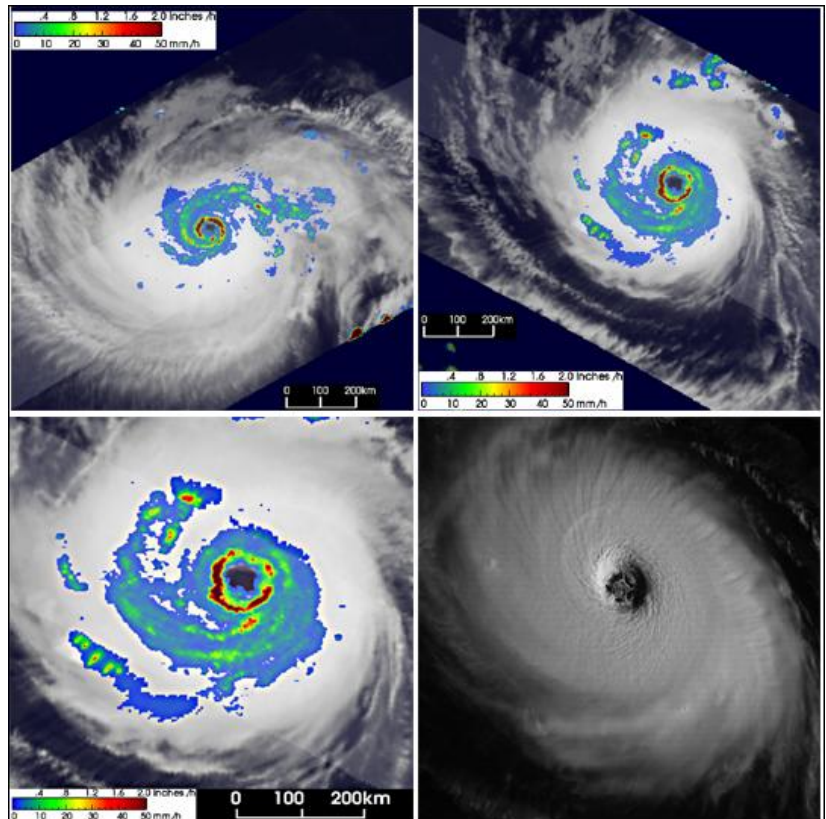




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΕ ΛΕΠΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ (ΠΕΡΙΛΗΨΗ)



ΜΙΧΑΛΗΣ ΠΑΠΑΘΕΟΔΟΣΙΟΥ

ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ 2011

Φωτογραφία εξωφύλλου: Καταγραφή του τυφώνα Isabel στις 16/9/2003 από το ραντάρ κατακρήμνισης (PR) του δορυφόρου TRMM. Ο συγκεκριμένος τυφώνας χτύπησε τα ανατολικά παράλια στις 18/9/03.

Πηγή <http://cpgis.gmu.edu/vaccess/news/Isabel.htm>

*Αφιερώνεται στην οικογένειά μου
για την αμέριστη αγάπη και
συμπαράσταση...*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ABSTRACT.....	8
ΕΚΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	9
<i>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</i>	<i>9</i>
<i>ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....</i>	<i>9</i>
<i>ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....</i>	<i>11</i>
<i>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</i>	<i>13</i>
<i>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....</i>	<i>17</i>
EXTENDED ABSTRACT.....	19
<i>INTRODUCTION.....</i>	<i>19</i>
<i>DATA.....</i>	<i>19</i>
<i>METHOD OVERVIEW.....</i>	<i>21</i>
<i>RESULTS.....</i>	<i>22</i>
<i>CONCLUSION-DISCUSSION.....</i>	<i>26</i>
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	29
<i>ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....</i>	<i>29</i>
<i>ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....</i>	<i>31</i>

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Επιχειρείται μια πρώτη αξιολόγηση των δορυφορικών δεδομένων υετού σε μικρή χρονική κλίμακα πάνω από όλη την Ελληνική επικράτεια. Τα δορυφορικά δεδομένα που αξιολογούνται είναι αυτά που προκύπτουν από τον αλγόριθμο 3B42V6 της αποστολής TRMM της NASA. Η μικρότερη χρονική κλίμακα στην οποία αξιολογούνται τα δεδομένα είναι το 3ωρο, που είναι και η χρονική ευκρίνεια στην οποία διατίθενται τα δορυφορικά δεδομένα αυτού του αλγορίθμου, ενώ η χωρική ευκρίνεια είναι 0.25° . Η αξιολόγηση έγινε με τη βοήθεια επίγειων (σημειακών) μετρήσεων υετού που λήφθηκαν από 29 σταθμούς της EMY, όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα κατανεμημένους στον Ελλαδικό χώρο. Η χρονική περίοδος που καλύπτει αυτή η αξιολόγηση ξεκινά από 1/1/1998 (δηλαδή από τότε που άρχισαν να διατίθενται τα δορυφορικά δεδομένα του συγκεκριμένου αλγορίθμου) μέχρι τις 31/5/2010.

Επιπλέον, τόσο από τα δορυφορικά δεδομένα όσο και από τις επίγειες μετρήσεις εξήχθησαν, με εμπειρική κατανομή, μέγιστα 10ετίας και 5ετίας και έγινε σύγκριση μεταξύ των αντίστοιχων τιμών. Οι διάρκειες των μεγίστων που υπολογίστηκαν είναι οι 3, 6, 12, 24 και 48 ώρες. Από την σύγκριση αυτή υπολογίστηκε το σφάλμα μεγίστων των δορυφορικών δεδομένων. Επίσης, επιχειρήθηκε η αναπαράσταση της χωρικής κατανομής του σφάλματος μεγίστων σε χάρτες, με την χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ-GIS), όπως επίσης και των ίδιων των μεγίστων που προέκυψαν από τα δορυφορικά δεδομένα χωρίς καμία διόρθωση. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως πέρα από τις τιμές μεγίστων ελέγχθηκε και κατά πόσο οι δορυφορικές μετρήσεις προσομοιώνουν την δίαιτα (συχνότητα, μέγεθος κ.α.) των ισχυρών επεισοδίων βροχής μέσα σ' αυτό το διάστημα των 10 περίπου υδρολογικών ετών (1/1998-5/2010).

ABSTRACT

We evaluate satellite precipitation data at the fine time scale all over the Greek territory. The evaluated satellite data are derived from the algorithm 3B42 Version 6, from the NASA TRMM mission (Tropical Rainfall Measuring Mission). The finest time scale in which this data is evaluated is 3 hours, which is the temporal resolution of the 3B42V6 data. The spatial resolution of the data is 0.25° . In order to evaluate the satellite data, we used ground observations data from 29 meteorological stations belonging to the National Meteorological Service of Greece (EMY). The time period of this evaluation starts in 1/1/1998, since TRMM satellite data is available, and ends in 31/5/2010.

After the comparison between satellite and ground data, we extracted the maxima of both data sets by using the empirical distribution and then we compared the respective values. These are 10 and 5 years maxima as the period of the evaluation slightly exceeds a hydrological decade. The durations of the maxima are 3, 6, 12, 24 and 48 hours. Through the maxima comparison, we calculated the bias of the maxima and we tried to depict its spatial distribution on maps using a Geographical Information System (GIS). Moreover, we depicted the spatial distribution of the satellite maxima without any correction. Finally, apart from comparing strictly the maximum values, we checked if the satellite data can simulate the behaviour of maxima (frequency, intensity etc) through the study period (1/1998-5/2010).

ΕΚΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

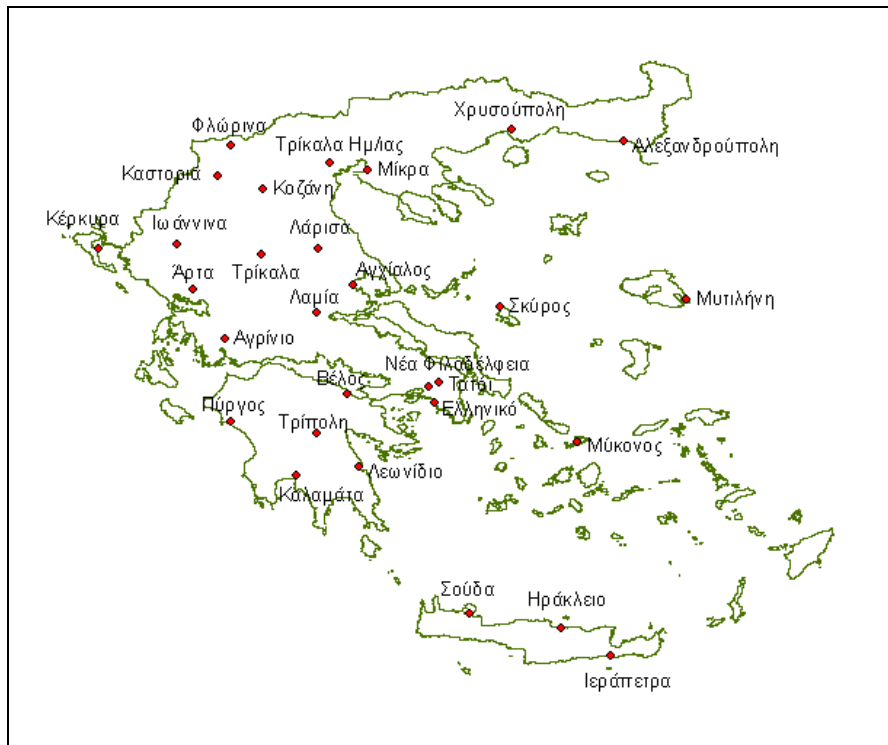
Στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής εργασίας κληθήκαμε να αξιολογήσουμε τα δορυφορικά προϊόντα βροχόπτωσης του αλγορίθμου 3B42, 6^{ης} έκδοσης, της δορυφορικής αποστολής TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), που ξεκίνησε με πρωτοβουλία της Αμερικάνικης και Ιαπωνικής Υπηρεσίας Διαστήματος (NASA - JAXA). Τα προϊόντα του αλγορίθμου 3B42V6 είναι προϊόντα βροχόπτωσης με τη μεγαλύτερη δυνατή χωρική και χρονική ευκρίνεια που υπάρχει σε δορυφορικά δεδομένα, γεγονός που τα κάνει ιδιαίτερος ελκυστικά καθώς αποτελούν σίγουρα μια εύκολη και δωρεάν διαθέσιμη λύση, ενώ δεν παρουσιάζουν τα προβλήματα που προκύπτουν από τα επίγεια δεδομένα. Τέτοια προβλήματα είναι η μεγάλη ανισοκατανομή μετεωρολογικών σταθμών λόγω ανάγλυφου στην επιφάνεια του εδάφους, η σχεδόν πλήρης ανυπαρξία δεδομένων στη θάλασσα και οι συχνές βλάβες που προκαλούνται από ακραία καιρικά φαινόμενα και έχουν ως αποτέλεσμα σημαντικές ελλείψεις, ειδικά στις μικρές χρονικές κλίμακες (μικρότερες της ημερήσιας).

