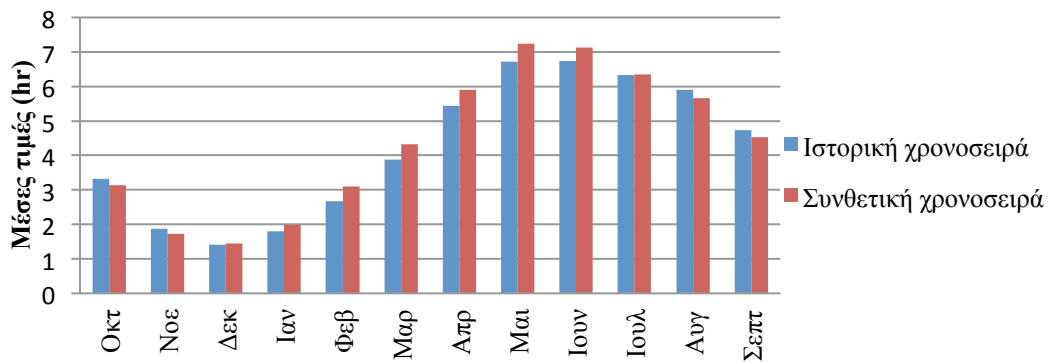


Σχήμα Δ.16 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.

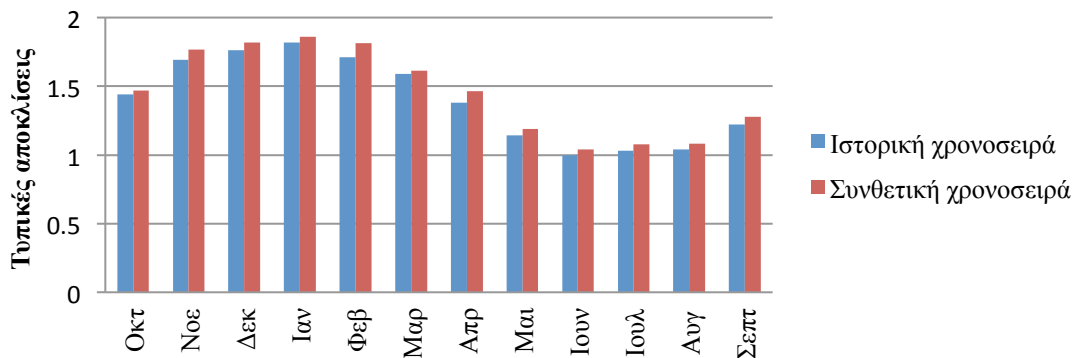
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ημερήσιας κλίμακας



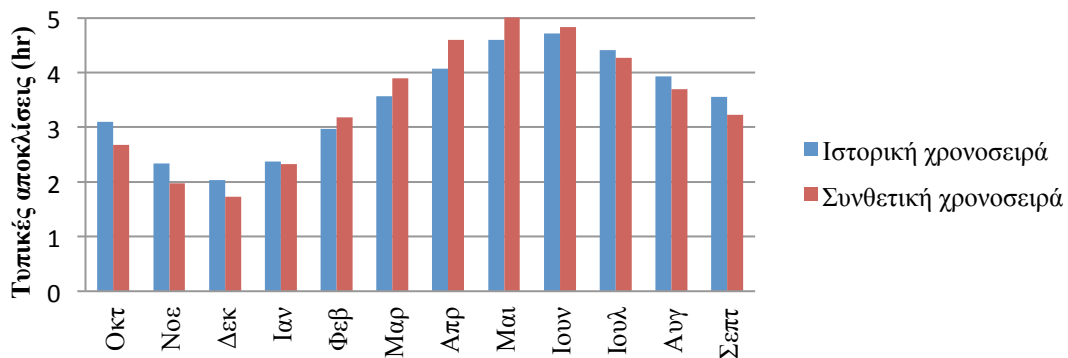
Σχήμα Δ.17 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt.



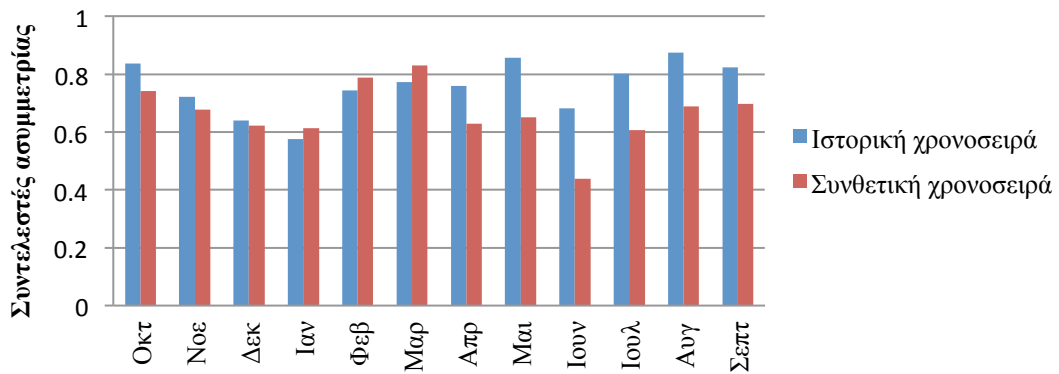
Σχήμα Δ.18 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



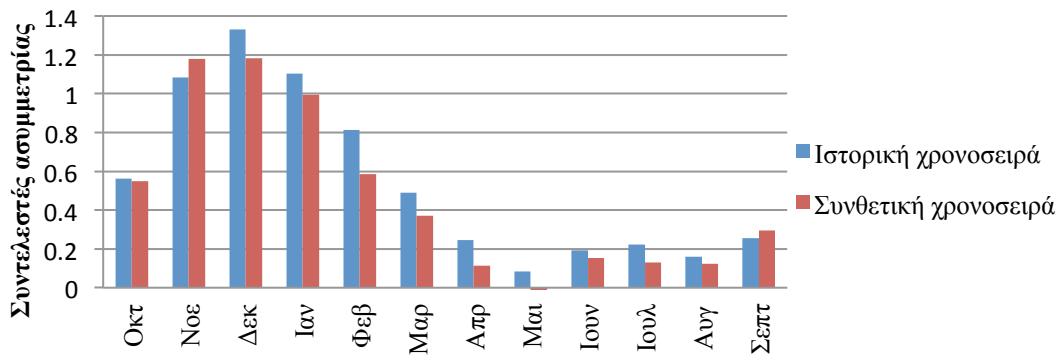
Σχήμα Δ.19 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt.



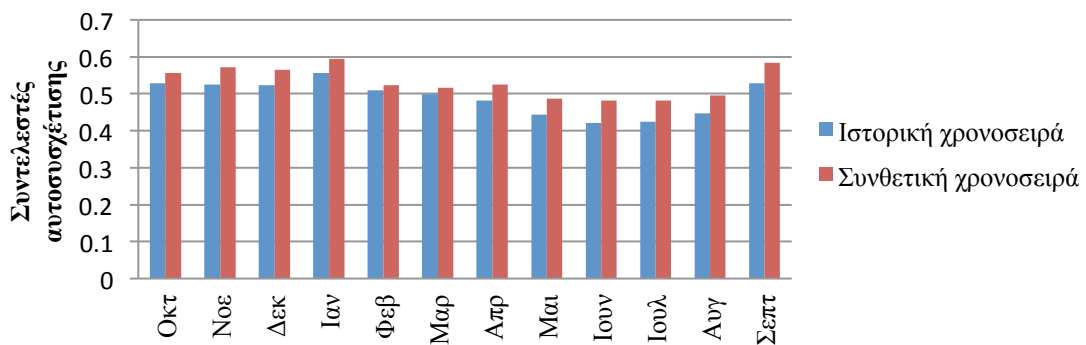
Σχήμα Δ.20 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



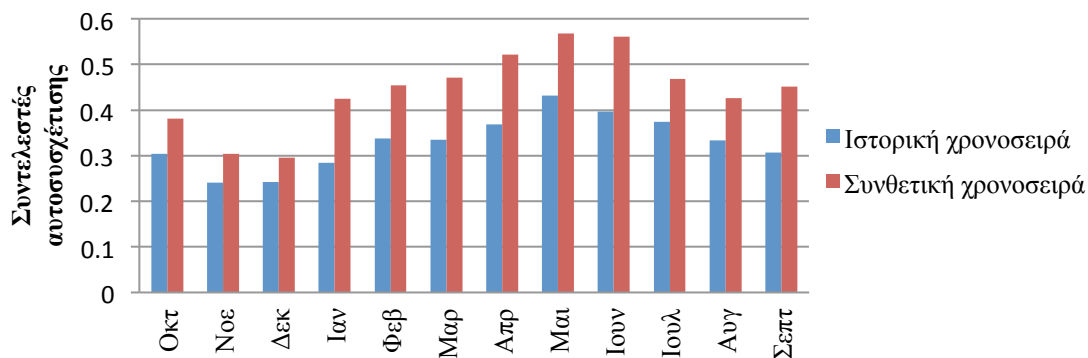
Σχήμα Δ.21 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt.



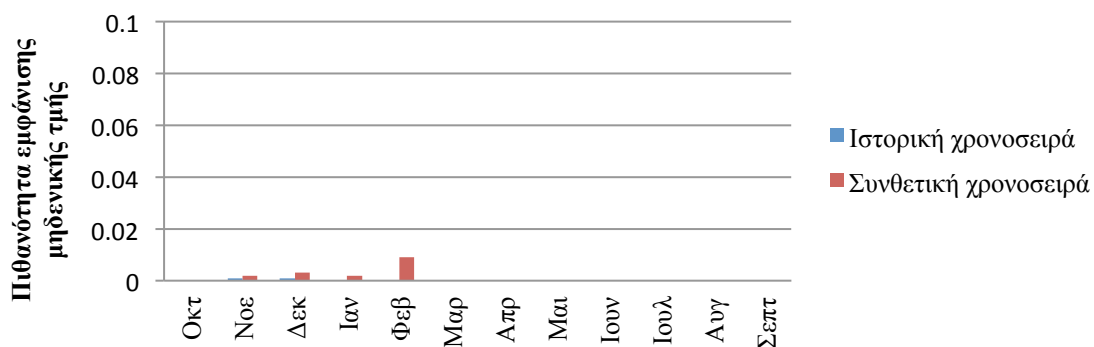
Σχήμα Δ.22 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



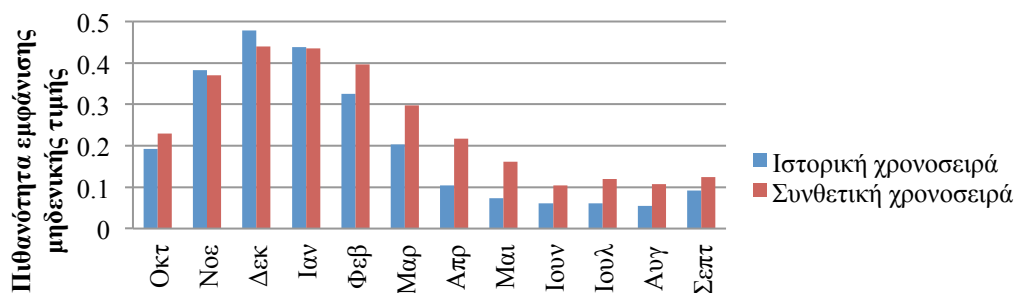
Σχήμα Δ.23 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt.



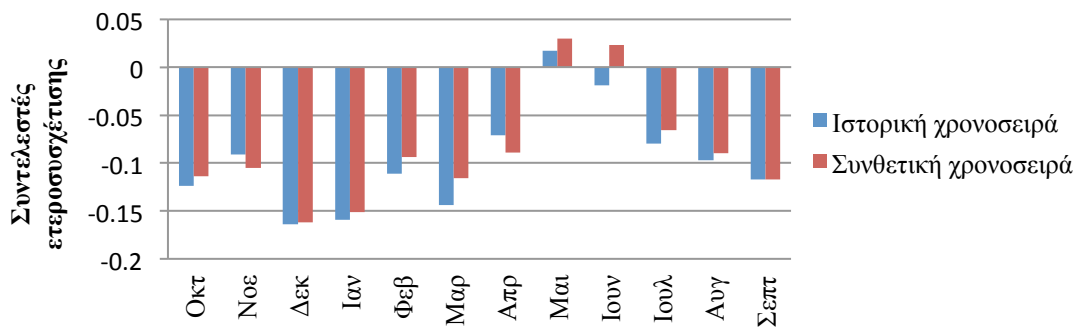
Σχήμα Δ.24 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



Σχήμα Δ.25 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Bilt.



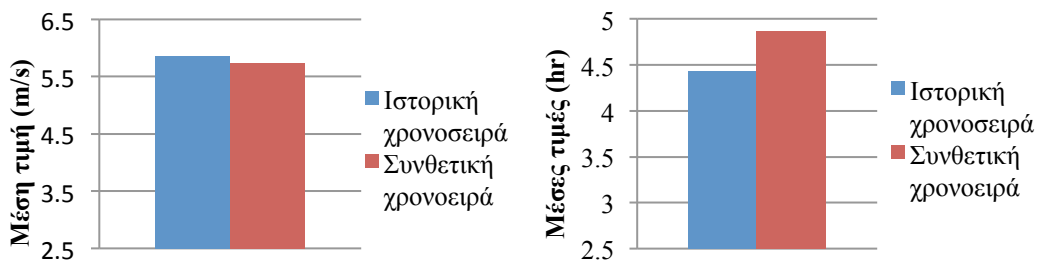
Σχήμα Δ.26 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.



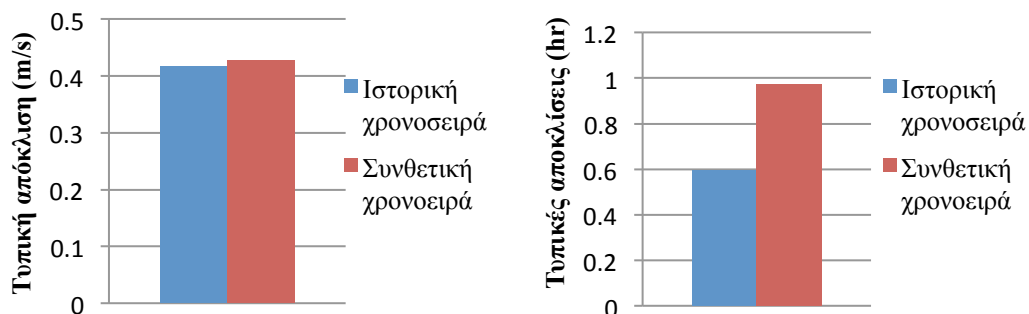
Σχήμα Δ.27 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Bilt.

## 2.Σταθμός De Kooy

### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ετήσιας κλίμακας

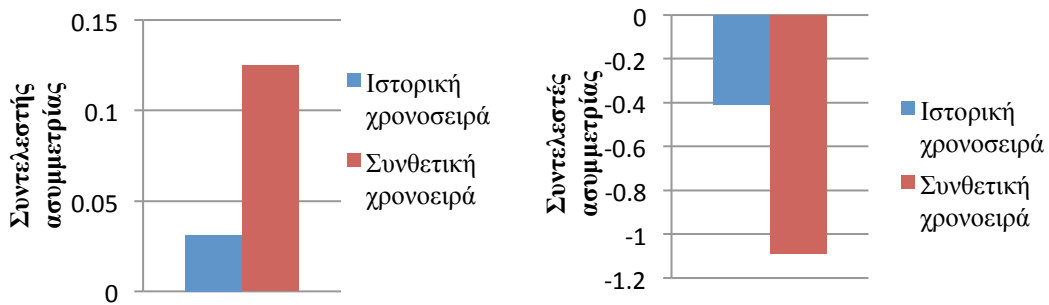


Σχήμα Δ.28 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας μέσης τιμής του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.

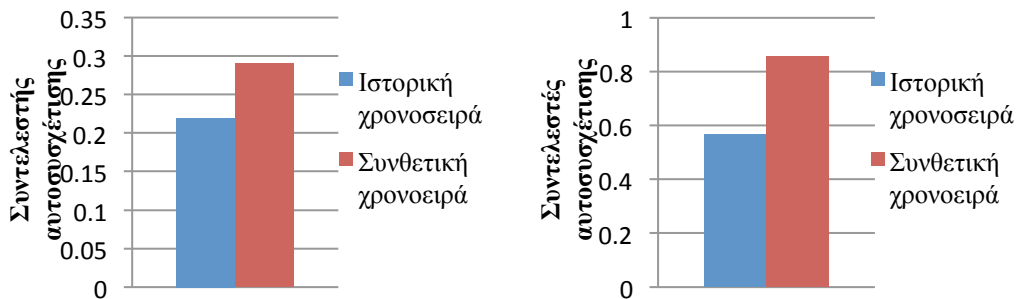


Σχήμα Δ.29 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας τυπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.

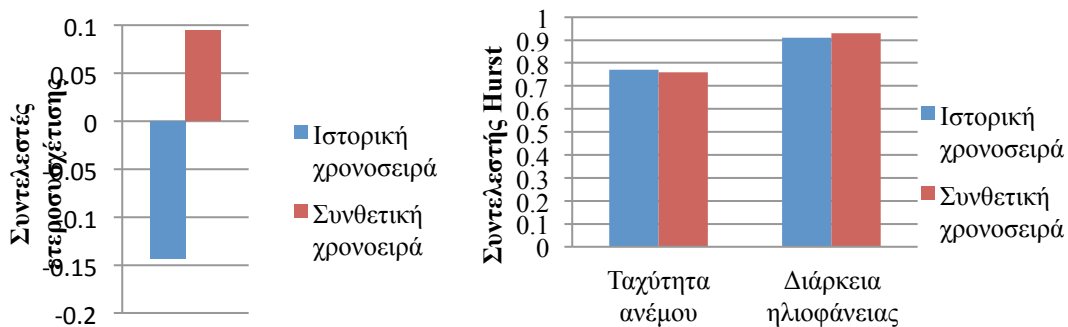




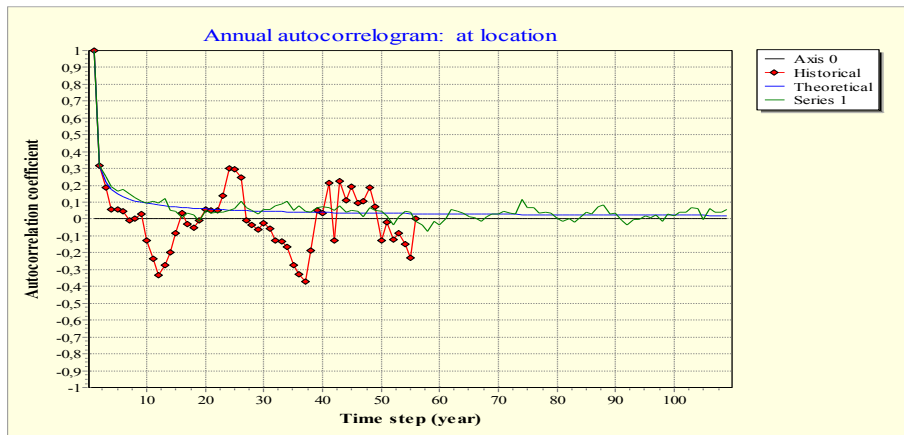
Σχήμα Δ.30 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.



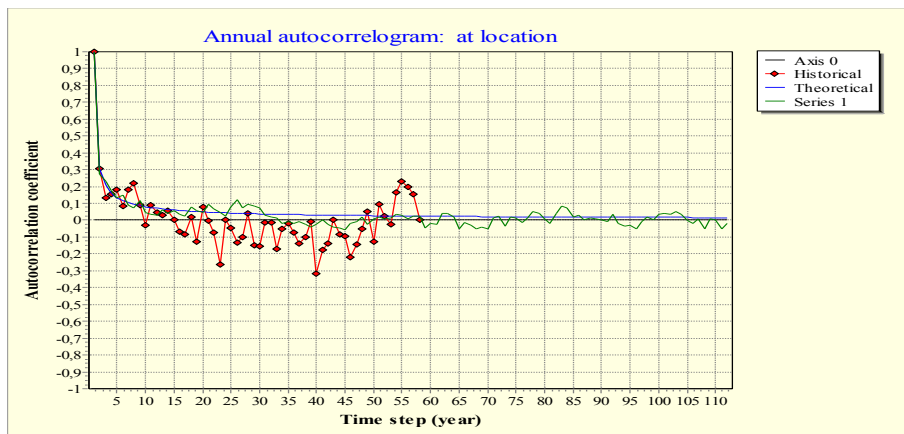
Σχήμα Δ.31 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.



Σχήμα Δ.32 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου δειγματικού και συνθετικού συντελεστή ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας και τιμές του συντελεστή Hurst των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών των δύο μεταβλητών για τον σταθμό De Kooy.

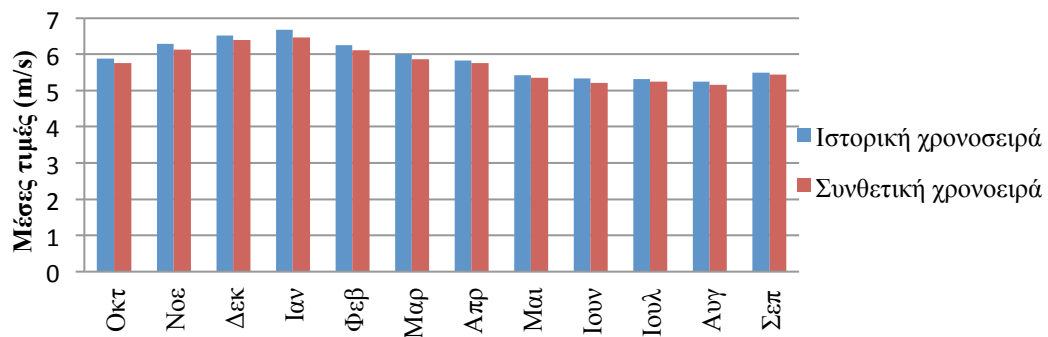


Σχήμα Δ.33 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.

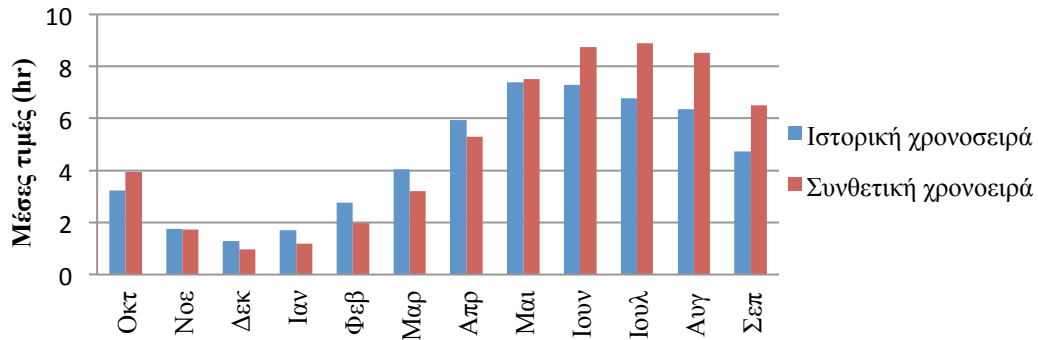


Σχήμα Δ.34 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.

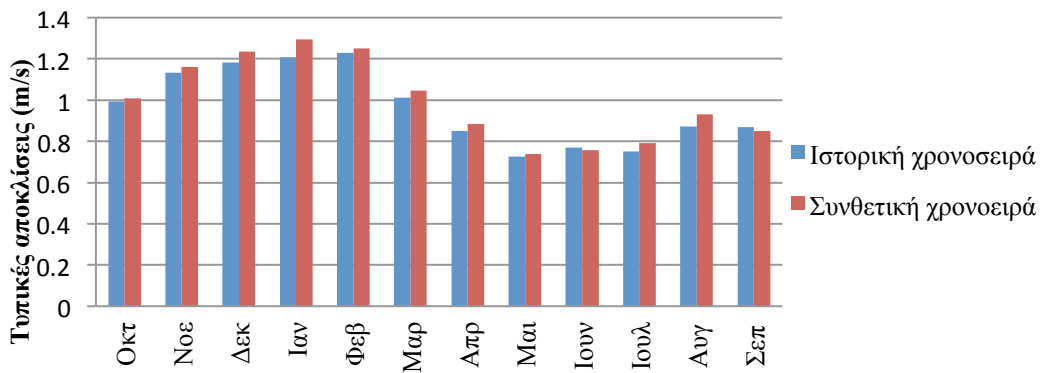
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών μηνιαίας κλίμακας



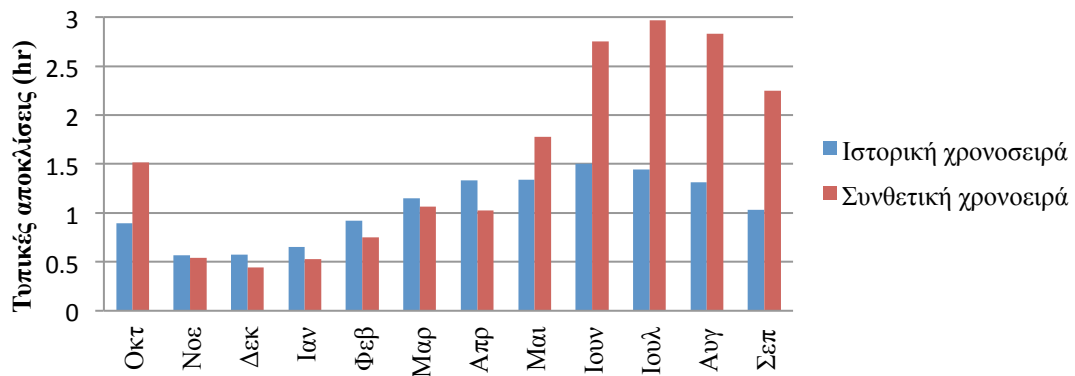
Σχήμα Δ.35 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.



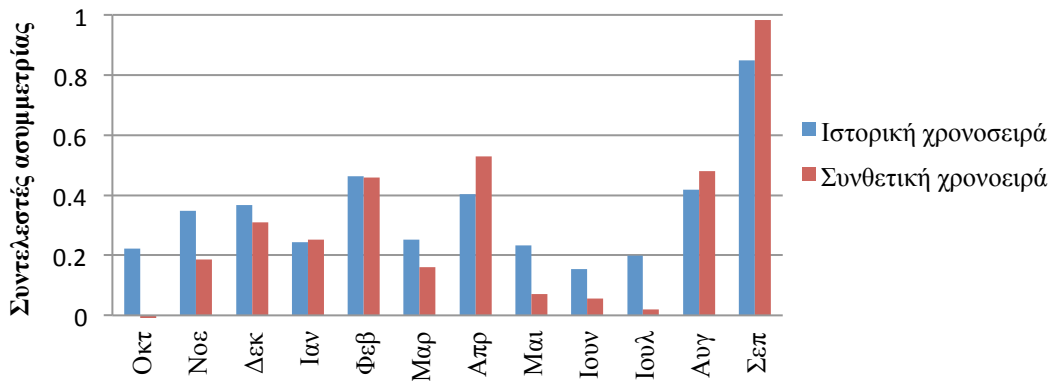
Σχήμα Δ.36 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.



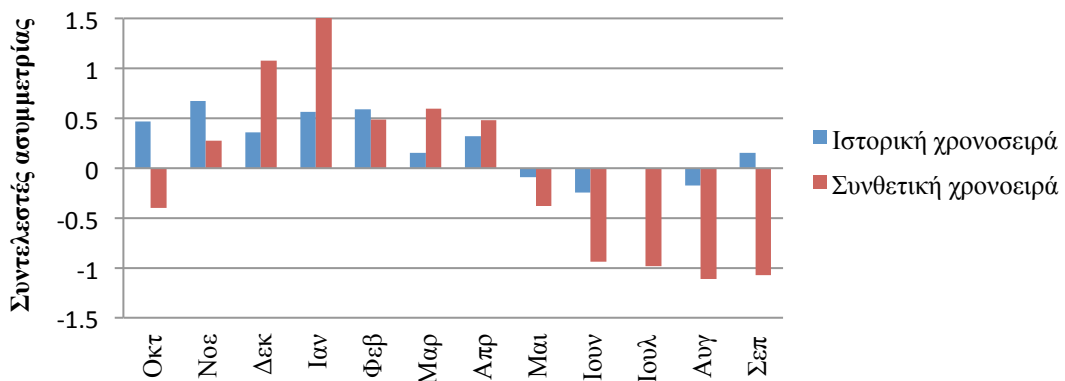
Σχήμα Δ.37 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.



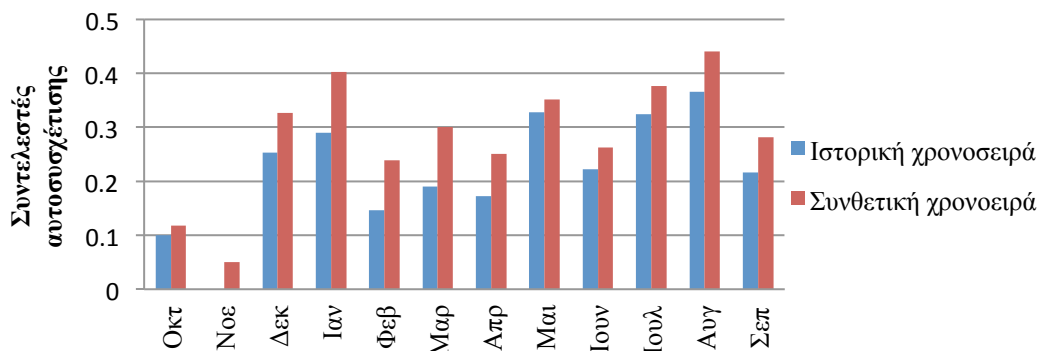
Σχήμα Δ.38 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.



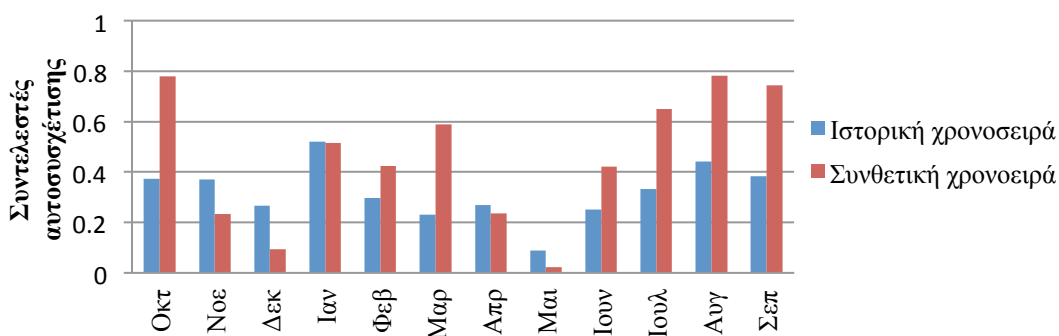
Σχήμα Δ.39 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.



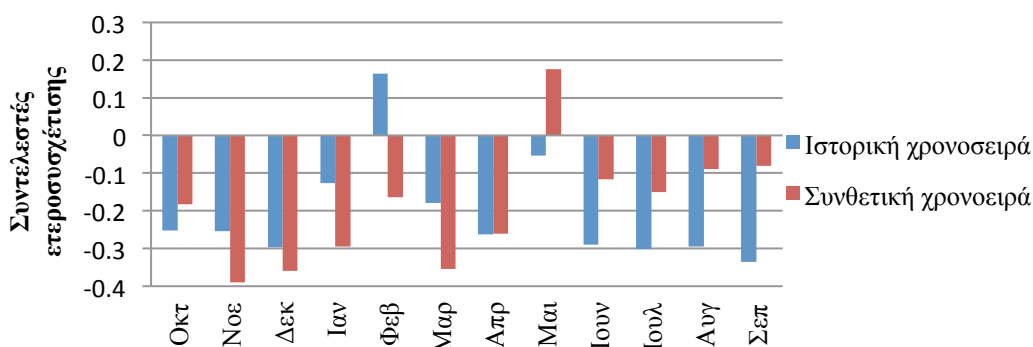
Σχήμα Δ.40 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.



Σχήμα Δ.41 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.

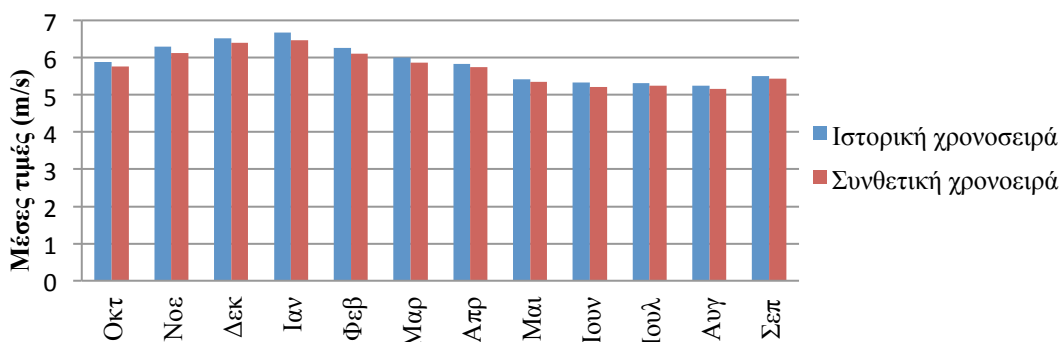


Σχήμα Δ.42 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.

