



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ &  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Σύγκριση δορυφορικών και επίγειων βροχομετρικών  
καταγραφών σε παγκόσμια κλίμακα**



Δημουλάς Αθανάσιος

Επιβλέπων: Κουτσογιάννης Δημήτρης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2016





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ &  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Σύγκριση δορυφορικών και επίγειων βροχομετρικών  
καταγραφών σε παγκόσμια κλίμακα**

Δημουλάς Αθανάσιος

Επιβλέπων: Κουτσογιάννης Δημήτρης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2016

*Το περιεχόμενο της ανά χειράς διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτή υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες.*



## Ευχαριστίες

Μετά από οκτώ μήνες συστηματικής εργασίας είμαι στην ευχάριστη θέση να συντάξω το τελευταίο κεφάλαιο της διπλωματικής μου εργασίας κλείνοντας έτσι τον κύκλο των προπτυχιακών μου σπουδών στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Φυσικά, αυτή η έκβαση δεν θα ήταν δυνατή χωρίς την συμβολή κάποιων ανθρώπων τους οποίους αισθάνομαι την ανάγκη να αναφέρω ιδιαίτερως.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας και καθηγητή της σχολής πολιτικών μηχανικών του ΕΜΠ Δημήτρη Κουτσογιάννη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε δίνοντας μου την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα ζήτημα της επιστήμης του μηχανικού που απασχολεί κυρίως άτομα μεταπτυχιακού επιπέδου. Βέβαια, θα ήταν αμέλεια να παραλείψω το ήθος και την ποιότητα του σαν ανθρώπου, καθώς και τη θετική επιρροή που είχε επάνω μου κατά την διάρκεια των προπτυχιακών σπουδών η οποία συνετέλεσε στο να επιλέξω την κατεύθυνση του υδραυλικού μηχανικού.

Στη συνέχεια, δεν θα μπορούσα να αγνοήσω την αμέριστη συμβολή της υποψήφιας διδάκτορα Άννης Ηλιοπούλου. Η συνεχής υποστήριξη που μου παρείχε, καθ' όλη τη διάρκεια των τελευταίων οκτώ μηνών, σε συνδυασμό με την βοήθεια της σε ζητήματα προγραμματιστικής φύσεως, συνετέλεσαν σημαντικά στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Παναγιώτη Δημητριάδη για τις εύστοχες παρατηρήσεις που υπέδειξε. Επίσης, υπήρξε καθοριστικής σημασίας η συμβολή της συμφοιτήτριάς μου Ολυμπίας Δασκάλουστην κατανόηση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Βέβαια, δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω τον Ρωμανό Ιωαννίδη, για τις συμβουλές του σχετικά με την τελική παρουσίαση τη εργασίας, και τον Αρχιμήδη Αγγελόπουλο για τις υποδείξεις του με στόχο την βελτιστοποίηση των αλγορίθμων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη.

Σε προσωπικό επίπεδο, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου, τους οποίους είναι αδύνατο να απαριθμήσω γιατί τυγχάνει να είναι πολλοί, για τις στιγμές που μοιραστήκαμε μαζί κατά την διάρκεια της φοιτητικής περιόδου.

Τέλος, ευχαριστώ μέσα από την καρδιά μου τους γονείς μου Κώστα και Αθηνά καθώς και την αδερφή μου Μαρία για την αναντικατάστατη στήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου καθώς και για την καθοδήγηση τους στις σημαντικότερες φάσεις της ζωής μου. Χωρίς αυτούς δεν θα βρισκόμουν στην ευχάριστη θέση να κλείσω τον κύκλο των φοιτητικών μου χρόνων.

Δημουλάς Θάνος,  
Νοέμβριος 2016



*Για να βρεις τον εαυτό σου  
πρέπει πρώτα να τον χάσεις*





## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	ix
Abstract .....	x
1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο της εργασίας .....	1
1.2 Διάρθρωση της εργασίας .....	2
2 Βιβλιογραφική επισκόπηση .....	3
2.1 Δορυφορικά Βροχομετρικά Δεδομένα.....	3
2.1.1 Ιστορικά στοιχεία της αποστολής TRMM .....	3
2.1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του δορυφόρου TRMM .....	7
2.1.3 Εξοπλισμός TRMM και δεδομένα .....	12
2.1.4 Τρόπος λειτουργίας του ραντάρ PR .....	15
2.1.5 Αλγόριθμοι της αποστολής TRMM .....	16
2.1.6 Προσπάθειες αξιολόγησης κατά τη διάρκεια της πρώτης διετίας .....	21
2.2 Επίγεια βροχομετρικά δεδομένα .....	23
2.2.1 Τα δεδομένα του GPCC .....	23
2.2.2 Τα δεδομένα του NOAA .....	27
2.2.3 Επιλογή Δεδομένων .....	31
3 Μεθοδολογία αξιολόγησης δορυφορικών βροχομετρικών δεδομένων.....	33
3.1 Περιοχή μελέτης.....	33
3.2 Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων .....	33
3.2.1 Επεξεργασία δορυφορικών βροχομετρικών δεδομένων 3B42 V7 .....	33
3.2.2 Επεξεργασία επίγειων βροχομετρικών δεδομένων του NOAA .....	34
3.2.3 Αναγωγή των δορυφορικών δεδομένων στις θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών του NOAA με τη μέθοδο της Βέλτιστης Γραμμικής Αμερόληπτης Εκτίμησης ( BLUE ) .....	36
3.3 Υπολογισμός στατιστικών δεικτών και μέτρων σφάλματος.....	40
3.4 Υπολογισμός χωρικής κατανομής του σφάλματος.....	42
3.4.1 Μέθοδος σταθμισμένων αντιστρόφων αποστάσεων.....	42
3.4.2 Μέθοδος βέλτιστης παρεμβολής Kriging.....	45
4. Αποτελέσματα .....	49
4.1 Αποτελέσματα υπολογισμών – σχόλια .....	49
4.1.1 Ολόκληρες χρονοσειρές .....	50
4.1.2 Χρονοσειρές μεγίστων επίγειων δεδομένων.....	68
4.1.3 Χρονοσειρές μεγίστων δορυφορικών δεδομένων.....	75

4.1.4 Χωρική κατανομή της μεροληψίας των μέσων τιμών σε επίπεδο χρονοσειράς ..	82
5. Συμπεράσματα .....	85
Βιβλιογραφικές αναφορές .....	89
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης σε επίπεδο χρονοσειράς.....	97
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης μεγίστων επίγειων καταγραφών ....	97
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης μεγίστων δορυφορικών καταγραφών .....	97
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: Κύριοι αλγόριθμοι για την επεξεργασία δεδομένων μέσω του λογισμικού MATLAB .....	97

## Περίληψη

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται μια προσπάθεια σύγκρισης και αξιολόγησης των δορυφορικών προϊόντων 3B42 V7 της αποστολής TRMM της NASA σε σχέση με τις επίγειες μετρήσεις. Οι δορυφορικές πληροφορίες αποτελούν ημερήσιες καταγραφές βροχοπτώσεων σε χωρική κλίμακα  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  και υπάρχουν στη βάση δεδομένων της NASA για ελεύθερη χρήση. Όσο αφορά στα επίγεια δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την σύγκριση-αξιολόγηση των δορυφορικών, αυτά αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων του NOAA και αποτελούν βροχομετρικές καταγραφές με την χρήση βροχομέτρου. Η σύγκριση πραγματοποιείται σε παγκόσμια κλίμακα και πιο συγκεκριμένα καλύπτει την περιοχή από βόρειο γεωγραφικό πλάτος  $50^\circ$  έως  $50^\circ$  νότιο και δυτικό γεωγραφικό μήκος  $180^\circ$  έως  $180^\circ$  ανατολικό, ενώ αφορά στην χρονική περίοδο από 1 Ιανουαρίου 1998 έως 31 Δεκεμβρίου του 2015.

Η αξιολόγηση των δορυφορικών προϊόντων έγινε σε δύο στάδια. Πρώτον, σε επίπεδο χρονοσειράς και δεύτερον σε επίπεδο ετήσιων μεγίστων. Για το δεύτερο στάδιο εξετάστηκαν δύο υποπεριπτώσεις, όπου συγκρίνονται τα μέγιστα επίγεια προϊόντα με τις αντίστοιχες δορυφορικές καταγραφές την ίδια ημέρα που παρουσιάζονται τα πρώτα και ομοίως για τα μέγιστα δορυφορικά. Αυτό συμβαίνει διότι παρουσιάστηκε μεγάλη χρονική ασυμφωνία ως προς την συχνότητα εμφάνισης μεγίστων των επίγειων και των δορυφορικών με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολη η στατιστική τους ανάλυση. Μόνο το 10% των μεγίστων καταγραφών παρουσιάζουν συγχρονισμό με απόκλιση μίας ημέρας.

Για κάθε περίπτωση εξετάστηκε η αποδοτικότητα, ο συντελεστής ετεροσυσχέτισης, η μεροληψία των μέσων τιμών, η μεροληψία των τυπικών αποκλίσεων, η μεροληψία των συντελεστών ασυμμετρίας, το μέσο απόλυτο σφάλμα και η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε χωρική κατανομή του σφάλματος σε επίπεδο χρονοσειράς με τη μέθοδο Kriging μέσω του λογισμικού ArcGIS.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία παρουσιάζονται αναλυτικά στα αντίστοιχα κεφάλαια. Σε γενικές γραμμές γίνεται φανερό η αδυναμία των δορυφορικών προϊόντων να προσομοιώσουν τις υψηλές βροχοπτώσεις, ενώ ταυτόχρονα ισχυροποιείται η αποτελεσματικότητα των επίγειων βροχομετρικών σταθμών για την αειφόρο διαχείριση των υδατικών πόρων.

## Abstract

In the present work, our intention is to compare and evaluate the satellite products TRMM 3V42 V7 of NASA mission TRMM with the correspondent ground measurements. Satellite information is gathered from the daily rainfall records in spatial scale  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  contained in the NASA database for free use. As for terrestrial data used for comparison-evaluation of the correspondent satellite, they were drawn from the database of NOAA and are the rainfall records measured by using rain gauge. The comparison is made on a global scale and specifically cover the area from Northern latitude  $50^\circ$  to  $50^\circ$  South and West longitude  $180^\circ$  to  $180^\circ$  East, while it focuses on time period from 1 January 1998 to 31 December 2015.

The evaluation of satellite records conducted in two stages. Firstly, by analyzing time-series data and second at the level of annual maximums. For the second stage examined two sub cases. In the first indent, we compared the highest ground with the corresponding satellite recordings the same day and in the second sub-case we conducted the same comparison with the maximum satellite measurements. This step was necessary because of the tremendous disagreement on the maximum incidences of terrestrial and satellite products which makes robust statistical analysis ambivalent. Only 10% of the maximum records were synchronized.

For every case, we examined the efficiency, the cross-correlation coefficient, the bias of the average values, the bias of the standard deviations, the bias of asymmetric coefficients, the mean absolute error and the root of mean squared error. In addition, a spatial distribution of the error of the time-series was made by applying Kriging method using ArcGIS software.

The results of this work are presented in detail in the respective chapters. In general, it is demonstrated the weakness of satellite products to simulate high rainfall, while these observations strengthen the effectiveness of surface rainfall stations for the sustainable management of water resources.

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Αντικείμενο της εργασίας

Η συνάφεια της κοινωνικής ευημερίας και του επιπέδου ζωής των ανθρώπων με την κατανόηση των φυσικών φαινομένων είναι αδιαμφισβήτητη. Καμία πρόοδος δεν μπορεί να σημειωθεί, τόσο σε ατομικό όσο και σε συλλογικό επίπεδο, χωρίς την ύπαρξη υποδομών οι οποίες ασχολούνται με τον παράγοντα φύση που επηρεάζει την εύρυθμη λειτουργία των κοινωνιών. Η αποτελεσματική και αειφόρος διαχείριση των υδάτινων πόρων αποτελεί πυλώνα της ευημερίας των ανθρώπων διότι συνδέεται με πολλές λειτουργίες και διεργασίες της ζωής. Αρχικά, το νερό αποτελεί ζωτικό παράγοντα επιβίωσης του ανθρώπινου γένους και σε συνδυασμό με τον υπερπληθυσμό και την κλιματική αλλαγή που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια κρίνεται αναγκαία η εις βάθος μελέτη των υδρολογικών φαινομένων. Τόσο για την κατασκευή αντιπλημμυρικών έργων, όσο και για τις ανάγκες ύδρευσης και άρδευσης, είναι αναγκαία η ύπαρξη αξιόπιστων βροχομετρικών δεδομένων.

Οι επίγειες βροχομετρικές καταγραφές επιτυγχάνονται μέσω της χρήσης βροχογράφου και βροχομέτρου. Το χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης τους τα καθιστά κυρίαρχα όργανα για την εξαγωγή της υδρολογικής πληροφορίας της βροχής. Παρόλα αυτά, οι συστηματικές ελλείψεις πληροφοριών για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε συνδυασμό με την άμεση εξάρτησή τους από την μορφολογία του εδάφους (σε ορεινές και δύσβατες περιοχές παρατηρείται χαμηλή ποιότητα βροχομετρικών δεδομένων) οδήγησαν τους ερευνητές σε εναλλακτικές μεθόδους καταγραφής της βροχόπτωσης. Τα δορυφορικά δεδομένα δίνουν νέα προοπτική στην εκτίμηση της βροχικής πληροφορίας καθώς επιτρέπουν την καταγραφή, δίχως ελλείψεις, σε συνεχόμενες χρονοσειρές και σε μικρή ή μεγάλη κλίμακα. Επιπλέον, δύναται να χρησιμοποιηθούν επικουρικά στην συμπλήρωση των χρονοσειρών των επίγειων καταγραφών. Τέλος, ένα μεγάλο πλεονέκτημα των δορυφορικών προϊόντων είναι η δυνατότητα καταγραφής πληροφοριών σε δύσβατες περιοχές καθώς και στην επιφάνεια της θάλασσας.

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η σύγκριση και αξιολόγηση των δορυφορικών προϊόντων 3B42 V7 της αποστολής TRMM της NASA σε σχέση με τις επίγειες μετρήσεις της βάσης δεδομένων του NOAA. Η σύγκριση πραγματοποιείται σε παγκόσμια κλίμακα και πιο συγκεκριμένα καλύπτει την περιοχή από βόρειο γεωγραφικό πλάτος 50° έως 50° νότιο και δυτικό γεωγραφικό μήκος 180° έως 180° ανατολικό, ενώ αφορά στην χρονική περίοδο από 1 Ιανουαρίου 1998 έως 31 Δεκεμβρίου του 2015 .

## 1.2 Διάρθρωση της εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια και τέσσερα παραρτήματα. Το Κεφάλαιο 1 είναι το εισαγωγικό κεφάλαιο όπου καθορίζεται ο σκοπός της εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα βιβλιογραφικά στοιχεία τόσο των δορυφορικών όσο και των επίγειων καταγραφών. Αναλυτικότερα, παραθέτονται κάποια ιστορικά στοιχεία και για τις δύο περιπτώσεις και στην συνέχεια εξετάζεται ο τρόπος λειτουργίας και καταγραφής των δεδομένων.

Στο Κεφάλαιο 3 αναλύεται η μεθοδολογία αξιολόγησης των δορυφορικών δεδομένων. Γίνεται αναφορά στον τρόπο σημειακής αναγωγής των προϊόντων 3B42 στις περιοχές των επίγειων σταθμών μέσω της μεθόδου modifiedBLUE και παρουσιάζονται οι στατιστικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των προϊόντων. Τέλος, παρουσιάζεται η μέθοδος Kriging μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η χωρική κατανομή του σφάλματος.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης της παρούσας έρευνας, τόσο σε επίπεδο χρονοσειράς όσο και σε επίπεδο ετήσιων μεγίστων.

Στο Κεφάλαιο 5 καταγράφονται τα συμπεράσματα που πηγάζουν από τα αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου και κατατίθενται προτάσεις σχετικά με την περαιτέρω αξιολόγηση των δορυφορικών καταγραφών και της αποστολής TRMM.

Στο Παράρτημα Α, παρουσιάζονται τα σχέδια και οι πίνακες των αποτελεσμάτων σε επίπεδο χρονοσειράς. Ομοίως, στα Παραρτήματα Β και Γ παρουσιάζονται τα σχέδια και οι πίνακες που αφορούν στα ετήσια επίγεια μέγιστα και αντίστοιχα στα ετήσια δορυφορικά μέγιστα.

Τέλος, στο Παράρτημα Δ παρουσιάζονται οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων.

## 2 Βιβλιογραφική επισκόπηση

### 2.1 Δορυφορικά Βροχομετρικά Δεδομένα

#### 2.1.1 Ιστορικά στοιχεία της αποστολής TRMM

Η τροπική βροχόπτωση αποτελεί σημαντικό γεγονός για τον υδρολογικό κύκλο και γενικότερα για την ζωή των ανθρώπων. Τα τρία τέταρτα της ενέργειας που προκαλεί την ατμοσφαιρική κυκλοφορία του ανέμου προέρχεται από τη λανθάνουσα θερμότητα η οποία απελευθερώνεται λόγω της τροπικής βροχής. Δυστυχώς η βροχόπτωση αποτελεί μία από τις πιο δύσκολες ατμοσφαιρικές παραμέτρους, όσον αφορά στη μέτρηση της, λόγω της μεγάλης μεταβλητότητας της στο χώρο και στο χρόνο. Η τροπική βροχή παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις μεταξύ περιόδων δριμείας ανομβρίας και περιστασιακών θανατηφόρων πλημμυρών. Παρόλα αυτά, η διάρκεια των συγκεκριμένων πλημμυρικών επεισοδίων σπάνια ξεπερνά τις μερικές ώρες. Μέχρι τα τέλη του 1997, οι μετρήσεις βροχόπτωσης παρουσιάζουν μεγάλη αβεβαιότητα με ένα μεγάλο ποσοστό των υπέρυθρων ραντάρ και των μικροκυματικών αλγορίθμων να παρέχουν σημαντικά διαφορετικές εκτιμήσεις. Όσον αφορά στην υπερθέρμανση του πλανήτη, διάφορα μοντέλα μεγάλης κλίμακας παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ τους στην πρόβλεψη του μεγέθους της υπερθέρμανσης καθώς και της κατανομής και της ποσότητας της τροπικής βροχής όπως, επίσης, και στις αναμενόμενες επιπτώσεις λόγω των μεταβολών στην θερμοκρασία και την υγρασία. Γίνεται λοιπόν φανερό ότι ήταν αναγκαίο να υπάρξουν ακριβείς εκτιμήσεις της τροπικής βροχόπτωσης με σκοπό να αξιολογηθούν επαρκώς τα άνωθεν μοντέλα.

Η ιδέα της μέτρησης και της καταγραφής βροχοπτώσεων από το διάστημα μέσω της χρήσης ραντάρ συλλήφθηκε στις αρχές του 1980. Μέχρι τον Σεπτέμβριο του 1984, κατατέθηκε στον Dr. J. S. Theon της NASA μια πρόταση με τίτλο “Tropical Rain Measuring Mission” (Αποστολή Μέτρησης Τροπικής Βροχής) από μια ομάδα ερευνητών αποτελούμενη από τους G. North, T. T. Wilheit και O. Thiele. Ύστερα από μικρό χρονικό διάστημα, το Εργαστήριο Επικοινωνιών της Ιαπωνίας, με επικεφαλής τον Dr. N. Fugono, έλαβε μέρος στην παραπάνω αποστολή. Έπειτα από πτήσεις αεροσκαφών με ένα πειραματικό ραντάρ, διαπιστώθηκε ότι η ακρίβεια του οργάνου ήταν αρκετά ικανοποιητική και ελπιδοφόρα. Τέτοιου είδους μετρήσεις έπρεπε να πραγματοποιηθούν από έναν διαστημικό σταθμό, γεγονός που αμέσως γέννησε αμφιβολίες σχετικά με την επάρκεια της δειγματοληψίας μέσω ενός δορυφόρου.

Τα δεδομένα από τα ραντάρ τεσσάρων πλοίων της Παγκόσμιας Ατμοσφαιρικής Έρευνας του Προγράμματος Τροπικού Ατλαντικού, που βρίσκονταν στην ενδοτροπική ζώνη σύγκλισης το 1974, χρησιμοποιήθηκαν για μια σειρά από μελέτες δειγματοληψίας. Στις μελέτες συμπεριλήφθηκαν αρκετές τροχιές καθώς και διαφορετικά υψόμετρα. Μια κεκλιμένη τροχιά μεταξύ 35°B και 35°N στα 350 χιλιόμετρα υψόμετρο κρίθηκε ως η καταλληλότερη. Η συγκεκριμένη τροχιά

επιλέχθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε ο δορυφόρος να περνάει πάνω από ένα συγκεκριμένο σημείο σε διαφορετική ώρα κάθε μέρα με κύκλο σαράντα δύο ημερών κατά προσέγγιση. Η συγκεκριμένη τροχιά ευνοεί την καταγραφή της μεγάλης ημερήσιας διακύμανσης της τροπικής βροχής. Το υψόμετρο των 350 χιλιομέτρων ικανοποιούσε τις απαιτήσεις λήψης πληροφορίας της κεραίας των ραντάρ. Οι Shinkai Northμέχρι το καλοκαίρι του 1986 είχαν αποδείξει ότι στις υγρές τροπικές περιοχές τα σφάλματα της δειγματοληψίας για μηνιαίες συσσωρεύσεις σε φαντρία διαστάσεων 5°x 5°ήταν μικρότερα του 10%. Οι ίδιοι ερευνητές κατέληξαν επίσης στο συμπέρασμα ότι με την αξιοποίηση επιπλέον δεδομένων από τα ραντάράλλων δορυφόρων όπως ο SSM/I, ο οποίος ανήκει στον στρατό, τα δειγματοληπτικά σφάλματα μειώνονταν στο μισό και μπορούσαν να εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες και για ξηρότερες περιοχές.

Η διασφάλιση της ποιότητας των δορυφορικών δεδομένων προκάλεσε από την αρχή ανησυχία στους μελετητές λόγω της αντικειμενικής δυσκολίας που παρουσιάζεται στην ακρίβεια των βροχομετρικών μετρήσεων με συμβατικά μέσα. Έτσι, προέκυψε η αναγκαιότητα για αξιόπιστες επίγειες παρατηρήσεις με σκοπό την αξιολόγηση των δορυφορικών προϊόντων TRMM. Το βασικό πρόγραμμα αξιολόγησης των δεδομένων που δημιουργήθηκε περιλάμβανε τα εξής:

- Διενέργεια μελετών με στόχο την βελτίωση της τεχνολογίας των βροχομετρικών δεδομένων.
- Καθιέρωση επίγειων περιοχών αξιολόγησης αποτελούμενη από ραντάρ και μετρητές βροχής.
- Ανάπτυξη και επέκταση των τεχνικών μέτρησης της βροχόπτωσης σε ωκεάνιες περιοχές.
- Βελτίωση των επίγειων τεχνικών εκτίμησης της βροχόπτωσης.
- Ανάπτυξη του τρόπου επεξεργασίας πληροφοριών μέσω ραντάρ καθώς και δημιουργία λογισμικών για την παραγωγή και ανάλυση προϊόντων επίγειας αξιολόγησης δεδομένων.

Για την συμπλήρωση των επίγειων μετρήσεων, ο σχεδιασμός των πεδίων ξεκίνησε άμεσα με σκοπό να παρέχει πληροφορίες μικροφυσικής και δυναμικής δομής μετά την εκτόξευση του δορυφόρου.

Το Νοέμβριο του 1985,πραγματοποιήθηκε το πρώτο μεγάλο workshop με σκοπό την περεταίρω ανάπτυξη της αποστολής TRMM. Πολύ συμμετέχοντες μετέπειτα οργανώθηκαν σε μια ομάδα επιστημονικής καθοδήγησης με επικεφαλής τον Dr. E. Rasmusson. Η παραπάνω ομάδα δημοσίευσε μια έκθεση με τις προτεραιότητες της αποστολής το 1986. Παρόλο που η αποστολή TRMMαποτελεί ένα εγχείρημα μέσης κλίμακας, είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι ο πρωταρχικός της σκοπός ήταν να



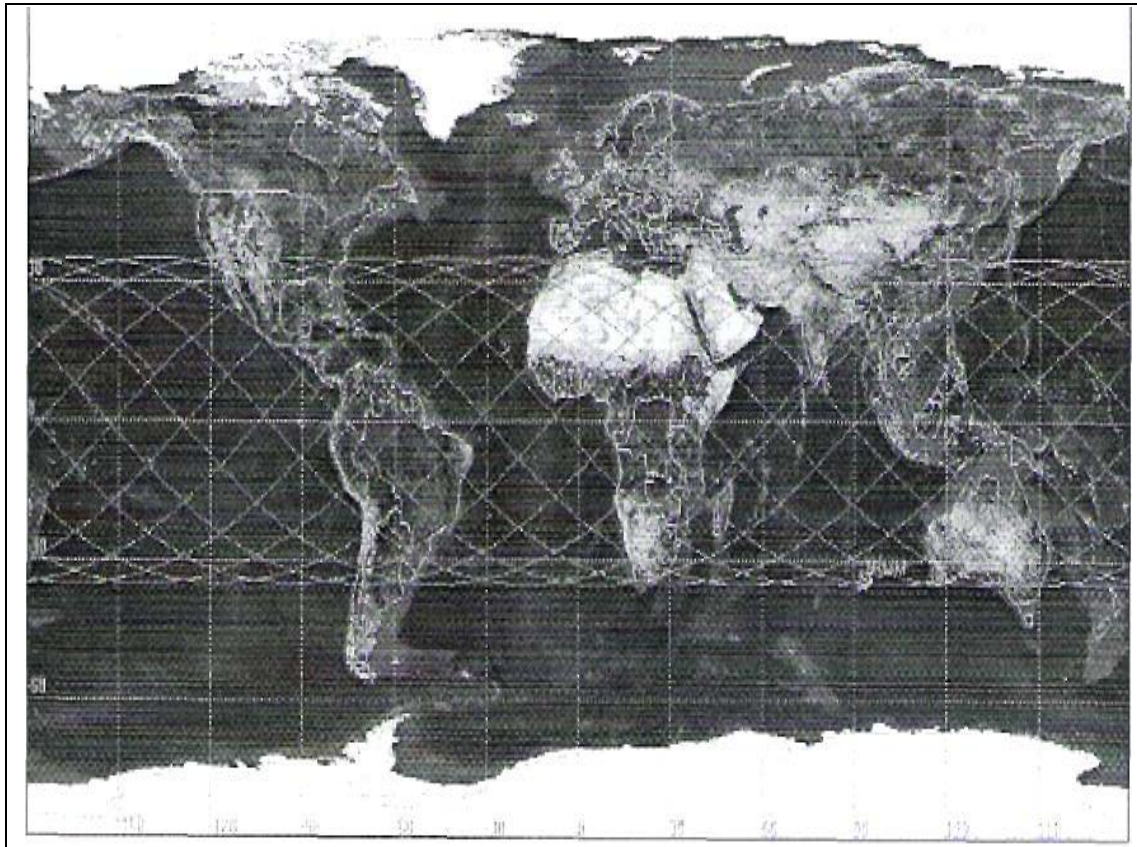
βελτιώσει τα μοντέλα εκτίμησης του κλίματος. Είχε προταθεί να έχει ραντάρ διπλής συχνότητας, μικροκυματικά όργανα αναγνώρισης παρόμοια με αυτά του SSM/I, μονής συχνότητας ραδιόμετρο σε παράλληλη λειτουργία με τα ραντάρ και υπέρυθρο ραδιόμετρο παρόμοιο με το προηγμένο ραδιόμετρο πολύ υψηλής ανάλυσης. Ο σκοπός του υπέρυθρου ραδιομέτρου ήταν να επιτρέψει την σύνδεση μεταξύ TRMM και γεωστατικών πλατφορμών σαν ένας “ιπτάμενος μετρητής βροχής”. Ο συνδυασμός του ραδιομέτρου με το ραντάρ διπλής συχνότητας δίνει την ικανότητα να παραχθούν προφίλ βροχοπτώσεων υψηλής ποιότητας. Επίσης, καλό είναι να τονιστεί ότι από την αρχή χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των αριθμητικών μοντέλων δημιουργίας σύννεφων για να προκύψουν αργότερα τα θερμοκρασιακά προφίλ.

Τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα της δειγματοληψίας και των μελετών οδήγησαν τη NASA να επιλέξει ανάμεσα σε αρκετές ανταγωνιστικές προσφορές από επιστήμονες που πρότειναν χαμηλού κόστους ατμοσφαιρικές αποστολές. Το 1986, η Ιαπωνική Διαστημική Επιτροπή δέχτηκε την πρόταση να συνεισφέρει στην μελέτη της προοπτικής των TRMM. Λόγω οικονομικών δυσχερειών, που παρουσιάστηκαν την άνοιξη του 1988, αποφασίστηκε το ραντάρ να λειτουργεί μόνο στη συχνότητα των 14 GHz. Επίσης, περιορίστηκε η λειτουργία του ραδιομέτρου. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μειωθεί η ανάλυση του υπέρυθρου σένσορα από το ένα στα δύο χιλιόμετρα και επιπροσθέτως να περιοριστεί ο αριθμός των δεδομένων στα ελάχιστα δυνατά που χρειάζονται για τους σκοπούς καταμέτρησης της βροχόπτωσης. Οι συμφωνίες συνεργασίας των Η.Π.Α. με την Ιαπωνία επισημοποιήθηκαν το 1988 κι αυτό είχε ως αποτέλεσμα την μερική αναδιοργάνωση της αποστολής. Οι Γιαπωνέζοι συμφώνησαν να παρέχουν το ραντάρ μέτρησης των βροχοπτώσεων καθώς και την εκτόξευση μέσω του νέου τους πυραύλου H-II. Από την πλευρά της η NASA θα παρείχε το διαστημόπλοιο και τα υπόλοιπα όργανα ανίχνευσης της βροχόπτωσης. Το αμερικάνικο Κογκρέσο ψήφισε μια τροπολογία υποστήριξης της αποστολής TRMM κι έτσι το 1991 το πρόγραμμα επισημοποιήθηκε.

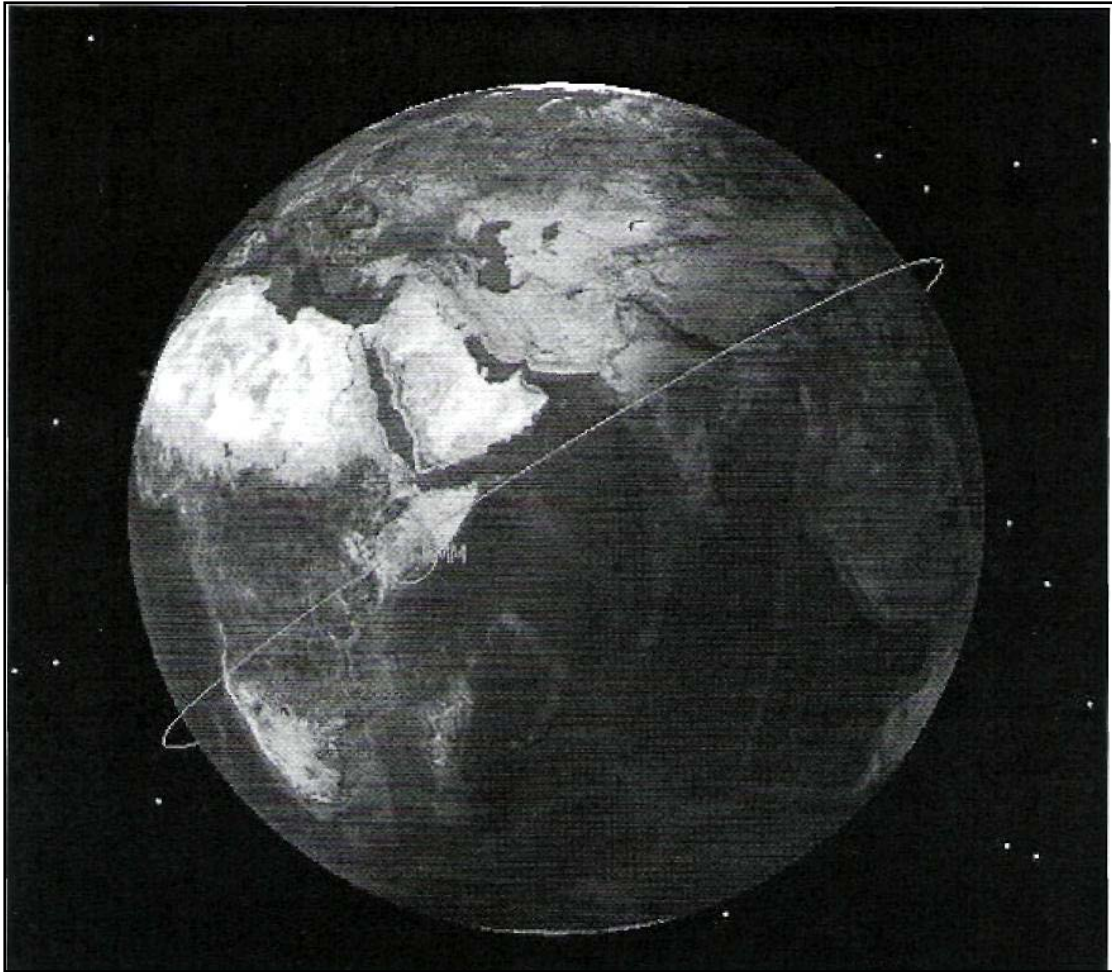
Εκείνη την περίοδο πάρθηκαν δύο σπουδαίες αποφάσεις. Η μία αφορούσε στη βελτίωση του απλού παθητικού μικροκυματικού ραδιομέτρου ώστε να περιλαμβάνει ένα κανάλι που θα λειτουργεί στη συχνότητα των 10 GHz. Αυτή η προσθήκη αποσκοπούσε στην αποφυγή του κορεσμού από την υπερβολική τροπική βροχόπτωση. Η δεύτερη απόφαση αφορούσε στη τοποθέτηση δύο Επίγειων Συστημάτων Παρατήρησης (Earth Observing System-EOS), τα LIS (Lightning Imaging Sensor) και CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System), με σκοπό τη μέτρηση της συνολικής ενέργειας της ακτινοβολίας.

Στις αρχές του 1991, επιλέχθηκε η πρώτη τριετής επιστημονική ομάδα της αποστολής TRMM ανάμεσα σε εκατό υποψηφίους (εικοσιτρία μέλη από τις Η.Π.Α. και οχτώ μέλη από άλλες χώρες). Έγιναν πολλές συναντήσεις και εργαστήρια στις Η.Π.Α. και στην Ιαπωνία με σκοπό τη βελτίωση των αλγορίθμων. Το 1993, η αποστολή TRMM πέρασε το κρίσιμο στάδιο του θεωρητικού ελέγχου κι έτσι

ξεκίνησε η φάση της κατασκευής. Το 1994, οι Η.Π.Α. και η Ιαπωνία δημιούργησαν νέες επιστημονικές ομάδες οι οποίες θα ίσχυαν μέχρι την απογείωση της αποστολής TRMM το 1997. Παρόλο που είχε συμφωνηθεί ότι οι δύο ομάδες θα λειτουργούσαν ανεξάρτητα, δημιουργήθηκε μία κοινή ομάδα από τους επικεφαλής των αντίστοιχων ομάδων με σκοπό τον συντονισμό των εργασιών και την καλύτερη εποπτεία του έργου. Η συγκεκριμένη κοινή ομάδα δούλεψε αποτελεσματικά από τότε μέχρι και την εκτόξευση της αποστολής TRMM στις 27 Νοεμβρίου του 1997 από το νησί Tanegashima ενώ συνεχίζει να υφίσταται μέχρι και σήμερα. Οι προσδοκίες ζωής της αποστολής ήταν μέχρι τον Μάρτιο του 2004, όπου υπολογιζόταν ότι θα τελείωναν τα καύσιμα που απαιτούνταν ώστε να μείνει σταθερή η χαμηλή τροχιά του δορυφόρου. Από τότε, η αποστολή TRMM χρηματοδοτήθηκε άλλες δύο φορές, λόγω του σημαντικού σκοπού που εξυπηρετεί, κι έτσι συνεχίζεται η λειτουργία της μέχρι σήμερα.



**Εικόνα 2.1** Προβολή της τροχιάς του TRMM σε μια ημέρα  
(Φωτόπουλος, 2011)



**Εικόνα 2.2** Η θέση του TRMM την 1/1/2007 στις 13:40:52  
(Φωτόπουλος,2011)

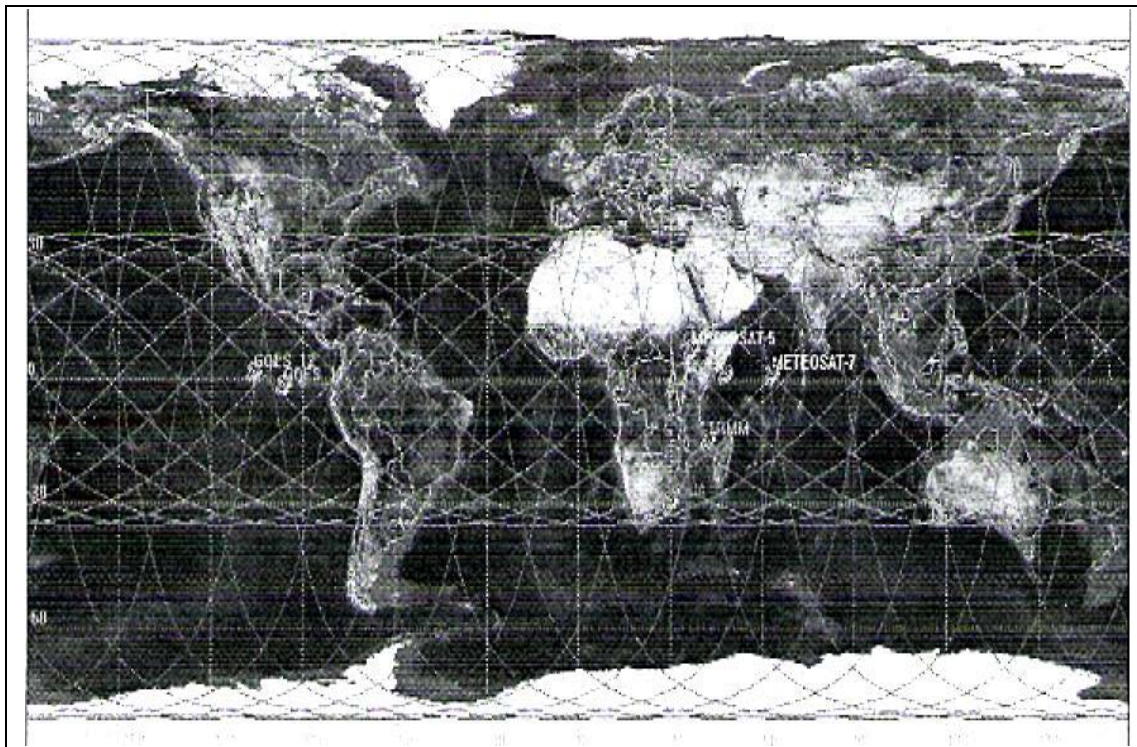
### **2.1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του δορυφόρου TRMM**

Ο δορυφόρος έχει συνολικό βάρος 3512 kg από τα οποία το βάρος των καυσίμων ήταν αρχικά 890 kg (Parkinson et al. 2006). Οι πρώτες εκτιμήσεις της μέσης καταναλισκόμενης ενέργειας πριν την εκτόξευση ήταν 1100 W ενώ κατά τη διάρκεια της αρχικής λειτουργίας του μετρήθηκε ίση με 850 W, η οποία μειώθηκε τεχνητά κατά 30% μετά το 2003, με αποτέλεσμα την επιμήκυνση της διάρκειας ζωής του. Ο κύριος παράγοντας που συνετέλεσε σε αυτή τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας ήταν η αύξηση του υψομέτρου τροχιάς με συνέπεια τη μείωση της βαρυτικής έλξης της Γης και άρα την εξοικονόμηση καυσίμου. Έτσι, από τον Αύγουστο του 2001 ο δορυφόρος TRMM προωθήθηκε από τα 350 km στα 402,5 km.

Η αποστολή TRMM είχε ως αρχικό σκοπό την μέτρηση της βροχόπτωσης στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές. Το αρχικό εύρος μετρήσεων ήταν από  $-30^{\circ}$  έως  $+30^{\circ}$  γεωγραφικό πλάτος. Η ευρεία αποδοχή και χρήση των δορυφορικών

προϊόντων οδήγησε, πέρα από την χρονική επέκταση της αποστολής, στη χωρική επέκταση. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να συνδυαστεί σταδιακά ο δορυφόρος TRMM με άλλους μετεωρολογικούς δορυφόρους (κυρίως γεωστάσιμους) κι έτσι τα διαθέσιμα μετεωρολογικά προϊόντα καλύπτουν πια ένα μεγαλύτερο εύρος από  $-50^{\circ}$  έως  $+50^{\circ}$  γεωγραφικό πλάτος.

Οι κύριοι δορυφόροι που συνεργάζονται με τον TRMM είναι οι Aqua, GOES-E, GOES-W, MTSAT, Meteosat 5 και Meteosat 7. Συνολικά, μαζί με τον TRMM, έχουμε επτά κύριους δορυφόρους που συμμετέχουν στην αποστολή. Τα χαρακτηριστικά της τροχιάς τους καθώς και διάφορα άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά φαίνονται στον συγκεντρωτικό Πίνακα 2.1 καθώς και οι προβολές των τροχιών όλων των δορυφόρων σε μία ημέρα, στην Εικόνα 2.3.



**Εικόνα 2.3** Προβολή τροχιάς των 7 δορυφόρων σε μία ημέρα  
(Φωτόπουλος, 2011)

<b>Ιδιότητες TRMM</b>	
Μέση κίνηση	15,5604 περιστροφές/ημέρα
Περίοδος τροχιάς	92,54 min
Κύριος άξονας τροχιάς	6726,338 km
Μεταβλητότητα κύριου άξονα τροχιάς	±1,25 km
Εκκεντρότητα	0,0001086
Μεταβλητότητα εκκεντρότητας	±0,000001
Γωνία κλίσης	34,9636 μοίρες
Μεταβλητότητα γωνίας κλίσης	±0,05 μοίρες
Γωνία περιγείου	236,335 μοίρες
Μέση ανωμαλία τροχιάς	72,723 μοίρες
Ορθή αναφορά	316,706 μοίρες
Συντελεστής τριβής	7,1343*10 <sup>(-5)</sup>
Ημερομηνία εκτόξευσης	27/11/1997 21:27
Βάρος (καθαρό)	2730 kg
Βάρος (ολικό)	3512 kg
Κατανάλωση σχεδιασμού	1100 W
Μέση πραγματική κατανάλωση	350 W
Αρχική διάρκεια ζωής	3 έτη και 2 μήνες
Εκτιμώμενη διάρκεια ζωής	13 έτη και 4 μήνες
<b>Ιδιότητες GOES-W</b>	
Μέση κίνηση	1,00268 περιστροφές/ημέρα
Περίοδος τροχιάς	23,9359 h
Κύριος άξονας τροχιάς	42161,418376 km
Εκκεντρότητα	0,0000717
Γωνία κλίσης	0,3018 μοίρες
Γωνία περιγείου	283,969 μοίρες
Μέση ανωμαλία τροχιάς	225,925 μοίρες
Ορθή αναφορά	90,4273 μοίρες
Ημερομηνία εκτόξευσης	3/5/2000 7:07
Βάρος (ολικό)	1090,953 kg
Γεωγραφικό μήκος	75 μοίρες 71' 63" W
<b>Ιδιότητες Aqua</b>	
Μέση κίνηση	14,5712 περιστροφές/ημέρα
Περίοδος τροχιάς	98,83 min
Εκκεντρότητα	0,0001134
Γωνία κλίσης	98,1925 μοίρες
Γωνία περιγείου	53,9087 μοίρες
Μέση ανωμαλία τροχιάς	306,223 μοίρες
Ορθή αναφορά	81,4732 μοίρες
Ημερομηνία εκτόξευσης	4/5/2002 9:55
Βάρος (ολικό)	3117,00 kg

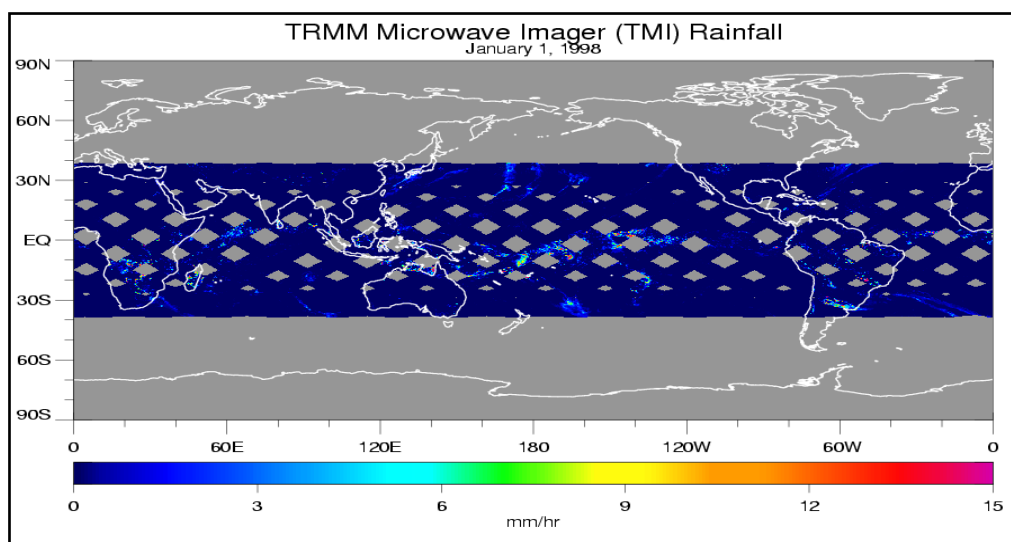
<b>Ιδιότητες GOES-E</b>	
Μέση κίνηση	1,00281 περιστροφές/ημέρα
Περίοδος τροχιάς	23,9327 h
Κύριος άξονας τροχιάς	42167,5250 km
Εκκεντρότητα	0,00012858
Γωνία κλίσης	0,34323864 μοίρες
Γωνία περιγείου	306,11221650 μοίρες
Μέση ανωμαλία τροχιάς	158,95743 μοίρες
Ορθή αναφορά	261,634 μοίρες
Ημερομηνία εκτόξευσης	23/7/2001 7:23
Βάρος (ολικό)	1062,84 kg
Γεωγραφικό μήκος	134 μοίρες 90' 10" W
<b>Ιδιότητες MTSAT</b>	
Μέση κίνηση	1,00271 περιστροφές/ημέρα
Περίοδος τροχιάς	23,9351 h
Εκκεντρότητα	0,0002866
Γωνία κλίσης	0,0205 μοίρες
Γωνία περιγείου	118,749 μοίρες
Μέση ανωμαλία τροχιάς	183,489 μοίρες
Ορθή αναφορά	284,573 μοίρες
Ημερομηνία εκτόξευσης	18/2/2006 6:55
Βάρος (ολικό)	1250,00 kg
<b>Ιδιότητες Meteosat 5</b>	
Μέση κίνηση	0,934513 περιστροφές/ημέρα
Περίοδος τροχιάς	24,377535 h
Εκκεντρότητα	0,0005009
Γωνία κλίσης	9,1988 μοίρες
Γωνία περιγείου	99,3296 μοίρες
Μέση ανωμαλία τροχιάς	260,558 μοίρες
Ορθή αναφορά	56,7646 μοίρες
Ημερομηνία εκτόξευσης	2/3/1991 23:36
Ημερομηνία παύσης	20/4/2002
Βάρος (ολικό)	316,00 kg

<b>Ιδιότητες Meteosat 7</b>	
Μέση κίνηση	1,000276 περιστροφές/ημέρα
Περίοδος τροχιάς	23,9339 h
Εκκεντρότητα	0,0000858
Γωνία κλίσης	3,2761 μοίρες
Γωνία περιγείου	4,2276 μοίρες
Μέση ανωμαλία τροχιάς	168,294 μοίρες
Ορθή αναφορά	78,6339 μοίρες
Ημερομηνία εκτόξευσης	2/9/1997 22:21
Βάρος (ολικό)	3455,00 kg

**Πίνακας 2.1** Ιδιότητες των δορυφόρων της αποστολής TRMM

### 2.1.3 Εξοπλισμός TRMM και δεδομένα

Το ραντάρ βροχόπτωσης (PR) του TRMM είναι το πρώτο ραντάρ που σχεδιάστηκε για την καταμέτρηση βροχόπτωσης από το διάστημα. Παρόλο που, λόγω κατασκευής, παρουσιάζει την ίδια αβεβαιότητα με τα επίγεια ραντάρ όσον αφορά στην εκτίμηση βροχοπτώσεων, το PR κατέγραψε με μεγάλη λεπτομέρεια την κατανομή των βροχοπτώσεων. Παραδείγματα αποτελούν οι μελέτες για διαδιδόμενη βροχόπτωση κατά μήκος του ωκεανού και της ξηράς από τον Takayabu et al. (1999), τα στοιχεία άμεσης παρατήρησης για την κατάπνιξη βροχής από σύννεφα που έχουν μολυνθεί από καπνό (Rosenfeld 2000), η βελτίωση της ανάκτησης παθητικών μικροκυματικών βροχοπτώσεων και μέθοδοι χρήσης του PR ως πρότυπο για την αξιολόγηση επίγειων ραντάρ. Το παθητικό ραντάρ μικροκυματικής οπτικοποίησης (TMI), εκτός από την παροχή δεδομένων υψηλής ανάλυσης τα οποία είναι διαθέσιμα μέχρι και σήμερα, έχει χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή πληροφοριών της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας από πολλούς ερευνητές (για παράδειγμα Wentz et al. 2000). Ο συνδυασμός των παθητικών με τους ενεργητικούς σένσορες έδωσε την δυνατότητα στους ερευνητές να αναλύσουν περαιτέρω περιοριστικές παραμέτρους όπως την πτώση στην κατανομή μεγέθους (DSD) (Haddad et al. 1997, Viltard et al. 2000). Το σκάνερ ορατής και υπέρυθρης ακτινοβολίας (VIRS) χρησιμοποιήθηκε για να συσχετίσει τις αναλυτικές παρατηρήσεις των TRMM με τα δεδομένα γεωσταθερών δορυφόρων που ήταν διαθέσιμα. Επίσης, διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην κατανόηση των πρωταρχικών αποτελεσμάτων του οργάνου CERES.

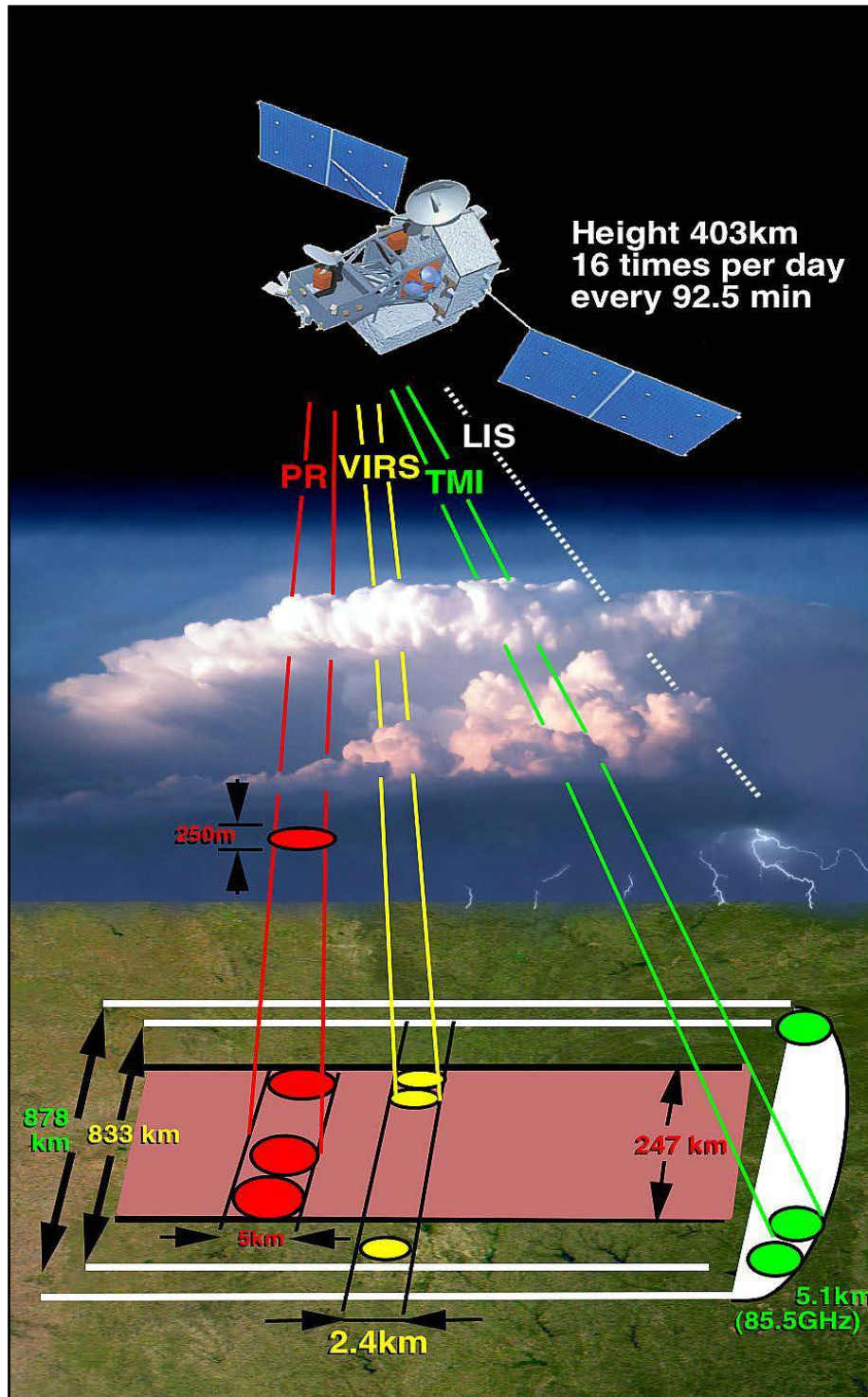


Εικόνα 2.4 Αποτύπωση μετρήσεων οργάνου TMI του TRMM την 1/1/1998



Τα χαρακτηριστικά του παραπάνω οργάνου αναλύονται επαρκώς στην παγκόσμια βιβλιογραφία και δεν αφορούν την παρούσα εργασία. Τα κύρια όργανα της αποστολής TRMM, PR, TMI και VIRS περιγράφονται στην δημοσίευση του Kummerowetal. (1998), το όργανο LIS περιγράφεται στην μελέτη του Christianetal. (1992), ενώ το CERES περιγράφεται του Leeetal. (1998).

Τα δεδομένα από την αποστολή TRMM για τα οποία έχει γίνει βαθμονόμηση και αναγωγή στην επιφάνεια της γης αναφέρονται ως δεδομένα επιπέδου 1. Η κωδικοποίηση των αλγορίθμων του επιπέδου 1 των οργάνων TMI και VIRS έγινε από το Σύστημα Πληροφοριών Δεδομένων και Επιστήμης (TSDIS), ενώ του οργάνου PR από την Εθνική Υπηρεσία Διαστήματος και Ανάπτυξης (NASDA) της Ιαπωνίας. Το μόνο πρόσθετο προϊόν είναι η ανακλαστικότητα του PR. Στον συγκεκριμένο αλγόριθμο η ενέργεια που επιστρέφεται στο ραντάρ μετατρέπεται σε ανακλαστικότητα, η οποία είναι μια παράμετρος που χρησιμοποιείται συχνά στις επιστημονικές εφαρμογές. Πέρα από αυτή τη μετατροπή, πάρθηκε μια απόφαση σχετικά με την ύπαρξη βροχής στο οπτικό πεδίο του ραντάρ. Αν δεν έχει εντοπιστεί βροχή, ολόκληρη η στήλη της ανακλαστικότητας χαρακτηρίζεται ως ελλιπής τιμή. Αυτό γίνεται με σκοπό τη μείωση του όγκου δεδομένων σε συμπιεσμένα αρχεία. Όλα τα προϊόντα της αποστολής TRMM έχουν έναν αριθμό έκδοσης ο οποίος προσαυξάνεται κάθε φορά που γίνεται επανεπεξεργασία του προϊόντος. Μετά την αρχή της τρίτης έκδοσης κατά την εκτόξευση ( οι εκδόσεις 1 και 2 ήταν δοκιμές πριν την εκτόξευση), τα προϊόντα επανεπεξεργάστηκαν στην τέταρτη έκδοση στις 1 Σεπτεμβρίου του 1998 και στην πέμπτη έκδοση στις 1 Οκτωβρίου του 1999. Αυτή την στιγμή τα προϊόντα της αποστολής TRMM βρίσκονται στην έβδομη έκδοση.



**Εικόνα 2.5** Σχηματική αναπαράσταση των αποτυπωμάτων στο έδαφος των οργάνων PR, TMI και VIRS του δορυφόρου TRMM (NASA, TRMM, 2011)

#### 2.1.4 Τρόπος λειτουργίας του ραντάρ PR

Η ακρίβεια στους υπολογισμούς του PR είναι σημαντική για την μετάβαση από τα προϊόντα του επιπέδου 1 σε αλγόριθμους υψηλότερου επιπέδου. Για να αναπτυχθεί ο αλγόριθμος υπολογισμού του PR, παραλλαγές των παραμέτρων του συστήματος έχουν μοντελοποιηθεί ώστε να έχουν μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα στοιχεία. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των θερμοκρασιακών μεταβολών μέσα στο ραντάρ. Για να διορθωθεί το παραπάνω σφάλμα απαιτείται παρακολούθηση του οργάνου. Παραλλαγές στα μακροπρόθεσμα στοιχεία μπορεί να παρατηρηθούν λόγω σταδιακού υποβιβασμού του εκτελεστικού συστήματος. Για την παρακολούθηση των παραπάνω στοιχείων, έχει συμπεριληφθεί στον αλγόριθμο μια εσωτερική υπολογιστική συνάρτηση η οποία περιλαμβάνει έναν ενεργειακό πομπό και έναν οπτικό δέκτη. Επίσης έχει αναπτυχθεί ένα σύστημα υπολογισμού το οποίο χρησιμοποιεί εξωτερικά σημεία αναφοράς με στόχο να εντοπίζει τις αλλαγές των χαρακτηριστικών της κεραίας και των τηλεμετρικών σένσορων.

Ο εσωτερικός αλγόριθμος υπολογισμού έχει αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας μια λεπτομερή μοντελοποίηση του PR η οποία περιγράφει την αλληλεξάρτηση όλων των παραμέτρων του συστήματος οι οποίες σχετίζονται με τη διαδικασία μετατροπής των τιμών μέτρησης σε ενέργεια του ραντάρ ή σε συντελεστή ανακλαστικότητας του ραντάρ. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος διαχειρίζεται τις αντίστοιχες μεσοπρόθεσμες παραλλαγές, όπως και ένα μέρος των μακροπρόθεσμων, μέσω της μέτρησης των χαρακτηριστικών εισόδου και εξόδου του δέκτη. Ο εξωτερικός υπολογισμός του PR, μέσω του οποίου γίνεται η διαχείριση των μακροπρόθεσμων παραλλαγών, πραγματοποιείται με τη χρήση ενός ενεργητικού υπολογιστικού ραντάρ (ARC) το οποίο εδρεύει στην Ιαπωνία. Η ανάλυση του σφάλματος προϋπολογισμού του ARC, η οποία εμπεριέχει το σφάλμα του εσωτερικού υπολογιστικού αλγορίθμου, καταδεικνύει ότι μπορεί να επιτευχθεί ακρίβεια ενός dB.

Στην αρχική αξιολόγηση του PR, η οποία έγινε δύο μήνες μετά την εκτόξευση της αποστολής TRMM, η διαφορά των μετρήσεων του συστήματος προσδιορίστηκε μέσω του ARC. Σαν αποτέλεσμα επιβεβαιώθηκε, μέσω επίγειων παρατηρήσεων πριν την εκτόξευση και χρησιμοποιώντας θερμοκρασιακό τηλεμετρητή, ότι ο δέκτης του PR παρουσιάζει υπερεκτίμηση κατά 0.6 dB συγκριτικά με το ARC ενώ η μεταδιδόμενη ενέργεια του PR είναι 0.6 dB χαμηλότερη. Τα παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν σαν διορθωτικοί παράγοντες στον υπολογισμό της λαμβανόμενης ισχύος του PR και της ανακλαστικότητας του ραντάρ. Έγινε χρήση τους για πρώτη φορά στην πέμπτη έκδοση των προϊόντων PR του επιπέδου 1. Μετά την αρχική δοκιμή, παρατηρήθηκε μεγάλη σταθερότητα στα χαρακτηριστικά του συστήματος PR εκτός από κάποιες περιπτώσεις όπου υπήρξαν ασυνήθιστες θερμοκρασιακές μεταβολές λόγω διακοπής της ισχύος διατήρησης του δορυφόρου. Ο πομπός κι ο δέκτης ισχύος, όπως υπολογίζονται μέσω του ARC, παρουσιάζουν μια διαφορά  $\pm 0.2$  dB γύρω από τη διορθωμένη τιμή. Οι μετρήσεις του επιπέδου της θαλάσσιας επιφάνειας, οι οποίες έγιναν υπό γωνία  $6^\circ$  έως  $10^\circ$ , παρουσιάζουν συνοχή σε σχέση με παλιότερες μετρήσεις από αερομεταφερόμενα ραντάρ του εργαστηρίου αεριοπροώθησης και

επικοινωνιών, ενώ διακρίνεται μια σταθερότητα της τάξεως των  $\pm 0.2$  dB. Επιπλέον, συγκρίσεις της ανακλαστικότητας της βροχόπτωσης μεταξύ του PR και των επίγειων πεδίων αξιολόγησης της NASA στη Φλόριντα καθώς και του ατμοσφαιρικού ραντάρ του πανεπιστήμιου του Kyoto έδειξαν συμφωνία των μετρήσεων (με τις διαφορές να κυμαίνονται εντός του 1dB κατά μέσο όρο). Τα παραπάνω ενδεικτικά αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι τα χαρακτηριστικά του συστήματος PR είναι αρκούντως ακριβή για τον προσδιορισμό της ποσοτικής ανακλαστικότητας του ραντάρ καθώς και των επιφανειακών μετρήσεων των ραντάρ.

Η παραπάνω συμφωνία των τιμών μεταξύ των ραντάρ, οδήγησε σε μια πιο αποτελεσματική στρατηγική αξιολόγησης των προϊόντων βροχόπτωσης. Επίσης, διαφαίνονται οφέλη όπως η πιθανότητα χρήσης διαστημικών ραντάρ σαν υπολογιστικό υποκατάστατο για τον έλεγχο του πλήθους των επίγειων ραντάρ που λειτουργούν ανεξάρτητα από τα πρότυπα του PR της αποστολής TRMM.

### 2.1.5 Αλγόριθμοι της αποστολής TRMM

Τα βροχομετρικά προϊόντα, ο υπολογισμός των σφαλμάτων τους και η μορφή της λανθάνουσας θερμότητας αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο της επιστήμης γύρω από την αποστολή TRMM. Στο σχεδιασμό του συστήματος δεδομένων, ώστε να παράγονται τα παραπάνω προϊόντα παρόλη την αυστηρότητα του προϋπολογισμού, ήταν απαραίτητη η ελαχιστοποίηση των προϊόντων που ικανοποιούν τις απαιτήσεις της αποστολής. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται περιληπτικά οι αλγόριθμοι που θεωρούνται οι πιο σημαντικοί για την αποστολή. Το δεύτερο και το τρίτο επίπεδο ακολουθούν την σταθερή ονομασία της NASA. Το δεύτερο επίπεδο αποτελείται από τις ανακτώμενες γεωφυσικές παραμέτρους στο επίπεδο του δορυφόρου ενώ τα προϊόντα του τρίτου επιπέδου αναπαριστούν είτε χωρικές είτε χρονικές γεωφυσικές παραμέτρους. Όπως και τα προϊόντα του πρώτου επιπέδου, έτσι και τα βροχομετρικά προϊόντα ακολουθούν την ίδια αρίθμηση των εκδόσεων με την τρίτη έκδοση να ξεκινά μετά την εκτόξευση, την τέταρτη έκδοση να εισάγεται στις 1 Σεπτεμβρίου του 1998, και την πέμπτη έκδοση να εισάγεται στις 1 Οκτωβρίου του 1999. Μέσα σε εικοσιτέσσερις ώρες μπορεί να γίνει η επανεπεξεργασία πέντε ημερών το πολύ. Γι' αυτό το λόγο τα επανεπεξεργασμένα προϊόντα δεν είναι διαθέσιμα άμεσα αλλά μετά από κάποια χρονική καθυστέρηση αναλόγως την ημερομηνία που συλλέχθηκαν τα δεδομένα.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται η πρόοδος των βροχομετρικών αλγορίθμων καθώς και οι συγκριτικές τους διαφορές. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν και τα αντίστοιχα προϊόντα παρουσιάζονται παρακάτω.

Αποτελεί τον αλγόριθμο δημιουργίας προφίλ και χρησιμοποιεί τη μέθοδο Bayesian για να συσχετίσει τις παρατηρημένες πολυκάναλες θερμοκρασίες φωτεινότητας με τα υδρομετεωρολογικά στοιχεία από άλλες προϋπάρχουσες βάσεις δεδομένων. Η συγκεκριμένες βάσεις δεδομένων τροφοδοτούνται από μη υδροστατικά μοντέλα σύννεφων κάνοντας αποκλειστικά χρήση της μικροφυσικής των σύννεφων.

### 3A11

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος παράγει μηνιαίες ωκεανικές βροχομετρικές συσσωρεύσεις σε φατνία  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ . Επίσης χρησιμοποιείται σαν αλγόριθμος του SSM/I για περισσότερο από δέκα χρόνια.

### 2A25

Ο βροχομετρικός αλγόριθμος έχει υποστεί αρκετές αλλαγές μεταξύ των διάφορων εκδόσεων. Πέραν της μικρής αύξησης της βροχικής απορροής, ο αλγόριθμος έχει τροποποιηθεί άλλες τρεις φορές. Στην πρώτη έγινε μια βελτίωση του αλγορίθμου για την εκτίμηση της επιφανειακής απόσβεσης. Στην τελευταία έκδοση, λαμβάνονται υπόψη η αβεβαιότητα τόσο στη σηματοδότηση του ραντάρ όσο και στην επιφάνεια αναφοράς.

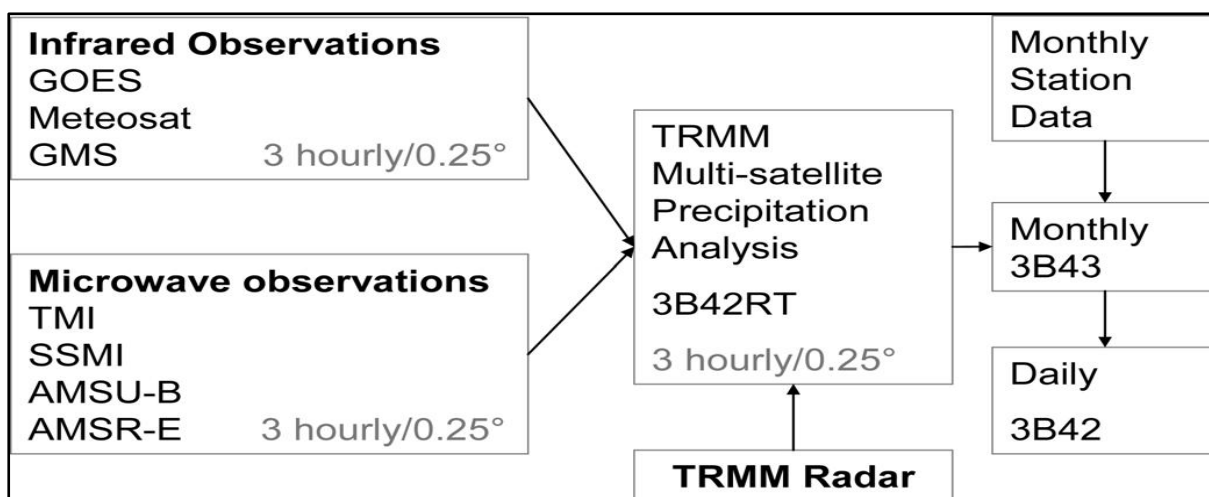
### 2B31

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος συνδυάζει πληροφορίες του PR και του TMI με σκοπό την ενσωμάτωση των πλεονεκτημάτων των δύο σευσόρων μέσω μιας πολύ συντηρητικής προσέγγισης.