Συνεπώς, τα δορυφορικά δεδομένα μπορεί να χρησιμοποιηθούν και για ορισμένες περιοχές όπου υπάρχει παντελής έλλειψη αξιόπιστων επίγειων μετρήσεων. Μην ξεχνούμε πως τα δεδομένα βροχόπτωσης μικρής χρονικής κλίμακας είναι μείζονος σημασίας στον ασφαλή και οικονομικό σχεδιασμό υδραυλικών έργων υποδομής. Το ερώτημα είναι αν όντως τα δορυφορικά δεδομένα μπορούν να ανταποκριθούν, δηλαδή αν έχουν την απαραίτητη αξιοπιστία ώστε να ικανοποιούν αυτές τις ανάγκες. Σε αυτό το ερώτημα καλείται να δώσει μια απάντηση η παρούσα μελέτη, που είναι ίσως η πρώτη που δοκιμάζει να αξιολογήσει δορυφορικά δεδομένα σε λεπτή χρονική κλίμακα πάνω από όλο τον Ελλαδικό χώρο.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Για την αξιολόγηση των δορυφορικών δεδομένων προμηθευτήκαμε τα δορυφορικά προϊόντα 3B42 από την ιστοσελίδα (<http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/>), που ανήκει στην επίσημη ιστοσελίδα της NASA. Τα δεδομένα αυτά καλύπτουν όλον τον Ελλαδικό χώρο και συγκεκριμένα μια περιοχή γεωγραφικού πλάτους από 34° μέχρι και τις 42° και γεωγραφικά μήκη από τις 19° μέχρι και τις 29°. Τα δεδομένα αυτά είναι

χωρικής ανάλυσης $0,25^\circ$ και χρονικής 3 ωρών, καλύπτοντας μια χρονική περίοδο από 1/1/1998 μέχρι 31/5/2010. Δηλαδή ουσιαστικά για την παραπάνω περιοχή δίνεται ένας κάρναβος (grid) ευκρίνειας $0,25^\circ$ και σε κάθε σημείο του κάρναβου (grid point) δίνεται μια χρονοσειρά βροχής από 1/1/1998 μέχρι 31/5/2010 με 3ωρο χρονικό βήμα. Η κάθε τιμή σε κάποιο σημείο του κάρναβου είναι η μέση επιφανειακή του φατνίου του κάρναβου πλευράς $0,25^\circ$ και άρα τα δεδομένα είναι ήδη επιφανειακά (NASA, 3B42 Algorithm, 2011).



Εικόνα 1. Χάρτης με τους σταθμούς της EMY που χρησιμοποιήθηκαν.

Για να αξιολογήσουμε τα παραπάνω στοιχεία, προμηθευτήκαμε επίγεια δεδομένα βροχής από 29 συνολικά μετεωρολογικούς σταθμούς της EMY (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, <http://www.hnms.gr/>), οι οποίοι φαίνονται στην εικόνα 1 και τους οποίους και χωρίσαμε σε 2 ομάδες λόγω της δομής των δεδομένων τους. Η 1^η ομάδα αποτελείται από 12 σταθμούς, τα δεδομένα των οποίων τα πήραμε από τα χειρόγραφα έντυπα των βροχογράφων τα οποία και πληκτρολογήσαμε ώστε να αποθηκευτούν σε ηλεκτρονική μορφή και να μπορούν να δεχτούν επεξεργασία. Σε κάθε έντυπο βροχογράφου αναγράφεται για κάθε μέρα η (ημερήσια) ένδειξη του βροχόμετρου και οι ενδείξεις του βροχογράφου 5λεπτης χρονικής κλίμακας. Εμείς ψηφιοποιήσαμε για κάθε μέρα και σταθμό τις ημερήσιες ενδείξεις των βροχόμετρων και για τις 10 πιο βροχερές ημέρες του κάθε υδρολογικού έτους, τις μετρήσεις των βροχογράφων σε ωριαία κλίμακα. Η 2^η ομάδα αποτελείται από 17 σταθμούς με έτοιμα

ψηφιοποιημένα δεδομένα βροχής σε 12ωρη χρονική κλίμακα. Και οι 2 ομάδες σταθμών προφανώς καλύπτουν την χρονική περίοδο από 1/1/1998 μέχρι 31/5/2010.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την εκτίμηση της αξιοπιστίας των δορυφορικών δεδομένων, συγκρίθηκαν αυτά με τα επίγεια δεδομένα σε κάθε ένα σταθμό. Επειδή κανείς μετεωρολογικός σταθμός δεν συνέπεφτε να είναι στη ίδια θέση με κάποιο σημείο του κάνναβου, η χρονοσειρά των δορυφορικών δεδομένων σε κάθε σταθμό εκτιμήθηκε από παρεμβολή από τα 4 γειτονικά σημεία του κάνναβου. Η μέθοδος παρεμβολής που ακολουθήθηκε είναι τέτοια ώστε να υπολογίζεται η βέλτιστη αμερόληπτη εκτιμήτρια και ακολουθεί μη γραμμικό μετασχηματισμό. Αρχικά, καθεμία χρονοσειρά από τις 4 των γειτονικών σημείων του κάνναβου μετασχηματίζεται όπως ακόλουθα (Koutsoyainnis, 2004, Koutsoyainnis et al, 2008, Tsaknias et al, 2011):

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

Όπου, Y_{ji} η αρχική χρονοσειρά σε κάποιο από τα 4 σημεία του κάνναβου j και S_{ji} η μη γραμμικά μετασχηματισμένη. Τα c και a είναι μη αρνητικοί αριθμοί. Από εδώ και πέρα χρησιμοποιείται το απλό γραμμικό μοντέλο (άθροιση με βάρη) από το οποίο εκτιμάται η βέλτιστη γραμμική αμερόληπτη εκτιμήτρια (Best Linear Unbiased Estimator, BLUE, Koutsoyiannis et al, 2008):

$$S_i = \sum_{j=1}^4 w_j \times S_{ji}$$

Τα w_j είναι βάρη και το άθροισμά τους ισούται με 1. Συνδυάζοντας τις 2 παραπάνω εξισώσεις προκύπτει η πλήρης έκφραση του γενικευμένου μοντέλου που χρησιμοποιούμε (Tsaknias et al, 2011, Τσακνιάς, 2011):

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

Η επιλογή των βαρών αλλά και των συντελεστών a και c ήταν μια επίπονη διεργασία βελτιστοποίησης, λόγω της πολυπλοκότητας του προβλήματος, και ήταν τέτοια ώστε να έχουμε το ελάχιστο μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Mean Square Error, MSE) στις τιμές των μεγίστων (maxima). Αφού υπολογίσαμε μια εκτιμήτρια δορυφορικών δεδομένων για κάθε σταθμό κάναμε την σύγκριση σε κάθε σταθμό. Στους σταθμούς της 1^{ης} ομάδας έγιναν 2 συγκρίσεις για κάθε ένα από αυτούς, μία στη μικρή

κλίμακα των 3 ωρών για τις 10 πιο βροχερές μέρες ανά υδρολογικό έτος και μία στις 24 ώρες σε όλο το μήκος της χρονοσειράς. Στους σταθμούς της 2^{ης} ομάδας έγινε μια σύγκριση σε 12ωρο χρονικό βήμα.

Από κάθε σύγκριση υπολογίστηκαν αρχικά τα στατιστικά χαρακτηριστικά (μέσος όρος και τυπική απόκλιση) της κάθε χρονοσειράς, δηλαδή της πραγματικής-επίγειας και της εκτιμημένης-δορυφορικής και ύστερα εκτιμήθηκε η απόκλιση (%) των μέσων όρων (PBIAS) και των τυπικών αποκλίσεων, το μέσο απόλυτο σφάλμα των παρατηρήσεων (MAE) και η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE). Για να εκτιμηθεί η αξιοπιστία των δορυφορικών δεδομένων, όμοια από κάθε σύγκριση υπολογίστηκε ο συντελεστής αποδοτικότητας Eff (Nash-Sutcliffe), η τιμή της συνάρτησης σφάλματος Er (το μέσο τετραγωνικό σφάλμα των παρατηρήσεων προσθέτοντας τα τετράγωνα των αποκλίσεων του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης πολλαπλασιασμένα επί 1000), ο συντελεστή (ετερο)συσχέτισης R και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα MSE των μεγίστων τιμών (Moriasi et al, 2007, Κουτσογιάννης, 1996) καθώς θέλαμε να δούμε ξεχωριστά την ικανότητα προσομοίωσης των μεγίστων τιμών και μόνο ως απόλυτες τιμές.