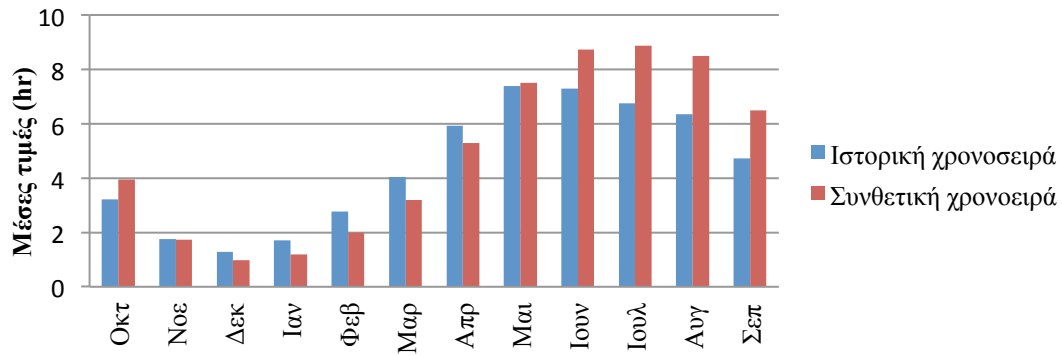


Σχήμα Δ.43 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.

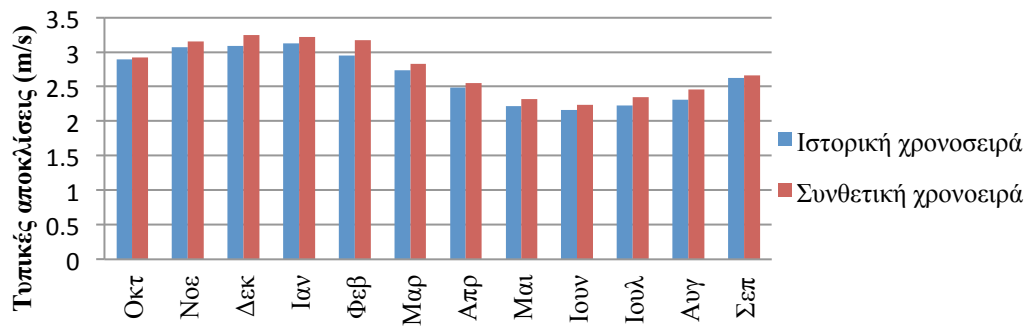
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ημερήσιας κλίμακας



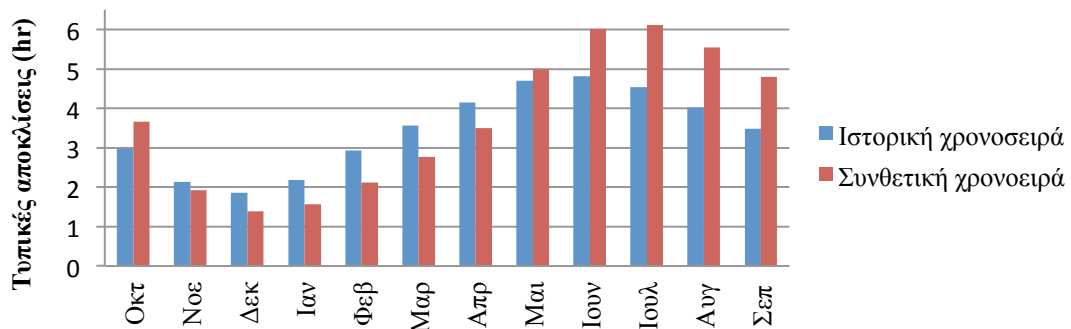
Σχήμα Δ.44 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.



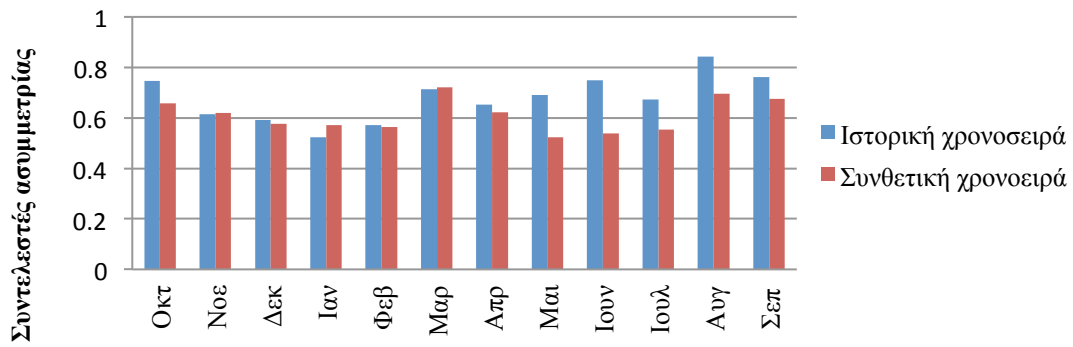
Σχήμα Δ.45 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.



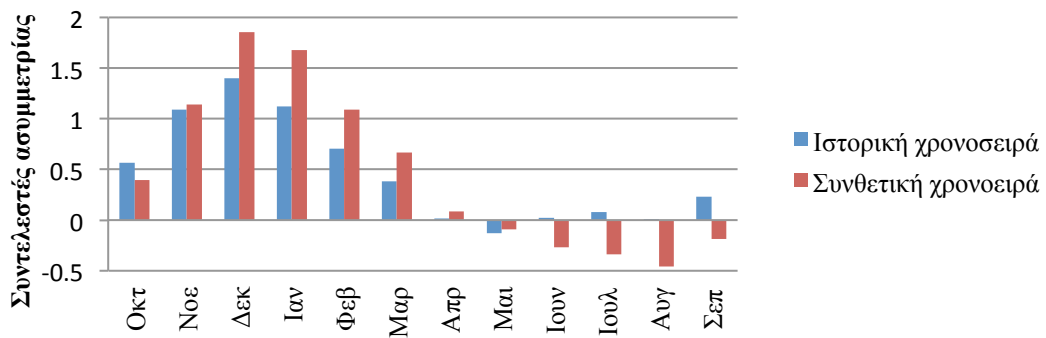
Σχήμα Δ.46 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.



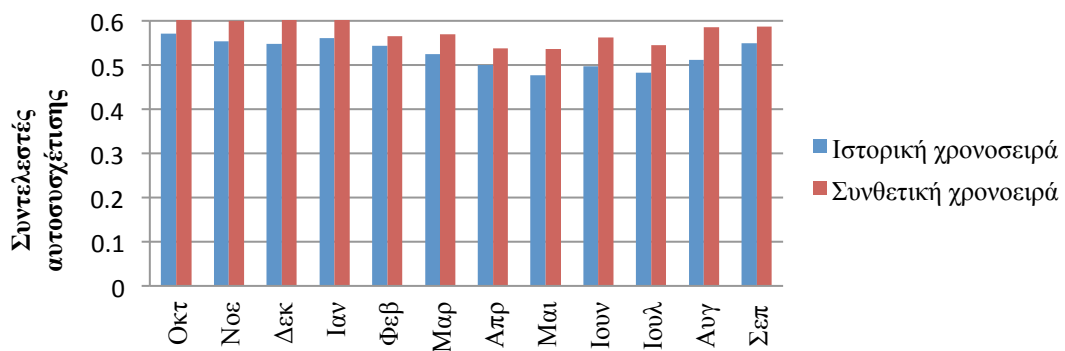
Σχήμα Δ.47 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.



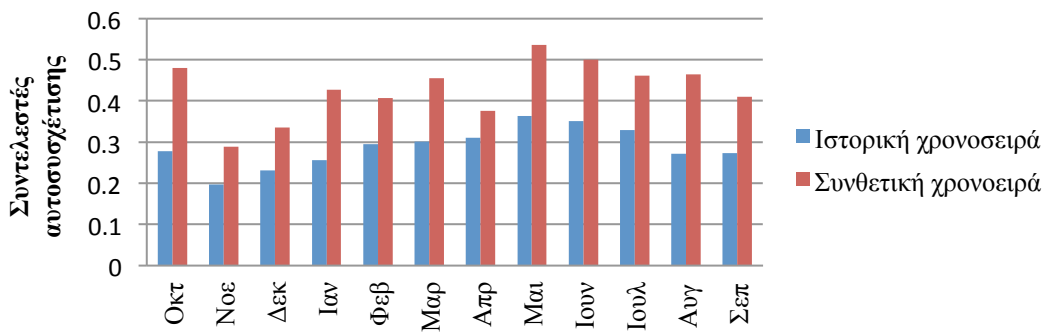
Σχήμα Δ.48 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.



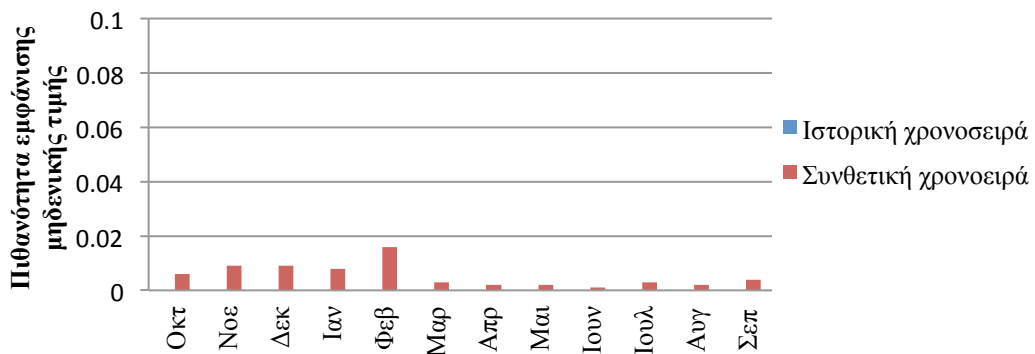
Σχήμα Δ.49 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.



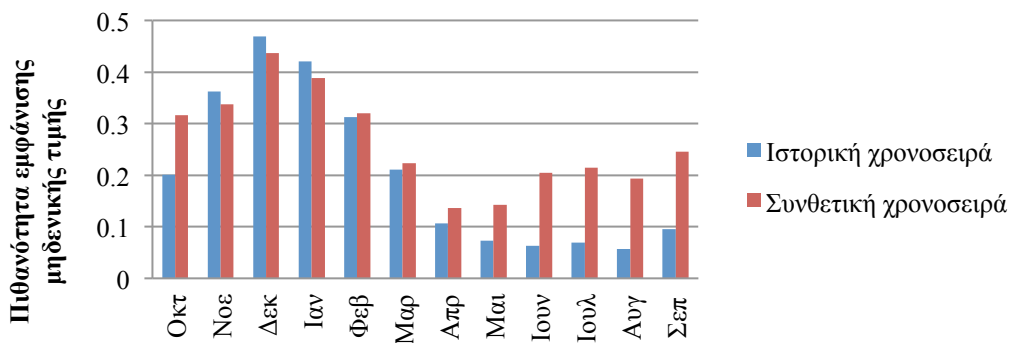
Σχήμα Δ.50 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.



Σχήμα Δ.51 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.

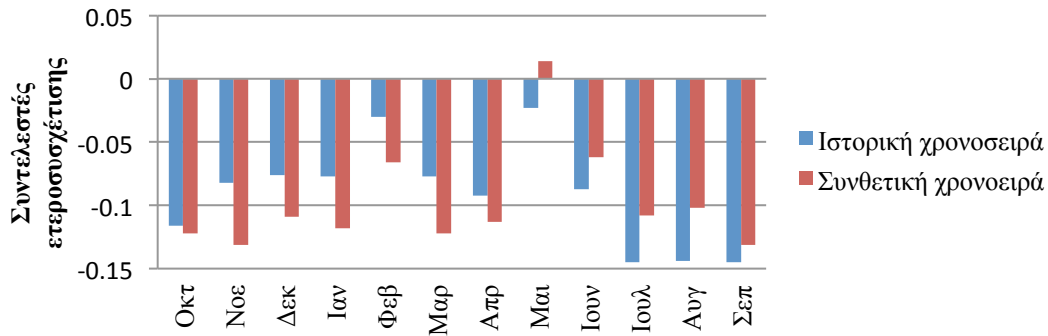


Σχήμα Δ.52 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό De Kooy.



Σχήμα Δ.53 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.

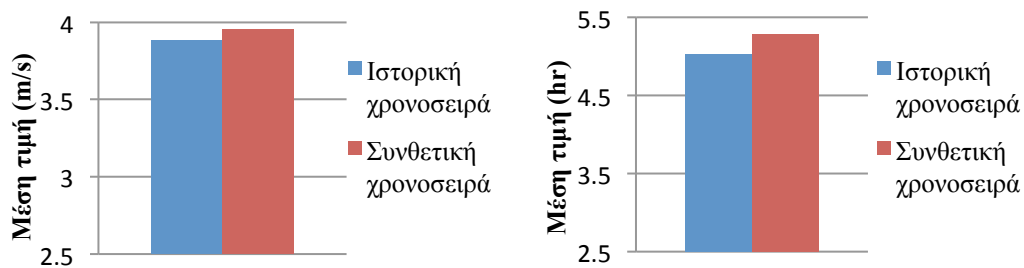




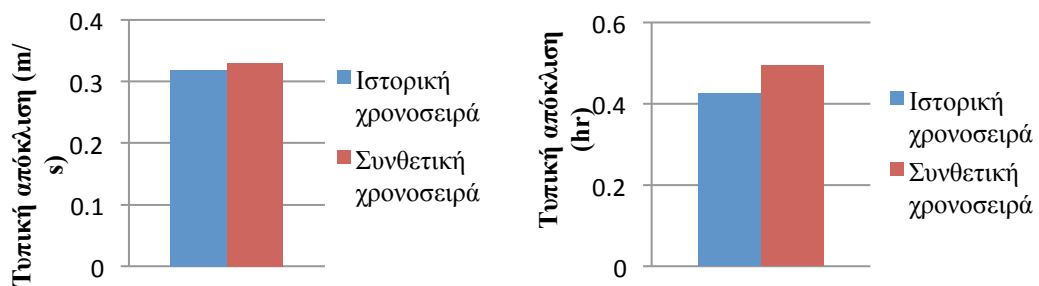
Σχήμα Δ.54 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό De Kooy.

### 3.Σταθμός Hohenpeissenberg

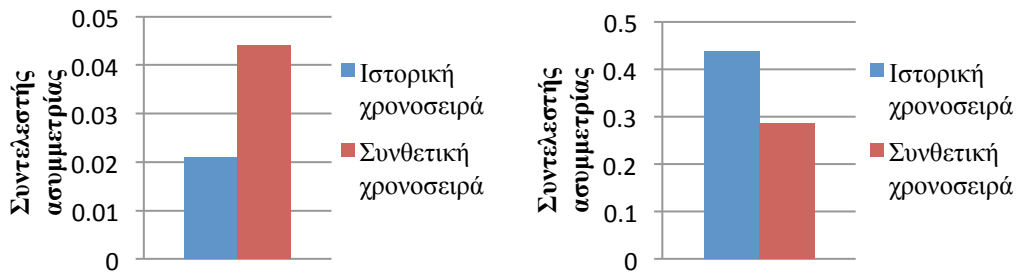
#### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ετήσιας κλίμακας



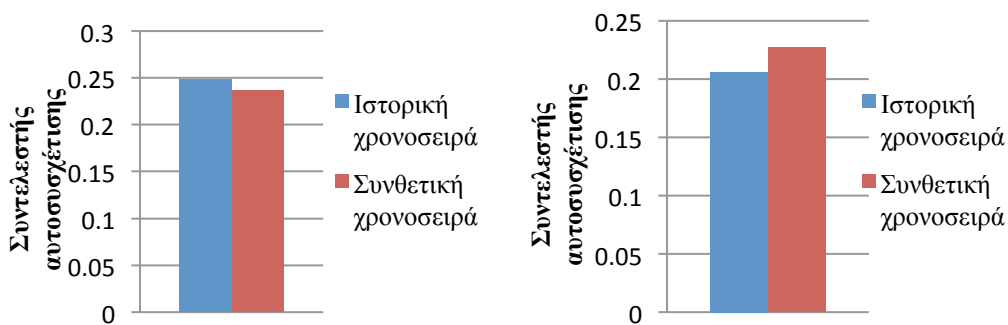
Σχήμα Δ.55 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας μέσης τιμής του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



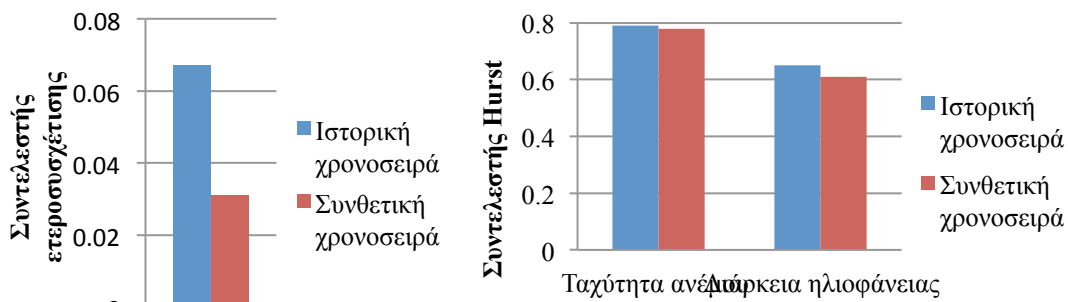
Σχήμα Δ.56 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας τυπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



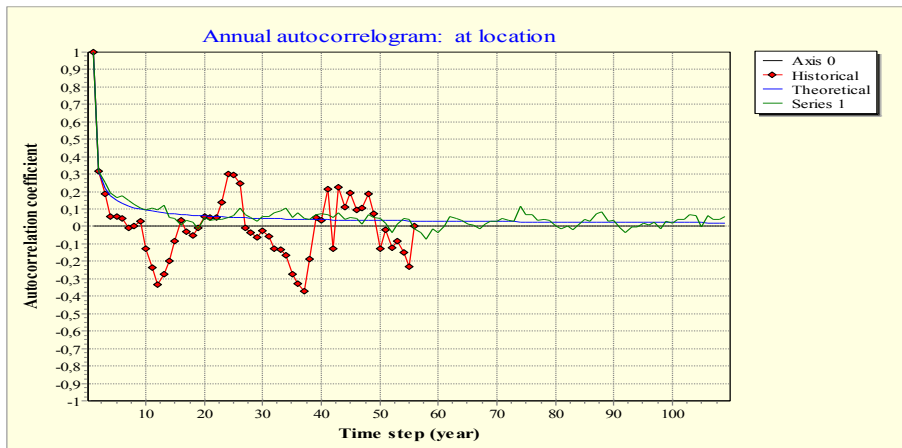
Σχήμα Δ.57 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



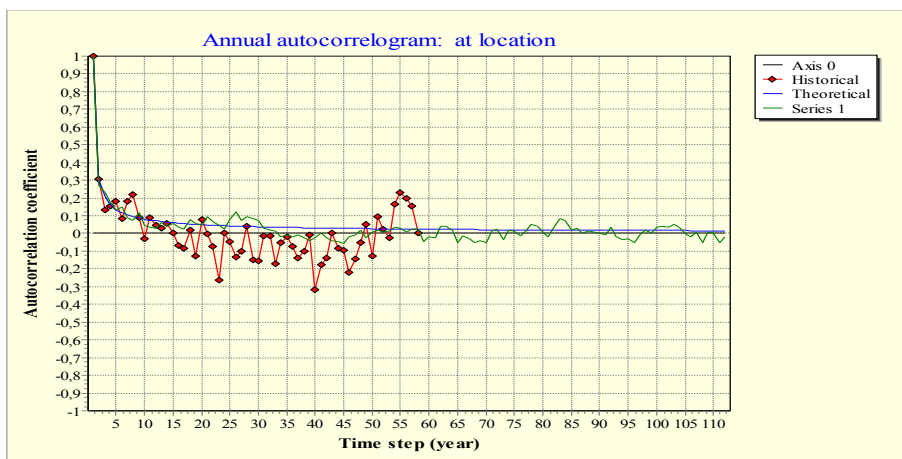
Σχήμα Δ.58 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



Σχήμα Δ.59 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου δειγματικού και συνθετικού συντελεστή ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας και τιμές του συντελεστή Hurst των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών των δύο μεταβλητών για τον σταθμό Hohenpeissenberg.

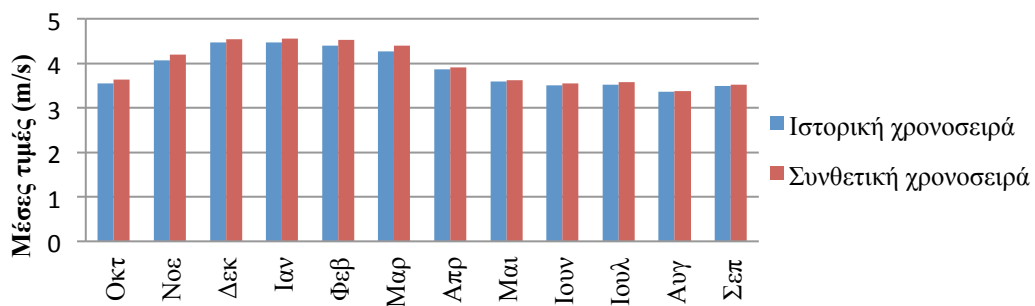


Σχήμα Δ.60 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.

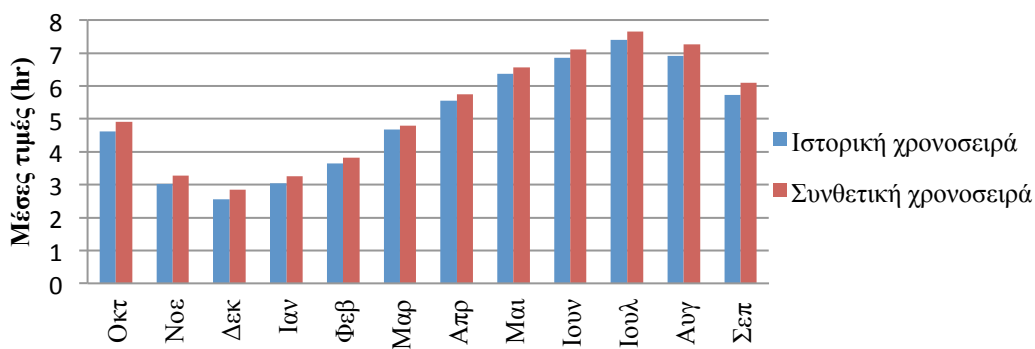


Σχήμα Δ.61 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.

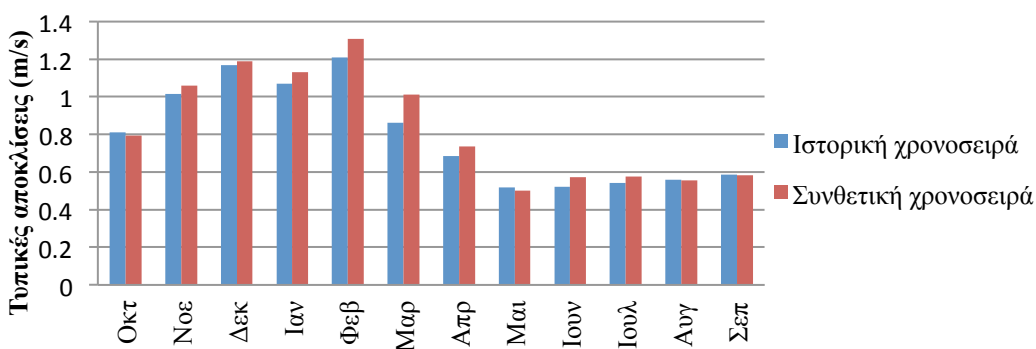
**Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών μηνιαίας κλίμακας**



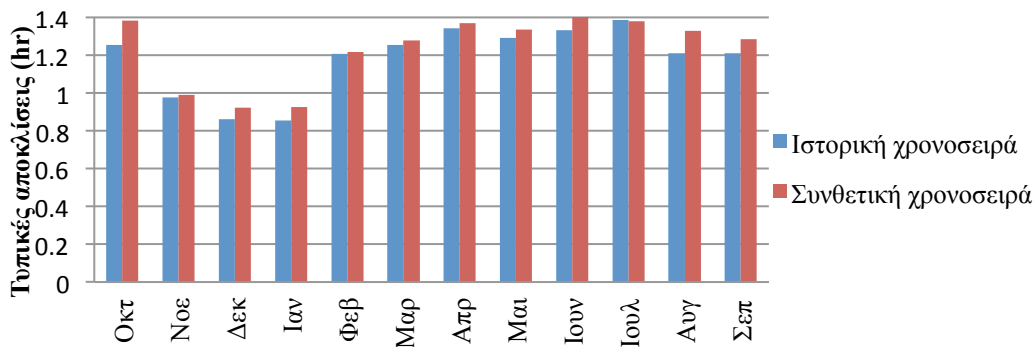
Σχήμα Δ.62 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



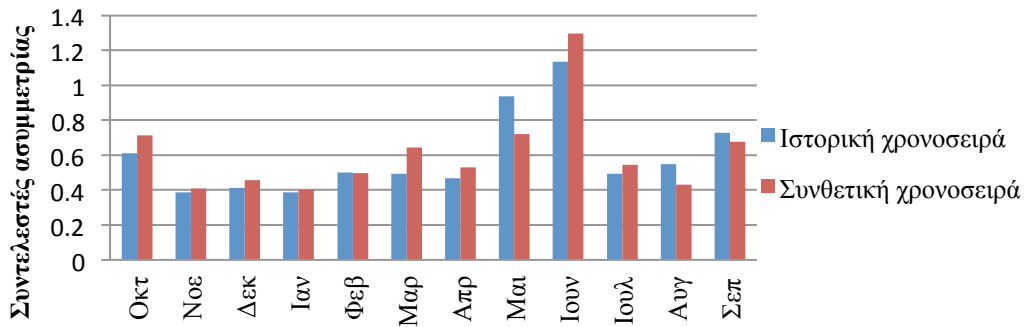
Σχήμα Δ.63 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



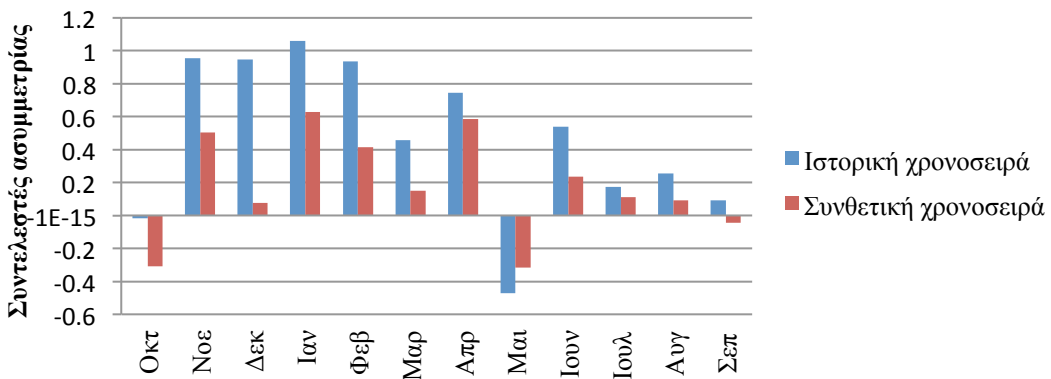
Σχήμα Δ.64 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



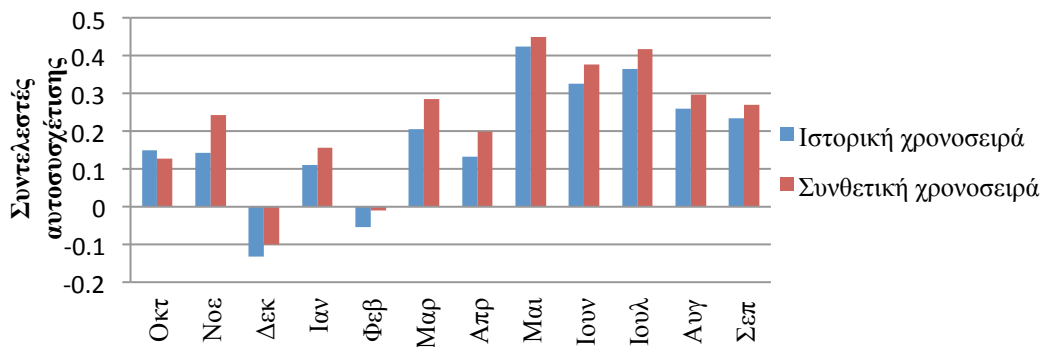
Σχήμα Δ.65 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



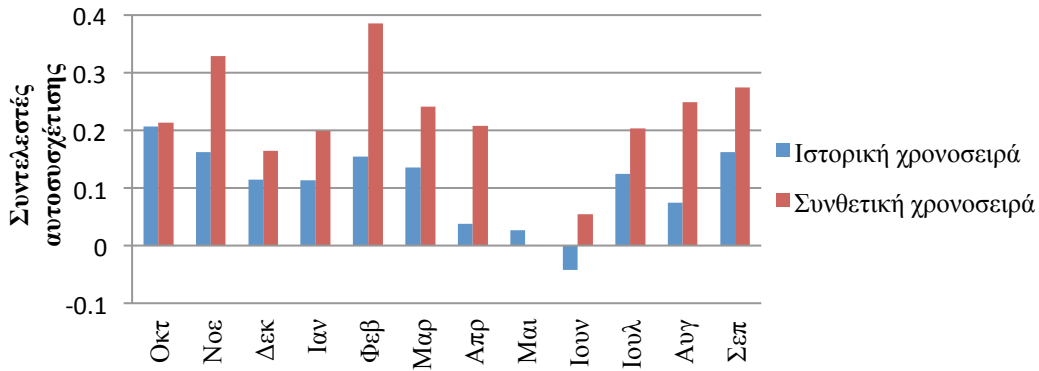
Σχήμα Δ.66 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



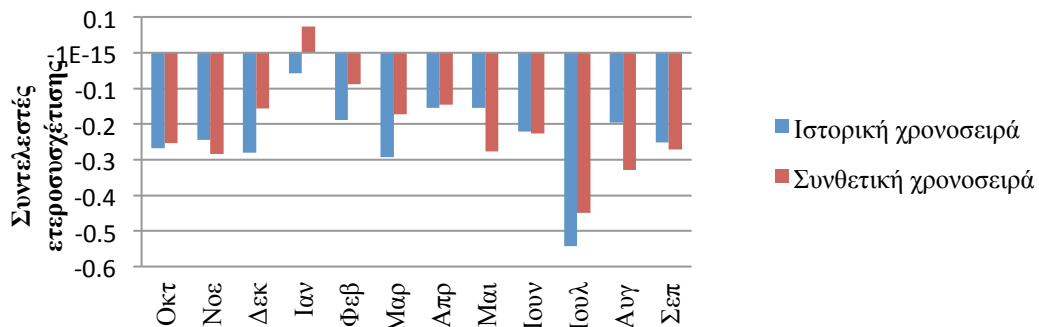
Σχήμα Δ.67 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



Σχήμα Δ.68 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.

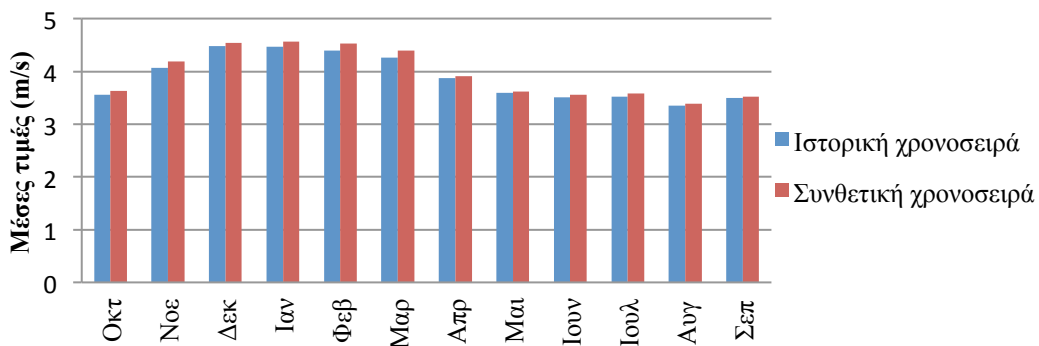


Σχήμα Δ.69 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



Σχήμα Δ.70 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.