### 3B42

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος βασίζεται στην τεχνική του προσαρμοσμένου γεωστατικού επιχειρησιακού περιβάλλοντος δείκτη βροχόπτωσης σύμφωνα με τον Adler et al. (1994). Η παραπάνω τεχνική χρησιμοποιεί την επιφάνεια βροχόπτωσης του αλγορίθμου 2A12 ανηγμένη σύμφωνα με τις αναλογίες του αλγορίθμου 3B31 με σκοπό την κατάλληλη προσαρμογή των ποσοστών βροχής που έχουν παρατηρηθεί από επίγειους δορυφόρους καθώς και την παραγωγή των συνολικών μηνιαίων χαρτών βροχόπτωσης στην περιοχή του  $40^{\circ}$  Β έως  $40^{\circ}$  Ν. Πιο συγκεκριμένα, η αναλογική χωρική μεταβλητή υπολογίζεται με τη βοήθεια των μηνιαίων μέσων ποσοστών βροχόπτωσης από τον αλγόριθμο 2A12 (χρησιμοποιώντας τις αναλογίες του αλγορίθμου 3B31) καθώς και με χρήση των υπέρυθρων δεδομένων VIRS (1B01) και εν τέλει οι προκύπτουσες μηνιαίες αναλογίες εφαρμόζονται στα τρίωρα επίγεια δεδομένα. Στην τέταρτη έκδοση, ο αλγόριθμος παράγει ένα προϊόν πέντε ημερών στον χώρο ενός φατνίου διαστάσεων  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ . Η δομή του αλγορίθμου δεν έχει αλλάξει μέχρι την σημερινή έκδοση, όμως υπάρχουν αλλαγές στα αποτελέσματα του αλγορίθμου λόγω τροποποιήσεων του αλγορίθμου 2B31. Επιπλέον, η έβδομη έκδοση του αλγορίθμου

παράγει ημερήσια αρχεία σε διάσταση  $1^\circ \times 1^\circ$  με στόχο την διευκόλυνση μελλοντικών χρηστών ως προς την συνάθροιση δεδομένων κατά τις υποκειμενικές τους απαιτήσεις. Η αβεβαιότητα στα ημερήσια προϊόντα έχει μεγαλώσει αναλόγως διότι δεν έχουν εισαχθεί πρόσθετα δεδομένα στην μετάβαση από τα πενταήμερα προϊόντα στα μηνιαία προϊόντα.



Σχήμα 2.1 Αναπαράσταση αλγορίθμου παραγωγής του 3B42

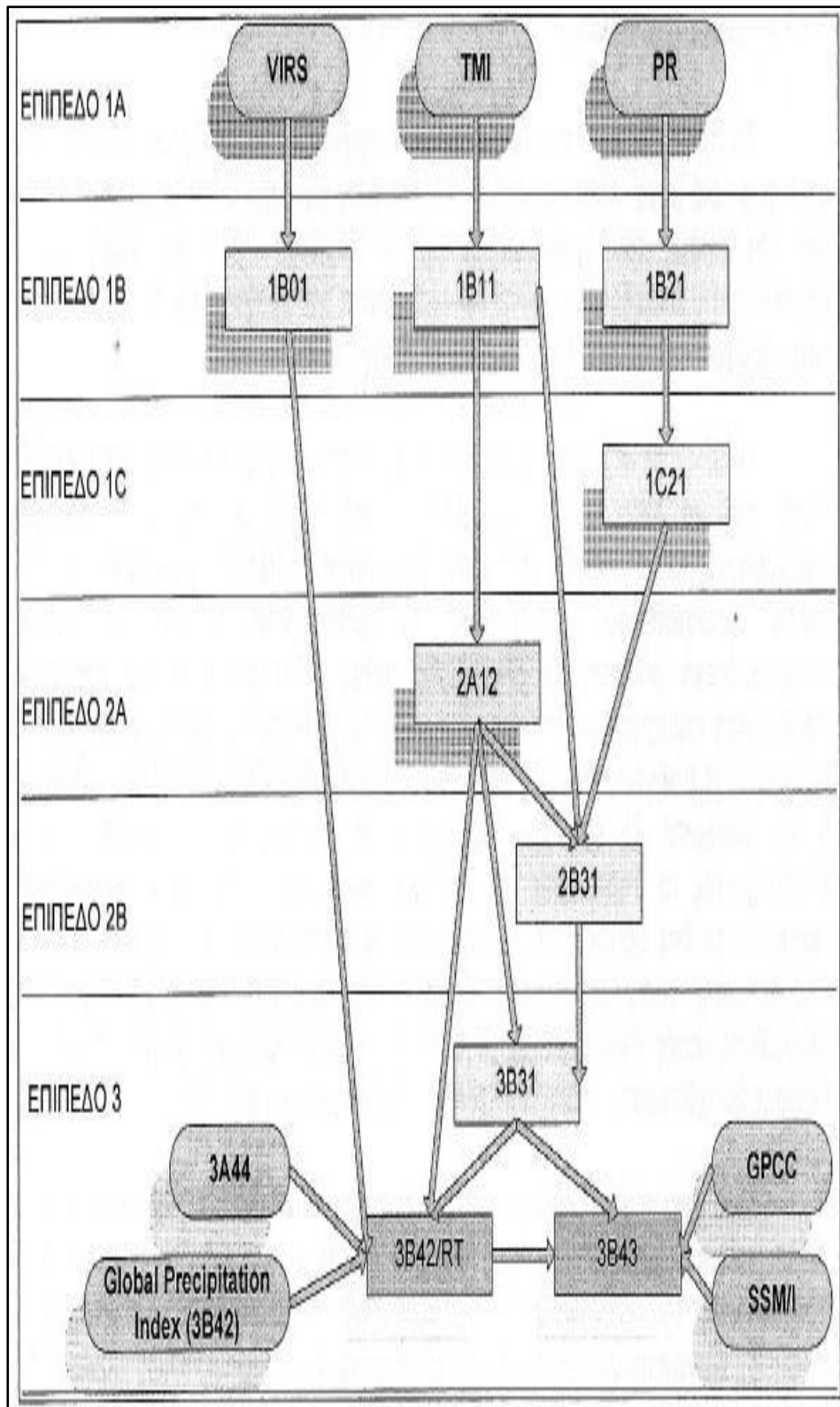
(Funketal. 2008)

### 3B43

Οι αλγόριθμοι και οι κώδικες για το συγκεκριμένο προϊόν βασίζονται στην τεχνική που περιγράφεται από τους Huffmanetal. (1997). Η τέταρτη έκδοση συνδυάζει την αποστολή TRMMκι άλλα δορυφορικά προϊόντα (3B42) με το ραδιομετρικό προϊόν 3B31 και ένα μηνιαίο προϊόν SSM/Ιβασισμένο στον αλγόριθμο 2A12 με αποτέλεσμα ένα προϊόν βασισμένο σε πολλούς δορυφόρους.

### *Καινούρια προϊόντα*

Η επιστημονική ομάδα TSDIS παράγει συστηματικά υποκατηγορίες των προϊόντων για τα οποία παρέχονται δεδομένα μόνο για τα δέκα προκαθορισμένα επίγεια πεδία καθώς και για κάποια επιπλέον πεδία τα οποία επιλέγει η ομάδα. Τα συγκεκριμένα υποπροϊόντα έχουν την ίδια μορφή με τα κανονικά προϊόντα αλλά πολύ μικρότερο μέγεθος. Τα παραπάνω προϊόντα είναι διαθέσιμα για χρήση στο ευρύ κοινό μέσω διαφόρων διαδικτυακών πλατφορμών. Η ομάδα TSDIS έχει επίσης περιορισμένη δυνατότητα να παράγει ειδικά υποπροϊόντα για περιοχές της γης πέραν των πεδίων αξιολόγησης της αποστολής TRMM. Τέτοιου είδους υποπροϊόντα παράγονται κατόπιν ειδικής παραγγελίας και αφορούν συγκεκριμένη περιοχή και χρονική περίοδο.



**Σχήμα 2.2** Διάγραμμα ροής παραγωγής προϊόντων του TRMM  
(Φωτόπουλος, 2011)



### 2.1.6 Προσπάθειες αξιολόγησης κατά τη διάρκεια της πρώτης διετίας

Οι προσπάθειες αξιολόγησης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία είναι οι συνήθειες συγκρίσεις των δορυφορικών βροχομετρικών προϊόντων με λειτουργικούς δείκτες και επίγειες εκτιμήσεις των ραντάρ από διακεκριμένα πεδία με ραντάρ. Η δεύτερη κατηγορία αφορά στα πειράματα πεδίου σε όλη τη γη με σκοπό την αξιολόγηση της φυσικής υπόστασης των αποτελεσμάτων και, όπου είναι απαραίτητο, τη βελτίωση των υποθέσεων τόσο στα δορυφορικά όσο και στα επίγεια όργανα μέτρησης. Επειδή χρησιμοποιούνται δυναμικά μοντέλα σύννεφων με σκοπό την μετατροπή των παρατηρήσεων της αποστολής TRMM σε λανθάνουσες θερμοκρασιακές εκτιμήσεις, τα πειράματα πεδίου εμπειρεύσαν τον αντικειμενικό σκοπό να διατηρήσουν τα δεδομένα τα οποία μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ώστε να προετοιμάσουν και να επαληθεύσουν τα μοντέλα σύννεφων σε ποικίλα μετεωρολογικά συστήματα.

#### *Κλιματολογική αξιολόγηση*

Η παραγωγή προϊόντων επαρκούς ποιότητας με στόχο την αξιολόγηση των προϊόντων βροχόπτωσης της αποστολής TRMM αποτέλεσε εξ αρχής πρόκληση για την επιστημονική μονάδα. Παρόλο που υπάρχουν υψηλής ποιότητας προϊόντα από ραντάρ για μικρές χρονικές περιόδους, έχει αποδειχθεί ότι είναι πολύ δύσκολη η επέκταση αυτών των μεθόδων σε συνήθη λειτουργικά συστήματα. Η διατήρηση της ποιότητας των προϊόντων αποτελεί το πιο δύσκολο εμπόδιο, με τον υπολογισμό μέσω ραντάρ να είναι πιθανότατα το πιο σημαντικό πρόβλημα. Παρόλο που έχει σημειωθεί πρόοδος ώστε να χρησιμοποιείται αποκλειστικά το ραντάρ της TRMM σαν υπολογιστική σταθερά, οι αλγόριθμοι των λειτουργικών επίγειων ραντάρ ακόμη χρησιμοποιούν μια διαδικασία προσαρμογής για να υπολογίσουν τα μηνιαία προϊόντα των ραντάρ για τους βασικούς μετρητές βροχής.

Μια επιπλέον δυσκολία παρουσιάστηκε στην αδυναμία των επιφανειακών ραντάρ να λειτουργούν συνεχόμενα. Σε αντίθεση με τα δορυφορικά, για τα οποία θεωρούνται τυχαία τα κενά στα δεδομένα, οι διακοπές λειτουργίας στα επίγεια ραντάρ μπορούν να συμβούν λόγω επιδείνωσης των καιρικών συνθηκών στην περιοχή του ραντάρ. Συχνότερα βέβαια, παρατηρούνται λόγω των δραστηριοτήτων συντήρησης οι οποίες λαμβάνουν χώρα κατά τις μη βροχερές περιόδους. Μια πιο αυστηρή προσέγγιση θα υπαγόρευε την σύγκριση δορυφορικών και επιφανειακών βροχομετρικών εκτιμήσεων μόνο μεταξύ των περιόδων που τα ραντάρ λειτουργούν κανονικά. Αυτό βέβαια μειώνει κατά πολύ την δειγματοληψία σε μερικά βροχικά γεγονότα κάθε μήνα.

Εν κατακλείδι, τα προϊόντα TRMM της έβδομης έκδοσης έχουν βελτιωθεί αρκετά σε σχέση με τις παλαιότερες εκδόσεις, αλλά υπάρχουν ακόμα σημαντικές διαφορές μεταξύ καταγραφών στον ωκεανό και στο έδαφος. Προκαταρκτικές συγκρίσεις των αποτελεσμάτων της αποστολής TRMM με υπάρχουσες αναλύσεις μετρητών πάνω στο έδαφος και στη θάλασσα καταδεικνύουν ότι, πάνω από τη θάλασσα, τα

προϊόντα του TM παρουσιάζουν αρκετές συμφωνίες με μετρητές πάνω σε βράχια, ενώ πειραματικοί αλγόριθμοι του PR παράγουν εκτιμήσεις που βρίσκονται αρκετά χαμηλότερα από αυτές των μετρητών σε βράχια και υφάλους που βρίσκονται στον Δυτικό Ειρηνικό Ωκεανό.

#### *Αξιολόγηση της φυσικής υπόστασης των αποτελεσμάτων*

Παρόλο που οι συγκρίσεις μεταξύ των δορυφορικών αλγορίθμων και των επίγειων προϊόντων είναι σημαντικές για την αξιολόγηση των διάφορων εκτιμήσεων, δεν δύναται να χρησιμοποιηθούν με σκοπό την μείωση της αβεβαιότητας στα παραγόμενα προϊόντα. Κατά τη διάρκεια των δύο πρώτων χρόνων της αποστολής TRMM διεξήχθησαν πέντε πειράματα στο πεδίο με στόχο την επίλυση των άνωθεν προβλημάτων. Ενώ το παραπάνω πρόγραμμα δεν επιτρέπει βαθύτερη ανάλυση κατά το στάδιο των πειραμάτων, εντούτοις παρέχει την υψηλότερη πιθανότητα επιτυχίας όταν ο δορυφόρος βρίσκεται σε λειτουργία. Λόγω της επιτυχίας των πειραμάτων μπορούν να επιλυθούν τρία πρωταρχικά ζητήματα. Το πρώτο αφορά στην επαλήθευση της ταξινόμησης των βροχοπτώσεων, που παρατηρήθηκαν μέσω δορυφόρου, σε τύπους συναγωγής καθώς και στην χρήση των κατάλληλων σχέσεων για κάθε τύπο βροχόπτωσης. Το δεύτερο ζήτημα είναι η βελτίωση της φυσικής μοντελοποίησης των σύννεφων. Αυτές οι παρατηρήσεις είναι αναγκαίες για να βελτιωθεί η ερμηνεία των παθητικών μικροκυμάτων του σήματος που φθάνει στον δορυφόρο καθώς και η διαχείριση του δυναμικού μοντέλου σύννεφων σε αυτές τις περιοχές. Τέλος, το τρίτο ζήτημα αφορά στη βελτίωση των δυναμικών μοντέλων σύννεφων που πρέπει να χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά για την επαλήθευση των εκτιμήσεων της λανθάνουσας θερμότητας από τους επίγειους και τους δορυφορικούς σένσορες.

Συμπερασματικά, αναλύσεις έδειξαν ότι υπάρχουν δύο διαφορετικά κλιματικά καθεστώτα, το ανατολικό και το δυτικό. Από τη στιγμή που τα μοντέλα σύννεφων μπορέσουν να εντοπίσουν τις παρατηρημένες διαφορές μεταξύ των δύο καθεστώτων (για παράδειγμα μεγαλύτερου μεγέθους σταγονίδια στο ανατολικό καθεστώς), τότε οι δορυφορικοί αλγόριθμοι μπορούν να συνεχίσουν την αξιολόγηση και το ραφινάρισμα αντιμετωπίζοντας τα δύο καθεστώτα ανεξάρτητα και χρησιμοποιώντας την λανθάνουσα θερμότητα, από τα βελτιωμένα μοντέλα σύννεφων, ώστε να παράγουν πιο ολοκληρωμένα προϊόντα σε παγκόσμιο επίπεδο.

## 2.2 Επίγεια βροχομετρικά δεδομένα

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν δύο πηγές επίγειων βροχομετρικών δεδομένων, τα δεδομένα του Κέντρου Παγκόσμιας Κατακρήμισης και Κλιματολογίας GPCC και τα δεδομένα της Αμερικάνικης Εθνικής Υπηρεσίας Ωκεανών και Ατμόσφαιρας NOAA. Τα πρώτα αποτελούν επιφάνειες μηνιαίων κατακρημίσεων, που έχουν προκύψει από σημειακές μετρήσεις με τη μέθοδο της ψηφιδωτής διαμέρισης, ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία και ανάλυση στο Κέντρο GPCC, ενώ τα δεύτερα είναι σημειακές μετρήσεις κατακρήμισης από το δίκτυο των μετεωρολογικών σταθμών του NOAA.

### 2.2.1 Τα δεδομένα του GPCC

Το Κέντρο Παγκόσμιας Κατακρήμισης και Κλιματολογίας GPCC εγκαθιδρύθηκε το 1989 ύστερα από αίτηση του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού WMO (World Meteorological Organization). Λειτουργεί υπό την αιγίδα της Γερμανικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας DWD ως μια γερμανική προσφορά στο Ερευνητικό Πρόγραμμα Παγκόσμιου Κλίματος WCRP (World Climate Research Programme). Σκοπός του GPCC είναι η ανάλυση σε παγκόσμιο επίπεδο της μηνιαίας βροχόπτωσης στην επιφάνεια του εδάφους, βασισμένη σε επιτόπιες μετρήσεις βροχόμετρων. Το 1994, ο WMO αιτήθηκε τη μακροπρόθεσμη λειτουργία του GPCC με σκοπό τη συνεισφορά του τελευταίου στις δραστηριότητες του Συστήματος Παρατήρησης Παγκόσμιου Κλίματος GCOS (Global Climate Observing System) για την παρακολούθηση του κλίματος. Από το 1999 το GPCC αποτελεί ένα από τα δύο παγκόσμια GCOS Δίκτυα Παρακολούθησης της Επιφάνειας GGSNMC (Surface Network Monitoring Centers) με ιδιαίτερη έμφαση στην κατακρήμιση. Στα μέσα του Δεκεμβρίου του 2006, το GPCC ξεκίνησε τη νέα λειτουργία του ως ηγετικό κέντρο για τα δεδομένα του GCOS για την Ευρώπη, όπως ορίστηκε από την Επιτροπή Βασικών Συστημάτων CBS (Commission for Basic Systems) του WHO (Schneider et al. 2008).

Όλα τα προϊόντα του GPCC είναι επιφάνειες μηνιαίων κατακρημίσεων από βροχόμετρα, με χωρική ανάλυση  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  και  $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$  για τα προϊόντα σχεδόν πραγματικού χρόνου (near real-time) και  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ,  $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$  και  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  για τα μη πραγματικού χρόνου (non real-time). Η βάση δεδομένων μηνιαίων κατακρημίσεων του GPCC περιλαμβάνει πάνω από εβδομήντα χιλιάδες διαφορετικούς σταθμούς μέτρησης παγκοσμίως και είναι η μεγαλύτερη του κόσμου. Τα προϊόντα διατίθενται ελεύθερα στο διαδίκτυο και είναι τα εξής σύμφωνα με τους Schneider et al. 2008:

- Προϊόντα Πρώτου Υπολογισμού (FirstGuessProducts) με χωρική ανάλυση  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  και  $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$
- Προϊόντα Παρακολούθησης (MonitoringProducts) με χωρική ανάλυση  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  και  $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$
- Προϊόντα Πλήρους Επεξεργασίας Δεδομένων (FullDataReanalysisProduct) με χωρική ανάλυση  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ,  $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$  και  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$
- Κλιματικά Δεδομένα πενήντα ετών (VASCLimO 50-YearDataSet) με χωρική ανάλυση  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ,  $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$  και  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$
- Τα νέα προϊόντα Παγκόσμιας Κατακρήμισης και Κλιματολογίας (GlobalPrecipitationClimatology) τα οποία είναι τα μοναδικά που διατίθενται επιπλέον σε ανάλυση  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$

Τα πρώτα δύο προϊόντα είναι τα σχεδόν πραγματικού-χρόνου. Τα Προϊόντα Πρώτου Υπολογισμού διατίθενται πέντε ημέρες μετά το τέλος κάθε μήνα και βασίζονται SYNOP (Συνοπτικά Δεδομένα Παρατήρησης Καιρού) από έξι χιλιάδες σταθμούς και τα οποία έχουν υποστεί μόνο αυτόματο Έλεγχο Ποιότητας. Τα Προϊόντα παρακολούθησης διατίθενται δύο μήνες μετά το χρόνο παρατήρησης και βασίζονται τόσο στα SYNOP όσο και στα CLIMAT (Μηνιαία Κλιματικά Δελτία) επτά έως οχτώ χιλιάδων σταθμών τα οποία έχουν υποστεί πολύ υψηλού επιπέδου Έλεγχο Ποιότητας (Schneideretal. 2008).

Τα Προϊόντα Πλήρους Επεξεργασίας Δεδομένων είναι μη πραγματικού χρόνου και πολύ μεγαλύτερης ακρίβειας σε σύγκριση με τα δύο πρώτα προϊόντα. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται σε μελέτες του υδρολογικού κύκλου και στην επαλήθευση υδρομετεωρολογικών μοντέλων. Τα δεδομένα αυτά προκύπτουν από την ανάλυση μετρήσεων όλων των διαθέσιμων σταθμών που παρέχουν μηνιαίες βροχοπτώσεις στη βάση δεδομένων του GPCP ενώ η ανάλυση στην οποία υπόκεινται χρησιμοποιεί ως βάση τα νέα προϊόντα Παγκόσμιας Κατακρήμισης και Κλιματολογίας τα οποία περιγράφονται παρακάτω. Καλύπτουν τη χρονική περίοδο από το 1901 έως το 2007, ενώ ο αριθμός των σταθμών μέτρησης που χρησιμοποιούνται κάθε μήνα κυμαίνεται από δέκα χιλιάδες έως και πάνω από σαρανταπέντε χιλιάδες (Schneideretal. 2008).

Τα δύο τελευταία προϊόντα είναι μη πραγματικού χρόνου και παρέχουν δεδομένα βροχόπτωσης σε κλιματικό επίπεδο. Έτσι, τα νέα προϊόντα Παγκόσμιας Κατακρήμισης και Κλιματολογίας δίνουν τις κανονικές τιμές κάθε μήνα όπως προέκυψαν από δεδομένα 50650 σταθμών μέτρησης για τη χρονική περίοδο από το 1951 έως το 2000. Τα Κλιματικά δεδομένα πενήντα ετών δίνουν μηνιαίες χρονοσειρές βροχόπτωσης για την ίδια περίοδο (1951-2000) βασισμένες σε δεδομένα από 9343 σταθμούς μέτρησης (Schneideretal. 2008).

Τα δεδομένα τα οποία εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία είναι τα Προϊόντα Πλήρους Επεξεργασίας Δεδομένων, αφενός διότι είναι μεγαλύτερης ακρίβειας από τα προϊόντα σχεδόν πραγματικού χρόνου και διατίθενται σε υψηλότερη χωρική

ανάλυση από αυτά ( $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ) και αφετέρου γιατί τα κλιματικά προϊόντα αφορούν διαφορετική χρονική περίοδο από ότι τα υπό αξιολόγηση δεδομένα (κοινά μόνο δύο έτη: 1998-1999).

Αναλυτικότερα, για την παραγωγή των Προϊόντων Πλήρους Επεξεργασίας Δεδομένων, εκτός από όλα τα προϊόντα σχεδόν πραγματικού χρόνου, χρησιμοποιούνται επιπλέον δεδομένα από πυκνά εθνικά δίκτυα παρακολούθησης διαφόρων χωρών τα οποία όμως παρέχονται στο GPCC με σημαντική χρονική καθυστέρηση. Ειδικότερα, οι Εθνικές Μετεωρολογικές ή/και Υδρολογικές Υπηρεσίες περισσότερων από 175 χωρών παρέχουν τις μετρήσεις των δικτύων τους στο GPCC. Η παράδοση αυτή, ωστόσο, μπορεί να καθυστερεί από ένα έως πέντε έτη εξαιτίας του χρόνου που απαιτείται για την επεξεργασία των μετρήσεων από κάθε υπηρεσία. Επιπλέον, άλλες βάσεις κλιματικών δεδομένων τοπικού ή παγκόσμιου επιπέδου (GlobalHistoricalClimatologyNetwork, GHCN; UniversityofEastAngliaClimateResearchUnit, CRU; FAO; GEWEXBalticSeaExperiment, BALTEX; Asia-Pacific/Matsumoto, κ.α.) συμπεριλαμβάνονται στην παραγωγή των Προϊόντων Πλήρους Επεξεργασίας Δεδομένων. Τελικά, η βάση δεδομένων αυτών των προϊόντων αποτελεί την πιο πλήρη συλλογή μηνιαίων δεδομένων βροχόπτωσης από επιτόπιες μετρήσεις παγκοσμίως. Έτσι, τα προϊόντα αυτά, αν και είναι διαθέσιμα με σημαντική χρονική καθυστέρηση, έχουν σαφέστατα μεγαλύτερη ακρίβεια από τα σχεδόν πραγματικού χρόνου καθώς περιλαμβάνουν μετρήσεις από δέκα χιλιάδες έως σαρανταπέντε χιλιάδες σταθμούς έναντι έξι με οχτώ χιλιάδων. Ο μεγάλος αριθμός σταθμών μέτρησης επιτρέπει και την αύξηση της χωρικής ανάλυσης των προϊόντων (Schneideretal. 2008).

Η επεξεργασία των δεδομένων για την παραγωγή των τελικών προϊόντων γίνεται με το Σύστημα Διαχείρισης Σχεσιακής Βάσης Δεδομένων RDBMS (RelationalDataBaseManagementSystem). Με το σύστημα αυτό, τα δεδομένα διαφορετικών πηγών (SYNOP, CLIMAT, εθνικά δίκτυα κ.α.) αποθηκεύονται, ελέγχονται, υφίστανται επεξεργασία και τελικά ενοποιούνται στο τελικό προϊόν. Τα βήματα της επεξεργασίας που ακολουθούνται περιλαμβάνουν:

- Την εναρμόνιση των μεταδεδομένων (αναγνώριση σταθμών)
- Την εκτίμηση της ποιότητας των δεδομένων βροχόπτωσης
- Την επιλογή και σύγκριση δεδομένων από διαφορετικές πηγές
- Την επιφανειακή ολοκλήρωση, με μεθόδους ψηφιδωτής διαμέρισης, των σημειακών δεδομένων σε ορθοκανονικό καννάβο
- Τον μετασχηματισμό του καννάβου σε  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ,  $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$  και  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  με την απόδοση του χωρικού μέσου σε κάθε φατνίο

Επιπλέον υπολογίζονται και δίνονται (κατά Schneideretal. 2008):

- Η μηνιαία βροχόπτωση ως ποσοστό της αντίστοιχης μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης που έχει προκύψει για το διάστημα 1951-2000 (βλ. Προϊόντα Παγκόσμιας Κατακρήμισης και Κλιματολογίας)
- Η απόκλιση της μηνιαίας βροχόπτωσης από την αντίστοιχη μέση μηνιαία
- Ο αριθμός των σταθμών μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της μηνιαίας βροχόπτωσης στο κάθε φατνίο και για κάθε μήνα

Αναφορικά με την ακρίβεια των Προϊόντων Πλήρους Επεξεργασίας Δεδομένων, δύο είναι οι βασικές πηγές σφάλματος. Πρώτον, το συστηματικό σφάλμα μέτρησης που οφείλεται στην εξάτμιση μέσα από το βροχόμετρο και την επίδραση του ανέμου, ο οποίος παρασύρει τις σταγόνες βροχής ή τις νιφάδες του χιονιού έξω από την χοάνη του βροχομέτρου. Δεύτερον, το στοχαστικό σφάλμα δειγματοληψίας που οφείλεται στο αραιό δίκτυο παρακολούθησης. Το GPCC δεν διορθώνει τη μεροληψία των μετρήσεων αλλά παρέχει ποσοτικοποίηση του σφάλματος για κάθε φατνίο, μόνο όμως για κάρναβο  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  και  $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$  (Schneideretal. 2008).

Το συστηματικό σφάλμα μέτρησης έχει ως αποτέλεσμα, εκτός ορισμένων ειδικών περιπτώσεων, τη μέτρηση μικρότερης ποσότητας από την πραγματική κατακρήμιση. Οι παράμετροι που επηρεάζουν την ακρίβεια της μέτρησης είναι τα χαρακτηριστικά του οργάνου μέτρησης και οι μετεωρολογικές συνθήκες τη χρονική στιγμή που λαμβάνει χώρα η κατακρήμιση. Δυστυχώς, οι πληροφορίες αυτές δεν είναι δυνατόν να συγκεντρωθούν από τους περισσότερους σταθμούς. Η παγκόσμια κατανομή του σφάλματος έχει εκτιμηθεί για τη μέση βροχόπτωση μεγάλων χρονοσειρών, από τους Legates και Willmott (1990), βάσει ενός γενικού μοντέλου, το οποίο τελικά παρέχει μία μέση τιμή σφάλματος για κάθε ημερολογιακό μήνα και το οποίο χρησιμοποιεί το GPCC. Το σφάλμα είναι μεγάλο στις περιοχές με συχνή χιονόπτωση και χαμηλές θερμοκρασίες. Από τον Ιανουάριο του 2007 το GPCC άρχισε να χρησιμοποιεί μια νέα μέθοδο ποσοτικοποίησης του σφάλματος με την οποία το σφάλμα προκύπτει πιο μικρό από ότι με το προηγούμενο μοντέλο. Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη μέθοδος δεν παύει να δίνει μια αρκετά χονδροειδή εκτίμηση της μεροληψίας, αφού βασίζεται μόνο σε δεδομένα ανέμου, θερμοκρασίας και υγρασίας από τις συνοπτικές παρατηρήσεις καιρού έξι χιλιάδων σταθμών παγκοσμίως (Schneideretal. 2008).

Το σφάλμα δειγματοληψίας ποσοτικοποιείται από το GPCC για διάφορες περιοχές του πλανήτη. Βάσει στατιστικών πειραμάτων, που χρησιμοποιούν δεδομένα από πολύ πυκνά δίκτυα παρακολούθησης, το σχετικό σφάλμα δειγματοληψίας στη μέτρηση της μηνιαίας κατακρήμισης για φατνία  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  είναι της τάξης  $\pm 7\% - 40\%$  της πραγματικής κατακρήμισης, εάν χρησιμοποιούνται πέντε σταθμοί μέτρησης ή  $\pm 5\% - 20\%$  εάν χρησιμοποιούνται δέκα. Το εύρος σφάλματος για συγκεκριμένο αριθμό σταθμών αντιπροσωπεύει τη χωρική μεταβλητότητα της κατακρήμισης στην κάθε περιοχή (Rudolfetal. 1994).

## 2.2.2 Τα δεδομένα του NOAA

### Ιστορικά Στοιχεία

Η Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA) έχει τις ρίζες της λίγο πριν τις αρχές του δέκατου-ένατου αιώνα όπου ο τότε Πρόεδρος των Η.Π.Α. Thomas Jefferson ίδρυσε την πρώτη επιστημονική υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών που ονομαζόταν Μελέτη της Ακτής. Το 1878 το παραπάνω όνομα άλλαξε σε «Μελέτη της Ακτής και της Γεωδαισίας» για να αντικατοπτρίζει το ρόλο των γεωδαιτικών επιστημών.

Πριν τον Επαναστατικό Πόλεμο, ο Thomas Jefferson συνέλλεγε ανεπίσημα στοιχεία που αφορούσαν στις κλιματολογικές συνθήκες σε μια ευρεία περιοχή από το Quebec μέχρι το Mississippi. Πιθανολογείται ότι η παραπάνω συλλογή δεδομένων του Jefferson ενέπνευσε τον Γενικό Γραμματέα του Στρατού ώστε να δώσει εντολή καταγραφής των κλιματολογικών δεδομένων.

Όταν το αμερικάνικο Κογκρέσο μετέφερε τις κλιματολογικές υπηρεσίες από το στρατό στο νεοϊδρυθέν Υπουργείο Γεωργίας το 1980, γεννήθηκε ο πρόγονος της υπηρεσίας NOAA, το Τμήμα Καιρικών Συνθηκών. Μέχρι το τέλος του δέκατου-ένατου αιώνα το Τμήμα Καιρικών Συνθηκών δημοσίευσε τον πρώτο κλιματολογικό χάρτη για την περιοχή της Washington (1895), ενώ το 1896 εγκαθίδρυσε την πρώτη υπηρεσία προειδοποίησης τυφώνα με την τακτική παρακολούθηση να ξεκινά το 1898. Τον Ιούλιο του 1970 ο Πρόεδρος των Η.Π.Α. Nixon, πρότεινε με δήλωση του στο Κογκρέσο τη δημιουργία της Εθνικής Υπηρεσίας Ωκεανών και Ατμόσφαιρας-NOAA με σκοπό την προάσπιση του εθνικού συμφέροντος για καλύτερη προστασία της ανθρώπινης ζωής και περιουσίας από τις φυσικές καταστροφές. Στις 3 Οκτωβρίου η Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας ιδρύθηκε υπό την αιγίδα του Υπουργείου Εμπορίου.

Σήμερα χρησιμοποιούνται προηγμένα κλιματολογικά ραντάρ για την πρόβλεψη των ανέμων καθώς και πολύπλοκα υπολογιστικά μοντέλα και ιπτάμενες μετεωρολογικές πλατφόρμες με αποτέλεσμα να εκδίδονται πάνω από επτακόσιες χιλιάδες κλιματολογικές και οχτακόσιες χιλιάδες πλημμυρικές προγνώσεις και περίπου σαρανταπέντε με πενήντα χιλιάδες προειδοποιήσεις οι οποίες σώζουν ζωές. Μάλιστα εκτιμάται ότι λόγω της μεγάλης ακρίβειας-αποτελεσματικότητας των μακροπρόθεσμων εκτιμήσεων του NOAA για το φαινόμενο El Niño, η πολιτεία της Καλιφόρνια εξοικονόμησε περίπου ένα δισεκατομμύριο δολάρια από απώλειες που πρόκειται να είχε. Καλό είναι να τονιστεί σε αυτό το σημείο ότι το El Niño (γνωστό και ως El Niño, ισπ: El Niño) είναι το μετεωρολογικό φαινόμενο κατά το οποίο τα κεντρικά και ανατολικά νερά του Ειρηνικού Ωκεανού κοντά στον Ισημερινό (ακτές του Περού) είναι θερμότερα σε σχέση με άλλες περιοχές. Η θερμοκρασία του νερού είναι μεγαλύτερη κατά 3°C περίπου. Η έκταση των θερμών νερών είναι συγκρίσιμη με την έκταση μιας μεγάλης χώρας. Συμβαίνει κάθε δύο με οχτώ χρόνια, και διαρκεί

για ένα χρόνο, εμφανίζεται δε εδώ και αιώνες κατά την περίοδο των Χριστουγέννων. Στο φαινόμενο αποδίδονται ως συνέπειες ακραία καιρικά φαινόμενα σε όλον τον κόσμο αλλά κυρίως στις περιοχές γύρω από τον Ειρηνικό, όπως ξηρασίες, βροχοπτώσεις, πυρκαγιές και τροπικοί κυκλώνες.

#### *Βροχομετρικά δεδομένα και όργανα μέτρησης*

Η Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA) παρέχει πληροφορίες ημερήσιας βροχόπτωσης για πάνω από εκατό χιλιάδες επίγειους μετεωρολογικούς σταθμούς παγκοσμίως. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της συνεργασίας του NOAA με τις αντίστοιχες υπηρεσίες άλλων κρατών (βλέπε Ε.Μ.Υ.). Βέβαια, καλό είναι να τονιστεί σε αυτό το σημείο ότι η ενημέρωση της βάσης δεδομένων του NOAA γίνεται με μια μικρή χρονική καθυστέρηση, συνήθως ετήσια, λόγω του απαιτούμενου χρόνου επεξεργασίας και αποστολής των παρατηρήσεων από τις αντίστοιχες υπηρεσίες. Στη βάση δεδομένων του NOAA υπάρχουν βροχομετρικές χρονοσειρές από τις αρχές του δέκατου-ένατου αιώνα μέχρι και σήμερα.

Οι βροχομετρικές παρατηρήσεις καταγράφονται μέσω της χρήσης βροχομέτρου σε δέκατα του χιλιοστού (Εικόνες 2.6 και 2.7). Το βροχόμετρο είναι ένα από τα επίγεια μετεωρολογικά όργανα για την μέτρηση του ύψους της βροχής. Ίσως το πρώτο μετεωρολογικό στοιχείο που φαίνεται να μετρήθηκε, όπως βεβαιώνεται και από την ιστορία, ήταν το ύψος της βροχής εκ του γεγονότος ότι δεν χρειάζεται τίποτα περισσότερο από ένα δοχείο περισυλλογής και ένας βαθμομετρικός κανόνας. Το πότε ακριβώς χρησιμοποιήθηκε το πρώτο βροχόμετρο είναι άγνωστο. Κατά την αρχαιότητα οι Έλληνες φέρονται να κρατούσαν σημειώσεις βροχοπτώσεων από τον 5ο αιώνα π.Χ.. Στα θρησκευτικά βιβλία των Εβραίων αναφέρεται πως στην Παλαιστίνη μετρούσαν την βροχή από τον 1ο αιώνα μ.Χ.. Στη μακρινή Κορέα χρησιμοποιούσαν μπρούτζινα δοχεία για την μέτρηση της βροχής, πιθανώς λαμβάνοντας υπόψη και τον ήχο. Σήμερα όλοι οι Μετεωρολογικοί Σταθμοί χρησιμοποιούν συνήθως το δεκαπλασιαστικό βροχόμετρο για την μέτρηση του ύψους της βροχής. Το δεκαπλασιαστικό βροχόμετρο αποτελείται από ένα μεταλλικό κωνικό δοχείο που το άνω μέρος του απολήγει σε κυλινδρικό δακτύλιο με χείλη τελείως κυκλικά και λεπτά. Το κωνικό αυτό δοχείο στο κάτω άκρο του καταλήγει σε κυλινδρικό μεταλλικό σωλήνα που συγκοινωνεί με ένα γυάλινο σωλήνα που φέρεται τοποθετημένος παράλληλα προς αυτόν τον μεταλλικό σωλήνα. Η κυκλική επιφάνεια του στομίου δηλαδή αυτή που ορίζεται από τα λεπτά χείλη του άνω μέρους του κυλινδρικού δακτυλίου είναι δεκαπλάσια του αθροίσματος των επιφανειών των καθέτων τομών (ως προς το διάμετρο) του μεταλλικού και του γυάλινου σωλήνα, εξ ου και ο χαρακτηρισμός του οργάνου "δεκαπλασιαστικό". Συνεπώς το ύψος του νερού από την βροχόπτωση στο γυάλινο σωλήνα είναι δεκαπλάσιο εκείνου που έπεσε πραγματικά στην επιφάνεια της Γης κατά την διάρκεια κάποιας βροχόπτωσης. Κατά μήκος του γυάλινου σωλήνα υφίσταται κλίμακα σε εκατοστά και χιλιοστά του μέτρου, τα οποία και παριστούν



χιλιοστά και δέκατα του χιλιοστού του μέτρου αντίστοιχα του πραγματικού ύψους της βροχής σε κάποια βροχόπτωση. Επειδή το ίδιο αυτό το όργανο χρησιμοποιείται και για στερεά υδάτινα κατακρημνίσματα όπως είναι το χιόνι και το χαλάζι λαμβάνει την ονομασία χιονόμετρο ή χαλαζόμετρο με την διαφορά ότι γι' αυτές τις μετρήσεις λιώνουμε το χιόνι ή το χαλάζι και μετράμε το ύψος του νερού στο βροχόμετρο. Κατά μέσο όρο, έτσι εμπειρικά, ένα εκατοστόμετρο χιονιού αντιστοιχεί με ένα χιλιοστόμετρο βροχής. Η αναλογία όμως αυτή δεν είναι απόλυτη εκ του γεγονότος ότι το χιόνι μπορεί να ποικίλλει στο βαθμό που είναι συμπιεσμένο, ισχύει περισσότερο σε εκείνες τις περιπτώσεις μικρού σχετικά στρώματος χιονόπτωσης.

Παλαιότερα βροχόμετρα παρουσίαζαν διάφορα σφάλματα στις εκτιμήσεις τους λόγω του φαινομένου της εξάτμισης. Τα τελευταία χρόνια το παραπάνω πρόβλημα αντιμετωπίστηκε με την τοποθέτηση μιας λεπτής στρώσης λαδιού έτσι ώστε να εμποδίζεται η διαφυγή νερού με την μορφή υδρατμών από το δοχείο περισυλλογής μέσω της εξάτμισης. Επίσης, τα βροχόμετρα παρουσιάζουν μια αδυναμία ακριβούς εκτίμησης της βροχόπτωσης όταν επικρατούν δυνατοί άνεμοι κατά την διάρκεια της βροχής οι οποίοι εμποδίζουν τα σταγονίδια να εισέλθουν στο δοχείο.



**Εικόνα 2.6** Βροχόμετρο



Εικόνα 2.7 Βροχόμετρο

### 2.2.3 Επιλογή Δεδομένων

Στην παρούσα εργασία δεν χρησιμοποιήθηκαν καθόλου τα δεδομένα του GPCC διότι είναι σε μηνιαία κλίμακα και έτσι θα έπρεπε τα δορυφορικά δεδομένα να συναθροιστούν και να αξιολογηθούν σε σχέση με αυτά του GPCC στο χρονικό βήμα του μήνα, το οποίο έχει ήδη πραγματοποιηθεί από την Αλεξοπούλου στον ελλαδικό χώρο (Αλεξοπούλου, 2010). Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι στο δίκτυο των επίγειων σταθμών, απ' όπου αντλεί τα δεδομένα του το GPCC, δεν συμμετέχουν πολλοί επίγειοι σταθμοί παγκοσμίως και αυτοί που συμμετέχουν είναι κατά πολύ ανομοιόμορφα κατανεμημένοι.

Επίσης, η συσχέτιση που υπάρχει εξ αρχής μεταξύ των δεδομένων GPCC και των δορυφορικών 3B42, καθώς τα πρώτα συμμετέχουν στον αλγόριθμο παραγωγής των δεύτερων, μειώνει την αξιοπιστία της σύγκρισης και αξιολόγησης των δορυφορικών προϊόντων με αυτά του GPCC.

Τέλος, γίνεται φανερό από τα παραπάνω στοιχεία ότι για την παρούσα μελέτη ενδείκνυνται περισσότερο τα δεδομένα της βάσης της Εθνικής Υπηρεσίας Ωκεανών και Ατμόσφαιρας-NOAA.



## 3 Μεθοδολογία αξιολόγησης δορυφορικών βροχομετρικών δεδομένων

### 3.1 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του παγκόσμιου άτλα. Εκτείνεται από βόρειο γεωγραφικό πλάτος  $50^{\circ}$  έως  $50^{\circ}$  νότιο και δυτικό γεωγραφικό μήκος  $180^{\circ}$  έως  $180^{\circ}$  ανατολικό. Αυτό σημαίνει ότι η παρούσα μελέτη δεν αναφέρεται στην Αλάσκα, τον Καναδά, την Δανία, την Ισλανδία, το Ηνωμένο Βασίλειο, την Νορβηγία, την Σουηδία, την Φινλανδία, την Πολωνία, την Λευκορωσία, την Λετονία, την Εσθονία, την Γροιλανδία, τη Ρωσία, την Ανταρκτική, το βόρειο μέρος του Καζακστάν και ένα μικρό μέρος της Γερμανίας (Βόρεια Γερμανία). Προφανώς ένα μεγάλο μέρος μεταξύ των συντεταγμένων που μελετούνται αποτελεί κομμάτι της θάλασσας κι έτσι δεν εξετάζεται.

### 3.2 Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων

Το αρχικό στάδιο για την αξιολόγηση των δορυφορικών δεδομένων με αναφορά τις επίγειες μετρήσεις βροχόμετρων, είναι η συλλογή των δεδομένων και η αρχική επεξεργασία τους ώστε να μορφοποιηθούν κατάλληλα για την μετέπειτα ανάλυση τους. Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία μορφοποίησης των δορυφορικών και των επίγειων δεδομένων.

#### 3.2.1 Επεξεργασία δορυφορικών βροχομετρικών δεδομένων 3B42 V7

Τα δορυφορικά βροχομετρικά δεδομένα που πρόκειται να αξιολογηθούν στην παρούσα εργασία είναι τα 3B42 V7. Τα δεδομένα αυτά είναι εκτιμήσεις βροχόπτωσης που έχουν προκύψει από την επεξεργασία μικροκυματικών και υπέρυθρων μετρήσεων του δορυφόρου TRMM σε συνδυασμό με μετρήσεις άλλων δορυφόρων και έχουν διορθωθεί με βάση τις μηνιαίες επίγειες μετρήσεις βροχόπτωσης του Κέντρου Παγκόσμιας Κατακρήμνισης και Κλιματολογίας GPCC και του Συστήματος Αξιολόγησης και Παρακολούθησης του Κλίματος CAMS. Για τη μετατροπή των δορυφορικών μετρήσεων σε εκτιμήσεις βροχόπτωσης χρησιμοποιείται η 7<sup>η</sup> έκδοση των ομόνυμων αλγορίθμων. Τα τελικά προϊόντα των αλγορίθμων αυτών δίνονται σε κάρναβο διαστάσεων  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  όπου η τιμή του κάθε φαντίου είναι η μέση επιφανειακή βροχόπτωση όλης της επιφάνειας του φαντίου. Τα 3B42 V7 δίνουν εκτιμήσεις ημερήσιας βροχόπτωσης. Η χρονική περίοδος που καλύπτουν τα υπό αξιολόγηση δεδομένα είναι από 1 Ιανουαρίου 1998 έως 31 Ιανουαρίου του 2016.

Το προϊόν 3B42 V7 διατίθεται ελεύθερα από την επίσημη ιστοσελίδα της NASA με την Υποδομή Διαδραστικής Οπτικοποίησης και Ανάλυσης μέσω Διαδικτύου Giovanni (InteractiveOnlineVisualizationAndAnalysisInfrastructure) του Κέντρου Υπηρεσιών Δεδομένων και Πληροφοριών GES-DISC (GoddardEarthSciencesDataandInformationServicesCenter).

Τα δεδομένα καλύπτουν μια περιοχή 50°N έως 50°S και 180°W έως 180°E. Στην παρούσα εργασία μελετούνται όλα τα φαινία της άνωθεν περιοχής με τα κέντρα των ακραίων φαινίων να είναι 49.875°,179.875°ενώ τα κέντρα των υπολοίπων βρίσκονται με βήμα 0.25°.

Η ιστοσελίδα της NASA παρέχει τη δυνατότητα λήψης των δεδομένων είτε σε μορφή εικόνας είτε σε μορφή ASCII. Για την συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα σε μορφή ASCII ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία τους. Τα ASCII αρχεία κατέβηκαν σε δυαδική μορφή από τον ftpserver της NASA με χρήση του λογισμικού MATLAB(TRMMdownloaderFINAL). Το κάθε αρχείο περιέχει, σε μορφή πίνακα, το ημερήσιο ύψος της βροχόπτωσης σε κάθε φαινίο ξεχωριστά. Λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων χρειάστηκαν αρκετές μέρες ώστε να αποθηκευτούν όλα τα αρχεία στον υπολογιστή.

Στη συνέχεια τα πρωτογενή δεδομένα μετατράπηκαν μέσω κωδικοποίησης από δυαδική μορφή σε δεκαδική και τοποθετήθηκαν σε πίνακες διαστάσεων 400x1440 όπου το κάθε στοιχείο του πίνακα αντιπροσωπεύει τα mm βροχόπτωσης σε κάθε φαινίο με τέτοιο τρόπο ώστε το στοιχείο (1,1) να αντιστοιχίζεται στις συντεταγμένες (-49.875°, -179.875°).

Ύστερα διαμορφώθηκε ένας συγκεντρωτικός πίνακας διαστάσεων 6605x576000 όπου η κάθε σειρά αναφέρεται στην ημέρα ενώ η κάθε στήλη στο κάθε φαινίο. Έτσι προκύπτουν δεδομένα 6605 ημερών, δηλαδή 15 χρόνων, σε παγκόσμιο επίπεδο 400x1440=576000 φαινίων. Λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων χρειάστηκαν αρκετές μέρες ώστε να διαμορφωθεί ο άνωθεν πίνακας καθώς και ειδική μεταχείριση ώστε να καθίσταται δυνατή η αποθήκευση και η επεξεργασία του. Εν τέλει, τα δεδομένα αποθηκεύτηκαν σε μορφή matfile.

### 3.2.2 Επεξεργασία επίγειων βροχομετρικών δεδομένων του NOAA

Τα βροχομετρικά δεδομένα από επίγειες μετρήσεις που θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των δορυφορικών ελήφθησαν από την Αμερικάνικη Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA). Συνολικά υπάρχουν καταγεγραμμένα δεδομένα σε 100198 σταθμούς. Το όργανο μέτρησης της βροχόπτωσης στους σταθμούς αυτούς είναι το συμβατικό βροχόμετρο.

Αρχικά, λήφθηκαν από την Αμερικάνικη Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας τα στοιχεία όλων των 100198 σταθμών. Τονίζεται σ' αυτό το σημείο ότι πολλοί σταθμοί παρουσίαζαν συστηματική έλλειψη παρατηρήσεων ακόμα και για ολόκληρα χρόνια. Άλλοι σταθμοί, πιθανότατα λόγω βλάβης ή εσκεμμένης παύσης της λειτουργίας τους ή ακόμα και μετέπειτα εγκατάστασης τους, δεν παρέχουν πληροφορίες βροχομετρικών δεδομένων σχετικά με την χρονική περίοδο που ενδιαφέρει την παρούσα μελέτη, δηλαδή από το 1998 μέχρι το 2015 (18 χρόνια). Οι τιμές που λείπουν καταγράφονται με την τιμή -9999.

Για αυτό τον λόγο τοποθετήθηκαν κριτήρια επιλογής σταθμών από τα συνολικά πρωτογενή δεδομένα έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων καθώς και των συμπερασμάτων. Τα κριτήρια επιλογής είναι τα εξής:

- Οι πληροφορίες βροχομετρικών δεδομένων να καλύπτουν την χρονική περίοδο από το 1998 μέχρι το 2015.
- Από την παραπάνω χρονική περίοδο των 18 χρόνων να υπάρχουν πληροφορίες για 15 χρόνια τουλάχιστον.
- Για τις χρονολογίες που πληρούν τα παραπάνω κριτήρια, θα πρέπει για κάθε χρόνο ξεχωριστά να υπάρχουν βροχομετρικά στοιχεία για 310 ημέρες (περίπου 85% του χρόνου) τουλάχιστον. Το συγκεκριμένο κριτήριο εξασφαλίζει ότι δεν λείπουν παραπάνω από δύο μήνες, γεγονός που, αν επιτρεπόταν, μπορεί να οδηγούσε σε λάθος συμπεράσματα καθώς η έλλειψη μιας ολόκληρης εποχής (τρεις μήνες) ή τριών βροχερών μηνών θα υποεκτιμούσε κατά πολύ τις μέγιστες ετήσιες βροχοπτώσεις.
- Οι σταθμοί να βρίσκονται εντός της περιοχής των 50°N έως 50°S και 180°W έως 180°E ώστε να είναι δυνατή η αντιστοίχιση τους με τα δορυφορικά δεδομένα τα οποία καλύπτουν την παραπάνω περιοχή.

Εφαρμόζοντας τα παραπάνω κριτήρια συγκεντρώνονται τελικά 8345 σταθμοί, γεγονός που καθιστά ασφαλή την εξαγωγή συμπερασμάτων καθώς αποτελεί ένα εύλογο αριθμό στοιχείων για να θεωρηθεί βάσιμη η παρούσα μελέτη.

Εν τέλει, καλό είναι να σημειωθεί ότι τα στοιχεία όλων των σταθμών αποθηκεύονται σε μορφή matfile και περιέχουν πληροφορίες όπως το ύψος βροχόπτωσης (σε δέκατα του χιλιοστού mm), το υψόμετρο που είναι τοποθετημένος ο βροχομετρικός σταθμός, την κωδική ονομασία του σταθμού και φυσικά τις συντεταγμένες του σταθμού.

### 3.2.3 Αναγωγή των δορυφορικών δεδομένων στις θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών του NOAA με τη μέθοδο της Βέλτιστης Γραμμικής Αμερόληπτης Εκτίμησης ( BLUE )

Η χωρική παρεμβολή αποτελεί ένα σημαντικό αντικείμενο μελέτης σε όσους κλάδους της επιστήμης παρουσιάζεται η αναγκαιότητα να εκτιμηθεί η μορφή που έχει στο χώρο η επιφάνεια των τιμών μιας μεταβλητής η οποία μετρήθηκε μόνο σε ορισμένα σημεία, η εξομάλυνσή της, και η έκφρασή της από μια μαθηματική σχέση των χωρικών συντεταγμένων. Εν τέλει, παράγεται, μέσω της χωρικής παρεμβολής μιας μεταβλητής, ένας χάρτης με ισοϋέτιες καμπύλες. Όταν πρόκειται για μετρήσεις στη φύση, τα σημεία των μετρήσεων εντοπίζονται σε τυχαίες θέσεις και δεν ακολουθούν κανονική διάταξη στο χώρο. Έτσι γίνεται μια πρώτη παρεμβολή και υπολογισμός των τιμών στους κόμβους ενός αυθαίρετου καννάβου που επιλέγεται έτσι ώστε να εξυπηρετεί καλύτερα τον επιδιωκόμενο σκοπό.

Σε όλες τις χωρικές μεθόδους παρεμβολής επιδιώκεται η πιο πιστή εκτίμηση της επιφάνειας της μεταβλητής, με την καλύτερη αξιοποίηση των μετρήσεων και με μερική εκτίμηση του πιθανού σφάλματος.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα παρέχουν επιφανειακή πληροφορία βροχόπτωσης και διατίθενται σε έναν κάνναβο ανάλυσης  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  δίνοντας μια χρονοσειρά βροχόπτωσης σε κάθε σημείο του καννάβου. Παρόλα αυτά, κανένα σημείο δεν έχει τις ίδιες συντεταγμένες, δηλαδή δεν ταυτίζεται χωρικά, με κάποιον επίγειο σταθμό ώστε να επιτρέπεται η άμεση σύγκριση των δύο χρονοσειρών. Έτσι, κρίνεται απαραίτητη η χωρική παρεμβολή των δορυφορικών δεδομένων ώστε να βρεθεί η εκτιμημένη χρονοσειρά στο σημείο του σταθμού.

Υπάρχει η πιθανότητα η εκτιμήτρια να ταυτίζεται με μία από τις τέσσερις γειτονικές χρονοσειρές των γειτονικών σημείων αφού οι τιμές που δίνονται σε κάθε σημείο του καννάβου είναι οι μέσες επιφανειακές τιμές του αντίστοιχου φαντνίου  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ . Οπότε σε περίπτωση που ο σταθμός του NOAA βρίσκεται εντός της περιοχής του συγκεκριμένου φαντνίου μπορεί να θεωρηθεί ότι η τιμή του δορυφόρου στο σημείο του σταθμού αντιστοιχεί στην τιμή που δίνεται στο σημείο του καννάβου για το συγκεκριμένο αυτό φαντνίο. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με προγενέστερη μελέτη (Paratheodosiou 2011), στις περισσότερες περιπτώσεις η εκτιμήτρια από παρεμβολή μεταξύ των τεσσάρων γειτονικών σημείων του καννάβου δίνει, με μεγάλη διαφορά, καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με την υπόθεση ότι ένα σημείο του καννάβου προσεγγίζει καταλλήλως τα επίγεια δεδομένα για κάθε σταθμό του NOAA.

Προκειμένου να γίνει η σύγκριση των δορυφορικών δεδομένων με τα επίγεια δεδομένα της βάσης του NOAA, εκτιμήθηκε, στη θέση κάθε μετεωρολογικού σταθμού, η ετήσια βροχόπτωση από τα τέσσερα πλησιέστερα φαντνία της επιφάνειας των δορυφορικών δεδομένων. Έτσι προκύπτουν τα ύψη βροχοπτώσεων



από τα δορυφορικά δεδομένα, τα οποία αντιστοιχούν σε κάθε έναν από τους 8345 επίγειους σταθμούς.

Η γραμμική μέθοδος βέλτιστης παρεμβολής BLUE επιτρέπει στις εκτιμήσεις σε κάθε σημείο να είναι αμερόληπτες και το σφάλμα σε αυτές ή τουλάχιστον το μέσο σφάλμα για όλη την περιοχή, όπου γίνεται η εκτίμηση, να είναι το ελάχιστο.

Ακολουθώντας την παραπάνω μέθοδο, παίρνουμε τις τιμές από τα τέσσερα πλησιέστερα φατνία της επιφανείας των δορυφορικών δεδομένων τα οποία αντιστοιχούν σε έναν επίγειο σταθμό. Προφανώς οι συντεταγμένες του επιγείου σταθμού βρίσκονται εντός της περιοχής του ενός εκ των τεσσάρων πλησιέστερων φατνίων. Η μέθοδος BLUE αποτελεί έναν γραμμικό μηχανισμό κι έτσι υπολογίζει την εκτιμήτρια απλά ως ένα άθροισμα των τιμών των τεσσάρων γειτονικών σημείων καθένα πολλαπλασιασμένο με ένα βάρος, το άθροισμα των οποίων ισούται με την μονάδα, σύμφωνα με το τυπολόγιο που παρουσιάζεται παρακάτω (Koutsogiannis et al. 2008, Koutsogiannis 2004).

$$S_i = \sum_{j=1}^4 w_j \times S_{ji} \quad (3.1)$$

Όπου:

$S_i$ , η εκτιμημένη χρονοσειρά

$S_{ji}$ , οι χρονοσειρές στα τέσσερα γειτονικά σημεία του καννάβου

$w_j$ , τα βάρη για κάθε χρονοσειρά των τεσσάρων γειτονικών σημείων του καννάβου

Προφανώς πρέπει να ισχύει ότι:  $\sum_{j=1}^4 w_j = 1$

Το συγκεκριμένο απλό γραμμικό μοντέλο λειτουργεί ευνοϊκά για χρονοσειρές μεγάλης χρονικής κλίμακας, δηλαδή μηνιαία και μεγαλύτερη, και χρησιμοποιείται εκτεταμένα σε θέματα κλιματολογικού ενδιαφέροντος (Koutsogiannis et al. 2008, Anagnostopoulou et al. 2010). Παρόλα αυτά, αδυνατεί να προσομοιώσει χρονοσειρές μικρής χρονικής κλίμακας καθώς μειώνει κατά πολύ τις ακραίες τιμές κάνοντας εξομάλυνση (smoothing) (Tsaknias et al. 2011, Τσακνιάς 2011).

Γίνεται λοιπόν σαφές ότι, στην παρούσα μελέτη δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί το απλό γραμμικό μοντέλο BLUE καθώς η εκτιμήτρια απαιτείται να προσομοιώνει ακραίες τιμές. Έτσι, χρησιμοποιείται μια γενικευμένη μορφή του μοντέλου BLUE η modified BLUE στην οποία πραγματοποιείται ένας μη γραμμικός μετασχηματισμός. Σύμφωνα με προηγούμενες εργασίες (Paratheodosiou 2011), η τροποποίηση-

γενίκευση οδηγεί σε βελτιωμένη εκτιμήτρια σε σχέση με το απλό γραμμικό μοντέλο καθώς το συμβατικό BLUE είναι μια υποπερίπτωση του γενικευμένου μετασχηματισμού (Koutsogiannis 2004, Tsakniasetal. 2011).

Η γενικευμένη μορφή της παρεμβολής BLUE φαίνεται στο παρακάτω τυπολόγιο (Tsakniasetal. 2011, Τσακνιάς 2011). Οι συμβολισμοί έχουν διατηρηθεί ίδιοι με αυτούς του απλού BLUE.

Αρχικά, κάθε χρονοσειρά από τις τέσσερις των πλησιέστερων φατνίων του επίγειου σταθμού μετασχηματίζεται μη γραμμικά με τον ακόλουθο μετασχηματισμό:

$$S_{ji} = (a + Y_{ji})^c \quad (3.2)$$

Όπου,  $Y_{ji}$  η αρχική χρονοσειρά σε κάποιο από τα τέσσερα φατνία του καννάβου και  $S_{ji}$  η (μη γραμμικά) μετασχηματισμένη χρονοσειρά. Τα  $a$  και  $c$  είναι μη αρνητικοί αριθμοί.

Για τις υπόλοιπες παραμέτρους ισχύουν οι ίδιοι τύποι με το απλό γραμμικό μοντέλο BLUE. Δηλαδή:

$$S_i = \sum_{j=1}^4 w_j \times S_{ji} \quad (3.3)$$

Όπου:

$S_i$ , η εκτιμημένη χρονοσειρά

$w_j$ , τα βάρη για κάθε χρονοσειρά των τεσσάρων γειτονικών σημείων του καννάβου

Προφανώς πρέπει να ισχύει ότι:  $\sum_{j=1}^4 w_j = 1$

Συνδυάζοντας τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει η πλήρης έκφραση του γενικευμένου μοντέλου που χρησιμοποιούμε (Tsakniasetal. 2011, Τσακνιάς 2011):

$$S_i = \left( \sum_{j=1}^4 w_j \times (a + Y_{ji})^c \right)^{1/c} - a \quad (3.4)$$

Το παραπάνω μοντέλο φαίνεται να έχει έξι παραμέτρους, τα τέσσερα βάρη, το  $a$  και το  $c$ . Όμως, στην πραγματικότητα αποτελείται από πέντε ανεξάρτητες παραμέτρους αφού το ένα βάρος είναι εξαρτημένη παράμετρος και ισούται με τη διαφορά του αθροίσματος των άλλων τριών από τη μονάδα. Είναι προφανές ότι για  $a$  ίσο με μηδέν και  $c$  ίσο με τη μονάδα προκύπτει το απλό γραμμικό μοντέλο BLUE. Όπως προκύπτει από τους υπολογισμούς στην πλειοψηφία των σταθμών, το  $c$  αναμένεται θετικό και γενικώς μικρότερα της μονάδας καθώς είναι εκθέτης στην αντίστοιχη μαθηματική σχέση.

Η επιλογή τιμών για τα βάρη αποτελεί σημαντικό μέρος της παρούσας μελέτης καθώς καθορίζει την αξιοπιστία της εκτιμήτριας και το πόσο βέλτιστη είναι αυτή. Για να γίνει η επιλογή των βαρών ακολουθείται μια διαδικασία βελτιστοποίησης οπότε πρέπει να υπάρχει μια αντικειμενική συνάρτηση η οποία μεγιστοποιείται ή ελαχιστοποιείται. Σύμφωνα με υπάρχουσες μελέτες όταν επιδιώκεται μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας  $Eff$ , δηλαδή όταν ελαχιστοποιείται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα  $MSE$ , παρατηρείται ότι η μέγιστη αποδοτικότητα αντιστοιχεί σε εκτιμήτριες με πολλά μηδενικά στοιχεία. Έτσι ακόμα κι αν εισαχθεί και η συνάρτηση σφάλματος  $Er$ , με σκοπό την ελαχιστοποίησή της, παρατηρείται πάλι ότι δεν προσομοιώνονται αποτελεσματικά οι κατανομές μεγίστων. Δηλαδή, παρόλο που η συνάρτηση σφάλματος  $Er$  προσδίδει μεγαλύτερη σημασία στο σφάλμα του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης, η εκτιμήτρια δεν προκύπτει αμερόληπτη. Μάλιστα, σε αρκετές περιπτώσεις για ελάχιστη  $Er$  προκύπτει μικρή αποδοτικότητα  $Eff$  και αντιστρόφως.

Επίσης, παρατηρήθηκε ότι για να προσεγγιστούν αρκούντως οι κατανομές, έπρεπε οι τιμές των παραμέτρων να είναι κάπου ανάμεσα σε αυτές για μέγιστο  $Eff$  και ελάχιστο  $Er$ . Δηλαδή απαιτούνταν δύο αντικειμενικές συναρτήσεις, μία για μεγιστοποίηση του  $Eff$  και μία για ελαχιστοποίηση του  $Er$ , γεγονός που καθίσταται αδύνατο αφού δεν υπάρχει μηχανή βελτιστοποίησης-επίλυσης που να λειτουργεί για δύο αντικειμενικές συναρτήσεις. Έτσι, επιλέγεται η ελαχιστοποίηση του  $MSE$ .

Το  $MSE$  για κάθε σταθμό προκύπτει από τα ύψη βροχοπτώσεων για κάθε σταθμό μαζί με τα αντίστοιχα τέσσερα πλησιέστερα φατνία, δηλαδή από την επίγεια και την εκτιμημένη-δορυφορική χρονοσειρά. Έτσι το  $MSE$  υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο ως εξής:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n |Si - Gi|^2}{n} \quad (3.5)$$

Όπου:  $S_i$  και  $G_i$  τα ύψη βροχόπτωσης της εκτιμημένης και της επίγειας χρονοσειράς αντίστοιχα και  $n$  το πλήθος των ζευγών, δηλαδή για κάθε σταθμό έχουμε μια διάρκεια (24h) επί το πλήθος των τιμών σε κάθε διάρκεια, άρα  $n=4650$  τουλάχιστον(15χρόνια με 310 ημέρες το καθένα).

Η περίπτωση της βελτιστοποίησης αντιμετωπίστηκε μέσω της χρήσης του λογισμικού MATLAB το οποίο θεωρείται πως παρέχει πολύ καλούς αλγορίθμους για την επίλυση τέτοιου είδους προβλημάτων. Γενικότερα, τα προβλήματα βελτιστοποίησης απαιτούν υψηλή υπολογιστική ισχύ για την αντιμετώπιση τους διότι είναι μη γραμμικά και μεγάλης κλίμακας.

Επίσης, καλό είναι να τονιστεί σ' αυτό το σημείο, ότι οι βελτιστοποιήσεις μεγάλης κλίμακας εμφανίζουν συχνά το πρόβλημα εγκλωβισμού σε τοπικά κι όχι ολικά ακρότατα. Η πιο αποτελεσματική μέθοδος αντιμετώπισης είναι ο συνδυασμός κλασικών μαθηματικών και τυχαίας-πιθανοτικής αναζήτησης, γεγονός που εφαρμόζεται από τους αλγορίθμους της MATLAB. Βέβαια, ούτε η παραπάνω μέθοδος εγγυάται τον εντοπισμό του ολικού ακρότατου και κατά συνέπεια της βέλτιστης λύσης (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2011).

### 3.3 Υπολογισμός στατιστικών δεικτών και μέτρων σφάλματος

Προκειμένου να αξιολογηθούν και να συγκριθούν οι εκτιμημένες χρονοσειρές από τα δορυφορικά δεδομένα με τις παρατηρημένες χρονοσειρές στις θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών υπολογίσθηκαν οι παρακάτω στατιστικοί δείκτες:

$$\text{Ο συντελεστής αποδοτικότητας: } Eff = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - G_i)^2}{\sum_{i=1}^n (G_i - G_m)^2} \quad (3.6)$$

όπου  $G_i$  η παρατηρημένη τιμή από τα δεδομένα της βάσης δεδομένων του NOAA και  $S_i$  η εκτιμημένη τιμή από τα δορυφορικά δεδομένα.

$$\text{Ο συντελεστής ετεροσυσχέτισης: } R_{SG} = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})(G_i - \bar{G})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2 \sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2}} \quad (3.7)$$

$$\text{Η μεροληψία των μέσων τιμών σε mm: } Bias = \bar{G} - \bar{S} \quad (3.8)$$

Η ποσοστιαία μεροληψία των μέσων τιμών:  $Bias = \frac{\bar{G} - \bar{S}}{\bar{G}}$  (3.9)

Η μεροληψία των τυπικών αποκλίσεων:  $BiasStDev = \frac{\sigma_G - \sigma_S}{\sigma_G}$  (3.10)

όπου  $\sigma_G = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Gi - \bar{G})^2}{n-1}}$ ,  $\sigma_S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Si - \bar{S})^2}{n-1}}$  η τυπική απόκλιση των επίγειων μετρήσεων της βάσης δεδομένων του NOAA και των δορυφορικών δεδομένων αντίστοιχα.

Η μεροληψία των συντελεστών ασυμμετρίας:  $BiasSk = \frac{C_G - C_S}{C_G}$  (3.11)

Όπου  $C_G = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Gi - \bar{G})^3}{\left\{ \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Gi - \bar{G})^2} \right\}^3}$ ,  $C_S = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Si - \bar{S})^3}{\left\{ \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Si - \bar{S})^2} \right\}^3}$  ο συντελεστής

ασυμμετρίας των επίγειων μετρήσεων της βάσης δεδομένων του NOAA και των δορυφορικών δεδομένων αντίστοιχα.

