

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**



**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ & ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

**ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ  
ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
ΔΟΥΦΟΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

ΥΠΟΒΛΗΘΕΙΣΑ ΣΤΗΝ ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΥ Ε.Μ.Π.

**ΦΩΤΙΟΥ Σ. ΦΩΤΟΠΟΥΛΟΥ**  
ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΟΥ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ Ε.Μ.Π., ΜΔΕ ΕΜΠ, MSC MIT

ΑΘΗΝΑ, 2011



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**



**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ & ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

**ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ  
ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ  
ΦΩΤΙΟΥ Σ. ΦΩΤΟΠΟΥΛΟΥ**

ΑΘΗΝΑ 2011

Συμβουλευτική Επιτροπή: Μ. Μιμίκου (Επιβλέπουσα) Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.  
Δ. Κουτσογιάννης Καθηγητής Ε.Μ.Π.  
Χ. Μακρόπουλος Λέκτορας Ε.Μ.Π.





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**



**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ & ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

**ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ  
ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
ΔΟΥΦΟΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ  
ΦΩΤΙΟΥ Σ. ΦΩΤΟΠΟΥΛΟΥ**

ΑΘΗΝΑ 2011

Συμβουλευτική Επιτροπή: Μ. Μιμίκου (Επιβλέπουσα) Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.  
Δ. Κουτσογιάννης Καθηγητής Ε.Μ.Π.  
Χ. Μακρόπουλος Λέκτορας Ε.Μ.Π.

---

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή:

---

Μ. Μιμίκου  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

---

Δ. Κουτσογιάννης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

---

Χ. Μακρόπουλος  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

---

Γ. Τσακίρης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

---

Ε. Μπαλάς  
Αν. Καθηγητής ΑΠΘ

---

Αθ. Λουκάς  
Αν. Καθηγητής Π.Θ.

---

Ν. Μαμάσης  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

---

**Φώτιος Σ. Φωτόπουλος**

Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, ΜΔΕ ΕΜΠ, MSc MIT

Υποψήφιος Διδάκτωρ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

© 2011, Φώτιος Σ. Φωτόπουλος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν αντιπροσωπεύουν κατ' ανάγκη τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Πρόλογος - Ευχαριστίες

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων του Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ στο πλαίσιο της ερευνητικής μου ενασχόλησης από το Δεκέμβριο του 2004 έως το Σεπτέμβριο του 2010.

Θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια κα. Μ. Μιμίκου, επιβλέπουσα της παρούσας διατριβής, αφενός μεν για την επιλογή, ανάθεση και επίβλεψη της διατριβής αυτής και αφετέρου για την συνεχή υποστήριξη και την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου κατά τη διάρκεια των δεκαεσσάρων ετών που βρίσκομαι στο εργαστήριο. Μέσω αυτής της πολυετούς συνεργασίας μου δόθηκε η μοναδική ευκαιρία να απασχοληθώ σε πλήθος ερευνητικών προγραμμάτων εσωτερικού και εξωτερικού, να συνεργαστώ με διακεκριμένους επιστήμονες, να παράσχω επικουρικό διδακτικό έργο σε προπτυχιακό και μεταπτυχιακό επίπεδο και πάνω απ' όλα να αποκτήσω γνώσεις και εμπειρίες που διαμόρφωσαν καθοριστικά την ακαδημαϊκή και επαγγελματική μου σταδιοδρομία.

Θερμές ευχαριστίες οφείλονται:

- στον Καθηγητή κ. Δ. Κουτσογιάννη - τον οποίο γνώρισα πρώτη φορά το 1996 και με ώθησε με τη διδασκαλία του να ακολουθήσω την κατεύθυνση του Υδραυλικού Μηχανικού - για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις και υποδείξεις του και για την ουσιαστική βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής αυτής.
- στον Λέκτορα κ. Χ. Μακρόπουλο για την καθοριστική συμβολή του και την ακόρεστη προθυμία συνεργασίας μαζί μου καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.
- στον Καθηγητή κ. Γ. Τσακίρη, μέλος της εξεταστικής επιτροπής, για τις συμβουλές του. Μέσω του μαθήματός του, το 1999, ασχολήθηκα για πρώτη φορά με την οδηγία 2000/60 ξεφεύγοντας από το αυστηρό υδραυλικό-υδρολογικό πλαίσιο.
- στον Αν. Καθηγητή κ. Ε. Μπαλτά, μέλος της εξεταστικής επιτροπής, για τις ουσιώδεις παρατηρήσεις του καθώς και για τις γνώσεις που μου έχει μεταδώσει κατά τη διάρκεια της υπερδεκαετούς γνωριμίας μας
- στον Αν. Καθηγητή κ. Αθ. Λουκά μέλος της εξεταστικής επιτροπής για τις χρήσιμες παρατηρήσεις του.
- στον Λέκτορα κ. Ν. Μαμάση, μέλος της εξεταστικής επιτροπής, για τις υποδείξεις του και για το ότι με ενθάρρυνε και με βοήθησε έμπρακτα ώστε να καταφέρω ισορροπήσω ανάμεσα στις ακαδημαϊκές και επαγγελματικές μου δραστηριότητες και να ολοκληρώσω την παρούσα διατριβή.
- στους κ. Γ. Τσεσμελή, Κ. Δερνεκτσή και Μ. Χαμητίδου στην ΠΑΜΘ και Sadettin Malkaralı της DSI για την πολυετή συνεργασία μας σε θέματα σχετικά με τον Έβρο ποταμό.
- στους συνεργάτες μου παλαιότερους και νεότερους στο Εργαστήριο για την εποικοδομητική μας συνεργασία και ιδιαίτερα τη Χ. Παναγιωτοπούλου για τη βοήθειά της σε διαδικαστικά θέματα.
- στους συνεργάτες μου στον επαγγελματικό τομέα και ιδιαίτερα τον Δρ. Αριστοτέλη Χαραλαμπίκη.
- στην οικογένειά μου για την υποστήριξη που μου παρέιχε όλα αυτά τα χρόνια.

Φ. Φωτόπουλος

Ιούνιος 2011



**Πρόγνωση** καλείται η τέχνη  
του να λες τι θα συμβεί  
και στη συνέχεια να εξηγείς γιατί δε συνέβη<sup>1</sup>.  
**Ανώνυμος**

---

<sup>1</sup> Ισχύει και το αντίστροφο.



# Περιεχόμενα

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	<b>7</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>11</b>
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	<b>17</b>
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ</b> .....	<b>21</b>
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	<b>25</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>27</b>
<b>EXTENDED ABSTRACT</b> .....	<b>29</b>
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>39</b>
1.1 Γενική τοποθέτηση του προβλήματος .....	39
1.2 Στόχοι εργασίας.....	42
1.3 Μεθοδολογία .....	43
1.4 Πρωτότυπα σημεία .....	44
1.5 Διάρθρωση .....	45
<b>2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΙΦΗΣΗ</b> .....	<b>51</b>
2.1 Πρόγνωση πλημμυρών σε πραγματικό ή σχεδόν πραγματικό χρόνο.....	51
2.2 Πρόγνωση πλημμυρών με χρήση δορυφορικών δεδομένων.....	52
2.3 Πρόγνωση πλημμυρών με χρήση της πλατφόρμας OpenMI .....	53
2.4 Πρόγνωση πλημμυρών στον ποταμό Έβρο.....	54
<b>3 ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΣΥΛΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ OPENMI</b> .....	<b>59</b>
3.1 Γενικά περί της πλατφόρμας OpenMI .....	59
3.1.1 Προσομοίωση πολυσύνθετων διαδικασιών .....	60
3.1.2 Ανταλλαγή δεδομένων και αποτελεσμάτων .....	61
3.2 Αρχές σχεδιασμού .....	63
3.2.1 Γλώσσες προγραμματισμού.....	63
3.2.2 Μετατροπή μονάδων .....	65
3.2.3 Χωρική συμβατότητα .....	66
3.2.4 Χρονική συμβατότητα .....	67
3.2.5 Ευέλικτη παραμετροποιήσιμη συνδεσιμότητα .....	69
3.3 Διαδικασία τροποποίησης μοντέλων.....	70
3.3.1 Διαχωρισμός γραφικού περιβάλλοντος και υπολογισμών .....	70
3.3.2 Τροποποίηση υπολογιστικού πυρήνα.....	71

3.3.3	Καθορισμός αντικειμένων ανταλλαγής .....	72
3.3.4	Δημιουργία κελύφους επικοινωνίας.....	72
3.3.5	Εισαγωγή του μοντέλου στην πλατφόρμα .....	73
3.3.6	Προχωρημένες δυνατότητες .....	74
3.3.7	Μελλοντικά χαρακτηριστικά .....	75
<b>4</b>	<b>ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.....</b>	<b>79</b>
4.1	Διάγραμμα ροής .....	79
4.2	Τεχνικά χαρακτηριστικά .....	79
4.3	Το πρόγραμμα SSM .....	80
4.3.1	Γενικά χαρακτηριστικά .....	80
4.3.2	Τροποποιημένο Ιουλιανό ημερολόγιο.....	81
4.3.2.1	Ιουλιανή Ημέρα.....	81
4.3.2.2	Ιουλιανή Ημερομηνία .....	81
4.3.2.3	Ιουλιανός Αιώνας.....	82
4.3.2.4	Αριθμός ημερών έτους.....	83
4.3.2.5	Αριθμός ημέρας.....	83
4.3.3	Τροχιά Γης και Ηλίου .....	83
4.3.3.1	Εκκεντρότητα τροχιάς .....	84
4.3.3.2	Μέση γωνία εκλειπτικής τροχιάς.....	84
4.3.3.3	Γεωμετρικό μέσο γεωγραφικό μήκος.....	85
4.3.3.4	Μέση γεωμετρική ανωμαλία τροχιάς.....	86
4.3.3.5	Εξίσωση τροχιάς κέντρου .....	86
4.3.3.6	Πραγματική γεωμετρική ανωμαλία τροχιάς .....	86
4.3.3.7	Απόσταση Γης - Ηλίου.....	87
4.3.3.8	Φαινόμενο γεωγραφικό μήκος .....	87
4.3.3.9	Ουρανογραφικές συντεταγμένες.....	87
4.3.3.10	Γωνίες ώρας ανατολής και δύσης ηλίου .....	88
4.3.3.11	Εξίσωση χρόνου.....	89
4.3.3.12	Ωρα ανατολής και δύσης ηλίου .....	89
4.3.4	Εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία.....	90
4.3.5	Τροχιές δορυφόρων .....	91
4.3.6	Επαλήθευση μοντέλου.....	96
4.4	Το πρόγραμμα PPXXXX.....	98
4.4.1	Παραλλαγή PP3B42 .....	98
4.4.2	Παραλλαγή PP3B42RT.....	99
4.4.3	Παραλλαγή PP3B43 .....	99



4.4.4	Παραλλαγή PPCPC.....	100
4.4.5	Παραλλαγή PPATS.....	100
4.5	Το πρόγραμμα PCOR.....	100
4.6	Το πρόγραμμα PRUPDATE.....	101
4.7	Το πρόγραμμα EFLOOD .....	102
4.7.1	Γενική περιγραφή .....	102
4.7.2	Επαλήθευση μετρήσεων.....	102
4.7.3	Πρόγνωση πλημμυρών.....	104
4.7.4	Περιβάλλον εργασίας.....	106
<b>5</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....</b>	<b>111</b>
5.1	Λεκάνη απορροής.....	111
5.1.1	Γενικά.....	111
5.1.2	Πληθυσμός.....	112
5.1.3	Τοπογραφία .....	113
5.1.4	Μεταλλεύματα .....	114
5.1.5	Χρήσεις γης.....	114
5.1.6	Περίοδος καλλιέργειας.....	114
5.2	Κλίμα περιοχής.....	115
5.2.1	Γενικά χαρακτηριστικά .....	115
5.2.2	Βροχόπτωση .....	116
5.2.3	Θερμοκρασία.....	118
5.2.4	Σχετική υγρασία.....	119
5.2.5	Παροχή .....	119
5.2.6	Πλημμυρικές αιχμές.....	126
5.3	Τεχνικά έργα.....	128
5.3.1	Έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων .....	128
5.3.2	Παράλληλα έργα.....	132
5.3.3	Κάθετα έργα .....	133
5.3.4	Αποψίλωση νησίδων .....	135
5.3.5	Οχυρωματικά έργα .....	137
5.4	Διακρατικές συμφωνίες – Ισχύουσα Νομοθεσία .....	137
5.4.1	Μεθοριακή ελληνοτουρκική γραμμή 1926.....	137
5.4.2	Κανονισμοί περί υδραυλικών έργων 1936 - 1971 .....	138
5.4.3	Μνημόνιο συνεργασίας 2000 .....	140
5.4.4	Νεότερες συμφωνίες 2005 - 2009 .....	141

5.4.5	Κοινοτικές οδηγίες .....	142
5.4.6	Περιβαλλοντική νομοθεσία.....	144
<b>6</b>	<b>ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ ΔΕΔΟΜΕΝΑ .....</b>	<b>147</b>
6.1	Επίγειες μετρήσεις περιόδου 1946-2003.....	147
6.2	Επίγειες μετρήσεις περιόδου 2003-2006.....	149
6.3	Δίκτυο αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών (2008-σήμερα).....	150
6.3.1	Μετρούμενες παράμετροι .....	151
6.3.2	Θέσεις εγκατάστασης.....	152
6.3.2.1	Ορμένιο.....	153
6.3.2.2	Γέφυρα Διδυμοτείχου.....	155
6.3.2.3	Κόμαρα κατάντη Φράγματος Αρδα.....	156
6.3.2.4	Σιδηροδρομική Γέφυρα Πυθίου .....	157
6.3.2.5	Γέφυρα Κήπων.....	158
6.3.2.6	Δέλτα Έβρου.....	160
6.3.3	Βασικά χαρακτηριστικά σταθμών .....	162
6.4	Δορυφορικά προϊόντα (1998-σήμερα).....	163
6.4.1	Δορυφόροι.....	163
6.4.2	Εγκατεστημένα όργανα.....	164
6.4.2.1	Ραντάρ κατακρήμνισης, PR.....	164
6.4.2.2	Απεικόνιση μικροκυμάτων, TMI.....	164
6.4.2.3	Σαρωτής ορατής και υπέρυθρης ακτινοβολίας, VIRS.....	165
6.4.2.4	Σύστημα νέφωσης και ακτινοβολούμενης γήινης ενέργειας, CERES.....	165
6.4.2.5	Αισθητήρας απεικόνισης αστραπών, LIS.....	165
6.4.3	Μετρήσεις.....	166
6.4.3.1	Προϊόντα επιπέδου 1 .....	167
6.4.3.2	Προϊόντα επιπέδου 2 .....	167
6.4.3.3	Προϊόντα επιπέδου 3.....	168
6.4.4	Βροχόπτωση λεκάνης απορροής.....	169
6.4.5	Περιορισμοί και προβλήματα .....	173
6.5	Global Precipitation Climate Center (1998-2007).....	174
6.5.1	Γενική περιγραφή .....	174
6.5.2	Διαδικασία παραγωγής δεδομένων .....	175
6.5.3	Βροχόπτωση λεκάνης απορροής.....	176
6.6	Climate Prediction Center (1998-σήμερα).....	179
<b>7</b>	<b>ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ .....</b>	<b>185</b>

7.1	Συμβατότητα μοντέλων με την πλατφόρμα OpenMI.....	185
7.2	Υλοποίηση συνδέσεων .....	187
7.3	Δοκιμασία επιδόσεων .....	189
<b>8</b>	<b>ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....</b>	<b>193</b>
8.1	Επίγειες μετρήσεις GPCC και CPC.....	193
8.2	Σύγκριση 3B42 με επίγειες μετρήσεις .....	196
8.2.1	Ετήσια βροχόπτωση.....	196
8.2.2	Μηνιαία υπερετήσια βροχόπτωση.....	198
8.2.3	Μηνιαία βροχόπτωση .....	200
8.2.4	Ημερήσια βροχόπτωση .....	202
8.3	Σύγκριση 3B42RT με επίγειες μετρήσεις.....	206
8.3.1	Ετήσια βροχόπτωση.....	206
8.3.2	Μηνιαία υπερετήσια βροχόπτωση.....	207
8.3.3	Μηνιαία βροχόπτωση .....	209
8.3.4	Ημερήσια βροχόπτωση .....	210
8.4	Σύγκριση 3B43 με επίγειες μετρήσεις .....	214
8.4.1	Ετήσια βροχόπτωση.....	214
8.4.2	Μηνιαία υπερετήσια βροχόπτωση.....	215
8.4.3	Μηνιαία βροχόπτωση .....	216
8.5	Διόρθωση του 3B42RT .....	217
8.5.1	Με χρήση μετρήσεων CPC και 3B42.....	218
8.5.2	Με χρήση μετρήσεων CPC .....	219
8.6	Ημερήσια βροχόπτωση ΑΤΣ.....	230
8.6.1	Μηνιαία βροχόπτωση .....	230
8.6.2	Ημερήσια βροχόπτωση .....	231
<b>9</b>	<b>ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ .....</b>	<b>235</b>
9.1	Χρήση μετρήσεων CPC .....	235
9.2	Χρήση προϊόντος 3B42.....	238
9.3	Χρήση προϊόντος 3B42RT .....	241
9.3.1	3B42RT χωρίς διόρθωση.....	241
9.3.2	3B42RT με διόρθωση.....	243
9.4	Σύγκριση αποτελεσμάτων.....	245
<b>10</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>251</b>
10.1	Εισαγωγή.....	251

10.2	Πλατφόρμα συλλειτουργίας μοντέλων OpenMI .....	251
10.3	Αξιολόγηση των προϊόντων βροχόπτωσης .....	252
10.3.1	Επίγειες μετρήσεις.....	253
10.3.2	Δορυφορικά προϊόντα.....	253
10.4	Πρόγνωση πλημμυρών.....	254
10.5	Δημοσιότητα .....	255
<b>11</b>	<b>ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ .....</b>	<b>259</b>
11.1	Δυναμικός χαρακτήρας δορυφορικών μετρήσεων.....	259
11.2	Βελτίωση της πλατφόρμας συλλειτουργίας μοντέλων OpenMI.....	259
11.3	Ενσωμάτωση επίγειων μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο.....	260
11.4	Ενσωμάτωση νέων μονάδων στο σύστημα .....	261
<b>12</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....</b>	<b>265</b>
12.1	Αναφορές 1ου κεφαλαίου.....	265
12.2	Αναφορές 2ου κεφαλαίου.....	267
12.3	Αναφορές 3ου κεφαλαίου.....	271
12.4	Αναφορές 4ου κεφαλαίου.....	272
12.5	Αναφορές 5ου κεφαλαίου.....	275
12.6	Αναφορές 6ου κεφαλαίου.....	277
12.7	Αναφορές κεφαλαίων 7 και 8 .....	279
12.8	Αναφορές 9ου κεφαλαίου.....	280
12.9	Αναφορές κεφαλαίων 10 και 11 .....	280

## Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1-1: Οι μεγαλύτερες λεκάνες απορροής [Revenga et al., 1998].....	42
Πίνακας 3-1: Κατάλογος συμβατών με το OrehMI μοντέλων.....	64
Πίνακας 3-2: Υλοποιημένες μέθοδοι χωρικής αντιστοίχισης [Sinding et al., 2005]. ..	67
Πίνακας 3-3: Πληροφορίες αντικειμένων ανταλλαγής [Gijssbers et al., 2007]. .....	72
Πίνακας 4-1: Κυριότερα χαρακτηριστικά της τροχιάς του TRMM [NASDA, 2001].....	92
Πίνακας 4-2: Βοηθητικοί μετεωρολογικοί δορυφόροι προϊόντων 3B42/3B42RT. ....	93
Πίνακας 4-3: Κυριότερα χαρακτηριστικά τροχιάς Goes 11 (Goes-W) [NOAA, 2009].	93
Πίνακας 4-4: Κυριότερα χαρακτηριστικά τροχιάς Goes 12 (Goes-E) [NOAA, 2009].	94
Πίνακας 4-5: Κυριότερα χαρακτηριστικά τροχιάς MTSAT [JMA, 2009].....	94
Πίνακας 4-6: Κυριότερα χαρακτηριστικά τροχιάς Meteosat 5 [EUMETSAT, 2009]..	94
Πίνακας 4-7: Κυριότερα χαρακτηριστικά τροχιάς Meteosat 7 [EUMETSAT, 2009]..	94
Πίνακας 4-8: Κυριότερα χαρακτηριστικά τροχιάς Aqua [GSFC, 2009].....	95
Πίνακας 4-9: Αντιστοίχιση μετρήσεων ΑΤΣ - καννάβων.....	100
Πίνακας 4-10: Διευθύνσεις εξυπηρετητών δορυφορικών προϊόντων TRMM.....	101
Πίνακας 4-11: Πλημμυρικά επεισόδια κατάντη της Αδριανούπολης [Sevket, 2005].	105
Πίνακας 5-1: Εκτάσεις υπολεκανών και χωρισμός σε κράτη (km <sup>2</sup> ).....	111
Πίνακας 5-2: Πληθυσμός κυριότερων πόλεων ν. Έβρου [ΕΣΥΕ, 2001].....	112
Πίνακας 5-3: Πληθυσμός κυριότερων πόλεων βουλγαρικής επικράτειας [NSIB, 2006]. .....	113
Πίνακας 5-4: Πληθυσμός κυριότερων πόλεων τουρκικής επικράτειας [TSI, 2000].	113
Πίνακας 5-5: Κατηγοριοποίηση κλίματος λεκάνης Έβρου κατά Koppen [Peel et al., 2007].....	115
Πίνακας 5-6: Μέσες μηνιαίες υπερετήσιες τιμές θερμοκρασιών (°C). .....	118
Πίνακας 5-7: Αξιοπιστία καμπυλών στάθμης – παροχής [ΥΔΕΤ, 1959]. .....	120
Πίνακας 5-8: Ιστορικές μηνιαίες παροχές στην Αδριανούπολη [Harza, 1955b]. ....	120
Πίνακας 5-9: Στατιστικά ιστορικών μηνιαίων παροχών Αδριανούπολης [Harza, 1955b].....	120
Πίνακας 5-10: Επαλήθευση συντελεστή απορροής λεκάνης Έβρου [Harza, 1955].	121
Πίνακας 5-11: Ετήσιος πλημμυρικός όγκος π. Έβρου, Άρδα και Τούντζα [Sevket, 2005].....	122
Πίνακας 5-12: Μηνιαίος πλημμυρικός όγκος και παροχή π. Έβρου [Sevket, 2005]. .....	123
Πίνακας 5-13: Ετήσιος πλημμυρικός όγκος και παροχή π. Τούντζα [Sevket, 2005]. .....	124

Πίνακας 5-14: Μηνιαίος πλημμυρικός όγκος και παροχή π. Τούντζα.....	125
Πίνακας 5-15: Μηνιαίος πλημμυρικός όγκος και παροχή π. Έβρου [Knight and Staneva, 1996 ·Petkov et al., 2002].....	126
Πίνακας 5-16: Μέγιστες καταγεγραμμένες / εκτιμημένες πλημμυρικές αιχμές. ....	127
Πίνακας 5-17: Ετήσιες πλημμυρικές αιχμές κατάντη του τριεθνούς[Sevket, 2005].	127
Πίνακας 5-18: Κύρια φράγματα π. Έβρου και παραποτάμων του [NEKEAD, 2007]. .....	131
Πίνακας 5-19: Θέσεις νησίδων που επιτείνουν το πλημμυρικό πρόβλημα.....	135
Πίνακας 5-20: Περιοχές λεκάνης απορροής Έβρου Natura 2000 [EEL 259/2006].	144
Πίνακας 6-1: Εγκατεστημένοι μετεωρολογικοί και υδρομετρικοί σταθμοί. ....	148
Πίνακας 6-2: Μετρούμενες μεταβλητές από το δίκτυο ΑΤΣ [Φωτόπουλος, 2007]...	151
Πίνακας 6-3: Αντιστοίχιση ποταμών και μετρήσεων από τους ΑΤΣ.....	153
Πίνακας 6-4: Τα επίπεδα των προϊόντων του TRMM [NASDA, 2001].....	167
Πίνακας 6-5: Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.25 <sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Έβρου.....	171
Πίνακας 6-6: Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.25 <sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Άρδα.....	171
Πίνακας 6-7: Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.25 <sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Ερ/μου.....	172
Πίνακας 6-8: Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.25 <sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Τούντζα. ....	172
Πίνακας 6-9: Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.25 <sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Εργίνη.....	172
Πίνακας 6-10: Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.25 <sup>ο</sup> στην περιοχή του ν. Έβρου.....	173
Πίνακας 6-11: Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.5 <sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Έβρου.....	177
Πίνακας 6-12: Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.5 <sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Ερυθρ/μου..	178
Πίνακας 6-13: Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.5 <sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Άρδα.....	178
Πίνακας 6-14: Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.5 <sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Τούντζα. ....	178
Πίνακας 6-15: Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.5 <sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Εργίνη.....	178
Πίνακας 6-16: Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.5 <sup>ο</sup> στην περιοχή του ν. Έβρου.....	179
Πίνακας 7-1: Αποτελέσματα δοκιμασιών επιδόσεων OpenMI.....	190
Πίνακας 8-1: Στατιστικοί δείκτες ετήσιας βροχόπτωσης 3B42.....	197
Πίνακας 8-2: Στατιστικοί δείκτες μηνιαίας υπερετήσιας βροχόπτωσης 3B42.....	200
Πίνακας 8-3: Στατιστικοί δείκτες μηνιαίας βροχόπτωσης 3B42. ....	202
Πίνακας 8-4: Στατιστικοί δείκτες ημερήσιας βροχόπτωσης 3B42. ....	206
Πίνακας 8-5: Στατιστικοί δείκτες ετήσιας βροχόπτωσης 3B42RT.....	207
Πίνακας 8-6: Στατιστικοί δείκτες μηνιαίας υπερετήσιας βροχόπτωσης 3B42RT.....	209
Πίνακας 8-7: Στατιστικοί δείκτες μηνιαίας βροχόπτωσης 3B42RT.....	210
Πίνακας 8-8: Στατιστικοί δείκτες ημερήσιας βροχόπτωσης 3B42RT. ....	213
Πίνακας 8-9: Στατιστικοί δείκτες ετήσιας βροχόπτωσης 3B43.....	214
Πίνακας 8-10: Στατιστικοί δείκτες μηνιαίας υπερετήσιας βροχόπτωσης 3B43.....	216
Πίνακας 8-11: Στατιστικοί δείκτες μηνιαίας βροχόπτωσης 3B43. ....	216

Πίνακας 8-12: Στατιστικοί δείκτες διόρθωσης 3B42RT με CPC και 3B42.....	218
Πίνακας 8-13: Στατιστικοί δείκτες διόρθωσης 3B42RT με CPC.....	219
Πίνακας 8-14: Διόρθωση ημερήσιας βροχόπτωσης 3B42RT με CPC και 3B42.....	220
Πίνακας 8-15: Διόρθωση ημερήσιας βροχόπτωσης 3B42RT με CPC.....	225
Πίνακας 8-16: Στατιστικοί δείκτες μηνιαίας βροχόπτωσης ΑΤΣ.....	231
Πίνακας 8-17: Στατιστικοί δείκτες μηνιαίας βροχόπτωσης ΑΤΣ.....	231
Πίνακας 9-1: Βαθμολογία πρόγνωσης πλημμυρών (CPC). ....	236
Πίνακας 9-2: Πρόγνωση πλημμυρικών επεισοδίων (Θέση 1, CPC). ....	238
Πίνακας 9-3: Πρόγνωση πλημμυρικών επεισοδίων (Θέση 2, CPC). ....	238
Πίνακας 9-4: Βαθμολογία πρόγνωσης πλημμυρών (3B42).....	239
Πίνακας 9-5: Πρόγνωση πλημμυρικών επεισοδίων (Θέση 1, 3B42). ....	240
Πίνακας 9-6: Πρόγνωση πλημμυρικών επεισοδίων (Θέση 2, 3B42). ....	240
Πίνακας 9-7: Βαθμολογία πρόγνωσης πλημμυρών (3B42RT). ....	242
Πίνακας 9-8: Πρόγνωση πλημμυρικών επεισοδίων (Θέση 1, 3B42RT).....	242
Πίνακας 9-9: Πρόγνωση πλημμυρικών επεισοδίων (Θέση 2, 3B42RT).....	243
Πίνακας 9-10: Βαθμολογία πρόγνωσης πλημμυρών (3B42RTc). ....	244
Πίνακας 9-11: Πρόγνωση πλημμυρικών επεισοδίων (Θέση 1, 3B42RTc).....	245
Πίνακας 9-12: Πρόγνωση πλημμυρικών επεισοδίων (Θέση 2, 3B42RTc).....	245
Πίνακας 9-13: Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων (Θέση 1).....	246
Πίνακας 9-14: Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων (Θέση 2).....	247





## Ευρετήριο σχημάτων

Σχήμα 1-1: Παγκόσμιες διασυννοριακές λεκάνες απορροής [Wolf, 2005].....	40
Σχήμα 1-2: Διασυννοριακές λεκάνες απορροής Ευρώπης [Wolf, 2005].....	40
Σχήμα 2-1: Εκτιμήσεις δεικτών ταχυπλημμυρών στην Κεντρική Αμερική.....	53
Σχήμα 2-2: Εκτίμηση δεικτών ταχυπλημμυρών στην Αϊτή.....	53
Σχήμα 3-1: Προσομοίωση υδατικού ισοζυγίου λεκάνης απορροής [Moore et al., 2004].....	61
Σχήμα 3-2: Υπολογιστικοί κόμβοι υδραυλικών δικτύων υποδομών.....	62
Σχήμα 3-3: Αλληλεπίδραση υδραυλικών δικτύων υποδομής.....	62
Σχήμα 3-4: Παραδείγματα χωρικών αντιστοιχίσεων [Sinding et al, 2005].....	66
Σχήμα 3-5: Αντιστοίχιση 1-D ποταμού με 2-D υπογείων υδάτων [Moore et al., 2004]. .....	67
Σχήμα 3-6: Συνήθεις διατάξεις σύνδεσης μοντέλων.....	69
Σχήμα 3-7: Διαχωρισμός γραφικού περιβάλλοντος και υπολογισμών.....	70
Σχήμα 3-8: Παράδειγμα αρχείου ένταξης μοντέλου.....	73
Σχήμα 4-1: Λογικό διάγραμμα ροής των μοντέλων.....	79
Σχήμα 4-2: Η προβολή της τροχιάς του TRMM σε μία ημέρα.....	92
Σχήμα 4-3: Η θέση του TRMM στις 01/01/2007 13:40:52.....	93
Σχήμα 4-4: Η προβολή της τροχιάς όλων των δορυφόρων σε 1 ημέρα.....	95
Σχήμα 4-5: Η θέση όλων των δορυφόρων στις 01/01/2007 18:00:00.....	95
Σχήμα 4-6: Απόσταση Γης – Ηλίου σε αστρονομικές μονάδες μήκους.....	96
Σχήμα 4-7: Ώρες ανατολής και δύσης ηλίου.....	97
Σχήμα 4-8: Υπολογισμός ωριαίας εξωγήινης ηλιακής ακτινοβολίας.....	97
Σχήμα 4-9: Γραφικό περιβάλλον εργασίας EFLOOD.....	107
Σχήμα 4-10: Απεικόνιση δορυφορικών μετρήσεων βροχόπτωσης.....	107
Σχήμα 4-11: Παραμετροποίηση δεδομένων και παραμέτρων σχεδίασης.....	108
Σχήμα 4-12: Εμφάνιση αποτελεσμάτων (ετήσια βροχόπτωση).....	108
Σχήμα 5-1: Η λεκάνη του π. Έβρου και οι κυριότερες υπολεκάνες της.....	112
Σχήμα 5-2: Μηνιαία βροχόπτωση στη λεκάνη του π. Έβρου (TRMM, 3B42).....	116
Σχήμα 5-3: Ετήσια βροχόπτωση στη λεκάνη του π. Έβρου (CPC).....	117
Σχήμα 5-4: Ετήσια βροχόπτωση στην ελληνική πλευρά του π. Έβρου.....	117
Σχήμα 5-5: Μέση ετήσια σχετική υγρασία στο Ν. Έβρου.....	119
Σχήμα 5-6: Μέση ετήσια παροχή π. Έβρου, Άρδα και Τούντζα [Sevket, 2005].....	122
Σχήμα 5-7: Υπερετήσιες μηνιαίες παροχές π. Έβρου, Άρδα και Τούντζα [Sevket, 2005].....	123

Σχήμα 5-8: Μέσες ετήσιες παροχές π. Τούντζα [Sevket, 2005].	124
Σχήμα 5-9: Μέσες υπερετήσιες μηνιαίες παροχές π. Τούντζα [Sevket, 2005].	125
Σχήμα 5-10: Ετήσιες πλημμυρικές αιχμές κατάντη του τριεθνούς [Sevket, 2005].	128
Σχήμα 5-11: Φράγματα στο βουλγαρικό έδαφος, επίσημα στοιχεία [Fotopoulos and Tsesmelis, 2006].	129
Σχήμα 5-12: Φράγματα στο βουλγαρικό έδαφος, ανεπίσημα στοιχεία [ΥΔΕΤ, 2007].	130
Σχήμα 6-1: 12 <sup>ο</sup> Υδατικό διαμέρισμα (Θράκη) [ΕΤΥΜΠ, 2006].	148
Σχήμα 6-2: Θερμοκρασία νερού σε (°C) στον π. Έβρο (2003-2005).	149
Σχήμα 6-3: Διαλυμένο οξυγόνο (mg/L) στον π. Έβρο (2003-2005).	150
Σχήμα 6-4: Θέσεις εγκατάστασης ΑΤΣ [Fotopoulos and Tsesmelis, 2006].	153
Σχήμα 6-5: Θέση εγκατάστασης ΑΤΣ Ορμένιου.	154
Σχήμα 6-6: Θέση εγκατάστασης ΑΤΣ Γέφυρας Διδυμοτείχου.	155
Σχήμα 6-7: Θέση εγκατάστασης ΑΤΣ Κόμαρα κατάντη φράγματος Άρδα.	156
Σχήμα 6-8: Θέση εγκατάστασης ΑΤΣ Σιδηροδρομικής Γέφυρας Πυθίου.	158
Σχήμα 6-9: Θέση εγκατάστασης ΑΤΣ Γέφυρας Κήπων.	159
Σχήμα 6-10: Θέση εγκατάστασης ΑΤΣ στο Δέλτα του Έβρου.	161
Σχήμα 6-11: Αποτυπώματα οργάνων TRMM στο έδαφος [Kummerow, 1988].	166
Σχήμα 6-12: Διάγραμμα ροής αλγορίθμων TRMM.	169
Σχήμα 6-13: Κάνναβος 0.25 <sup>ο</sup> x 0.25 <sup>ο</sup> λεκάνης απορροής π. Έβρου.	170
Σχήμα 6-14: Κάνναβος 0.25 <sup>ο</sup> x 0.25 <sup>ο</sup> περιοχής ν. Έβρου.	173
Σχήμα 6-15: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής παραγωγής προϊόντων GPCC [Rudolf and Schneider, 2004].	175
Σχήμα 6-16: Κάνναβος 0.5 <sup>ο</sup> x 0.5 <sup>ο</sup> λεκάνης απορροής π. Έβρου.	177
Σχήμα 6-17: Κάνναβος 0.5 <sup>ο</sup> x 0.5 <sup>ο</sup> περιοχής ν. Έβρου.	179
Σχήμα 6-18: Πυκνότητα σταθμών δικτύου CPC.	180
Σχήμα 7-1: Διάγραμμα ροής προσομοίωσης 3B42 και 3B42RT.	186
Σχήμα 7-2: Υλοποίηση συνδέσεων 3B42 στην πλατφόρμα OpenMI.	188
Σχήμα 7-3: Υλοποίηση συνδέσεων 3B42RT στην πλατφόρμα OpenMI.	188
Σχήμα 7-4: Σύνδεση μοντέλων CPC και PRCOR.	189
Σχήμα 8-1: Πλήθος επίγειων σταθμών περιόδου 1998-2007.	193
Σχήμα 8-2: Σύγκριση ετήσιας βροχόπτωσης GPCC και CPC.	194
Σχήμα 8-3: Σύγκριση μηνιαίας υπερετήσιας βροχόπτωσης GPCC και CPC.	194
Σχήμα 8-4: Σύγκριση μηνιαίας βροχόπτωσης GPCC και CPC.	195
Σχήμα 8-5: Ετήσιες βροχοπτώσεις GPCC, CPC και 3B42.	196
Σχήμα 8-6: Μηνιαίες υπερετήσιες βροχοπτώσεις GPCC και 3B42.	198
Σχήμα 8-7: Μηνιαίες υπερετήσιες βροχοπτώσεις CPC και 3B42.	199

Σχήμα 8-8: Σύγκριση μηνιαίας βροχόπτωσης GPCC και 3B42.....	200
Σχήμα 8-9: Σύγκριση μηνιαίας βροχόπτωσης CPC και 3B42.....	202
Σχήμα 8-10: Μηνιαίοι συντελεστές συσχέτισης (2/2000 – 12/2009). ....	203
Σχήμα 8-11: Μέσοι μηνιαίοι συντελεστές συσχέτισης (2/2000 – 12/2009).....	203
Σχήμα 8-12: Ημερήσια βροχόπτωση Φεβρουαρίου 2005 .....	204
Σχήμα 8-13: Διαφορά ημερήσιας βροχόπτωσης 3B42 και CPC (2/2005).....	204
Σχήμα 8-14: Ημερήσια βροχόπτωση Μαρτίου 2006. ....	205
Σχήμα 8-15: Διαφορά ημερήσιας βροχόπτωσης 3B42 και CPC (3/2006).....	205
Σχήμα 8-16: Ετήσιες βροχοπτώσεις GPCC, CPC και 3B42RT. ....	207
Σχήμα 8-17: Μηνιαίες υπερετήσιες βροχοπτώσεις GPCC και 3B42RT.....	208
Σχήμα 8-18: Μηνιαίες υπερετήσιες βροχοπτώσεις CPC και 3B42RT.....	208
Σχήμα 8-19: Μηνιαίες βροχοπτώσεις GPCC και 3B42RT.....	209
Σχήμα 8-20: Μηνιαίες βροχοπτώσεις CPC και 3B42RT.....	210
Σχήμα 8-21: Μηνιαίοι συντελεστές συσχέτισης (2/2002 – 12/2009). ....	210
Σχήμα 8-22: Μέσοι μηνιαίοι συντελεστές συσχέτισης (2/2002 – 12/2009).....	211
Σχήμα 8-23: Ημερήσια βροχόπτωση Φεβρουαρίου 2005. ....	211
Σχήμα 8-24: Διαφορά ημερήσιας βροχόπτωσης 3B42RT και CPC (2/2005).....	212
Σχήμα 8-25: Ημερήσια βροχόπτωση Μαρτίου 2006. ....	212
Σχήμα 8-26: Διαφορά ημερήσιας βροχόπτωσης 3B42 και CPC (3/2006).....	213
Σχήμα 8-27: Ετήσιες βροχοπτώσεις GPCC, CPC και 3B43.....	214
Σχήμα 8-28: Μηνιαίες υπερετήσιες βροχοπτώσεις GPCC και 3B43.....	215
Σχήμα 8-29: Μηνιαίες υπερετήσιες βροχοπτώσεις CPC και 3B43. ....	216
Σχήμα 8-30: Σύγκριση μηνιαίας βροχόπτωσης GPCC και 3B43.....	217
Σχήμα 8-31: Σύγκριση μηνιαίας βροχόπτωσης CPC και 3B43.....	217
Σχήμα 8-32: Διορθωμένη βροχόπτωση 3B42RTc με CPC και 3B42 (2009). ....	221
Σχήμα 8-33: Διορθωμένη βροχόπτωση 3B42RTc με CPC (2009). ....	226
Σχήμα 8-34: Μηνιαία βροχόπτωση ΑΤΣ και άλλων προϊόντων.....	231
Σχήμα 8-35: Ημερήσια βροχόπτωση ΑΤΣ και άλλων προϊόντων (1/11-31/12/09)..	232
Σχήμα 9-1: Επίδραση διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης (CPC, Θέση 1) .....	236
Σχήμα 9-2: Επίδραση διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης (CPC, Θέση 2) .....	237
Σχήμα 9-3: Επίδραση διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης (3B42, Θέση 1).....	239
Σχήμα 9-4: Επίδραση διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης (3B42, Θέση 2).....	240
Σχήμα 9-5: Επίδραση διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης (3B42RT, Θέση 1)....	242
Σχήμα 9-6: Επίδραση διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης (3B42RT, Θέση 2)....	242
Σχήμα 9-7: Επίδραση διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης (3B42RTc, Θέση 1) ..	244
Σχήμα 9-8: Επίδραση διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης (3B42RTc, Θέση 2) ..	244
Σχήμα 9-9: Παροχές στην Αδριανούπολη (3B42, 3B42RTc, Θέση 1) .....	247

Σχήμα 9-10: Παροχές στο Δέλτα (3B42, 3B42RTc, Θέση 2)..... 248

## Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 5-1: Ρήγματα στα παράλληλα αναχώματα, πλημμύρες 2006.....	132
Εικόνα 5-2: Τουρκικός πρόβολος στην περιοχή του Πυθίου.....	133
Εικόνα 5-3: Ανατίναξη της έμφραξης στο Δέλτα του Έβρου, πλημμύρες 2006. ....	134
Εικόνα 5-4: Νησίδες στον π. Έβρο περιοχή Διδυμοτείχου.....	136
Εικόνα 5-5: Νησίδες στον π. Έβρο περιοχή Διδυμοτείχου (Δορυφορική).....	136
Εικόνα 6-1: Ο ΑΤΣ πλησίον του συνοριακού σταθμού Ορμένιου.....	154
Εικόνα 6-2: Ο ΑΤΣ της παλαιάς γέφυρας Διδυμοτείχου στον Ερυθροπόταμο.....	155
Εικόνα 6-3: Ο ΑΤΣ στα Κόμαρα καπάντη του φράγματος Άρδα. ....	157
Εικόνα 6-4: Ο ΑΤΣ στη γέφυρα των Κήπων. ....	159
Εικόνα 6-5: Προστασία μεσόβαθρου της γέφυρας των Κήπων.....	160
Εικόνα 6-6: Ο ΑΤΣ στο Δέλτα του π. Έβρου.....	161



# Περίληψη

## Πρόγνωση πλημμυρών σε επίπεδο λεκάνης απορροής με χρήση δορυφορικών μετρήσεων κατακρήμνισης Διδακτορική διατριβή Φ. Σ. Φωτόπουλου

Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής αναπτύσσεται μια μεθοδολογία πρόγνωσης πλημμυρών σε επίπεδο λεκάνης απορροής για περιοχές μέσων γεωγραφικών πλατών, σε πραγματικό χρόνο με χρήση δορυφορικών μετρήσεων κατακρήμνισης. Επειδή οι δορυφορικές μετρήσεις βροχόπτωσης εκτός των τροπικών δεν καταγράφουν τις ασθενείς βροχοπτώσεις ( $<1$  mm/h) και δεν διαχωρίζουν τη βροχόπτωση από τη χιονόπτωση, το επιφανειακό ύψος της βροχόπτωσης που προκύπτει με τη χρήση τέτοιων μεθόδων είναι γενικά υπεκτιμημένο εκτός και αν αυτές βαθμονομούνται εκ των υστέρων με επίγειες μετρήσεις. Αν δεν συμβεί αυτό, τότε και οι εκτιμώμενες απορροές θα είναι υπεκτιμημένες ως προς το συνολικό πλημμυρικό τους όγκο, γεγονός που μειώνει την αξία εφαρμογής συστημάτων πρόγνωσης πλημμυρών με χρήση δορυφορικών μετρήσεων κατακρήμνισης σε περιοχές μέσων γεωγραφικών πλατών.

Για το λόγο αυτό, στη διατριβή αναπτύσσεται μια νέα μεθοδολογία, στα πλαίσια της οποίας, (α) αξιολογούνται τα υφιστάμενα δορυφορικά προϊόντα μετρήσεων κατακρήμνισης, (β) προτείνεται η διόρθωση των δορυφορικών μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας επίγειες καταγραφές, (γ) τόσο τα αρχικά προϊόντα όσο και το διορθωμένο παράγωγο προϊόν δορυφορικών μετρήσεων χρησιμοποιούνται κάθε ένα χωριστά σε ένα στατιστικό μοντέλο βροχής – απορροής, το οποίο χρησιμοποιώντας ιστορικές καταγραφές αθροιστικής βροχόπτωσης – μετρημένης απορροής, εκτιμά τις παροχές σε συγκεκριμένα σημεία της λεκάνης απορροής.

Η όλη εργασία πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια μιας σειράς βάσεων δεδομένων και προγραμμάτων Η/Υ, που κατασκευάστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής. Οι βάσεις δεδομένων χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση και ανάκτηση δεδομένων βροχοπτώσεων και παροχών που προέρχονται από διάφορες πηγές (δορυφόροι, επίγεια μέσα, ιστορικές καταγραφές, κλπ) και έχουν διαφορετικές χρονικές και χωρικές διακριτότητες. Οι βάσεις δεδομένων και τα προγράμματα Η/Υ συνδυάστηκαν μεταξύ τους κάτω από την πλατφόρμα συλλειτουργίας μοντέλων OpenMI, η οποία χρησιμοποιείται για πρώτη φορά σε τέτοιου είδους εργασία. Η πλατφόρμα αυτή επιτρέπει τη διασύνδεση διαφορετικών προγραμμάτων Η/Υ και συνεπώς την προσομοίωση πολύπλοκων και σύνθετων προβλημάτων όπως είναι αυτό της πρόγνωσης πλημμυρών με χρήση δορυφορικών μετρήσεων σε επίπεδο λεκάνης απορροής.

Για την επαλήθευση της προτεινόμενης μεθοδολογίας, επιλέχθηκε η διασυνοριακή λεκάνη απορροής του π. Έβρου, στην οποία μέχρι σήμερα δεν είχε καταστεί δυνατό να εκπονηθεί μια ολοκληρωμένη υδρολογική μελέτη κυρίως λόγω έλλειψης δεδομένων για όλη την έκταση της λεκάνης αλλά και των εκτεταμένων ανθρωπογενών παρεμβάσεων που έχουν αλλοιώσει τη φυσική δίαιτα της λεκάνης απορροής. Η επιλογή της λεκάνης απορροής έγινε και για το γεγονός ότι την τελευταία δεκαετία (2000-2009) έχουν σημειωθεί 5 σημαντικές πλημμύρες, οι οποίες έχουν προκαλέσει σημαντικές καταστροφές στις τρεις χώρες, Ελλάδα, Βουλγαρία και Τουρκία.

Τα δορυφορικά προϊόντα που επιλέχθηκαν για την τροφοδότηση του μοντέλου βροχής – απορροής, είναι το 3B42RT και το 3B42, τα οποία πρόσφατα αναβαθμίστηκαν στην έκδοση 6. Πρόκειται για εκτιμήσεις της επιφανειακής βροχόπτωσης κάθε 3 ώρες που δίδονται επί καννάβου με κύτταρα διαστάσεων  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ . Το πρώτο προϊόν προέρχεται μόνο από συνδυασμό των μετρήσεων διαφόρων οργάνων που έχουν εγκατασταθεί στους δορυφόρους της συστάδας TRMM και δημοσιεύεται σε πραγματικό χρόνο με λίγες ώρες υστέρηση, ενώ το δεύτερο έχει υποστεί εκ των υστέρων επεξεργασία με επίγειες μετρήσεις βροχόπτωσης και δημοσιεύεται με δυο μήνες καθυστέρηση. Για την επαλήθευση και των δυο προϊόντων επιλέχθηκαν οι χρονοσειρές ημερήσιας βροχόπτωσης του Climate Prediction Center (CPC) και μηνιαίας βροχόπτωσης του Global Precipitation Climate Center (GPCC) που δίδονται σε κάρναβο με κύτταρα διαστάσεων  $0.50^{\circ} \times 0.50^{\circ}$ .

Οι προσομοιώσεις κατέδειξαν ότι τα αποτελέσματα της πρόγνωσης πλημμυρών με βάση τις εκτιμήσεις επιφανειακής βροχόπτωσης του προϊόντος 3B42, οι οποίες είναι σε συμφωνία γενικά με τις αντίστοιχες επίγειες εκτιμήσεις του CPC, είναι παραπλήσια με αυτά που ελήφθησαν χρησιμοποιώντας τις βροχοπτώσεις του CPC. Ωστόσο, χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες τιμές βροχόπτωσης του 3B42RT, τα αποτελέσματα δεν είναι καθόλου ενθαρρυντικά, γεγονός που υποδηλώνει τη μεγάλη σημασία εκ των υστέρων διόρθωσης των δορυφορικών μετρήσεων με βάση επίγειες. Αντίθετα, με τις διορθωμένες τιμές του 3B42RT με βάση τις επίγειες μετρήσεις του CPC, τα αποτελέσματα είναι καλύτερα απ' ό,τι αυτά που λαμβάνονται στην περίπτωση του 3B42. Σε κάθε περίπτωση, η πρόγνωση πλημμυρών με χρήση δορυφορικών δεδομένων είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος, η ακρίβεια της οποίας θα βελτιώνεται διαρκώς με τον αναμενόμενο πολλαπλασιασμό των δορυφόρων, την αναβάθμιση των οργάνων καταγραφής και τη βελτίωση των αλγορίθμων επεξεργασίας.



# Extended Abstract

## Flood forecasting in catchments using satellite rainfall data products

PhD Thesis by Fotis S. Fotopoulos

### 1. Introduction

Within this PhD Thesis a methodology is developed and evaluated, able to improve real-time flood forecasting in catchments located at mid-latitudes, using satellite rainfall data products. Since the current satellite instruments cannot measure light rain (<1 mm/h) or distinguish rainfall from snowfall, the accumulated rainfall is underestimated compared to the actual rainfall. For this reason, the satellite rainfall estimates are corrected and calibrated using measurements from ground stations. If no post-processing takes place, then the runoff will be underestimated, which in turn renders the satellite measurements inappropriate for flood forecasting away from the tropics.

For this reason, a new methodology is developed, where (a) all existing satellite measurements are validated, (b) unprocessed satellite measurements undergo a real-time correction using ground measurements and (c) all products, including the initial and corrected sets are fed in a statistical rainfall – runoff model. The model is first calibrated using historical records of runoff measurements taken in two separate locations, Edirne and Delta and then it uses aggregated rainfall to estimate runoff in two predefined outlets.

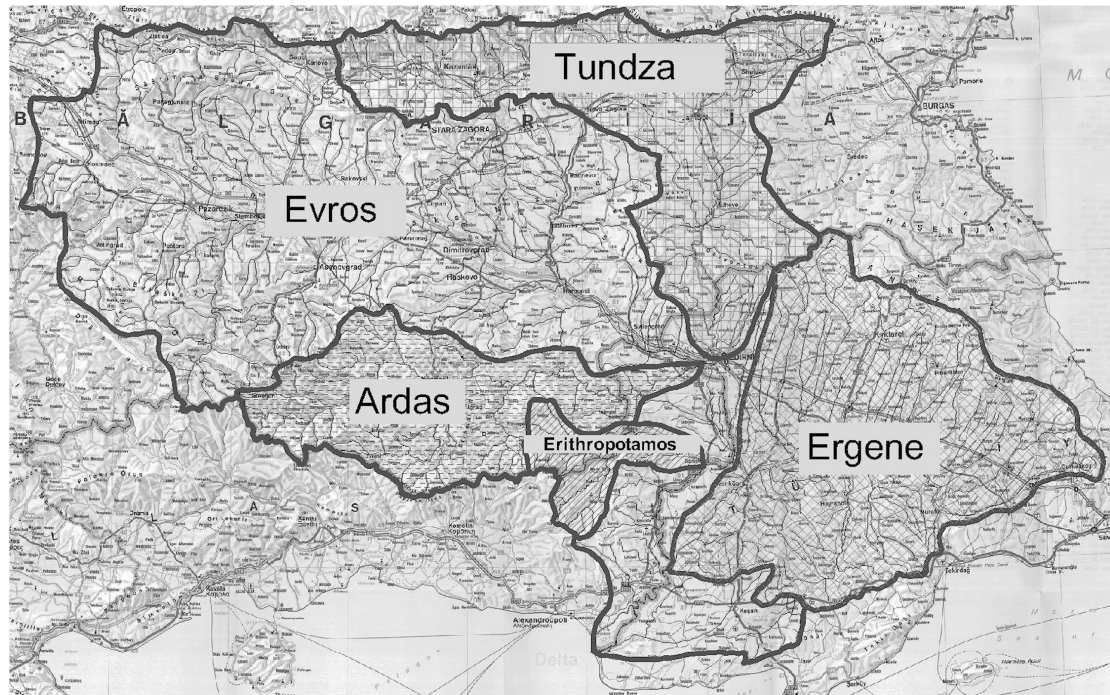
This procedure was carried out using a series of databases and software models, programmed for this Thesis. The databases are used to store and retrieve satellite and ground measurements. Each data set uses its own dedicated database, which can interact with the software models using the Open Modeling Interface (OpenMI) protocol. The protocol is also used to establish connections between the software models themselves, thus enabling complex simulations using simpler components.

### 2. Study area

To validate the proposed methodology, the transboundary catchment of Evros river was selected. The Evros catchment is located in southeastern Europe and is shared by Bulgaria, Greece and Turkey, between north latitudes 41 and 43 and east longitudes 24 and 28. The catchment borders to the north with Danube, to the east and south with the Black, Marmara and Aegean Seas and to the west with River Nestos. At the delta the drainage area of the basin is 53,000 km<sup>2</sup> of which about 66% or 34,980 km<sup>2</sup> is in Bulgaria, about 27.5% or 14,575 km<sup>2</sup> is in Turkey and the remaining 6.5% or 3,445 km<sup>2</sup> is in Greece (Fotopoulos and Tsesmelis, 2006).

Within Greece and Turkey four major tributaries join the main stream (see Figure 1): the Ardas from the west and the Tundza from the north at Edirne, the Erithropotamos from the west at Didimotichon and the Ergene from the east near Balabancik. The relative size of each of these tributaries together with the extent of each of the drainage areas within the three countries is broken down in Table 1. The flood plain extends along both banks of the river from the Bulgarian border to the sea. Of the 82000 ha of land in the plain about half (40000 ha) lies in Greece and the remaining half (40000 ha) in Turkey. Equally distributed between Greece and Turkey, some

21000 ha or half of the flood plain is under cultivation. Of the 21000 ha of land not being cultivated 6000 ha or 15% is in marshes and the remainder of 15000 ha or 34% is classified as inadequately drained (Harza, 1953).



**Figure 1:** The Evros catchment and its major subcatchments.

During the past 10 years, five significant flood events took place in the case study area (Brackenridge et al., 2008). For each event, (a) the start and end date, (b) the affected areas in the Greek side, (c) the severity class and (d) the magnitude are given in Table 2. The severity class is an integer number from 1 to 3 depending of the return period of the event. A flood event occurring at a return period ( $T$ ) of less than 20 years has a severity class equal to 1. For  $T$  greater than 100 years the severity class is equal to three and for  $T$  less than 100 years and greater than 20 is equal to 2. The flood magnitude is computed using the following equation (1):

$$M = \frac{d \cdot s \cdot \sqrt{A}}{100} \quad (1)$$

Where:

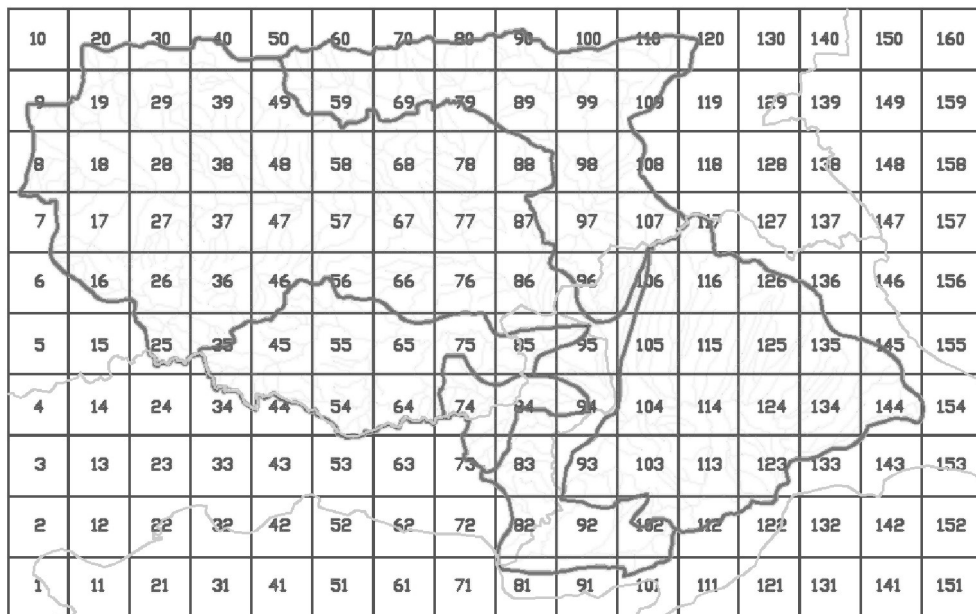
**M** is the flood event magnitude (dimensionless),  
**d** the duration of flood event in days,  
**s** the severity class (dimensionless) and  
**A** is the flooded area in  $\text{km}^2$ .

### 3. Available data

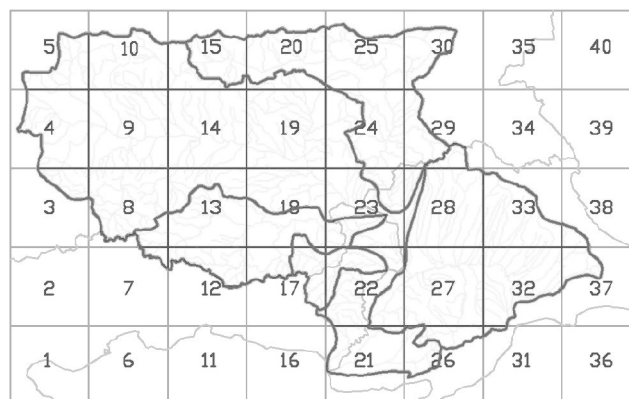
Data is scarce throughout the catchment since the riparian nations lack treaties for common rainfall measurement specifications and data sharing across their political borders. Until recently, only Greece was a member of the European Union and all EU directives, legislation and policies did not apply to the other two parties. Bulgaria recently entered the European Union and soon the unilateral management of the

water resources is bound to change. Turkey is still not a member of the European Union hence EU directives are not mandatory and directives 2000/60 and 2007/60 cannot be enforced. Even if one could dismiss the political issues and collect data from all three countries, one would find that the ground network's density varies significantly from place to place, as does the measuring methodology, accuracy and temporal resolution. Besides until 2008, Greece did not have any ground stations to measure rainfall within Evros' catchment. Combining rainfall measurements from the three countries for the purposes of flood forecasting would be an extremely hard task with uncertain results and more importantly for operational purposes, it cannot be achieved in real time.

Currently, the finest spatial resolution of satellite data existing for the case study area is  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  longitude x latitude (Figure 2) while the smallest temporal step is three hours. However, since the quality of CPC data sets is above average, a spatial resolution of  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  (Figure 3) and a daily temporal resolution are acceptable for validating the satellite data sets. The CPC daily unified-gauge precipitation product was therefore chose to perform validation.



**Figure 2:**  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  grid over Evros basin.



**Figure 3:**  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  grid over Evros basin.

The satellite products selected to feed the statistical rainfall – runoff model are 3B42RT and 3B42, which were recently upgraded to version 6. These products are estimates of the areal rainfall in 3-hour temporal resolution, calculated over a .25° x 0.25° grid. The first product is derived by combining various measurements taken aboard the satellites that belong to the TRMM constellation and are published in near real-time, with only a few hours lag. The second product is identical to the first product but is post-processed using ground rainfall measurements and as the latter are not available in real-time, its lag is approximately two months. To validate both products, the daily rainfall time-series of the Climate Prediction Center (CPC) and the monthly Global Precipitation Climate Center (GPCC) rainfall time-series both given over a grid of 0.50° x 0.50° were selected.

#### 4. Validation and intercomparison

In this thesis, data were used as input to a statistical rainfall-runoff model (Fotopoulos et al., 2010) which was created using historical values of rainfall and recorded flow rates downstream of Edirne. The model accepts daily areal rainfall and daily flow rates. Hence, data pre-processing included aggregating the three hours satellite data estimates to provide the necessary daily values. Similarly, monthly, seasonal and annual values were calculated by aggregating daily values and were used only for validation between ground and satellite data and intercomparison between the two satellite data sets. Next, the area-mean precipitation of the daily satellite data was calculated on a 0.5°x0.5° from the 0.25° cells (following Dinku et al, 2007; Chokngamwong and Chiu, 2007; Feidas, 2009).

Although 3B42 data existed from 1998 for the area of interest, they contained missing information for several grids between 1998 and 2000. A reasonably complete 3B42 data set was therefore available for the study area from February 2000 to April 2009. The data available for the uncalibrated 3B42RT product was from January 2002 until April 2009.

To validate the satellite data products, the following statistical indices were used: BIAS, mean average error (MAE), root mean square error (RMSE), correlation coefficient (R) and efficiency score (eff), given in equations (1) to (5). BIAS is used to quantify the systematic error in the satellite data. Mean average and root mean square errors both account for the average magnitude of error, but the latter emphasizes more the existence of larger errors. The correlation coefficient is used to investigate the relationship of two random variables while the efficiency coefficient is used to quantify the model's skill, i.e. its ability to reproduce the time series in question (daily, monthly, seasonal, etc) (Legates and McCabe, 1999). According to the definition provided by Legates and McCabe, values of the efficiency coefficient close to unity indicate perfect skill while negative values approximating minus infinite indicate no skill at all.

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n S_i - \sum_{i=1}^n G_i}{\sum_{i=1}^n G_i} \times 100\% \quad (1)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |S_i - G_i|}{n} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |S_i - G_i|^2}{n}} \quad (3)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S}) \times \sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2 \times \sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2}} \quad (4)$$

$$eff = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - G_i)^2}{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2} \quad (5)$$

Where:

$S_i$ , the estimated (satellite) values,  
 $G_i$ , the respective reference ground values,

$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}$ , the satellite average,

$\bar{G} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{n}$ , the ground values average,  
 $n$ , the number of value pairs.

After the validation and intercomparison operations, both satellite data sets and CPC data were used in the statistical rainfall runoff model. First, the model is calibrated using 85% of all available historical data. The historical flow rates are converted to daily volumes. The daily volumes and the equivalent daily areal rainfall heights are accumulated over a variable number of days, from 1 to 180 (approximately six months), therefore creating 180 time series. The pairs of accumulated rainfall and volumes undergo a statistical analysis, to assess the correlation between the two for each one of the 180 time series separately. The remaining 15% of the historical data are reserved to validate the results of the analysis. An alarm is issued when the difference in predicted total volumes for two consecutive days exceeds the volumes that correspond to the alarm flow rates ( $1150 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  at Kipoi bridge and  $800 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  at the monitoring station downstream Edirne). The issuing of an alarm does not necessarily imply a flood event occurrence: depending on the rainfall profile, the flow depths can gradually decline and drop below the alarm level without ever exceeding the maximum capacity along the river. However, if maximum capacity is exceeded, then the number of days between the first issue date and the actual occurrence of the flood event are considered the “warning days”. To be operationally useful, a flood warning would need to provide several warning days advance notice to the authorities and the public.

## 5. Results

Tables 1 and 2 summarize the simulation results for flood forecasting downstream of Edirne and at the river’s delta, using four different rainfall data sets: CPC, 3B42, 3B42RT and corrected 3B42RT (3B42RTc).

**Table 1: Flood forecasting results downstream Edirne.**

No	Flood (Actual dates)		Data Set	Alarm Start	Alarm End	Warning (days)
	Start	End				
1	17.01.03	03.03.03	CPC	29.09.02	06.03.03	111
			3B42	30.08.02	05.03.03	140
			3B42RT	25.01.03	07.04.03	-8
			3B42RTc	27.10.03	31.03.03	82
2	17.02.05	24.03.05	CPC	04.02.05	30.04.05	13
			3B42	15.02.05	30.04.05	2
			3B42RT	30.12.04	29.03.05	49
			3B42RTc	14.02.05	13.04.05	3
3	02.01.06	20.01.06	CPC	18.12.05	29.01.06	15
			3B42	05.01.06	13.01.06	-2
			3B42RT	03.12.05	04.03.06	31
			3B42RTc	11.12.05	09.01.06	23
4	09.03.06	25.03.06	CPC	24.02.06	16.04.06	13
			3B42	06.03.06	27.05.06	4
			3B42RT	-	-	-
			3B42RTc	15.02.06	20.04.06	23
5	16.11.07	02.12.07	CPC	17.11.07	17.02.08	-1
			3B42	17.11.06	07.01.08	-1
			3B42RT	-	-	-
			3B42RTc	03.11.07	09.01.08	13

**Table 2: Flood forecasting results at Evros Delta.**

No	Flood (Actual dates)		Data Set	Alarm Start	Alarm End	Warning (days)
	Start	End				
1	17.01.03	03.03.03	CPC	30.09.02	07.03.03	110
			3B42	23.09.02	03.03.03	116
			3B42RT	24.01.03	25.02.03	-7
			3B42RTc	29.09.02	08.04.03	110
2	17.02.05	24.03.05	CPC	04.02.05	16.06.05	13
			3B42	03.02.05	21.06.05	14
			3B42RT	02.01.05	14.03.05	46
			3B42RTc	11.02.05	22.04.05	6
3	02.01.06	20.01.06	CPC	27.11.05	30.01.06	36
			3B42	23.11.05	15.01.06	40
			3B42RT	28.11.05	11.02.06	35
			3B42RTc	14.12.05	11.01.06	19
4	09.03.06	25.03.06	CPC	24.02.06	26.04.06	13
			3B42	24.02.06	08.07.06	13
			3B42RT	-	-	-
			3B42RTc	04.03.06	22.04.06	5
5	16.11.07	02.12.07	CPC	17.11.07	19.02.08	-1
			3B42	16.11.07	17.02.08	0
			3B42RT	-	-	-
			3B42RTc	22.10.07	09.02.08	25

Results indicated that flood forecasting using the 3B42 satellite product is very promising, as its results are in complete agreement with those obtained when CPC time-series were used in the statistical rainfall – runoff model. However results obtained using 3B42RT satellite product were disappointing, which clearly indicated that post-processing satellite measurements with ground measurements is crucial for drastically improving the reliability of satellite data or that measuring light rainfall and separating snowfall from rainfall is extremely important when dealing with catchments in mid-latitudes. In any case, flood forecasting using satellite data is very promising and already produces acceptable results. Given the future major improvements that have been already planned (introduction of the GPM constellation and major upgrades in the installed instruments aboard the satellites) and the tremendous advantages of removing political borders in areal products and real-time availability in refined grid scales, satellite products are continuously gaining an advantage over ground based products.

## 6. References

- Brackenridge, G.R., E. Anderson and S. Caquard, 2008. Global active archive of large floods 1985-2007, Dartmouth Flood Observatory (DFO), Hanover, USA, [www.dartmouth.edu/~floods/Archives/](http://www.dartmouth.edu/~floods/Archives/), last accessed July 2009.
- Chokngamwong R and L. Chiu (2007), Thailand daily rainfall and comparison with TRMM products. *J Hydrometeorol* 9(2), pp. 256–266.
- Dinku, T., P. Ceccato, E. Grover-Kopec, M. Lemma, S. J. Connor and C. F. Ropelewski (2007), Validation of satellite rainfall products over East Africa's complex topography, *International Journal of Remote Sensing*, volume 28(7), pp. 1503-1526.
- Feidas, H. (2009), Validation of satellite rainfall products over Greece. *Theoretical and Applied Climatology*, DOI: 10.1007/s00704-009-0135-8.
- Fotopoulos F. and G. Tsesmelis (2006) Early Warning System for Floods in Evros River. *Proc. Conf. for Meric Flood Protection*, Ankara, Turkey, 22 September 2006.
- F. Fotopoulos, C. Makropoulos and M. A. Mimikou (2010) Flood forecasting in transboundary catchments using the Open Modeling Interface, *Environmental Modelling & Software*, Volume 25, Issue 12, December 2010, Pages 1640-1649, ISSN 1364-8152, doi:10.1016/j.envsoft.2010.06.013.
- Harza Engineering Company (1953), *Master Plan for Meric-Evros river development*. Chicago, USA.
- Legates, D. R., and G. J. McCabe Jr. (1999), Evaluating the Use of “Goodness-of-Fit” Measures in Hydrologic and Hydroclimatic Model Validation, *Water Resour. Res.*, 35(1), 233–241.





**1**

**Εισαγωγή**



# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Γενική τοποθέτηση του προβλήματος

Οι μετρήσεις βροχοπτώσεων στον ελλαδικό χώρο (αλλά και αλλού) είναι σποραδικές, μικρές σε μήκος και έχουν κατά κανόνα μικρό βαθμό αξιοπιστίας καθώς τα περισσότερα από τα εγκατεστημένα όργανα είναι παλαιάς τεχνολογίας και η ακρίβεια των μετρήσεων βασίζεται στη σχολαστικότητα του παρατηρητή. Οι ελλείψεις επίγειων πρωτογενών μετρήσεων βροχόπτωσης αποτελεί αξιόπεραστο εμπόδιο στις προσπάθειες πρόγνωσης πλημμυρών σε επίπεδο λεκάνης απορροής.

Λόγω της τοπογραφίας της βαλκανικής χερσονήσου, το σύνολο σχεδόν των διασυνοριακών λεκανών απορροής (Νέστου, Στρυμόνα, Έβρου, κλπ) μεταξύ FYROM, Βουλγαρίας, Τουρκίας και Ελλάδας έχουν το κατάντη τμήμα τους επί ελληνικού εδάφους. Η προαναφερόμενη έλλειψη πρωτογενών μετρήσεων βροχοπτώσεων είναι ιδιαίτερα αισθητή στις περιπτώσεις διασυνοριακών λεκανών απορροής, καθώς δεν υπάρχουν καθιερωμένοι μηχανισμοί ανταλλαγής (συμβατών) δεδομένων επίγειων μετρήσεων με τις γειτονικές χώρες. Συνεπώς δεν είναι εφικτό να καταστρωθεί ένα μοντέλο βροχής – απορροής που να είναι αντιπροσωπευτικό για το σύνολο της λεκάνης, χρησιμοποιώντας επίγειες μετρήσεις που λαμβάνονται μόνο επί ελληνικού εδάφους.

Από τις διασυνοριακές λεκάνες απορροής της Ελλάδος, αυτή που εμφανίζει τα σημαντικότερα πλημμυρικά προβλήματα, είναι η λεκάνη απορροής του π. Έβρου. Αν και συγκρινόμενη με τις υπόλοιπες διασυνοριακές λεκάνες τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο (Σχήμα 1-1) όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο (Σχήμα 1-2) ανήκει στις μικρότερες εξ αυτών όσον αφορά τη συνολική της έκταση και το υδατικό της δυναμικό, παρόλα αυτά διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο για την τοπική υδροοικονομία τριών κρατών: της Ελλάδας, της Βουλγαρίας και της Τουρκίας και προκαλεί αρκετά συχνά έντονα πλημμυρικά φαινόμενα που εκτός από τις επακόλουθες φυσικές καταστροφές επιτείνουν την ένταση στις σχέσεις των κρατών αυτών.

Η διασυνοριακή λεκάνη απορροής του ποταμού Έβρου έχει συνολική έκταση 53 000 km<sup>2</sup> και μήκος του ρου του ποταμού 520 km εκ των οποίων τα 305 διασχίζουν βουλγαρικό έδαφος ενώ τα υπόλοιπα 215 διασχίζουν ελληνικό ή τουρκικό έδαφος και σε πολλές περιπτώσεις αποτελούν τη μεθοριακή γραμμή των δυο κρατών.

Οι κυριότεροι παραπόταμοι του π. Έβρου είναι ο π. Εργίνης, ο π. Τούντζας, ο π. Άρδας και ο π. Ερυθροπόταμος. Εξ αυτών μόνο οι δυο τελευταίοι εκτείνονται εν μέρει και σε ελληνικό έδαφος.

Τα τελευταία χρόνια έχουν κατασκευαστεί πολλά έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων, κυρίως ταμειευτήρες παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας, αρδευτικά αντλιοστάσια και υδροληψίες για άρδευσης και ύδρευση παρακείμενων περιοχών. Η παράπλευρη ανάπτυξη φορτίζει τα νερά του ποταμού με ρύπους προερχόμενους από λίπανση αγρών, από βιοτεχνικές και βιομηχανικές δραστηριότητες (όπως από βυρσοδεψεία στην Αδριανούπολη) και από απολήξεις ανεπεξέργαστων λυμάτων αστικών δικτύων ακαθάρτων.



Σχήμα 1-1: Παγκόσμιες διασυννοριακές λεκάνες απορροής [Wolf, 2005].



Σχήμα 1-2: Διασυννοριακές λεκάνες απορροής Ευρώπης [Wolf, 2005].

Η άναρχη λειτουργία των έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων, η μη συντονισμένη και χωρίς μελέτη κατασκευή διαφόρων άλλων τεχνικών έργων κυρίως για τη διευθέτηση του ρου των ποταμών αλλά και η ρύπανση των υδάτων του ποταμού

έχουν προκαλέσει και συνεχίζουν να προκαλούν σοβαρές επιπτώσεις στον υδρολογικό κύκλο και στην ποιότητα των υδάτων του ποταμού, επηρεάζοντας ποικιλοτρόπως τις ανθρώπινες δραστηριότητες και την πανίδα και τη χλωρίδα των παρέμβριων περιοχών.

Στο παρελθόν έχουν υπάρξει διάφορες προσπάθειες σε διμερές [Υπουργείο Δημοσίων Έργων Τουρκίας, 1959 · ΥΠΕΧΩΔΕ, 1963 · Ηνωμένα Έθνη, 1972 · Ελληνικός Στρατός, 1972 · Ελληνικός Στρατός, 1977] ή και τριμερές επίπεδο [Harza Engineering Company, 1953 · Μόνιμος επιτροπή ποταμού Έβρου, 1955 · Henry, 1971] για την επίτευξη συνδιαχείρισης του υδατικού δυναμικού της λεκάνης απορροής του π. Έβρου, γεγονός που δυνητικά θα μπορούσε να οδηγήσει στην ανάπτυξη και λειτουργία συστήματος πρόγνωσης πλημμυρών. Οι προσπάθειες αυτές δεν ευδοκίμησαν λόγω έλλειψης πολιτικής βούλησης αλλά και λόγω των διαφόρων διμερών προβλημάτων στη συνεργασία μεταξύ των τριών χωρών (Ελλάδα, Βουλγαρία και Τουρκία) [Τσεσμελής, 2007].

Αποτέλεσμα της έλλειψης ολοκληρωμένης διαχείρισης και γενικότερα συντονισμού είναι οι μονομερείς ενέργειες εκμετάλλευσης των υδάτων του ποταμού, οι οποίες όμως προκαλούν ένταση στις σχέσεις μεταξύ των τριών χωρών ιδιαίτερα στο θέμα της αντιπλημμυρικής προστασίας, η οποία πρακτικά έως και σήμερα δεν υφίσταται όπως έχει αποδειχθεί από τις πρόσφατες συνεχείς πλημμύρες που δεν οφείλονται αποκλειστικά σε φυσικά αίτια [Samson and Charrier, 1997].

Η αδυναμία πρόγνωσης των πλημμυρών σε επίπεδο λεκάνης απορροής στον π. Έβρο πηγάζει από την έλλειψη βασικών πρωτογενών δεδομένων και συγκεκριμένα μετρήσεων βροχόπτωσης, την ανυπαρξία τοπογραφικών, μετεωρολογικών, υδραυλικών και ποιοτικών δεδομένων που αποτελούν τροχοπέδη για την έστω και τμηματική προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου ή της ροής του ποταμού και των παραποτάμων του. Οι όποιες σποραδικές μετρήσεις, γίνονται χωριστά σε κάθε κράτος, από εν γένει ανεπαρκές πλήθος σταθμών, με διαφορετική μεθοδολογία καταγραφής, χωρίς να υπάρχει πρόβλεψη ανταλλαγής των μετρούμενων στοιχείων.

Η έλλειψη των βροχομετρικών δεδομένων αίρεται με τη χρήση μετρήσεων από δορυφόρους. Οι πρώτες προσπάθειες για τη συλλογή δορυφορικών μετρήσεων άρχισαν από τη δεκαετία του '60, με τις όχι τόσο επιτυχημένες αποστολές (Vanguard) και τις μικρής διάρκειας Tyros I και II (μόλις 78 ημέρες). Από τις αρχές του 1998, βρίσκεται σε τροχιά γύρω από τη Γη, ο πρώτος μετεωρολογικός δορυφόρος που εκτοξεύτηκε για χρήση αποκλειστικά στο πλαίσιο της αποστολής Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM). Αρχικός στόχος της αποστολής αυτής ήταν η μέτρηση της βροχόπτωσης γύρω από τους τροπικούς από γεωγραφικό πλάτος  $-30^{\circ}$  έως  $+30^{\circ}$  [Kummerow et al., 1988].

Η γρήγορη επιτυχία της αξιοποίησης των μετρήσεων αυτών [Adler et al., 2003 · NRC, 2004], οδήγησε στην παράταση της διάρκειας ζωής της εν λόγω αποστολής έως το 2012 [Enright, 2004 · NASA, 2007]. Παράλληλα η αύξηση της υπολογιστικής ισχύος και των δυνατοτήτων του υλισμικού επεξεργασίας ταυτόχρονα με τη βελτίωση των αλγορίθμων επεξεργασίας και το συνδυασμό με μετρήσεις άλλων δορυφόρων (Aqua, GOES-E, GOES-W, MTSAT, Meteosat 5 και Meteosat 7), επέτρεψε την επέκταση των μετρήσεων σε γεωγραφικά πλάτη  $-50^{\circ}$  έως  $+50^{\circ}$  με ακόμα μικρότερη χωρική ανάλυση που φτάνει πλέον σε  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  [Huffman et al., 2007].

Επειδή η χωρική πλέον ανάλυση των δεδομένων βροχόπτωσης τα τελευταία χρόνια έχει μεγαλώσει σημαντικά αλλά και επειδή η χρονική διακριτικότητα έχει επίσης μειωθεί και έχει φθάσει σε μόλις 3 ώρες, η επιφανειακή βροχόπτωση σε λεκάνες απορροής μεσαίας και μεγάλης έκτασης μπορεί να υπολογιστεί με ικανοποιητική ακρίβεια για

χρήση σε εργασίες εκτίμησης υδατικού δυναμικού [Fukami, 2005 · Shepherd and Terakawa, 2005 · Hossain and Katiyar, 2006 · Fotopoulos and Tsismelis, 2006 · Hossain et al., 2007].

Μια σχετική προσπάθεια για πρόγνωση πλημμυρών με χρήση δορυφορικών δεδομένων βρίσκεται σε εξέλιξη τα τελευταία χρόνια σε ερευνητικό στάδιο. Το Global Flood Alert System (GFAS) [Umeda, 2005] είναι ένα φιλόδοξο πρόγραμμα, το οποίο θα εκτιμά την πλημμυρική επικινδυνότητα σε παγκόσμιο επίπεδο. Ωστόσο το πρόγραμμα αυτό αφενός μεν δεν μπορεί να εφαρμοστεί χωρίς τα δεδομένα που θα λαμβάνονται από τη συστάδα δορυφόρων που θα απαρτίζουν την αποστολή Global Precipitation Mission [Everett, 2001 · Fotopoulos and Bras, 2002], η οποία όμως προγραμματίζεται να ξεκινήσει στις αρχές του 2012 και αφετέρου λόγω του γεγονότος ότι η πλατφόρμα αυτή θα λειτουργεί σε όλη την επιφάνεια του πλανήτη, τα πρώτα έτη θα επικεντρωθούν οι προσπάθειες των ερευνητών στις μεγάλες και μεσαίες λεκάνες απορροής του πλανήτη. Ως μεσαίες και μεγάλες λεκάνες απορροής νοούνται αυτές που έχουν συνολική έκταση επιφανείας απορροής μεγαλύτερη από 500 000 km<sup>2</sup>. Στις λεκάνες αυτές δεν περιλαμβάνονται λεκάνες απορροής οι οποίες αποτελούν το στόχο της παρούσας διατριβής ήτοι μικρές λεκάνες με έκταση ανάλογη της λεκάνης απορροής του π. Έβρου.

Σημειώνεται ότι σε παγκόσμια κλίμακα, η λεκάνη απορροής του π. Έβρου θεωρείται πολύ μικρή, ακόμα και σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Ο Πίνακας 1-1 περιλαμβάνει τις μεγαλύτερες λεκάνες του πλανήτη, με κριτήριο τη συνολική έκτασή τους, την αντίστοιχη μέση παροχή τους και τον αριθμό των κρατών στο έδαφος των οποίων εκτείνονται [Revenga et al., 1998]. Για λόγους σύγκρισης έχει προστεθεί στον πίνακα και η λεκάνη απορροής του π. Έβρου.

**Πίνακας 1-1:** Οι μεγαλύτερες λεκάνες απορροής [Revenga et al., 1998].

Λεκάνη απορροής	Έκταση x10 <sup>3</sup> (km <sup>2</sup> )	Μέση παροχή (m <sup>3</sup> /s)	Αριθμός χωρών
Amazon	6 144	219 000	7
Congo	3 807	41 800	9
Nile	3 255	2 830	10
Mississippi	3 202	12 743	2
Ob	3 028	12 500	4
Parana	2 583	17 293	4
Yenisei	2 499	17 400	2
Lena	2 307	17 000	1
Niger	2 262	-	10
Έβρος	53	250	3

## 1.2 Στόχοι εργασίας

Βασικός στόχος της εργασίας αυτής είναι η δημιουργία ενός συστήματος για την πρόγνωση πλημμυρών σε επίπεδο λεκάνης απορροής σε πραγματικό χρόνο, το οποίο θα εκμεταλλεύεται δορυφορικές και επίγειες μετρήσεις που συλλέγονται επίσης σε πραγματικό χρόνο.

Επειδή στο σύστημα αυτό υπεισέρχονται πολλά διαφορετικά μοντέλα που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, επιδιώκεται το σύστημα αυτό να σχεδιαστεί σπονδυλωτό έτσι ώστε να μπορεί να αντικατασταθεί ένα τμήμα του με ένα άλλο ισοδύναμο (όπως για παράδειγμα να αντικατασταθεί μια πηγή μετρήσεων με μια

άλλη ή ένα μοντέλο βροχής – απορροής με άλλο), ώστε να επιτευχθεί αφενός μεν η επαλήθευση του συστήματος και αφετέρου η ρύθμισή του.

Σημαντικός στόχος της παρούσας διατριβής αποτελεί η σύγκριση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων που γίνονται με χρήση διαφορετικών δορυφορικών προϊόντων μέτρησης βροχόπτωσης και η αξιολόγησή τους ως προς τη δυνατότητα αξιοποίησής τους σε επίπεδο σχεδιασμού και οργάνωσης αλλά και σε επιχειρησιακό επίπεδο.

Τέλος καταβάλλεται προσπάθεια για τη διόρθωση δορυφορικών μετρήσεων βροχόπτωσης, που δεν έχουν υποστεί καμία εκ των υστέρων ρύθμιση με επίγειες μετρήσεις ούτε βαθμονόμηση, κάνοντας χρήση επίγειων μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο.

### 1.3 Μεθοδολογία

Η όλη εργασία πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια μιας σειράς βάσεων δεδομένων και προγραμμάτων Η/Υ, που κατασκευάστηκαν ειδικά για τις ανάγκες της παρούσας διατριβής. Οι βάσεις δεδομένων χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση και ανάκτηση δεδομένων βροχοπτώσεων και παροχών που προέρχονται από διάφορες πηγές (δορυφόροι, επίγεια μέσα, ιστορικές καταγραφές, κλπ) και έχουν διαφορετικές χρονικές και χωρικές διακριτότητες. Οι βάσεις δεδομένων και τα προγράμματα Η/Υ συνδυάστηκαν μεταξύ τους κάτω από την πλατφόρμα συλλειτουργίας μοντέλων OpenMI, η οποία χρησιμοποιείται για πρώτη φορά σε τέτοιου είδους εργασία. Η πλατφόρμα αυτή επιτρέπει τη διασύνδεση διαφορετικών προγραμμάτων Η/Υ και συνεπώς την προσομοίωση πολύπλοκων και σύνθετων προβλημάτων όπως είναι αυτό της πρόγνωσης πλημμυρών με χρήση δορυφορικών μετρήσεων σε επίπεδο λεκάνης απορροής.

Η βροχόπτωση καταγράφεται με τη βοήθεια των μετεωρολογικών οργάνων που έχουν τοποθετηθεί σε διάφορους δορυφόρους που αποτελούν τη συστάδα δορυφόρων (satellite constellation) Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). Η συστάδα αυτή, αποτελείται από τους δορυφόρους TRMM, Aqua, GOES-E, GOES-W, MTSAT, Meteosat 5 και Meteosat 7. Η επιλογή των δορυφόρων έγινε λόγω του ότι οι μετρήσεις τους είναι ελεύθερα διαθέσιμες στο κοινό, έχουν μικρή χρονική διακριτότητα (3 ώρες) και σχετικά καλή χωρική ( $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ) αναφορικά με την έκταση της λεκάνης απορροής. Οι καταγραφές της βροχόπτωσης αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων.

Οι μετρήσεις ακολούθως περιορίζονται στις υπολεκάνες απορροής του π. Έβρου και των παραποτάμων του και επαληθεύονται σε όλη τη λεκάνη απορροής με βάση τις επίγειες μετρήσεις του Global Precipitation Climate Center (GPCC) σε μηνιαίο χρονικό βήμα και τις επίγειες μετρήσεις του Climate Prediction Center (CPC) σε ημερήσιο και μηνιαίο χρονικό βήμα. Ειδικότερα στο Νομό Έβρου η μέθοδος χρησιμοποιεί τις μετρήσεις των εγκατεστημένων επίγειων Αυτόματων Τηλεμετρικών Σταθμών που έχουν τοποθετηθεί στον ελλαδικό χώρο από την Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας – Θράκης, χρησιμοποιώντας χρονικό βήμα 3 ωρών.

Η επιφανειακή βροχόπτωση αποτελεί είσοδο σε ένα μοντέλο βροχής – απορροής, το οποίο συντάχθηκε αποκλειστικά για την κάλυψη των αναγκών της παρούσας διατριβής. Το μοντέλο αυτό, χρησιμοποιώντας ιστορικά δεδομένα υδρομετρήσεων στους σταθμούς της Αδριανούπολης, της γέφυρας των Κήπων και πρόσφατα του δικτύου των Αυτόματων Τηλεμετρικών Σταθμών, εκτιμά την πιθανότητα εμφάνισης

πλημμυρικού επεισοδίου τόσο στην περιοχή της Αδριανούπολης όσο και στο Δέλτα του Έβρου. Οι δυο αυτές θέσεις επιλέχθηκαν λόγω της ύπαρξης αρκετών ιστορικών υδρομετρήσεων αλλά και εμφάνισης συχνών πλημμυρικών επεισοδίων, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών.