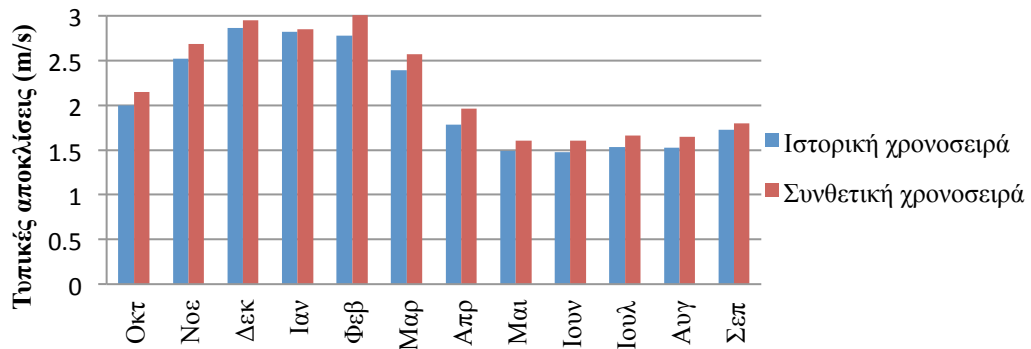
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ημερήσιας κλίμακας



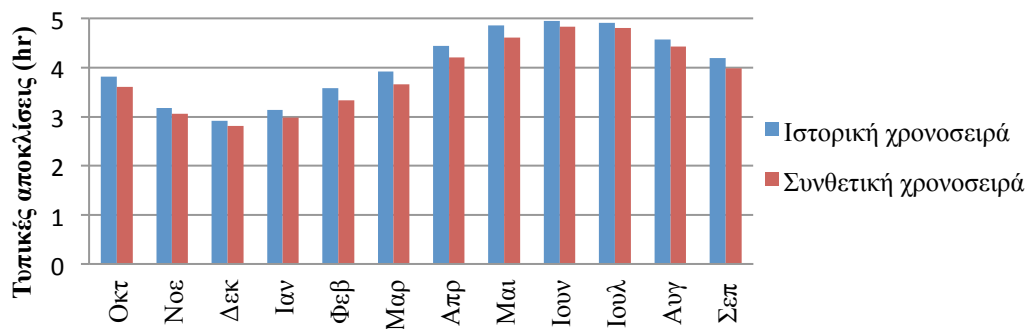
Σχήμα Δ.71 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



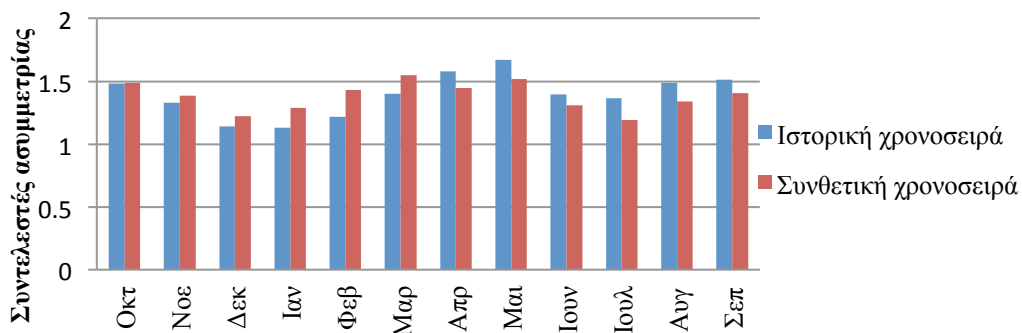
Σχήμα Δ.72 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



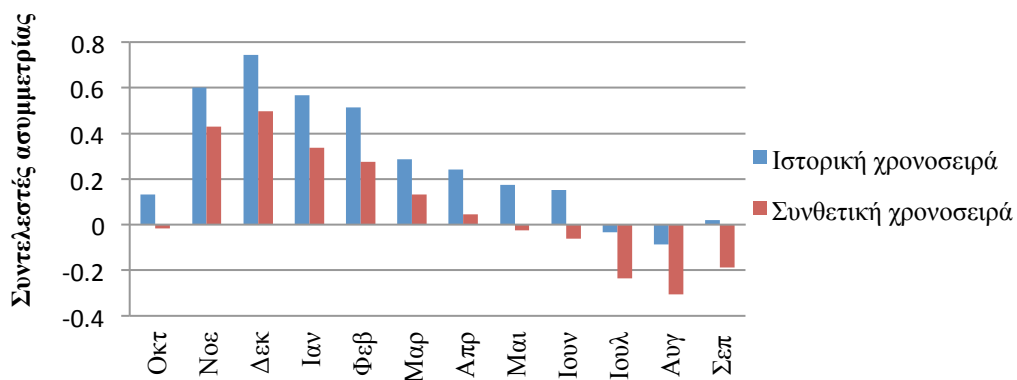
Σχήμα Δ.73 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



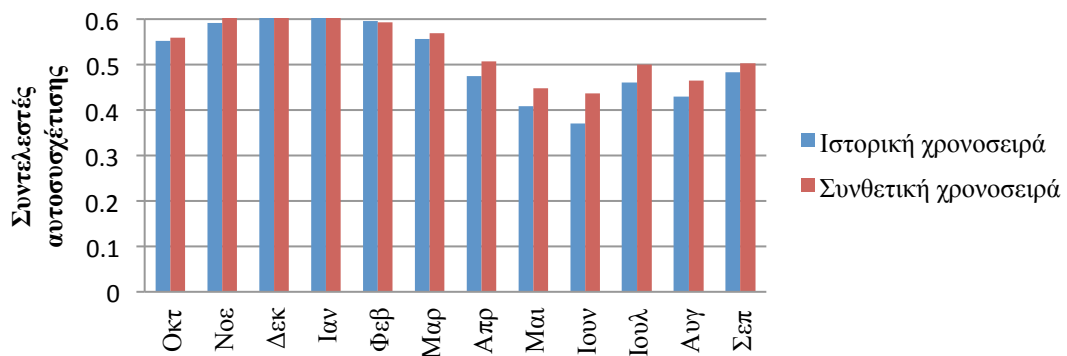
Σχήμα Δ.74 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



Σχήμα Δ.75 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.

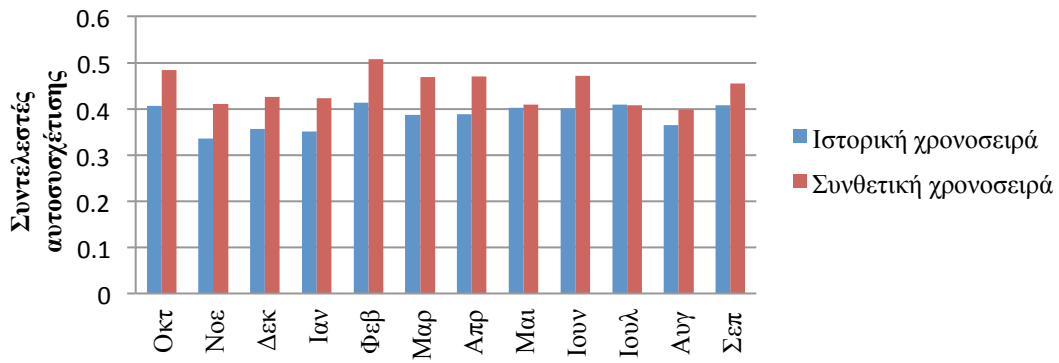


Σχήμα Δ.76 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.

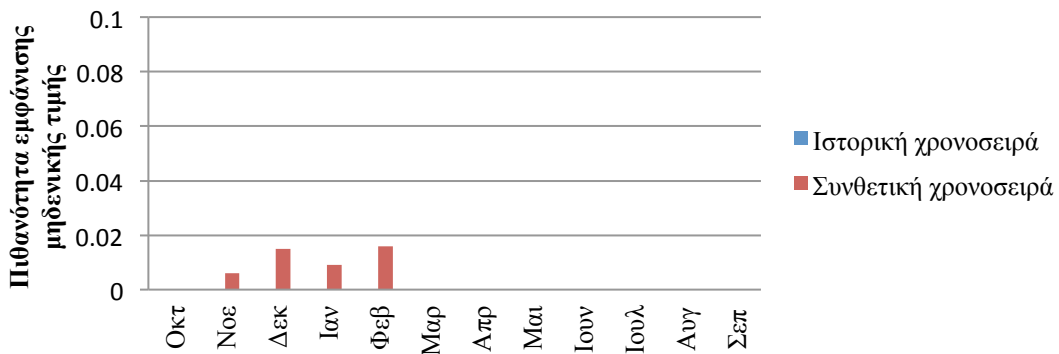


Σχήμα Δ.77 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.

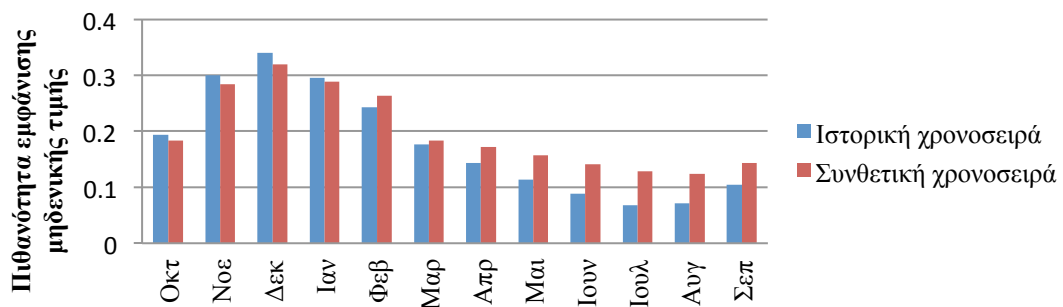




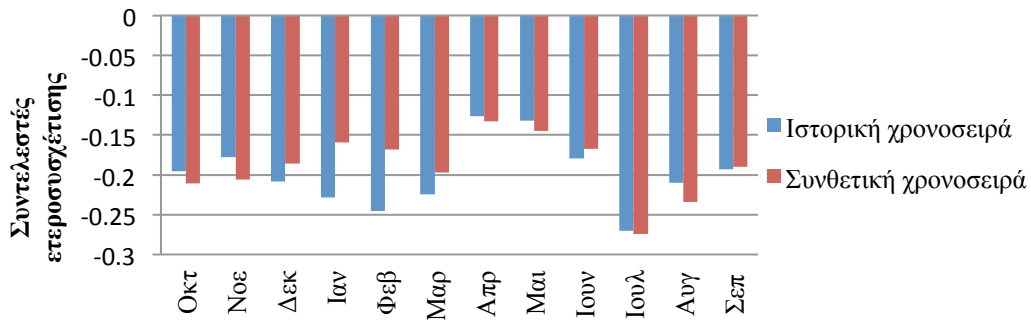
Σχήμα Δ.78 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



Σχήμα Δ.79 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



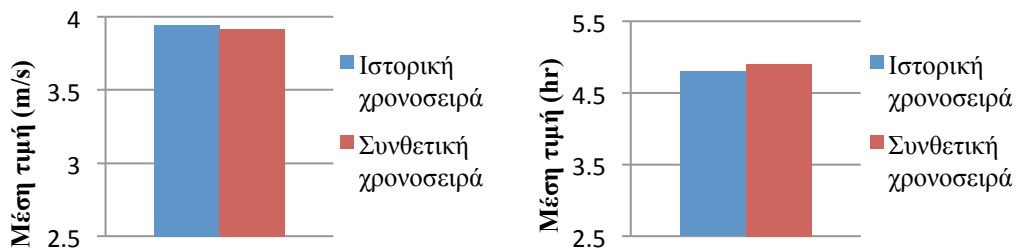
Σχήμα Δ.80 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.



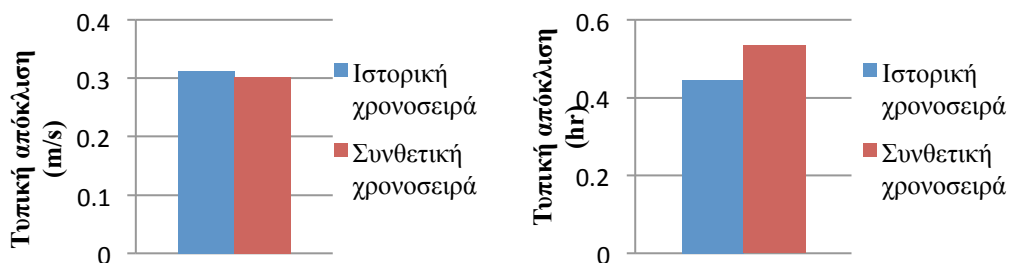
Σχήμα Δ.81 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Hohenpeissenberg.

#### 4.Σταθμός Karlsruhe

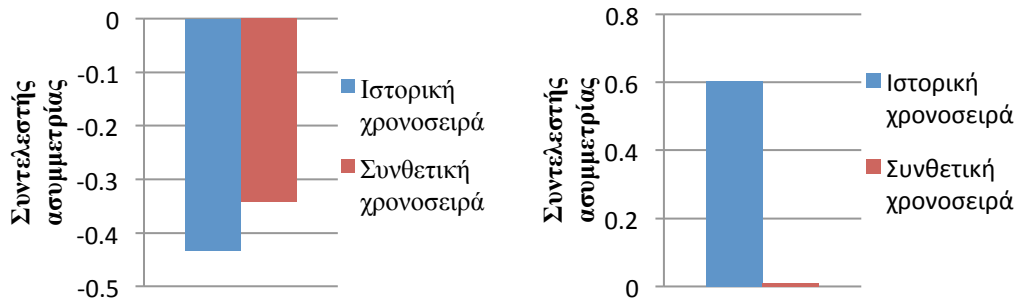
##### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ετήσιας κλίμακας



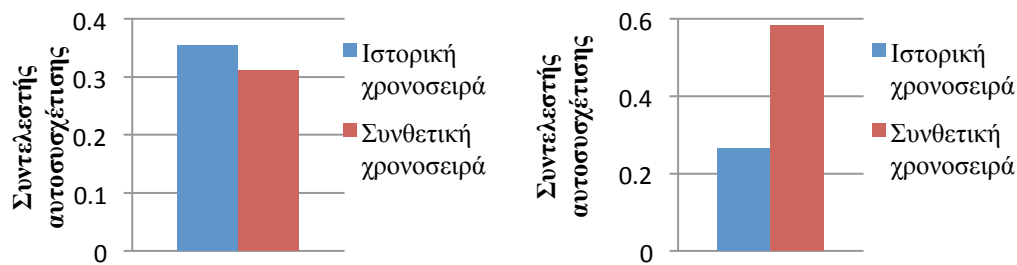
Σχήμα Δ.82 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας μέσης τιμής του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



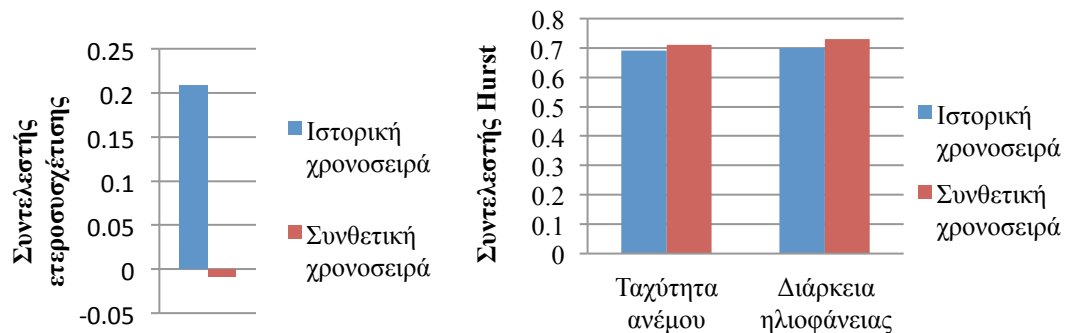
Σχήμα Δ.83 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας τυπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



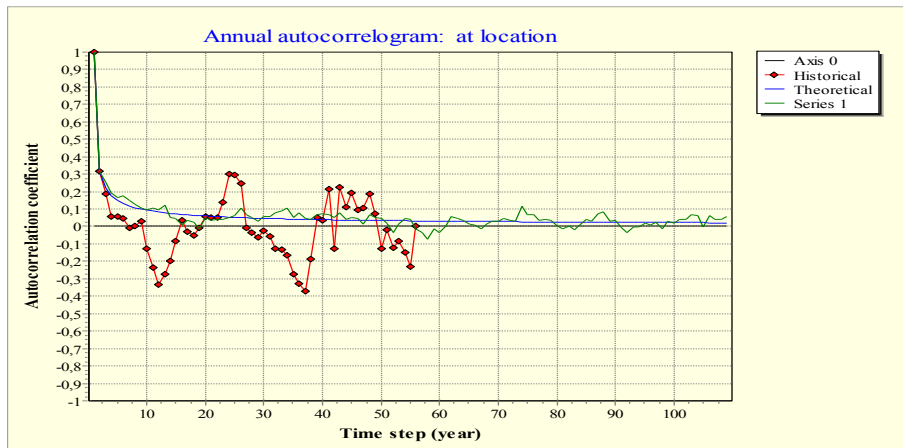
Σχήμα Δ.84 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



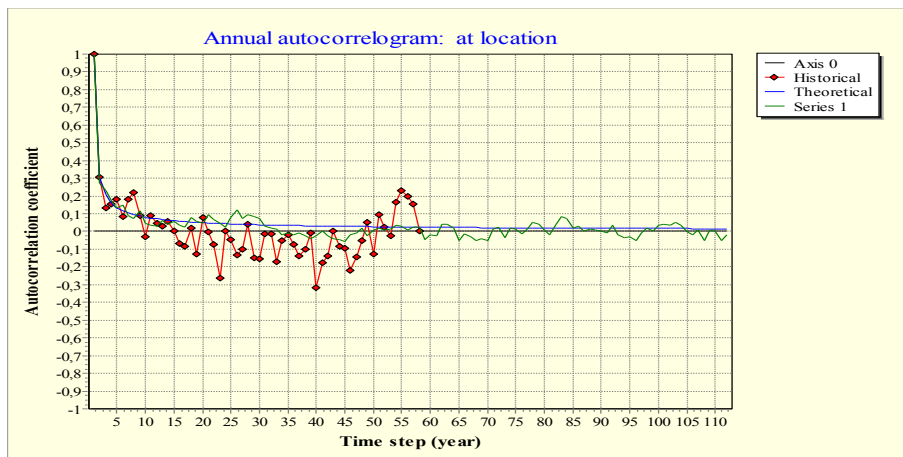
Σχήμα Δ.85 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



Σχήμα Δ.86 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου δειγματικού και συνθετικού συντελεστή ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας και τιμές του συντελεστή Hurst των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών των δύο μεταβλητών για τον σταθμό Karlsruhe.

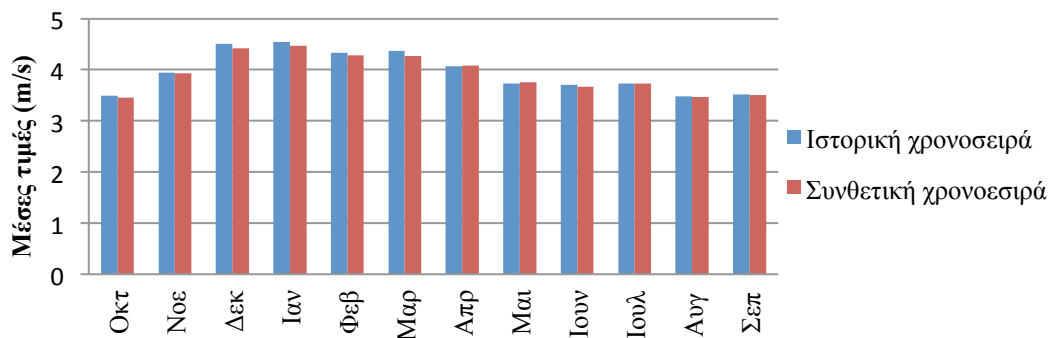


Σχήμα Δ.87 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.

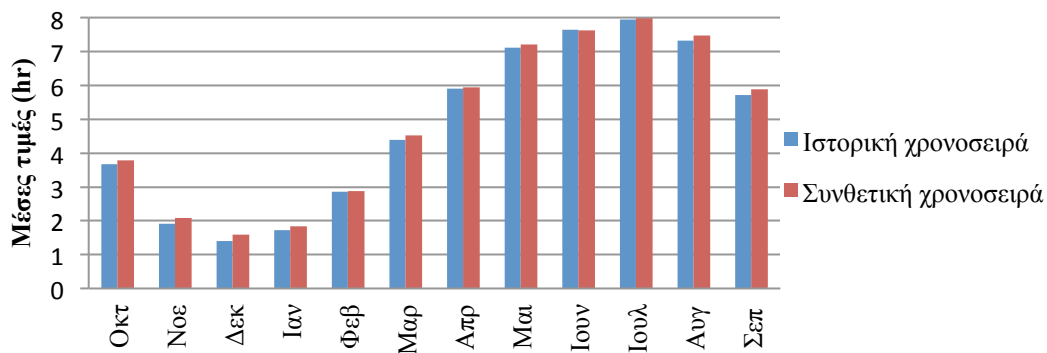


Σχήμα Δ.88 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.

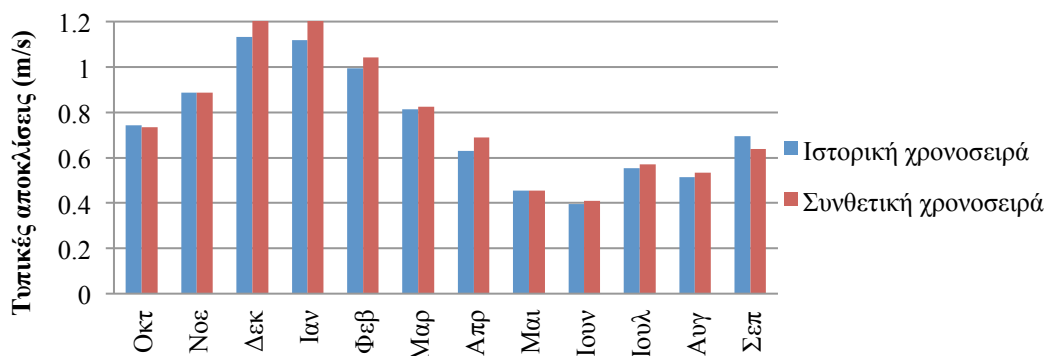
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών μηνιαίας κλίμακας



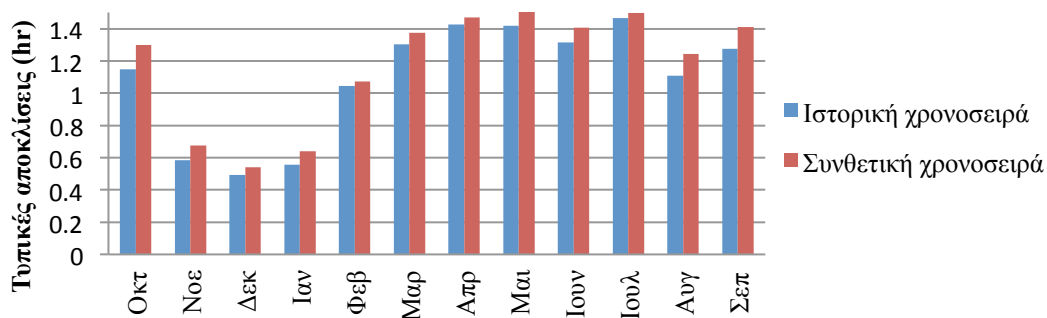
Σχήμα Δ.89 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.



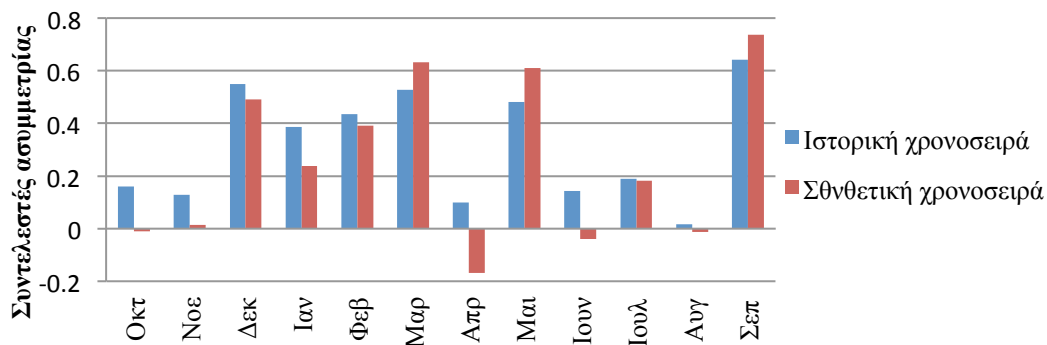
Σχήμα Δ.90 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



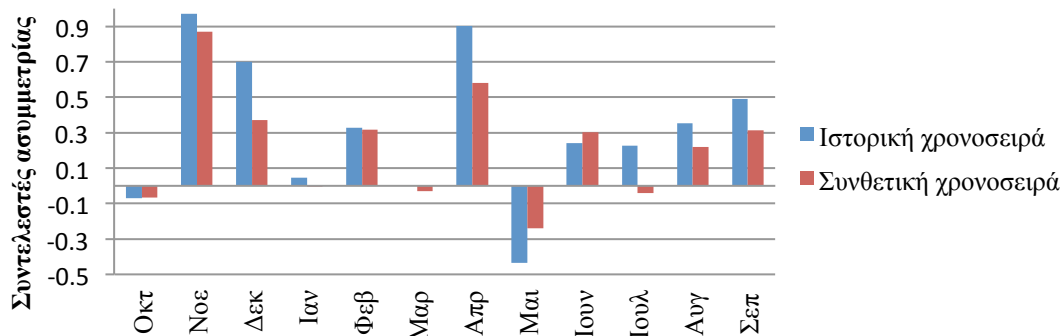
Σχήμα Δ.91 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.



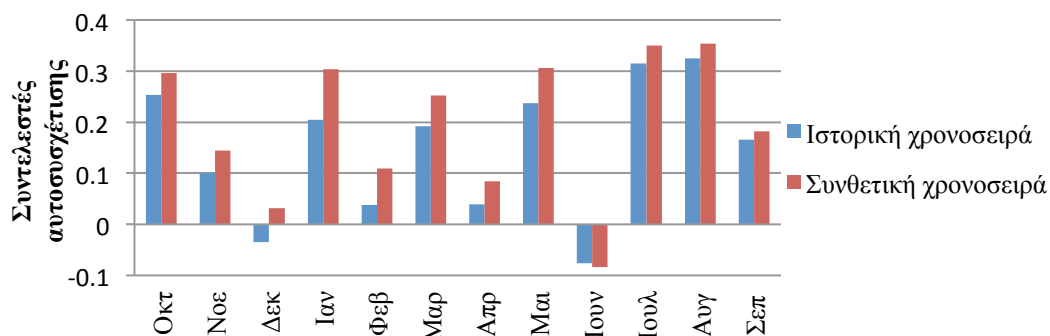
Σχήμα Δ.92 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



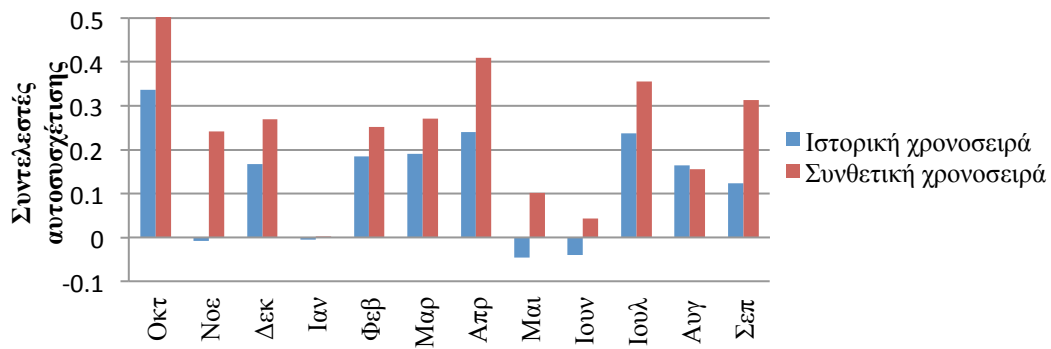
Σχήμα Δ.93 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.



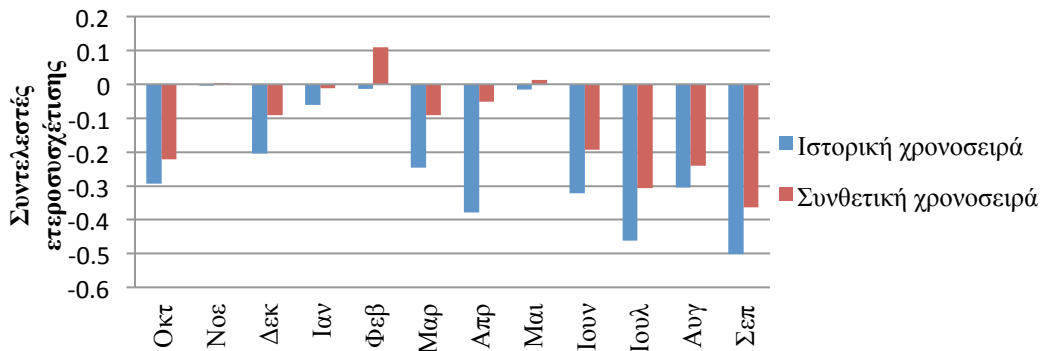
Σχήμα Δ.94 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



Σχήμα Δ.95 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.



Σχήμα Δ.96 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.

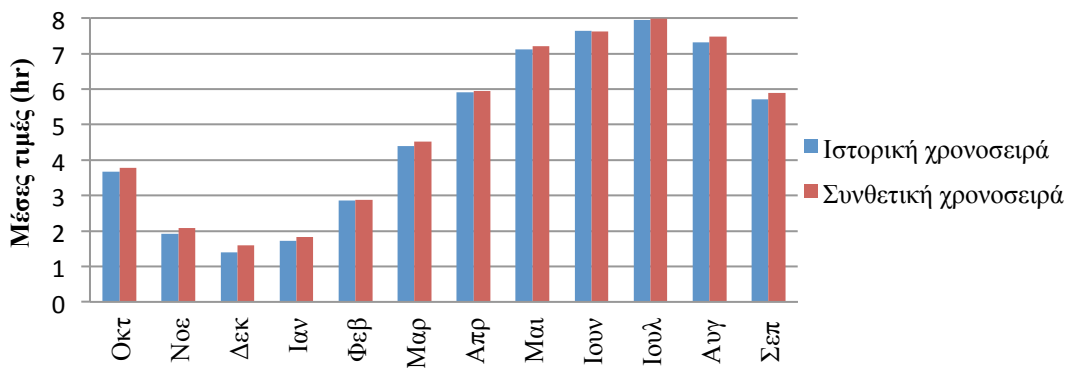


Σχήμα Δ.97 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.

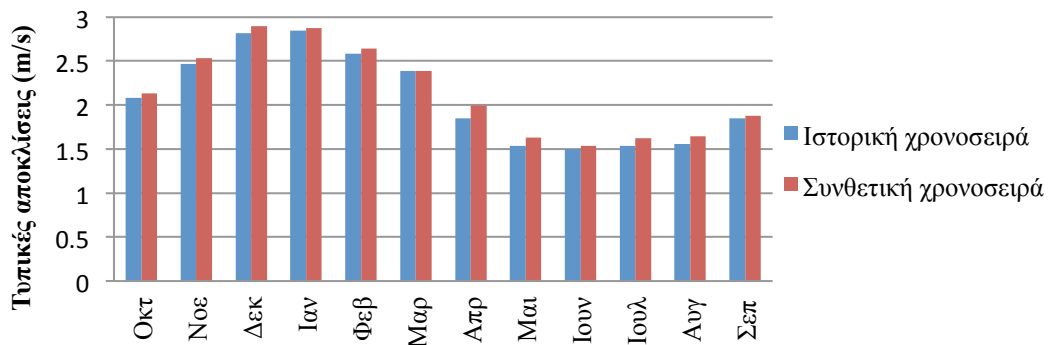
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ημερήσιας κλίμακας



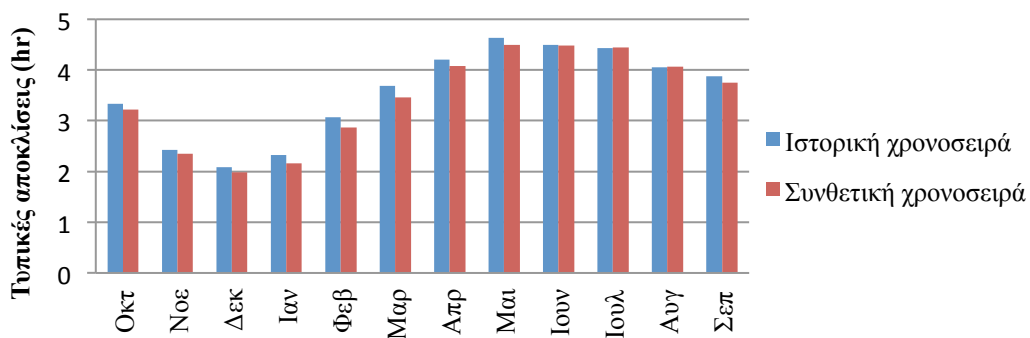
Σχήμα Δ.98 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.