Το μέσο απόλυτο σφάλμα σε mm:  $MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Si - Gi|$  (3.12)

Ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος σε mm:  $RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Si - Gi)^2}$  (3.13)

Οι παραπάνω στατιστικοί δείκτες υπολογίσθηκαν για κάθε σταθμό ξεχωριστά, ώστε να μπορεί να μελετηθεί και η χωρική μεταβολή τους, για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση, χρησιμοποιούνται ολόκληρες οι χρονοσειρές που προκύπτουν για κάθε σταθμό για την χρονική περίοδο 1998-2015. Στην δεύτερη περίπτωση, υπολογίζονται για τις χρονοσειρές μεγίστων επίγειων βροχοπτώσεων σε ετήσια βάση με τις αντίστοιχες τιμές των δορυφορικών δεδομένων που παρουσιάζονται την ίδια μέρα με τις μέγιστες επίγειες παρατηρήσεις. Στην τρίτη περίπτωση, υπολογίζονται για τις χρονοσειρές μεγίστων δορυφορικών βροχοπτώσεων σε ετήσια βάση με τις αντίστοιχες τιμές των επίγειων δεδομένων που παρουσιάζονται την ίδια μέρα με τις μέγιστες δορυφορικές παρατηρήσεις.

### 3.4 Υπολογισμός χωρικής κατανομής του σφάλματος

Στο συγκεκριμένο στάδιο της μελέτης εξετάζεται η χωρική κατανομή του σφάλματος εντός της περιοχής των 50°N έως 50°S και 180°W έως 180°E. Η μεροληψία των μέσων τιμών υπολογίζεται από την σχέση ( 3.9 ) καθώς και από τη σχέση ( 3.14 ). Ωστόσο, η σχέση ( 3.9 ) δίνει την αδιάστατη τιμή της μεροληψίας η οποία είναι μεν κατάλληλη για τη στατιστική ανάλυση καθώς επιτρέπει την σύγκριση της αξιοπιστίας των δεδομένων σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες, αλλά δεν είναι εύχρηστη στη περίπτωση δημιουργίας επιφανειών. Ειδικότερα, σε άνυδρες περιοχές όπου η μέση τιμή των επίγειων δεδομένων της βάσης δεδομένων του NOAA πλησιάζει το μηδέν, η μεροληψία που υπολογίζεται από τη σχέση (νούμερο) (όπου ο παρονομαστής είναι η μέση τιμή των παρατηρημένων δεδομένων) είναι ιδιαίτερα υψηλή, ακόμα και αν το σφάλμα των δορυφορικών δεδομένων είναι μικρό. Έτσι, θεωρήθηκε ότι για την εκτίμηση των επιφανειών του σφάλματος είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθούν οι τιμές της μεροληψίας που υπολογίζονται από σε m από τη σχέση ( 3.14 ):

$$\text{Η μεροληψία των μέσων τιμών σε m: } Bias = \bar{G} - \bar{S} \text{ ( 3.14 )}$$

Από τις παραπάνω τιμές της μεροληψίας δημιουργούνται οι αντίστοιχες επιφάνειες με μεθόδους χωρικής παρεμβολής και ψηφιδωτής διαμέρισης. Έτσι προκύπτουν επιφάνειες που παρουσιάζουν τη μεταβολή της μεροληψίας στο χώρο σε m και συγκεκριμένα αφορούν στη μεροληψία των υπερετήσιων μέσων τιμών.

Πιο αναλυτικά, για την μετατροπή των σημειακών τιμών της μεροληψίας σε επιφάνεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο μέθοδοι χωρικής παρεμβολής, η μία είναι προσδιοριστική και πρόκειται για τη μέθοδο των σταθμισμένων αντιστρόφων αποστάσεων και η δεύτερη είναι γεωστατιστική και λέγεται μέθοδος βέλτιστης παρεμβολής Kriging. Οι δύο παραπάνω μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν με χρήση του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών και συγκεκριμένα με το λογισμικό ArcGIS.

#### 3.4.1 Μέθοδος σταθμισμένων αντιστρόφων αποστάσεων

Η μέθοδος των σταθμισμένων αντιστρόφων αποστάσεων, είναι μία αιτιοκρατική μέθοδος παρεμβολής, επειδή είναι άμεσα βασισμένη στις περιβάλλουσες μετρημένες τιμές ή σε συγκεκριμένους μαθηματικούς τύπους που καθορίζουν την ομαλότητα της προκύπτουσας επιφάνειας. Είναι μία ακριβής μέθοδος κινούμενου μέσου όρου που εφαρμόζεται συνήθως σε στοιχεία υψηλής μεταβλητότητας. Η συγκεκριμένη μέθοδος υποθέτει ότι η μεταβλητή που μοντελοποιείται μειώνεται, όσο η απόσταση από την επιλεγθείσα μετρημένη θέση του σημείου αυξάνεται. Αυτή η τεχνική υπολογίζει μια τιμή για κάθε κόμβο πλέγματος εξετάζοντας και

λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των γύρω από αυτήν μετρημένων σημείων που βρίσκονται μέσα σε μια καθορισμένη ακτίνα. Όσο πιο κοντά στη ζητούμενη τιμή είναι ένα σημείο, τόσο μεγαλύτερη η επιρροή ή το βάρος που αυτό έχει στον υπολογισμό της τιμής που αναζητείται. Καθορίζει τις τιμές σε κάθε κελί, χρησιμοποιώντας έναν γραμμικά σταθμισμένο συνδυασμό ενός σετ δειγμάτων. Το βάρος είναι συνάρτηση της αντίστροφης απόστασης.

Δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να καθορίζει τη σημασία του κάθε σημείου επάνω στην περιοχή μελέτης, αλλάζοντας ποικίλες παραμέτρους με στόχο την όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική χάραξη των ισοϋψών καμπυλών. Για παράδειγμα, με τον καθορισμό μεγαλύτερης δύναμης, ακόμη περισσότερη έμφαση θα δοθεί στα κοντινότερα σημεία, τα οποία θα έχουν την μεγαλύτερη επιρροή και έτσι η επιφάνεια θα έχει περισσότερη λεπτομέρεια (θα είναι λιγότερο ομαλή).

Η μέθοδος των σταθμισμένων αντιστρόφων αποστάσεων εφαρμόζει την εξής σχέση παρεμβολής (Μαμάσης, 2006):

$$h = \frac{d_1^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} h_1 + \frac{d_2^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} h_2 + \dots + \frac{d_N^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} h_N \quad (3.15)$$

όπου:

$h$  η τιμή της μεροληψίας στη ζητούμενη θέση

$N$  ο αριθμός των σταθμών(θέσεις γνωστής μεροληψίας) που συμμετέχουν στον υπολογισμό της μεροληψίας στη ζητούμενη θέση

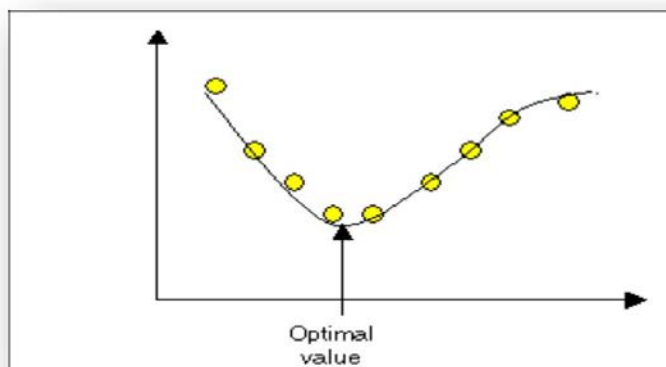
$h_1, h_2, \dots, h_N$  οι σημειακές τιμές μεροληψίας στις θέσεις των σταθμών 1,2,3,.....,N

$d_1, d_2, \dots, d_N$  οι αποστάσεις των ζητούμενων θέσεων από τις θέσεις των σταθμών 1,2,3,.....,N

$k$  ο συντελεστής επιρροής της απόστασης

Ο συντελεστής επιρροής της απόστασης συνήθως λαμβάνεται ίσος με 2. Ωστόσο, στο λογισμικό ArcGIS υπάρχει η δυνατότητα βελτιστοποίησης του συντελεστή αυτού μέσω της διαδικασίας διασταυρούμενης επικύρωσης (cross-validation). Σύμφωνα με

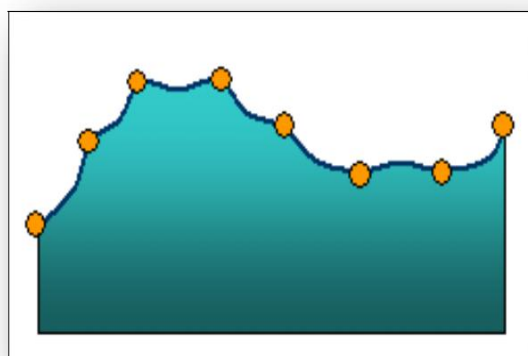
τη διαδικασία αυτή, από το σύνολο των σημείων για τα οποία είναι γνωστή η τιμή της μεταβλητής αφαιρείται κάθε φορά ένα και η επιφάνεια υπολογίζεται χωρίς αυτό. Στη συνέχεια, η εκτιμημένη τιμή που προέκυψε με τη μέθοδο της παρεμβολής στο συγκεκριμένο σημείο, συγκρίνεται με τη γνωστή τιμή και υπολογίζεται το τετραγωνικό σφάλμα. Αφού η διαδικασία επαναληφθεί τόσες φορές όσες είναι τα σημεία με γνωστή τιμή, υπολογίζεται η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος πρόβλεψης από το σύνολο των σημείων.



**Σχήμα 3.1** Βελτιστοποίηση του συντελεστή  $k$

Για τη βελτιστοποίηση του συντελεστή  $k$  η διασταυρούμενη επικύρωση επαναλαμβάνεται για διάφορες τιμές του  $k$  και τελικά επιλέγεται η τιμή εκείνη που ελαχιστοποιεί τη ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος πρόβλεψης (Σχήμα 3.1).

Η μέθοδος των αντιστρόφων σταθμισμένων αποστάσεων ανήκει στις μεθόδους ακριβούς παρεμβολής, δηλαδή η επιφάνεια που υπολογίζεται διατηρεί τις γνωστές σημειακές τιμές όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.



**Σχήμα 3.2** Η μέθοδος σταθμισμένων αντιστρόφων αποστάσεων διατηρεί τις γνωστές σημειακές τιμές



### 3.4.2 Μέθοδος βέλτιστης παρεμβολής Kriging

Η δεύτερη μέθοδος που εφαρμόζεται ανήκει στις στατιστικές μεθόδους, οι οποίες, σε αντίθεση με τις προσδιοριστικές, βασίζονται στην υπόθεση ότι η χωρική διακύμανση της μεταβλητής είναι τυχαία, οπότε χρησιμοποιούν στατιστικές μεθοδολογίες για οποιαδήποτε εκτίμηση απορρέει από τις σημειακές μετρήσεις της μεταβλητής.

Η έννοια της περιοχοποιημένης μεταβλητής δηλώνει τη φυσική ιδιότητα να έχει η μεταβλητή χαρακτηριστικά ενδιάμεσο, ανάμεσα στην πραγματικά τυχαία μεταβλητή και την τελείως προσδιοριστική μεταβλητή. Αυτή η περίπτωση παρουσιάζεται σε πολλά φαινόμενα που εξελίσσονται στο χώρο και η γραφική απεικόνιση της χαρακτηριστικής μεταβλητής είναι μια συνεχής επιφάνεια. Σε αυτή την περίπτωση τα κοντινά σημεία παρουσιάζουν συσχέτιση, αφού η μεταβλητή περιγράφει μια συνεχή επιφάνεια, αλλάγια απομακρυσμένα μεταξύ τους σημεία δεν έχουν καμία απολύτως συσχέτιση. Έτσι μπορούμε να διακρίνουμε τοπικά χαρακτηριστικά της μεταβλητής που μας επιτρέπουν τον καλύτερο προσδιορισμό της κατά περιοχές.

Ο βαθμός της χωρικής συνέχειας μιας περιοχοποιημένης μεταβλητής μπορεί να παρασταθεί από ένα διάγραμμα του τύπου X-Y όπου στον άξονα των x είναι η απόσταση και στον άξονα των y είναι το ήμισυ της διασποράς της περιοχοποιημένης μεταβλητής για απόσταση των σημείων του πεδίου ίση με x. Η συνάρτηση αυτή και η γραφική της παράσταση καλείται ημιμεταβλητόγραμμα.

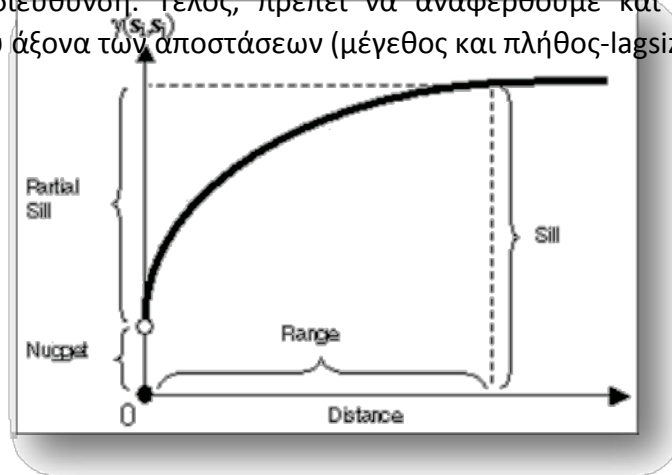
Εάν σε μια περιοχή έχουμε τιμές μιας μεταβλητής σε διάφορα σημεία, γενικά με τυχαία διάταξη στο χώρο, μπορούμε να προσδιορίσουμε το ημιμεταβλητόγραμμα της μεταβλητής αυτής και κατόπιν να εκτιμήσουμε την τιμή της σε κάθε άλλο σημείο του χώρου, όπου δεν έχει μετρηθεί, με τη μέθοδο Kriging. Το όνομα της μεθόδου δόθηκε προς τιμή του Νοτιοαφρικάνου μεταλλειολόγου μηχανικού D.G. Krige.

Ο προσδιορισμός των τιμών της μεταβλητής σε σημεία που δεν έχουν γίνει μετρήσεις μπορεί να γίνει και με άλλες μεθόδους όπως η γραμμική ή η πολυωνυμική παρεμβολή στο χώρο. Το Kriging όμως, παρουσιάζει μερικές βέλτιστες, από στατιστική άποψη, ιδιότητες, από τις οποίες οι δύο σημαντικότερες είναι η αποφυγή της μεροληπτικής εκτιμήσεως στην περίπτωση συσσωρεύσεως σημείων με μετρήσεις σε ορισμένες θέσεις και η εκτίμηση σε κάθε σημείο, του μέτρου του σφάλματος ή της αβεβαιότητας για την επιφάνεια που υπολογίστηκε.

Το Kriging λειτουργεί με τον υπολογισμό ενός βέλτιστου συνδυασμού σταθμικών συντελεστών (βαρών), με βάση την πληροφορία που περιέχεται στο ημιμεταβλητόγραμμα. Εφόσον το ημιμεταβλητόγραμμα είναι συνάρτηση της

αποστάσεως, οι σταθμικοί συντελεστές μεταβάλλονται σύμφωνα με τη γεωμετρική κατανομή των σημείων των μετρήσεων στο χώρο.

Το ημιμεταβλητογράμμα δείχνει την ημιδιασπορά ( $\gamma$  ( $\text{mm}^2$ )) συναρτήσει της απόστασης (Distance (km)). Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στο Σχήμα 3.3 και είναι το κατώφλι (sill), το εύρος (range) και η τιμή της ημιδιασποράς στη μηδενική απόσταση (nuggeteffect). Το κατώφλι είναι η μέγιστη τιμή της ημιδιασποράς που δε μεταβάλλεται άλλο από την αύξηση της απόστασης. Η απόσταση στην οποία η ημιδιασπορά πιάνει την τιμή του κατωφλιού λέγεται εύρος. Η ημιδιασπορά μπορεί να μην είναι μηδέν στη μηδενική απόσταση γεγονός που εξηγείται όταν οι μετρήσεις έχουν θόρυβο, παρουσιάζουν λάθη ή δεν είναι ταυτόχρονες (Μαμάσης και Μιμίκου, 2010 (β)). Μια άλλη βασική παράμετρος για την κατάρτιση του ημιμεταβλητογράμματος είναι η επιλογή διεύθυνσης, καθώς αυτό μπορεί να καταρτιστεί για όλο το χώρο αλλά υπάρχει και η δυνατότητα να καταρτιστεί κατά συγκεκριμένη διεύθυνση. Τέλος, πρέπει να αναφερθούμε και στα διαστήματα κατάτμησης του άξονα των αποστάσεων (μέγεθος και πλήθος-lagsize, lagnumber).



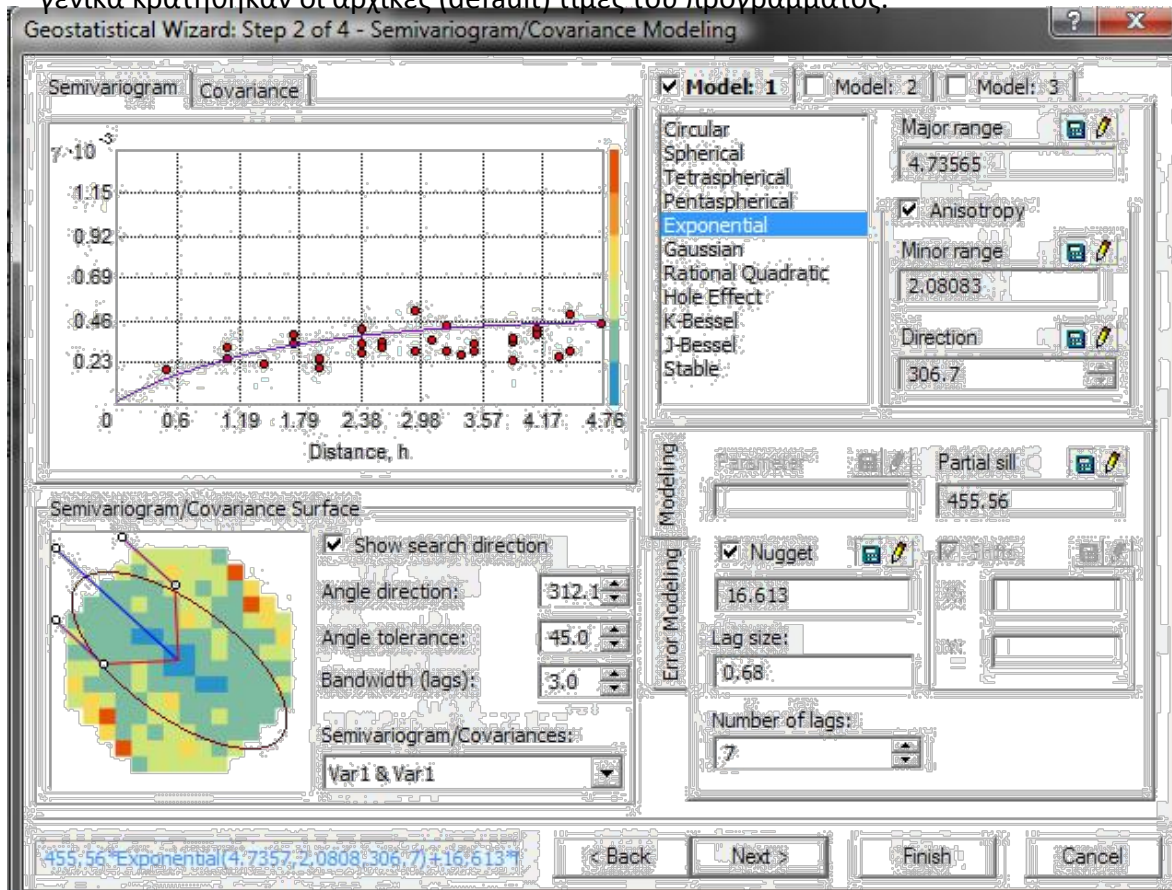
**Σχήμα 3.3** Χαρακτηριστικά ημιμεταβλητογράμματος

Στην παρούσα εργασία το εύρος και το κατώφλι υπολογίζονταν από μόνα τους. Όμοια και το nuggeteffect που ήταν πάντα ενεργό για να μην μηδενίζεται υποχρεωτικά η τιμή της ημιδιασποράς στη μηδενική απόσταση. Η τροποποίηση της διεύθυνσης ως επί το πλείστον βελτίωνε την κατάρτιση του ημιμεταβλητογράμματος. Τέλος, όσον αφορά στα διαστήματα στον άξονα των αποστάσεων, το μέγεθος τους λαμβανόταν αυτόματα αλλά το πλήθος οριζόταν χειροκίνητα. Η τιμή του πλήθους υπολογιζόταν από τον εμπειρικό τύπο:

$Lagsize \times lagnumber \approx 1/2$  ή  $1/3$  της μέγιστης απόστασης στην περιοχή μελέτης (Isaacs and Srivastava, 1989).

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν οι σταθερές που προτείνει το πρόγραμμα ArcGIS. Μια τυπική συμπλήρωση των παραπάνω παραμέτρων για την κατάρτιση του ημιμεταβλητογράμματος φαίνεται στην Εικόνα 3.1.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως το πρόγραμμα by default παίρνει για πλήθος γειτονικών σημείων (neighborstoinclude) μόνο 5. Σημειώνεται επίσης ότι σε κάποιες περιπτώσεις τροποποιήθηκαν οι τιμές του συντελεστή K και ο τύπος του τομέα αλλά γενικά κρατήθηκαν οι αρχικές (default) τιμές του προγράμματος.



**Εικόνα 3.1** Κατάρτιση ημιμεταβλητογράμματος για το μέσο σφάλμα



## 4. Αποτελέσματα

### 4.1 Αποτελέσματα υπολογισμών – σχόλια

Το παρόν κεφάλαιο επικεντρώνεται όχι τόσο στην αριθμητική παρουσίαση των αποτελεσμάτων των υπολογισμών αλλά στην αναφορά των κυριότερων σημείων αυτών και στο σχολιασμό τους. Η αυστηρή αριθμητική παρουσίαση γίνεται στο παράρτημα για κάθε περίπτωση ξεχωριστά όπου παρουσιάζονται και υποδείγματα συγκεντρωτικών πινάκων πέρα από τα διαγράμματα που αφορούν τον κάθε στατιστικό δείκτη.

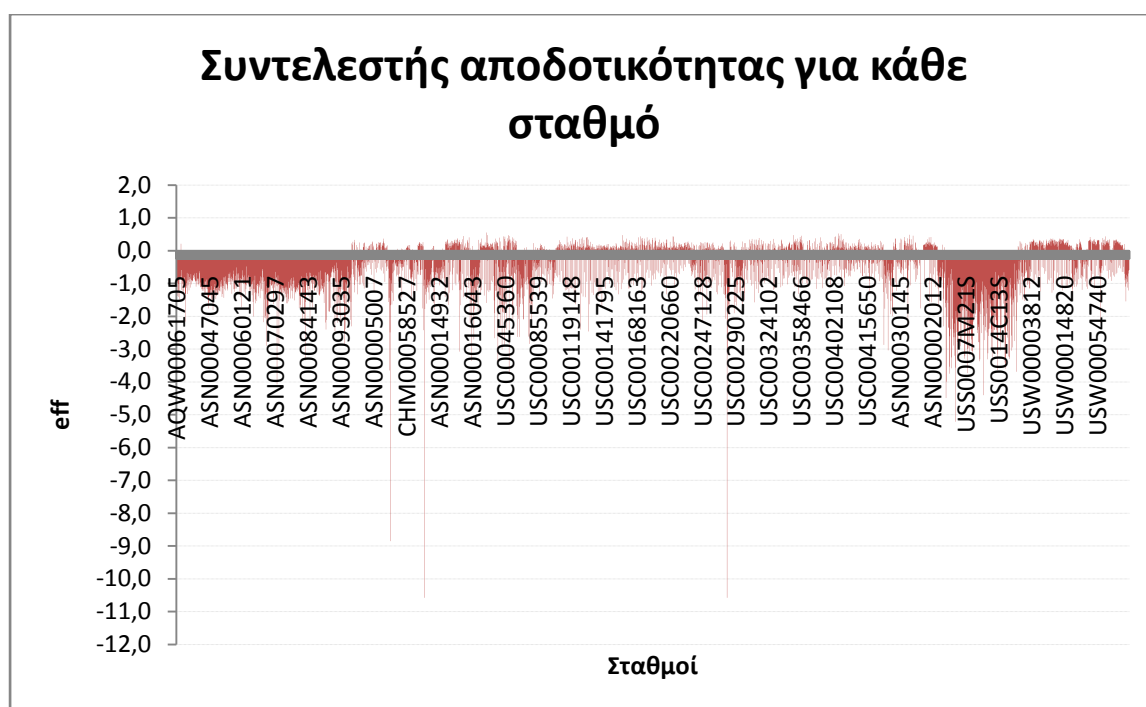
Όπως προαναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4, όπου αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα μελέτη, η σύγκριση των δορυφορικών δεδομένων με τις επίγειες μετρήσεις γίνεται σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο εξετάζονται στατιστικοί δείκτες που προκύπτουν από όλες τις ημέρες της χρονοσειράς των δεκαπέντε χρόνων (τουλάχιστον) για την περίοδο 1998-2015. Στο δεύτερο στάδιο εξετάζονται οι ίδιοι στατιστικοί δείκτες για τις χρονοσειρές μεγίστων επίγειων βροχοπτώσεων σε ετήσια βάση με τις αντίστοιχες τιμές των δορυφορικών δεδομένων που παρουσιάζονται την ίδια μέρα με τις μέγιστες επίγειες παρατηρήσεις. Για παράδειγμα, αν προκύπτει μέγιστη επίγεια βροχόπτωση στις 29/12/2007 για το συγκεκριμένο έτος, τότε βρίσκουμε την δορυφορική εκτίμηση την ίδια ημέρα και ύστερα προχωράμε στον υπολογισμό των στατιστικών δεικτών. Τέλος, στο τρίτο στάδιο εξετάζονται για τις χρονοσειρές μεγίστων δορυφορικών βροχοπτώσεων σε ετήσια βάση με τις αντίστοιχες τιμές των επίγειων δεδομένων που παρουσιάζονται την ίδια μέρα με τις μέγιστες δορυφορικές παρατηρήσεις. Ο λόγος για τον οποίο γίνεται αυτός ο διαχωρισμός μεταξύ μεγίστων δορυφορικών και μεγίστων επίγειων εκτιμήσεων είναι διότι παρατηρήθηκε ότι μόνο το 10% των μεγίστων συμπίπτουν χρονικά μεταξύ τους με απόκλιση  $\pm$  μίας ημέρας. Δηλαδή μόνο 15000 παρατηρήσεις μεγίστων από τις συνολικά 150000 εμφανίζονται την ίδια ημέρα ( $\pm$  μία ημέρα απόκλιση) ταυτόχρονα στα επίγεια δεδομένα και στα δορυφορικά. Οπότε η σύγκριση μεταξύ τους, πέραν της τάξεως μεγέθους, δεν θα είχε κανένα απολύτως νόημα.

Καλό είναι να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι παρόλο που χρησιμοποιούμε τη μέθοδο βέλτιστης παρεμβολής, τα αποτελέσματα δεν είναι καθόλου ενθαρρυντικά ειδικά στις περιπτώσεις των μεγίστων δορυφορικών καθώς και των μεγίστων επίγειων παρατηρήσεων. Έτσι κι αλλιώς, τα δορυφορικά δεδομένα είναι επιφανειακά, δηλαδή η τιμή στο κάθε σημείο του καννάβου είναι η μέση επιφανειακή τετραγωνικής επιφάνειας πλευράς  $0,25^\circ$ . Συνεπώς, όταν κάποιος σταθμός βρισκόταν μέσα σε μια τετραγωνική επιφάνεια τότε θα έπρεπε τα στοιχεία του να συγκριθούν απευθείας με αυτά του αντίστοιχου grid. Παρόλα αυτά όπως προκύπτει από παλαιότερες μελέτες (Παπαθεοδοσίου 2011) θεωρείτε πιο αποτελεσματικό να γίνει παρεμβολή ανάμεσα στα τέσσερα πλησιέστερα gridpoints.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για κάθε σταθμό παγκοσμίως ξεκινώντας με την σύγκριση ολόκληρων των χρονοσειρών και ύστερα ακολουθούν οι μέγιστες επίγειες τιμές σε ετήσια βάση καθώς και οι μέγιστες δορυφορικές τιμές σε ετήσια βάση.

#### 4.1.1 Ολόκληρες χρονοσειρές

Συντελεστής αποδοτικότητας

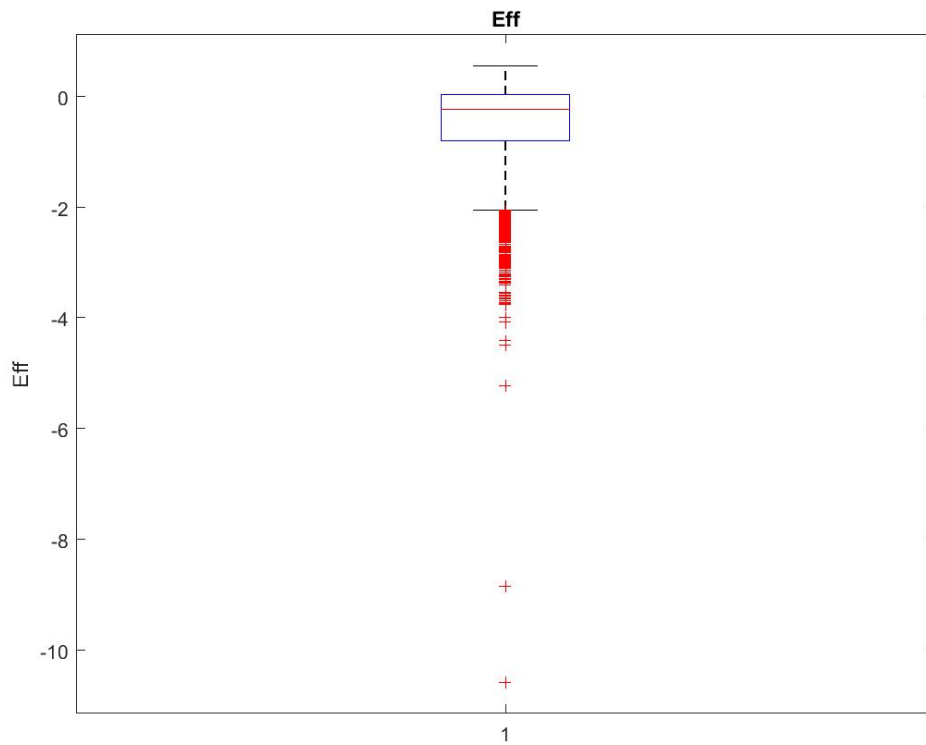


Σχήμα 4.1 Συντελεστής αποδοτικότητας

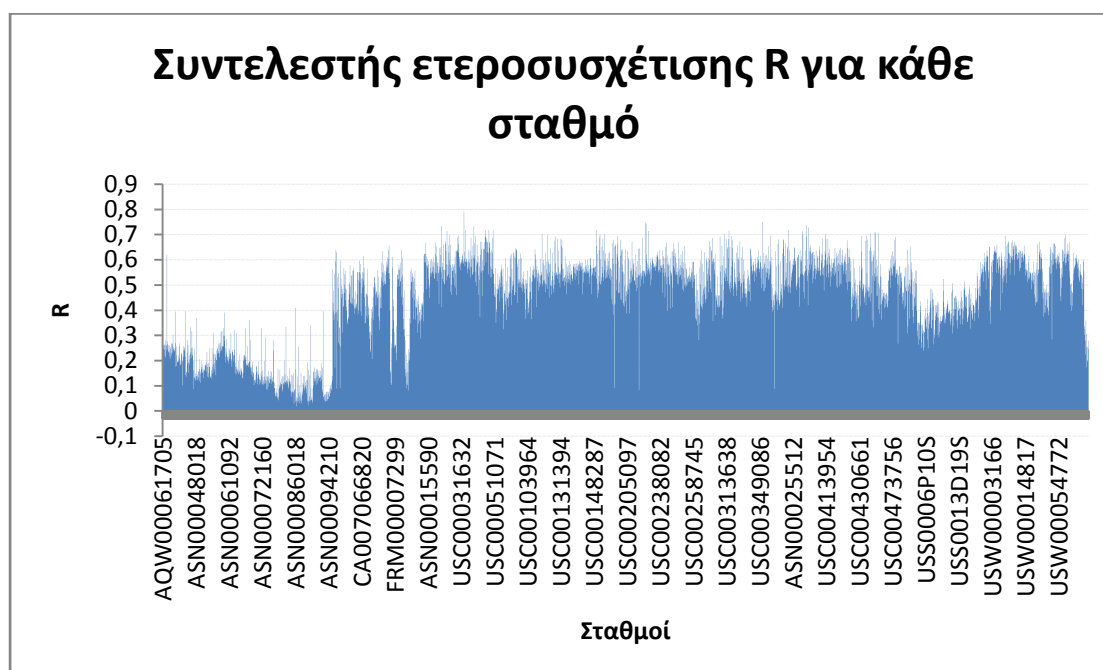
Όπως προκύπτει από το Σχήμα 4.1 τα δορυφορικά δεδομένα αδυνατούν να προσομοιώσουν ικανοποιητικά τα ύψη βροχής. Πιο συγκεκριμένα, ο συντελεστής αποδοτικότητας  $eff$  είναι αρνητικός για το συντριπτικό ποσοστό του 71% των σταθμών γεγονός που σημαίνει ότι ο απλός μέσος όρος είναι καλύτερη εκτιμήτρια (Κουτσογιάννης και Μαμάσης 2010, Moriasietal. 2007). Επίσης, σε καμία περίπτωση ο συντελεστής αποδοτικότητας δεν ξεπερνά το 0,5 ενώ μόλις το 0,6% ξεπερνά το 0,4. Το μεγαλύτερο ποσοστό των θετικών συντελεστών βρίσκεται από 0 έως και 0,4 με ποσοστό 28,4%.

Παρατηρούνται περιπτώσεις που ο συντελεστής προκύπτει πολύ μικρότερος του -1 λόγω του γεγονότος ότι ο παρονομαστής (βλέπε σχέση (3.6)) είναι πολύ κοντά στο μηδέν σταθμούς που βρίσκονται σε άνυδρες περιοχές. Αυτό συμβαίνει διότι τα δορυφορικά δεν είναι ποτέ ακριβώς μηδέν, οπότε ο λόγος στη σχέση της αποτελεσματικότητας είναι πολύ μεγάλος. Για παράδειγμα αν το  $G_i=0$ , μπορεί το  $S_i=0,0445$  mmκι αυτό δημιουργεί μια ανισορροπία στη σχέση.

Οι παραπάνω ενδείξεις προκύπτουν και εποπτικά από το Σχήμα 4.2, όπου φαίνεται ο δείκτης της αποτελεσματικότητας να παρουσιάζει μια αρνητική ασυμμετρία όσον αναφορά στην κατανομή του στους σταθμούς. Επίσης η διάμεσος του δείγματος βρίσκεται περίπου στο -0,5.



**Σχήμα 4.2** Βοχπλοττης αποτελεσματικότητας για όλους τους σταθμούς

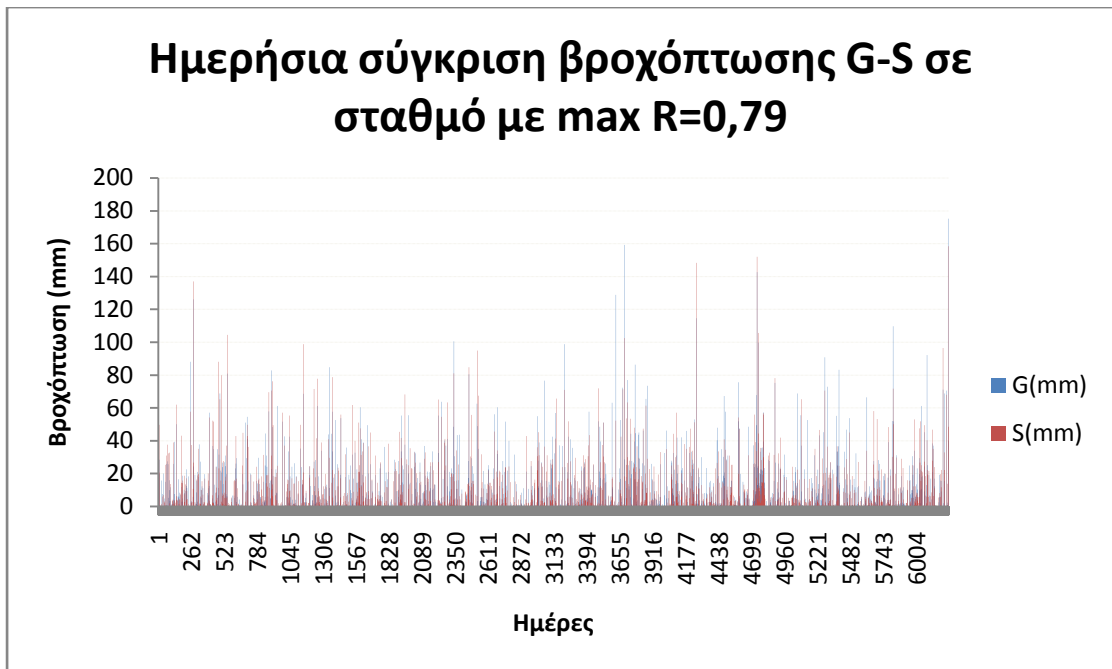


Σχήμα 4.3 Συντελεστής ετεροσυσχέτισης

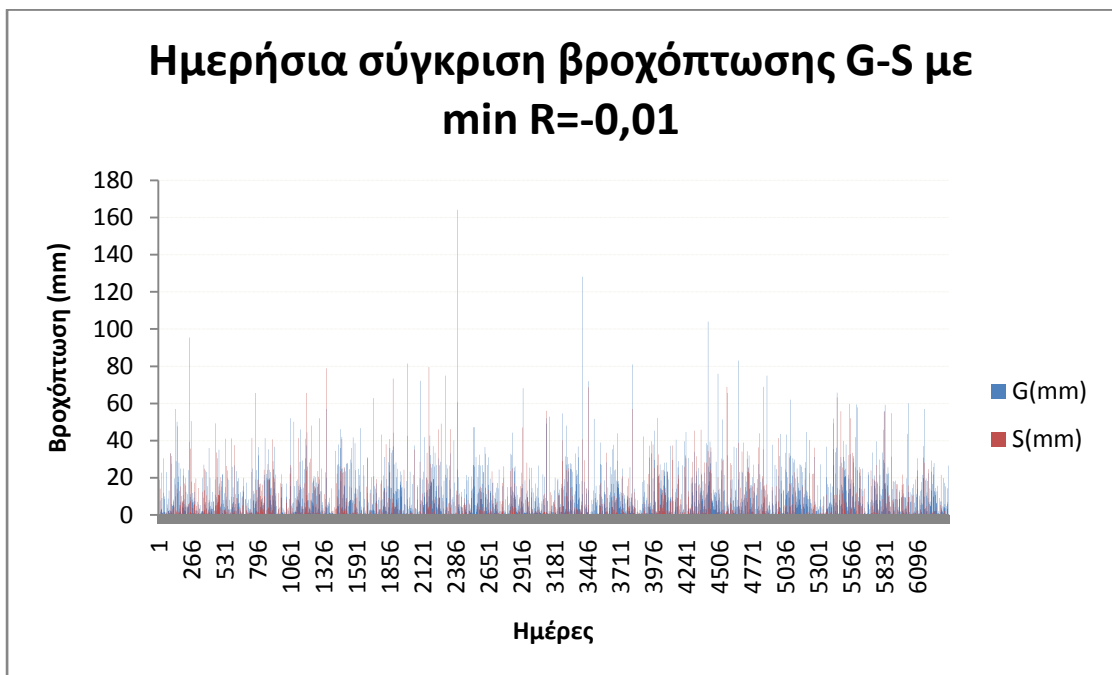
Όπως είναι γνωστό από τη στατιστική επιστήμη ο συντελεστής ετεροσυσχέτισης  $R$  κυμαίνεται από -1 έως 1. Στην παρούσα μελέτη προκύπτει ότι μόνο το 0,4% παρουσιάζει συντελεστή  $R$  μεγαλύτερο του 0,7 ενώ το 33,9% κυμαίνεται από 0,5 έως και 0,7. Γενικά, φαίνεται να μην υπάρχει τόσο καλή συσχέτιση ανάμεσα στα δορυφορικά και τα επίγεια δεδομένα αφού μόνο στο 33,9% των σταθμών φαίνεται να ακολουθείται ένα ικανοποιητικό μοτίβο ταυτόχρονης ανόδου ή καθόδου. Επιπλέον, στην συντριπτική πλειοψηφία του 66% των σταθμών ο συντελεστής  $R$  βρίσκεται από 0 έως 0,5, ενώ μόλις το 23,4% παρουσιάζει μια μέτρια συσχέτιση ( $0,4 \leq R \leq 0,5$ ) με το υπόλοιπο 42,6% να κυμαίνεται από 0 έως 0,4. Τέλος, μόλις το 0,1% παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση γεγονός που δηλώνει ότι όταν το ένα μέγεθος αυξάνεται το άλλο μειώνεται και αντιστρόφως.

Παρόλο που τα παραπάνω ποσοστά δεν είναι ενθαρρυντικά, αποφασίστηκε να εξεταστούν τα υψόμετρα των βροχοπτώσεων σε δύο σταθμούς όπου ο ένας παρουσιάζει τον υψηλότερο συντελεστή ετεροσυσχέτισης ενώ άλλος τον ελάχιστο. Μετά από εφαρμογή του κατάλληλου αλγορίθμου με χρήση της MATLAB καταλήξαμε στους σταθμούς με  $ID=USC00032930$ ,  $Lat=36,4261$ ,  $Lon=-94,448$ ,  $R=0,79$  και  $ID=ASN00090087$ ,  $Lat=-38,6636$ ,  $Lon=143,449$ ,  $R=-0,01$  όπου παρουσιάζονται στα παρακάτω Σχήματα 4.3 και 4.4 αντίστοιχα.





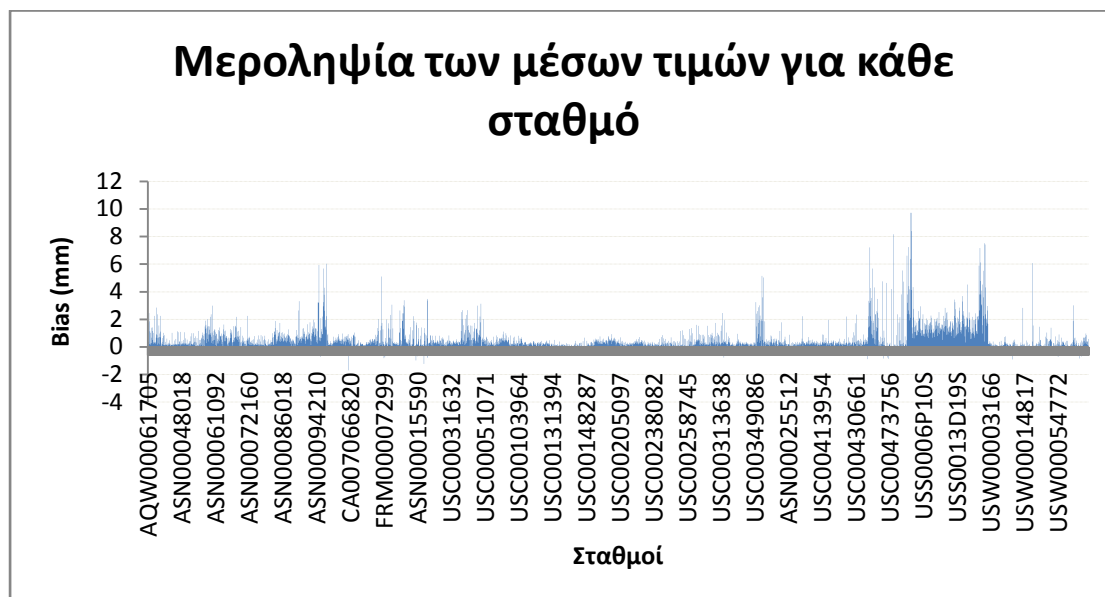
**Σχήμα 4.3** Διάγραμμα βροχόπτωσης-ημέρας σε σταθμό με  $R_{\max}$



**Σχήμα 4.4** Διάγραμμα βροχόπτωσης-ημέρας σε σταθμό με  $R_{\min}$

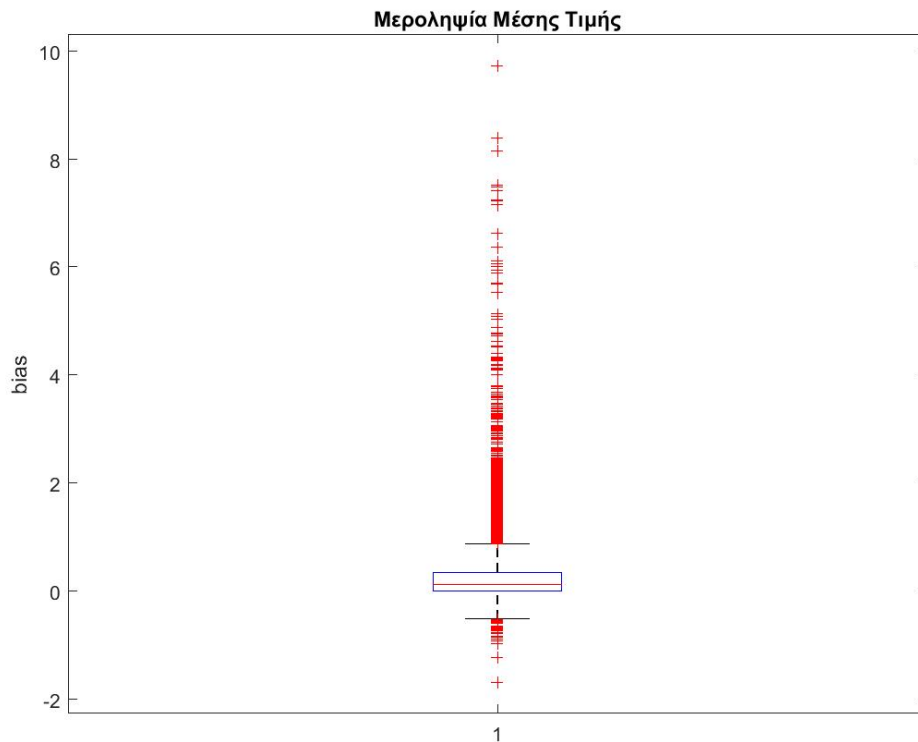
Όπως προκύπτει από τα Σχήματα 4.3 και 4.4, τα δορυφορικά δεδομένα φαίνεται να υποεκτιμούν κατά πολύ την ημερήσια βροχόπτωση σε σύγκριση με τις επίγειες εκτιμήσεις. Ακόμα και στην περίπτωση του σταθμού με τον μέγιστο συντελεστή ετεροσυσχέτισης, η απόκλιση των δεδομένων είναι εμφανής, ειδικά στις περιπτώσεις των μέγιστων βροχοπτώσεων όπου η διαφορά τους αυξάνει περεταίρω. Βέβαια, αυτό φαίνεται ξεκάθαρα στα παρακάτω κεφάλαια που παρουσιάζονται οι στατιστικοί δείκτες για τις μέγιστες παρατηρήσεις.

#### Μεροληψία των μέσων τιμών



Σχήμα 4.5 Μεροληψία των μέσων τιμών

Από το Σχήμα 4.5 και με τη χρήση κατάλληλου αλγορίθμου μέσω του λογισμικού MATLAB, προκύπτει ότι η μεροληψία των μέσων τιμών διατηρείται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα για τους περισσότερους σταθμούς. Συγκεκριμένα μόνο το 0,5% παρουσιάζει μεροληψία από 4 έως 8 mm ενώ το 2,1% των σταθμών κυμαίνονται από 2 έως 4 mm. Βέβαια, ο μεγαλύτερος αριθμός των σταθμών βρίσκεται στην κλάση [0mm, 2mm] με το ποσοστό τους να ανέρχεται στο 72,8%. Αρνητικές τιμές μεροληψίας παρουσιάζονται μόνο στο 24,6% των σταθμών. Το παραπάνω γεγονός καταδεικνύει ότι στο 75,4% των περιπτώσεων τα δορυφορικά δεδομένα υποεκτιμούν την βροχόπτωση ενώ στο 24,6% την υπερεκτιμούν κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο αν αναλογιστούμε και παλαιότερες μελέτες μικρότερης κλίμακας, τόσο χωρικής όσο και χρονικής.



**Σχήμα 4.6** Boxplot της Μεροληψίας της Μέσης Τιμής

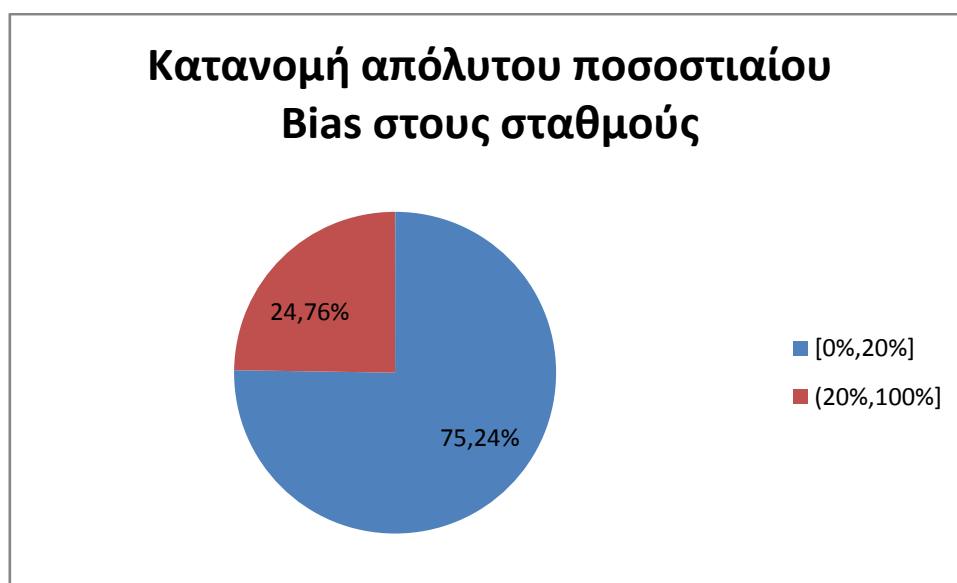
Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.6 η μεροληψία παρουσιάζει θετική ασυμμετρία. Η διάμεσος βρίσκεται περίπου στα 0,3 mm ενώ το 50% των τιμών παρουσιάζονται από 0,2 mm έως 0,5mm. Επίσης το 25% είναι μικρότερο των 0,2 mm ενώ το υπόλοιπο 25% είναι μεγαλύτερο των 0,5 mm. Όσον αφορά στις ακραίες τιμές, παρουσιάζονται κυρίως προς τα θετικά του άξονα και αυτό επιβεβαιώνει την υποεκτίμηση των δορυφορικών δεδομένων συγκριτικά με τα επίγεια καθώς και την αδυναμία των πρώτων να προσομοιώσουν τα ακραία καιρικά φαινόμενα.

Αν παρατηρήσουμε την ποσοστιαία μεροληψία που φαίνεται στο Σχήμα 4.6 και στο Σχήμα 4.7 διακρίνουμε ότι το 75,24% των περιπτώσεων ανήκει στην κλάση [0%,20%]. Η συγκεκριμένη παρατήρηση είναι πολύ σημαντική γιατί καταδεικνύει ότι σε ένα μεγάλο ποσοστό των περιπτώσεων τα δορυφορικά δεδομένα μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα, αναλόγως βέβαια και με τον τύπο εργασίας στην οποία πρόκειται να αξιοποιηθούν.

Παρακάτω παρουσιάζονται ο Πίνακας 4.1 ο οποίος αναφέρεται στο Σχήμα 4.6 και οι Πίνακες 4.2 και 4.3 οι οποίοι αναφέρονται αντίστοιχα στο Σχήμα 4.7.

Κλάσεις απόλυτου ποσοστιαίου Bias	[0%,20%]	(20%,100%]
Ποσοστό σταθμών που ανήκουν στην αντίστοιχη κλάση Bias	75,24%	24,76%

**Πίνακας 4.1** Κατανομή της απόλυτης ποσοστιαίας μεροληψίας



**Σχήμα 4.7** Κατανομή της απόλυτης ποσοστιαίας μεροληψίας

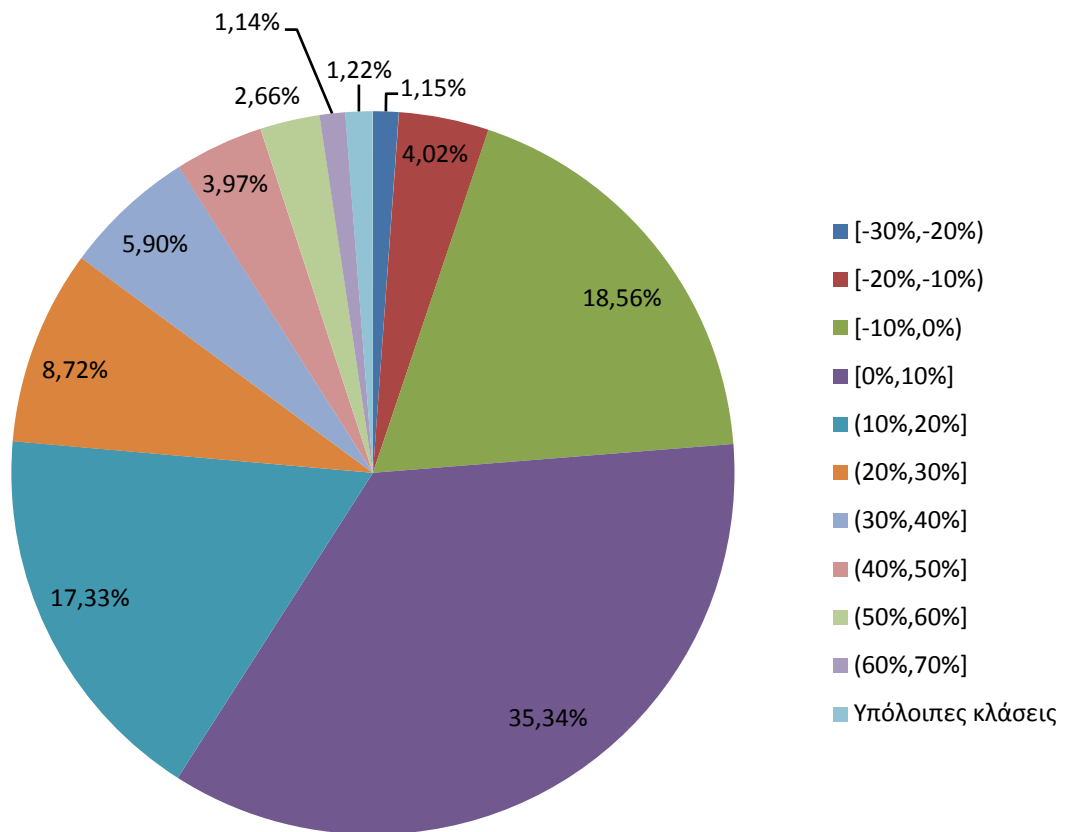
Κλάσεις ποσοστιαίου Bias	[-100%,-90%)	[-90%,-80%)	[-80%,-70%)	[-70%,-60%)	[-60%,-50%)	[-50%,-40%)	[-40%,-30%)	[-30%,-20%)	[-20%,-10%)	[-10%,0%)
Ποσοστό σταθμών που ανήκουν στην αντίστοιχη κλάση Bias	0,01%	0,01%	0,04%	0,11%	0,06%	0,16%	0,42%	1,15%	4,02%	18,56%

**Πίνακας 4.2** Κατανομή της απόλυτης ποσοστιαίας μεροληψίας

Κλάσεις ποσοστιαίου Bias	[0%,10%]	(10%,20%]	(20%,30%]	(30%,40%]	(40%,50%]	(50%,60%]	(60%,70%]	(70%,80%]	(80%,90%]	(90%,100%]
Ποσοστό σταθμών που ανήκουν στην αντίστοιχη κλάση Bias	35,34%	17,33%	8,72%	5,90%	3,97%	2,66%	1,14%	0,26%	0,11%	0,05%

**Πίνακας 4.3** Κατανομή της απόλυτης ποσοστιαίας μεροληψίας

## Κατανομή ποσοστιαίου Bias στους σταθμούς



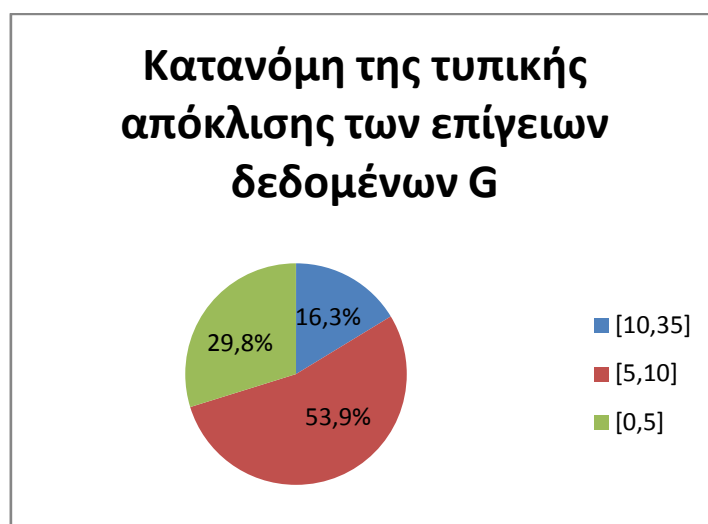
Σχήμα 4.8 Κατανομή της απόλυτης ποσοστιαίας μεροληψίας

### Μεροληψία των τυπικών αποκλίσεων

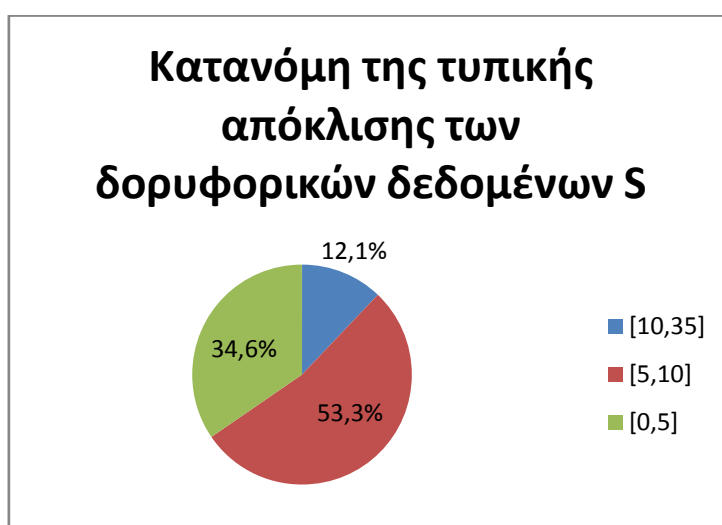
Η τυπική απόκλιση ως στατιστικός δείκτης εκφράζει την κατά μέσο όρο απόκλιση των τιμών από την αντίστοιχη μέση τιμή. Μετά από εφαρμογή κατάλληλου αλγορίθμου μέσω του λογισμικού της MATLAB προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες και τα αντίστοιχα σχήματα.

$\sigma$ (mm)	Επίγεια δεδομένα G	Δορυφορικά δεδομένα S
[10,35]	16,3%	12,1%
[5,10]	53,9%	53,3%
[0,5]	29,8%	34,6%

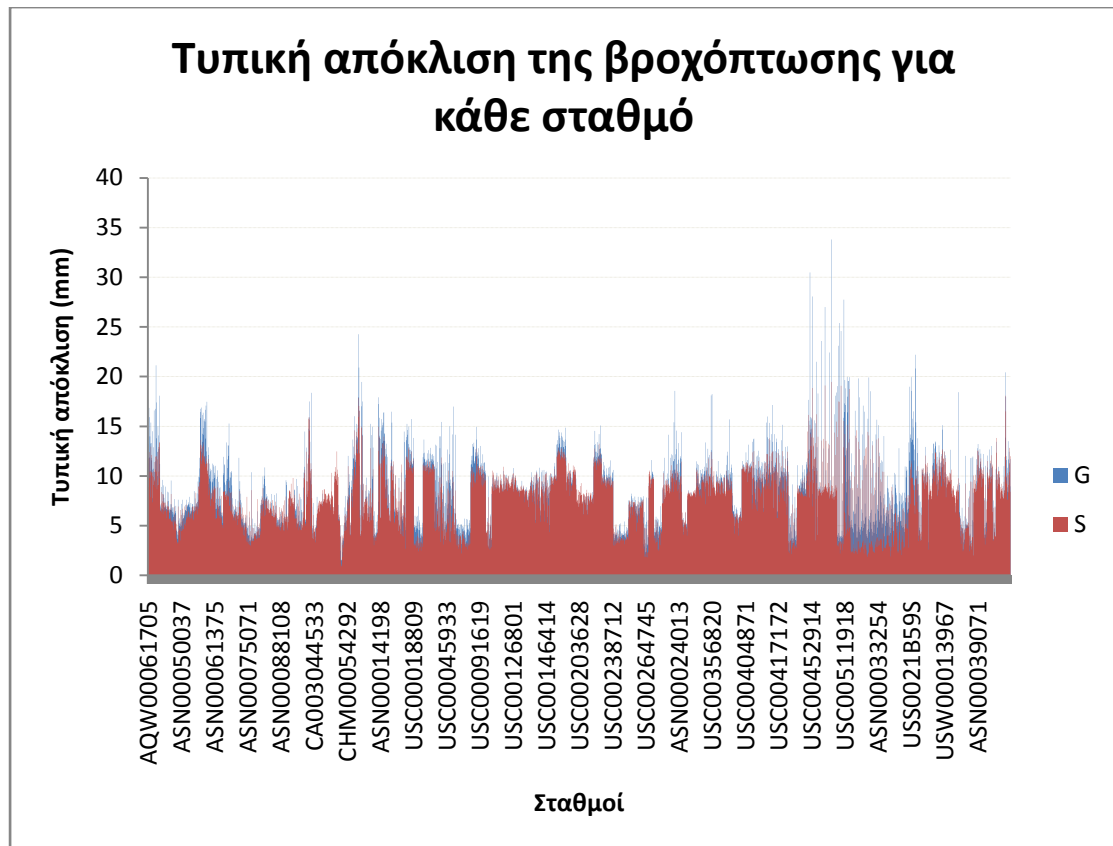
Πίνακας 4.4 Κατανομή της τυπικής απόκλισης



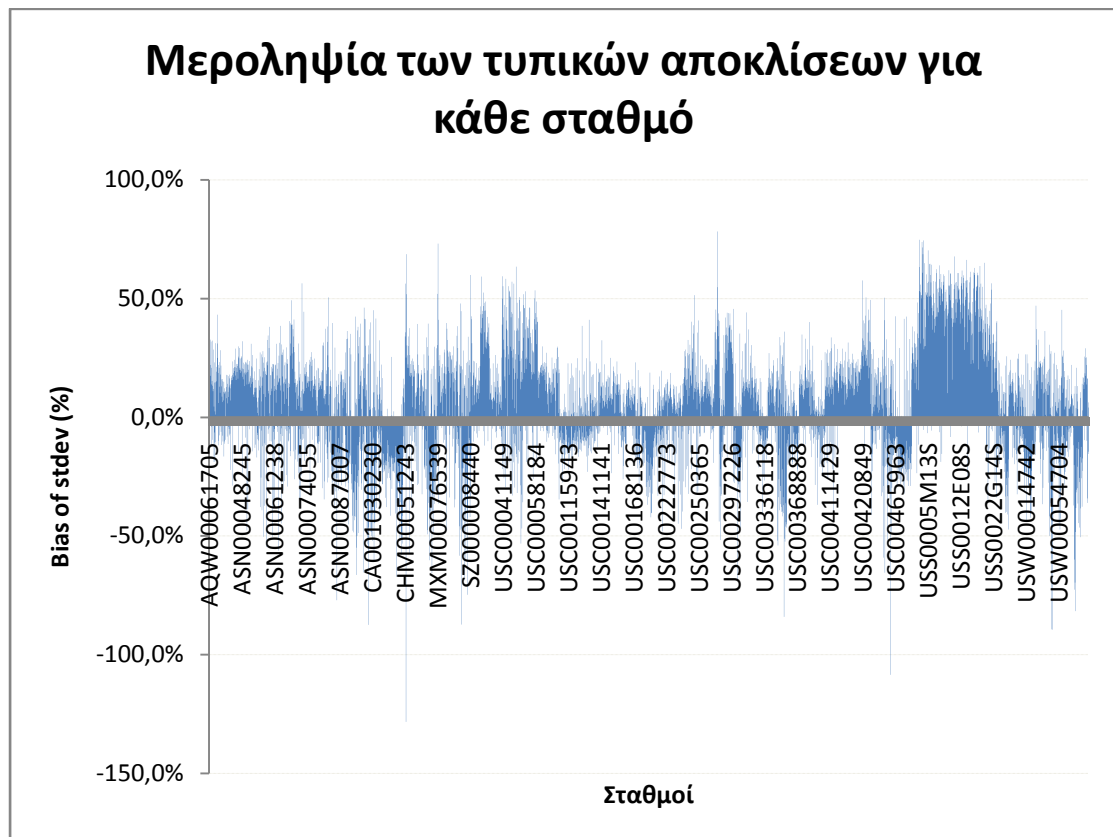
Σχήμα 4.9 Κατανομή της τυπικής απόκλισης των επίγειων δεδομένων



Σχήμα 4.10 Κατανομή της τυπικής απόκλισης των δορυφορικών δεδομένων



Σχήμα 4.11 Τυπική απόκλιση της βροχόπτωσης για κάθε σταθμό

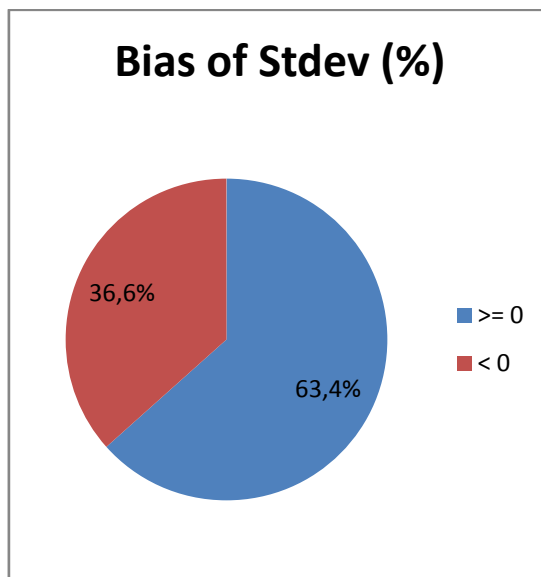


Σχήμα 4.12 Μεροληψία των τυπικών αποκλίσεων



Bias of Stdev (%)	
$\geq 0$	63,4%
$< 0$	36,6%

**Πίνακας 4.5** Κατανομή της μεροληψίας των τυπικών αποκλίσεων



**Σχήμα 4.13** Κατανομή της μεροληψίας των τυπικών αποκλίσεων

Από τα Σχήματα 4.8, 4.9 και 4.10 γίνεται φανερό ότι τα επίγεια δεδομένα παρουσιάζουν μεγαλύτερες αποκλίσεις γεγονός που καταδεικνύει ότι οι δορυφορικές εκτιμήσεις αδυνατούν να προσομοιώσουν επαρκώς τις ακραίες βροχοπτώσεις. Όπως αναμένεται, η μεροληψία της τυπικής απόκλισης είναι υπέρ των επίγειων καταγραφών, με ποσοστό 63,4% έναντι του 36,6% των δορυφορικών μετρήσεων, κι αυτό παρουσιάζεται και στο Σχήμα 4.12.

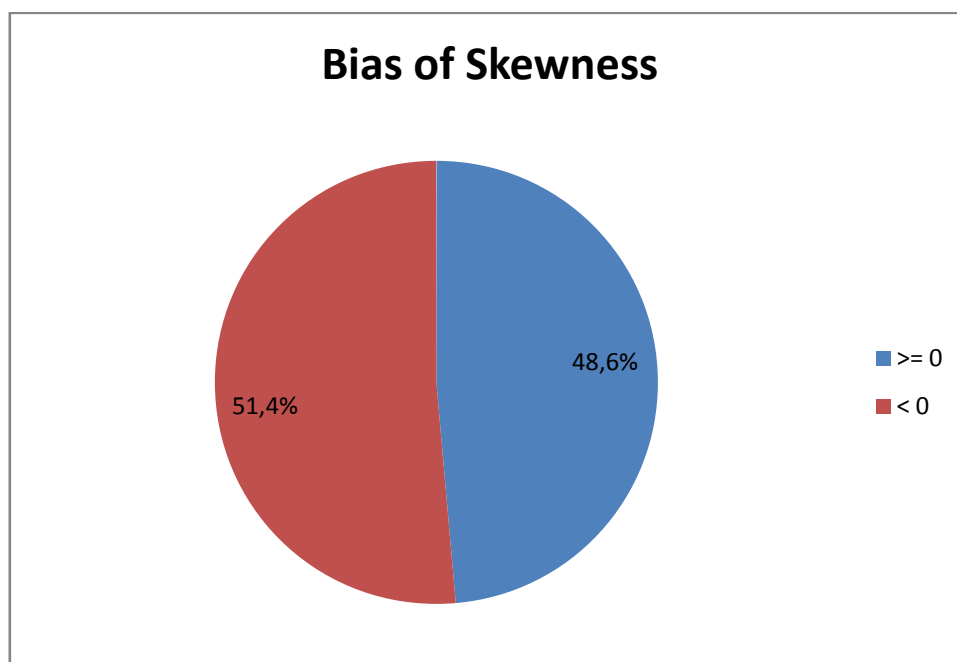
Γενικά, η βροχόπτωση είναι ένα μέγεθος που παρουσιάζει μεγάλες τυπικές αποκλίσεις λόγω του σημειακού χαρακτήρα της μεταβλητής, καθώς και λόγω της εξάρτησης της από το κλίμα που επικρατεί σε κάθε περιοχή, όπως επίσης και από την χρονική περίοδο των μετρήσεων (π.χ. μεγάλα ύψη βροχόπτωσης τους χειμερινούς μήνες σε αντίθεση με τους άνυδρους καλοκαιρινούς μήνες).