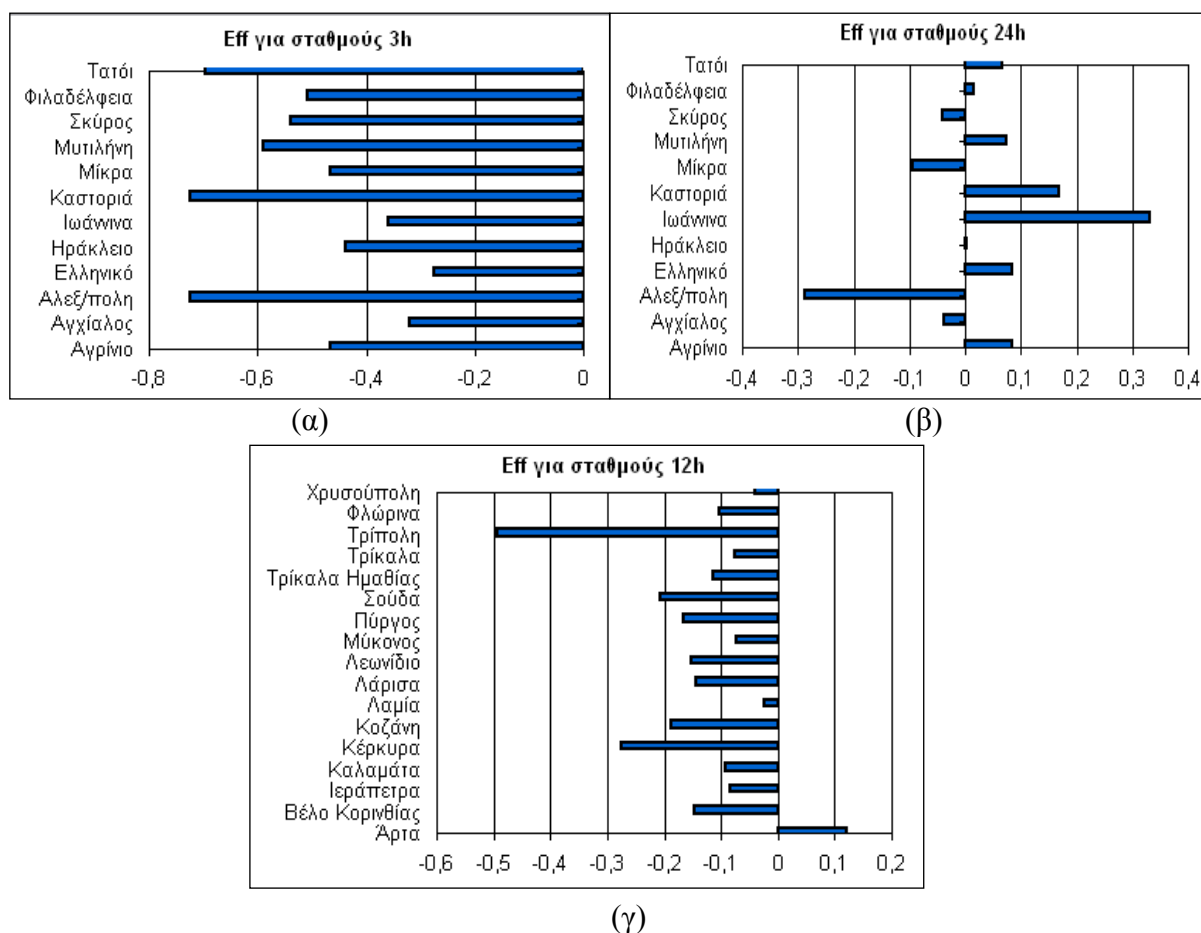
Τα μέγιστα που υπολογίστηκαν από κάθε σταθμό ήταν 3, 6, 12, 24 και 48 ωρών. Για κάθε διάρκεια υπολογίστηκε η πιθανοτική κατανομή τόσο της πραγματικής χρονοσειράς, όσο και της δορυφορικής και συγκρίθηκαν μεταξύ τους. Οι κατανομές που υπολογίστηκαν είναι οι απλές εμπειρικές καθώς το πλήθος των ετών των χρονοσειρών δεν επιτρέπει την προσαρμογή κάποιας μαθηματικής κατανομής (Κουτσογιάννης, 1996). Επίσης, σε κάθε σταθμό, από κάθε χρονοσειρά υπολογίστηκε το συνολικό ύψος βροχής, και το πλήθος των χρονικών βημάτων, των 12ωρων για παράδειγμα στους σταθμούς της 2^{ης} ομάδας, που έχουν μη μηδενικό ύψος βροχής όπως επίσης και ύψος μεγαλύτερο από κάποια τιμή.

Όσον αφορά τα σφάλματα, υπολογίστηκαν για κάθε σταθμό τα σφάλματα των μεγίστων 10ετίας και 5ετίας (των μεγαλύτερων και δεύτερων μεγαλύτερων τιμών αντίστοιχα, σύμφωνα με την εμπειρική κατανομή), τα μέσα σφάλματα και τα μέσα απόλυτα σφάλματα των κατανομών μεγίστων για κάθε διάρκεια από τις 3, 6, 12, 24 και 48 ώρες ξεχωριστά. Τα σφάλματα αυτά δείχθηκαν σε χάρτες με ΣΓΠ (GIS) έτσι ώστε να ερευνηθεί η χωρική κατανομή των σφαλμάτων και συνεπώς οι τάσεις μεροληψίας των δορυφορικών δεδομένων στο χώρο. Τέλος, έγινε έρευνα για το αν τα δορυφορικά δεδομένα αναπαριστούν την συμπεριφορά των ακραίων επεισοδίων και κυρίως την

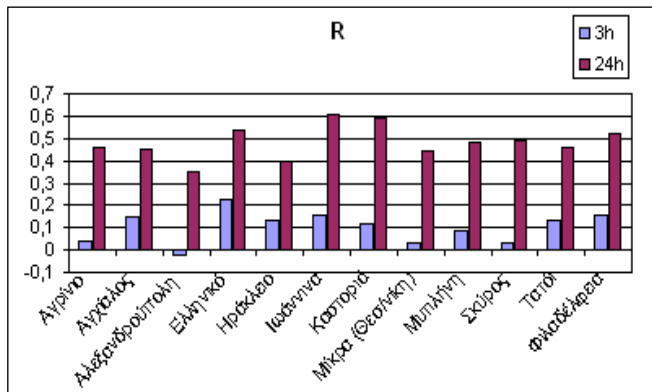
ιδιότητά τους να μειώνουν το ποσοστό τους σχετικά με μέσο ετήσιο ύψος βροχής όταν αυτό αυξάνεται (Μαμάσης, 1997, 2011).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

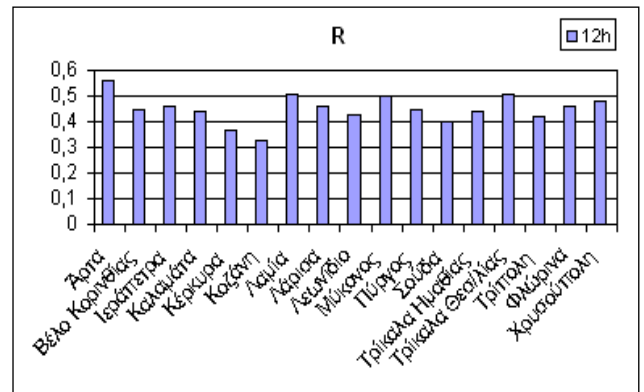
Τα δορυφορικά δεδομένα από την στατιστική ανάλυση δεν προσομοιώνουν ικανοποιητικά τα επίγεια δεδομένα. Εκτός από κάποιους σταθμούς από την 1^η ομάδα και μόνο για την σύγκριση των 24 ωρών, ο συντελεστής αποδοτικότητας βγήκε παντού αρνητικός με συνέπεια ο απλός μέσος όρος να αποτελεί πολύ καλύτερη εκτιμήτρια από τη δορυφορική χρονοσειρά (σχήμα 1 (α), (β) και (γ)). Ο συντελεστής συσχέτισης στους σταθμούς της 2^{ης} ομάδας και της 1^{ης} στην 24ωρη σύγκριση, είναι της τάξης του 0,5 και στην 1^η ομάδα στη σύγκριση των 3 ωρών δύσκολα ξεπερνά το 0,15 (σχήμα 2 (α) και (β)). Η τιμή του 0,5 οφείλεται κυρίως στα πολλά μηδενικά που περιέχουν οι χρονοσειρές, λόγω της μικρής χρονικής κλίμακας. Επίσης, αξίζει να σημειώσουμε πως στη συντριπτική πλειοψηφία των συγκρίσεων είχαμε σοβαρή υποεκτίμηση του μέσου όρου των παρατηρήσεων ακόμα και της τάξης του 50%.



Σχήμα 1. Συντελεστής αποδοτικότητας για τους σταθμούς της 1^{ης} ομάδας στην 3ωρη (α) και 24ωρη σύγκριση (β) και τους σταθμούς της 2^{ης} ομάδας (γ).



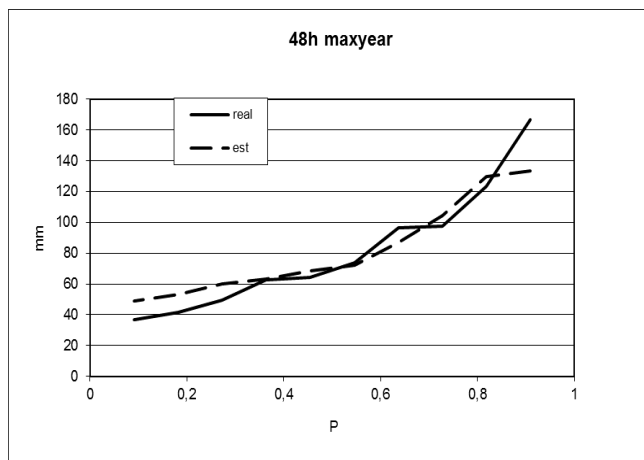
(α)



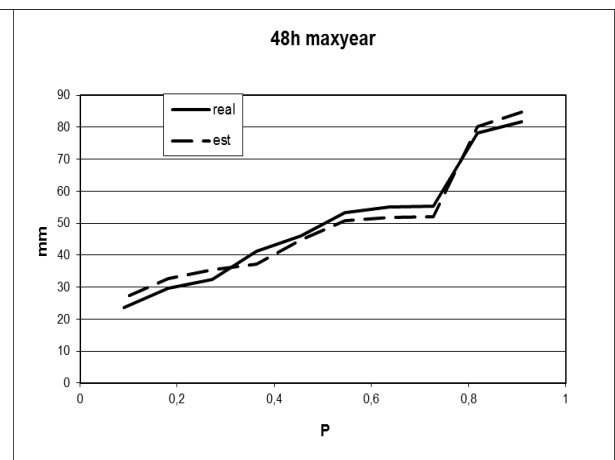
(β)

Σχήμα 2. Τιμές συντελεστών συσχέτισης για την 1^η ομάδα σταθμών (α) και τη 2^η (β) αντίστοιχα.

Ως προς τις κατανομές μεγίστων, εκεί είχαμε πολύ καλύτερες επιδόσεις και σε κάποιους σταθμούς οι αποκλίσεις ήταν πολύ μικρές. Ειδικά για το σταθμό του Ελληνικού η προσομοίωση της κατανομής ήταν πολύ καλή σε όλες τις χρονικές κλίμακες (βλ. σχήμα 3 (α)). Οι καλές επιδόσεις πιθανώς να οφείλονται στο ότι μπορεί να υπάρχει κοντά επίγειος σταθμός που συμμετέχει στη βαθμονόμηση των πρωτογενών δορυφορικών μετρήσεων. Πολύ καλές επιδόσεις είχαμε και σε άλλους σταθμούς, όπως στη Φλώρινα (βλ. σχήμα 3 (β))



(α)



(β)

Σχήμα 3. Παραδείγματα πολύ καλών προσομοιώσεων κατανομών για τα ετήσια μέγιστα 48 ωρών για των σταθμό (α) του Ελληνικού και (β) της Φλώρινας.

Τόσο στις στατιστικές συγκρίσεις όσο και στις κατανομές μεγίστων παρατηρήθηκε μια βελτίωση όσο μεγαλώνει η χρονική κλίμακα. Επιπλέον, σε κάποιους σταθμούς είδαμε σαφή βελτίωση στην εκτίμηση των μεγίστων από το έτος 2004-05, κάτι που πιθανώς οφείλεται στην τεχνολογική ανάπτυξη των δορυφορικών οργάνων. Σχετικά με τη συχνότητα των επεισοδίων, παρατηρήθηκε η σχεδόν πλήρης αδυναμία καταγραφής των μικρών επεισοδίων βροχής και η φανερή υποεκτίμηση των μέτριων.