Σχήμα Δ.99 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.

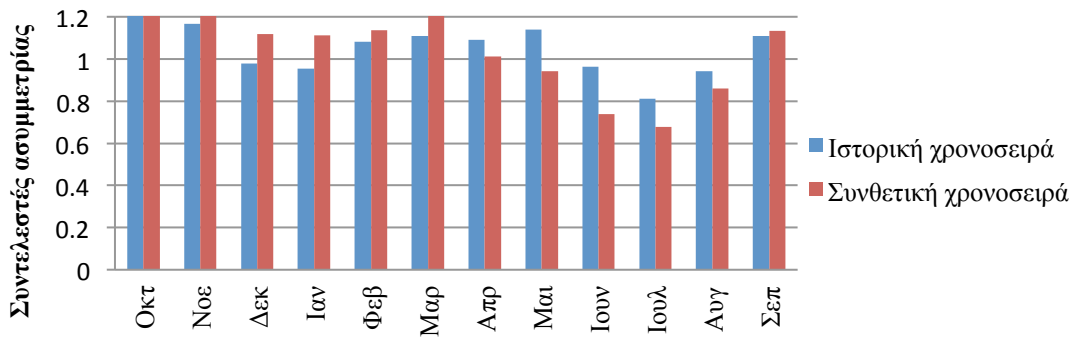


Σχήμα Δ.100 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.

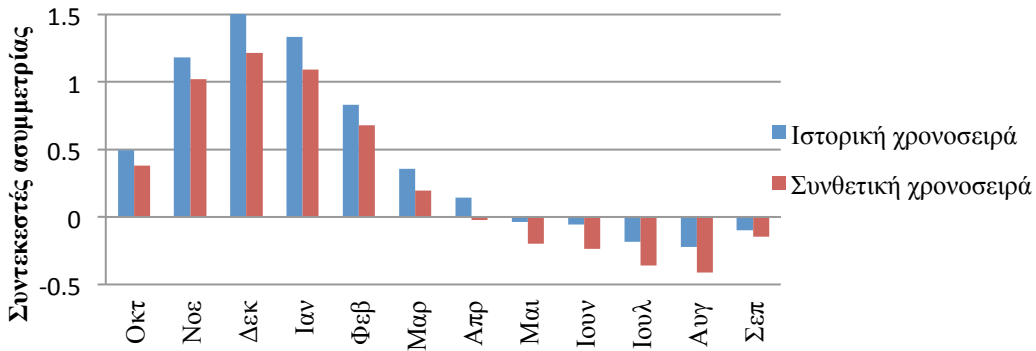


Σχήμα Δ.101 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.

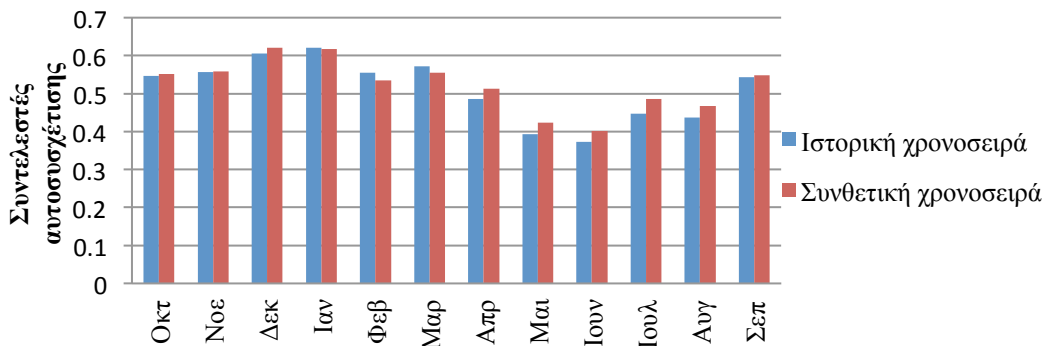




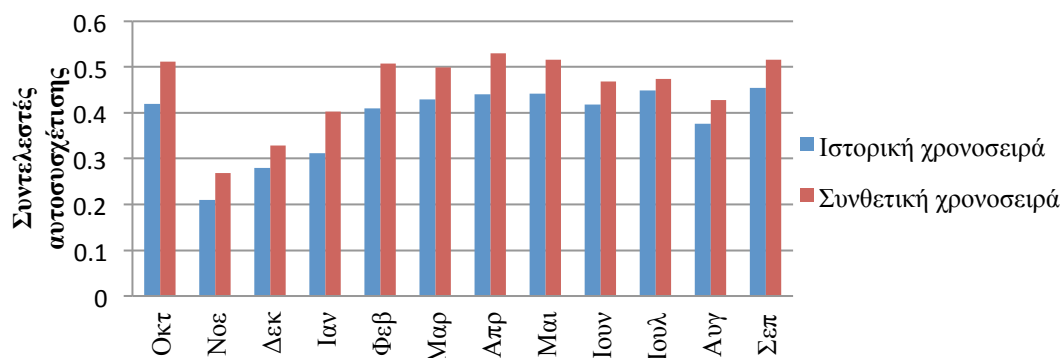
Σχήμα Δ.102 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.



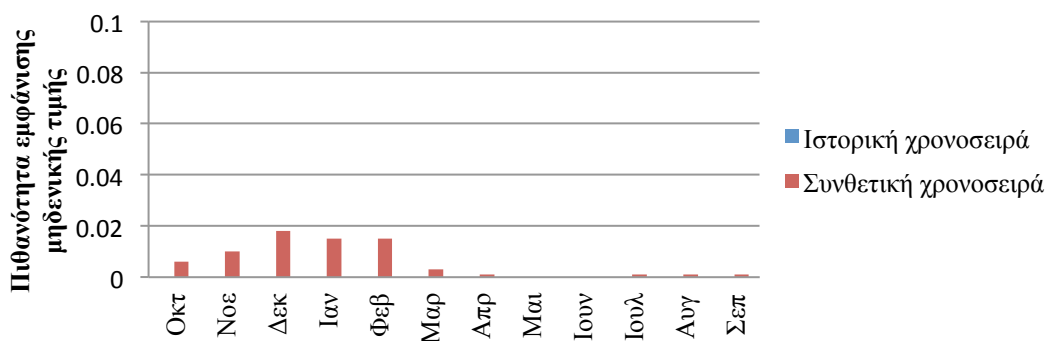
Σχήμα Δ.103 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



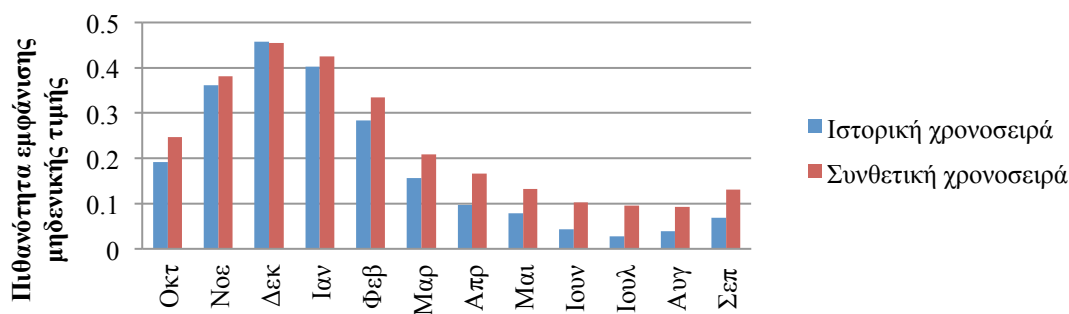
Σχήμα Δ.104 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.



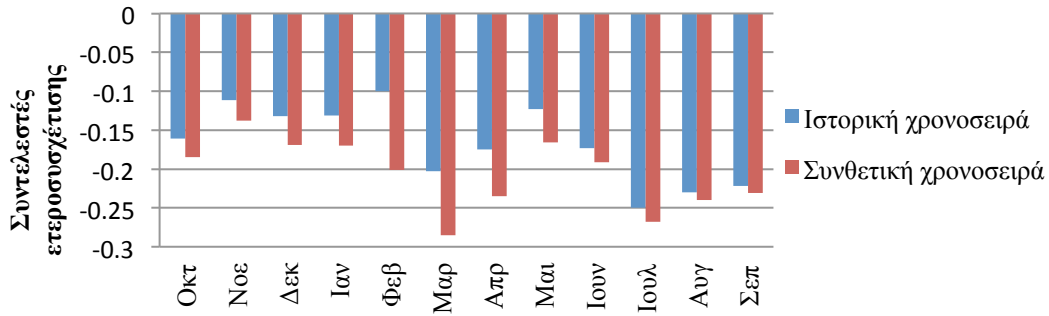
Σχήμα Δ.105 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



Σχήμα Δ.106 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Karlsruhe.



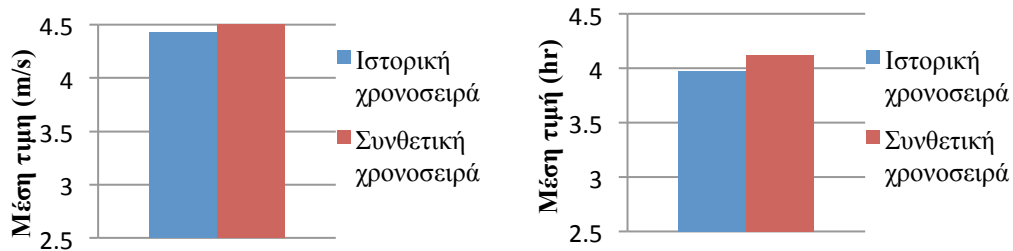
Σχήμα Δ.107 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.



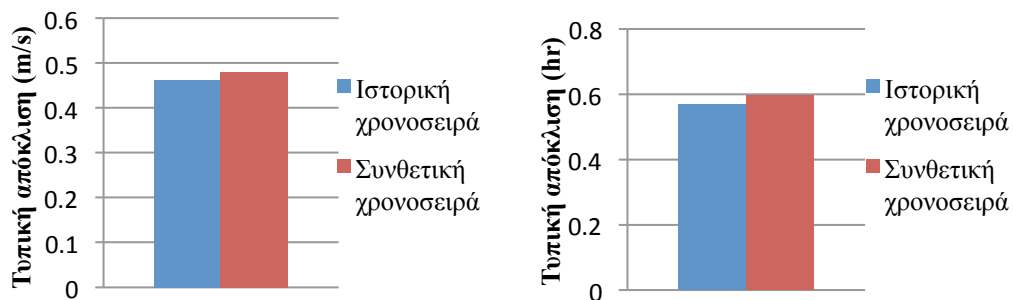
Σχήμα Δ.108 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Karlsruhe.

### 5.Σταθμός Maastricht

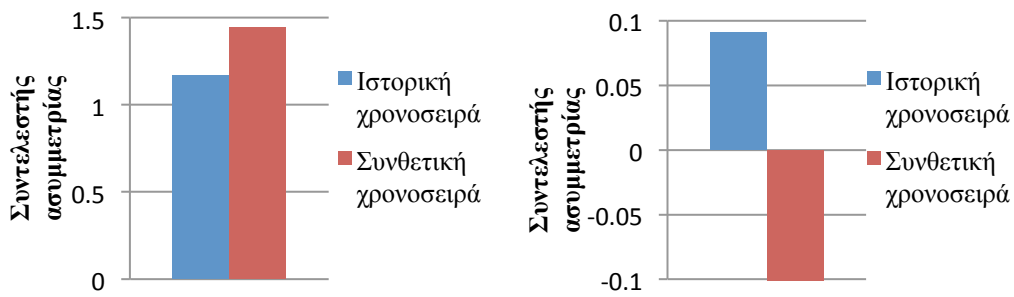
#### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ετήσιας κλίμακας



Σχήμα Δ.109 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας μέσης τιμής του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



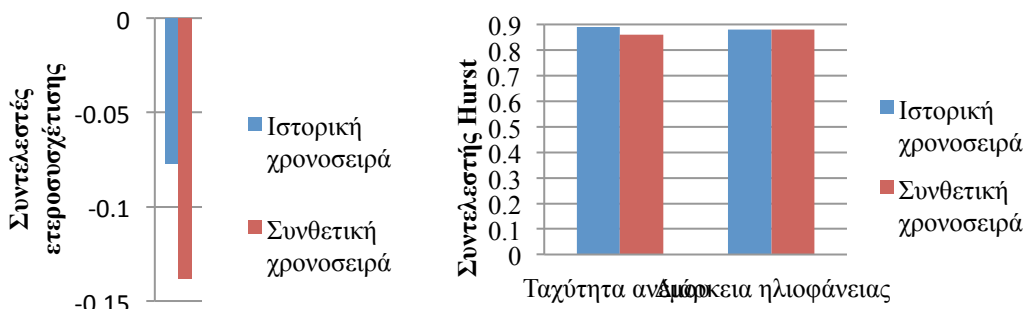
Σχήμα Δ.110 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας τυπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



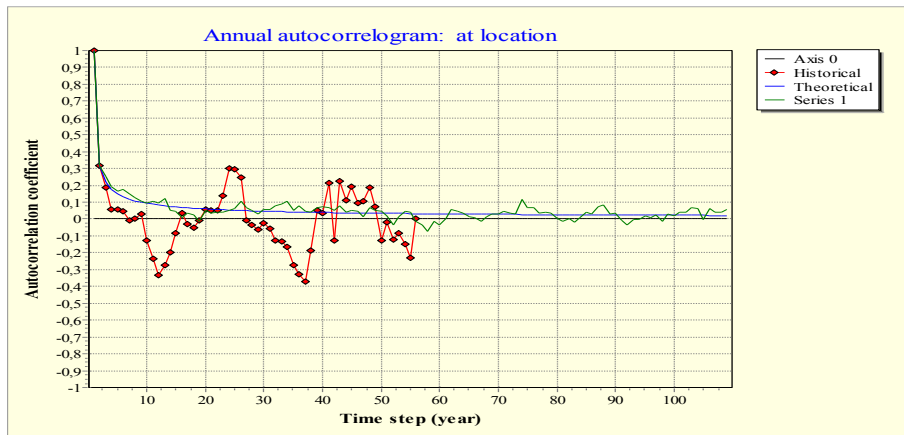
Σχήμα Δ.111 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



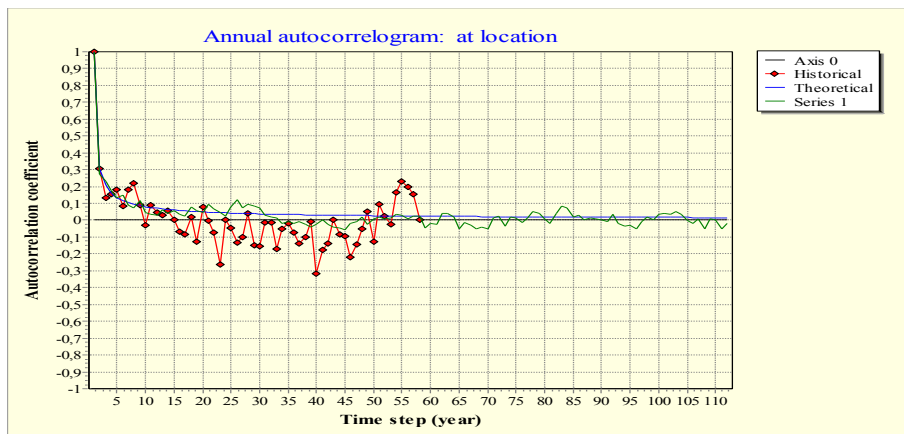
Σχήμα Δ.112 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



Σχήμα Δ.113 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου δειγματικού και συνθετικού συντελεστή ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας και τιμές του συντελεστή Hurst των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών των δύο μεταβλητών για τον σταθμό Maastricht.

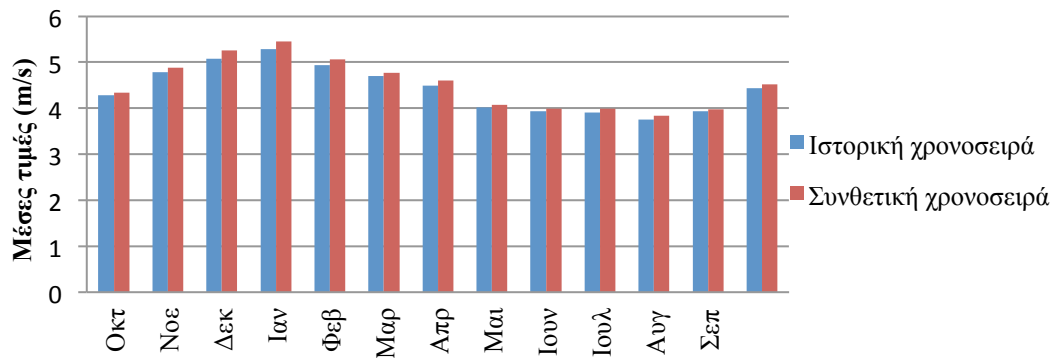


Σχήμα Δ.114 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.

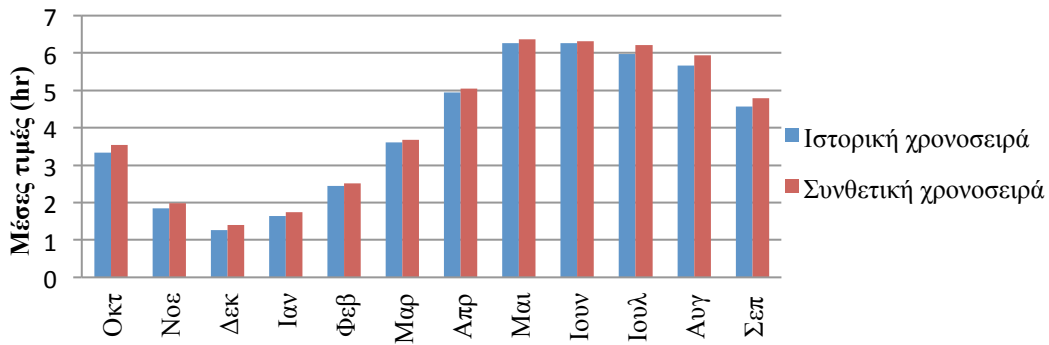


Σχήμα Δ.115 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.

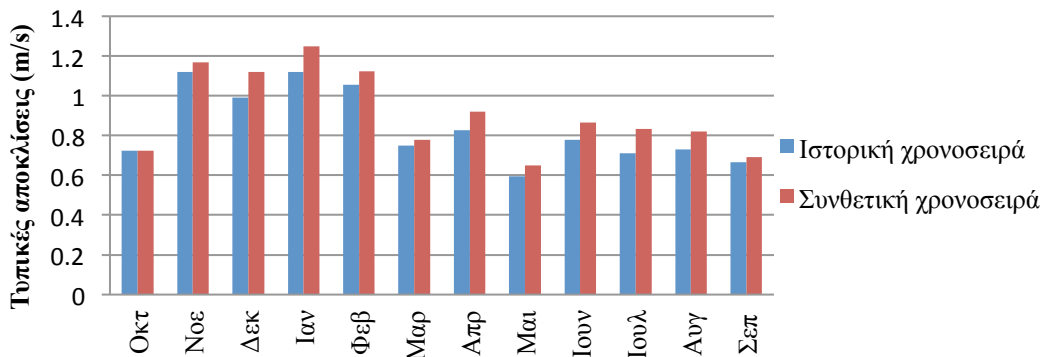
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών μηνιαίας κλίμακας



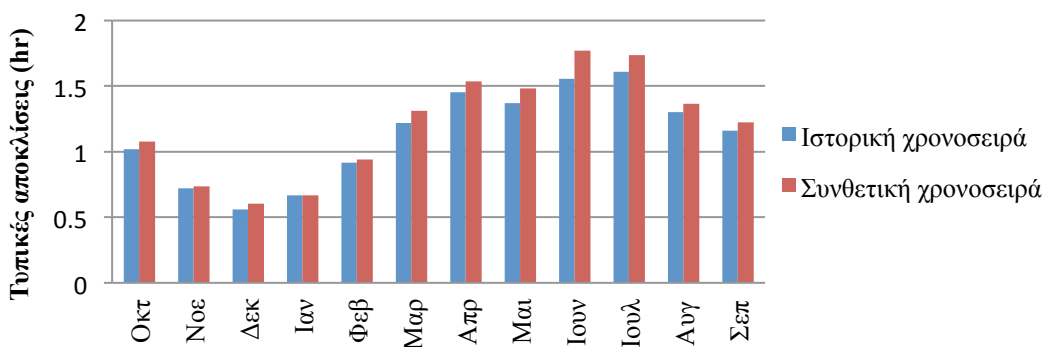
Σχήμα Δ.116 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.



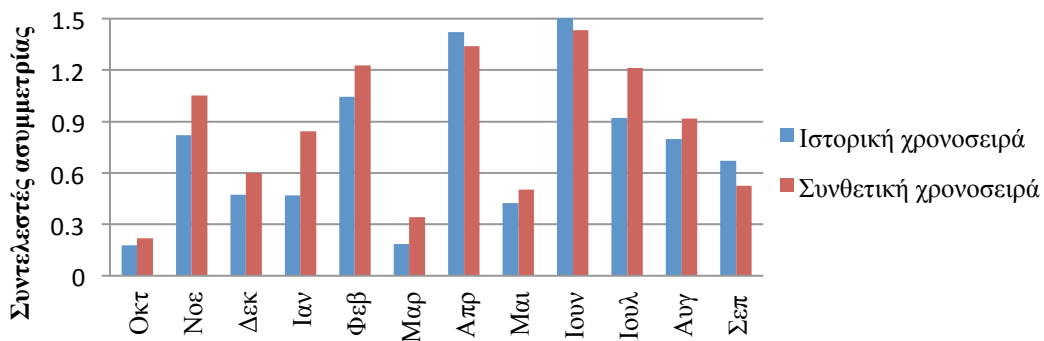
Σχήμα Δ.117 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



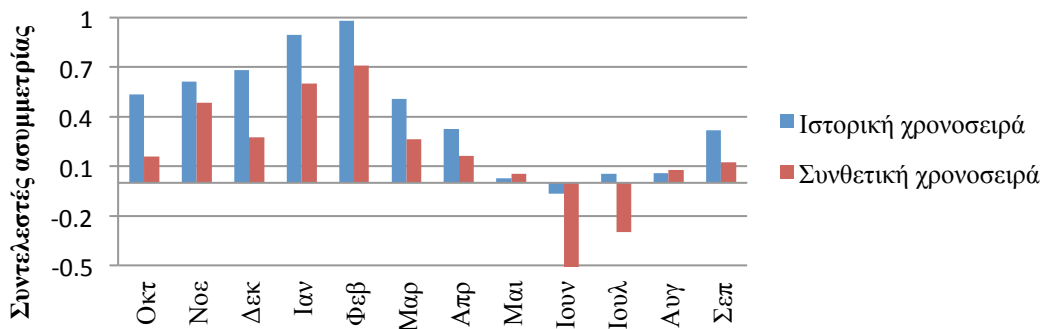
Σχήμα Δ.118 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.



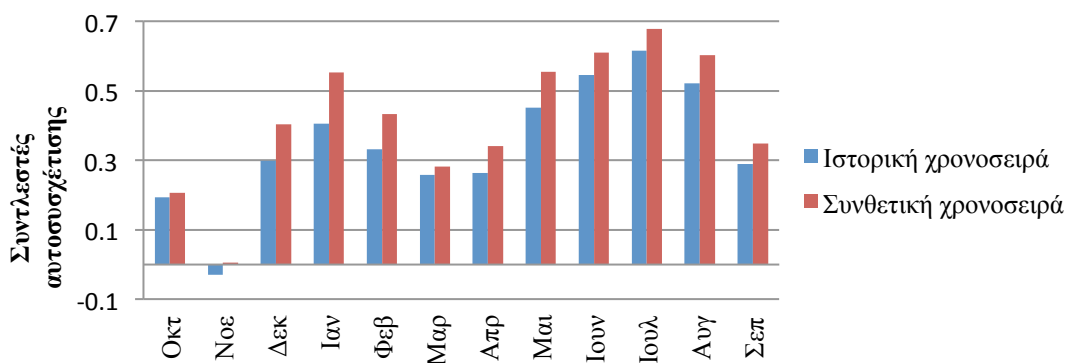
Σχήμα Δ.119 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



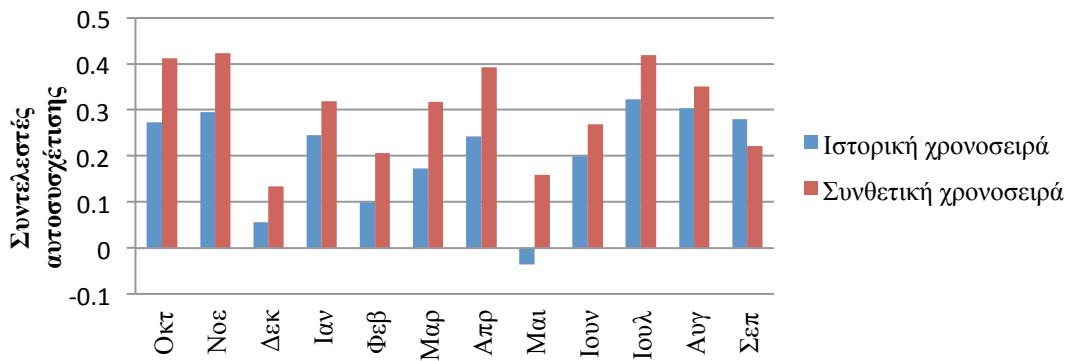
Σχήμα Δ.120 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.



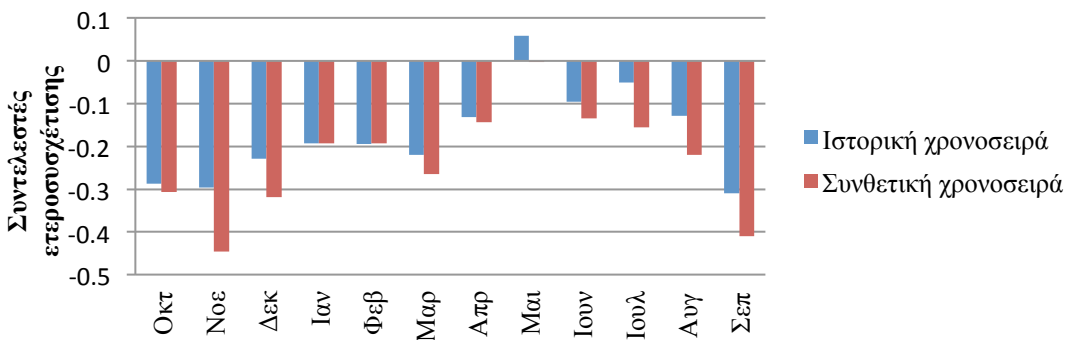
Σχήμα Δ.121 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



Σχήμα Δ.122 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.

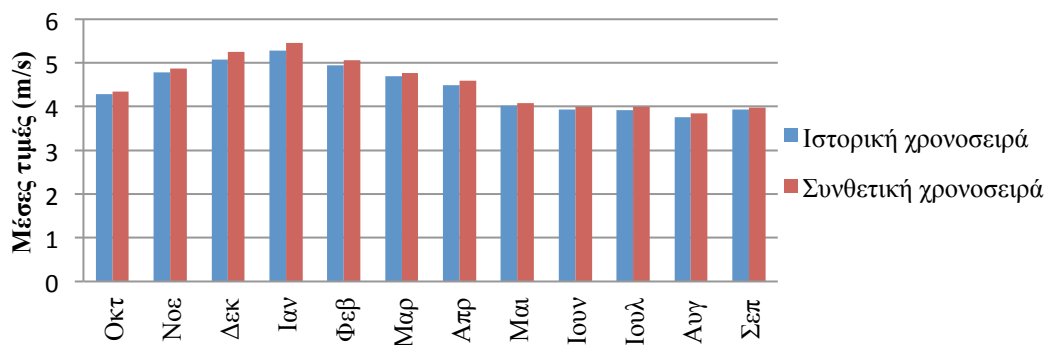


Σχήμα Δ.123 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



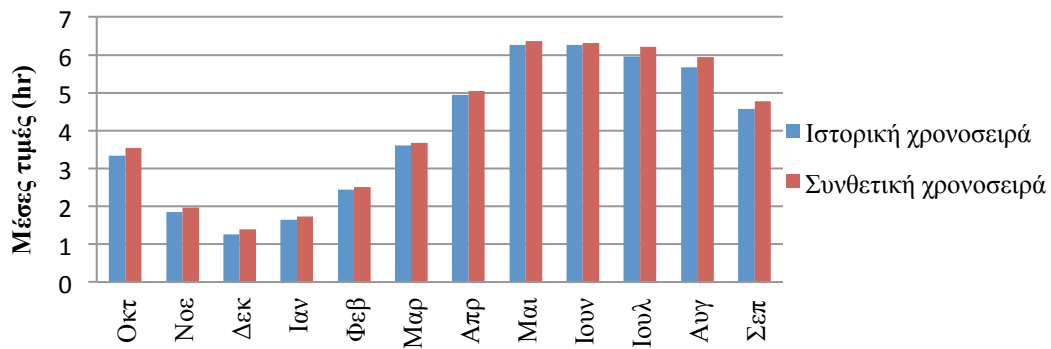
Σχήμα Δ.124 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.

**Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ημερήσιας κλίμακας**

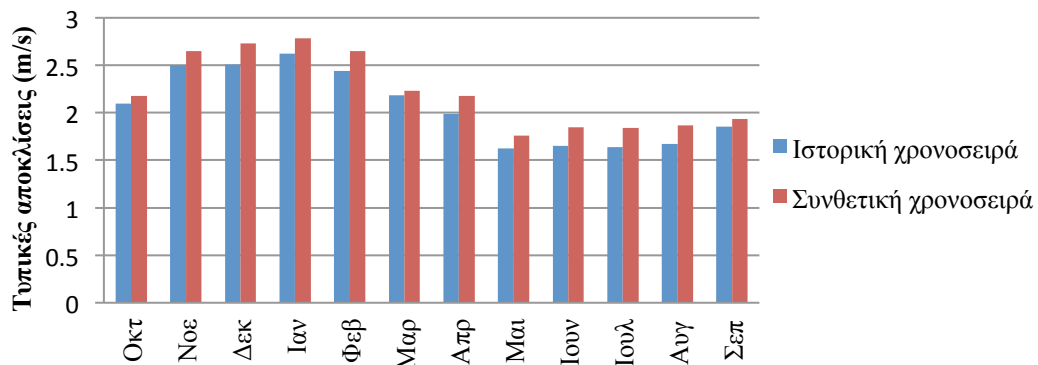


Σχήμα Δ.125 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.