Για την εφαρμογή και τη ρύθμιση του μοντέλου βροχής - απορροής δεν είναι απαραίτητη καταρχήν η ύπαρξη επίγειων μετρήσεων βροχόπτωσης, είναι όμως αναγκαία η μέτρηση της στάθμης και της ταχύτητας ροής ή αντί αυτών της παροχής στις θέσεις που θα γίνεται η πρόγνωση των πλημμυρών.

#### 1.4 Πρωτότυπα σημεία

- Αν και στο πρόσφατο παρελθόν έχουν χρησιμοποιηθεί δορυφορικές μετρήσεις βροχοπτώσεων για την εκτίμηση του κινδύνου εμφάνισης ταχυπλημμυρών σε λεκάνες απορροής πλησίον του Ισημερινού (βλέπε παράγραφο 2.2), μέχρι σήμερα δεν έχει γίνει το ίδιο για την πρόγνωση πλημμυρών σε λεκάνες απορροής της τάξης των μερικών χιλιάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων εκτός τροπικών. Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, παρουσιάζεται για πρώτη φορά μια προσπάθεια πρόγνωσης πλημμυρών στη λεκάνη απορροής του π. Έβρου σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας τις δορυφορικές μετρήσεις των δορυφόρων της συστάδας TRMM. Οι δορυφορικές αυτές μετρήσεις δημοσιεύονται σε (σχεδόν) πραγματικό χρόνο και λαμβάνονται υπόψη σε συνδυασμό με τα επίγεια δεδομένα που συλλέγονται από το δίκτυο Αυτόματων Τηλεμετρικών Σταθμών παρακολούθησης της ποιότητας και ποσότητας των υδάτων του π. Έβρου και των παραποτάμων του Άρδα και Ερυθροποτάμου.
- Για την παραπάνω εργασία, αντί να χρησιμοποιηθεί ένα μόνο πρόγραμμα Η/Υ με τους περιορισμούς που αυτό επιφέρει, γίνεται χρήση της πλατφόρμας συλλειτουργίας πολλαπλών μοντέλων OpenMI [Gregersen et al., 2004 · Moore et al., 2004 · Gavardinas et al., 2005 · Moore et al., 2005]. Η πλατφόρμα αυτή, μπορεί να εμπλουτιστεί και να τροποποιηθεί από οποιονδήποτε χρήστη, αντικαθιστώντας οποιοδήποτε μοντέλο της με άλλο συμβατό. Για παράδειγμα μπορεί να αντικατασταθεί το πρόγραμμα προσομοίωσης της κίνησης του δορυφόρου από ένα άλλο ακριβέστερο, χωρίς να αλλάξει η δομή του συστήματος πρόγνωσης πλημμυρών. Στα άμεσα οφέλη αυτής της καινοτόμας σπονδυλωτής δομής που χρησιμοποιήθηκε είναι:
  - Δυνατότητα εποπτείας, ελέγχου και εκσφαλμάτωσης σύνθετων προσομοιώσεων
  - Δυνατότητα χρήσης οσωνδήποτε δορυφορικών προϊόντων βροχόπτωσης ως εισόδων για την πρόβλεψη πλημμυρών
  - Δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων διαφορετικών προσομοιώσεων.
  - Δυνατότητα χρήσης μελλοντικών δορυφορικών προϊόντων και άλλων συμβατών μοντέλων χωρίς να χρειαστεί να τροποποιηθούν τα προγράμματα που ενώνονται μεταξύ τους για την πρόγνωση πλημμυρών. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται φυσικά εκ νέου βαθμονόμηση του συστήματος, που μπορεί όμως να πραγματοποιηθεί εύκολα στο πλαίσιο συλλειτουργίας του συνόλου των μοντέλων.



- Παρόλο που η πλατφόρμα OpenMI συγκεντρώνει ολοένα εντονότερο ενδιαφέρον από τους χρήστες και τους μελετητές λόγω των εξαιρετικών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει για τη μελέτη σύνθετων προβλημάτων, μέχρι σήμερα δεν έχει παρουσιαστεί μια ολοκληρωμένη εφαρμογή που να βασίζεται σε αυτή και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επιχειρησιακό επίπεδο ειδικά σε εφαρμογές που λαμβάνουν χώρα σε πραγματικό χρόνο. Με την παρούσα διατριβή, παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη εφαρμογή, έτοιμη προς χρήση σε επιχειρησιακό επίπεδο, η οποία έχει οικοδομηθεί και λειτουργεί με μοντέλα που έχουν σχεδιαστεί για χρήση με την πλατφόρμα OpenMI.
- Τέλος η περιοχή μελέτης, η διασυνοριακή λεκάνη απορροής του π. Έβρου, είναι μια περιοχή στην οποία το ερευνητικό έργο είναι πρακτικά ανύπαρκτο, κυρίως λόγω της απουσίας πρωτογενών δεδομένων τα οποία θα έπρεπε να συνδυαστούν με βάση τις ιστορικές καταγραφές από τις υπηρεσίες τριών κρατών, οι οποίες όμως χαρακτηρίζονται από ελλείψεις, μικρές διάρκειες καταγραφών και διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Το πρόβλημα αυτό αίρεται πλέον λόγω της χρήσης των σχετικά πρόσφατων δορυφορικών μετρήσεων και της εγκατάστασης των αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών παρακολούθησης της ποιότητας και της ποσότητας των υδάτων του ποταμού και των παραποτάμων του.

## 1.5 Διάρθρωση

Η εργασία αποτελείται από οκτώ κεφάλαια. Κάθε κεφάλαιο αποτελεί μια όσο το δυνατόν αυτοτελή ενότητα και αναπτύσσει σε βάθος το θέμα που πραγματεύεται.

Το 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο αποτελεί μια γενική εισαγωγή στο θέμα. Παρουσιάζονται συνοπτικά το αντικείμενο, οι στόχοι, η διάρθρωση, η βιβλιογραφική επισκόπηση, η συμβολή της διατριβής στην έρευνα και τα πρωτότυπα σημεία της. Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρατίθεται η βιβλιογραφική αναδίφηση στην έρευνα που έχει λάβει χώρα μέχρι σήμερα σχετικά με την πρόγνωση πλημμυρών σε πραγματικό χρόνο, με χρήση δορυφορικών δεδομένων, με χρήση της πλατφόρμας OpenMI και ειδικότερα στη λεκάνη απορροής του π. Έβρου.

Το 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρεται στην πλατφόρμα συλλειτουργίας μοντέλων Open Modeling Interface (OpenMI). Περιγράφεται η λογική του σχεδιασμού της, οι βασικές αρχές λειτουργίας της και ο τρόπος ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ υφιστάμενων προγραμμάτων Η/Υ, τα οποία έχουν τροποποιηθεί κατάλληλα ώστε να υποστηρίζεται η σύνδεσή τους με την εν λόγω πλατφόρμα. Δίδεται ιδιαίτερη έμφαση στην ανάλυση της διαδικασίας τροποποίησης των προγραμμάτων Η/Υ της διατριβής με στόχο την ενσωμάτωση συμβατότητας με την πλατφόρμα OpenMI.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιγράφονται τα προγράμματα Η/Υ που συντάχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής. Αρχικά αναπτύσσεται η θεωρία του προγράμματος SSM, που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της κίνησης των δορυφόρων, βάσει της οποίας λαμβάνεται η μέτρηση στις θέσεις εγκατάστασης των ΑΤΣ, η οποία συγκρίνεται με την επίγεια καταγεγραμμένη μέτρηση της ίδιας χρονικής στιγμής, με στόχο την εκτίμηση της αξιοπιστίας των μετρήσεων του προϊόντος 3B42RT στην περιοχή του ν. Έβρου. Οι καταγραφές από το δορυφόρο λαμβάνονται από τα προγράμματα με κωδική ονομασία PPXXXX (όπου XXXX τίθεται ένα εκ των 3B42, 3B42RT, 3B43, CPC, ATS), τα οποία - όπως και το SSM - τροφοδοτούνται με νέες καταγραφές από το διαδίκτυο, με το πρόγραμμα PRUPDATE. Τέλος, περιγράφεται το πρόγραμμα PCOR, με το οποίο διορθώνονται προαιρετικά οι καταγραφές 3B42RT

με βάση τις επίγειες μετρήσεις. Όλα τα παραπάνω προγράμματα συνδυάζονται στο κεντρικό πρόγραμμα EFLOOD, στο οποίο εφαρμόζονται τα πρωτογενή δεδομένα κατακρήμνισης σε ένα μοντέλο βροχής- απορροής, με στόχο την πρόβλεψη των πλημμυρών στην περιοχή της Αδριανούπολης και στο Δέλτα του Έβρου.

Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης. Η παρουσίαση χωρίζεται σε τέσσερις ενότητες. Στην πρώτη ενότητα γίνεται συνοπτική αναφορά στη γεωγραφική θέση, στην τοπογραφία, στις χρήσεις γης και στον πληθυσμό της περιοχής μελέτης. Στη δεύτερη ενότητα παρατίθενται τα σημαντικότερα κλιματολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, όπως οι βροχοπτώσεις, οι θερμοκρασίες αέρα, οι παροχές και οι πλημμυρικές αιχμές. Η τρίτη ενότητα πραγματεύεται το σύνολο των τεχνικών έργων και ανθρωπογενών επεμβάσεων που έχουν γίνει στη λεκάνη απορροής, με ιδιαίτερη αναφορά στις επεμβάσεις στην ελληνοτουρκική μεθόριο. Η τέταρτη ενότητα αποτελεί μια επισκόπηση των διαφόρων διακρατικών συμφωνιών που υπήρξαν ή βρίσκονται σήμερα σε ισχύ, καθώς επίσης και της ισχύουσας κοινοτικής και περιβαλλοντικής νομοθεσίας.

Στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πρωτογενή δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις ελληνικές, βουλγαρικές και τουρκικές υπηρεσίες και από το κέντρο διαστημικών ερευνών της NASA, τα οποία και χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή. Η παρουσίαση των εν λόγω δεδομένων γίνεται σε έξι ενότητες. Στην πρώτη αναφέρονται οι παλαιότερες επίγειες μετρήσεις που διεξήχθησαν έως το 2003, στη δεύτερη οι επίγειες μετρήσεις της περιόδου 2003-2006, ενώ στην τρίτη ενότητα γίνεται παρουσίαση των μετρήσεων του δικτύου των αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών που εγκαταστάθηκαν το 2008 στην ελληνική επικράτεια της λεκάνης απορροής του π. Έβρου. Στην τέταρτη ενότητα γίνεται εκτενής αναφορά στις δορυφορικές μετρήσεις που αποτελούν τον κύριο όγκο των πρωτογενών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή. Τέλος στην πέμπτη και έκτη ενότητα παρουσιάζονται τα δεδομένα βροχοπτώσεων που διανέμονται από το Global Precipitation Climate Center (GPCC) και από το Climate Prediction Center (CPC) και χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση των δορυφορικών προϊόντων.

Στο 7<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιγράφεται η σύνδεση των μοντέλων του κεφαλαίου 4 με τη βοήθεια της πλατφόρμας συλλειτουργίας μοντέλων OpenMI του κεφαλαίου 3, έτσι ώστε να δημιουργηθεί το σύστημα πρόγνωσης πλημμυρών στη λεκάνη απορροής του π. Έβρου.

Στο 8<sup>ο</sup> κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επαλήθευσης των δορυφορικών προϊόντων βροχόπτωσης για τη λεκάνη απορροής του π. Έβρου. Συγκεκριμένα, συγκρίνονται τα δεδομένα κατακρήμνισης που προέρχονται από τις δορυφορικές καταγραφές με τις βροχοπτώσεις που υπολογίζονται από το δίκτυο επίγειων σταθμών αρχικά του GPCC, στη συνέχεια με του CPC και τέλος με αυτές που υπολογίζονται από το υβριδικό δορυφορικό – επίγειο προϊόν 3B43. Ειδικότερα για το τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού που βρίσκεται στο ν. Έβρου, για την επαλήθευση χρησιμοποιούνται οι επίγειες μετρήσεις των ΑΤΣ της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας - Θράκης. Τα αποτελέσματα της διερεύνησης της αξιοπιστίας των κατακρήμνισεων που προέρχονται από δορυφορικές μετρήσεις αξιοποιούνται στο πρόγραμμα PCOR.

Στο 9<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του προγράμματος EFLOOD, για την πρόγνωση πλημμυρών, με χρήση των πρωτογενών δεδομένων του προϊόντος επίγειων μετρήσεων και στη συνέχεια με χρήση των δορυφορικών προϊόντων 3B42 και 3B42RT και στις δυο θέσεις ενδιαφέροντος, στην Αδριανούπολη και στο Δέλτα του ποταμού. Τέλος στο 10<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της διατριβής και στο 11<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρατίθενται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.





2

# Βιβλιογραφική αναδίφηση



## 2 Βιβλιογραφική αναδίφηση

### 2.1 Πρόγνωση πλημμυρών σε πραγματικό ή σχεδόν πραγματικό χρόνο

Η ιδέα της πρόγνωσης πλημμυρών σε πραγματικό ή σχεδόν πραγματικό χρόνο δεν είναι καινούργια. Αντίθετα, έχει απασχολήσει τους ερευνητές εδώ και πολλές δεκαετίες, ιδιαίτερα όταν παρουσιάζονται νέα ή βελτιωμένα όργανα μέτρησης της βροχόπτωσης ή υπολογιστικά συστήματα με αυξημένες δυνατότητες αποθήκευσης και ταχείας επεξεργασίας δεδομένων. Γενικά οι μεθοδολογίες χωρίζονται σε υδραυλικές και υδρολογικές [Κουτσογιάννης, 1988]. Οι υδραυλικές μέθοδοι συνίστανται στην επίλυση απλοποιημένων μορφών των εξισώσεων κίνησης Saint – Venant, συνήθως με τη μορφή μονοδιάστατων διαφορικών εξισώσεων βαθμιαίας μεταβαλλόμενης ροής σε ανοικτούς αγωγούς στην οποία υπάρχουν ή δεν υπάρχουν πλευρικές εισροές, η οποία χρησιμοποιείται για τη διόδευση ενός γνωστού πλημμυρογραφήματος ανάντη σε μία κατάντη θέση [Todini and Bossi, 1986].

Οι υδρολογικές μέθοδοι στοχεύουν στο ίδιο αποτέλεσμα αλλά χρησιμοποιούν απλούστερα αριθμητικά σχήματα καθώς η εξίσωση κίνησης έχει αντικατασταθεί με συνάρτηση απόκρισης κλειστού τύπου (Black box) ή με μια απλή μαθηματική αντιπροσώπευση προσδιοριστικού τύπου [Box and Jenkins, 1976 · Kitanidis and Bras, 1980 · O' Connell, 1980 · Moll, 1983 · Franchini and Lamberti, 1994]. Η διαφορά των υδρολογικών μεθόδων έγκειται στα πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιούνται κάθε φορά και στην προαναφερόμενη συνάρτηση. Λόγω μάλιστα της ύπαρξης της συνάρτησης αυτής, οι υδρολογικές μέθοδοι δεν είναι ανεξάρτητες της θέσης στην οποία έχουν ρυθμιστεί (εντοπιότητα) αντίθετα με τις υδραυλικές μεθόδους.

Οι παραπάνω αναφερόμενες μέθοδοι, προϋποθέτουν τη γνώση του ανάντη πλημμυρογραφήματος το οποίο διοδεύεται σε κατάντη θέση, όπου υπάρχει το ενδιαφέρον πρόγνωσης του πλημμυρικού κύματος. Το ανάντη πλημμυρογράφημα μπορεί να μετρείται με τη βοήθεια σταθμηγράφων ή σταθμημέτρων, ωστόσο σε μεγάλες λεκάνες απορροής με σύνθετο υδρογραφικό δίκτυο κάτι τέτοιο είναι πρακτικά ανέφικτο. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν μοντέλα βροχής - απορροής, τα οποία δέχονται ως είσοδο την επιφανειακή βροχόπτωση (ή σημειακή η οποία μετατρέπεται σε επιφανειακή) και εκτιμούν το κατάντη πλημμυρογράφημα χρησιμοποιώντας στατιστικές σχέσεις [Bell et al., 2000 · Beven, 2000]. Βασική παράμετρος στην επιτυχία των μοντέλων βροχής – απορροής αποτελεί η κατά το δυνατόν ακριβέστερη γνώση της επιφανειακής βροχόπτωσης όσον αφορά το μέγεθος, τη χωρική και τη χρονική της διακρίσιμότητα. Η γνώση αυτή καθορίζει το μέγεθος των λεκανών απορροής που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με το εκάστοτε μοντέλο και ως ένα βαθμό, την ακρίβεια των προβλέψεων.

Αρχικά χρησιμοποιούνται σημειακές μετρήσεις της βροχόπτωσης από βροχόμετρα και βροχογράφους, οι οποίες και μετατρέπονταν σε επιφανειακές με μία μέθοδο επιφανειακής ολοκλήρωσης (μέσος όρος, Thiessen, Kriging, κλπ). Η διάθεση των μετρήσεων μετεωρολογικών ραντάρ σε επιχειρησιακό επίπεδο, οδήγησε σε καλύτερες προβλέψεις και σε δυνατότητα πρόγνωσης σε πραγματικό χρόνο, αφού η επιφανειακή βροχόπτωση ήταν για πρώτη φορά άμεσα διαθέσιμη σε μεγάλη έκταση [Cluckie, 1993 · Baltas and Mimikou, 1994 · Mimikou, 1995 · Μπαλτάς, 1996 · Mimikou and Baltas, 1996 · Barrow et al., 1998 · Mimikou 2009]. Τα εγγενή προβλήματα των μετεωρολογικών ραντάρ όπως η αδυναμία χρήσης τους σε ορεινά ανάγλυφα και η μικρή ακτίνα επίδρασής τους σε συνδυασμό με το κόστος τους,

ανέδειξε γρήγορα τους δορυφόρους ως μια πιθανή εναλλακτική λύση στην εκτίμηση πλημμυρών σε μεγάλες λεκάνες απορροής.

## 2.2 Πρόγνωση πλημμυρών με χρήση δορυφορικών δεδομένων

Οι μετρήσεις κατακρήμνισης μέσω δορυφόρων έχουν αποκτήσει μεγάλη αξία κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών. Προς την κατεύθυνση αυτή έχει συμβάλει η γενική υποβάθμιση του αραιού επίγειου δικτύου μετρήσεων [Stokstad, 1999 · Shiklomanov et al., 2002]. Ακόμα μεγαλύτερη αξία έχουν οι μετρήσεις από το διάστημα σε περιπτώσεις διασυνωριακών λεκανών απορροής, στις οποίες οι χώρες που τις μοιράζονται δεν έχουν υπογράψει συμφωνίες, δεν έχουν την τεχνολογία ή τη δυνατότητα για διανομή μετρήσεων βροχόπτωσης σε πραγματικό χρόνο ή με κάποια χρονική υστέρηση [Hossain and Katiyar, 2006 · Hossain et al., 2007]. Η αδυναμία συνεργασίας ή συνεννόησης, δρα αποτρεπτικά στην έρευνα πάνω στις εν λόγω διασυνωριακές λεκάνες.

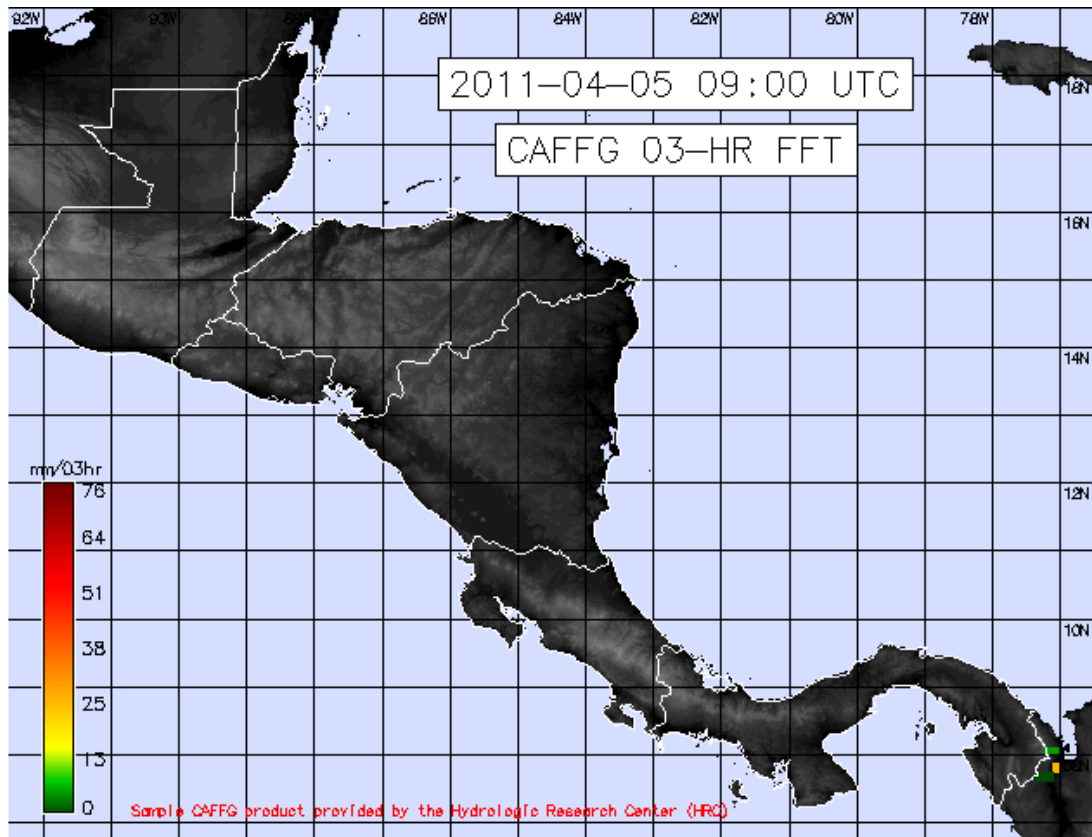
Λόγω του αυξανόμενου πλήθους των δορυφορικών μετρήσεων, της αύξησης της ποιότητας και ποσότητάς τους, αλλά και της ελεύθερης διάθεσής τους στο κοινό, παρουσιάζεται συνεχώς αυξανόμενη ερευνητική δραστηριότητα γύρω από την αξιοποίησή τους για πρόγνωση πλημμυρών. Στο γεγονός αυτό συμβάλλει και η προοπτική που διανοίγεται στα δορυφορικά προϊόντα με την επερχόμενη προσθήκη των δορυφόρων της αποστολής Global Precipitation Measurement (GPM) αλλά και της ραγδαίας εξέλιξης των αισθητήρων μέτρησης κατακρήμνισης [Hou, 1998]. Από το 2005, με τη σημαντική βελτίωση των αλγορίθμων επεξεργασίας των πρωτογενών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκε στο τέλος του 2004 [Huffman, 2004], έχουν δημοσιευτεί πολλές εργασίες σχετικά με τη δυνατότητα χρήσης των δορυφορικών μετρήσεων βροχόπτωσης για την πρόγνωση πλημμυρών [Fukami, 2005 · Shepherd and Terakawa, 2005 · Umeda, 2005 · Hossain and Katiyar, 2006 · Hovardas and Poirazidis, 2006]. Οι πρώτες ολοκληρωμένες προσπάθειες πρόγνωσης πλημμυρών με χρήση των βελτιωμένων προϊόντων (αλλά όχι σε πραγματικό χρόνο) εμφανίζονται ενθαρρυντικές [Hazarika, 2007 · Harris et al., 2007 · Li et al., 2008].

Τα τελευταία χρόνια δημιουργήθηκε από το Hydrologic Research Center (<http://www.hrc-lab.org>) και λειτουργεί με ιδιαίτερη επιτυχία για τις περιοχές της κεντρικής Αμερικής, ένα αυτοματοποιημένο σύστημα πρόγνωσης ταχυπλημμυρών (flash floods) το οποίο χρησιμοποιεί το δείκτη καθοδήγησης και το δείκτη απειλητικότητας ταχυπλημμυρών που αποτελούν την ποσότητα της βροχής που απαιτείται για να φθάσει η στάθμη στην κοίτη στο όριο της υπερχείλισης και την επιπρόσθετη ποσότητα βροχόπτωσης για τρίωρη διάρκεια πάνω από το όριο που προκαλεί υπερχείλιση της ροής από την κοίτη [CAMI, 2009 · Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2010]. Η μεθοδολογία αυτή αναφέρεται σε ταχυπλημμύρες σε σχετικά μικρές λεκάνες απορροής που δεν έχουν σχέση με τις πλημμύρες που εμφανίζονται εκτός κοίτης στη μεσαίου μεγέθους λεκάνη απορροής του π. Έβρου. Ωστόσο, αποτελούν μια πρώτη ολοκληρωμένη συστηματική εφαρμογή πρόγνωσης πλημμυρών με χρήση δορυφορικών δεδομένων που εφαρμόζεται και χρησιμοποιείται σε επιχειρησιακό επίπεδο.

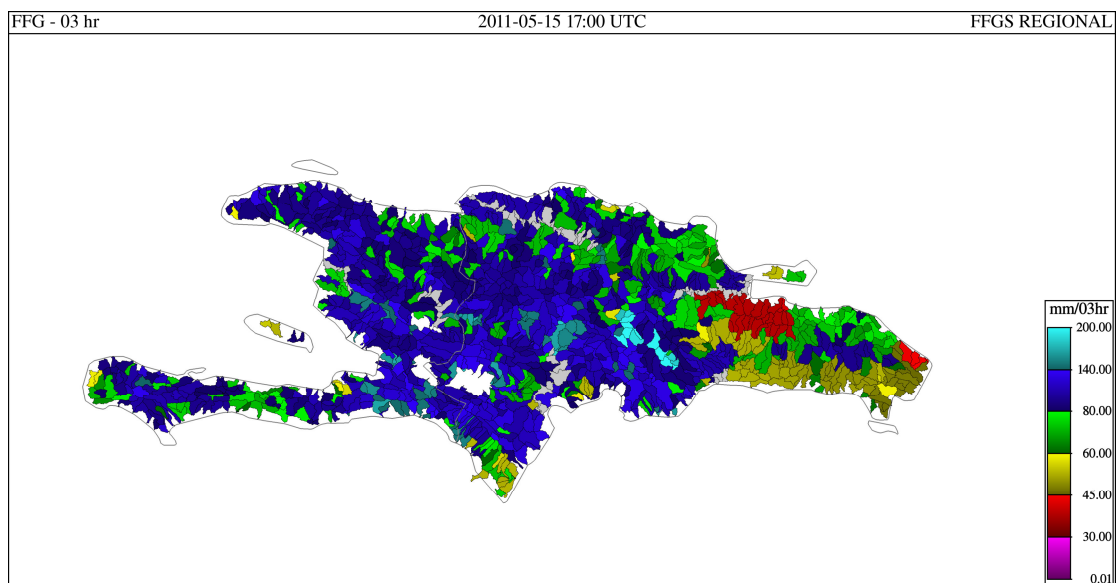
Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 2-1 και Σχήμα 2-2) φαίνονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δορυφορικών μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο για την Κεντρική Αμερική και την Αϊτή, περιοχές που βρίσκονται πλησίον του Ισημερινού. Στο Σχήμα 2-1 παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις των δεικτών ταχυπλημμυρών στην Κεντρική Αμερική. Οι δείκτες αυτοί, αντιπροσωπεύουν την επιπρόσθετη ποσότητα βροχόπτωσης σε μια περίοδο τριών ωρών που απαιτείται για να υπερχειλίσουν οι



κοίτες των ποταμών σε μικρά ρέματα τα οποία έχουν λεκάνες απορροής της τάξης των 200 km<sup>2</sup> (Georgakakos, 2007 · Georgakakos, 2008).



Σχήμα 2-1: Εκτιμήσεις δεικτών ταχυπλημμυρών στην Κεντρική Αμερική



Σχήμα 2-2: Εκτίμηση δεικτών ταχυπλημμυρών στην Αϊτή

### 2.3 Πρόγνωση πλημμυρών με χρήση της πλατφόρμας OpenMI

Λόγω των ολοένα αυξανόμενων πιέσεων στους υδατικούς πόρους εξαιτίας των επιπτώσεων των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (όπως υδροληψίες ή προσθήκη

ακαθάρτων υδάτων), η τρέχουσα περιβαλλοντική νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Οδηγία 2000/60/ΕΕ), θέτει ιδιαίτερα αυστηρά κριτήρια για την κατάσταση των υδατικών πόρων, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά.

Για την προσομοίωση πολύπλοκων διεργασιών και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους, υπάρχει ανάγκη για τη δημιουργία καλύτερων μοντέλων. Επειδή όμως κανένα μοντέλο δεν μπορεί από μόνο του να προσομοιώσει όλες τις διεργασίες με τον ίδιο ικανοποιητικό βαθμό [Gregersen and Blind, 2004], για το λόγο αυτό θα πρέπει να συνδυαστούν υφιστάμενα μοντέλα μαζί με πιθανά νέα βελτιωμένα μοντέλα δημιουργώντας ένα σύστημα μοντέλων. Συνεπώς με τη νέα αυτή θεώρηση κάθε μοντέλο αποτελεί ένα τμήμα του συστήματος και θα πρέπει αφενός μεν να μπορεί να συνεργαστεί με τα υπόλοιπα και αφετέρου να μπορεί να αντικατασταθεί ανά πάσα στιγμή από κάτι καλύτερο [Makrooulos et al., 2010].

Μια τέτοια δυνατότητα παρουσιάζει πολλαπλά οφέλη:

- Διευκολύνει την αναβάθμιση πολύπλοκων συστημάτων, καθώς όταν ένα μοντέλο του συστήματος βελτιώνεται ή ένα καλύτερο μοντέλο δημιουργείται (αντίστοιχο με υφιστάμενο του συστήματος), τότε μπορούν άμεσα να αντικαταστήσουν το παλαιότερο μοντέλο χωρίς να γίνουν αλλαγές στο σύστημα [Argent, 205].
- Επιτρέπει την απευθείας σύγκριση των επιπτώσεων διαφορετικών παραμετροποιήσεων σύνθετων συστημάτων (π.χ. σε συστήματα μοντελοποίησης κλίματος [Fowler and Ekstrom, 2009] ή διαχείρισης υδατικών πόρων [Makrooulos et al., 2008]).
- Επιτρέπει την αλλαγή πηγών δεδομένων αντικαθιστώντας τα μοντέλα του συστήματος που ενώνουν μια βάση δεδομένων με άλλα που παρέχουν σύνδεση με άλλη βάση δεδομένων.
- Επιτρέπει την αρμονική συνύπαρξη και εύρυθμη συνεργασία μοντέλων που προέρχονται από διαφορετικούς οίκους λογισμικού ή προγραμματιστές.

Μέχρι σήμερα δεν έχουν παρουσιαστεί συστήματα πρόγνωσης πλημμυρών με χρήση της πλατφόρμας συλλειτουργίας μοντέλων OpenMI. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η πρώτη λειτουργική της έκδοση διατέθηκε μόλις στο τέλος του 2005 και οι δημοσιεύσεις σχετικά με εφαρμογές της είναι ελάχιστες και αφορούν κυρίως την παρουσίαση της δομής του [Gregersen and Blind, 2004] και του τρόπου σύνδεσης υφιστάμενων προγραμμάτων Η/Υ με την πλατφόρμα [Gavardinas et al., 2005 · Gregersen et al., 2007] που αποτελούν σημεία ιδιαίτερου ερευνητικού ενδιαφέροντος.

Γενικότερα, η πλατφόρμα OpenMI έχει χρησιμοποιηθεί σε πολύ μικρό αριθμό σύνθετων πραγματικών μελετών και ερευνητικών προγραμμάτων κυρίως λόγω του περιορισμένου αριθμού συμβατών με την πλατφόρμα προγραμμάτων Η/Υ. Μάλιστα μέχρι σήμερα, προγράμματα ευρείας χρήσης του εμπορίου δεν είναι συμβατά με την εν λόγω πλατφόρμα (EPANET, SWMM, HecRAS, κλπ). Οι εφαρμογές που έχουν παρουσιαστεί κατά καιρούς σε διάφορα συνέδρια και ημερίδες έχουν τον χαρακτήρα παραδειγμάτων επίδειξης ή έρευνας.

## 2.4 Πρόγνωση πλημμυρών στον ποταμό Έβρο

Για την πρόγνωση πλημμυρών συγκεκριμένα στη λεκάνη απορροής του π. Έβρου δεν υπάρχουν σύγχρονες βιβλιογραφικές αναφορές, κάτι που είναι αναμενόμενο λόγω της έλλειψης, μέχρι πρόσφατα, αξιόπιστων πρωτογενών στοιχείων. Στο

παρελθόν, έχει εκπονηθεί μόνο μία διαχειριστική μελέτη από την Αμερικανική Εταιρεία Συμβούλων Μηχανικών Harza [Harza, 1953] κατόπιν κοινού αιτήματος Ελλάδας και Τουρκίας, η οποία δεν εφαρμόστηκε ποτέ. Ωστόσο η μελέτη αυτή είναι ούτως ή άλλως τοπικής σημασίας καθώς ασχολείται αποκλειστικά με τη διευθέτηση του π. Έβρου κατά μήκος της μεθοριακής γραμμής Ελλάδας – Τουρκίας.

Κατά καιρούς έχουν καταβληθεί διάφορες προσπάθειες για τη δημιουργία των προϋποθέσεων κάτω από τις οποίες θα μπορούσε να εκπονηθεί ένα ολοκληρωμένο διαχειριστικό σχέδιο για την πρόληψη των πλημμυρών κυρίως μέσα από το βήμα των Ηνωμένων Εθνών [Henry, 1971 · Ηνωμένα Έθνη, 1972]. Σε όλες όμως τις περιπτώσεις οι προσπάθειες αυτές έμειναν ανεκμετάλλευτες καθώς πέρα από μερικές γενικές επισημάνσεις δεν ήταν σε θέση να προσφέρουν ένα αποτέλεσμα ή μια μεθοδολογία, που θα αποτελούσε το εφαλτήριο για μετέπειτα έρευνα και μελέτη. Στη διεθνή βιβλιογραφία απαντώνται ελάχιστες δημοσιεύσεις σχετικές με την εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου διαφόρων υπολεκανών του π. Έβρου, όπως για παράδειγμα για τον Εργίνη [Bakanoşullari, 2006], για τον Τούντζα και τον Έβρο στη βουλγαρική επικράτεια [Astaras and Lambrinos, 1988 · Petkov et al., 2002]. Προφανώς η μεμονωμένη μελέτη υπολεκανών του ποταμού Έβρου δεν μπορεί να οδηγήσει σε γενικευμένα συμπεράσματα ούτε να χρησιμοποιηθεί για λόγους αντιπλημμυρικής προστασίας.

Όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 2.2, σε άλλες λεκάνες απορροής, έχουν καταρτιστεί επιτυχώς μοντέλα βροχής – απορροής χρησιμοποιώντας δεδομένα βροχόπτωσης προερχόμενα από μετρήσεις του δορυφόρου TRMM [Hazarika et al., 2007 · Harris et al., 2007 · Li et al., 2008]. Η συνεχής εξέλιξη της ποιότητας και η αύξηση της ποσότητας των δορυφορικών καταγραφών βροχόπτωσης σε συνάρτηση με την έλλειψη εφαρμογών τους σε μεσαίου μεγέθους λεκάνες απορροής, καθιστά πλέον επιτακτική (και εφικτή) τη διερεύνηση της δυνατότητας πρόγνωσης πλημμυρών [Fukami, 2005 · Bertolani et al., 2007] σε ευρωπαϊκό έδαφος και μάλιστα στη διασυνοριακή λεκάνη απορροής του π. Έβρου που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την υδροοικονομία και τις σχέσεις τριών κρατών, δυο εκ των οποίων είναι μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης.



**3**

**Πλατφόρμα  
συλλειτουργίας  
μοντέλων OpenMI**



## 3 Πλατφόρμα συλλειτουργίας μοντέλων OpenMI

### 3.1 Γενικά περί της πλατφόρμας OpenMI

Η πλατφόρμα OpenMI [Moore and Tindall, 2005 · Blind and Gregersen, 2005] είναι ένα πρωτόκολλο που καθορίζει μια διεπιφάνεια ανταλλαγής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μεταξύ μοντέλων τα οποία χρησιμοποιούν χρονικά μεταβαλλόμενα δεδομένα ή παράγουν χρονικά μεταβαλλόμενα αποτελέσματα [Moore et al., 2005]. Όταν εφαρμοστεί η πλατφόρμα αυτή, υφιστάμενα μοντέλα, ακαδημαϊκά ή εμπορικά, ελαφρώς τροποποιημένα [Makrooulos et al., 2009], μπορούν να εκτελούνται παράλληλα και να ανταλλάσσουν δεδομένα ή να επιτρέπουν πρόσβαση στα δεδομένα ή τα αποτελέσματά τους σε τρίτα προγράμματα σε κάθε χρονικό βήμα.

Η διαδικασία αυτή είναι ζωτικής σημασίας για τη χρήση των μοντέλων σε επίπεδο σχεδίασης και λειτουργίας. Η ενοποίηση αυτή διαφορετικών προγραμμάτων βοηθάει στην κατανόηση και πρόβλεψη της αλληλεπίδρασης των μεθόδων που εφαρμόζονται από τα μοντέλα και αποτελεί βασική προϋπόθεση για την πραγματοποίηση μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης όσον αφορά τη διαχείριση των υδάτων, όπως αυτή ορίζεται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία 2000/60/ΕΕ για τα νερά [EEL 327, 2000].

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η δυνατότητα που προσφέρεται μέσω της πλατφόρμας αυτής για την αντικατάσταση ενός ή περισσοτέρων μοντέλων, διατηρώντας παράλληλα τα υπόλοιπα. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να συγκριθούν άμεσα διαφορετικές υλοποιήσεις υπολογισμού φυσικών μεγεθών, να προστεθούν δυνατότητες ή να διορθωθούν προβλήματα στην προσομοίωση ενός συστήματος, χωρίς να απαιτηθούν ο εκ νέου σχεδιασμός και υλοποίησή του [Makrooulos, 2010].

Η αναγκαιότητα χρήσης της πλατφόρμας OpenMI στην παρούσα διατριβή, οφείλεται σε τρεις παράγοντες. Ο πρώτος είναι η πολυπλοκότητα της προσομοίωσης. Η δημιουργία ενός μόνο προγράμματος το οποίο θα αναλάμβανε να εκτελέσει όλες τις εργασίες που περιγράφονται στο προηγούμενο κεφάλαιο, θα αποτελούσε ιδιαίτερα δύσκολη εργασία στην κατάρτιση, εκσφαλμάτωση και συντήρησή του. Χωρίζοντάς το σε μικρότερα τμήματα, ο προγραμματισμός και ο έλεγχος κάθε τμήματος καθίσταται πολύ ευκολότερος.

Δεύτερος σημαντικός παράγοντας είναι η ανάγκη τροφοδότησης των μοντέλων προσομοίωσης με διαφορετικά πρωτογενή δεδομένα. Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιούνται τα δορυφορικά προϊόντα 3B42, 3B43, 3B42RT και τα επίγεια σύνολα μετρήσεων GPCC, CPC και των Αυτόματων Τηλεμετρικών Σταθμών του νομού Έβρου. Αντί να φτιαχτούν διαφορετικά προγράμματα για κάθε ένα σύνολο πρωτογενών δεδομένων που έχει τη δική του χωρική και χρονική κλίμακα, χρησιμοποιείται κάθε φορά στην πλατφόρμα OpenMI το επιθυμητό υποπρόγραμμα το οποίο περιέχει τα πρωτογενή δεδομένα που έχει αποφασίσει ο χρήστης να χρησιμοποιήσει στην προσομοίωση.

Τέλος, ο τρίτος καθοριστικός παράγοντας που οδήγησε στην υιοθέτηση της πλατφόρμας OpenMI στην παρούσα διατριβή είναι η επεκτασιμότητα και παραμετροποίηση του όλου συστήματος προσομοίωσης. Η επεκτασιμότητα επιτρέπει στον τελικό χρήστη να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε σύνολο δορυφορικών ή επίγειων μετρήσεων επιθυμεί, χωρίς τα ίδια τα μοντέλα να έχουν σχεδιαστεί με

εγγενή υποστήριξή τους. Αυτό κρίνεται απαραίτητο λόγω της αλματώδους εξέλιξης της χρήσης των δορυφορικών προϊόντων που μόνο τα τελευταία 9 έτη έχει συντελέσει στη δημοσίευση 6 διαφορετικών εκδόσεων για τα προϊόντα 3B42 και 3B42RT, ενώ ετοιμάζονται νεότερα προϊόντα τα οποία θα λαμβάνουν υπόψη τους δεδομένα και από άλλους δορυφόρους. Ανεξάρτητα από τη χωρική κλίμακα και τη χρονική διακρίσιμότητα των νεότερων δεδομένων, το σύστημα θα μπορεί επιτυχώς να προγνώσει τις πλημμύρες σε οποιαδήποτε λεκάνη απορροής του ζητηθεί. Στο σημείο αυτό υπεισέρχεται και η δυνατότητα παραμετροποίησης του συστήματος, δηλαδή ο ορισμός των γεωγραφικών συντεταγμένων που περικλείουν το ιδεατό ορθογώνιο στο εντός του οποίου λαμβάνουν χώρα οι υπολογισμοί αλλά και οι σύνδεσμοι στο διαδίκτυο για τον ορισμό των εξυπηρετητών παροχής πρωτογενών δεδομένων.

### 3.1.1 Προσομοίωση πολυσύνθετων διαδικασιών

Σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/ΕΕ [EEL 327, 2000] η ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων μπορεί να πραγματοποιηθεί με την προσομοίωση των υδρολογικών διεργασιών σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Τα επιφανειακά νερά δεν διαχωρίζονται πλέον από τα υπόγεια ύδατα και από τα παράκτια και θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ταυτόχρονα.

Η σύνταξη ενός και μόνο προγράμματος το οποίο θα προσομοίωνε επιτυχώς όλες τις φυσικές διεργασίες που περιλαμβάνει ο παραπάνω ορισμός της ολοκληρωμένης διαχείρισης, αφενός μεν θα οδηγούσε σε ένα νέο πρόγραμμα που δεν θα χρησιμοποιούσε υφιστάμενα μοντέλα (αφού δεν υπάρχει σήμερα κάποιο πρόγραμμα που να καλύπτει όλες τις απαιτήσεις της Οδηγίας) και αφετέρου το πρόγραμμα αυτό δεν θα ήταν ευέλικτο στην χρήση εναλλακτικών προγραμμάτων για την προσομοίωση ορισμένων διεργασιών [Argent, 2005]. Για παράδειγμα η εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας την ημιεμπειρική σχέση των Penman – Montieith ή τις εμπειρικές σχέσεις των Hargreaves, Blaney – Criddle ή Turc μεταξύ άλλων.

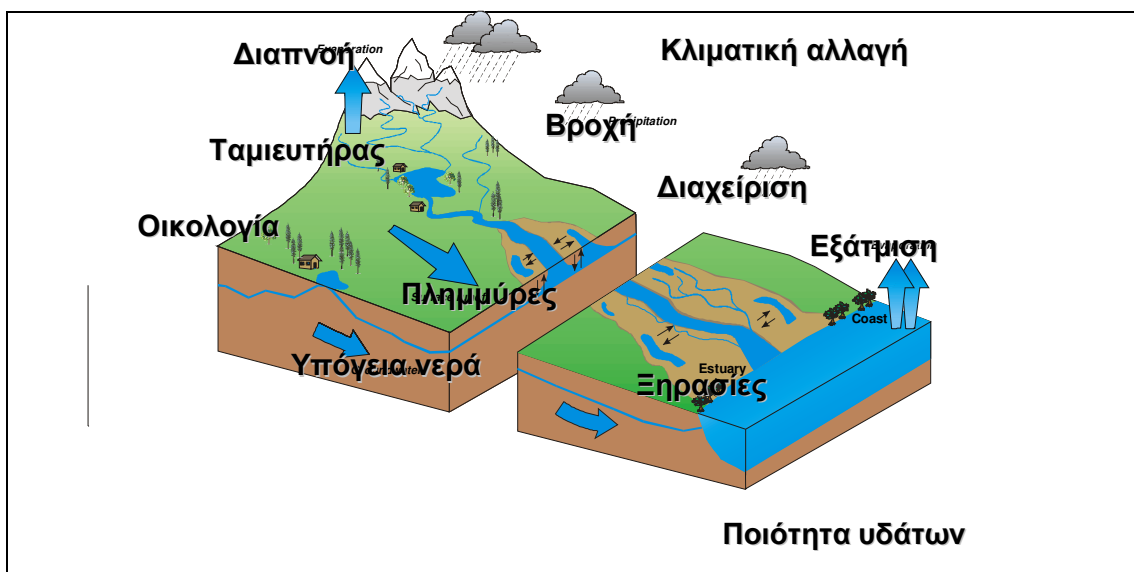
Φυσικά στην πράξη, η δημιουργία ενός και μόνο προγράμματος είναι πρακτικά ανέφικτο εγχείρημα λόγω του μεγάλου πλήθους και της πολυπλοκότητας των φυσικών διεργασιών που πολλές φορές μπορούν να προσομοιωθούν επιτυχώς με περισσότερους των ενός τρόπους. Αλλά ακόμα και αν αυτό δεν ήταν πρόβλημα, η ανάπτυξη και η συντήρησή του, θα απαιτούσαν υπερ-πολλαπλάσιο χρόνο συγκριτικά με τα συνήθη προγράμματα, λόγω της δυσκολίας επέμβασης σε μεγάλο πηγαίο κώδικα.

Εξάλλου, σήμερα υπάρχουν και χρησιμοποιούνται σε προσομοιώσεις μικρότερης κλίμακας, πολλά καταξιωμένα προγράμματα που έχουν αναπτυχθεί και ελεγχθεί μετά από συντονισμένες προσπάθειες πολλών επιστημόνων σε ένα βάθος αρκετών δεκαετιών [Tri, 2002 · USACE, 2003 · Maryland Dpt of the Environment, 2004]. Τα προγράμματα αυτά μπορεί να μην καλύπτουν όλο το φάσμα των φυσικών διεργασιών σύμφωνα με τη λογική της Οδηγίας 2000/60/ΕΕ, ωστόσο τα αποτελέσματα που παράγονται θεωρούνται αξιόπιστα λαμβάνοντας υπόψη κάθε φορά τις παραδοχές και τους περιορισμούς στην εφαρμογή τους. Επίσης ορισμένες διαδικασίες που δεν προσομοιώνονται επιτυχώς ή αγνοούνται από ένα πρόγραμμα, μπορεί να προσομοιώνονται επιτυχώς από άλλο.

Συνεπώς, ο μοναδικός ρεαλιστικός μηχανισμός για την προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου σε επίπεδο λεκάνης απορροής (Σχήμα 3-1), λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα υπόγεια ύδατα όσο και τα παράκτια, είναι η συλλειτουργία υφιστάμενων μοντέλων.



Με την προσέγγιση αυτή είναι εφικτή η σύνδεση μοντέλων που περιγράφουν διαφορετικές διεργασίες, επομένως και η προσομοίωση σύνθετων συστημάτων.



**Σχήμα 3-1:** Προσομοίωση υδατικού ισοζυγίου λεκάνης απορροής [Moore et al., 2004].

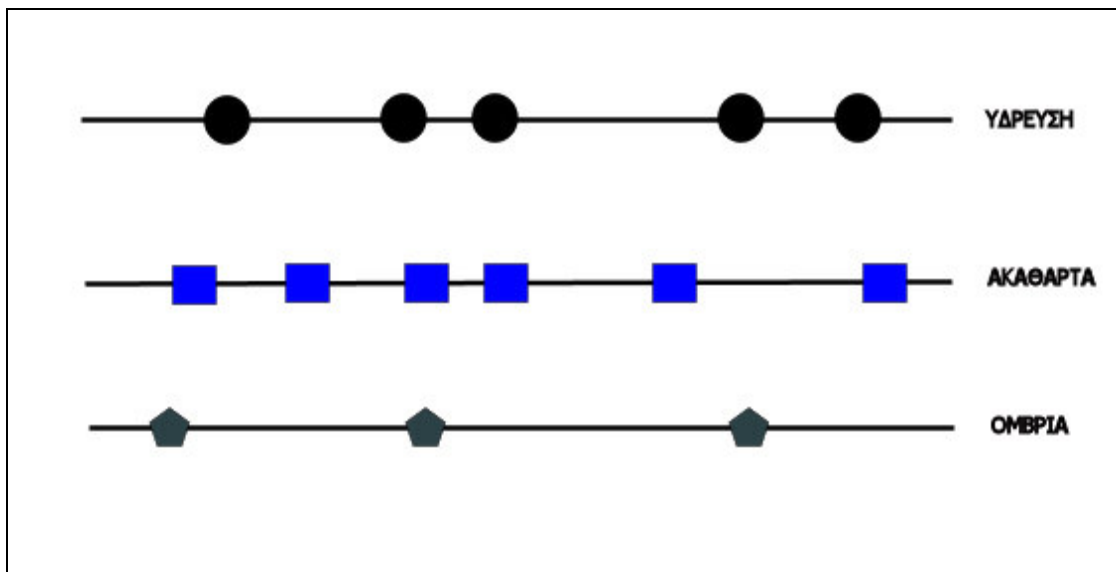
### 3.1.2 Ανταλλαγή δεδομένων και αποτελεσμάτων

Σε σύνθετες προσομοιώσεις, ενδέχεται τα αποτελέσματα ενός προγράμματος να χρησιμοποιούνται ως δεδομένα σε ένα άλλο πρόγραμμα. Η μεταφορά των δεδομένων αυτών δεν μπορεί να γίνεται αυτόματα καθώς πρόκειται για ξεχωριστά προγράμματα και ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωσή της είναι ανάλογος με το μέγεθος του μοντέλου. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η μελέτη των υδραυλικών δικτύων υποδομής σε μία πόλη.

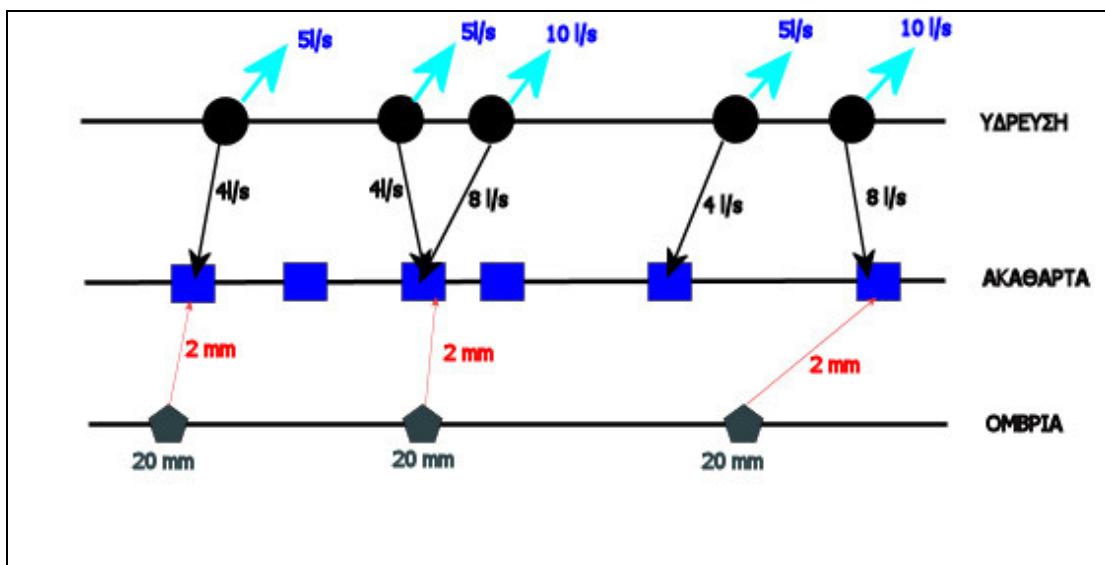
Μέχρι και σήμερα, η μελέτη των υδραυλικών δικτύων υποδομής πόλεων, χωριών και οικισμών (ύδρευση, αποχέτευση ομβρίων και αποχέτευση ακαθάρτων υδάτων) γίνεται χωριστά για το κάθε δίκτυο, παρόλο που υπάρχει σαφής αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Αυτό συμβαίνει για το λόγο ότι δεν υπάρχει ένα διαθέσιμο μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας και των τριών δικτύων. Αντίθετα υπάρχει μεγάλο πλήθος καταξιωμένων μοντέλων που χρησιμοποιούνται στην κάθε περίπτωση χωριστά [Rossman, 2000 · Gavardinas et al., 2005]. Ακόμα όμως και αν υπήρχε ένα μοντέλο που θα επέτρεπε τη συνολική προσομοίωση όλων των δικτύων ταυτόχρονα, η χρήση του θα ήταν ιδιαίτερα σύνθετη και πολύπλοκη σε τέτοιο βαθμό που θα αντισταθμίζονταν τα πλεονεκτήματα της χρήσης του από τον αυξημένο χρόνο εκμάθησης, τον όγκο των απαιτούμενων δεδομένων εισόδου, το χρόνο ρύθμισης της προσομοίωσης και τον ιδιαίτερα μεγάλο υπολογιστικό φόρτο.

Ας υποθεθεί ότι σε ένα τμήμα οδού υπάρχουν και τα τρία υδραυλικά δίκτυα (ύδρευση, ακάθαρτα και όμβρια). Οι θέσεις των υπολογιστικών κόμβων φαίνονται στο ακόλουθο Σχήμα 3-2. Οι κόμβοι αυτοί μπορεί να αναφέρονται σε θέσεις εισαγωγής ζητήσεων στα δίκτυα ύδρευσης, σε φρεάτια υδροσυλλογής στα δίκτυα ομβρίων και σε ιδιωτικές συνδέσεις ακαθάρτων στα δίκτυα αποχέτευσης ακαθάρτων. Το πλήθος και οι θέσεις των κόμβων κατά μήκος του τμήματος της οδού είναι διαφορετικά σε κάθε δίκτυο.

Ωστόσο είναι προφανές ότι υπάρχει σημαντική αλληλεπίδραση στη λειτουργία των τριών δικτύων υποδομής. Ένα μεγάλο ποσοστό περί 80% με 85% [ΕΥΔΑΠ, 1985] της υδρευτικής κατανάλωσης καταλήγει στα δίκτυα ακαθάρτων. Επίσης σε περιόδους βροχόπτωσης, οι απώλειες από τα δίκτυα ομβρίων και μέρος της διήθησης των ομβρίων υδάτων εισέρχονται στα δίκτυα ακαθάρτων. Αν υποθεθούν γνωστές οι ζητήσεις στους κόμβους του δικτύου ύδρευσης και θεωρηθεί ότι το 80% αυτών καταλήγουν στο δίκτυο ακαθάρτων, τότε η φόρτιση του δικτύου ακαθάρτων μπορεί εύκολα να υπολογιστεί όπως φαίνεται στο ακόλουθο Σχήμα 3-3. Στην περίπτωση βροχόπτωσης μπορεί να θεωρηθεί ότι ένα ποσοστό, για παράδειγμα το 10% της ολικής βροχόπτωσης είτε με τη μορφή απωλειών από το δίκτυο ομβρίων είτε απευθείας μέσω διήθησης στο έδαφος εισέρχεται στο δίκτυο ακαθάρτων [ΕΥΔΑΠ, 1985]. Σε κάθε περίπτωση όμως και για οποιοσδήποτε παραδοχές υιοθετηθούν, είναι προφανής η ανάγκη ανταλλαγής δεδομένων και αποτελεσμάτων από το ένα δίκτυο στο άλλο.



Σχήμα 3-2: Υπολογιστικοί κόμβοι υδραυλικών δικτύων υποδομών.



Σχήμα 3-3: Αλληλεπίδραση υδραυλικών δικτύων υποδομής.

Συνεπώς είναι ξεκάθαρη η αλληλεπίδραση των υδραυλικών δικτύων υποδομής και θα είναι καλύτερο να μελετώνται συνολικά. Εξάλλου μια ενδεχόμενη αλλαγή στη γεωμετρία ή στα υδραυλικά χαρακτηριστικά σε ένα από τα μοντέλα, πιθανώς να επηρεάσει τη λειτουργία και των υπολοίπων. Επομένως στο πλαίσιο μιας ολοκληρωμένης υδραυλικής μελέτης, ο μελετητής θα έπρεπε να είχε τη δυνατότητα προσομοίωσης της υδραυλικής λειτουργίας και των τριών υδραυλικών δικτύων.

### 3.2 Αρχές σχεδιασμού

Τα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν μέχρι τη δημοσίευση της πρώτης έκδοσης της πλατφόρμας OpenMI ήταν πάρα πολλά και ορισμένα εξ αυτών εκ πρώτης άποψης φαίνονται ανυπέρβλητα. Μερικά μόνο από τα σημαντικότερα θέματα που αντιμετωπίστηκαν είναι:

- Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται σήμερα έχουν γραφτεί σε πολλές διαφορετικές γλώσσες προγραμματισμού. Υπάρχουν επίσης μερικά που έχουν γραφτεί σε περισσότερες από μια γλώσσες προγραμματισμού.
- Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στα μοντέλα δεν είναι πάντα συμβατές. Για παράδειγμα το φυσικό μέγεθος της παροχής μπορεί να μετρείται σε  $m^3/s$ , σε  $L/s$ , σε  $ft^3/s$  ή σε  $gal/s$  μεταξύ άλλων. Συνεπώς για την ανταλλαγή πληροφοριών ενός μεγέθους θα πρέπει να υπάρχει και ένας μηχανισμός μετατροπής μονάδων.
- Πολύ συνηθισμένη είναι η ασυμβατότητα χωρικής πληροφορίας, που γίνεται ιδιαίτερα έντονη όταν για παράδειγμα συνεργάζεται ένα μονοδιάστατο μοντέλο με ένα δισδιάστατο ή τρισδιάστατο.
- Σε πολλές περιπτώσεις η χρονική ασυμβατότητα εμποδίζει την άμεση ανταλλαγή πληροφοριών. Ένα μοντέλο βροχής απορροής που χρησιμοποιεί ημερήσιο βήμα υπολογισμών δεν μπορεί να επικοινωνήσει άμεσα με ένα μοντέλο υπολογισμού της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής που υπολογίζει το μέγεθος αυτό κάθε πρώτο λεπτό της ώρας.
- Η φορά ανταλλαγής των δεδομένων μπορεί να ακολουθεί τη μορφή γραμμικής αλυσίδας μίας ή δυο κατευθύνσεων, οπότε η σύνδεση των μοντέλων μεταξύ τους θα πρέπει να είναι κατά το δυνατόν ευέλικτη και παραμετροποιήσιμη από τον τελικό χρήστη.

Τα προβλήματα αυτά αντιμετωπίζονται στις περισσότερες των περιπτώσεων επιτυχώς μέσα από τα ενσωματωμένα εργαλεία της πλατφόρμας OpenMI. Η λογική της αντιμετώπισης των προαναφερθέντων θεμάτων περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια.

#### 3.2.1 Γλώσσες προγραμματισμού

Ένα πολύ συνηθισμένο φαινόμενο είναι η χρήση παλαιότερων γλωσσών προγραμματισμού στον υπολογιστικό πυρήνα ενός μοντέλου (π.χ. Pascal, Fortran 77, C). Η μετάφραση των υπολογιστικών πυρήνων σε μια νεότερη γλώσσα προγραμματισμού μπορεί να επιφέρει πολλά οφέλη τόσο στους προγραμματιστές όσο και στους τελικούς χρήστες αφού θα εκμεταλλεύεται το υπολογιστικό τμήμα του προγράμματος όλες τις νέες τεχνολογίες, ωστόσο είναι εξαιρετικά επίπονη διαδικασία και εγκυμονεί κινδύνους. Συνήθως τα υπολογιστικά τμήματα των μεγάλων μοντέλων αποτελούνται από εκατομμύρια γραμμές κώδικα. Πολλές εντολές παλαιών γλωσσών προγραμματισμού δεν έχουν πλήρη συμβατότητα με τις αντίστοιχες νεότερες.

Εξάλλου ένα τέτοιο εγχείρημα θα απαιτούσε πολύ χρόνο και ο μεταφρασμένος κώδικας θα περιείχε πολλά λάθη που για να εντοπιστούν και να διορθωθούν απαιτείται το πέρασμα εκατοντάδων ωρών χρήσης του προγράμματος. Επομένως το μεταφρασμένο πρόγραμμα θα έχανε την αξιοπιστία του προκατόχου του.

Για το λόγο αυτό, οι εταιρείες και οι οργανισμοί κατασκευής επιστημονικού λογισμικού αποφεύγουν τη μετάφραση του κώδικα των υπολογισμών σε νεότερες γλώσσες προγραμματισμού. Αυτός παραμένει χωριστά από το γραφικό τμήμα του προγράμματος που συνηθέστερα περιλαμβάνει το περιβάλλον εισαγωγής και επεξεργασίας των δεδομένων και απεικόνισης των αποτελεσμάτων που παράγονται από το υπολογιστικό μέρος. Το γραφικό τμήμα του προγράμματος είναι στο πλείστο των περιπτώσεων γραμμένο σε μια σύγχρονη γλώσσα προγραμματισμού. Ο τελικός χρήστης δεν καταλαβαίνει τη μετάβαση από το γραφικό στο υπολογιστικό τμήμα, επομένως η εμπειρία του από τη χρήση του προγράμματος είναι ανεπηρέαστη από τη χρήση της παλαιάς τεχνολογίας στον υπολογιστικό πυρήνα.

**Πίνακας 3-1:** Κατάλογος συμβατών με το OpenMI μοντέλων.

<b>Εταιρεία / Ίδρυμα</b>	<b>Μοντέλο</b>
British geological survey & University of Birmingham	ZOOMQ3D
TU Darmstadt - Section of Engineering Hydrology and Water Management	SMUSI.OpenMI BlueM.Sim BlueM.Analyser
Halcrow Group Ltd	ISIS Professional v.3.1 ISIS Free v.3.1
UNESCO-IHE Institute for Water Education	SWAT, version IHE
National Technical University of Athens	RiSH-1D RMM-NTUA
TechnoLogismiki	TL WaterNet TL SewerNet
Hydrologic Engineering Center	HEC-RAS
Deltares	Sobek-Rural-CF Sobek-RE
Dutch Rijkswaterstaat, Waterdienst	Waqua, version Simona0811
BAW, Bundesanstalt Wasserbau	GEI
Wallingford Software	Info Works CS Info Works RS Info Works RS WQ
LicTek	RegularGrid
DHI	Mike 11 Mike SHE Mike Urban
KISTERS AG	WISKI-KiTSM

Με δεδομένο ότι δεν είναι επιθυμητός ο επαναπρογραμματισμός των υπολογιστικών τμημάτων σε νεότερη γλώσσα προγραμματισμού, το OpenMI παρέχει τη δυνατότητα σύνδεσης με αυτό μέσω ενός νέου κελύφους, που βασίζεται σε αυστηρές προδιαγραφές και που αναλαμβάνει την επικοινωνία μεταξύ του παλαιού υπολογιστικού τμήματος και της πλατφόρμας. Το 90% των αλλαγών που απαιτούνται για να αποκτήσει ένα υφιστάμενο μοντέλο συμβατότητα με την πλατφόρμα OpenMI

υλοποιούνται πρακτικά στο κέλυφος ενώ μόλις ένα 10% των αλλαγών – που είναι προαιρετικές και σαφώς ευκολότερες – πρέπει να γίνουν στον υφιστάμενο κώδικα.

Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται ότι τα παλαιότερα μοντέλα που αποτελούν την πλειονότητα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ελάχιστες επεμβάσεις, οι οποίες μπορούν μάλιστα να γίνουν και από προγραμματιστές που δεν έχουν γνώση του τρόπου λειτουργίας των μοντέλων από επιστημονική άποψη.

Κατά τη φάση υλοποίησης της πλατφόρμας OpenMI, οι προγραμματιστές του δημιούργησαν ένα μεγάλο πλήθος τέτοιων κελυφών για διάφορα υφιστάμενα μοντέλα [Gregersen et al., 2005]. Διαπιστώθηκε ότι στις περιπτώσεις αριθμητικών μοντέλων που χρησιμοποιούσαν χρονικά βήματα για τους υπολογισμούς τους, εμφανίζονταν πολλές ομοιότητες όσον αφορά τα κελύφη που παράχθηκαν, ασχέτων με τις χωρικές και χρονικές διακριτότητές τους [Sinding et al., 2005 · Gregersen et al., 2007]. Αποφασίστηκε να ενσωματωθεί στην πλατφόρμα ένα πρότυπο γενικό κέλυφος το οποίο με μικρές μόνο αλλαγές θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από πολλά παρόμοια προγράμματα. Το πρότυπο αυτό κέλυφος έχει μέχρι σήμερα χρησιμοποιηθεί επιτυχώς από πολλούς οργανισμούς και εκπαιδευτικά ιδρύματα [Fotopoulos and Gavardinias, 2005] (Πίνακας 3-1) για την επίτευξη συμβατότητας υφιστάμενων μοντέλων με την πλατφόρμα OpenMI.

Στην περίπτωση που τα προγράμματα είναι γραμμένα εξ ολοκλήρου σε μια σύγχρονη γλώσσα προγραμματισμού, τα προαναφερόμενα δεν ισχύουν και το κέλυφος μπορεί να συμπεριληφθεί στο πρόγραμμα χωρίς να περιοριστούν οι δυνατότητες του προγράμματος.

### 3.2.2 Μετατροπή μονάδων

Η μετατροπή των μονάδων είναι ένα γενικότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι τελικοί χρήστες των μοντέλων, είτε αυτά εντάσσονται στην πλατφόρμα OpenMI είτε χρησιμοποιούνται μεμονωμένα. Είναι πολύ συχνό ένα μοντέλο να χρησιμοποιεί το αγγλικό σύστημα μονάδων και τα δεδομένα του χρήστη να είναι στο μετρικό σύστημα (SI). Στην περίπτωση αυτή, καλείται ο τελικός χρήστης του μοντέλου, να μετατρέψει καταρχήν τα δεδομένα του από το μετρικό στο αγγλικό σύστημα, να εφαρμόσει το μοντέλο και στη συνέχεια να μετατρέψει τα αποτελέσματα από το αγγλικό σύστημα στο μετρικό. Επίσης αρκετά σύννηθες φαινόμενο είναι η χρήση διαφορετικών μονάδων του ίδιου μετρικού συστήματος για την περιγραφή του ίδιου φυσικού μεγέθους. Για παράδειγμα η απόσταση μεταξύ δυο σημείων μπορεί να εκφράζεται σε μέτρα ή σε χιλιόμετρα.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να είναι απλή στη φιλοσοφία της, ωστόσο γίνεται ιδιαίτερα περίπλοκη όταν τα δεδομένα δίδονται υπό μορφή διαγραμμάτων, οπότε η μετατροπή τους από το ένα σύστημα στο άλλο παύει να είναι απλή.

Στην πλατφόρμα OpenMI ο προγραμματιστής του μοντέλου ορίζει τους συντελεστές μετατροπής ενός οποιουδήποτε φυσικού μεγέθους στο αντίστοιχο μέγεθος του μετρικού συστήματος, ορίζοντας κάθε φορά την τιμή της παραμέτρου κλίμακας  $\kappa$  και την τιμή της παραμέτρου θέσης  $\theta$  της μετατροπής:

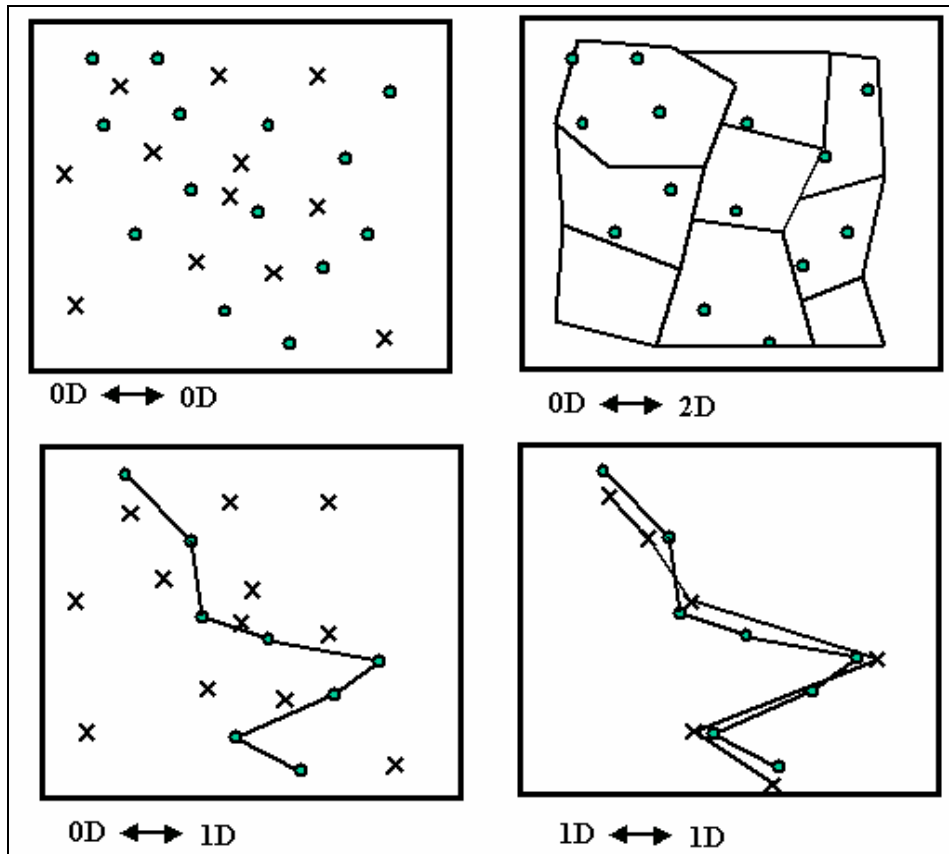
$$\tilde{x} = \theta + \kappa x \quad (3-1)$$

Όπου:  $\tilde{x}$ , η τιμή του μεγέθους στις επιθυμητές μονάδες  
 $x$ , η τιμή του μεγέθους στις αρχικές μονάδες μέτρησης

$\kappa$ , η παράμετρος κλίμακας  
 $\theta$ , η παράμετρος θέσης

### 3.2.3 Χωρική συμβατότητα

Η χωρική συμβατότητα των δεδομένων διαφορετικών μοντέλων είναι ένα πρόβλημα με τρία σκέλη. Καταρχήν μπορεί να αναφέρεται σε δεδομένα που χρησιμοποιούν διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων (HATT, WGS 84, EGM 96, κλπ) ή τύπους (καρτεσιανές ή κυλινδρικές).



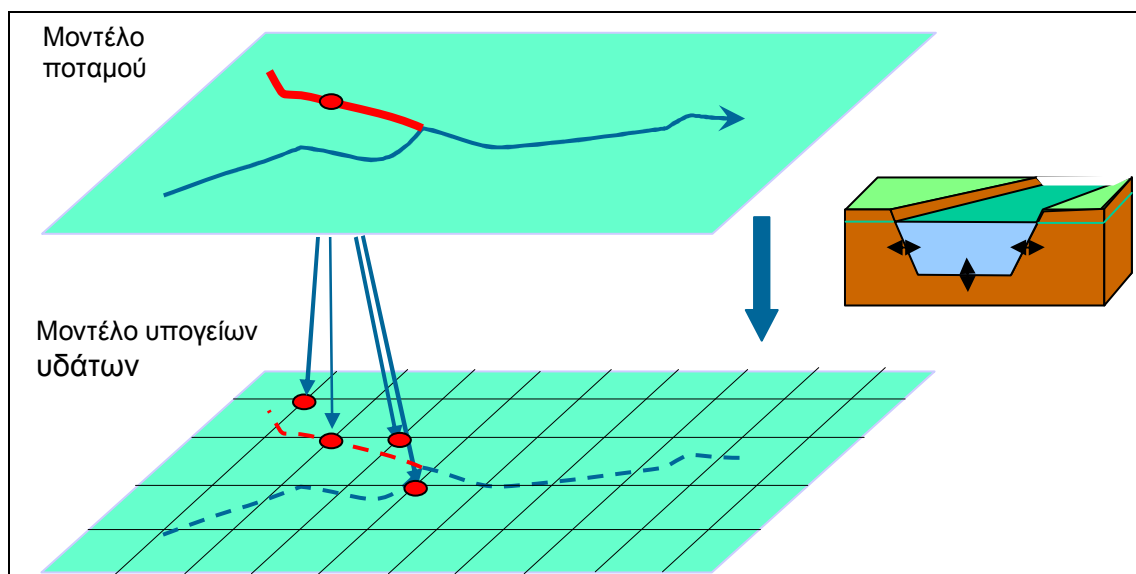
Σχήμα 3-4: Παραδείγματα χωρικών αντιστοιχίσεων [Sinding et al, 2005].

Ένα ακόμα ενδεχόμενο είναι τα δεδομένα να διαφοροποιούνται όσον αφορά τις διαστάσεις του χώρου απεικόνισής τους. Υπάρχουν δεδομένα χωρίς χωρική πληροφορία, δεδομένα που αναφέρονται σε μονοδιάστατους, δισδιάστατους ή τρισδιάστατους χώρους. Τέλος τα χωρικά ισοδιαστήματα μπορεί να διαφέρουν από δεδομένα σε δεδομένα, όπως για παράδειγμα σε δυο δισδιάστατα πλέγματα στα οποία το πρώτο αποτελείται από κύτταρα μεγέθους 1 x 1 m και το δεύτερο από κύτταρα μεγέθους 0.66 x 0.66 m.

Στο Σχήμα 3-4 παρουσιάζονται ορισμένα απλά παραδείγματα χωρικών αντιστοιχίσεων δεδομένων που περιγράφονται σε καρτεσιανές συντεταγμένες διαφορετικών ή ιδίων διαστάσεων. Στο Σχήμα 3-5 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα χωρικής αντιστοίχισης μονοδιάστατου μοντέλου προσομοίωσης ποτάμιας ροής με δισδιάστατο μοντέλο υπογείων υδάτων [Moore et al., 2004]. Η διαδικασία χωρικής αντιστοίχισης πραγματοποιείται σε δυο στάδια. Κατά το πρώτο στάδιο γίνεται αρχικοποίηση του χώρου δημιουργώντας ένα πίνακα μετατροπής ο οποίος θα

περιέχει τον ίδιο αριθμό γραμμών με αυτόν που έχουν τα δεδομένα προορισμού (destination) και τον ίδιο αριθμό στηλών με αυτόν που έχουν τα δεδομένα πηγής (source).

Στην τρέχουσα έκδοση του OpenMI υποστηρίζονται δεδομένα μηδενικής (σημεία), μίας (πολυγωνικές ευθείες) ή δυο (πολύγωνα) χωρικών διαστάσεων. Η αρχιτεκτονική της αντιστοίχισης που υλοποιείται στο δεύτερο στάδιο της διαδικασίας είναι απλή και βασίζεται είτε στο κριτήριο του πλησιέστερου σημείου είτε στην ελαχιστοποίηση του αντιστρόφου του τετραγώνου των αποστάσεων μεταξύ του σημείου πηγής και των σημείων προορισμού είτε σε παραλλαγές αυτών. Όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί μετατροπών δίνονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 3-2).



**Σχήμα 3-5:** Αντιστοίχιση 1-D ποταμού με 2-D υπογείων υδάτων [Moore et al., 2004].

**Πίνακας 3-2:** Υλοποιημένες μέθοδοι χωρικής αντιστοίχισης [Sinding et al., 2005].

Πηγή	Προορισμός	Μέθοδος
Σημείο (0-D)	Σημείο (0-D)	Πλησιέστερο, Ανάστροφο
	Πολυγωνική (1-D)	Πλησιέστερο, Ανάστροφο
	Πολύγωνο (2-D)	Μέσο, άθροισμα
Πολυγωνική (1-D)	Σημείο (0-D)	Πλησιέστερο, Ανάστροφο
	Πολυγωνική (1-D)	Πλησιέστερο, Ανάστροφο
	Πολύγωνο (2-D)	Σταθμισμένο μέσο ή άθροισμα
Πολύγωνο (2-D)	Σημείο (0-D)	Τιμή
	Πολυγωνική (1-D)	Σταθμισμένο μέσο ή άθροισμα
	Πολύγωνο (2-D)	Σταθμισμένο μέσο ή άθροισμα

### 3.2.4 Χρονική συμβατότητα

Τα μοντέλα που σχετίζονται με την υδραυλική και την υδρολογία εκτελούν υπολογισμούς που βασίζονται στην επιλογή ενός χρονικού βήματος. Τα περισσότερα χρησιμοποιούν ημερήσιο ή μηνιαίο βήμα [USACE, 1982 · Mimίκου et al., 1993 · Mimίκου et al., 2000] , υπάρχουν όμως και μοντέλα που χρησιμοποιούν πολύ μικρότερα χρονικά βήμα που φτάνουν έως και το 1 δευτερόλεπτο [Rossman, 2000].

Σε μια ολοκληρωμένη μελέτη διαχείρισης, τα προγράμματα προσομοίωσης των διαφόρων φυσικών διεργασιών συνήθως χρησιμοποιούν ποικίλα χρονικά βήματα, ανάλογα με το μέγεθος το οποίο μελετάται και την επιθυμητή ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Για παράδειγμα η προσομοίωση της μεταβολής του αποθηκευμένου όγκου σε έναν ταμιευτήρα αρκεί να υπολογίζεται ανά ημέρα στις περισσότερες των περιπτώσεων ενώ το τμήμα που αφορά τους ποιοτικούς υπολογισμούς στον ταμιευτήρα θα πρέπει να έχει πολύ μικρότερο χρονικό βήμα, της τάξεως της μίας ώρας [USACE, 1982 · Tillman et al., 1999].

Επομένως για να γίνει εφικτή η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ μοντέλων που χρησιμοποιούν διαφορετικά χρονικά βήματα θα πρέπει να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της χρονικής συμβατότητας μεταξύ τους.

Όταν εφαρμόζεται ένα μοντέλο, οι τιμές των εσωτερικών μεταβλητών του σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή υπολογίζονται με βάση τις αντίστοιχες τιμές τους την προηγούμενη χρονική στιγμή και τις εξωτερικές οριακές συνθήκες. Μόλις υπολογιστούν, οι τιμές που είχαν οι μεταβλητές την προηγούμενη χρονική στιγμή αντικαθίστανται με τις νέες τιμές που υπολογίστηκαν. Η μέθοδος αυτή επιταχύνει την εκτέλεση των προγραμμάτων και επιτρέπει τη διενέργεια σύνθετων υπολογισμών, καθώς οι απαιτήσεις σε μνήμη ελαχιστοποιούνται. Σε πιο σύνθετα προβλήματα, ενδέχεται να διατηρούνται στη μνήμη του προγράμματος οι τιμές ενός ή περισσότερων προηγούμενων βημάτων, ιδιαίτερα αν οι φυσικές διεργασίες βασίζονται στη «μνήμη» του συστήματος.

Όταν περισσότερα του ενός μοντέλα εφαρμόζονται στο πλαίσιο της πλατφόρμας OpenMI, θα πρέπει να μπορούν να παράσχουν σε άλλα μοντέλα τις τιμές των μεταβλητών που ζητούνται την τρέχουσα χρονική στιγμή ή προηγούμενων χρονικών στιγμών ανά πάσα στιγμή. Αν δε τα χρονικά βήματα δεν ταυτίζονται, ενδέχεται η χρονική στιγμή που ζητείται να βρίσκεται ενδιάμεσα των χρονικών στιγμών υπολογισμού του μοντέλου οπότε στην περίπτωση αυτή απαιτείται κάποιου είδους παρεμβολή. Τέλος υπάρχει η περίπτωση να ζητούνται οι τιμές των μεταβλητών σε μελλοντικές χρονικές στιγμές.

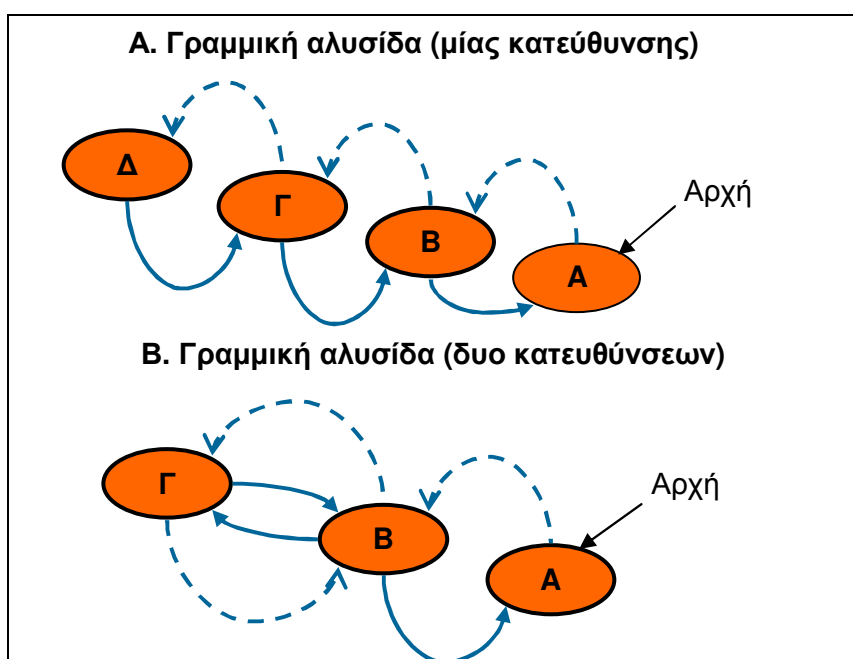
Για την κάλυψη όλων αυτών των περιπτώσεων, το OpenMI χρησιμοποιεί ένα είδος αποθηκευτικού χώρου (buffer), στον οποίο αποθηκεύονται οι τιμές των μεταβλητών από όλα τα προγράμματα που εφαρμόζονται στην πλατφόρμα. Στον αποθηκευτικό χώρο το OpenMI μπορεί να υπολογίσει ενδιάμεσες τιμές των μεταβλητών (σε χρονικές στιγμές που δεν έχουν υπολογιστεί) με γραμμική παρεμβολή ή να επεκτείνει τους υπολογισμούς εκτός του διαθέσιμου χρονικού εύρους. Με τον αποθηκευτικό χώρο, η πλατφόρμα αποκτά ένα είδος «μνήμης» που της επιτρέπει τη διευκόλυνση της ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ διαφορετικών προγραμμάτων.

Εκτός από τον αποθηκευτικό χώρο, έχουν ενσωματωθεί στο OpenMI διάφορες λειτουργίες χρονικής παρεμβολής δεδομένων, ώστε να καταστεί δυνατή η επιστροφή τιμών μεταβλητών σε ενδιάμεσες από τις υπολογισμένες χρονικές στιγμές. Στην απλούστερη μορφή τους οι λειτουργίες αυτές υλοποιούνται με τη μέθοδο της απλής γραμμικής ή εκθετικής παρεμβολής. Είναι όμως δυνατή η χρήση ειδικών σχέσεων συσχέτισης της μεταβολής μιας μεταβλητής με το χρόνο βάσει των οποίων θα γίνεται η χρονική παρεμβολή. Για τις σχέσεις αυτές υπεύθυνος είναι ο κατασκευαστής των μοντέλων ή σπανιότερα ο τελικός χρήστης.



### 3.2.5 Ευέλικτη παραμετροποιήσιμη συνδεσιμότητα

Τα μοντέλα μπορεί να συνδέονται με πολλούς τρόπους μεταξύ τους που λόγω του μεγάλου πλήθους συνδυασμών δεν μπορούν να προκαθοριστούν από την πλατφόρμα OpenMI. Δυο πολύ συνηθισμένες διατάξεις διασύνδεσης μοντέλων που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές προσομοίωσης υδραυλικών και υδρολογικών θεμάτων, παρουσιάζονται στο Σχήμα 3-6.



Σχήμα 3-6: Συνήθεις διατάξεις σύνδεσης μοντέλων

Στην πρώτη διάταξη μίας κατεύθυνσης, το μοντέλο Α ζητάει ένα δεδομένο από το Β. Το Β για να κάνει τους υπολογισμούς και να επιστρέψει το δεδομένο που του ζητήθηκε πίσω στο μοντέλο Α, ζητάει ένα δεδομένο από ένα τρίτο πρόγραμμα Γ. Το πρόγραμμα Γ με τη σειρά του ζητάει στοιχεία από το Δ. Το Δ εκτελεί τους υπολογισμούς και επιστρέφει την τιμή που του ζητήθηκε από το μοντέλο Γ στο τελευταίο. Ομοίως το Γ επιστρέφει την τιμή που του ζητήθηκε από το μοντέλο Β και τέλος το Β επιστρέφει την τιμή στο μοντέλο από το οποίο άρχισε η διαδικασία ανταλλαγής, το Α. Αν και στη διαδικασία που περιγράφηκε υπεισέρχονται τέσσερα μοντέλα, δεν υπάρχει περιορισμός ως προς το πλήθος των εμπλεκόμενων προγραμμάτων.

Στη δεύτερη διάταξη δυο κατευθύνσεων, το μοντέλο Α ζητάει ένα δεδομένο από το μοντέλο Β. Το μοντέλο Β ζητάει με τη σειρά του ένα δεδομένο από το μοντέλο Γ για να υπολογίσει το δεδομένο που του ζητήθηκε από το Α. Αρχίζει μια σειρά ανταλλαγών μεταξύ των μοντέλων Β και Γ έως ότου υπολογιστεί η τιμή που ζήτησε το Β από το Γ. Τέλος το μοντέλο Β επιστρέφει την τιμή που ζητήθηκε αρχικά από το Α. Η διάταξη αυτή περιγράφηκε με την απλούστερη μορφή της, με τρία μοντέλα, δυο εκ των οποίων εμπλέκονται σε μια σειρά διαδοχικών ανταλλαγών δεδομένων. Ωστόσο δεν υπάρχει περιορισμός ούτε ως προς το ολικό πλήθος μοντέλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ούτε ως προς το πλήθος των μοντέλων που εμπλέκονται σε πολλαπλές διαδοχικές ανταλλαγές δεδομένων.