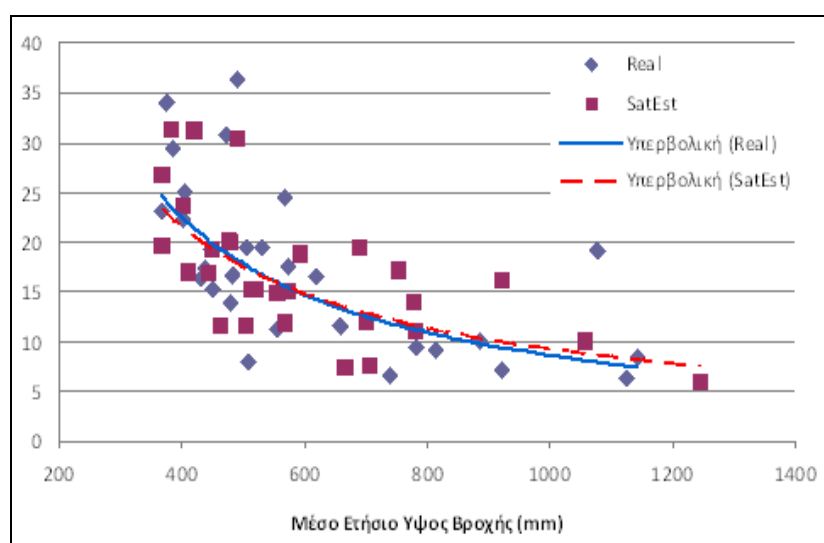
Ακόμα και στα μεγάλα επεισόδια υπήρχε σχετική υποεκτίμηση, κυρίως στη συχνότητα. Γενικά τα δορυφορικά δεδομένα λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε να αγνοούν όλα σχεδόν τα μικρά επεισόδια και σε κάποιο χρονικό σημείο δίνουν μια μεγάλη τιμή (μπορεί πολύ μεγαλύτερη από αυτή που δίνουν τα επίγεια στοιχεία στο συγκεκριμένο χρονικό σημείο) για να εξισορροπήσουν κάπως την κατάσταση. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η βαθμονόμηση των δορυφορικών μετρήσεων συμβαίνει σε μεγαλύτερες κλίμακες και ύστερα με επιμερισμό ξαναγυρνάνε στη μικρή 3ωρη κλίμακα (NASA, 3B42 Algorithm, 2011). Σαν αποτέλεσμα έχουμε τη σοβαρή υποεκτίμηση του συνολικού ύψους βροχής και φυσικά του μέσου όρου για τον οποίο αναφέραμε προηγουμένως. Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις μπορεί οι αντίστοιχες τιμές των μεγίστων των επίγειων και δορυφορικών δεδομένων να είχαν ελάχιστη απόκλιση αλλά να συνέβαιναν σε διαφορετικά χρονικά σημεία.

Όσον αφορά τα σφάλματα, των οποίων η χωρική κατανομή ερευνήθηκε, αυτά ποικίλουν ανάλογα την κλίμακα και το είδος. Συγκεκριμένα για τα μεγέθη 10ετίας, παρατηρήθηκε υποεκτίμηση της τάξης του 25% και σε λίγες περιπτώσεις και 50% (κυρίως η Αγχίαλος με σφάλμα 50% σε όλες τις κλίμακες) και υπερεκτίμηση από 25% ή και λιγότερο έως 50%. Μεγαλύτερη υπερεκτίμηση από 50% είχαμε στη Μυτιλήνη στην 3ωρη κλίμακα και 75% και 125% σε ένα 2 σταθμούς αντίστοιχα (στην Καλαμάτα και στον Πύργο αντίστοιχα, στη 12ωρη κλίμακα). Στα μέγιστα 5ετίας έχουμε υποεκτίμηση τάξης 25% ή και λιγότερο εκτός της Σούδας στην οποία το σφάλμα φτάνει 50%. Η υπερεκτίμηση κυμαίνεται από 25% μέχρι 50% και για τον Πύργο το 75%. Τα μεγαλύτερα σφάλματα είναι συνήθως για τις μικρότερες χρονικές κλίμακες. Το μέσο σφάλμα είναι τάξεως ± 10 mm με την υπερεκτίμηση να υπερτερεί. Ειδικά για το Λεωνίδιο και τη Σούδα στη 48ωρη κλίμακα έχουμε μέσο σφάλμα -30 mm και για την Τρίπολη τον Πύργο και την Κέρκυρα το σφάλμα είναι +20 mm στη 12ωρη, την 24ωρη και την 48ωρη κλίμακα αντίστοιχα. Τέλος, το μέσο απόλυτο σφάλμα είναι τάξεως 10 mm με την Αγχίαλο, τον Πύργο, την Τρίπολη, τη Σούδα, το Λεωνίδιο και την Κέρκυρα να δίνουν σφάλμα 20 mm σχεδόν σε όλες τις κλίμακες.

Ως προς τη χωρική κατανομή των σφαλμάτων, αρχικά, στα μέγιστα 10ετίας και 5ετίας, παρατηρείται μόνιμη σημαντική υπερεκτίμηση από τα δορυφορικά δεδομένα στις περιοχές του ΒΑ Αιγαίου (Μυτιλήνη) και μια σοβαρή υποεκτίμηση στις περιοχές της κεντροανατολικής ηπειρωτικής Ελλάδας (Θεσσαλία). Επίσης, από τις 12 ώρες και πάνω υπάρχει μια ακόμη σοβαρή και μόνιμη υπερεκτίμηση στην περιοχή της δυτικής Πελοποννήσου (Πύργος), όπως επίσης και στη δυτική Κρήτη (Σούδα) όπου

παρατηρείται μια μόνιμη και σοβαρή υποεκτίμηση. Ακόμα, και η Κέρκυρα εμφανίζει μεγάλα σφάλματα αλλά στα μεγέθη 10ετίας είναι αρνητικά (υποεκτίμηση), ενώ στις μεγάλες κλίμακες (24 και 48 ώρες) της 5ετίας γίνονται θετικά (υπερεκτίμηση). Στα μέσα σφάλματα ξεχωρίζει η μόνιμη υπερεκτίμηση στο ΒΑ Αιγαίο και τη Θράκη. Πάλι στην περιοχή της Θεσσαλίας εντοπίζεται μόνιμη υποεκτίμηση και πάνω από τις 12 ώρες ξεχωρίζει πάλι η υπερεκτίμηση στη δυτική Πελοπόννησο και η υποεκτίμηση στη δυτική Κρήτη και την περιοχή Θεσσαλίας-κεντρικής Μακεδονίας. Επιπλέον, στα μέσα απόλυτα σφάλματα, οι μεγαλύτερες τιμές, πράγμα που σημαίνει πως έχουμε και τις χειρότερες προσομοιώσεις κατανομών μεγίστων, εντοπίζονται στη ΒΑ χώρα και ιδιαίτερα στην περιοχή της Θράκης-Μυτιλήνης. Μετά τις 12 ώρες μεγάλα σφάλματα εντοπίζονται στη Δ-ΝΔ Πελοπόννησο, στη δυτική Κρήτη και στην περιοχή των Επτανήσων.

Τέλος, ερευνώντας το αν τα δορυφορικά δεδομένα προσομοιώνουν την συμπεριφορά των ακραίων επεισοδίων, μπορούμε να πούμε πως σε γενικές γραμμές τα δορυφορικά δεδομένα την προσομοιώνουν ικανοποιητικά. Δηλαδή φαίνεται πως τα εντονότερα επεισόδια συγκεντρώνονται στη δυτική (κυρίως παραθαλάσσια και νησιωτική) χώρα, στη νότια και την περιοχή της Κρήτης, στην ανατολική παραθαλάσσια (Αττική, Εύβοια μέχρι και Βόλο) και στην περιοχή του ανατολικού Αιγαίου και ιδιαίτερα στα Δωδεκάνησα. Επίσης, φαίνεται πως τα δορυφορικά δεδομένα προσομοιώνουν πολύ ικανοποιητικά την τάση των ακραίων επεισοδίων να αυξάνουν το ποσοστό τους σε σχέση με το μέσο ετήσιο ύψος βροχής, καθώς το δεύτερο μειώνεται, πράγμα που φαίνεται στο σχήμα 4.



Σχήμα 4. Ποσοστά (%) μεγίστων 12 ωρών 10ετίας σε σχέση με το μέσο ετήσιο ύψος νετού για τα επίγεια (Real) και τα δορυφορικά (SatEst) δεδομένα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα δορυφορικά δεδομένα δεν προσομοιώνουν ικανοποιητικά τα επίγεια δεδομένα σε επίπεδο χρονοσειράς. Πιο συγκεκριμένα σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, εκτός από κάποιες στη σύγκριση των 24 ωρών, ο συντελεστής αποδοτικότητας Eff (Nash-Sutcliffe) είναι αρνητικός (σχήμα 1). Επίσης, ο συντελεστής συσχέτισης R σε πολύ λίγες περιπτώσεις ξεπερνά το 0,5 και για τις συγκρίσεις των 3 ωρών, τότε δύσκολα ξεπερνά το 0,15. Προχωρώντας στη σύγκριση των τιμών μεγίστων (maxima) εδώ είχαμε καλύτερα αποτελέσματα καθώς στις περισσότερες των περιπτώσεων οι πιθανοτικές κατανομές μεγίστων προσομοιώνονταν σχετικά καλά. Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις σταθμών, εξετάζοντας τα μέγιστα 10ετίας παρατηρήσαμε πως αν και η απόκλιση μεταξύ του δορυφορικού και επιγείου μεγίστου ήταν πολύ μικρή, αυτά μπορεί να μην ήταν σύγχρονα. Το γεγονός αυτό δείχνει μια ασυνέπεια και πιθανώς η πολύ καλή αυτή επίδοση να οφείλεται καθαρά στην τύχη.