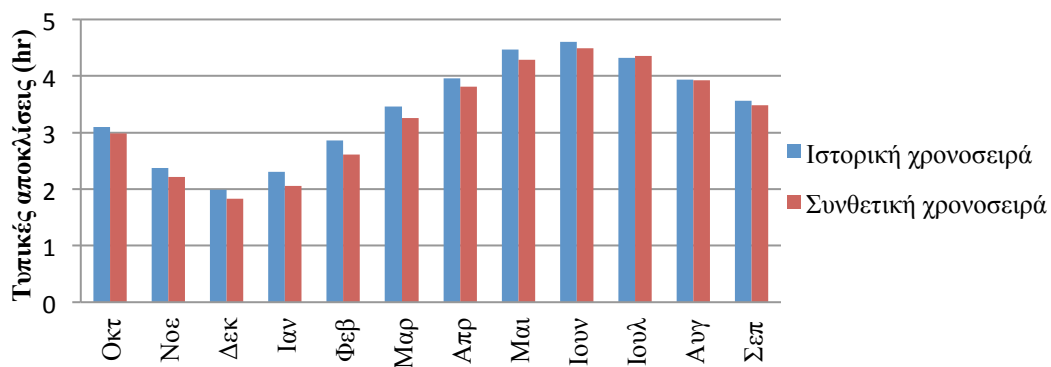




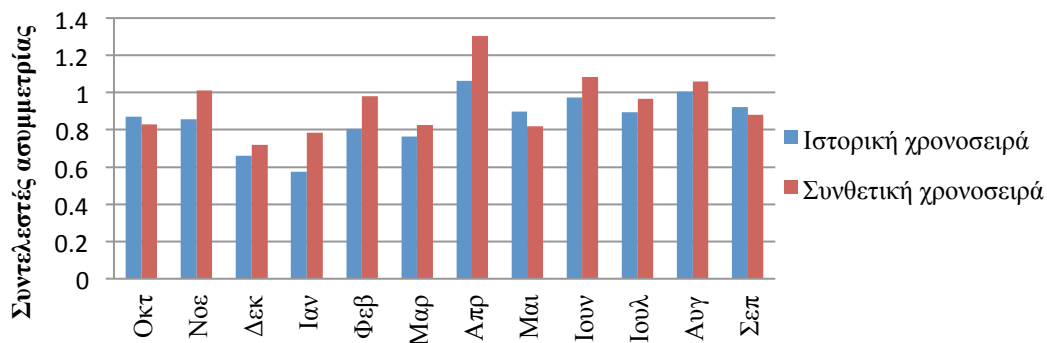
Σχήμα Δ.126 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



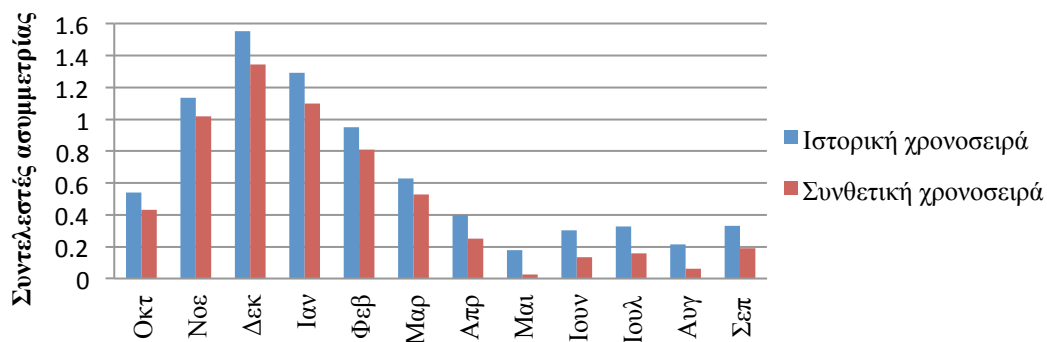
Σχήμα Δ.127 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.



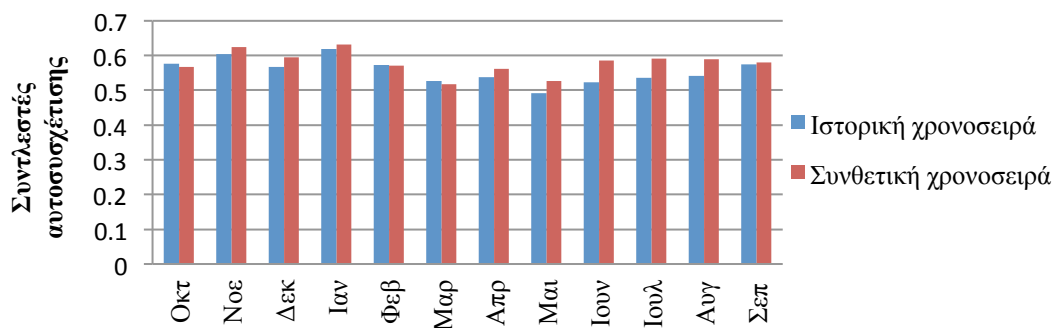
Σχήμα Δ.128 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



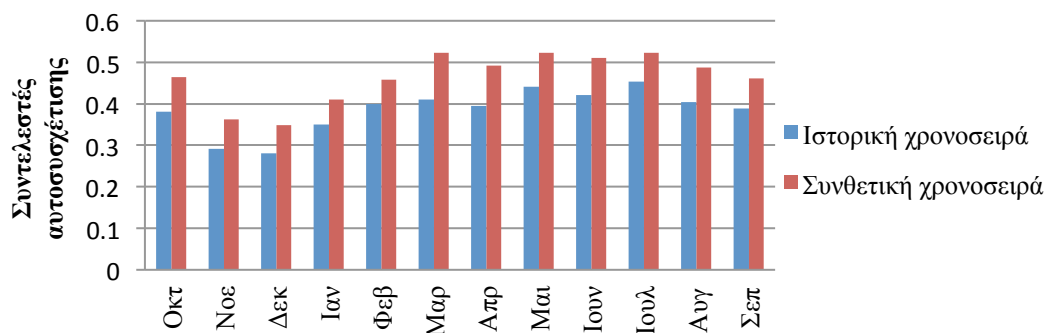
Σχήμα Δ.129 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.



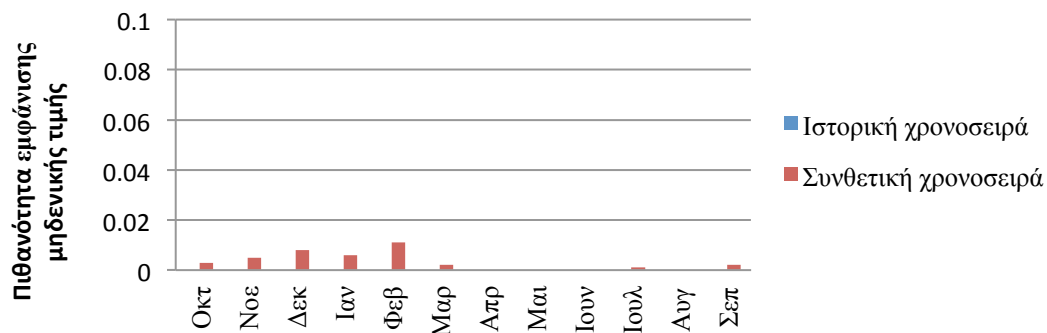
Σχήμα Δ.130 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



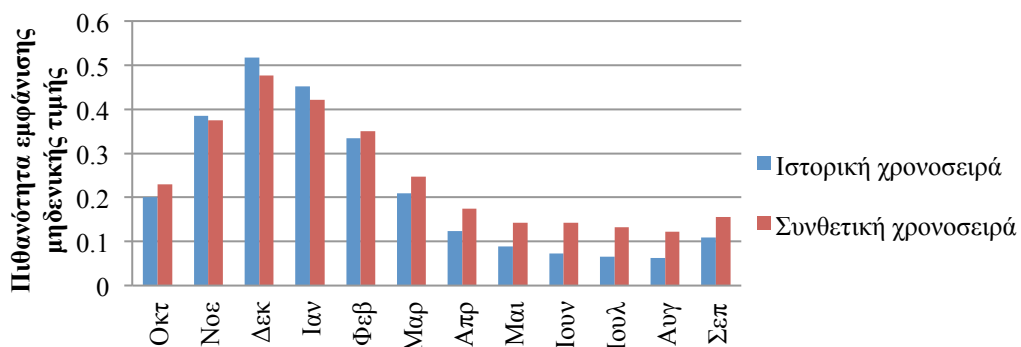
Σχήμα Δ.131 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.



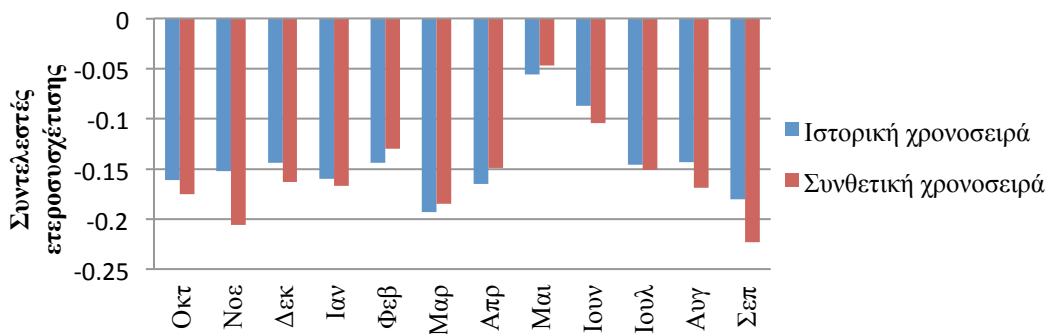
Σχήμα Δ.132 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



Σχήμα Δ.133 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Maastricht.



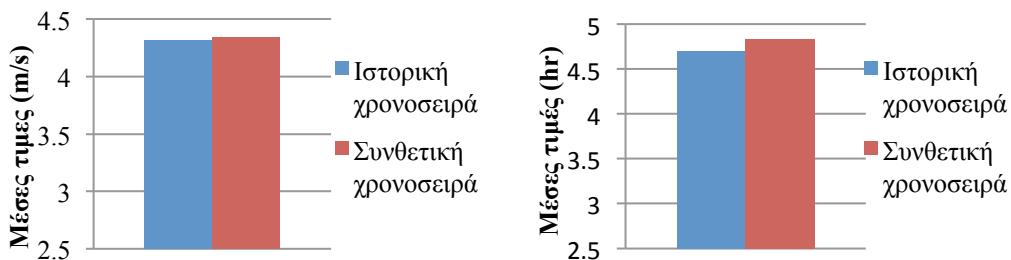
Σχήμα Δ.134 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.



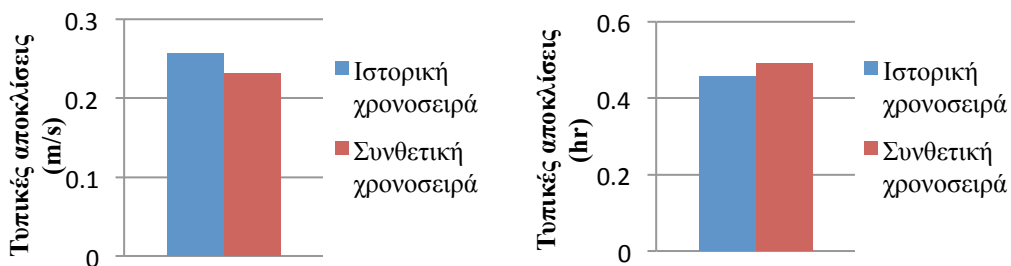
Σχήμα Δ.135 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Maastricht.

## 6. Σταθμός Potsdam

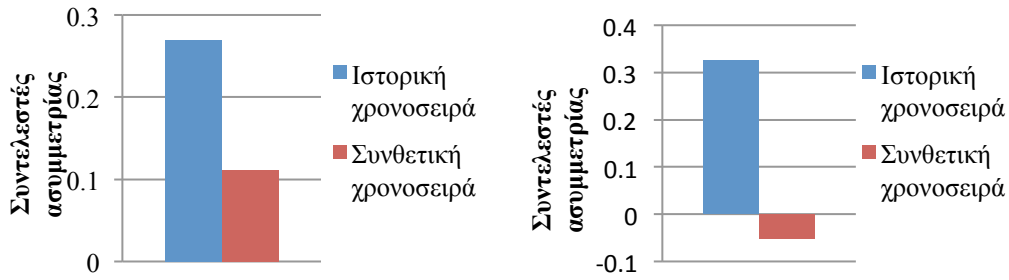
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ετήσιας κλίμακας



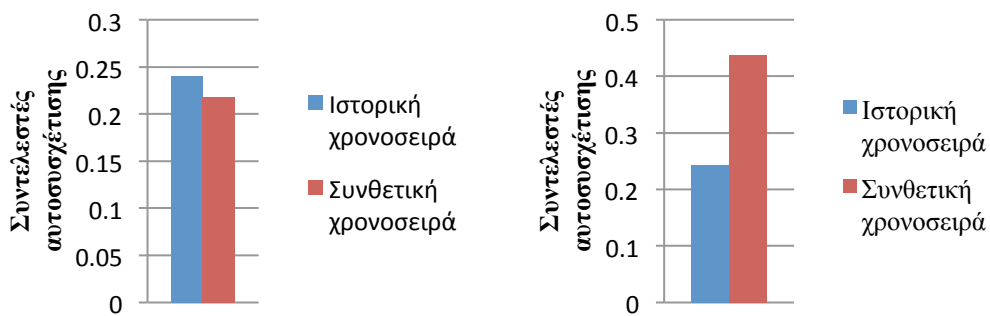
Σχήμα Δ.136 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας μέσης τιμής του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



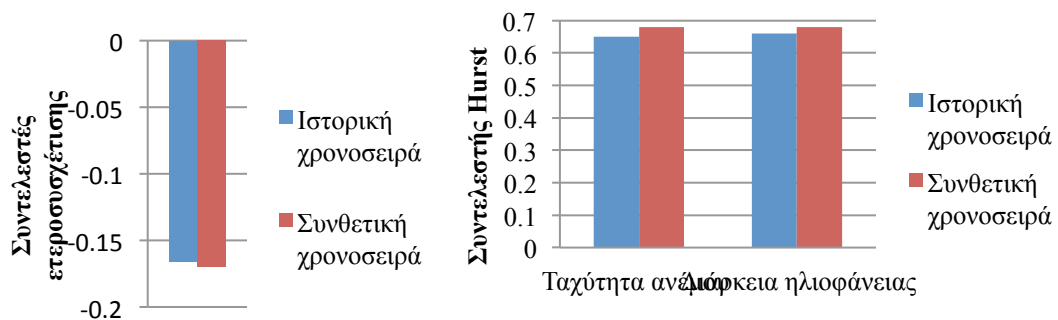
Σχήμα Δ.137 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας τυπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



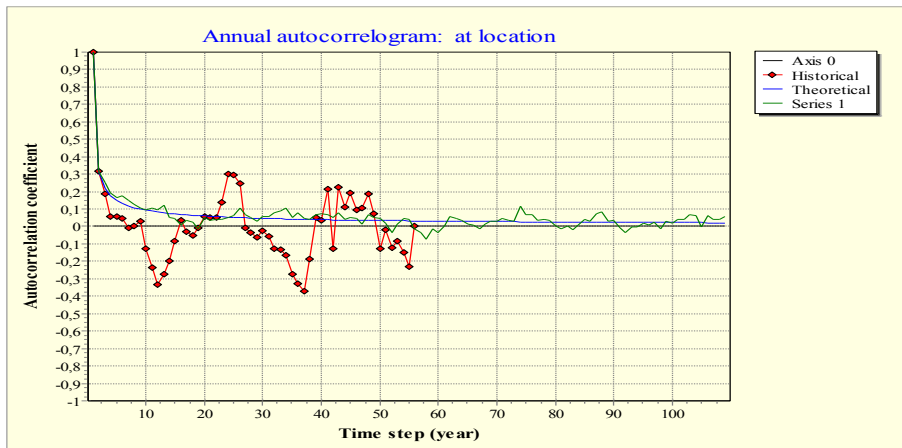
Σχήμα Δ.138 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



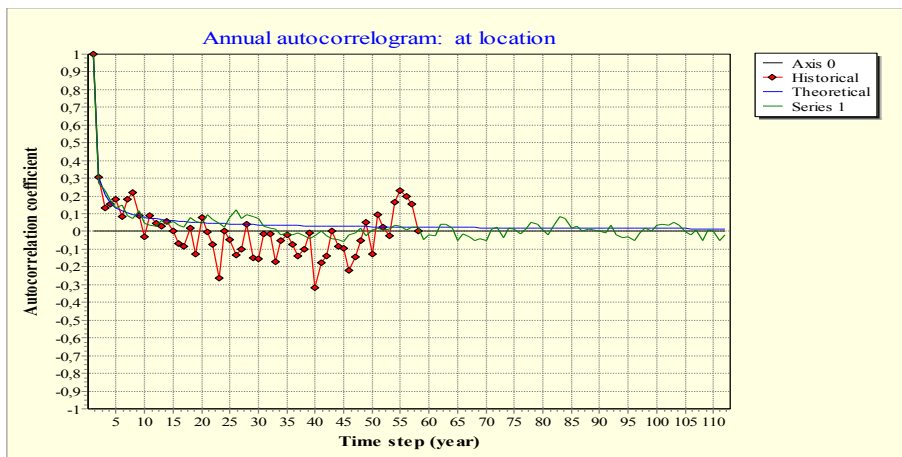
Σχήμα Δ.139 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



Σχήμα Δ.140 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου δειγματικού και συνθετικού συντελεστή ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας και τιμές του συντελεστή Hurst των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών των δύο μεταβλητών για τον σταθμό Potsdam.

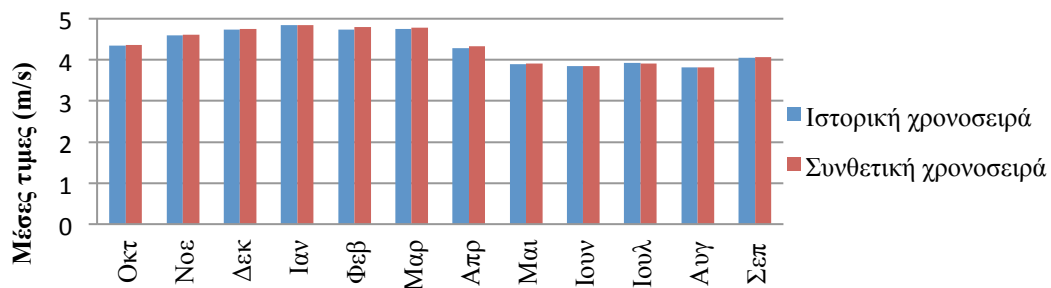


Σχήμα Δ.141 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.

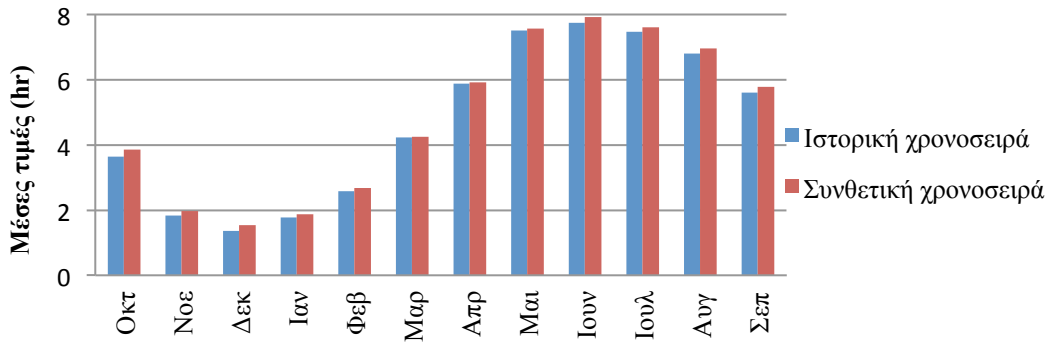


Σχήμα Δ.142 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.

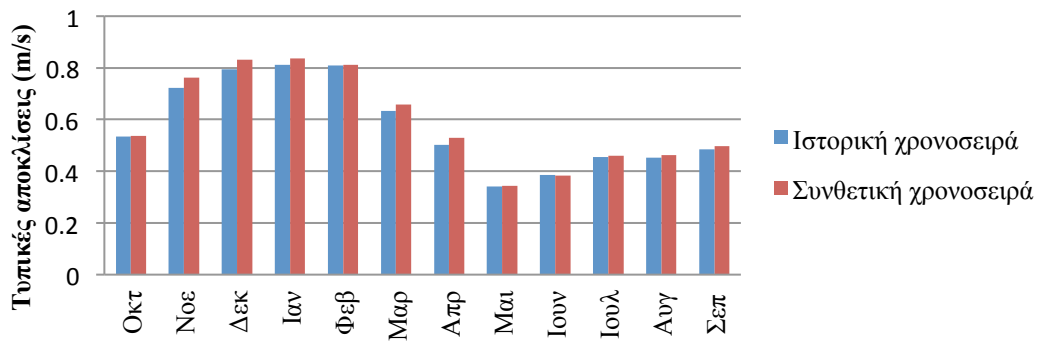
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών μηνιαίας κλίμακας



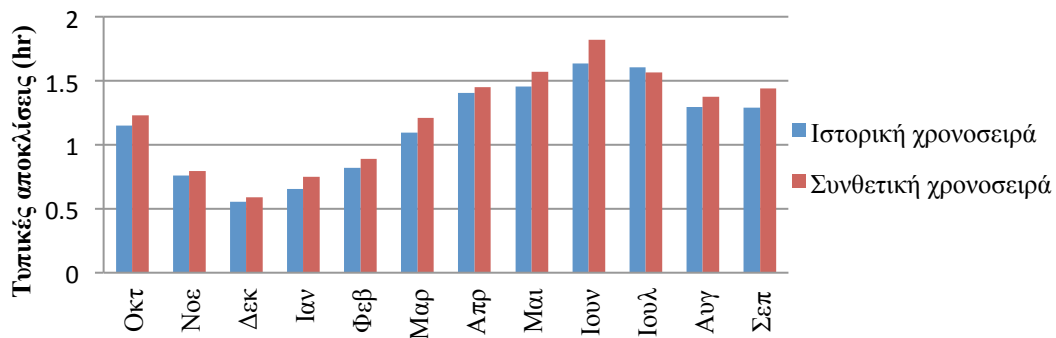
Σχήμα Δ.143 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.



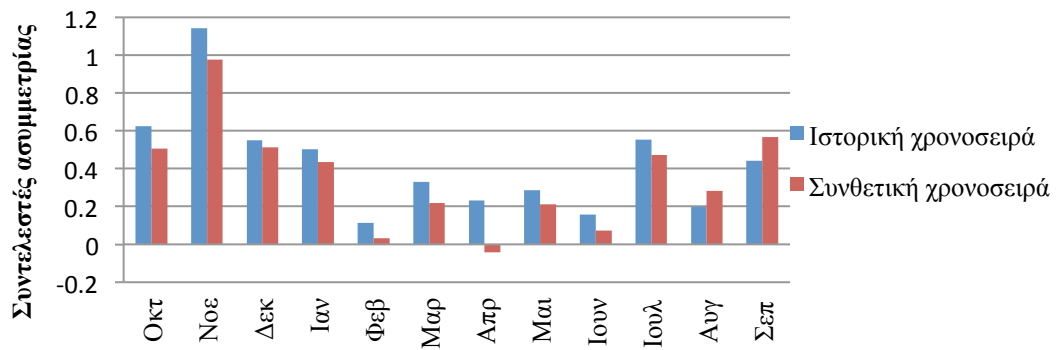
Σχήμα Δ.144 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



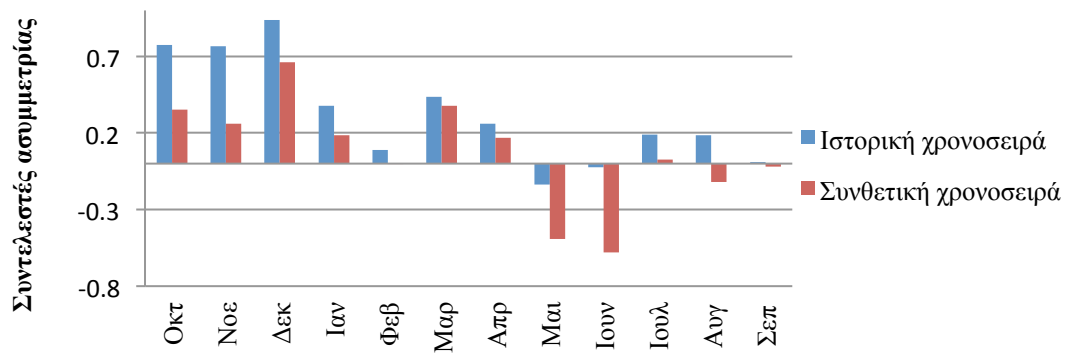
Σχήμα Δ.145 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.



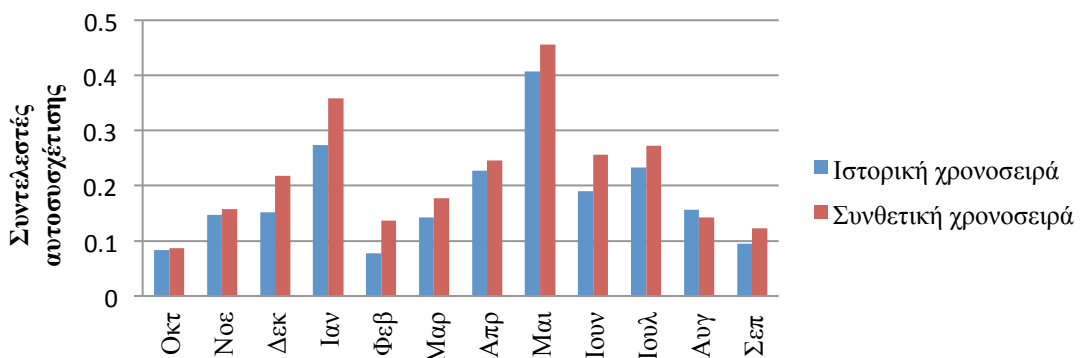
Σχήμα Δ.146 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



Σχήμα Δ.147 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.

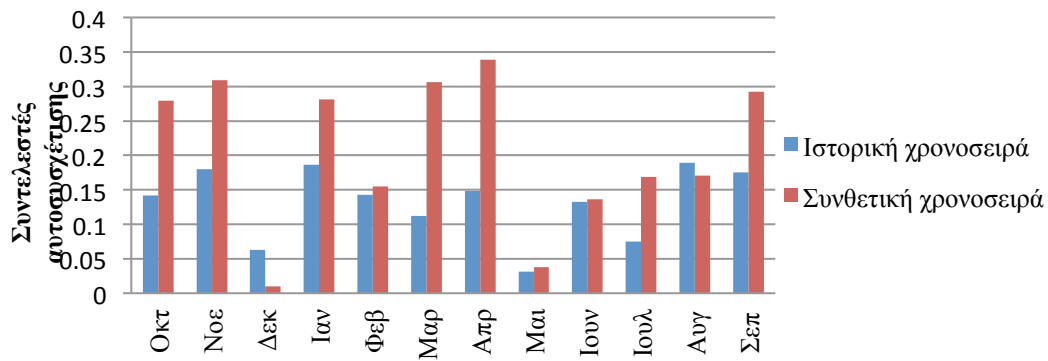


Σχήμα Δ.148 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.

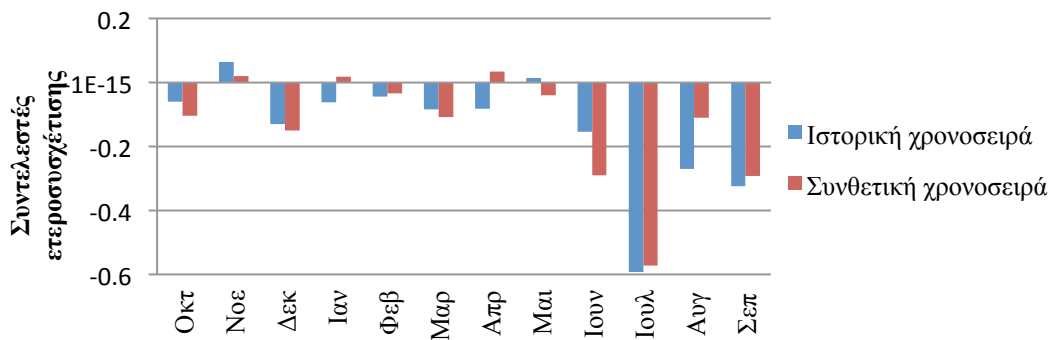


Σχήμα Δ.149 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.



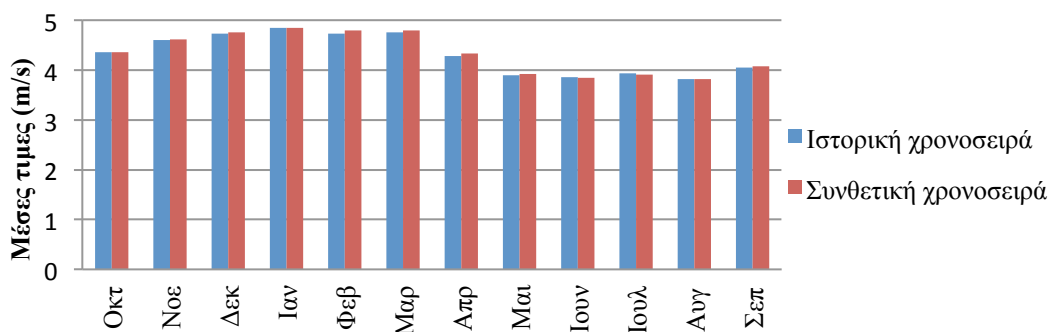


Σχήμα Δ.150 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.

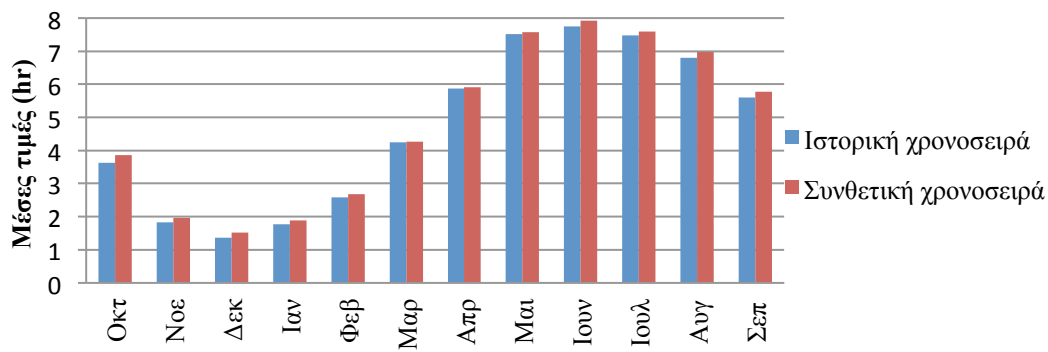


Σχήμα Δ.151 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για το σταθμό Potsdam.

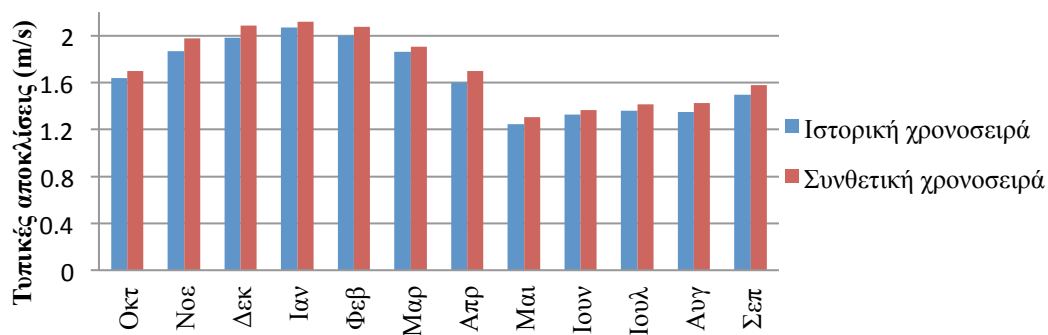
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ημερήσιας κλίμακας



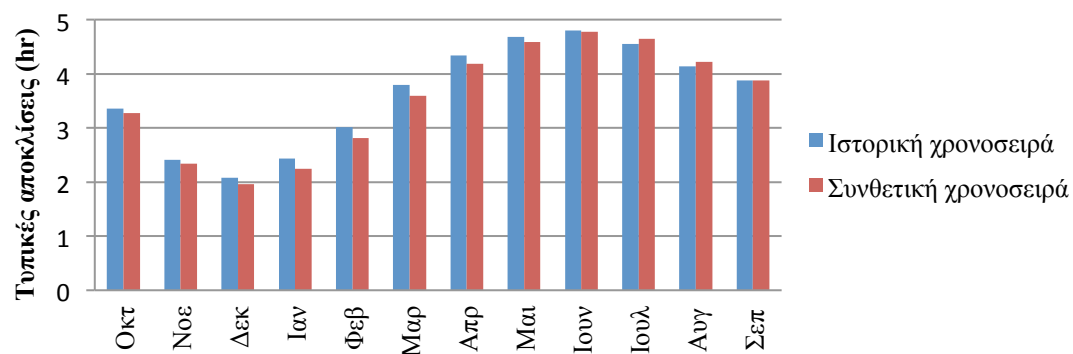
Σχήμα Δ.152 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.