#### *Μεροληψία των συντελεστών ασυμμετρίας*

Η μεροληψία των συντελεστών ασυμμετρίας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.6 και στο Σχήμα 4.14, είναι περίπου ίδια για τα δορυφορικά και τα επίγεια δεδομένα, με την ασυμμετρία να είναι μεγαλύτερη στα πρώτα στο 51,4% των περιπτώσεων ενώ στο υπόλοιπο 48,6% τα επίγεια παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές .

Bias of Skewness	Ποσοστό Σταθμών
$\geq 0$	48,6%
$< 0$	51,4%

**Πίνακας 4.6**Μεροληψία των συντελεστών ασυμμετρίας



**Σχήμα 4.14**Μεροληψία των συντελεστών ασυμμετρίας

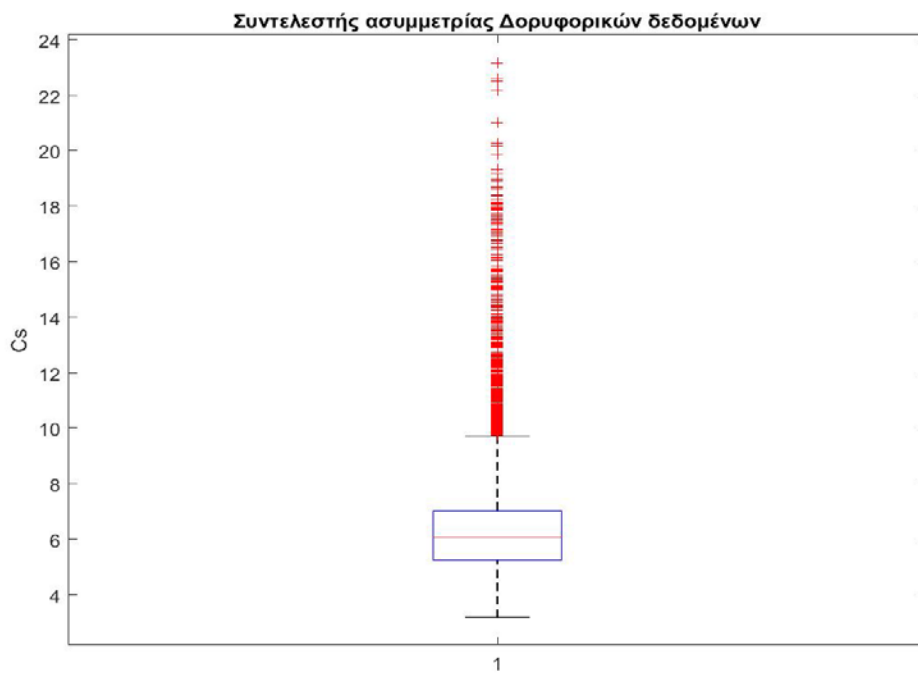
Παρατηρώντας τα Σχήματα 4.15 και 4.16, τα οποία απεικονίζουν τα boxplots της ασυμμετρίας των επίγειων και των δορυφορικών δεδομένων αντίστοιχα, διακρίνουμε ότι και στις δύο περιπτώσεις οι συντελεστές είναι όλοι θετικοί, που σημαίνει ότι σε όλες τις περιπτώσεις οι σταθμοί παρουσιάζουν θετική ασυμμετρία.

Πιο αναλυτικά, ο συντελεστής ασυμμετρίας των επίγειων δεδομένων (Σχήμα 4.15) βρίσκεται από 5 έως 7,5 στο 50% των περιπτώσεων ενώ το 25% των σταθμών έχει συντελεστή μικρότερο του 5, σε αντίθεση με το υπόλοιπο 25% το οποίο διακρίνεται πάνω από το 7,5. Ο μικρότερος συντελεστής ασυμμετρίας έχει την τιμή 2 ενώ η άνω απόληξη βρίσκεται στην τιμή 12. Ενδιαφέρον αποτελεί το γεγονός ότι οι περισσότερες ακραίες παρατηρήσεις παρουσιάζονται μεταξύ των τιμών 12 και 14 ενώ η μέγιστη τιμή είναι περίπου στο 32,5.

Αντίστοιχα, ο συντελεστής ασυμμετρίας των δορυφορικών δεδομένων (Σχήμα 4.16) παρατηρείται από 5 έως 7 στο 50% των περιπτώσεων ενώ το 25% των σταθμών έχει συντελεστή μικρότερο του 5 όπως και το υπόλοιπο 25% που βρίσκεται πάνω από το 7. Η κάτω απόληξη παρατηρείται στο 2 ενώ η άνω στο 10. Στο εύρος των τιμών 10 έως 13 παρατηρείται συγκέντρωση πολλών ακραίων τιμών ενώ η μέγιστη τιμή είναι το 23.

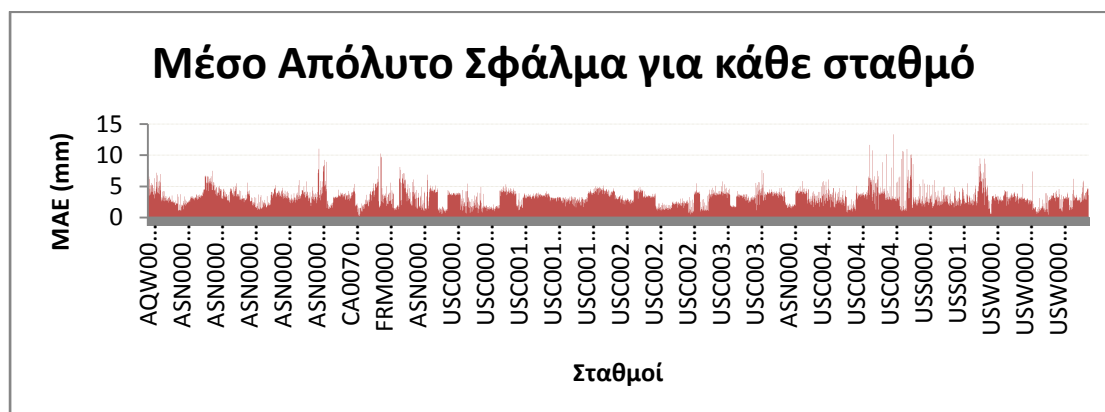


**Σχήμα 4.15** Boxplot Cg



**Σχήμα 4.16** BoxplotCs

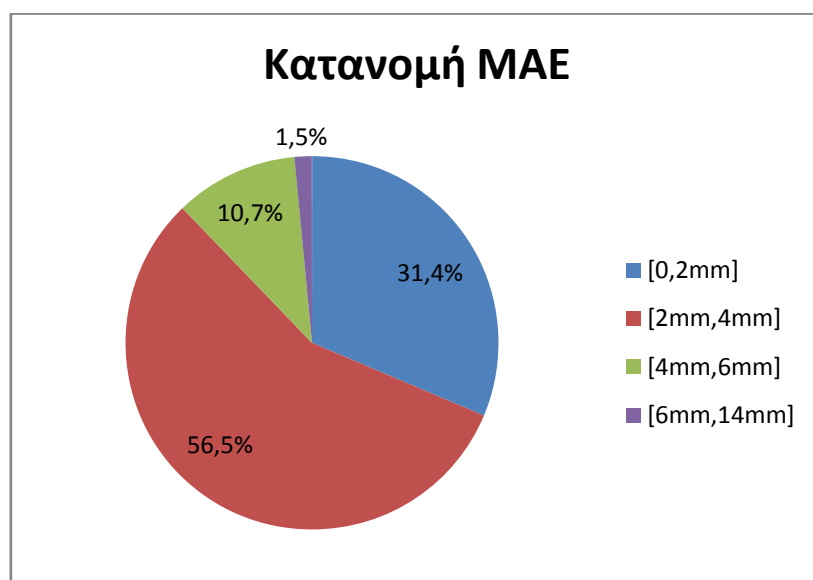
## Μέσο απόλυτο σφάλμα



Σχήμα 4.17 MAE ανά σταθμό

MAE (mm)	Ποσοστό σταθμών
[0,2mm]	31,4%
[2mm,4mm]	56,5%
[4mm,6mm]	10,7%
[6mm,14mm]	1,5%

Πίνακας 4.7 Κατανομή του MAE

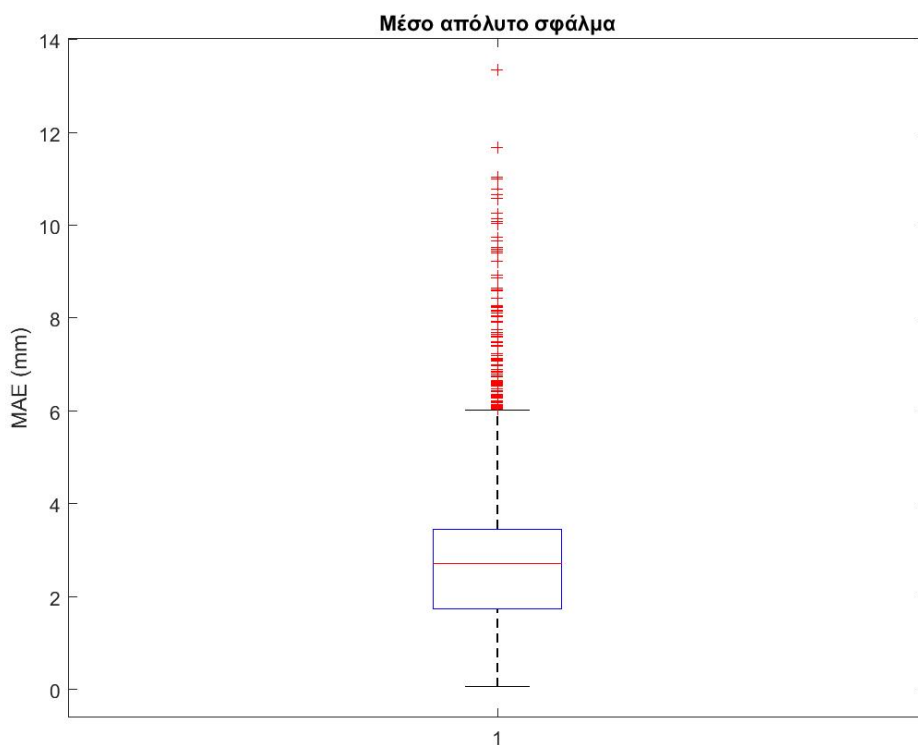


Σχήμα 4.18 Κατανομή του MAE

Το μέσο απόλυτο σφάλμα, όπως φαίνεται από τον Πίνακα 5.7 και το αντίστοιχο Σχήμα 5.18, κυμαίνεται σε σχετικά χαμηλά ποσοστά. Πιο αναλυτικά, το 31,4% των

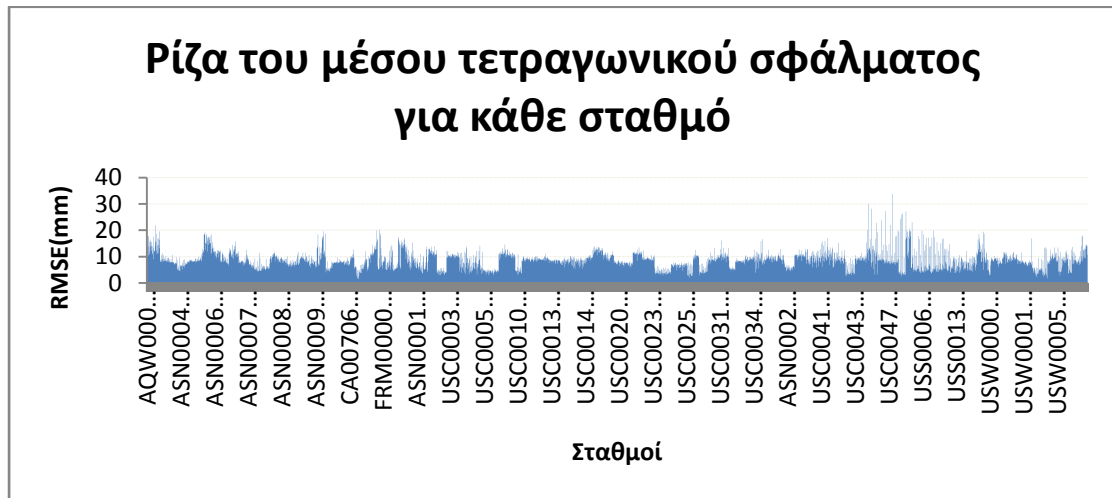
σταθμών βρίσκεται από 0 έως 2mm, ενώ το 56,5% είναι στην κλάση [2mm,4mm]. Από 4mm έως 6mm βρίσκεται το 10,7% των σταθμών σε αντίθεση με το 1,5% που παρουσιάζει σφάλμα από 6mm έως 14mm. Τα παραπάνω ποσοστά αποτελούν σημαντικές παρατηρήσεις γιατί δείχνουν ότι στις περισσότερες περιπτώσεις τα δορυφορικά δεν αποκλίνουν σημαντικά από τα επίγεια δεδομένα σε επίπεδο χρονοσειράς.

Παρατηρώντας το Σχήμα 5.19 βλέπουμε ότι η διάμεσος του μέσου απόλυτου σφάλματος για το σύνολο των σταθμών είναι περίπου 2,7mm γεγονός που σημαίνει ότι το 50% των σταθμών παρουσιάζει μικρότερο σφάλμα από αυτό της διαμέσου. Επιπλέον, το 75% των περιπτώσεων έχει απόλυτο σφάλμα κάτω από τα 3,4mm ενώ το 25% παρουσιάζει απόκλιση μικρότερη του 1,8mm. Τέλος, διακρίνεται μια συγκέντρωση ακραίων τιμών στην κλάση [6mm, 8mm] ενώ το μέγιστο μέσο απόλυτο σφάλμα είναι περίπου 13,3 mm.



**Σχήμα 4.19** Βοχplot μέσου απόλυτου σφάλματος

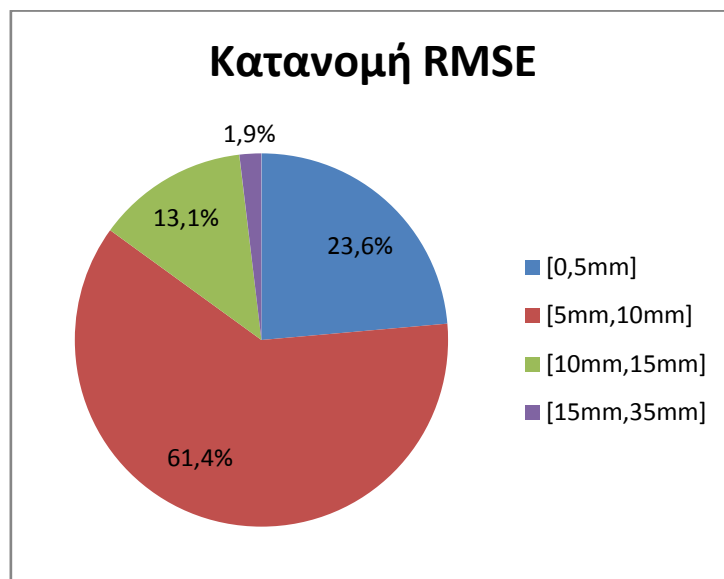
Ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος



Σχήμα 4.20 RMSE ανά σταθμό

RMSE	Ποσοστό σταθμών
[0,5mm]	23,6%
[5mm,10mm]	61,4%
[10mm,15mm]	13,1%
[15mm,35mm]	1,9%

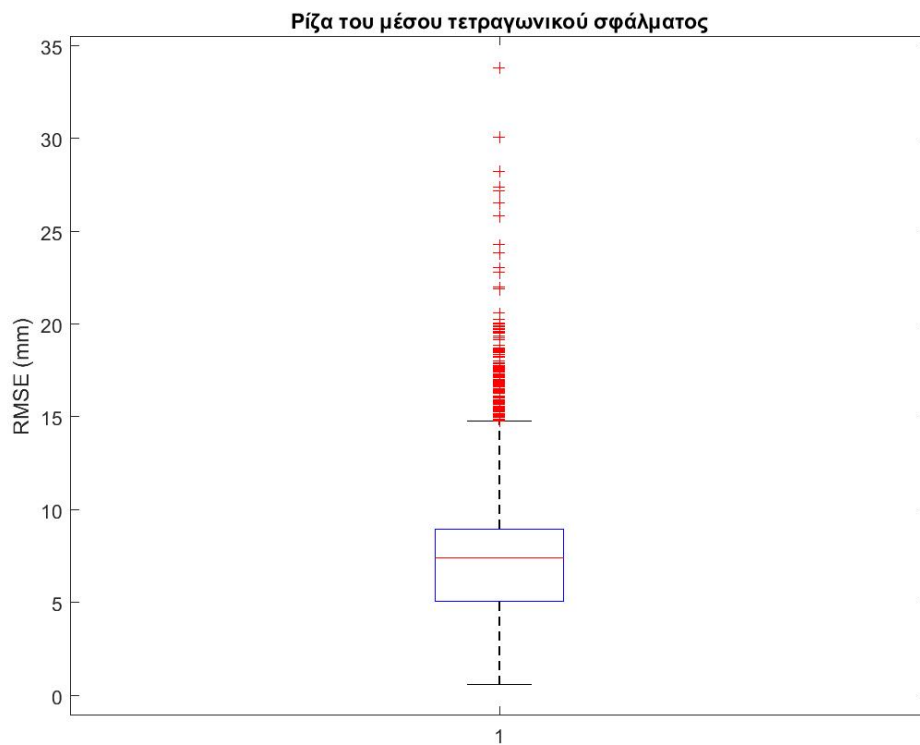
Πίνακας 4.8 Κατανομή του RMSE



Σχήμα 4.21 Κατανομή του RMSE

Η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.8 και στο αντίστοιχο Σχήμα 4.21, ανήκει, στο μεγαλύτερο ποσοστό του 61,4%, στην κλάση [5mm,10mm]. Το 23,6% των περιπτώσεων βρίσκεται από 0 έως 5mm, ενώ το 13,1% ανήκει στην κλάση [10mm,15mm]. Τέλος, μόλις το 1,9% παρουσιάζει RMSE από 15mm έως 35mm.

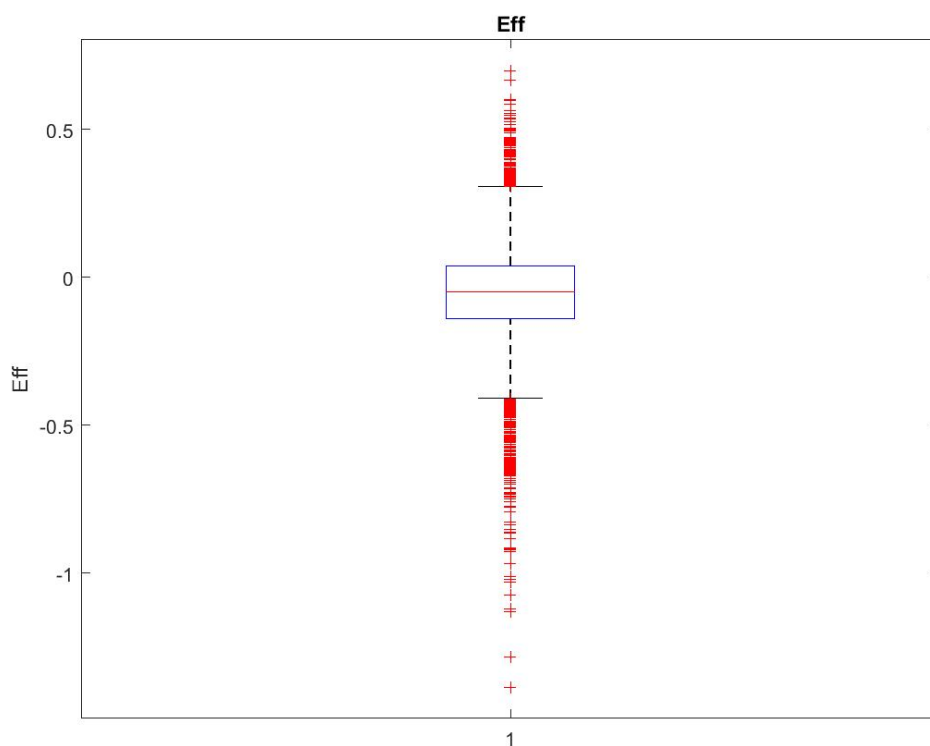
Από το Σχήμα 4.22, που φαίνεται παρακάτω, παρατηρούμε ότι το 25% των σταθμών έχει RMSE μικρότερο των 6mm, ενώ το 50% βρίσκεται κάτω από τα 7,5mm. Επίσης το 25% των παρατηρήσεων ανήκει στην κλάση [7,5mm,9mm] καθώς το υπόλοιπο 25% παρατηρείται υψηλότερα από τα 9mm. Τέλος, η μέγιστη τιμή του RMSE είναι περίπου 34mm, ενώ παρατηρείται μια συγκέντρωση ακραίων τιμών στην κλάση [15mm,20mm].



**Σχήμα 4.22** Boxplot του RMSE

#### 4.1.2 Χρονοσειρές μεγίστων επίγειων δεδομένων

##### Συντελεστής αποδοτικότητας



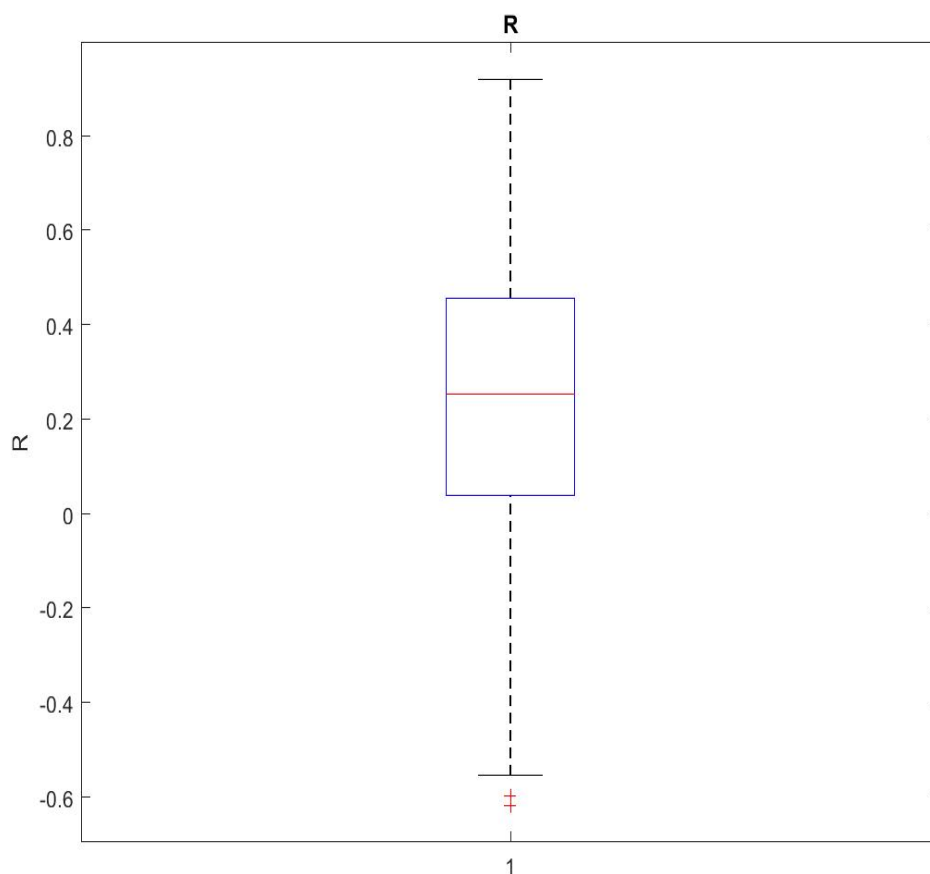
**Σχήμα 4.23** Βοξπλοττης αποδοτικότητας

Η αποδοτικότητα των επίγειων δεδομένων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.23, διατηρείται σε πολύ χαμηλές τιμές. Ωστόσο, βλέπουμε πως οι παρατηρήσεις ακολουθούν κανονική κατανομή με μέση τιμή και διάμεσο περίπου στο -0,1. Αναλυτικότερα, το 25% των σταθμών έχει αποδοτικότητα μικρότερη του -0,2, ενώ το 25% βρίσκεται στην κλάση [-0,2; -0,1]. Επίσης, από -0,1 έως 0,07 παρατηρείται το 25% των περιπτώσεων, ενώ το υπόλοιπο 25% βρίσκεται πάνω από το 0,07. Η κάτω απόληξη βρίσκεται στο -0,35 και η άνω απόληξη βρίσκεται στο 0,3. Τέλος, η μέγιστη αποδοτικότητα είναι 0,7, ενώ η ελάχιστη είναι -1,4.

Και σε αυτήν την περίπτωση, συγκριτικά με τις ολόκληρες χρονοσειρές, παρατηρούνται κυρίως αρνητικές τιμές αποδοτικότητας γεγονός που σημαίνει ότι ο απλός μέσος όρος είναι καλύτερη εκτιμήτρια από τον σταθμισμένο που έχει χρησιμοποιηθεί στην συγκεκριμένη μελέτη.



## Συντελεστής ετεροσυσχέτισης

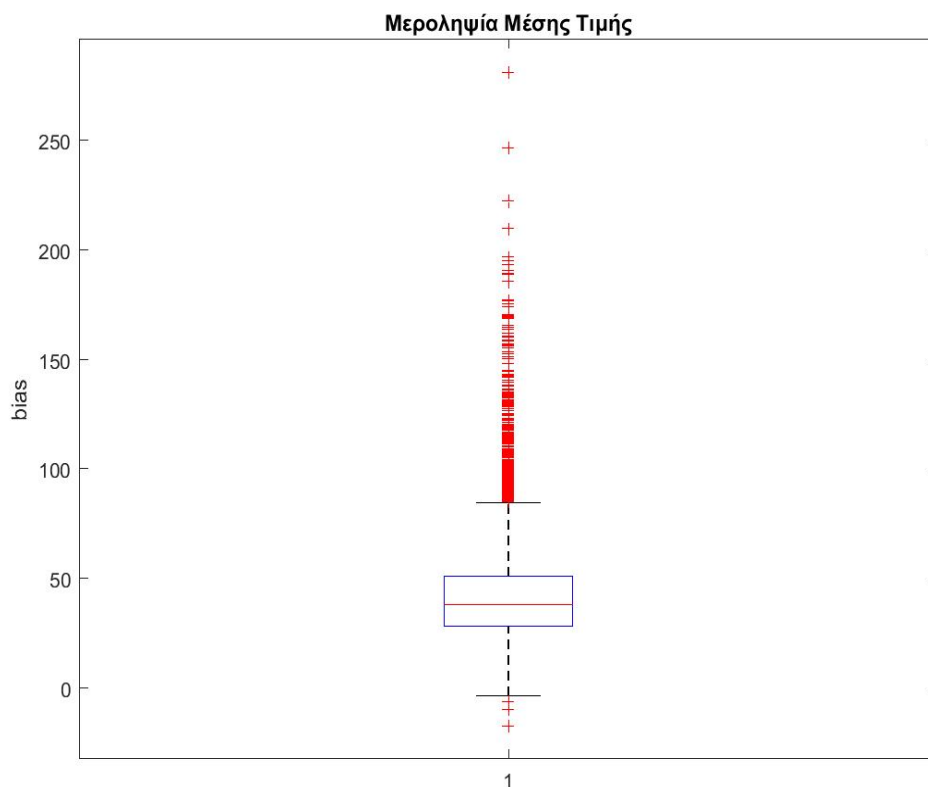


**Σχήμα 4.24** Βοχplot για τον συντελεστή ετεροσυσχέτισης

Όπως παρατηρείται από το Σχήμα 4.24, ο συντελεστής ετεροσυσχέτισης ακολουθεί περίπου κανονική κατανομή με διάμεσο-μέση τιμή περίπου στο 0,27. Η άνω απόληξη της κατανομής βρίσκεται στο 0,92, ενώ η κάτω απόληξη στο -0,52. Το 25% των τιμών είναι μικρότερο του 0,07, ενώ μεγαλύτερο του 0,48 είναι επίσης το 25%. Προφανώς το 50% των περιπτώσεων έχει ετεροσυσχέτιση μικρότερη του 0,27 και τιμή μικρότερη του 0,48 παρατηρείται στο 75%.

Γενικά, η ετεροσυσχέτιση των επίγειων με τα δορυφορικά δεδομένα φαίνεται να μην παρουσιάζει ακραίες τιμές με την εξαίρεση δύο περιπτώσεων όπου το ελάχιστο παρατηρείται για  $R=-0,61$ .

## Μεροληψία των μέσων τιμών

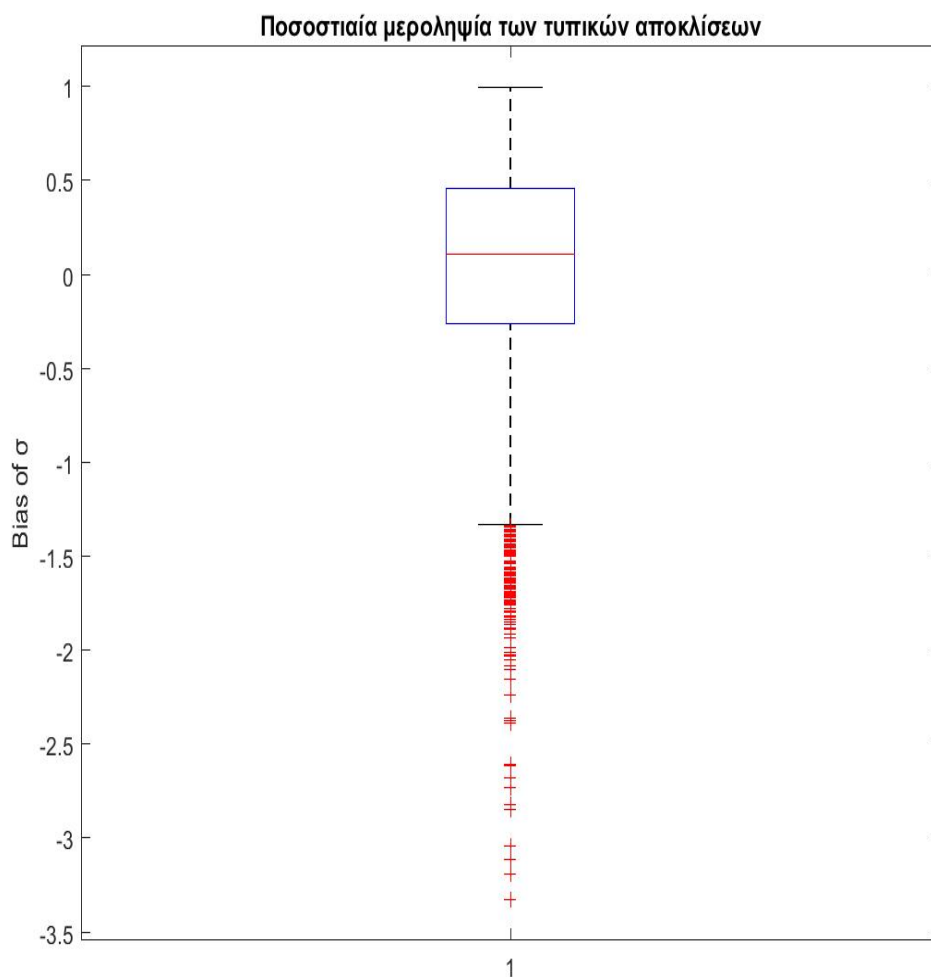


**Σχήμα 4.25** Boxplot της μεροληψίας

Η μεροληψία, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.25, φαίνεται να ακολουθεί μια ελαφρώς θετικά ασύμμετρη κατανομή με διάμεσο 40 mm, άνω απόληξη τα 80 mm και κάτω απόληξη τα -15mm. Παρατηρείται μια συγκέντρωση ακραίων τιμών στην κλάση [80mm,150mm] ενώ μέγιστη μεροληψία είναι τα 270 mm και ελάχιστη τα -20mm. Το 50% των σταθμών παρουσιάζει μεροληψία μικρότερη των 40mm, ενώ το 75% έχει Bias μικρότερο των 50mm. Τέλος, το 25% παρουσιάζει μεροληψία μικρότερη των 30mm.

Γενικά, η εικόνα που παρουσιάζουν τα μέγιστα επίγεια σε σύγκριση με τα αντίστοιχα δορυφορικά δεδομένα φαίνεται να είναι αποθαρρυντική. Η μεροληψία είναι πολύ μεγάλη, όπως φαίνεται και παραπάνω, γεγονός που δείχνει την αδυναμία του δορυφόρου να προσομοιώσει επαρκώς τα ακραία φαινόμενα.

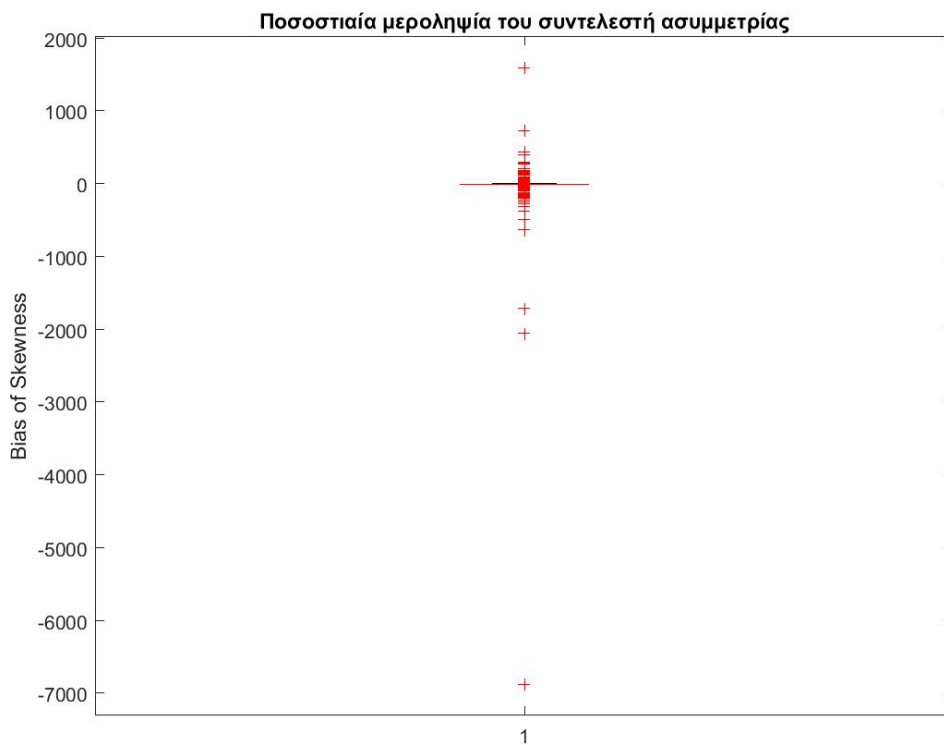
## Μεροληψία των τυπικών αποκλίσεων



**Σχήμα 4.26** Βοχπλοττης μεροληψίας των τυπικών αποκλίσεων

Η μεροληψία της τυπικής απόκλισης, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.26, φαίνεται να ακολουθεί μια αρνητικά ασύμμετρη κατανομή με διάμεσο 0,2 , άνω απόληξη το 1 και κάτω απόληξη το -1,3. Παρατηρείται μια συγκέντρωση ακραίων τιμών στην κλάση [-1,3,-2], ενώ μέγιστη μεροληψία είναι το 1 και ελάχιστη τα -3,3. Το 50% των σταθμών παρουσιάζει μεροληψία μικρότερη του 0,2, ενώ το 75% έχει Bias μικρότερο του 1. Τέλος, το 25% παρουσιάζει μεροληψία μικρότερη του -0,35.

## Μεροληψία των συντελεστών ασυμμετρίας

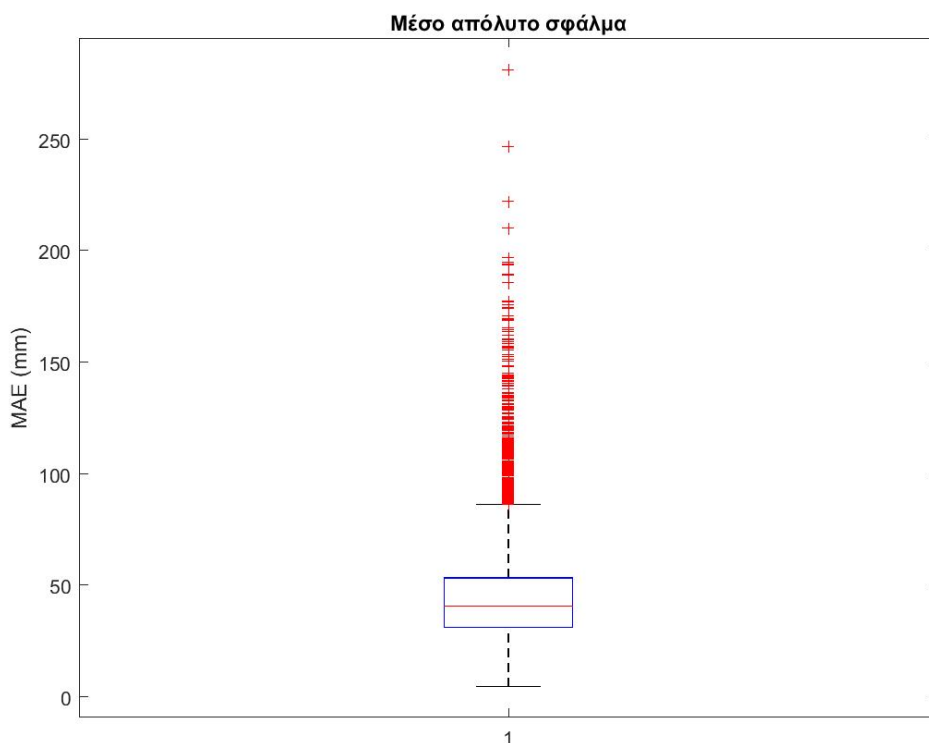


**Σχήμα 4.27** Βoxplot της μεροληψίας των συντελεστών ασυμμετρίας

Όπως παρατηρείται από το Σχήμα 4.27, η μεροληψία των συντελεστών ασυμμετρίας ακολουθεί κατανομή με πολύ μεγάλη κυρτότητα με διάμεσο-μέση τιμή περίπου στο 0. Η άνω απόληξη της κατανομής φαίνεται να βρίσκεται πολύ κοντά στην κάτω απόληξη και γύρω από την τιμή 0. Πολύ μεγάλο ποσοστό των περιπτώσεων συγκεντρώνεται στη γειτονία του μηδέν.

Γενικά, οι συντελεστές ασυμμετρίας των επίγειων και των δορυφορικών δεδομένων φαίνεται να ακολουθούν παρόμοιες κατανομές, γι' αυτό βλέπουμε μία συγκέντρωση τιμών στη γειτονία του μηδενός. Το παραπάνω συμπέρασμα είναι απολύτως λογικό αν αναλογιστεί κανείς την τεράστια κυρτότητα που παρουσιάζει η κατανομή της μεροληψίας του συντελεστή ασυμμετρίας καθώς και τις ευτελισμένες άνω και κάτω απολήξεις της κατανομής.

## Μέσο απόλυτο σφάλμα

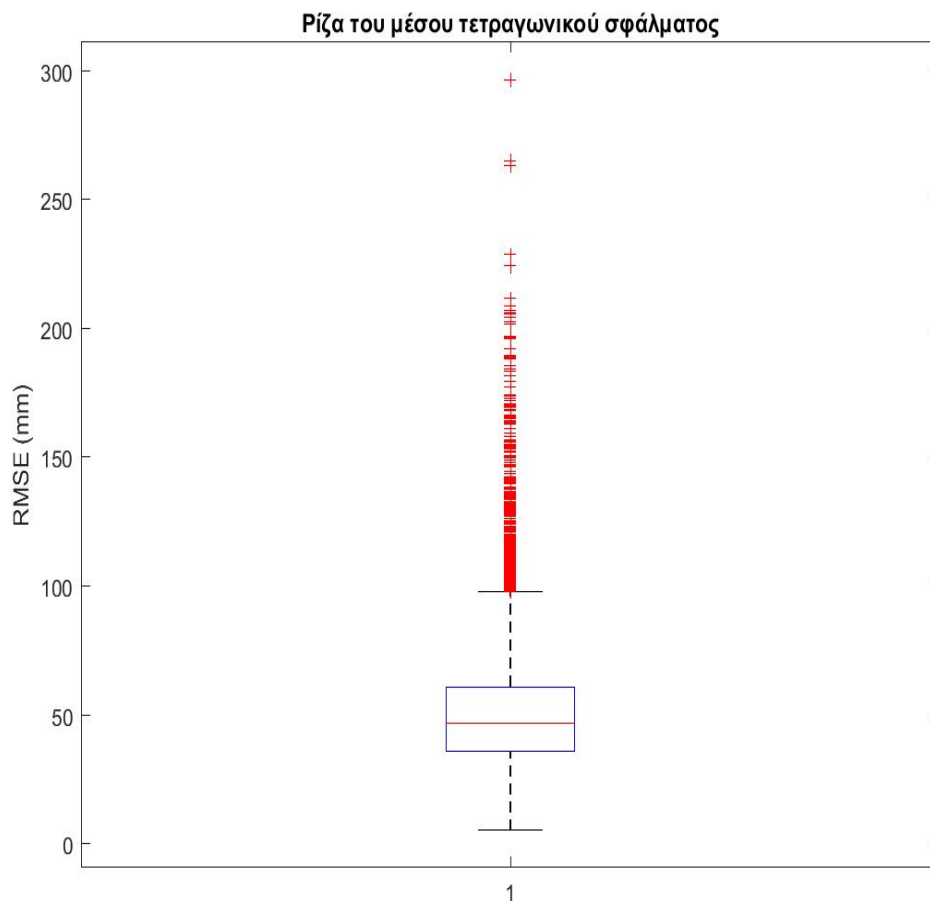


**Σχήμα 4.28**Boxplot του μέσου απόλυτου σφάλματος

Το μέσο απόλυτο σφάλμα, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.28, φαίνεται να ακολουθεί μια ελαφρώς θετικά ασύμμετρη κατανομή με διάμεσο 40 mm, άνω απόληξη τα 80 mm και κάτω απόληξη τα 10 mm. Παρατηρείται μια συγκέντρωση ακραίων τιμών στην κλάση [80mm,150mm] ενώ μέγιστο σφάλμα είναι τα 270 mm και ελάχιστη τα -20mm. Το 50% των σταθμών παρουσιάζει σφάλμα μικρότερο των 40mm, ενώ το 75% έχει MAE μικρότερο των 50mm. Τέλος, το 25% παρουσιάζει σφάλμα μικρότερο των 30mm.

Όπως συμβαίνει στην περίπτωση της μεροληψίας των μέσων τιμών, έτσι κι εδώ η εικόνα που παρουσιάζουν τα μέγιστα επίγεια σε σύγκριση με τα αντίστοιχα δορυφορικά δεδομένα φαίνεται να είναι αποθαρρυντική. Το MAE κυμαίνεται σε πολύ υψηλές τιμές, όπως φαίνεται και παραπάνω, γεγονός που δείχνει την αδυναμία του δορυφόρου να προσομοιώσει επαρκώς τα ακραία φαινόμενα.

### Ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος

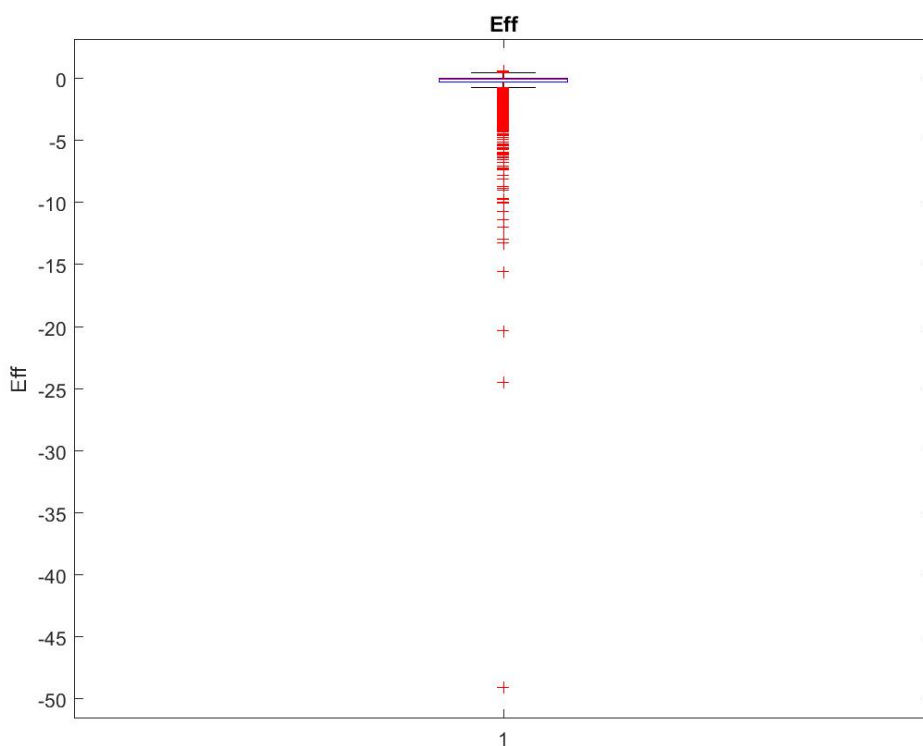


**Σχήμα 4.29**Boxplot του RMSE

Από το Σχήμα 4.29, που φαίνεται παραπάνω, παρατηρούμε ότι το 25% των σταθμών έχει RMSE μικρότερο των 35mm, ενώ το 50% βρίσκεται κάτω από τα 45mm. Επίσης το 25% των παρατηρήσεων ανήκει στην κλάση [45mm,60mm] καθώς το υπόλοιπο 25% παρατηρείται υψηλότερα από τα 45mm. Η άνω απόληξη της κατανομής βρίσκεται στα 100mm, ενώ η κάτω απόληξη στα 10mm. Τέλος, η μέγιστη τιμή του RMSE είναι περίπου 295mm, ενώ παρατηρείται μια συγκέντρωση ακραίων τιμών στην κλάση [100mm,200mm].

### 4.1.3 Χρονοσειρές μεγίστων δορυφορικών δεδομένων

#### Συντελεστής αποδοτικότητας

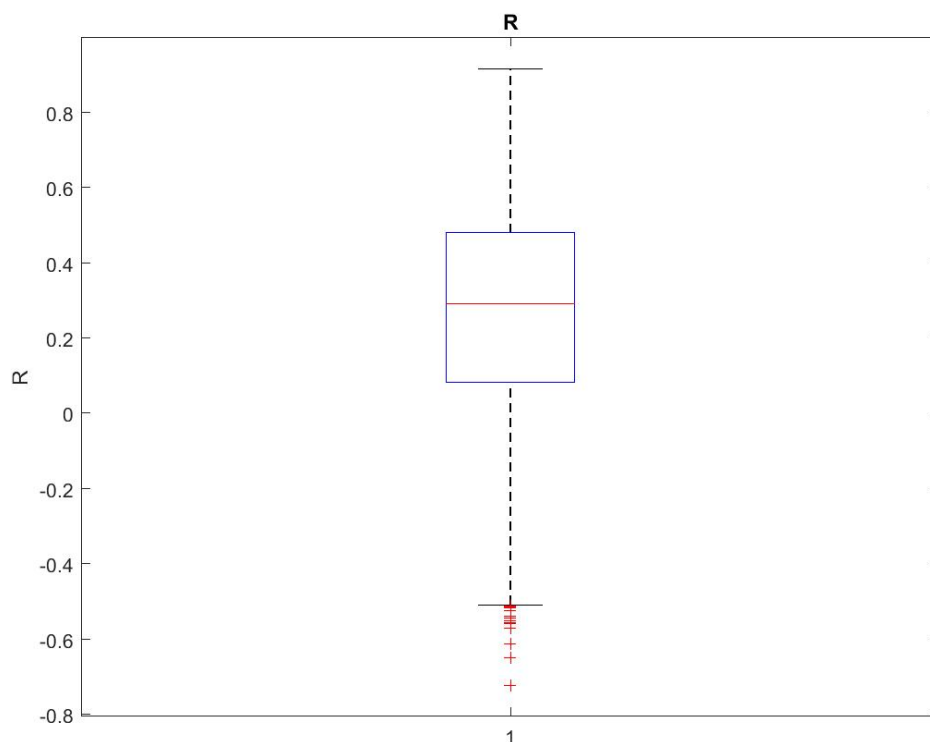


**Σχήμα 4.30**Boxplot του συντελεστή αποδοτικότητας

Η αποδοτικότητα των επίγειων δεδομένων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.30, διατηρείται σε πολύ χαμηλές τιμές. Ωστόσο, βλέπουμε πως οι παρατηρήσεις ακολουθούν κατανομή με πολύ μεγάλη κυρτότητα και διάμεσο περίπου στο 0. Η κάτω απόληξη βρίσκεται στο -1 και η άνω απόληξη βρίσκεται στο 1. Η μέγιστη αποδοτικότητα είναι 1, ενώ η ελάχιστη είναι -48. Τέλος, παρατηρείται μία συγκέντρωση ακραίων τιμών στην κλάση [-1,-5].

Και σε αυτήν την περίπτωση, συγκριτικά με τις ολόκληρες χρονοσειρές, παρατηρούνται κυρίως αρνητικές τιμές αποδοτικότητας γεγονός που σημαίνει ότι ο απλός μέσος όρος είναι καλύτερη εκτιμήτρια από τον σταθμισμένο που έχει χρησιμοποιηθεί στην συγκεκριμένη μελέτη.

## Συντελεστής ετεροσυσχέτισης



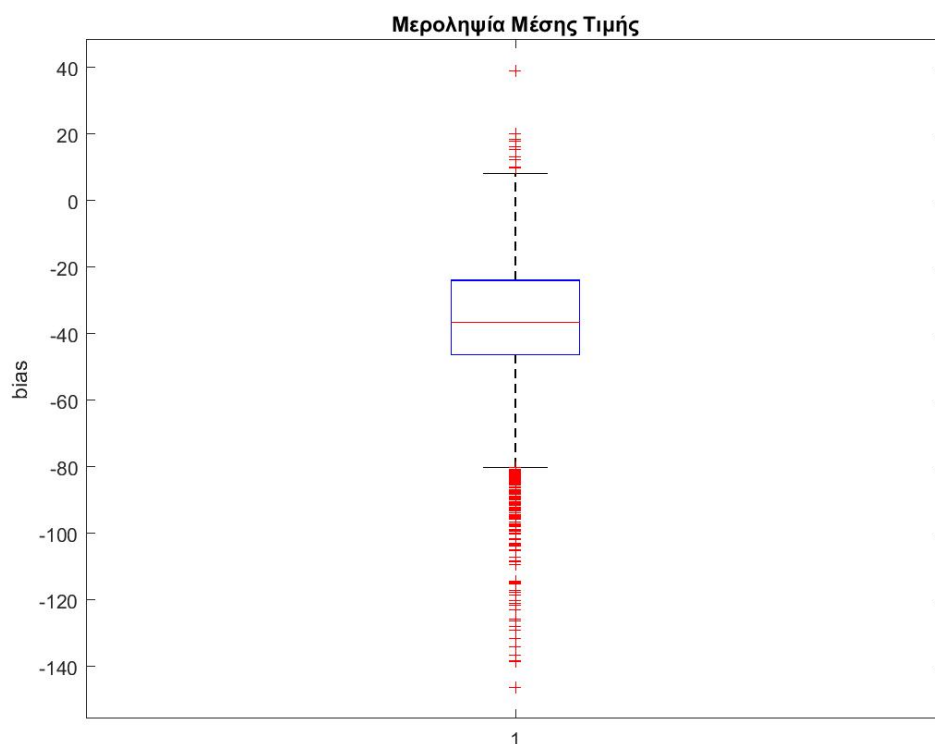
**Σχήμα 4.31**Boxplot του συντελεστή ετεροσυσχέτισης

Όπως παρατηρείται από το Σχήμα 4.31, ο συντελεστής ετεροσυσχέτισης ακολουθεί περίπου κανονική κατανομή με ελαφρώς αρνητική ασυμμετρία και διάμεσο περίπου στο 0,30. Η άνω απόληξη της κατανομής βρίσκεται στο 0,90, ενώ η κάτω απόληξη στο -0,50. Το 25% των τιμών είναι μικρότερο του 0,1, ενώ μεγαλύτερο του 0,50 είναι επίσης το 25%. Προφανώς το 50% των περιπτώσεων έχει ετεροσυσχέτιση μικρότερη του 0,30 και στο 75% παρατηρείται τιμή μικρότερη του 0,48.

Γενικά, η ετεροσυσχέτιση των επίγειων με τα δορυφορικά δεδομένα φαίνεται να μην παρουσιάζει ακραίες τιμές με την εξαίρεση λίγων περιπτώσεων όπου το ελάχιστο παρατηρείται για  $R=-0,71$ .



## Μεροληψία των μέσων τιμών

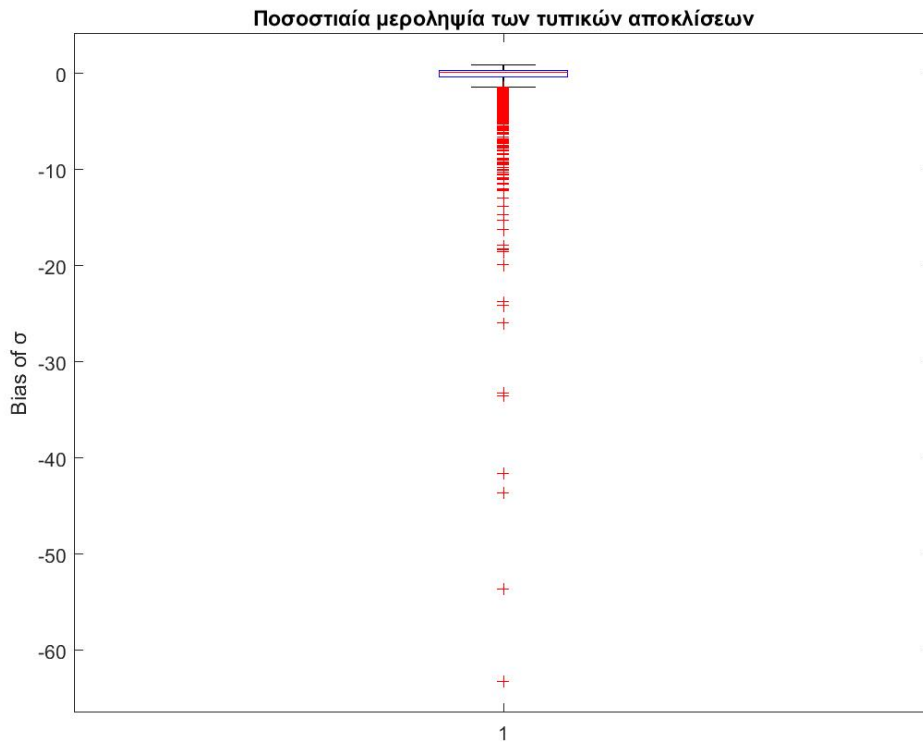


**Σχήμα 4.32** Βοχplot της μεροληψίας της μέσης τιμής

Η μεροληψία, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.32, φαίνεται να ακολουθεί μια ελαφρώς αρνητικά ασύμμετρη κατανομή με διάμεσο -35 mm, άνω απόληξη τα 10 mm και κάτω απόληξη τα -80 mm. Παρατηρείται μια συγκέντρωση ακραίων τιμών στην κλάση [-80mm,-100mm] ενώ μέγιστη μεροληψία είναι τα 39 mm και ελάχιστη τα -147mm. Το 50% των σταθμών παρουσιάζει μεροληψία μικρότερη των -35mm, ενώ το 75% έχει Bias μικρότερο των -25mm. Τέλος, το 25% παρουσιάζει μεροληψία μικρότερη των -45 mm.

Γενικά, η εικόνα που παρουσιάζουν τα μέγιστα δορυφορικά σε σύγκριση με τα αντίστοιχα επίγεια δεδομένα φαίνεται να είναι αποθαρρυντική. Η μεροληψία είναι πολύ μεγάλη, όπως φαίνεται και παραπάνω, και κυρίως αρνητική, γεγονός που δείχνει ότι τις μέρες στις οποίες παρατηρούνται μέγιστες δορυφορικές βροχοπτώσεις τα πραγματικά ύψη βροχής στη γη είναι πολύ μικρότερα.

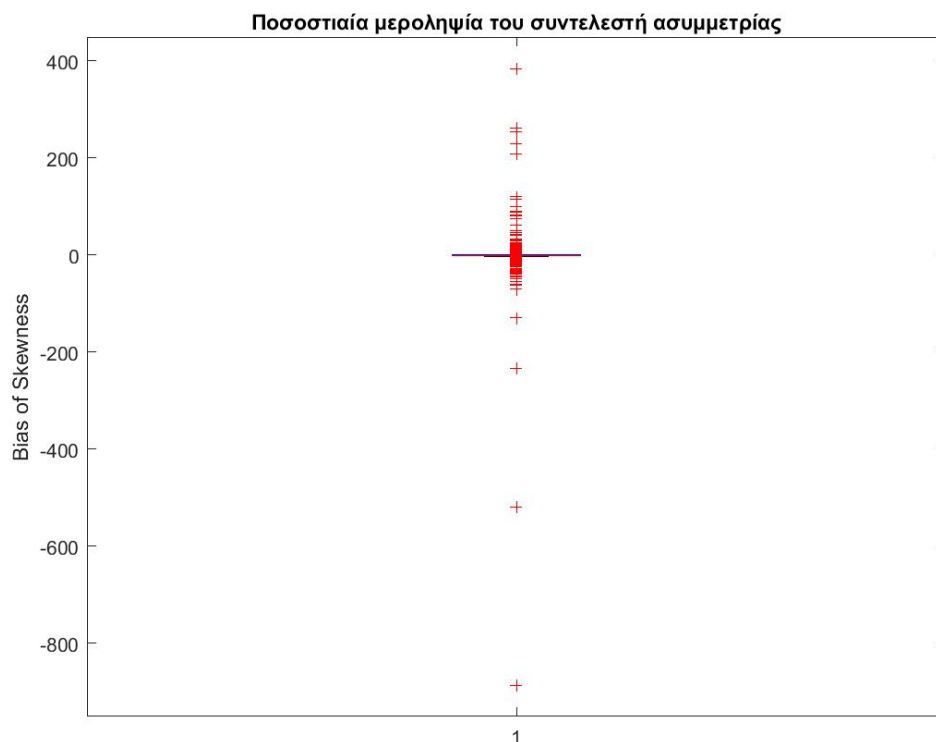
## Μεροληψία των τυπικών αποκλίσεων



**Σχήμα 4.33** Βοχπλοττης μεροληψίας των τυπικών αποκλίσεων

Η μεροληψία της τυπικής απόκλισης, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.33, φαίνεται να ακολουθεί μια αρνητικά ασύμμετρη κατανομή με μεγάλη κυρτότητα και διάμεσο  $-0,5$ , άνω απόληξη το  $0,5$  και κάτω απόληξη το  $-3$ . Παρατηρείται μια συγκέντρωση ακραίων τιμών στην κλάση  $[-3, -10]$ , ενώ μέγιστη μεροληψία είναι το  $0,5$  και ελάχιστη το  $-64$ . Το 50% των σταθμών παρουσιάζει μεροληψία μικρότερη του  $-0,5$ , ενώ το 75% έχει Bias μικρότερο του  $0$ . Τέλος, το 25% παρουσιάζει μεροληψία μικρότερη του  $-2$ .

## Μεροληψία των συντελεστών ασυμμετρίας

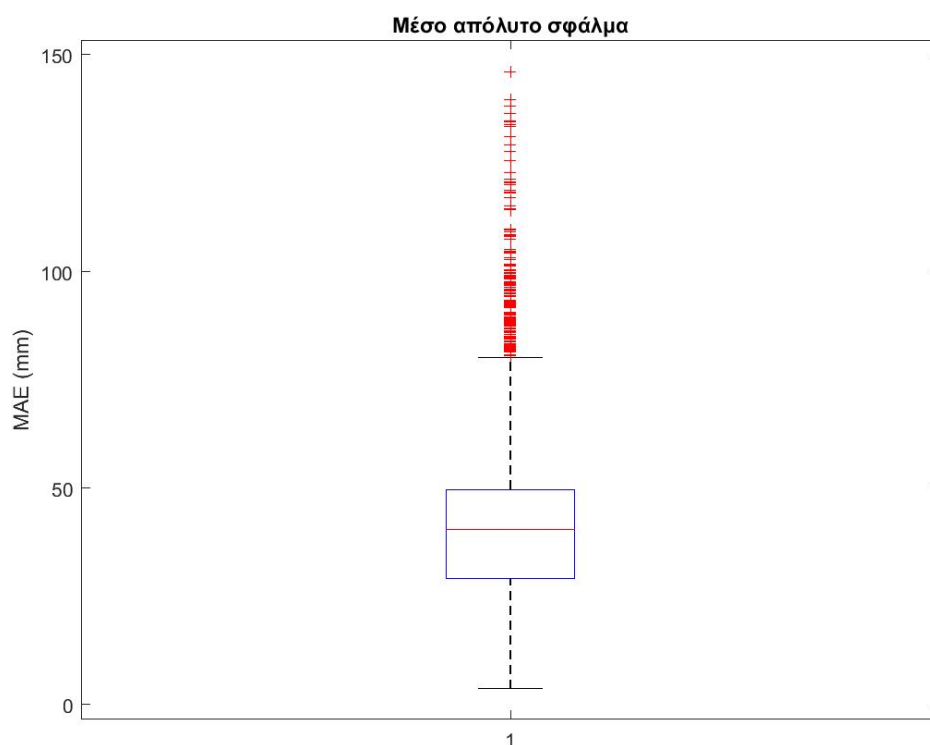


**Σχήμα 4.34** Boxplot της μεροληψίας των συντελεστών ασυμμετρίας

Όπως παρατηρείται από το Σχήμα 4.34, η μεροληψία των συντελεστών ασυμμετρίας ακολουθεί κατανομή με πολύ μεγάλη κυρτότητα με διάμεσο-μέση τιμή περίπου στο 0. Η άνω απόληξη της κατανομής φαίνεται να βρίσκεται πολύ κοντά στην κάτω απόληξη και γύρω από την τιμή 0. Πολύ μεγάλο ποσοστό των περιπτώσεων συγκεντρώνεται στη γειτονία του μηδέν.

Γενικά, οι συντελεστές ασυμμετρίας των επίγειων και των δορυφορικών δεδομένων φαίνεται να ακολουθούν παρόμοιες κατανομές, γι' αυτό βλέπουμε μία συγκέντρωση τιμών στη γειτονία του μηδενός. Το παραπάνω συμπέρασμα είναι απολύτως λογικό αν αναλογιστεί κανείς την τεράστια κυρτότητα που παρουσιάζει η κατανομή της μεροληψίας του συντελεστή ασυμμετρίας καθώς και τις ευτελισμένες άνω και κάτω απολήξεις της κατανομής.

## Μέσο απόλυτο σφάλμα

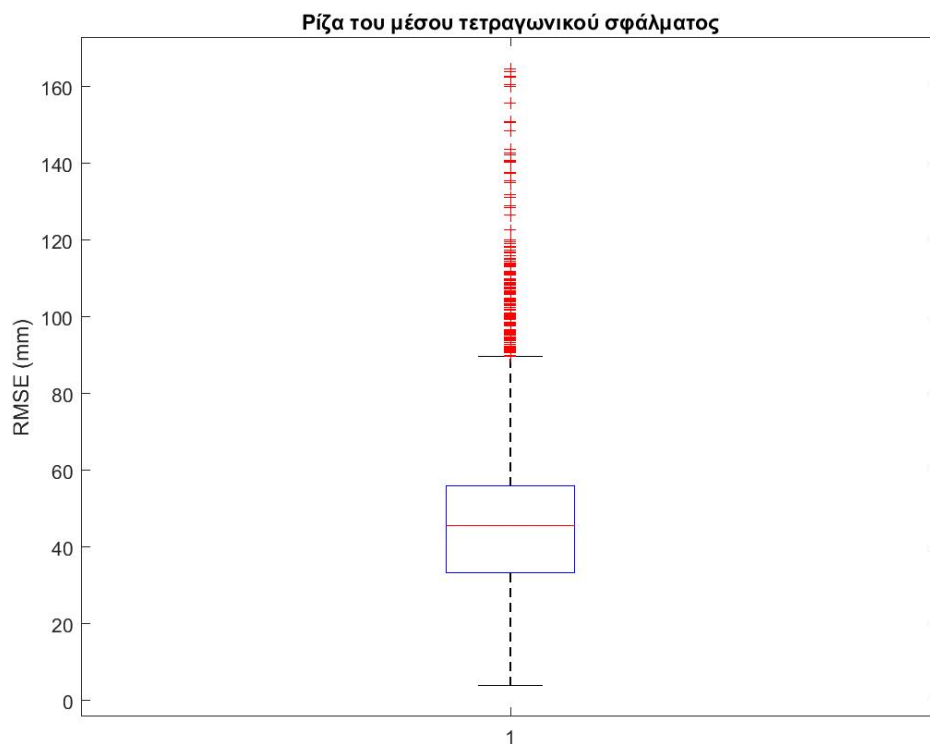


**Σχήμα 4.35** Βοξπλοττου μέσου απόλυτου σφάλματος

Το μέσο απόλυτο σφάλμα, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.35, φαίνεται να ακολουθεί μια ελαφρώς θετικά ασύμμετρη κατανομή με διάμεσο 40 mm, άνω απόληξη τα 75 mm και κάτω απόληξη τα 10 mm. Παρατηρείται μια συγκέντρωση ακραίων τιμών στην κλάση [75mm,100mm] ενώ μέγιστο σφάλμα είναι τα 145mm και ελάχιστη τα 10mm. Το 50% των σταθμών παρουσιάζει σφάλμα μικρότερο των 40mm, ενώ το 75% έχει MAE μικρότερο των 48 mm. Τέλος, το 25% παρουσιάζει σφάλμα μικρότερο των 30mm.

Όπως συμβαίνει στην περίπτωση της μεροληψίας των μέσων τιμών, έτσι κι εδώ η εικόνα που παρουσιάζουν τα μέγιστα δορυφορικά σε σύγκριση με τα αντίστοιχα επίγεια δεδομένα φαίνεται να είναι αποθαρρυντική. Το MAE κυμαίνεται σε πολύ υψηλές τιμές, όπως φαίνεται και παραπάνω, γεγονός που δείχνει την αδυναμία του δορυφόρου να προσομοιώσει επαρκώς τα ακραία φαινόμενα.