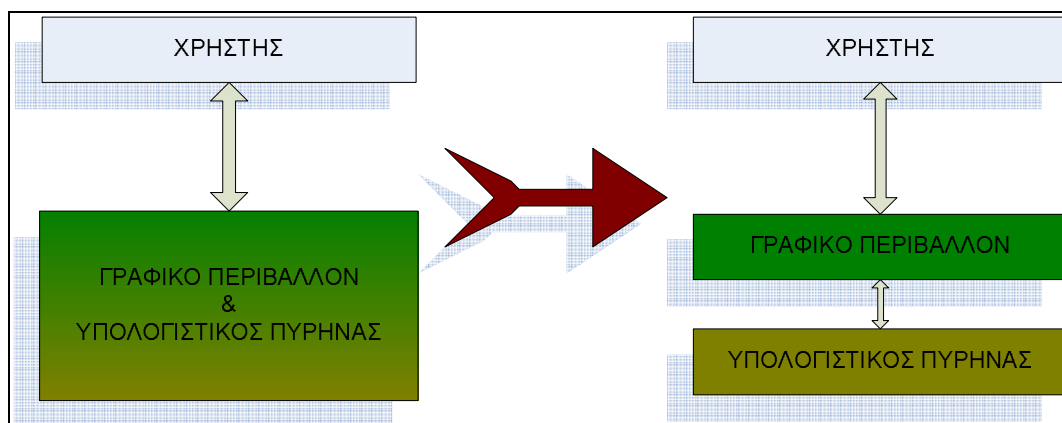
### 3.3 Διαδικασία τροποποίησης μοντέλων

Παρόλο που ο σχεδιασμός και η υλοποίηση της πλατφόρμας OpenMI έγινε με κύριο κριτήριο τη συμβατότητά της με υφιστάμενα μοντέλα, εντούτοις δεν είναι εφικτή η απόκτηση συμβατότητας μεταξύ της πλατφόρμας και των μοντέλων αυτών χωρίς να υπάρξουν επεμβάσεις στον πηγαίο κώδικα των μοντέλων. Για το λόγο αυτό η διαδικασία τροποποίησης υφιστάμενων προγραμμάτων προϋποθέτει την πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα των προγραμμάτων αυτών [Goodall et al., 2008].

Δεν υπάρχει μία μόνο διαδικασία για να αποκτήσουν τα μοντέλα συμβατότητα με την πλατφόρμα, υπάρχουν όμως γενικοί κανόνες οι οποίοι σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να τηρηθούν και ειδικότερες οδηγίες οι οποίες είναι προαιρετικές μεν αλλά αν εφαρμοστούν τότε η διασύνδεση των μοντέλων με την πλατφόρμα OpenMI είναι πιο ευέλικτη και προσφέρει περισσότερες δυνατότητες στον τελικό χρήστη. Η πλατφόρμα OpenMI έχει ενσωματωμένα εργαλεία για τη διευκόλυνση της τροποποίησης υφιστάμενων μοντέλων. Στη συνέχεια αναλύονται οι γενικοί κανόνες και παρουσιάζονται τα ενσωματωμένα εργαλεία που μπορεί να χρησιμοποιηθούν από τους προγραμματιστές των μοντέλων για την τροποποίησή τους.

#### 3.3.1 Διαχωρισμός γραφικού περιβάλλοντος και υπολογισμών

Στην περίπτωση που ο υπολογιστικός πυρήνας του μοντέλου και το γραφικό του περιβάλλον έχουν υλοποιηθεί μαζί, απαιτείται ο διαχωρισμός τους (Σχήμα 3-7). Η διαδικασία αυτή είναι υποχρεωτική και ουσιαστικά είναι το δυσκολότερο βήμα της όλης μετατροπής. Από την πλευρά του τελικού χρήστη η αλλαγή αυτή δεν γίνεται αντιληπτή. Ο χρήστης εξακολουθεί να χρησιμοποιεί το γραφικό περιβάλλον για την εισαγωγή των δεδομένων και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Εσωτερικά όμως το πρόγραμμα αποκτάει μια αμφίδρομη διασύνδεση μεταξύ του γραφικού περιβάλλοντος και του υπολογιστικού πυρήνα.



Σχήμα 3-7: Διαχωρισμός γραφικού περιβάλλοντος και υπολογισμών.

Το σκεπτικό πίσω από τη μεταβολή αυτή είναι η απομόνωση του υπολογιστικού πυρήνα και η αυτόνομη λειτουργία του με τέτοιο τρόπο ώστε αν τροφοδοτηθεί με δεδομένα από μια άλλη πηγή (για παράδειγμα ένα άλλο πρόγραμμα) να επιστρέψει αποτελέσματα στην καλούσα πηγή ή σε κάποιο άλλο πρόγραμμα. Η αλληλεπίδραση αυτή με άλλο ή με άλλα προγράμματα θα πρέπει να μην είναι ορατή στο χρήστη, να μην πραγματοποιείται μέσω ενός γραφικού περιβάλλοντος.

Επομένως, μετά το διαχωρισμό του υπολογιστικού πυρήνα και του γραφικού περιβάλλοντος, το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δυο τρόπους. Μεμονωμένα όπως και πριν το διαχωρισμό, με αλληλεπίδραση του χρήστη με το γραφικό περιβάλλον και με αυτόματη διασύνδεση του περιβάλλοντος αυτού με το τμήμα των υπολογισμών ή ως τμήμα της πλατφόρμας OpenMI, η οποία θα αναλάβει την τροφοδοσία του υπολογιστικού πυρήνα με δεδομένα που θα προέρχονται από το χρήστη ή από άλλα μοντέλα και τη συγκομιδή των αποτελεσμάτων που θα παράγονται από το πρόγραμμα εκ μέρους των καλούντων μοντέλων.

Στις περισσότερες των περιπτώσεων, τα διάφορα προγράμματα μεταγλωττίζονται από πηγαίο κώδικα σε εκτελέσιμα αρχεία. Τα εκτελέσιμα αρχεία είναι εξ ορισμού αυτόνομα και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν από άλλα προγράμματα όπως για παράδειγμα από την πλατφόρμα OpenMI. Επομένως είναι αναγκαίο οι υπολογιστικοί πυρήνες να μεταγλωττιστούν σε αρχεία δυναμικών βιβλιοθηκών (dynamic link libraries, DLL).

Τα βήματα για το διαχωρισμό του υπολογιστικού πυρήνα έχουν ως εξής:

- Απομάκρυνση του υπολογιστικού πυρήνα από το πρόγραμμα και αλλαγή αυτού ώστε να μπορεί να μεταγλωττιστεί ως δυναμική βιβλιοθήκη.
- Προσθήκη στον υπολογιστικό πυρήνα μιας λειτουργίας που θα μπορεί να χρησιμοποιείται για μια πλήρη προσομοίωση.
- Κλήση της λειτουργίας αυτής από το γραφικό περιβάλλον και έλεγχος των παραγόμενων αποτελεσμάτων ως προς την ορθότητά τους.

### 3.3.2 Τροποποίηση υπολογιστικού πυρήνα

Κάθε φορά που χρησιμοποιείται ο υπολογιστικός πυρήνας ενός μοντέλου μέσα από την πλατφόρμα OpenMI, απαιτείται η αρχικοποίηση του μοντέλου, η εκτέλεση ενός ή περισσοτέρων χρονικά μεταβαλλόμενων υπολογισμών και ο τερματισμός του με απελευθέρωση της καταλαμβανόμενης στον Η/Υ μνήμης. Μια λογική προσέγγιση για την επίτευξη των παραπάνω είναι να τροποποιηθεί ο υπολογιστικός πυρήνας στην περίπτωση που δεν υποστηρίζει τα προαναφερόμενα, προσθέτοντας τέσσερις τουλάχιστον λειτουργίες.

Με την πρώτη λειτουργία θα πρέπει το πρόγραμμα να διαβάζει τα δεδομένα και να αρχικοποιεί τους πίνακες και τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται κατά τους υπολογισμούς.

Με τη δεύτερη λειτουργία θα πρέπει να εκτελούνται οι υπολογισμοί για ένα μόνο χρονικό βήμα. Η λειτουργία αυτή μπορεί να επαναλαμβάνεται πολλές φορές, έως ότου ολοκληρωθούν οι υπολογισμοί σε όλο το χρονικό διάστημα που αφορά την επίλυση. Είναι δε η μόνη λειτουργία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί περισσότερες της μίας φορές κατά τη διάρκεια κλήσης του μοντέλου.

Χρησιμοποιώντας την τρίτη λειτουργία, το πρόγραμμα θα κλείνει όποια αρχεία δεδομένων έχει ανοίξει και θα παράγει ένα αρχείο αποτελεσμάτων. Τέλος με την τέταρτη λειτουργία, το μοντέλο θα απελευθερώνει τη μνήμη του Η/Υ που έχει καταλάβει με τους πίνακες και τις μεταβλητές που χρησιμοποιεί και θα διαγράφει τον εαυτό του από τη μνήμη του συστήματος.

Ο υπολογιστικός πυρήνας επιδέχεται περαιτέρω τροποποιήσεων, όμως οι προαναφερόμενες αλλαγές είναι οι βασικές αλλαγές που θα πρέπει σε κάθε

περίπτωση να γίνουν ώστε το μοντέλο να αποκτήσει μια καταρχήν συμβατότητα με την πλατφόρμα OpenMI. Στη συνέχεια της διαδικασίας τροποποίησης αναφέρονται και μερικές προαιρετικές αλλαγές που παρέχουν μεγαλύτερη ευελιξία στον τελικό χρήστη προσφέροντάς του παραπάνω δυνατότητες.

### 3.3.3 Καθορισμός αντικειμένων ανταλλαγής

Ένα από τα βασικότερα στάδια της μετατροπής ενός μοντέλου είναι ο καθορισμός των αντικειμένων ανταλλαγής, δηλαδή του είδους της πληροφορίας που το μοντέλο μπορεί να δεχτεί από τρίτες πηγές ή να δώσει σε άλλα μοντέλα. Κάθε αντικείμενο ανταλλαγής, δηλαδή κάθε φυσικό μέγεθος που αναπαριστάται εσωτερικά στο μοντέλο με μια μεταβλητή, θα πρέπει να συνοδεύεται από ορισμένες απαραίτητες πληροφορίες (Πίνακας 3-3) για να γίνει εφικτή η χρήση του μέσα από την πλατφόρμα.

**Πίνακας 3-3:** Πληροφορίες αντικειμένων ανταλλαγής [Gijssbers et al., 2007].

Ιδιότητα	Περιγραφή
Ονομασία	Μια αλφαριθμητική ονομασία του αντικειμένου, π.χ. παροχή
Διαστάσεις	Σημείο, πολυγωνική, πολύγωνο ή χωρίς διαστάσεις
Κωδικός	Μια (μοναδική) ονομασία του αντικειμένου, π.χ. Q
Μονάδες	Οι μονάδες μέτρησης της μεταβλητής, π.χ. m <sup>3</sup> /s
Θέση	Προσδιορίζεται αν μπορεί να εισαχθεί, εξαχθεί ή και τα δυο

Ένα μοντέλο μπορεί να περιέχει μεταβλητές εισόδου ή μεταβλητές εξόδου ή μεταβλητές και των δυο κατηγοριών. Επίσης μπορεί να παρέχει πρόσβαση σε εσωτερικά υπολογιζόμενες μεταβλητές, δίνοντας έτσι στο χρήστη τη δυνατότητα να παρακάμπτει ολόκληρα υπολογιστικά του τμήματα.

Για παράδειγμα ένα μοντέλο υδατικού ισοζυγίου μπορεί να έχει ως μεταβλητές εισόδου την κατακρήμνιση και τη θερμοκρασία μεταξύ άλλων και ως μεταβλητή εξόδου την απορροή. Ωστόσο μπορεί να δώσει στο χρήστη πρόσβαση στην ενδιάμεση μεταβλητή της εξάτμισης, η οποία υπολογίζεται από το πρόγραμμα με βάση κάποιον τύπο και τις μετεωρολογικές μεταβλητές. Ο χρήστης μπορεί να παρέχει στο πρόγραμμα τις τιμές της εξάτμισης, όπως αυτές έχουν υπολογιστεί με τη βοήθεια ενός τρίτου μοντέλου, παρακάμπτοντας τον ενσωματωμένο τρόπο υπολογισμού τους.

### 3.3.4 Δημιουργία κελύφους επικοινωνίας

Το κέλυφος επικοινωνίας είναι το πρωτοποριακό τμήμα της πλατφόρμας με τη βοήθεια του οποίου γεφυρώνεται το τεχνολογικό χάσμα μεταξύ του υφιστάμενου μοντέλου που έχει γραφεί σε παλαιότερη γλώσσα προγραμματισμού (Basic, Fortran 77, C, Pascal, C++, κλπ) και της πλατφόρμας OpenMI που έχει γραφεί στη νεότερη γλώσσα προγραμματισμού .NET. Το βήμα αυτό είναι απαραίτητο μόνο για μοντέλα που δεν είναι γραμμένα στη νεότερη γλώσσα προγραμματισμού αλλά σε κάποια παλαιότερη.

Το κέλυφος επικοινωνίας είναι μια κλάση γραμμένη σε C# (μια εκ των ενσωματωμένων γλωσσών προγραμματισμού .NET) η οποία από τη μία συνδέει την πλατφόρμα OpenMI και από την άλλη τον υπολογιστικό πυρήνα του μοντέλου. Ο τελικός χρήστης δεν αντιλαμβάνεται την ύπαρξη του κελύφους επικοινωνίας,

καθόσον αυτό χρησιμοποιείται αυτόματα από την πλατφόρμα κάθε φορά που είναι αναγκαία η επικοινωνία με τον υπολογιστικό πυρήνα του μοντέλου.

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση του κελύφους επικοινωνίας είναι [Gijssbers et al., 2007]:

- Δυνατότητα χρήσης μοντέλων που έχουν γραφτεί σε παλαιότερες γλώσσες προγραμματισμού.
- Διαχωρισμό του τμήματος που σχετίζεται με την πλατφόρμα OpenMI από το υπολογιστικό τμήμα. Έτσι κάθε φορά που αναβαθμίζεται η πλατφόρμα, δεν είναι απαραίτητο να αλλάζει ο πηγαίος κώδικας στο υπολογιστικό τμήμα παρά μόνο το κέλυφος επικοινωνίας.
- Το μοντέλο μπορεί να εφαρμόζεται αυτόνομα χωρίς τη χρήση της πλατφόρμας, όπως ακριβώς συνέβαινε πριν τη μετατροπή του. Φυσικά για την αυτόνομη εφαρμογή του, προϋπόθεση είναι η ύπαρξη ενός γραφικού περιβάλλοντος εργασίας.

Το κέλυφος επικοινωνίας υπάρχει ήδη σε μια βασική του μορφή στην πλατφόρμα OpenMI. Αυτό κατέστη δυνατό γιατί τα υδραυλικά και τα υδρολογικά μοντέλα παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες [Moore et al., 2005]. Άλλα μοντέλα όπως τα οικολογικά ή τα οικονομικά, ενώ μπορούν να χρησιμοποιήσουν το ενσωματωμένο κέλυφος εργασίας που υπάρχει, ενδεχομένως να απαιτούνται μεγαλύτερης έκτασης αλλαγές απ' ότι στην περίπτωση υδραυλικών ή υδρολογικών μοντέλων. Σε κάθε περίπτωση, το ενσωματωμένο κέλυφος επικοινωνίας θα πρέπει να τροποποιηθεί ώστε να αντικατοπτρίζει τις απαιτήσεις, ανάγκες και πλεονεκτήματα του μοντέλου.

### 3.3.5 Εισαγωγή του μοντέλου στην πλατφόρμα

Το τελευταίο στάδιο για την απόκτηση συμβατότητας με την πλατφόρμα OpenMI είναι η εισαγωγή του μοντέλου σε αυτή, ώστε να αντιληφθεί η πλατφόρμα ότι υπάρχει το μοντέλο αυτό που είναι συμβατό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια ενδεχόμενη προσομοίωση του τελικού χρήστη.

Λόγω του σχεδιασμού της, η πλατφόρμα περιέχει πληροφορίες για όλα τα μοντέλα που αφενός μεν έχουν εγκατασταθεί επιτυχώς στον υπολογιστή του χρήστη και αφετέρου είναι συμβατά με αυτή και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις προσομοιώσεις. Μόλις ολοκληρωθούν οι απαραίτητες προαναφερόμενες διαδικασίες τροποποίησης, θα πρέπει να εισαχθεί το μοντέλο στην πλατφόρμα, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από αυτή σε μελλοντικές προσομοιώσεις.

```
<?xml version="1.0"?>
<LinkableComponent
Type="Oatc.OpenMI.Examples.ModelComponents.CPC.Wrapper.CPCOpen
MIComponent"
Assembly="Oatc.OpenMI.Examples.ModelComponents.CPC.Wrapper.dll
">
  <Arguments>
    <Argument Key="FilePath" ReadOnly="true" Value=" " />
  </Arguments>
</LinkableComponent>
```

**Σχήμα 3-8:** Παράδειγμα αρχείου ένταξης μοντέλου

Η ένταξη του μοντέλου γίνεται με τη χρήση ενός XML αρχείου που έχει την κατάληξη `.omi` και βρίσκεται στον ίδιο φάκελο με τον υπολογιστικό πυρήνα του μοντέλου. Ένα τυπικό παράδειγμα ένταξης μοντέλου που ονομάζεται `ModelType` στην πλατφόρμα `OpenMI` δίδεται στο Σχήμα 3-8 [Fotopoulos and Gavardinas, 2005]. Ο υπολογιστικός του πυρήνας είναι μια δυναμική βιβλιοθήκη (`dll`) που ονομάζεται `model.dll` και βρίσκεται στον ίδιο φάκελο με το εν λόγω αρχείο ένταξης.

### 3.3.6 Προχωρημένες δυνατότητες

Αν και οι ακόλουθες δυνατότητες είναι προαιρετικές στη διαδικασία μετατροπής ενός υφιστάμενου μοντέλου ώστε να αποκτήσει αυτό συμβατότητα με την πλατφόρμα `OpenMI`, αν υλοποιηθούν προσδίδουν περισσότερες δυνατότητες στον τελικό χρήστη και μεγαλύτερη ευελιξία στη διασύνδεσή του με την πλατφόρμα. Στις περισσότερες των περιπτώσεων η ενσωμάτωση των προχωρημένων δυνατοτήτων με μικροαλλαγές στον πηγαίο κώδικα του μοντέλου και στο κέλυφος αυτού είναι απλή υπόθεση. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις κατά τις οποίες απαιτούνται εκτεταμένες αλλαγές και για το λόγο αυτό κρίθηκε ότι οι παρακάτω λειτουργίες δεν θα αποτελούν μέρος των υποχρεωτικών προδιαγραφών συμβατότητας.

Η βήμα – προς – βήμα επίλυση με παύση σε κάθε χρονικό βήμα, αποτελεί μια πολύ συνηθισμένη πρακτική σε εφαρμογές μοντέλων. Αντί να εφαρμοσθεί το μοντέλο ακαριαία καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου επίλυσης ή προσομοίωσης, εφαρμόζεται σταδιακά και κάθε φορά που επιλύεται μια χρονική στιγμή επιτυχώς, το πρόγραμμα θέτει τον εαυτό του σε κατάσταση αδράνειας, περιμένοντας εντολή του χρήστη για συνέχιση της διαδικασίας επίλυσης. Ο χρήστης έχει εν τω μεταξύ τη δυνατότητα να εξετάσει τις τιμές των ενδιάμεσων μεταβλητών και αποτελεσμάτων. Μετά το πέρας της εξέτασης, η διαδικασία της επίλυσης μπορεί να συνεχιστεί με εντολή του χρήστη ή να διακοπεί. Η βήμα – προς – βήμα επίλυση μπορεί να επιτευχθεί ακόμα και αν μερικά από τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται σε μια προσομοίωση την υποστηρίζουν. Σε αυτή την περίπτωση, η διακοπή της επίλυσης θα είναι εφικτή μόνο όταν η λογική ροή της επίλυσης βρίσκεται σε ένα από τα μοντέλα που την υποστηρίζουν.

Μια άλλη προχωρημένη λειτουργία είναι η δυνατότητα να γίνονται οι υπολογισμοί με αντίστροφο χρονικά βήμα, δηλαδή με φορά προς το παρελθόν. Η λειτουργία αυτή συνδυαζόμενη με τη βήμα – προς – βήμα επίλυση μπορεί να αποβεί εξαιρετικά χρήσιμη, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις προσομοιώσεων στις οποίες χρησιμοποιούνται πολλά μοντέλα. Ο χρήστης εξετάζει διαδοχικά τις τιμές των ενδιάμεσων μεταβλητών και αποτελεσμάτων. Στην περίπτωση που διαπιστωθεί ένα μη επιθυμητό αποτέλεσμα, μπορεί να πάει ένα ή περισσότερα χρονικά βήματα προς τα πίσω και να διερευνήσει το λόγο εμφάνισης της μη επιθυμητής κατάστασης. Η λειτουργία αυτή είναι δυνατή μόνο όταν όλα τα μοντέλα που συμμετέχουν σε μια συγκεκριμένη προσομοίωση την υποστηρίζουν.

Για την καλύτερη εκσφαλμάτωση (`debugging`) του συστήματος των διασυνδεδεμένων μοντέλων προσφέρεται η προαιρετική λειτουργία του ελέγχου λαθών. Τα λάθη όσον αφορά τη λογική της πλατφόρμας χωρίζονται γενικά σε τρεις κατηγορίες:

- σε σφάλματα που οφείλονται στη λειτουργία ενός εκ των διασυνδεδεμένων προγραμμάτων
- σε λανθασμένα δεδομένα εισόδου
- σε κακή διασύνδεση μεταξύ δυο ή περισσότερων μοντέλων

Σε κάθε περίπτωση με τη χρήση των ενσωματωμένων λειτουργιών εκσφαλμάτωσης, ο προγραμματιστής του μοντέλου έχει δυο επιλογές. Μπορεί να σταματήσει όλη τη διαδικασία της προσομοίωσης, βγάζοντας ένα μήνυμα λάθους προς τον τελικό χρήστη και τερματίζοντας τη λειτουργία του προγράμματος ή να στείλει το μήνυμα λάθους στην πλατφόρμα OpenMI, η οποία θα συγκεντρώσει όλα τα μηνύματα λάθους και θα ενημερώσει το χρήστη μετά το πέρας της διαδικασίας προσομοίωσης.

Ο τελευταίος τρόπος λειτουργίας ενθαρρύνεται από τους σχεδιαστές της πλατφόρμας OpenMI γιατί επιτρέπει στο χρήστη να ολοκληρώνει τη διαδικασία της προσομοίωσης που έχει σχεδιάσει και να κρίνει εκ των υστέρων αν τα καταγεγραμμένα σφάλματα πρέπει να διορθωθούν ή είναι δυνατόν να αγνοηθούν. Στην περίπτωση πάντως που επιλεγεί για ένα μοντέλο να μην υποστηρίζει την ενσωματωμένη διαδικασία ελέγχου λαθών για καλύτερη εκσφαλμάτωση, η δυνατότητα εκ των υστέρων ελέγχου των σφαλμάτων εξακολουθεί να ισχύει εκτός και αν παρουσιαστεί πρόβλημα στο πρόγραμμα που δεν την υποστηρίζει.

### 3.3.7 Μελλοντικά χαρακτηριστικά

Περί τα μέσα του 2011 αναμένεται η νέα έκδοση του OpenMI, η 2.0. Στην έκδοση αυτή ενσωματώνονται πολλά νέα χαρακτηριστικά που προσδίδουν ακόμα μεγαλύτερη χρησιμότητα και ευελιξία στην πλατφόρμα αυτή. Τα βασικότερα εξ αυτών είναι:

- Τις μετατροπές δεδομένων που λαμβάνουν έως τώρα χώρα στις συνδέσεις, πλέον θα τις διαχειρίζεται ο προγραμματιστής. Για παράδειγμα εάν δεν υπάρχει συμβατότητα είτε χωρική είτε χρονική μεταξύ δυο δεδομένων που συνδέονται μεταξύ τους, η μετατροπή τους θα γίνεται με ευθύνη του προγραμματιστή και όχι χρησιμοποιώντας τα περιορισμένα προκαθορισμένα συστήματα μετατροπών που μέχρι σήμερα περιόριζαν τα πεδία εφαρμογής της πλατφόρμας.
- Η βαθμονόμηση (calibration) και η βελτιστοποίηση (optimization) των μοντέλων απλουστεύεται σημαντικά, καθώς θα υποστηρίζεται η βαθμονόμηση τιμών των μεταβλητών μοντέλων πριν από το τρέξιμό τους. Μέχρι σήμερα θα έπρεπε να δημιουργηθούν χωριστά αρχεία για την αρχικοποίησή τους ανάλογα με τη δράση που ήταν επιθυμητή.
- Τα μοντέλα που συνδέονται στην πλατφόρμα έχουν τη δυνατότητα να την πληροφορούν σχετικά με την κατάστασή τους. Έτσι μπορεί να πληροφορείται ο χρήστης εποπτικότερα για την κατάσταση κάθε μοντέλου. Με την πληροφορία αυτή διευκολύνεται σε μεγάλο βαθμό η εκσφαλμάτωση και η παρακολούθηση της ροής ανταλλαγής δεδομένων.
- Υποστηρίζονται μοντέλα τα οποία μπορεί να παράγουν αποτελέσματα ή να χρησιμοποιούν δεδομένα που μεταβάλλονται χρονικά αλλά όχι χωρικά και αντίστροφα.

Με τις παραπάνω αλλαγές η ενσωμάτωση βάσεων δεδομένων και εφαρμογών απεικόνισης αποτελεσμάτων (viewers) απλουστεύεται σημαντικά, ενώ ιδιαίτερη διευκόλυνση παρέχεται σε δημιουργία σύνθετων συστημάτων, στα οποία επιτρέπεται πλέον η παρακολούθηση της πορείας της ανταλλαγής των δεδομένων και επιταχύνεται σημαντικά η εκσφαλμάτωση της όλης διαδικασίας.

Επιλύεται τέλος το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε στην παρούσα διατριβή: η ανάγκη δημιουργίας πολλών διαφορετικών προσομοιώσεων, έτσι ώστε να τρέξουν τα απαραίτητα σενάρια, αυτό της ρύθμισης και αυτό της λειτουργίας σε

πραγματικό χρόνο για κάθε συνδυασμό πηγών μετρήσεων (βροχοπτώσεων) και σε κάθε μια εκ των δυο θέσεων.



4

# Χρησιμοποιούμενα μοντέλα

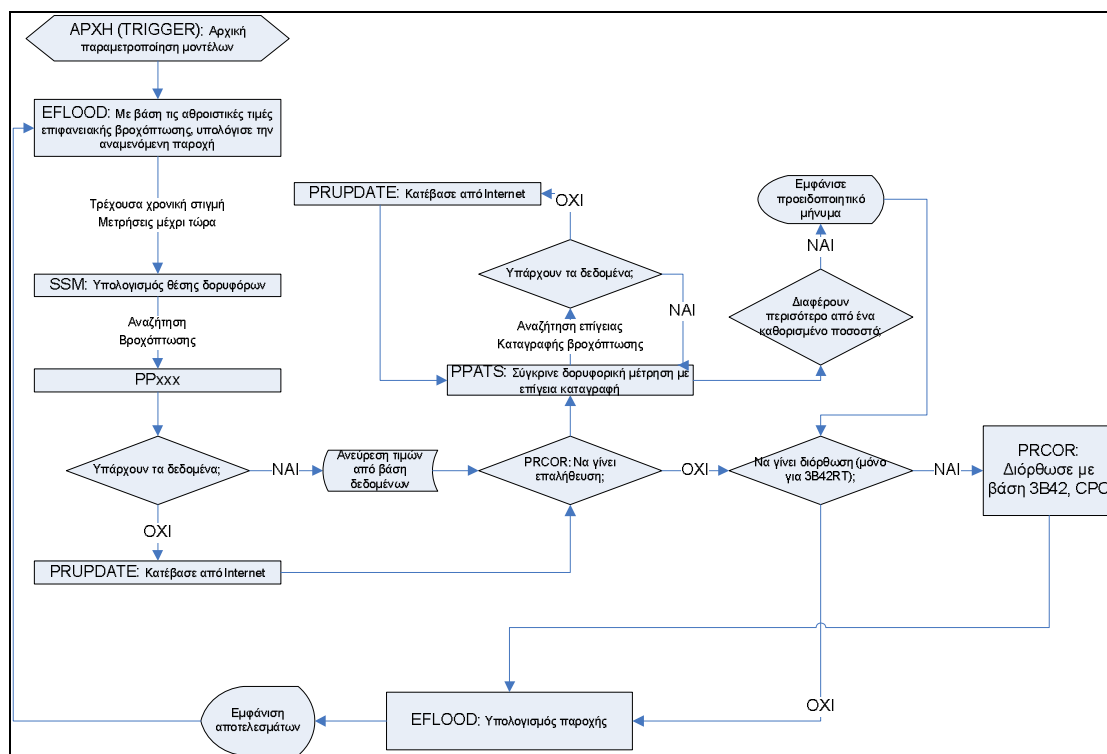


## 4 Χρησιμοποιούμενα μοντέλα

### 4.1 Διάγραμμα ροής

Όλα τα αναφερόμενα μοντέλα (προγράμματα Η/Υ) του παρόντος κεφαλαίου, συντάχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, με τελικό στόχο την πρόγνωση πλημμυρών σε οποιαδήποτε λεκάνη απορροής περιλαμβάνεται μεταξύ των γεωγραφικών πλατών -50 μοίρες και +50 μοίρες. Παρόλο που επελέγη η λεκάνη απορροής του π. Έβρου ως περιοχή μελέτης, λόγω της εγγενούς δυνατότητας παραμετροποίησης των προγραμμάτων, είναι δυνατή η αντικατάστασή της με οποιαδήποτε άλλη λεκάνη απορροής. Μοναδική προϋπόθεση αποτελεί η ύπαρξη υδρομετρήσεων στην έξοδο της λεκάνης απορροής ή στα ενδιάμεσα σημεία στα οποία είναι επιθυμητή η πρόγνωση πλημμυρών, ώστε να μπορεί να βαθμονομηθεί το μοντέλο EFLOOD.

Λόγω του περιορισμού του καννάβου του δορυφορικού προϊόντος 3B42 μεταξύ των γεωγραφικών πλατών -50 μοίρες και +50 μοίρες, για λεκάνες απορροής που εκτείνονται πέρα από αυτά τα γεωγραφικά πλάτη και έως το γεωγραφικό πλάτος -60 μοίρες και +60 μοίρες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο το δορυφορικό προϊόν 3B42RT.



Σχήμα 4-1: Λογικό διάγραμμα ροής των μοντέλων.

### 4.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Για τη διασφάλιση της συμβατότητας των προγραμμάτων με την πλατφόρμα OpenMI v1.4.0, η διεπιφάνεια λειτουργίας προγραμματίστηκε στο περιβάλλον ανάπτυξης

λογισμικού Visual Studio .NET 2008, ενώ για τα επιμέρους προγράμματα χρησιμοποιήθηκαν τόσο η Visual Basic 6.0 όσο και η Visual C++ 6.0.

Για τον έλεγχο της ορθότητας των αποτελεσμάτων του λογισμικού, χρησιμοποιήθηκαν ένα πλήθος διαφορετικών τεχνικών ανάλογα με το πρόγραμμα. Για τα προγράμματα αναζήτησης και ανάκτησης υφιστάμενων καταγραφών δορυφορικών προϊόντων, έγινε χρήση των ρουτινών ανάγνωσης αρχείων της NASA, γραμμένων σε Fortran 77 μαζί με το λογιστικό φύλλο Excel 2007. Για τον έλεγχο του προγράμματος προσομοίωσης της κίνησης των δορυφόρων, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Satellite Tool Kit έκδοση 9.0 της Analytical Graphics Inc. Για τον έλεγχο της ρουτίνας υπολογισμού ακριβούς χρονικής στιγμής σε Ιουλιανούς Αιώνες και των τροχιών Γης και Ηλίου, συγκρίθηκαν παράγωγα μεγέθη όπως η ώρα Ανατολής Ηλίου, η ώρα Δύσης Ηλίου, η εισερχόμενη εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία, κλπ με τις τιμές των μεγεθών αυτών που δίδονται από άλλες πηγές. Για τον έλεγχο των μαθηματικών πράξεων που λαμβάνουν χώρα στα μοντέλα συσχέτισης και επεξεργασίας δεδομένων (PCOR και EFLOOD), χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Matlab 2009 της MathWorks [Mathworks, 2009]

### 4.3 Το πρόγραμμα SSM

#### 4.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Εξαιτίας της σύνθετης κίνησης της Γης και των δορυφόρων, των διαφορετικών τρόπων σάρωσης της επιφάνειάς της από τα εγκατεστημένα στους δορυφόρους όργανα αλλά και των διαφορετικών και μη σταθερών χρονικών βημάτων σάρωσης, είναι απαραίτητη καταρχήν η γνώση της ακριβούς θέσης της Γης για κάθε χρονική στιγμή. Με βάση τη θέση της Γης σε κάποια χρονική στιγμή και τις εξισώσεις κίνησης των δορυφόρων και των οργάνων καταγραφής τους, είναι εφικτός ο υπολογισμός του αποτυπώματος της σάρωσης των οργάνων στο έδαφος.

Οι ασυνέχειες της επιφάνειας του εδάφους που αποτυπώνεται, μπορούν να ποσοτικοποιηθούν στο χώρο και στο χρόνο με στόχο τη μετέπειτα συμπλήρωσή τους, έτσι ώστε να αποκτηθεί η ζητούμενη επιφανειακή βροχόπτωση.

Το πρόγραμμα SSM δημιουργήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας διατριβής με στόχο:

- την προσομοίωση της εκλειπτικής τροχιάς της Γης
- την προσομοίωση της σχετικής κίνησης κάθε δορυφόρου ως προς τη Γη
- τον υπολογισμό του αποτυπώματος και των ασυνεχειών της σάρωσης των οργάνων κάθε δορυφόρου στο έδαφος
- την παροχή της χρονικής στιγμής της προσομοίωσης σε όλα τα άλλα προγράμματα
- τον υπολογισμό της επιφανειακής βροχόπτωσης στα κύτταρα του κανάβου 3B42RT, στα οποία έχουν εγκατασταθεί οι αυτόματοι τηλεμετρικοί σταθμοί

Για λόγους συμβατότητας των χρονικών μετρήσεων που συνοδεύουν τα δορυφορικά δεδομένα (UTC), των επίγειων μετρήσεων (GMT+2), της φαινόμενης χρονικής ασυνέχειας που παρατηρείται στις επίγειες καταγραφές λόγω εφαρμογής της θερινής ώρας αλλά και λόγω του ότι οι αναλυτικοί υπολογισμοί της εκλειπτικής τροχιάς της Γης απαιτούν τη χρήση του τροποποιημένου Ιουλιανού Ημερολογίου (TIH), όλοι οι

υπολογισμοί που αναφέρονται στη συνέχεια, γίνονται με βάση το ΤΙΗ, ενώ οι χρονικές στιγμές αναφέρονται σε UTC.

### 4.3.2 Τροποποιημένο Ιουλιανό ημερολόγιο

Το Τροποποιημένο Ιουλιανό Ημερολόγιο (ΤΙΗ) είναι επέκταση του Ιουλιανού Ημερολογίου που εφαρμόστηκε αρχικά από τον Ιούλιο Καίσαρα το 45 π.Χ. Σύμφωνα με το ημερολόγιο αυτό, το κανονικό έτος αποτελείται από 365 ημέρες και κάθε τέσσερα έτη προστίθεται από 1 ημέρα. Ωστόσο η πρόσθεση κάθε τέσσερα έτη μιας ημέρας, προκαλούσε μια ολόκληρη ημέρα επιπρόσθετου κέρδους κάθε 134 έτη και παρόλο που αυτό ήταν γνωστό κατά τη θέσπιση του Ιουλιανού Ημερολογίου, κρίθηκε μικρής σημασίας πρόβλημα και αγνοήθηκε [Moyer, 1981].

Το 1585 το Ιουλιανό Ημερολόγιο αντικαταστάθηκε με το ακριβέστερο Γρηγοριανό και το ΤΙΗ, σύμφωνα με τα οποία κάθε τέσσερα χρόνια ενδεχομένως να προστίθεται μια ημέρα, εκτός και αν διαιρείται ο αριθμός του έτους με το 100 αλλά δεν διαιρείται ακριβώς με το 400. Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό, το έτος 1800 διαιρείται με το 4 και το 100 αλλά όχι με το 400, οπότε αποτελείται από 365 ημέρες. Αντίθετα το έτος 2000 που διαιρείται με το 4, το 100 και το 400, αποτελείται από 366 ημέρες [Gent, 1981].

Οι παρακάτω εξισώσεις χρησιμοποιούνται καθολικά από όλα τα προγράμματα που εντάχθηκαν στην πλατφόρμα OpenMI, για να υπάρχει μία κοινή χρονική αναφορά. Τα προγράμματα χρησιμοποιούν τους Ιουλιανούς Αιώνες για τη χρονική αντιστοίχιση όλων των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται εσωτερικά από αυτά. Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, επιλέχθηκε η χρήση του Greenwich Mean Time (GMT), χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η θερινή ώρα.

#### 4.3.2.1 Ιουλιανή Ημέρα

Όλοι οι αστρονομικοί υπολογισμοί που παρατίθενται στη συνέχεια, βασίζονται στην Ιουλιανή Ημέρα, JDN. Η Ιουλιανή Ημέρα ορίζεται ως ο αριθμός των ημερών που έχουν παρέλθει από το μεσημέρι της Δευτέρας, 1η Ιανουαρίου 4713 π.Χ. στο τροποποιημένο Ιουλιανό Ημερολόγιο. Η ημέρα αυτή προσμετράται ως ημέρα μηδέν (αφετηρία) του συστήματος μέτρησης των Ιουλιανών Ημερών [Coyne et al., 1983].

Αυτό το σύστημα μέτρησης υιοθετήθηκε από τους Αστρονόμους με σκοπό την ενοποίηση διαφορετικών ιστορικών ημερολογίων και την αναφορά σε αυτά με μια και μόνη αριθμητική έκφραση.

#### 4.3.2.2 Ιουλιανή Ημερομηνία

Η Ιουλιανή Ημερομηνία JD προκύπτει από την Ιουλιανή Ημέρα προσθέτοντας το δεκαδικό λόγο της ημέρας που έχει περάσει από το μεσημέρι. Με τον τρόπο αυτό υπεισέρχεται και ο παράγοντας της ώρας στην ημερομηνία.

$$dTime = \frac{gHours + \frac{gMins}{60} + \frac{gSecs}{3600}}{24} \quad (4-1)$$

Αν το ζητούμενο έτος είναι προγενέστερο ή ίσο του 1585 μ.Χ. χρησιμοποιείται η σχέση (4-2):

$$JD = -1 \cdot \left[ \frac{7 \cdot \left( \frac{gMonth + 9}{12} \right) + gYear}{4} \right] + \left( \frac{275}{9} \cdot gMonth \right) + , gYear \leq 1585 \quad (4-2)$$

$$+ gDay + 1721027 + 367 \cdot gYear + dTime$$

Ενώ εάν το ζητούμενο έτος είναι μεταγενέστερο του 1585 μ.Χ. χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση (4-3):

$$JD = -1 \cdot \left[ \frac{7 \cdot \left( \frac{gMonth + 9}{12} \right) + gYear}{4} \right] + \left( \frac{275}{9} \cdot gMonth \right) +$$

$$+ gDay + 1721029 + 367 \cdot gYear + dTime - , gYear > 1585 \quad (4-3)$$

$$- \left[ gYear + SGN \cdot \left( \frac{gMonth - 9}{700} \right) + 1 \right] \cdot \frac{3}{4}$$

Όπου: **JD**, η Ιουλιανή Ημερομηνία (-)

**dTime**, ο χρόνος σε ημέρες της ζητούμενης χρονικής στιγμής (day)

**gSecs**, τα δευτερόλεπτα της ζητούμενης χρονικής στιγμής (sec)

**gMins**, τα πρώτα λεπτά της ζητούμενης χρονικής στιγμής (min)

**gHours**, οι ώρες της ζητούμενης χρονικής στιγμής (h)

**gDay**, ο αριθμός της ημέρας της ζητούμενης χρονικής στιγμής (1 έως 31)

**gMonth**, ο αριθμός του μήνα της ζητούμενης χρονικής στιγμής (1 έως 12)

**gYear**, το έτος της ζητούμενης χρονικής στιγμής

**SGN**, 1 για τους μήνες Σεπτέμβριο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο  
αλλιώς -1

Δεδομένης της Ιουλιανής Ημερομηνίας, μπορεί να υπολογιστεί το όνομα της ημέρας που αντιστοιχεί σε αυτή σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$DNAM = (JD + 1.5) \text{MOD} 7 \quad (4-4)$$

Όπου: **DNAM**, ο αριθμός της ημέρας (0= Κυριακή , 1=Δευτέρα, κ.ο.κ.)

**JD**, η Ιουλιανή Ημερομηνία (-)

**MOD7**, το ακέραιο υπόλοιπο διαίρεσης (Modulus) με το 7

#### 4.3.2.3 Ιουλιανός Αιώνας

Ο Ιουλιανός αιώνας **JC**, αναφέρεται στον αριθμό των αιώνων που έχουν περάσει από την Ιουλιανή Ημερομηνία που αναφέρεται στο μεσημέρι της 1<sup>ης</sup> Ιανουαρίου 2000 και υπολογίζεται από τη σχέση (4-5):

$$JC = \frac{JD - 2451545}{36525} \quad (4-5)$$

Όπου: **JC**, ο αριθμός των Ιουλιανών αιώνων (-)  
**JD**, η Ιουλιανή Ημερομηνία (-)

#### 4.3.2.4 Αριθμός ημερών έτους

Όλα τα έτη θεωρείται ότι έχουν 365 ημέρες διάρκεια εκτός από τα δίσεκτα έτη. Ως δίσεκτο έτος ορίζεται αυτό που ικανοποιεί μια από τις ακόλουθες συνθήκες:

- A) διαιρείται ακριβώς με το 400
- B) διαιρείται ακριβώς με το 4 αλλά όχι με το 100.

Τα δίσεκτα έτη θεωρείται ότι έχουν 366 ημέρες διάρκεια.

#### 4.3.2.5 Αριθμός ημέρας

Ο αριθμός της ημέρας είναι ένας αδιάστατος αριθμός που λαμβάνει την τιμή 1 την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου και την τιμή 365 (ή 366 για τα δίσεκτα έτη) την 31<sup>η</sup> Δεκεμβρίου. Υπολογίζεται με χρήση της ακόλουθης σχέσης:

$$NOD = \left\lfloor \frac{275 \cdot gMonth}{9} \right\rfloor - LEAP \cdot \left\lfloor \frac{gMonth + 9}{12} \right\rfloor + gDay - 30 \quad (4-6)$$

Όπου: **NOD**, ο αριθμός της ημέρας (-)  
**gMonth**, ο αριθμός του μήνα της ζητούμενης χρονικής στιγμής (1 έως 12)  
**gDay**, ο αριθμός της ημέρας της ζητούμενης χρονικής στιγμής (1 έως 31)  
**LEAP**, λαμβάνει την τιμή 1 για δίσεκτα έτη, αλλιώς 2

### 4.3.3 Τροχιά Γης και Ηλίου

Η Γη εκτελεί μια περιφορά γύρω από τον Ήλιο κατά τη διάρκεια ενός έτους. Το επίπεδο της τροχιάς της Γης τέμνει την ουράνια σφαίρα κατά ένα μέγιστο κύκλο ο οποίος καλείται εκλειπτική. Λόγω της περιστροφής της Γης ο Ήλιος εμφανίζεται να κινείται ως προς τους αστέρες κατά μία μοίρα περίπου την ημέρα και κατά την ορθή φορά (προς ανατολικά) διαγράφοντας την εκλειπτική σε ένα έτος.

Επειδή η τροχιά της Γης δεν είναι τέλειος κύκλος αλλά έλλειψη, η ταχύτητα κίνησης του πλανήτη ποικίλλει. Επομένως και η φαινόμενη ταχύτητα της Γης κατά μήκος της εκλειπτικής της μεταβάλλεται ανάλογα με το έτος. Η πραγματική ανωμαλία (true anomaly) είναι η γωνιακή απόσταση της Γης από το περιήλιο του πλανήτη (το σημείο της τροχιάς που βρίσκεται πλησιέστερα στον ήλιο). Εάν η τροχιά ήταν κυκλική, η μέση ανωμαλία (mean anomaly) και η πραγματική ανωμαλία θα ταυτίζονταν. Αλλά για εκλειπτική τροχιά, η διαφορά των τιμών των δυο ανωμαλιών ισούται με την Εξίσωση του Κέντρου της τροχιάς.

Ο υπολογισμός της Εξίσωσης του Κέντρου, γίνεται επιλύοντας την εξίσωση του Kepler [Colwell, 1993]. Η εξίσωση αυτή δεν είναι δυνατόν να επιλυθεί στην πλήρη γενικευμένη μορφή της, υπάρχουν όμως μεγάλης ακρίβειας προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται σήμερα.

#### 4.3.3.1 Εκκεντρότητα τροχιάς

Το 1601, ο Johannes Kepler προσδιόρισε ότι οι τροχιές των πλανητών ήταν ελλείψεις και όχι κυκλικές όπως θεωρούσαν οι επιστήμονες μέχρι τότε. Οι ελλείψεις μπορούν να εκφραστούν μαθηματικά ως ο λόγος των αποστάσεων μεταξύ των εστιών τους και των αξόνων της. Η εκκεντρότητα είναι η ποσοτικοποίηση του πόσο κοντά στην κυκλική είναι η τροχιά ενός πλανήτη ή ενός δορυφόρου αυτού.

Για μια απόλυτα κυκλική τροχιά η εκκεντρότητα είναι μηδέν ενώ οι ελλειπτικές τροχιές έχουν εκκεντρότητες μεταξύ μηδέν και μονάδας. Η εκκεντρότητα της τροχιάς της Γης ισούται με 1:60 στις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές χωρίς σημαντικό σφάλμα. Ωστόσο, νεότερες προσεγγίσεις, οι οποίες έχουν υιοθετηθεί στην παρούσα εργασία, καθιστούν την εκκεντρότητα της τροχιάς της Γης χρονικά μεταβαλλόμενη.

Η εκκεντρότητα  $ECC$  της τροχιάς της Γης δίδεται από τη σχέση (4-7):

$$ECC = 0.016708634 \cdot JC \cdot (0.000042037 + 0.0000001267 \cdot JC) \quad (4-7)$$

Όπου: **ECC**, η εκκεντρότητα της τροχιάς (degrees)  
**JC**, ο αριθμός των Ιουλιανών αιώνων (-)

#### 4.3.3.2 Μέση γωνία εκλειπτικής τροχιάς

Η αξονική κλίση μπορεί να εκφραστεί ισοδύναμα σε συνάρτηση με το επίπεδο τροχιάς του πλανήτη και ένα επίπεδο κάθετο στον άξονά του. Στο ηλιακό μας σύστημα, η τροχιά της Γης είναι γνωστή ως εκλειπτική και η αξονική κλίση της καλείται γωνία (ή λόξωση) εκλειπτικής.

Πιο συγκεκριμένα, η αξονική κλίση της Γης είναι περίπου  $23^\circ 27'$  και ο άξονας κλίνει προς την ίδια διεύθυνση κατά τη διάρκεια ενός έτους. Ωστόσο, καθώς η Γη περιστρέφεται γύρω από τον Ήλιο, το ημισφαίριο που κλίνει μακρύτερα από αυτόν σταδιακά θα συγκλίνει έως ότου θα μεταποτιστεί πλησιέστερα στον Ήλιο και αντίστροφα. Στο φαινόμενο αυτό, που προκαλεί τις εποχές, οφείλεται το γεγονός ότι το ημισφαίριο που βρίσκεται πλησιέστερα στον Ήλιο θα έχει αυξημένη διάρκεια ημέρας και οι ακτίνες του Ηλίου το μεσημέρι θα προσπίπτουν στο έδαφος με μια γωνία που θα προσεγγίζει την κατακόρυφη, μεταδίδοντας έτσι περισσότερη ενέργεια [Wittmann, 1979].

Η γωνία εκλειπτικής τροχιάς δεν αποτελεί μια σταθερή ποσότητα αλλά μεταβάλλεται με το χρόνο. Επειδή όμως η μεταβολή αυτή λαμβάνει χώρα αργά, η επίδρασή της στην εισερχόμενη ακτινοβολία είναι μικρή και ως εκ τούτου δεν απαιτείται ο υπολογισμός της σε ημερήσια βάση.

Η μέση γωνία εκλειπτικής τροχιάς  $MOB$ , εξαρτάται επίσης από τον αριθμό των Ιουλιανών αιώνων  $JC$  [Ward, 1982]:

$$GS = 21.448 - JC \cdot (46.815 + JC \cdot (0.00059 - JC \cdot 0.001813)) \quad (4-8)$$

$$MOB = 23 + \frac{26 + \frac{GS}{60}}{60} \quad (4-9)$$

Όπου: **MOB**, η μέση γωνία εκλειπτικής τροχιάς (degrees)  
**GS**, βοηθητική παράμετρος (sec)



**JC**, ο αριθμός των Ιουλιανών αιώνων (-)

Η μέση γωνία της εκλειπτικής τροχιάς MOB, διορθώνεται σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$MOB^C = MOB + 0.00256 \cdot \cos(125.04 - 1934.146 \cdot JC) \quad (4-10)$$

Όπου: **MOB<sup>C</sup>**, η διορθωμένη γωνία εκλειπτικής τροχιάς (degrees)

**MOB**, η μέση γωνία εκλειπτικής τροχιάς (degrees)

**JC**, ο αριθμός των Ιουλιανών αιώνων (-)

#### 4.3.3.3 Γεωμετρικό μέσο γεωγραφικό μήκος

Λόγω των διαταράξεων της τροχιάς της Γης από άλλους πλανήτες, ο «πραγματικός» Ήλιος δεν είναι πάντα ακριβώς επί της εκλειπτικής, αλλά μπορεί να είναι μετατοπισμένος ορισμένα δευτερόλεπτα του τόξου βόρεια ή νότια από αυτή. Συνεπώς το κέντρο του μέσου Ηλίου καθορίζει τη διαδρομή.

Όπως η Γη περιστρέφεται σε ένα έτος γύρω από τον Ήλιο, έτσι και ο Ήλιος χρειάζεται ένα έτος για να διαγράψει το σύνολο της εκλειπτικής. Σε 365.25 ημέρες, ο Ήλιος μετακινείται περίπου 1 μοίρα προς τα ανατολικά κάθε μέρα (διεύθυνση αύξησης γεωγραφικού μήκους). Αυτή η ετήσια κίνηση δε σχετίζεται με την ημερήσια κίνηση του Ηλίου προς τα δυτικά σε μια ημέρα κατά μήκος του ισημερινού. Στην πραγματικότητα ενώ η Γη χρειάζεται 23 ώρες, 56 λεπτά και 4.09 δευτερόλεπτα για μια πλήρη ημερήσια περιστροφή (αστρική ημέρα), ο Ήλιος χρειάζεται 3 λεπτά και 55.91 δευτερόλεπτα επιπλέον για να ολοκληρώσει την περιστροφή του, κάνοντας την ηλιακή ημέρα να διαρκεί ακριβώς 24 ώρες.

Ο «μέσος» Ήλιος διασχίζει τον ισημερινό περί την 21<sup>η</sup> Μαρτίου κατά το εαρινό ισημερινό σημείο, οπότε η απόκλιση, το γεωγραφικό μήκος της εκλειπτικής και η ορθή αναφορά μηδενίζονται. Στις 22 Ιουνίου, εμφανίζεται γεωγραφικό μήκος 90°, ορθή αναφορά 6 ωρών και βόρεια απόκλιση ίση με τη λόξωση της εκλειπτικής (23.44°). Η χρονική αυτή στιγμή καλείται θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο και χειμερινό ηλιοστάσιο για το νότιο ημισφαίριο. Στις 23 Σεπτεμβρίου, το γεωγραφικό μήκος της εκλειπτικής ισούται με 180° και η ορθή αναφορά με 12 ώρες οπότε ορίζεται το φθινοπωρινό ισημερινό σημείο.

Το γεωμετρικό μέσο γεωγραφικό μήκος GMLS της τροχιάς της Γης υπολογίζεται από τη σχέση (4-11):

$$GMLS = 280.46646 + JC \cdot (36000.76983 + 0.0003032 \cdot JC) \quad (4-11)$$

Όπου: **GMLS**, το γεωμετρικό μέσο γεωγραφικό μήκος της τροχιάς της Γης (degrees)

**JC**, ο αριθμός των Ιουλιανών αιώνων (-)

Η τιμή της παραμέτρου GMLS πρέπει να κείται μεταξύ 0 και 360 μοιρών. Εάν είναι εκτός του διαστήματος αυτού, τότε για αρνητικές τιμές προστίθεται 360 ενώ για θετικές τιμές αφαιρείται 360 έως ότου η τιμή της παραμέτρου βρεθεί στο διάστημα από 0 έως 360 μοίρες.

#### 4.3.3.4 Μέση γεωμετρική ανωμαλία τροχιάς

Σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Kepler, μια ευθεία που ενώνει έναν πλανήτη και τον Ήλιο, σαρώνει ίσα εμβαδά επιφανειών κατά τη διάρκεια ιδίων χρονικών διαστημάτων. Έστω A και B δυο σημεία που ανήκουν στην τροχιά της Γης και απέχουν μια ημέρα μεταξύ τους. Οι ευθείες από τον Ήλιο προς τα σημεία A και B και η ευθεία AB ορίζουν μια περίπου τριγωνική επιφάνεια. Το ίδιο εμβαδόν θα σαρώνεται κάθε ημέρα ανεξάρτητα από το που βρίσκεται η Γη επί της τροχιάς της. Επομένως η Γη θα κινείται γρηγορότερα όταν βρίσκεται πλησιέστερα στον Ήλιο. Αυτό συμβαίνει επειδή η βαρυτική δύναμη του Ηλίου επιταχύνει τη Γη καθώς αυτή τον πλησιάζει και επιβραδύνει την κίνησή της όταν η Γη απομακρύνεται από αυτόν.

Ο νόμος αυτός μαζί με τη γεωμετρία της τροχιάς της Γης (πρώτος νόμος του Kepler), χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της θέσης της Γης οποιαδήποτε στιγμή. Ο υπολογισμός της θέσης της Γης γίνεται με βάση την πραγματική ανωμαλία της τροχιάς, που είναι συνάρτηση της ανωμαλίας της εκκεντρότητας που με τη σειρά της εξαρτάται από τη μέση γεωμετρική ανωμαλία. Η μέση γεωμετρική ανωμαλία  $GMAS$  της τροχιάς της Γης υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$GMAS = 357.52911 + JC \cdot (35999.05029 - 0.0001537 \cdot JC) \quad (4-12)$$

Όπου: **GMAS**, η μέση γεωμετρική ανωμαλία της τροχιάς της Γης (degrees)  
**JC**, ο αριθμός των Ιουλιανών αιώνων (-)

#### 4.3.3.5 Εξίσωση τροχιάς κέντρου

Λαμβάνοντας υπόψη τη μέση γεωμετρική ανωμαλία της τροχιάς της Γης, υπολογίζεται η εξίσωση της τροχιάς του κέντρου αυτής με το χρόνο. Η εξίσωση που δίνει την θέση του κέντρου του SEOC ανά πάσα χρονική στιγμή είναι η εξής:

$$\begin{aligned} SEOC = \sin(GMAS) \cdot [1.914602 - JC \cdot (0.004817 + 0.000014 \cdot JC)] + \\ + \sin(2 \cdot GMAS) \cdot (0.019993 - 0.000101 \cdot JC) + \\ + \sin(3 \cdot GMAS) \cdot 0.000289 \end{aligned} \quad (4-13)$$

Όπου: **SEOC**, η εξίσωση τροχιάς κέντρου (degrees)  
**GMAS**, η μέση γεωμετρική ανωμαλία της τροχιάς της Γης (degrees)  
**JC**, ο αριθμός των Ιουλιανών αιώνων (-)

#### 4.3.3.6 Πραγματική γεωμετρική ανωμαλία τροχιάς

Όπως προαναφέρθηκε, η διαφορά πραγματικής και μέσης γεωμετρικής ανωμαλίας της τροχιάς της γης ισούται με την εξίσωση του κέντρου, οπότε:

$$GTAS = SEOC + GMAS \quad (4-14)$$

Όπου: **GTAS**, η πραγματική γεωμετρική ανωμαλία της τροχιάς της γης (degrees)  
**SEOC**, η εξίσωση τροχιάς κέντρου (degrees)  
**GMAS**, η μέση γεωμετρική ανωμαλία της τροχιάς της γης (degrees)

#### 4.3.3.7 Απόσταση Γης - Ηλίου

Η απόσταση Γης – Ηλίου SRV υπολογίζεται με βάση την εξίσωση (4-15):

$$SRV = \frac{1.000001018 \cdot (1 - ECC^2)}{1 + ECC \cdot \cos(GMAS)} \quad (4-15)$$

Όπου: **SRV**, η απόσταση Γης – Ηλίου (AU)  
**GMAS**, η μέση γεωμετρική ανωμαλία της τροχιάς της Γης (degrees)  
**ECC**, η εκκεντρότητα της εκλειπτικής τροχιάς (degrees)

#### 4.3.3.8 Φαινόμενο γεωγραφικό μήκος

Το φαινόμενο γεωγραφικό μήκος SAL υπολογίζεται με βάση την πραγματική γεωμετρική ανωμαλία τροχιάς GTAS και τον αριθμό των Ιουλιανών Αιώνων JC:

$$SAL = GTAS - 0.00569 - 0.00478 \cdot \sin(125.04 - 1934.136 \cdot JC) \quad (4-16)$$

Όπου: **SAL**, το φαινόμενο γεωγραφικό μήκος (degrees)  
**GTAS**, η πραγματική γεωμετρική ανωμαλία της τροχιάς της Γης (degrees)  
**JC**, ο αριθμός των Ιουλιανών αιώνων (-)

#### 4.3.3.9 Ουρανογραφικές συντεταγμένες

Το σύστημα ουρανογραφικών συντεταγμένων είναι ανάλογο προς το σύστημα των γεωγραφικών συντεταγμένων. Η θέση της Γης καθορίζεται από την ηλιακή απόκλιση SDEC και την ορθή αναφορά RASC. Η απόκλιση αντιστοιχεί στο γεωγραφικό πλάτος και μετρείται από τον ουράνιο ισημερινό θετικά προς το βόρειο πόλο και αρνητικά προς το νότιο πόλο. Η ορθή αναφορά αντιστοιχεί στο γεωγραφικό μήκος και για τη μέτρησή της ως αρχή λαμβάνεται ένα σημείο της Γης που ορίζεται ως το εαρινό ισημερινό σημείο και μετρείται η απόσταση προς την ανατολή σε ώρες.

##### *Ηλιακή απόκλιση*

Η ηλιακή απόκλιση SDEC υπολογίζεται με βάση την παρακάτω εξίσωση ως συνάρτηση του φαινόμενου γεωγραφικού μήκους και της διορθωμένης γωνίας της εκλειπτικής τροχιάς:

$$SDEC = \arcsin \left[ \sin(MOB^c) \cdot \sin(SAL) \right] \quad (4-17)$$

Όπου: **SDEC**, η ηλιακή απόκλιση (degrees)  
**SAL**, το φαινόμενο γεωγραφικό μήκος (degrees)  
**MOB<sup>c</sup>**, η διορθωμένη γωνία της εκλειπτικής τροχιάς (degrees)

##### *Ορθή αναφορά*

Η ορθή αναφορά RASC υπολογίζεται με βάση την ακόλουθη σχέση:

$$RASC = \arctan\left(\frac{\cos(MOB^C) \cdot \sin(SAL)}{\cos(SAL)}\right) \quad (4-18)$$

Όπου: **RASC**, η ορθή αναφορά (degrees)  
**SAL**, το φαινόμενο γεωγραφικό μήκος (degrees)  
**MOB<sup>C</sup>**, η διορθωμένη γωνία της εκλειπτικής τροχιάς (degrees)

#### 4.3.3.10 Γωνίες ώρας ανατολής και δύσης ηλίου

Η γωνία ώρας ανατολής ηλίου HASR προκύπτει από το γεωγραφικό πλάτος  $\phi$  της περιοχής αναφοράς και την ηλιακή απόκλιση SDEC:

$$HASR = \arccos\left[\frac{\cos(90.833)}{\cos\phi \cdot \cos(SDEC)} - \tan\phi \cdot \tan(SDEC)\right] \quad (4-19)$$

Όπου: **HASR**, η γωνία ώρας ανατολής ηλίου (degrees)  
**SDEC**, η ηλιακή απόκλιση (degrees)  
 **$\phi$** , το γεωγραφικό πλάτος (degrees)

Η γωνία ώρας δύσης ηλίου HASS είναι η αντίθετη της HASR:

$$HASS = -HASR \quad (4-20)$$

Όπου: **HASS**, η γωνία ώρας δύσης ηλίου (degrees)  
**HASR**, η γωνία ώρας ανατολής ηλίου (degrees)

Εάν η γωνία ώρας δύσης ηλίου HASS πολλαπλασιαστεί με  $12/\pi$ , τότε λαμβάνεται η ώρα που θα δύσει ο ήλιος μετά το ηλιακό μεσημέρι. Η γωνία ώρας ηλίου που αντιστοιχεί στο ηλιακό μεσημέρι προκύπτει εύκολα από τις ώρες ανατολής και δύσης:

$$HAN = \frac{|HASS| + |HASR|}{2} \quad (4-21)$$

Όπου: **HAN**, η γωνία ώρας που αντιστοιχεί στο ηλιακό μεσημέρι (degrees)  
**HASS**, η γωνία ώρας δύσης ηλίου (degrees)  
**HASR**, η γωνία ώρας ανατολής ηλίου (degrees)

Με βάση το ηλιακό μεσημέρι μπορεί να υπολογιστεί η γωνία του ηλίου για οιαδήποτε ώρα της ημέρας HANG, με χρήση της ακόλουθης σχέσης:

$$HANG = 15 \cdot \left(\frac{HAN}{60} - gHours\right) \quad (4-22)$$

Όπου: **HANG**, η γωνία ηλίου που αντιστοιχεί στην ώρα gHours (degrees)  
**gHours**, οι ώρες της ζητούμενης χρονικής στιγμής (h)  
**HAN**, η γωνία ώρας που αντιστοιχεί στο ηλιακό μεσημέρι (degrees)

#### 4.3.3.11 Εξίσωση χρόνου

Η εξίσωση χρόνου EOT δίνει για μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή τη διαφορά της πραγματικής ηλιακής ώρας από τη μέση ηλιακή ώρα. Η διαφορά αυτή προκύπτει από την εφαρμογή της ακόλουθης σχέσης:

$$\begin{aligned} EOT = & 4 \cdot \tan\left(\frac{MOB^C}{2}\right)^2 \cdot \sin(2 \cdot GMLS) - 2 \cdot ECC \cdot \sin(GMAS) + \\ & + 4 \cdot ECC \cdot \tan\left(\frac{MOB^C}{2}\right)^2 \cdot \sin(GMAS) \cdot \cos(2 \cdot GMLS) - \\ & 0.5 \cdot \tan\left(\frac{MOB^C}{2}\right)^4 \cdot \sin(4 \cdot GMLS) - 1.25 \cdot ECC^2 \cdot \sin(2 \cdot GMAS) \end{aligned} \quad (4-23)$$

Όπου: **EOT**, η εξίσωση χρόνου (mins)  
**MOB<sup>C</sup>**, η διορθωμένη γωνία της εκλειπτικής τροχιάς (degrees)  
**ECC**, η εκκεντρότητα της εκλειπτικής τροχιάς (degrees)  
**GMAS**, η μέση γεωμετρική ανωμαλία της τροχιάς του ήλιου (degrees)  
**GMLS**, το γεωμετρικό μέσο γεωγραφικό μήκος της τροχιάς της γης (degrees)

#### 4.3.3.12 Ώρα ανατολής και δύσης ηλίου

Η ώρα ανατολής ηλίου SRUTC υπολογίζεται από την εξίσωση (4-24):

$$SRUTC = 720 + 4 \cdot (\lambda - HASR) - EOT \quad (4-24)$$

Όπου: **SRUTC**, η ώρα ανατολής ηλίου (UTC)  
**HASR**, η γωνία ώρας ανατολής ηλίου (degrees)  
**λ**, το γεωγραφικό μήκος της περιοχής αναφοράς (degrees)  
**EOT**, η εξίσωση χρόνου (mins)

Εντελώς αντίστοιχα, η ώρα δύσης ηλίου SSUTC υπολογίζεται από την εξίσωση (4-25):

$$SSUTC = 720 + 4 \cdot (\lambda - HASS) - EOT \quad (4-25)$$

Όπου: **SSUTC**, η ώρα δύσης ηλίου (UTC)  
**HASS**, η γωνία ώρας δύσης ηλίου (degrees)  
**λ**, το γεωγραφικό μήκος της περιοχής αναφοράς (degrees)  
**EOT**, η εξίσωση χρόνου (mins)

Η διάρκεια της ημέρας DDUR προκύπτει εάν αφαιρεθεί η ώρα ανατολής από την ώρα δύσης του ηλίου:

$$DDUR = SSUTC - SRUTC \quad (4-26)$$

Όπου: **DDUR**, η διάρκεια της ημέρας (h)  
**SSUTC**, η ώρα δύσης ηλίου (UTC)  
**SRUTC**, η ώρα ανατολής ηλίου (UTC)

#### 4.3.4 Εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία

Ο υπολογισμός της εξωγήινης ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται περισσότερο για λόγους επαλήθευσης των προαναφερόμενων εξισώσεων. Μελλοντικά, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής με οποιαδήποτε μέθοδο, η οποία χρησιμοποιεί τη γνώση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στους υπολογισμούς της, όπως π.χ. η μέθοδος των Penman-Montieth.

Ως εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία ορίζεται η ροή ηλιακής ενέργειας στο όριο της ατμόσφαιρας σε οριζόντιο επίπεδο. Ο ρυθμός με τον οποίο η ολική ηλιακή ενέργεια σε όλα τα μήκη κύματος φθάνει σε μια μοναδιαία επιφάνεια της ατμόσφαιρας της γης είναι σταθερός και γνωστός ως ηλιακή σταθερά  $I_{sc}$ . Η μέση απόσταση γης και ηλίου για τον υπολογισμό της ηλιακής σταθεράς λαμβάνεται ίση με 1 AU και ο σταθερός ρυθμός ροής της ηλιακής ενέργειας ισούται με 4.921 MJ/m<sup>2</sup>h. Ακριβώς επειδή η απόσταση μεταξύ γης και ηλίου μεταβάλλεται διαρκώς, ο ρυθμός ροής διορθώνεται με βάση την εκκεντρότητα που υπολογίζεται σε μια συγκεκριμένη ημέρα:

$$I_0 = I_{sc} \cdot ECC \cdot \cos \theta_z \quad (4-27)$$

Όπου:  $I_0$ , η ακτινοβολία σε μια οριζόντια επιφάνεια (MJ/m<sup>2</sup>h)  
 $I_{sc}$ , η ηλιακή σταθερά (MJ/m<sup>2</sup>h)  
**ECC**, η εκκεντρότητα της εκλειπτικής τροχιάς (degrees)  
 $\theta_z$ , το ζενίθ (degrees)

Εάν οι υπολογισμοί δεν γίνονται σε ωριαίο βήμα αλλά σε μεγαλύτερο χρονικό βήμα (όπως για παράδειγμα το ημερήσιο), η ολική ηλιακή ακτινοβολία εκτιμάται ολοκληρώνοντας την παραπάνω σχέση από SRUTC έως SSUTC:

$$I_0^{DAY} = \int_{SRUTC}^{SSUTC} I_0 dt \quad (4-28)$$

Επειδή κατά τη διάρκεια της ημέρας τόσο η ηλιακή σταθερά όσο και η εκκεντρότητα παραμένουν με ικανοποιητική ακρίβεια αμετάβλητες, μπορούν να τεθούν εκτός του ολοκληρώματος. Επίσης ισχύει  $HASS = HASR$ , επομένως η ολοκλήρωση απλοποιείται σημαντικά:

$$I_0 = 2I_{sc} \cdot ECC \cdot \int_0^{SSUTC} [\sin(SDEC) \sin \phi + \cos(SDEC) \cos \phi \cos(HANG \cdot t)] dt \quad (4-29)$$

Όπου:  $I_0$ , η ακτινοβολία σε μια οριζόντια επιφάνεια (MJ/m<sup>2</sup>h)  
 $I_{sc}$ , η ηλιακή σταθερά (MJ/m<sup>2</sup>h)  
**ECC**, η εκκεντρότητα της εκλειπτικής τροχιάς (degrees)  
**SSUTC**, η ώρα δύσης ηλίου (UTC)  
**HANG**, η γωνία ηλίου που αντιστοιχεί στην ώρα gHours (degrees)  
**SDEC**, η ηλιακή απόκλιση (degrees)  
 $\phi$ , το γεωγραφικό πλάτος (degrees)  
 $t$ , η χρονική στιγμή ολοκλήρωσης [0, SSUTC]

Στην περίπτωση της ολόκληρης ημέρας:

$$I_0^{DAY} = \frac{24}{\pi} \cdot I_{SC} \cdot ECC \left[ \begin{aligned} &HANG \cdot SSUTC \cdot (\sin(SDEC) \sin \phi) + \\ &+ (\cos(SDEC) \cos \phi \sin(HANG \cdot SSUTC)) \end{aligned} \right] \quad (4-30)$$

Όπου:  $I_0^{DAY}$ , η ημερήσια ακτινοβολία σε μια οριζόντια επιφάνεια (MJ/m<sup>2</sup>)  
 $I_{SC}$ , η ηλιακή σταθερά (MJ/m<sup>2</sup>h)  
**ECC**, η εκκεντρότητα της εκλειπτικής τροχιάς (degrees)  
**SSUTC**, η ώρα δύσης ηλίου (UTC)  
**HANG**, η γωνία ηλίου που αντιστοιχεί στην ώρα gHours (degrees)  
**gHours**, οι ώρες της ζητούμενης χρονικής στιγμής (h)  
**SDEC**, η ηλιακή απόκλιση (degrees)  
**φ**, το γεωγραφικό πλάτος (degrees)

Όταν η ολοκλήρωση γίνεται σε ωριαίο βήμα, τότε χρησιμοποιούνται οι ηλιακές γωνίες που αναφέρονται στην αρχική ώρα,  $\omega_1$ , και στην τελική ώρα,  $\omega_2$ :

$$I_0^{HOURL} = \frac{12}{\pi} \cdot I_{SC} \cdot ECC \cdot \left[ \begin{aligned} &\frac{\pi}{180} (HANG_2 - HANG_1) [\sin(SDEC) \sin \phi] + \\ &[\cos(SDEC) \cos \phi (\sin(HANG_2) - \sin(HANG_1))] \end{aligned} \right] \quad (4-31)$$

Όπου:  $I_0^{HOURL}$ , η ωριαία ακτινοβολία σε μια οριζόντια επιφάνεια (MJ/m<sup>2</sup>)  
 $I_{SC}$ , η ηλιακή σταθερά (MJ/m<sup>2</sup>h)  
**ECC**, η εκκεντρότητα της εκλειπτικής τροχιάς (degrees)  
**HANG<sub>2</sub>**, η γωνία ηλίου που αντιστοιχεί στην ώρα gHours+1 (degrees)  
**HANG<sub>1</sub>**, η γωνία ηλίου που αντιστοιχεί στην ώρα gHours (degrees)  
**SDEC**, η ηλιακή απόκλιση (degrees)  
**φ**, το γεωγραφικό πλάτος (degrees)  
**gHours**, οι ώρες της ζητούμενης χρονικής στιγμής (h)

#### 4.3.5 Τροχιές δορυφόρων

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 6.4.1, ο δορυφόρος TRMM διαγράφει χαμηλή τροχιά, σε υψόμετρο 350 km περίπου. Η κίνηση γίνεται μεταξύ της γήινης ατμόσφαιρας και της εσωτερικής πλευράς της ζώνης ακτινοβολίας Van Allen. Η οριζόντια ταχύτητα κίνησης του δορυφόρου είναι 7.3 km/s, ενώ η γωνία κλίσης του είναι 35 μοίρες. Λόγω της μικρής γωνίας κλίσης του δορυφόρου, η κάλυψή του περιορίζεται στους τροπικούς (-30 μοίρες έως +30 μοίρες). Το μικρό εύρος κάλυψης του δορυφόρου σε συνδυασμό με την ύπαρξη λεπτομερών δεδομένων της κίνησής του, καθιστά ευκολότερη την επαλήθευση της προσομοίωσης της κίνησής του από το μοντέλο SSM συγκριτικά με την αντίστοιχη κίνηση του δορυφόρου Aqua. Για το λόγο αυτό παρουσιάζεται αρχικά μόνο η κίνηση του δορυφόρου TRMM και στη συνέχεια προστίθενται οι υπόλοιποι δορυφόροι.

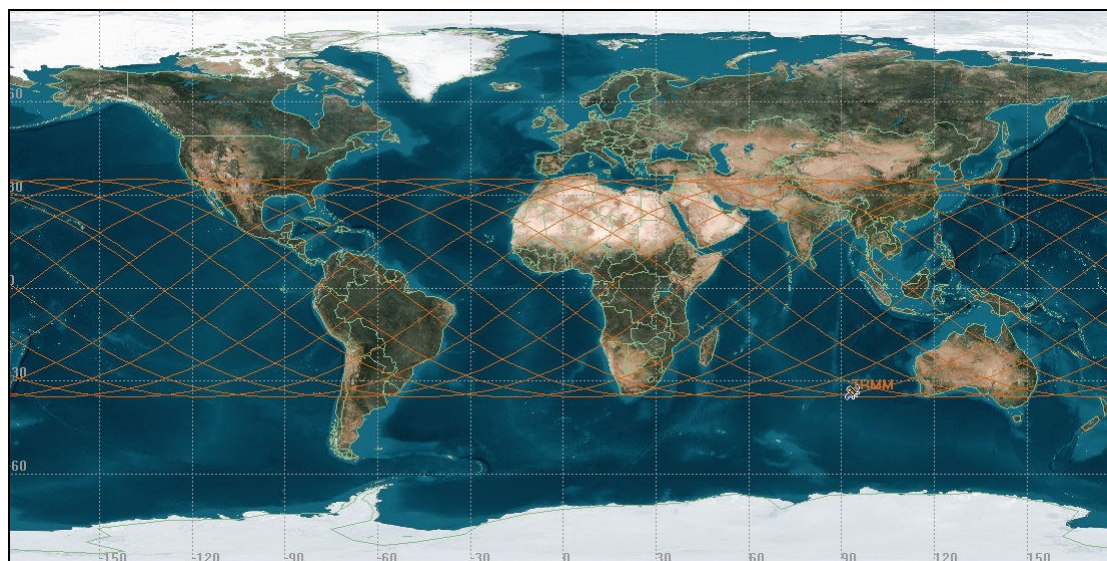
Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 4-1) αναφέρονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά της τροχιάς του δορυφόρου TRMM. Λόγω των χαρακτηριστικών της τροχιάς του, ο δορυφόρος εκτελεί μια πλήρη περιστροφή γύρω από τη Γη σε περίπου 90 λεπτά, το οποίο αντιστοιχεί περίπου σε 16 περιστροφές ανά ημέρα. Στο Σχήμα 4-2 έχει σχεδιαστεί η προβολή της τροχιάς του δορυφόρου επί του εδάφους κατά τη διάρκεια μίας ημέρας (1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2009). Από το σχήμα αυτό προκύπτει ότι η κάλυψη του δορυφόρου περιορίζεται στους τροπικούς και ότι μεσολαβούν 3 ώρες περίπου μεταξύ διαδοχικών καταγραφών του ίδιου σημείου (το διπλάσιο της περιόδου τροχιάς

του). Στο Σχήμα 4-3 έχει σχεδιαστεί η ακριβής θέση του δορυφόρου TRMM την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2009 και ώρα 13:40:52, η τροχιά του και το αποτύπωμα των οργάνων του στο έδαφος.

**Πίνακας 4-1:** Κυριότερα χαρακτηριστικά της τροχιάς του TRMM [NASDA, 2001].

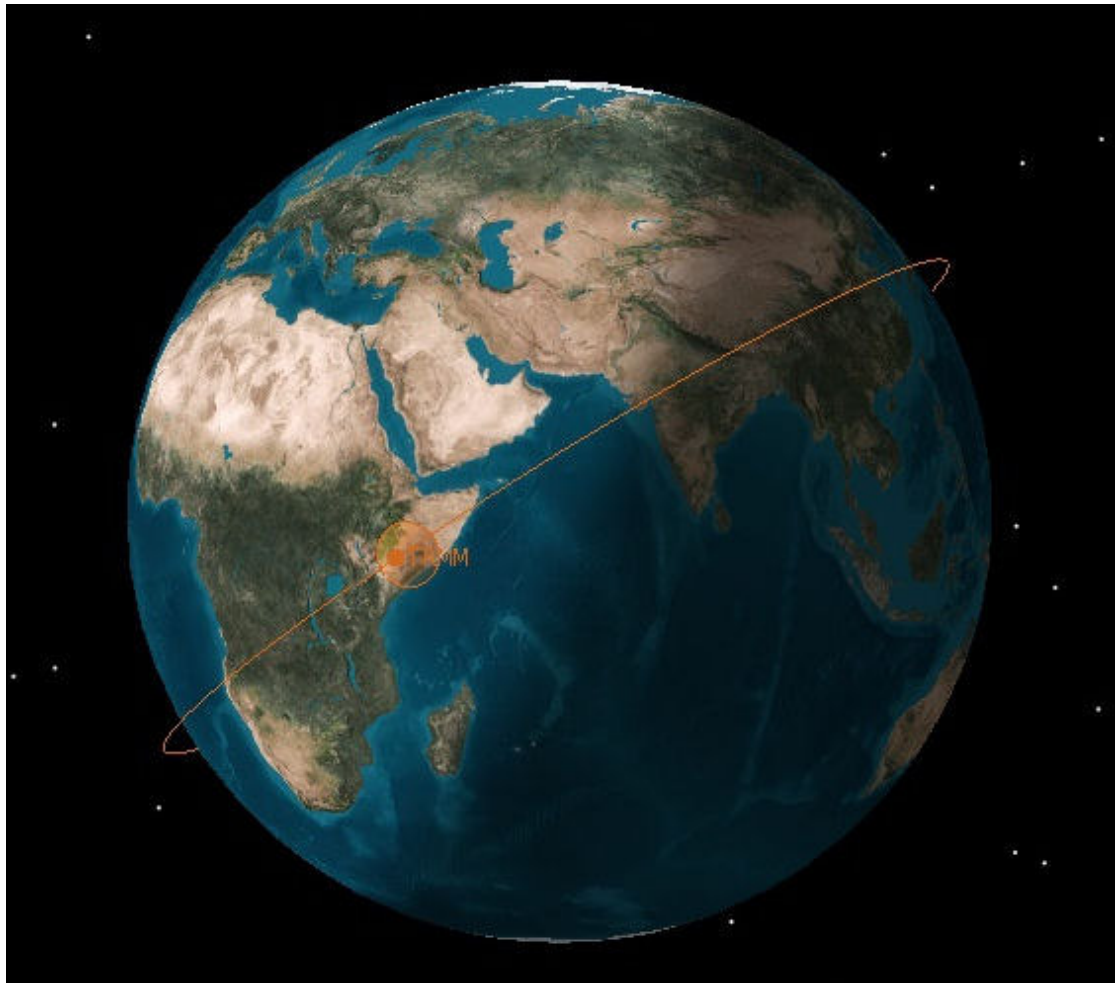
Ιδιότητα	Τιμή
Μέση κίνηση	15.5604 περιστροφές / ημέρα
Περίοδος τροχιάς	92.54 min
Κύριος άξονας τροχιάς	6728.338 km
Μεταβλητότητα κύριου άξονα τροχιάς	±1.25 km
Εκκεντρότητα	0.0001086
Μεταβλητότητα εκκεντρότητας	±0.000001
Γωνία κλίσης	34.9686 deg
Μεταβλητότητα γωνίας κλίσης	±0.05 deg
Γωνία περιγείου	286.335 deg
Μέση ανωμαλία τροχιάς	72.728 deg
Ορθή αναφορά	316.706 deg
Συντελεστής τριβής	$7.1343 \times 10^{-5}$
Ημερομηνία εκτόξευσης	27/11/1997 21:27
Βάρος (καθαρό)	2730 kg
Βάρος (ολικό)	3620 kg
Κατανάλωση σχεδιασμού	1100 W
Μέση πραγματική κατανάλωση	850 W
Αρχική διάρκεια ζωής	3 έτη 2 μήνες
Εκτιμώμενη διάρκεια ζωής	13 έτη 4 μήνες

Στη συνέχεια προστίθενται στο μοντέλο SSM οι τροχιές των υπολοίπων μετεωρολογικών δορυφόρων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των προϊόντων 3B42 και 3B42RT. Οι τροχιές των δορυφόρων αυτών (Πίνακας 4-2) πλην του Aqua είναι γεωσταθερές, σε πολύ μεγαλύτερο υψόμετρο από αυτό του TRMM.



**Σχήμα 4-2:** Η προβολή της τροχιάς του TRMM σε μία ημέρα.





**Σχήμα 4-3:** Η θέση του TRMM στις 01/01/2007 13:40:52.

**Πίνακας 4-2:** Βοηθητικοί μετεωρολογικοί δορυφόροι προϊόντων 3B42/3B42RT.

Δορυφόρος	Τροχιά
Goes - W (Goes 11)	Πίνακας 4-3
Goes - E (Goes 12)	Πίνακας 4-4
MTSAT	Πίνακας 4-5
Meteosat 5	Πίνακας 4-6
Meteosat 7	Πίνακας 4-7
Aqua	Πίνακας 4-8

**Πίνακας 4-3:** Κυριότερα χαρακτηριστικά τροχιάς Goes 11 (Goes-W) [NOAA, 2009].

Ιδιότητα	Τιμή
Μέση κίνηση	1.00268 περιστροφές / ημέρα
Περίοδος τροχιάς	23.9359 h
Κύριος άξονας τροχιάς	42161.418376 km
Εκκεντρότητα	0.0000717
Γωνία κλίσης	0.3018 deg
Γωνία περιγείου	288.969 deg
Μέση ανωμαλία τροχιάς	225.925 deg
Ορθή αναφορά	90.4273 deg
Ημερομηνία εκτόξευσης	03/05/2000 07:07
Βάρος (ολικό)	1090.953 kg
Γεωγραφικό μήκος	75° 71' 63" W

**Πίνακας 4-4:** Κυριότερα χαρακτηριστικά τροχιάς Goes 12 (Goes-E) [NOAA, 2009].

<b>Ιδιότητα</b>	<b>Τιμή</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 deg
Γωνία περιγείου	306.11221650 deg
Μέση ανωμαλία τροχιάς	158.95748 deg
Ορθή αναφορά	261.634 deg
Ημερομηνία εκτόξευσης	23/07/2001 07:23
Βάρος (ολικό)	1062.84 kg
Γεωγραφικό μήκος	134° 90' 10" W

**Πίνακας 4-5:** Κυριότερα χαρακτηριστικά τροχιάς MTSAT [JMA, 2009].

<b>Ιδιότητα</b>	<b>Τιμή</b>
Μέση κίνηση	1.00271 περιστροφές / ημέρα
Περίοδος τροχιάς	23.9351 h
Εκκεντρότητα	0.0002866
Γωνία κλίσης	0.0205 deg
Γωνία περιγείου	118.749 deg
Μέση ανωμαλία τροχιάς	183.489 deg
Ορθή αναφορά	284.573 deg
Ημερομηνία εκτόξευσης	18/02/2006 06:55
Βάρος (ολικό)	1250.00 kg

**Πίνακας 4-6:** Κυριότερα χαρακτηριστικά τροχιάς Meteosat 5 [EUMETSAT, 2009].

<b>Ιδιότητα</b>	<b>Τιμή</b>
Μέση κίνηση	0.984513 περιστροφές / ημέρα
Περίοδος τροχιάς	24.377535 h
Εκκεντρότητα	0.0005009
Γωνία κλίσης	9.1988 deg
Γωνία περιγείου	99.3296 deg
Μέση ανωμαλία τροχιάς	260.558 deg
Ορθή αναφορά	56.7646 deg
Ημερομηνία εκτόξευσης	02/03/1991 23:36
Ημερομηνία παύσης	20/04/2007
Βάρος (ολικό)	316.00 kg

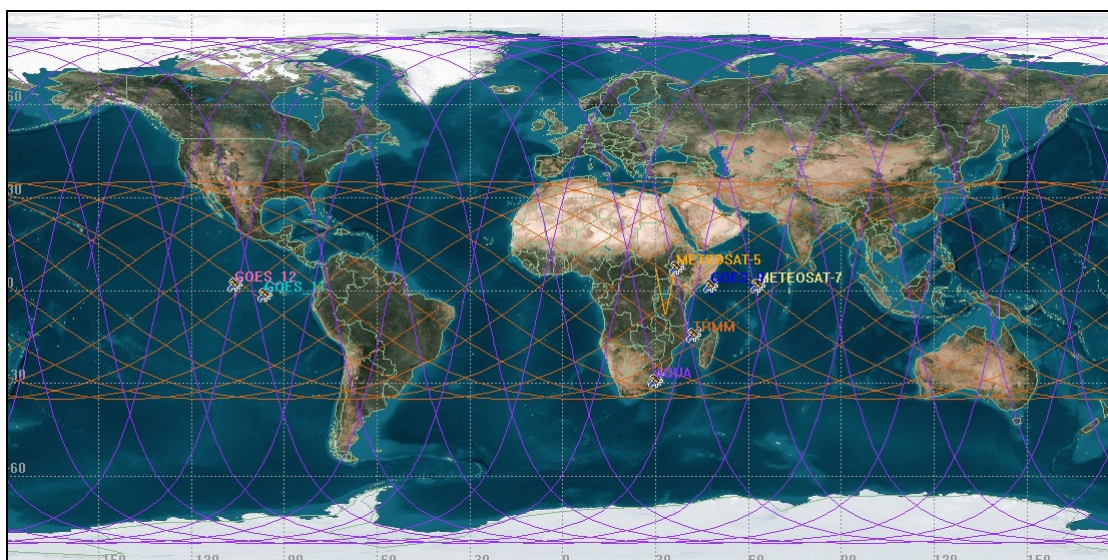
**Πίνακας 4-7:** Κυριότερα χαρακτηριστικά τροχιάς Meteosat 7 [EUMETSAT, 2009].

<b>Ιδιότητα</b>	<b>Τιμή</b>
Μέση κίνηση	1.00276 περιστροφές / ημέρα
Περίοδος τροχιάς	23.9339 h
Εκκεντρότητα	0.0000858
Γωνία κλίσης	3.2761 deg
Γωνία περιγείου	4.2276 deg
Μέση ανωμαλία τροχιάς	168.294 deg
Ορθή αναφορά	78.6839 deg
Ημερομηνία εκτόξευσης	02/09/1997 22:21
Βάρος (ολικό)	3455.00 kg

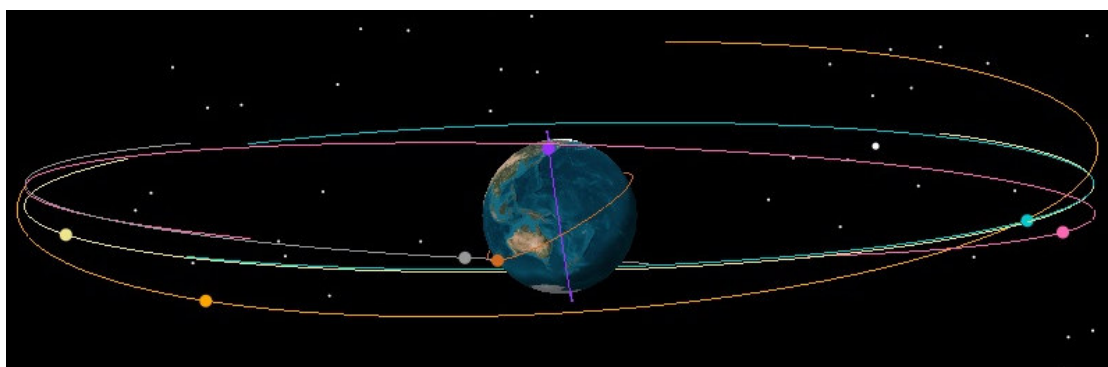
**Πίνακας 4-8:** Κυριότερα χαρακτηριστικά τροχιάς Aqua [GSFC, 2009].