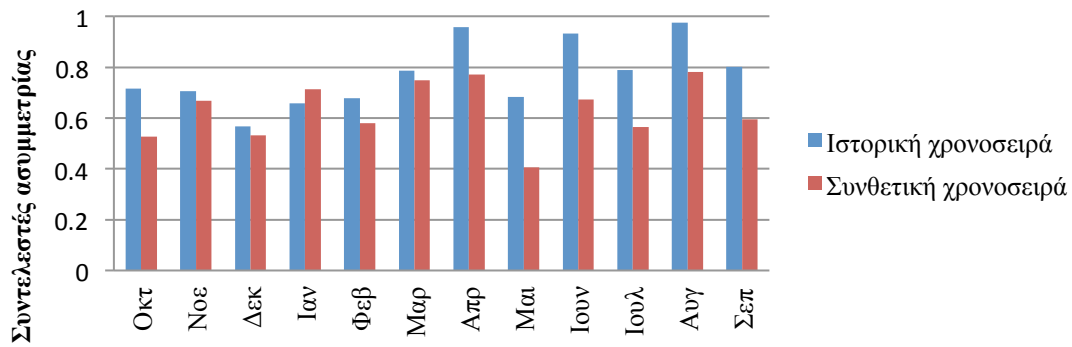
Σχήμα Δ.153 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



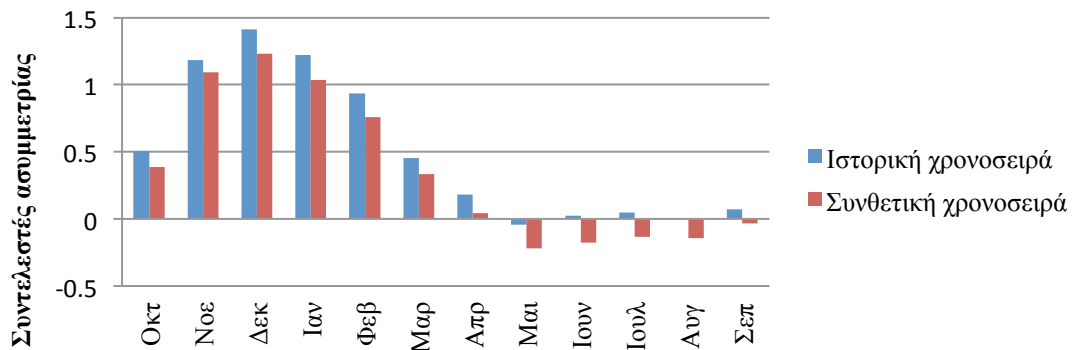
Σχήμα Δ.154 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.



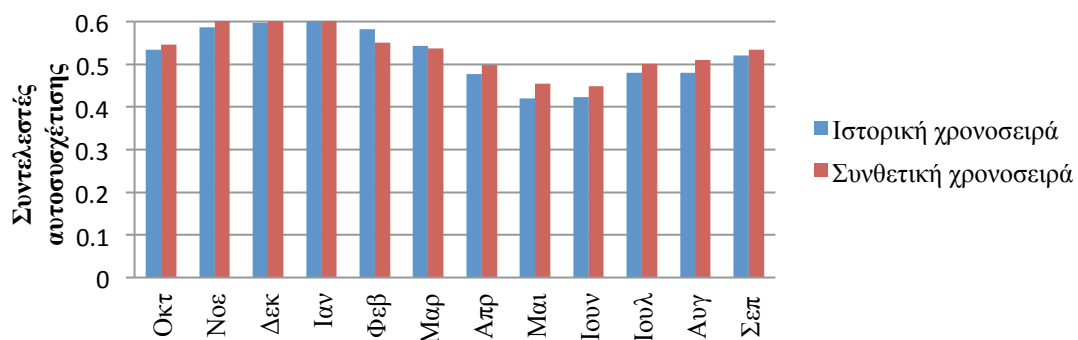
Σχήμα Δ.155 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



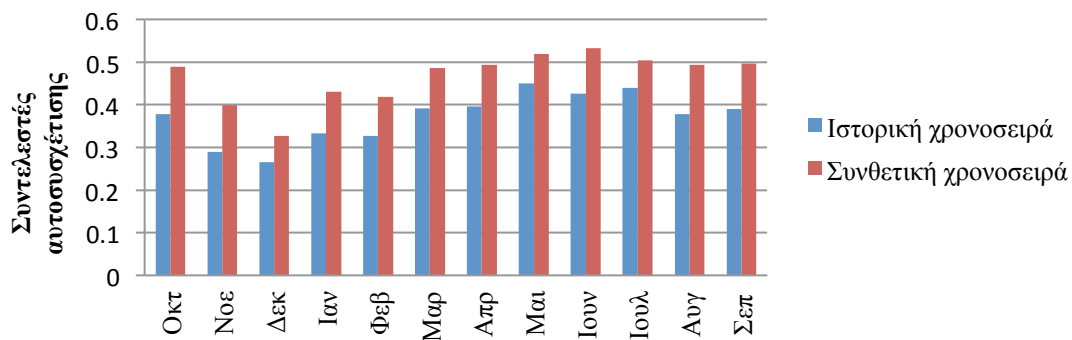
Σχήμα Δ.156 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.



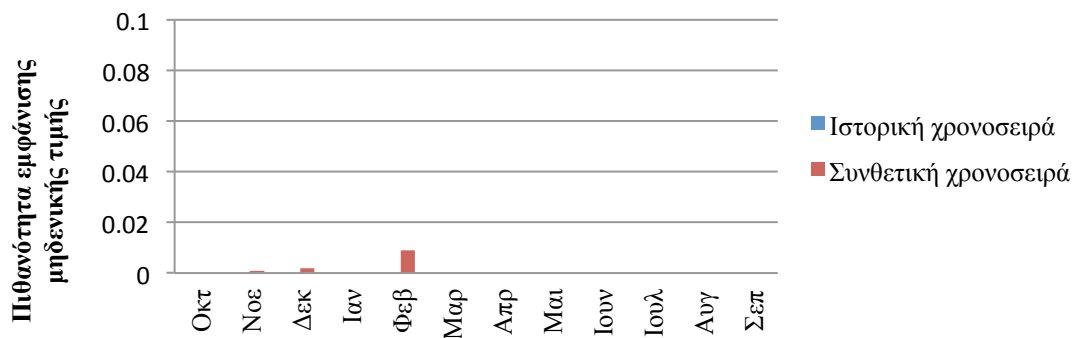
Σχήμα Δ.157 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



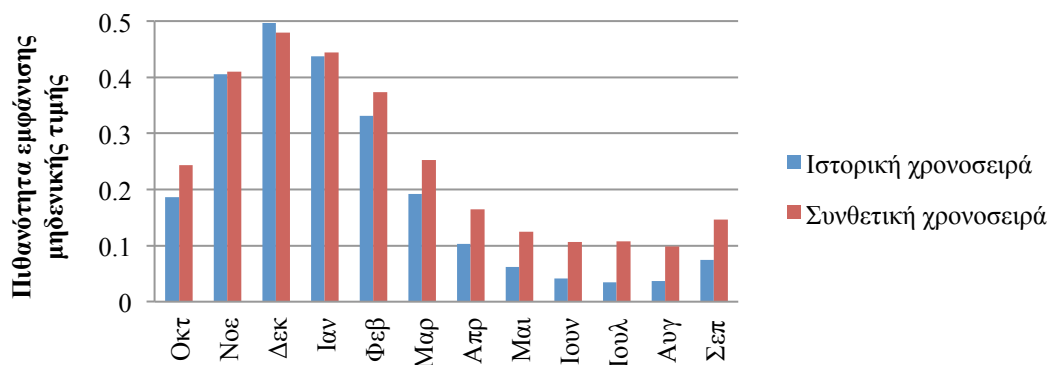
Σχήμα Δ.158: Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.



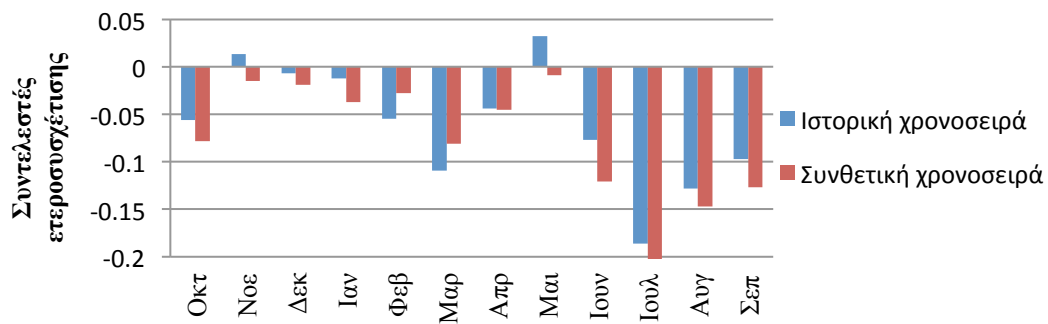
Σχήμα Δ.159 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



Σχήμα Δ.160 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Potsdam.



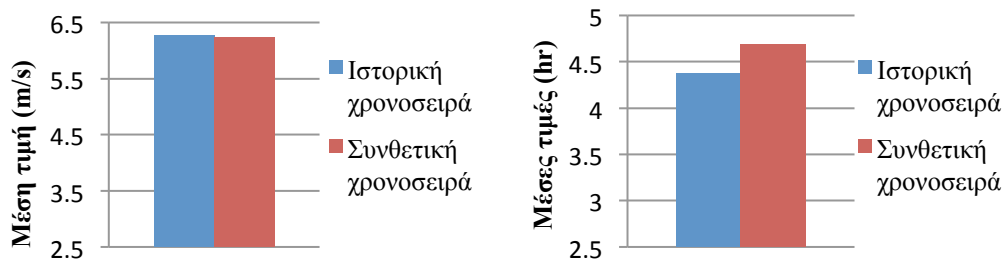
Σχήμα Δ.161 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.



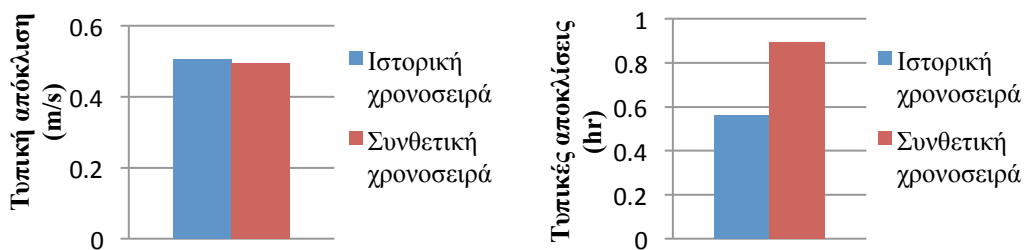
Σχήμα Δ.162 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Potsdam.

## 7.Σταθμός Vlissingen

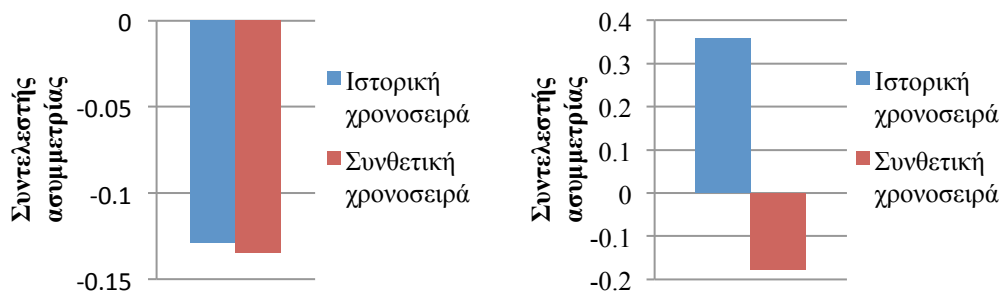
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ετήσιας κλίμακας



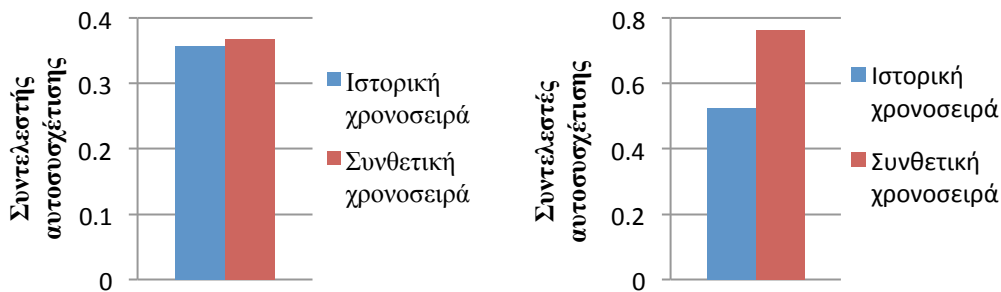
Σχήμα Δ.163 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας μέσης τιμής του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.



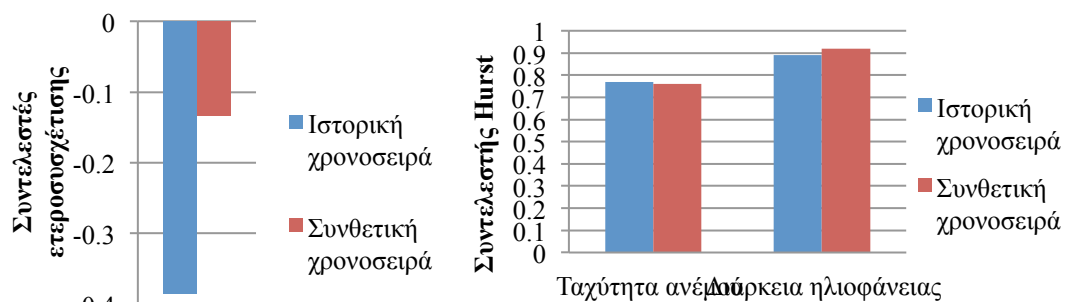
Σχήμα Δ.164 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας τυπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.



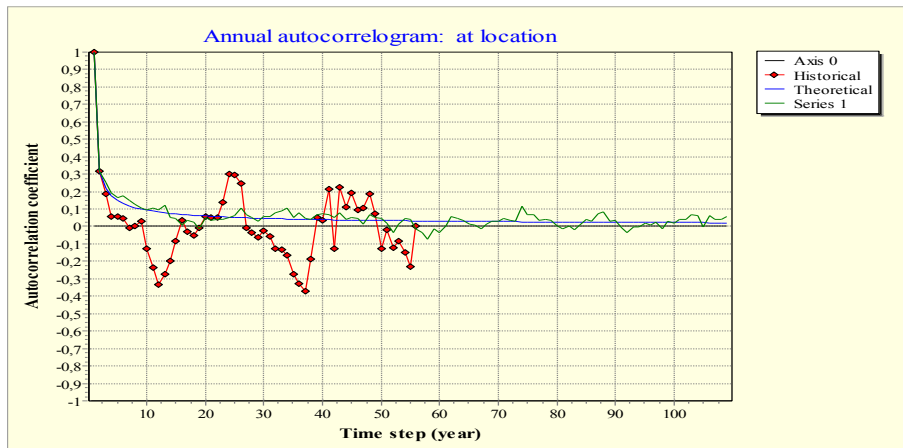
Σχήμα Δ.165 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.



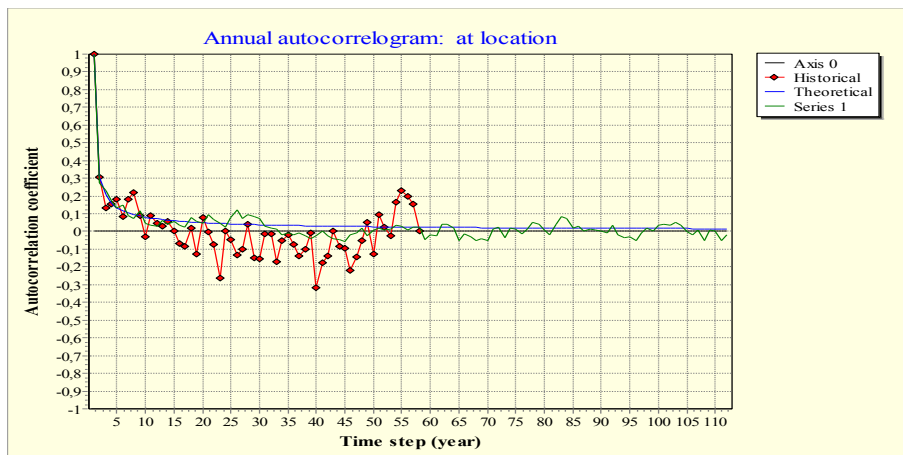
Σχήμα Δ.166 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.



Σχήμα Δ.167 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου δειγματικού και συνθετικού συντελεστή ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας και τιμές του συντελεστή Hurst των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών των δύο μεταβλητών για τον σταθμό Vlissingen.

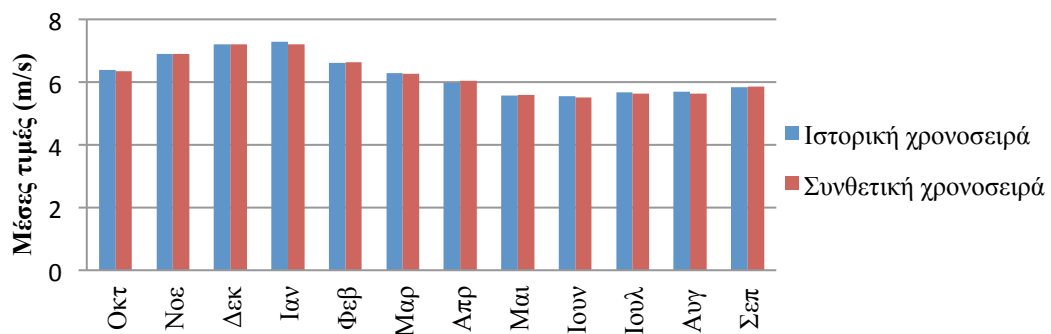


Σχήμα Δ.168 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Vlissingen.

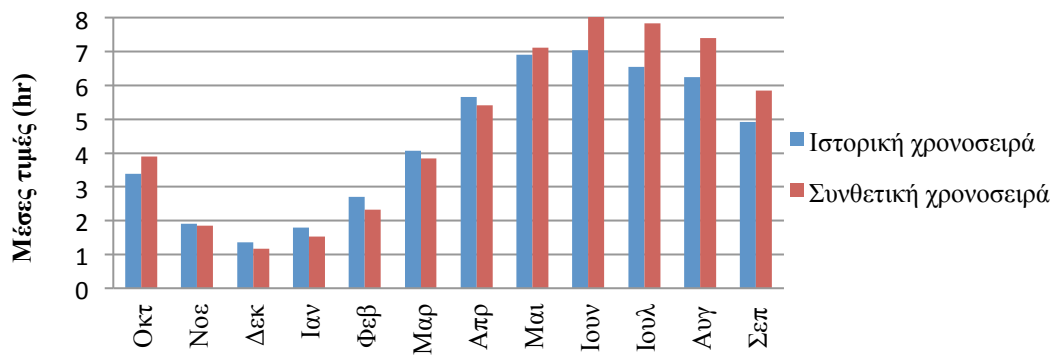


Σχήμα Δ.169 : Αυτοσυσχετόγραμμα ετήσιας χρονοσειράς διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.

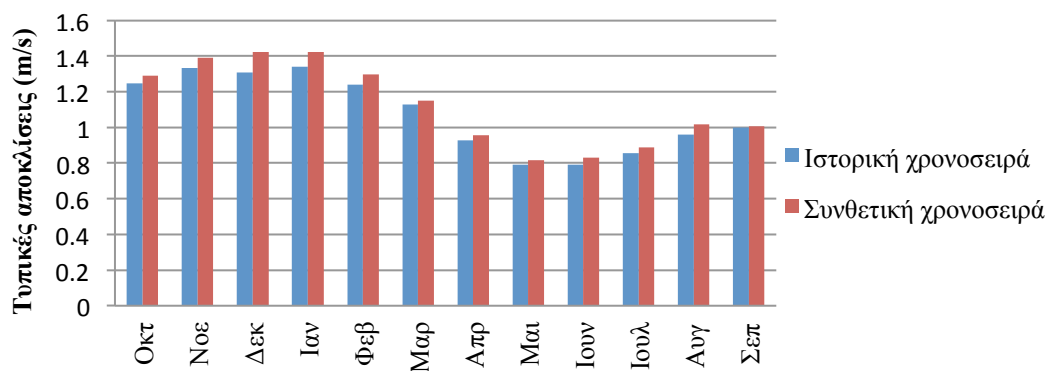
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών μηνιαίας κλίμακας



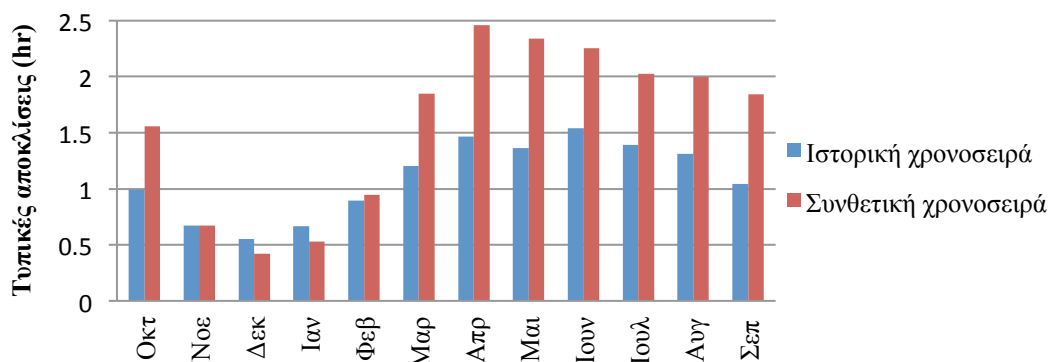
Σχήμα Δ.170 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Vlissingen.



Σχήμα Δ.171 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.

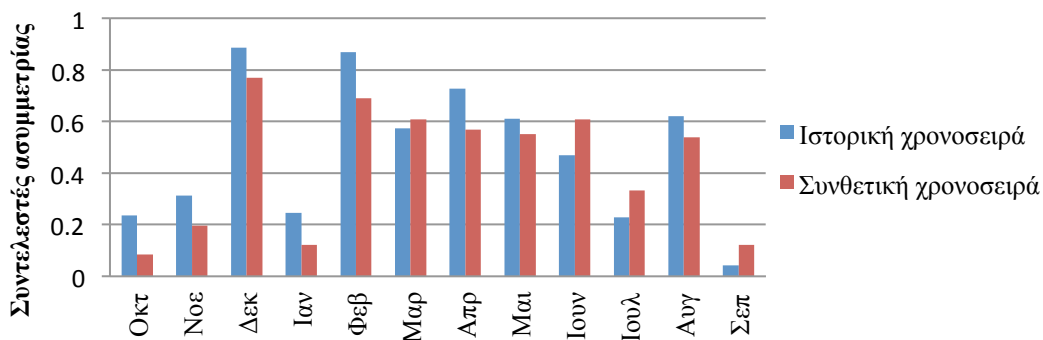


Σχήμα Δ.172 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Vlissingen.

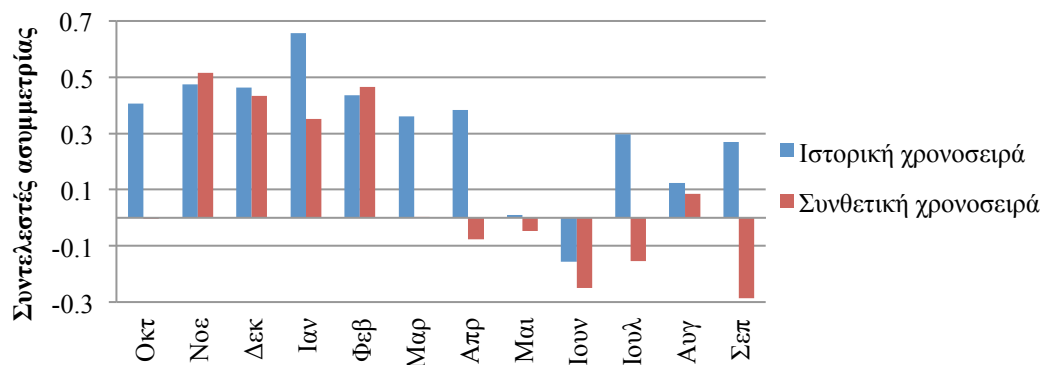


Σχήμα Δ.173 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.

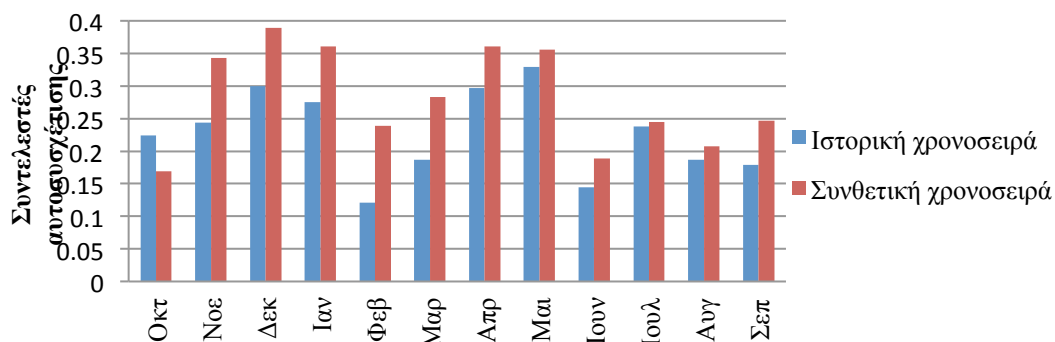




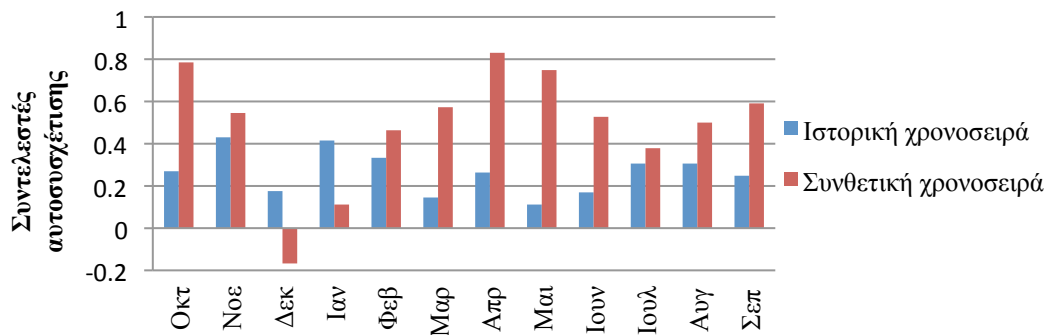
Σχήμα Δ.174 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Vlissingen.



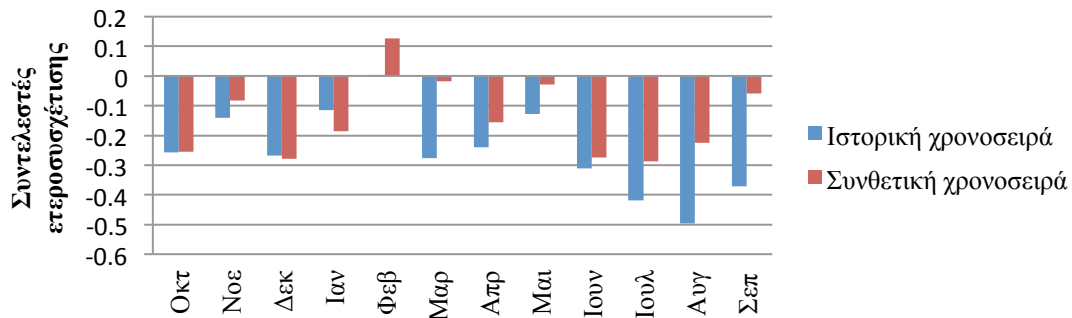
Σχήμα Δ.175 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.



Σχήμα Δ.176 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Vlissingen.

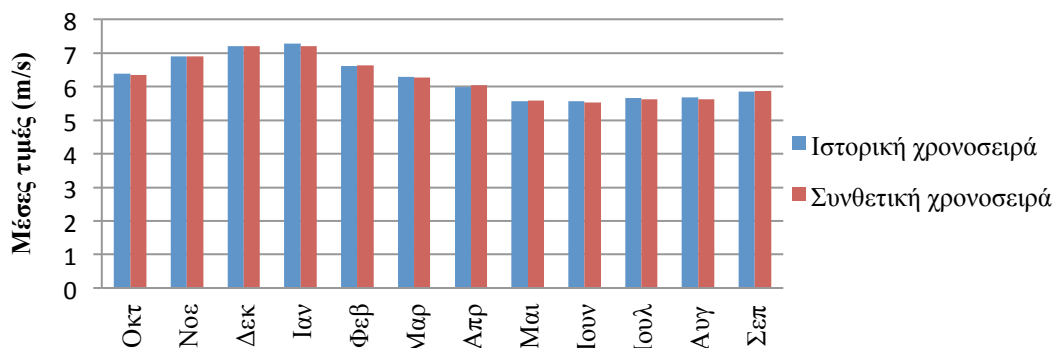


Σχήμα Δ.177 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.

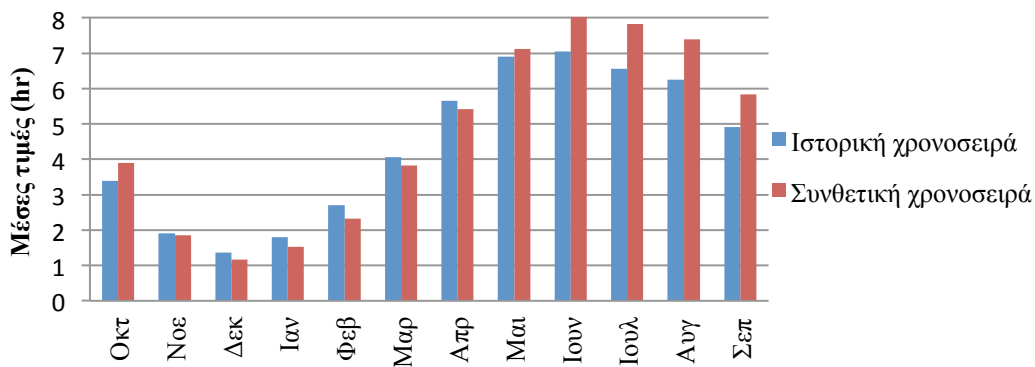


Σχήμα Δ.178 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.

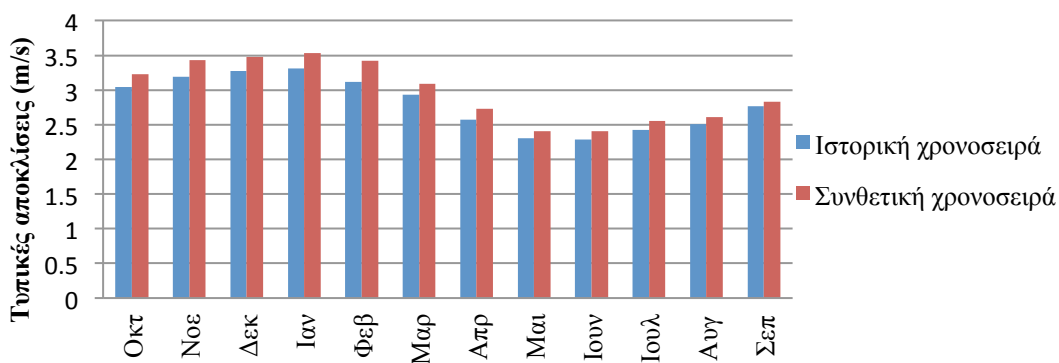
### Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών ημερήσιας κλίμακας



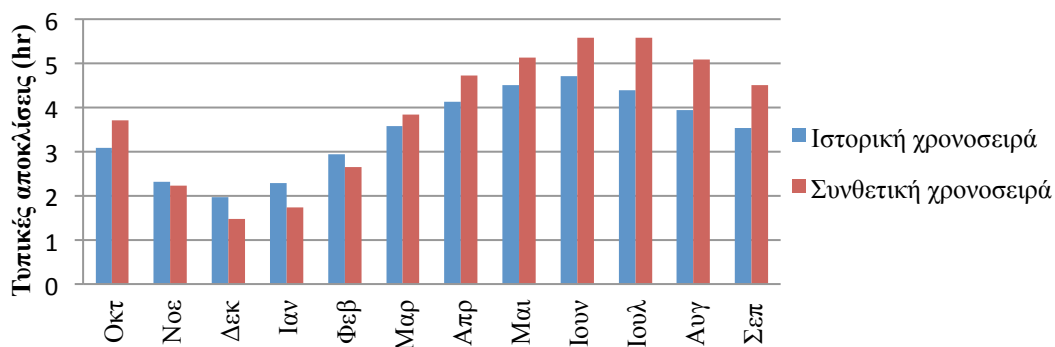
Σχήμα Δ.179 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για το σταθμό για τον σταθμό Vlissingen.



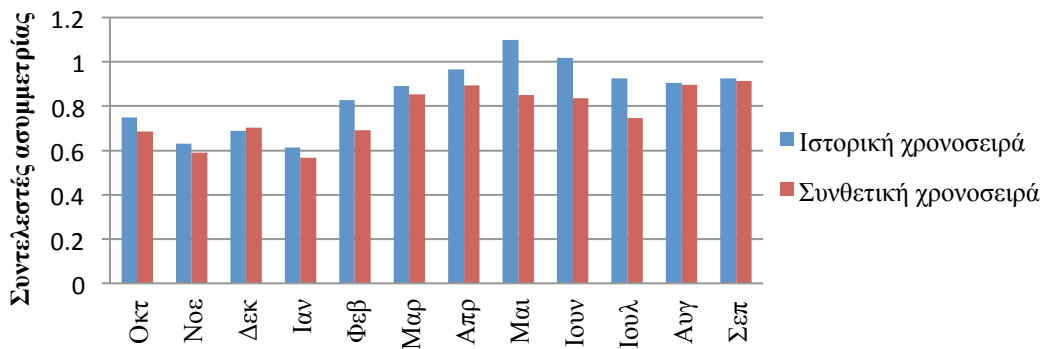
Σχήμα Δ.180 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.