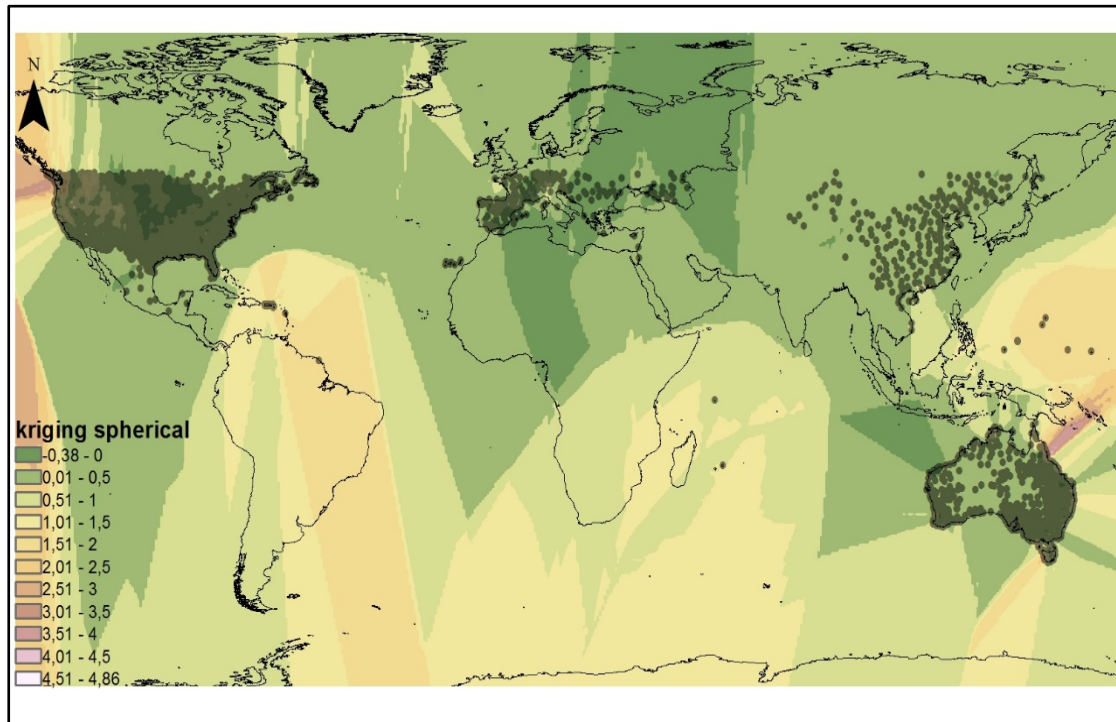
## Ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος



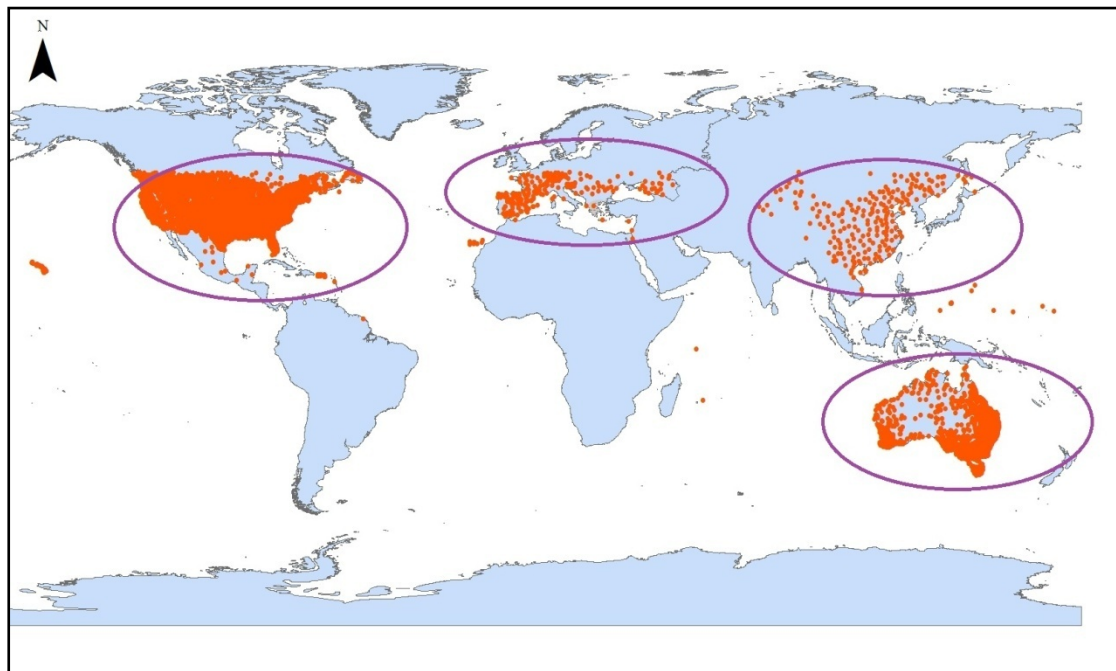
**Σχήμα 4.36**Boxplot του RMSE

Από το Σχήμα 4.36, που φαίνεται παραπάνω, παρατηρούμε ότι το 25% των σταθμών έχει RMSE μικρότερο των 35mm, ενώ το 50% βρίσκεται κάτω από τα 50mm. Επίσης το 25% των παρατηρήσεων ανήκει στην κλάση [50mm,58mm] καθώς το υπόλοιπο 25% παρατηρείται υψηλότερα από τα 58mm. Η άνω απόληξη της κατανομής βρίσκεται στα 90mm, ενώ η κάτω απόληξη στα 10mm. Τέλος, η μέγιστη τιμή του RMSE είναι περίπου 170mm, ενώ παρατηρείται μια συγκέντρωση ακραίων τιμών στην κλάση [90mm,120mm].

#### 4.1.4 Χωρική κατανομή της μεροληψίας των μέσων τιμών σε επίπεδο χρονοσειράς



Χάρτης 4.1 Χωρική μεροληψία των μέσων τιμών σε παγκόσμια κλίμακα

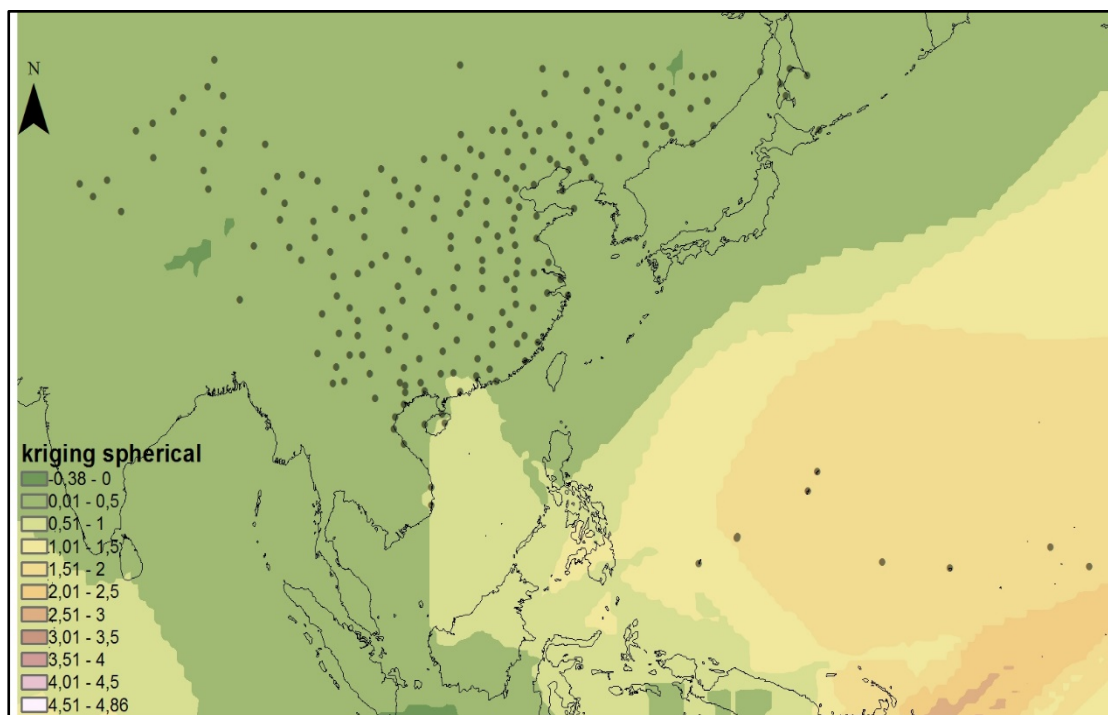


Χάρτης 4.2 Ζώνες εφαρμογής της μεθόδου Kriging

Από τον Χάρτη 4.1, ο οποίος παρουσιάζεται παραπάνω, γίνεται φανερό ότι η χωρική μεροληψία πρέπει να περιοριστεί στις περιοχές που συγκεντρώνονται οι σταθμοί και όχι σε παγκόσμια κλίμακα. Έτσι, διαμορφώνονται τέσσερις ζώνες μελέτης και πιο συγκεκριμένα, της Αμερικής, της Ευρώπης, της Δυτικής Ασίας και της Αυστραλίας (Χάρτης 4.2).

Σε γενικές γραμμές, η παραπάνω χωροθέτηση της μεροληψίας δημιουργεί τεράστιο υπολογιστικό όγκο ο οποίος ξεπερνά τα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Η κατάρτιση χαρτών κατά αυτόν τον τρόπο, απαιτεί την επιλογή-δοκιμή χειροκίνητα πολλών παραμέτρων ώστε να βρεθεί ο βέλτιστος τρόπος έκφρασης του δεδομένου σφάλματος.

Ενδεικτικά παρουσιάζεται παρακάτω στον Χάρτη 4.3 η χωρική μεροληψία για την περιοχή της Δυτικής Ασίας μέσω του σφαιρικού μοντέλου και με την επιλογή δώδεκα σημείων εντός της ακτίνας επιρροής.



**Χάρτης 4.3.**Χωρική μεροληψία των μέσων τιμών για την περιοχή της Δ. Ασίας





## 5. Συμπεράσματα

Στην παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε η σύγκριση των βροχομετρικών δορυφορικών δεδομένων 3B42 V7 με τις αντίστοιχες επίγειες μετρήσεις της βάσης δεδομένων του NOAA. Τα δορυφορικά δεδομένα αποτελούν επιφάνειες βροχόπτωσης  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  που έχουν προκύψει από την επεξεργασία των μικροκυματικών και υπέρυθρων μετρήσεων του δορυφόρου TRMM, σε συνδυασμό με μετρήσεις άλλων δορυφόρων, και έχουν διορθωθεί βάσει μηνιαίων επίγειων μετρήσεων. Τα 3B42 V7 δίνουν εκτιμήσεις αθροιστικής βροχόπτωσης για κάθε ημέρα. Η χρονική περίοδος που εξετάστηκε είναι από 1 Ιανουαρίου του 1998 έως 31 Δεκεμβρίου του 2015, ενώ η περιοχή μελέτης εκτείνεται από βόρειο γεωγραφικό πλάτος  $50^\circ$  έως  $50^\circ$  νότιο και δυτικό γεωγραφικό μήκος  $180^\circ$  έως  $180^\circ$  ανατολικό. Η σύγκριση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε ημερήσια κλίμακα.

Τα επίγεια δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προκύπτουν από τους 100000 σταθμούς της βάσης δεδομένων του Αμερικάνικου Εθνικού Οργανισμού Ωκεανών και Ατμόσφαιρας-NOAA. Από το σύνολο των παραπάνω σταθμών επιλέχθηκαν τελικά 8345 με τα εξής κριτήρια:

- Οι πληροφορίες βροχομετρικών δεδομένων να καλύπτουν την χρονική περίοδο από το 1998 μέχρι το 2015.
- Από την παραπάνω χρονική περίοδο των 18 χρόνων να υπάρχουν πληροφορίες για 15 χρόνια τουλάχιστον.
- Για τις χρονολογίες που πληρούν τα παραπάνω κριτήρια, θα πρέπει για κάθε χρόνο ξεχωριστά να υπάρχουν βροχομετρικά στοιχεία για 310 ημέρες (περίπου 85% του χρόνου) τουλάχιστον. Το συγκεκριμένο κριτήριο εξασφαλίζει ότι δεν λείπουν παραπάνω από δύο μήνες, γεγονός που, αν επιτρεπόταν, μπορεί να οδηγούσε σε λάθος συμπεράσματα καθώς η έλλειψη μιας ολόκληρης εποχής (τρεις μήνες) ή τριών βροχερών μηνών θα υποεκτιμούσε κατά πολύ τις μέγιστες ετήσιες βροχοπτώσεις.
- Οι σταθμοί να βρίσκονται εντός της περιοχής των  $50^\circ\text{N}$  έως  $50^\circ\text{S}$  και  $180^\circ\text{W}$  έως  $180^\circ\text{E}$  ώστε να είναι δυνατή η αντιστοίχιση τους με τα δορυφορικά δεδομένα τα οποία καλύπτουν την παραπάνω περιοχή.

Η σύγκριση των 3B42 V7 με τα δεδομένα της βάσης του NOAA πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια. Αρχικά, έγινε η στατιστική τους ανάλυση σε επίπεδο χρονοσειράς καθώς επίσης και σε επίπεδο ετήσιων μεγίστων για τα δορυφορικά και για τα επίγεια δεδομένα και στη συνέχεια μελετήθηκε η χωρική κατανομή του σφάλματος σε επίπεδο χρονοσειράς με την δημιουργία επιφανειών μεροληψίας μέσω της μεθόδου Kriging.

Από τη στατιστική ανάλυση των μεγίστων προκύπτει ότι τα δορυφορικά δεδομένα αδυνατούν να προσομοιώσουν επαρκώς την πραγματική βροχή που καταγράφηκε επίγεια. Αναλυτικότερα, οι δορυφορικές εκτιμήσεις παρουσιάζουν μόνιμα μεγάλα

ποσοστά υποεκτίμησης της μέγιστης βροχόπτωσης όπως φάνηκε και στο κεφάλαιο 4. Όμως, ακόμα μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι μέγιστες δορυφορικές εκτιμήσεις συμπίπτουν χρονικά, με απόκλιση  $\pm 1$  ημέρας, με τις αντίστοιχες επίγειες στο 10% των περιπτώσεων, το οποίο αποτελεί ένα πολύ χαμηλό ποσοστό. Αυτό σημαίνει πρακτικά ότι μόνο οι 15946 παρατηρήσεις μεγίστων στο σύνολο των 150210 παρουσιάζουν ομοφωνία ως προς τον συγχρονισμό τους. Η παραπάνω ασυμφωνία στην εμφάνιση ακραίων φαινομένων είναι στην ίδια κατεύθυνση με προηγούμενες μελέτες ( Παπαθεοδοσίου 2011), γεγονός που υποδηλώνει ότι δεν έχει επέλθει κάποια ουσιαστική βελτίωση στον αλγόριθμο παραγωγής των δορυφορικών παρατηρήσεων από το 2011 μέχρι σήμερα.

Όσον αφορά στη σύγκριση σε επίπεδο χρονοσειράς, τα αποτελέσματα είναι κάπως πιο ενθαρρυντικά σε σχέση με αυτά των ακραίων φαινομένων. Συγκεκριμένα, το 75,24% των περιπτώσεων παρουσιάζει ποσοστιαία μεροληψία μικρότερη του 20%. Παρόλα αυτά, τα boxplot της μέσης τιμής των δορυφορικών και των επίγειων δεδομένων δείχνουν την αδυναμία του TRMM να εντοπίσει και να καταγράψει το μέγεθος και την συχνότητα των ακραίων φαινομένων αφού οι παρατηρήσεις έξω από την περιοχή των απολήξεων είναι εμφανώς πολύ περισσότερες για τους επίγειους σταθμούς.

Ο συντελεστής ετεροσυσχέτισης παρουσιάζει, κατά κύριο λόγο, πολύ χαμηλές τιμές και πιο αναλυτικά ξεπερνά την τιμή 0,5 μόνο στο 33,9% των περιπτώσεων. Η παραπάνω παρατήρηση είναι σημαντική διότι υποδηλώνει ότι δεν υπάρχει ταυτόχρονη άνοδος ή κάθοδος των μεγεθών. Ας μην ξεχνάμε ότι επειδή εξετάζουμε χρονοσειρές ημερησίων τιμών έχουμε πάρα πολλά μηδενικά που είναι και ο κύριος λόγος που ο συντελεστής R φτάνει το 0,5. Παλαιότερες μελέτες σε μικρότερη χρονική κλίμακα (Αλεξοπούλου 2010, Παπαθεοδοσίου 2011) έχουν δείξει ότι ο συντελεστής ετεροσυσχέτισης μπορεί να λάβει ακόμα μικρότερες τιμές που πολλές φορές δεν ξεπερνούν το 0,15.

Το μέσο απόλυτο σφάλμα και η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος παρουσιάζουν επίσης υψηλές τιμές γεγονός που συνηγορεί ότι ο δορυφόρος υποεκτιμά τη βροχόπτωση σε συστηματική βάση. Το 56,5% των περιπτώσεων παρουσιάζει MAE στην κλάση [2mm,4mm], ενώ το 61,4% έχει RMSE από 5mm έως 10mm. Τέλος, η αποδοτικότητα στο μεγαλύτερο ποσοστό των περιπτώσεων είναι αρνητική, το οποίο σημαίνει ότι ο απλός μέσος όρος είναι πολύ καλύτερη εκτιμήτρια συγκριτικά με τον σταθμισμένο, μέσω της μεθόδου modified BLUE ( συμφωνία με την μελέτη Παπαθεοδοσίου 2011).

Τα αποτελέσματα μελετών σε μεγαλύτερες κλίμακες (Αλεξοπούλου 2010), δείχνουν ότι σε μηνιαία κλίμακα και πάνω τα δορυφορικά δεδομένα δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αυτό συμβαίνει λόγω διορθώσεων που γίνονται στα δορυφορικά δεδομένα με βάση επίγεια σε μεγάλες κλίμακες (κυρίως μηνιαία) και μετά με επιμερισμό έχουμε διορθωμένα δορυφορικά δεδομένα σε μικρές κλίμακες. Τα μη

διορθωμένα δορυφορικά δεδομένα, δεν είναι καθόλου ικανοποιητικά όπως έχουν δείξει και παλαιότερες μελέτες ( Αλεξοπούλου 2010, Παπαθεοδοσίου 2011, Φωτόπουλος 2011). Το γεγονός ότι η αξιοπιστία των δορυφορικών δεδομένων είναι πλήρως συνυφασμένη με διορθώσεις από επίγεια στοιχεία δείχνει πως η αξία των επίγειων μετρήσεων είναι θεμελιώδης ειδικά στην εκτίμηση φαινομένων μεγάλης μεταβλητότητας, όπως τα ακραία επεισόδια κατακρήμνισης.

Σε γενικές γραμμές, ο δορυφόρος TRMM φαίνεται να αδυνατεί να προσομοιώσει μια ρεαλιστική εικόνα των βροχοπτώσεων σε μικρή χρονική κλίμακα. Παρόλα αυτά, δεν πρέπει να αμελήσουμε την αντικειμενική δυσκολία των ραντάρ να καταγράψουν μια σημειακή μεταβλητή όπως η βροχή. Παλαιότερες έρευνες καθώς και επιστημονικές εφαρμογές έχουν αποδείξει έμπρακτα ότι όταν πρόκειται για χωρικές μεταβλητές, όπως η θερμοκρασία και η εξάτμιση, τα ραντάρ δίνουν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Επιπλέον, η έλλειψη βροχομετρικής πληροφορίας για την θαλάσσια επιφάνεια καθιστά σημαντική την λειτουργία δορυφορικών οργάνων για την καταγραφή ακραίων επεισοδίων. Τέλος, σε περιοχές με αναπτυσσόμενη οικονομία (π.χ. Αφρική), όπου τα καθημερινά κοινωνικά και κυρίως ανθρώπινα προβλήματα υποδεικνύουν, δικαίως, την κατεύθυνση επένδυσης των οικονομικών πόρων, η χρήση των δορυφορικών δεδομένων δεν είναι μόνο αναγκαία αλλά αποτελεί ίσως και τον μοναδικό τρόπο απόσπασης της συγκεκριμένης υδρολογικής πληροφορίας.

Συνοψίζοντας, τα δορυφορικά δεδομένα αποτελούν μια νέα μέθοδο εξαγωγής μετεωρολογικών και υδρολογικών πληροφοριών. Οι μελέτες που έχουν γίνει έως τώρα, συνιστούν ομόφωνα πως παρουσιάζεται μια αδυναμία σε αυτό το εγχείρημα να πλησιάσει ικανοποιητικά τις επίγειες μετρήσεις. Χρειάζεται σημαντική βελτίωση των αλγορίθμων υπολογισμού ώστε να χρησιμοποιηθούν σε υδρολογικά θέματα, όπως τον υδρολογικό και αντιπλημμυρικό σχεδιασμό, όπου, στην παρούσα φάση, η συνεισφορά τους μπορεί να είναι μόνο επικουρική και σε περιπτώσεις παντελούς έλλειψης αξιόπιστων επίγειων μετρήσεων.

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας προσφέρουν μια πιο σφαιρική ματιά σχετικά με την αξιοπιστία των δορυφορικών εκτιμήσεων και σίγουρα απαιτούνται πιο αναλυτικές και εις βάθος μελέτες ώστε να εντοπιστούν τυχόν σφάλματα με στόχο την βελτίωση των δορυφορικών προϊόντων. Παρόλα αυτά, εγείρονται ερωτήματα που αφορούν στην φερεγγυότητα των δεδομένων GPCC (επίγεια ραντάρ), τα οποία χρησιμοποιούνται εξ αρχής στον αλγόριθμο παραγωγής των προϊόντων 3B42 και πιθανότατα να μεταφέρουν κάποιο σφάλμα στο τελικό αποτέλεσμα. Εν τέλει, οι επίγειοι σταθμοί, λόγω του χαμηλού κόστους λειτουργίας και συντήρησης σε συνδυασμό με την αυξημένη αξιοπιστία που παρουσιάζουν, θα διαδραματίζουν πάντα καταλυτικό ρόλο στην αποτελεσματική διαχείριση των υδατικών πόρων.



## Βιβλιογραφικές αναφορές

1. Αλεξοπούλου Α., *Αξιολόγηση δορυφορικών βροχομετρικών δεδομένων στην Ελλάδα*, Μεταπτυχιακή εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2010.
2. Κουτσογιάννης Δ., *Στατιστική Υδρολογία*, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Έκδοση 3, 1996.
3. Μαμάσης Ν., Χ. Παπαθανασίου, *Σημειώσεις Προχωρημένης Υδρολογίας*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2009 .
4. Μαμάσης Ν., *Σημειώσεις Προχωρημένης Υδρολογίας, Εισαγωγή στη Γεωστατιστική*, Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2007 .
5. Μαμάσης Ν., *Σημειώσεις Προχωρημένης Υδρολογίας, Κατακρημνίσματα και χωρική μεταβλητότητα τους*, Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2006.
6. Παπαθεοδοσίου Μ., *Αξιολόγηση δορυφορικών προϊόντων βροχόπτωσης σε λεπτή χρονική κλίμακα*, Μεταπτυχιακή εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2011.
7. Τσακνιάς Δ., *Στατιστική Σύγκριση Ακραίων Παρατηρημένων Θερμοκρασιών και Βροχοπτώσεων με Αποτελέσματα Κλιματικών Μοντέλων*, Διπλωματική Εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2011.
8. Φωτόπουλος Φ., *Πρόγνωση Πλημμυρών σε Επίπεδο Λεκάνης Απορροής με Χρήση Δορυφορικών Μετρήσεων Κατακρήμισης, Η Περίπτωση του Έβρου*, Διδακτορική Διατριβή, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2011
9. Adler R. F., Huffman G. J., Bolvin D. T., Curtis S., Nelkin E. J., *Tropical Rainfall Distributions Determined Using TRMM Combined with Other Satellite and Rain Gauge Information*, Journal of Applied Meteorology, Volume 39, pp2007-2023, 2000.
10. Anagnostopoulos G. G., Koutsoyiannis D., Christofides A., Efstratiadis A., Mamassis N., *A Comparison of Local and Aggregated Climate Model*

- Outputs with Observed Data*, Hydrological Sciences Journal, 55 (7), 1094–1110, 2010.
11. Asadullah A., McIntyre n., Kigobe M., *Evaluation of five satellite products forestimation of rainfall over Uganda*, Hydrological Sciences Journal, 53: 6, 1137-1150, 2008.
  12. Bitew M. M., Gebremichael M., *Are Satellite-Gauge Rainfall Products Better than Satellite-Only Products for Nile Hydrology*, from the Book by Melesse A.M., Nile River Basin, Hydrology, Climate and Water Use, Springer, 2010.
  13. Chen M., Xie P., *A Global Daily Gauge-Based Precipitation Analysis, Part I: Assessing Objective Techniques*, Proc. 32nd Annual Climate Diagnostics and Prediction Workshop, Tallahassee, FL, USA, 22-26 October, 2007.
  14. Chen M., Xie P., and Co-Authors, *CPC Unified Gauge-based Analysis of Global Daily Precipitation*, Western Pacific Geophysics Meeting, Cairns, Australia, 29 July - 1 August, 2008.
  15. Chokngamwong R., Chiu L., *Thailand Daily Rainfall and Comparison with TRMM Products*, Journal of Hydrometeorology 9(2):256–266, 2008
  16. Chokngamwong R., Chiu L., *TRMM and Thailand Daily Gauge Rainfall Comparison*, 20th Conference of Hydrology, American Meteorological Society, 2006.
  17. Chow V. T., Maidment D. R., Mays L. W., *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, 1988.
  18. DeMoss J., Bowman K., *Changes in TRMM Rainfall due to the Orbit Boost Estimated from Buoy Rain Gauge Data*, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 24, 1598-1607, 2007
  19. Dinku T., Ceccato P., Grover-Kopec E., Lemma M., Connor S. J., Ropelewski C. F., *Validation of satellite rainfall products over East Africa's complex topography*, International Journal of Remote Sensing, Vol 28, No 7, 1503–1526, 2007.
  20. Dinku T., Chidzambwa S., Ceccato P., Connor S. J., Ropelewski C. F., *Validation of high-resolution satellite rainfall products over complex terrain*, International Journal of Remote Sensing, Vol 29, No 14, 4097–4110, 2008.
  21. Dinku T., Connor S. J., Ceccato P., *Comparison of CMORPH and TRMM-3B42 over Mountainous Regions of Africa and South America*, from the Book by Gebremichael M., Hossain F., *Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology*, Springer, 2010 (a).
  22. Dinku T., Connor S. J., Ceccato P., *Evaluation of Satellite Rainfall Estimates and Gridded Rain Gauge Products over the Upper Nile Region*, from the Book

- by Melesse A. M., Nile River Basin, Hydrology, Climate and Water Use, Springer, 2010 (b).
23. Endreny T. A., Imbeah N., *Generating Robust Rainfall Intensity–Duration–Frequency Estimates with Short-Record Satellite Data*, Journal of Hydrology, 371, 182–191, 2009.
  24. Enright L., *Low-Cost Re-Architecting of NASA's TRMM Mission Control Center*, Proc. Ground System Architectures Workshops, Manhattan Beach CA, 2004.
  25. Everett D., *GPM Satellites, Orbits and Coverages*, Goddard Space Flight Center, MD, USA, 2001
  26. Feidas H., *Validation of Satellite Products over Greece*, Springer-Verlag, Theor Appl Climatol 99:193–216, 2010
  27. Fotopoulos F., Makropoulos C. Mimikou M. A., *Validation of Satellite Rainfall Products for Operational Flood Forecasting: The Case of the Evros Catchment*, Theor. Appl. Climatol., Springer-Verlag, 2010.
  28. Funk C., Ederer G., Pedreros D., *The Tropical Rainfall Monitoring Mission*, UCSB Climate Hazard Group, NASA, 2008.
  29. GEWEX, Global Energy and Water Cycle Experiment, *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Data are Improving Our Understanding of the Global Energy and Water Cycle*, WCRP, Water Climate Research Programme, Vol 18, No 2, May 2008.
  30. Gu H., Yu Z., Yang C., Ju Q., Lu B, Liang C., *Hydrological assessment of TRMM rainfall data over Yangtze River Basin*, Water Science and Engineering, 3(4): 418-430, 2010.
  31. Habib E. H., Haile A., Elsaadani M., Elshamy M. E., Amin D.,
  32. Kuligowski R. J., *Evaluation of High-Resolution Satellite Rainfall Products over the Nile Basin for Climatologic and Hydrologic Applications*, American Geophysical Union, 2010.
  33. Haddad Z. S., Smith E. A., Kummerow C. D., Iguchi T., Farrar M. R., Burden S. L., Alves M., Olson W. S., *The TRMM "Day-1" Radar/Radiometer Combined Rain-Profiling Algorithm*, J. Meteor. Soc. Japan, 75, 799-809, 1997
  34. Han W. S., Burian S. J., Shepherd M. J., *Assessment of Satellite-Based Rainfall Estimates in Urban Areas in Different Geographic and Climatic Regions*, Nat Hazards 56:733–747, Springer, 2011.
  35. Hazarika M. K., Kafle T. P., Sharma R., Karki S., Shrestha R. M., Samarkoon L., *Statistical Approach to Discharge Prediction for Flood Forecasts Using TRMM Data*, Proceedings of the 5th Annual Mekong Flood Forum, Ho Chi Minh City, Vietnam, May 17-18, 2007.

36. Hillier A., *ArcGIS 9.3 Manual*, University of Pennsylvania, 2007  
[http://works.bepress.com/amy\\_hillier/17/](http://works.bepress.com/amy_hillier/17/)
37. Huffman G. J., *Accessing Experimental Real-Time TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA-RT) Data Sets*, GoddardSpace Flight Center, NASA, 2011.
38. Huffman G. J., Adler R. F., Bolvin D. T., Gu G., Nelkin E. J., Bowman K. P., Hong Y., Stocker E. F., Wolff D. B., *The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis: Quasi-Global, Multi-Year, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scale*, *Journal of Hydrometeorology* 8:38–55, 2007.
39. Huffman G. J., Adler R. F., Bolvin D. T., Gu G., Nelkin E. J., *The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA)*, *Satellite Applications for Surface Hydrology*, Springer-Verlag, Edition XIII, 2010
40. Huffman G. J., Bolvin D. T., *TRMM and Other Data Precipitation Data Set Documentation*, GoddardSpace Flight Center, NASA, 2011.
41. Huffman G. J., *IPWG Algorithm Documentation for 3B42RT*, NASA, 2009
42. Javanmard S., Yatagai A., Nodzu M. I., BodaghJamali J., Kawamoto H., *Comparing Highresolution Gridded Precipitation Data with Satellite Rainfall Estimates of TRMM 3B42 over Iran*, *Advances in Geosciences*, 25, 119–125, 2010
43. JAXA, Japan Aerospace Exploration Agency, 2011  
([http://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/index\\_e.htm](http://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/index_e.htm))
44. Jiang S., Ren L., Yong B., Yang X., Shi L., *Evaluation of High-Resolution Satellite Precipitation Products with Surface Rain Gauge Observations from Laohahe Basin in Northern China*, *Water Science and Engineering*, 3(4): 405-417, 2010.
45. JMA, Japan Meteorological Agency, Meteorological Satellite Center (MSC), 2011 (<http://mscweb.kishou.go.jp/>)
46. Katsanos D., Lagouvardos K., Kotroni V., Huffman G.J., *Statistical Evaluation of MPA-RT High-Resolution Precipitation Estimates from Satellite Platforms over the Central and Eastern Mediterranean*, *Geophysical Research Letters*, 31, L06116, 2004
47. Koo M. S., Hong Y. S., Kim J. An Evaluation of the TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis Data over south Korea, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 45, p. 265-282, 2009.
48. Koutsoyiannis D, Langousis A., *Precipitation*, *Treatise on Water Science* by Peter Wilderer vol. 2, pp. 27–78 Oxford: Academic Press, 2011.
49. Koutsoyiannis D., *A Random Walk on Water*, *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 585–601, 2010.



50. Koutsoyiannis D., Efstratiadis A., Mamassis N., Christofides A., *On the Credibility of Climate Predictions*, IAHS Press, Hydrological Sciences 53(4), 2008
51. Koutsoyiannis D., *Hydrologic Persistence and the Hurst Phenomenon*, Water Encyclopedia, Vol. 4, Surface and Agricultural Water, edited by Lehr J. H. and Keeley J., 210–221, Wiley, New York, 2005.
52. Koutsoyiannis D., *Rainfall Disaggregation Methods: Theory and Applications*, Workshop on Statistical and Mathematical Methods for Hydrological Analysis, Rome, 2003.
53. Koutsoyiannis D., *Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: II. Empirical investigation of long rainfall records*, Hydrological Sciences Journal, 49 (4), 591–610, 2004.
54. Kummerow C., Barnes W., Kozu T., Shiue J., Simpson J., *The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package*, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 15, 809–817, 1998.
55. Kummerow C., Simpson J., Thiele O., Barnes W., Chang A.T.C., Stocker E., Adler R. F., Hou A., Kakar R., Wentz F., Ashcroft P., Kozu T., Hong Y., Okamoto K., Iguchi T., Kuroiwa H., Im E., Haddad Z., Huffman G., Ferrier B., Olson W. S., Zipser E., Smith E. A., Wilhelm T. T., North G., Krishnamurti T., Nakamura K., *The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit*, Journal of Applied Meteorology, 39, 1965-1982, 2000.
56. Lee R. B., Priestley K. J., Green R. N., *Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES), Validation Plan*, CERES VAL Subsystem 1.0 - Geolocate and Calibrate, Release 4, 2000
57. Li L., Hong Y., Wang J., Adler R. F., Policelli F. S., Habib S., Irwin D., Korme T., Okello L., *Evaluation of the real-time TRMM-based multi-satellite precipitation analysis for an operational flood predictions system in Nzoia Basin, Lake Victoria, Africa*, Nat Hazards, Springer, 2008.
58. Linsley R. K., Kohler M. A., Paulhus J. L. H., *Hydrology for Engineers*, McGraw-Hill, 1975.
59. Liu J. F., Chen R. S., Han C. T., Tan C. P., *Evaluating TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis Using Gauge Precipitation and MODIS Snow-Cover Products*, Advances in Water Science, Vol 21, no. 3, pp. 343-348, 2010.
60. Mamassis N., Koutsoyiannis D., *Influence of Atmospheric Circulation Types on Space-Time Distribution of Intense Rainfall*, Journal of Geophysical Research, Vol 101, No D21, pp 26,267-26,276, 1996.

61. Minnis P., Trepte Q., *Cloud Detection in Nonpolar Regions for CERES Using TRMM VIRS and Terra and Aqua MODIS Data*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 46(11), 3857-3884, 2008
62. Moriasi D. N., Arnold J. G., Van Liew M. W., Bingner R. L., Harmel R. D., Veith T. L., *Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations*, American Society of Agricultural and Biological Engineers, Vol. 50(3): 885–900, 2007.
63. Nair S., Srinivasan G., Nemani R., *Evaluation of Multi-Satellite TRMM Derived Rainfall Estimates over a Western State of India*, Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol 87, No 6, pp. 927-939, 2009.
64. NASA, Mission Profile, *Earth Science Mission Profile 1997-2023*, NASA, 2011.
65. NASA, National Aeronautics and Space Administration, 3B42 Algorithm, 2011 (<http://trmm.gsfc.nasa.gov/3b42.html>)
66. NASA, National Aeronautics and Space Administration, CERES, 2011 (<http://ceres.larc.nasa.gov/>)
67. NASA, National Aeronautics and Space Administration, TRMM Instruments, 2011 ([http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation/additional/instruments/instrument\\_trmm.shtml](http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation/additional/instruments/instrument_trmm.shtml))
68. NASA, National Aeronautics and Space Administration, TRMM, 2011 (<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>)
69. NASA, TSDIS, TRMM Science Data and Information System, *File Specifications for TRMM Products - Level 2 and Level 3*, Vol 4, Release 5.22, NASA, 2005
70. NASA, TSDIS, TRMM Science Data and Information System, *File Specifications for TRMM Products - Level 2 and Level 3*, Vol 4, Release 6.1, NASA, 2011.
71. Nicholson S. E., Some B., McCollum J., Nelkin E., Klotter D., Berte Y., Diallo B. M., Gaye I., Kpabeba G., Ndiaye O., Noukpozoukou J. N., Tanu M. M., Thiam A., Toure A. A., Traore A. K., *Validation of TRMM and Other Rainfall Estimates with a High-Density Gauge Dataset for West Africa. Part II: Validation of TRMM Rainfall Products*, Journal of Applied Meteorology, Vol 42, pp 1355-1368, American Meteorological Society, 2003
72. NSDAOJ, National Space Development agency Of Japan, *TRMM Data Users Handbook*, Earth Observation Center, Saitama, Japan, 2001
73. Oke A.M.C., Frost A. J., Beesley C. A., *The Use of TRMM Satellite Data as a Predictor in the Spatial Interpolation of Daily Precipitation over Australia*, 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia, 13-17 July, 2009.

74. Parkinson C., Ward A., King M., *Tropical Rainfall Measuring Mission*, Earth Science Reference Handbook, 243-255, 2006.
75. Pessi A., Businger S., *Relationships between Lightning, Precipitation and Hydrometeor Characteristics over the North Pacific Ocean*, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 48, 833-848, 2009
76. Petersen W. A., Christian H. J., Rutledge S. A., *TRMM Observations of the Global Relationship between Ice Water Content and Lightning*, Geophysical Research Letters, 32, No 14, 2005
77. Romilly T. G., Gebremichael M., *Evaluation of satellite rainfall estimates over Ethiopian river basins*, Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 7, 7669–7694, 2010.
78. Sandoval G. M. R., *Spatial and Temporal Rainfall Gauge Data Analysis and Validation with TRMM Microwave Radiometer Surface Rainfall Retrievals*, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands, 2007
79. Santos C. M., Ribeiro S., Gielow R., Santana S., *Evaluation of High-Resolution Precipitation Estimate over the Amazon Basin*, Atmospheric Science Letters, 10:273–278, 2009.
80. Schneider U., Fuchs T., Meyer-Christoffer A., Rudolf B., *Global precipitation products of the Global Precipitation Centre (GPCC)*, Deutscher Wetterdienst, Offenbach, Germany, 2008.
81. Su F., Hong Y., Lettenmaier D. P., *Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and Its Utility in Hydrologic Prediction in the La Plata Basin*, Journal of Hydrometeorology, Vol 9, 2008.
82. Tian Y., Peters-Lidard C. D., Choudhuri B. J., Garcia M., *Multitemporal Analysis of TRMM-Based Satellite Precipitation Products for Land Data Assimilation Applications*, Journal of Hydrometeorology, Vol 8, 2007.
83. Tian Y., Peters-Lidard C. D., Garcia M., Kumar S. V., *Evaluation of TRMM-Based Precipitation Products in the Southeast U. S. and Their Impact on Hydrological Modeling*, American Geophysical Union, 2006.
84. Tsaknias D., Bouziotas D., Christofides A., Efstratiadis A., Koutsoyiannis D., *Statistical Comparison of Observed Temperature and Rainfall Extremes with Climate Model Outputs*, European Geosciences Union General Assembly 2011, Geophysical Research Abstracts, Vol. 13, Vienna, EGU2011-3454, European Geosciences Union, 2011.

85. Wolff D. B., Marks D. A., Amital E., Silberstein D. S., Fisher B. L., Tokay A., Wang J., Pippit J. L., *Ground Validation for the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)*, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, Vol 22, pp365-380, American Meteorological Society, 2005.
86. Yong B., Ren L., Hong Y., Wang J., Gourley J. J., Jiang S., Chen X., Wang W., *Hydrologic Evaluation of Multisatellite Precipitation Analysis, Standard Precipitation products in Basins beyond its Inclined Latitude Band: A case study in Laohahe basin, China*, Water Resources Research, Vol 48, 2010.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης σε επίπεδο χρονοσειράς**

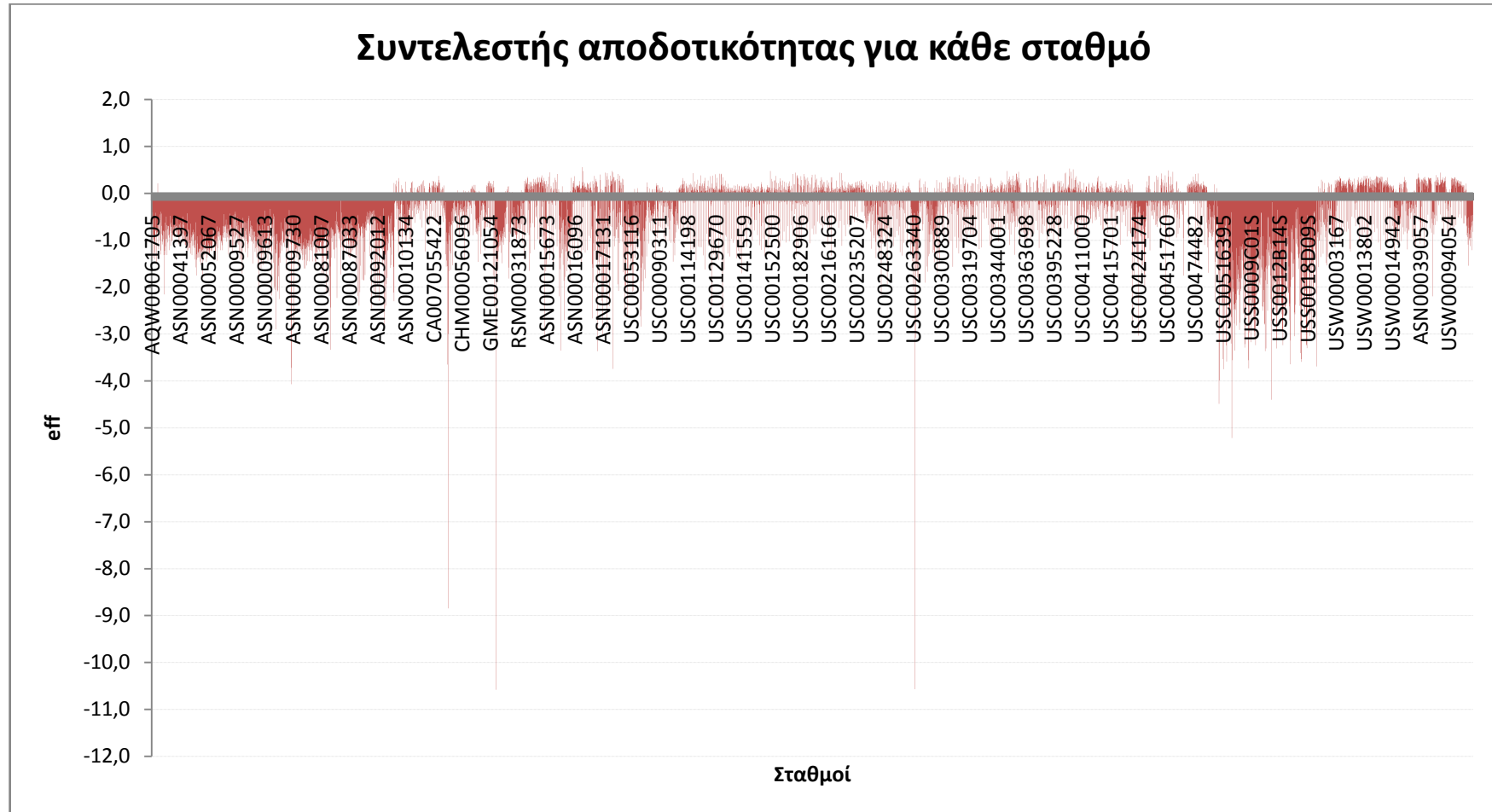
**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης μεγίστων επίγειων καταγραφών**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης μεγίστων δορυφορικών καταγραφών**

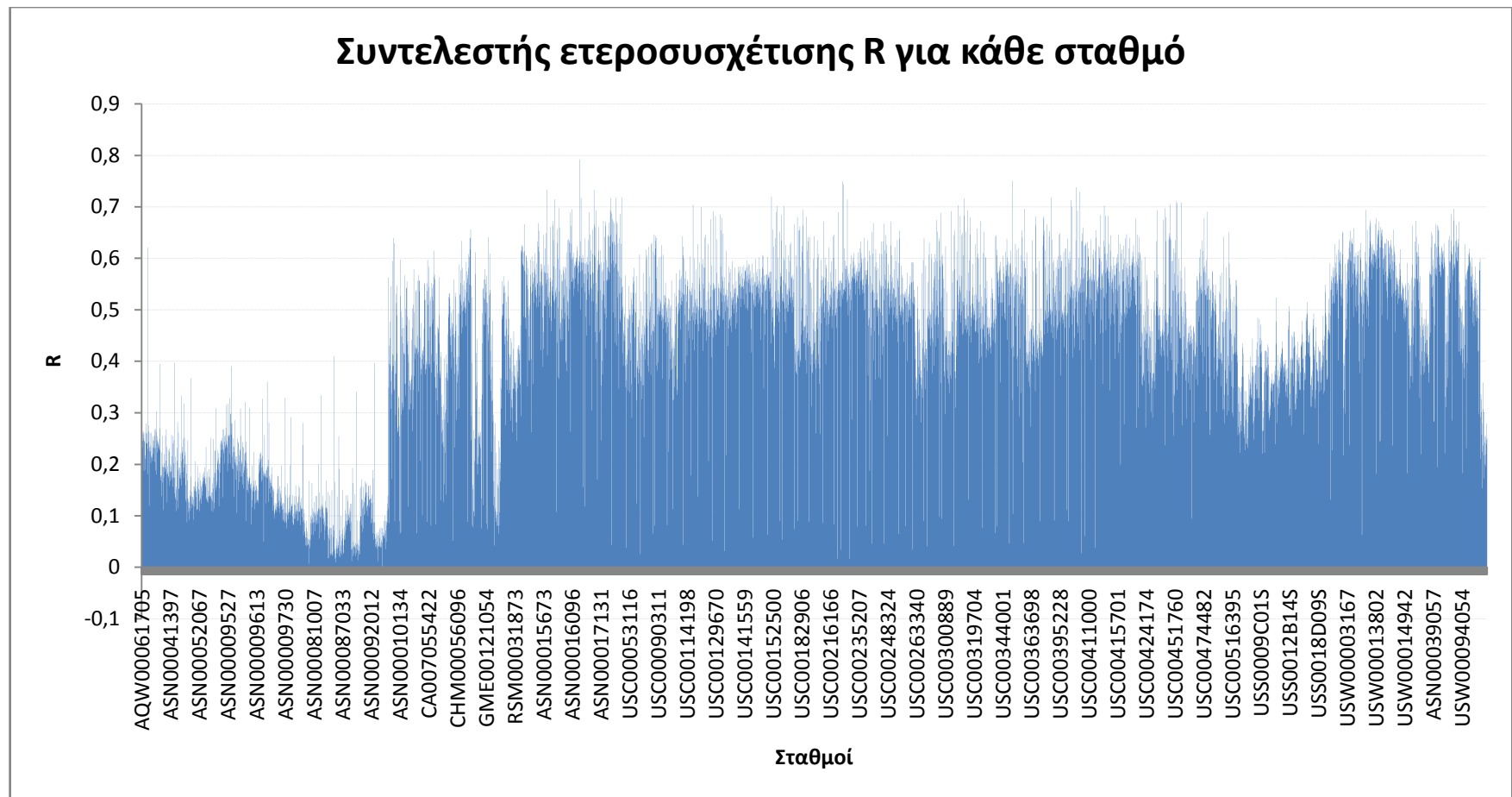
**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: Κύριοι αλγόριθμοι για την επεξεργασία δεδομένων μέσω του λογισμικού MATLAB**



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης σε επίπεδο χρονοσειράς

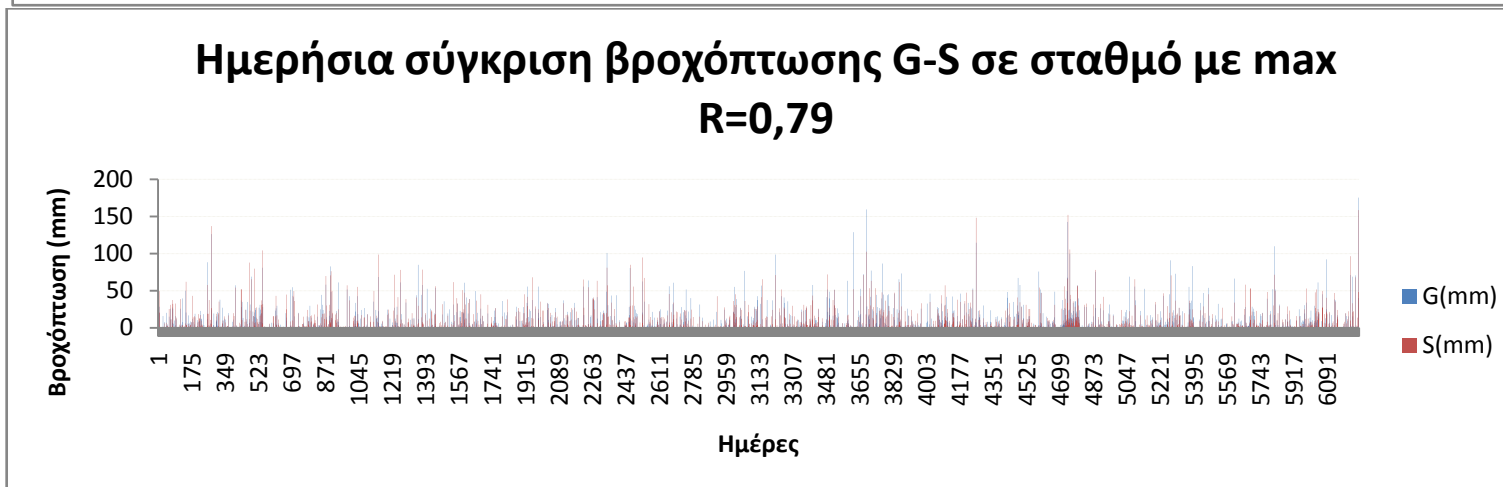
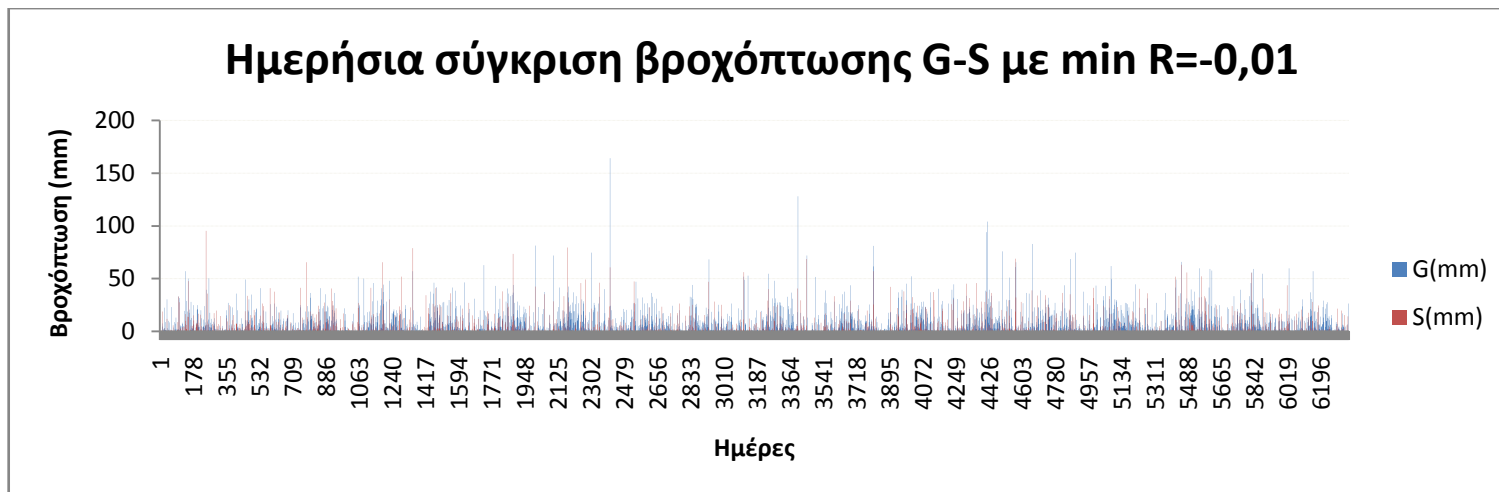


Διάγραμμα συντελεστή αποδοτικότητας για κάθε σταθμό



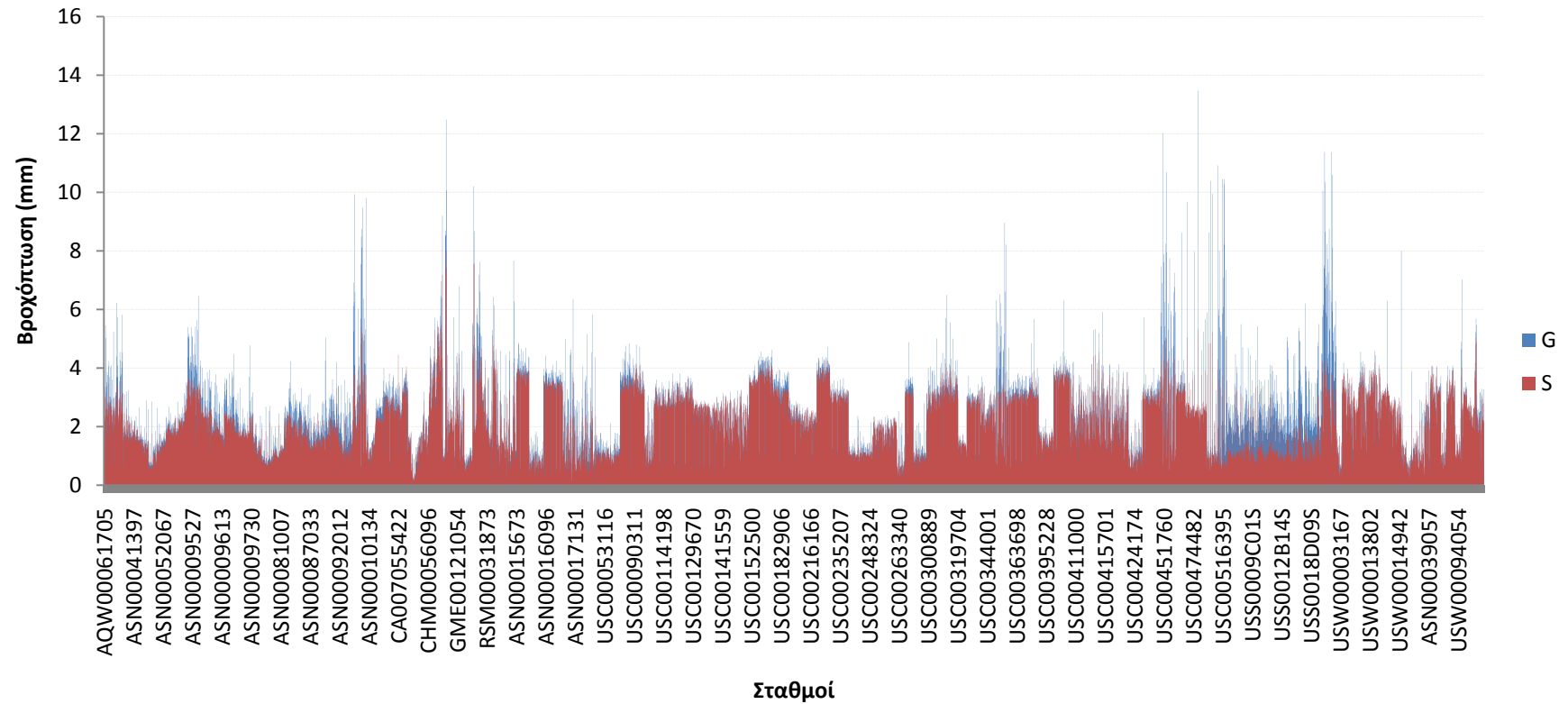
**Διάγραμμα συντελεστή ετεροσυσχέτισης για κάθε σταθμό**





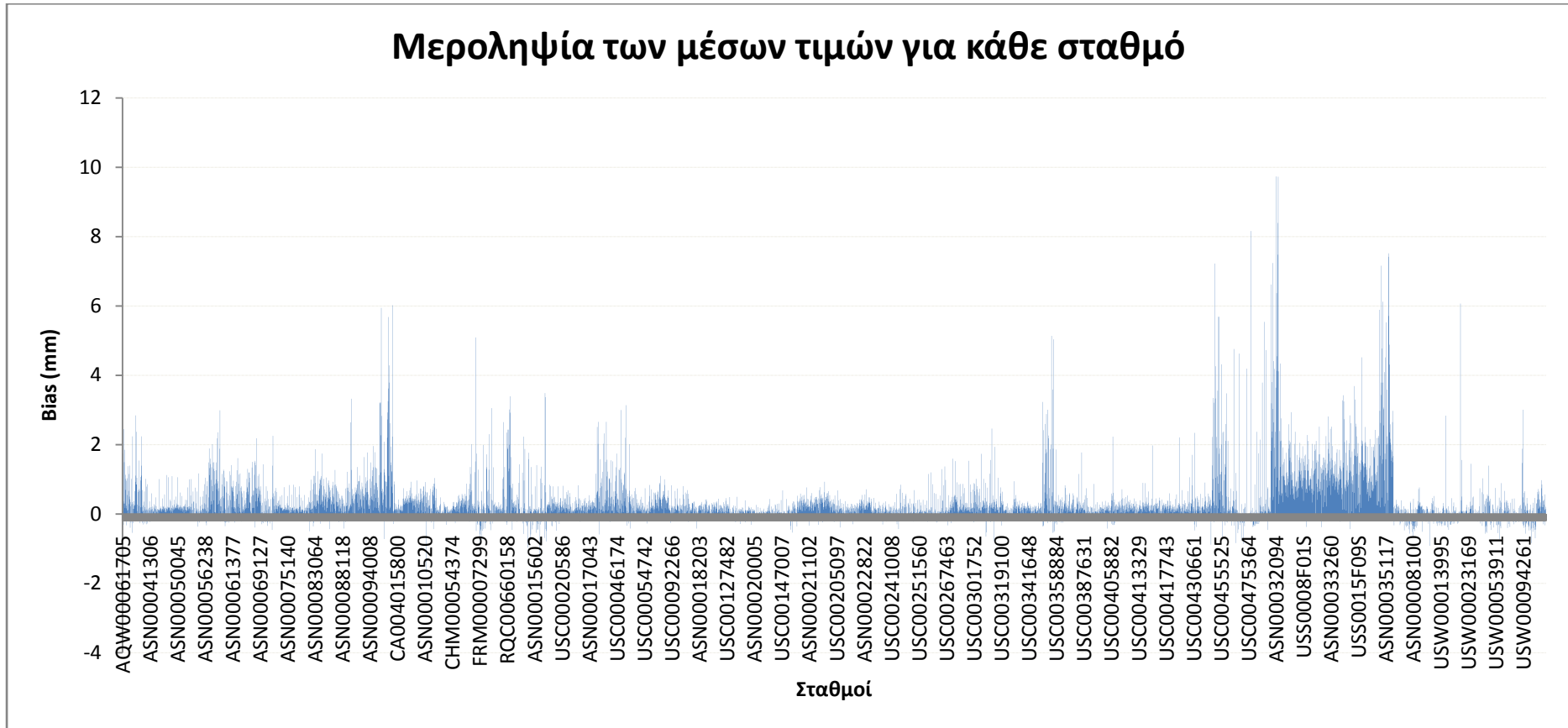
**Διαγράμματα ύψους βροχοπτώσεων με  $\min R$  και  $\max R$  αντίστοιχα**

## Μέση υπερετήσια βροχόπτωση για κάθε σταθμό



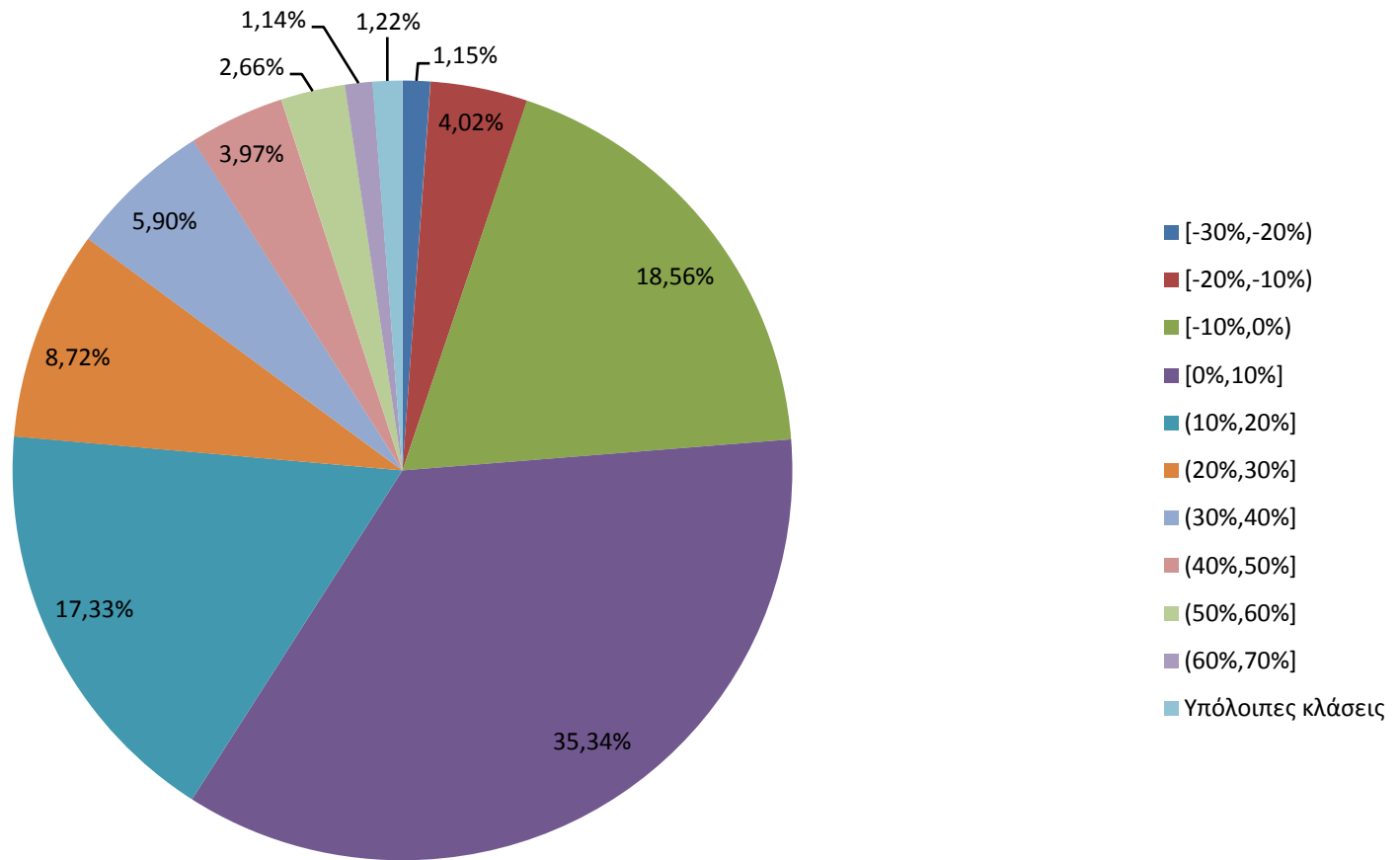
Διάγραμμα μέσης υπερετήσιας βροχόπτωσης για κάθε σταθμό

## Μεροληψία των μέσων τιμών για κάθε σταθμό



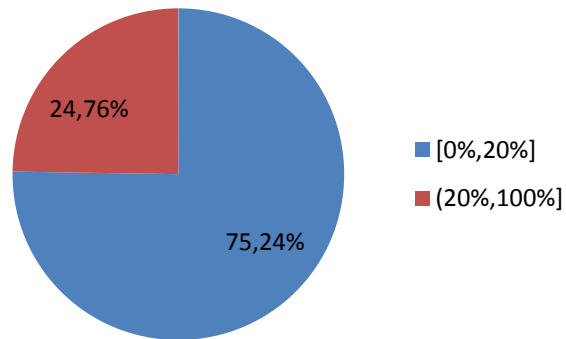
Διάγραμμα μεροληψίας των μέσων τιμών για κάθε σταθμό