Τόσο σε επίπεδο χρονοσειράς όσο και κατανομών ήταν εμφανής η βελτίωση των αποδόσεων συναρτήσει της αύξησης της χρονικής κλίμακας σύγκρισης. Αυτό συμβαίνει καθαρά λόγω το ότι το καλιμπράρισμα των δορυφορικών δεδομένων γίνεται σε μεγαλύτερες κλίμακες (NASA, 3B42 Algorithm, 2011) αλλά και λόγω του γεγονότος πως στη μικρή κλίμακα τα επεισόδια βροχής χαρακτηρίζονται από έντονη μεταβλητότητα. Παρόλα αυτά, η συμπεριφορά των δορυφορικών δεδομένων φαίνεται να ακολουθεί ένα συγκεκριμένο μοτίβο. Αυτό είναι το να αγνοεί μόνιμα τα μικρά και λιγότερο τα μέτρια επεισόδια βροχής και κάπου να βάζει μια μεγάλη τιμή βροχής για να εξισορροπήσει την κατάσταση. Το χρονικό σημείο που επιλέγει να τοποθετήσει την τιμή αυτή δεν συμπίπτει συνήθως με έντονο επεισόδιο σύμφωνα με τα επίγεια στοιχεία ή μπορεί ακόμα η αντίστοιχη χρονικά τιμή στα επίγεια στοιχεία να είναι 0. Αγνοώντας σχεδόν πλήρως τα μικρά επεισόδια, τα δορυφορικά δεδομένα φαίνεται να υστερούν πάρα πολύ στο συνολικό ύψος βροχής και ο μέσο όρος είναι σχεδόν πάντα μικρότερος του αντίστοιχου των επιγείων τιμών. Ακόμα όμως και τα έντονα επεισόδια φάνηκε πως υποεκτιμούνται στην πλειοψηφία των περιπτώσεων τουλάχιστον ως προς το πλήθος τους, δείχνοντας έτσι μια γενική αδυναμία προσομοίωσης της συχνότητας των επεισοδίων βροχής σε μια περιοχή.

Όσον αφορά τη χωρική κατανομή σφαλμάτων αυτή διαφοροποιείται αρκετά ανάλογα τη χρονική κλίμακα και τα εκάστοτε μεγέθη που εξετάζουμε (10ετίας, 5ετίας κ.α.). Ωστόσο, παρατηρούνται κάποιες γενικές τάσεις. Αρχικά, στις μεγάλες τιμές, δηλαδή στα μέγιστα 10ετίας και 5ετίας, παρατηρείται μόνιμη (σε όλες τις χρονικές

κλίμακες) σημαντική υπερεκτίμηση από τα δορυφορικά δεδομένα στις περιοχές του ΒΑ Αιγαίου (Μυτιλήνη) και στην περιοχή της δυτικής Πελοποννήσου (Πύργος) και σοβαρή υποεκτίμηση στις περιοχές της κεντροανατολικής ηπειρωτικής Ελλάδας (Θεσσαλία) και στη δυτική Κρήτη (Σούδα). Ακόμα, η Κέρκυρα εμφανίζει μεγάλα σφάλματα κυρίως αρνητικά (υποεκτίμηση). Τα μέσα σφάλματα ακολουθούν περίπου ίδιες κατανομές στο χώρο, δηλαδή υπερεκτίμηση στο ΒΑ Αιγαίο, τη Θράκη, τη δυτική Πελοπόννησο και τα Επτάνησα και υποεκτίμηση στις περιοχές της Θεσσαλίας, της δυτικής Κρήτης και της κεντρικής-δυτικής Μακεδονίας.

Ως προς τη γενική χωρική συμπεριφορά των ακραίων επεισοδίων, τα δορυφορικά δεδομένα δείχνουν να την προσομοιώνουν ικανοποιητικά. Δηλαδή φαίνεται πως τα εντονότερα επεισόδια συγκεντρώνονται στη δυτική και νότια χώρα, στην ανατολική παραθαλάσσια και σε του ανατολικού Αιγαίου. Επίσης, φαίνεται πως τα δορυφορικά δεδομένα προσομοιώνουν πολύ ικανοποιητικά την τάση των ακραίων επεισοδίων να αυξάνουν το ποσοστό τους σε σχέση με το μέσο ετήσιο ύψος βροχής, καθώς το δεύτερο μειώνεται. Έτσι, οι περιοχές με μικρό μέσο ετήσιο ύψος βροχής, όπως η Αττική, αναμένεται να δίνουν πολύ έντονα ακραία επεισόδια ως ποσοστά του μέσου ετήσιου ύψους, κάτι που δείχνει πως ακολουθεί ο δορυφόρος.

Τα δορυφορικά δεδομένα κατακρήμνισης είναι μια νέα προοπτική στο χώρο της μετεωρολογίας και υδρολογίας. Από τα μέχρι τώρα στοιχεία δείχνουν σχετικά αδύναμα να προσομοιώνουν το καθεστώς των κατακρημνίσεων σε όλα τα επίπεδα σε μια περιοχή. Έτσι, καταλήγουμε στο ότι σε υδρολογικά θέματα, όπως υδρολογικό και αντιπλημμυρικό σχεδιασμό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο επικουρικά και αποτελούν λύση μόνο σε περιπτώσεις παντελούς έλλειψης αξιόπιστων επίγειων μετρήσεων. Η αξιοπιστία των δορυφορικών δεδομένων είναι κατά πολύ μεγαλύτερη σε μεγάλες χρονικές κλίμακες, όπως μηνιαίες, εποχιακές, ετήσιες και υπερετήσιες, κάνοντας τα χρήσιμα κυρίως σε κλιματικά θέματα και έρευνες. Η ύπαρξη δορυφορικών δεδομένων και άλλων τέτοιου είδους σε καμία περίπτωση δεν αναιρεί την ανάγκη για σχολαστική καταγραφή επίγειων δεδομένων ειδικά όταν αναφερόμαστε σε ακραία επεισόδια βροχής που από τη φύση του εμπερικλείουν μεγάλη αβεβαιότητα.

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

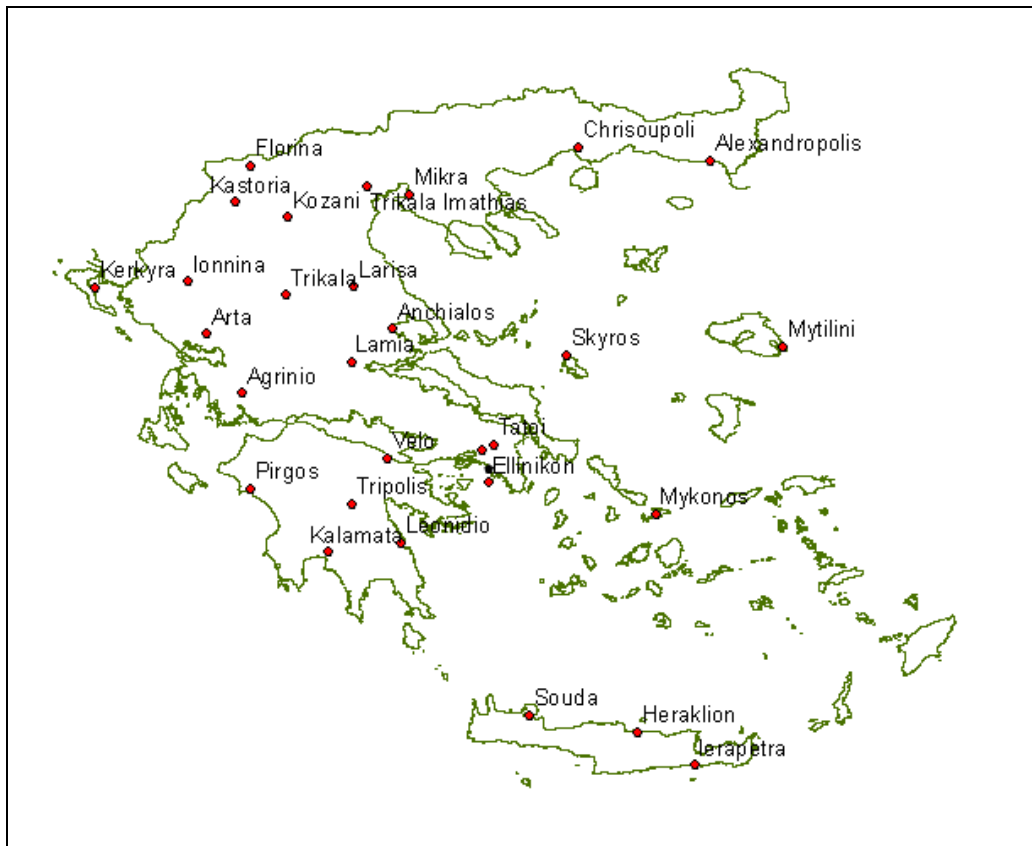
This study made in the framework of MSc thesis concerns the evaluation of the satellite rainfall data derived from the 3B42 algorithm, version 6, from the mission TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). This mission was established by the American institution NASA and the Japanese JAXA. The product of the 3B42 algorithm is gridded data with the best spatial and temporal resolution of all products of rainfall data, free available. This fact makes the 3B42 product extremely attractive as it is definitely a very practical solution to the numerous problems arisen from the terrestrial-gauge data. The uneven distribution of meteorological stations in the embossed surface, the almost complete absence of these above sea and the frequent malfunctions caused by extreme weather events are some of these problems to name but a few. These problems have resulted in many gaps in meteorological data, especially when talking to fine (subdaily) time scales.

Therefore, satellite data may be useful for some areas and where there is a complete lack of reliable ground measurements, their use may become imperative. Keep in mind that the rainfall data in fine time scale is crucial to safe and economical design of hydraulic infrastructure. The critical question is whether the satellite data can respond, otherwise if they have the necessary reliability to meet these needs. This question is tried to be asked in this study which is perhaps the first to try to evaluate satellite data in fine time scale over the entire country of Greece.

DATA

In order to evaluate the quality of the 3B42 satellite data, we were provided these satellite products by the official website of NASA (<http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/>). The spatial coverage is a region of latitude from 34° until 42° above the equator and longitude from 19° until 29° east of the prime meridian, covering the entire Greek territory. The data's spatial resolution is 0.25° and temporal 3 hours, covering a period from 1/1/1998 until 31/5/2010. So basically the above data is a grid and at each grid point is given a rainfall time series of 1/1/1998 to 31/5/2010 with a 3 hour time step. Each value in grid points is the average surface of the

grid cells, which area is $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$, so the data is already surface and not just point values (NASA, 3B42 Algorithm, 2011).



Map 1. Map of Greece where the used meteorological stations of HNMS are shown

To evaluate these satellite data, terrestrial gauged data of rainfall was provided by 29 meteorological stations of HNMS (Hellenic National Meteorological Service, <http://www.hnms.gr/>), which are shown on map 1 and are parted into 2 groups because of their structure of data. The first group consisted of 12 stations whose data we got from the handwritten paper of the rain recorders and we typed them in electronic form so as to be edited. In each paper of rain recorder is shown, for each day, the daily indication of rainfall from rain gauge and the indications of the rain recorder in 5 minute time scale. We typed for each day and station the daily readings of rainfall and of the 10 most rainy days of each hydrological year, the readings of rain recorders on an hourly basis. The second group consists of 17 stations with already digitized data of rain in 12 hour time scale. Both groups of stations clearly cover the period from 1/1/1998 until 31/5/2010.