Ιδιότητα	Τιμή
Μέση κίνηση	14.5712 περιστροφές / ημέρα
Περίοδος τροχιάς	98.83 min
Εκκεντρότητα	0.0001134
Γωνία κλίσης	98.1925 deg
Γωνία περιγείου	53.9087 deg
Μέση ανωμαλία τροχιάς	306.223 deg
Ορθή αναφορά	81.4782 deg
Ημερομηνία εκτόξευσης	04/05/2002 09:55
Βάρος (ολικό)	3117.00 kg

Στο Σχήμα 4-4 έχει σχεδιαστεί η προβολή της τροχιάς των επτά δορυφόρων, των οποίων οι μετρήσεις χρησιμοποιούνται για την κατάρτιση των προϊόντων 3B42 και 3B42RT επί του εδάφους κατά τη διάρκεια μίας ημέρας (1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2009). Στο Σχήμα 4-5 έχει σχεδιαστεί η ακριβής θέση των δορυφόρων κατά την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2009 και ώρα 18:00:00, η τροχιά τους και το αποτύπωμα των οργάνων τους στο έδαφος. Επειδή ο δορυφόρος Meteosat 5 παροπλίστηκε στις 20 Απριλίου 2007, η θέση του είναι θεωρητική και δεν λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς.



**Σχήμα 4-4:** Η προβολή της τροχιάς όλων των δορυφόρων σε 1 ημέρα.



**Σχήμα 4-5:** Η θέση όλων των δορυφόρων στις 01/01/2007 18:00:00.

Στο σχήμα αυτό, φαίνεται ο περιορισμός του αποτυπώματος του TRMM στους τροπικούς. Ο δορυφόρος Aqua που ακολουθεί επίσης χαμηλή τροχιά καλύπτει πρακτικά όλη την επιφάνεια του πλανήτη. Η φαινόμενη πύκνωση των αποτυπωμάτων στους πόλους οφείλεται στην (απλοποιητική) καρτεσιανή αναπαράσταση του ελλειψοειδούς της επιφάνειας της Γης.

#### 4.3.6 Επαλήθευση μοντέλου

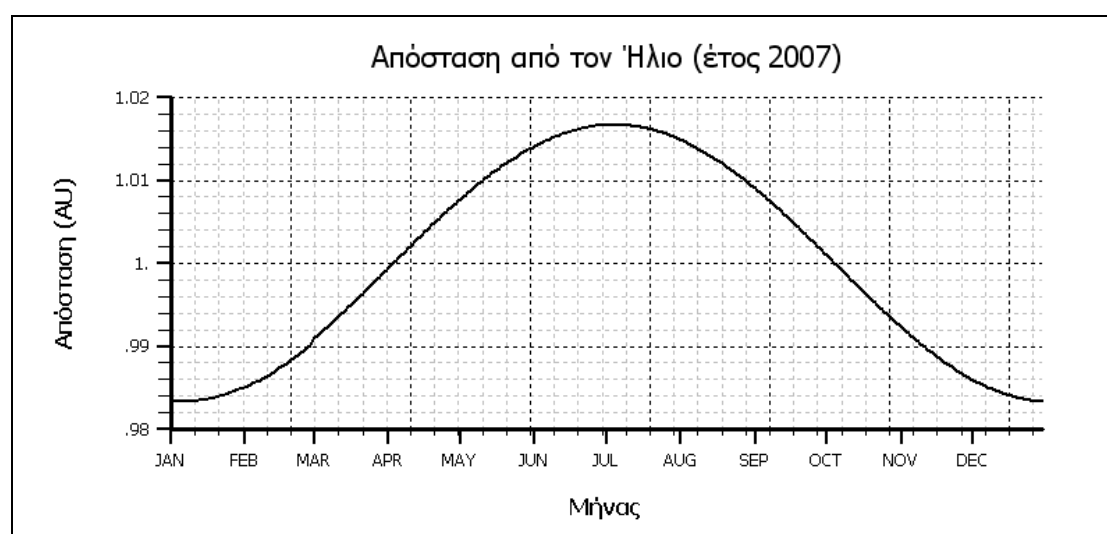
Η επαλήθευση του μοντέλου SSM συνίσταται στον υπολογισμό και στη γραφική απεικόνιση μερικών από τις κυριότερες υπολογιζόμενες μεταβλητές του. Επειδή τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών διαφέρουν για κάθε σημείο, η επαλήθευση περιορίζεται σε μια συγκεκριμένη θέση και σύγκριση των υπολογιζόμενων τιμών, με τιμές που λαμβάνονται από πίνακες ή έχουν δημοσιευθεί σε σχετικές εργασίες.

Το πλεονέκτημα του μοντέλου SSM, είναι ότι οι υπολογισμοί που μπορούν να γίνουν με χρονική διακριτότητα έως 1 δευτερόλεπτο. Αντίθετα εάν τα υπολογιζόμενα μεγέθη του λαμβάνονταν από πίνακες ή άλλες πηγές, η χρονική του διακριτότητα θα ήταν κατά πολύ μεγαλύτερη, της τάξεως μίας ημέρας ή ενός μήνα. Όμως επειδή οι περιστροφές των δορυφόρων δεν ακολουθούν σταθερή περίοδο και είναι περισσότερες της μίας ανά ημέρα, είναι προφανές ότι η όλη ανάλυση θα πρέπει να γίνει σε μικρότερα της ημέρας χρονικά διαστήματα.

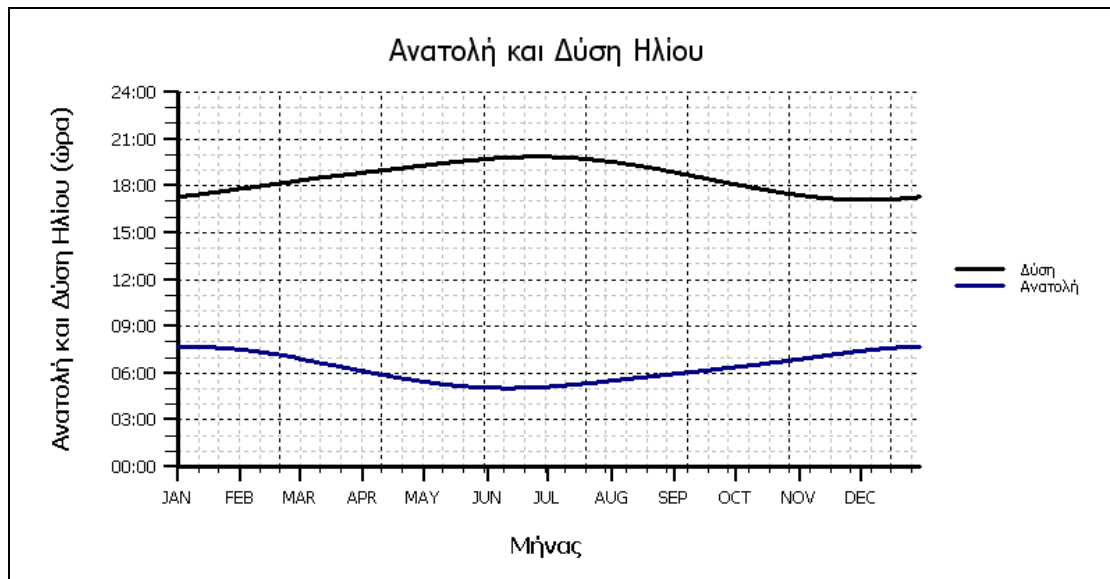
Για την επαλήθευση και μόνο, γίνεται αναγωγή των αποτελεσμάτων του μοντέλου από μικρότερη (δευτερόλεπτο) σε μεγαλύτερη χρονική διακριτότητα (μήνας). Το σημείο που επιλέχθηκε για τον υπολογισμό των συγκρινόμενων μεγεθών είναι το ακόλουθο:

Γεωγραφικό μήκος:  $-23^{\circ} 40' 47''$   
Γεωγραφικό πλάτος:  $37^{\circ} 56' 06''$

Οι υπολογισμοί έγιναν για το έτος 2007. Στο Σχήμα 4-6 έχουν σχεδιαστεί οι αποστάσεις Γης – Ηλίου σε αστρονομικές μονάδες ενώ στο Σχήμα 4-7 παρουσιάζονται οι ώρες ανατολής και δύσης Ηλίου, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η αλλαγή ώρας για εξοικονόμηση ενέργειας, κάτι που εξάλλου δεν επηρεάζει τους υπολογισμούς.

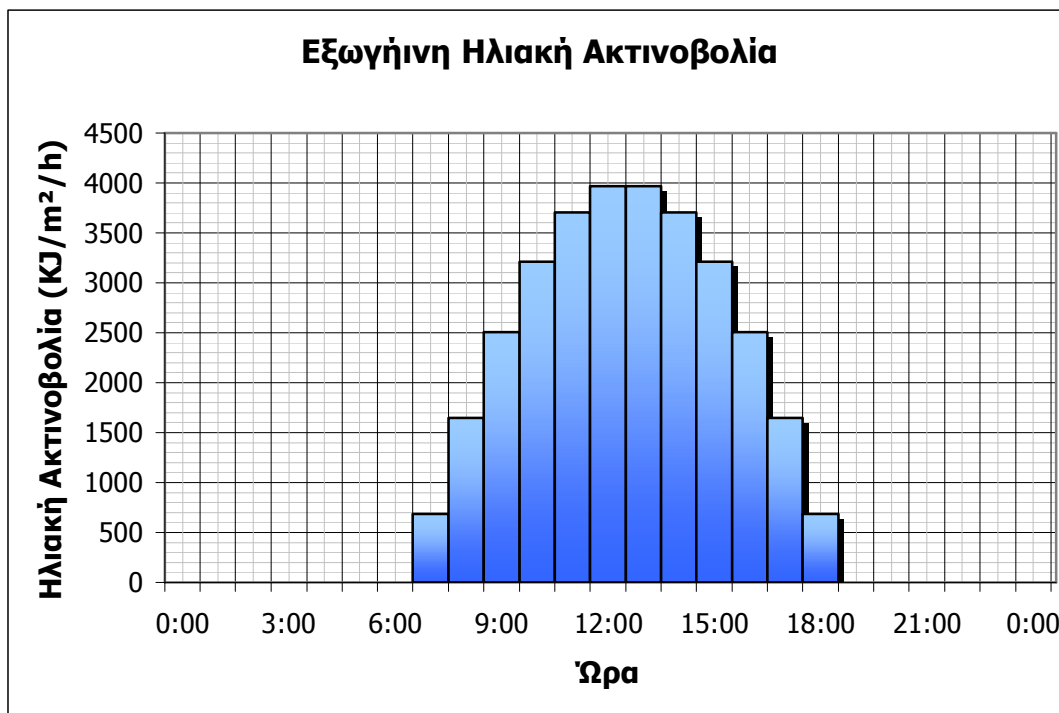


**Σχήμα 4-6:** Απόσταση Γης – Ηλίου σε αστρονομικές μονάδες μήκους.



Σχήμα 4-7: Ώρες ανατολής και δύσης ηλίου.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4-8) φαίνεται η ωριαία μεταβολή της εξωγήινης ηλιακής ακτινοβολίας την 1η Απριλίου του 2007.



Σχήμα 4-8: Υπολογισμός ωριαίας εξωγήινης ηλιακής ακτινοβολίας.

Συμπερασματικά αναφέρεται ότι τα αποτελέσματα του μοντέλου αυτού επαληθεύονται τόσο με τις μηνιαίες τιμές που λαμβάνονται από πίνακες [Μιμίκου και Μπαλτάς, 2006] όσο και με ακριβέστερους υπολογισμούς [NGDC, 2007]. Οι ακριβείς θέσεις των αποτυπωμάτων των δορυφόρων όπως υπολογίζονται από το μοντέλο SSM ελέγχθηκαν με το πρόγραμμα STK της AGI και βρέθηκε ταύτιση των υπολογισμένων θέσεων της Γης και των τροχιών δορυφόρων για το διάστημα 1/1/2005 έως 31/12/2008, με χρονική διακριτότητα 10 δευτερολέπτων.

#### 4.4 Το πρόγραμμα PPXXXX

Σκοπός του προγράμματος αυτού είναι η επιστροφή στο πρόγραμμα που το καλεί (SSM) του ύψους της βροχόπτωσης που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο κύτταρο του καννάβου και για τη χρονική στιγμή της προσομοίωσης. Αν η μέτρηση αυτή δεν υπάρχει στη βάση δεδομένων, τότε καλείται αυτόματα το πρόγραμμα PRUPDATE, το οποίο αναλαμβάνει την αναζήτηση της τιμής αυτής στον εξυπηρετητή της NASA. Το πρόγραμμα PRUPDATE περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο 4.6.

Το πρόγραμμα, μπορεί να επιστρέψει το ύψος βροχόπτωσης ενός από τα ακόλουθα προϊόντα:

- 3B42
- 3B42RT
- 3B43
- CPC
- ATS (Αυτόματοι τηλεμετρικοί σταθμοί)

Είναι όμως δυνατόν να επιστρέψει τιμές από οποιοδήποτε δορυφορικό προϊόν με ελάχιστες αλλαγές.

##### 4.4.1 Παραλλαγή PP3B42

Στα αρχεία αυτά έχουν αποθηκευτεί οι καταγραφές της 3-ωρης έντασης βροχόπτωσης του προϊόντος 3B42, είναι δυαδικής μορφής και περιέχουν διατεταγμένες τις εντάσεις από δυτικά προς ανατολικά και από νότια προς βόρεια. Επειδή ο κάνναβος έχει διαστάσεις κυττάρων  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ , έπεται ότι το γεωγραφικό μήκος αποτελείται από  $2 \times 180 / 0.25 = 1\,440$  κύτταρα ενώ το γεωγραφικό πλάτος που εκτείνεται από τις  $-50^{\circ}$  έως τις  $+50^{\circ}$ , αποτελείται από  $2 \times 50 / 0.25 = 400$  κύτταρα. Ο συνολικός κάνναβος αποτελείται από  $1440 \times 400 = 576\,000$  κύτταρα και επειδή κάθε ένα εξ αυτών περιέχει 1 τιμή απλής ακρίβειας (single precision) που έχει μέγεθος 4 bytes, το κάθε αρχείο θα έχει συνολικό μήκος 2\,304\,000 bytes (2.3 MB). Υπάρχει ένα αρχείο για κάθε τρίωρη βροχόπτωση από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 1998 έως την 30 Απριλίου 2009, οπότε ο συνολικός όγκος των δεδομένων υπερβαίνει τα 80.5 GB.

Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τις ακόλουθες σχέσεις για τον υπολογισμό της θέσης των δεδομένων στο αρχείο, ανάλογα με το ζητούμενο γεωγραφικό πλάτος και μήκος και αντίστροφα:

$$\lambda = -179.875 + 0.25(x - 1) \quad (4-32)$$

$$x = 1 + \frac{\lambda + 179.875}{0.25} \quad (4-33)$$

$$\varphi = -49.875 + 0.25(y - 1) \quad (4-34)$$

$$y = 1 + \frac{\varphi + 49.875}{0.25} \quad (4-35)$$

Όπου:  $\lambda$ , το γεωγραφικό μήκος ( $^{\circ}$ )

$\varphi$ , το γεωγραφικό πλάτος ( $^{\circ}$ )

$x$ , η τετμημένη του κέντρου του κυττάρου στον κάνναβο (1 έως 1440)

$y$ , η τεταγμένη του κέντρου του κυττάρου στον κάνναβο (1 έως 400)

Στην ειδική περίπτωση που η τιμή της έντασης της βροχόπτωσης υπάρχει στο αρχείο αλλά έχει σημειωθεί ως ελλιπής, το πρόγραμμα μπορεί προαιρετικά να εκτιμήσει την τιμή που λείπει, ως το μέσο όρο της έντασης της βροχόπτωσης που έχει καταγραφεί τρεις ώρες πριν και τρεις ώρες μετά στο ίδιο κύτταρο. Οι τιμές σημειώνονται ως ελλιπείς, όταν υπάρχει πρόβλημα με την καταγραφή των πρωτογενών μετρήσεων ή όταν το κενό στην κάλυψη είναι τόσο μεγάλο που δεν είναι δυνατή η εκτίμηση της έντασης της βροχόπτωσης από τον αλγόριθμο VAR (βλ. παράγραφο 6.4.3.3) χωρίς σημαντική αβεβαιότητα.

#### 4.4.2 Παραλλαγή PP3B42RT

Το πρόγραμμα αυτό είναι εντελώς όμοιο με το PP3B42, αλλά αντί να χρησιμοποιεί τα αρχεία του προϊόντος 3B42, χρησιμοποιεί αυτά του προϊόντος 3B42RT. Τα αρχεία αυτά έχουν μεγαλύτερο εύρος κάλυψης όσον αφορά το γεωγραφικό πλάτος (από -60° έως +60°), οπότε οι εξισώσεις (4-34) και (4-35) διαφοροποιούνται καθώς επίσης και το μέγεθος του καννάβου που αποτελείται πλέον από 1440 x 480 = 619 200 κύτταρα και το μέγεθος του κάθε αρχείου τρίωρων εντάσεων βροχόπτωσης που ανέρχεται σε 619200 x 4 = 2 764 800 bytes ή 2.76 MB. Οι νέες εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θέσης των δεδομένων στο αρχείο, ανάλογα με το ζητούμενο γεωγραφικό πλάτος και αντίστροφα είναι οι ακόλουθες:

$$\varphi = -59.875 + 0.25(y - 1) \quad (4-36)$$

$$y = 1 + \frac{\varphi + 59.875}{0.25} \quad (4-37)$$

Όπου:  $\varphi$ , το γεωγραφικό πλάτος (°)

$y$ , η τεταγμένη του κέντρου του κυττάρου στον κάνναβο (1 έως 480)

#### 4.4.3 Παραλλαγή PP3B43

Τα αρχεία του δορυφορικού προϊόντος 3B43, αποτελούν αρχεία μηνιαίας βροχόπτωσης τα οποία καταρτίζονται με τα ίδια δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο 3B42, αλλά χρησιμοποιούνται για τη διόρθωσή τους οι επίγειες μετρήσεις όλων των σταθμών του δικτύου GPCC.

Η κάλυψη του 3B43 εκτείνεται στα γεωγραφικά πλάτη από -50° έως +50°, οπότε ισχύουν οι εξισώσεις (4-32) έως (4-36) για τον εντοπισμό των δεδομένων σε κάθε αρχείο μηνιαίου αθροιστικού ύψους βροχόπτωσης. Το συνολικό πλήθος των κυττάρων του καννάβου ανέρχεται σε 576 000 (βλ. 4.4.1), οπότε το μέγεθος του κάθε αρχείου ισούται με 576 000x4=2 304 000 bytes ή 2.3 MB.

Στην περίπτωση ελλιπών τιμών, το πρόγραμμα δεν συμπληρώνει τις τιμές που λείπουν, αντίθετα με τις δυο προηγούμενες παραλλαγές του. Σημειώνεται ότι μετά από έλεγχο των ιστορικών χρονοσειρών του προϊόντος 3B43, διαπιστώθηκε ότι δεν υφίστανται ελλιπείς τιμές. Τέτοιες τιμές μπορεί να εμφανιστούν μόνο μελλοντικά σε περίπτωση προβλήματος στα συστήματα επεξεργασίας και διάθεσης του προϊόντος 3B43.



#### 4.4.4 Παραλλαγή PPCPC

Τα αρχεία ημερήσιας βροχόπτωσης του δικτύου CPC είναι δυαδικά και χωρίζονται σε δυο ίσα μέρη. Το κάθε μέρος ορίζεται επί του ιδίου καννάβου που καλύπτει όλη την επιφάνεια της Γης. Ο κάνναβος έχει διαστάσεις κυττάρου  $0.50^{\circ} \times 0.50^{\circ}$ , και άρα το μήκος του αποτελείται από  $360/0.5=720$  κύτταρα ενώ το πλάτος του από  $180/0.5=360$  κύτταρα. Το συνολικό πλήθος των κυττάρων του είναι  $720 \times 360 = 259\ 200$ .

Ο πρώτος κάνναβος περιέχει τα αθροιστικά ύψη ημερήσιας βροχόπτωσης σε μονάδες  $0.1 \text{ mm/h}$ , ενώ ο δεύτερος κάνναβος περιέχει τον αριθμό των επίγειων σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της επιφανειακής βροχόπτωσης σε κάθε κύτταρο. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τις ακόλουθες σχέσεις για τον υπολογισμό της θέσης των δεδομένων στο αρχείο, ανάλογα με το ζητούμενο γεωγραφικό πλάτος και μήκος και αντίστροφα:

$$\lambda = -179.75 + 0.5(x-1) \quad (4-38)$$

$$x = 1 + \frac{\lambda + 179.75}{0.5} \quad (4-39)$$

$$\varphi = -89.75 + 0.5(y-1) \quad (4-40)$$

$$y = 1 + \frac{\varphi + 89.75}{0.5} \quad (4-41)$$

Στην περίπτωση ελλιπών τιμών, το πρόγραμμα δεν συμπληρώνει τις τιμές που λείπουν, αντίθετα με τις παραλλαγές του PP3B42 και PP3B42RT.

#### 4.4.5 Παραλλαγή PPATS

Το πρόγραμμα αυτό, λαμβάνει τις 6 μετρήσεις της βροχόπτωσης του δικτύου αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών και τις αντιστοιχίζει ως εξής:

**Πίνακας 4-9:** Αντιστοίχιση μετρήσεων ΑΤΣ - καννάβων.

Σταθμός	Κύτταρο (0.25)	Κύτταρο (0.50)
Δέλτα Έβρου	82	21
Γέφυρα Κήπων	82	21
Σιδηροδρομική Γέφυρα Πυθίου	94	22
Κόμαρα κατάντη φράγματος Άρδα	85	23
Γέφυρα Διδυμοτείχου	94	22
Ορμένιο	86	23

Στην περίπτωση που σε ένα κύτταρο υπάρχει ένας μόνο σταθμός, τότε ως επιφανειακή βροχόπτωση νοείται η σημειακή μέτρηση του σταθμού, η οποία φυσικά υπερεκτιμά την επιφανειακή βροχόπτωση. Στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότεροι του ενός σταθμοί σε ένα κύτταρο, τότε χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρήσεων των σταθμών.

#### 4.5 Το πρόγραμμα PCOR

Το πρόγραμμα PCOR συνδυάζεται προαιρετικά με το πρόγραμμα SSM. Λαμβάνει τις τιμές του ύψους βροχόπτωσης που προέρχονται από δορυφορικές ή επίγειες



καταγραφές και επιστρέφει τη διορθωμένη τιμή του ύψους βροχόπτωσης. Αν ο χρήστης έχει επιλέξει να μη διορθώσει τις τιμές της βροχόπτωσης, τότε ως αποτέλεσμα το πρόγραμμα επιστρέφει την αρχική τιμή χωρίς καμία μεταβολή.

Η διόρθωση μπορεί να είναι αναγκαία, στην περίπτωση που διαπιστωθεί συστηματική απόκλιση μεταξύ των επίγειων μετρήσεων και των δορυφορικών προϊόντων. Περισσότερα για την επαλήθευση των δορυφορικών μετρήσεων και τη σύγκριση των προϊόντων μεταξύ τους δίδονται στο κεφάλαιο 8.

Δεν υπάρχει περιορισμός ως προς τη μορφή της σχέσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διόρθωση των καταγραφών υψών βροχόπτωσης.

Στο πλαίσιο του παρόντος, ενσωματώθηκαν δυο ειδών έλεγχοι. Ο πρώτος αφορά τη σύγκριση μεταξύ των επίγειων καταγραφών και των καταγραφών των δορυφορικών προϊόντων και περιορίζεται στην εύρεση του ποσοστού κατά το οποίο αυτά διαφέρουν. Αν υπερβαίνει ένα προκαθορισμένο ποσοστό (τέθηκε ίσο με 20%), τότε εμφανίζεται στην οθόνη ένα προειδοποιητικό μήνυμα (βλέπε και παράγραφο 8.6). Η δεύτερη διόρθωση αφορά αποκλειστικά το δορυφορικό προϊόν 3B42RT, το οποίο βρέθηκε ότι είναι πολύ κατώτερο από τα υπόλοιπα δορυφορικά προϊόντα με βάση την επαλήθευση που έγινε με επίγειες μετρήσεις. Για το λόγο αυτό έγινε προσπάθεια ώστε να διορθώνεται σε πραγματικό χρόνο με τις επίγειες καταγραφές του δικτύου μετρήσεων CPC και όταν η εργασία δεν γίνεται σε πραγματικό χρόνο και με τις μετρήσεις του προϊόντος 3B42. Οι εξισώσεις που βρέθηκαν και ενσωματώθηκαν στο πρόγραμμα περιγράφονται αναλυτικά στην παράγραφο 8.5).

#### 4.6 Το πρόγραμμα PRUPDATE

Το πρόγραμμα PRUPDATE χρησιμοποιείται από τα προγράμματα SSM, PPXXXX (3B42, 3B42RT, 3B43, CPC και ATS) για την απόκτηση νεότερων μετρήσεων ή μετρήσεων παλαιότερων ετών που δεν υπάρχουν στις τοπικές βάσεις δεδομένων. Το PRUPDATE, ανάλογα με το πρόγραμμα που το καλεί, αναζητά τα κατάλληλα δεδομένα στους εξυπηρετητές που τα παρέχουν.

Για δορυφορικές μετρήσεις, ο πάροχος είναι η NASA, για τις μετρήσεις του Climate Prediction Center (CPC) η National Oceanic and Atmospheric Administration ενώ για τις μετρήσεις του δικτύου αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών (ΑΤΣ), ο πάροχος είναι η Διεύθυνση Εποπτείας – Κατασκευής Έργων της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας – Θράκης. Η πρόσβαση στις μετρήσεις του δικτύου των ΑΤΣ δεν είναι ελεύθερη για το κοινό, αλλά επιτρέπεται κατόπιν σχετικής αιτήσεως.

Οι διευθύνσεις των εξυπηρετητών που χρησιμοποιούνται από το PRUPDATE για την ανάκτηση των δορυφορικών προϊόντων του TRMM, δίδονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 4-10):

**Πίνακας 4-10:** Διευθύνσεις εξυπηρετητών δορυφορικών προϊόντων TRMM.

Προϊόν	Διεύθυνση
3B42	ftp://disc2.nascom.nasa.gov/data/TRMM/Gridded/3B42_V6
3B42RT	ftp://disc2.nascom.nasa.gov/data/TRMM/Gridded/3B42RT ftp://trmmopen.gsfc.nasa.gov/pub/merged/mergedIRMicro/
3B43	ftp://disc2.nascom.nasa.gov/data/TRMM/Gridded/3B43_V6/
CPC	ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/CPC_UNI_PRCP/GAUGE_GLB/RT
ATS	<private ftp> (τα δεδομένα δεν είναι διαθέσιμα στο ευρύ κοινό)

## 4.7 Το πρόγραμμα EFLOOD

### 4.7.1 Γενική περιγραφή

Ο σκοπός του προγράμματος αυτού είναι ο υπολογισμός της αναμενόμενης παροχής λίγο έξω από την πόλη της Αδριανούπολης και στο Δέλτα του Έβρου, με βάση ένα μοντέλο βροχής – απορροής που έχει δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας τις ιστορικές υδρομετρήσεις στα δυο αυτά σημεία. Η χρονική περίοδος της μελέτης αρχίζει τον Ιανουάριο του 1998 και τελειώνει τον Απρίλιο του 2009. Κατά το χρονικό αυτό διάστημα, έχουν ληφθεί οι υδρομετρήσεις από τους σταθμούς της Αδριανούπολης και των Κήπων. Οι υδρομετρήσεις από το σταθμό της Αδριανούπολης είναι πλήρεις, ενώ αυτές από το σταθμό των Κήπων είναι σποραδικές. Επειδή όμως βρέθηκε ότι τα πρώτα δυο έτη οι μετρήσεις των δορυφορικών προϊόντων είναι προβληματικές, η τελική περίοδος μελέτης αρχίζει το Φεβρουάριο του 2000 για το 3B42 και το Φεβρουάριο του 2002 για το 3B42RT (ούτως ή άλλως δεν υπάρχουν δεδομένα σε προγενέστερες χρονικές περιόδους για το προϊόν αυτό).

Για την περίοδο 2/2000 έως 12/2009, με βάση την υπολογιζόμενη βροχόπτωση όπως προκύπτει με χρήση των δορυφορικών προϊόντων 3B42 ή 3B42RT και την παροχή που υπολογίζεται από τις εξισώσεις (5-2) και (5-3), χρησιμοποιώντας την αντίστοιχη υδρομέτρηση, αντιστοιχίζεται η βροχόπτωση με την παροχή. Στη συνέχεια και για νεότερες χρονικές στιγμές, λαμβάνεται μόνο η βροχόπτωση από τα δορυφορικά προϊόντα και χρησιμοποιώντας τη σχέση βροχής – απορροής, που έχει καταρτιστεί με βάση τα ιστορικά δεδομένα, εκτιμάται η αναμενόμενη παροχή.

Η εκτιμώμενη παροχή, συγκρίνεται με τα όρια συναγερμού (ή επιφυλακής) των τουρκικών αρχών, για την περιοχή της Αδριανούπολης και των ελληνικών αρχών για την περιοχή του Δέλτα του ποταμού (Γέφυρα Κήπων). Το όριο συναγερμού για τις τουρκικές αρχές αποτελούν τα  $800 \text{ m}^3/\text{s}$ , καθώς εκτιμάται ότι η παροχευτικότητα των διατομών του ποταμού λίγο έξω από την πόλη της Αδριανούπολης δεν υπερβαίνει τα  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Αντίστοιχα, η παροχευτικότητα του π. Έβρου στην περιοχή του Δέλτα ανέρχεται σε  $1640 \text{ m}^3/\text{s}$  [Fotopoulos and Tsesmelis, 2006]. Το όριο επιφυλακής στην περίπτωση αυτή έχει οριστεί ως η υπέρβαση μίας συγκεκριμένης στάθμης, η οποία αντιστοιχεί περίπου στο 70% της παροχευτικότητας της διατομής ή σε παροχή  $1150 \text{ m}^3/\text{s}$  περίπου.

Το EFLOOD αποτελεί το συνδετικό κρίκο όλων των προαναφερόμενων προγραμμάτων. Κάθε προσομοίωση αρχίζει και τελειώνει με το EFLOOD, ενώ κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου υπολογισμών, καλούνται ανάλογα τα υπόλοιπα προγράμματα.

### 4.7.2 Επαλήθευση μετρήσεων

Έχει αναγνωρισθεί ότι τόσο οι επίγειες [Sevruk, 1982 · Legates and Willmott, 1990] όσο και οι δορυφορικές μετρήσεις [Morrissey and Greece, 1993] περιέχουν σημαντικά σφάλματα που δεν μπορούν να αμεληθούν. Ωστόσο, τα τυχαία σφάλματα των επίγειων μετρήσεων είναι μικρά συγκρινόμενα με τα συστηματικά σφάλματα των δορυφορικών παρατηρήσεων, εάν χρησιμοποιείται ικανός αριθμός επίγειων σταθμών [Xie and Arkin, 1995 · Huffman et al., 1995]. Συγκεκριμένα έχει βρεθεί ότι το σφάλμα

των επίγειων μετρήσεων βροχόπτωσης σε κάρναβο 2.5°x2.5° του οποίου τα κύτταρα περιέχουν τουλάχιστον 5 σταθμούς, περιορίζεται σε λιγότερο του 10%.

Το προαναφερόμενο κριτήριο των 5 επίγειων σταθμών ανά κύτταρο κάρναβου διαστάσεων 2.5°x2.5°, ικανοποιείται τόσο στην περίπτωση των αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών όσο και στην περίπτωση των δικτύων GPCC και CPC. Συνεπώς οι μετρήσεις βροχόπτωσης που λαμβάνονται από το δίκτυο των ΑΤΣ όσο και από τα προϊόντα GPCC και CPC θα πρέπει να θεωρηθούν ότι έχουν μικρότερο σφάλμα από αυτές που προκύπτουν από τα δορυφορικά προϊόντα. Στο ίδιο συμπέρασμα έχουν καταλήξει και άλλες ερευνητικές προσπάθειες, για διαφορετικές όμως περιοχές, όπως για παράδειγμα στη Δυτική Αφρική [Nicholson et al., 2003], στην Ανατολική Αφρική [Dinku et al., 2007], στην Ωκεανία [Marks et al., 2009] στην Ασία [Kozu et al., 2002] και στην Αμερική (Βόρεια και Νότια) [Villarini et al., 2007· Henschke and Habib, 2008] αλλά και μέσω του TRMM Validation Office σε ολόκληρη την υδρόγειο [Shin et al., 2001]. Πρόσφατα δημοσιεύτηκαν τα αποτελέσματα επαλήθευσης των δορυφορικών προϊόντων στην Ελλάδα σε μηνιαίο χρονικό βήμα [Feidas, 2009]. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά, υπάρχει μεγάλη συσχέτιση μεταξύ των επίγειων μετρήσεων και των προϊόντων 3B42 και 3B43, αν και προκύπτει συστηματική υπερεκτίμηση της βροχόπτωσης από τα δορυφορικά προϊόντα.

Εκτός από τη σύγκριση των δορυφορικών προϊόντων με τις επίγειες μετρήσεις που προέρχονται από τα δίκτυα GPCC και CPC, ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η σύγκριση των μετρήσεων των δορυφόρων με αυτές του δικτύου των ΑΤΣ που έχουν εγκατασταθεί στο ν. Έβρου. Επειδή υπάρχει δυνατότητα τηλεμετάδοσης των μετρήσεων των ΑΤΣ σε μια κεντρική βάση δεδομένων, η όλη σύγκριση μπορεί να γίνει σε πραγματικό χρόνο. Τα προϊόντα του TRMM δεν μπορούν σε καμία περίπτωση να δώσουν αποτελέσματα όμοια με αυτά των ΑΤΣ, κυρίως λόγω των διαφορών στην χωρική και χρονική δειγματοληψία. Η διαφορά στη χωρική διακριτότητα των αποτελεσμάτων έγκειται στο γεγονός ότι οι επίγειοι σταθμοί παρέχουν σημειακές μετρήσεις ενώ τα δορυφορικά προϊόντα μέσες επιφανειακές εκτιμήσεις. Όσον αφορά τη χρονική διακριτότητα, τα αποτυπώματα των οργάνων των δορυφόρων στο έδαφος βρίσκονται πάνω ή γύρω από τους επίγειους σταθμούς για πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Το διάστημα αυτό είναι τόσο μικρό που δεν είναι εφικτή η επαλήθευση ούτε καν του ημερήσιου κύκλου της βροχόπτωσης. Παρόλα αυτά, είναι δυνατόν συγκρίνοντας την επιφανειακή βροχόπτωση που προκύπτει από τις σημειακές επίγειες μετρήσεις με ολοκλήρωση (π.χ. Thiessen ή Kriging) με αυτή των δορυφορικών προϊόντων, να βρεθεί το κατά πόσον η επιφανειακή βροχόπτωση που λαμβάνεται από τους δορυφόρους έχει την ίδια ποιότητα με αυτή που θα λαμβανόταν από τους επίγειους σταθμούς. Φυσικά, επειδή οι εν λόγω επίγειοι σταθμοί αντιπροσωπεύουν το 6% της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής του π. Έβρου, έπεται ότι τα όποια συμπεράσματα προκύψουν, δεν θα αντικατοπτρίζουν το σύνολο της περιοχής μελέτης.

Για την επαλήθευση των δορυφορικών μετρήσεων, επιλέχθηκαν 4 στατιστικοί δείκτες που δίδονται από τις εξισώσεις (4-42) έως (4-45), το συστηματικό σφάλμα του δείγματος (BIAS), το μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE), η τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) ο συντελεστής συσχέτισης (R) και η αποδοτικότητα (eff) [Κουτσογιάννης, 1999 · Dinku et al., 2007 · Feidas, 2009] τα οποία ενσωματώθηκαν στο EFLOOD:

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n S_i - \sum_{i=1}^n G_i}{\sum_{i=1}^n G_i} \times 100\% \quad (4-42)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |S_i - G_i|}{n} \quad (4-43)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |S_i - G_i|^2}{n}} \quad (4-44)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S}) \sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2 \sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2}} \quad (4-45)$$

$$eff = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - G_i)^2}{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2} \quad (4-46)$$

Όπου:

$S_i$ , οι τιμές των χρονοσειρών βροχόπτωσης των δορυφορικών προϊόντων

$G_i$  οι αντίστοιχες τιμές βροχόπτωσης των επίγειων προϊόντων

$n$  το πλήθος των κοινών δεδομένων των δυο χρονοσειρών.

$\bar{S} = \sum_{i=1}^n S_i$ , ο μέσος όρος των τιμών της χρονοσειράς των δορυφορικών προϊόντων

$\bar{G} = \sum_{i=1}^n G_i$ , ο μέσος όρος των τιμών της χρονοσειράς των επίγειων προϊόντων

Το συστηματικό σφάλμα του δείγματος (BIAS) χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του συστηματικού σφάλματος της βροχόπτωσης όπως δίδεται από τα δορυφορικά προϊόντα. Το μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE) μετράει το μέσο μέγεθος του σφάλματος, ενώ η τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) δίνει επίσης το μέσο μέγεθος του σφάλματος, αλλά με έμφαση στα μεγαλύτερα σφάλματα. Τέλος ο συντελεστής συσχέτισης (R) χρησιμοποιείται για την διερεύνηση ενδείξεων ύπαρξης συσχέτισης μεταξύ των τιμών των δυο εκάστοτε χρονοσειρών και η αποδοτικότητα ως ένα μέτρο εκτίμησης της.

### 4.7.3 Πρόγνωση πλημμυρών

Για την πρόγνωση των πλημμυρών στην πρώτη θέση η οποία βρίσκεται λίγο έξω από την Αδριανούπολη κατά το χρονικό διάστημα 2000-2009, λαμβάνονται υπόψη μέσω του EFLOOD οι καταγραφές του σταθμηγράφου και οι καμπύλες στάθμης – παροχής που αναφέρονται στην παράγραφο 5.2.5 για τον υπολογισμό της παρατηρημένης απορροής καθώς επίσης και οι μετρημένες βροχοπτώσεις στην ανάντη λεκάνη, που συνίστανται στο άθροισμα των παροχών των υπολεκανών του

Έβρου, του Τούντζα και του Άρδα. Χρησιμοποιώντας τις καταγεγραμμένες βροχοπτώσεις και τις παρατηρημένες απορροές της περιόδου 2000-2006, δημιουργείται ένα στατιστικό μοντέλο βροχής – απορροής, το οποίο τροφοδοτείται στη συνέχεια με τις μετρημένες βροχοπτώσεις της περιόδου 2007-2009, με στόχο την επαλήθευση των αποτελεσμάτων.

Κατά τη διάρκεια της περιόδου των 10 ετών, οι ημερομηνίες κατά τις οποίες έλαβαν χώρα πλημμυρικά επεισόδια είναι γνωστές και δίδονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 4-11). Για κάθε πλημμυρικό επεισόδιο έχει εκτιμηθεί η επιφάνεια που κατακλιζεται με τη βοήθεια δορυφορικών φωτογραφιών, η δριμύτητά της και το μέγεθός της. Η δριμύτητα δίδεται ως ακέραιος αριθμός από το 1 έως το 3, ανάλογα με την περίοδο επαναφοράς της. Για περιόδους επαναφοράς έως 20 έτη λαμβάνει την τιμή 1, για μεγαλύτερες από 100 έτη την τιμή 3 ενώ για ενδιάμεσες περιόδους επαναφοράς την τιμή 2. Το μέγεθος της πλημμύρας υπολογίζεται από την εξίσωση (4-47):

$$M = \frac{d \cdot s \cdot \sqrt{A}}{100} \quad (4-47)$$

Όπου:

- M**, το μέγεθος της πλημμύρας (-)
- d**, η διάρκεια του γεγονότος (days)
- s**, δριμύτητα (-)
- A**, η κατακλιζόμενη επιφάνεια (km<sup>2</sup>)

**Πίνακας 4-11:** Πλημμυρικά επεισόδια κατάντη της Αδριανούπολης [Sevket, 2005].

Αρχή	Τέλος	Περιοχές (Ελλάδα)	Δριμύτητα	Μέγεθος
17.01.03	03.03.03	Παρέβριες περιοχές	1	7.4
17.02.05	24.03.05	Πύθιο, Σοφικό, Διδυμότειχο Λάβαρα, Πόρος	2	6.3
02.01.06	20.01.06	Λάβαρα, Κισσάριο, Αμόριο Τυχερό, Θυμαριά, Ψαθάδες Πύθιο, Τρίγωνο	1	2.0
09.03.06	25.03.06	Σουφλί, Τυχερό	1	4.0
16.11.07	02.12.07	Σοφικό, Θούριο, Πύθιο Πετράδες, Διδυμότειχο Ν. Βύσσα	1	6.0

Σημειώνεται ότι η κατάσταση συναγερμού των υπηρεσιών έχει εμπειρικά οριστεί για παροχές άνω των 800 m<sup>3</sup>/s. Η πρόγνωση της υπέρβασης της τιμής αυτής θεωρείται ως ο στόχος του μοντέλου πρόγνωσης πλημμυρών για την πρώτη θέση.

Όσον αφορά τη δεύτερη θέση, στο Δέλτα του ποταμού, λόγω της τοπογραφίας και της μόρφωσης των αναχωμάτων, η παροχετευτικότητα του ποταμού είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στην πρώτη θέση. Ειδικότερα, στη στενή κοίτη (θερινό ανάχωμα) κατάντη της γέφυρας των Κήπων, έχει βρεθεί [Τσεσμελής, 2007] ότι η παροχετευτικότητα του ποταμού Έβρου που αντιστοιχεί σε ποσοστό πλήρωσης 70% είναι 1150 m<sup>3</sup>/s. Το ποσοστό αυτό χρησιμοποιείται από τις ελληνικές αρμόδιες αρχές ως το όριο συναγερμού και η πρόγνωσή της υπέρβασής του υιοθετείται ως ο στόχος του μοντέλου πρόγνωσης πλημμυρών για τη δεύτερη θέση.

Για την πρόγνωση των προαναφερθέντων ορίων συναγερμού, χρησιμοποιούνται κατά σειρά οι επίγειες μετρήσεις του δικτύου CPC, οι δορυφορικές καταγραφές του προϊόντος 3B42 και του 3B42RT χωριστά και τέλος οι διορθωμένες δορυφορικές καταγραφές του 3B42RT. Όλες οι μετρήσεις που χρησιμοποιούνται έχουν αναχθεί σε

ημερήσιο βήμα στην περίπτωση που δίδονται σε μικρότερα χρονικά βήματα. Τα αποτελέσματα των αντίστοιχων προγνώσεων παρατίθενται στις επόμενες παραγράφους.

Κάθε σύνολο δεδομένων χρησιμοποιείται χωριστά στο μοντέλο βροχής – απορροής και βαθμολογείται με έναν πραγματικό αριθμό, με βάση την ακόλουθη σχέση:

$$Score = a \cdot H + b \cdot M + c \cdot F \quad (4-48)$$

Όπου:

<b>Score,</b>	η τελική βαθμολογία του συνόλου δεδομένων στην πρόγνωση πλημμυρών
<b>H,</b>	ο αριθμός των χρονικών βημάτων με ορθή πρόγνωση (hit)
<b>M,</b>	ο αριθμός των χρονικών βημάτων που δεν έγινε πρόγνωση πλημμυρών, ενώ έλαβε χώρα πλημμυρικό επεισόδιο (missed)
<b>F,</b>	ο αριθμός των χρονικών βημάτων που έγινε υπέρβαση του ορίου συναγερμού αλλά δεν έλαβε χώρα κάποιο επεισόδιο (false)
<b>a, b, c,</b>	συντελεστές

Επειδή το κριτήριο πρόγνωσης πλημμυρών έχει οριστεί ως η υπέρβαση της παροχής που αντιστοιχεί στα όρια συναγερμού, δεν έπεται ότι αν κάτι τέτοιο συμβεί θα επακολουθήσει πλημμυρικό επεισόδιο. Για το λόγο αυτό, το βάρος των εσφαλμένων προγνώσεων F της σχέσης (4-48) είναι μικρότερο από αυτό της έλλειψης πρόγνωσης ενώ έλαβε χώρα πλημμυρικό επεισόδιο. Τέλος, αποφασίσθηκε ο συντελεστής βάρους a να είναι ο μικρότερος από τους τρεις συντελεστές, καθώς η μεταβλητή H αναφέρεται στο άθροισμα των ορθών προβλέψεων (μη εμφάνιση και εμφάνιση), το οποίο εξ ορισμού αναμένεται πολύ μεγάλο όταν προσμετρηθούν οι μήνες με χαμηλές βροχοπτώσεις και άρα αντίστοιχα χαμηλές στάθμες ροής.

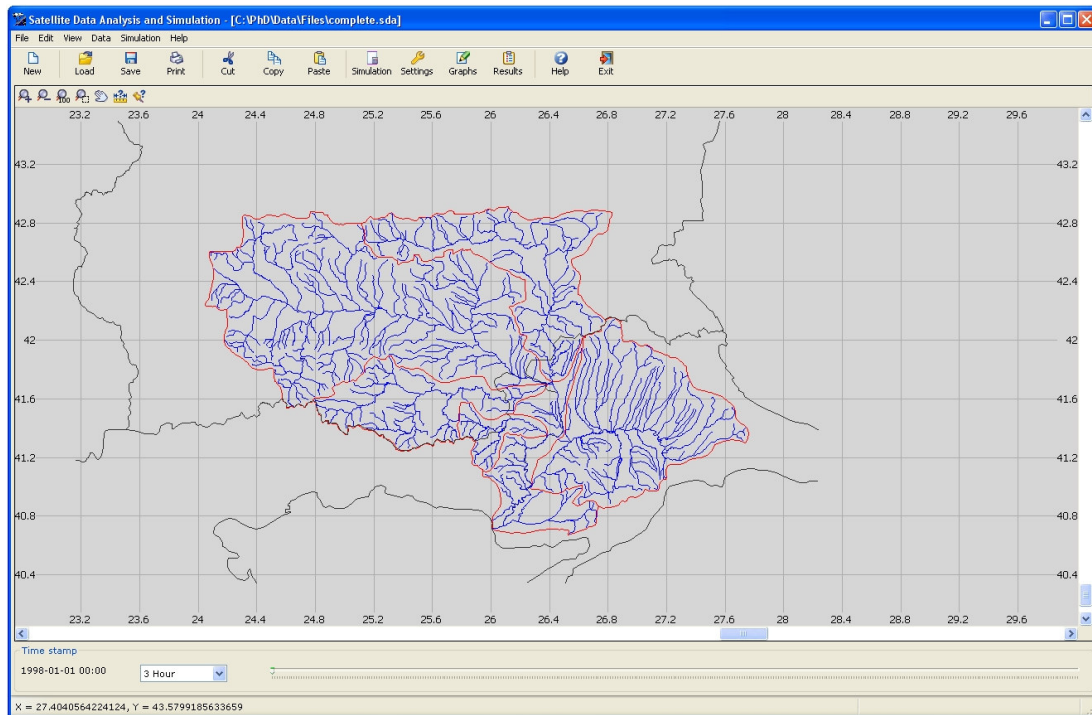
Μετά από δοκιμές, βρέθηκε ότι οι τιμές των συντελεστών a, b και c που προσδίδουν την απαραίτητη ευαισθησία στην εξίσωση βαθμολογίας, είναι: a=0.5, b=-10, c=-2.

#### 4.7.4 Περιβάλλον εργασίας

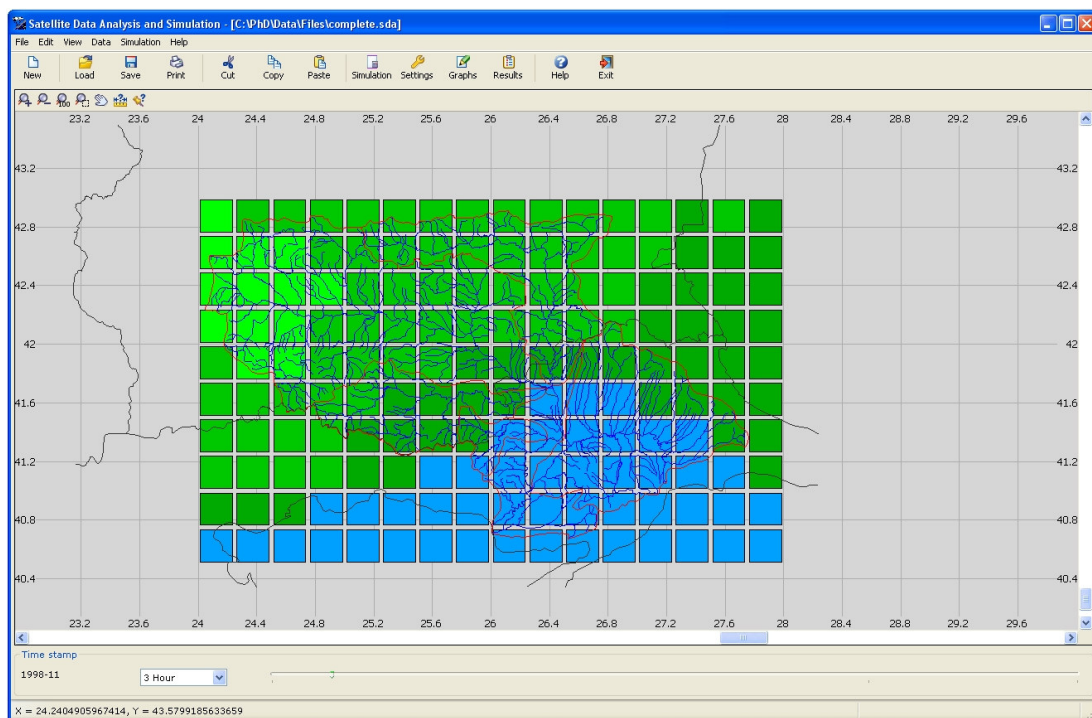
Το πρόγραμμα EFLOOD αποτελεί τη ραχοκοκαλιά του σπονδυλωτού συστήματος πρόγνωσης πλημμυρών. Για λόγους εκσφαλμάτωσης και εποπτείας κυρίως του συστήματος που τρέχει πάνω στην πλατφόρμα OpenMI, δημιουργήθηκε ένα προαιρετικό γραφικό περιβάλλον εργασίας (Σχήμα 4-9), στο οποίο μπορούν να εισαχθούν και να ελεγχθούν οπτικά:

- Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής
- Οι λεκάνες απορροής
- Οι μετρήσεις βροχόπτωσης κάθε προϊόντος (Σχήμα 4-10)
- Οι παράμετροι της προσομοίωσης και της σχεδίασης (Σχήμα 4-11)
- Η επιφανειακή βροχόπτωση σε ημερήσιο, μηνιαίο και ετήσιο (Σχήμα 4-12) χρονικό βήμα.
- Τα αποτελέσματα της πρόγνωσης πλημμυρών.

Το γραφικό περιβάλλον είναι προαιρετικό και όταν το EFLOOD λειτουργεί μέσω της πλατφόρμας OpenMI, τότε δεν εμφανίζεται καθόλου.



**Σχήμα 4-9:** Γραφικό περιβάλλον εργασίας EFLOOD.



**Σχήμα 4-10:** Απεικόνιση δορυφορικών μετρήσεων βροχόπτωσης.

**Data processing parameters...**

**Noise**

- Automatic noise recognition  
Treat as noise rainfall rate below (mm/h)
- Automatic minimum number of aggregated values  
Discard measurements with less values than
- Accept only complete scans (not recommended)

**Interpolation**

- Fill missing values by interpolation (recommended)
- Automatic longitude weighting impact  
Consider the following longitude cells
- Automatic latitude weighting impact  
Consider the following latitude cells

Apply    Ok    Cancel

**Σχήμα 4-11:** Παραμετροποίηση δεδομένων και παραμέτρων σχεδίασης.

**Annual precipitation...**

Date	Evros	Ardas	Erithropotamos	Tundza	Ergene	Evros prf.
1998	49.83	49.31	54.12	49.72	58.07	51.31
1999	58.10	55.85	40.24	52.76	30.93	31.16
2000	137.80	142.16	139.37	131.62	129.49	126.02
2001	219.82	196.85	177.55	202.48	191.07	171.85
2002	291.87	269.43	237.25	267.51	229.67	230.95
2003	235.72	257.40	204.03	207.19	176.92	176.57
2004	241.34	228.42	186.05	235.28	190.28	181.54
2005	630.47	578.67	479.15	673.13	412.23	428.94
2006	242.28	284.68	285.80	228.73	205.04	253.34
2007	242.90	267.65	227.82	207.96	183.24	212.17
2008	187.13	153.56	142.47	187.39	121.08	135.23
2009	94.89	111.17	97.90	80.73	92.27	100.20
Gaps (%)	93.40%	26.56%	8.18%	37.83%	34.04%	15.68%

**Σχήμα 4-12:** Εμφάνιση αποτελεσμάτων (ετήσια βροχόπτωση).



**5**

**Περιγραφή  
περιοχής**



## 5 Περιγραφή περιοχής

### 5.1 Λεκάνη απορροής

#### 5.1.1 Γενικά

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Έβρου εκτείνεται στη νοτιοανατολική Ευρώπη και μοιράζεται μεταξύ Ελλάδας, Βουλγαρίας και Τουρκίας. Η θέση της είναι μεταξύ των γεωγραφικών πλατών 41<sup>ο</sup> και 43<sup>ο</sup> Βόρεια και γεωγραφικών μηκών 24<sup>ο</sup> και 28<sup>ο</sup> Ανατολικά. Περικλείεται Νότια από αυτή του Δούναβη, Δυτικά και Νότια από την ακτογραμμή που διαβρέχεται από τη Μαύρη Θάλασσα, τη θάλασσα του Μαρμαρά, Βόρεια από το Αιγαίο Πέλαγος και Ανατολικά από τη λεκάνη απορροής του Νέστου ποταμού.

Ο ποταμός πηγάζει από ορεινές περιοχές επί βουλγαρικού εδάφους στα Ανατολικά της Σόφιας και ρέει Ανατολικά και Νοτιοανατολικά προς την πόλη της Αδριανούπολης στην Τουρκία. Στο σημείο αυτό, η ροή του ποταμού αλλάζει κατεύθυνση ξαφνικά και ρέει Νότια για 215 περίπου χιλιόμετρα, οπότε και εκβάλλει στο Αιγαίο Πέλαγος κοντά στα σύνορα Ελλάδας – Τουρκίας.

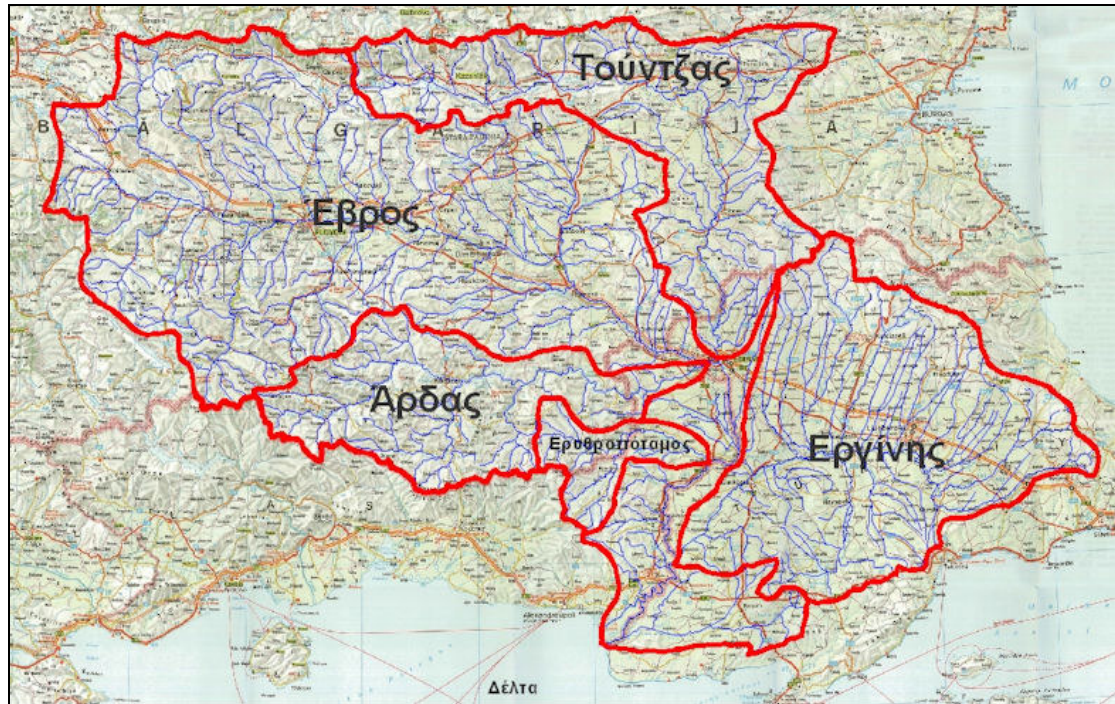
Η λεκάνη του Έβρου αποτελεί το μεγαλύτερο σύστημα φυσικής αποστράγγισης όμβριων υδάτων στη Θράκη και τη Μακεδονία. Στο Δέλτα του ποταμού, η έκτασή της είναι περίπου 53 000 km<sup>2</sup> εκ των οποίων το 66% (34 980 km<sup>2</sup>) βρίσκεται επί βουλγαρικού εδάφους, το 27.5% (14 575 km<sup>2</sup>) επί τουρκικού εδάφους και το υπόλοιπο 6.5% (3 445 km<sup>2</sup>) επί ελληνικού εδάφους. Σημειώνεται ότι η έκταση της λεκάνης απορροής του ποταμού επί ελληνικού εδάφους αντιστοιχεί στο 3.33% της ολικής έκτασης της χώρας ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για την τουρκική έκταση ανέρχεται σε 2.50%.

Στον ελλαδικό και τουρκικό χώρο, τέσσερις κύριοι παραπόταμοι ενώνονται με το ρου του ποταμού: ο Άρδας από δυτικά και ο Τούντζας από βόρεια στην Αδριανούπολη, ο Ερυθροπόταμος από δυτικά στο Διδυμότειχο και ο Εργίνης από τα ανατολικά κοντά στο Balabançik. Το σχετικό μέγεθος των παραποτάμων αυτών μαζί με την έκταση των λεκανών απορροής τους φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

**Πίνακας 5-1:** Εκτάσεις υπολεκανών και χωρισμός σε κράτη (km<sup>2</sup>).

Παραπόταμος	Ελλάδα	Βουλγαρία	Τουρκία	Σύνολο
Άρδας	350.00	5 250.00	-	5 600.00
Τούντζας	-	7 790.00	710.00	8 500.00
Ερυθροπόταμος	830.00	670.00	-	1 500.00
Εργίνης	-	-	11 000.00	11 000.00

Οι πλημμυρικές περιοχές εκτείνονται εκατέρωθεν κατά μήκος του ρου του ποταμού από τα σύνορα Ελλάδας - Βουλγαρίας μέχρι τις εκβολές στο Δέλτα του ποταμού. Από τα 82 000 ha (820 000 στρέμματα) πλημμυρικών περιοχών, τα 42 000 περίπου βρίσκονται επί ελληνικού εδάφους και τα υπόλοιπα 40 000 επί τουρκικού εδάφους. Σήμερα όμως, η συντριπτική πλειονότητα των εκτάσεων αυτών, τόσο επί ελληνικού όσο και επί τουρκικού εδάφους καλλιεργούνται και παρόλο που βρίσκονται στην ευρεία πλημμυρική κοίτη του ποταμού, έχουν δοθεί τίτλοι ιδιοκτησίας.



**Σχήμα 5-1:** Η λεκάνη του π. Έβρου και οι κυριότερες υπολεκάνες της.

### 5.1.2 Πληθυσμός

Οι μόνιμοι κάτοικοι στη λεκάνη απορροής του ποταμού Έβρου (2001) ανέρχονται σε 3 225 574 και στις τρεις χώρες. Στο νομό Έβρου της Ελλάδας σύμφωνα με την απογραφή του 2001 [ΕΣΥΕ, 2001] ο πραγματικός πληθυσμός φθάνει τους 149 354 κατοίκους και είναι ο μικρότερος πληθυσμός από τις τρεις χώρες. Ο Πίνακας 5-2 αναφέρει τους πληθυσμούς των κυριότερων πόλεων και χωριών (περισσότεροι από 1500 κάτοικοι) στο νομό Έβρου.

**Πίνακας 5-2:** Πληθυσμός κυριότερων πόλεων ν. Έβρου [ΕΣΥΕ, 2001].

Πόλη / Χωριό	Πληθυσμός
Αλεξανδρούπολη	48 885
Ορεστιάδα	15 246
Διδυμότειχο	8 799
Φέρες	5 206
Σουφλί	4 258
Νέα Βύσσα	2 844
Τυχερό	2 031
Ρίζια	1 684
Λάβαρα	1 580

Ο Πίνακας 5-3 περιέχει τους πληθυσμούς των κυριότερων πόλεων (πληθυσμός άνω των 50 000 κατοίκων) της λεκάνης απορροής του π. Έβρου της βουλγαρικής επικράτειας. Τα δεδομένα προέρχονται από την απογραφή του 2001 όπως αυτή δημοσιεύτηκε στην έκδοση 2006 της βουλγαρικής στατιστικής υπηρεσίας [National Statistical Institute of Bulgaria, 2006]. Ο συνολικός πραγματικός πληθυσμός ανέρχεται σε 1 893 267 κατοίκους.

Ο Πίνακας 5-4 περιέχει τους πληθυσμούς των κυριότερων πόλεων (πληθυσμός άνω των 40 000 κατοίκων) της λεκάνης απορροής του π. Έβρου της τουρκικής επικράτειας. Τα δεδομένα προέρχονται από την απογραφή του 2000 της τουρκικής στατιστικής υπηρεσίας [TSI, 2000]. Ο συνολικός πραγματικός πληθυσμός ανέρχεται σε 1 182 953 κατοίκους.

**Πίνακας 5-3:** Πληθυσμός κυριότερων πόλεων βουλγαρικής επικράτειας [NSIB, 2006].

Πόλη / Χωριό	Πληθυσμός
<b>Plovdiv</b>	338 302
<b>Stara Zagora</b>	167 708
<b>Sliven</b>	136 148
<b>Pazardzhik</b>	127 918
<b>Haskovo</b>	99 181
<b>Kazanlak</b>	81 536
<b>Karlovo</b>	70 284
<b>Asenovgrad</b>	67 238
<b>Dimitrovgrad</b>	64 857

**Πίνακας 5-4:** Πληθυσμός κυριότερων πόλεων τουρκικής επικράτειας [TSI, 2000].

Πόλη / Χωριό	Πληθυσμός
<b>Edirne</b>	140 830
<b>Luleburgaz</b>	117 606
<b>Kesan</b>	77 637
<b>Uzunkopru</b>	73 486
<b>Malkara</b>	59 125
<b>Babaeski</b>	53 655
<b>Saray</b>	41 217
<b>Hayrabolu</b>	40 130

### 5.1.3 Τοπογραφία

Η τοπογραφία της περιοχής της λεκάνης απορροής ποικίλλει από πεδινές και βαλτώδεις εκτάσεις στο Δέλτα και κοντά στο ρου του ποταμού μέχρι ορεινές περιοχές με έντονο ανάγλυφο κυρίως στην περιφέρεια της λεκάνης απορροής. Οροπέδια και υψίπεδα καταλαμβάνουν τις ενδιάμεσες περιοχές. Όμως για το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης απορροής μπορεί να λεχθεί ότι τα υψόμετρα εδάφους είναι εν γένει κάτω από 200 m. Υπάρχουν επίσης και περιοχές με διαδοχικά υψηλότερα ανάγλυφα κατά μήκος της βορειοανατολικής πλευράς της λεκάνης και στα νοτιοανατολικά και νοτιοδυτικά περιθώριά της καθώς και ορισμένοι διάσπαρτοι λόφοι στο νοτιοανατολικό τομέα.

Οι κλίσεις των ρεμάτων είναι χαρακτηριστικές του ήπιου ανάγλυφου. Όσον αφορά τον ρου από τις εκβολές έως τις πηγές, αυτή διατηρεί μια κλίση ίση με 0.00025 στο σύνολο της διαδρομής πλησίον των ελληνοτουρκικών συνόρων. Εντός της Βουλγαρίας και κατά μήκος των ελληνο-βουλγαρικών συνόρων, η κλίση γίνεται πιο απότομη και φτάνει έως 0.001, στη συνέχεια μειώνεται μέχρι 0.00015 για μικρή απόσταση για να αυξηθεί στο 0.0007.

Οι κλίσεις στους παραποτάμους, στα σημεία συμβολών τους με τον ποταμό Έβρο, είναι εν γένει μεγαλύτερες απ' ό,τι στο ρου. Πλησίον των πηγών τους όμως, οι κλίσεις

τείνουν να εξισωθούν με αυτές που υπάρχουν στο τμήμα του ρου του ποταμού Έβρου που βρίσκεται εντός του βουλγαρικού εδάφους και έχει μεγάλη κλίση.

#### **5.1.4 Μεταλλεύματα**

Εκτός από παρουσία λιγνίτη, δομικών λίθων και κεραμικής αργίλου, δεν υπάρχουν αποθέσεις μεταλλευμάτων και δεν γίνονται εξορύξεις εμπορικής σημασίας. Επίσης δεν υπάρχει προγραμματισμός για τέτοιες δραστηριότητες στο άμεσο μέλλον στην ευρύτερη περιοχή [Harza, 1955].

#### **5.1.5 Χρήσεις γης**

Σχεδόν καθ' όλη την έκταση της λεκάνης απορροής σε Ελλάδα και Τουρκία, η γη χρησιμοποιείται πρωταρχικά για καλλιέργεια. Από τα 17 900 km<sup>2</sup> της έκτασης, το 33% είναι οργώσιμες εκτάσεις, το 36% χρησιμοποιούνται ως βοσκότοποι, το 20% έχουν χαρακτηριστεί δασικές εκτάσεις και το υπόλοιπο 11% είναι είτε έρημη γη είτε χρησιμοποιείται για άλλους σκοπούς [Astaras and Lambrinos, 1988].

Υπάρχουν πολλά δάση προστατευόμενα από διεθνείς συνθήκες και αξιόλογη πανίδα και χλωρίδα. Πιο συγκεκριμένα το δάσος της Δαδιάς κηρύχθηκε προστατευόμενη περιοχή το 1980 μετά από συντονισμένες ενέργειες της WWF [Hovardas and Poirazidis, 2006]. Το δάσος της Δαδιάς θεωρείται σήμερα προστατευόμενη περιοχή και έχει ενταχθεί στα εθνικά πάρκα που προστατεύονται από το Ευρωπαϊκό Δίκτυο Natura 2000 (νόμος 1650/1986). Σήμερα έχει εγκατασταθεί και βρίσκεται σε λειτουργία μέσω του προγράμματος LIFE ένα πρόγραμμα διαχείρισης και παρακολούθησης του βιοτόπου.

Το δάσος των Καστανιών βρίσκεται βορειότερα του δάσους της Δαδιάς και αποτελεί εν μέρει μεθοριακή γραμμή μεταξύ Ελλάδας και Τουρκίας. Το δάσος αυτό σήμερα αμφισβητείται από την τουρκική πλευρά και έχει υποστεί σημαντικά πλήγματα (κυρίως αποψίλωση) για οχυρωματικούς λόγους.

Εμπορικές επιχειρήσεις ξυλείας δρουν σε περιορισμένη κλίμακα στην περιοχή. Βέβαια, συγκρινόμενα τα οικονομικά οφέλη από την ξυλεία με αυτά που προέρχονται από αγροτικές δραστηριότητες, είναι αμελητέα.

#### **5.1.6 Περίοδος καλλιέργειας**

Η μέση διάρκεια της περιόδου καλλιέργειας (όπως μετρείται από τον αριθμό των ημερών με θερμοκρασία συνεχώς μεγαλύτερη του μηδενός), ποικίλλει από 225 ημέρες στη βόρεια περιοχή έως 250 ημέρες στη νότια περιοχή.

Στο εσωτερικό στην Αδριανούπολη και στο Luleburgaz, η τελευταία μέρα παγωνιάς (κατά μέσο όρο) την άνοιξη, συμβαίνει κατά το πρώτο ήμισυ του μήνα Απριλίου και η αντίστοιχη πρώτη ημέρα παγωνιάς (κατά μέσο όρο) το φθινόπωρο, συμβαίνει κατά το πρώτο ήμισυ του μήνα Νοεμβρίου.

Σε παραθαλάσσιες περιοχές καθώς επίσης και στα νοτιότερα τμήματα της λεκάνης απορροής του Έβρου, εκτιμάται ότι η τελευταία και η πρώτη μέρα παγωνιάς

συμβαίνουν 15 ημέρες νωρίτερα και 15 ημέρες αργότερα αντίστοιχα από τις προαναφερθείσες.

## 5.2 Κλίμα περιοχής

### 5.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Το μεσογειακό κλίμα κυριαρχεί με τα χαρακτηριστικά θερμά έως πολύ θερμά ξηρά καλοκαίρια και με ψυχρούς έως πολύ κρύους υγρούς χειμώνες. Ο Πίνακας 5-5 παρουσιάζει την κατηγοριοποίηση του κλίματος της λεκάνης του π. Έβρου κατά Koppen.

Η κλίμακα αυτή αποτελεί σήμερα το ευρύτερα διαδεδομένο σύστημα κατηγοριοποίησης κλίματος και σύμφωνα με αυτή, στο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα η κατηγορία κλίματος που περιγράφει καλύτερα τις συνθήκες στην περιοχή είναι η Csa (Εύκρατη).

**Πίνακας 5-5:** Κατηγοριοποίηση κλίματος λεκάνης Έβρου κατά Koppen [Peel et al., 2007].

Κωδικός	Χρώμα	%	Ζώνη	Περιγραφή υποκατηγορίας
Bsk		3	Ξηρή	ψυχρό ξηρό κλίμα ερήμων μέσων γεωγραφικών πλατών
Cb		7	Εύκρατη	ψυχρό καλοκαίρι, μέση T θερμότερου μήνα < 22°C
Cfa		8	Εύκρατη	θερμό καλοκαίρι, μέση T θερμότερου μήνα > 22°C
Cfb		13	Εύκρατη	ψυχρό καλοκαίρι, μέση T θερμότερου μήνα < 22°C
Csa		38	Εύκρατη	θερμό καλοκαίρι, μέση T θερμότερου μήνα > 22°C
Csb		9	Εύκρατη	ψυχρό καλοκαίρι, μέση T θερμότερου μήνα < 22°C
Cwb		2	Εύκρατη	ψυχρό καλοκαίρι, μέση T θερμότερου μήνα < 22°C
Db		1	Κρύα	ψυχρό καλοκαίρι, μέση T θερμότερου μήνα < 22°C
Dfb		19	Κρύα	ψυχρό καλοκαίρι, μέση T θερμότερου μήνα < 22°C
<b>Σύνολο</b>		<b>100</b>		

Οι γενικές κλιματολογικές συνθήκες στην ανατολική μεσόγειο χαρακτηρίζονται από ξηρά καλοκαίρια και υγρούς χειμώνες. Δεν έχουν παρατηρηθεί τυφώνες στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής.

Η χειμερινή περίοδος αρχίζει τον Οκτώβριο και τελειώνει τον Απρίλιο. Κατά την περίοδο αυτή, η βόρεια άκρη της τροπικής περιοχής βρίσκεται περίπου στις 30 μοίρες βόρεια και οι περισσότερες εξωτροπικές (extratropical) κυκλωνικές περιστροφές αρχίζουν από το σημείο αυτό. Μετακινούνται κατά κανόνα βορειοανατολικά και εξαιτίας του ανάγλυφου που σχηματίζεται από τους ορεινούς όγκους της πεδιάδας του Έβρου, ένα μεγάλο μέρος τους περνάει ανάντη κατά μήκος του ποταμού. Καθώς οι περιοχές χαμηλού βαρομετρικού διασχίζουν την πεδιάδα, ο θερμός αέρας από τη θάλασσα (Αιγαίο Πέλαγος) συγκρούεται με αυτές με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται κατακρήμνιση [Λιώκη – Λειβαδά, 1999 · Artinyan et al., 2003].

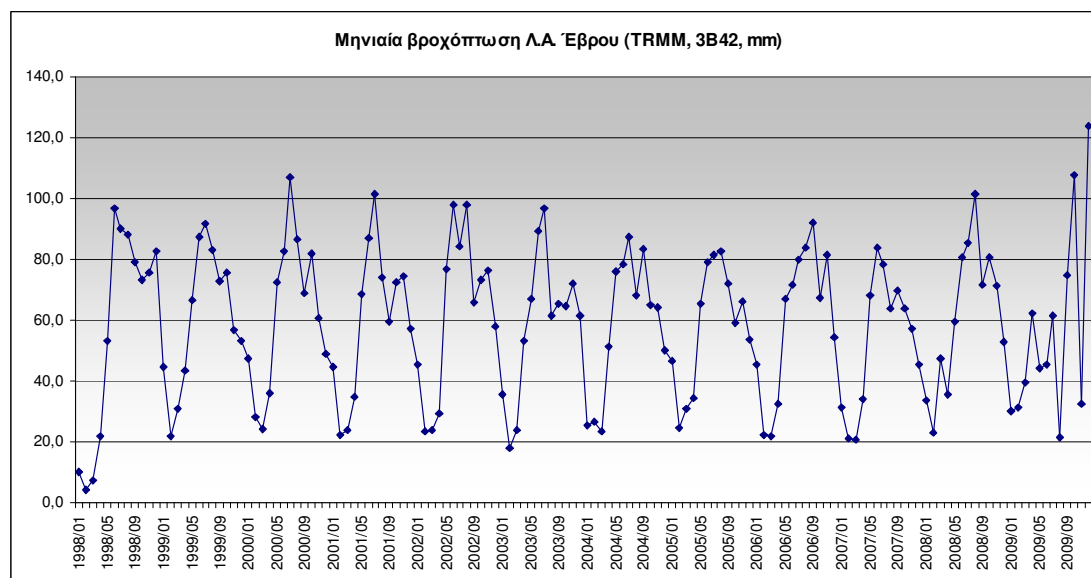
Κατά τη θερινή περίοδο, η βόρεια άκρη της τροπικής ζώνης μετατοπίζεται στις 42 μοίρες βόρεια και οι εξωτροπικές κυκλωνικές περιστροφές αδρανούν. Το φαινόμενο αυτό ευθύνεται για τη γενική έλλειψη κατακρήμνιστων στη λεκάνη απορροής του ποταμού κατά τους θερινούς μήνες.

Η κατακρήμνιση που συμβαίνει είναι συνήθως το αποτέλεσμα τοπικών διαταραχών στη μεταγωγή θερμότητας. Παρόλα αυτά, σε σπάνιες περιπτώσεις, ασυνήθιστα μετεωρολογικά φαινόμενα επικρατούν και αναπτύσσονται γενικές καταιγίδες όπως αυτή που συνέβη το καλοκαίρι του 1897, του 1963 και σε μικρότερη κλίμακα το 1937, 1976 και 2006 (κλπ) [Artinyan, 2006].

Επειδή η περίοδος λειτουργίας του αυτόματου συστήματος τηλεμετρικών σταθμών είναι πολύ μικρή για τον υπολογισμό αντιπροσωπευτικών τιμών των βασικών μετεωρολογικών παραμέτρων της περιοχής, στις επόμενες παραγράφους γίνεται χρήση των καταγραφών από συμβατικούς σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας και του ΥΠΕΧΩΔΕ.

## 5.2.2 Βροχόπτωση

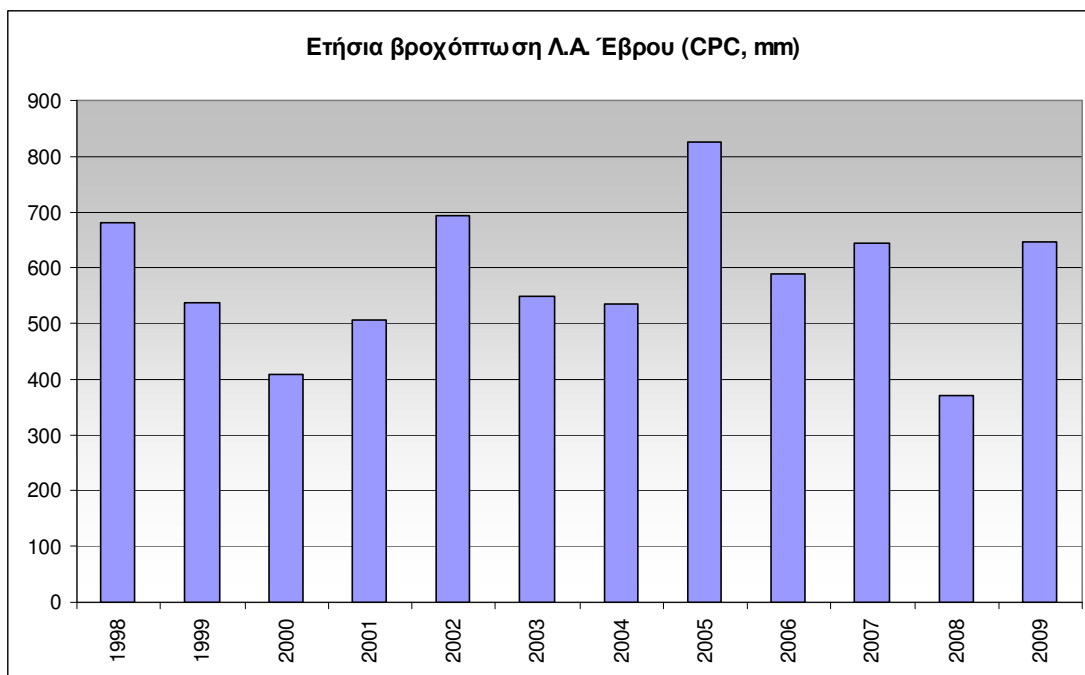
Η μέση ετήσια βροχόπτωση στη λεκάνη απορροής του Έβρου είναι περίπου 700 mm και κυμαίνεται από 500 έως 1100 mm (επίγειες μετρήσεις 1960-1990). Στις πεδινές εκτάσεις της λεκάνης απορροής, η ετήσια βροχόπτωση μεταβάλλεται από 550 έως 650 mm ενώ στις ορεινές περιοχές από 900 έως 1100 mm. Η μέγιστη βροχόπτωση παρατηρείται συνήθως κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο, ενώ η ελάχιστη τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, ενώ σε μερικές χρονιές παρατηρήθηκαν ελάχιστες βροχοπτώσεις το Φεβρουάριο. Η εποχιακή κατανομή της βροχόπτωσης είναι 35% το χειμώνα, 25% την άνοιξη, 27% το φθινόπωρο και 13% το καλοκαίρι [Sevket, 2005].



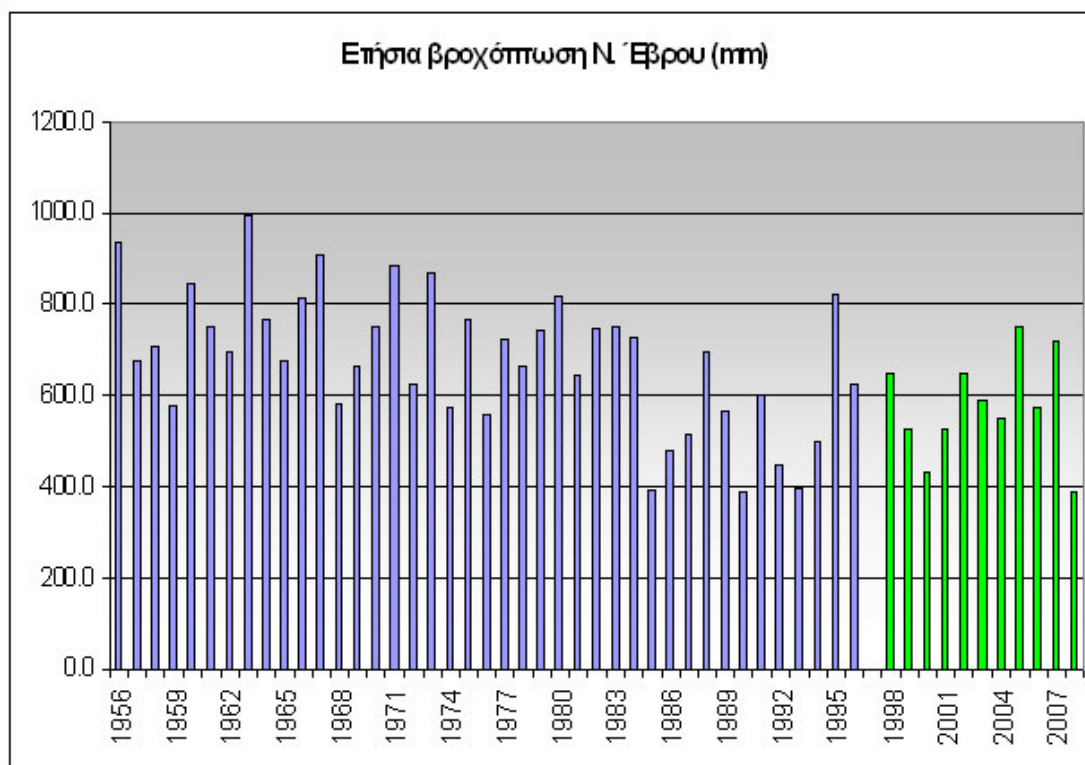
Σχήμα 5-2: Μηνιαία βροχόπτωση στη λεκάνη του π. Έβρου (TRMM, 3B42).

Στο Σχήμα 5-2 παρουσιάζεται η μηνιαία διακύμανση της βροχόπτωσης σε όλη τη λεκάνη του π. Έβρου, η οποία προέρχεται από την ανάλυση των δορυφορικών μετρήσεων του προϊόντος 3B42 v6 για τα έτη 1998 – 2009. Εξετάζοντας το σχήμα αυτό, επιβεβαιώνεται η εμφάνιση της μέγιστης βροχόπτωσης το μήνα Ιούνιο, όπως επίσης και η ύπαρξη δυο μεγίστων ανά έτος, το δεύτερο εκ των οποίων συνήθως λαμβάνει χώρα από το Σεπτέμβριο έως το Νοέμβριο. Στο Σχήμα 5-3 έχει υπολογιστεί η ετήσια διακύμανση της βροχόπτωσης σε όλη τη λεκάνη του π. Έβρου χρησιμοποιώντας τις επίγειες μετρήσεις του δικτύου CPC για το χρονικό διάστημα 1997-2009.





**Σχήμα 5-3:** Ετήσια βροχόπτωση στη λεκάνη του π. Έβρου (CPC).



**Σχήμα 5-4:** Ετήσια βροχόπτωση στην ελληνική πλευρά του π. Έβρου.

Στο Σχήμα 5-4 παρουσιάζεται η ετήσια διακύμανση του μέσου ύψους βροχής στη λεκάνη απορροής του π. Έβρου που βρίσκεται στην ελληνική επικράτεια. Για τα έτη

από το 1956 έως και το 1996, χρησιμοποιήθηκαν ιστορικές επεξεργασμένες μετρήσεις 13 σταθμών<sup>2</sup>. Για το έτος 1997 δεν υπάρχουν δεδομένα, ενώ για τα έτη 1998 έως και 2008 χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις κατακρήμνισης (βροχόπτωση στην οποία προστίθεται και η χιονόπτωση) από το επίγειο δίκτυο μετρήσεων CPC. Ο μέσος όρος των τιμών αυτών είναι 580 mm, κάτω από το μέσο όρο της λεκάνης απορροής, καθώς οι σταθμοί είναι εγκατεστημένοι σε πεδινές περιοχές με μέσο όρο υψόμετρου μικρότερο από το μέσο υψόμετρο της συνολικής λεκάνης απορροής. Παρατηρώντας το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης της τελευταίας δεκαετίας, κατά τη διάρκεια της οποίας έλαβαν χώρα πολλές πλημμύρες, παρατηρείται ότι το ύψος της βροχής κυμάνθηκε σε κανονικά επίπεδα. Συνεπώς η αιτία των πλημμυρών μάλλον οφείλεται στη συνεχή μείωση της παροχτετευτικότητας των διατομών του ποταμού Έβρου παρά σε ακραία επεισόδια βροχοπτώσεων.

### 5.2.3 Θερμοκρασία

Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 15 βαθμοί Κελσίου. Κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, από Δεκέμβριο έως και Μάρτιο, η μέση εποχιακή θερμοκρασία είναι 3.5 βαθμοί Κελσίου. Από τον Ιούνιο έως και τον Σεπτέμβριο, η μέση θερμοκρασία είναι 22 βαθμοί με μέσο εποχιακό μέγιστο 24 βαθμών κατά το μήνα Ιούλιο [Artinyan et al., 2006].

Υπάρχει διαφοροποίηση της θερμοκρασίας στη λεκάνη απορροής αν και η μέση ετήσια θερμοκρασία στην Αλεξανδρούπολη (στην ακτή) είναι λιγότερο από 3 βαθμούς μεγαλύτερη από την αντίστοιχη μέση θερμοκρασία στο Luleburgaz, στην ηπειρωτική Τουρκία.

Όσον αφορά τη μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία, η διαφορά μεταξύ Αδριανούπολης και Αλεξανδρούπολης είναι επίσης μικρότερη από 3 βαθμούς. Ωστόσο, για την ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία, η διαφορά είναι μεγαλύτερη. Τόσο η Αδριανούπολη όσο και το Luleburgaz υπόκεινται σε ηπειρωτικές επιρροές, οπότε οι ελάχιστες θερμοκρασίες λαμβάνουν χώρα κατά τον Ιανουάριο και είναι -22 και -24 βαθμοί αντίστοιχα. Στην Αλεξανδρούπολη, η αντίστοιχη ελάχιστη θερμοκρασία λαμβάνει χώρα τον Ιανουάριο και είναι ίση με 3 βαθμούς.