### Κατανομή ποσοστιαίου Bias στους σταθμούς

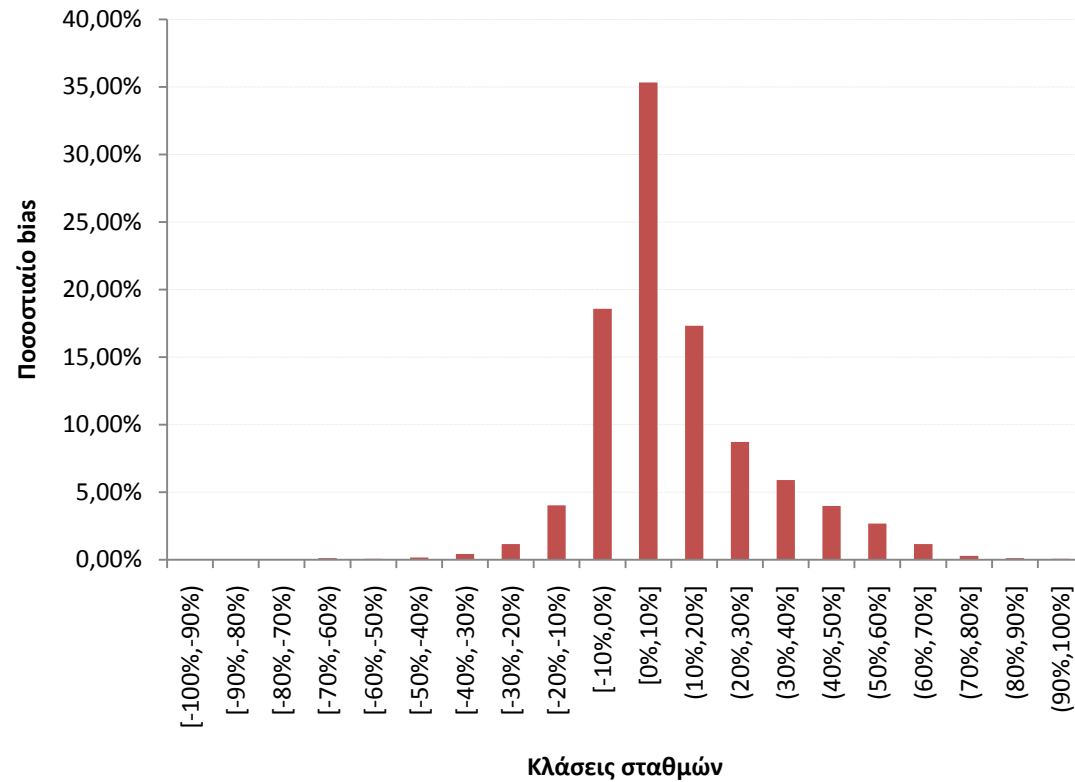


Πίτα κατανομής ποσοστιαίου Bias

### Κατανομή απόλυτου ποσοσטיαίου Bias στους σταθμούς

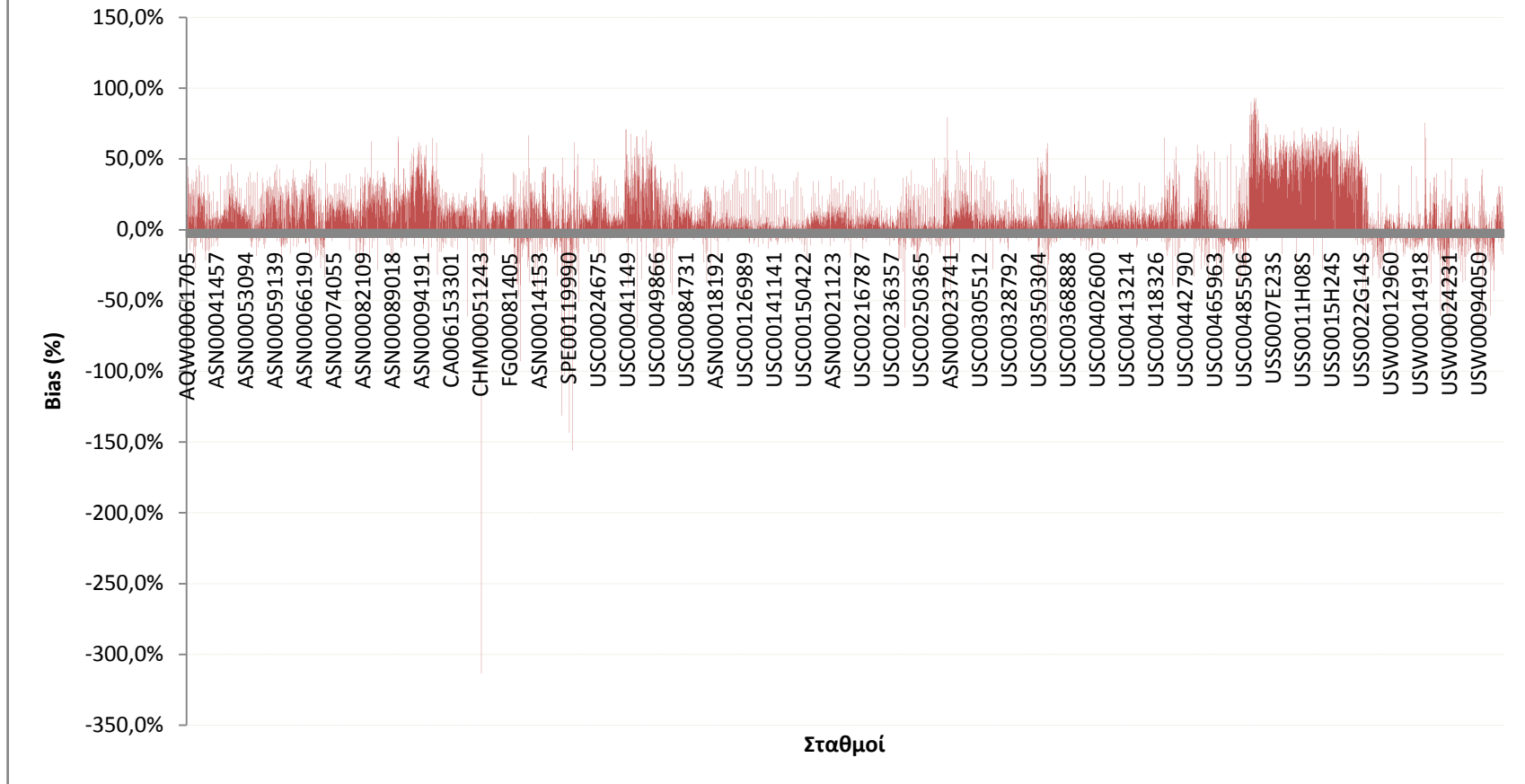


### Κατανομή ποσοσטיαίου bias

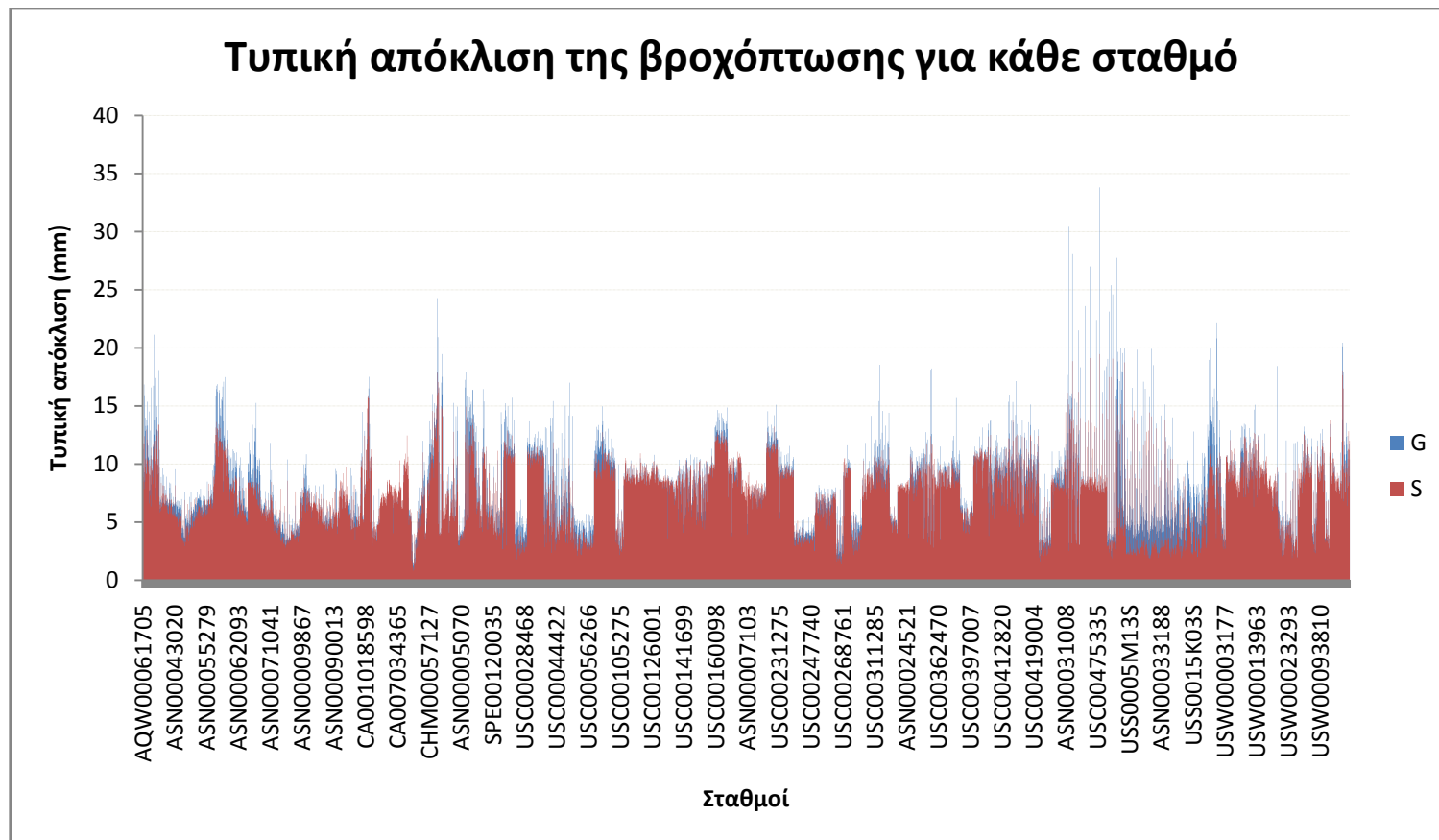


Διαγράμματα κατανομής ποσοσטיαίου Bias

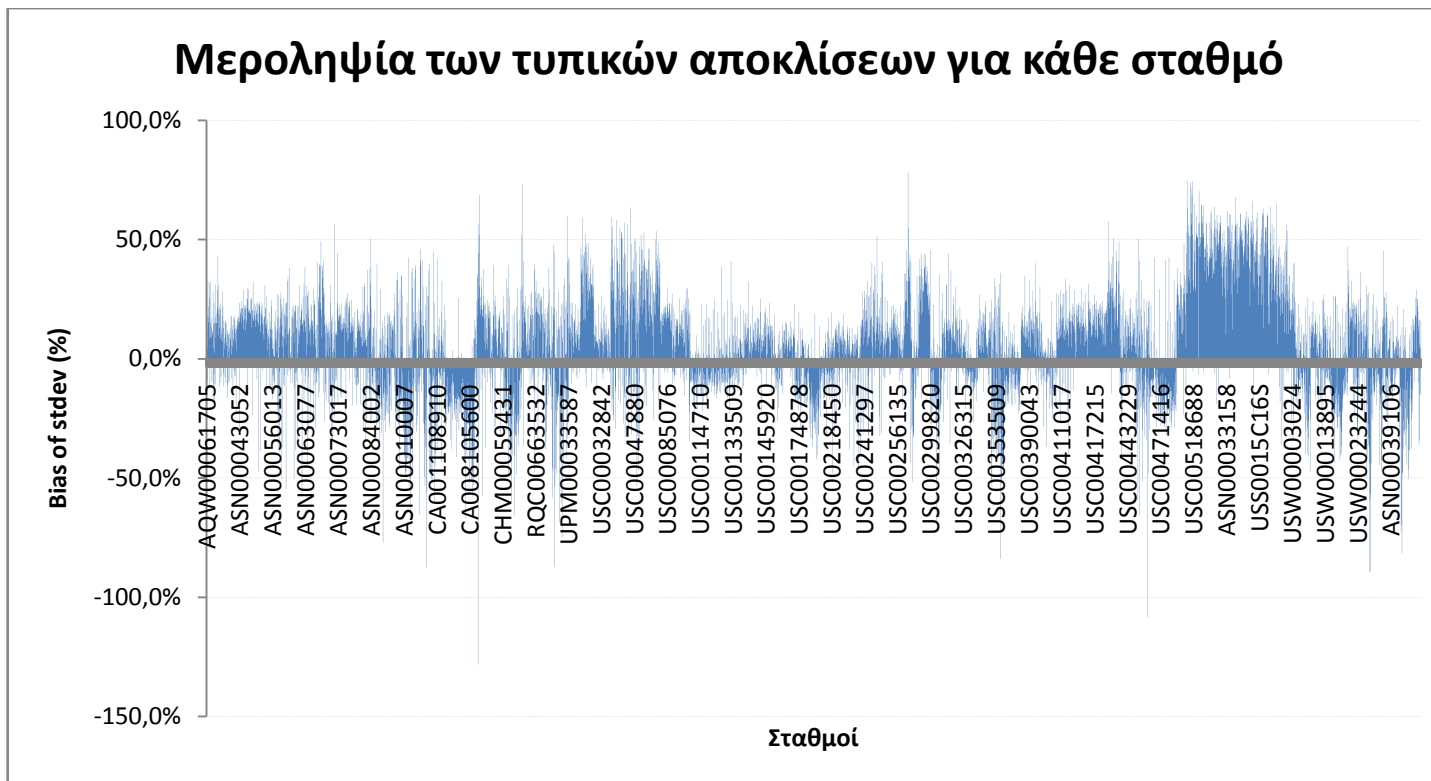
## Ποσοστιαία μεροληψία των μέσων τιμών για καθε σταθμό



Διάγραμμα ποσοστιαίας μεροληψίας των μέσων τιμών για κάθε σταθμό



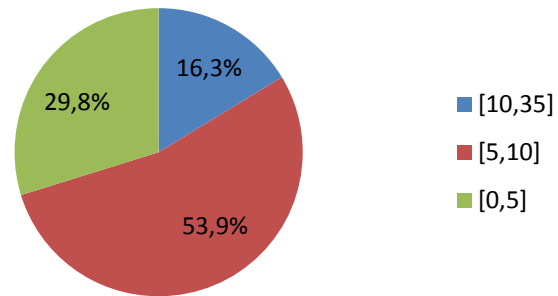
**Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της βροχόπτωσης για κάθε σταθμό**



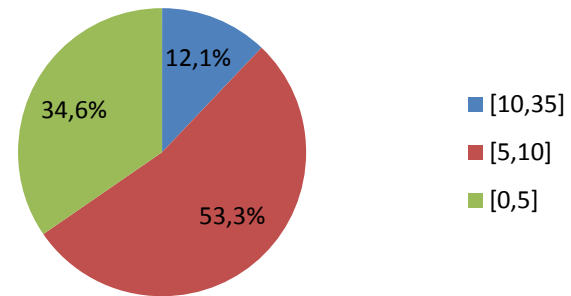
**Διάγραμμα μεροληψίας των τυπικών αποκλίσεων για κάθε σταθμό**



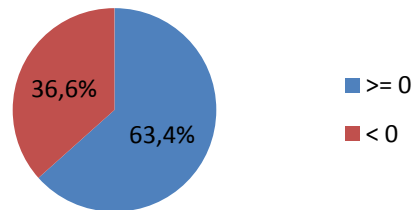
**Κατανόμη της τυπικής  
απόκλισης των επίγειων  
δεδομένων G**



**Κατανόμη της τυπικής  
απόκλισης των  
δορυφορικών δεδομένων S**

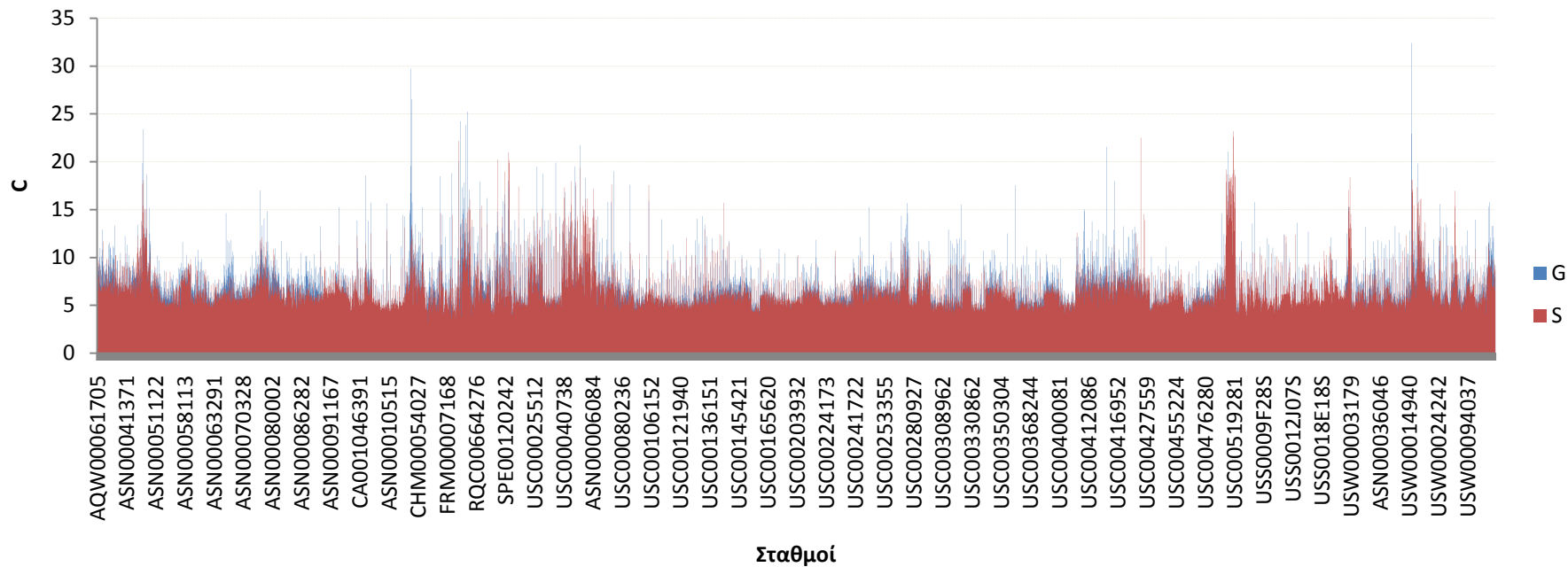


**Bias of Stdev (%)**



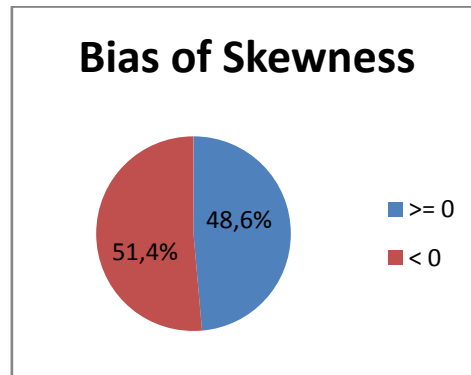
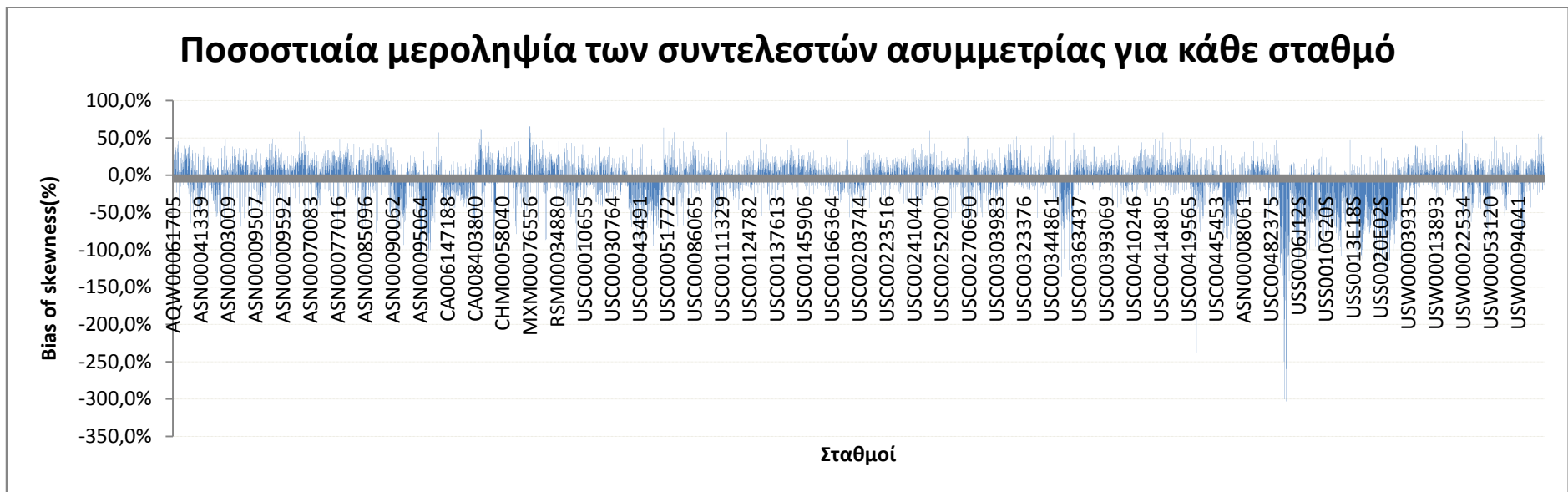
**Διαγράμματα κατανομής της τυπικής απόκλισης**

### Συντελεστής ασυμμετρίας της βροχόπτωσης για κάθε σταθμό



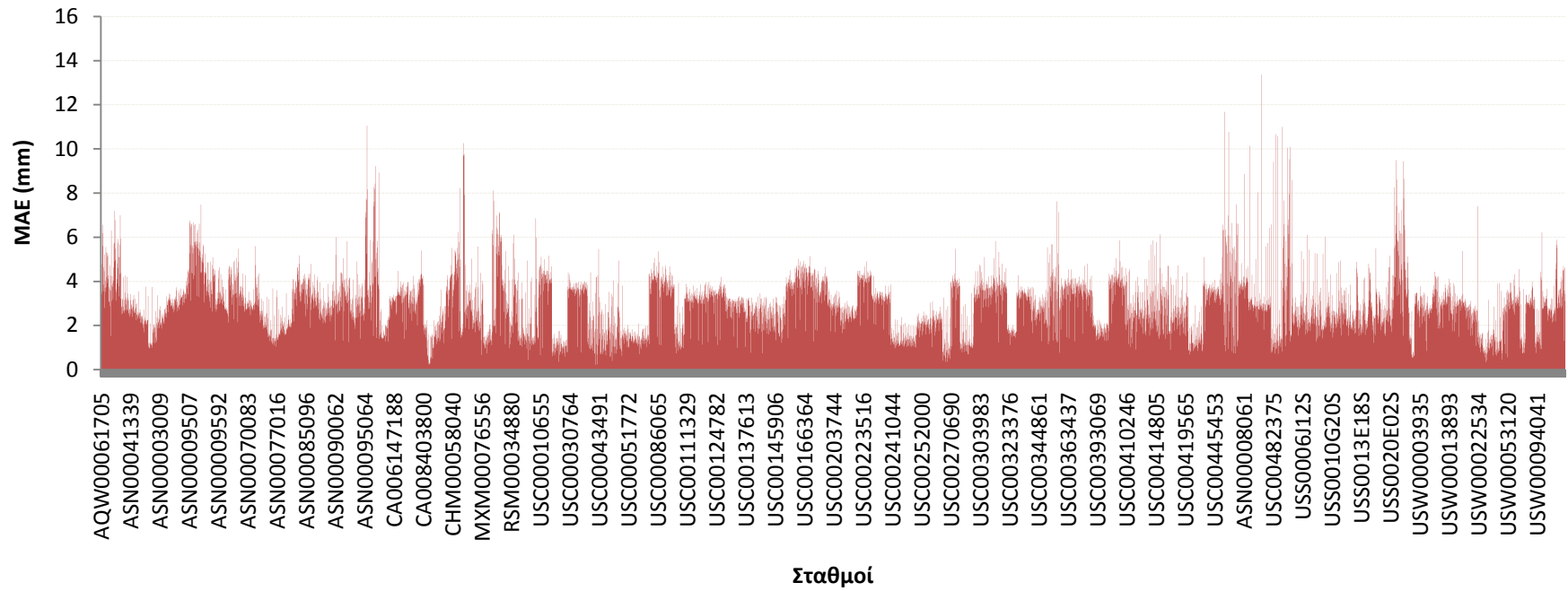
Διάγραμμα συντελεστή ασυμμετρίας της βροχόπτωσης για κάθε σταθμό

## Ποσοστιαία μεροληψία των συντελεστών ασυμμετρίας για κάθε σταθμό



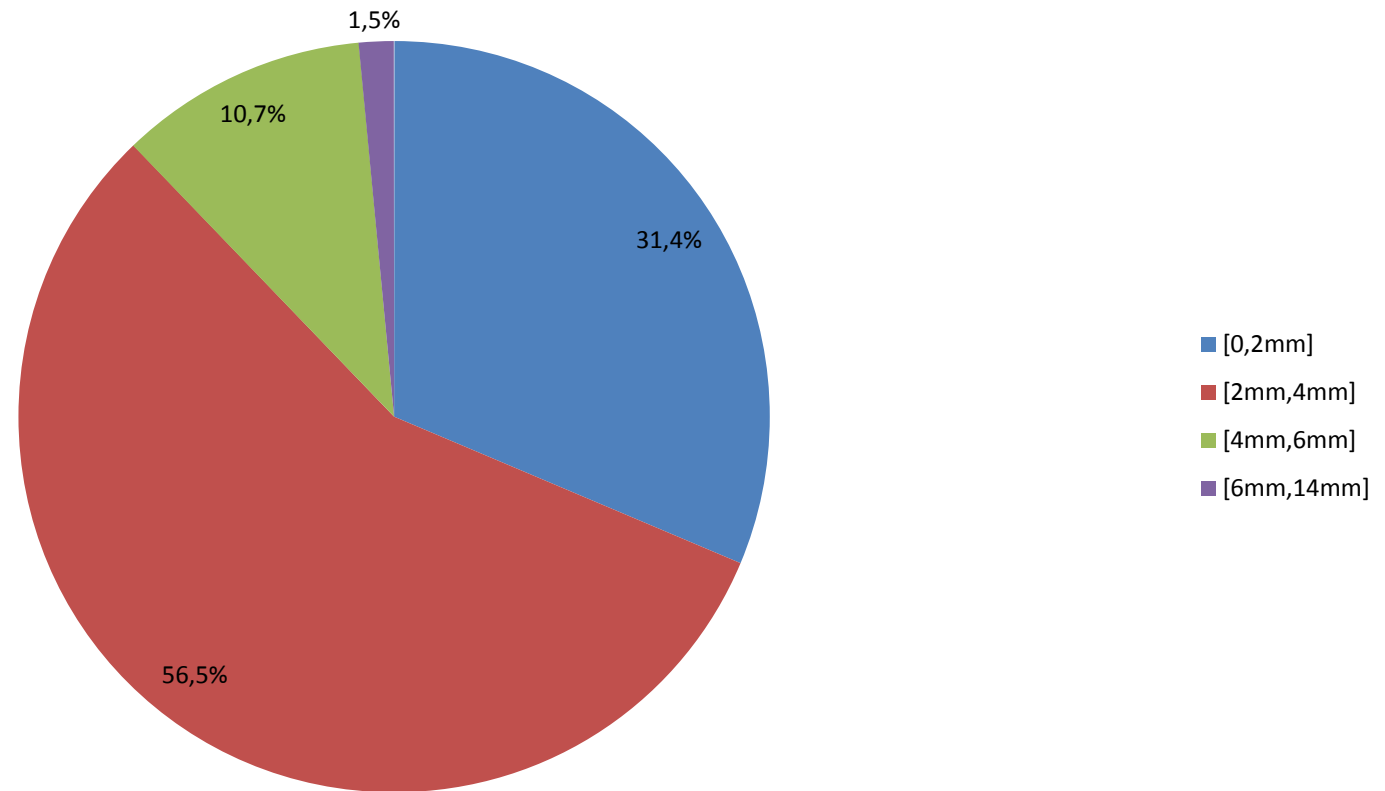
Διαγράμματα ποσοστιαίας μεροληψίας των συντελεστών ασυμμετρίας

### Μέσο Απόλυτο Σφάλμα για κάθε σταθμό



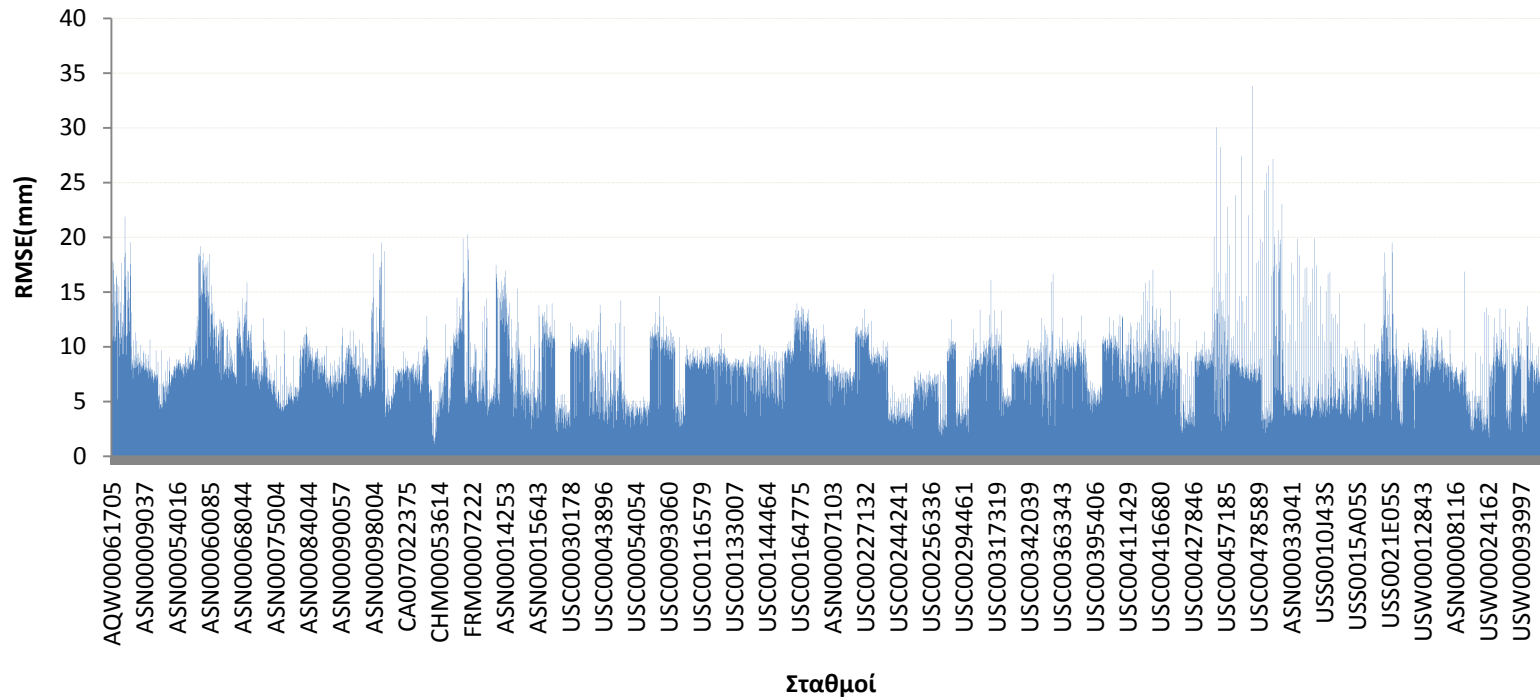
Διάγραμμα μέσου απόλυτου σφάλματος

### Κατανομή ΜΑΕ

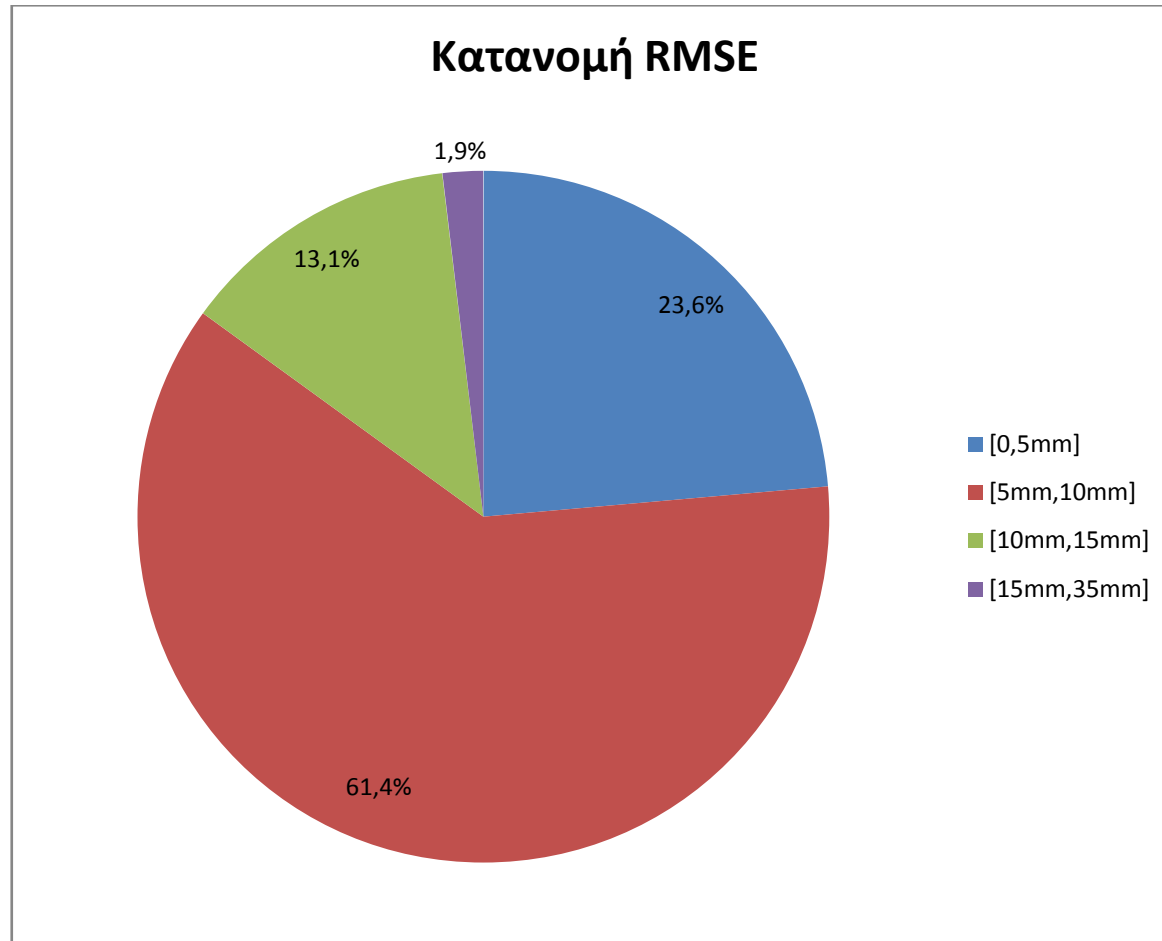


Διάγραμμα κατανομής ΜΑΕ

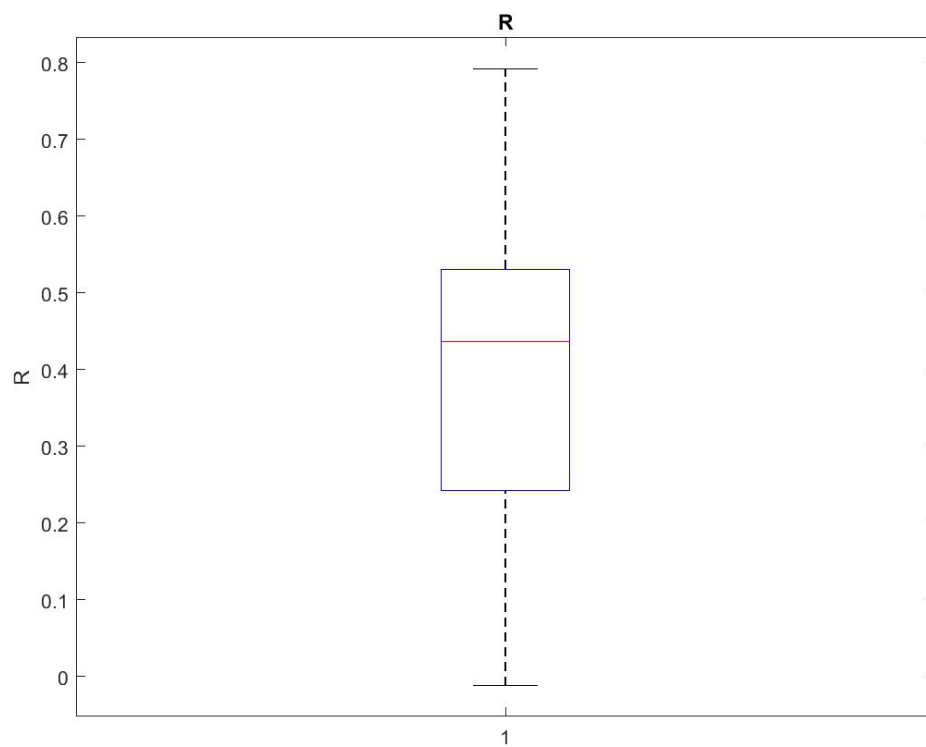
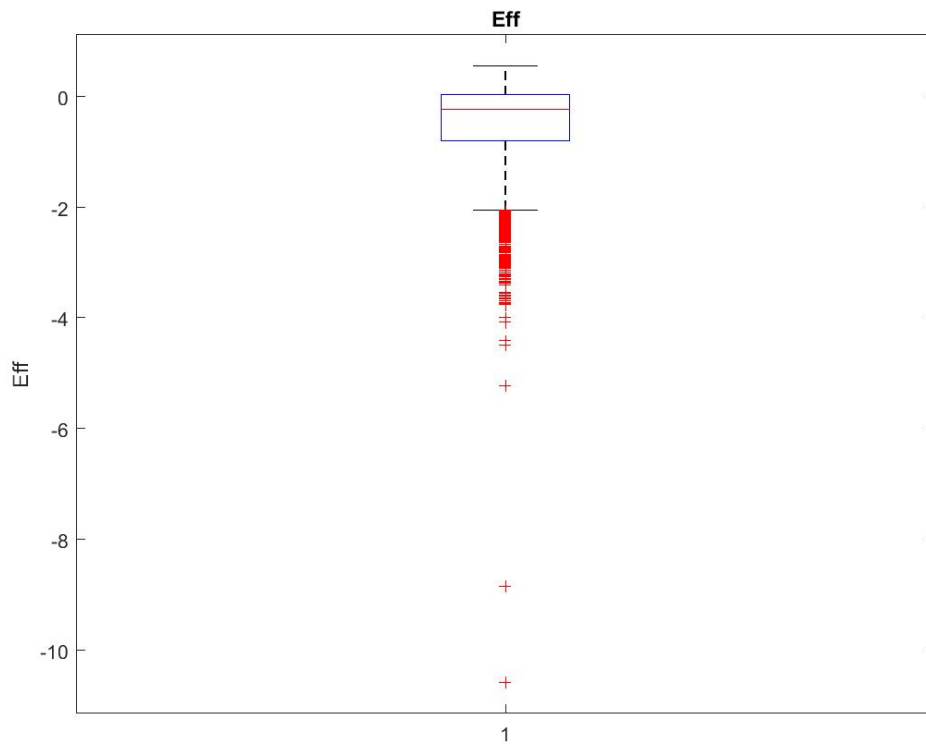
## Ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος για κάθε σταθμό



Διάγραμμα της ρίζας του μέσου απόλυτου σφάλματος

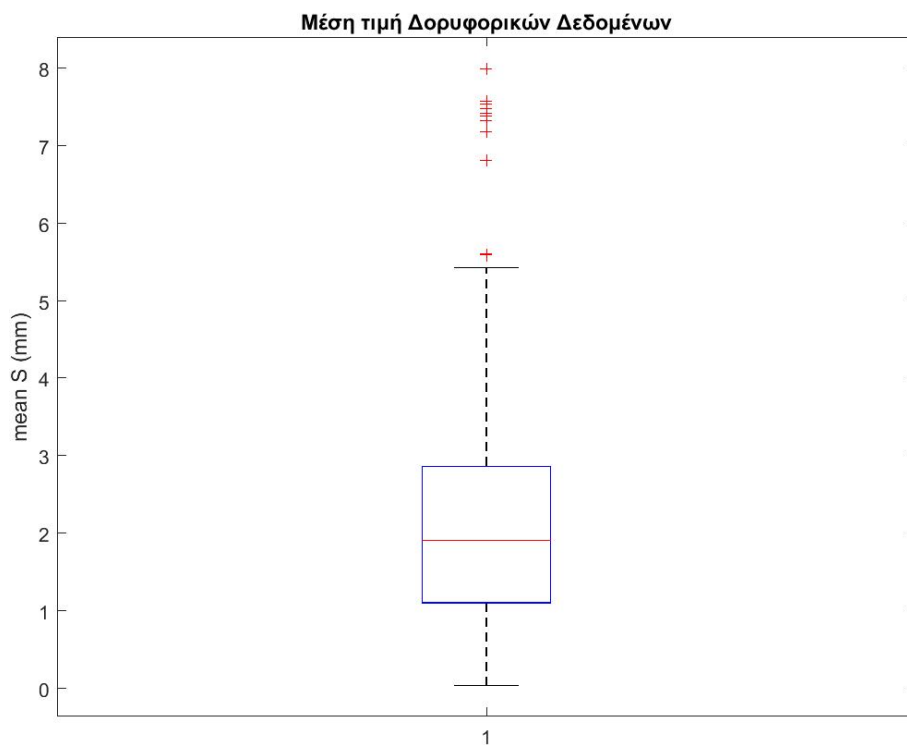
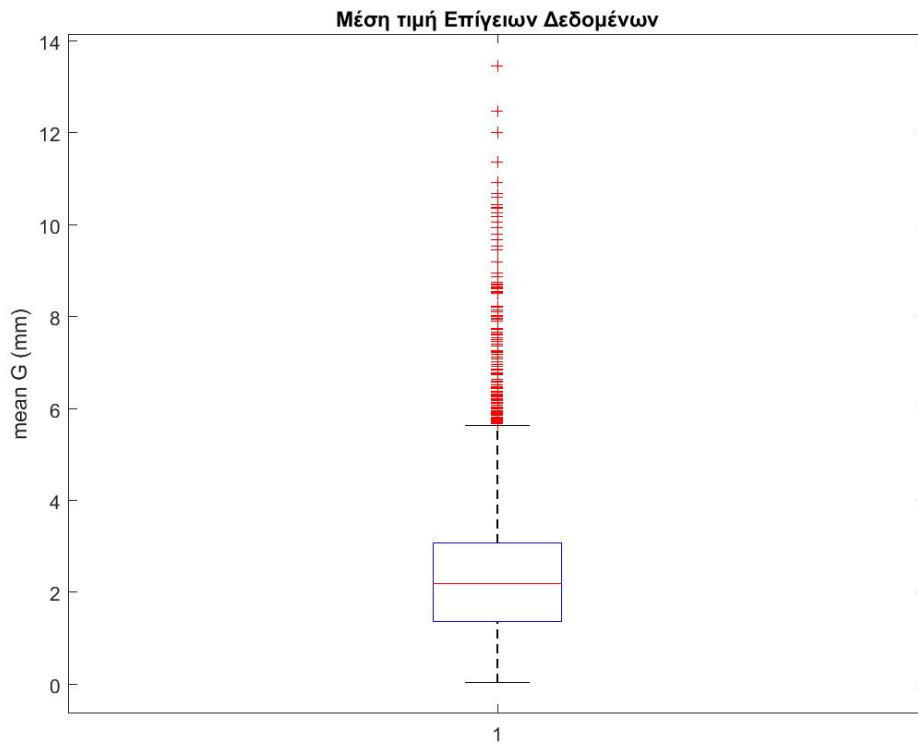


Διάγραμμα της κατανομής του RMSE

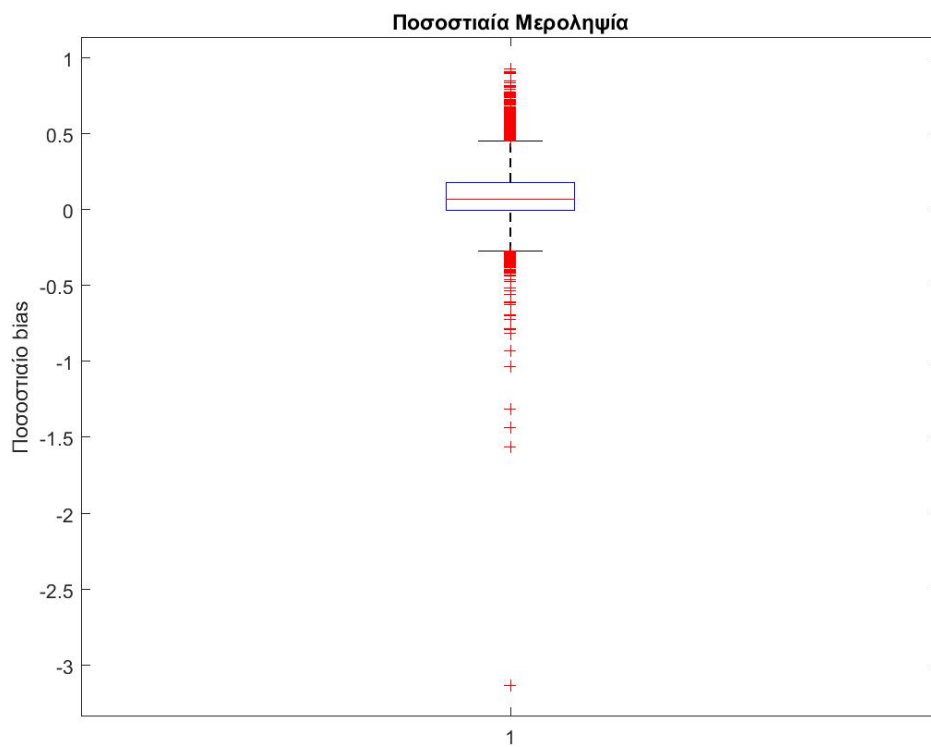
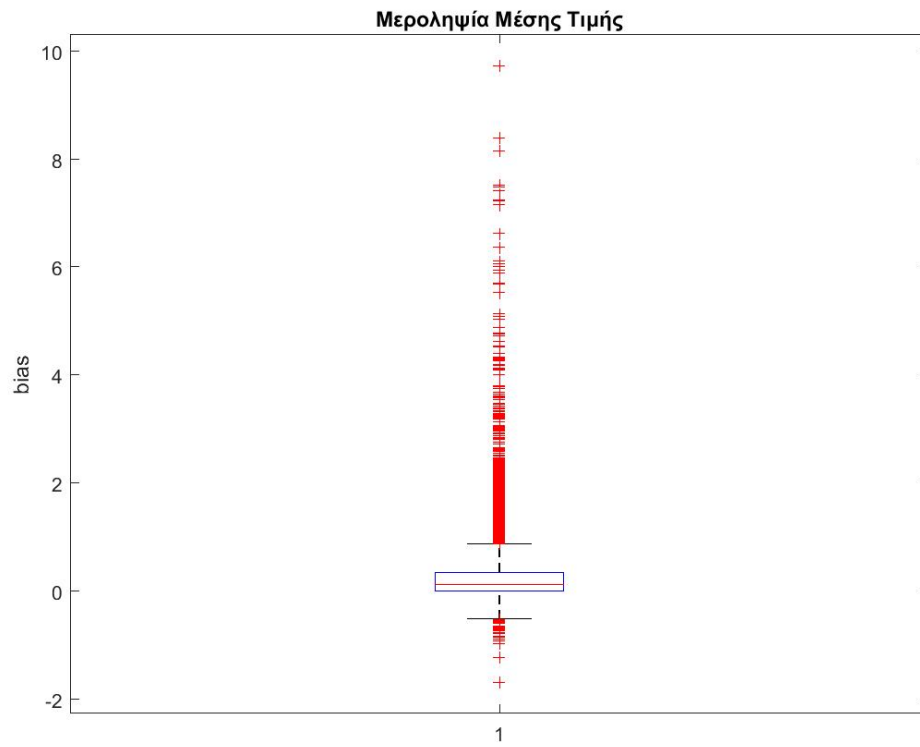


**Βοχλιότες αποδοτικότητα και του συντελεστή ετεροσυσχέτισης**

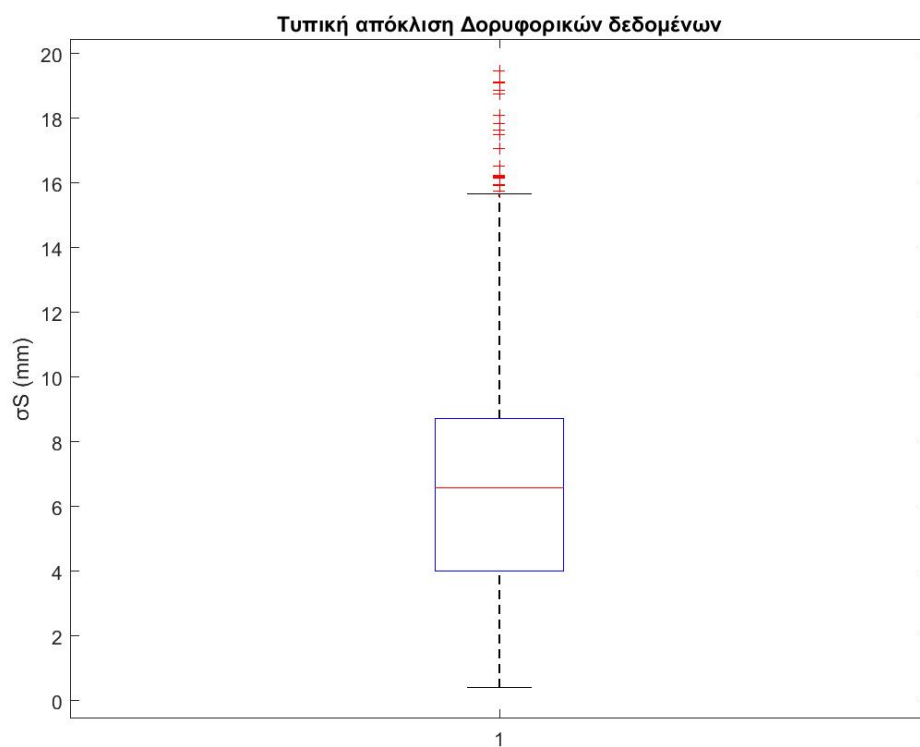
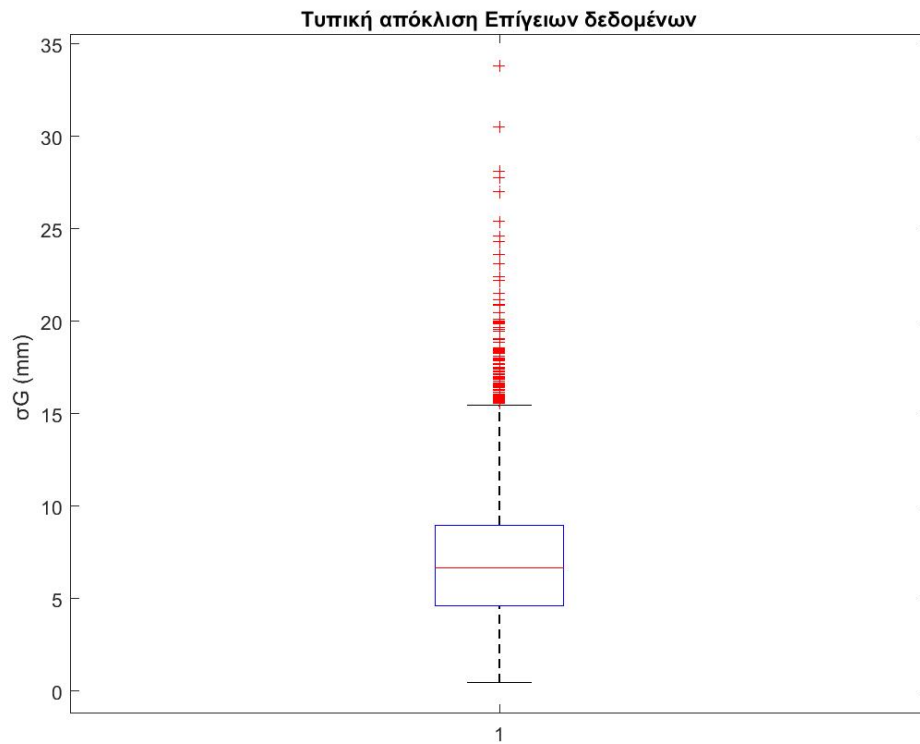




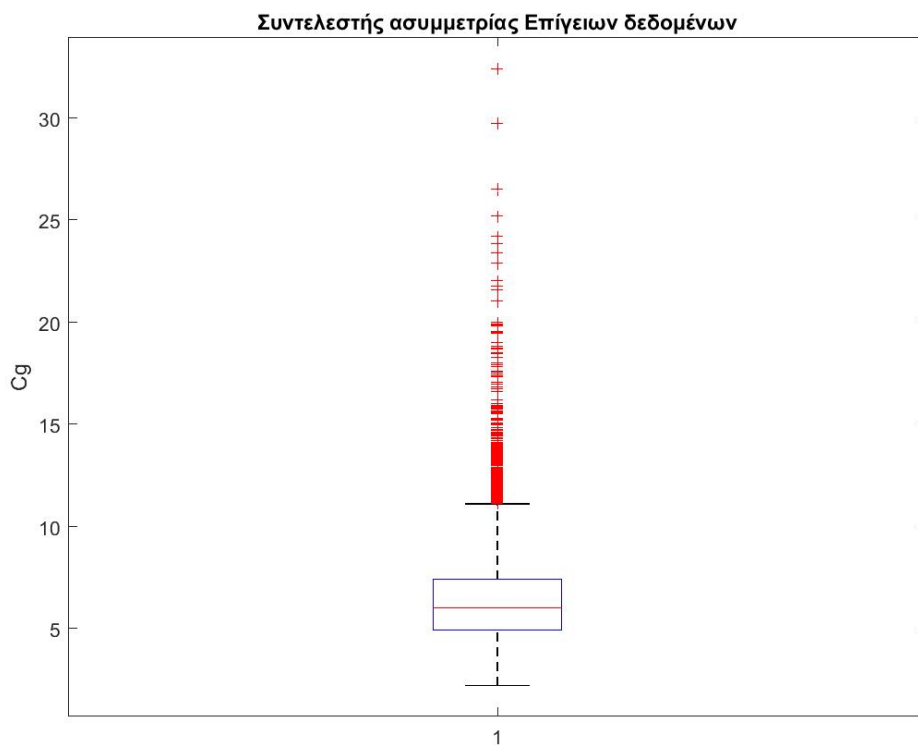
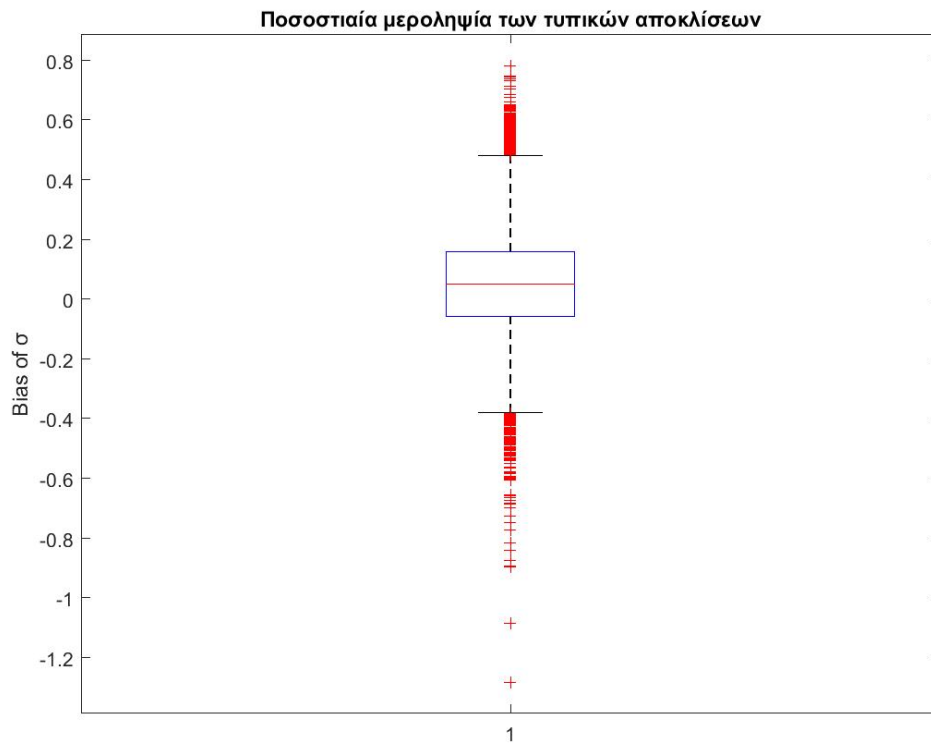
**Boxplot της μέσης τιμής για τα επίγεια και τα δορυφορικά δεδομένα**



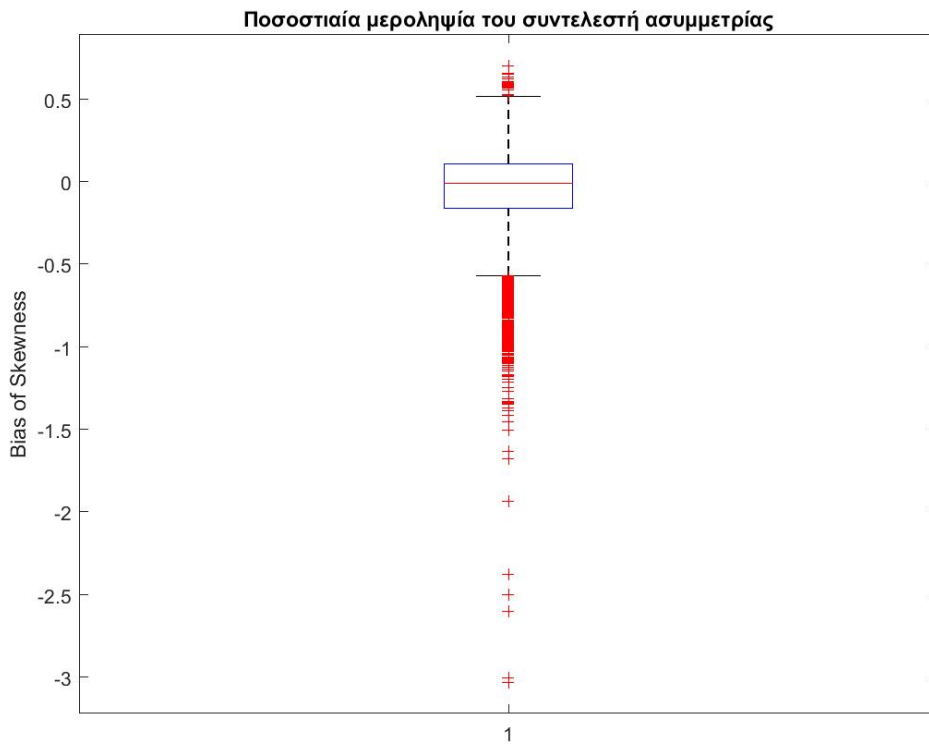
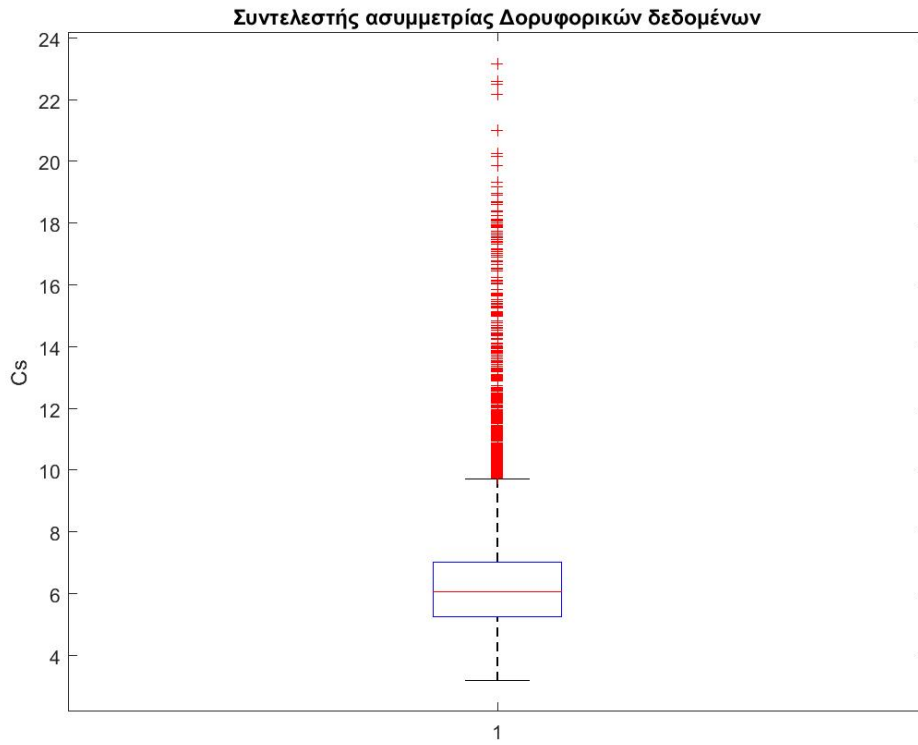
**Βοχplot της μεροληψίας της μέσης τιμής**



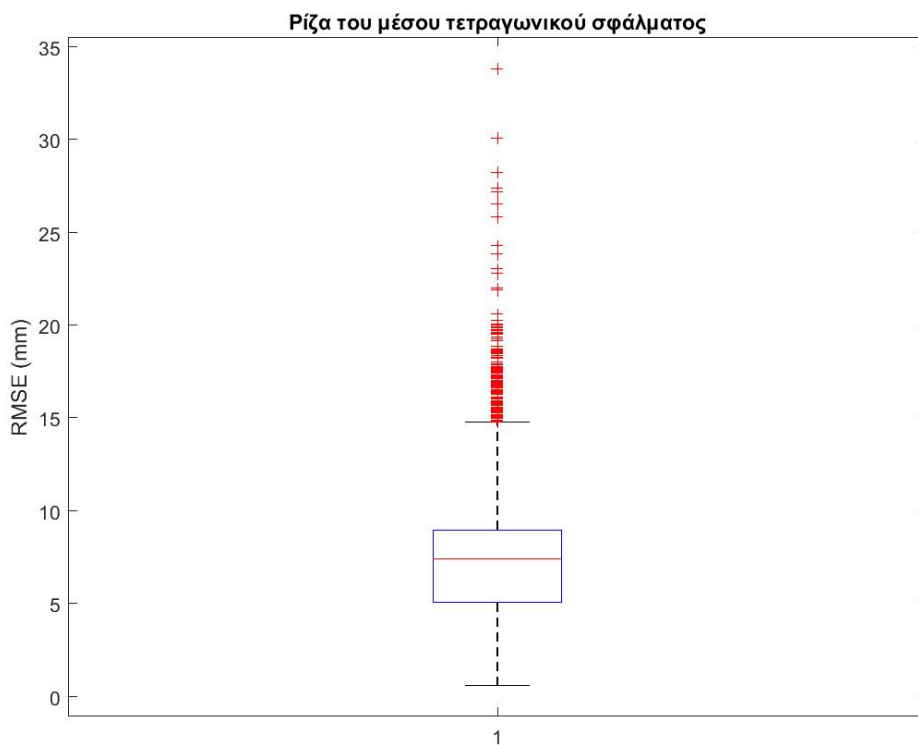
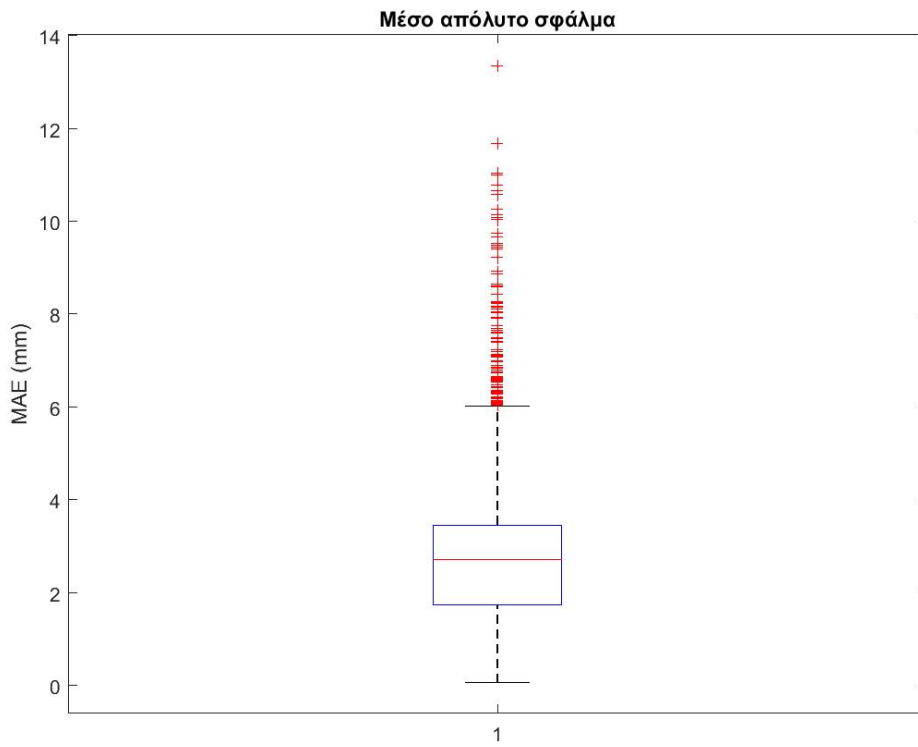
**Βοχplot της τυπικής απόκλισης των επίγειων και των δορυφορικών**



**Βοχplot της ποσοστιαίας μεροληψίας των τυπικών αποκλίσεων και του  $C_g$**

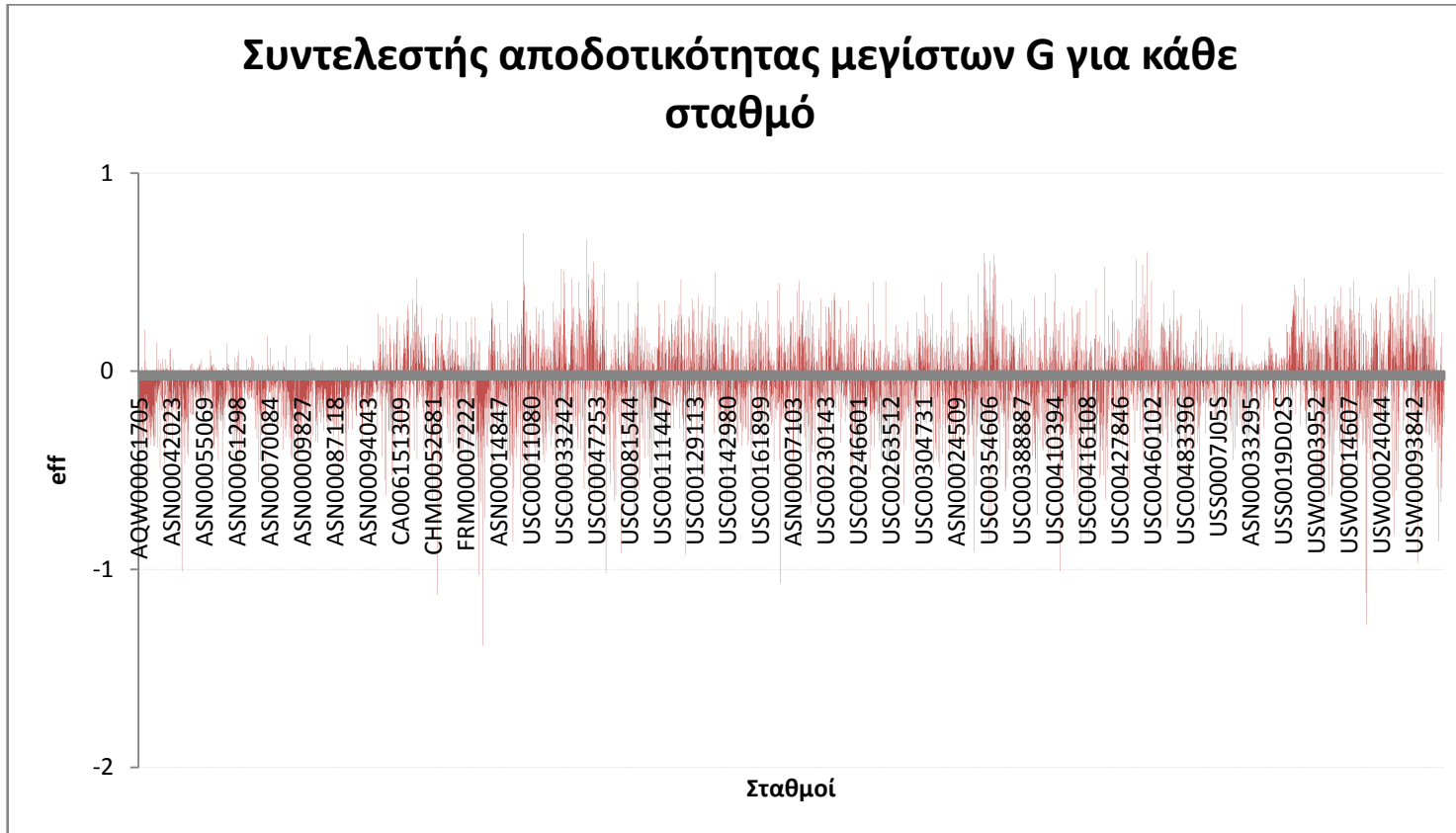


**Βοηθότιο  $C_s$  και της ποσοστιαίας μεροληψίας των συντελεστών  $C$**



Βοχplotτου MAE και του RMSE

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης μεγίστων επίγειων καταγραφών