METHOD OVERVIEW

To assess the reliability of satellite data, these were compared with the ground gauged data collected at each station. Because no meteorological station was in the same location with some grid point, the time series of satellite data at each station was estimated by interpolation from the 4 neighboring grid points. The method of interpolation is followed such that calculates the optimal unbiased estimator, followed by nonlinear transformation. Initially, each time series of the 4 neighboring grid points is transformed as follows (Koutsoyannis, 2004, Koutsoyannis et al, 2008, Tsaknias et al, 2011):

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

Where, Y_{ji} is the original time series into one of the 4 grid points j and S_{ji} is the nonlinear transformed. c and a is nonnegative coefficients. We then use a simple linear model (weighted aggregation), from which we estimate the optimal linear unbiased estimator (Best Linear Unbiased Estimator, BLUE, Koutsoyiannis et al, 2008):

$$S_i = \sum_{j=1}^4 w_j \times S_{ji}$$

The w_j are weights and their sum equals 1. Combining these two equations we conclude to the full expression of the generalized model we use (Tsaknias et al, 2011, Tsaknias, 2011):

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

The choice of weights and the coefficients a and c was a laborious process of optimization, given the complexity of the problem. The objective function was the minimizing the mean square error (MSE) at the maxima values of all time steps (3, 6, 12, 24 and 48 hours). After we calculate an estimator of satellite data for each station, we made the comparison at each one of them. In each station from the first group we made 2 comparisons, one in the small scale of 3 hours for the 10 more rainy days per hydrological year and one in 24 hours along the time series. As for the second group of stations, we made only one comparison at 12-hour time step.

From each comparison, we calculated, initially, the statistical characteristics (mean and standard deviation) of each time series, ie the ground-gauged and satellite-estimated and then the bias (%) of averages (PBIAS) and standard deviations, the

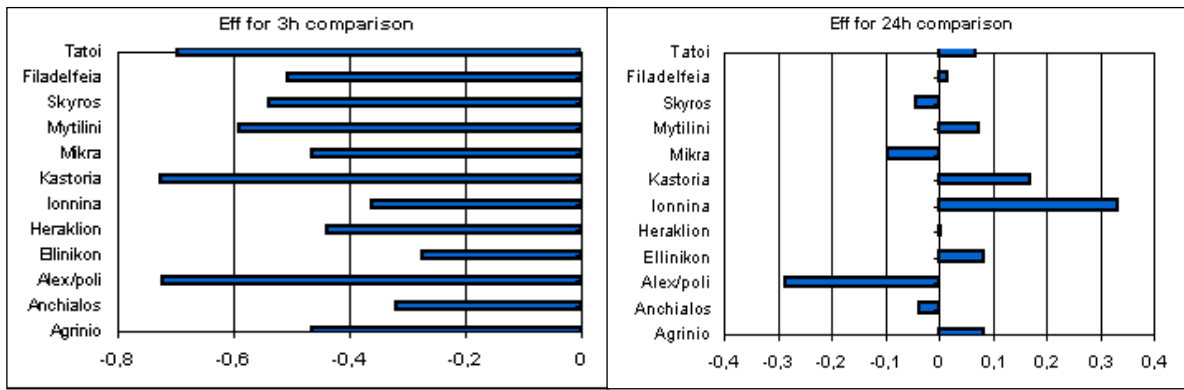
average absolute error of the observations (MAE) and the root mean squared error (RMSE). To assess the reliability of satellite data, in each comparison we calculated the efficiency coefficient Eff (Nash-Sutcliffe), the value of the error function Er (the mean square error of observations by adding the squares of the bias of the average and standard deviation multiplied in 1000), the rate of correlation R and the mean square error MSE of the maximum values (Moriassi et al, 2007, Koutsoyiannis, 1996) as we wanted to see the ability of the simulation of the maxima as absolute values.

The maxima calculated from each station were for 3, 6, 12, 24 and 48 hours time step. For each time step, we calculated the probability distribution of both the actual time series, and satellite and were compared with each other. The calculated distributions were the simple empirical ones, as the few years of time series does not allow the adjustment of a mathematical distribution (Koutsoyiannis, 1996). Moreover, at each station, the total rainfall was calculated, and the number of time steps that have non-zero rainfall and height greater than some value.

Regarding the errors, we calculated for each station the error of maxima with 10 years and 5 years return period (the largest and second largest values, respectively, according to the empirical distribution), the mean and the mean absolute errors for the maxima values in each time step of 3, 6, 12, 24 and 48 hours separately. These errors were about to be represented on GIS maps (GIS) to investigate the spatial distribution of errors and therefore the bias trends of satellite data in space. Finally, it was investigated whether the satellite data represent the behavior of extreme events and in particular their capacity to reduce their percentages compared to the average annual rainfall when it increases (Mamassis, 1997, 2011).

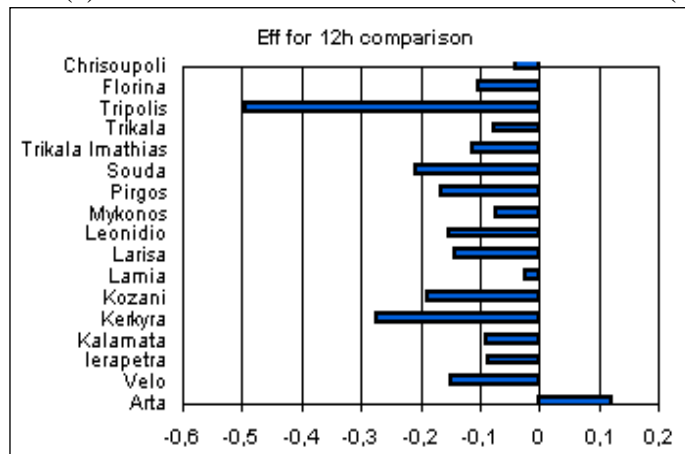
RESULTS

The results of the statistical analysis conclude that satellite data did not adequately simulate the terrestrial data. Apart from some stations, coming from the first group and only in the 24 hour comparison, the rate of efficiency (Eff) was negative everywhere, resulting in the simple average to be a much better estimator (Figure 1 (a) (b) and (c)). The correlation rate was about 0.5 and at the first group in the 3 hour comparison, hardly exceeded 0.15 (Figure 2 (a) and (b)). The value of 0.5 is mainly due to the many zero values contained in the series, because of the short time scale. Also it worths noting that the vast majority of comparisons showed serious underestimation of the average of observations, even 50%.



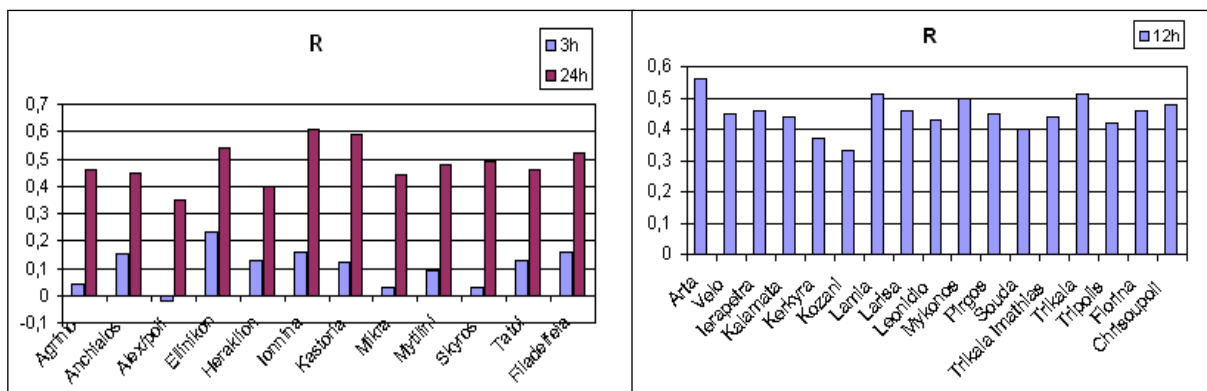
(a)

(b)



(c)

Figure 1. Rate of efficiency for the first group of stations in the 3-hour comparison (a), in the 24-hour comparison (b) and for the second one (c).



(a)

(b)

Figure 2. Rates of correlation for the first (a) group of stations and the second (b) respectively.

As for the distributions of maxima, where we had much better performances, at some stations the differences were very small. Especially, for the station of Ellinikon, the distribution simulations were very good at all time scales (see Figure 3 (a)). This could be due to the fact that there may be near a ground station that participates in the

primary calibration of satellite measurements. What is more, very good performance we had in other stations such as Florina (see Figure 3 (b)).

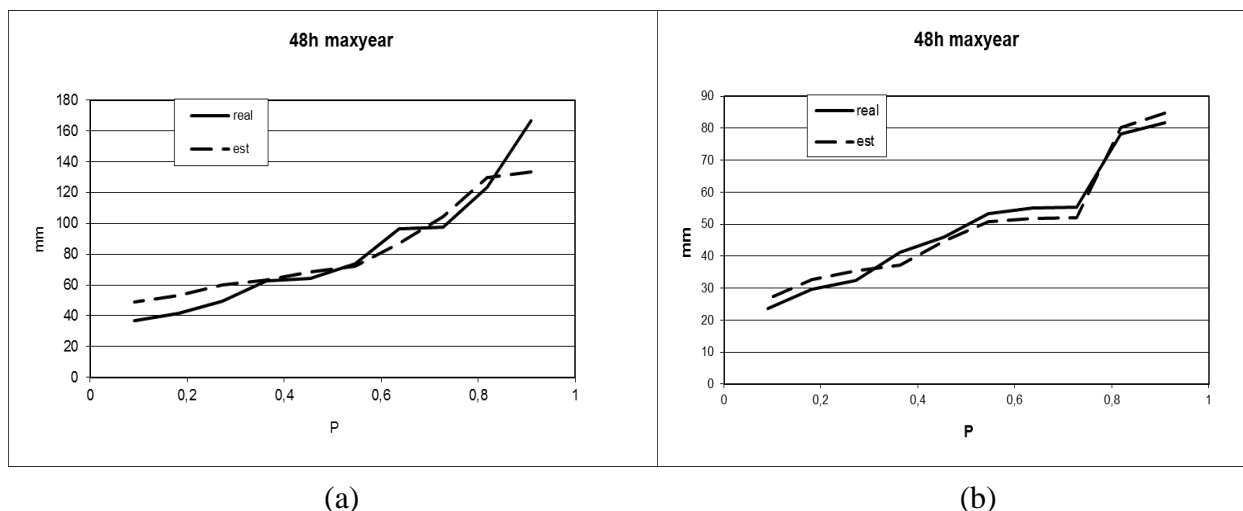


Figure 3. Examples of very good simulation of distributions for annual maxima of 48 hours for the station of (a) Ellinikon and (b) Florina.