**Πίνακας 5-6:** Μέσες μηνιαίες υπερετήσιες τιμές θερμοκρασιών (°C).

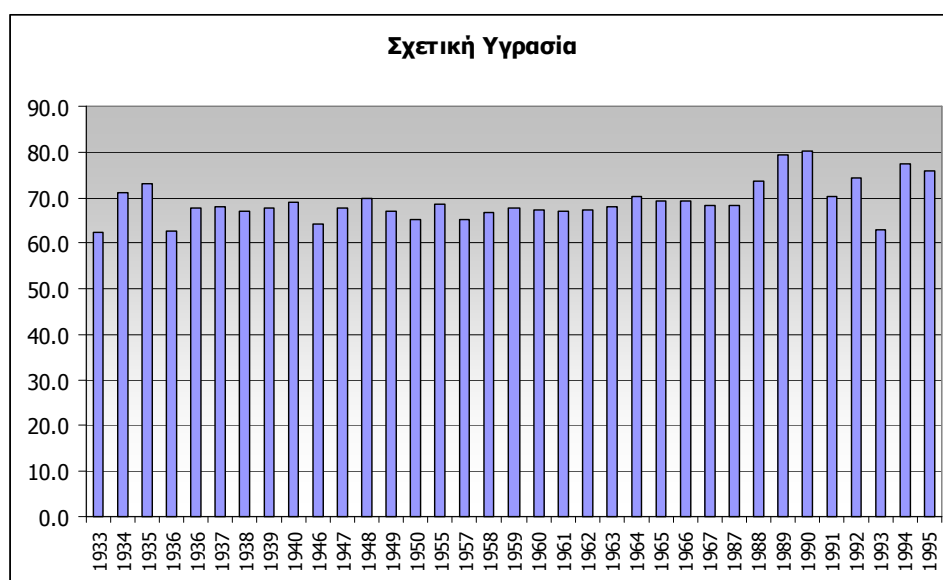
ΜΗΝΑΣ	ΔΙΔΥΜΟΤΕΙΧΟ	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ	ΣΟΥΦΛΙ
ΙΑΝ	1.6	3.1	3.3	4.3
ΦΕΒ	3.2	4.2	5.6	5.6
ΜΑΡ	6.2	6.7	7.7	9.0
ΑΠΡ	10.6	11.4	13.6	13.6
ΜΑΪ	15.7	15.4	19.2	18.0
ΙΟΥΝ	20.1	18.2	23.3	23.3
ΙΟΥΛ	22.9	20.0	25.8	26.0
ΑΥΓ	21.6	19.6	25.5	25.9
ΣΕΠ	17.3	17.2	20.8	20.6
ΟΚΤ	12.1	12.2	15.2	15.7
ΝΟΕ	7.7	9.9	9.9	11.5
ΔΕΚ	4.0	6.6	5.8	7.2
<b>Μ. Ο.</b>	<b>11.9</b>	<b>12.0</b>	<b>14.6</b>	<b>15.1</b>

<sup>2</sup> Οι σταθμοί είναι εγκατεστημένοι στις θέσεις: Αβάς, Αλεξανδρούπολη, Αισύμη, Δίδυμοτειχο, Κυπρίνος, Λευκίμη, Μεγάλο Δερείο, Μεταξάδες, Μικρό Δερείο, Νίφα, Ορεστιάδα, Πρωτοκλήσι και Φέρρες.

Στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 5-6) αναγράφονται οι μέσες μηνιαίες υπερετήσιες τιμές θερμοκρασιών για το διάστημα 20 ετών, από το Σεπτέμβριο του 1976 έως το Σεπτέμβριο του 1996.

#### 5.2.4 Σχετική υγρασία

Η μέση σχετική υγρασία κατά τη διάρκεια του μεσημεριού – απογεύματος των εαρινών μηνών, ποικίλλει από 40% στο Luleburgaz έως σχεδόν 60% στην Αλεξανδρούπολη. Κατά τη διάρκεια του υπόλοιπου έτους, η μέση σχετική υγρασία στο Luleburgaz είναι σχεδόν 65% ενώ στην Αλεξανδρούπολη περίπου 70% [Artinyan, 2006]. Στο ακόλουθο Σχήμα 5-5 παρουσιάζεται η ετήσια διακύμανση της μέσης σχετικής υγρασίας για όσα έτη υπάρχουν αξιόπιστα στοιχεία (ημερήσιες μετρήσεις στο 60% της διάρκειας του έτους) στο νομό Έβρου με βάση τις ιστορικές επεξεργασμένες μετρήσεις 4 σταθμών<sup>3</sup>. Ο μέσος όρος των τιμών αυτών είναι 69.1%, πολύ κοντά στη σχετική υγρασία της Αλεξανδρούπολης.



Σχήμα 5-5: Μέση ετήσια σχετική υγρασία στο Ν. Έβρου.

#### 5.2.5 Παροχή

Υπάρχουν διαθέσιμες καμπύλες στάθμης – παροχής για το μεγαλύτερο μέρος της περιόδου από το 1944 έως σήμερα σε θέση που βρίσκεται λίγο έξω από την Αδριανούπολη. Ο υδρομετρικός σταθμός είναι τοποθετημένος κατάντη της συμβολής των π. Άρδα και Τούντζα με τον π. Έβρο. Συνεπώς, ο σταθμός αυτός μετράει τη συνδυασμένη παροχή από τους τρεις ποταμούς, χωρίς όμως να λαμβάνεται υπόψη η παροχή που συνεισφέρουν οι ποταμοί Ερυθροπόταμος και Εργίνης. Παρόλα αυτά με εξαίρεση τις μετρήσεις παροχής που έγιναν στη γέφυρα των Κήπων τις δεκαετίες του '70 και του '80 αλλά και με αυτές γίνονται σήμερα από το δίκτυο Αυτόματων Τηλεμετρικών Σταθμών από το 2008 έως σήμερα, οι μετρήσεις του τουρκικού σταθμού έχουν ιδιαίτερη αξία λόγω του μεγάλου πλήθους τους (μέγεθος χρονοσειράς).

<sup>3</sup> Οι σταθμοί είναι εγκατεστημένοι στις θέσεις: Αλεξανδρούπολη, Διδυμότειχο, Μεταξάδες και Ορεσιτιάδα.

Οι υδρομετρήσεις που γίνονται στον προαναφερόμενο σταθμό χωρίζονται σε δυο περιόδους. Η πρώτη περίοδος υδρομετρήσεων εκτείνεται από το 1944 έως και το 1951. Τούρκοι και Αμερικανοί μηχανικοί εκτέλεσαν κατά τη διάρκεια της πρώτης περιόδου ανεξάρτητες μετρήσεις στάθμης και ταχύτητας ροής σε κοντινές μεταξύ τους θέσεις και οι παροχές που προέκυψαν από τις μετρήσεις αυτές, συμφωνούν εντός λογικών ορίων. Και τα δυο σύνολα μετρήσεων έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία καμπύλης στάθμης – παροχής που αναφέρεται στην πρώτη περίοδο μετρήσεων.

Η καμπύλη στάθμης - παροχής της πρώτης περιόδου έχει υπολογιστεί για παροχές μεταξύ 50 και 450 m<sup>3</sup>/s. Πάνω από 450 m<sup>3</sup>/s, δεν έχουν γίνει μετρήσεις στάθμης – ταχύτητας ροής και η επέκταση των καμπυλών μέχρι και τα 7000 m<sup>3</sup>/s έγινε με βάση δεδομένα ιστορικών πλημμυρικών επεισοδίων, που έλαβαν χώρα πριν το 1944. Από αναλύσεις που έγιναν με χρήση της υπολογισμένης εξίσωσης στάθμης – παροχής, εκτιμήθηκε η αξιοπιστία των καμπυλών στάθμης – παροχής, η οποία παρουσιάζεται συνοπτικά στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 5-7):

**Πίνακας 5-7:** Αξιοπιστία καμπυλών στάθμης – παροχής [ΥΔΕΤ, 1959].

Εύρος παροχών	Αξιοπιστία
0 έως 50 m <sup>3</sup> /s	Μικρή
50 έως 450 m <sup>3</sup> /s	Μεγάλη
450 έως 7000 m <sup>3</sup> /s	Ικανοποιητική

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται οι υπολογισμένες μηνιαίες παροχές της πρώτης περιόδου (3/1944 έως 12/1951) καθώς επίσης και τα στατιστικά χαρακτηριστικά τους – μέσος όρος, ελάχιστη και μέγιστη τιμή [Harza, 1955b].

**Πίνακας 5-8:** Ιστορικές μηνιαίες παροχές στην Αδριανούπολη [Harza, 1955b].

ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
1944			253.00	218.00	327.00	28.90	50.60	14.10	5.80	45.50	148.00	61.90
1945	176.00	73.00	41.50	65.50	24.40	8.20	2.97	0.42	2.63	4.83	40.10	177.00
1946	48.20	163.00	437.00	94.20	53.70	25.10	2.28	0.47	0.50	2.11	6.74	98.20
1947	514.00	419.00	219.00	31.00	8.67	7.02	6.05	7.73	10.80	12.30	9.70	165.10
1948	218.00	57.30	34.90	76.50	178.00	109.00	28.20	3.47	3.25	3.25	5.20	7.94
1949	16.70	9.85	87.40	52.30	32.10	15.70	16.80	26.30	17.70	15.40	79.80	39.10
1950	49.50	166.00	220.00	103.00	48.40	44.20	18.40	14.10	14.00	19.50	185.00	101.00
1951	226.00	363.00	288.00	232.00	113.00	51.70	44.90	79.70	55.00	46.80	75.40	51.30
<b>Μ. Ο.</b>	<b>178.3</b>	<b>178.7</b>	<b>197.6</b>	<b>109.1</b>	<b>98.2</b>	<b>36.2</b>	<b>21.3</b>	<b>18.3</b>	<b>13.7</b>	<b>18.7</b>	<b>68.7</b>	<b>87.7</b>

**Πίνακας 5-9:** Στατιστικά ιστορικών μηνιαίων παροχών Αδριανούπολης [Harza, 1955b].

ΕΤΟΣ	Μ. Ο.	MIN	MAX
1944		5.8	327.0
1945	51.4	0.4	177.0
1946	77.6	0.5	437.0
1947	117.5	6.1	514.0
1948	60.4	3.3	218.0
1949	34.1	9.9	87.4
1950	81.9	14.0	220.0
1951	135.6	44.9	363.0

Ο μέσος όρος όλων των τιμών των 8 ιστορικών ετών ισούται με 79.9 m<sup>3</sup>/s, που αντιστοιχεί σε ισοδύναμο ύψος απορροής 93.6 mm σε όλη τη λεκάνη απορροής ανάντη του σταθμού κάθε έτος. Η μέση ετήσια κατακρήμνιση στη λεκάνη απορροής είναι 580 mm. Κατά συνέπεια μόλις το 16% της κατακρήμνισης στη λεκάνη απορροής μετατρέπεται σε επιφανειακή απορροή λόγω των εκτεταμένων απολήψεων ανάντη της θέσης μέτρησης της παροχής.

Για την επαλήθευση της εκτιμηθείσας τιμής του συντελεστή απορροής, την περίοδο αυτή πραγματοποιήθηκαν πολλές δοκιμαστικές γεωτρήσεις στην ανάντη λεκάνη απορροής. Από τις γεωτρήσεις προέκυψε η ύπαρξη διαπερατού επιφανειακού στρώματος εδάφους, ιδιαίτερα στις ανάντη περιοχές, το οποίο επιτρέπει στην κατακρήμνιση να κατεισδύει και να τροφοδοτεί τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες.

Επιπρόσθετα, έγινε σύγκριση της λεκάνης απορροής του π. Έβρου με άλλες λεκάνες απορροής που όμως παρουσιάζουν παρόμοια φυσικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτής που φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 5-10), πιστοποιούν ότι η μικρή σχετικά τιμή του συντελεστή απορροής είναι λογική.

**Πίνακας 5-10:** Επαλήθευση συντελεστή απορροής λεκάνης Έβρου [Harza, 1955].

Ποταμός και θέση	Περίοδος	Μέση ετήσια βροχόπτωση (mm)	Μέση ετήσια παροχή (mm)	Συντελεστής απορροής (-)
Middle Loup R., St Paul, Nebraska	1929 - 1933	570	58.5	0.103
Elkhorn R., Waterloo, Nebraska	1930 - 1933	622	48.2	0.077
Republican R., Wakefield & Scandia, Kansas	1920 - 1924 & 1929 - 1933	630	35.6	0.056
Kansas R., Topeka & Wamego, Kansas	1920 - 1933	848	124.2	0.147
Έβρος, Αδριανούπολη, Τουρκία	1944 - 1951	580	93.6	0.161

Η εξίσωση της καμπύλης στάθμης παροχής που υπολογίστηκε με βάση μετρήσεις παροχών έως 450 m<sup>3</sup>/s είναι η ακόλουθη (5-1):

$$Q = 29.47H^{1.8554} \quad (5-1)$$

Την ίδια εποχή, το 1950, εγκαταστάθηκε στη σιδηροδρομική γέφυρα του Πυθίου ένα σταθμήμετρο. Όμως, λόγω της μικρής σχετικά περιόδου λειτουργίας και των αποσπασματικών μετρήσεων, δεν κατέστη εφικτός ο υπολογισμός καμπυλών στάθμης – παροχής με βάση τις μετρήσεις που ελήφθησαν.

Η δεύτερη περίοδος υδρομετρήσεων μετρήσεων αρχίζει το 1958 και συνεχίζεται έως σήμερα. Τοποθετήθηκαν νέα όργανα σε δυο σταθμούς, ένα στον υφιστάμενο σταθμό έξω από την πόλη της Αδριανούπολης και ένα λίγο ανάντη, ώστε να μπορεί να μετρείται η στάθμη και η ταχύτητα ροής στον π. Τούντζα. Με τις μετρήσεις αυτές, μπορεί να εκτιμηθεί τόσο το άθροισμα των παροχών των ποταμών Έβρου και Άρδα όσο και η παροχή του π. Τούντζα. Οι εξισώσεις των καμπυλών στάθμης – παροχής είναι η (5-2) για στάθμες έως 7.75 m και η (5-3) για στάθμες άνω των 7.75 m:

$$Q = 118.309H^{1.1126}, H < 7.75 \quad (5-2)$$

$$Q = 15.981H^{2.4653}, H \geq 7.75 \quad (5-3)$$

Ο ετήσιος πλημμυρικός όγκος και η μέση ετήσια παροχή των τριών ποταμών Έβρου, Άρδα και Τούντζα για το διάστημα 1969 έως 1993 παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 5-11). Στο Σχήμα 5-6 έχει σχεδιαστεί η μέση ετήσια παροχή των τριών ποταμών [Sevket, 2005]. Παρατηρείται πτώση της μέσης ετήσιας παροχής από το 1985 έως το 1993, γεγονός που συμπίπτει χρονικά με την κατασκευή και λειτουργία πολλών μικρότερων φραγμάτων σε παραποτάμους του Έβρου, του Άρδα και του Τούντζα.



Σχήμα 5-6: Μέση ετήσια παροχή π. Έβρου, Άρδα και Τούντζα [Sevket, 2005].

Πίνακας 5-11: Ετήσιος πλημμυρικός όγκος π. Έβρου, Άρδα και Τούντζα [Sevket, 2005].

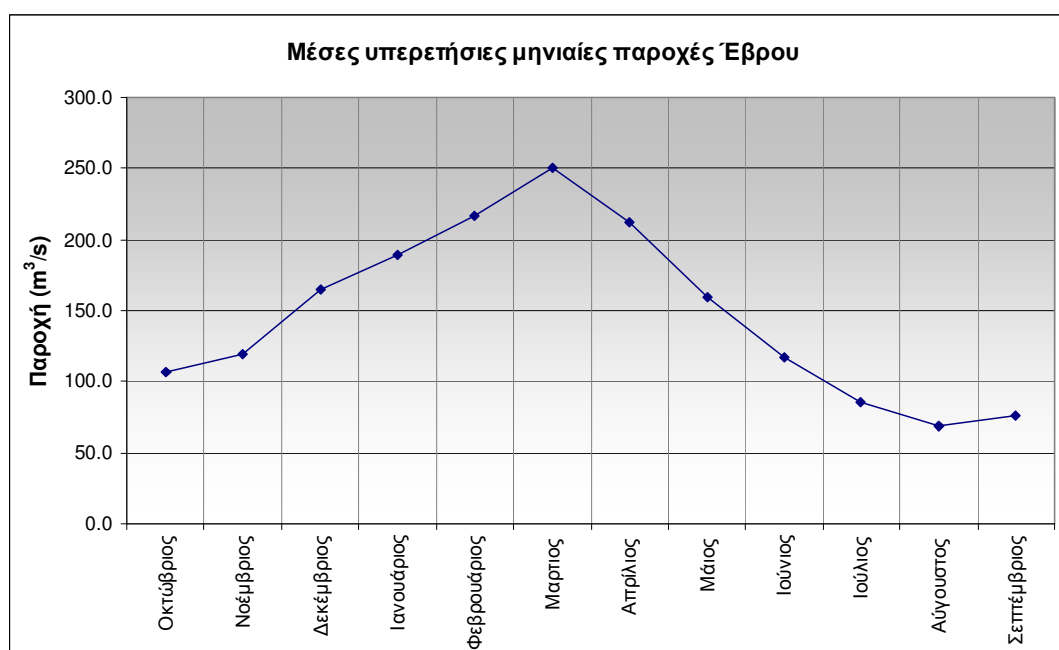
Έτος	Πλημμυρικός όγκος (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Μέση ετήσια παροχή (m <sup>3</sup> /s)	Έτος	Πλημμυρικός όγκος (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Μέση ετήσια παροχή (m <sup>3</sup> /s)
1969	7368	233.6	1982	4666	147.9
1970	6306	200.0	1983	4739	150.3
1971	6459	204.8	1984	6570	208.3
1972	3976	126.1	1985	3390	107.5
1973	8248	261.6	1986	3105	98.5
1974	3353	106.3	1987	3615	114.6
1975	4832	153.2	1988	3361	106.6
1976	4673	148.2	1989	2878	91.3
1977	6754	214.2	1990	2308	73.2
1978	4317	136.9	1991	3292	104.4
1979	5341	169.4	1992	2612	82.8
1980	7295	231.3	1993	1924	61.0
1981	6493	205.9			

Όσον αφορά τη μέση μηνιαία υπερετήσια παροχή των ποταμών Έβρου, Άρδα και Τούντζα κατάντη της Αδριανούπολης για το διάστημα 1969-1993, αυτή παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 5-12) και στο Σχήμα 5-7 [Sevket, 2005]. Τα δεδομένα από το 1958 έως και το 1968 δεν κατέστη δυνατόν να βρεθούν στις υπηρεσίες, ενώ δεν δόθηκαν τα δεδομένα των τελευταίων 15 ετών από την ημερομηνία της αίτησης που κατατέθηκε, δηλαδή για τα έτη 1994-2008. Παρόλα αυτά, με το δείγμα των 25 ετών που παραχωρήθηκε, μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για το υδατικό δυναμικό της λεκάνης απορροής αλλά και για τη χρονική του διακύμανση.

Από το Σχήμα 5-7 προκύπτει ότι η μέγιστη τιμή της παροχής εμφανίζεται το μήνα Μάρτιο, γεγονός που συμπίπτει χρονικά με τις πλημμύρες που παρουσιάστηκαν τα έτη 2005 και 2006. Αντίθετα η ελάχιστη τιμή της μέσης μηνιαίας παροχής εμφανίζεται το μήνα Αύγουστο.

**Πίνακας 5-12:** Μηνιαίος πλημμυρικός όγκος και παροχή π. Έβρου [Sevket, 2005].

Μήνας	Πλημμυρικός όγκος ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Μέση μηνιαία παροχή ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
Οκτώβριος	275.7728	106.4
Νοέμβριος	309.8055	119.5
Δεκέμβριος	427.4881	164.9
Ιανουάριος	488.8495	188.6
Φεβρουάριος	562.1306	216.9
Μάρτιος	648.9537	250.4
Απρίλιος	549.3227	211.9
Μάιος	414.1278	159.8
Ιούνιος	305.0566	117.7
Ιούλιος	223.0157	86.0
Αύγουστος	178.5737	68.9
Σεπτέμβριος	196.6436	75.9

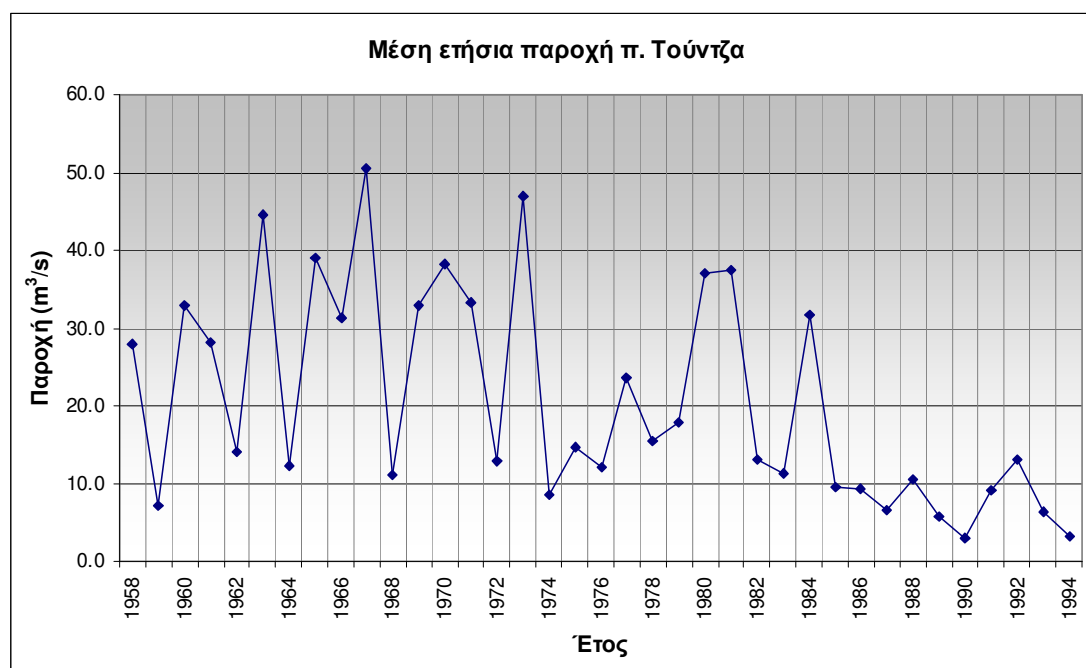


**Σχήμα 5-7:** Υπερετήσιες μηνιαίες παροχές π. Έβρου, Άρδα και Τούντζα [Sevket, 2005].

Ο ετήσιος πλημμυρικός όγκος για το διάστημα 1958 έως και 1994 παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 5-13) και στο Σχήμα 5-8 μαζί με τη μέση ετήσια παροχή. Η θέση μέτρηση είναι ανάντη της Αδριανούπολης λίγο πριν την εκβολή του Τούντζα στον Έβρο [Sevket, 2005]. Το μήκος του δείγματος είναι μεγαλύτερο από αυτό που παρουσιάζεται στον πίνακα που αφορά τους ποταμούς Έβρο, Άρδα και Τούντζα (Πίνακας 5-11), καθώς βρέθηκαν τα δεδομένα των ετών 1958 έως 1968.

**Πίνακας 5-13:** Ετήσιος πλημμυρικός όγκος και παροχή π. Τούντζα [Sevket, 2005].

Έτος	Πλημμυρικός όγκος ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Μέση ετήσια παροχή ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Έτος	Πλημμυρικός όγκος ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Μέση ετήσια παροχή ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
1958	882.1	28.0	1977	744.0	23.6
1959	221.8	7.0	1978	487.3	15.5
1960	1035.5	32.8	1979	559.1	17.7
1961	887.8	28.2	1980	1165.3	37.0
1962	442.8	14.0	1981	1178.2	37.4
1963	1408.1	44.6	1982	414.6	13.1
1964	385.8	12.2	1983	355.5	11.3
1965	1229.3	39.0	1984	1002.1	31.8
1966	987.2	31.3	1985	299.0	9.5
1967	1590.4	50.4	1986	292.6	9.3
1968	352.2	11.2	1987	203.5	6.5
1969	1034.9	32.8	1988	331.8	10.5
1970	1206.6	38.3	1989	178.6	5.7
1971	1050.9	33.3	1990	93.0	2.9
1972	408.7	13.0	1991	289.1	9.2
1973	1481.4	47.0	1992	412.0	13.1
1974	268.7	8.5	1993	200.0	6.3
1975	459.4	14.6	1994	100.0	3.2
1976	381.1	12.1			



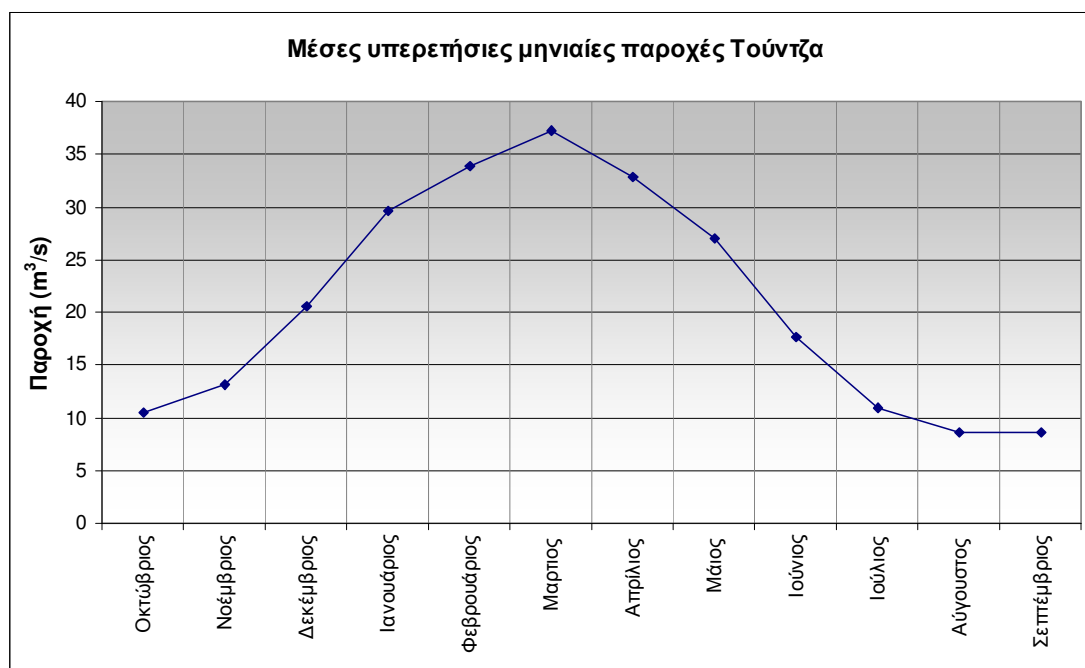
**Σχήμα 5-8:** Μέσες ετήσιες παροχές π. Τούντζα [Sevket, 2005].



Όσον αφορά τη μέση μηνιαία υπερετήσια παροχή του ποταμού Τούντζα ανάντη της Αδριανούπολης, αυτή παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 5-14) και στο Σχήμα 5-9.

**Πίνακας 5-14:** Μηνιαίος πλημμυρικός όγκος και παροχή π. Τούντζα.

Μήνας	Πλημμυρικός όγκος ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Μέση μηνιαία παροχή ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
Οκτώβριος	27.4	10.6
Νοέμβριος	33.9	13.1
Δεκέμβριος	53.3	20.6
Ιανουάριος	76.8	29.6
Φεβρουάριος	87.7	33.8
Μάρτιος	96.4	37.2
Απρίλιος	85.1	32.8
Μάιος	69.9	27.0
Ιούνιος	45.6	17.6
Ιούλιος	28.3	10.9
Αύγουστος	22.4	8.7
Σεπτέμβριος	22.4	8.7



**Σχήμα 5-9:** Μέσες υπερετήσιες μηνιαίες παροχές π. Τούντζα [Sevket, 2005].

Από τους παραπάνω πίνακες μπορεί να προσδιοριστεί η συνδυασμένη παροχή του Έβρου και του Άρδα στην περιοχή της Αδριανούπολης, αφαιρώντας την παροχή του Τούντζα από την παροχή των τριών ποταμών.

Υπάρχουν και κάποιες μετρήσεις παροχής στο βουλγαρικό έδαφος, οι οποίες παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 5-15) με τη μορφή μέσων ετήσιων παροχών απορροής. Οι βουλγαρικές αρχές γενικά δεν δημοσιεύουν μετρήσεις

παροχών, ούτε παρέχουν πληροφορίες αναφορικά με το κάθε πότε διεξάγονται υδρομετρήσεις ή με ποια μεθοδολογία εκτιμώνται οι παροχές.

**Πίνακας 5-15:** Μηνιαίος πλημμυρικός όγκος και παροχή π. Έβρου [Knight and Staneva, 1996 ·Petkov et al., 2002].

Μήνας	Μέση ετήσια παροχή (m <sup>3</sup> /s)
Biala	0.948
Cherna	4.344
Krumovica	7.757
Malka Arda	1.804
Varbica	18.509

### 5.2.6 Πλημμυρικές αιχμές

Κατά τη διάρκεια των περισσότερων ετών, οι πλημμυρικές αιχμές που εμφανίζονται κατάντη της Αδριανούπολης είναι μεγαλύτερες των 1000 m<sup>3</sup>/s. Οι πλημμυρικές αυτές αιχμές, λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου αλλά και της άνοιξης. Παλαιότερα δεν προκαλούνταν σημαντικές ζημιές στις καλλιέργειες, τεχνικά έργα και σε ιδιοκτησίες γενικότερα, καθόσον αυτά ήταν απομακρυσμένα από το ρου του ποταμού. Σήμερα όμως που καλλιεργείται σχεδόν όλη η πλημμυρική κοίτη του ποταμού και οι καλλιέργειες είναι τέτοιες που έχουν συνήθως μεγάλη διάρκεια ζωής (π.χ. σπαράγγια), οι καταστροφές από τις πλημμύρες είναι σημαντικές.

Οι μεγαλύτερες από τις πλημμύρες, προκαλούν σημαντική διάβρωση, ιδιαίτερα σε εκείνες τις περιπτώσεις κατά τις οποίες δημιουργούνται νέες κοίτες ρεμάτων στις πλημμυρικές πεδιάδες. Τέτοιες διαβρώσεις δεν μπορούν να αντισταθμιστούν από τις αντίστοιχες αποθέσεις φερτών υλών. Περιστασιακά, συμβαίνουν πλημμύρες περί το τέλος της άνοιξης – αρχή καλοκαιριού. Τέτοιες πλημμύρες είναι οι πλέον επικίνδυνες για την καταστροφή των καλλιεργειών.

Μέχρι σήμερα, πολλές σημαντικές πλημμύρες έχουν εκδηλωθεί κατάντη της Αδριανούπολης τα τελευταία 130 έτη. Η μεγαλύτερη από αυτές συνέβη το Δεκέμβριο του 1940. Άλλες πλημμύρες συνέβησαν τον Ιούνιο 1897, το Δεκέμβριο 1929, Μάρτιο 1936, Ιανουάριο 1947, Μάρτιο 1973, Φεβρουάριο 1984, Φεβρουάριο 2005, Μάρτιο 2006 [Φωτόπουλος, 2007], Νοέμβριο 2007 [Τσεσμελής, 2007] και Φεβρουάριο 2010.

Μετρήσεις σε περιόδους πλημμυρών σπανίζουν εν γένει για όλα τα ποτάμια και ο ποταμός Έβρος δεν αποτελεί εξαίρεση σε αυτόν τον γενικό κανόνα. Ωστόσο, σημάδια στην πλημμυρική κοίτη και σημάδια στάθμης νερού σε κατασκευές κοντά ή κάθετα στη ροή των υδάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση πλημμυρικών αιχμών κατά τη διάρκεια μεγάλων πλημμυρών. Τα βάθρα π.χ. της γέφυρας του Πυθίου έχουν κατ' επανάληψη χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό από το 1872 οπότε και κατασκευάστηκε η γέφυρα.

Εκτός από τη γέφυρα του Πυθίου, υπάρχουν και άλλα σημεία κατά μήκος του ρου του π. Έβρου, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των πλημμυρικών αιχμών ιστορικών γεγονότων. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά τον υπολογισμό των αιχμών είχε ως εξής: από τα γνωστά υψόμετρα της τελικής ελεύθερης επιφάνειας του νερού και των κατά μήκος κλίσεων με βάση σημεία εμφάνισης - καταγραφής πλημμυρών και με βάση τις διατομές του ποταμού που αποτυπώθηκαν το 1953, εκτιμήθηκαν οι άγνωστες αιχμές με βάση τον τύπο του Manning.

Οι πλημμυρικές αιχμές στη γέφυρα του Πυθίου (ανάντη του Ερυθροποτάμου αλλά κατάντη του Τούντζα), εκτιμήθηκαν 4800 m<sup>3</sup>/s τον 1897 και 8000 m<sup>3</sup>/s το 1940. Στις τιμές αυτές προστέθηκαν και νεότερες πλημμύρες που μετρήθηκαν με σύγχρονες μεθόδους. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται κατά σειρά δριμύτητας στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 5-16).

**Πίνακας 5-16:** Μέγιστες καταγεγραμμένες / εκτιμημένες πλημμυρικές αιχμές.

Ημερομηνία	Παροχή (m <sup>3</sup> /s)	Πηγή
Δεκέμβριος 1940	8000	Harza
Ιούνιος 1897	4800	Harza
Φεβρουάριος 1984	2476 <sup>4</sup>	DSI
Νοέμβριος 2007	1905	DSI
Φεβρουάριος 2010	1883	ΠΑΜΘ <sup>5</sup>
Μάρτιος 1969	1679 <sup>4</sup>	DSI
Φεβρουάριος 1977	1508	DSI
Μάρτιος 1973	1406 <sup>4</sup>	DSI

Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 5-17) παρουσιάζονται οι πλημμυρικές αιχμές ανά έτος κατάντη του Τριεθνούς. Οι πλημμυρικές αυτές παροχές αναφέρονται στους ποταμούς Έβρο, Άρδα και Τούντζα. Αξίζει να αναφερθεί ότι η μεγαλύτερη πρόσφατη πλημμυρική αιχμή στον Έβρο ήταν 2500 m<sup>3</sup>/s το έτος 1984, ενώ συνολικά σε 15 από τα 45 έτη που υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία, η παροχή αιχμής υπερβαίνει τα 1000 m<sup>3</sup>/s.

**Πίνακας 5-17:** Ετήσιες πλημμυρικές αιχμές κατάντη του τριεθνούς[Sevket, 2005].

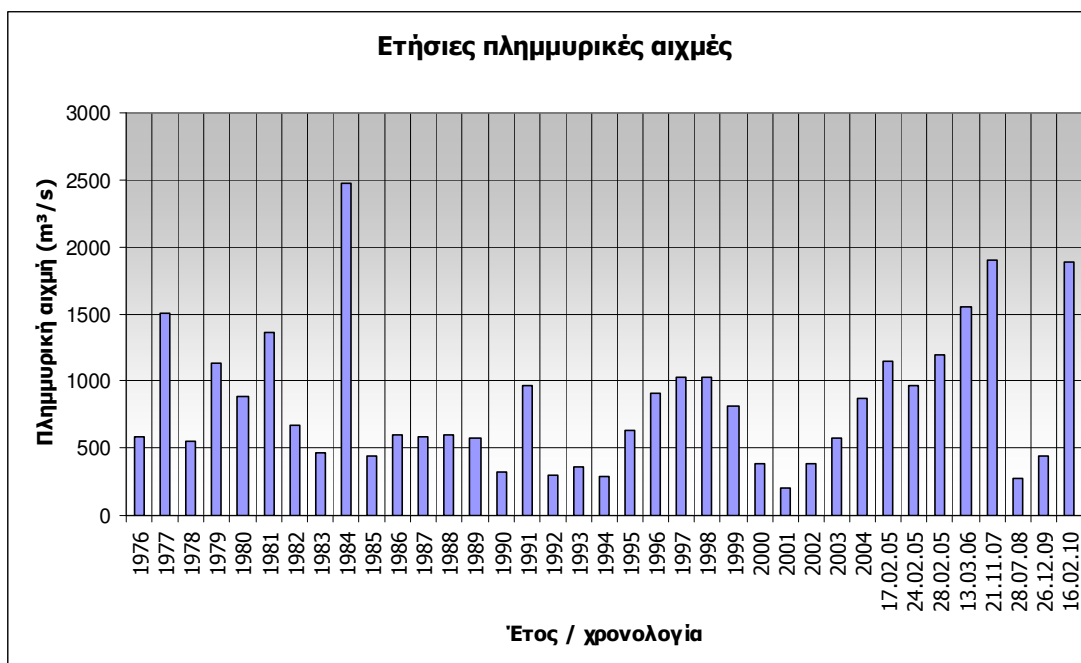
Έτος	Αιχμή (m <sup>3</sup> /s)	Έτος	Αιχμή (m <sup>3</sup> /s)	Έτος	Αιχμή (m <sup>3</sup> /s)	Έτος	Αιχμή (m <sup>3</sup> /s)	Έτος	Αιχμή (m <sup>3</sup> /s)	Έτος	Αιχμή (m <sup>3</sup> /s)
1950	N/A	1961	1300	1972	398	1983	466	1994	290	17.02.05	1144
1951	N/A	1962	950	1973	1406	1984	2476	1995	630	24.02.05	971
1952	N/A	1963	N/A	1974	398	1985	438	1996	910	28.02.05	1190
1953	N/A	1964	N/A	1975	910	1986	600	1997	1025	13.03.06	1550
1954	N/A	1965	970	1976	584	1987	590	1998	1030	21.11.07	1905
1955	N/A	1966	510	1977	1508	1988	600	1999	810	28.08.08	270
1956	N/A	1967	1450	1978	548	1989	570	2000	378	26.12.09	439
1957	N/A	1968	N/A	1979	1134	1990	320	2001	205	16.02.10	1883
1958	1050	1969	1679	1980	880	1991	970	2002	378		
1959	460	1970	1320	1981	1368	1992	300	2003	570		
1960	1050	1971	1440	1982	668	1993	360	2004	873		

Τονίζεται ότι στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 5-17) δεν έχουν προστεθεί οι απορροές του Ερυθροποτάμου και του Εργίνη, οι οποίοι συμβάλλουν στον ποταμό Έβρο κατάντη της Αδριανούπολης.

Σημειώνεται ότι κατά την τελευταία πλημμύρα του Φεβρουαρίου 2010, η συνολική παροχή από τον ποταμό Εργίνη και το μικρό τμήμα της λεκάνης απορροής του π. Έβρου που βρίσκεται στον Ελλαδικό χώρο κατάντη της γέφυρας του Πυθίου, υπερβαίνει τα 2300 m<sup>3</sup>/s.

<sup>4</sup> Δεν συμπεριλαμβάνεται η παροχή Εργίνη, Ερυθροποτάμου και λεκάνης κατάντη Αδριανούπολης.

<sup>5</sup> Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας – Θράκης (Αυτόματοι Τηλεμετρικοί Σταθμοί)



Σχήμα 5-10: Ετήσιες πλημμυρικές αιχμές κατάντη του τριεθνούς [Sevket, 2005].

### 5.3 Τεχνικά έργα

#### 5.3.1 Έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων

Αν και στον ίδιο τον ποταμό Έβρο δεν μπορούν να κατασκευαστούν σημαντικά έργα ρύθμισης ροής όπως μεγάλοι ταμιευτήρες λόγω της επίπεδης μορφολογίας του εδάφους, εντούτοις έχουν κατασκευαστεί και λειτουργούν πλήθος ταμιευτήρων επί βουλγαρικού εδάφους ως επί το πλείστον σε μικρότερους παραποτάμους του ποταμού Έβρου ή σε μεγαλύτερους όπως ο Άρδας και ο Τούντζας.

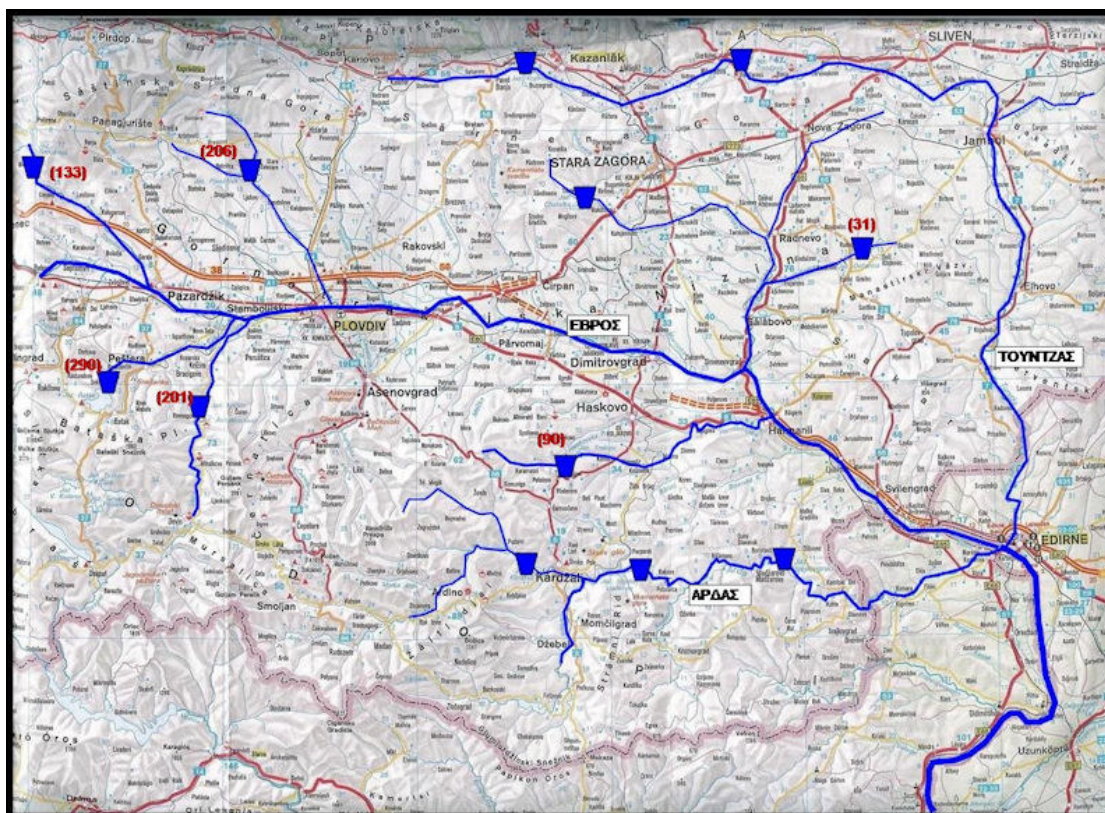
Τα φράγματα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας την οποία η Βουλγαρία χρησιμοποιεί για την κάλυψη αναγκών ηλεκτροδότησης της χώρας ή εξάγει στην Ελλάδα και την Τουρκία σε περιόδους που οι τελευταίες έχουν να αντιμετωπίσουν αυξημένες ζητήσεις ηλεκτροδότησης [NEKEAD, 2008]. Σπανιότερα ποσότητες υδάτων από τους ταμιευτήρες χρησιμοποιούνται για την κάλυψη αρδευτικών και υδρευτικών αναγκών στη Βουλγαρία.

Για τη βέλτιστη αξιοποίηση των φραγμάτων όσον αφορά την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, πρέπει η στάθμη του αποθηκευμένου όγκου νερού να βρίσκεται όσο το δυνατόν ψηλότερα εντός του φράγματος. Πολλές δε φορές αξιοποιείται και ο πλημμυρικός όγκος στο φράγμα, κλείνοντας τα θυροφράγματα και επιτρέποντας το νερό να ανέλθει ακόμα ψηλότερα αυξάνοντας τη δυναμική ενέργειά του.

Ωστόσο η πρακτική αυτή που ακολουθείται έχει προκαλέσει στο παρελθόν τραγικές συνέπειες σε κατάντη περιοχές [Φωτόπουλος, 2007 · Τσεσμελής, 2007], καθόσον σε περιόδους έντονων ξαφνικών βροχοπτώσεων, οι υπεύθυνοι λειτουργίας των φραγμάτων ανοίγουν τα θυροφράγματα και τους εκκενωτές τους για να αποφύγουν υπερχειλίση αυτών, οπότε στον πλημμυρικό όγκο που οφείλεται στη βροχόπτωση,

προστίθενται και οι ελεγχόμενες διαφυγές από πλήθος φραγμάτων με αποτέλεσμα να πλημμυρίζουν περιοχές τόσο στη Βουλγαρία όσο και στην Ελλάδα και την Τουρκία. Αυτό συνέβη τόσο την άνοιξη και το καλοκαίρι του 2005, την άνοιξη του 2006 και το φθινόπωρο του 2007 και υπάρχουν φόβοι ότι θα συνεχίσει το πρόβλημα να υφίσταται όσο δεν υπάρχει συντονισμός στη διαχείριση των αποθηκευμένων όγκων νερού στους υφιστάμενους ταμιευτήρες εκ μέρους της βουλγαρικής πλευράς [Τσεσμελής, 2007].

Τα φράγματα αυτά, αντίθετα με τα αναμενόμενα, επιδρούν σε μεγάλο βαθμό στη δίαιτα της λεκάνης απορροής μόνο σε περιόδους χαμηλών παροχών. Η βασική ροή μειώνεται σε μεγάλο βαθμό, αφού χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες υδάτων για άρδευση και ύδρευση και είναι επιθυμητό οι στάθμες των αποθηκευμένων όγκων νερού εντός των ταμιευτήρων να είναι κατά το δυνατόν υψηλότερες. Στην περίοδο αυξημένων παροχών, οι ταμιευτήρες αδυνατούν να λειτουργήσουν ως λεκάνες ανάσχεσης πλημμύρας, καθόσον είναι πλήρεις ή σχεδόν πλήρεις, ενώ ταυτόχρονα επιδεινώνεται η κατάσταση με την απελευθέρωση αποθηκευμένων όγκων υδάτων (για λόγους προστασίας των φραγμάτων) οι οποίοι προστίθενται στις πλημμυρικές παροχές [Biswas, 1993 · Fotopoulos and Tsesmelis, 2006].



Σχήμα 5-11: Φράγματα στο βουλγαρικό έδαφος, επίσημα στοιχεία [Fotopoulos and Tsesmelis, 2006].

Λόγω του αυξημένου οικονομικού ενδιαφέροντος που προκύπτει από την εκμετάλλευση της παραγόμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας των φραγμάτων αυτών, ιδιαίτερα με την αυξανόμενη ζήτηση για εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και την Τουρκία και της προώθησης των σχεδίων εγκατάλειψης εναλλακτικών υφιστάμενων πηγών παραγωγής ενέργειας και συγκεκριμένα των πυρηνικών αντιδραστήρων στη γειτόνα χώρα, η βουλγαρική πλευρά ανθίσταται στη συνεργασία με τις γείτονες χώρες. Οι πληροφορίες για το πλήθος, τις θέσεις, τον τρόπο λειτουργίας και τα βασικά χαρακτηριστικά των ταμιευτήρων που έχουν κατασκευαστεί



και βρίσκονται υπό την εποπτεία της βουλγαρικής εταιρείας ηλεκτρισμού, συλλέχθηκαν από διάφορες πηγές και σε συνεργασία με το Υπουργείο Δημοσίων Έργων και την Υπηρεσία Υδάτων της Τουρκίας.

Με βάση τα στοιχεία που εκχωρήθηκαν επίσημα για τα φράγματα στον π. Έβρο και τους παραποτάμους του από τη βουλγαρική στην ελληνική πλευρά, συντάχθηκε ο χάρτης που φαίνεται στο παραπάνω Σχήμα 5-11 και περιέχει 12 φράγματα, 3 εξ αυτών στον π. Άρδα, 7 στον ποταμό Έβρο και 2 στον π. Τούντζα.

Σε ελληνικό έδαφος υπάρχει και λειτουργεί μόνο το φράγμα του Άρδα στα Κόμαρα, πλησίον των ελληνο-βουλγαρικών συνόρων. Σήμερα βρίσκονται υπό μελέτη μερικά ακόμα φράγματα κυρίως στον π. Τούντζα.

Επειδή όμως το πλήθος των ταμιευτήρων που εμφανίζονται στο Σχήμα 5-11 είναι εμφανώς μικρότερο από το πραγματικό, τα παραπάνω στοιχεία συνδυάστηκαν με αυτά των τουρκικών αρχών και συμπληρώθηκαν με χρήση δορυφορικών φωτογραφιών. Σύμφωνα με τη νεότερη ανεπίσημη καταγραφή έχουν κατασκευαστεί και βρίσκονται σε λειτουργία 26 κύρια φράγματα επί βουλγαρικού εδάφους στη λεκάνη απορροής του π. Έβρου, τα οποία αποτυπώνονται στο ακόλουθο Σχήμα 5-12 [ΥΔΕΤ, 2007].



Σχήμα 5-12: Φράγματα στο βουλγαρικό έδαφος, ανεπίσημα στοιχεία [ΥΔΕΤ, 2007].

Ο Πίνακας 5-18 περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία που συλλέχθηκαν από διάφορες πηγές σχετικά με τα κύρια φράγματα που έχουν κατασκευαστεί και βρίσκονται σε λειτουργία επί βουλγαρικού και τουρκικού εδάφους όπως επίσης και για το ελληνικό φράγμα στον π. Άρδα. Για κάθε φράγμα, αναφέρεται η λεκάνη απορροής του ποταμού στην οποία αυτό ανήκει, η ωφέλιμη χωρητικότητά του (σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα), η μέγιστη υδροηλεκτρική ισχύς που μπορεί να παρασχεθεί από τις τουρμπίνες (μόνο

στην περίπτωση υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων) και οι συντεταγμένες της λεκάνης κατάκλισης του ταμιευτήρα του φράγματος.

Στην περίπτωση φραγμάτων που λειτουργούν «εν σειρά», αυτά ομαδοποιούνται και αριθμούνται από τα ανάντη προς τα κατόντη, όπως φαίνεται στη στήλη Σειρά του πίνακα. Για παράδειγμα η σειρά φραγμάτων του Ivailovgrad, ονομάζεται D και αποτελείται από τα φράγματα του Kardzhali, του Studen Kladenets και του Ivailovgrad, τα οποία αναφέρονται ως D1, D2 και D3 αντίστοιχα. Το φράγμα D1 είναι το πλέον ανάντη της σειράς ενώ το φράγμα D3 είναι το πλέον κατόντη της σειράς.

**Πίνακας 5-18:** Κύρια φράγματα π. Έβρου και παραποτάμων του [NEKEAD, 2007].

Φράγμα / ΥΗΣ	Ποταμός	Σειρά	Ωφέλιμη Χωρητικότητα 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Ενέργεια MW	X	Y
Aleko	Έβρος	C3	0.17	66	41 58 51	24 11 31
Altinyazi	Εργίνης		29.30		41 03 31	26 35 24
Batak	Έβρος	C1	310.00	40	41 58 51	24 11 31
Belmeken	Έβρος	A2	144.04	375	42 09 40	23 47 59
Borovitsa	Άρδας		31.00		41 45 25	25 08 29
Chaira	Έβρος	A1	5.60	864	42 09 40	23 47 59
Devin	Έβρος	B2	0.00	80	42 02 30	24 29 47
Domljan	Έβρος		26.80		42 32 45	24 55 17
Golyam Beglik (Vasil Kolarov)	Έβρος		86.10		41 48 31	24 07 13
Ivailovgrad	Άρδας	D3	157.00	104	41 35 12	26 06 27
Kadikoy	Εργίνης		37.30		40 37 58	26 55 49
Karaidemir	Εργίνης		75.50		40 57 06	29 59 17
Kardzhali	Άρδας	D1	539.90	106	41 38 17	25 18 26
Koprinka (G. Dimitrov)	Τούντζας		142.40	7	42 37 00	25 17 46
Krichim	Έβρος	B4	20.26	80	42 02 30	24 29 47
Kuplu	Εργίνης		8.10		41 08 10	26 26 39
Malko Sharkovo	Τούντζας		40.90		42 06 48	26 52 00
Monima Klisura	Έβρος	A4	0.00	120	42 09 40	23 47 59
Orfeus	Έβρος	B3	0.00	160	42 02 30	24 29 47
Ovcharitsa	Έβρος		62.40		42 15 17	26 10 21
Peshtera	Έβρος	C2	0.00	125	41 58 51	24 11 31
Pjasachnik	Έβρος		211.40		42 24 27	24 33 15
Rozov Kladenets	Άρδας		20.40		41 59 09	25 25 16
Sestrimo	Έβρος	A3	0.42	240	42 09 40	23 47 59
Shiroka Poljana	Έβρος		20.70		41 42 03	24 05 00
Stankovi Baraki	Έβρος	A3	0.42		42 09 40	23 47 59
Studen Kladenets	Άρδας	D2	388.00	60	41 37 13	25 38 23
Suloglu	Εργίνης		88.40		41 47 38	26 55 12
Teshel	Έβρος	B1	1.37	60	41 40 10	24 20 58
Topolnitsa	Έβρος		141.00	5	42 26 29	24 00 10
Trakiets	Έβρος		92.40		37 25 19	22 05 06
Tsankov Kamak	Έβρος	B5	111.00		41 40 10	24 20 58
Vacha	Έβρος		226.12		41 55 29	24 55 57
Zhrebchevo	Τούντζας		28.20		42 37 16	25 51 45
Zlatograd	Άρδας		44.00		41 23 14	25 03 35
Κόμαρα	Άρδας		300.00		41 34 14	26 10 54

Στις περιπτώσεις που αναγράφεται ως μηδενική η ωφέλιμη χωρητικότητα ενός φράγματος, τότε η συγκεκριμένη εγγραφή αφορά σταθμό παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος είναι κατασκευασμένος είτε στα κατάντη ενός φράγματος είτε μεταξύ δυο φραγμάτων και ως εκ τούτου δεν συνοδεύεται από ταμειυτήρα.

### 5.3.2 Παράλληλα έργα

Κατά μήκος της ελληνοβουλγαρικής μεθορίου έχει γίνει ευθυγράμμιση με ανταλλαγή εδαφών και διευθέτηση της κοίτης του Έβρου στη δεκαετία 1970-1980. Η διατομή που επελέγη από τις δυο πλευρές είναι τραπεζοειδής με διπλή μπαγγίνα, ιδίου ύψους εκατέρωθεν της βαθιάς γραμμής που αποτελεί ταυτόχρονα τη γραμμή συμμετρίας της διατομής και τη μεθοριακή γραμμή. Στην περιοχή αυτή δεν έχει γίνει καμία συντήρηση μέχρι σήμερα με αποτέλεσμα να έχουν δημιουργηθεί νησίδες από φερτά υλικά, ο όγκος των οποίων υπερβαίνει τα 1,000,000 m<sup>3</sup> [Τσεσμελής, 2006].

Η συνεργασία μεταξύ ελληνικών και βουλγαρικών αρχών στη μεθοριακή γραμμή δεν επαναλήφθηκε στην περίπτωση της ελληνοτουρκικής μεθορίου. Αν και από το 1934 βρίσκεται σε ισχύ η συμφωνία «Περί κανονισμού των υδραυλικών έργων επ' αμφοτέρων των όχθων του ποταμού Maritza (Έβρου)» [Ελληνικός Στρατός, 1977] και η μελέτη «Master Plan for Evros - Meric river development» [Harza, 1953] που εκπονήθηκε το 1954 από την αμερικάνικη εταιρεία μελετών Harza και έχει εγκριθεί τόσο από τις ελληνικές όσο και από τις τουρκικές αρχές, λόγω των διαφόρων προβλημάτων στις διμερείς σχέσεις των δυο κρατών δεν ολοκληρώθηκαν οι εργασίες ευθυγράμμισης και ανταλλαγής εδαφών. Αντίθετα οι δυο χώρες κατασκευάζουν χωρίς συντονισμό αναχώματα η κάθε μια στις όχθες της, τα οποία όμως δεν επαρκούν για την παραλαβή των πλημμυρικών παροχών ιδιαίτερα όταν η αρνητική συμβολή άλλων αυθαίρετων κατασκευών που αναφέρονται στη συνέχεια και η πρόσχωση της κοίτης με φερτές ύλες μειώνουν δραστικά την ενεργό διατομή της κοίτης.



Εικόνα 5-1: Ρήγματα στα παράλληλα αναχώματα, πλημμύρες 2006.



Στην Εικόνα 5-1 σημειώνονται δυο ρήγματα στο χειμερινό και στο θερινό ανάχωμα της ελληνικής πλευράς, πλησίον του ΕΦ11. Τα ρήγματα αυτά φωτογραφήθηκαν κατά τη διάρκεια των εαρινών πλημμυρών του 2006.

### 5.3.3 Κάθετα έργα

Μια άλλη κατηγορία έργων που απαντάται κατά μήκος της ελληνοτουρκικής μεθορίου είναι τα κάθετα στη ροή του νερού έργα. Τα έργα αυτά είναι κυρίως πρόβολοι και εμφράξεις και στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι υπεύθυνα για την υπερπήδηση των αναχωμάτων.

Οι πρόβολοι (Εικόνα 5-2) δρουν ευεργετικά όσον αφορά την ελάττωση της διάβρωσης της όχθης στην οποία κατασκευάζονται, για το λόγο ότι συγκρατούν φερτές ύλες στα ανάντη τους προσχώνοντας την κοίτη και ελαττώνοντας την ταχύτητα του νερού στα κατάντη της θεμελίωσής τους σε περιοχές που έχουν σχηματιστεί κοιλότητες λόγω διάβρωσης.

Το μήκος των προβόλων έχει συμφωνηθεί σε καμία περίπτωση να μην ξεπερνάει τα 7.5 μέτρα [Ελληνικός Στρατός, 1977], ωστόσο και οι δυο πλευρές υπερβαίνουν το όριο αυτό με αποτέλεσμα να στενεύει σημαντικά η διατομή ροής με παράλληλη αύξηση της ταχύτητα ροής λόγω της στένωσης. Αποτέλεσμα αυτού είναι η επιτάχυνση της διάβρωσης στην περιοχή της στένωσης και η μετατόπιση με τον τρόπο αυτό της κοίτης του ποταμού προς την πλευρά που βρίσκεται απέναντι από τον πρόβολο.



**Εικόνα 5-2:** Τουρκικός πρόβολος στην περιοχή του Πυθίου.

Λόγω των μαιανδρισμών της κοίτης του π. Έβρου και της συνεχούς μετατόπισης της κοίτης του λόγω διάβρωσης και απόθεσης φερτών υλών, πολλές φορές δημιουργούνται διχάλες, οι οποίες λειτουργούν ως μεριστές, διαχωρίζοντας τη ροή του ποταμού σε δυο κλάδους, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται νησίδα.

Ο ένας εκ των δυο κλάδων συνήθως φράσσεται εκ των υστέρων, με στόχο την αύξηση των καλλιεργήσιμων παρέμβριων εκτάσεων, οι οποίες λόγω των προσχωσιγενών υλικών είναι ιδιαίτερα εύφορες. Η έμφραξη πραγματοποιείται σε περίοδο μικρών παροχών, με απόθεση φερτών υλών. Λόγω του μηδενισμού της ταχύτητας ροής στον κλάδο που φράσσεται, η εναπόθεση αιωρούμενου και συρτικού φορτίου είναι ταχεία, με αποτέλεσμα την άμεση πρόσχωση του εμφρασσόμενου κλάδου. Επειδή η ενεργή διατομή του ποταμού μειώνεται σημαντικά καθώς εξαφανίζεται ο ένας εκ των δυο κλάδων εκατέρωθεν της νησίδας, σε πολλές περιπτώσεις δημιουργούνται ευαίσθητα σημεία στα οποία εμφανίζονται πλημμύρες ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Τέτοια σημεία υπάρχουν σήμερα στα Δίκαια, στο χωριό Λάβαρα, κ.α.

Επίσης, στο Δέλτα του Έβρου υπάρχει έμφραξη με άλλη σκοπιμότητα. Σε περιόδους χαμηλών παροχών, εγκλωβίζονται ποσότητες ποτάμιων υδάτων, εμποδίζοντας την υφαλμύριση της περιοχής. Στην περίπτωση που γίνει άρση της έμφραξης τότε σε θερινές περιόδους που η παροχή του ποταμού είναι μικρή έχει παρατηρηθεί η εισχώρηση θαλάσσιων υδάτων με αποτέλεσμα την καταστροφή καλλιεργειών.

Η έμφραξη στο Δέλτα του ποταμού ενθαρρύνεται και από την τουρκική πλευρά λόγω των πολύ μεγάλων καλλιεργήσιμων εκτάσεων που υπάρχουν στα Ύψαλα, όμως σε περιόδους πλημμυρών δρα ανασταλτικά γιατί εγκλωβίζονται και οι πλημμυρικές παροχές. Ο ελληνικός στρατός έχει επιφορτιστεί με την ανατίναξη της έμφραξης του Δέλτα σε περιόδους πλημμυρών. Τελευταία φορά που έγινε άρση της έμφραξης ήταν στις εαρινές πλημμύρες του 2006 (Εικόνα 5-3).



**Εικόνα 5-3:** Ανατίναξη της έμφραξης στο Δέλτα του Έβρου, πλημμύρες 2006.

Αν και έχει εκπονηθεί την προηγούμενη δεκαετία μελέτη για μόνιμη ευέλικτη κατασκευή συστήματος για την έμφραξη και την άρση αυτής με φουσκωτό φράγμα, η μελέτη αυτή δεν έχει εγκριθεί λόγω περιβαλλοντικών θεμάτων.

### 5.3.4 Αποψίλωση νησίδων

Λόγω των συχνών πλημμυρών και της μεγάλης εν γένει στερεοπαροχής του ποταμού, έχουν σχηματιστεί πολλές νησίδες τις τελευταίες δεκαετίες (Εικόνα 5-4, Εικόνα 5-5), οι οποίες εμποδίζουν την ελεύθερη ροή του ποταμού.

**Πίνακας 5-19:** Θέσεις νησίδων που επιτείνουν το πλημμυρικό πρόβλημα.

A/A	Περιοχή	Συντεταγμένες Αρχής	Συντεταγμένες Τέλους
1	Νησίδα Τσιπλάκ Αντά (Tsiplak ada)	41° 41' 49.94 N 26° 22' 15.39 E	41° 41' 10.19 N 26° 26' 08.00 E
2	Περιοχή Ορόσημο Βύσσας	41° 36' 55.24 N 26° 35' 41.75 E	41° 36' 15.17 N 26° 35' 45.04 E
3	Περιοχή Στροφές	41° 25' 12.28 N 26° 37' 41.68 E	41° 24' 42.07 N 26° 37' 48.43 E
4	Ανάντη γέφυρας Πυθίου	41° 23' 39.45 N 26° 38' 02.71 E	41° 21' 44.39 N 26° 37' 57.04 E
5	Περιοχή Διδυμοτείχου	41° 20' 22.32 N 26° 32' 52.39 E	41° 19' 55.02 N 26° 31' 03.66 E
6	Περιοχή Μάνδρας	41° 15' 18.73 N 26° 20' 20.39 E	41° 14' 11.55 N 26° 19' 06.11 E
7	Περιοχή Αίνου	40° 45' 28.00 N 26° 07' 46.26 E	40° 43' 54.29 N 26° 05' 15.24 E

Πολλές φορές σε περιόδους χαμηλών παροχών, φράσσεται ο ένας εκ των δυο κλάδων του ποταμού, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που η νησίδα βρίσκεται πλησίον της μίας εκ των δυο όχθων του ποταμού, με αποτέλεσμα την περαιτέρω μείωση της ενεργής διατομής του. Οι νησίδες γενικότερα έχουν στο παρελθόν αποτελέσει αιτία αστοχίας των αναχωμάτων του π. Έβρου. Οι νησίδες αυτές βρίσκονται στις περιοχές που παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 5-19).

Οι νησίδες που περιλαμβάνονται στις ακόλουθες θέσεις είναι συνολικά 64. Σύμφωνα με τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, η οποία έκανε χρήση χαρτών 1:10000 της περιοχής, οι νησίδες αυτές είναι:

- 31 νησίδες ακαθόριστης κυριότητας
- 8 τουρκικές νησίδες που έχουν προσκολληθεί σε ελληνικές όχθες
- 4 ελληνικές νησίδες που έχουν προσκολληθεί σε τουρκικές όχθες
- 4 τουρκικές νησίδες σε τουρκικές όχθες
- 1 ελληνική (Ψαθάδων) που παραβιάζεται η κυριότητά της σε μόνιμη βάση από την τουρκική πλευρά
- 2 νέες νησίδες σε ελληνικές όχθες
- 7 νησίδες ακαθόριστου κυριότητας, οι οποίες βρίσκονται πολύ κοντά σε τουρκικές όχθες
- 5 νησίδες ακαθόριστου κυριότητας, οι οποίες βρίσκονται πολύ κοντά σε ελληνικές όχθες
- Η νησίδα του Αμορίου
- Η νησίδα του Τριεθνούς

Επειδή οι νησίδες αυτές προκαλούν προβλήματα τόσο σε ελληνικές όσο και σε τουρκικές περιοχές, συμφωνήθηκε καταρχήν στις 13 Νοεμβρίου 2006 μεταξύ Ελλάδας και Τουρκίας να υπάρξει συνεργασία για την αποψίλωσή τους. Ωστόσο δεν έχει υπάρξει ακόμα καμία δράση σχετική με την αποψίλωση των νησίδων αυτών. Η



βασική αιτία είναι ο διαφορετικός τρόπος (και συνεπώς η διαφορετική ισχύουσα νομοθεσία) κατά την εκτέλεση των δημοσίων έργων.



**Εικόνα 5-4:** Νησίδες στον π. Έβρο περιοχή Διδυμοτείχου.



**Εικόνα 5-5:** Νησίδες στον π. Έβρο περιοχή Διδυμοτείχου (Δορυφορική).

Η Ελλάδα, ως μέλος – κράτος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, είναι υποχρεωμένη στη διενέργεια διεθνών διαγωνισμών για την ανάδειξη αναδόχου που θα προχωρήσει στην αποψίλωση των νησίδων. Στην Τουρκία τα δημόσια έργα αυτού του είδους γίνονται με ανάδοχο τις υπηρεσίες του ίδιου του κράτους, οι οποίες έχουν στη διάθεσή τους τόσο τα απαραίτητα μηχανήματα όσο και το έμπυχο δυναμικό. Το πρόβλημα αυτό επιτείνεται από το γεγονός ότι για την υλοποίηση του έργου θα πρέπει να αναζητηθούν κοινοτικές ενισχύσεις.

### **5.3.5 Οχυρωματικά έργα**

Μια τελευταία κατηγορία έργων κατά μήκος της κοίτης του π. Έβρου είναι τα οχυρωματικά έργα του ελληνικού και τουρκικού στρατού. Τα έργα αυτά συνίστανται κυρίως στην κατασκευή μεταλλικών οχετών κάθετων στα αναχώματα. Οι οχετοί αυτοί κλείνουν με μια μεταλλική θύρα, η οποία όμως αφενός μεν δεν είναι υδατοστεγανή, αφετέρου λόγω της άνωσης και της δευτερεύουσας ροής (κάθετα στη διατομή) του νερού, αποτελεί μια εύκολη διέξοδο για το πλημμυρικό κύμα.

Επίσης η στατικότητα του αναχώματος επηρεάζεται σημαντικά από τις οπές αυτές και πολλές φορές στο παρελθόν έχουν παρατηρηθεί αστοχίες των αναχωμάτων σε θέσεις που έχουν κατασκευαστεί οχυρωματικά έργα.

## **5.4 Διακρατικές συμφωνίες – Ισχύουσα Νομοθεσία**

Οι διακρατικές συμφωνίες αναφέρονται κυρίως στις συμφωνίες μεταξύ Ελλάδας και Τουρκίας, καθώς έχει ήδη γίνει διευθέτηση του π. Έβρου μεταξύ Ελλάδας και Βουλγαρίας, όπου η μεθοριακή γραμμή είναι σαφώς καθορισμένη και υπάρχει γενικά πολύ καλή συνεργασία μεταξύ των δυο κρατών εν αντιθέσει με τις αυξημένες δυσκολίες στη συνεργασία Ελλάδα – Τουρκίας.

Πάντως τα τελευταία χρόνια εξαιτίας των καταστροφών που έχουν προκαλέσει οι πλημμύρες τόσο στις ελλαδικές όσο και στις τουρκικές παράβριες περιοχές, η Ελλάδα και η Τουρκία έχουν ξεκινήσει μια συνεχή προσπάθεια συντονισμού και συνεργασίας μεταξύ τους με σκοπό τη χάραξη ενιαίας πολιτικής έναντι της βουλγαρικής πλευράς και την επίτευξη καλύτερου συντονισμού τους με την τελευταία.

### **5.4.1 Μεθοριακή ελληνοτουρκική γραμμή 1926**

Το 1926 ορίστηκε η μεθοριακή γραμμή μεταξύ Ελλάδας και Τουρκίας, ως οι συντεταγμένες των κορυφών μιας πολυγωνικής γραμμής, η οποία και εξαρτήθηκε από χαρακτηριστικά σημεία της τότε εποχής (τζαμιά, εκκλησίες, κλπ) που βρίσκονταν τόσο στην ελληνική όσο και στην τουρκική πλευρά. Η τότε μεθοριακή γραμμή κινούταν γενικά στη βαθιά γραμμή της κοίτης του ποταμού Έβρου. Εξαιρέση αποτελεί η περιοχή της Αδριανούπολης, στην οποία η μεθοριακή γραμμή χαράχτηκε με κριτήριο το βεληνεκές των τότε πολυβόλων όπλων να μην μπορεί να πλήξει την πόλη, ως «εγγύηση» της ελληνικής πλευράς για την ασφάλεια της Αδριανούπολης, η οποία δόθηκε στην τουρκική πλευρά εν είδη πολεμικής αποζημίωσης. Σύμφωνα με την τότε μεθοριακή γραμμή, το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής του Δέλτα του ποταμού ανήκει στην Ελλάδα.

Με το πέρασμα του χρόνου όμως και δεδομένου ότι οι κοίτες των ποταμών μεταβάλλονται συνεχώς λόγω της πρόσχωσης της κοίτης τους με φερτές ύλες και εξαιτίας της διάβρωσής τους, ιδιαίτερα μετά από πλημμύρες αλλά και με τη συνδρομή ανθρωπογενών παρεμβάσεων όπως η κατασκευή προβόλων, η κοίτη του π. Έβρου έχει μετατοπιστεί σημαντικά. Η μετακίνηση αυτή σε συνδυασμό με την καταστροφή ή μεταβολή πολλών εκ των χαρακτηριστικών σημείων έχει δημιουργήσει ιδιαίτερα προβλήματα στις διμερείς σχέσεις των δυο κρατών.

Η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού υπολογίζει ότι περίπου 16000 στρέμματα έχουν αλλάξει ιδιοκτησιακό καθεστώς λόγω της μετακίνησης της κοίτης του ποταμού συγκριτικά με τη θέση της μεθοριακής γραμμής του 1926. Η ελληνική πλευρά υποστηρίζει ότι σε κάθε χάρτη που συντάσσεται από τις δυο πλευρές θα πρέπει υποχρεωτικά να σχεδιάζεται η μεθοριακή γραμμή του 1926, η οποία θα πρέπει να εφαρμοστεί επί του εδάφους με τη συνεργασία των δυο κρατών. Όποια εδαφική διαφορά προκύψει θα πρέπει να διευθετηθεί με ανταλλαγή εδαφών.

Η τουρκική πλευρά υποστηρίζει ότι αφενός μεν είναι εξαιρετικά δύσκολη η εφαρμογή της μεθοριακής γραμμής του 1926 επί του εδάφους δεδομένου ότι τα περισσότερα χαρακτηριστικά σημεία αυτής έχουν αλλοιωθεί και αφετέρου ακόμα κι αν επιτευχθεί κάτι τέτοιο είναι αδύνατη η επιστροφή του ποταμού στην προ 85 ετών θέση του. Η ανταλλαγή εδαφών από την άλλη είναι δύσκολη, αν ληφθούν υπόψη τα έργα υποδομής (κυρίως υδροληψίες και αντλιοστάσια) αλλά και οι καλλιέργειες που έχουν γίνει και από τις δυο πλευρές.

Συνεπώς, οι δυο πλευρές αδυνατούν να συνεργαστούν λόγω της παραπάνω ουσιώδους διαφοράς και οι περισσότερες προσπάθειές τους προσκρούουν στο γεγονός ότι η θέση της μεθοριακής γραμμής δεν είναι σαφώς καθορισμένη και αποδεκτή από τα δυο μέρη. Η *de facto* μεθοριακή γραμμή είναι η κοίτη του ποταμού Έβρου εκτός από 2-3 περιπτώσεις μεγάλων σχετικά περιοχών που ανήκουν στην Ελλάδα ή στην Τουρκία και που η πρόσβαση γίνεται μόνο διασχίζοντας τον π. Έβρο με πλωτά μέσα.

#### **5.4.2 Κανονισμοί περί υδραυλικών έργων 1936 - 1971**

Η συνεργασία των δυο πλευρών κατά την εκτέλεση υδραυλικών έργων στην κοίτη του ποταμού Έβρου αποτυπώνεται επίσημα για πρώτη φορά το 1936 [Ελληνικός Στρατός, 1977]. Με τη συμφωνία αυτή καταργήθηκαν κάποια φράγματα και εμφράξεις που υπήρχαν στον ποταμό, ενώ ορίζονται τα είδη των έργων που μπορούν να κατασκευαστούν με συνεργασία των δυο κρατών ή μονομερώς μετά από προειδοποίηση ενός μηνός του άλλου κράτους. Πιο συγκεκριμένα επιτρέπεται η κατασκευή έργων κατά μέτωπο προασπίσεως των όχθων, αναχωμάτων και προβόλων.

Τα έργα της κατηγορίας της κατά μέτωπο προασπίσεως των όχθων, ορίζονται ως η προστασία των πρανών της κοίτης με οποιοδήποτε τρόπο αρκεί να μην καταλαμβάνει στον πυθμένα του ποταμού πλάτος μεγαλύτερο των τεσσάρων μέτρων από το πόδι της επενδύσεως και να μην ανυψώνεται σε ύψος μεγαλύτερο των πενήντα εκατοστών πάνω από τη συνήθως χαμηλή στάθμη των υδάτων. Το πάχος της επένδυσης δεν πρέπει να υπερβαίνει το ένα μέτρο εκτός αν χρησιμεύει ως τοίχος αντιστήριξης οπότε το πάχος θα πρέπει να υπολογίζεται ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο υλικό και την πίεση στην οποία θα είναι εκτεθειμένο.

Εάν η κατά μέτωπο προάσπιση πραγματοποιείται με φύτευση, το πλάτος του έργου αυτού δεν πρέπει να υπερβαίνει τα τρία μέτρα από την όχθη μέχρι τη συνήθως χαμηλή στάθμη των υδάτων του ποταμού. Σε καμία περίπτωση δεν επιτρέπονται επεμβάσεις στα κοίλα τμήματα των όχθων του ποταμού και σε κάθε περίπτωση τα έργα αυτά θα επιτρέπονται μόνο σε διαβρωμένα ή απειλούμενα από διάβρωση τμήματα του ποταμού.

Όσον αφορά τα αναχώματα, αυτά θα πρέπει να είναι υπερβλητά, μικρού σχετικά μήκους, παράλληλα προς τον ποταμό ή πλάγια σε σχέση με τη ροή αυτού. Σκοπός των αναχωμάτων είναι η προστασία των παραποτάμιων περιοχών από τις συνήθεις πλημμύρες. Μπορούν δε να κατασκευαστούν εκεί που υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης των όχθων ή γύρω από χωριά για την προστασία αυτών από πλημμύρες.

Τέλος επιτρέπεται η κατασκευή μικρών προβόλων μόνο εντός κοιλοτήτων που έχουν σχηματιστεί στις όχθες του ποταμού λόγω διάβρωσης. Το μέγιστο μήκος των προβόλων δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να υπερβαίνει τα 7.5 μέτρα στο σημείο της μεγαλύτερης διάβρωσης και θα ελαττώνεται προοδευτικά στα σημεία στα οποία η διάβρωση είναι μικρότερη. Το μήκος τους θα μηδενίζεται στα σημεία που αρχίζει ή τελειώνει η διάβρωση. Η κατεύθυνση των προβόλων θα είναι κάθετη προς τη ροή της συνήθους χαμηλής στάθμης των υδάτων και το ύψος τους δεν μπορεί να υπερβεί στην όχθη το υψόμετρο του φυσικού εδάφους και στην κεφαλή τους το υψόμετρο της συνήθους χαμηλής στάθμης των υδάτων. Η κατωφέρεια της βάσης κάτω από τη συνήθη χαμηλή στάθμη θα έχει κλίση δεκαπέντε μοίρες.

Πολύ σημαντικός όρος στη συμφωνία περί κατασκευής προβόλων, ο οποίος έχει καταστρατηγηθεί κατ' επανάληψη στο παρελθόν και συνεχίζεται η πρακτική αυτή και σήμερα από την τουρκική πλευρά είναι η απαγόρευση κατασκευής προβόλων στις θέσεις που υπάρχει νησίδα η οποία διαχωρίζει τη ροή του ποταμού σε δυο κλάδους.

Εκτός από τα έργα αυτά, προβλέπεται η ανάθεση μιας ολοκληρωμένης μελέτης αντιπλημμυρικής προστασίας σε τρίτο μελετητή, η οποία και έγινε 15 χρόνια μετά την κύρωση της συμφωνίας περί υδραυλικών έργων, στην αμερικανική εταιρεία Harza. Η συμφωνία προέβλεπε τη συνεργασία των δυο κρατών για την κατασκευή των έργων που πιθανών θα προβλέπονταν στη μελέτη αυτή.

Η συμφωνία περιγράφει αναλυτικά τον τρόπο που θα γίνεται η προειδοποίηση του άλλου κράτους σε περίπτωση μονομερούς παρέμβασης, τις διαδικασίες για τη συνεργασία των δυο κρατών, τον τρόπο μελέτης και κατασκευής των προαναφερθέντων έργων, τον τρόπο με τον οποίο θα γίνονται μετρήσεις της ποσότητας των υδάτων και της ταχύτητας ροής του ποταμού (υδρομετρήσεις), την επίβλεψη κατά τη διάρκεια κατασκευής των έργων και τις διαδικασίες για τη συντήρηση των υφιστάμενων και μελλοντικών έργων.

Μετά την παραλαβή και την έγκριση της μελέτης αντιπλημμυρικής προστασίας των παραποτάμιων περιοχών της Harza [Harza, 1953] από τις ελληνικές και τουρκικές αρχές, συστάθηκε η μόνιμη επιτροπή για τον Έβρο, η οποία αποτελούταν από επιστήμονες και πολιτικούς των δυο πλευρών. Η επιτροπή αυτή συμπλήρωσε την αρχική συμφωνία του 1936 και καθόρισε ποια έργα που αναφέρονταν στη μελέτη της Harza θα εκτελούσε κάθε κράτος, τον τρόπο κατασκευής αυτών και το κοινό χρονοδιάγραμμα των εργασιών.

Τον Φεβρουάριο του 1955 συμφωνήθηκε η κατασκευή όλων των αντιπλημμυρικών έργων που περιλαμβάνονταν στη μελέτη της Harza [Harza, 1953]. Η κατασκευή αυτή θα διαρκούσε 5 έτη, από το 1955 έως και το 1959. Τα δυο πρώτα

χρόνια (1955-1956) θα κατασκευαζόταν το τμήμα κατάντη του Πυθίου και μέχρι το Δέλτα του ποταμού, ενώ τα επόμενα τρία (1957-1959) το τμήμα από τα τριεθνή σύνορα έως και το Πύθιο. Παράλληλα δινόταν το δικαίωμα στα δυο κράτη να κατασκευάσουν υπερβλητά «θερινά» αναχώματα πλησίον της κοίτης του ποταμού, τα οποία θα υποβοηθούσαν την κατασκευή των αναχωμάτων της μελέτης της Harza (χειμερινά).

Το φιλόδοξο χρονοδιάγραμμα που συμφωνήθηκε μεταξύ των δυο πλευρών δεν έγινε εφικτό να τηρηθεί από τις δυο πλευρές. Για το λόγο αυτό, συμφωνήθηκε εκ νέου τον Μάρτιο του 1960 ένα νέο χρονοδιάγραμμα συμπλήρωσης και αποπεράτωσης των έργων της προηγούμενης πενταετίας. Το νέο χρονοδιάγραμμα προέβλεπε την αποπεράτωση των έργων στα επόμενα δυο έτη, μέχρι δηλαδή τις αρχές του 1962.

Ωστόσο κατά τη φάση κατασκευής των έργων προέκυψαν εδαφικές διαφορές μεταξύ των δυο πλευρών, καθώς απαιτούνταν ανταλλαγές εδαφών για την ολοκλήρωση των έργων διευθέτησης και αντιπλημμυρικής προστασίας. Οι ανταλλαγές εδαφών θα γίνονταν με στόχο την ευθυγράμμιση της κοίτης του ποταμού σε τέσσερα προβληματικά σημεία, την εξάλειψη δηλαδή των μαιάνδρων σε τρία σημεία. Προγραμματίστηκαν τέσσερις ευθυγραμμίσεις, δυο σε ελληνικό έδαφος και δυο σε τουρκικό. Οι δυο ήταν στην περιοχή του Πέπλου και πραγματοποιήθηκαν επιτυχώς με ανταλλαγή εδαφών. Η τρίτη ευθυγράμμιση, η οποία επίσης πραγματοποιήθηκε, ήταν στην περιοχή του Αινήσιου Δέλτα σε ελληνικό έδαφος. Η τέταρτη ευθυγράμμιση που δεν κατασκευάστηκε αφορούσε την περιοχή του Τυχερού και όφειλε να γίνει από την τουρκική πλευρά βάσει των συμφωνιών. Ωστόσο επειδή δεν πραγματοποιήθηκε ποτέ, δεν έγινε ανταλλαγή εδαφών στο Αινήσιο Δέλτα και στην περιοχή του Τυχερού.

Μετά από την ανταλλαγή εδαφών και την κατασκευή του μεγαλύτερου μέρους των αναχωμάτων η οποία ολοκληρώθηκε το 1963, δεδομένου ότι έγιναν μεταβολές στις κοίτες των ποταμών Έβρου και Άρδα, τα υφιστάμενα ορόσημα της εποχής ήδη δεν επαρκούσαν και για την επίλυση των μεθοριακών διαφωνιών που άρχιζαν να γίνονται έντονες, αποφασίστηκε το Δεκέμβριο του 1969 να αποκατασταθεί και να οριοθετηθεί η μεθόριος βάσει του πρωτοκόλλου του 1926 και των παραρτημάτων αυτού, συντάσσοντας νέους χάρτες με σύγχρονες μεθόδους και να τοποθετηθούν νέα ορόσημα επί του εδάφους.

Οι τεχνικοί όροι για τις εργασίες της διαδικασίας επαναπροσδιορισμού της μεθοριακής γραμμής του 1926 συμφωνήθηκαν με τεχνικό πρωτόκολλο, το οποίο συντάχθηκε από τεχνικούς των δυο κρατών και έγινε αμοιβαία αποδεκτό το Δεκέμβριο του 1971. Τα επόμενα χρόνια άρχισαν οι εργασίες επανακαθορισμού της μεθοριακής γραμμής. Οι εργασίες γίνονταν με πολύ αργούς ρυθμούς κυρίως λόγω της απροθυμίας της τουρκικής πλευράς για συνεργασία. Λόγω όμως των γεγονότων που ακολούθησαν το 1974, κάθε συνεργασία μεταξύ των δυο κρατών σταμάτησε με αποτέλεσμα να μην ολοκληρωθούν ποτέ οι εργασίες επανακαθορισμού της μεθορίου γραμμής του 1926.

#### **5.4.3 Μνημόνιο συνεργασίας 2000**

Μετά από μια περίοδο αδράνειας και παντελούς έλλειψης συνεργασίας μεταξύ Ελλάδας και Τουρκίας, υπογράφηκε το «Μνημόνιο κατανοήσεως μεταξύ της Ελληνικής Δημοκρατίας και της Δημοκρατίας της Τουρκίας σχετικά με τη συνεργασία



για την προστασία του περιβάλλοντος» μεταξύ των τότε υπουργών εξωτερικών Ελλάδας και Τουρκίας τον Ιανουάριο του 2000.

Σύμφωνα με το μνημόνιο αυτό, προβλέπεται η συνεργασία των δυο πλευρών για την προστασία του περιβάλλοντος με ανταλλαγή επιστημονικών, τεχνικών και νομικής φύσεως πληροφοριών μεταξύ κυβερνητικών οργανισμών. Παράλληλα ενθαρρύνονται παρόμοιες ανταλλαγές μεταξύ ακαδημαϊκών ιδρυμάτων, μη κυβερνητικών οργανισμών και ιδιωτικών επιχειρήσεων.

Το μνημόνιο συνεργασίας προέβλεπε ως πιθανούς τομείς συνεργασίας, θέματα σχετικά με την:

- παραγωγή ενέργειας
- απερόημωση
- καταπολέμηση της θαλάσσιας ρύπανσης
- υιοθέτηση περιβαλλοντικά ορθών στρατηγικών διαχείρισης στερεών αποβλήτων
- προετοιμασία κοινών προγραμμάτων και ανταλλαγής πληροφοριών για την ανάπτυξη του οικότουρισμού
- ανταλλαγή πληροφοριών για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- ενθάρρυνση της συνεργασίας μη κυβερνητικών οργανώσεων και στις δυο χώρες
- χερσαίες πηγές ρύπανσης
- θέματα σχετικά με την αντισεισμική προστασία
- δασοπυρόσβεση
- εκμετάλλευση πυρηνόξυλου

Το μνημόνιο αυτό συνεργασίας μεταξύ Ελλάδας και Τουρκίας, αν και είναι αόριστο και γενικόλογο, αποτέλεσε το πρώτο βήμα επαναπροσέγγισης των δυο πλευρών μετά από ένα μεγάλο διάστημα αδράνειας που διήρκησε περίπου 25 χρόνια. Εξάλλου σε πολλές μετέπειτα συμφωνίες μνημονεύεται η συμφωνία αυτή με την αιτιολογία ότι η αντιπλημμυρική προστασία πρέπει να εναρμονίζεται και να συνεισφέρει στην προστασία του περιβάλλοντος.

#### **5.4.4 Νεότερες συμφωνίες 2005 - 2009**

Με αφετηρία το μνημόνιο κατανόησης και αφορμή τις πρόσφατες πλημμύρες στις παράβριες περιοχές που οφείλονται σε μεγάλο ποσοστό στην κακή διαχείριση των αποθηκευμένων όγκων νερού στα ανάντη φράγματα επί βουλγαρικού εδάφους, η ελληνική και η τουρκική πλευρά συντάχθηκαν ενάντια στη βουλγαρική. Ξεκίνησε ένας νέος κύκλος επαφών που οδήγησε στην υπογραφή διαφόρων πρωτοκόλλων συνεργασίας, μικρότερης εμβέλειας από τα προαναφερθέντα αλλά εξίσου σημαντικά.