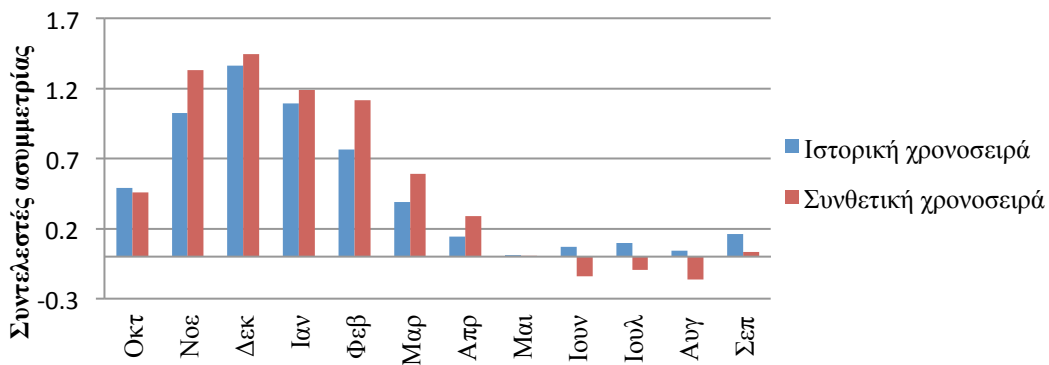
Σχήμα Δ.181 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Vlissingen.



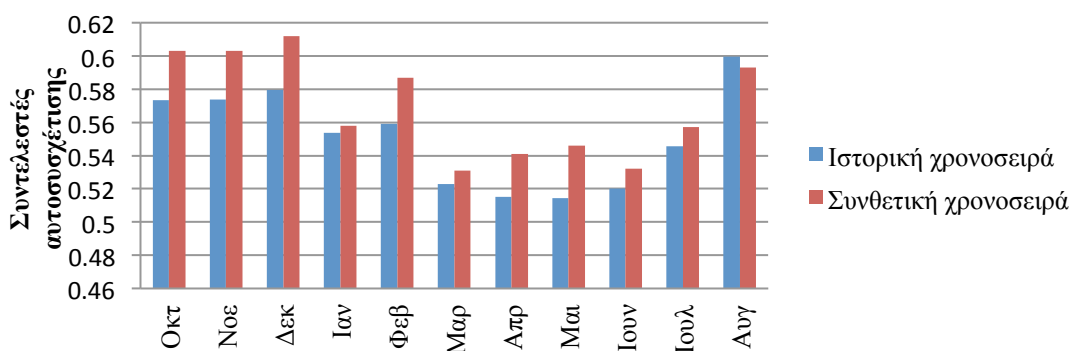
Σχήμα Δ.182 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.



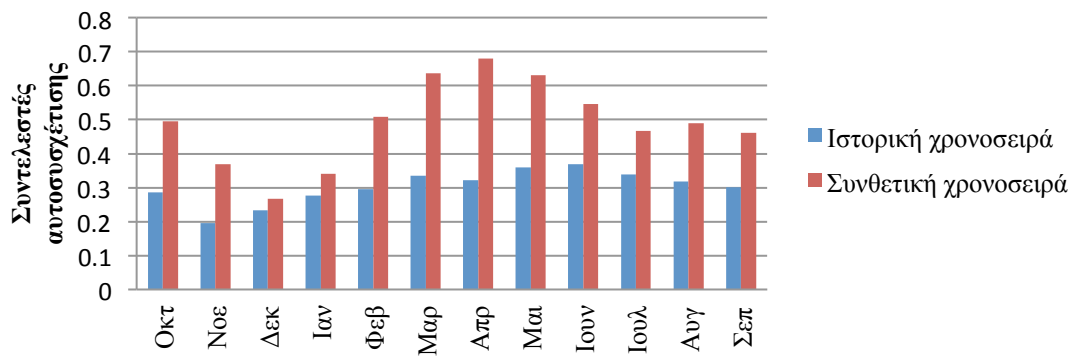
Σχήμα Δ.183 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Vlissingen.



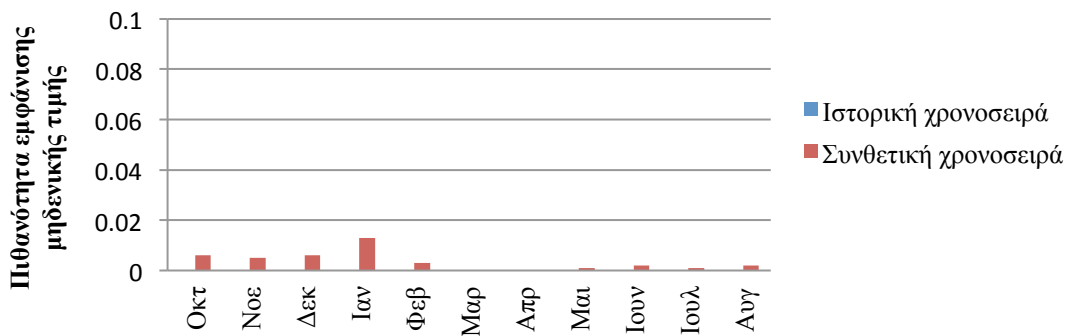
Σχήμα Δ.184 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.



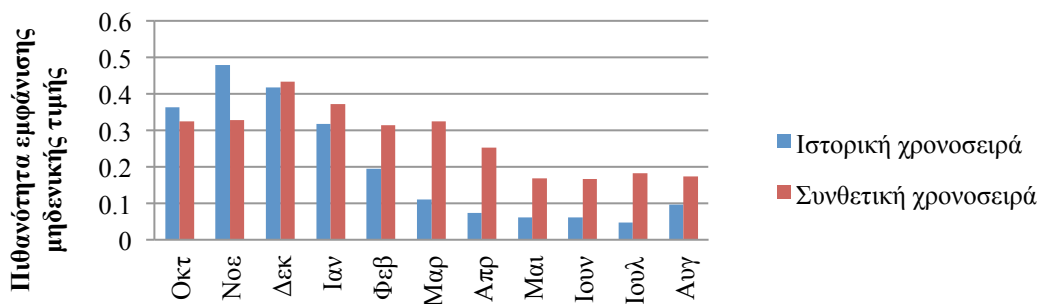
Σχήμα Δ.185 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Vlissingen.



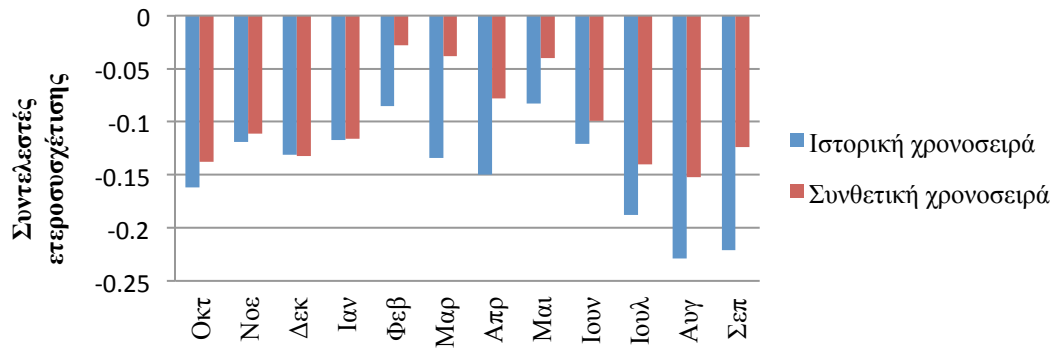
Σχήμα Δ.186 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.



Σχήμα Δ.187 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος μέσης ταχύτητας ανέμου για τον σταθμό Vlissingen.

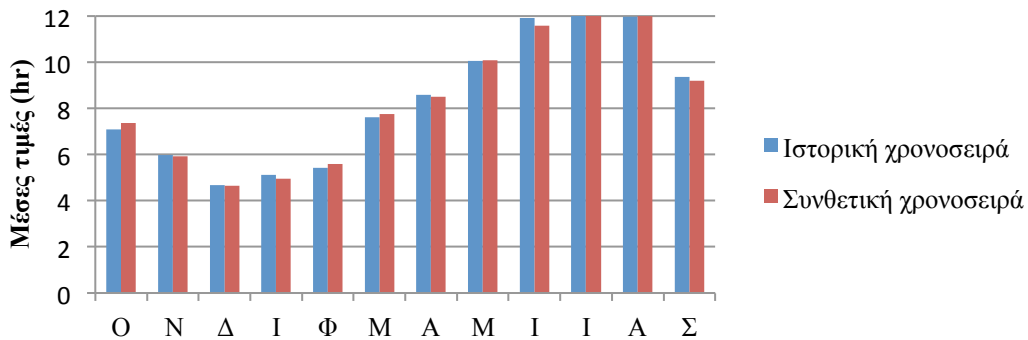


Σχήμα Δ.188 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της πιθανότητας εμφάνισης μηδενικών τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.

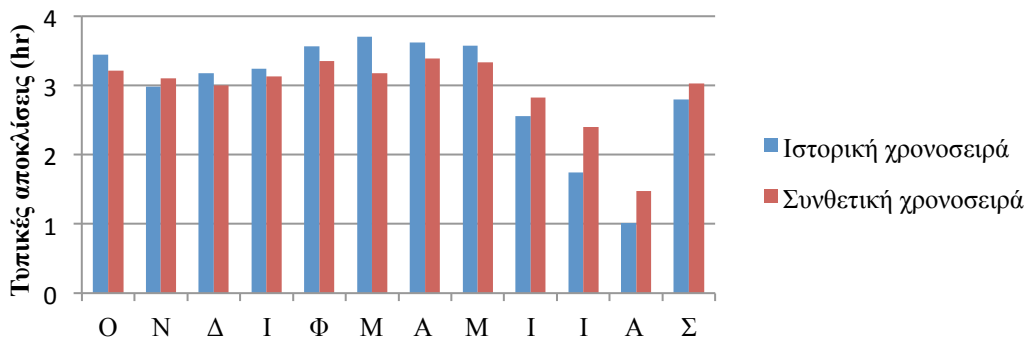


Σχήμα Δ.189 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων δειγματικών και συνθετικών συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης μεταξύ της μέσης ταχύτητας ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας για τον σταθμό Vlissingen.

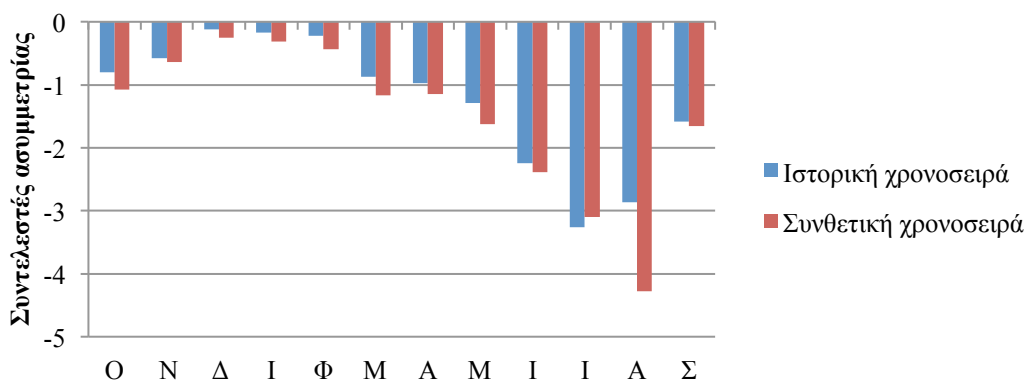
**Παράρτημα Ε –Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών σταθμού Αγίου Κοσμά με συντελεστή Hurst μέσης ταχύτητας ανέμου 0.84 και διάρκειας ηλιοφάνειας 0.82**



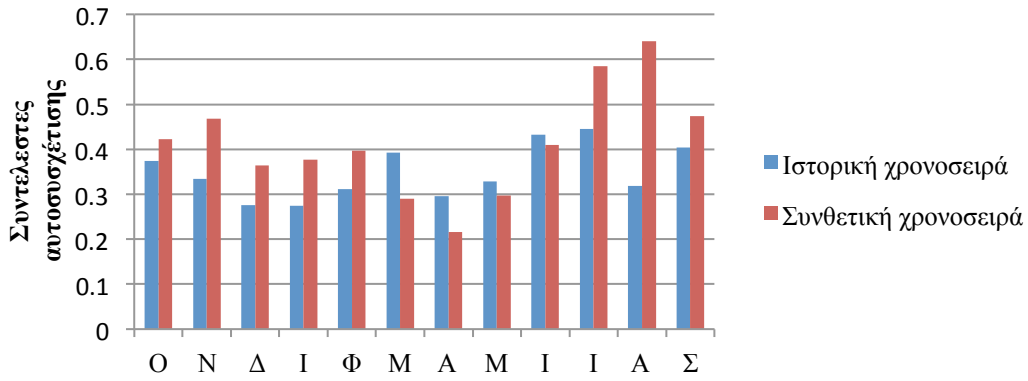
Σχήμα Ε.1 :Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας.



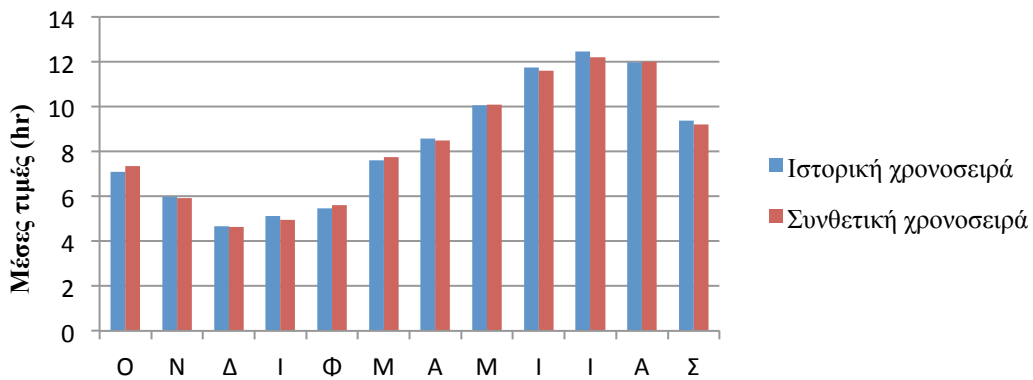
Σχήμα Ε.2 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας.



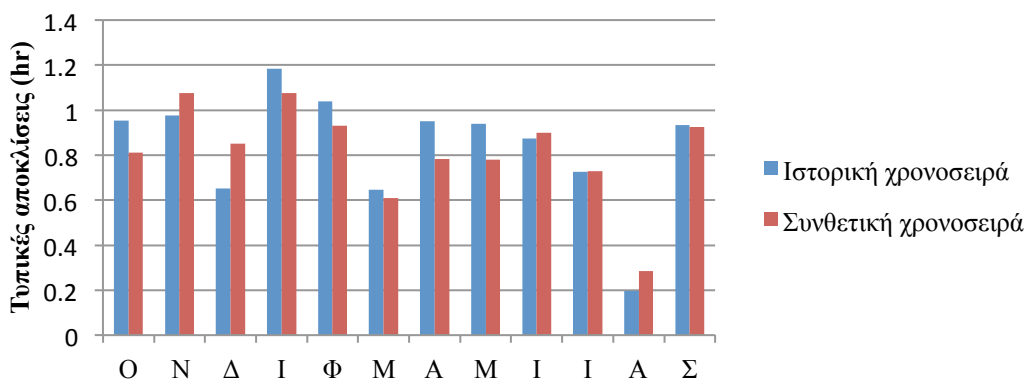
Σχήμα Ε.3 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας.



Σχήμα E.4 Ραβδόγραμμα σύγκρισης ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της διάρκειας ηλιοφάνειας.

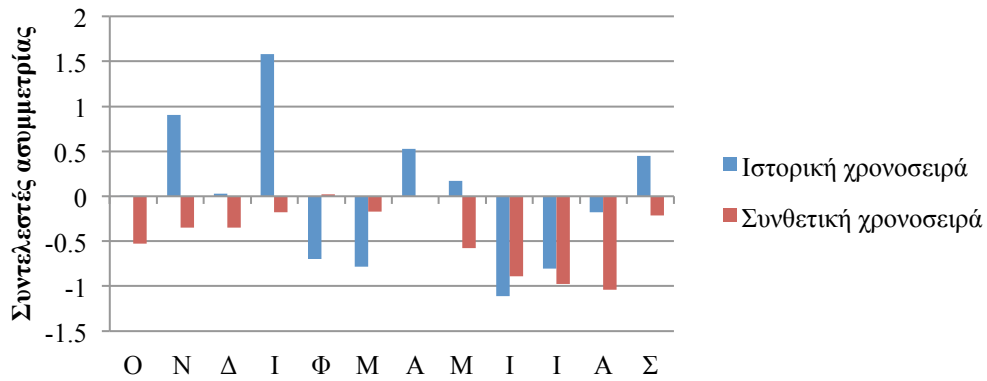


Σχήμα E.5 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της διάρκειας ηλιοφάνειας .

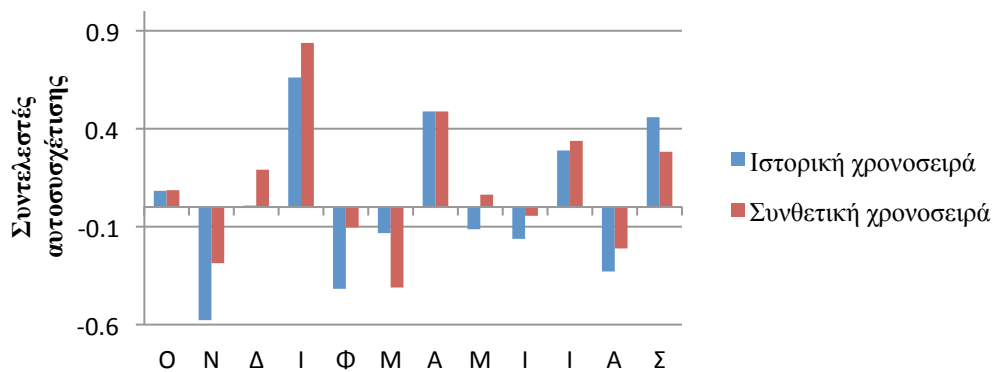


Σχήμα E.6 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της διάρκειας ηλιοφάνειας.

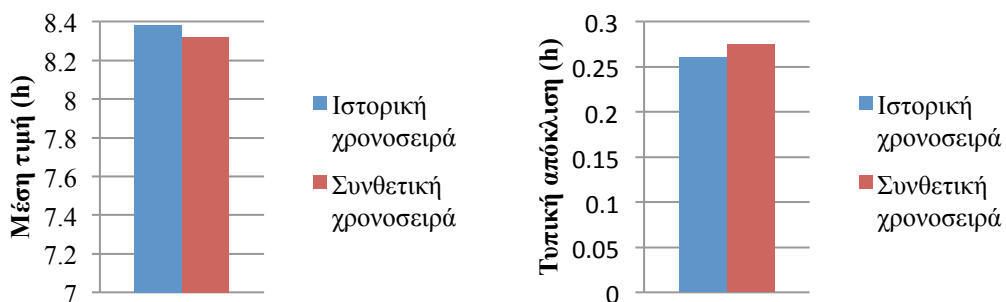




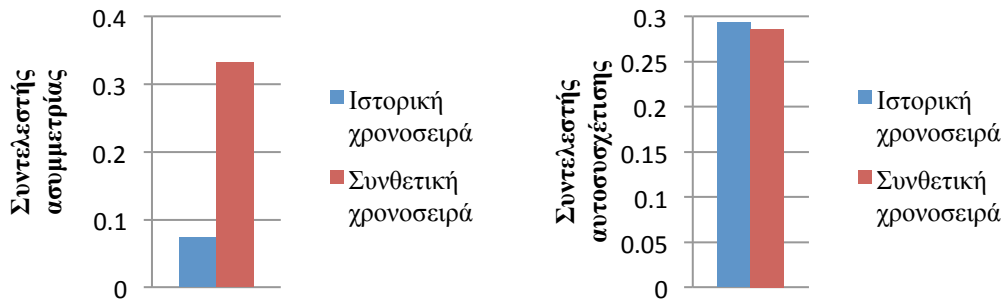
Σχήμα Ε.7 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της διάρκειας ηλιοφάνειας.



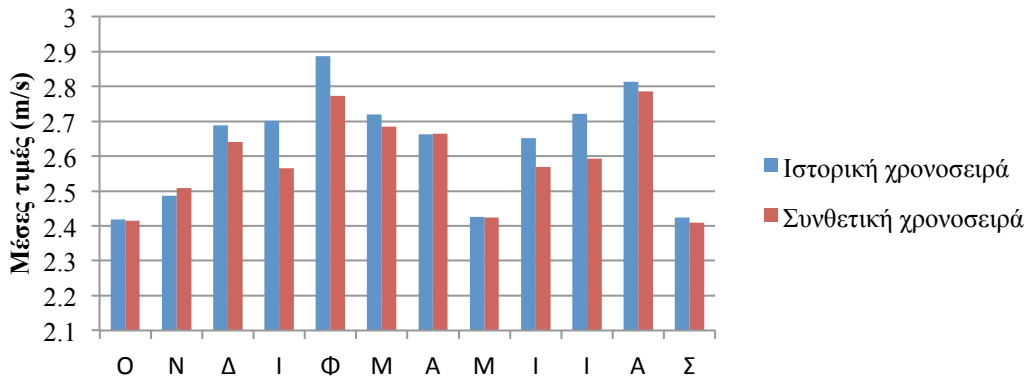
Σχήμα Ε.8 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της διάρκειας ηλιοφάνειας.



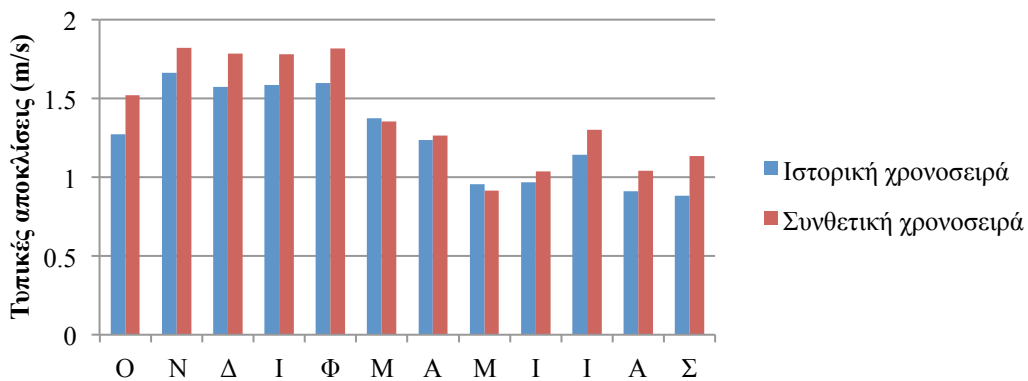
Σχήμα Ε.9 Ραβδογράμματα σύγκρισης ετήσιας μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της διάρκειας ηλιοφάνειας.



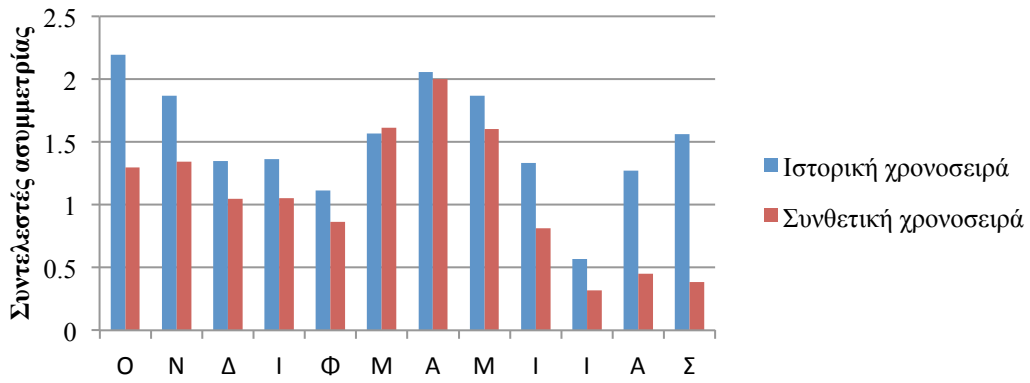
Σχήμα E.10 Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας ασυμμετρίας και συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της διάρκειας ηλιοφάνειας.



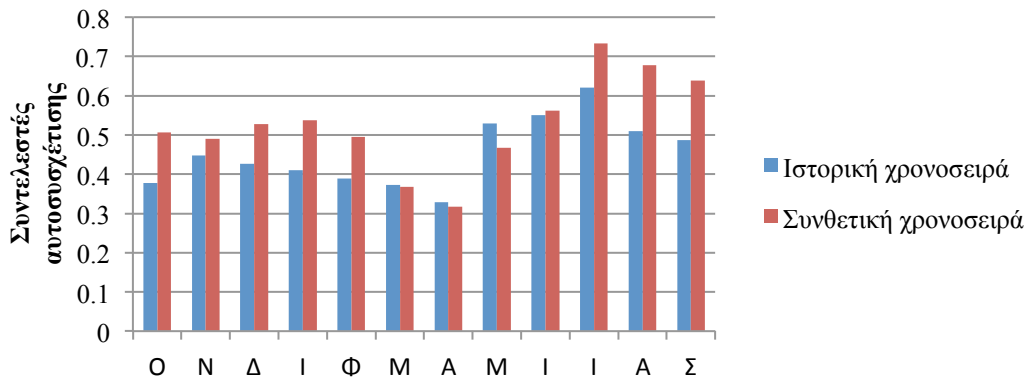
Σχήμα E.11 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της ταχύτητας ανέμου .



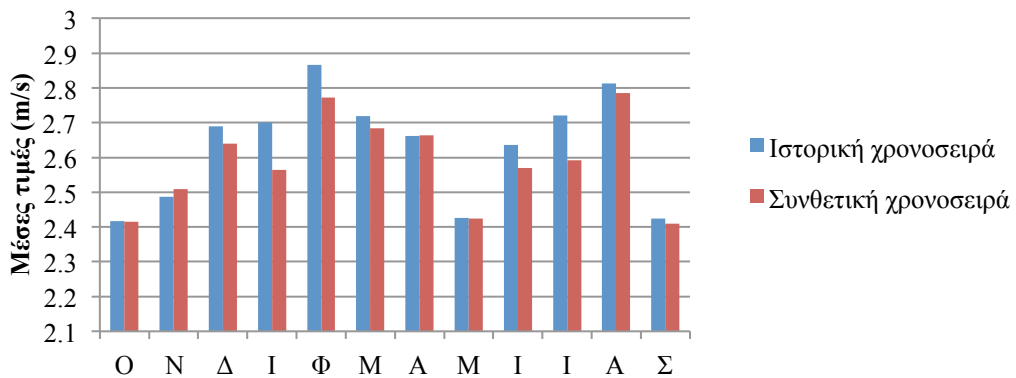
Σχήμα E.12 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της ταχύτητας ανέμου.



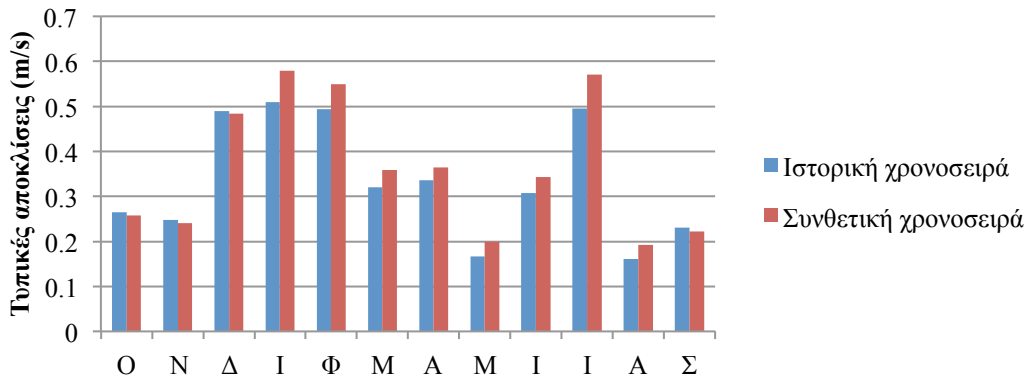
Σχήμα Ε.13 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού δείγματος της ταχύτητας ανέμου.



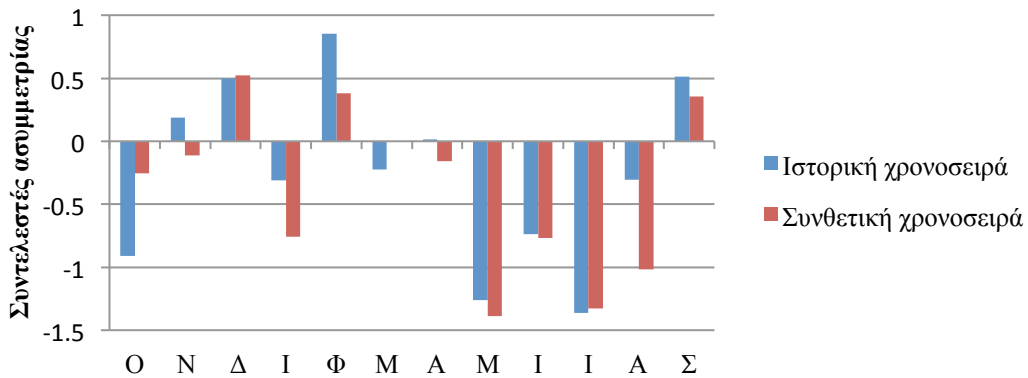
Σχήμα Ε.14 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της ταχύτητας ανέμου.



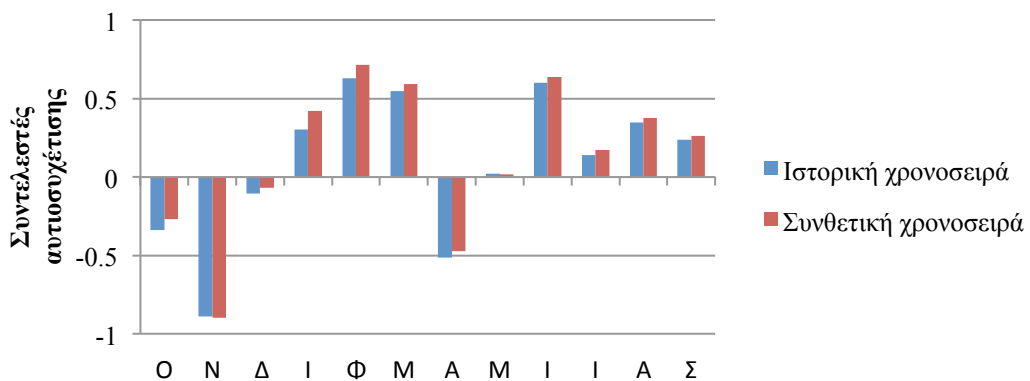
Σχήμα Ε.15 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της ταχύτητας ανέμου.



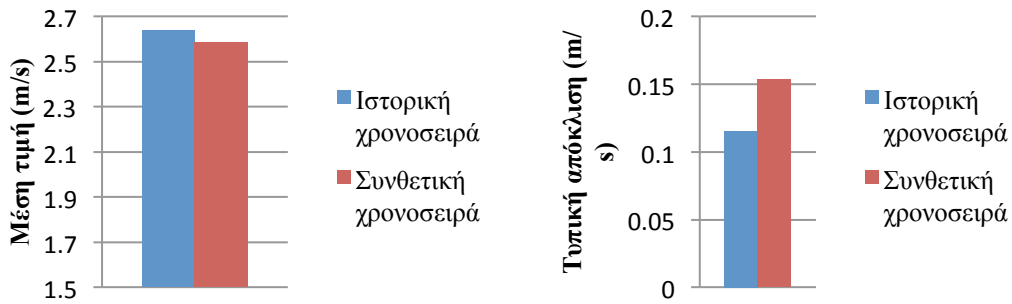
Σχήμα E.16 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της ταχύτητας ανέμου.



Σχήμα E.17 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων ασυμμετριών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της ταχύτητας ανέμου.