Both statistic and distribution of maxima showed an improvement as the time scale was growing. Furthermore, in some stations there was a clear improvement in the simulation of maximum values by the year 2004-05, which is probably due to the technological development of satellite instruments. On the frequency of episodes, there was the almost complete lack of recording the small rainfall events and the apparent underestimation of the mediocre. Even the extreme episodes were underestimated, especially in frequency. Generally, satellite data function in such a way as to ignore almost all the small episodes and at some time give a great value (which can be much greater than the given by the terrestrial data in that time) to equalize the situation somewhat. This is because of the calibration of satellite measurements that occurs at larger scales and then come back (with disaggregation models) to the fine 3-hour scale (NASA, 3V42 Algorithm, 2011). As a result, we have a serious underestimation of the total amount of rain and of course the average, for that previously mentioned. Also, we observed that in many cases where the respective maxima values from satellite and terrestrial data had very little variation, they were not contemporary but occurred at very different times.

As for the errors, whose spatial distribution was investigated, this varies depending on the scale and kind. Specifically, for the maxima with return period of 10 years, there was an underestimation of 25% and in a few cases of 50% (mainly

Anchialos with error 50% at all scales) and overestimated by 25% or less by 50%. Greater overestimation of 50% was observed at Mytilini in 3-hour step and 75% and 125% in 2 stations, in Kalamata and Pirgos, respectively, in 12-hour step. Concerning the maxima with return period of 5 years we have mainly underestimation around 25% or less, except for Souda in which the error reaches 50%. The overestimation ranged from 25% to 50%, but for Pirgos reaches 75%. The largest errors are usually in smaller scales. The mean error is approximately ± 10 mm while the overestimation predominates. Especially for Leonidio and Souda in 48-hour scale we have mean error -30 mm and for Pirgos, Tripoli and Kerkyra, the error is +20 mm in 12, 24 and 48-hour scale, respectively. Finally, the mean absolute error is approximately 10 mm with Anchialos, Pirgos, Tripoli, Souda, Leonidio and Kerkyra the error is about 20 mm in almost all scales.

In regards with the spatial distribution of errors, the maxima of 10 and 5 years return period were almost permanently and seriously overrated by the satellite data in the regions of the North Aegean (Mytilini) and a seriously underrated in the regions of Central and Eastern mainland (Thessaly). Also, from 12 hours and above there is another serious and permanent overestimation in the western Peloponnese (Pirgos), as well as in western Crete (Souda) where there is a permanent and severe underestimation. Also, Kerkyra shows large negative errors in the maxima of 10 years return period (understatement), while on large scales (24 and 48 hours) and in the maxima of 5 years return period are positive (overstatement). In the mean errors, it is impressive the permanent overestimation in the region of northeastern Aegean and Thrace. Again in the region of Thessaly, we found permanent underestimation and above the 12 hours step, overestimation in the western Peloponnese and underestimation in western Crete and central Macedonia (Thessaly included). Moreover, in the mean absolute errors, higher values, which means that we have the worst simulations of distribution of maxima, located on the northeast country and particularly in the region of Thrace, Mytilini. After 12 hours large errors found in W-SW Peloponnese, in Western Crete and the Ionian region (Eptanese).

Finally, while investigating if the satellite data simulate the behavior of extreme events, we can say that in general that the satellite data simulate it satisfactorily. That seems that the most intense events are concentrated in Western (mainly coastal and island) country, in the south region (Crete included), in the eastern coastal area (Attica, Evia up to Volos) and in the eastern Aegean Sea, especially in the Dodecanese. Also, it

seems that the satellite data simulate very well the tendency of extreme events to increase their proportion in relation to the average annual rainfall, and the second is reduced, which is shown in Figure 4.

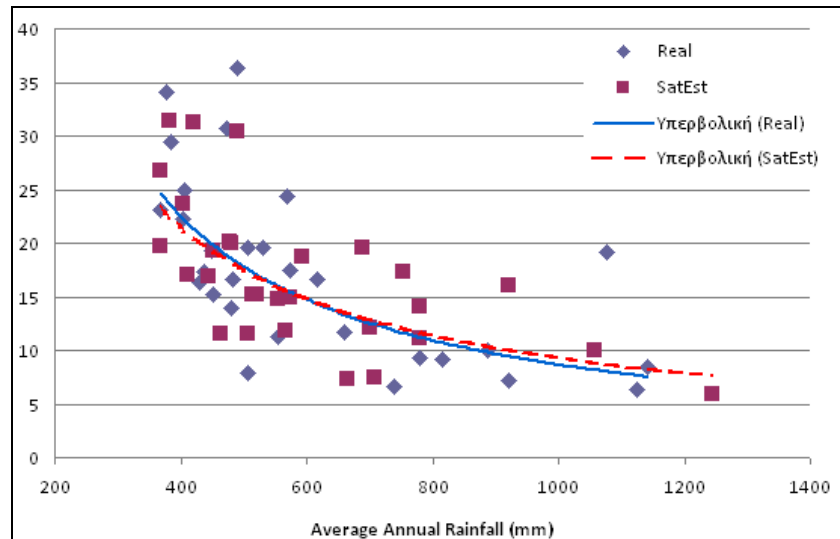


Figure 4. Percentages (%) of maxima of 12 hours with 10 years return period compared with mean annual precipitation for terrestrial (Real) and satellite (SatEst) data.

CONCLUSIONS-DISCUSSION

The satellite data does not sufficiently simulate the ground data series. More specifically, in nearly all cases, except some on the comparison of 24 hours, the coefficient of efficiency Eff (Nash-Sutcliffe) is negative (Figure 1). Also, the correlation coefficient R in very few cases exceeds 0.5 and for the comparisons of 3 hours, hardly exceeds 0.15. Going on the comparison of maxima, here we had better results as in most cases the probability distribution of maxima was simulated relatively well. However, in many stations, considering the maxima of 10 years return period, we noticed that although the bias between satellite and terrestrial peak was very small, even negligible, the maxima values may not be contemporary. This shows an inconsistency, and it is possible the very good performance was due to lack.

At both time series and distributions were evident improvement in performance as a function of increasing time scale. This is purely due to the fact that the calibration of satellite data becomes in larger scales (NASA, 3B42 Algorithm, 2011) but also due to the fact that the small scale of the rainfall events are characterized by high volatility. However, the behavior of satellite data appears to follow a specific pattern. This is the

total ignoring of small and less moderate rainfall events and somewhere to put a great value of rain to rectify the situation. The moment chosen to put the value can be “random” and there may not be an intense episode according to ground data or the respective value according to ground data can be 0. Almost completely ignoring the small incidents, results in the fact that the satellite data fall behind too much in total rainfall and the average is almost always less (even 50%) than the corresponding of the terrestrial observations. Even the intense episodes seemed underrated in most cases at least in the frequency, thus indicating a general inability to simulate the frequency of rain events in a region.

Concerning the spatial distribution of errors, that vary significantly depending on the time scale and the actual figures look (return period etc.). However, there are some general trends. Initially, at large values, ie maxima of 10 and 5 years return period, standing there (on all time scales) a significant overestimation of the ground-gauged data in the regions of North Aegean (Mytilini) and in western Peloponnese (Pirgos) and severe underestimation in the mainland of central-eastern Greece (Thessaly) and western Crete (Souda). Still, Kerkyra shows large errors mainly negative (understatement). The mean errors follow approximately the same distribution in space, ie overestimate the northeastern Aegean, Thrace, western Peloponnese and the Ionian Islands and underestimation in regions of Thessaly, Crete and central-western Macedonia.

Generally, the spatial behavior of extreme events, satellite data show to simulate sufficiently. That seems that the most intense events are concentrated in western and southern country, the eastern coastal and the eastern Aegean. Also, it seems that the satellite data simulate very well the tendency of extreme events to increase their proportion in relation to the average annual rainfall as the latter decreases. Thus, areas with low average annual rainfall, such as Attica, is expected to give very intense extreme events as a percentage of average annual value, a trend that satellite seems to follow very well.

Satellite data of precipitation is a new perspective in the field of meteorology and hydrology. From the evidence so far, they seem relatively weak to simulate the precipitation regime at all levels in an area. Thus, we conclude that in hydrological issues, such as hydrological and flood prevention planning, can be used only in a subsidiary way and constitute an option only in cases of total lack of reliable ground measurements. The reliability of satellite data is much greater in large time scales, such

as monthly, seasonal, annual and scaling, making them particularly useful in climate issues and surveys. The availability of satellite data and others like that, in no way negates the need for meticulous ground data recording especially when it refers to extreme rainfall events which by their nature pose great uncertainty.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- 1 Αλεξοπούλου Α., *Αξιολόγηση Δορυφορικών Βροχομετρικών Δεδομένων*, Διπλωματική Εργασία, ΔΠΜΣ "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, 2010.
- 2 Βαχαβιώλος Θ., *Μεθοδολογία Προσδιορισμού Ευάλωτων Περιοχών σε Πλημμύρες Σύμφωνα με την Οδηγία 2007/60*, Διπλωματική Εργασία, ΔΠΜΣ "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, 2011.
- 3 Βλάχου Ο., *Γεωγραφική Κατανομή, Μεταβλητότητα και Επιπτώσεις των Ακραίων Καιρικών Φαινομένων στην Ελλάδα Βάσει Αναφορών Ημερησίου Τύπου και Καταγεγραμμένων Μετρήσεων*, Διπλωματική Εργασία, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών "Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου", Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, 2010.
- 4 ΕΜΥ, Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2011 (<http://www.hnms.gr/>).
- 5 ΕΜΥ, Κλιματολογία, 2011 (http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/climatology_html)
- 6 Κοτρώνη Β., *Υδρομετεωρολογία*, Σημειώσεις Μαθήματος ΔΠΜΣ "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, 2010.
- 7 Κουτσογιάννης Δ., Ανδρεαδάκης Α., Μαυροδήμου Ρ., Χριστοφίδης Α., Μαμάσης Ν., Ευστρατιάδης Α., Κουκουβίνος Α., Καραβοκυρός Γ., Κοζάνης Σ., Μαμάης Δ., Νουτσόπουλος Κ., *Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων, Υποστήριξη της κατάρτισης Εθνικού Προγράμματος Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων*, 748 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΕΜΠ, 2008.
- 8 Κουτσογιάννης Δ., Ευστρατιάδης Α., *Διαχείριση Υδατικών Πόρων*, Σημειώσεις Μαθήματος ΔΠΜΣ "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, 2011.
- 9 Κουτσογιάννης Δ., Μαμάσης Ν., *Υδρομετεωρολογία*, Σημειώσεις Μαθήματος ΔΠΜΣ "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, 2010.
- 10 Κουτσογιάννης Δ., Μαρκόνης Ι., Κουκουβίνος Α., Παπαλεξίου Σ., Μαμάσης Ν., Δημητριάδης Π., *Υδρολογική Μελέτη Ισχυρών Βροχοπτώσεων στη Λεκάνη του Κηφισού*, 2010.
- 11 Κουτσογιάννης Δ., Ξανθόπουλος Θ., *Τεχνική Υδρολογία*, ΕΜΠ, Τομέας Υδάτινων Πόρων, Έκδοση 3, 1999.
- 12 Κουτσογιάννης Δ., *Στατιστική Υδρολογία*, ΕΜΠ, Τομέας Υδάτινων Πόρων, Έκδοση 3, 1996.
- 13 Μακρόπουλος Χ., Ευστρατιάδης Α., *Βελτιστοποίηση Συστημάτων Υδατικών Πόρων-Υδροπληροφορική*, Σημειώσεις Μαθήματος ΔΠΜΣ "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, 2011.
- 14 Μαμάσης Ν., *Ανάλυση Βροχοπτώσεων κατά Τύπο Καιρού*, Διδακτορική Διατριβή, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, 1997