Το κυριότερο προϊόν του νέου κύκλου επαφών ήταν η συμφωνία που υπογράφηκε μεταξύ των τότε υπουργών εξωτερικών Ελλάδας και Τουρκίας, σχετικά με τη διασυνοριακή συνεργασία μεταξύ Ελλάδας – Τουρκίας τον Ιούνιο του 2006 στην Κωνσταντινούπολη.

Η Ελλάδα παράλληλα με τις επαφές με την τουρκική πλευρά, εντατικοποίησε τις επαφές και με τη βουλγαρική πλευρά, προσπαθώντας να θέσει το ζήτημα της αντιπλημμυρικής προστασίας σε τριμερές επίπεδο. Τον Ιούνιο του 2006, η μικτή ελληνοβουλγαρική ομάδα εργασίας με την ευκαιρία της υλοποίησης του διασυνοριακού κοινοτικού προγράμματος Interreg III Ελλάδα – Βουλγαρία, τέθηκε το

ζήτημα εγκατάστασης μόνιμου ηλεκτρονικού και αυτόματου συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης αλλά και της λειτουργίας του «Συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης» μεταξύ της Γενικής Γραμματείας Πολιτικής Προστασίας του ΥΠΕΣΔΔΑ και του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Υδάτων της Βουλγαρίας. Εξετάσθηκε το διμερές νομικό πλαίσιο όσον αφορά τα ύδατα του ποταμού Έβρου και η εφαρμογή της οδηγίας 2000/60/ΕΕ για τα νερά από τα δυο κράτη.

Το Σεπτέμβριο του 2006, Ελλάδα και Τουρκία συμφώνησαν στο πνεύμα της προαναφερθείσας συμφωνίας να συνεργαστούν συντονισμένα σε όλα τα επίπεδα, για τη διευθέτηση του προβλήματος των πλημμυρών και για την ελάττωση των επιπτώσεων των πλημμυρών στην τοπική οικονομία και κοινωνία της περιοχής. Εκφράστηκε η θέληση των δυο πλευρών για εντατικοποίηση των συναντήσεων μεταξύ τους έως ότου βρεθεί μια κοινά αποδεκτή λύση για την αντιμετώπιση του θέματος των πλημμυρών.

Τον Ιανουάριο του 2007, η Τουρκία υπέβαλε στην ελληνική πλευρά μια μελέτη αποψίλωσης των νησίδων που κατά τη γνώμη της τελευταίας ευθύνονται εν μέρει για τα έντονα πλημμυρικά προβλήματα που απαντώνται κατά τόπους στις παράβριες περιοχές. Συμφωνήθηκε να εξετασθεί η μελέτη αυτή από την Ελλάδα και να αποφανθεί αν συμφωνεί στην αποψίλωση των νησίδων, ως ένα προσωρινό μέτρο για την διευκόλυνση της ροής του ποταμού, δεδομένου της απροθυμίας της Βουλγαρίας να συνεργαστεί σε τριμερές επίπεδο για την οριστική διευθέτηση του θέματος.

Από τον Ιανουάριο του 2007 έως τον Μάιο του 2009, πραγματοποιήθηκαν αρκετές συναντήσεις σχετικά με το αίτημα της τουρκικής πλευράς περί αποψίλωσης των νησίδων και γενικότερα συμφωνίας για διευθέτηση της κοίτης του ποταμού Έβρου, χωρίς ωστόσο να υπάρξει συμφωνία μεταξύ της ελληνικής και της τουρκικής πλευράς.

#### **5.4.5 Κοινοτικές οδηγίες**

Οι κοινοτικές οδηγίες που διέπουν τα διασυνοριακά νερά και είναι σε ισχύ, είναι η οδηγία 2000/60/ΕΕ για τα νερά και η οδηγία 2007/60/ΕΕ για τις πλημμύρες, η οποία τέθηκε πρόσφατα σε ισχύ ως συμπλήρωμα της οδηγίας 2000/60/ΕΕ για τα νερά.

Η οδηγία 2000/60 για τα νερά της Ευρωπαϊκής Ένωσης [ΕΕL 327/2000] έχει ως σκοπό τη θέσπιση ενός πλαισίου για την προστασία των επιφανειακών, των μεταβατικών, των παράκτιων και των υπόγειων υδάτων. Το πλαίσιο αυτό στοχεύει στο:

- Να αποτρέπει την περαιτέρω επιδείνωση, να προστατεύει και να βελτιώνει την κατάσταση των υδάτινων οικοσυστημάτων, καθώς και των αμέσως εξαρτώμενων από αυτά χερσαίων οικοσυστημάτων και υγροτόπων σε ό,τι αφορά τις ανάγκες τους σε νερό,
- Να προωθεί τη βιώσιμη χρήση του νερού βάσει μακροπρόθεσμης προστασίας των διαθέσιμων υδάτινων πόρων,
- Να αποσκοπεί στην ενίσχυση της προστασίας και τη βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος, μεταξύ άλλων με ειδικά μέτρα για την προοδευτική μείωση των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών ουσιών προτεραιότητας και με την

παύση ή τη σταδιακή εξάλειψη των απορρίψεων και διαρροών των επικίνδυνων ουσιών προτεραιότητας,

- Να διασφαλίζει την προοδευτική μείωση της ρύπανσης των υπογείων υδάτων και να αποτρέπει την περαιτέρω μόλυνσή τους και
- Να συμβάλλει στο μετριασμό των επιπτώσεων από πλημμύρες και ξηρασίες.

και να συμβάλλει με αυτό τον τρόπο:

Στην εξασφάλιση επαρκούς παροχής επιφανειακού και υπόγειου νερού καλής ποιότητας που απαιτείται για τη βιώσιμη, ισόρροπη και δίκαιη χρήση ύδατος,

- Σε σημαντική μείωση της ρύπανσης των υπογείων υδάτων,
- Στην προστασία των χωρικών και θαλάσσιων υδάτων και
- Στην επίτευξη των στόχων των διεθνών συμφωνιών, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που αποσκοπούν στην πρόληψη και την εξάλειψη της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος, με κοινοτική δράση δυνάμει του άρθρου 16 παράγραφος 3 για την παύση ή τη σταδιακή εξάλειψη των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών επικίνδυνων ουσιών προτεραιότητας, με απώτατο στόχο να επιτευχθούν συγκεντρώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον οι οποίες, για μεν τις φυσικώς απαντώμενες ουσίες να πλησιάζουν το φυσικό βασικό επίπεδο, για δε τις τεχνητές συνθετικές ουσίες να είναι σχεδόν μηδενικές.

Δυστυχώς όμως, η Οδηγία 2000/60/ΕΕ για τα νερά δεν μπορεί να εφαρμοσθεί στην περίπτωση της λεκάνης απορροής του ποταμού Έβρου. Καταρχήν η Τουρκία δεν είναι κράτος – μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, επομένως η οδηγία δεν έχει δεσμευτική ισχύ για αυτή. Επιπρόσθετα, σύμφωνα με την οδηγία «στην περίπτωση διεθνούς λεκάνης απορροής ποταμού η οποία υπερβαίνει τα όρια της Κοινότητας, τα κράτη μέλη προσπαθούν να καταρτίσουν ενιαίο σχέδιο διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού και, εάν αυτό είναι ανέφικτο, σχέδιο το οποίο καλύπτει τουλάχιστον το τμήμα της διεθνούς περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού που βρίσκεται στο έδαφος του εν λόγω κράτους μέλους».

Συνεπώς η Ελλάδα, η Βουλγαρία και η Τουρκία καλούνται να καταρτίσουν ένα ενιαίο σχέδιο διαχείρισης. Η Τουρκία δεν είναι υποχρεωμένη αλλά τόσο η Ελλάδα όσο και η Βουλγαρία, μπορούν αν δεν καταρτιστεί ένα ενιαίο σχέδιο διαχείρισης να καταρτίσουν ανεξάρτητα σχέδια που θα εφαρμοστούν στα εδάφη τους χωριστά έτσι ώστε να ικανοποιηθούν οι στόχοι της οδηγίας.

Η οδηγία 2007/60/ΕΕ για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, στοχεύει στη μείωση των αρνητικών συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες που συνδέονται με τις πλημμύρες στην Κοινότητα. Όπως και στην περίπτωση της οδηγίας 2000/60/ΕΕ, έτσι και η οδηγία 2007/60/ΕΕ για τις πλημμύρες, στο Άρθρο 8 παράγραφος 3 αναφέρει ρητά ότι σε διασυνοριακές λεκάνες απορροής τα κράτη θα πρέπει να προσπαθήσουν να καταρτίσουν ένα ενιαίο σχέδιο ή δέσμη σχεδίων διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας και αν κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό τότε θα πρέπει να εκπονήσουν από μόνα τους ανεξάρτητα σχέδια διαχείρισης [EEL 288/2007].

Η οδηγία 2007/60/ΕΕ αναφέρει την επισήμανση περιοχών με σημαντική επικινδυνότητα εμφάνισης πλημμυρών στις οποίες συμπεριλαμβάνεται και η λεκάνη απορροής του π. Έβρου, παρόλα αυτά όμως δεν υπάρχει συστηματική επίγεια καταγραφή των βροχοπτώσεων, δεν υπάρχει βάση δεδομένων για την εκτίμηση των ιστορικών, τρεχουσών και μελλοντικών ζημιών λόγω των πλημμυρών. Αναλυτική αναφορά στο πρόβλημα αυτό και σε άλλα κρίσιμα θέματα σχετικά με την εφαρμογή της Οδηγίας 2007/60/ΕΕ αναφέρονται στο [Tsakiris et al., 2009].

#### 5.4.6 Περιβαλλοντική νομοθεσία

Η Natura 2000 είναι ένα περιβαλλοντικό δίκτυο της Ευρωπαϊκής Ένωσης που δημιουργήθηκε τον Μάιο του 1992, όταν τα κράτη – μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης υιοθέτησαν τη νομοθεσία για την προστασία των πιο απειλούμενων οικοσυστημάτων και ειδών στην Ευρώπη. Η νομοθεσία αυτή διαιρείται στην Οδηγία για τα Οικοσυστήματα και για τα Πτηνά και αποτέλεσε τη βάση για τη δημιουργία του δικτύου Natura 2000.

Οι περιοχές της λεκάνης απορροής του π. Έβρου που έχουν ενταχθεί στο δίκτυο Natura 2000 παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 5-20).

Το Δέλτα του Έβρου προστατεύεται επιπρόσθετα από τη Συνθήκη RAMSAR, η οποία είναι μια διεθνής συνθήκη για την προστασία και την αειφόρο ανάπτυξη των υδροβιότοπων. Αναγνωρίζοντας την οικονομική, πολιτιστική, επιστημονική αξία και την αξία του υδροβιότοπου ως χώρου αναψυχής, γίνεται προσπάθεια να αναχαιτιστεί η προοδευτική αλλοίωση που επιφέρει η περικύκλωση των υδροβιότοπων από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Η συνολική επιφάνεια στο Δέλτα του Έβρου που προστατεύεται από τη συνθήκη Ramsar έρχεται σε 9267 εκτάρια. Η περιοχή αυτή εντάχθηκε στο δίκτυο προστατευόμενων περιοχών από τη συνθήκη Ramsar στις 28 Αυγούστου 1975 [Ramsar, 2007].

**Πίνακας 5-20:** Περιοχές λεκάνης απορροής Έβρου Natura 2000 [EEL 259/2006].

A/A	Κωδικός	Κατηγορία	Περιοχή	Έκταση (ha)
1	GR1110002	SPA	Δάσος Δαδιάς – Σουφλί	41 017.00
2	GR1110003	SCI	Τρεις Βρύσες	9 912.62
3	GR1110005	SCI	Βουνά Έβρου	42 372.50
4	GR1110006	SPA	Δέλτα Έβρου	13 120.00
5	GR1110007	SCI	Δέλτα Έβρου και δυτικός βραχίονας	9 857.60
6	GR1110008	SPA	Παραποτάμιο δάσος βόρειου Έβρου και Άρδα	25 758.00
7	GR1110009	SPA	Νότιο δασικό σύμπλεγμα Έβρου	29 275.00

6

# Πρωτογενή δεδομένα



## 6 Πρωτογενή δεδομένα

Η συλλογή όλων των διαθέσιμων πρωτογενών δεδομένων ήταν μια διαδικασία μακρόχρονη και δύσκολη, καθώς συγκεντρώθηκαν για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας στοιχεία τοπογραφικά, μετεωρολογικά, υδρομετρικά και ποιοτικά από υπηρεσίες τριών χωρών, της Ελλάδας, της Τουρκίας και της Βουλγαρίας. Από τις ελληνικές αρχές λαμβάνονται σε πραγματικό χρόνο όλες οι μετρήσεις από το δίκτυο Αυτόματων Τηλεμετρικών Σταθμών που έχουν εγκατασταθεί στην ελληνική επικράτεια και λειτουργούν από το 2008. Τέλος συλλέγονται στοιχεία μετρήσεων κατακρήμνισης από το δορυφόρο TRMM της NASA και συγκεκριμένα τα αποτελέσματα που είναι γνωστά ως προϊόντα 3B42 v6, του οποίου η συλλογή γίνεται σε μηνιαία βάση και 3B42RT, το οποίο συλλέγεται σε σχεδόν πραγματικό χρόνο με 6 έως 9 ώρες υστέρηση.

### 6.1 Επίγειες μετρήσεις περιόδου 1946-2003

Στο νομό Έβρου, που ανήκει στο 12<sup>ο</sup> υδατικό διαμέρισμα (Σχήμα 6-1) έχουν εγκατασταθεί τις τελευταίες δεκαετίες πλήθος σταθμών μέτρησης υδρομετεωρολογικών μεταβλητών. Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 6-1) παρουσιάζονται όλοι οι σταθμοί, υδρομετεωρολογικοί (Υ) ή σταθμημετρικοί (Σ) που έχουν εγκατασταθεί και λειτουργούσαν ή λειτουργούν μέχρι σήμερα στη λεκάνη απορροής του ποταμού Έβρου, των παραποτάμων του και σε μερικούς ακόμα χείμαρρους. Στη λίστα αυτή, δεν συμπεριλαμβάνονται οι θέσεις των έξι σύγχρονων αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών που αναφέρονται στην παράγραφο 6.3.

Όσον αφορά τις μετρήσεις μετεωρολογικών μεταβλητών, αυτές αντιπροσωπεύουν μόλις το 6.5% της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής του π. Έβρου. Με χρήση των σημειακών τους μετρήσεων είναι, για παράδειγμα, δυνατός ο υπολογισμός της επιφανειακής κατακρήμνισης και της μέσης θερμοκρασίας του αέρα, αλλά οι εκτιμήσεις αυτές θα αφορούν μόνο το προαναφερόμενο ποσοστό της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής. Όπως είναι προφανές, η εξαγωγή γενικών συμπερασμάτων που θα αφορούν το σύνολο της λεκάνης με χρήση των δεδομένων των ελληνικών σταθμών είναι αδύνατη.

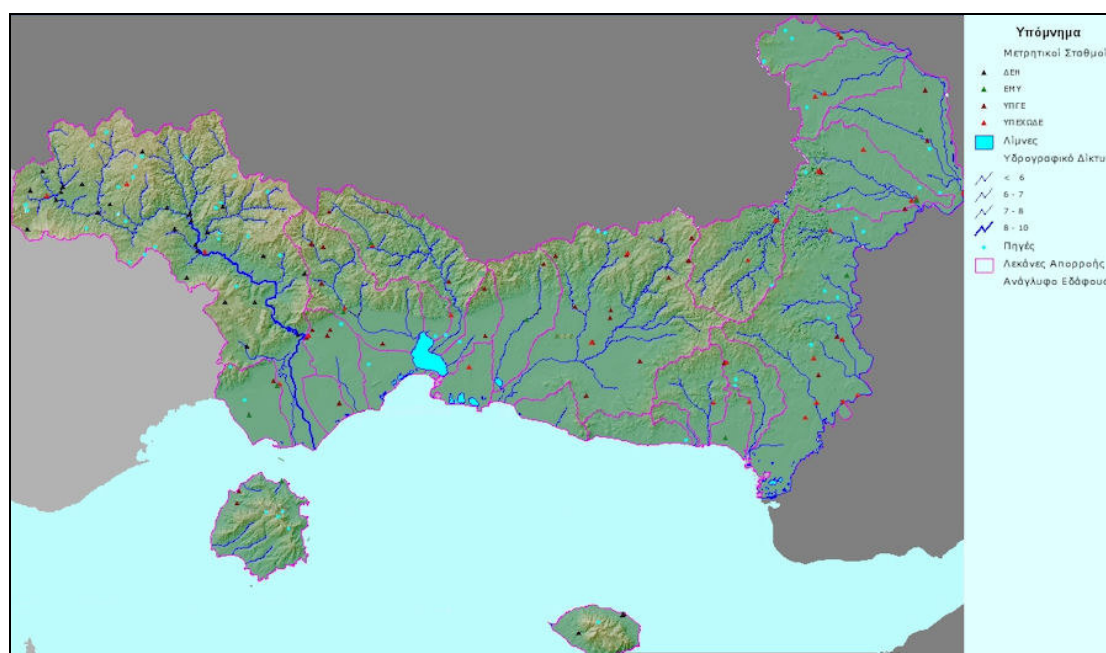
Παρόλα αυτά, οι ιστορικές επίγειες μετρήσεις της περιόδου 1946-2003, αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για τον υπολογισμό μέσω των όρων μετεωρολογικών μεταβλητών όπως είναι η βροχόπτωση. Οι μέσοι όροι και γενικότερα οι μετρήσεις της περιόδου αυτής, αν και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε καμία περίπτωση για την πρόγνωση πλημμυρών, μπορούν να προσδώσουν μια γενική εικόνα του υδατικού δυναμικού της λεκάνης απορροής που ανήκει στην ελληνική επικράτεια. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για παράδειγμα στον υπολογισμό της ετήσιας ιστορικής βροχόπτωσης που φαίνεται στο Σχήμα 5-4.

Όσον αφορά τα δεδομένα των σταθμημέτρων και των σταθμηγράφων, όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 5.2.5, η διάρκεια της καταγραφής σε μερικούς σταθμούς είναι πολύ μικρή, ενώ σε άλλους οι μετρήσεις δεν είναι αξιόπιστες ή αναφέρονται σε συνθήκες ροής που έχουν πλέον εκλείψει λόγω τεχνικών έργων, σημαντικές μεταβολές διατομών, κλπ. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό παράδειγμα αφορά τις υδρομετρήσεις στη γέφυρα του Πυθίου. Επειδή η υγρή διατομή του ποταμού έχει αλλάξει σημαντικά τα τελευταία 20 έτη, οι μετρήσεις στάθμης του ποταμού που πραγματοποιήθηκαν κυρίως τις δεκαετίες του '70 και του '80 και που δεν

μετατράπηκαν σε παροχές, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τα σημερινά δεδομένα.

**Πίνακας 6-1:** Εγκατεστημένοι μετεωρολογικοί και υδρομετρικοί σταθμοί.

Όνομα	Υπηρεσία	Τύπος	X	Y	Z
Αβας	ΥΠΕΧΩΔΕ	Υ	661209.50	4532691.00	114.0
Αισύμη	ΥΠΕΧΩΔΕ	Υ	664356.50	4542179.50	325.1
Αλεξανδρούπολη	ΕΜΥ	Υ	664031.88	4524353.00	3.1
Γέφυρα Ερυθροποτάμου	ΥΠΕΧΩΔΕ	Σ	707719.81	4580179.00	27.2
Γέφυρα Κήπων	ΥΠΕΧΩΔΕ	Σ	695109.81	4534501.00	16.5
Γέφυρα Μικρού Δερείου	ΥΠΕΧΩΔΕ	Σ	676211.19	4575606.50	116.0
Γέφυρα Πετάλου	ΥΠΕΧΩΔΕ	Σ	691670.81	4532975.50	13.1
Διδυμότειχο	ΥΠΕΧΩΔΕ	Υ	708877.88	4580787.50	24.7
Δίκαια	ΥΠΕΧΩΔΕ	Υ	690559.38	4619342.00	50.4
Κυπρίνος	ΥΠΕΧΩΔΕ	Υ	685134.31	4604776.50	70.1
Λευκίμη	ΥΠΕΧΩΔΕ	Υ	684767.31	4543210.50	135.5
Μεγάλο Δέρειο	ΥΠΕΧΩΔΕ	Υ	669344.50	4566205.00	381.6
Μεταξάδες	ΥΠΕΧΩΔΕ	Υ	685821.88	4587217.00	138.7
Μικρό Δέρειο	ΥΠΕΧΩΔΕ	Υ	675836.69	4575682.50	116.2
Νίψα	ΥΠΕΧΩΔΕ	Υ	669640.50	4532853.50	174.7
Ορεσιάδα	ΥΠ.Γ.Ε.	Υ	711515.81	4594320.50	38.2
Πρωτοκλήσι	ΥΠΕΧΩΔΕ	Υ	688716.00	4573260.50	50.2
Γέφυρα Πυθίου	ΥΠΕΧΩΔΕ	Σ	719862.81	4582021.00	26.9
Σιτοχώρι	ΥΠΕΧΩΔΕ	Υ	696446.63	4592294.50	130.7
Σουφλί	ΕΜΥ	Υ	692595.00	4562649.50	64.0
Τριφύλλι	ΥΠ.Γ.Ε.	Υ	685936.19	4539168.50	69.8
Φέρρες	ΥΠΕΧΩΔΕ	Υ	682839.19	4529219.50	43.2



**Σχήμα 6-1:** 12° Υδατικό διαμέρισμα (Θράκη) [ΕΤΥΜΠ, 2006].

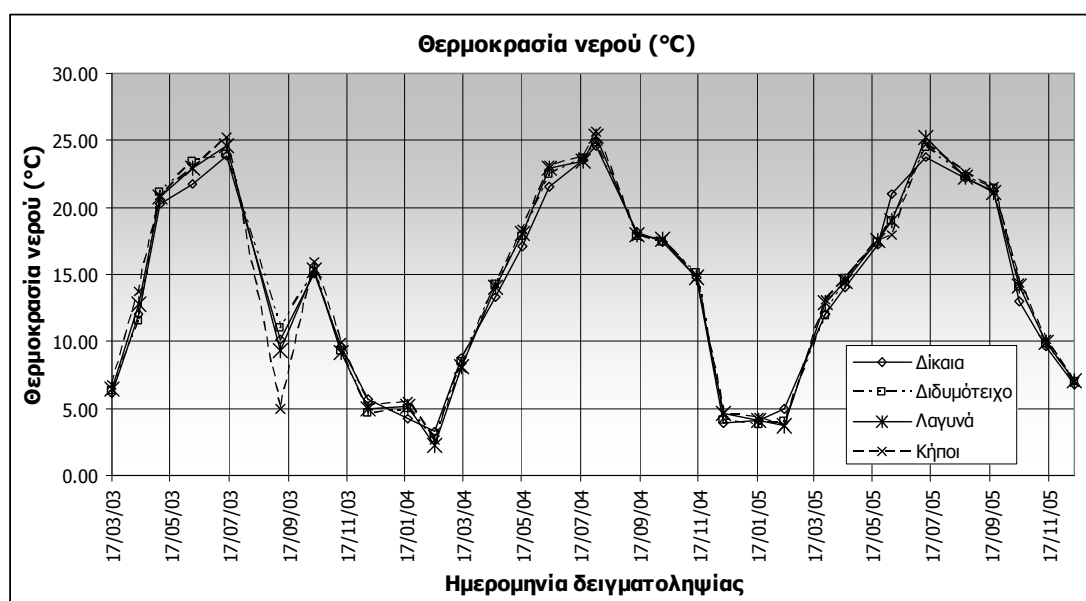


## 6.2 Επίγειες μετρήσεις περιόδου 2003-2006

Το Φεβρουάριο του 2006 τοποθετήθηκε ένα όργανο σύγχρονης τεχνολογίας (σόναρ) μαζί με ένα σταθμό μέτρησης μετεωρολογικών παραμέτρων. Η καταγραφή της στάθμης και της ταχύτητας του ποταμού Έβρου γινόταν στη σιδηροδρομική γέφυρα του Πυθίου, ενώ η μέτρηση των μετεωρολογικών παραμέτρων γινόταν στο φυλάκιο που εφάπτεται της γέφυρας.

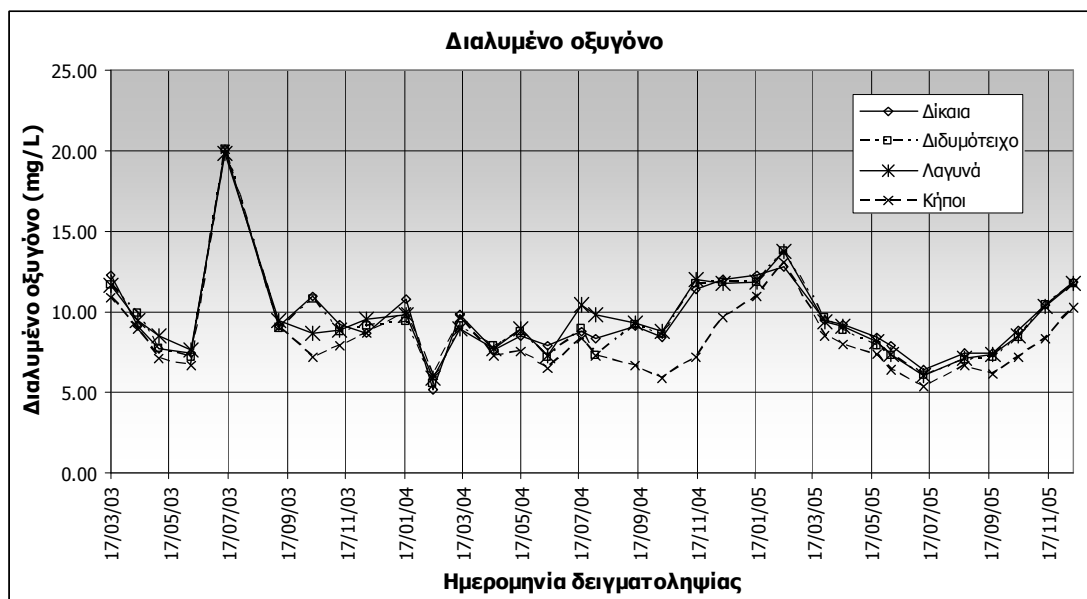
Το σόναρ αυτό λειτούργησε για μικρό χρονικό διάστημα αλλά λόγω διαφόρων αντίξων συνθηκών που σχετίζονταν κυρίως με την αδυναμία ελεύθερης πρόσβασης των τεχνικών για τη συντήρηση και λειτουργία του οργάνου στο σημείο εγκατάστασής του, οι μετρήσεις που έχουν καταγραφεί είναι σποραδικές και ανομοιογενείς. Η θέση αυτή πάντως χρησιμοποιήθηκε στη μεταγενέστερη εγκατάσταση του δικτύου των αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών.

Όσον αφορά μετρήσεις ποιοτικών παραμέτρων στα ύδατα του ποταμού Έβρου και των παραποτάμων του, έγιναν συστηματικές μηνιαίες μετρήσεις από το Γενικό Χημείο του Κράτους κατά τα έτη 2003, 2004 και 2005, στις θέσεις Δίκαια, Διδυμότειχο, Λαγυνά και Κήποι στον ποταμό Έβρο και στη θέση Βύσσα στον ποταμό Άρδα [ΓΧΚ, 2006]. Οι βασικές φυσικοχημικές παράμετροι που μετρήθηκαν είναι μεταξύ άλλων το χρώμα, τα αιωρούμενα στερεά, η θερμοκρασία του αέρα και του νερού, η αγωγιμότητα, το pH, το διαλυμένο οξυγόνο, η ολική σκληρότητα και οι συγκεντρώσεις χλωριόντων και θειικών.



Σχήμα 6-2: Θερμοκρασία νερού σε (°C) στον π. Έβρο (2003-2005).

Παράλληλα με τις φυσικοχημικές παραμέτρους, μετρήθηκαν οι παράμετροι θρεπτικών συστατικών και ευτροφισμού και συγκεκριμένα το COD, το BOD, τα νιτρικά, τα νιτρώδη, το αμμώνιο, το ολικό οξειδωμένο άζωτο (εκτός νιτρικών) και τα φωσφορικά. Τέλος μετρήθηκαν οι μικροβιολογικές παράμετροι συμπεριλαμβανομένων των ολικών κολοβακτηριδίων, των κολοβακτηριδίων κοπράνων, *Escherichia coli*, *salmonella* και κλωστριδίων *perfringens*. Στο Σχήμα 6-2 παρουσιάζονται οι τιμές των μετρημένων θερμοκρασιών νερού στις θέσεις δειγματοληψιών Δίκαια, Διδυμότειχο, Λαγυνά και Κήποι ενώ στο Σχήμα 6-3 εμφανίζονται οι τιμές της συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου σε mg/L.



Σχήμα 6-3: Διαλυμένο οξυγόνο (mg/L) στον π. Έβρο (2003-2005).

### 6.3 Δίκτυο αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών (2008-σήμερα)

Με αφορμή τις πρόσφατες πλημμύρες στο νομό Έβρου (2005, 2006 και 2007) και την αδυναμία της ελληνικής πλευράς να απαιτήσει με αξιώσεις συνδιαχείριση των υδατικών πόρων του π. Έβρου και των παραποτάμων του από τη Βουλγαρία, αποφασίστηκε στα πλαίσια του προγράμματος Κοινοτικής Πρωτοβουλίας Interreg III Ελλάδα – Βουλγαρία, Μέτρο 3.2: «Προστασία, Ανάδειξη & Διαχείριση φυσικού περιβάλλοντος. Δράσεις που αφορούν στην ολοκληρωμένη διαχείριση και προστασία των κοινών υδάτων μέσω κοινών δράσεων» η χρηματοδότηση του έργου «Παρακολούθηση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των ποταμών Ερυθροποτάμου, Άρδα και Έβρου για την Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης».

Το έργο αυτό συμφωνήθηκε από κοινού μεταξύ της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης (Διεύθυνση Ελέγχου Κατασκευής Έργων – Τμήμα Εποπτείας Υδραυλικών Έργων) και της Διεύθυνσης Διαχείρισης Ανατολικής Υδρολογικής Λεκάνης (River Basin Directorate) του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Υδάτων της Βουλγαρίας με στόχο να επεκταθεί μελλοντικά και στη βουλγαρική πλευρά έτσι ώστε να αποκτηθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών του π. Έβρου και των παραποτάμων του.

Το τμήμα της πρότασης που αφορά την ελληνική επικράτεια συντάχθηκε τον Ιούλιο του 2005 [Φωτόπουλος, 2005] έχοντας υπόψη το πλημμυρικό πρόβλημα στην περιοχή καθότι είχαν προηγηθεί τα πλημμυρικά επεισόδια των ετών 2003 και 2005, στόχευε στο να διατεθούν κονδύλια για την εγκατάσταση ενός δικτύου αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών (ΑΤΣ) στην ελληνική επικράτεια, με το οποίο θα μπορούσε η Ελληνική πλευρά να αποκτήσει αξιόπιστες μετρήσεις των ποσοτικών στοιχείων (παροχή, βάθος ροής, ταχύτητα, κλπ) των υδάτων των ποταμών Ερυθροποτάμου, Άρδα και Έβρου και έμμεσα του Εργίνη και του Τούντζα (βλ. παράγραφο 6.3.2). Επιπρόσθετα, με τους αισθητήρες μέτρησης ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδάτων, όπως η θερμοκρασία, το pH, η αγωγιμότητα κ.α., θα μπορούσαν να εξαχθούν συμπεράσματα ως την ποιοτική κατάσταση των υδάτων του ποταμού αλλά

και έμμεσα ως προς την εκφόρτιση των ταμειυτήρων της Βουλγαρίας μέσω της απότομων διαφορών θερμοκρασίας που παρατηρούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Το έργο αυτό εγκρίθηκε και έλαβε χρηματοδότηση και για τα 4 υποέργα του. Με το πρώτο υποέργο μελετήθηκαν οι θέσεις εγκατάστασης των αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών και τα χαρακτηριστικά τους. Επίσης τέθηκαν οι προδιαγραφές λειτουργίας του συστήματος, τόσο όσον αφορά την καταγραφή και συλλογή των μετρήσεων, όσο και την τηλεμετάδοσή τους, την αποθήκευση κεντρικά και την προβολή τους στο κοινό [Φωτόπουλος, 2007]. Στο πλαίσιο του δεύτερου υποέργου, το Νοέμβριο του 2007 έλαβε χώρα διαγωνισμός για την προμήθεια έξι (6) αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών (ΑΤΣ), συνεχούς μέτρησης ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων των υδάτων με βάση τα όσα είχαν προδιαγραφεί στο πρώτο υποέργο. Η τοποθέτηση των έξι σταθμών ολοκληρώθηκε επιτυχώς τον Μάιο του 2008. Έκτοτε οι σταθμοί αυτοί καταγράφουν διαρκώς τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά στοιχεία στον ποταμό Έβρο και τους παραποτάμους του Άρδα και Ερυθροπόταμο.

Με το τρίτο υποέργο, δημοπρατήθηκε και κατασκευάστηκε η ιστοσελίδα μέσω της οποίας διατίθενται ελεύθερα στο κοινό οι τρέχουσες μετρήσεις που λαμβάνονται από τους αυτόματους τηλεμετρικούς (<http://www.evrosrivers.gr/>). Τέλος στο πλαίσιο του τέταρτου υποέργου δόθηκε δημοσιότητα στο πρόγραμμα, με διοργάνωση ημερίδων τόσο σε εθνικό όσο και σε τριμερές επίπεδο (Ελλάδα, Βουλγαρία και Τουρκία) αλλά και με ενημέρωση όλων των αρμόδιων φορέων.

Αντίστοιχη πρόταση για προμήθεια αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών με τις ίδιες προδιαγραφές που έχουν οι ελληνικοί (έτσι ώστε είναι συμβατές οι καταγραφές και να ενοποιηθούν μελλοντικά) έχει χρηματοδοτηθεί και για τη βουλγαρική πλευρά από το ίδιο πρόγραμμα κοινοτικής πρωτοβουλίας, αλλά μέχρι σήμερα δεν έχει λειτουργήσει.

### 6.3.1 Μετρούμενες παράμετροι

Το δίκτυο των ΑΤΣ μετράει σε πραγματικό χρόνο ποσοτικές (ταχύτητα, στάθμη), ποιοτικές (θερμοκρασία νερού, διαλυμένο οξυγόνο, κλπ) και μετεωρολογικές (βροχόπτωση, θερμοκρασία αέρα, σχετική υγρασία, κλπ) μεταβλητές στις θέσεις εγκατάστασης. Ο Πίνακας 6-2 περιλαμβάνει όλες τις μετρούμενες μεταβλητές από το δίκτυο των ΑΤΣ.

Με τις μετρήσεις των ΑΤΣ, η ελληνική πλευρά αποκτάει τη δυνατότητα επαλήθευσης των στοιχείων που δίδονται στην Ελλάδα και την Τουρκία από τις βουλγαρικές αρχές. Επίσης γίνεται εφικτή η εκτίμηση της ρύπανσης των υδάτων από τα βυρσοδεψεία της Αδριανούπολης και από τη διάθεση ανεπεξέργαστων αστικών και βιομηχανικών λυμάτων κυρίως από την τουρκική πλευρά κατά μήκος των ποταμών Έβρο και Εργίνη.

**Πίνακας 6-2:** Μετρούμενες μεταβλητές από το δίκτυο ΑΤΣ [Φωτόπουλος, 2007].

Μετεωρολογικές	Ποσοτικές	Ποιοτικές
Διεύθυνση ανέμου Ταχύτητα ανέμου Θερμοκρασία αέρα Σχετική υγρασία αέρα Βροχόπτωση Ολική ηλιακή ακτινοβολία Διάρκεια ηλιοφάνειας Καθαρή ηλιακή ακτινοβολία	Στάθμη υδάτων Ταχύτητα ροής Παροχή (υπολογιστικά)	Θερμοκρασία νερού Διαλυμένο οξυγόνο Θολότητα pH Αγωγιμότητα Αλατότητα (υπολογιστικά) Συγκεντρώσεις νιτρικών Ολικά διαλυμένα στερεά

### 6.3.2 Θέσεις εγκατάστασης

Η διαδικασία επιλογής των θέσεων εγκατάστασης των ΑΤΣ διήρκησε περισσότερο από ένα έτος. Από τις 12 αρχικά προτεινόμενες θέσεις, επικράτησαν 6, οι οποίες πληρούσαν τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Κατάλληλες υδραυλικές συνθήκες ροής
- Δυνατότητα περιβαλλοντικής αδειοδότησης
- Κατάλληλες τοπογραφικές συνθήκες
- Κάλυψη από το εθνικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας
- Εύκολη πρόσβαση
- Δυνατότητα φύλαξης και προστασίας των οργάνων
- Οικονομία στα απαιτούμενα υποστηρικτικά έργα για την εγκατάσταση των σταθμών

Στο Σχήμα 6-4 φαίνονται οι τελικά επιλεγμένες θέσεις εγκατάστασης των ΑΤΣ. Στον ποταμό Έβρο έχουν εγκατασταθεί στις θέσεις Ορμένιο, Πύθιο, Κήποι και στο Δέλτα του Ποταμού. Στον π. Άρδα η θέση εγκατάστασης είναι κατάντη του φράγματος στο Κόμαρα ενώ στον π. Ερυθροπόταμο, η θέση εγκατάστασης είναι στη γέφυρα του Διδυμοτείχου, ανάντη της νέας σιδηροδρομικής γέφυρας.

Ο σταθμός στη θέση 1 «Ορμένιο» καταγράφει τις εισερχόμενες ποσότητες υδάτων του π. Έβρου από το βουλγαρικό έδαφος. Ο σταθμός στη θέση 2 «Φράγμα Άρδα» (κατάντη αυτού) καταγράφει αντίστοιχα τις εισερχόμενες ποσότητες από το βουλγαρικό έδαφος του π. Άρδα. Μεταξύ της θέσης μέτρησης 2 και των ελληνοβουλγαρικών συνόρων, παρεμβάλλεται το ελληνικό φράγμα στα Κόμαρα. Λόγω του ταμιευτήρα του φράγματος αυτού που εκτείνεται έως την ελληνοβουλγαρική μεθόριο, δεν υπήρχε θέση πλησιέστερα στα σύνορα για την εγκατάσταση των οργάνων.

Η διαφορά των μετρήσεων στο σταθμό 4 «Πύθιο» από τους δυο προαναφερόμενους σταθμούς 1 και 2, δίδει την ποσότητα των υδάτων του ποταμού Τούντζα. Η σταθμός αυτός βρίσκεται επί της σιδηροδρομικής γέφυρας του Πυθίου, που απέχει λίγα χιλιόμετρα από το ελληνικό χωριό Πύθιο. Οι μετρήσεις του σταθμού αυτού είναι συγκρίσιμες με αυτές που λαμβάνονται στον τούρκικο σταθμό λίγο έξω από την πόλη της Αδριανούπολης.

Στη θέση 3 «Ερυθροπόταμος», γίνεται μέτρηση των υδάτων της μικρότερης υπολεκάνης απορροής του π. Έβρου, η οποία ανήκει σχεδόν εξ ολοκλήρου στην ελληνική επικράτεια. Η θέση αυτή βρίσκεται στη νέα οδική γέφυρα που έχει κατασκευαστεί στην πόλη του Διδυμοτείχου και πρακτικά μετράει την παροχή του ποταμού στην έξοδο της λεκάνης απορροής του.

Η διαφορά των μετρήσεων του σταθμού των 5 «Κήποι» από τους ανάντη σταθμούς 3 και 4, δίδει την ποσότητα των υδάτων του ποταμού Εργίνη. Τέλος στο σταθμό 6 «Δέλτα» εκτελούνται συνολικές μετρήσεις ποσότητας και ποιότητας που έχουν ως στόχο τους κυρίως την επαλήθευση των μετρήσεων των παραπάνω σταθμών. Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 6-3) δίδεται εποπτικά η αντιστοίχιση μεταξύ των ποταμών και των μετρήσεων που καταγράφονται από τους ΑΤΣ [Φωτόπουλος, 2007]. Στη συνέχεια γίνεται συνοπτική παρουσίαση των θέσεων εγκατάστασης κάθε σταθμού και αναφέρονται οι βασικότερες δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν κατά την τοποθέτηση των οργάνων μέτρησης ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων της ροής.



Σχήμα 6-4: Θέσεις εγκατάστασης ΑΤΣ [Fotopoulos and Tssemelis, 2006].

Πίνακας 6-3: Αντιστοίχιση ποταμών και μετρήσεων από τους ΑΤΣ.

A/A	Σταθμός	Ποταμοί
1	Ορμένιο	Έβρος
2	Φράγμα Άρδα	Άρδας
3	Πύθιο	Έβρος, Άρδας και Τούντζας
4	Ερυθροπόταμος	Ερυθροπόταμος
5	Κήπιοι	Έβρος, Άρδας, Τούντζας, Ερυθροπόταμος και Εργίνης
6	Δέλτα	Έβρος, Άρδας, Τούντζας, Ερυθροπόταμος και Εργίνης

#### 6.3.2.1 Ορμένιο

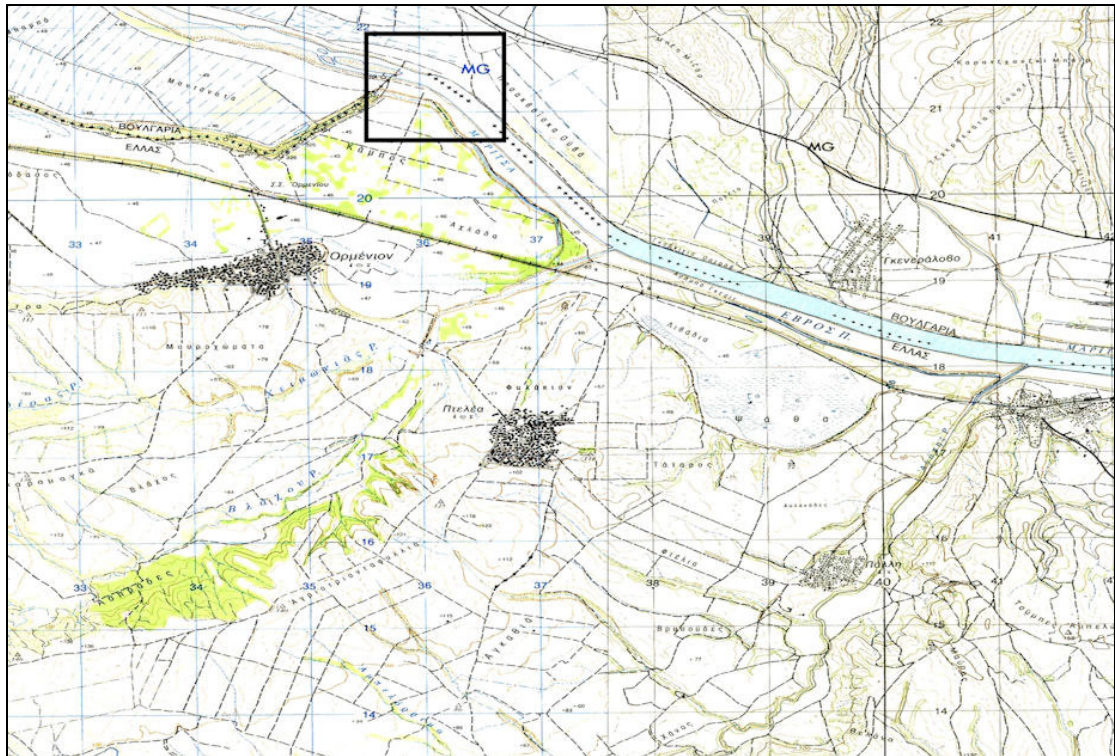
Η θέση αυτή βρίσκεται επί της ελληνο-βουλγαρικής μεθορίου, στο σημείο που ο π. Έβρος (Maritsa) γίνεται συντοριακή γραμμή μεταξύ Ελλάδας - Βουλγαρίας. Η θέση εγκατάστασης του ΑΤΣ του συντοριακού σταθμού Ορμένιου παρουσιάζεται στο Σχήμα 6-5, σε απόσπασμα χάρτη 1:25 000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, ενώ στην Εικόνα 6-1 παρατίθεται φωτογραφία των οργάνων του σταθμού.

Το κυριότερο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε στο σχεδιασμό των έργων είναι η έλλειψη ηλεκτρικού ρεύματος λόγω της απόστασης του σταθμού από το συντοριακό σταθμό του Ορμένιου. Το θέμα αυτό διευθετήθηκε με τη χρήση γεννήτριας που μπαίνει σε λειτουργία όταν οι φορτιζόμενες μέσω των ηλιακών συλλεκτών μπαταρίες δεν επαρκούν για τη λειτουργία του καταγραφικού και των αισθητήρων του.

Δευτερευόντως αντιμετωπίστηκε και το θέμα της ασφάλειας των οργάνων, αφού η θέση τους είναι σχετικά απομακρυσμένη από τα ελληνικά συντοριακά φυλάκια με αποτέλεσμα να μην υπάρχει οπτική επαφή. Το θέμα αυτό αντιμετωπίστηκε με την τοποθέτηση υψηλού συρματοπλέγματος γύρω από το σταθμό, το οποίο εδράζεται σε περιμετρική βάση οπλισμένου σκυροδέματος. Αν και δεν αποτελεί προστασία από κακόβουλες πράξεις, ωστόσο προστατεύονται όλα τα όργανα και οι καλωδιώσεις τους από τα ζώα που βόσκουν στην περιοχή καθώς και από κορμούς δέντρων που



παρασύρονται σε περιόδους πλημμυρών. Στην Εικόνα 6-1 δεν φαίνεται το συρματόπλεγμα καθώς η φωτογραφία τραβήχτηκε αμέσως μετά την ολοκλήρωση της τοποθέτησης των οργάνων και πριν από την κατασκευή του προστατευτικού φράχτη.



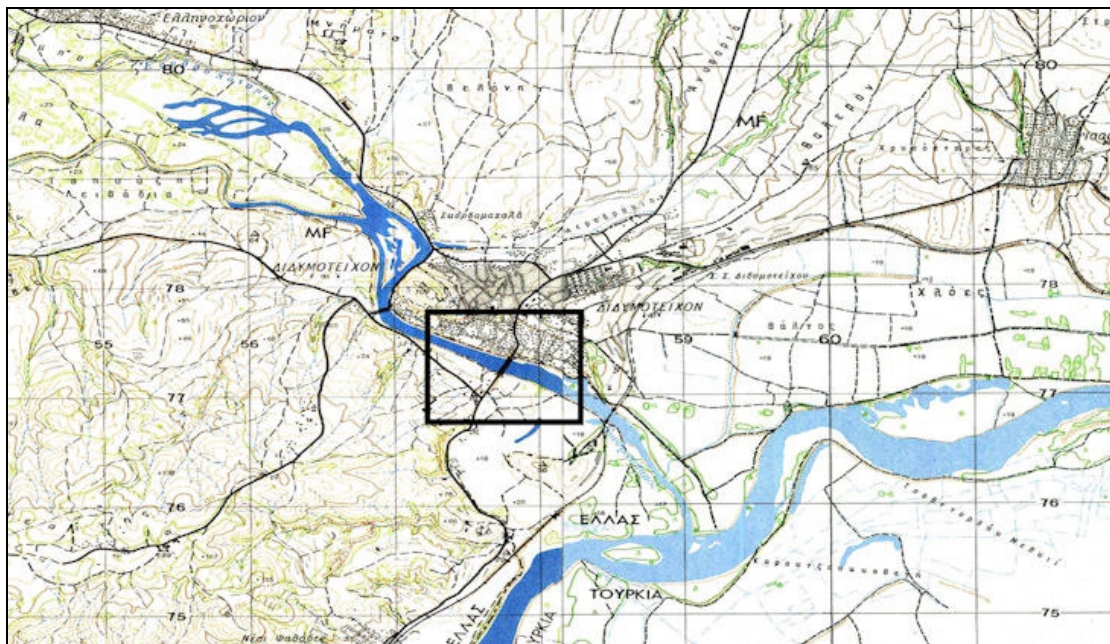
**Σχήμα 6-5:** Θέση εγκατάστασης ΑΤΣ Ορμένιου.



**Εικόνα 6-1:** Ο ΑΤΣ πλησίον του συνοριακού σταθμού Ορμένιου.



### 6.3.2.2 Γέφυρα Διδυμοτείχου



Σχήμα 6-6: Θέση εγκατάστασης ΑΤΣ Γέφυρας Διδυμοτείχου.



Εικόνα 6-2: Ο ΑΤΣ της παλαιάς γέφυρας Διδυμοτείχου στον Ερυθροπόταμο.

Η θέση αυτή βρίσκεται επί της παλαιάς γέφυρας της πόλης του Διδυμοτείχου, η οποία χωροθετείται ανάντη της νέας σιδηροδρομικής γέφυρας (Σχήμα 6-6). Στο σημείο αυτό γίνονται μετρήσεις που αφορούν τον Ερυθροπόταμο, πριν από τη συμβολή του με τον ποταμό Έβρο.

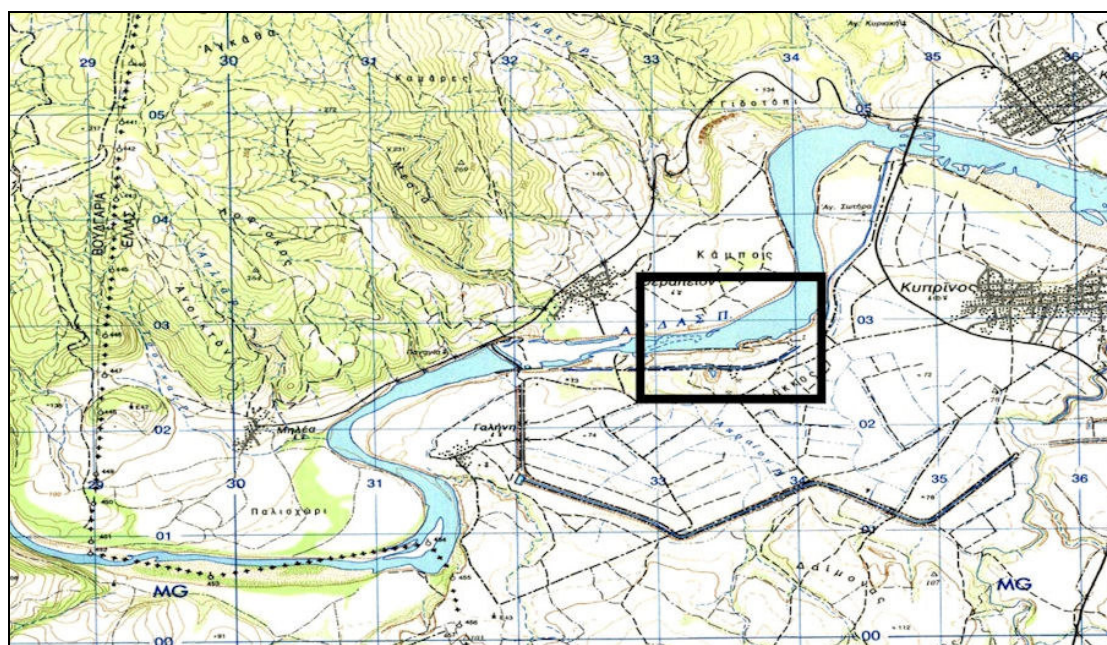


Η θέση μέτρησης αυτή είναι ιδανική, γιατί τα όργανα είναι προστατευμένα (έχει τοποθετηθεί και συρματόπλεγμα για επιπρόσθετη προστασία), η πρόσβαση είναι εύκολη και οι μετρήσεις γίνονται αμέσως πριν τη συμβολή του Ερυθροπόταμου με τον π. Έβρο. Συνεπώς οι μετρούμενες παράμετροι αντικατοπτρίζουν το σύνολο της λεκάνης απορροής του Ερυθροποτάμου.

### 6.3.2.3 Κόμαρα κατάντη Φράγματος Άρδα

Η θέση αυτή βρίσκεται ανάντη των Κομάρων και του Κυπρίνου και κατάντη του φράγματος του Άρδα. Στο σημείο αυτό γίνονται μετρήσεις που αφορούν τον ποταμό Άρδα σχεδόν αμέσως μόλις εισέρχεται από το βουλγαρικό έδαφος (Σχήμα 6-7). Σημειώνεται ότι λόγω του ανάντη φράγματος, τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των υδάτων αλλοιώνονται και δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για την κατάσταση των εξερχόμενων από το βουλγαρικό έδαφος υδάτων του ποταμού.

Λόγω του φράγματος του Άρδα, οι μετρούμενες ποσοτικές και ποιοτικές παράμετροι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για την αξιολόγηση της κατάστασης των υδάτων του ποταμού Άρδα τη στιγμή που εξέρχονται από το βουλγαρικό και εισέρχονται στο ελληνικό έδαφος. Βασικές αιτίες είναι η διόδευση του πλημμυρικού κύματος στον ταμιευτήρα του φράγματος και η αποθήκευση ποσότητας νερού και ανάμιξή της με τον ήδη αποθηκευμένο όγκο νερού στον ταμιευτήρα. Ωστόσο η θέση αυτή δεν θα μπορούσε να αλλάξει δεδομένου ότι η κατακλιζόμενη έκταση του ταμιευτήρα φτάνει εντός του βουλγαρικού εδάφους.



**Σχήμα 6-7:** Θέση εγκατάστασης ΑΤΣ Κόμαρα κατάντη φράγματος Άρδα.



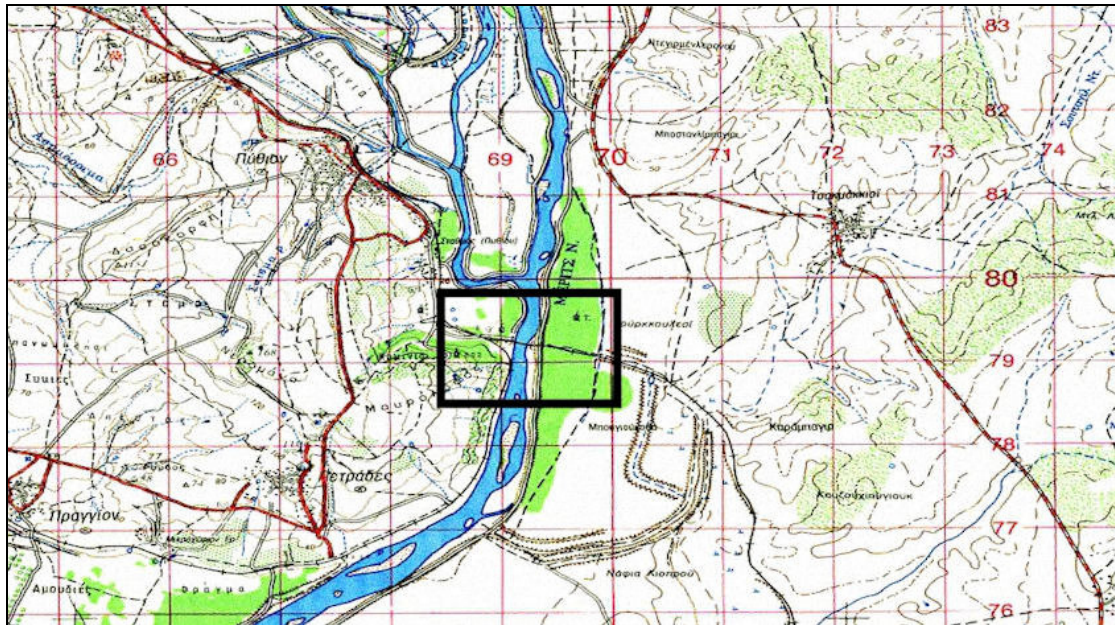


**Εικόνα 6-3:** Ο ΑΤΣ στα Κόμαρα κατάντη του φράγματος Άρδα.

Η μεγαλύτερη δυσκολία στην τοποθέτηση και λειτουργία των οργάνων είναι η πρόσβαση σε αυτά. Τα εδάφη είναι προσχλωσιγενή με ελάχιστη συνεκτικότητα, ενώ οι συχνές υπερχειλίσεις της κοίτης δημιουργούν προβλήματα για την ασφάλεια των οργάνων. Για το λόγο αυτό η έδραση των οργάνων έγινε με κατασκευή πλάκας σκυροδέματος πάχους 20 εκατοστών και τοποθετήθηκε απλή περίφραξη γύρω από τα όργανα του σταθμού έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανότητες καταστροφής των οργάνων λόγω πρόσκρουσης κορμών δέντρων σε αυτά.

#### 6.3.2.4 Σιδηροδρομική Γέφυρα Πυθίου

Η θέση αυτή βρίσκεται επί της σιδηροδρομικής γέφυρας του Πυθίου. Στο σημείο αυτό γίνονται μετρήσεις που αφορούν τον Έβρο ποταμό. Δεν κατέστη δυνατή η λήψη φωτογραφιών στο σημείο αυτό για λόγους ασφαλείας.



**Σχήμα 6-8:** Θέση εγκατάστασης ΑΤΣ Σιδηροδρομικής Γέφυρας Πυθίου.

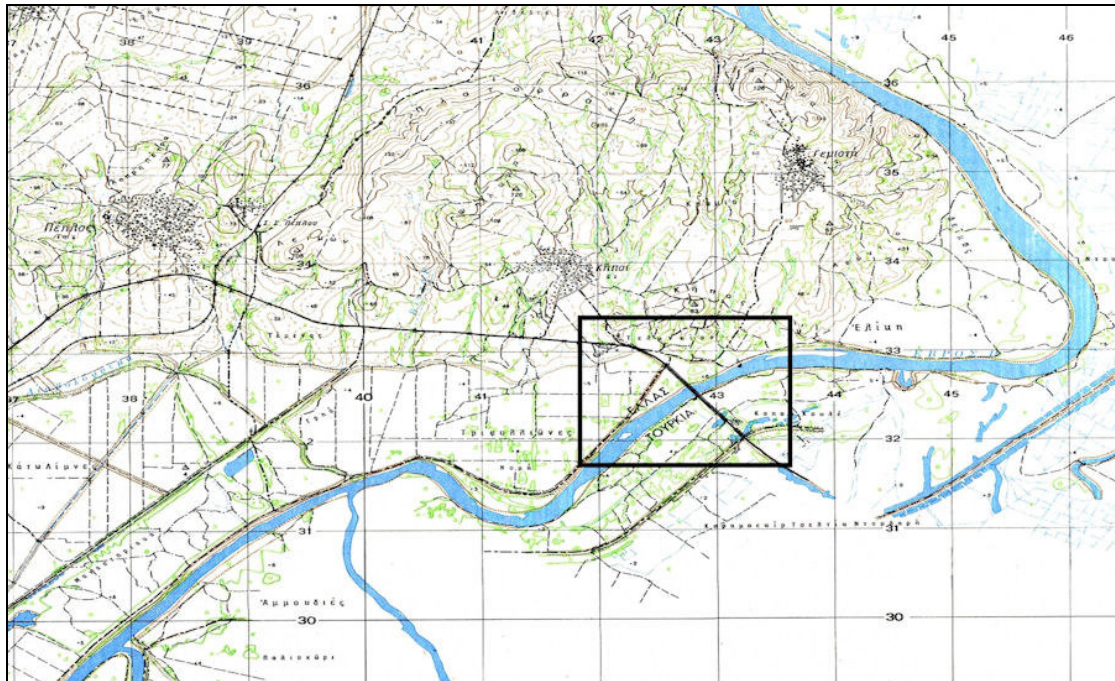
Παρόλο που η τοποθέτηση των οργάνων και η πρόσβαση σε αυτά γίνεται μόνο με στρατιωτική συνοδεία, η θέση αυτή είναι ιδανική γιατί η κοίτη είναι σχετικά στενή με αποτέλεσμα να μπορεί να μετρηθεί η ταχύτητα ροής με μεγάλη ακρίβεια. Έχοντας μετρήσει τη μεγαλύτερη παροχή του π. Άρδα (εκτός από την απορροή που δημιουργείται στο ελληνικό έδαφος αλλά που είναι πολύ μικρή) και την παροχή του π. Έβρου, η θέση αυτή επιτρέπει την έμμεση εκτίμηση των ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων του ποταμού Τούντζα. Αυτό επιτυγχάνεται αφαιρώντας από την παροχή που μετρείται στο σημείο αυτό, την παροχή που μετρήθηκε στις θέσεις Ορμένιο και γέφυρας Διδυμοτείχου. Το σφάλμα είναι πολύ μικρό, κυρίως λόγω του ότι οι τρεις θέσεις δεν απέχουν πολύ μεταξύ τους οπότε οι εισερχόμενες επιφανειακές παροχές είναι αμελητέες.

#### 6.3.2.5 Γέφυρα Κήπων

Η θέση αυτή βρίσκεται επί της οδικής γέφυρας των Κήπων που ενώνει το ελληνικό τελωνείο των Κήπων με το αντίστοιχο Τουρκικό στα Ύψαλα (Σχήμα 6-9). Στο σημείο αυτό γίνονται μετρήσεις που αφορούν τον Έβρο ποταμό.

Η πρόσβαση στα όργανα και η φύλαξή τους δεν αποτελούν πρόβλημα στη θέση αυτή. Όμως επειδή η παροχή είναι πολύ μεγάλη και οι ταχύτητες ροής σε περιόδους πλημμυρών μπορούν άνετα να υπερβούν τα 10 m/s, υπάρχει κίνδυνος να καταστραφούν τα αισθητήρια όργανα από προσκρούσεις φερτών υλών ή κορμών δέντρων που μεταφέρονται από ορμητικά νερά.





**Σχήμα 6-9:** Θέση εγκατάστασης ΑΤΣ Γέφυρας Κήπων.



**Εικόνα 6-4:** Ο ΑΤΣ στη γέφυρα των Κήπων.

Το ίδιο πρόβλημα αντιμετωπίστηκε κατά την προστασία των μεσόβαθρων της γέφυρας (Εικόνα 6-5). Χρησιμοποιήθηκαν μεταλλικές πασσαλοσανίδες περιμετρικά του κάθε μεσόβαθρου για την προστασία αυτών από υποσκαφή, διάβρωση και

κρούσεις φερτών υλών. Παρόλα αυτά, κάθε χρόνο απαιτείται καθαρισμός των μεσόβαθρων από πολλές εκατοντάδες τόνων φερτών υλών, κλαδιών και κορμών δέντρων που εναποτίθενται στα ανάντη τους.



**Εικόνα 6-5<sup>6</sup>:** Προστασία μεσόβαθρου της γέφυρας των Κήπων.

#### 6.3.2.6 Δέλτα Έβρου

Η θέση αυτή βρίσκεται πλησίον του Δέλτα του Έβρου ποταμού στο σημείο που ενώνονται για πρώτη φορά οι δυο κλάδοι που καταλήγουν στη θάλασσα, ο ανατολικός και ο δυτικός. Στο Δέλτα του Έβρου γίνονται μετρήσεις που αφορούν στο σύνολο του Έβρου ποταμού. Επειδή το Δέλτα μεταβάλλεται συνεχώς με το χρόνο και οι χάρτες της ΓΥΣ δεν είναι ενημερωμένοι, παρατίθεται για τη θέση εγκατάστασης απόσπασμα δορυφορικής φωτογραφίας (2007).

Λόγω της ευρείας κοίτης του ποταμού στο σημείο αυτό, η παροχή δεν μπορεί να εκτιμηθεί με ακρίβεια, ιδιαίτερα σε πλημμυρικές περιόδους. Αυτό συμβαίνει γιατί το πεδίο ταχυτήτων της ροής εκτείνεται σε μήκος μεγαλύτερο από το ενεργό μήκος μέτρησης του σόναρ που έχει τοποθετηθεί.

---

<sup>6</sup> Η εικόνα αυτή έχει υποστεί ψηφιακή επεξεργασία.





**Σχήμα 6-10:** Θέση εγκατάστασης ΑΤΣ στο Δέλτα του Έβρου.



**Εικόνα 6-6:** Ο ΑΤΣ στο Δέλτα του π. Έβρου.

Ακόμα και αν με κάποιο τρόπο μπορούσε να χωριστεί η πλημμυρική διατομή σε περιοχές κάθε μια εκ των οποίων θα μετρούταν με διαφορετικό όργανο, πάλι η παροχή δεν θα ήταν δυνατόν να υπολογιστεί, λόγω της μόνιμης έμφραξης που υπάρχει στο Δέλτα του ποταμού (βλ. 5.3.3), στην οποία μηδενίζεται η ταχύτητα ροής των υδάτων. Τα ύδατα που φθάνουν στη θέση της μόνιμης έμφραξης, αδυνατώντας να εκβάλουν στη θάλασσα, πλημμυρίζουν της τριγύρω πεδιάδες, δημιουργώντας ιδανικές συνθήκες για την καλλιέργεια ρυζιού που είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στην περιοχή.

Παρόλα αυτά η αξία της θέσης αυτής δεν μειώνεται καθόλου, καθώς μπορούν να γίνονται μετρήσεις της ποιοτικής κατάστασης των υδάτων, λίγο πριν εκβάλουν στο θαλάσσιο χώρο του βόρειου Αιγαίου. Επειδή δε η γέφυρα των Κήπων βρίσκεται σε μικρή σχετικά απόσταση από το Δέλτα του ποταμού και δεν εκβάλουν ενδιάμεσα της απόστασής τους άλλοι ποταμοί, μπορεί να εκτιμηθεί με σχετική ακρίβεια η παροχή στο Δέλτα από αυτή που έχει μετρηθεί στους Κήπους.

### **6.3.3 Βασικά χαρακτηριστικά σταθμών**

Τα βασικά χαρακτηριστικά του σύγχρονου δικτύου σταθμών αυτόματης καταγραφής και τηλεμετάδοσης μετεωρολογικών, ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδάτων των ποταμών Έβρου, Άρδα και Ερυθροποτάμου είναι η απρόσκοπτη καταγραφή ακόμα και σε διακοπές ηλεκτροδότησης που διαρκούν έως 2 μήνες και η αποθήκευση μετρήσεων για ένα έτος σε περίπτωση διακοπής της σύνδεσης GPRS. Οι μετρήσεις που καταγράφονται, αποστέλλονται σε τακτά χρονικά διαστήματα (ανά μία ώρα) στον κεντρικό εξυπηρετητή της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης. Με τη λήψη τους, αποθηκεύονται σε κατάλληλα σχεδιασμένες βάσεις δεδομένων και μελλοντικά υπάρχει πρόβλεψη για δημοσίευση γραφημάτων και πρωτογενών μετρήσεων στο διαδίκτυο.

Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει το σύστημα αυτό είναι η δυνατότητα αποστολής προειδοποιητικών μηνυμάτων SMS σε επιλεγμένα κινητά τηλέφωνα, σε περιπτώσεις που η στάθμη των υδάτων του ποταμού στις θέσεις μετρήσεων υπερβαίνει ένα προκαθορισμένο όριο (όριο επιφυλακής ή συναγερμού). Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζεται η άμεση και έγκαιρη προειδοποίηση των αρμόδιων αρχών σε περιόδους πλημμυρών.

Επιπρόσθετα, είναι δυνατή η ενημέρωση των αρχών οποιαδήποτε χρονική στιγμή για την ταχύτητα ροής, την παροχή, τη στάθμη και τη βροχόπτωση στις θέσεις καταγραφής των μεταβλητών αυτών με την αποστολή ενός απλού SMS μηνύματος σε έναν από τους σταθμούς. Με τη λήψη του μηνύματος SMS, ο καταγραφικός μηχανισμός του σταθμού (logger) απαντάει στο κινητό που τον κάλεσε με ένα SMS που περιέχει τις τελευταίες μετρήσεις των προαναφερόμενων μεταβλητών με την ημερομηνία και ώρα που έγιναν αυτές. Συνεπώς σε διάστημα λιγότερο των δυο λεπτών, μπορεί ο κάθε αρμόδιος φορέας να ενημερώνεται για τις τελευταίες καταγραφές και των σταθμών αποστέλλοντας ισάριθμα με το πλήθος των σταθμών γραπτά μηνύματα.

Οι εργασίες εγκατάστασης του δικτύου άρχισαν το Σεπτέμβριο του 2007. Αρχικά εγκαταστάθηκαν οι σταθμοί στους Κήπους, στον Ερυθροπόταμο και στο Πύθιο. Οι εργασίες διακόπηκαν λόγω των πλημμυρών στα μέσα του Νοεμβρίου του ίδιου έτους και συνεχίστηκαν αμέσως μετά με την εγκατάσταση των σταθμών κατάντη του φράγματος του Άρδα και στη θέση Ορμένιο. Τον Μάιο του 2008, οι εργασίες

ολοκληρώθηκαν με την εγκατάσταση του τελευταίου σταθμού στην περιοχή του Δέλτα του ποταμού Έβρου.

Το δίκτυο των ΑΤΣ αλλάζει τις ισορροπίες όσον αφορά τη διαχείριση των υδάτων του ποταμού Έβρου τόσο από ποσοτική άποψη όσο και από ποιοτική για δυο λόγους. Πρώτον, αποκτά η Ελλάδα πρόσβαση σε αξιόπιστες μετρήσεις, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επαλήθευση των ποσοτικών στοιχείων που κατά καιρούς δημοσιεύονται από τη βουλγαρική πλευρά.

Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και κατά των πηγών ρύπανσης των υδάτων του ποταμού και των παραποτάμων του. Δεύτερον, η Ελλάδα έχει τον πρώτο λόγο στο αντίστοιχο σύστημα ΑΤΣ που χρηματοδοτείται στη Βουλγαρία από το κοινοτικό πρόγραμμα Phare και για το οποίο έχει μπει όρος ότι θα πρέπει οι προδιαγραφές του να είναι συμβατές με αυτό της Ελλάδας και ότι θα υπάρχει συνεχής και πλήρης διασύνδεση των δυο δικτύων με στόχο την ολιγόωρη πρόσβαση.

Σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η κατασκευή αντιπλημμυρικών φραγμάτων με τουρκικά κεφάλαια στον ποταμό Τούντζα επί βουλγαρικού εδάφους έχει φτάσει σε αδιέξοδο και εκτός απρόοπτου δεν θα προχωρήσει, η εγκατάσταση και η λειτουργία του δικτύου των ΑΤΣ πρώτα από την Ελλάδα, επιφέρει ένα μεγαλύτερο όφελος: την ενδυνάμωση της θέσης της ως τοπικός παράγοντας, που μεταφέρει στα γειτονικά κράτη τεχνογνωσία και πληροφορίες.

## **6.4 Δορυφορικά προϊόντα (1998-σήμερα)**

### **6.4.1 Δορυφόροι**

Τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα διατριβή, προέρχονται από συνδυασμό των μετρήσεων του TRMM με μετρήσεις άλλων δορυφόρων (Aqua, GOES-E, GOES-W, MTSAT, Meteosat 5 και Meteosat 7), ώστε να παρακαμφθεί ο περιορισμός της κάλυψης των τροπικών [Adler et al., 2000]. Επειδή οι μετρήσεις του δορυφόρου TRMM κατέχουν πρωταγωνιστικό ρόλο στη δημιουργία των δορυφορικών προϊόντων 3B42 και 3B42RT, κατά την παρουσίαση των εγκατεστημένων οργάνων δίδεται ιδιαίτερη βαρύτητα σε αυτά που υπάρχουν στο TRMM.

Ο δορυφόρος TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) εκτοξεύτηκε σε τροχιά γύρω από τη Γη στις 27 Νοεμβρίου 1997. Είναι αποτέλεσμα μιας κοινής προσπάθειας μεταξύ Η.Π.Α. και Ιαπωνίας, με αποκλειστικό στόχο τη μέτρηση της κατακρήμνισης από το διάστημα. Λόγω της μοναδικότητας του εγχειρήματος, αλλά και της ευρείας αποδοχής που έχουν τύχει μέχρι στιγμής τα προϊόντα που διατίθενται ελεύθερα στην επιστημονική κοινότητα, η επιχειρησιακή διάρκεια ζωής του δορυφόρου επεκτάθηκε από τα 3 έτη και 2 μήνες για τα οποία είχε αρχικά σχεδιαστεί ο δορυφόρος στα 6 χρόνια και 2 μήνες [Enright, 2004]. Η αύξηση αυτή κατέστη δυνατή ελαχιστοποιώντας την κατανάλωση ενέργειας και κατ' επέκταση καυσίμων. Η NASA με νεότερη απόφασή της, επέκτεινε περαιτέρω τη διάρκεια της αποστολής έως το έτος 2012, με κίνδυνο μια πιθανή ανεξέλεγκτη επανείσοδο του δορυφόρου στην ατμόσφαιρα, καθώς θα έχουν εξαντληθεί πλήρως τα καύσιμά του [NASA, 2007].

Ο δορυφόρος έχει συνολικό βάρος 3620 kg, εκ των οποίων το βάρος των καυσίμων αρχικά ήταν 890 kg. Η μέση εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας πριν την εκτόξευσή του 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 δορυφόρος περιστρέφεται ασύγχρονα προς τον Ήλιο, σε υψόμετρο 350 km από το έδαφος, με γωνία κλίσης 35 μοιρών. Η μικρή γωνία κλίσης παρουσιάζει το πλεονέκτημα πολύ πυκνών μετρήσεων γύρω από τους τροπικούς, ενώ λόγω των περιορισμένων γωνιών πρόσπτωσης των ακτίνων του Ηλίου, απλοποιείται σημαντικά ο σχεδιασμός των ηλιακών συλλεκτών που παρέχουν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που καταναλίσκεται από τα όργανα που έχουν εγκατασταθεί στο δορυφόρο [Fotopoulos, 2002].

Οι τροχιές των υπολοίπων έξι δορυφόρων, των οποίων οι μετρήσεις χρησιμοποιούνται επικουρικά για την εκτίμηση της βροχόπτωσης κυρίως εκτός των τροπικών, αναφέρονται περιληπτικά στην παράγραφο 4.3.5.

#### **6.4.2 Εγκατεστημένα όργανα**

Στον δορυφόρο TRMM έχουν εγκατασταθεί και λειτουργούν πέντε διαφορετικά όργανα. Τα τρία εξ αυτών αποσκοπούν στην εκτίμηση της κατακρήμνισης και τα άλλα δυο χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση άλλων καιρικών φαινομένων. Οι υπόλοιποι δορυφόροι έχουν διάφορα όργανα μέτρησης, αλλά μόνο αυτό της μικροκυματικής ακτινοβολίας λαμβάνεται υπόψη.

Για την καταγραφή της κατακρήμνισης, τα όργανα που χρησιμοποιούνται είναι: το Ραντάρ Κατακρήμνισης (Precipitation Radar, PR), το όργανο Απεικόνισης Μικροκυμάτων (Microwave Imager, TMI) και ο Σαρωτής Ορατής και Υπέρυθρης Ακτινοβολίας (Visible and Infrared Scanner, VIRS). Τα άλλα δυο όργανα είναι το σύστημα Νέφωσης και Ακτινοβολούμενης Γήινης Ενέργειας (Clouds and the Earth's Radiant Energy System, CERES) και ο Αισθητήρας Απεικόνισης Αστραπών (Lightning Imaging Sensor, LIS) [Everett, 2001].

##### **6.4.2.1 Ραντάρ κατακρήμνισης, PR**

Το ραντάρ κατακρήμνισης είναι το βασικότερο όργανο που έχει εγκατασταθεί. Είναι το πρώτο όργανο μέτρησης ποσότητας βροχής που χρησιμοποιείται από το διάστημα. Το ραντάρ κατακρήμνισης αποσκοπεί στο:

- Να παρέχει 3-διάστατο προφίλ της βροχόπτωσης
- Να μετράει την ένταση της βροχής πάνω από στεριά και ωκεανούς

Οι μετρήσεις που λαμβάνονται από το όργανο αυτό, όταν συνδυάζονται με αυτές του οργάνου απεικόνισης μικροκυμάτων, παρέχουν το προφίλ καθ' ύψος της κατακρήμνισης, από το οποίο μπορεί να εκτιμηθεί η εκπομπή της γήινης λανθάνουσας θερμότητας (latent heat).

Το εύρος του αποτυπώματος του οργάνου στο έδαφος δεν υπερβαίνει τα 215 km, ενώ η κατακόρυφη ανάλυσή του φθάνει έως τα 250 m αρχίζοντας από το έδαφος και φθάνοντας σε ύψος λίγο μεγαλύτερο από 20 km. Η οριζόντια ανάλυση των καταγραφών κυμαίνεται από 4.18 έως 4.42 km ανάλογα με τη θέση του δορυφόρου.

##### **6.4.2.2 Απεικόνιση μικροκυμάτων, TMI**

Το όργανο απεικόνισης μικροκυμάτων (TMI) είναι ένα πολυκάναλο παθητικό ραδιόμετρο μικροκυμάτων. Ο σκοπός του είναι να παρέχει δεδομένα που σχετίζονται



με την ένταση της βροχόπτωσης πάνω από τους ωκεανούς. Η ακρίβειά του είναι μειωμένη πάνω από την ξηρά, καθώς οι ανομοιογενείς εκπομπές από την επιφάνεια της στεριάς δυσχεραίνουν την ερμηνεία των μετρήσεων.

Όσον αφορά το δορυφόρο TRMM, λόγω των χαρακτηριστικών της τροχιάς του, το αποτύπωμα του οργάνου επί του εδάφους είναι κωνικής μορφής, εύρους 760 χιλιομέτρων περίπου και οριζόντιας ανάλυσης 6 έως 50 km ανάλογα με τη θέση του δορυφόρου. Στους υπόλοιπους δορυφόρους το αποτύπωμα είναι συνήθως κυκλικό, καθώς έχουν γεωσταθερή τροχιά.

#### 6.4.2.3 Σαρωτής ορατής και υπέρυθρης ακτινοβολίας, VIRS

Το όργανο αυτό μετράει την εκπεμπόμενη ακτινοβολία σε πέντε φασματικές ζώνες, λειτουργώντας στην περιοχή της ορατής και της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η σύγκριση των μετρήσεων του VIRS με αυτών του TMI παρέχει τον τρόπο για ακριβέστερη εκτίμηση της βροχόπτωσης, απ' ό,τι με τη χρήση των μετρήσεων χωριστά [NASDA, 2001]. Αυτό συμβαίνει γιατί χάρη στις μετρήσεις του VIRS μπορεί να εκτιμηθεί η κατανομή των νεφών, κάτω από τα οποία πραγματοποιείται η βροχόπτωση.

Η γωνία σάρωσης του οργάνου είναι +/- 45° που μεταφράζεται σε 720 km πλάτος αποτύπωμα στο έδαφος. Η οριζόντια ανάλυσή του δεν υπερβαίνει τα 2 km. Στο Σχήμα 6-11 έχει σχεδιαστεί σκαριφηματικά το αποτύπωμα των οργάνων PR, TMI και VIRS στο έδαφος.

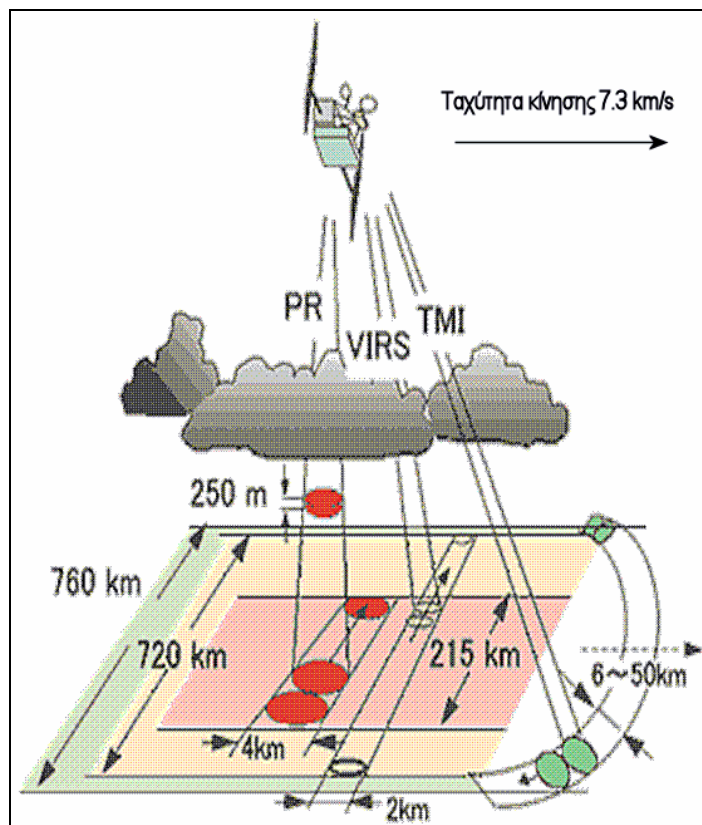
#### 6.4.2.4 Σύστημα νέφωσης και ακτινοβολούμενης γήινης ενέργειας, CERES

Το όργανο αυτό, δεν έχει ως στόχο τη μέτρηση της βροχόπτωσης όπως τα τρία προηγούμενα, αλλά τη μείωση της αβεβαιότητας στην πρόβλεψη των μακροχρόνιων αλλαγών του κλίματος της Γης. Το όργανο μετράει την ακτινοβολούμενη γήινη ενέργεια, η οποία διαχωρίζεται από αυτή των νεφών της ατμόσφαιρας [NASA, 2008].

Η επίτευξη του στόχου του βασίζεται στην εξήγηση της απόκλισης της ακτινοβολούμενης ενέργειας που χρησιμοποιείται σε φυσικά μοντέλα πρόβλεψης κλίματος και ο καθορισμός του ισοζυγίου επιφανειακής εκπομπής ακτινοβολίας, το οποίο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις ατμοσφαιρικές διεργασίες και στη μεταφορά ενέργειας από τον αέρα στη θάλασσα και αντίστροφα. Παρόλο που μέχρι σήμερα οι φυσικές διεργασίες δεν έχουν προσομοιωθεί επιτυχώς, οι μετρήσεις του CERES θεωρούνται απαραίτητες για την επιτυχία της έρευνας στο επιστημονικό αυτό πεδίο [Minnis and Trepte, 2008 · Jianping et al., 2006].

#### 6.4.2.5 Αισθητήρας απεικόνισης αστραπών, LIS

Ο αισθητήρας απεικόνισης αστραπών, είναι ένα οπτικό τηλεσκόπιο συνδυασμένο με ένα σύστημα φιλτραρισμένης απεικόνισης, το οποίο καταγράφει τις αστραπές που σημειώνονται εντός των νεφών αλλά και αυτές που λαμβάνουν χώρα από τα νέφη προς το έδαφος. Σε συνδυασμό με τις μετρήσεις των οργάνων PR, TMI και VIRS, ο στόχος των μετρήσεων έχουν γίνει σημαντικά βήματα για τη συσχέτιση των αστραπών με τη βροχόπτωση και με άλλες ιδιότητες των καταιγίδων [Petersen et al., 2005 · Pessi and Businger, 2009].



Σχήμα 6-11: Αποτυπώματα οργάνων TRMM στο έδαφος [Kummerow, 1988].

### 6.4.3 Μετρήσεις

Παρόλο που υπάρχει μεγάλο πλήθος δορυφορικών προϊόντων που είναι διαθέσιμα στην επιστημονική κοινότητα, η παρουσίασή τους περιορίζεται μόνο σε αυτά που χρησιμοποιήθηκαν ή αποτέλεσαν ενδιάμεσο βήμα για τη δημιουργία αυτών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή. Τα προϊόντα αυτά, προέρχονται από τις μετρήσεις των τριών οργάνων που καταγράφουν τη βροχόπτωση, το PR (μόνο στο δορυφόρο TRMM), το TMI (σε όλους τους δορυφόρους) και το VIRS (μόνο στο δορυφόρο TRMM).

Σημειώνεται ότι λόγω λήξης της αποστολής του δορυφόρου Meteosat 5, οι καταγραφές από αυτόν σταμάτησαν στις 20 Απριλίου 2007. Συνεπώς από την ημερομηνία αυτή και ύστερα δεν χρησιμοποιούνται μετρήσεις TMI από το δορυφόρο αυτό [EUMETSAT, 2009 · House, 2004].

Κάθε προϊόν, έχει μια κωδική ονομασία που αποτελείται από τέσσερις χαρακτήρες. Οι πρώτοι δυο χαρακτήρες φανερώνουν το επίπεδο του προϊόντος (Πίνακας 6-4) ενώ οι υπόλοιποι δυο χρησιμοποιούνται ως αύξοντας αριθμός του προϊόντος. Όλα τα επίπεδα εκτός του 0 έχουν στάδια, τα οποία ονομάζονται A, B, κ.ο.κ. Τα προϊόντα του ίδιου επιπέδου που ανήκουν σε επόμενο στάδιο χρησιμοποιούν προϊόντα του προηγούμενου ή των προηγούμενων. Για παράδειγμα για προϊόντα του σταδίου B χρησιμοποιούνται προϊόντα του ίδιου επιπέδου που ανήκουν στο στάδιο A. Τα προϊόντα του δευτέρου σταδίου του τρίτου επιπέδου, είναι τα μόνα που

χρησιμοποιούνται πρωτογενή δεδομένα που δεν προέρχονται από το δορυφόρο TRMM.

**Πίνακας 6-4:** Τα επίπεδα των προϊόντων του TRMM [NASDA, 2001].

<b>Επίπεδο</b>	<b>Ορισμός</b>
0	Πρωτογενείς ανεπεξεργαστες μετρήσεις, χρονικά τοποθετημένες, οι οποίες έχουν περάσει έλεγχο ποιότητας και έχουν αφαιρεθεί τυχόν περιττές επαναλήψεις τους.
1 (A/B/Γ)	Βοηθητικά δεδομένα και δεδομένα γεωαναφοράς που έχουν επισυναφθεί στο επίπεδο 0. Η επεξεργασία τους έχει γίνει υιοθετώντας φυσικές μονάδες που είναι κατάλληλες για κάθε αισθητήρα. Τέτοια βοηθητικά δεδομένα είναι η ανακλαστικότητα του ραντάρ, η θερμοκρασία της φωτεινότητας, κλπ.
2 (A/B)	Μετεωρολογικές μεταβλητές (όπως η ένταση βροχόπτωσης), που προέρχονται από δεδομένα του επιπέδου 1 χρησιμοποιώντας διάφορους αλγόριθμους. Τα πεδία των μεταβλητών αυτών είναι δισδιάστατα ή τρισδιάστατα, κατά μήκος του αποτυπώματος των οργάνων του δορυφόρου.
3 (A/B)	Όλα τα αποτελέσματα της επιφανειακής ολοκλήρωσης των μεταβλητών του επιπέδου 2 σε έναν ομοιόμορφο χωρικά και χρονικά κάρναβο.

#### 6.4.3.1 Προϊόντα επιπέδου 1

Το προϊόν 1B01 είναι το μοναδικό που προέρχεται από μετρήσεις του σαρωτή ορατής και υπέρυθρης ακτινοβολίας, VIRS. Στο 1B01 περιέχονται οι τιμές της ακτινοβολίας, οι οποίες έχουν υποστεί ραδιομετρική και γεωμετρική διόρθωση. Οι διορθώσεις αυτές γίνονται με βάση τις μετρήσεις από το όργανο CERES.