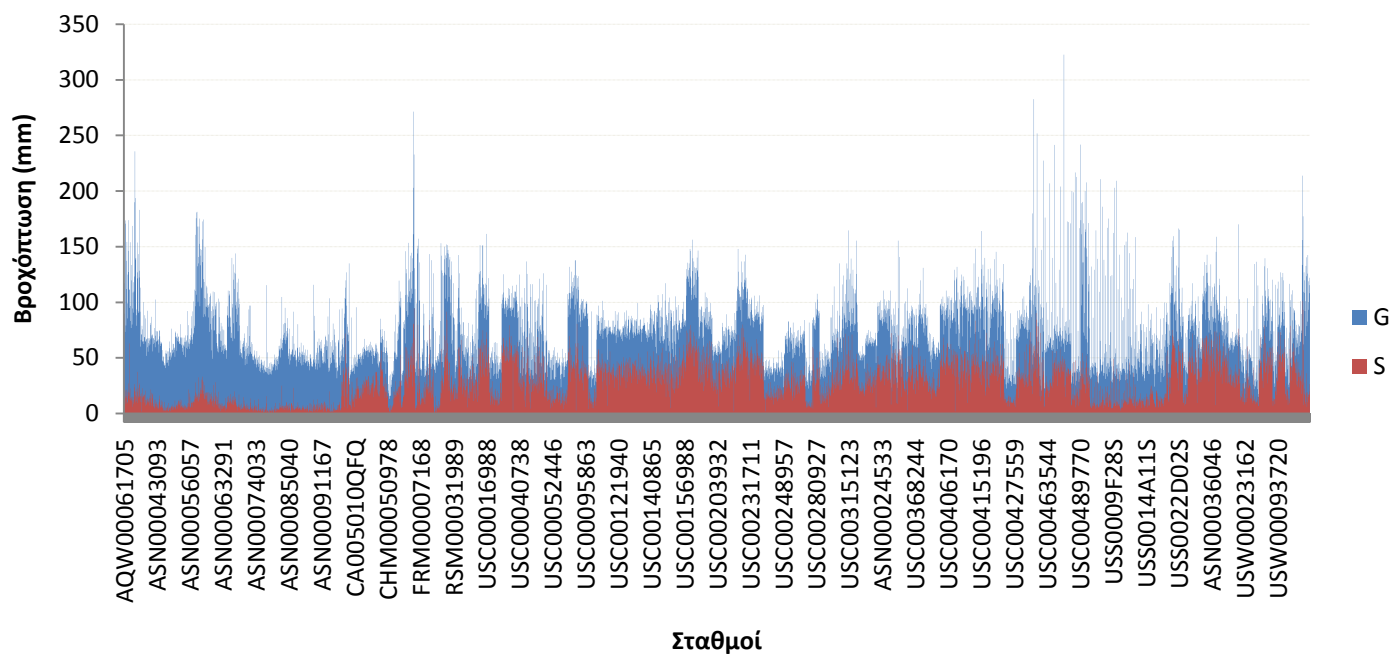
Διάγραμμα του συντελεστή αποδοτικότητας



**Διάγραμμα συντελεστή ετεροσυσχέτισης**



## Μέση υπερετήσια βροχόπτωση μεγίστων G για κάθε σταθμό

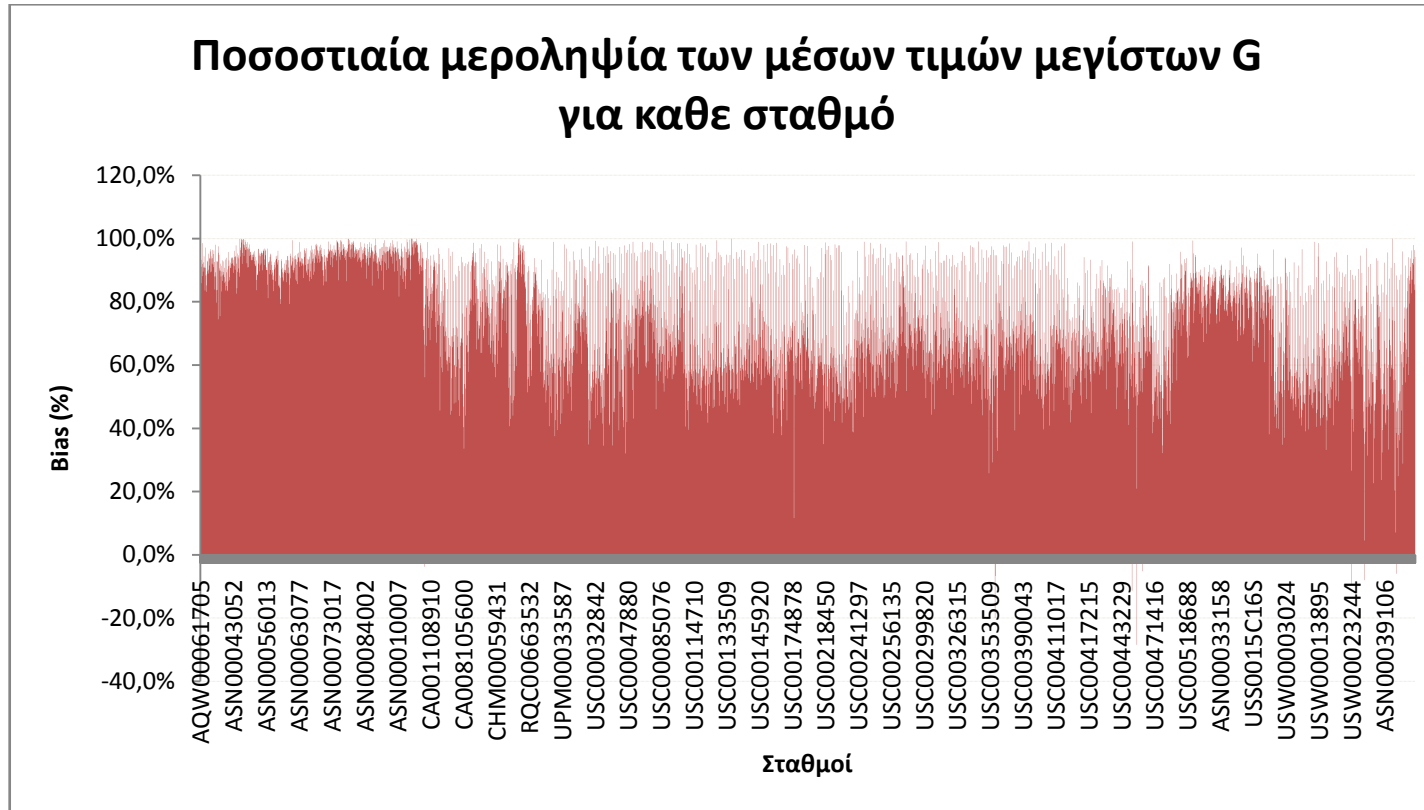


Διάγραμμα μέσης υπερετήσιας βροχόπτωσης



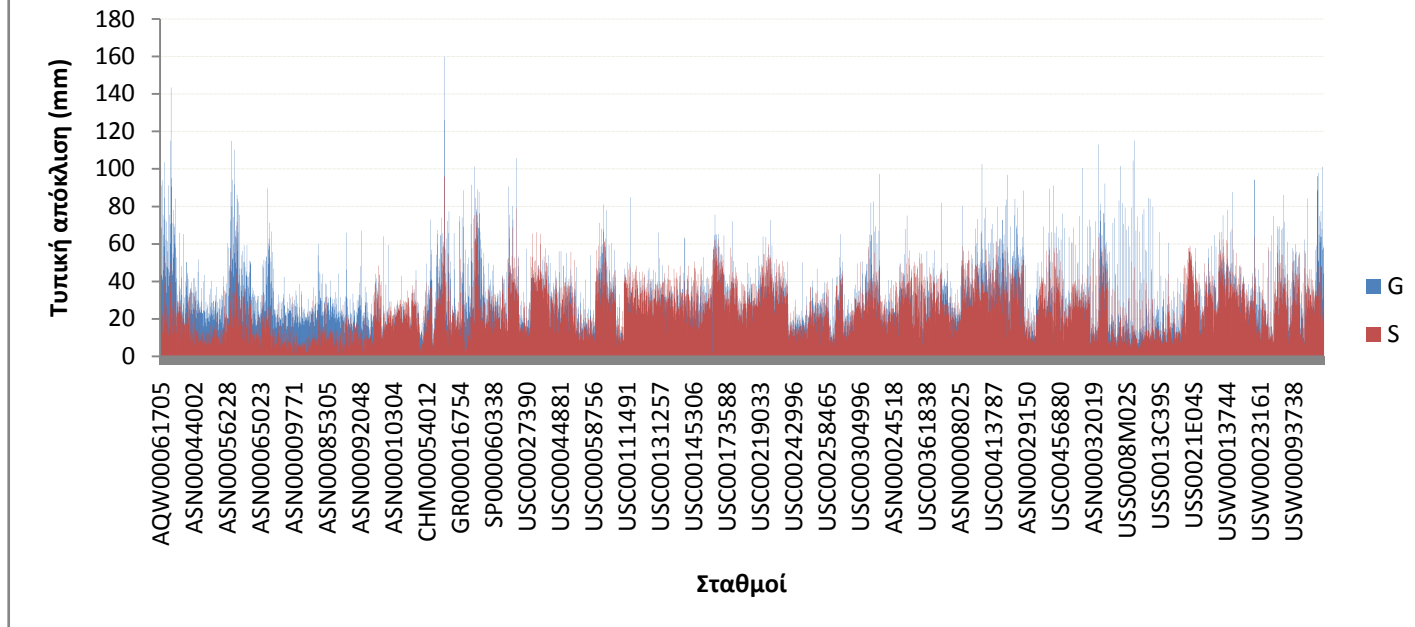
Διάγραμμα μεροληψίας μέσων τιμών

## Ποσοστιαία μεροληψία των μέσων τιμών μεγίστων G για καθε σταθμό



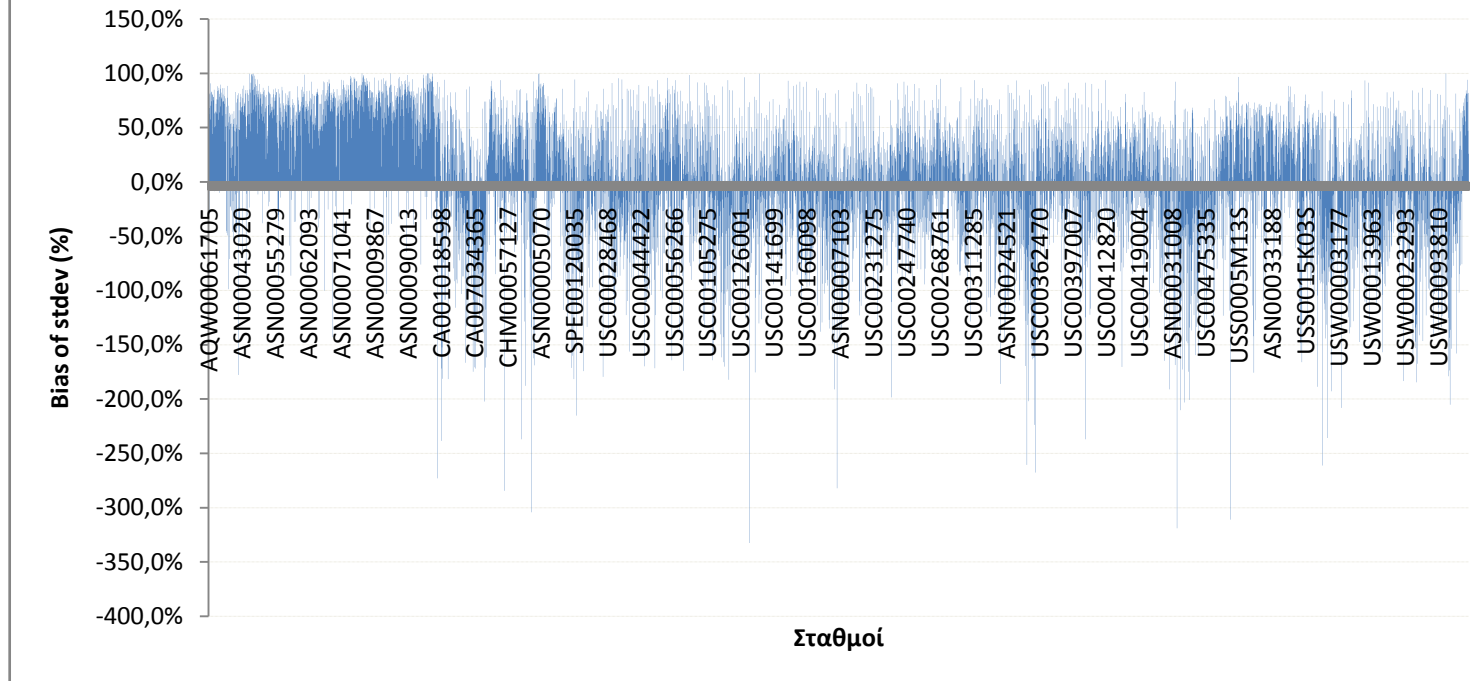
Διάγραμμα ποσοστιαίας μεροληψίας των μέσων τιμών

## Τυπική απόκλιση της βροχόπτωσης μεγίστων G για κάθε σταθμό



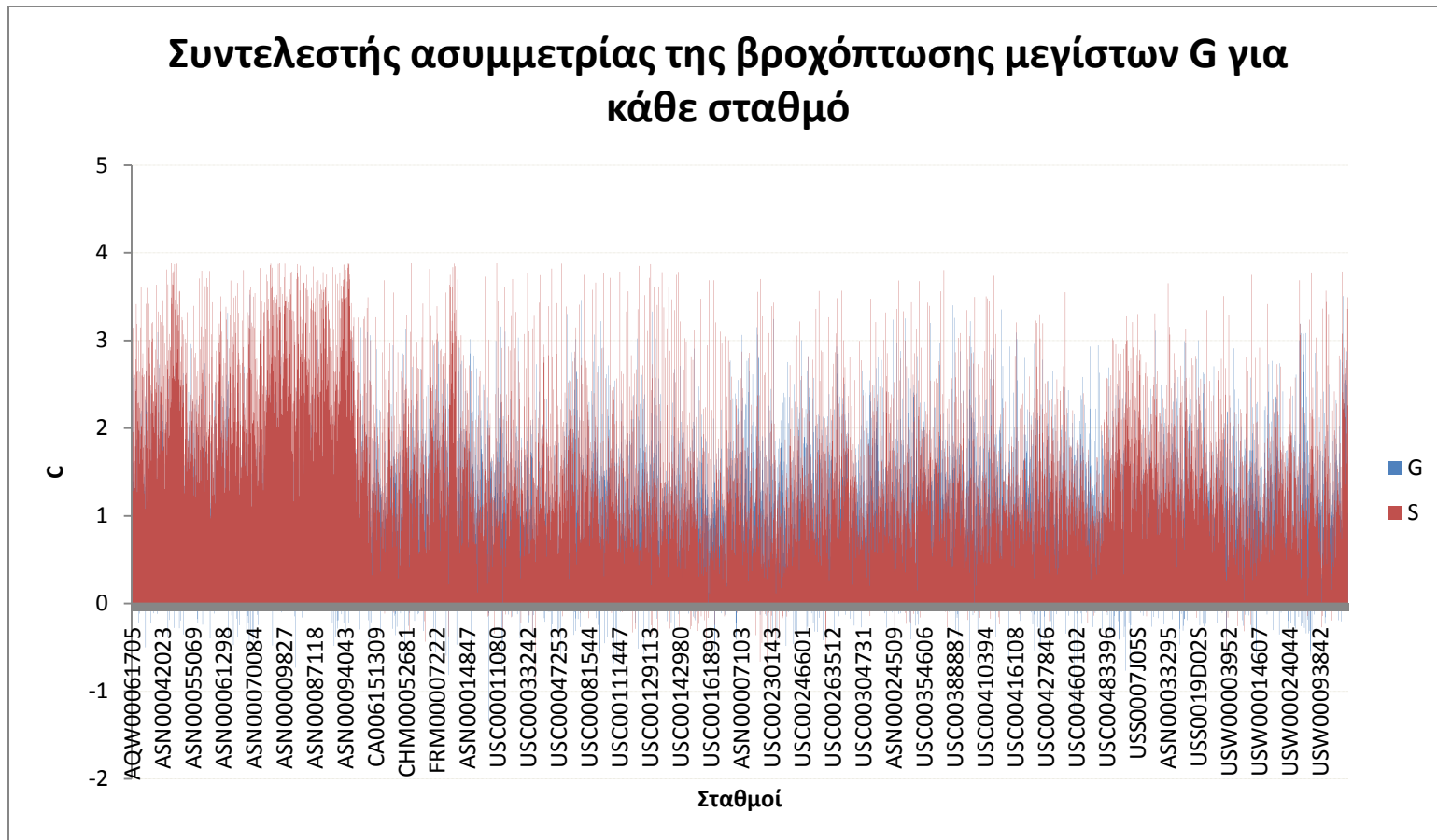
Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης για κάθε σταθμό

## Μεροληψία των τυπικών αποκλίσεων μεγίστων G για κάθε σταθμό

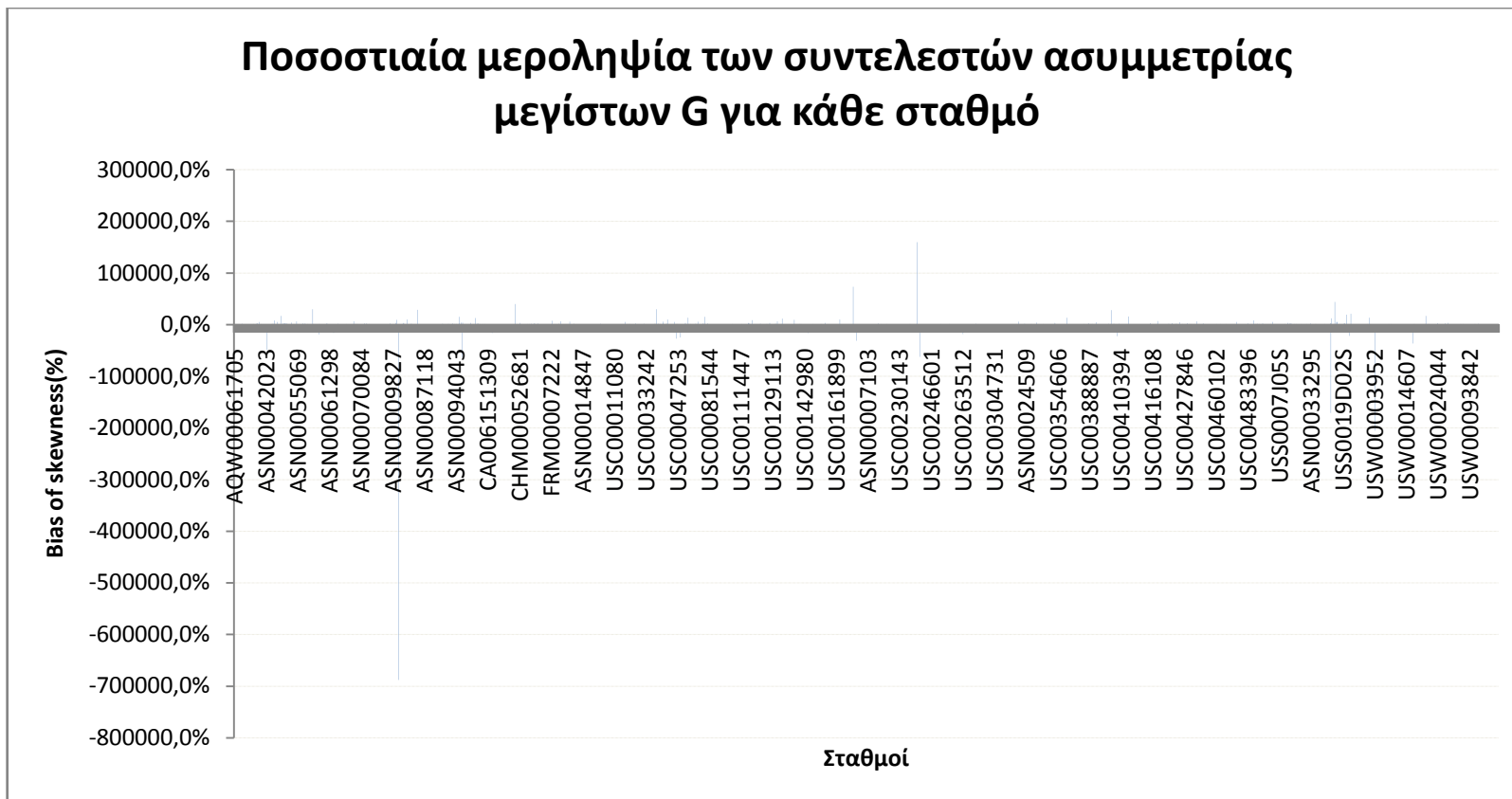


Διάγραμμα της μεροληψίας των τυπικών αποκλίσεων

## Συντελεστής ασυμμετρίας της βροχόπτωσης μεγίστων G για κάθε σταθμό

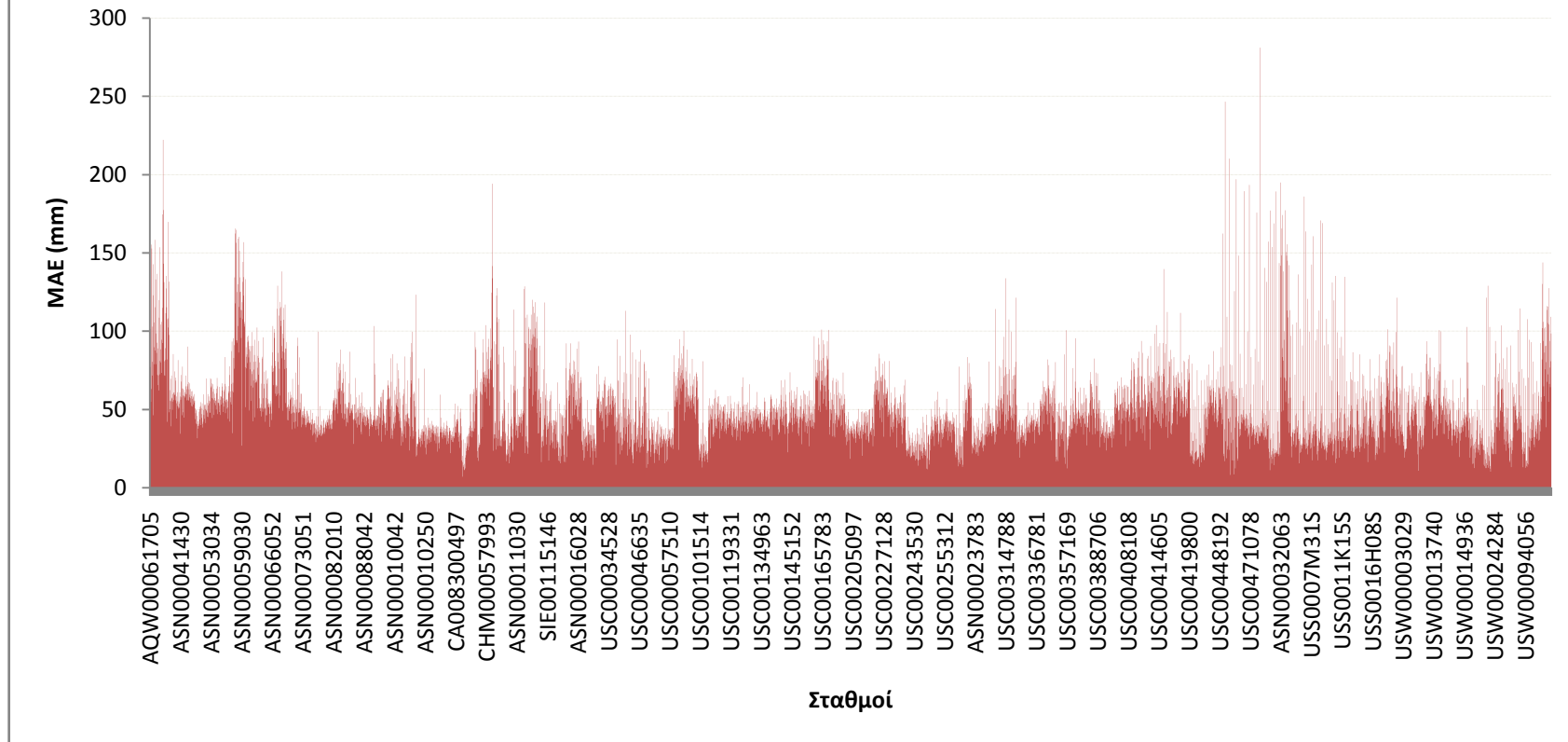


Διάγραμμα των συντελεστών ασυμμετρίας



**Διάγραμμα της ποσοστιαίας μεροληψίας των συντελεστών ασυμμετρίας**

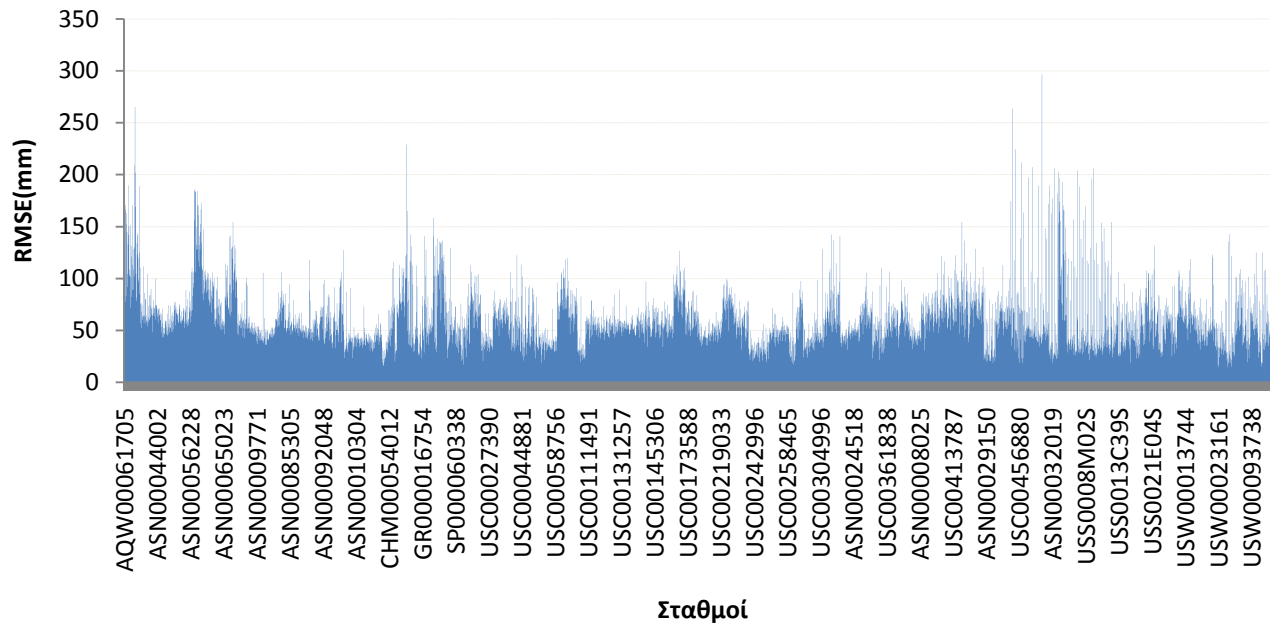
## Μέσο Απόλυτο Σφάλμα μεγίστων G για κάθε σταθμό



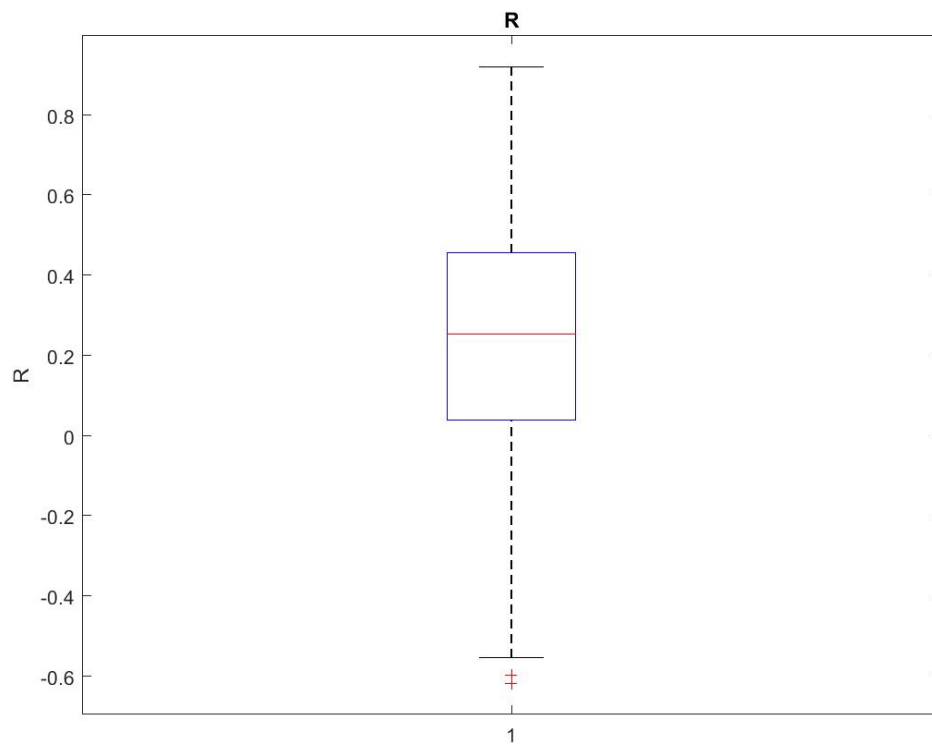
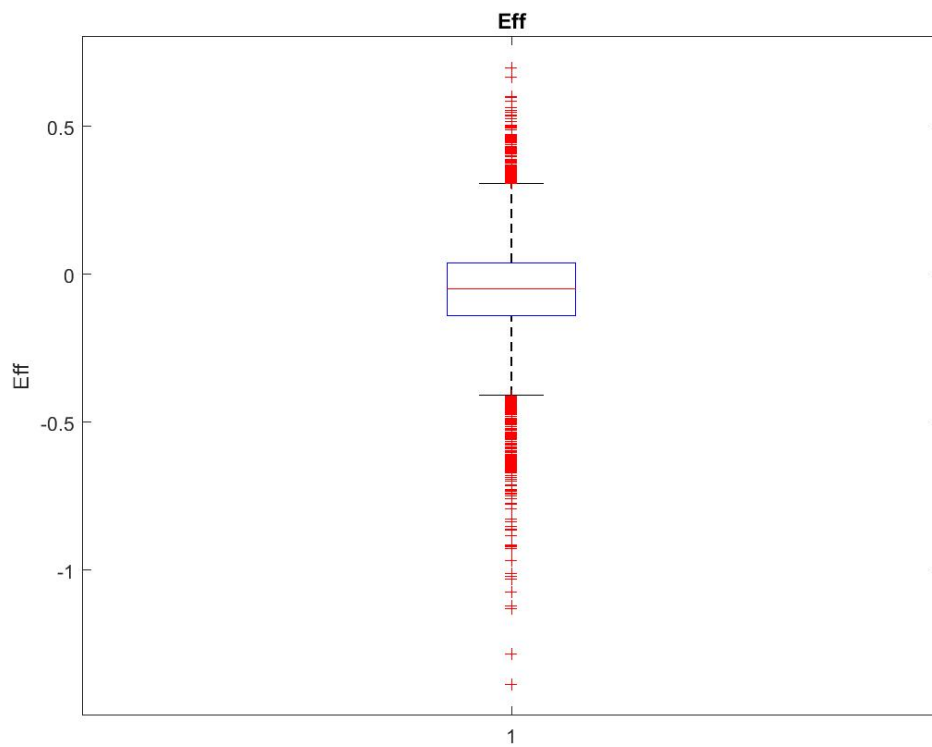
Διάγραμμα του μέσου απόλυτου σφάλματος



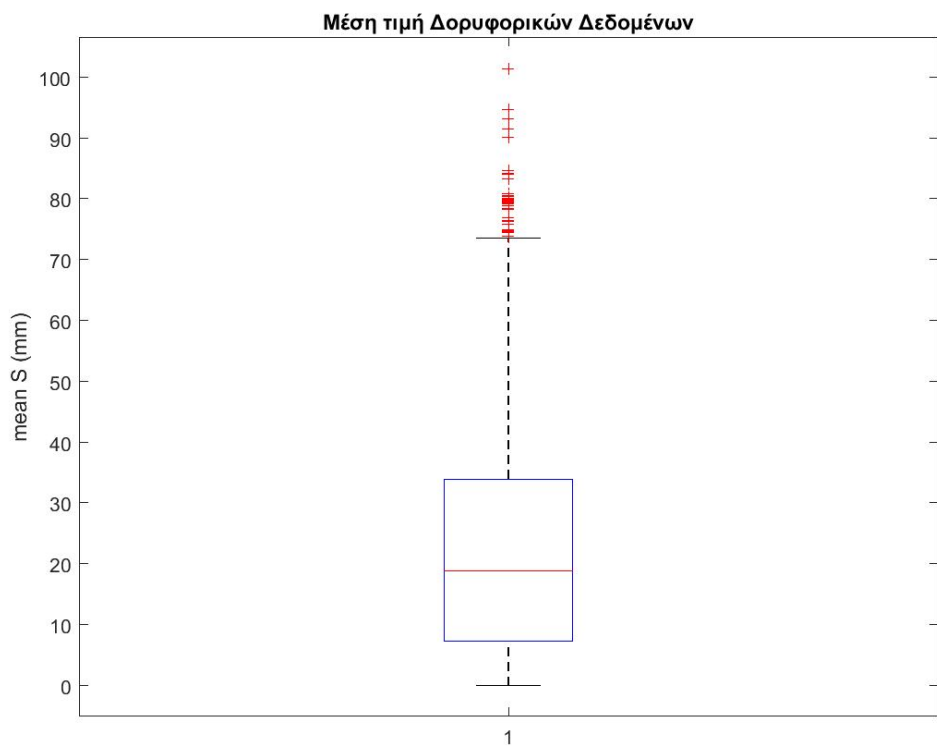
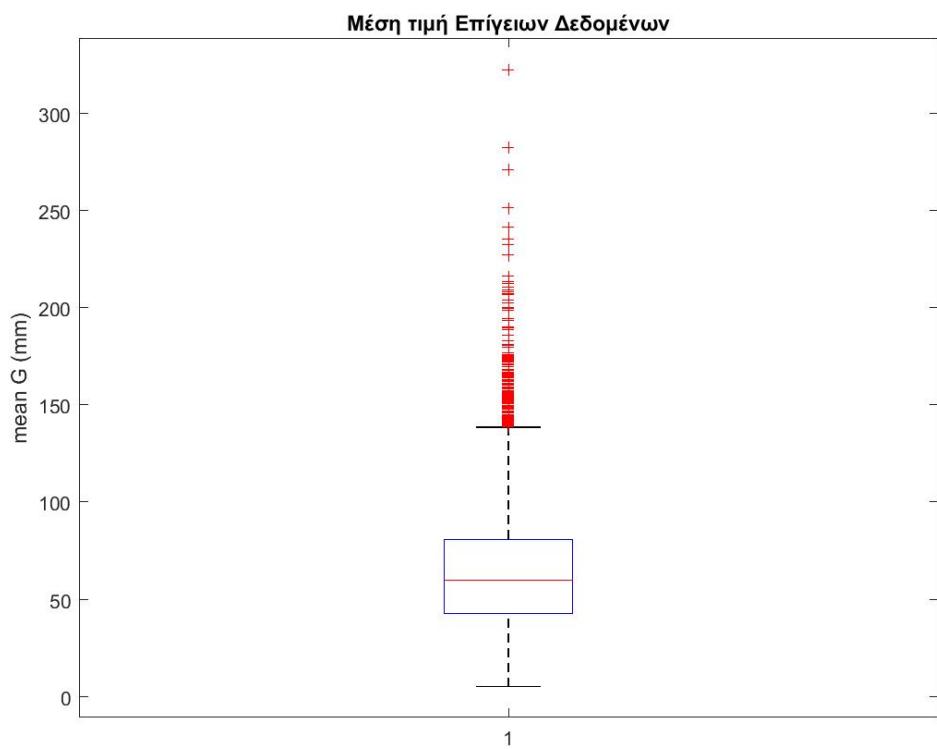
## Ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος μεγίστων G για κάθε σταθμό



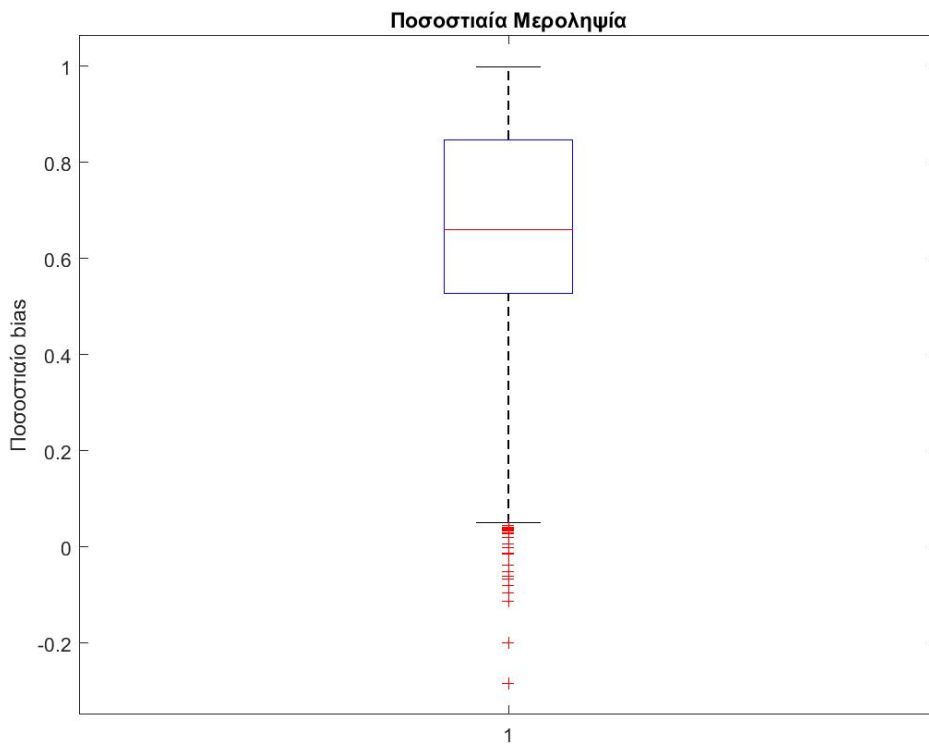
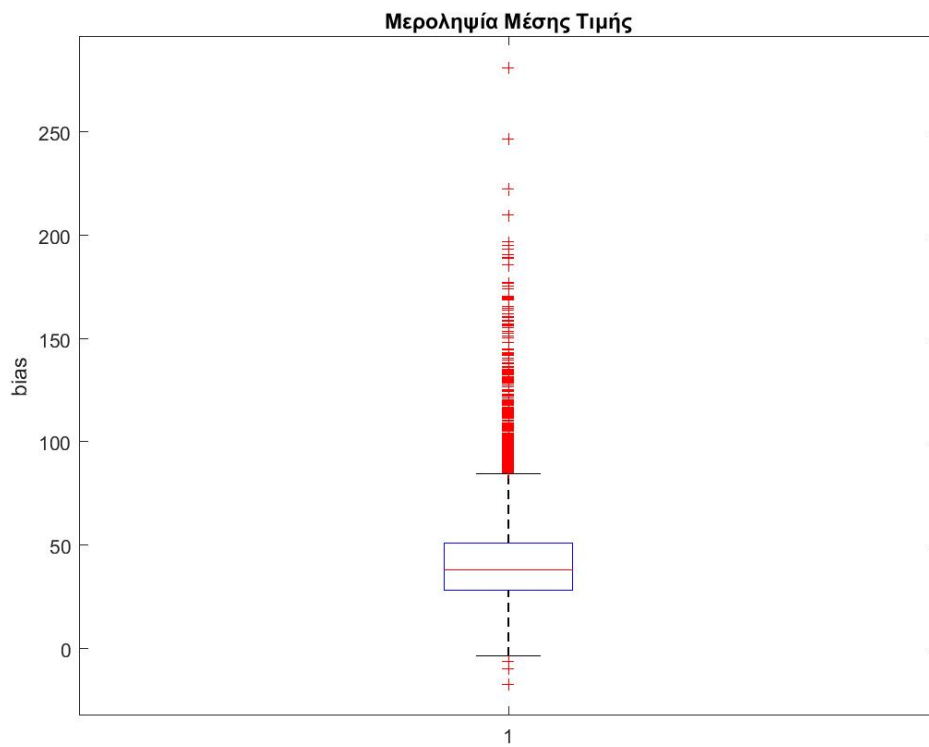
Διάγραμμα της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος



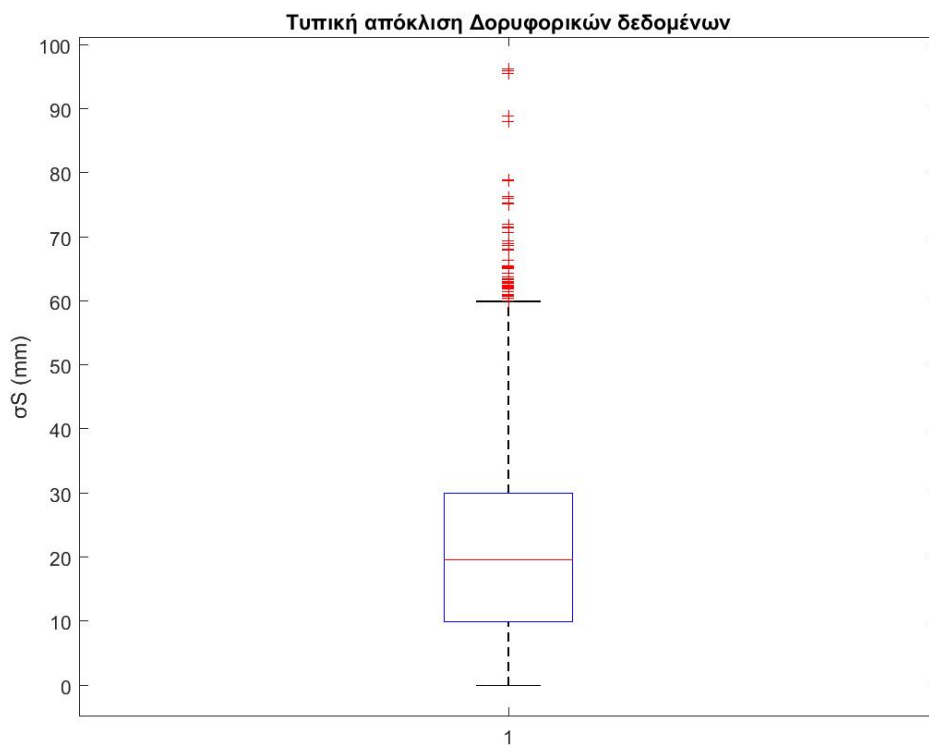
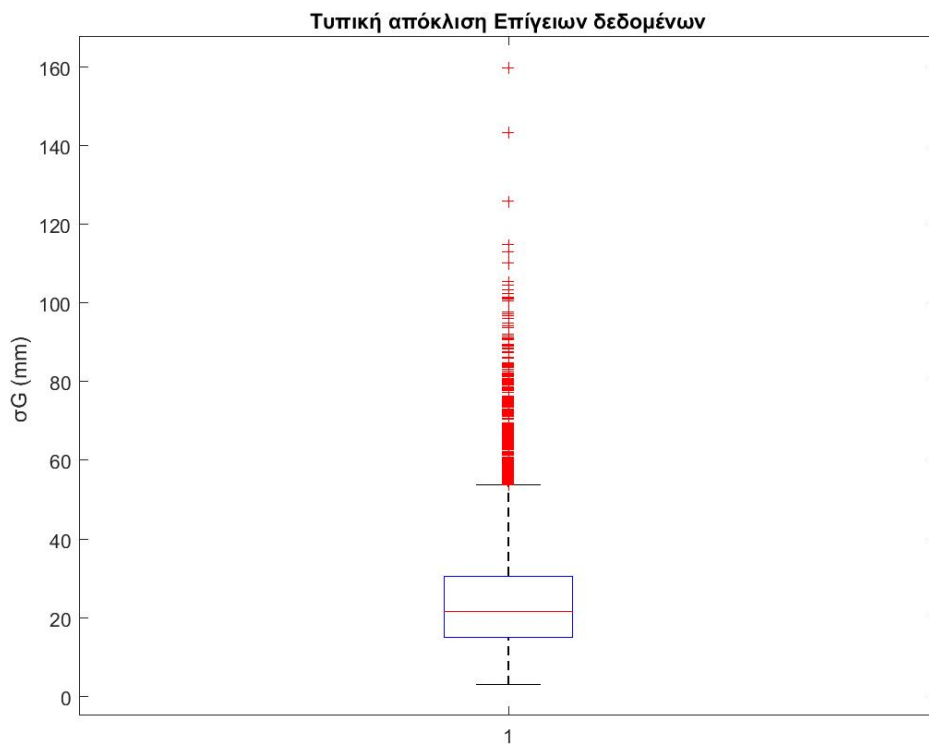
**Βοχplot αποδοτικότητας και ετεροσυσχέτισης**



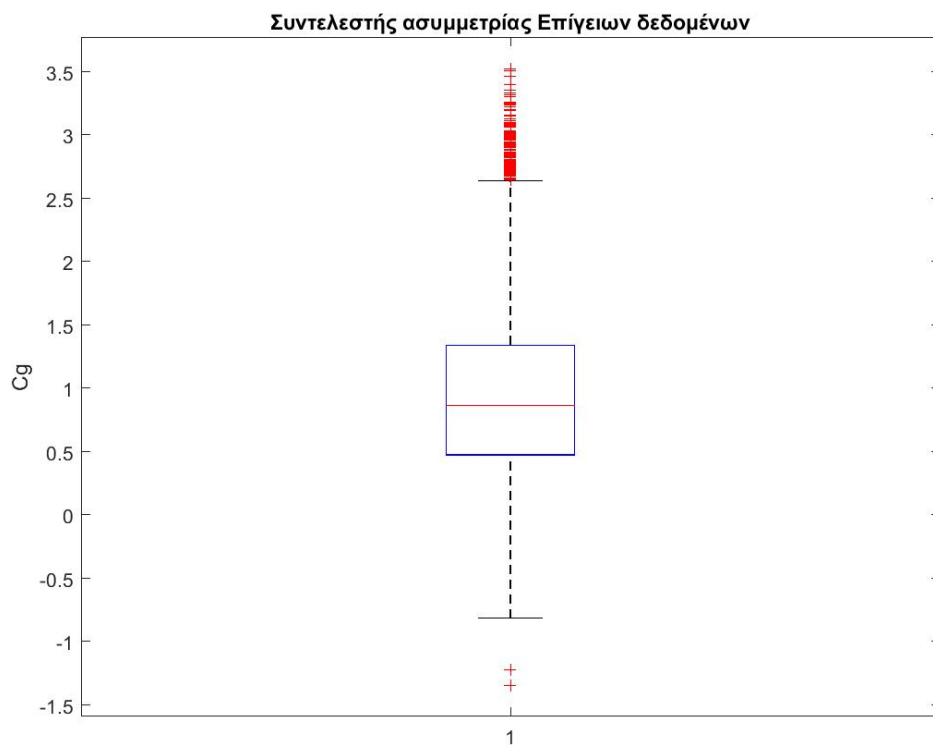
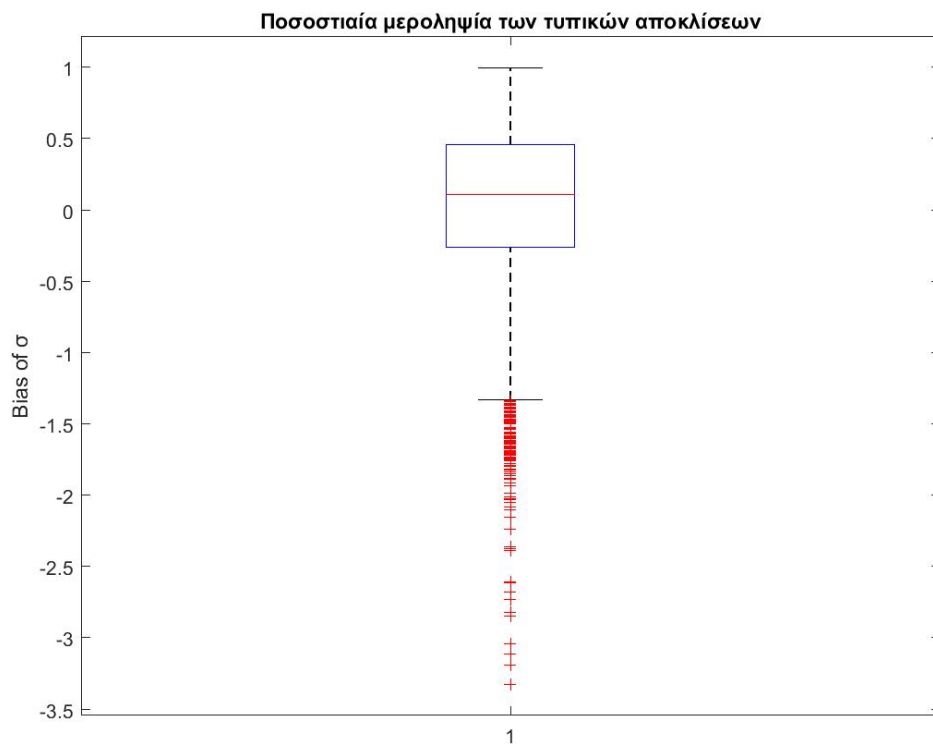
**Βοχλοτμέσης τιμής επίγειων και δορυφορικών δεδομένων**



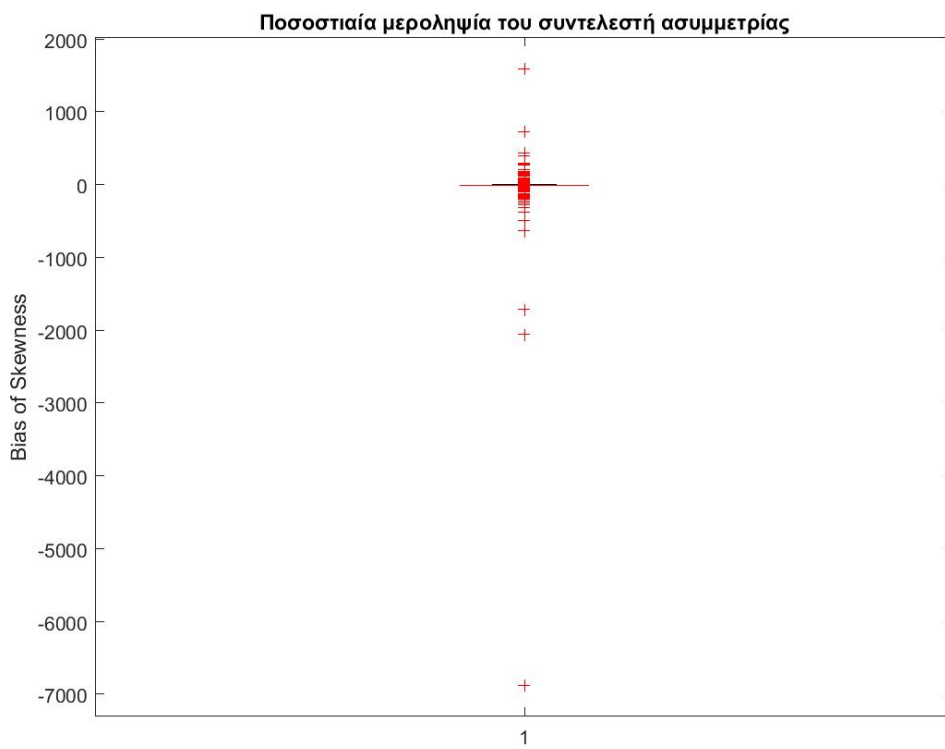
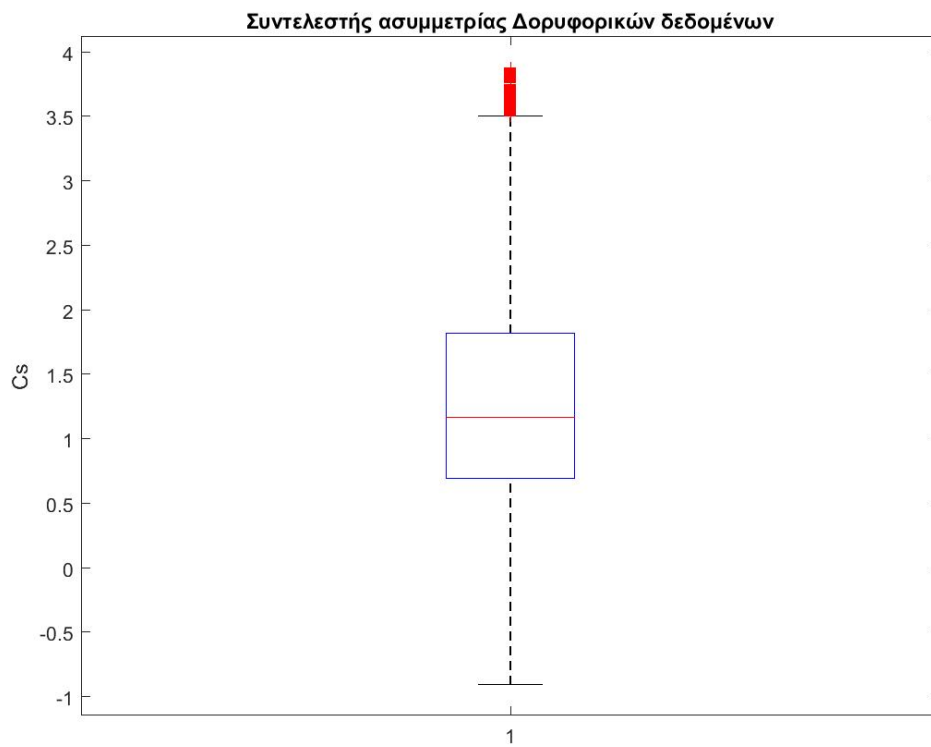
**Boxplot μεροληψίας μέσης τιμής**



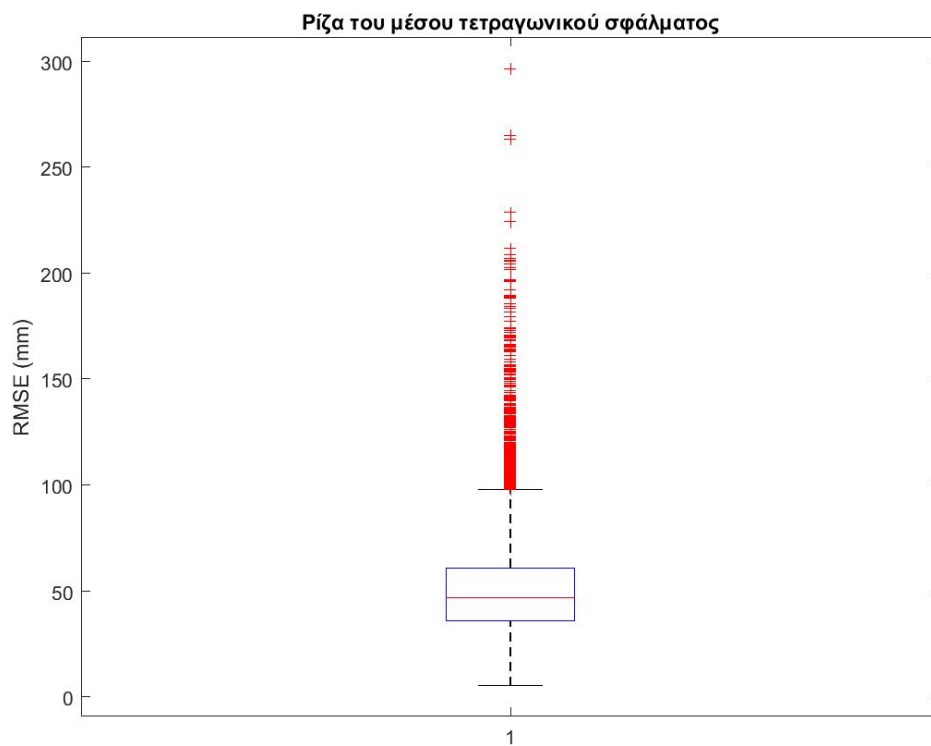
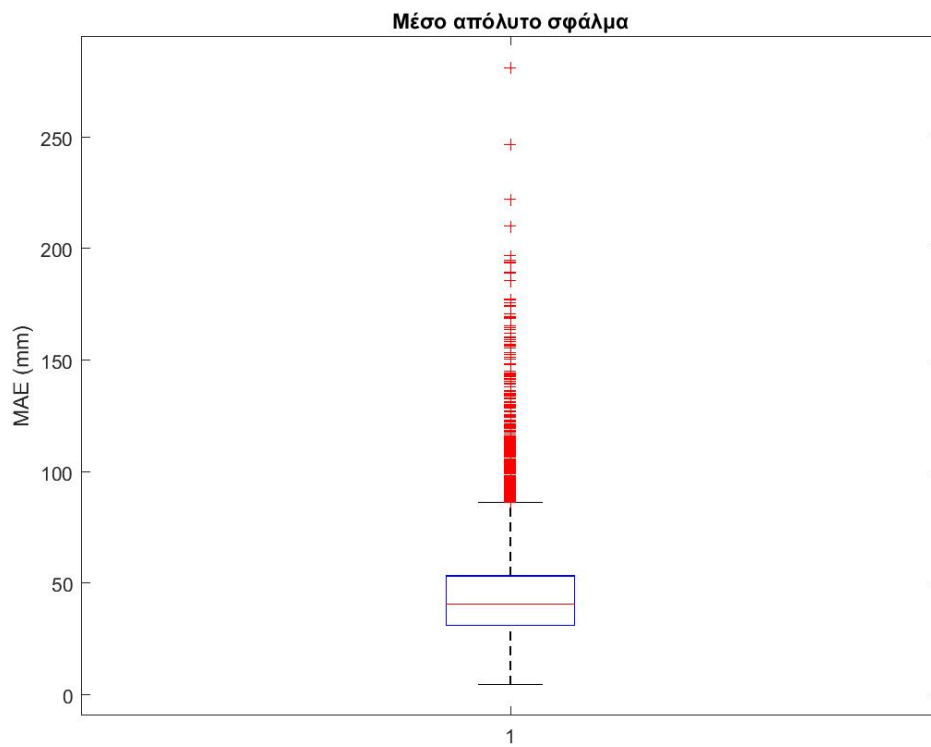
**Βοχplot της τυπικής απόκλισης**



**Βοχplot της ποσοστιαίας μεροληψίας των τυπικών αποκλίσεων και του  $C_g$**



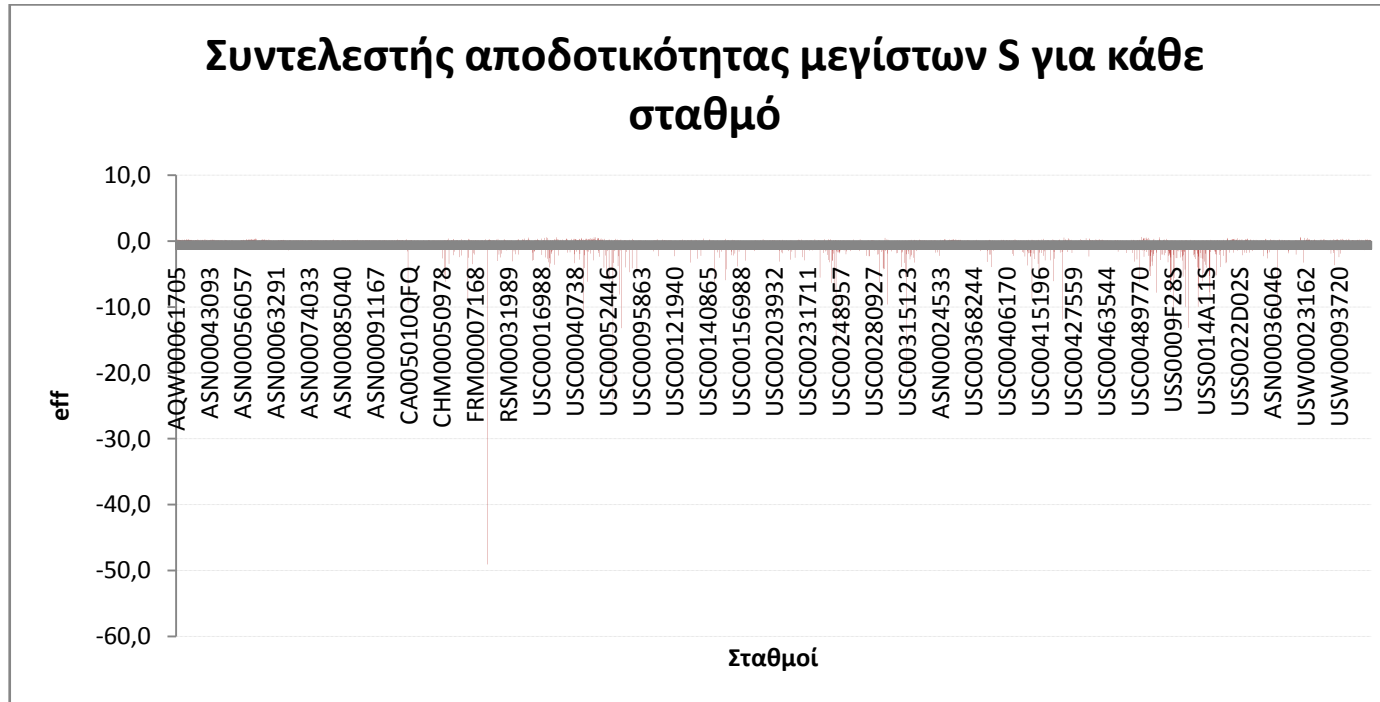
**Βοξπλοττου  $C_s$  και της ποσοστιαίας μεροληψίας των συντελεστών  $C$**



**Boxplot του MAE και του RMSE**



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης μεγίστων δορυφορικών καταγραφών

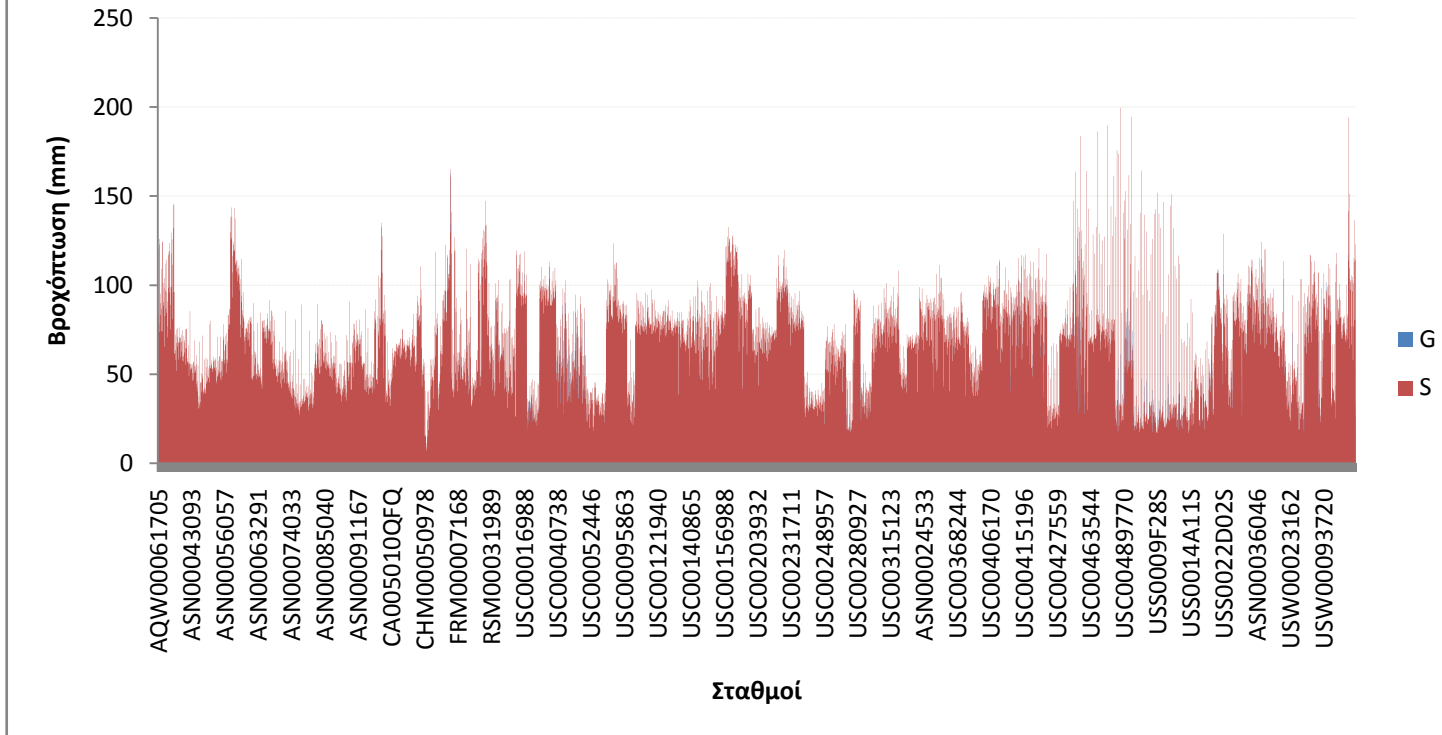


Διάγραμμα του συντελεστή αποδοτικότητας για κάθε σταθμό



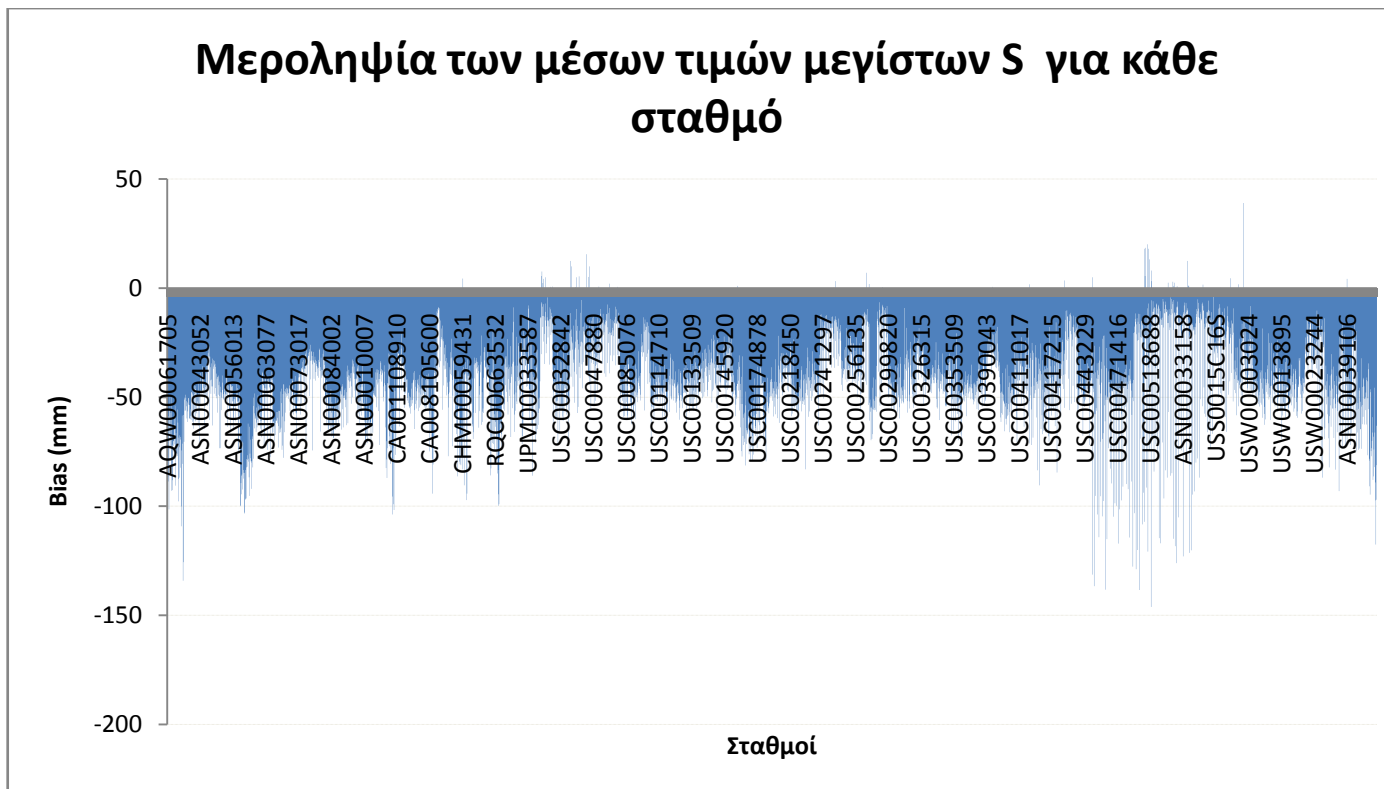
**Διάγραμμα του συντελεστή ετεροσυσχέτισης**

## Μέση υπερετήσια βροχόπτωση μεγίστων S για κάθε σταθμό



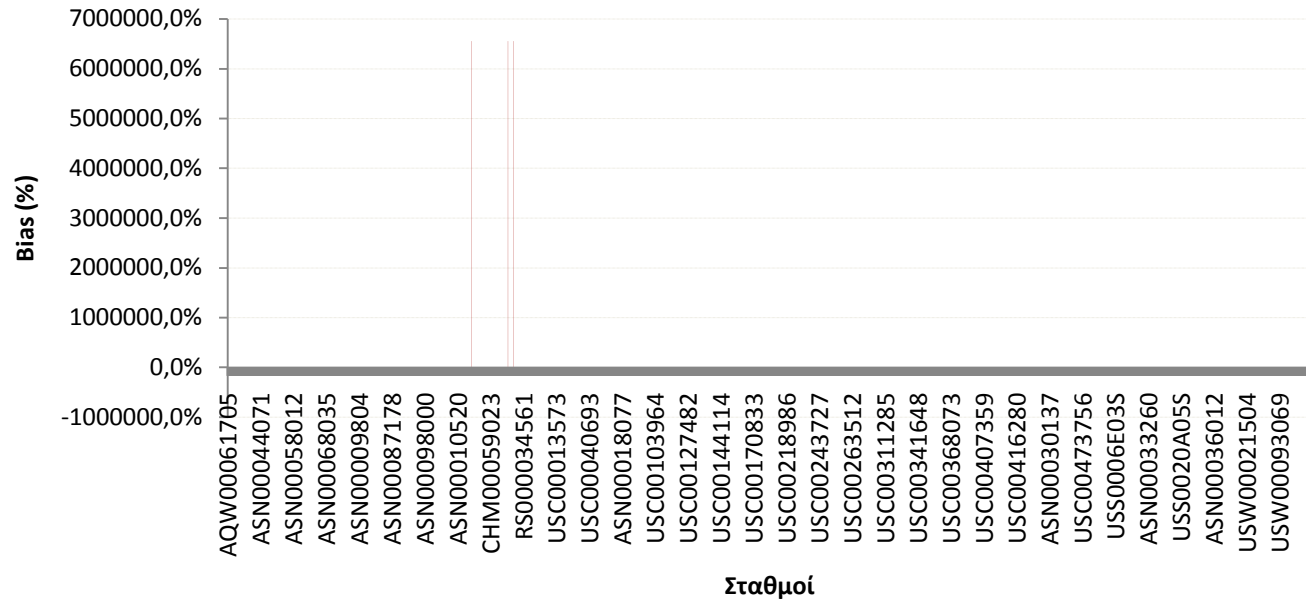
Διάγραμμα της μέσης υπερετήσιας βροχόπτωσης