- 15 Μαμάσης Ν., *Έντονα Καιρικά Φαινόμενα*, Επιμορφωτικό Πρόγραμμα "Βασικές Γνώσεις Πολιτικής Προστασίας", Υπουργείο Εσωτερικών, 2011
http://itia.ntua.gr/~nikos/ypes/fysik_kairos.pdf
- 16 Μαμάσης Ν., Μιμίκου Μ., *Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά Έργα*, Σημειώσεις Μαθήματος ΔΠΜΣ "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, 2010 (α).
- 17 Μαμάσης Ν., Μιμίκου Μ., *Προχωρημένη Υδρολογία*, Σημειώσεις Μαθήματος ΔΠΜΣ "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, 2010 (β).
- 18 Μιμίκου Μ. Α., *Οι Υδατικοί Πόροι στην Ελλάδα*, Σημειώσεις ΕΜΠ, 2011.
- 19 Μιμίκου Μ. Α., Φωτόπουλος Φ. Σ., *Υδατικό Περιβάλλον και Ανάπτυξη*, Σημειώσεις Μαθήματος ΔΠΜΣ "Περιβάλλον και Ανάπτυξη", ΕΜΠ, 2004.
- 20 Μιμίκου Μ., Μπαλτάς Ε., *Τεχνική Υδρολογία*, ΕΜΠ, Έκδοση 3, 2003.
- 21 Μιμίκου Μ., *Τεχνολογία Υδάτινων Πόρων*, Παπασωτηρίου, Έκδοση 2, 1994.
- 22 Μιμίκου Μ., *Το Πλημμυρικό Καθεστώς στην Ελλάδα*, Σημειώσεις Μαθήματος "Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά Έργα" ΔΠΜΣ "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, 2010 (http://edu.chi.civil.ntua.gr/site-LESSONS/HTML_PLIMIRES/PERIEXOMENO/Prosthetes_simioseis_GREECE.htm).
- 23 Παπαθεοδοσίου Μ., Κατσίφα Μ., *Καταγραφή Ακραίων Καιρικών Φαινομένων στον Κόσμο και την Ελλάδα*, Εργασία στο Μάθημα "Υδρομετεωρολογία", ΔΠΜΣ "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, 2009
- 24 Πλάκα Κ. Ι., *Ανάλυση Ισχυρών Βροχοπτώσεων κατά Τύπο Καιρού*, Διπλωματική Εργασία, ΔΠΜΣ "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, 2006.
- 25 Τσακνιάς Δ., *Στατιστική Σύγκριση Ακραίων Παρατηρημένων Θερμοκρασιών και Βροχοπτώσεων με Αποτελέσματα Κλιματικών Μοντέλων*, Διπλωματική Εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΕΜΠ 2011
- 26 Φωτόπουλος Φ., *Πρόγνωση Πλημμυρών σε Επίπεδο Λεκάνης Απορροής με Χρήση Δορυφορικών Μετρήσεων Κατακρήμισης, Η Περίπτωση του Έβρου*, Διδακτορική Διατριβή, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, 2011.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- 1 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, pp 2007-2023, 2000.
- 2 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.
- 3 Asadullah A., McIntyre n., Kigobe M., *Evaluation of five satellite products for estimation of rainfall over Uganda*, Hydrological Sciences Journal, 53: 6, 1137-1150, 2008.
- 4 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.
- 5 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.
- 6 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.
- 7 Chokngamwong R., Chiu L., *Thailand Daily Rainfall and Comparison with TRMM Products*, Journal of Hydrometeorology 9(2):256–266, 2008
- 8 Chokngamwong R., Chiu L., *TRMM and Thailand Daily Gauge Rainfall Comparison*, 20th Conference of Hydrology, American Meteorological Society, 2006.
- 9 Chow V. T., Maidment D. R., Mays L. W., *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, 1988.
- 10 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
- 11 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.
- 12 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.
- 13 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).
- 14 Dinku T., Connor S. J., Ceccato P., *Evaluation of Satellite Rainfall Estimates and Gridded Raingauge Products over the Upper Nile Region*, from the Book by Melesse A. M., Nile River Basin, Hydrology, Climate and Water Use, Springer, 2010 (b).

- 15 Endreny T. A., Imbeah N., *Generating Robust Rainfall Intensity–Duration–Frequency Estimates with Short-Record Satellite Data*, Journal of Hydrology, 371, 182–191, 2009.
- 16 Enright L., *Low-Cost Re-Architecturing of NASA's TRMM Mission Control Center*, Proc. Ground System Architectures Workshops, Manhattan Beach CA, 2004.
- 17 Everett D., *GPM Satellites, Orbits and Coverages*, Goddard Space Flight Center, MD, USA, 2001
- 18 Feidas H., *Validation of Satellite Products over Greece*, Springer-Verlag, Theor Appl Climatol 99:193–216, 2010
- 19 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.
- 20 Funk C., Ederer G., Pedreros D., *The Tropical Rainfall Monitoring Mission*, UCSB Climate Hazard Group, NASA, 2008.
- 21 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.
- 22 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.
- 23 Habib E. H., Haile A., Elsaadani M., Elshamy M. E., Amin D., Kuligowski R. J., *Evaluation of High-Resolution Satellite Rainfall Products over the Nile Basin for Climatologic and Hydrologic Applications*, American Geophysical Union, 2010.
- 24 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
- 25 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.
- 26 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.
- 27 Hillier A., *ArcGIS 9.3 Manual*, University of Pennsylvania, 2007
http://works.bepress.com/amy_hillier/17/
- 28 Huffman G. J., *Assessing Experimental Real-Time TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA-RT) Data Sets*, GoddardSpace Flight Center, NASA, 2011.
- 29 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.

- 30 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
- 31 Huffman G. J., Bolvin D. T., *TRMM and Other Data Precipitation Data Set Documentation*, GoddardSpace Flight Center, NASA, 2011.
- 32 Huffman G. J., *IPWG Algorithm Documentation for 3B42RT*, NASA, 2009
- 33 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
- 34 JAXA, Japan Aerospace Exploration Agency, 2011 (http://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/index_e.htm)
- 35 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.
- 36 JMA, Japan Meteorological Agency, Meteorological Satellite Center (MSC), 2011 (<http://mscweb.kishou.go.jp/>)
- 37 Katsanos D., Lagouvardos K., Kotroni V., Huffmann 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
- 38 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.
- 39 Koutsoyiannis D., Langousis A., *Precipitation*, Treatise on Water Science by Peter Wilderer vol. 2, pp. 27–78 Oxford: Academic Press, 2011.
- 40 Koutsoyiannis D., *A Random Walk on Water*, Hydrology and Earth System Sciences, 14, 585–601, 2010.
- 41 Koutsoyiannis D., Efstratiadis A., Mamassis N., Christofides A., *On the Credibility of Climate Predictions*, IAHS Press, Hydrological Sciences 53(4), 2008
- 42 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.
- 43 Koutsoyiannis D., *Rainfall Disaggregation Methods: Theory and Applications*, Workshop on Statistical and Mathematical Methods for Hydrological Analysis, Rome, 2003.
- 44 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.
- 45 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.

- 46 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., Nakamuran K., *The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit*, Journal of Applied Meteorology, 39, 1965-1982, 2000.
- 47 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
- 48 Li L., Hong Y., Wang J., Adler R. F., Policelli F. S., Habib S., Irwn D., Korme T., Okello L., *Evaluation of the real-time TRMM-based multi-satellite precipitation analysis for an operational flood prediction system in Nzoia Basin, Lake Victoria, Africa*, Nat Hazards, Springer, 2008.
- 49 Linsley R. K., Kohler M. A., Paulhus J. L. H., *Hydrology for Enginneers*, McGraw-Hill, 1975.
- 50 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.
- 51 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.
- 52 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
- 53 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.
- 54 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.
- 55 NASA, Mission Profile, *Earth Science Mission Profile 1997-2023*, NASA, 2011.
- 56 NASA, National Aeronautics and Space Administration, 3B42 Algorithm, 2011 (<http://trmm.gsfc.nasa.gov/3b42.html>)
- 57 NASA, National Aeronautics and Space Administration, CERES, 2011 (<http://ceres.larc.nasa.gov/>)
- 58 NASA, National Aeronautics and Space Administration, TRMM Instruments, 2011 (http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation/additional/instruments/instrument_trmm.shtml)
- 59 NASA, National Aeronautics and Space Administration, TRMM, 2011 (<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>)

- 60 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
- 61 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.
- 62 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
- 63 NSDAOJ, National Space Development agency Of Japan, *TRMM Data Users Handbook*, Earth Observation Center, Saitama, Japan, 2001
- 64 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.
- 65 Parkinson C., Ward A., King M., *Tropical Rainfall Measuring Mission*, Earth Science Reference Handbook, 243-255, 2006.
- 66 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
- 67 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
- 68 Romilly T. G., Gebremichael M., *Evaluation of satellite rainfall estimates over Ethiopian river basins*, Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 7, 7669–7694, 2010.
- 69 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
- 70 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.
- 71 Schneider U., Fuchs T., Meyer-Christoffer A., Rudolf B., *Global precipitation products of the Global Precipitation Centre (GPCC)*, Deutscher Wetterdienst, Offenbach, Germany, 2008.
- 72 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.
- 73 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.

- 74 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.
- 75 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.
- 76 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, pp 365-380, American Meteorological Society, 2005.
- 77 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.