Με βάση τις μετρήσεις από το όργανο απεικόνισης μικροκυμάτων TMI και αφού προστεθεί γεωαναφορά σε κάθε μέτρηση, προκύπτει το προϊόν 1B11, το οποίο περιέχει τη θερμοκρασία της φωτεινότητας ανά μία τροχιά δορυφόρου (περίπου 16 καταγραφές ανά θέση και ανά ημέρα).

Από το ραντάρ κατακρήμνισης παράγονται δυο προϊόντα του επιπέδου 1. Το πρώτο είναι το 1B21, το οποίο περιέχει τη ρυθμισμένη λαμβανόμενη ισχύ και το δεύτερο είναι το 1C21 που περιέχει την ανακλαστικότητα του ραντάρ.

Για το 1B21, το πλήθος των ψηφιακών σημάτων του ραντάρ μετατρέπεται σε ρυθμισμένη λαμβανόμενη ισχύ και θόρυβο, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο που δημιουργήθηκε ειδικά για το ραντάρ κατακρήμνισης από τη NASDA [NASDA, 2001]. Στη συνέχεια προστίθεται η πληροφορία του γεωγραφικού μήκους και πλάτους, για τη μετατροπή των μετρήσεων αυτών σε ανακλαστικότητα του ραντάρ (Z) και εξασθένιση βροχόπτωσης, λαμβάνοντας έτσι το προϊόν 1C21.

#### 6.4.3.2 Προϊόντα επιπέδου 2

Με βάση το 1B11, υπολογίζεται το προφίλ της βροχής που ονομάζεται 2A12. Ο στόχος του αλγόριθμου 2A12 είναι η ανακατασκευή της κατακόρυφης κατανομής των υδρατμών, των νεφών και της βροχόπτωσης με τη μέγιστη δυνατή κατακόρυφη ανάλυση, συγκρίνοντας τις μετρημένες θερμοκρασίες φωτεινότητας με γνωστά

προφίλ νεφών μιας βάσης δεδομένων αναφοράς που έχουν γνωστές θερμοκρασίες φωτεινότητας.

Συνδυάζοντας το 1B11, 2A12 και 1C21, προκύπτουν η μέση διάμετρος των υδροσταγονιδίων, ο συντελεστής διόρθωσης της εξασθένησης της βροχόπτωσης, η ένταση της βροχής και οι τυπικές αποκλίσεις όλων των προαναφερόμενων παραμέτρων. Ο συνδυασμός αυτός αναφέρεται ως το προϊόν 2B31.

#### 6.4.3.3 Προϊόντα επιπέδου 3

Το προϊόν 3B31 αποτελεί ένα μηνιαίο παγκόσμιο χάρτη βροχόπτωσης πάνω από τη στεριά μόνο, ο οποίος έχει υπολογιστεί σε κάρναβο διαστάσεων  $5^\circ \times 5^\circ$ . Για τον υπολογισμό του χρησιμοποιούνται τα προϊόντα 2A12 και 2B31 και τα αποτελέσματα αναφέρονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και σε δεκατέσσερα κατακόρυφα επίπεδα που απέχουν 250 m μεταξύ τους.

Το 3B42 περιέχει την 3ωρη ένταση βροχόπτωσης σε κάρναβο  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ . Εκτός από τα 1B01, 2A12 και 3B31, η έκτη πλέον έκδοση του αλγορίθμου επεξεργασίας του συνδυάζει επιπρόσθετες μετρήσεις υπέρυθρης ακτινοβολίας από άλλους γεωσταθερούς δορυφόρους, χρησιμοποιώντας χωρικά και χρονικά μεταβαλλόμενη ρύθμιση. Ο αλγόριθμος αυτός [Huffman, 2004] αποτελεί μια πιθανοτική προσέγγιση ταύτισης των εντάσεων των μέσων υπέρυθρων μετρήσεων του 1B01 με τις μετρήσεις των γεωσταθερών δορυφόρων (GOES-E, GOES-W, MTSAT, Meteosat 5 και Meteosat 7) και του δορυφόρου με επίσης χαμηλή τροχιά, AQUA. Συνδυάζοντας το αποτέλεσμα της ταύτισης αυτής με το προϊόν 2A12, όσο πιο «κρύο» είναι ένα σημείο από τη θερμοκρασία φωτεινότητας που έχει η μηδενική βροχόπτωση, τόσο μεγαλύτερη βροχόπτωση λαμβάνει το σημείο αυτό. Ο αλγόριθμος αυτός είναι γνωστός με το όνομα «Αλγόριθμος μεταβλητής υπέρυθρης έντασης βροχόπτωσης» και η σημερινή του έκδοση είναι η 6<sup>η</sup> [Huffman et al., 2007].

Τέλος για την παραγωγή του 3B42, χρησιμοποιούνται οι μετρήσεις από το δίκτυο επίγειων σταθμών με τους οποίους γίνεται η επαλήθευση των εντάσεων βροχόπτωσής του. Εντελώς αντίστοιχο είναι και το προϊόν 3B42RT, με τη διαφορά ότι επειδή διανέμεται σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, με υστέρηση 6 έως 12 ώρες, δεν έχει γίνει επαλήθευση (και πιθανώς διόρθωση) με το δίκτυο επίγειων συμβατικών σταθμών μέτρησης βροχόπτωσης [Dinku et al, 2007].

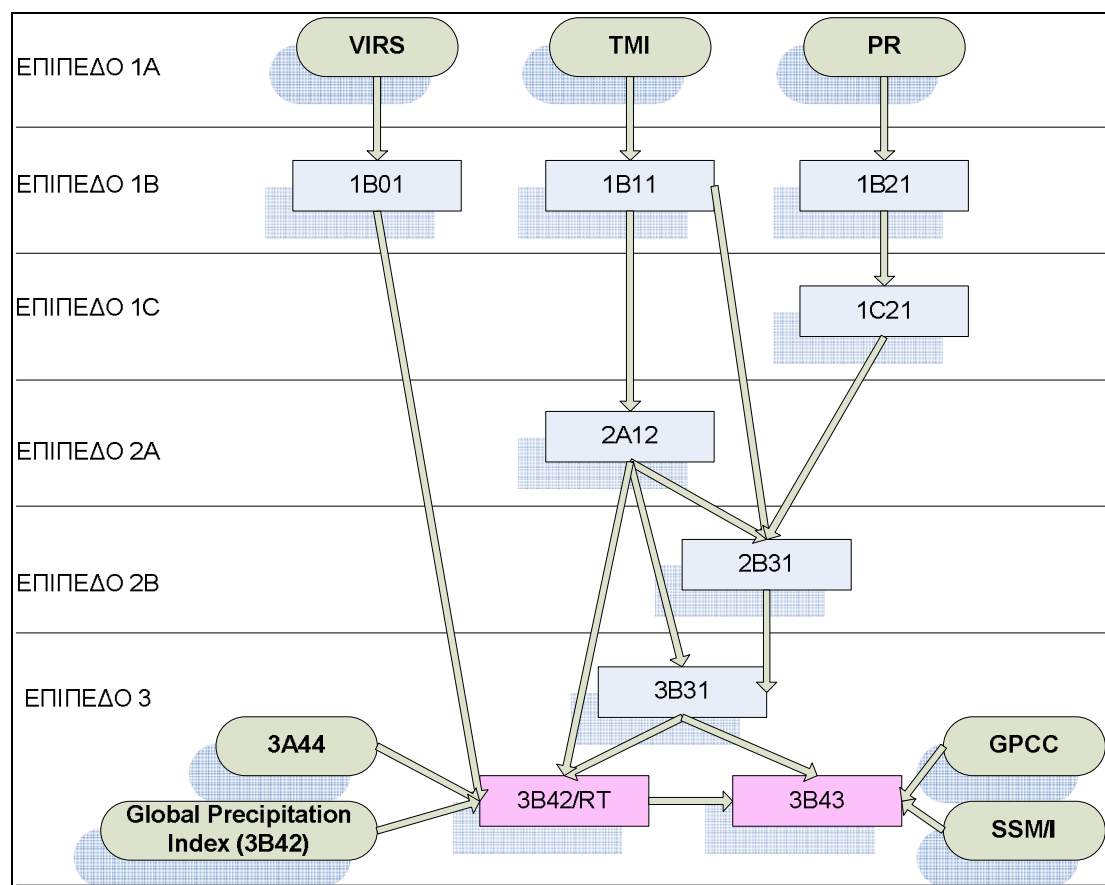
Παράγωγο προϊόν του 3B42 είναι το 3B43, το οποίο περιέχει τις μηνιαίες τιμές της βροχόπτωσης στον ίδιο κάρναβο. Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι κατά τον υπολογισμό του 3B43 λαμβάνονται υπόψη και οι μετρήσεις βροχόπτωσης από το επίγειο δίκτυο σταθμών που περιλαμβάνονται στο Global Precipitation Climatology Center (GPCC).

Στο ακόλουθο Σχήμα 6-12 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής των αλγορίθμων του TRMM και συνεπώς της σειράς δημιουργίας των διαφόρων προϊόντων που αναφέρθηκαν στις παραγράφους 6.4.3.1, 6.4.3.2 και 6.4.3.3.

Παρόλο που η κίνηση του δορυφόρου και συνεπώς οι πρωτογενείς καταγραφές του περιορίζονται στα γεωγραφικά πλάτη από  $-30^\circ$  έως  $30^\circ$  μοίρες, με χρήση καταγραφών υπέρυθρης ακτινοβολίας από άλλους γεωσταθερούς δορυφόρους και με τη γνώση που αποκτήθηκε λόγω της διερεύνησης των συσχετισμών βροχόπτωσης με θερμοκρασία φωτεινότητας, κατέστη εφικτή η επέκταση της κάλυψης των προϊόντων του TRMM, με αποτέλεσμα σήμερα η κάλυψή των

προϊόντων του να εκτείνεται από τις  $-50^{\circ}$  έως τις  $+50^{\circ}$  μοίρες για το 3B42 και από τις  $-60^{\circ}$  έως τις  $+60^{\circ}$  μοίρες για το 3B42RT.

Ταυτόχρονα, με την αύξηση της ισχύος των υπολογιστικών συστημάτων και τη διαρκή βελτίωση των αλγορίθμων επεξεργασίας, η ανάλυση των προϊόντων αυξήθηκε και σήμερα φτάνει τις  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  μοίρες (2005). Στην πρώτη έκδοση των προϊόντων (2000), η ανάλυση ήταν μόλις  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  μοίρες.



Σχήμα 6-12: Διάγραμμα ροής αλγορίθμων TRMM.

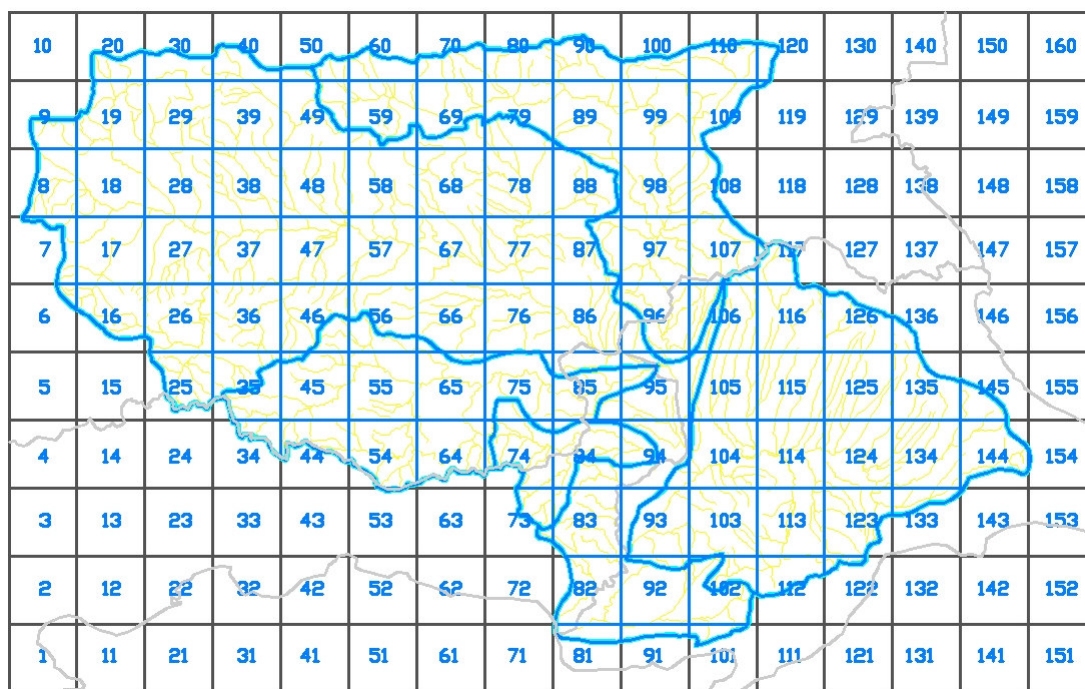
#### 6.4.4 Βροχόπτωση λεκάνης απορροής

Για την εκτίμηση της επιφανειακής βροχόπτωσης στη λεκάνη απορροής, χαράχθηκαν το υδρογραφικό δίκτυο και τα όρια των λεκανών απορροής του π. Έβρου και των παραποτάμων του Άρδα, Εργίνη, Τούντζα και Ερυθροποτάμου σε χάρτη κλίμακας 1:100 000. Επί του χάρτη αυτού, προστέθηκε ο κάνναβος διαστάσεων  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ . Κάθε κύτταρο του καννάβου μπορεί:

- Να βρίσκεται ολόκληρο σε μια λεκάνη απορροής
- Να βρίσκεται εν μέρει σε μια λεκάνη απορροής και εκτός της περιοχής ενδιαφέροντος
- Να βρίσκεται σε περισσότερες από μία λεκάνες απορροής και να έχει ή να μην έχει κάποιο τμήμα του εκτός της περιοχής ενδιαφέροντος
- Να βρίσκεται εκτός της περιοχής ενδιαφέροντος

Η περιοχή ενδιαφέροντος περικλείεται από ένα ορθογώνιο που αρχίζει από το γεωγραφικό μήκος  $24^{\circ}$  και εκτείνεται ως τις  $28^{\circ}$  και από το γεωγραφικό πλάτος  $40.5^{\circ}$

ως τις 43°. Λόγω της ανάλυσης του καννάβου (0.25° x 0.25°), αυτός απαρτίζεται από 4x(1/0.25)=16 κύτταρα όσον αφορά το γεωγραφικό μήκος και 2.5x(1/0.25)=10 κύτταρα όσον αφορά το γεωγραφικό πλάτος. Δηλαδή οι διαστάσεις του καννάβου είναι 16x10=160 κύτταρα. Κάθε κύτταρο αριθμείται, λαμβάνοντας έναν αύξοντα ακέραιο αριθμό, με αρχή το πλέον νοτιοδυτικό κύτταρο του καννάβου και με φορά από νότια προς βόρεια και από δυτικά προς ανατολικά. Ο κάνναβος που προκύπτει παρουσιάζεται στο Σχήμα 6-13.



**Σχήμα 6-13:** Κάνναβος 0.25° x 0.25° λεκάνης απορροής π. Έβρου.

Από το Σχήμα 6-13, προκύπτει ο πίνακας (Πίνακας 6-5) με τα ποσοστά επιρροής των κυττάρων του καννάβου στον υπολογισμό της επιφανειακής βροχόπτωσης της λεκάνης απορροής του π. Έβρου (χωρίς τις λεκάνες απορροής των παραποτάμων του).

Η διαδικασία υπολογισμού των ποσοστών επιρροής των κυττάρων  $w_i$  πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD, βάση του οποίου το ποσοστό υπολογίστηκε ως ο λόγος του εμβαδού της λεκάνης απορροής που βρίσκεται εντός ενός κυττάρου προς τη συνολική (σταθερή) επιφάνεια του κυττάρου:

$$w_i = \frac{A_w}{A} \quad (6-1)$$

Όπου  $w_i$  το ποσοστό επιρροής του κάθε κυττάρου  
 $A_w$  το εμβαδόν της λεκάνης απορροής που βρίσκεται μέσα στο κύτταρο  
 $A$  το εμβαδόν του κυττάρου

Επειδή κατά την εμβαδομέτρηση οι μετρήσεις έχουν πέντε δεκαδικά ψηφία ακρίβεια, τα σημαντικά ψηφία των ποσοστών επιρροής περιορίζονται σε τέσσερα, και αν εκφραστούν σε επί τοις εκατό σε δυο. Από τον ορισμό του κυττάρου επιρροής, έπεται ότι το ποσοστό επιρροής κυμαίνεται μεταξύ 0.01% και 100%.

**Πίνακας 6-5:** Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.25<sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Έβρου.

A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)	A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)
1	6	7.20	34	67	100.00
2	7	29.44	35	68	100.00
3	8	64.00	36	69	28.80
4	9	28.16	37	73	4.00
5	16	67.04	38	75	5.28
6	17	100.00	39	76	99.84
7	18	100.00	40	77	100.00
8	19	89.76	41	78	100.00
9	20	28.96	42	79	35.52
10	25	59.68	43	81	22.56
11	26	98.40	44	82	81.60
12	27	100.00	45	83	89.12
13	28	100.00	46	84	28.32
14	29	100.00	47	84	1.28
15	30	37.60	48	85	12.00
16	35	46.40	49	85	28.64
17	36	100.00	50	86	97.76
18	37	100.00	51	87	70.88
19	38	100.00	52	88	79.52
20	39	100.00	53	89	0.96
21	40	35.20	54	91	18.88
22	45	4.32	55	92	88.16
23	46	77.12	56	93	25.28
24	47	100.00	57	94	66.08
25	48	100.00	58	95	80.96
26	49	74.08	59	96	21.92
27	50	9.28	60	101	15.36
28	56	65.12	61	102	66.24
29	57	100.00	62	103	0.32
30	58	100.00	63	104	1.76
31	59	20.64	64	105	15.84
32	65	7.36	65	106	14.56
33	66	95.04	66	107	0.16

**Πίνακας 6-6:** Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.25<sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Άρδα.

A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)	A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)
1	34	20.48	11	65	92.64
2	35	46.08	12	66	4.96
3	44	44.64	13	74	9.44
4	45	95.68	14	74	3.84
5	46	22.88	15	75	82.40
6	53	0.80	16	76	0.16
7	54	88.16	17	84	4.64
8	55	100.00	18	85	59.36
9	56	34.88	19	95	13.76
10	64	80.80			

**Πίνακας 6-7:** Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.25<sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Ερ/μου.

A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)	A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)
1	73	25.60	4	83	8.64
2	74	70.40	5	84	65.76
3	75	12.32	6	94	24.48

**Πίνακας 6-8:** Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.25<sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Τούντζα.

A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)	A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)
1	49	25.92	15	96	78.08
2	50	15.52	16	97	100.00
3	59	79.36	17	98	100.00
4	60	35.20	18	99	100.00
5	69	71.20	19	100	34.24
6	70	42.56	20	105	0.16
7	79	64.48	21	106	29.60
8	80	47.84	22	107	83.68
9	86	2.24	23	108	42.40
10	87	29.12	24	109	59.84
11	88	20.48	25	110	52.64
12	89	99.04	26	117	2.88
13	90	51.84	27	119	1.28
14	95	5.28	28	120	13.12

**Πίνακας 6-9:** Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.25<sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Εργίνη.

A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)	A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)
1	92	11.84	16	117	30.72
2	93	74.72	17	122	8.16
3	94	9.44	18	123	84.80
4	102	1.60	19	124	100.00
5	102	27.68	20	125	100.00
6	103	99.68	21	126	72.00
7	104	98.24	22	133	26.56
8	105	84.00	23	134	100.00
9	106	55.84	24	135	80.96
10	107	8.48	25	136	14.72
11	112	44.64	26	143	0.16
12	113	100.00	27	144	69.92
13	114	100.00	28	145	27.84
14	115	100.00	29	154	0.64
15	116	98.40			

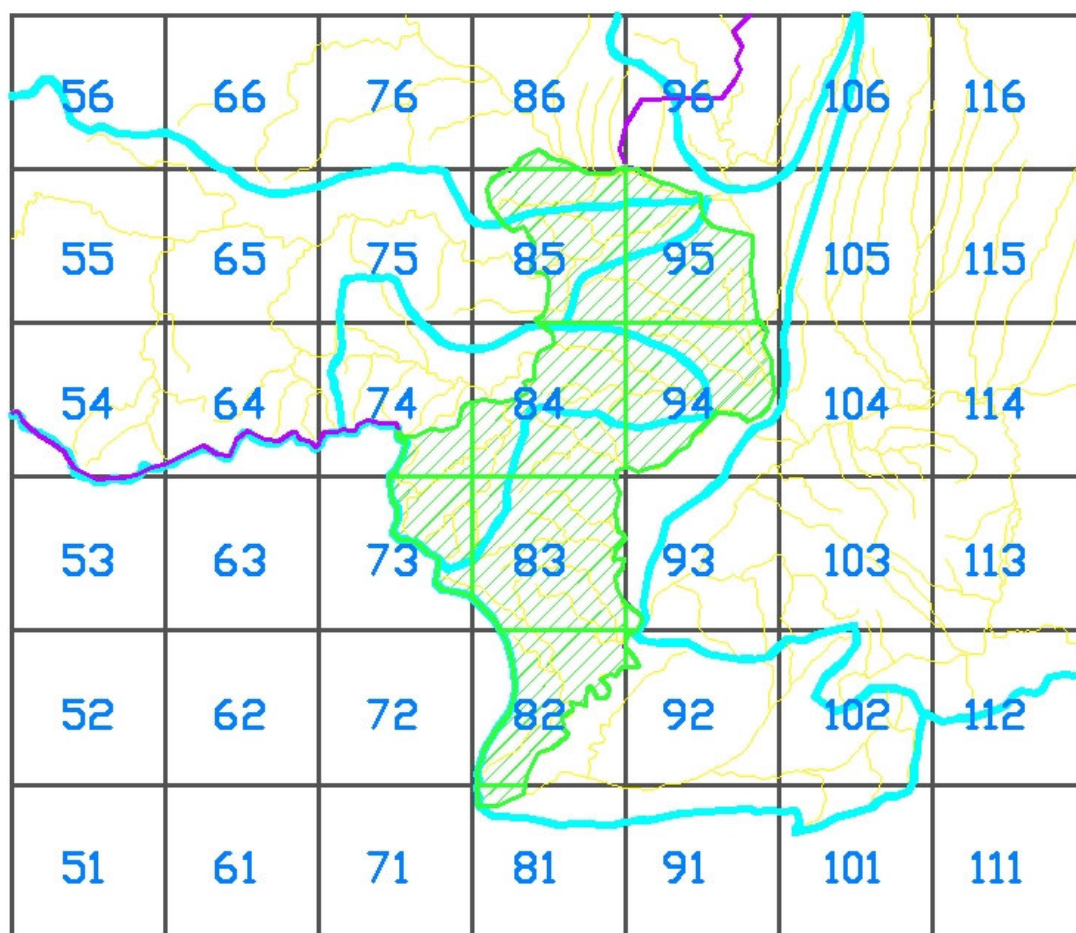
Ειδικότερα για την περιοχή του νομού Έβρου, στον οποίο έχει εγκατασταθεί το δίκτυο αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών, χρησιμοποιήθηκε η γραμμοσκιασμένη περιοχή στο Σχήμα 6-14, βάσει του οποίου υπολογίστηκαν τα ποσοστά επιρροής κάθε κυττάρου του καννάβου στην ολική επιφανειακή βροχόπτωση της περιοχής αυτής. Τα ποσοστά επιρροής παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 6-10).



Η περιοχή αυτή δεν αποτελεί λεκάνη απορροής όπως οι προηγούμενες, καθώς τα όριά της καθορίζονται από τη μεθοριακή γραμμή, την ακτογραμμή και τα διοικητικά όρια του νομού Έβρου. Ο υπολογισμός της κρίθηκε αναγκαίος για τη σύγκριση των δορυφορικών προϊόντων στην περιοχή αυτή με την επιφανειακή βροχόπτωση που υπολογίζεται με βάση τις επίγειες μετρήσεις των αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών. Επειδή δε η έκτασή της ταυτίζεται σχεδόν με αυτή του νομού Έβρου, αναφέρεται ως «περιοχή νομού Έβρου».

**Πίνακας 6-10:** Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.25<sup>ο</sup> στην περιοχή του ν. Έβρου.

A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)	A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)
1	73	29.60	7	85	66.88
2	74	15.36	8	86	31.52
3	81	3.52	9	92	0.80
4	82	52.64	10	93	1.28
5	83	93.92	11	94	70.24
6	84	77.92	12	95	66.56



**Σχήμα 6-14:** Κάνναβος 0.25<sup>ο</sup> x 0.25<sup>ο</sup> περιοχής ν. Έβρου.

#### 6.4.5 Περιορισμοί και προβλήματα

Αν και στους τροπικούς (γεωγραφικό πλάτος από -30<sup>ο</sup> έως +30<sup>ο</sup>), με την επαλήθευση των δορυφορικών δεδομένων με επίγειες μετρήσεις έχει αποδειχθεί η πολύ καλή συσχέτιση των χρονοσειρών βροχόπτωσης, εντούτοις εκτός των τροπικών

(γεωγραφικά πλάτη από  $-60^{\circ}$  έως  $-30^{\circ}$  και από  $+30^{\circ}$  έως  $+60^{\circ}$ ) έχουν διαπιστωθεί ορισμένα σημαντικά προβλήματα τα οποία περιορίζουν την αξιοπιστία των δορυφορικών δεδομένων και χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής.

Το κυριότερο εξ αυτών είναι η αδυναμία των εγκατεστημένων στους δορυφόρους οργάνων να καταγράψουν τη βροχόπτωση μικρής έντασης και ιδιαίτερα μικρότερης του 1 mm/h. Επειδή όμως, σύμφωνα με δεδομένα που λαμβάνονται από ραντάρ στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, το 85% της βροχόπτωσης είναι μικρής έντασης και το 35% πολύ μικρής ( $<0.1$  mm/h), έπεται ότι οι δορυφορικές μετρήσεις καταρχήν υπεκτιμούν σημαντικά την αθροιστική βροχόπτωση. Επιπρόσθετα, δεν υπάρχει τρόπος να μετρηθεί η χιονόπτωση με τα υφιστάμενα όργανα. Η χιονόπτωση εκτιμάται έμμεσα, συνδυάζοντας τη θερμοκρασία αέρα (όπου αυτή είναι διαθέσιμη) με την εκάστοτε κατακρήμνιση.

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών, έχουν ενσωματωθεί αλγόριθμοι διόρθωσης των δορυφορικών μετρήσεων. Οι αλγόριθμοι αυτοί ωστόσο πολλές φορές επηρεάζουν και τα επεισόδια βροχής κατά τη διάρκεια των οποίων η έντασή της δεν είναι μικρή, αλλά στην αρχή και στο τέλος μπορεί να είναι. Στην περίπτωση αυτή, αυξάνεται ο συνολικός όγκος της βροχόπτωσης με αποτέλεσμα να εμφανίζονται υπερεκτιμήσεις των αιχμών της αθροιστικής κατακρήμνισης.

Η NASA, τον Οκτώβριο του 2008, με την έκδοση 6 των προϊόντων 3B42, 3B43 και 3B42RT, επιχείρησε να διορθώσει πολλά από τα προβλήματα που έχουν αναφερθεί σε ερευνητικές εφαρμογές των δεδομένων εκτός των τροπικών. Παρόλα αυτά, η χρήση των δορυφορικών μετρήσεων κατακρήμνισης εκτός των τροπικών θα πρέπει να διεξάγεται με ιδιαίτερη προσοχή.

## **6.5 Global Precipitation Climate Center (1998-2007)**

### **6.5.1 Γενική περιγραφή**

Το Global Precipitation Climate Center αποτελεί ένα φιλόδοξο εγχείρημα για την παροχή στην επιστημονική κοινότητα αναλύσεις κατακρήμνισης σε όλο τον πλανήτη, με στόχο την παρακολούθηση και την προώθηση της έρευνας σε θέματα που άπτονται του κλίματος της Γης. Για τους σκοπούς των αναλύσεων αυτών, χρησιμοποιούνται μετρήσεις που συλλέγονται από τους 52 000 σταθμούς που έχουν ενταχθεί στο δίκτυο καταγραφής της κατακρήμνισης.

Η πρόσβαση στα επεξεργασμένα αποτελέσματα της εκτίμησης της επιφανειακής κατακρήμνισης είναι ελεύθερη όχι όμως και στις πρωτογενείς επίγειες μετρήσεις. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη μορφή πέντε προϊόντων που διαφοροποιούνται μεταξύ τους ως προς τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία τους.

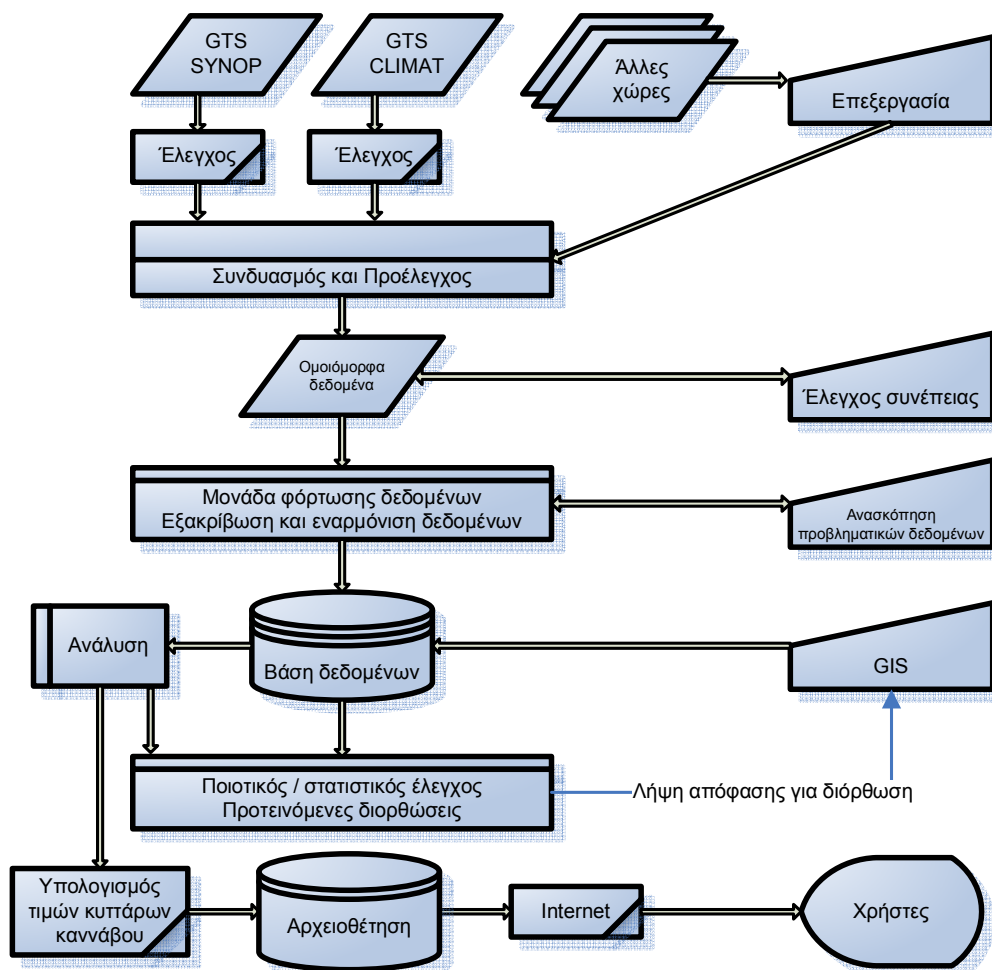
Το προϊόν που έχει βελτιστοποιηθεί για την καλύτερη δυνατή επιφανειακή κάλυψη κάθε χρονική στιγμή με σκοπό τη χρήση σε εκτιμήσεις υδατικού δυναμικού είναι το FDR [Rudolf and Rubel, 2005]. Τα πρωτογενή δεδομένα προέρχονται από όλους τους επίγειους σταθμούς που είχαν ενταχθεί και λειτουργούσαν στο δίκτυο σταθμών σε κάθε χρονική στιγμή. Όπως είναι προφανές το πλήθος των σταθμών που παρέχουν δεδομένα μεταβάλλεται σε κάθε χρονική στιγμή, με το μέγιστο αριθμό να φτάνει τους 45 000 σταθμούς την περίοδο 1986-1987. Το προϊόν αυτό έχει εξελιχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια και σήμερα βρίσκεται στην έκδοση 4 [Deutscher Wetterdienst, 2009]. Καλύπτει τη χρονική περίοδο 1901 έως 2007, ενώ τα κύτταρα

του καννάβου των αποτελεσμάτων έχουν διάφορες διαστάσεις, με μικρότερη την 0.50°x0.50°.

### 6.5.2 Διαδικασία παραγωγής δεδομένων

Η διαδικασία συλλογής, επεξεργασίας και διάθεσης των εκτιμήσεων επιφανειακής κατακρήμνισης είναι ημιαυτόματη. Στο ακόλουθο Σχήμα 6-15 παρουσιάζεται ένα απλοποιημένο διάγραμμα ροής της παραγωγής των προϊόντων του GPCC. Η αναγκαιότητα ενός αποτελεσματικού ποιοτικού ελέγχου είναι ιδιαίτερα σημαντική κατά την επεξεργασία παρατηρημένων μετεωρολογικών δεδομένων. Αυτό συμβαίνει καθώς τα δεδομένα επηρεάζονται από σφάλματα στη δακτυλογράφησή τους, από προβλήματα κωδικοποίησης αλλά και από άλλους παράγοντες που υπεισέρχονται κατά τη μεταφορά τους από τη θέση μέτρησης μέχρι την αρχειοθέτησή τους.

Επιπρόσθετα, η εξαιρετικά μεγάλη χωρική και χρονική διακριτότητα της κατακρήμνισης, ο μεγάλος αριθμός μετρήσεων που αντιπροσωπεύουν ακραία γεγονότα και όχι λάθος καταγραφές, η απουσία στοιχεία σχετικά με συνοδευτικού ποιοτικούς ελέγχους που πιθανώς εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια μετρήσεων όπως επίσης και η αδυναμία άμεσης επικοινωνίας με τους κατά τόπους υπεύθυνους των επίγειων σταθμών σε περίπτωση διαπίστωσης προβλημάτων, καθιστά ακόμα πιο δύσκολη την επεξεργασία των συλλεγόμενων δεδομένων.



Σχήμα 6-15: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής παραγωγής προϊόντων GPCC [Rudolf and Schneider, 2004].

Η προαναφερόμενη υψηλή μεταβλητότητα της κατακρήμνισης, της οποίας η μηνιαία αθροιστική τιμή μπορεί να κυμαίνεται από 0 έως πάνω από 1000 mm, καθιστά αδύνατη την πλήρη αυτοματοποίηση του ποιοτικού ελέγχου. Ένας αυτόματος έλεγχος θα απομάκρυνε και τα πραγματικά ακραία γεγονότα, τα οποία όμως είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την περιγραφή της μεταβλητότητας της κατακρήμνισης στον κάνναβο κατά τις αναλύσεις που γίνονται. Για το λόγο αυτό έχει επιλεγεί ένας ημιαυτόματος ποιοτικός έλεγχος, που βασίζεται σε συνδυασμό αυτόματων και οπτικών από εξειδικευμένους επιστήμονες ελέγχων, με σκοπό τη δημιουργία ενός συνόλου ομοιόμορφων δεδομένων. Το σύνολο αυτό περιέχει τα δεδομένα από 2000 αυτόματους τηλεμετρικούς σταθμούς που προέρχονται από το δίκτυο GTS SYNOP, 8000 ΑΤΣ από το δίκτυο GTS CLIMAT και από τους σταθμούς των 173 χωρών που συμμετέχουν στο πρόγραμμα, των οποίων το πλήθος μεταβάλλεται διαρκώς.

Το ομοιόμορφο σύνολο δεδομένων, περιέχει όλα τα δεδομένα που έχουν διορθωθεί ως προς τα προφανή λάθη τους. Με τον αυτόματο έλεγχο έχει γίνει επισήμανση των πιθανών προβληματικών εγγραφών, μειώνοντας έτσι τον όγκο των δεδομένων για τα οποία απαιτείται επιβεβαίωση από ανθρώπινο παράγοντα. Τα δεδομένα υφίστανται έλεγχο συνέπειας. Ο έλεγχος γίνεται αυτόματα και χειρωνακτικά. Κατά τον αυτόματο έλεγχο, όλα τα μηνιαία δεδομένα κάθε σταθμού αναλύονται, ελέγχονται με βάση τον ιστορικό μέσο όρο του καθώς και με την κατανομή συχνοτήτων των χρονοσειρών του. Στη συνέχεια ελέγχονται με βάση δεδομένα διπλανών σταθμών. Με τη διαδικασία αυτή, μειώνεται αισθητά ο όγκος των επισημασμένων για οπτική επαλήθευση δεδομένων, η οποία δίνεται από επιστήμονες. Με την οπτική επαλήθευση δεν απομακρύνονται ούτε διορθώνονται πρωτογενή δεδομένα.

Κατόπιν, τα δεδομένα φορτώνονται σε μια χωριστή μονάδα, με στόχο την ανασκόπηση των προβληματικών μετρήσεων και την τελική επαλήθευση, τη διόρθωση ή την απομάκρυνσή τους. Στην περίπτωση που δεν επαληθευτούν οι επισημασμένες μετρήσεις, γίνεται είτε διόρθωση σε προφανή λάθη (μετρήσεις με λάθη μίας ή περισσότερων τάξεων μεγέθους), είτε διορθώνονται οι τιμές με χρήση μετρήσεων γειτονικών σταθμών, είτε απομακρύνονται από το σύνολο των μετρήσεων.

Οι εναπομένουσες μετρήσεις εισάγονται στην κεντρική βάση δεδομένων, από την οποία εξάγονται για να γίνουν αναλύσεις με στόχο τον υπολογισμό της επιφανειακής κατακρήμνισης. Τα αποτελέσματα υφίστανται ένα τελικό ποιοτικό έλεγχο με τη βοήθεια GIS. Ο έλεγχος αυτός διεξάγεται μόνο από τους χειριστές του συστήματος, οι οποίοι επισημαίνουν πιθανά προβλήματα που μπορεί να εμφανίζονται στα τελικά προϊόντα. Εάν δεν υπάρχουν προβλήματα, τα αποτελέσματα αρχειοθετούνται και διανέμονται στους τελικούς χρήστες μέσω Internet, αλλιώς επαναλαμβάνεται η διαδικασία της ανάλυσής τους.

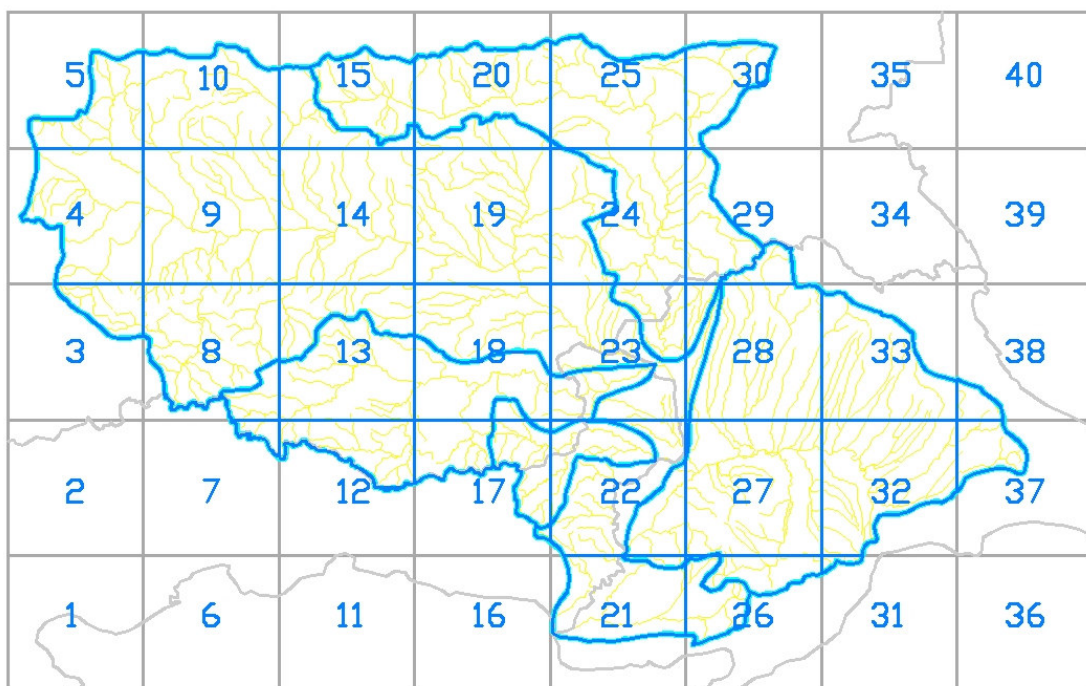
### **6.5.3 Βροχόπτωση λεκάνης απορροής**

Για την εκτίμηση της επιφανειακής βροχόπτωσης στη λεκάνη απορροής, ακολουθείται η ίδια διαδικασία που περιγράφηκε στην παράγραφο 6.4.4, με τη διαφορά ότι ο κάνναβος που προστέθηκε έχει διαστάσεις 0.50<sup>ο</sup> x 0.50<sup>ο</sup>. Κάθε κύτταρο του καννάβου μπορεί (όπως και στην περίπτωση των δορυφορικών δεδομένων):

- Να βρίσκεται ολόκληρο σε μια λεκάνη απορροής
- Να βρίσκεται εν μέρει σε μια λεκάνη απορροής και εκτός της περιοχής ενδιαφέροντος

- Να βρίσκεται σε περισσότερες από μία λεκάνες απορροής και να έχει ή να μην έχει κάποιο τμήμα του εκτός της περιοχής ενδιαφέροντος
- Να βρίσκεται εκτός της περιοχής ενδιαφέροντος

Η περιοχή ενδιαφέροντος περικλείεται από ένα ορθογώνιο που αρχίζει από το γεωγραφικό μήκος 24<sup>ο</sup> και εκτείνεται ως τις 28<sup>ο</sup> και από το γεωγραφικό πλάτος 40.5<sup>ο</sup> ως τις 43<sup>ο</sup>. Λόγω της ανάλυσης του καννάβου (0.5<sup>ο</sup> x 0.5<sup>ο</sup>), αυτός απαρτίζεται από 4x(1/0.5)=8 κύτταρα όσον αφορά το γεωγραφικό μήκος και 2.5x(1/0.5)=5 κύτταρα όσον αφορά το γεωγραφικό πλάτος. Δηλαδή οι διαστάσεις του καννάβου είναι 8x5=40 κύτταρα. Κάθε κύτταρο αριθμείται, λαμβάνοντας έναν αύξοντα ακέραιο αριθμό, με αρχή το πλέον νοτιοδυτικό κύτταρο του καννάβου και με φορά από νότια προς βόρεια και από δυτικά προς ανατολικά. Ο καννάβος που προκύπτει παρουσιάζεται στο Σχήμα 6-16.



**Σχήμα 6-16:** Καννάβος 0.5<sup>ο</sup> x 0.5<sup>ο</sup> λεκάνης απορροής π. Έβρου.

**Πίνακας 6-11:** Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.5<sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Έβρου.

A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)	A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)
1	3	18.56	12	19	100.00
2	4	73.36	13	20	16.08
3	5	36.72	14	21	52.80
4	8	76.12	15	22	52.52
5	9	100.00	16	23	57.32
6	10	68.20	17	24	27.60
7	13	36.64	18	25	0.24
8	14	100.00	19	26	20.40
9	15	26.00	20	27	0.52
10	17	1.00	21	28	7.60
11	18	51.88	22	29	0.04

Από το Σχήμα 6-16, προκύπτει ο πίνακας (Πίνακας 6-11) με τα ποσοστά επιρροής των κυττάρων του καννάβου στον υπολογισμό της επιφανειακής βροχόπτωσης της λεκάνης απορροής του π. Έβρου (χωρίς τις λεκάνες απορροής των παραποτάμων του).

Η διαδικασία υπολογισμού των ποσοστών πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD, βάσει του οποίου το ποσοστό υπολογίστηκε ως ο λόγος του εμβαδού που καταλαμβάνεται από την επιφάνεια ενός κυττάρου προς το συνολικό του εμβαδόν κατά τα αναφερόμενα στην παράγραφο 6.4.4.

**Πίνακας 6-12:** Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.5<sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Ερυθρού.

A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)	A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)
1	17	24.00	3	22	24.72
2	18	3.08			

**Πίνακας 6-13:** Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.5<sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Άρδα.

A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)	A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)
1	7	5.12	5	17	23.52
2	8	11.52	6	18	45.04
3	12	33.40	7	22	1.16
4	13	57.64	8	23	18.28

**Πίνακας 6-14:** Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.5<sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Τούντζα.

A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)	A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)
1	15	39.00	5	25	71.28
2	20	56.52	6	28	7.44
3	23	21.40	7	29	32.24
4	24	62.40	8	30	31.72

**Πίνακας 6-15:** Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.5<sup>ο</sup> στη λεκάνη του π. Εργίνη.

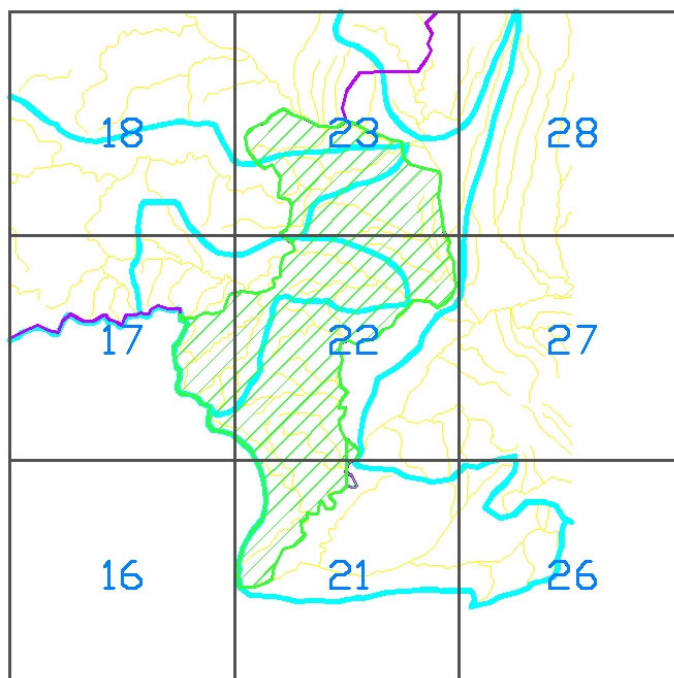
A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)	A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)
1	21	2.96	7	31	2.04
2	22	21.04	8	32	77.84
3	26	11.56	9	33	66.92
4	27	99.48	10	37	17.68
5	28	84.56	11	38	6.96
6	29	9.80			

Ειδικότερα για την περιοχή του νομού Έβρου, στον οποίο έχει εγκατασταθεί το δίκτυο αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών, χρησιμοποιήθηκε η γραμμοσκιασμένη περιοχή στο Σχήμα 6-17, βάσει του οποίου υπολογίστηκαν τα ποσοστά επιρροής κάθε κυττάρου του καννάβου στην ολική επιφανειακή βροχόπτωση της περιοχής αυτής. Τα ποσοστά επιρροής παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 6-16).



**Πίνακας 6-16:** Ποσοστά επιρροής κυττάρων 0.5° στην περιοχή του ν. Έβρου.

A/A	Κύτταρο #	Ποσοστό (%)
1	17	11.24
2	21	14.24
3	22	60.84
4	23	41.24



**Σχήμα 6-17:** Κάνναβος 0.5° x 0.5° περιοχής ν. Έβρου.

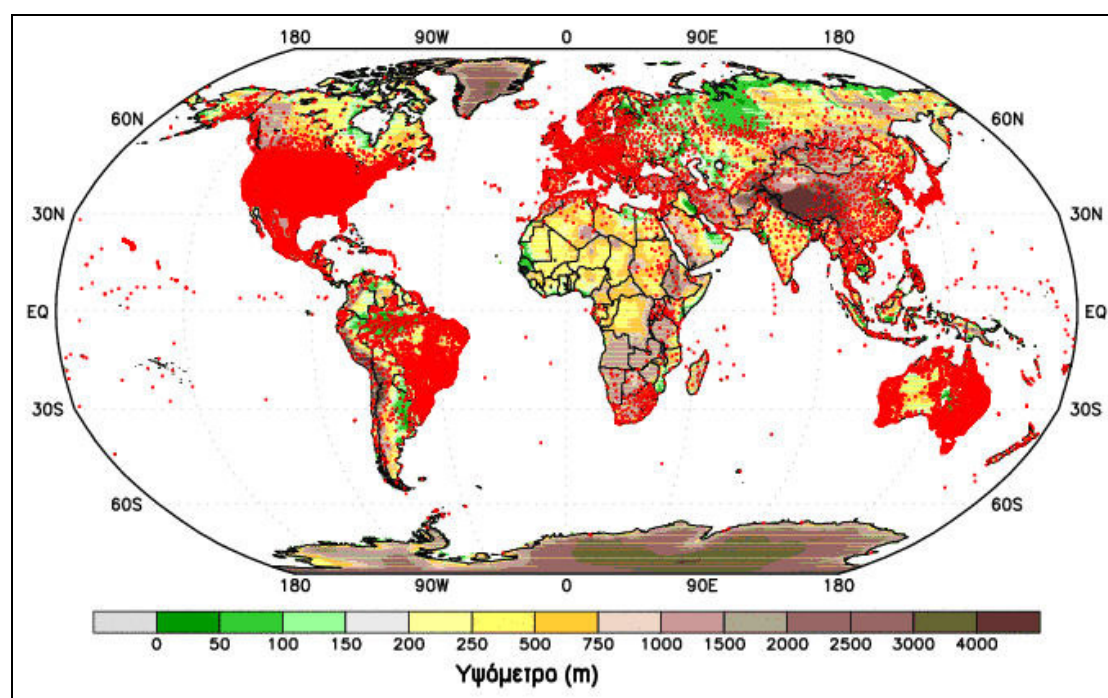
## 6.6 Climate Prediction Center (1998-σήμερα)

Οι ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης σε παγκόσμια κλίμακα του κέντρου Climate Prediction Center, προέρχονται από τη συλλογή, ανάλυση και επεξεργασία επίγειων μετρήσεων βροχόπτωσης από 17 000 σταθμούς σε όλον τον κόσμο. Αποτελούν το πρώτο προϊόν του Προγράμματος Ενοποίησης της Παγκόσμιας Βροχόπτωσης του κέντρου και δημιουργήθηκε με στόχο τη διανομή στην επιστημονική κοινότητα αξιόπιστων πρωτογενών δεδομένων βροχόπτωσης, τα οποία λαμβάνουν υπόψη τους το πολυπληθές δίκτυο του CPC αλλά και την τεχνική βέλτιστης παρεμβολής, η οποία έχει βρεθεί ότι εμφανίζει μεγαλύτερη συσχέτιση και συνάρτηση πυκνότητας – πιθανότητας (PDF) της έντασης βροχόπτωσης πολύ κοντινή με αυτή των ανεξάρτητων επίγειων σταθμών σε όλες τις περιπτώσεις (περιοχές, εποχές, πυκνότητα δικτύου σταθμών) [Chen at al., 2008].

Οι βροχοπτώσεις δίδονται σε ημερήσιο βήμα αρχής γενομένης από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 1979 έως σήμερα. Χρειάζεται όμως ιδιαίτερη προσοχή, καθώς το σύνολο των δεδομένων δεν έχει υποστεί την ίδια επεξεργασία. Πιο συγκεκριμένα, από το 1979 έως το 2005, τα δεδομένα έχουν υποστεί αναδρομική επεξεργασία και εκτός των 17 000 επίγειων σταθμών του CPC έχουν προστεθεί άλλοι 13 000, ανεβάζοντας το σύνολο των σταθμών σε 30 000. Από το 2006 έως σήμερα, το προϊόν εξάγεται σε

πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας μόνο τους 17 000 σταθμούς του δικτύου CPC [Xie et al., 2007].

Έχει διαπιστωθεί πως η ποιότητα των βασισμένων αναλύσεων στους σταθμούς του CPC είναι ικανοποιητική σε όλη την υδρόγειο, εκτός από την περιοχή των τροπικών στην Αφρική και από την περιοχή της Ανταρκτικής. Σε όλες τις άλλες περιοχές, η ποιότητα των αναλύσεων ποικίλλει με την πυκνότητα του επίγειου δικτύου σταθμών. Ιδιαίτερα πυκνό είναι το δίκτυο στη Βόρεια και Νότια Αμερική εξαιρουμένου του Καναδά, στην Ευρώπη και στην Αυστραλία, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6-18. Ο αριθμός των σταθμών που ελήφθησαν υπόψη σε κάθε κύτταρο του καννάβου, εμφανίζεται μαζί με την εκάστοτε τιμή της βροχόπτωσης στα αρχεία δεδομένων του CPC, γεγονός που διευκολύνει την εκτίμηση της αξιοπιστίας των αναλύσεων σε κάθε περιοχή [Chen and Xie, 2007].



Σχήμα 6-18: Πυκνότητα σταθμών δικτύου CPC.

Ένα πρόβλημα που ενδεχομένως να εμφανιστεί σε διασυνοριακές λεκάνες απορροής σχετίζεται με τον ορισμό της ημέρας κατά τον υπολογισμό της ημερήσιας βροχόπτωσης. Για παράδειγμα στην Ελλάδα, σύμφωνα με το Π.Δ. 696/74, άρθρο 179, παράγραφος 2 [ΦΕΚ 301/Α/1974], η ημερήσια βροχόπτωση ορίζεται ως το σημειωθέν ύψος βροχής κατά τη διάρκεια ενός 24-ώρου, με έναρξη του 24-ώρου στις 8 το πρωί την προηγούμενη ημέρα. Δηλαδή, το ημερήσιο ύψος βροχής την 29<sup>η</sup> Ιουνίου 2009 έχει υπολογιστεί από τις μετρήσεις που λήφθηκαν από την 28<sup>η</sup> Ιουνίου 2009 08:01 έως την 29<sup>η</sup> Ιουνίου 2009 08:00. Αντίθετα, στα δορυφορικά προϊόντα η ώρα διαχωρισμού είναι στις 6 το πρωί. Πιθανές διαφοροποιήσεις διαφορετικών τρόπων υπολογισμού της ημερήσιας βροχόπτωσης σε διαφορετικά κράτη, προκαλούν ασυνέχειες στην επιφανειακή τιμή της βροχόπτωσης εκατέρωθεν των πολιτικών τους συνόρων. Αυτή η παράμετρος έχει ληφθεί υπόψη κατά τις αναλύσεις του CPC, αλλά για περιορισμένο αριθμό κρατών, στα οποία περιλαμβάνεται η Ελλάδα και η Βουλγαρία. Για την Τουρκία, έχει χρησιμοποιηθεί η 6<sup>η</sup> πρωινή ώρα, παραδοχή που δεν κατέστη εφικτό να επιβεβαιωθεί.

Όπως και στην περίπτωση του GPCC, έτσι και στο προϊόν CPC, ο κάνναβος που χρησιμοποιείται έχει ανάλυση 0.50°x0.50°. Κατά συνέπεια, ισχύουν τα ίδια κύτταρα



για τη λεκάνη απορροής του Έβρου που χρησιμοποιήθηκαν για τα προϊόντα του GPCC (Σχήμα 6-16, Σχήμα 6-17).

Ο τρόπος διάταξης των δεδομένων στα δυαδικά αρχεία του CPC διαφέρει κατά πολύ από τα υπόλοιπα σύνολα δεδομένων (δορυφορικά και GPCC). Σε κάθε αρχείο, υπάρχουν οι εκτιμήσεις της έντασης της επιφανειακής βροχόπτωσης για μία συγκεκριμένη ημέρα, η οποία αναφέρεται στον τίτλο του αρχείου. Οι μονάδες μέτρησης της έντασης που χρησιμοποιούνται είναι 0.1 mm/h, γεγονός που σημαίνει ότι κάθε τιμή θα πρέπει να διαιρεθεί με το 10 για να μετατραπεί σε mm/h.

Η διάταξη των δεδομένων στο αρχείο έχει ως εξής: αρχίζοντας από το νοτιότερο κύτταρο του μεσημβρινού του Greenwich που περικλείεται από τις ορθογώνιο που έχει άνω αριστερά συντεταγμένες (0.0°A, 90°N) και κάτω δεξιά συντεταγμένες (0.50°A, 89.5°N) και κέντρο (0.25°A, 89.75°N), συνεχίζεται από Δυτικά προς Ανατολικά πρώτα και στη συνέχεια από Νότια προς Βόρεια. Το σύνολο των τιμών έντασης βροχόπτωσης είναι  $720 \times 360 = 259\,200$  τιμές και η κάθε μία εξ αυτών καταλαμβάνει 4 bytes χώρο. Μετά από τις τιμές της έντασης βροχόπτωσης, ακολουθούν ισάριθμοι ακέραιοι αριθμοί που αναφέρονται στον αριθμό των επίγειων σταθμών που συνυπολογίστηκαν για την εκτίμηση της βροχόπτωσης στο αντίστοιχο κύτταρο του καννάβου. Κάθε δυαδικό αρχείο ημερήσιας βροχόπτωσης απαρτίζεται επομένως από  $2 \times 760 \times 360 = 518\,400$  τιμές και καταλαμβάνει  $2 \times 760 \times 360 \times 4 = 2\,073\,600$  bytes. Το σύνολο των αρχείων που χρησιμοποιήθηκαν καταλαμβάνουν  $(365 \times 11 + 3) \times 2\,073\,600 / (1024^3) = 7.76$  GB.



**7**

**Σύνδεση  
Μοντέλων**



## 7 Σύνδεση μοντέλων

### 7.1 Συμβατότητα μοντέλων με την πλατφόρμα OpenMI

Το πρόγραμμα SSM τροποποιήθηκε πρώτο, καθώς χρησιμοποιείται από όλα τα υπόλοιπα για τη γνώση της ακριβούς χρονικής στιγμής, καθώς αυτά ανταλλάσσουν δεδομένα που αναφέρονται σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Επειδή αποτελείται τόσο από γραφικό περιβάλλον (παράγραφος 4.7.4) όσο και υπολογιστικό πυρήνα, κρίθηκε απαραίτητος ο διαχωρισμός των δυο, σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο 3.3.1.

Υπάρχουν δυο συναρτήσεις που επιτρέπεται να επιστρέψουν αποτελέσματα στην πλατφόρμα OpenMI. Η πρώτη ονομάζεται `GetCurrentTime(*time)` και επιστρέφει την ακριβή χρονική στιγμή της προσομοίωσης με ακρίβεια δευτερολέπτου και η δεύτερη είναι η `GetTRMMObservation(*cell, *value)`, η οποία επιστρέφει την τιμή που έχει καταγράψει ο δορυφόρος TRMM σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή της προσομοίωσης. Επειδή το ενδιαφέρον των καταγραφών από το δορυφόρο TRMM εστιάζεται στις θέσεις που έχουν εγκατασταθεί οι έξι αυτόματοι τηλεμετρικοί σταθμοί, η συνάρτηση `GetTRMMObservation()` επιστρέφει -1 όταν το πεδίο σάρωσης των οργάνων του δορυφόρου δεν βρίσκεται σε κάρναβο που υπάρχει αυτόματος τηλεμετρικός σταθμός και μια οποιαδήποτε μηδενική ή θετική τιμή στη μεταβλητή `value`, όταν βρίσκεται σε κάρναβο (μεταβλητή `cell`) που υπάρχει αυτόματος τηλεμετρικός σταθμός. Με τις συναρτήσεις αυτές, μπορούν τα υπόλοιπα προγράμματα να γνωρίζουν:

- Την χρονική στιγμή της προσομοίωσης με ακρίβεια δευτερολέπτου
- Την τιμή που έχει καταγραφεί από το δορυφόρο TRMM πάνω από καννάβους που έχουν εγκατασταθεί επίγειοι μετρητικοί σταθμοί

Ο σχεδιασμός του προγράμματος SSM επιτρέπει την παραμετροποίηση των αρχικών τιμών που είναι απαραίτητες για τη λειτουργία του προγράμματος, είτε με αρχείο εισόδου είτε με συναρτήσεις.

Τα επόμενα δυο προγράμματα που μετατράπηκαν ώστε να αποκτήσουν συμβατότητα με την πλατφόρμα OpenMI είναι τα PPXXXX (5 παραλλαγές) και PRUPDATE, τα οποία έχουν προαιρετικό γραφικό περιβάλλον και υπολογιστικό πυρήνα. Το γραφικό περιβάλλον τους χρησιμεύει για την παραμετροποίηση των αρχικών τιμών των μεταβλητών τους, το οποίο παρακάμπτεται με τη χρήση ενός αρχείου αρχικοποίησης (initialization file).

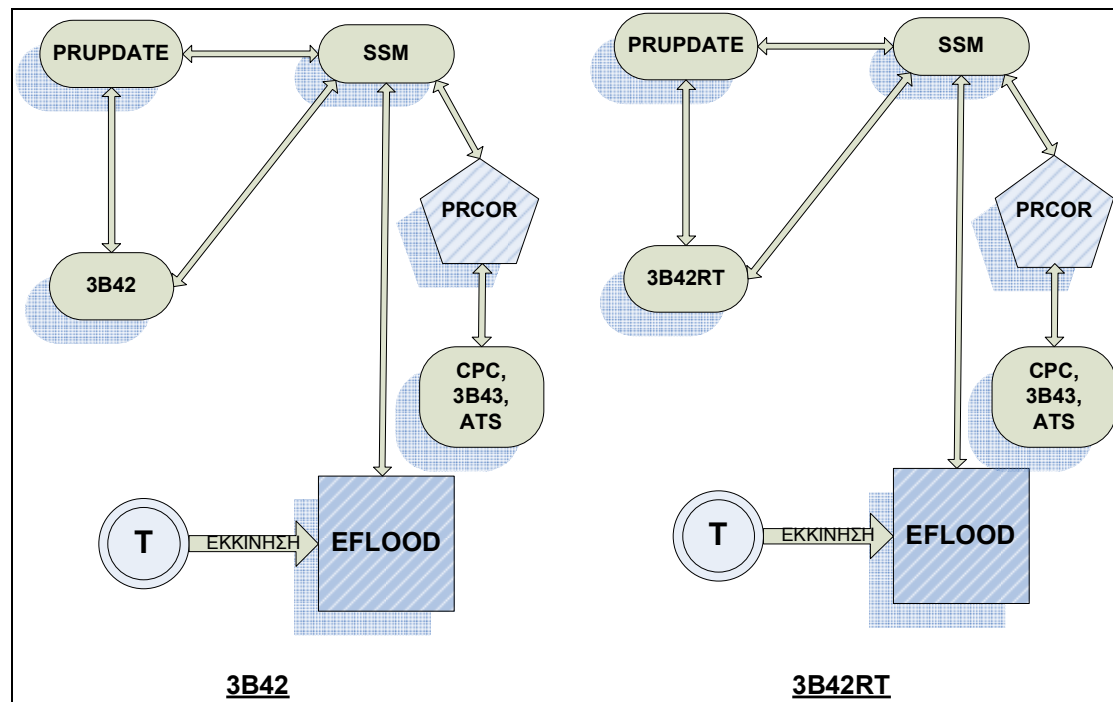
Το πρόγραμμα PP3B42 αποτελείται από μία βάση δεδομένων η οποία περιέχει τις ιστορικές μετρήσεις των οργάνων του δορυφόρου TRMM, μετά την επεξεργασία που έχουν υποστεί για τη δημιουργία του προϊόντος 3B42v6, η οποία περιγράφεται στην παράγραφο 6.4.3.3. Στο PP3B42 υπάρχει μόνο μία συνάρτηση η οποία είναι προσβάσιμη από τα άλλα προγράμματα. Η συνάρτηση αυτή ονομάζεται `GetPP3B42Value(*time, *value)`, η οποία επιστρέφει την τιμή της 3-ωρης αθροιστικής κατακρήμνισης σε mm που έχει καταγραφεί σε μια εκάστοτε χρονική στιγμή.

Αν η τιμή που πρέπει να επιστραφεί αντιστοιχεί σε μια χρονική στιγμή ενδιάμεσα κάποιων καταγραφών, τότε επιστρέφεται η τιμή που βρίσκεται χρονικά πλησιέστερα σε μια καταγραφή. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα, το

πρόγραμμα καλεί το ξεχωριστό πρόγραμμα PRUPDATE, το οποίο αναλαμβάνει να αναζητήσει και να κατεβάσει (download) στον Η/Υ το σύνολο μετρήσεων που λείπει από τη βάση δεδομένων από τον εξυπηρετητή (server) της NASA. Αν οι μετρήσεις δεν είναι διαθέσιμες ούτε στον εξυπηρετητή της NASA, τότε επιστρέφεται η τιμή -1. Στην ειδική περίπτωση που υπάρχει μεν καταγραφή, αλλά αυτή είναι κενή λόγω προβλημάτων στη λειτουργία των οργάνων καταγραφής ή οποιουδήποτε άλλου λόγου, επιστρέφεται η τιμή -9999.

Εντελώς όμοια με το PP3B42 είναι οι υπόλοιπες παραλλαγές του, PP3B42RT, PP3B43, PPCPC και PPATS, τα οποία περιέχουν τις καταγραφές του 3B42RT, 3B43, CPC και των Αυτόματων Τηλεμετρικών Σταθμών αντίστοιχα. Η βασική διαφορά των προϊόντων αυτών είναι ότι τα 3B42RT και CPC παρέχονται στο κοινό σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Η υστέρηση μεταξύ καταγραφής και διανομής των μετρήσεων είναι θεωρητικά 6 ώρες για το 3B42RT και 1.5 ημέρα για το CPC, έχει όμως παρατηρηθεί ότι μπορεί να φτάσει και τις 12 ώρες και 2 ημέρες αντίστοιχα.

Το πρόγραμμα PRUPDATE αναλαμβάνει την παροχή νεότερων καταγραφών και επίγειων μετρήσεων στο σύνολο των προαναφερθέντων προγραμμάτων (SSM, PPXXXX), οι οποίες τη στιγμή που δημιουργήθηκαν οι βάσεις δεδομένων είτε δεν ήταν διαθέσιμες στο κοινό λόγω τεχνικών προβλημάτων είτε έχουν καταγραφεί σε μεταγενέστερες χρονικές στιγμές. Το PRUPDATE δεν έχει γραφικό περιβάλλον και αποτελείται από μία μόνο συνάρτηση, την GetValues(\*type, \*time), η οποία λαμβάνει από διαφορετικούς εξυπηρετητές τις ζητούμενες τιμές για την εκάστοτε χρονική στιγμή, με την προϋπόθεση ότι αυτές είναι διαθέσιμες. Επιστρέφει την τιμή 1 σε περίπτωση επιτυχίας και την τιμή -1 σε περίπτωση αποτυχίας.



Σχήμα 7-1: Διάγραμμα ροής προσομοίωσης 3B42 και 3B42RT.

Το πέμπτο πρόγραμμα, το PCOR, χρησιμοποιείται για την επαλήθευση του προϊόντος 3B42RT με βάση τις επίγειες παρατηρήσεις. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρση των συστηματικών σφαλμάτων, η οποία προκύπτει από σύγκριση των 3B42 και 3B42RT αλλά η διαδικασία αυτή δεν μπορεί να γίνεται σε πραγματικό χρόνο, καθώς η διαθεσιμότητα των δυο προϊόντων μπορεί να απέχει έως και 2 μήνες

χρονικά. Το πρόγραμμα αυτό έχει προαιρετικό γραφικό περιβάλλον και παρέχει δυο συναρτήσεις που επιστρέφουν διορθωμένες τιμές καταγραφών, την GetCorr3B42RT(\*time) και GetCorr3B42(\*time), οι οποίες παραμετροποιούνται με αρχείο εισόδου. Εάν δεν παρασχεθεί το αρχείο εισόδου για την αρχικοποίηση των μεταβλητών του προγράμματος, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί το γραφικό του περιβάλλον.

Το τελευταίο πρόγραμμα, το EFLOOD έχει τόσο γραφικό περιβάλλον (βλ. παράγραφο 4.7.1) όσο και υπολογιστικό πυρήνα. Ο διαχωρισμός των δυο έγινε με βάση τα αναφερόμενα στην παράγραφο 3.3.1. Το πρόγραμμα αυτό λαμβάνει τις τελικές διορθωμένες τιμές των μετρήσεων κατακρήμνισης που προέρχονται από το δορυφόρο TRMM και χρησιμοποιώντας μοντέλο βροχής – απορροής βασισμένο σε ιστορικά στοιχεία, στοχεύει στην έκδοση συναγερμών πιθανών πλημμυρικών επεισοδίων που μπορεί να λάβουν χώρα στην έξοδο της λεκάνης απορροής του π. Έβρου (Δέλτα) αλλά και στην περιοχή της Αδριανούπολης, στο σημείο που συμβάλλουν οι π. Έβρος, Άρδας και Τούντζας.

Ανάλογα με το δορυφορικό προϊόν που χρησιμοποιείται, η σύνθεση των προγραμμάτων Η/Υ διαφέρει μεταξύ τους όπως φαίνεται στο παραπάνω Σχήμα 7-1. Η όλη διαδικασία της προσομοίωσης αρχίζει από την εφαρμογή «Trigger», η οποία δεν είναι στην πραγματικότητα αυτόνομο πρόγραμμα, αλλά ορίζει στην πλατφόρμα OpenMI την αρχή οποιασδήποτε προσομοίωσης. Στη συνέχεια, το κεντρικό πρόγραμμα της προσομοίωσης, το EFLOOD ζητάει από το SSM την ώρα και τις τρέχουσες μετρήσεις (επίγειες και δορυφορικές).

Για να του παρασχεθούν τα δεδομένα αυτά, το SSM ζητάει από τη βάση δεδομένων του 3B42 ή του 3B42RT τις τιμές των δορυφορικών καταγραφών και από την ίδια τη βάση δεδομένων του τις επίγειες καταγραφές. Αν δεν βρεθούν, τότε καλείται το πρόγραμμα PRUPDATE από κάθε βάση δεδομένων, ώστε να ανακτηθούν οι επίγειες από τον εξυπηρετητή των ΑΤΣ και οι δορυφορικές από αυτόν της NASA.

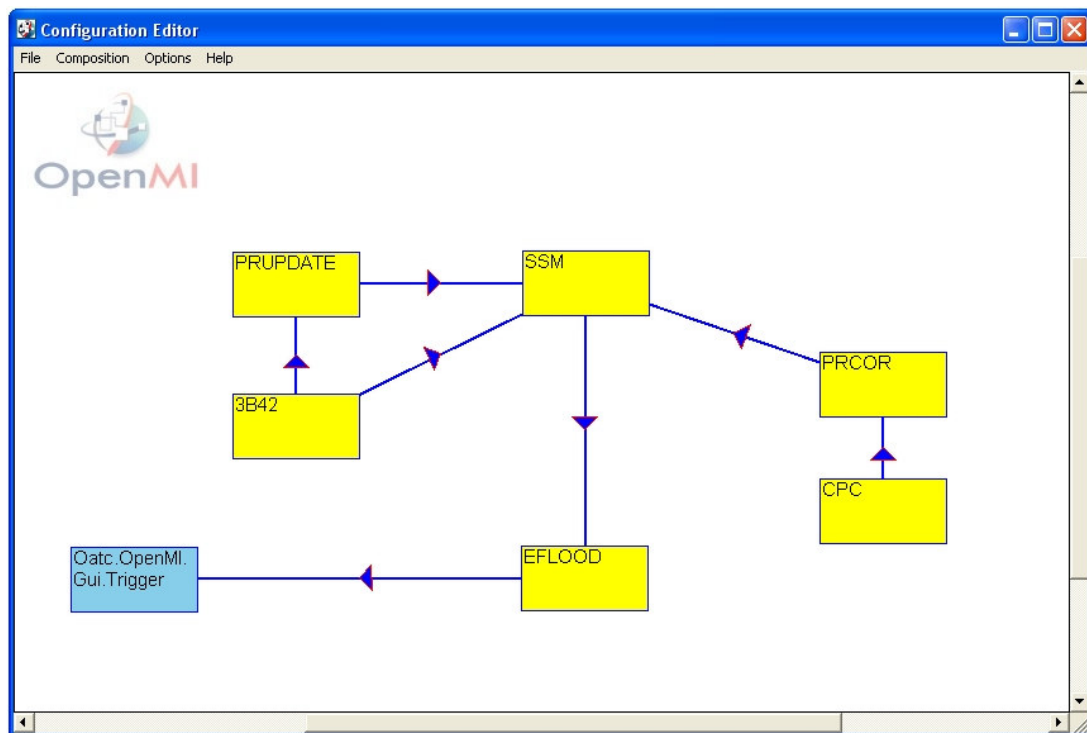
Αφού ανακτηθούν οι μετρημένες τιμές, καλείται το πρόγραμμα PRCOR για τη διόρθωσή τους, προαιρετικά όσον αφορά το προϊόν 3B42 και υποχρεωτικά για το προϊόν 3B42RT. Οι διορθωμένες τιμές επιστρέφονται στο κεντρικό πρόγραμμα EFLOOD για χρήση από το μοντέλο βροχής – απορροής.

Η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου ολοκληρωθεί το διάστημα της προσομοίωσης. Αν δεν υπάρχουν τιμές μετρήσεων διαθέσιμες σε μια χρονική στιγμή, τότε η προσομοίωση αγνοεί τη χρονική αυτή και προχωράει αυτόματα στην επόμενη.

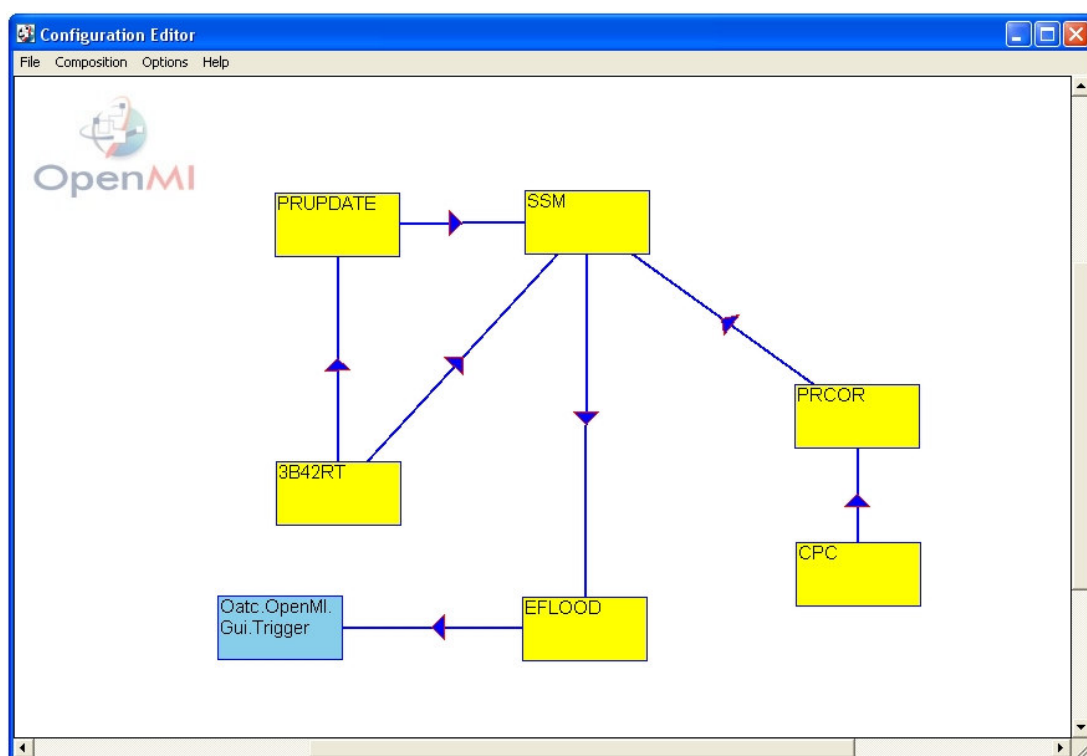
## 7.2 Υλοποίηση συνδέσεων

Η υλοποίηση των συνδέσεων που απεικονίζονται στο Σχήμα 7-1 μέσα από την πλατφόρμα του OpenMI φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 7-2 για την περίπτωση της προσομοίωσης με χρήση του δορυφορικού προϊόντος 3B42 και στο Σχήμα 7-3 για την περίπτωση του 3B42RT. Με τον όρο «σύνδεση» εννοείται κάθε μεταφορά δεδομένων από και προς ένα μοντέλο.

Η εργασία της διασύνδεσης των μοντέλων έγινε με τη βοήθεια του Configuration Editor v1.4 της πλατφόρμας OpenMI. Οι συνδέσεις είναι διευθυνόμενες με φορά από το μοντέλο που παρέχει δεδομένα προς αυτό που τα ζητάει. Κατά τη ζήτηση των δεδομένων, υπάρχει μεταφορά πληροφορίας από το πρόγραμμα που καλεί, η οποία όμως δεν απεικονίζεται ως αμφίδρομη όπως γίνεται στο Σχήμα 7-1.



Σχήμα 7-2: Υλοποίηση συνδέσεων 3B42 στην πλατφόρμα OpenMI.



Σχήμα 7-3: Υλοποίηση συνδέσεων 3B42RT στην πλατφόρμα OpenMI.

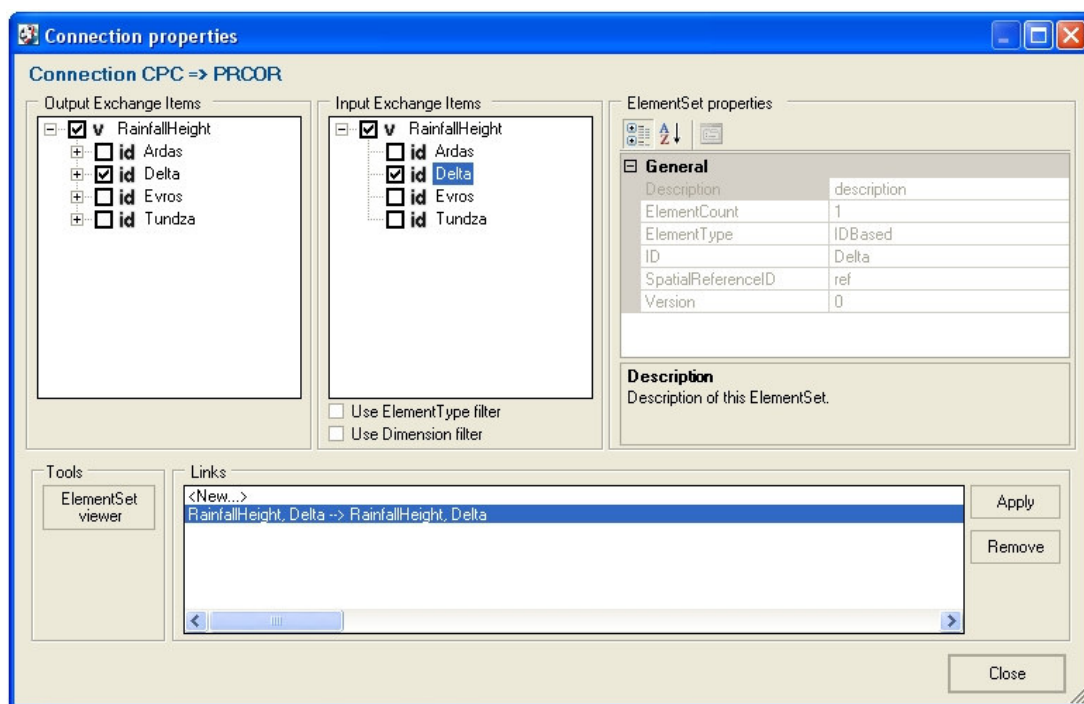
Εκτός από τα προγράμματα που συμμετέχουν στην προσομοίωση, προστίθεται στην αρχή της ένα εικονικό πρόγραμμα, το οποίο φαίνεται στα ακόλουθα σχήματα με την



ονομασία Oatc.OpenMI.Gui.Trigger. Ο ρόλος του προγράμματος αυτού έχει ήδη περιγραφεί αναλυτικά στην παράγραφο 7.1.

Σημειώνεται ότι παρόλο που οι συνδέσεις εμφανίζονται με μία συγκεκριμένη κατεύθυνση, εντούτοις είναι δυνατόν να λειτουργούν (και συνήθως συμβαίνει έτσι) προς τις δυο κατευθύνσεις, δηλαδή από και προς τα μοντέλα που συνδέονται.

Επειδή δεν υπάρχει γεωγραφική πληροφορία στα δεδομένα που ανταλλάσσονται, δηλαδή τα ύψη βροχόπτωσης αναφέρονται σε ολόκληρη τη λεκάνη ή υπολεκάνη απορροής και όχι σε ένα συγκεκριμένο σημείο της, επιλέχθηκε η ανταλλαγή των δεδομένων να γίνει με βάση τη διακριτική ονομασία των υπολεκανών απορροής (ID Based). Μια τέτοια σύνδεση μεταξύ των μοντέλων CPC και PRCOR φαίνεται στο ακόλουθο Σχήμα 7-4.



Σχήμα 7-4: Σύνδεση μοντέλων CPC και PRCOR.

Αν και για λόγους επαλήθευσης των προγραμμάτων δημιουργήθηκαν τέσσερα αντικείμενα (Evros, Ardas, Tundza και Delta), στην πραγματικότητα χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα δυο εξ αυτών. Το αντικείμενο Evros αναφέρεται στη συνολική βροχόπτωση κατάντη της Αδριανούπολης και προέρχεται από την άθροιση των υπολεκανών του π. Έβρου ανάντη της Αδριανούπολης, του Άρδα και του Τούντζα και το αντικείμενο Delta που αναφέρεται στη συνολική βροχόπτωση ολόκληρης της λεκάνης απορροής του π. Έβρου, συμπεριλαμβανομένης και αυτής των υπολεκανών του Ερυθροποτάμου και του Εργίνη.

### 7.3 Δοκιμασία επιδόσεων

Οι προσομοιώσεις αυτές που έγιναν στην πλατφόρμα OpenMI είναι από τις πλέον σύνθετες και πολύπλοκες που έχουν εφαρμοστεί μέχρι στιγμής, αφού στην πλειονότητα των περιπτώσεων έχουν συνδυαστεί έως και τρία διαφορετικά μοντέλα. Για το λόγο αυτό και επειδή αφενός μεν ο έλεγχος της ορθότητας της προσομοίωσης και η εκσφαλμάτωση είναι δύσκολες διαδικασίες και αφετέρου η κάθε πλήρης

προσομοίωση με χρήση ιστορικών μετρήσεων διαρκεί περίπου 1 λεπτό ανά έτος, δημιουργήθηκε ένα αυτόνομο πρόγραμμα το οποίο εκτελεί την προσομοίωση που φαίνεται στο Σχήμα 7-2.

Στη συνέχεια και για την περίοδο 2/2000 έως 4/2009, η προσομοίωση έγινε με τη βοήθεια της πλατφόρμας OpenMI και με το αυτόνομο πρόγραμμα χωριστά, χρονομετρώντας ηλεκτρονικά τη διάρκεια της κάθε μιας εργασίας. Λόγω του τρόπου που διαχειρίζεται τη μνήμη των εφαρμογών το λειτουργικό σύστημα Windows XP, διαπιστώθηκε ότι η δεύτερη φορά που εκτελείται το κάθε σύστημα, είτε το αυτόνομο πρόγραμμα είτε το OpenMI, τα αποτελέσματα είναι πολύ διαφορετικά, καθώς ο χρόνος εκτέλεσης είναι πρακτικά ο μισός. Για την αποφυγή του προβλήματος αυτού και επειδή οι πυρήνες των προγραμμάτων είναι σε μορφή δυναμικών βιβλιοθηκών (DLL) τα οποία φορτώνονται και παραμένουν στη μνήμη του υπολογιστή την πρώτη φορά που απαιτηθεί η χρήση τους, η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη εκτίμηση των επιδόσεων του κάθε συστήματος είναι η ακόλουθη:

- Σε ένα φορητό υπολογιστή με Windows XP, επεξεργαστή Intel Core 2 Duo T6400 2.00 GHz με 4GB Ram χωρίς καμία εφαρμογή φορτωμένη, εγκαταστάθηκαν το OpenMI configuration editor v1.4.0 και το αυτόνομο πρόγραμμα.
- Τα πρωτογενή δεδομένα αποθηκεύτηκαν σε εξωτερικό σκληρό δίσκο χωρητικότητας 1 TB με σύνδεση USB.
- Κάθε φορά που ολοκληρώνεται μία μέτρηση γίνεται επανεκκίνηση στο σύστημα.
- Κάθε μέτρηση προέρχεται ως ο μέσος όρος τριών επιμέρους πανόμοιων μετρήσεων, καθώς μη προβλέψιμες ενέργειες του λειτουργικού συστήματος αλλοιώνουν τα αποτελέσματα (όπως η πρόσβαση στην εικονική μνήμη του δίσκου – swap file).

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 7-1). Όλες οι μετρήσεις παρουσιάζονται με ακρίβεια 1/10 του δευτερολέπτου. Η τέταρτη στήλη του πίνακα, παρουσιάζει τη διαφορά των ολικών χρόνων ολοκλήρωσης της εκάστοτε εργασίας σε δευτερόλεπτα. Οι εργασίες που ολοκληρώνονται πιο γρήγορα στην πλατφόρμα OpenMI παρουσιάζονται με θετικό πρόσημο διαφοράς, ενώ οι εργασίες που ολοκληρώνονται γρηγορότερα στο αυτόνομο πρόγραμμα εμφανίζονται με αρνητικό πρόσημο.

**Πίνακας 7-1:** Αποτελέσματα δοκιμασιών επιδόσεων OpenMI.

Εργασία	Διάρκεια προσομοίωσης (sec)		Διαφορά (sec)
	OpenMI	Αυτόνομο πρόγραμμα	
Προσομοίωση 1 έτους	63.2	55.1	-8.1
Προσομοίωση 5 ετών	290.6	253.6	-37.0
Σύνολο προσομοίωσης	575.7	503.4	-72.3

Για την προσομοίωση του 1<sup>ου</sup> έτους μόνο, η διαφορά στην ταχύτητα των δυο συστημάτων είναι 14.7%, στη συνέχεια η διαφορά αυτή μειώνεται όσο περνάει ο χρόνος και καταλήγει στο τέλος της προσομοίωσης (κάτι περισσότερο από εννιά έτη) να είναι 14.36%. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι ένα μεμονωμένο πρόγραμμα που κρατάει μεγάλο όγκο πληροφορίας στη μνήμη του γίνεται πιο βαρύ με το πέρασμα του χρόνου συγκρινόμενο με ένα σύνολο μικρότερων προγραμμάτων που κάνουν την ίδια ακριβώς εργασία και έχουν τον ίδιο όγκο πληροφοριών.