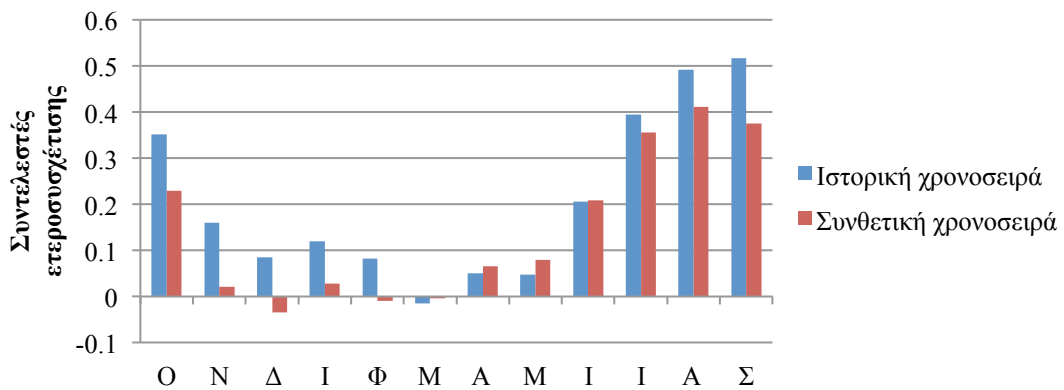
Σχήμα E.18 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της ταχύτητας ανέμου.



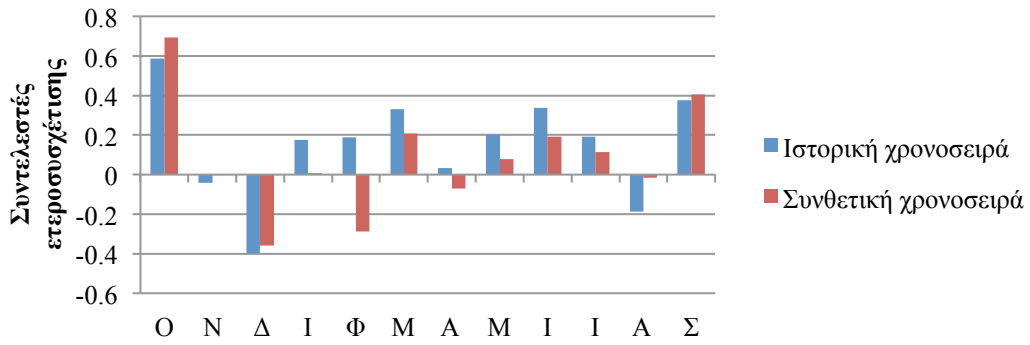
Σχήμα E.19 Ραβδογράμματα σύγκρισης της ετήσιας μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της ταχύτητας ανέμου.



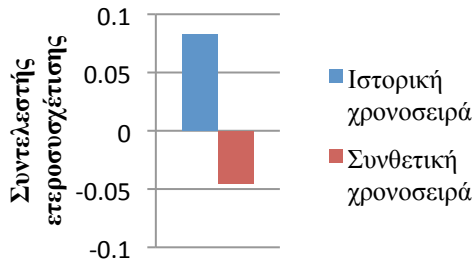
Σχήμα E.20 Ραβδογράμματα σύγκρισης της ετήσιας ασυμμετρίας και του συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της ταχύτητας ανέμου.



Σχήμα E.21 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής υστέρησης της διάρκειας ηλιοφάνειας και της ταχύτητας ανέμου του ιστορικού και συνθετικού δείγματος.

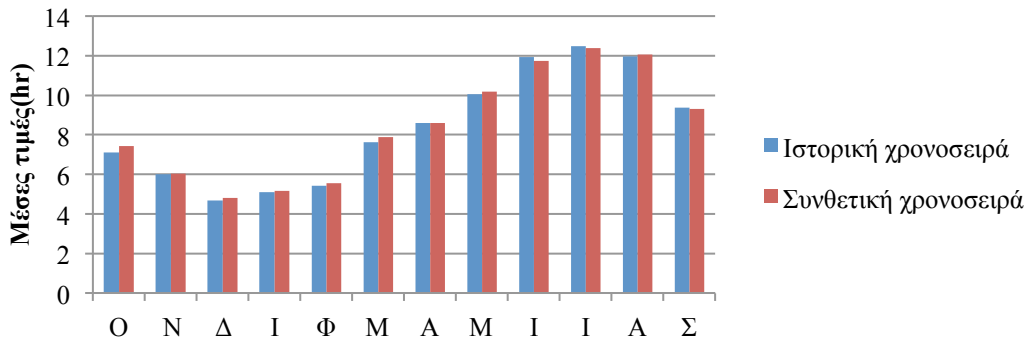


Σχήμα E.22 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής υστέρησης της διάρκειας ηλιοφάνειας και της ταχύτητας ανέμου του ιστορικού και συνθετικού δείγματος.

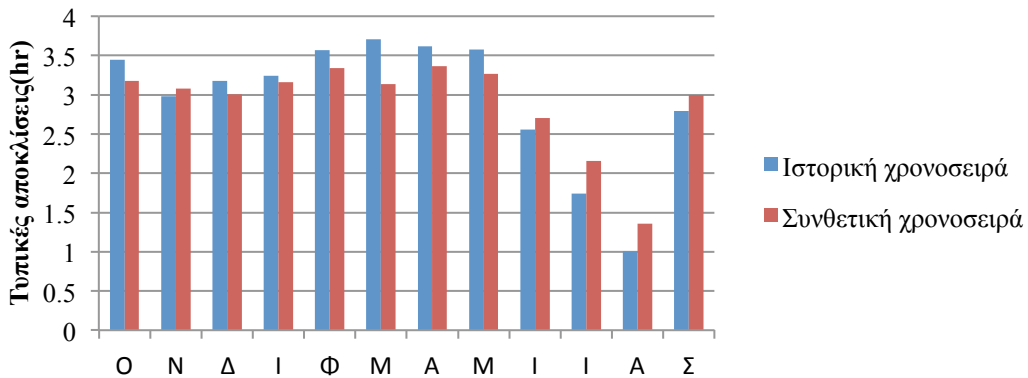


Σχήμα E.23 Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ετεροσυσχέτισης μηδενικής υστέρησης της διάρκειας ηλιοφάνειας και της ταχύτητας ανέμου του ιστορικού και συνθετικού δείγματος.

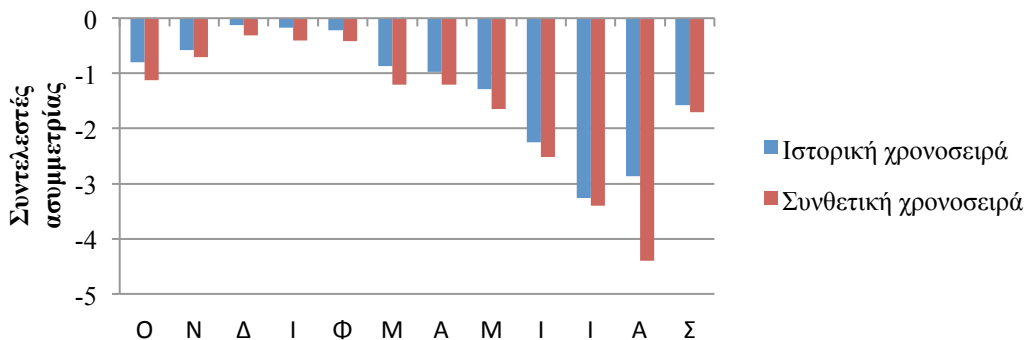
**Παράρτημα Ζ –Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών Σταθμού Αγίου Κοσμά με συντελεστή Hurst μέσης ταχύτητας ανέμου 0.64 και διάρκειας ηλιοφάνειας 0.61**



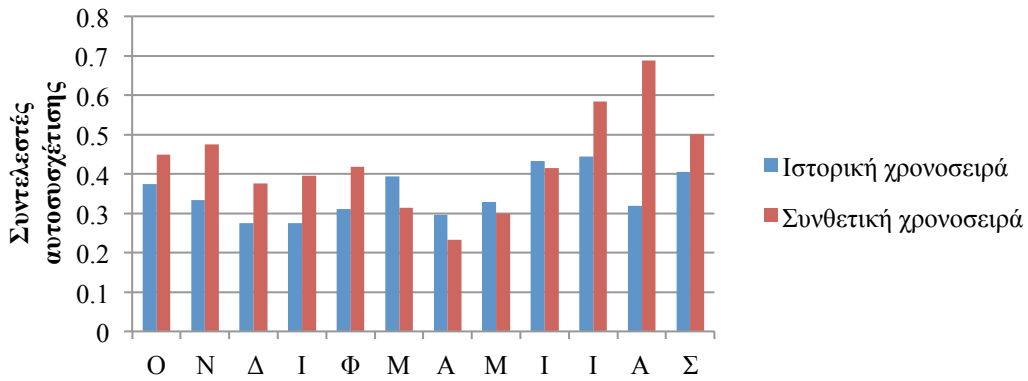
Σχήμα Ζ.1 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας.



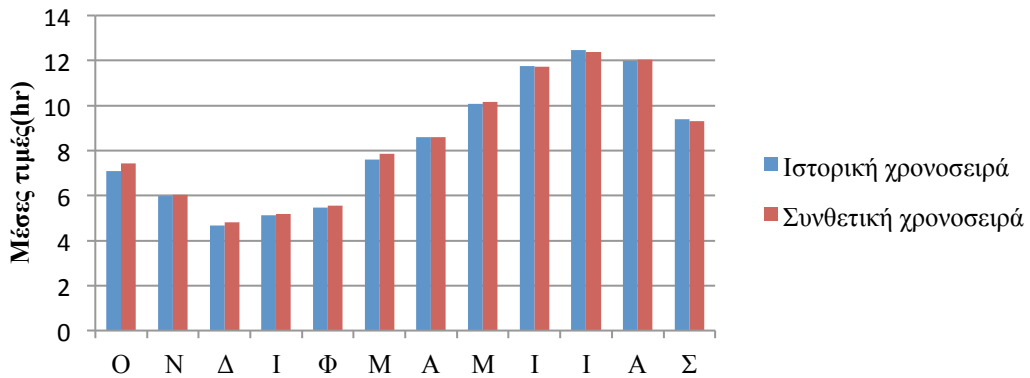
Σχήμα Ζ.2 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας.



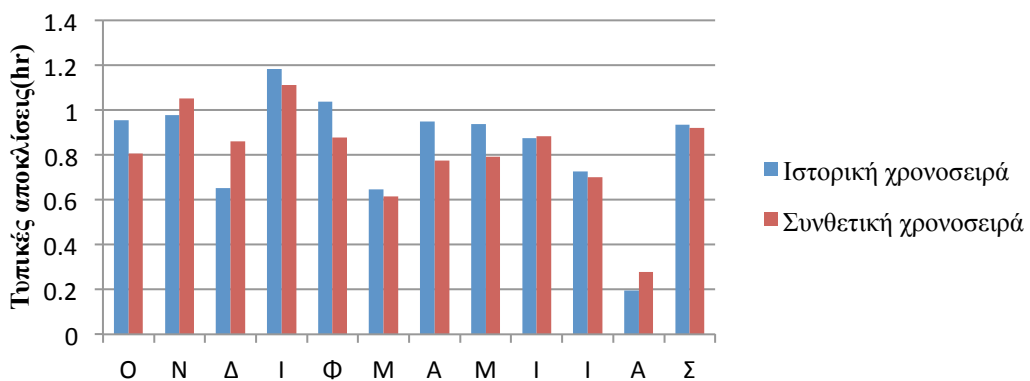
Σχήμα Ζ.3 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας.



Σχήμα Z.4 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας.

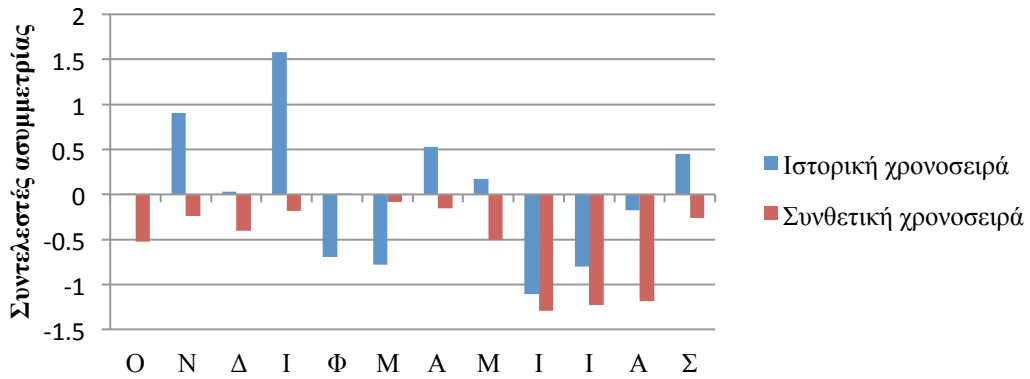


Σχήμα Z.5 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας.

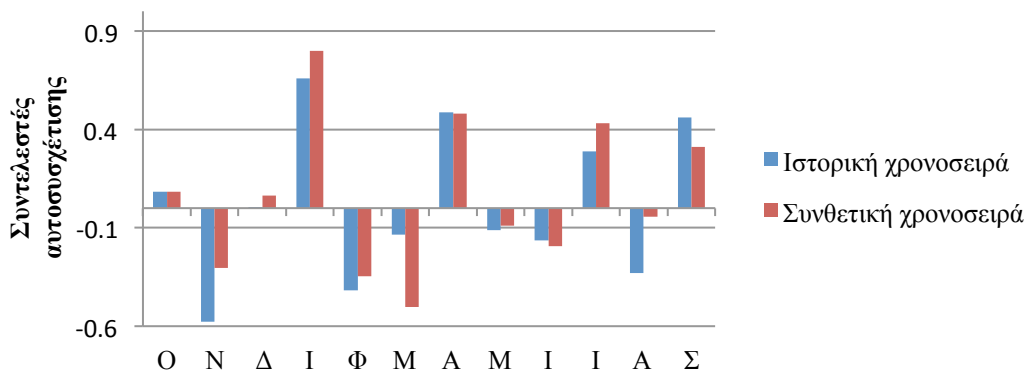


Σχήμα Z.6 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας.

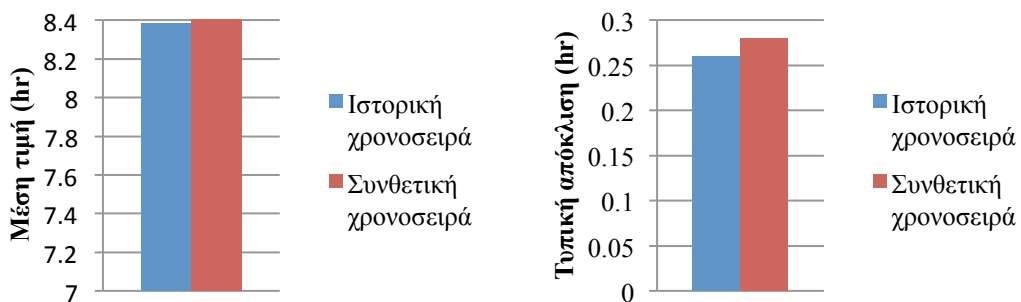




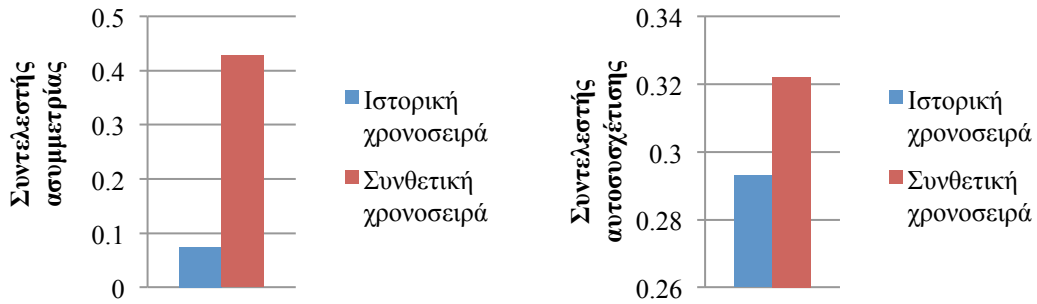
Σχήμα Z.7 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας



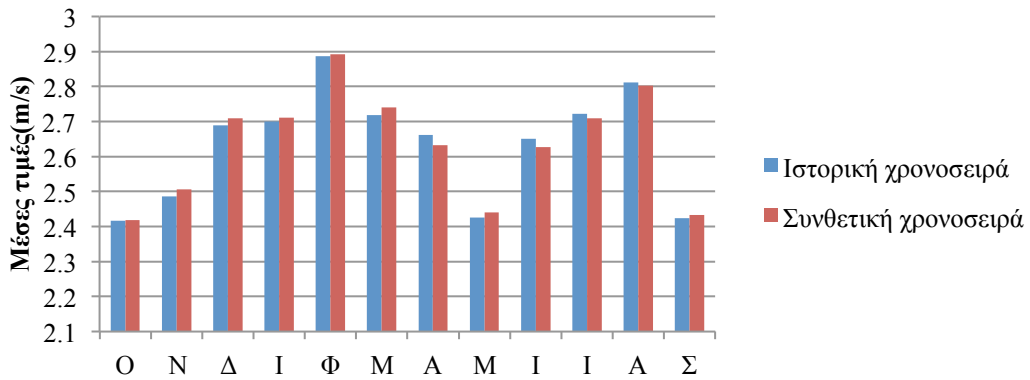
Σχήμα Z.8 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών αυτοσυσχέτισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος διάρκειας ηλιοφάνειας



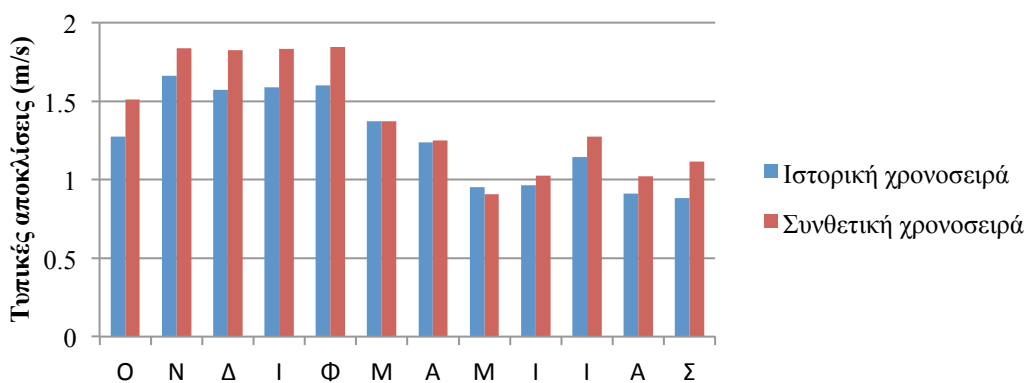
Σχήμα Z.9 Ραβδογράμματα σύγκρισης της ετήσιας μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της διάρκειας ηλιοφάνειας.



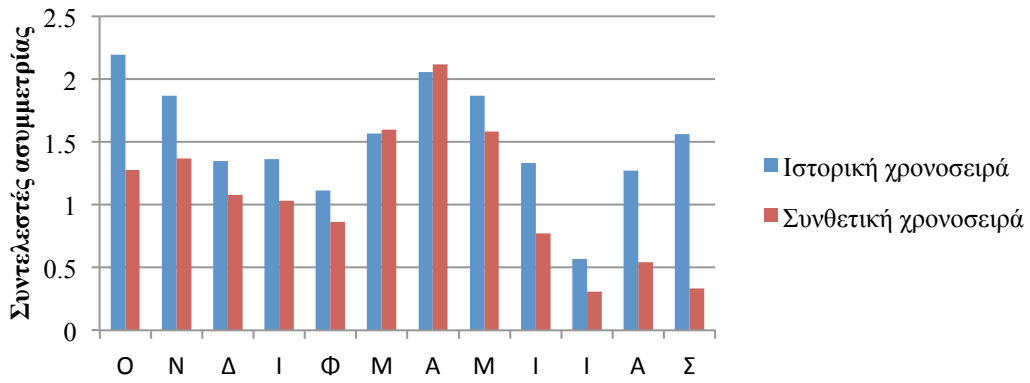
Σχήμα Z.10 Ραβδογράμματα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ασυμμετρίας και αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της διάρκειας ηλιοφάνειας.



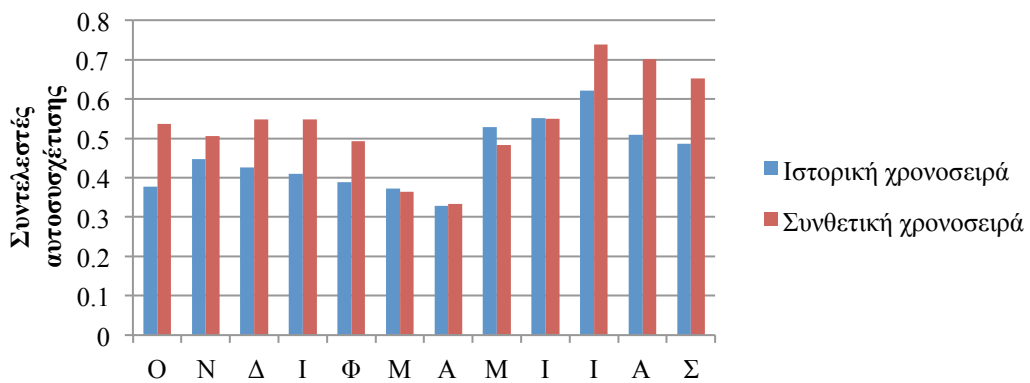
Σχήμα Z.11 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος ταχύτητας ανέμου.



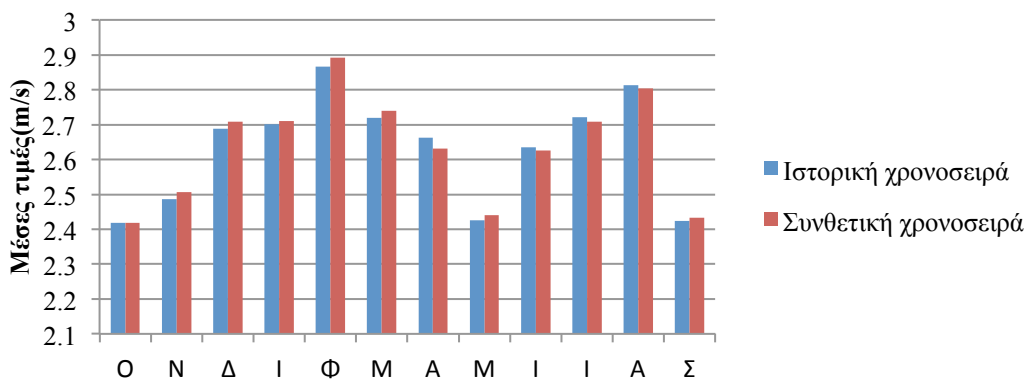
Σχήμα Z.12 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος ταχύτητας ανέμου.



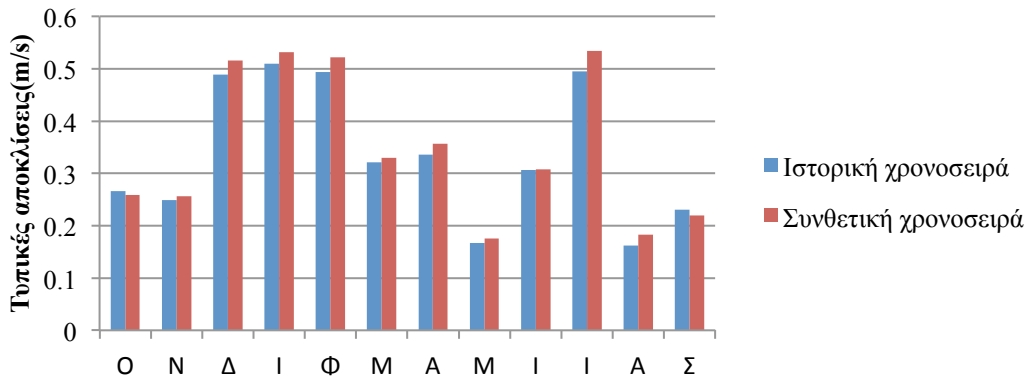
Σχήμα Ζ.13 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος ταχύτητας ανέμου.



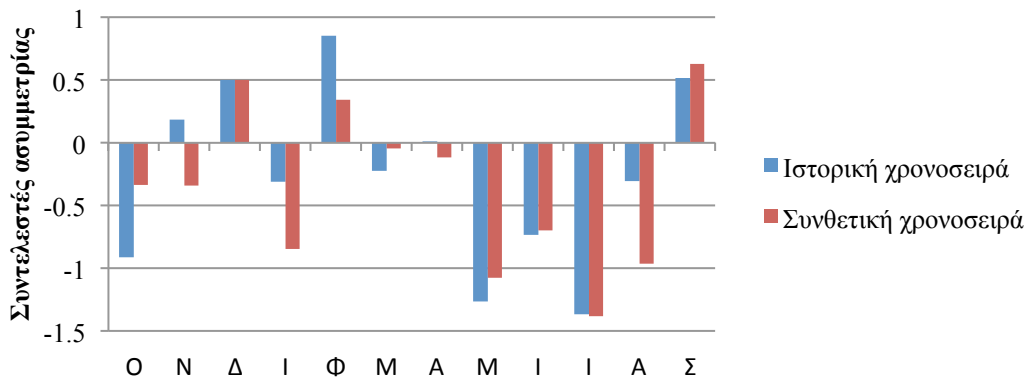
Σχήμα Ζ.14 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος ταχύτητας ανέμου.



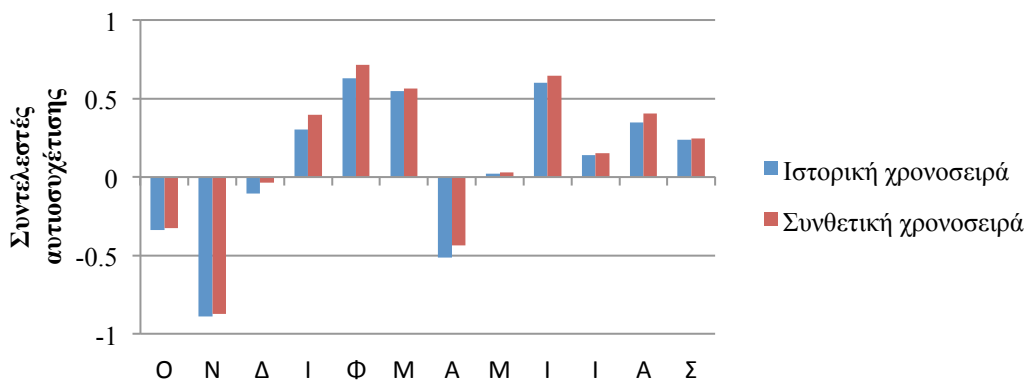
Σχήμα Ζ.15 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων μέσων τιμών του ιστορικού και συνθετικού δείγματος ταχύτητας ανέμου.



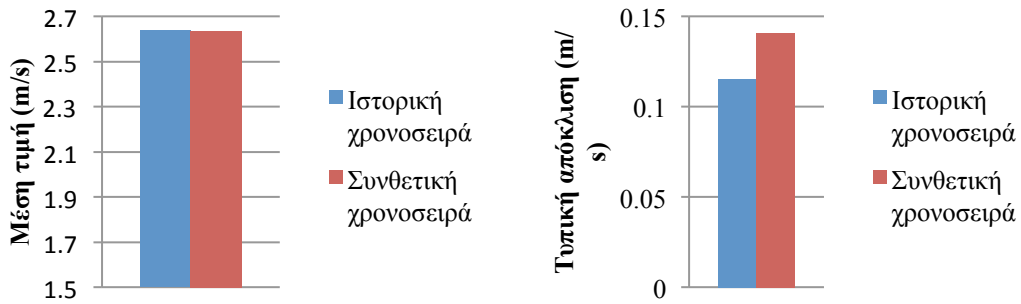
Σχήμα Z.16 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων του ιστορικού και συνθετικού δείγματος ταχύτητας ανέμου.



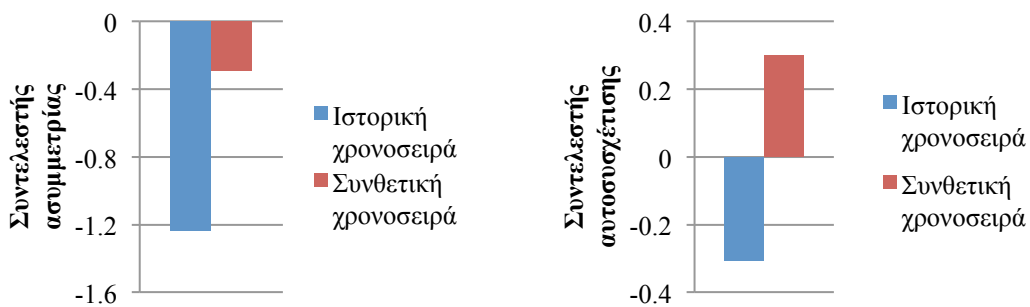
Σχήμα Z.17 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος ταχύτητας ανέμου.



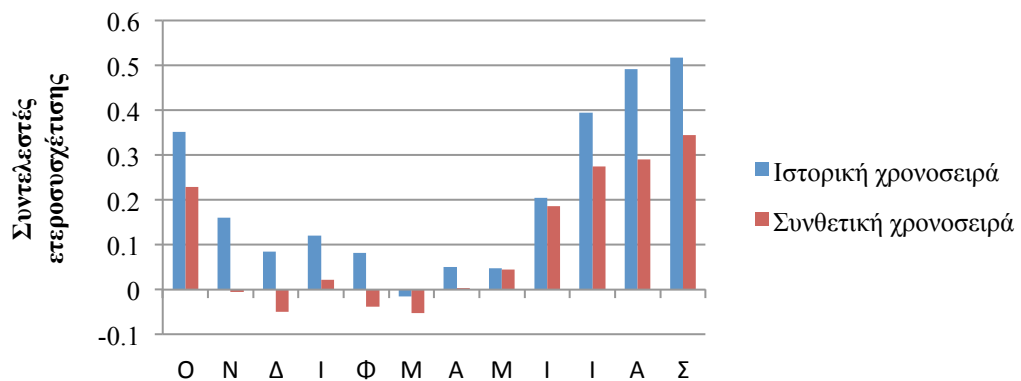
Σχήμα Z.18 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ασυμμετρίας του ιστορικού και συνθετικού δείγματος ταχύτητας ανέμου.



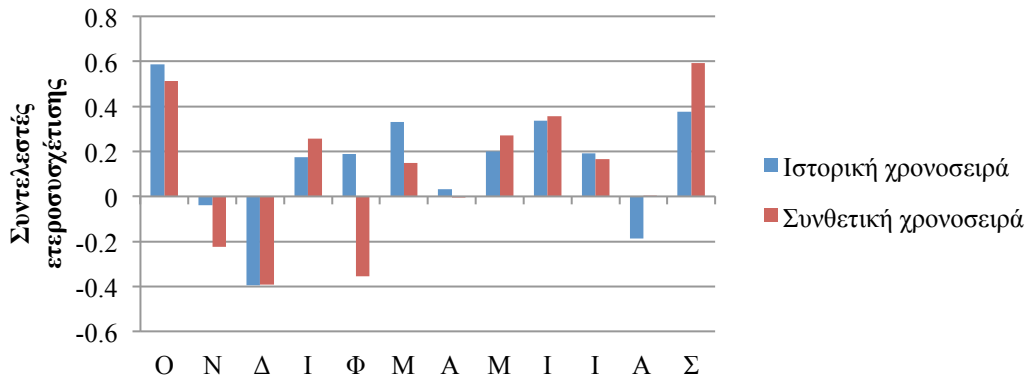
Σχήμα Z.19 Ραβδογράμματα σύγκρισης της ετήσιας μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της ταχύτητας ανέμου.



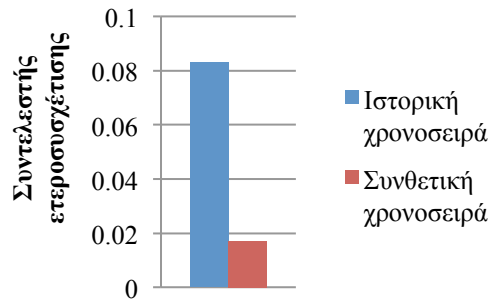
Σχήμα Z.20 Ραβδογράμματα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ασυμμετρίας και αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης του ιστορικού και συνθετικού δείγματος της ταχύτητας ανέμου.



Σχήμα Z.21 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των ημερήσιων συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής υστέρησης της διάρκειας ηλιοφάνειας και της ταχύτητας ανέμου του ιστορικού και συνθετικού δείγματος.



Σχήμα Z.22 Ραβδόγραμμα σύγκρισης των μηνιαίων συντελεστών ετεροσυσχέτισης μηδενικής υστέρησης της διάρκειας ηλιοφάνειας και της ταχύτητας ανέμου του ιστορικού και συνθετικού δείγματος.



Σχήμα Z.23 Ραβδόγραμμα σύγκρισης του ετήσιου συντελεστή ετεροσυσχέτισης μηδενικής υστέρησης της διάρκειας ηλιοφάνειας και της ταχύτητας ανέμου του ιστορικού και συνθετικού δείγματος.