## Μεροληψία των μέσων τιμών μεγίστων S για κάθε σταθμό

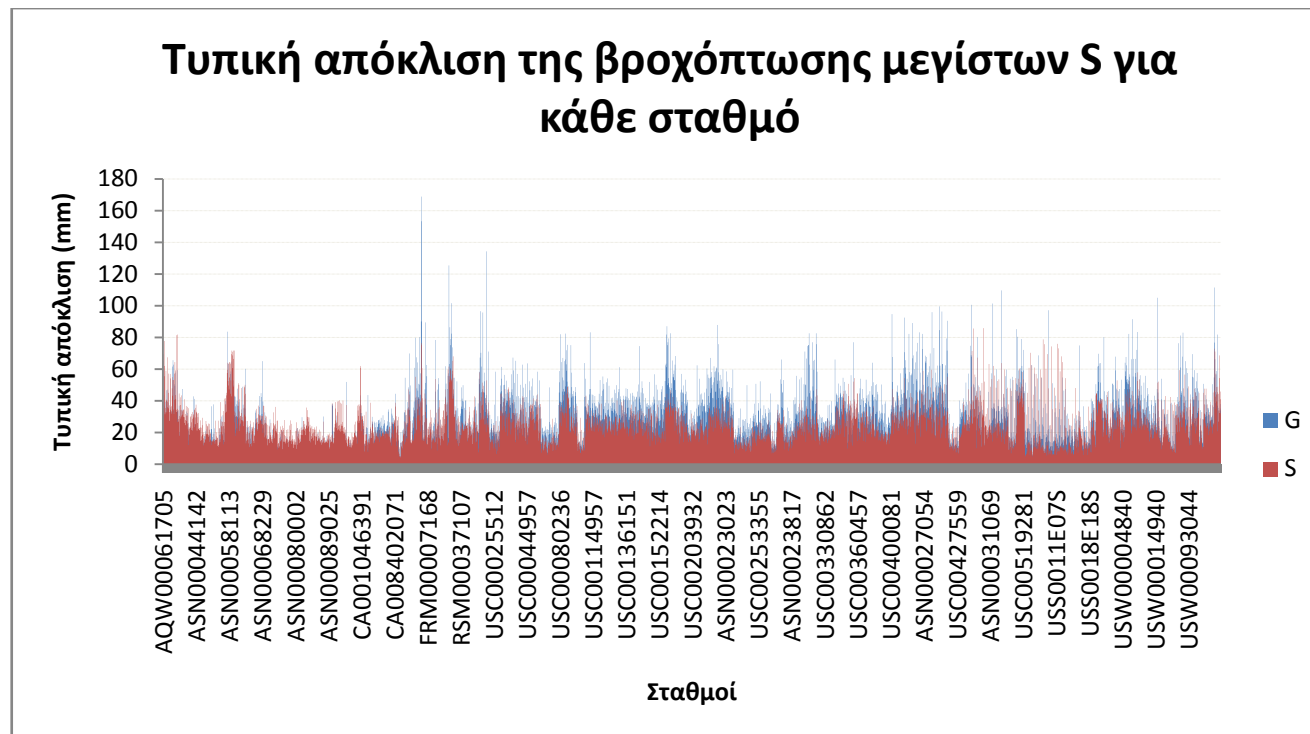


Διάγραμμα μεροληψίας των μέσων τιμών

## Ποσοστιαία μεροληψία των μέσων τιμών μεγίστων S για καθε σταθμό

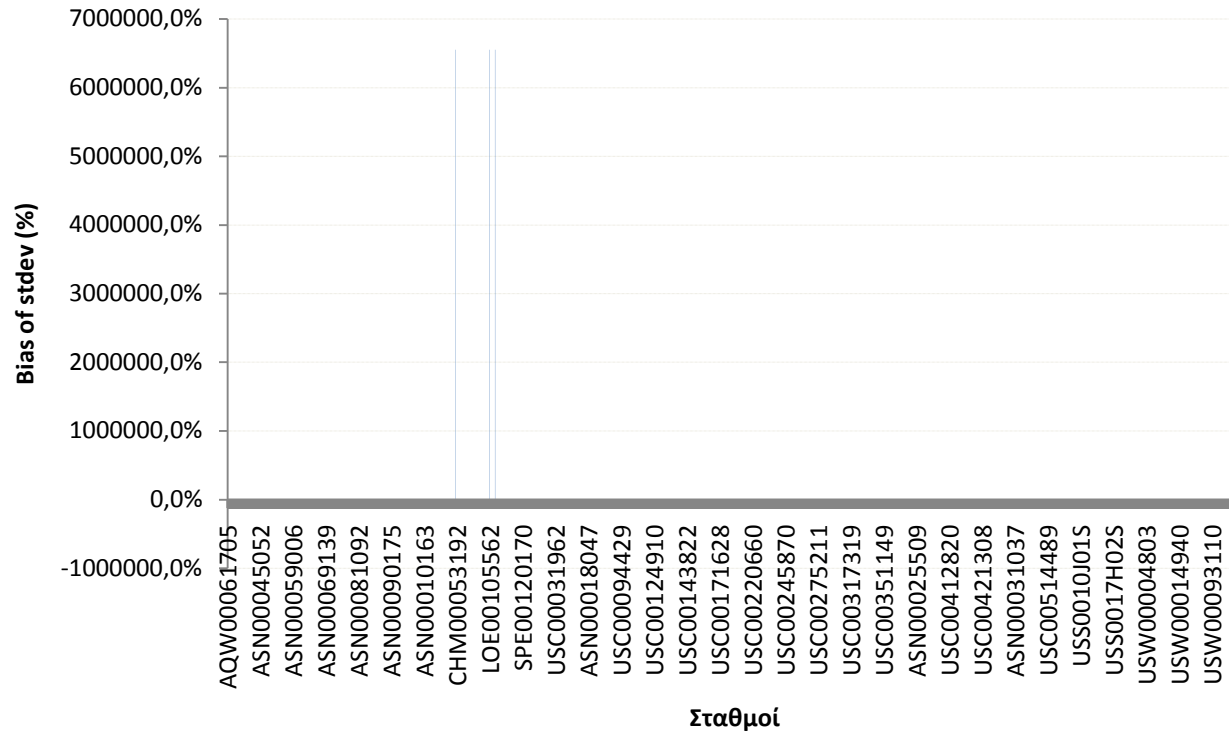


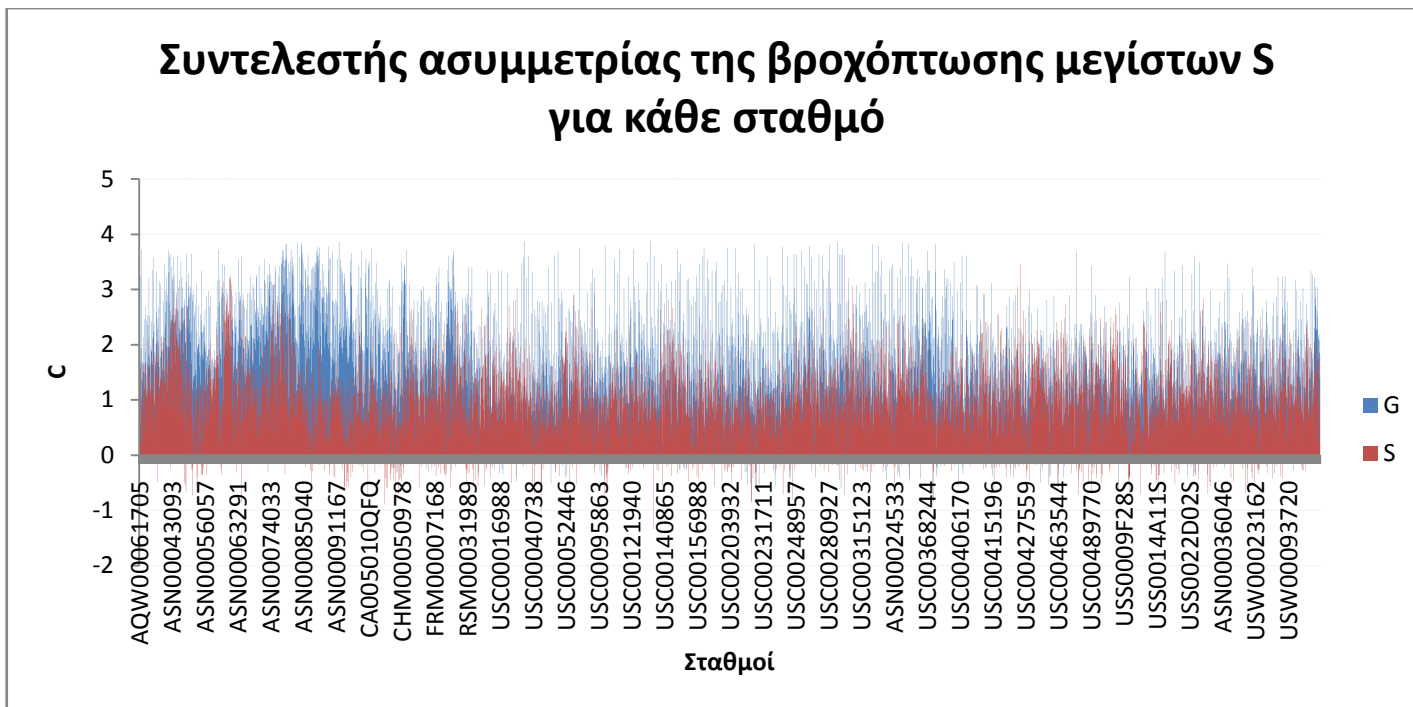
**Διάγραμμα ποσοστιαίας μεροληψίας των μέσων τιμών**



**Διάγραμμα των τυπικών αποκλίσεων της βροχόπτωσης**

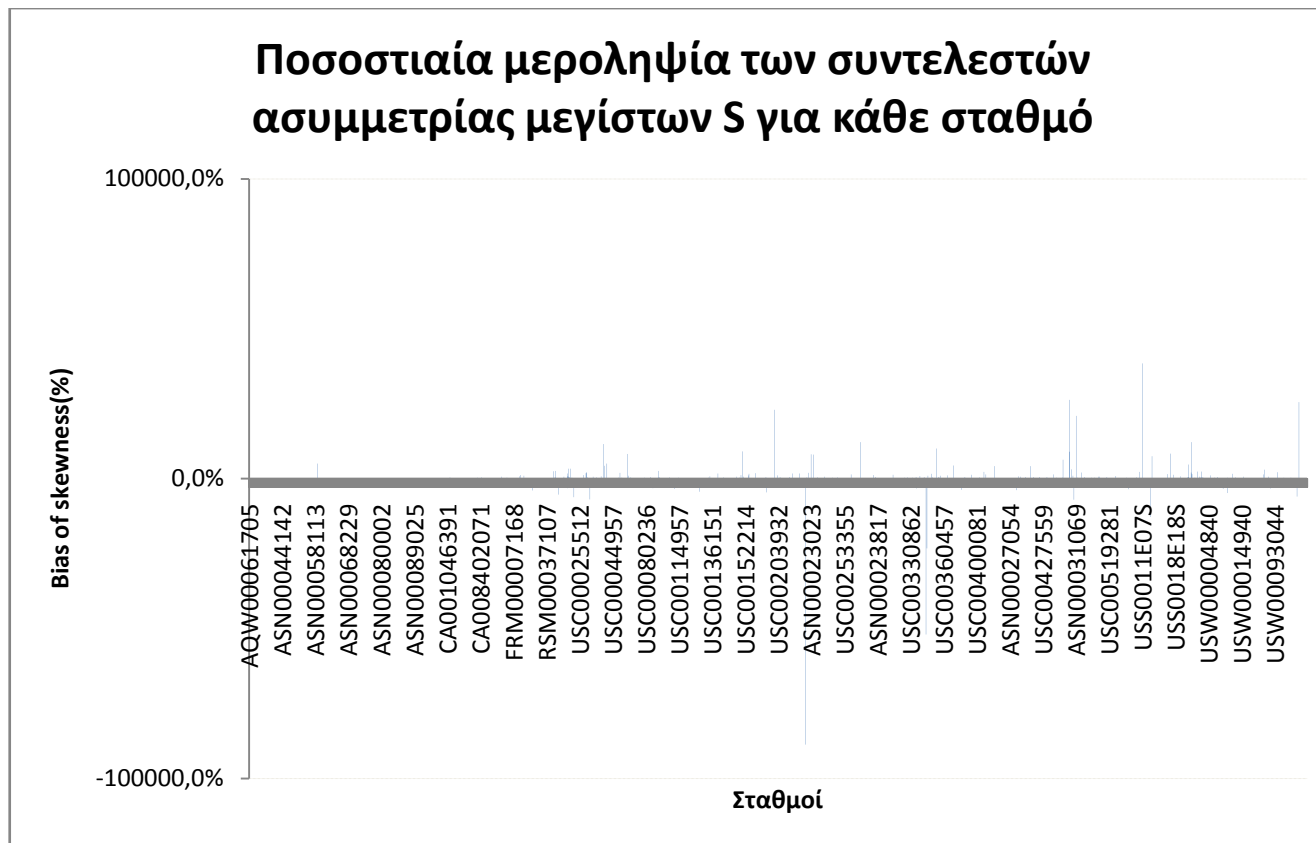
## Μεροληψία των τυπικών αποκλίσεων μεγίστων S για κάθε σταθμό



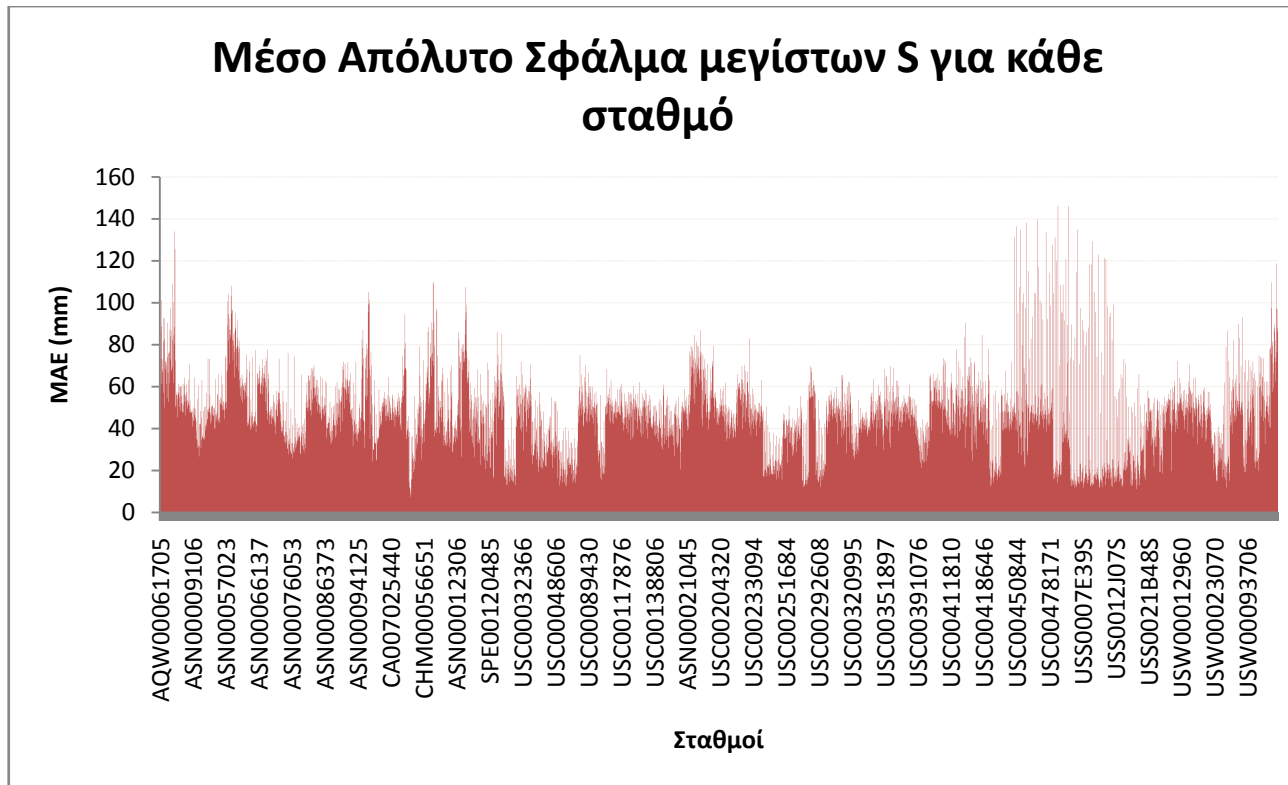


Διάγραμμα των συντελεστών ασυμμετρίας



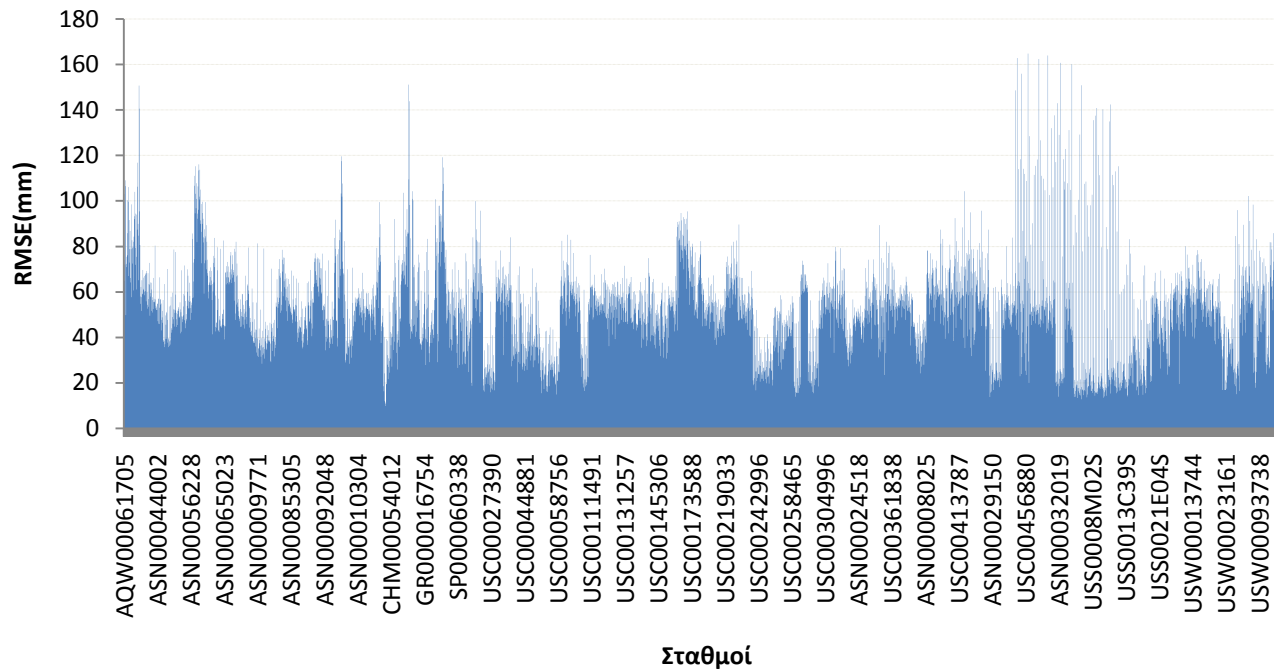


**Διάγραμμα ποσοστιαίας μεροληψίας των συντελεστών ασυμμετρίας**

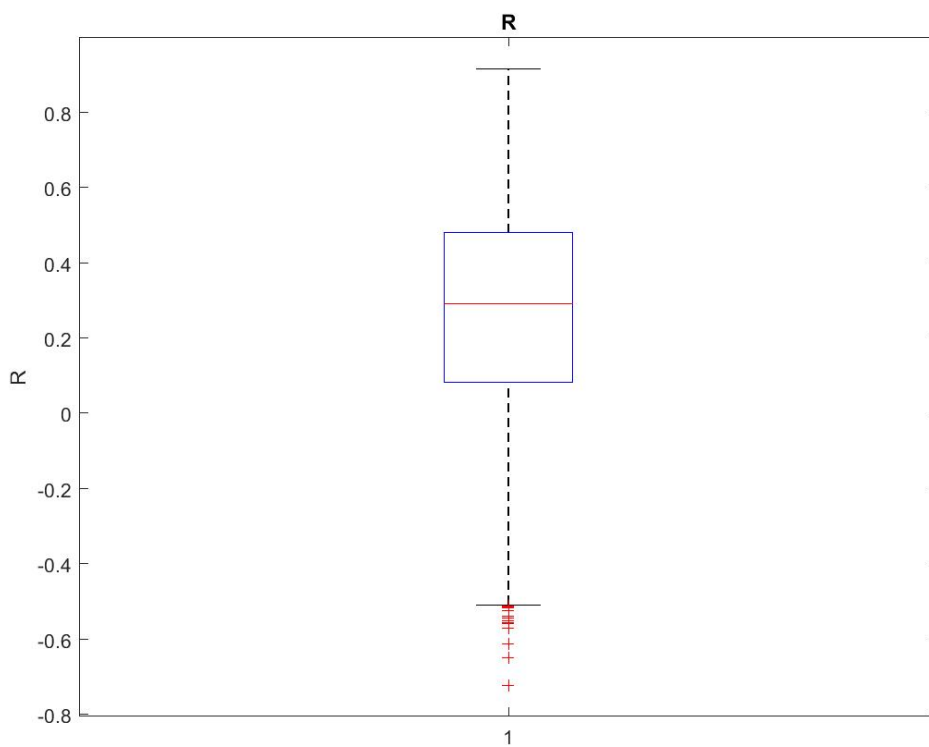
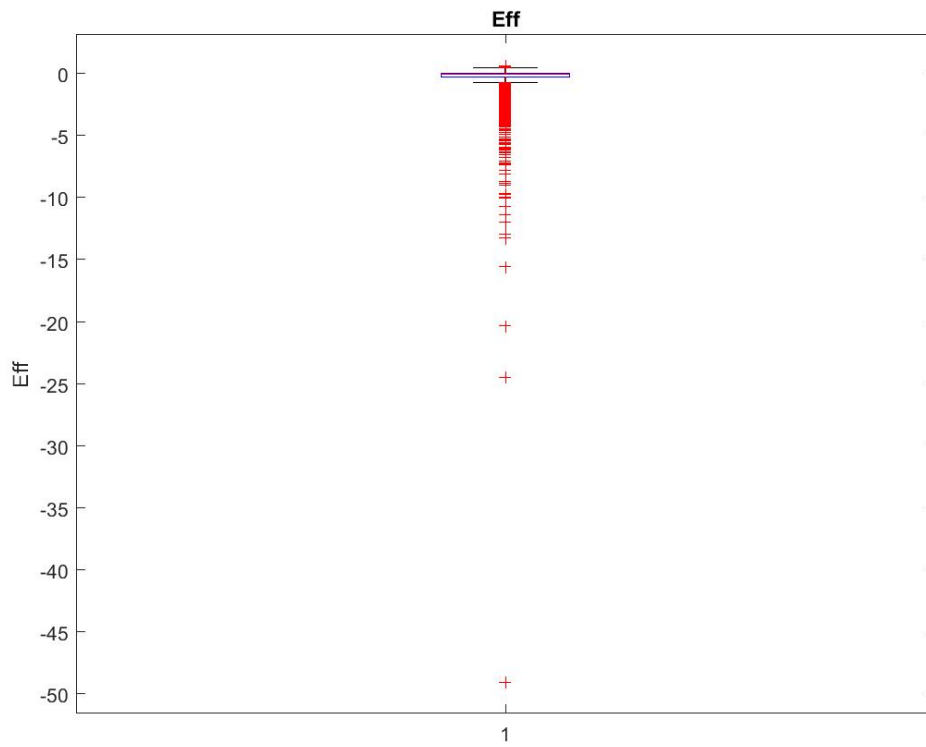


**Διάγραμμα μέσου απόλυτου σφάλματος**

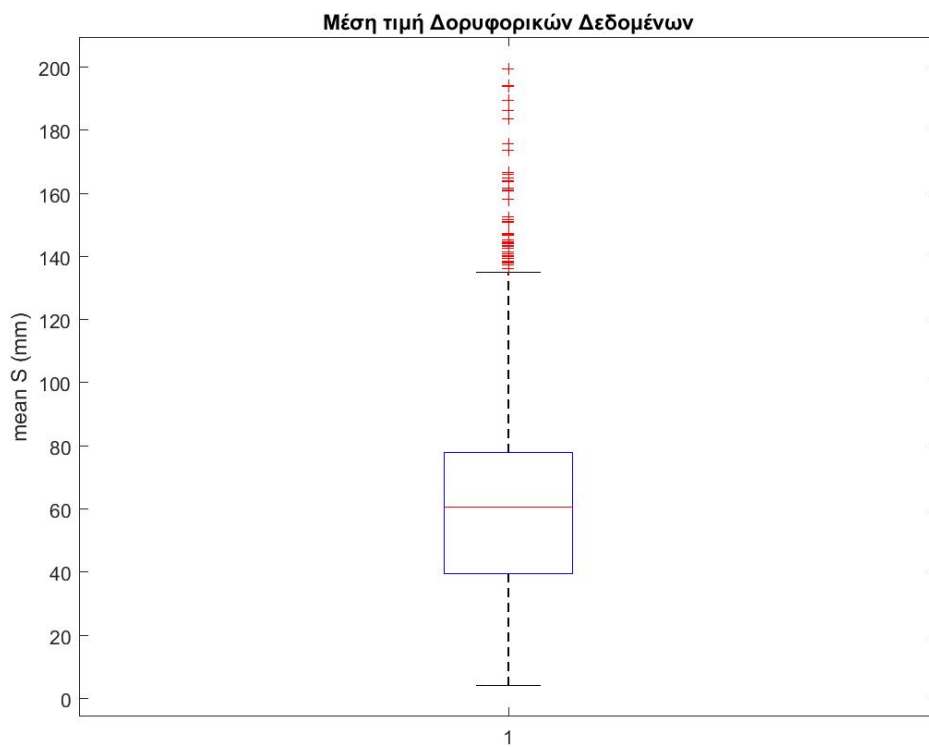
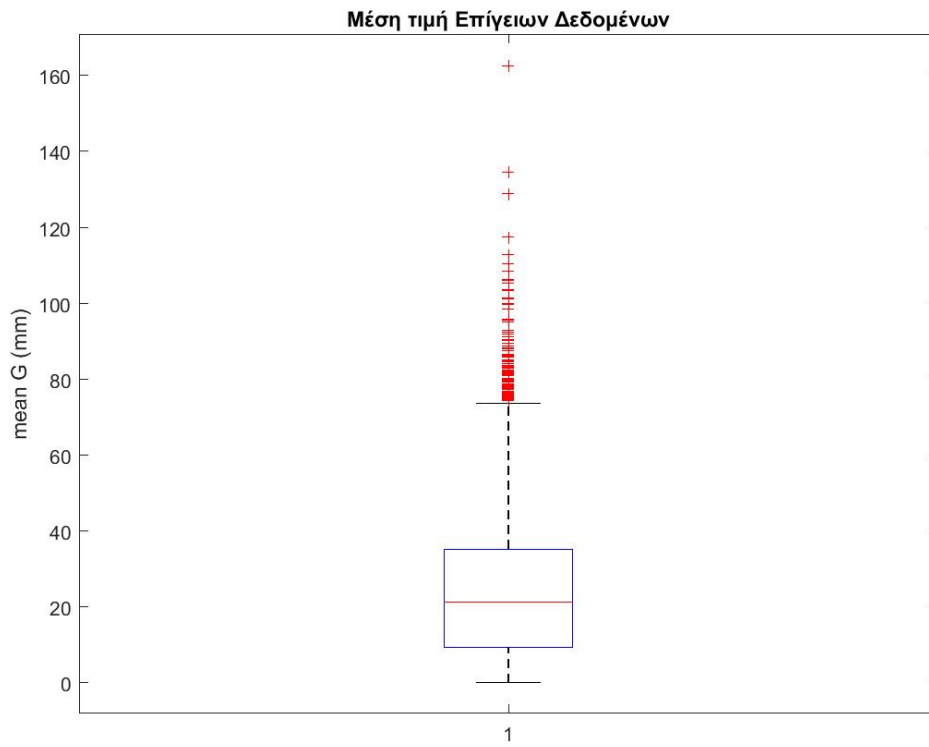
## Ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος μεγίστων S για κάθε σταθμό



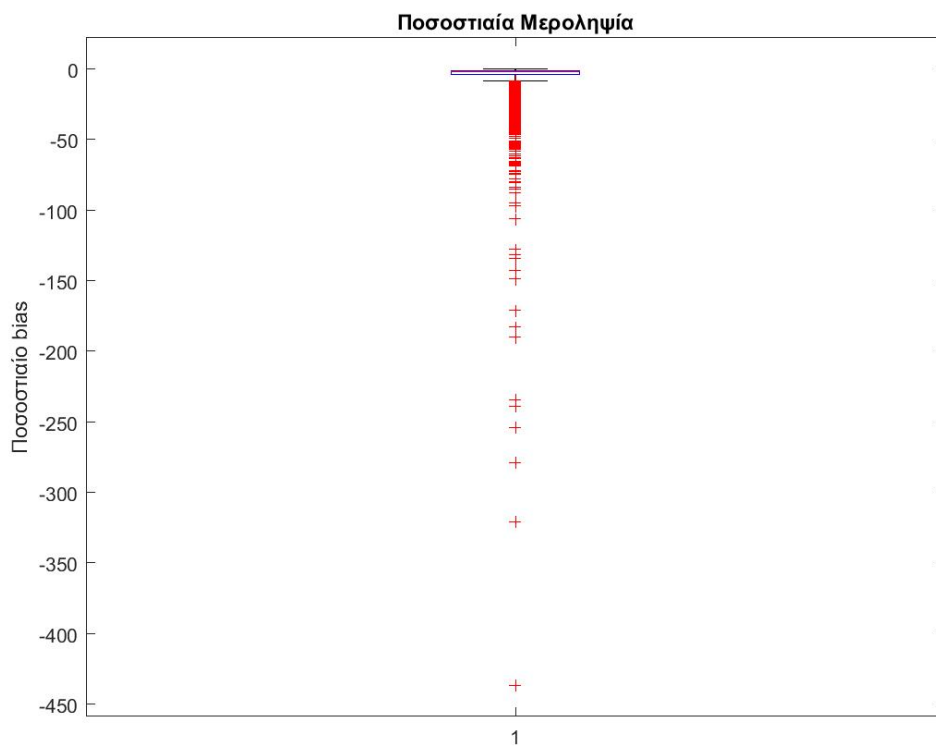
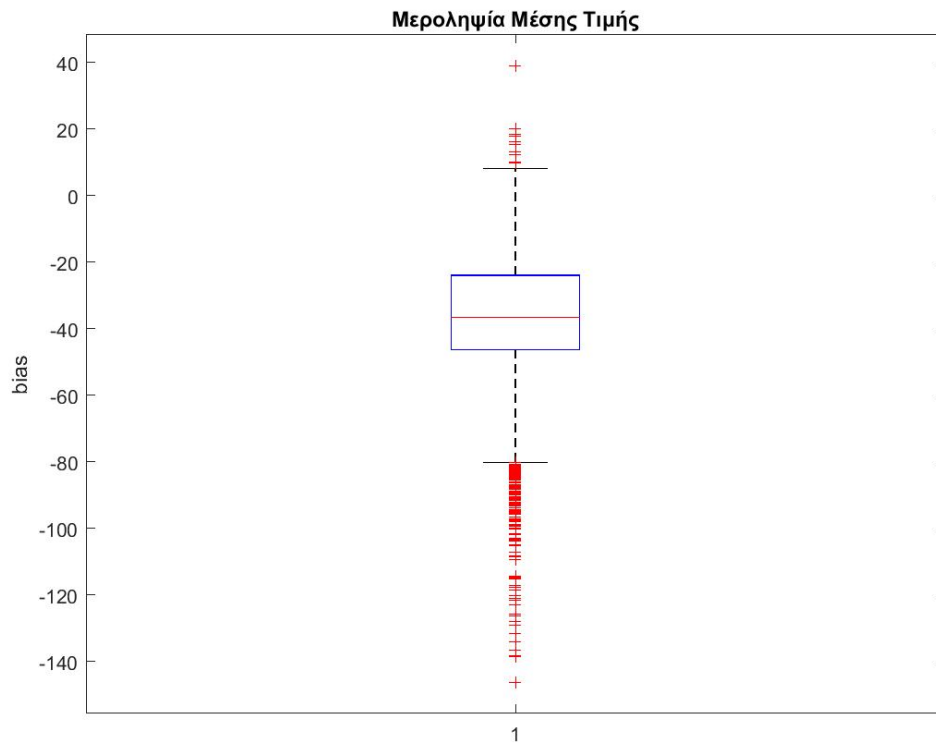
Διάγραμμα της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος



**Βοηθητική αποδοτικότητα και του συντελεστή ετεροσυσχέτισης**

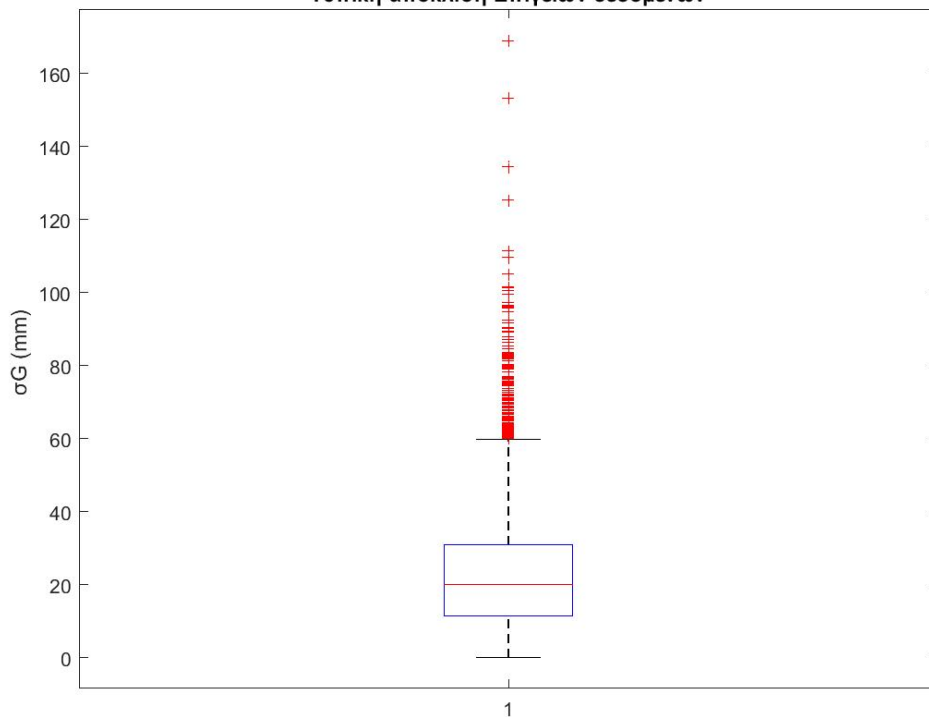


**Βοχplot της μέσης τιμής επίγειων και δορυφορικών δεδομένων**

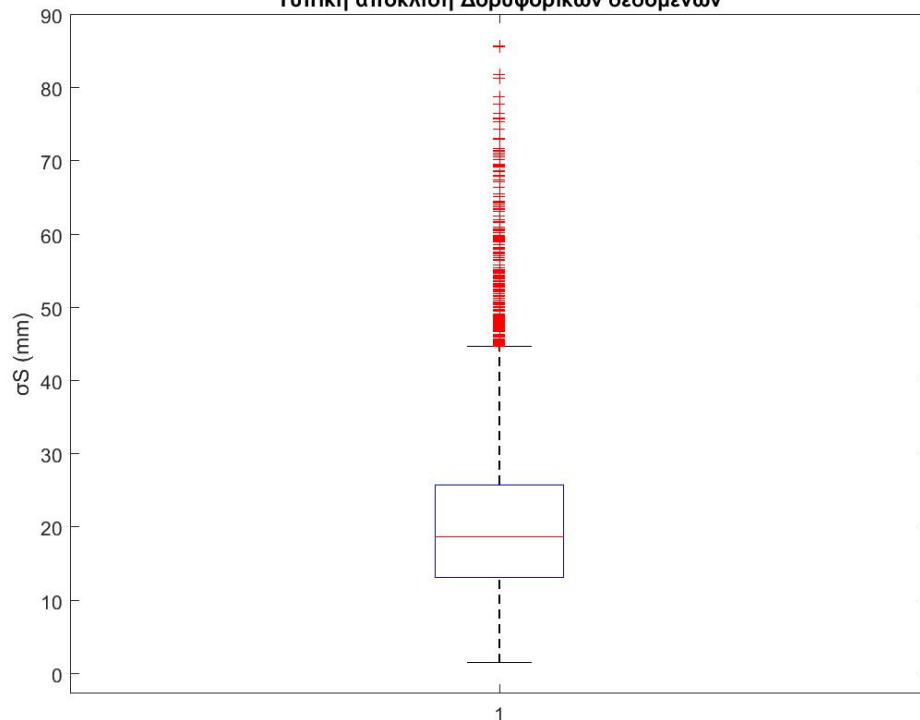


**Βοχplot της μεροληψίας της μέσης τιμής**

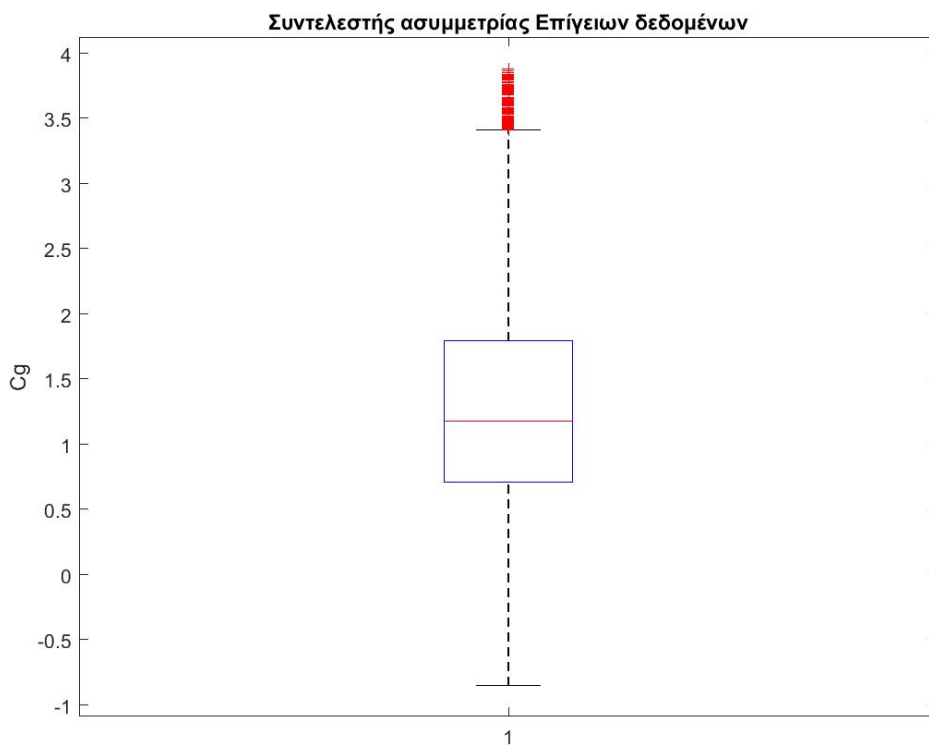
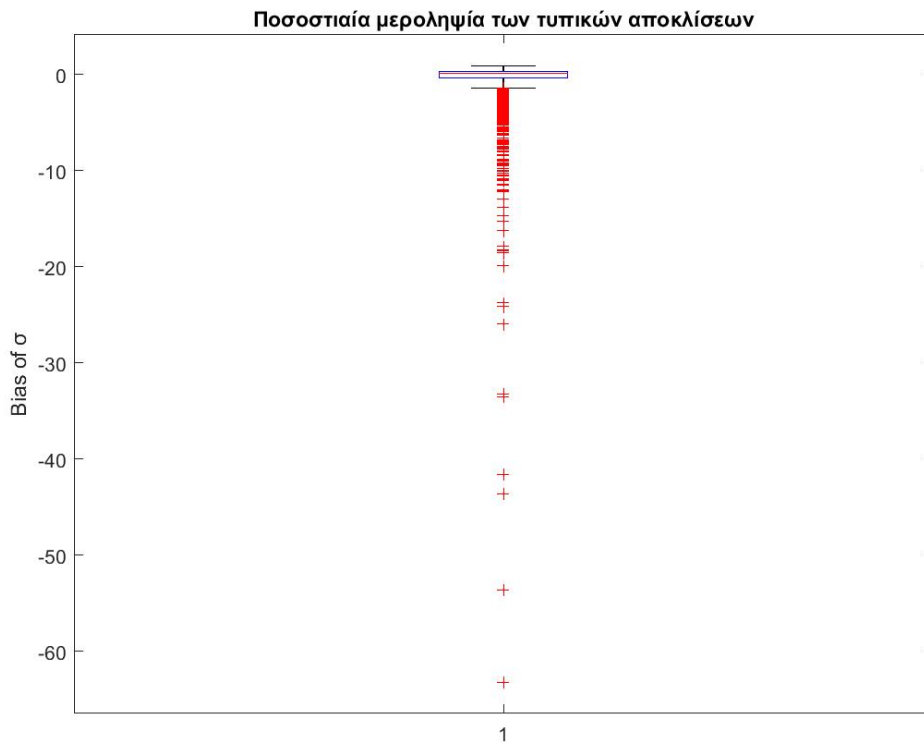
Τυπική απόκλιση Επίγειων δεδομένων



Τυπική απόκλιση Δορυφορικών δεδομένων

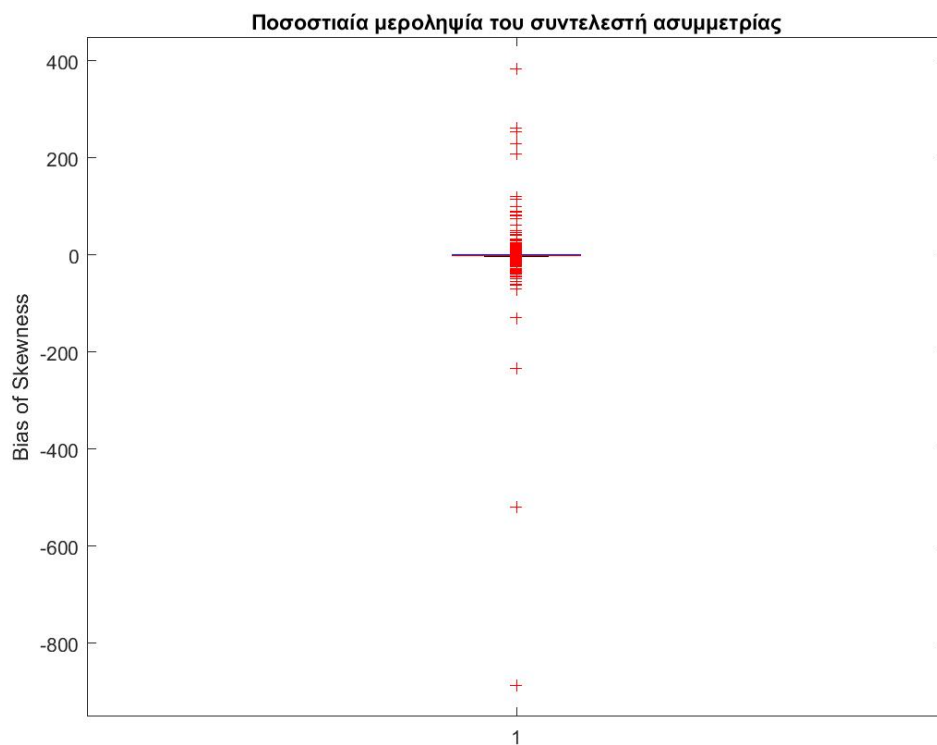
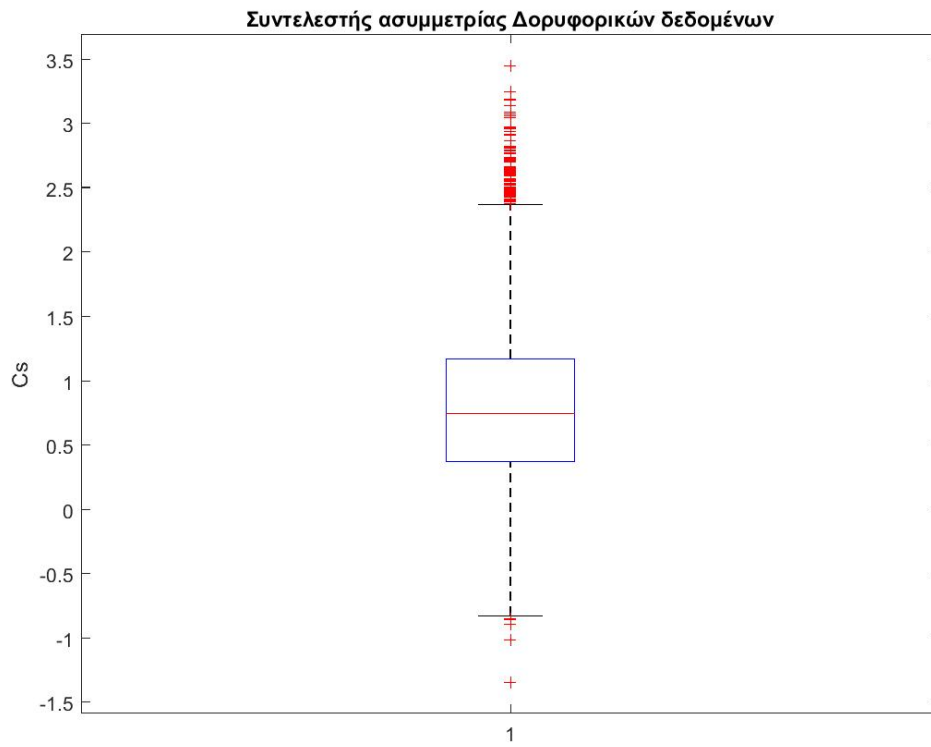


Βοχplot της τυπικής απόκλισης

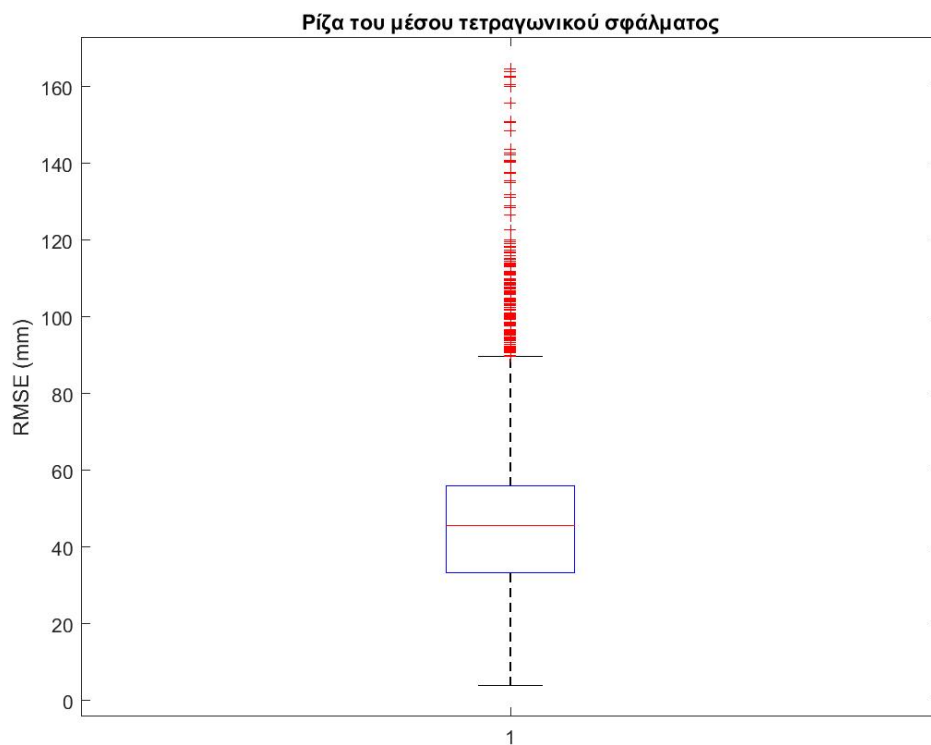
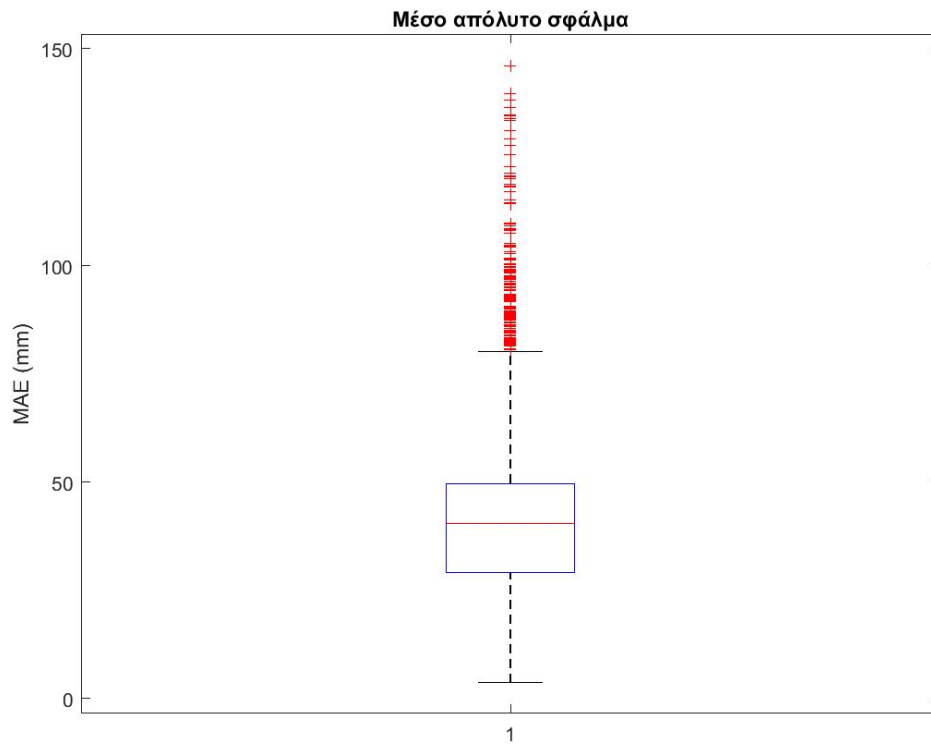


**Βοχplot της ποσοστιαίας μεροληψίας των τυπικών αποκλίσεων και του Cg**





**Βοηθότυπο συντελεστή  $C_s$  και της ποσοστιαίας μεροληψίας των συντελεστών  $C$**



**Boxplot του MAE και του RMSE**

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: Κύριοι αλγόριθμοι για την επεξεργασία δεδομένων μέσω του λογισμικού MATLAB

### Αλγόριθμος της μεθόδου *modified BLUE*

```
function trmm_blue(filename)
filename=char(filename);
f=fullfile(['F:\δ\πλωματικη\NOAA\noaGOODtimeseries' filename]);
load(f);
LON=LON;
LAT=LAT;
minlon=-179.8750;
minlat=-49.8750;
%estimate 4 neighbouring grids
if LON<-179.875

x1=(LON - mod(LON-minlon,0.25))+0.25;
x2=x1+0.25;
x3=x1;
x4=x1+0.25;
elseif LON>179.875
x1=(LON - mod(LON-minlon,0.25));
x2=x1-0.25;
x3=x1;
x4=x1-0.25;
else
x1=(LON - mod(LON-minlon,0.25));
x2=x1+0.25;
x3=x1;
x4=x1+0.25;
end

if LAT<-49.875
y1=(LAT - mod(LAT-minlat,0.25))+0.25;
y2=y1;
y3=y1+0.25;
y4=y1+0.25;
elseif LAT>49.875
y1=(LAT - mod(LAT-minlat,0.25)) ;
y2=y1;
y3=y1-0.25;
y4=y1-0.25;
else
y1=(LAT - mod(LAT-minlat,0.25));
y2=y1;
y3=y1+0.25;
y4=y1+0.25;
end

end

%add to directory pou einai ta function p kaloume
% y->lat x->lon
addpath('F:\δ\πλωματικη\scripts');
col1=trmm_col(y1,x1);
col2=trmm_col(y2,x2);
col3=trmm_col(y3,x3);
```

```

col4=trmm_col(y4,x4);

col1=int32(col1);
col2=int32(col2);
col3=int32(col3);
col4=int32(col4);

alldata=matfile('alldata.mat');
trmm1=alldata.var(1:6574,col1);
trmm2=alldata.var(1:6574,col2);
trmm3=alldata.var(1:6574,col3);
trmm4=alldata.var(1:6574,col4);

%%find TRMM maxima
%%call trmm_dates and concantanate with trmm original series
loaddates_trmm
T1=[timeline,trmm1];
T2=[timeline,trmm2];
T3=[timeline,trmm3];
T4=[timeline,trmm4];
%αφαίρω από τους πίνακες T1,T2,T3,T4 τα στοιχεία που περιέχουν -
9999.9
XXX=find((T1(:,4)<0));
YYY=find((T2(:,4)<0));ZZZ=find((T3(:,4)<0));CCC=find((T4(:,4)<0));
yolo=union(XXX,YYY);
dab=union(ZZZ,CCC);
xx=union(yolo,dab);
T1(xx,:)=[]; T2(xx,:)=[]; T3(xx,:)=[]; T4(xx,:)=[];

dz=zeros(length(T1),1);
w=1;
dz=zeros(length(TSpred),1);
for i=1:length(TSpred)
for j=1:length(T1)
if TSpred(i,1)==T1(j,1) && TSpred(i,2)==T1(j,2) &&
TSpred(i,3)==T1(j,3)
dz(w,1)=1;
end
end
w=w+1;
end
d=logical(dz);
good=TSpred(d,:);
% [d2 ind2]=ismember(good(:,1),timeline(:,1));
dw=zeros(length(T1),1);
c=1;
for i=1:length(T1)
for j=1:length(good)
if T1(i,1)==good(j,1) && T1(i,2)==good(j,2) && T1(i,3)==good(j,3)
dw(c,1)=1;
end
end
end

```

```

        c=c+1;
end
d2=logical(dw);
T1_good=T1(d2,:);
T2_good=T2(d2,:);
T3_good=T3(d2,:);
T4_good=T4(d2,:);

% x(1)=w1 % x(2)=w2 % x(3)=w3% x(4)=w4% x(5)=c % x(6)=a
%Yi the timeseries of grid i
real_ind=~isnan(good(:,4));
G=good(real_ind,4);

y1=T1_good(real_ind,4);
y2=T2_good(real_ind,4);
y3=T3_good(real_ind,4);
y4=T4_good(real_ind,4);
%XXX=find((T1(:,4)<0)&(T2(:,4)<0)&(T3(:,4)<0)&(T4(:,4)<0));
T1(XXX,:)=[]; T2(XXX,:)=[]; T3(XXX,:)=[]; T4(XXX,:)=[];

fun=@(x)
sum(((x(1)*(x(6)+y1).^x(5))+x(2)*(x(6)+y2).^x(5))+x(3)*(x(6)+y3).^x(5))+x(4)*(x(6)+y4).^x(5)).^(1/(x(5)))-x(6)-G).^2);
A=[ ];
b=[ ];

Aeq=[1,1,1,1,0,0];
beq=1;

lb=[0,0,0,0,0,0];
ub=[1,1,1,1,1,+Inf];

x0=[0.25,0.25,0.25,0.25,0.4,2];

x = fmincon(fun,x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub);

trmm_final=((x(1)*(x(6)+y1).^x(5))+x(2)*(x(6)+y2).^x(5))+x(3)*(x(6)+y3).^x(5))+x(4)*(x(6)+y4).^x(5)).^(1/(x(5)))-x(6));
%%save final series
%first 3 columns are the NOAA dates, col 4 is the noaa AMS, col 5 the trmm
%blue AMS series, col 6 are the weights from BLUE
G_fin=[good(real_ind,:),trmm_final];
% both_series=NaN(length(G_fin),8);
% both_series(1:6,6)=x;
% both_series(:,1:4)=G_fin;
% both_series(:,5)=trmm_final;
% both_series(1:2,7)=[LAT;LON];
% both_series(1,8)=IDS;
% both_series=[G_fin,trmm_final,blue_weights];
%%allos fakelos apo ta original!

```

```

save(['C:\Users\USER2\Desktop\DataAnny\trmm_noaa\'
filename'],'G_fin','x','LAT','LON','IDS');
end

```

*Αλγόριθμος κατάρτισης πινάκων για μέγιστα ετήσια επίγεια και δορυφορικά προϊόντα*

```

clearall;
clc;
direc=dir('F:\δελφωμοατικη\trmm_noaa');
names={direc.name};
for i=3:length(names)
name=char(names(i));
load (name);
noaa=G_fin;
noaa(:,5)=[];
trmm=G_fin;
trmm(:,4)=[];
    yrs_1=[1998:2015];
nmaxx=NaN(length(yrs_1),4);
for i=1:length(yrs_1)
    test_days(i)=length(find((noaa(:,1)==yrs_1(i))&(noaa(:,4)~=9999)));
if test_days(i)>=310
    days=noaa((noaa(:,1)==yrs_1(i)),:);
    [ams,ind]=max(days(:,4));
nmaxx(i,:)=days(ind,:);
end
end
tmaxx=NaN(length(yrs_1),4);
for i=1:length(yrs_1)
    test_days(i)=length(find((trmm(:,1)==yrs_1(i))&(trmm(:,4)~=9999)));
if test_days(i)>=310
days=trmm((trmm(:,1)==yrs_1(i)),:);
    [ams,ind]=max(days(:,4));
tmaxx(i,:)=days(ind,:);
end
end

MAX=[nmaxx,tmaxx(:,4)];
XXX=find(isnan(MAX(:,1)));
xx=find(isnan(nmaxx(:,1)));
%yy=find(isnan(tmaxx(:,1)));
nmaxx(xx,:)=[];
tmaxx(xx,:)=[];
MAX(XXX,:)=[];
save(['F:\δελφωμοατικη\noaa_trmmMAXIMA\'
name'],'tmaxx','nmaxx','MAX','x','LAT','LON','IDS','G_fin');
end

```

## Αλγόριθμος υπολογισμού των στατιστικών δεικτών

% Στατιστικοί δείκτες & σφάλματα για ολόκληρες τις χρονοσειρές

```
clear all;
clc;
direc=dir('F:\διδλωματικη\δεδομένα-προϊόντα\trmm_noaa');
names={direc.name};

for i=3:length(names)
name=char(names(i));
load (name);

meanG=mean(G_fin(:,4));
meanS=mean(G_fin(:,5));
G=G_fin(:,4);
S=G_fin(:,5);
n=length(G_fin);

eff=1-((1/n)*sum((S-G).^2))/((1/(n-1))*sum((S-meanG).^2));
Pbias=(meanG-meanS)/meanG;
bias=meanG-meanS;

r=corrcoef(S,G);
RSG=r(2,1);

stdevG=std(G);
stdevS=std(S);
BiasOFstd=(stdevG-stdevS)/stdevG;

Cg=skewness(G);
Cs=skewness(S);

BiasOFskew=(Cg-Cs)/Cg;

MAE=1/n*sum(abs(S-G));

RMSE=((1/n)*sum((S-G).^2))^0.5;

save(['F:\διδλωματικη\δεδομένα-προϊόντα\trmm_noaa-Errors\'
name'],'x','LAT','LON','IDS','G_fin','meanG','meanS','eff','Pbias','bi
as','RSG','stdevG','stdevS','BiasOFstd','Cg','Cs','BiasOFskew','MAE',
'RMSE');

end
```

### Αλγόριθμος κατάρτισης συγκεντρωτικού πίνακα στατιστικών δεικτών για όλους τους σταθμούς

```
%Δημιουργία συγκεντρωτικού πίνακα για errors full series
clearall;
clc;

erMatrix=zeros(8345,16);
direc=dir('F:\δ\πλωματικη\δεδομένα-προϊόντα\trmm_noaa-Errors');
names={direc.name};
for i=3:length(names)
name=char(names(i));
load (name);
IDSmx{i-2}=IDS;
erMatrix(i-2,1)=LON;
erMatrix(i-2,2)=LAT;
erMatrix(i-2,3)=eff;
erMatrix(i-2,4)=RSG;
erMatrix(i-2,5)=meanG;
erMatrix(i-2,6)=meanS;
erMatrix(i-2,7)=bias;
erMatrix(i-2,8)=Pbias;
erMatrix(i-2,9)=stdevG;
erMatrix(i-2,10)=stdevS;
erMatrix(i-2,11)=BiasOFstd;
erMatrix(i-2,12)=Cg;
erMatrix(i-2,13)=Cs;
erMatrix(i-2,14)=BiasOFskew;
erMatrix(i-2,15)=MAE;
erMatrix(i-2,16)=RMSE;
end

save(['F:\δ\πλωματικη\δεδομένα-προϊόντα\trmm_noaa-
Errors\erFULLMatrix'], 'erMatrix', 'IDSmx');
```



## Αλγόριθμος ομαδοποίησης των στατιστικών χαρακτηριστικών σε ποσοστιαίες κλάσεις

```
%αλγόριθμος που βρίσκει ποσοστά για όλους τους σταθμούς για κάθε
στατιστικό
%χαρακτηριστικόγιαFullseries
clearall;
clc;
cd('F:\διπλωματική\δεδομένα-προϊόντα\trmm_noaa-Errors')
load('erFULLMatrix.mat')
n=length(erMatrix);
counter=zeros(1,29);

for i=1:n
if erMatrix(i,3)<0
counter(1)=counter(1)+1;
end
if erMatrix(i,3)>=0.8
counter(2)=counter(2)+1;
end
if erMatrix(i,3)<=0.4 && erMatrix(i,3)>=0
counter(3)=counter(3)+1;
end

if erMatrix(i,4)>=0.5
counter(4)=counter(4)+1;
end
if erMatrix(i,4)<0.5 && erMatrix(i,4)>=0.4
counter(5)=counter(5)+1;
end
if erMatrix(i,4)<0
counter(6)=counter(6)+1;
end
if abs(erMatrix(i,8))<=0.2
counter(7)=counter(7)+1;
end
if erMatrix(i,7)>=4 && erMatrix(i,7)<=8
counter(8)=counter(8)+1;
end
if erMatrix(i,7)>=2 && erMatrix(i,7)<=4
counter(9)=counter(9)+1;
end
if erMatrix(i,7)>=0 && erMatrix(i,7)<=2
counter(10)=counter(10)+1;
end
if erMatrix(i,7)<0
counter(11)=counter(11)+1;
end
if erMatrix(i,9)>=10 && erMatrix(i,9)<=35
counter(12)=counter(12)+1;
end
if erMatrix(i,9)>=5 && erMatrix(i,9)<=10
counter(13)=counter(13)+1;
end
if erMatrix(i,9)>=0 && erMatrix(i,9)<=5
```

```

counter(14)=counter(14)+1;
end
if erMatrix(i,10)>=10 && erMatrix(i,10)<=35
counter(15)=counter(15)+1;
end
if erMatrix(i,10)>=5 && erMatrix(i,10)<=10
counter(16)=counter(16)+1;
end
if erMatrix(i,10)>=0 && erMatrix(i,10)<=5
counter(17)=counter(17)+1;
end
if erMatrix(i,11)>=0
counter(18)=counter(18)+1;
end
if erMatrix(i,11)<0
counter(19)=counter(19)+1;
end
if erMatrix(i,14)>=0
counter(20)=counter(20)+1;
end
if erMatrix(i,14)<0
counter(21)=counter(21)+1;
end
if erMatrix(i,15)>=0 && erMatrix(i,15)<=2
counter(22)=counter(22)+1;
end
if erMatrix(i,15)>=2 && erMatrix(i,15)<=4
counter(23)=counter(23)+1;
end
if erMatrix(i,15)>=4 && erMatrix(i,15)<=6
counter(24)=counter(24)+1;
end
if erMatrix(i,15)>=6 && erMatrix(i,15)<=14
counter(25)=counter(25)+1;
end
if erMatrix(i,16)>=0 && erMatrix(i,16)<=5
counter(26)=counter(26)+1;
end
if erMatrix(i,16)>=5 && erMatrix(i,16)<=10
counter(27)=counter(27)+1;
end
if erMatrix(i,16)>=10 && erMatrix(i,16)<=15
counter(28)=counter(28)+1;
end
if erMatrix(i,16)>=15 && erMatrix(i,16)<=35
counter(29)=counter(29)+1;
end

end
pososta=counter/n;
% pososta(1) πόσοι σταθμοί με eff<0
% pososta(2) πόσοι σταθμοί με eff>=0.8
% pososta(3) πόσοι σταθμοί με eff<=0.8 και eff>=0.7
% pososta(4) πόσοι σταθμοί με R>=0.5
% pososta(5) πόσοι σταθμοί με 0=<R<0.5

```

```

% pososta(6) ποσοι σταθμοί με R<0
% pososta(7) ποσοι σταθμοί με abs(pbias)<=0.2
% pososta(8) ποσοι σταθμοι με bias [4,8]
% pososta(9) ποσοι σταθμοι με bias [2,4]
% pososta(10) ποσοι σταθμοι με bias [0,2]
% pososta(11) ποσοι σταθμοι με bias <0
% pososta(12) ποσοι σταθμοι με σG στο [10,35mm]
% pososta(13) ποσοι σταθμοι με σG στο [5,10mm]
% pososta(14) ποσοι σταθμοι με σG στο [0,5mm]
% pososta(15) ποσοι σταθμοι με σS στο [10,35mm]
% pososta(16) ποσοι σταθμοι με σS στο [5,10mm]
% pososta(17) ποσοι σταθμοι με σS στο [0,5mm]
% pososta(18) ποσοι σταθμοι με bias of Stdev>=0
% pososta(19) ποσοι σταθμοι με bias of Stdev<0
% pososta(20) ποσοι σταθμοι με bias of skew>=0
% pososta(21) ποσοι σταθμοι με bias of skew<0
% pososta(22) ποσοι σταθμοι με MAE [0,2]
% pososta(23) ποσοι σταθμοι με MAE [2,4]
% pososta(24) ποσοι σταθμοι με MAE [4,6]
% pososta(25) ποσοι σταθμοι με MAE [6,14]
% pososta(26) ποσοι σταθμοι με RMSE [0,5]
% pososta(27) ποσοι σταθμοι με RMSE [5,10]
% pososta(28) ποσοι σταθμοι με RMSE [10,15]
% pososta(29) ποσοι σταθμοι με RMSE [15,35]

```

## Αλγόριθμος δημιουργίας boxplot για κάθε μεταβλητή που εξετάζεται

```
% αλγοριθμος για boxplot για όλα τα στατιστικά δεδομένα

clear all;
clc;
cd('F:\διπλωματική\δεδομένα-προϊόντα\n0aa_trmm_tMAX-errors')
load('er_tMAX_Matrix.mat')

h(1)=figure
boxplot(erMatrix(:,3))
ylabel('Eff')
title('Eff')
saveas(h(1), 'Eff.jpg')

h(1)=figure
boxplot(erMatrix(:,4))
ylabel('R')
title('R')
saveas(h(1), 'R.jpg')

h(1)=figure
boxplot(erMatrix(:,5))
ylabel('mean G (mm)')
title('Μέση τιμή Επίγειων Δεδομένων')
saveas(h(1), 'meanG.jpg')

h(1)=figure
boxplot(erMatrix(:,6))
ylabel('mean S (mm)')
title('Μέση τιμή Δορυφορικών Δεδομένων')
saveas(h(1), 'meanS.jpg')

h(1)=figure
boxplot(erMatrix(:,7))
ylabel('bias')
title('ΜεροληψίαΜέσηςΤιμής')
saveas(h(1), 'bias.jpg')

h(1)=figure
boxplot(erMatrix(:,8))
ylabel('Ποσοστιαίαobias')
title('ΠοσοστιαίαΜεροληψία')
saveas(h(1), 'Pbias.jpg')

h(1)=figure
boxplot(erMatrix(:,9))
ylabel('σG (mm) ')
title('Τυπική απόκλιση Επίγειων δεδομένων')
saveas(h(1), 'σG.jpg')

h(1)=figure
boxplot(erMatrix(:,10))
ylabel('σS (mm)')
```

```

title('Τυπική απόκλιση Δορυφορικών δεδομένων')
saveas(h(1), 'σS.jpg')

h(1)=figure
boxplot(erMatrix(:,11))
ylabel('Bias of  $\sigma$ ')
title('Ποσοστιαία μεροληψία των τυπικών αποκλίσεων')
saveas(h(1), 'biasofStdev.jpg')

h(1)=figure
boxplot(erMatrix(:,12))
ylabel('Cg')
title('Συντελεστής ασυμμετρίας Επίγειων δεδομένων')
saveas(h(1), 'Cg.jpg')

h(1)=figure
boxplot(erMatrix(:,13))
ylabel('Cs')
title('Συντελεστής ασυμμετρίας Δορυφορικών δεδομένων')
saveas(h(1), 'Cs.jpg')

h(1)=figure
boxplot(erMatrix(:,14))
ylabel('Bias of Skewness')
title('Ποσοστιαία μεροληψία του συντελεστή ασυμμετρίας')
saveas(h(1), 'biasofSkew.jpg')

h(1)=figure
boxplot(erMatrix(:,15))
ylabel('MAE (mm)')
title('Μέσο απόλυτο σφάλμα')
saveas(h(1), 'MAE.jpg')

h(1)=figure
boxplot(erMatrix(:,16))
ylabel('RMSE (mm)')
title('Ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος')
saveas(h(1), 'RMSE.jpg')

```