8

**Επαλήθευση  
δορυφορικών  
μετρήσεων**

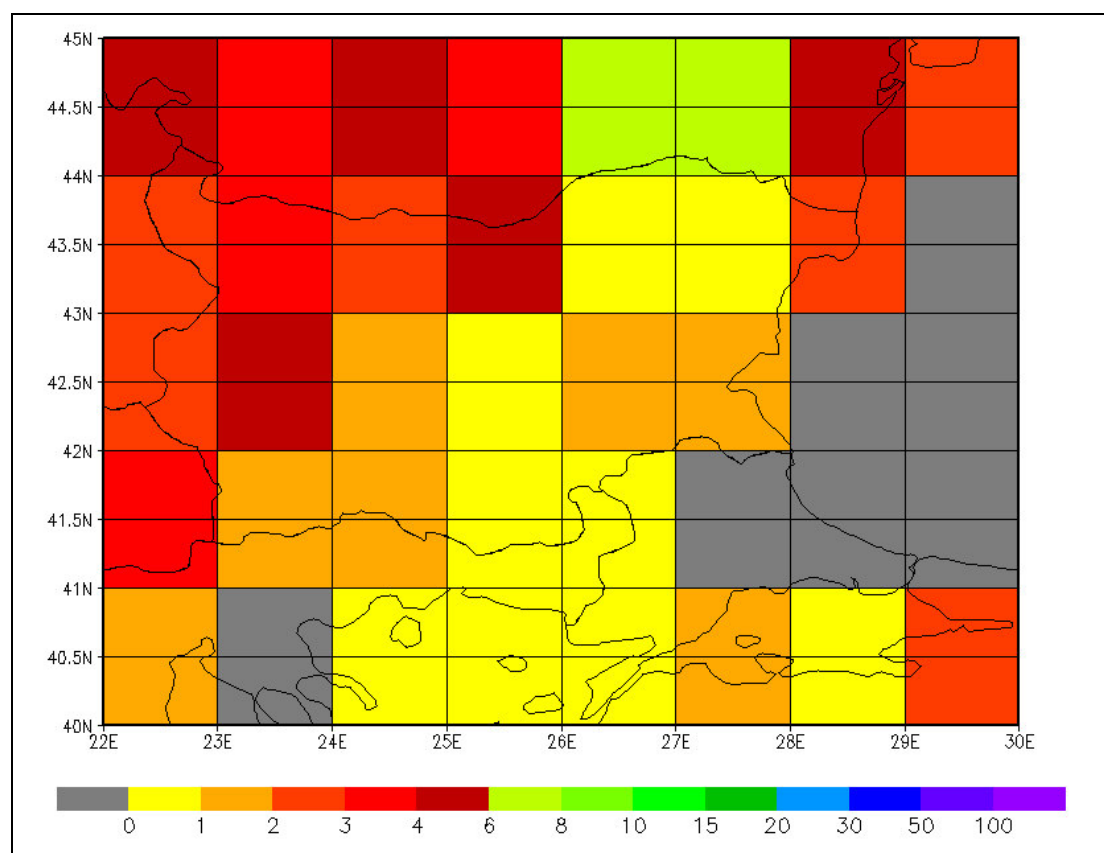


## 8 Επαλήθευση δορυφορικών μετρήσεων

### 8.1 Επίγειες μετρήσεις GPCC και CPC

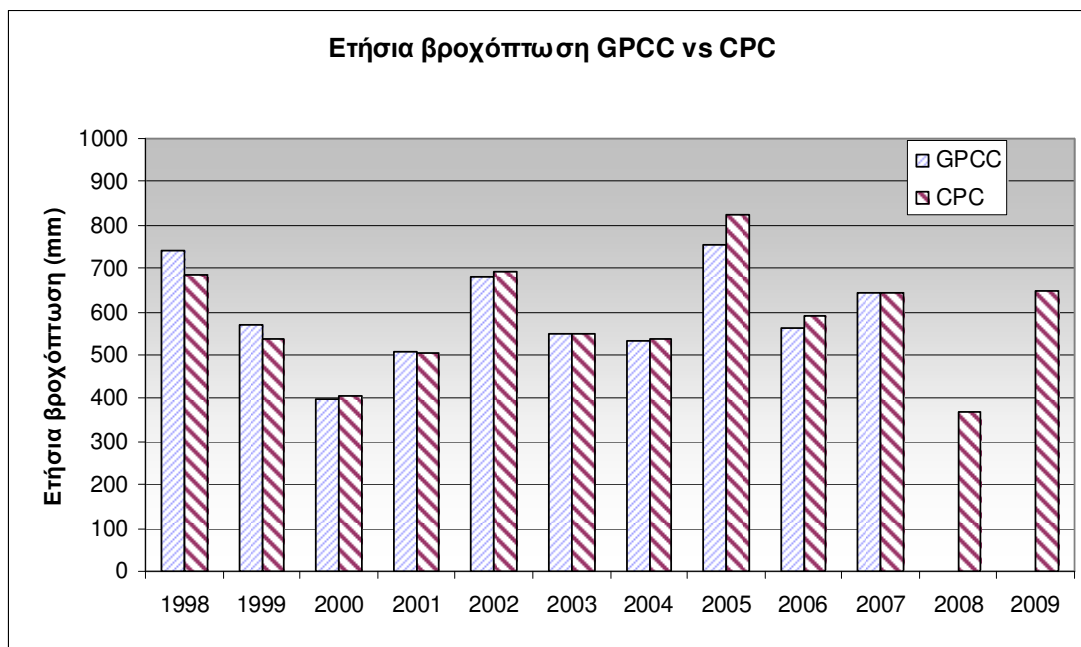
Όπως προαναφέρθηκε, η μέχρι τώρα μικρή περίοδος λειτουργίας των Αυτόματων Τηλεμετρικών Σταθμών στο νομό Έβρου δεν επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σχετικά με την ορθότητα και αξιοπιστία των εκτιμήσεων βροχόπτωσης των δορυφορικών προϊόντων που χρησιμοποιούνται στην περιοχή του ν. Έβρου. Εξάλλου η καλυπτόμενη επιφάνεια από το εν λόγω δίκτυο δεν υπερβαίνει το 6% της συνολικής επιφάνειας της λεκάνης απορροής του π. Έβρου.

Για τους λόγους αυτούς, επιλέχθηκε καταρχήν η χρήση των επιφανειακών βροχοπτώσεων που διανέμονται από το Global Precipitation Climate Center (GPCC) [Deutscher Wetterdienst, 2009] που προέρχονται μετά από συλλογή και επεξεργασία επίγειων μετρήσεων πλήθους σταθμών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8-1. Η επιλογή αυτή έγινε κυρίως για τη σύγκριση των εκτιμήσεων με αυτών του προϊόντος 3B42, το οποίο εμπεριέχει μέρος της πληροφορίας του δικτύου επαλήθευσης, το οποίο εκτός των άλλων έχει μερικούς κοινούς επίγειους σταθμούς με το GPCC. Η σύγκριση θα αποκαλύψει τυχόν συστηματικά σφάλματα του 3B42 τουλάχιστον σε μηνιαίο χρονικό βήμα. Επειδή στο σχήμα αυτό ο κάρναβος έχει διαστάσεις 1°x1°, σε κάρναβο 2.5°x2.5°, το πλήθος των σταθμών που περιλαμβάνονται σε κάθε κύτταρο του υπερβαίνει τους 5, επομένως το σφάλμα στη βροχόπτωση που λαμβάνεται από το δίκτυο GPCC, αναμένεται μικρότερο του 10% (βλέπε παράγραφο 4.7.2).

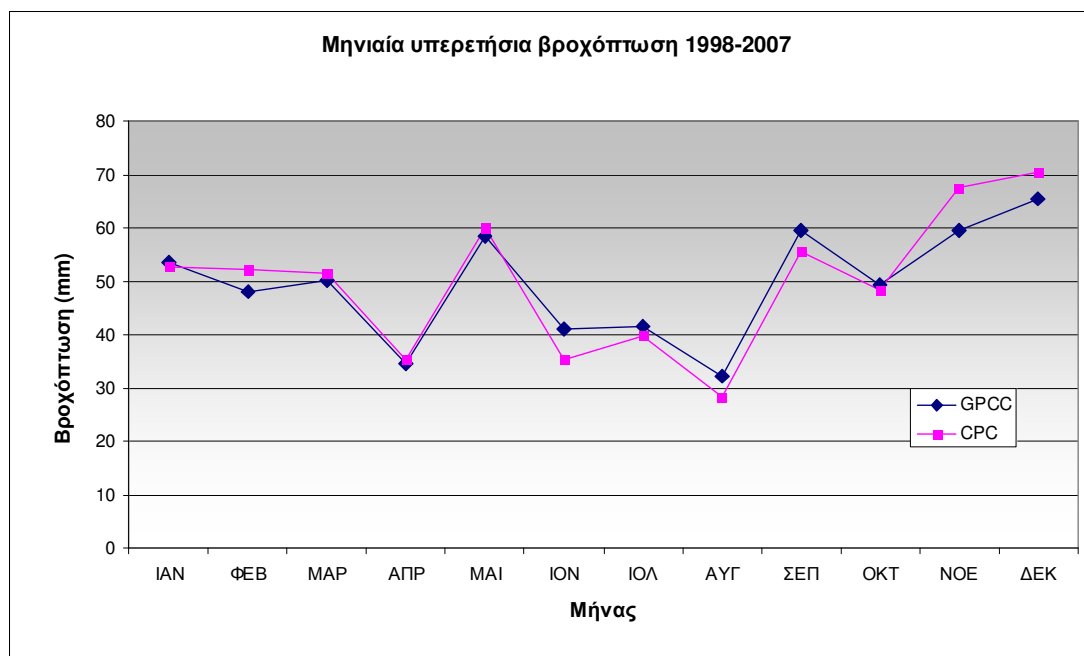


Σχήμα 8-1: Πλήθος επίγειων σταθμών περιόδου 1998-2007.

Τα δεδομένα αυτά, αφορούν την περίοδο 1901 έως 2007 και έχουν βασιστεί σε μετρήσεις που προέρχονται από όλους τους επίγειους σταθμούς που βρίσκονται ή βρίσκονταν στη βάση δεδομένων του GPCC σε κάθε χρονική στιγμή. Ο μέγιστος αριθμός επίγειων σταθμών που έχει χρησιμοποιηθεί είναι 45 000 και αφορά τη χρονική περίοδο 1986-87. Οι πρωτογενείς μετρήσεις υφίστανται αρχικά ποιοτικό έλεγχο και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της επιφανειακής βροχόπτωσης, χρησιμοποιώντας κάρναβο  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ .



Σχήμα 8-2: Σύγκριση ετήσιας βροχόπτωσης GPCC και CPC.

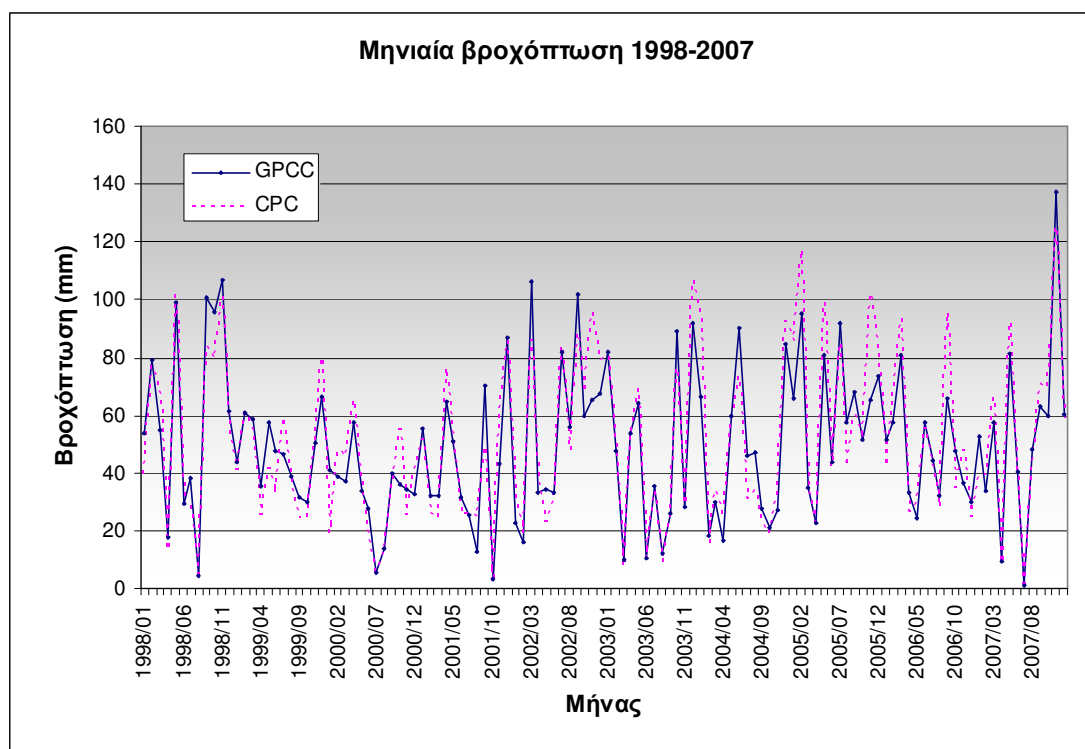


Σχήμα 8-3: Σύγκριση μηνιαίας υπερετήσιας βροχόπτωσης GPCC και CPC.

Επειδή όμως η χρονική ανάλυση των δεδομένων του GPCC είναι μηνιαία, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επαλήθευση των δορυφορικών μετρήσεων σε ημερήσιο βήμα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται τα δεδομένα του CPC, τα οποία όπως προαναφέρθηκε (βλ. παράγραφο 6.6) χρησιμοποιούν τον ίδιο κάρναβο με το GPCC, αλλά δίδονται σε ημερήσιο χρονικό βήμα. Η χρονική περίοδος των εκτιμήσεων βροχόπτωσης του CPC αρχίζει τον Ιανουάριο του 1998 και τελειώνει το Δεκέμβριο του 2009.

Στο Σχήμα 8-2, συγκρίνονται τα ετήσια ύψη βροχόπτωσης των δυο επίγειων δικτύων σε όλη τη λεκάνη απορροής του π. Έβρου. Ο συντελεστής συσχέτισης για τα δέκα κοινά έτη (1998-2007) είναι 0.96, ενώ η διαφορά των μετρήσεων σε κανένα έτος δεν υπερβαίνει το  $\pm 8.5\%$ . Πολύ καλή συσχέτιση παρουσιάζεται και στη μηνιαία υπερετήσια βροχόπτωση των δέκα κοινών ετών, με συντελεστή συσχέτισης 0.95 (Σχήμα 8-3). Οι μηνιαίες υπερετήσιες διαφορές των δυο συνόλων μετρήσεων δεν υπερβαίνουν τα  $\pm 5$  mm, εκτός από το μήνα Νοέμβριο στον οποίο η διαφορά ανέρχεται στα 8 mm.

Τέλος στο Σχήμα 8-4, παρουσιάζεται η διακύμανση της μηνιαίας βροχόπτωσης GPCC και CPC για το διάστημα 1/1998 έως 12/2007. Εμφανής απόκλιση των δυο συνόλων υπάρχει κυρίως κατά τη διάρκεια του έτους 2005 και λιγότερο κατά τη διάρκεια του έτους 2006, γεγονός που αποτυπώνεται και στα ετήσια ύψη βροχόπτωσης των δυο συνόλων (Σχήμα 8-2). Λαμβανομένου υπόψη ότι κατά το έτος 2005 η βροχόπτωση ήταν η μεγαλύτερη της δεκαετίας, προκαλώντας πλημμύρες τόσο κατά τους εαρινούς μήνες, όσο και κατά τους θερινούς, αλλά και στις αρχές του επόμενου έτους, το σύνολο CPC φαίνεται να βρίσκεται πλησιέστερα στην πραγματικότητα τουλάχιστον κατά τη διάρκεια των δυο αυτών ετών. Πάντως ο συντελεστής συσχέτισης των μηνιαίων τιμών των δυο συνόλων μετρήσεων είναι 0.92 ενώ η μέση διαφορά των μηνιαίων τιμών δεν υπερβαίνει το 5%.



Σχήμα 8-4: Σύγκριση μηνιαίας βροχόπτωσης GPCC και CPC.

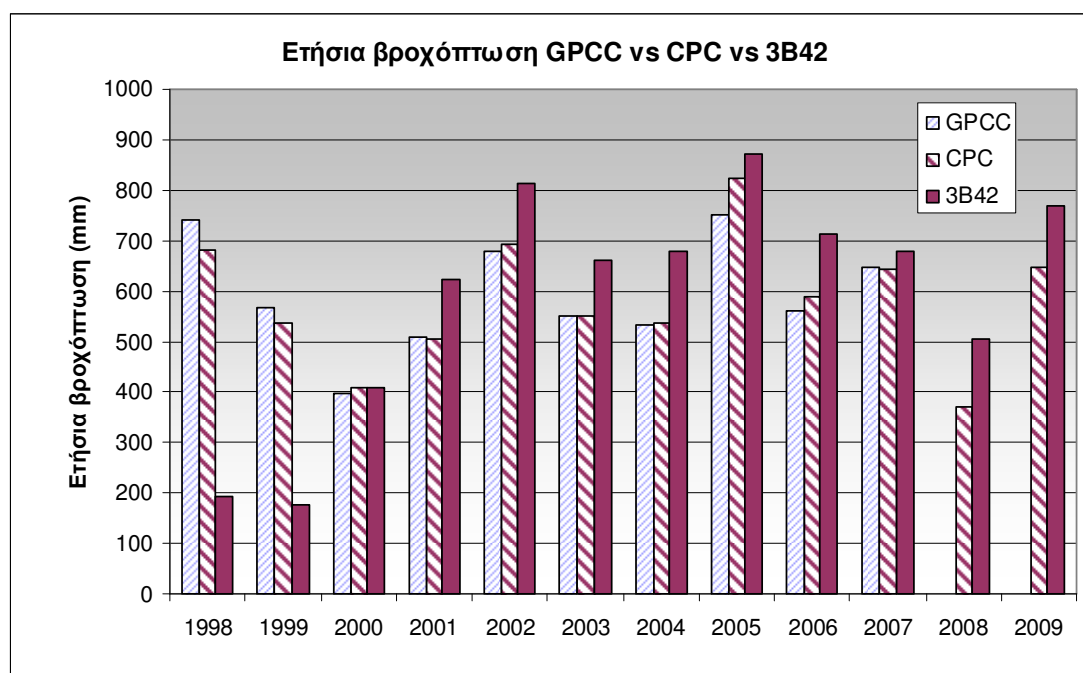
## 8.2 Σύγκριση 3B42 με επίγειες μετρήσεις

Από το σύνολο των δεδομένων λήφθηκε η χρονική περίοδος 1-1998 έως 12-2007 (GPCC) και 12-2008 (CPC). Οι εκτιμήσεις της επιφανειακής βροχόπτωσης συγκρίθηκαν αρχικά μεν με το δορυφορικό προϊόν 3B42 και εν συνεχεία με το 3B42RT (βλ. παράγραφο 0).

Λόγω της διαφορετικής χωρικής ανάλυσης των καννάβων του 3B42 και των GPCC και CPC, χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των τεσσάρων αντίστοιχων κυττάρων του πρώτου για να βρεθεί μία τιμή που αντιστοιχεί στον αδρότερο κάνναβο του δεύτερου. Επίσης, εξαιτίας της διαφορετικής χρονικής ανάλυσης των δεδομένων, οι δορυφορικές μετρήσεις αθροίστηκαν, ώστε να προκύψουν η ημερήσια, μηνιαία και ετήσια εκτίμηση του δορυφορικού προϊόντος και να συγκριθούν με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις των GPCC και CPC.

### 8.2.1 Ετήσια βροχόπτωση

Στο Σχήμα 8-5 συγκρίνεται η ετήσια βροχόπτωση που μετρήθηκε από τους επίγειους σταθμούς των δικτύου GPCC και CPC με αυτή που εκτιμήθηκε βάσει του προϊόντος 3B42 του δορυφόρου TRMM κατά την περίοδο 1/1998 έως 12/2009. Όσον αφορά τις ετήσιες τιμές της βροχόπτωσης, προκύπτει ότι στο προϊόν 3B42 γίνεται υπερεκτίμηση της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια όλης της χρονικής περιόδου, με εξαίρεση τα δυο πρώτα έτη (1/1998-1/2000), στα οποία οι βροχοπτώσεις που λαμβάνονται από το προϊόν 3B42 δεν είναι ορθές.



Σχήμα 8-5: Ετήσιες βροχοπτώσεις GPCC, CPC και 3B42.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα δορυφορικά προϊόντα κατά τα έτη 1998, 1999 και 1/2000 είχαν πολλά κενά από το γεωγραφικό πλάτος 40° Βόρεια έως 50° Βόρεια και από το γεωγραφικό πλάτος -80° Δυτικά έως +80° Ανατολικά. Τα κενά που υπήρχαν στην περιοχή αυτή κατά τα πρώτα έτη, εξαφανίζονται στα επόμενα, γεγονός που οφείλεται στην έλλειψη δεδομένων υπέρυθρων ακτινοβολιών σε γεωγραφικά πλάτη μεγαλύτερα των 40 μοιρών βόρεια ή μικρότερα των -40 μοιρών νότια. Επειδή



μόνο ο Ιανουάριος του έτους 2000 παρουσιάζει κενά ενώ οι υπόλοιποι μήνες του έτους είναι πλήρεις, διατηρείται το σύνολο του έτους μόνο για την ανάλυση της ετήσιας βροχόπτωσης, με την παρατήρηση ότι συνολικά, η αθροιστική βροχόπτωση που δίδεται από το 3B42 θα είναι κατά τι μικρότερη από την πραγματική. Για τις υπόλοιπες επαληθεύσεις και αναλύσεις, ο Ιανουάριος του 2000 δεν συμπεριλαμβάνεται στα δεδομένα.

Επειδή η περιοχή μελέτης βρίσκεται εντός της «προβληματικής» αυτής περιοχής, είναι σαφές ότι οι μετρήσεις που λαμβάνονται για τα δυο αυτά έτη δεν είναι ορθές καθώς δεν περιλαμβάνονται οι μετρήσεις υπερύθρων και ως εκ τούτου το ύψος βροχής δεν είναι ορθό. Για το λόγο αυτό θα αγνοηθούν από τις περαιτέρω αναλύσεις τα δυο πρώτα έτη.

**Πίνακας 8-1:** Στατιστικοί δείκτες ετήσιας βροχόπτωσης 3B42.

	<b>GPCC</b>	<b>CPC</b>
<b>BIAS (%)</b>	28.63	16.33
<b>MAE</b>	102.43	92.82
<b>RMSE</b>	113.27	104.58
<b>R</b>	0.937	0.935
<b>eff</b>	0.528	0.587

Οι τιμές των στατιστικών δεικτών των ετησίων βροχοπτώσεων των τριών χρονοσειρών δίδονται στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 8-1). Η μαθηματική σχέση που περιγράφει καλύτερα τη συσχέτιση της ετήσιας βροχόπτωσης που λαμβάνεται από το 3B42 και από το GPCC με βάση το κριτήριο του μικρότερου μέσου τετραγωνικού σφάλματος [Phillips, 2011] είναι η ακόλουθη:

$$y = a\sqrt{x} + b \ln(x) + c \sin(x) + dx^{1.5} + e \quad (8-1)$$

Όπου:

- x**, η ετήσια βροχόπτωση GPCC (mm)
- y**, η ετήσια εκτιμώμενη βροχόπτωση 3B42 (mm)
- a**,  $-3.76653 \times 10^3$
- b**,  $3.017583533 \times 10^4$
- c**, 63.293172
- d**, 0.74976 και
- e**,  $-1.1108281 \times 10^5$

Εφαρμόζοντας την εξίσωση (8-1), τα αποτελέσματα που προκύπτουν για την εκτιμώμενη βροχόπτωση 3B42 έχουν συντελεστή συσχέτισης 0.98 και μέσο τετραγωνικό σφάλμα 13.41 με την ετήσια βροχόπτωση GPCC.

Αντίστοιχα, η μαθηματική σχέση που περιγράφει καλύτερα (με βάση το κριτήριο του μικρότερου μέσου τετραγωνικού σφάλματος) τη συσχέτιση της ετήσιας βροχόπτωσης που λαμβάνεται από το 3B42 και από το CPC είναι η:

$$y = a \cdot \sin(b \cdot x) + c \quad (8-2)$$

Όπου:

- x**, η ετήσια βροχόπτωση 3B42 (mm)
- y**, η ετήσια εκτιμώμενη βροχόπτωση CPC (mm)
- a**, 219.718817
- b**,  $-463.485652$  και
- c**, 588.442216

Εφαρμόζοντας την εξίσωση (8-2), τα αποτελέσματα που προκύπτουν για την εκτιμώμενη βροχοπτώση CPC έχουν συντελεστή συσχέτισης 0.972 και μέσο τετραγωνικό σφάλμα 22.23 με το σύνολο δορυφορικών μετρήσεων 3B42.

## 8.2.2 Μηνιαία υπερετήσια βροχόπτωση

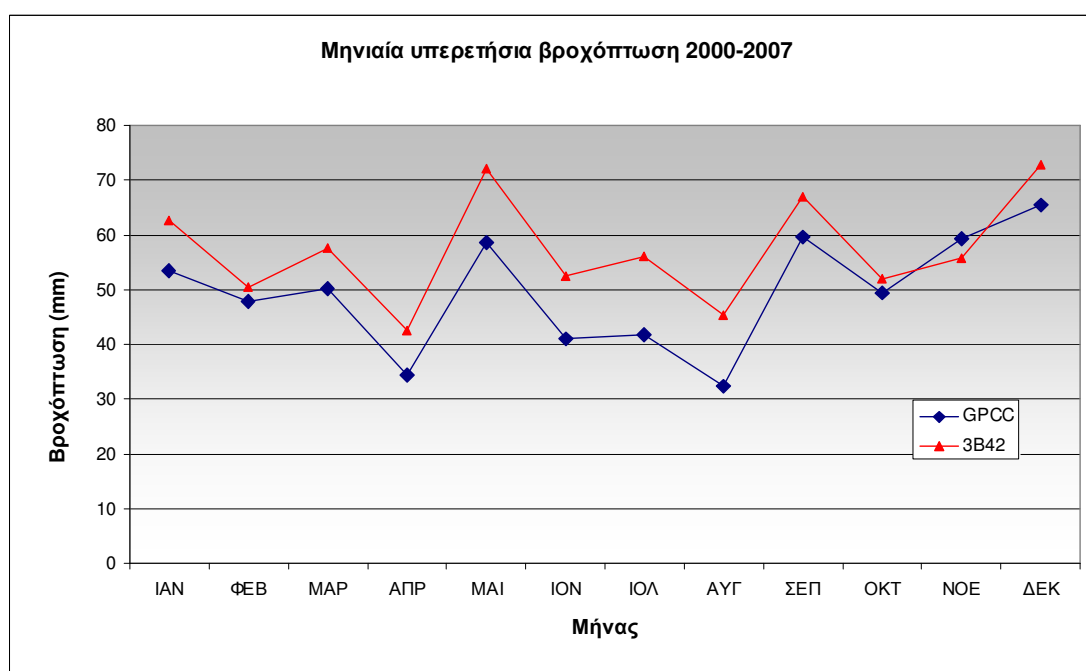
Όσον αφορά τις μηνιαίες υπερετήσιες τιμές της βροχόπτωσης που εκφράζουν την εποχιακή διακύμανσή της, αυτές έχουν σχεδιαστεί για το GPCC και το 3B42 στο Σχήμα 8-6 και για το CPC και το 3B42 στο Σχήμα 8-7. Προκύπτει ότι σε όλους τους μήνες, τα δορυφορικά δεδομένα υπερεκτιμούν τη βροχόπτωση συγκριτικά με το επίγειο δίκτυο του GPCC. Εξαιρέση αποτελεί ο μήνας Νοέμβριος κατά τον οποίο η επιφανειακή βροχόπτωση είναι πρακτικά ίδια.

Όσον αφορά τα 3B42 και GPCC, η καλή συσχέτιση των μηνιαίων υπερετήσιων τιμών επαληθεύεται και από την τιμή του συντελεστή συσχέτισης, που είναι ίση με 0.872. Η μαθηματική σχέση που περιγράφει καλύτερα (με βάση το κριτήριο του μικρότερου μέσου τετραγωνικού σφάλματος) τη συσχέτιση της μέσης μηνιαίας υπερετήσιας βροχόπτωσης που λαμβάνεται από το 3B42 και από το GPCC είναι η NIST Kirby [NIST, 2009]:

$$y = \frac{a + b \cdot x + c \cdot x^2}{1 + d \cdot x + e \cdot x^2} \quad (8-3)$$

Όπου:

- x**, η μηνιαία υπερετήσια βροχόπτωση GPCC (mm)
- y**, η μηνιαία υπερετήσια εκτιμώμενη βροχόπτωση 3B42 (mm)
- a**, 776.58
- b**, -2.53248
- c**,  $2.038565 \times 10^{-3}$
- d**,  $-3.25518341 \times 10^{-3}$
- e**,  $2.61447 \times 10^{-6}$



Σχήμα 8-6: Μηνιαίες υπερετήσιες βροχοπτώσεις GPCC και 3B42.

Εφαρμόζοντας την εξίσωση (8-3), τα αποτελέσματα που προκύπτουν για την εκτιμώμενη μέση μηνιαία υπερετήσια βροχόπτωση 3B42 έχουν συντελεστή συσχέτισης 0.93 και μέσο τετραγωνικό σφάλμα 1.64 ως προς τις τιμές της μηνιαίας υπερετήσιας βροχόπτωσης GPCC.

Αντίστοιχα, για τα 3B42 και CPC, η επίσης λιγότερο καλή συσχέτιση των μηνιαίων υπερετήσιων τιμών επαληθεύεται και από την τιμή του συντελεστή συσχέτισης, που είναι ίση με 0.73. Η χαμηλότερη τιμή του συντελεστή συσχέτισης οφείλεται κυρίως στους μήνες Φεβρουάριο και Νοέμβριο. Παρόλα αυτά, επειδή το 3B42 έχει βαθμονομηθεί με βάση το GPCC, η διαφορά αυτή είναι αναμενόμενη. Ο Πίνακας 8-2 περιλαμβάνει τις τιμές των στατιστικών δεικτών των μηνιαίων υπερετήσιων βροχοπτώσεων των τριών χρονοσειρών.

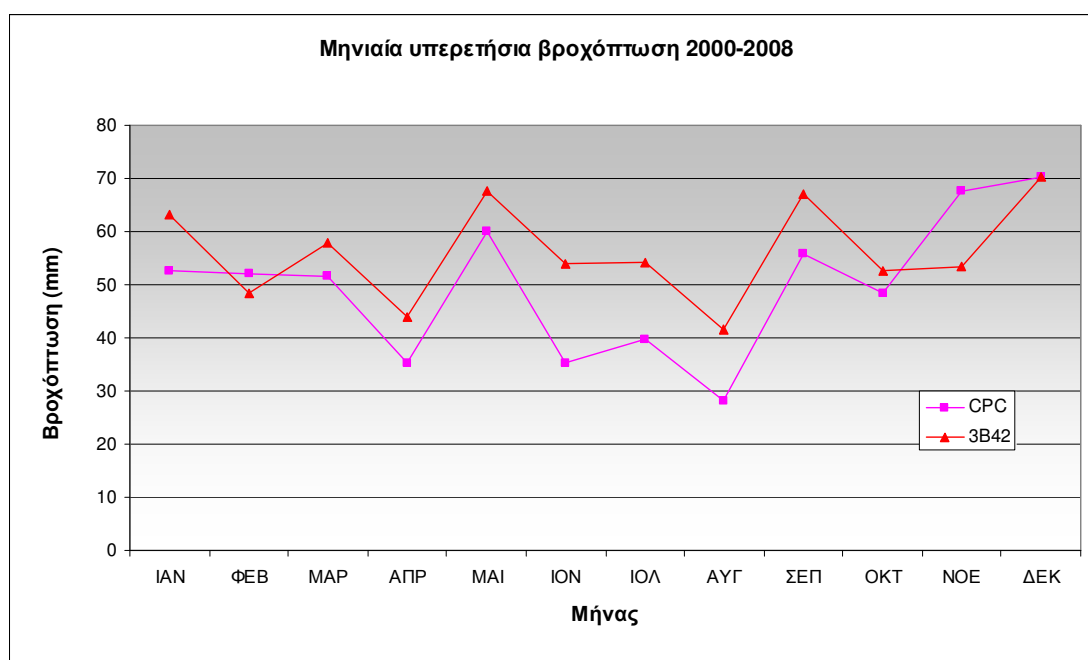
Η μαθηματική σχέση που περιγράφει καλύτερα (με βάση το κριτήριο του μικρότερου μέσου τετραγωνικού σφάλματος) τη συσχέτιση της μέσης μηνιαίας υπερετήσιας βροχόπτωσης που λαμβάνεται από το 3B42 και από το CPC είναι η (8-4):

$$y = a \cdot \sin(b \cdot x + c) + d \quad (8-4)$$

Όπου:

- x**, η μηνιαία υπερετήσια βροχόπτωση CPC (mm)
- y**, η μηνιαία υπερετήσια εκτιμώμενη βροχόπτωση 3B42 (mm)
- a**, 11.7977612
- b**, -164.5288858
- c**, 773.36827545 και
- d**, 57.07261317

Εφαρμόζοντας την εξίσωση (8-4), τα αποτελέσματα που προκύπτουν για την εκτιμώμενη μέση μηνιαία υπερετήσια βροχόπτωση 3B42 έχουν συντελεστή συσχέτισης 0.918 και μέσο τετραγωνικό σφάλμα 2.18 ως προς τις τιμές της μηνιαίας υπερετήσιας βροχόπτωσης CPC.



**Σχήμα 8-7:** Μηνιαίες υπερετήσιες βροχοπτώσεις CPC και 3B42.

**Πίνακας 8-2:** Στατιστικοί δείκτες μηνιαίας υπερετήσιας βροχόπτωσης 3B42.

	GPCC	CPC
<b>BIAS (%)</b>	15.76	13.07
<b>MAE</b>	8.40	9.44
<b>RMSE</b>	9.28	10.75
<b>R</b>	0.867	0.730

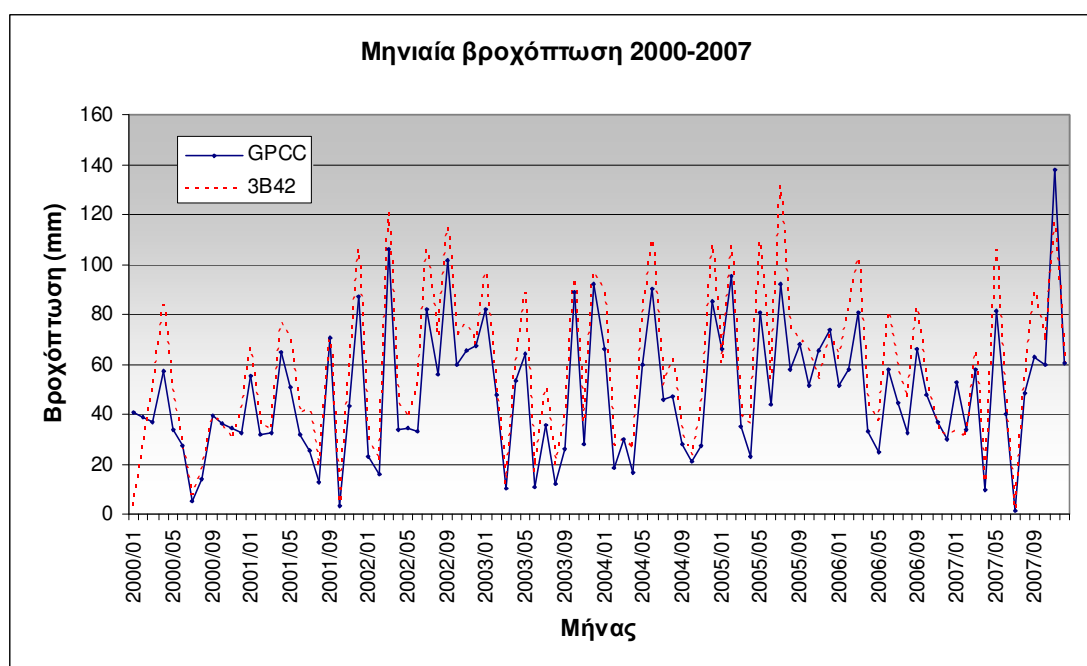
### 8.2.3 Μηνιαία βροχόπτωση

Ο συντελεστής συσχέτισης των μηνιαίων χρονοσειρών 3B42 και GPCC για το διάστημα 1/2000 έως 12/2007 είναι 0.936. Η εξίσωση NIST Hahn 2D (8-5) [NIST, 2009] έχει το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης (0.92) και το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα (8.54) με τις εκτιμημένες μηνιαίες τιμές του διαστήματος 1/2000 έως 12/2007 (Σχήμα 8-8). Οι τιμές των συντελεστών της a-g είναι οι ακόλουθοι:

$$y = \frac{a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3}{1 + e \cdot x + f \cdot x^2 + g \cdot x^3} \quad (8-5)$$

Όπου:

- x,** η μηνιαία βροχόπτωση GPCC (mm)
- y,** η μηνιαία εκτιμώμενη βροχόπτωση 3B42 (mm)
- a,** 5.644161693342
- b,** 0.773105382673
- c,** - 0.028374578
- d,** 1.498283151 x 10<sup>-4</sup>
- e,** -0.03293763242
- f,** 2.2649487767 x 10<sup>-4</sup>
- g,** -4.05247 x 10<sup>-7</sup>



**Σχήμα 8-8:** Σύγκριση μηνιαίας βροχόπτωσης GPCC και 3B42.

Από το Σχήμα 8-8 προκύπτει ότι σε όλους τους μήνες πλην του Ιανουαρίου του 2000, στον οποίο εμφανίζονται κενά στις δορυφορικές μετρήσεις όπως συμβαίνει κατά τη διάρκεια των ετών 1998 και 1999, υπάρχει συμφωνία στη διακύμανση της αθροιστικής βροχόπτωσης, με τις δορυφορικές μετρήσεις να υπερεκτιμούν το συνολικό ύψος βροχής σε σχέση με τις επίγειες μετρήσεις GPCC.

Αμελώντας τον Ιανουάριο του 2000, ο συντελεστής συσχέτισης των δυο χρονοσειρών έχει πλέον τιμή 0.70, ενώ η σχέση που περιγράφει καλύτερα τη συσχέτιση των δυο μηνιαίων χρονοσειρών βροχόπτωσης, με συντελεστή συσχέτισης 0.96 και μέσο τετραγωνικό σφάλμα 1.758, είναι επίσης η (8-5) με τους συντελεστές να λαμβάνουν τιμές:

Όπου:

- x**, η μηνιαία βροχόπτωση GPCC (mm)
- y**, η μηνιαία εκτιμώμενη βροχόπτωση 3B42 (mm)
- a**, 24.9667
- b**, -0.695648271
- c**,  $-4.170282 \times 10^{-3}$
- d**,  $1.57272 \times 10^{-4}$
- e**, -0.0474835
- f**,  $6.60808 \times 10^{-4}$
- g**,  $-2.3022 \times 10^{-7}$

Αντίθετα, ο συντελεστής συσχέτισης των μηνιαίων χρονοσειρών 3B42 και CPC για το διάστημα 1/2000 έως 12/2008 είναι 0.889, πολύ μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο των χρονοσειρών 3B42 και GPCC. Η πολυωνυμική εξίσωση (8-6) έχει το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης (0.92) και το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα (8.54) και με τις εκτιμημένες μηνιαίες τιμές του διαστήματος 1/2000 έως 12/2007 (Σχήμα 8-8). Οι τιμές των συντελεστών της a-g είναι οι ακόλουθοι:

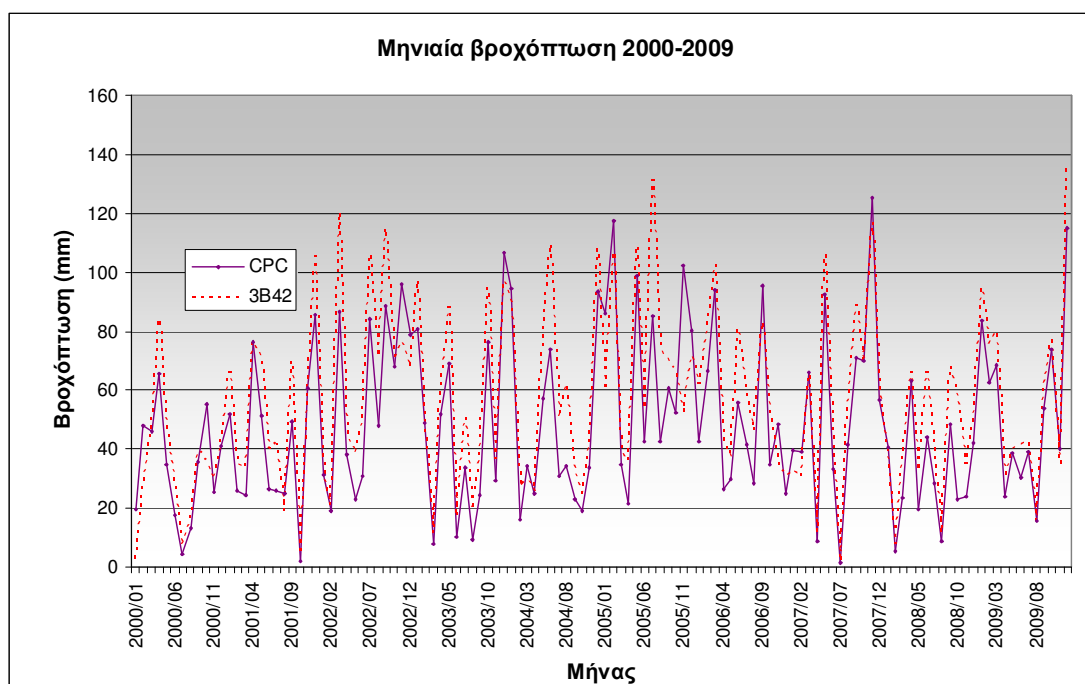
$$y = a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3 + e \cdot x^4 + f \cdot x^5 + g \cdot x^6 \quad (8-6)$$

Όπου:

- x**, η μηνιαία βροχόπτωση CPC (mm)
- y**, η μηνιαία εκτιμώμενη βροχόπτωση 3B42 (mm)
- a**, 2.0213145
- b**, 0.71203605
- c**, 0.09204501
- d**, -0.00441489
- e**,  $8.536473373 \times 10^{-5}$
- f**,  $-7.246836143 \times 10^{-7}$
- g**,  $2.225465 \times 10^{-9}$

Από το Σχήμα 8-8 προκύπτει ότι σε όλους τους μήνες πλην του Ιανουαρίου του 2000, στον οποίο εμφανίζονται κενά στις δορυφορικές μετρήσεις όπως συμβαίνει κατά τη διάρκεια των ετών 1998 και 1999, υπάρχει συμφωνία στη διακύμανση της αθροιστικής βροχόπτωσης, με τις δορυφορικές μετρήσεις να υπερεκτιμούν το συνολικό ύψος βροχής σε σχέση με τις επίγειες μετρήσεις CPC. Αμελώντας τον Ιανουάριο του 2000, η τιμή του συντελεστή συσχέτισης των δυο χρονοσειρών δεν αλλάζει σχεδόν καθόλου, ενώ εξακολουθεί να ισχύει η εξίσωση (8-6).

Ο Πίνακας 8-3 περιλαμβάνει τις τιμές των στατιστικών δεικτών των μηνιαίων βροχοπτώσεων των τριών χρονοσειρών.



Σχήμα 8-9: Σύγκριση μηνιαίας βροχόπτωσης CPC και 3B42.

Πίνακας 8-3: Στατιστικοί δείκτες μηνιαίας βροχόπτωσης 3B42.

	GPCC	CPC
<b>BIAS (%)</b>	17.71	16.33
<b>MAE</b>	11.04	12.66
<b>RMSE</b>	13.96	16.19
<b>R</b>	0.936	0.888

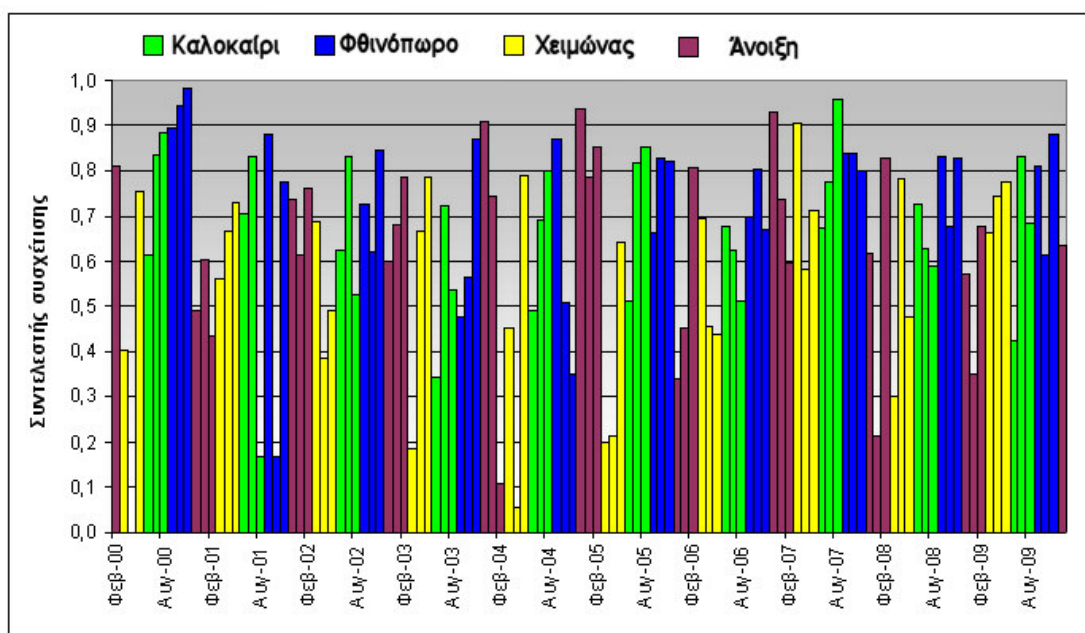
#### 8.2.4 Ημερήσια βροχόπτωση

Επιβεβαιώνοντας τα συμπεράσματα των παραγράφων 8.2.1, 8.2.2 και 8.2.3, τα μετρημένα ύψη βροχόπτωσης με βάση το 3B42 υπερεκτιμούν τη βροχόπτωση όπως αυτή έχει υπολογιστεί με τις επίγειες μετρήσεις του δικτύου CPC. Συνολικά, ο συντελεστής συσχέτισης των ημερησίων τιμών βροχόπτωσης των δυο χρονοσειρών για το διάστημα 1/2/2000 έως 31/12/2009, έχει τιμή 0.70, γεγονός που υποδηλώνει καλή εν γένει συσχέτιση μεταξύ των ημερησίων υψών βροχής.

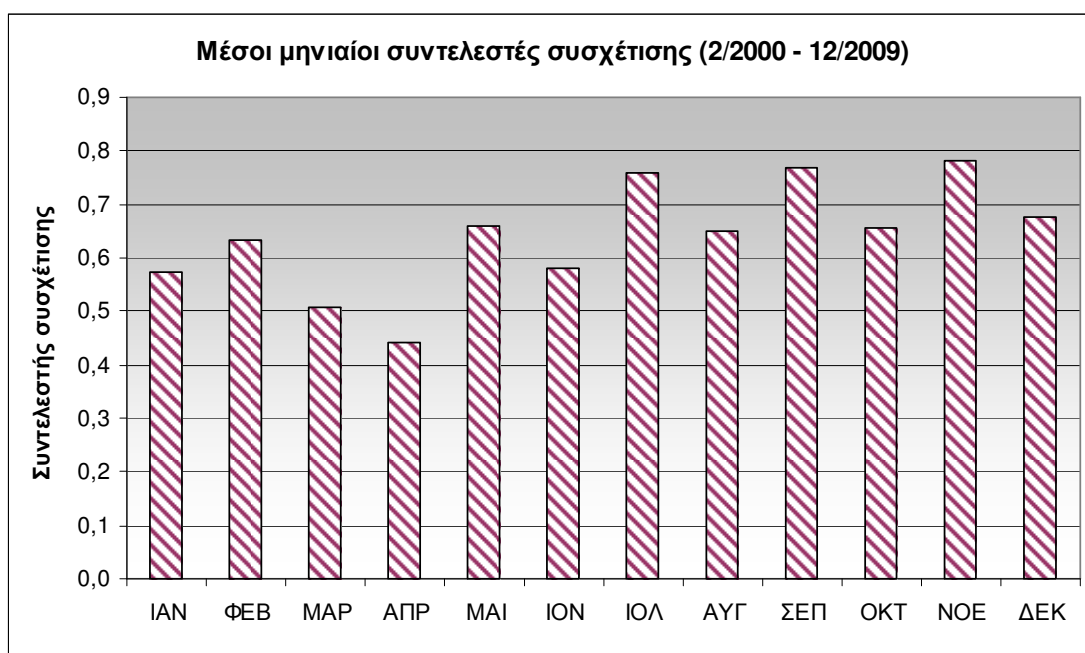
Εξετάζοντας τους συντελεστές συσχέτισης των ημερησίων τιμών βροχόπτωσης σε κάθε μήνα (Σχήμα 8-10), παρατηρείται ότι η συσχέτιση των βροχοπτώσεων είναι μεγαλύτερη κατά τους θερινούς (πράσινο) και φθινοπωρινούς (μπλε) μήνες και μικρότερη κατά τους χειμερινούς (κίτρινο) και εαρινούς (πορφυρό). Η μικρότερη συσχέτιση εμφανίζεται τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο. Στο δε Σχήμα 8-11 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές των συντελεστών συσχέτισης, επιβεβαιώνοντας έτσι την προηγούμενη παρατήρηση.

Καθώς οι πλημμύρες που λαμβάνουν χώρα τους εαρινούς μήνες (κυρίως το Μάρτιο) και τους καλοκαιρινούς (ιδιαίτερα τον Αύγουστο) οφείλονται σε βροχοπτώσεις οι δορυφορικές μετρήσεις των οποίων συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με τις αντίστοιχες επίγειες σε ημερήσιο χρονικό βήμα, ιδιαίτερα κατά τους υγρούς μήνες, η

χρήση του προϊόντος 3B42 αναμένεται να υπερεκτιμήσει τις πλημμυρικές παροχές στα σημεία ενδιαφέροντος.

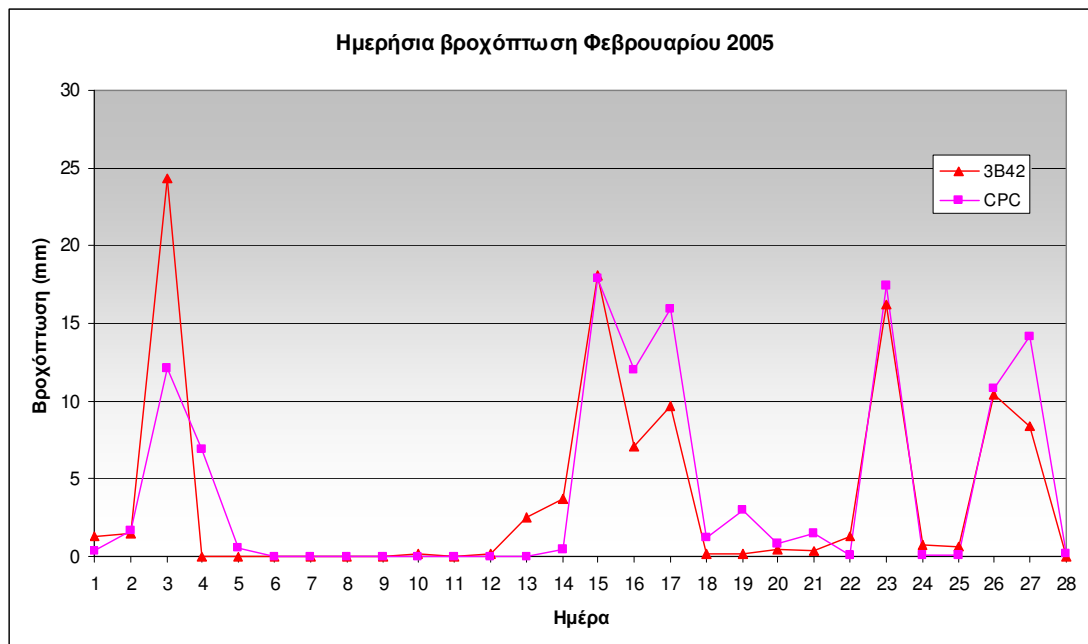


Σχήμα 8-10: Μηνιαίοι συντελεστές συσχέτισης (2/2000 – 12/2009).



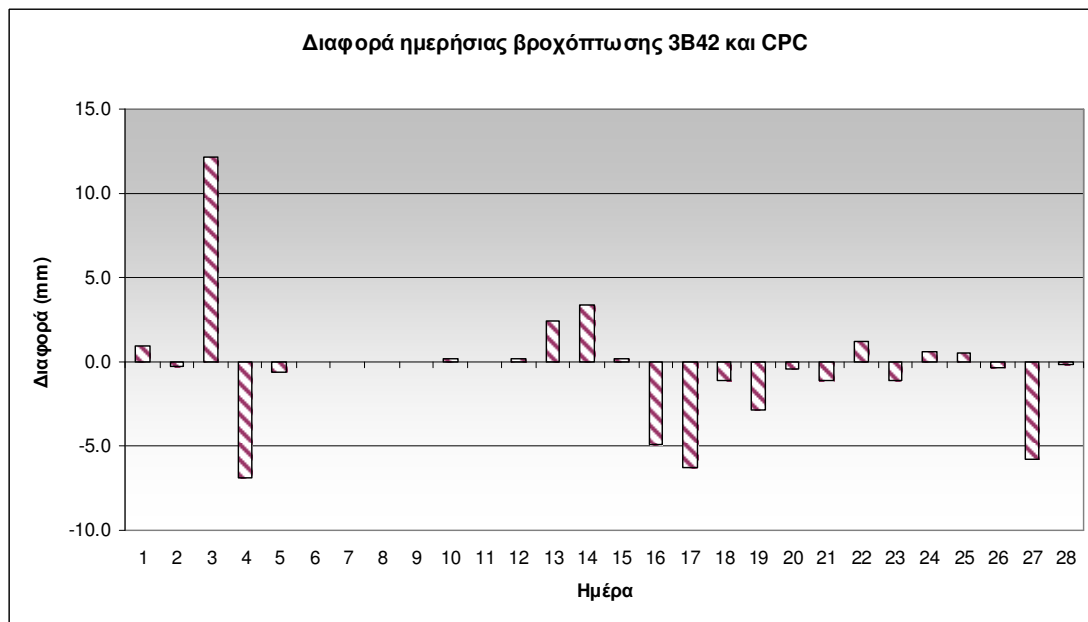
Σχήμα 8-11: Μέσοι μηνιαίοι συντελεστές συσχέτισης (2/2000 – 12/2009).

Στη συνέχεια, εξετάζονται ο Φεβρουάριος του 2005 και ο Μάρτιος του 2006, δυο από τους πλέον βροχερούς μήνες της τελευταίας πενταετίας. Κατά τη διάρκεια των μηνών αυτών, έλαβαν χώρα σημαντικές πλημμύρες. Για το Φεβρουάριο του 2005 (Σχήμα 8-12), το μηνιαίο ύψος βροχής κατά τις επίγειες μετρήσεις είναι κατά 9.44% μεγαλύτερο από αυτό που προκύπτει μέσω του 3B42. Ωστόσο, είναι σαφές ότι η διακύμανση της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του μήνα αποτυπώνεται ορθά στο δορυφορικό προϊόν, με διαφοροποίηση κυρίως ως προς το μέγεθος των αιχμών.



Σχήμα 8-12: Ημερήσια βροχόπτωση Φεβρουαρίου 2005

Οι διαφορές των ημερησίων τιμών βροχόπτωσης του 3B42 ως προς του CPC παρουσιάζονται στο Σχήμα 8-13. Θετικές τιμές των διαφορών υποδηλώνουν υπερεκτίμηση των τιμών του 3B42 ως προς του CPC, ενώ αρνητικές τιμές σημαίνουν υπεκτίμηση. Σημειώνεται ότι το αθροιστικό ύψος βροχής για το μήνα Φεβρουάριο του 2005 υπερβαίνει τα 110 mm.

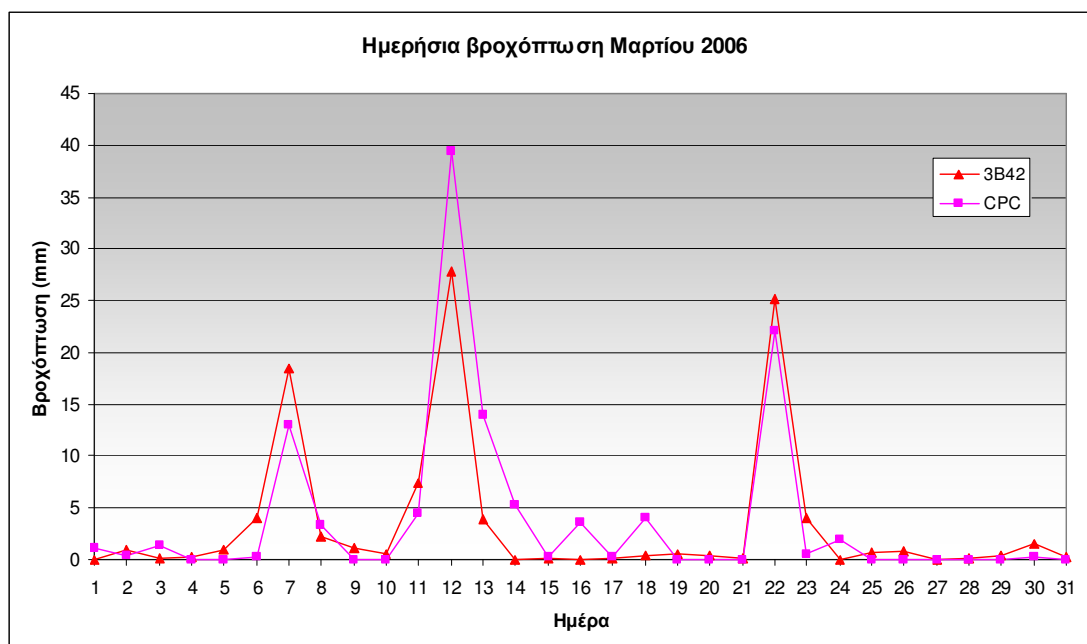


Σχήμα 8-13: Διαφορά ημερήσιας βροχόπτωσης 3B42 και CPC (2/2005).

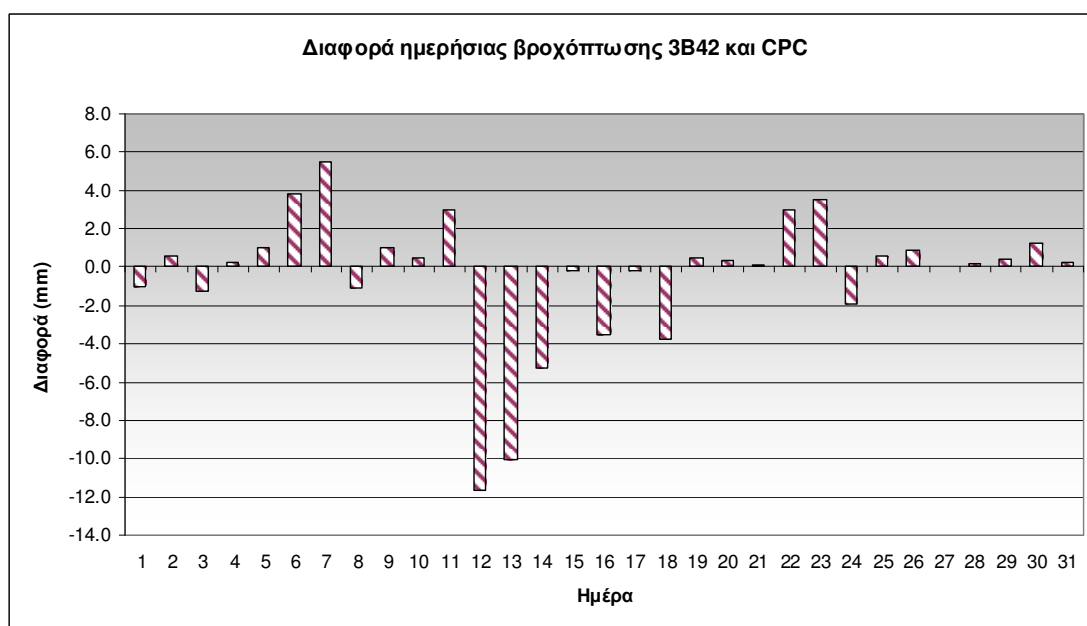
Αντίστοιχα για το Μάρτιο του 2006, η ημερήσια βροχόπτωση σύμφωνα με το 3B42 και το CPC εμφανίζεται στο Σχήμα 8-14. Ενώ καθ' όλη τη διάρκεια του μήνα το 3B42 υπερεκτιμά το συνολικό ύψος βροχής συγκρινόμενο με το CPC, ενδιαφέρον παρουσιάζει το επεισόδιο βροχόπτωσης της 12<sup>ης</sup> και 13<sup>ης</sup> Μαρτίου, κατά το οποίο οι



δορυφορικές μετρήσεις υπεκτιμούν σημαντικά το ημερήσιο ύψος βροχόπτωσης (βλ. Σχήμα 8-14).



Σχήμα 8-14: Ημερήσια βροχόπτωση Μαρτίου 2006.



Σχήμα 8-15: Διαφορά ημερήσιας βροχόπτωσης 3B42 και CPC (3/2006).

Από ανεξάρτητες επίγειες μετρήσεις που έλαβαν χώρα σε βουλγαρικό έδαφος, εκτιμήθηκε ότι το συνολικό ύψος βροχής του τετραημέρου από 11/3 έως 14/3, υπερβαίνει τα 70 mm. Το επεισόδιο αυτό της βροχόπτωσης έχει θεωρηθεί από τη βουλγαρική πλευρά ως η αιτία για τη μεγάλη πλημμύρα στις 15 και 16 Μαρτίου στην Αδριανούπολη. Σύμφωνα με το CPC, κατά το τετραήμερο αυτό, το ύψος βροχής είναι περίπου 63 mm, ενώ σύμφωνα με το 3B42 είναι μόλις 40 mm. Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή, οι δορυφορικές μετρήσεις δεν αποτυπώνουν ορθά τον όγκο της

βροχόπτωσης. Εποπτικά οι ημερήσιες διαφορές (θετικές για υπερεκτίμηση του 3B42 και αρνητικές για υπεκτίμηση) παρουσιάζονται στο Σχήμα 8-15.

Ο Πίνακας 8-4 περιλαμβάνει τις τιμές των στατιστικών δεικτών των ημερησίων τιμών βροχόπτωσης του 3B42.

**Πίνακας 8-4:** Στατιστικοί δείκτες ημερήσιας βροχόπτωσης 3B42.

	<b>3B42</b>
<b>BIAS (%)</b>	16.76
<b>MAE</b>	1.397
<b>RMSE</b>	3.102
<b>R</b>	0.701

### 8.3 Σύγκριση 3B42RT με επίγειες μετρήσεις

Η χρονική περίοδος που καλύπτει το 3B42RT αρχίζει την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2002 και συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Επειδή όπως προαναφέρθηκε τα διαθέσιμα δεδομένα των επίγειων μετρήσεων GPCC σταματούν την 31<sup>η</sup> Δεκεμβρίου 2007 ενώ αυτά του CPC δίδονται σε πραγματικό χρόνο έως σήμερα, η παρακάτω επαλήθευση γίνεται για το διάστημα 1/2002 έως 12/2007 όσον αφορά το GPCC και 1/2002 έως 12/2009 όσον αφορά το CPC.

#### 8.3.1 Ετήσια βροχόπτωση

Στο Σχήμα 8-16 συγκρίνεται η ετήσια βροχόπτωση που μετρήθηκε από τους επίγειους σταθμούς του δικτύου GPCC και του CPC με αυτή που εκτιμήθηκε βάσει του προϊόντος 3B42RT του δορυφόρου TRMM κατά την περίοδο 1/2002 έως 31/2008. Όσον αφορά τις ετήσιες τιμές της βροχόπτωσης, προκύπτει ότι στο προϊόν 3B42RT γίνεται υπεκτίμηση της βροχόπτωσης κατά το μεγαλύτερο μέρος της χρονικής περιόδου.

Ο συντελεστής συσχέτισης των ετησίων χρονοσειρών βροχόπτωσης έχει τιμή 0.44. Η μαθηματική σχέση που περιγράφει καλύτερα (με βάση το κριτήριο του μικρότερου μέσου τετραγωνικού σφάλματος) τη συσχέτιση της ετήσιας βροχόπτωσης που λαμβάνεται από το 3B42RT και από το GPCC είναι η (8-7), όπου:

$$y = a \cdot \tan(b \cdot x + c) + d \quad (8-7)$$

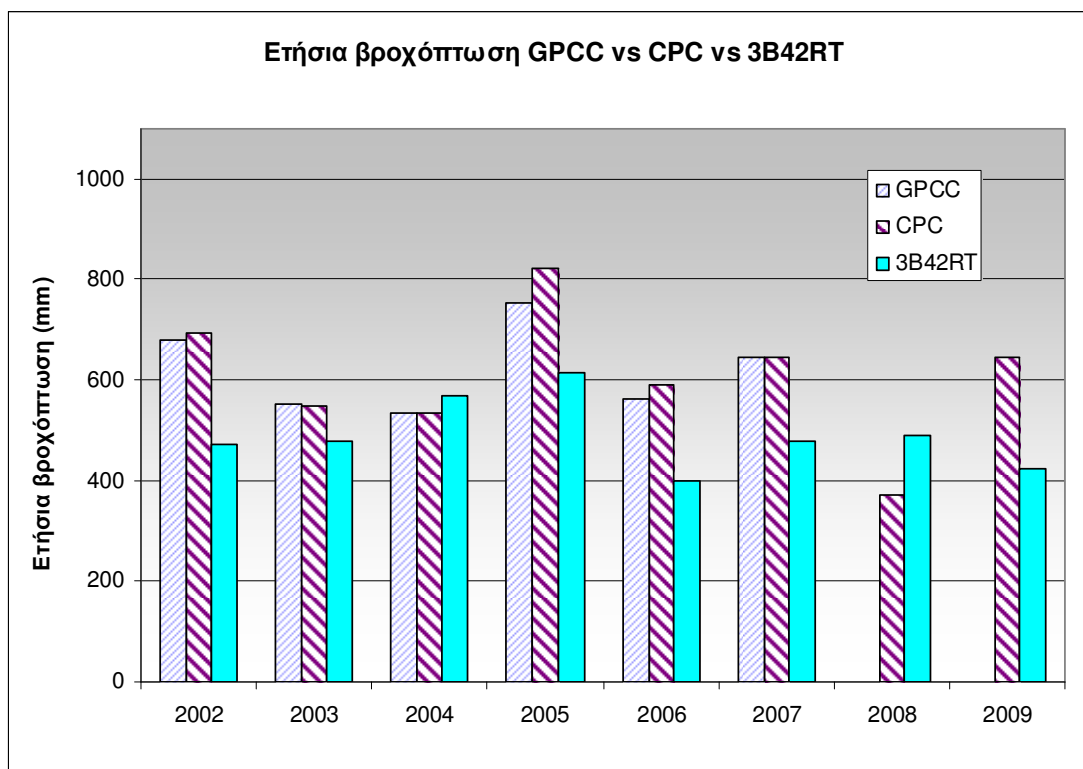
- x**, η ετήσια βροχόπτωση GPCC (mm)
- y**, η ετήσια εκτιμώμενη βροχόπτωση 3B42RT (mm)
- a**, -126.74604741
- b**, -2.73769812919
- c**, -394.77981832 και
- d**, 756.6834004

Εφαρμόζοντας την εξίσωση (8-7), τα αποτελέσματα που προκύπτουν για την εκτιμώμενη βροχόπτωση 3B42RT έχουν συντελεστή συσχέτιση 0.99 και μέσο τετραγωνικό σφάλμα 4.214 με την ετήσια βροχόπτωση GPCC.

Ο Πίνακας 8-5 περιέχει τις τιμές των στατιστικών δεικτών των ετησίων βροχοπτώσεων των τριών χρονοσειρών, 3B42RT, CPC και GPCC. Συγκρίνοντας τις τιμές αυτές με τις αντίστοιχες του 3B42 (Πίνακας 8-1), καθίσταται σαφές ότι η ρύθμιση των δορυφορικών μετρήσεων με επίγειες μετρήσεις (3B42) παράγει πολύ καλύτερα αποτελέσματα απ' ό,τι η εκτίμηση των βροχοπτώσεων αποκλειστικά με δορυφορικές μετρήσεις.

**Πίνακας 8-5:** Στατιστικοί δείκτες ετήσιας βροχόπτωσης 3B42RT.

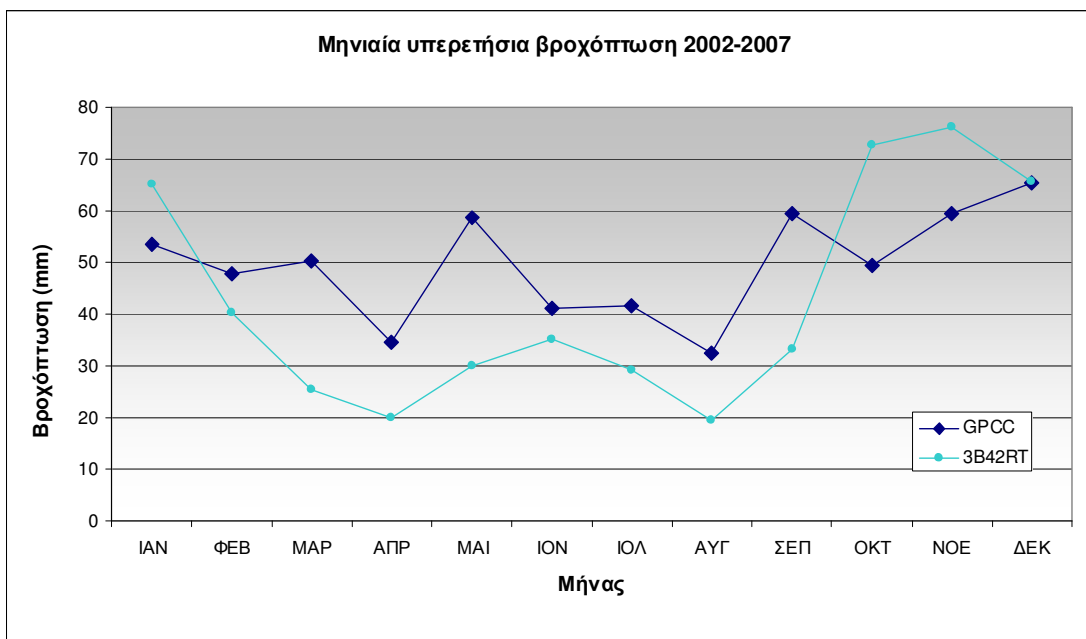
	GPCC	CPC
<b>BIAS (%)</b>	-19.03	-16.66
<b>MAE</b>	129.59	144.04
<b>RMSE</b>	142.27	158.52
<b>R</b>	0.437	0.370
<b>eff</b>	-0.082	-0.103



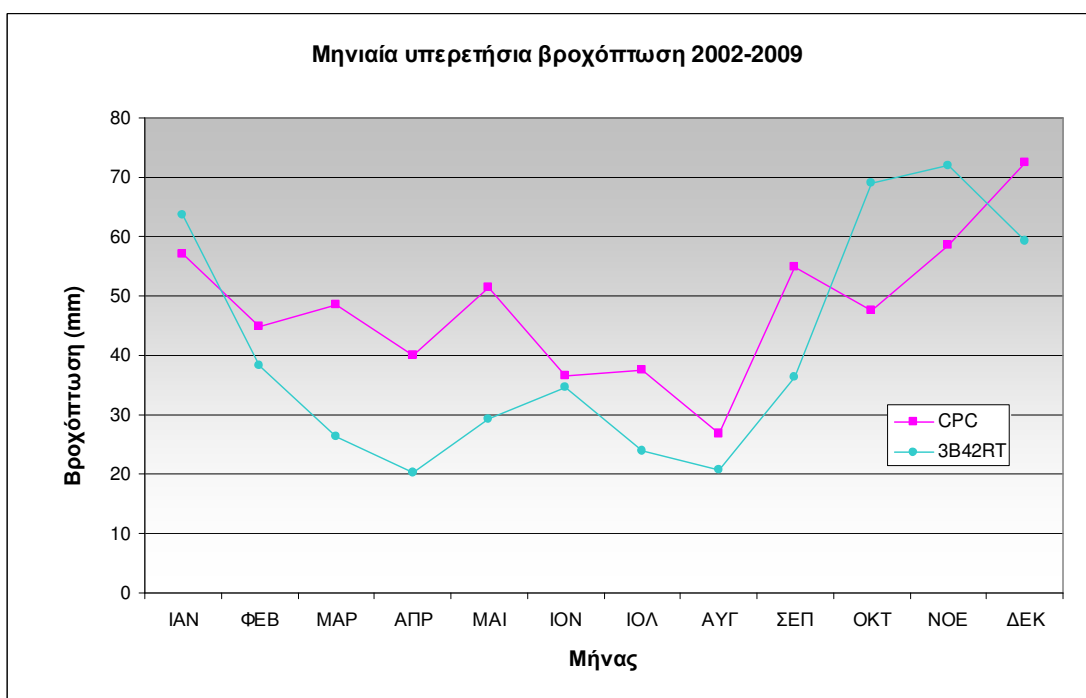
**Σχήμα 8-16:** Ετήσιες βροχοπτώσεις GPCC, CPC και 3B42RT.

### 8.3.2 Μηνιαία υπερετήσια βροχόπτωση

Όσον αφορά τις μέσες μηνιαίες υπερετήσιες τιμές της βροχόπτωσης που εκφράζουν την εποχιακή διακύμανσή της, αυτές έχουν σχεδιαστεί για το GPCC όσο και για το 3B42RT στο Σχήμα 8-17 και για το CPC και το 3B42RT στο Σχήμα 8-18. Προκύπτει ότι πλην των Οκτωβρίου, Νοεμβρίου και Ιανουαρίου κατά τους οποίους γίνεται υπερεκτίμηση της βροχόπτωσης από το 3B42RT, σε όλους τους άλλους μήνες το ύψος βροχόπτωσης είναι σημαντικά μικρότερο σε σχέση με τα επίγεια σύνολα βροχοπτώσεων. Το σφάλμα πάντως εμφανίζεται μειωμένο κατά τους θερινούς μήνες.



Σχήμα 8-17: Μηνιαίες υπερετήσιες βροχοπτώσεις GPCC και 3B42RT.



Σχήμα 8-18: Μηνιαίες υπερετήσιες βροχοπτώσεις CPC και 3B42RT.

Ο Πίνακας 8-6 περιέχει τις τιμές των στατιστικών δεικτών των μηνιαίων υπερετήσιων βροχοπτώσεων των τριών χρονοσειρών, 3B42RT, CPC και GPCC. Συγκρίνοντας τις τιμές αυτές με τις αντίστοιχες του 3B42 (Πίνακας 8-2), επιβεβαιώνεται το συμπέρασμα της παραγράφου 8.3.1. Επιπρόσθετα, διαφαίνεται μια ελαφρά καλύτερη συσχέτιση του 3B42RT με το σύνολο CPC παρά με το GPCC όπως συνέβαινε με το 3B42. Η υπεκτίμηση του 3B42RT κατά τους φθινοπωρινούς και τους

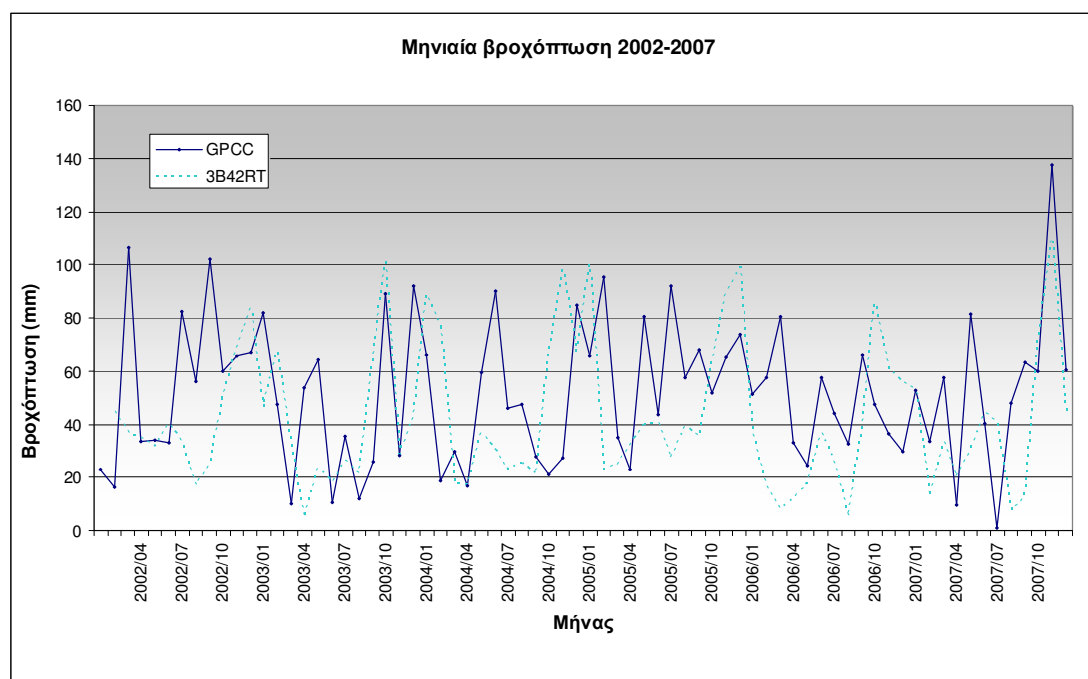
χειμερινούς μήνες, έρχεται σε συμφωνία με τα συμπεράσματα ερευνών σε άλλες περιοχές εκτός τροπικών [Kidd, 2004 · Bertolani et al., 2007 · Feidas, 2009].

**Πίνακας 8-6:** Στατιστικοί δείκτες μηνιαίας υπερετήσιας βροχόπτωσης 3B42RT.

	GPCC	CPC
<b>BIAS (%)</b>	-13.70	-14.12
<b>MAE</b>	15.38	14.58
<b>RMSE</b>	17.57	17.06
<b>R</b>	0.606	0.638

### 8.3.3 Μηνιαία βροχόπτωση

Στο Σχήμα 8-19 έχουν σχεδιαστεί τα μηνιαία ύψη βροχόπτωσης του προϊόντος 3B42RT και του GPCC ενώ στο Σχήμα 8-20 έχουν σχεδιαστεί τα αντίστοιχα ύψη βροχόπτωσης του 3B42RT και CPC. Όπως προαναφέρθηκε, επειδή το 3B42RT δημοσιεύεται σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, οι μετρήσεις του είναι ανεπεξέργαστες και δεν έχουν εκ των υστέρων βαθμονομηθεί με επίγειες μετρήσεις. Παρόλο που στη ζώνη των τροπικών η έλλειψη αυτή δεν διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, σε περιοχές μέσω γεωγραφικών πλατών είναι εμφανής, καθώς διαφαίνεται συστηματικό σφάλμα στους αλγόριθμους υπολογισμού της συνολικής κατακρήμνισης, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 6.4.5.

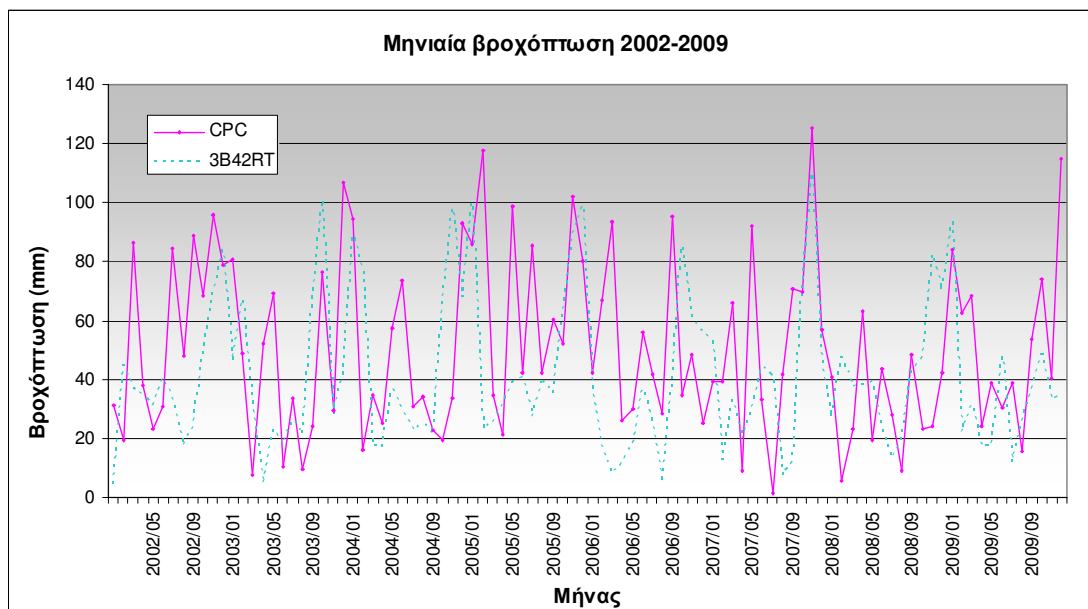


**Σχήμα 8-19:** Μηνιαίες βροχοπτώσεις GPCC και 3B42RT.

Ο συντελεστής συσχέτισης για όλα τα δεδομένα των δυο χρονοσειρών είναι μόλις 0.25 για το GPCC και 0.28 για το CPC. Ο Πίνακας 8-7 περιέχει τις τιμές των στατιστικών δεικτών των ετησίων βροχοπτώσεων των τριών χρονοσειρών, 3B42RT, CPC και GPCC.

**Πίνακας 8-7:** Στατιστικοί δείκτες μηνιαίας βροχόπτωσης 3B42RT.

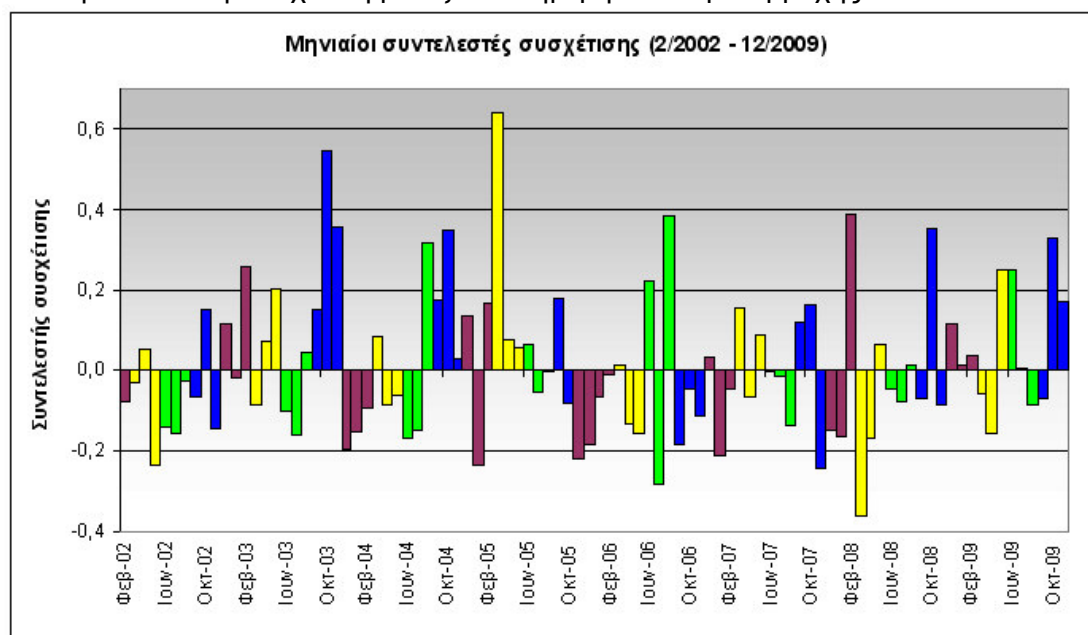
	GPCC	CPC
<b>BIAS (%)</b>	-18.65	-16.15
<b>MAE</b>	27.33	26.75
<b>RMSE</b>	33.91	34.34
<b>R</b>	0.251	0.284



**Σχήμα 8-20:** Μηνιαίες βροχοπτώσεις CPC και 3B42RT.

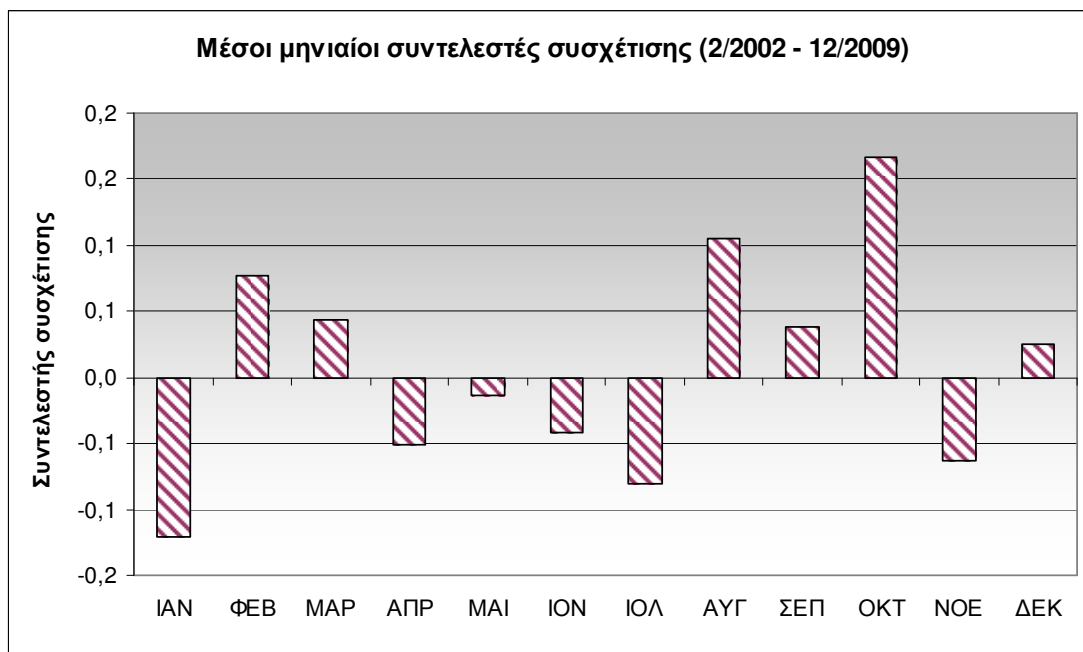
### 8.3.4 Ημερήσια βροχόπτωση

Συνολικά, ο συντελεστής συσχέτισης των ημερησίων τιμών βροχόπτωσης των δυο χρονοσειρών για το διάστημα 1/2/2002 έως 31/12/2009, έχει τιμή 0.05, γεγονός που υποδηλώνει κακή συσχέτιση μεταξύ των ημερησίων υψών βροχής.

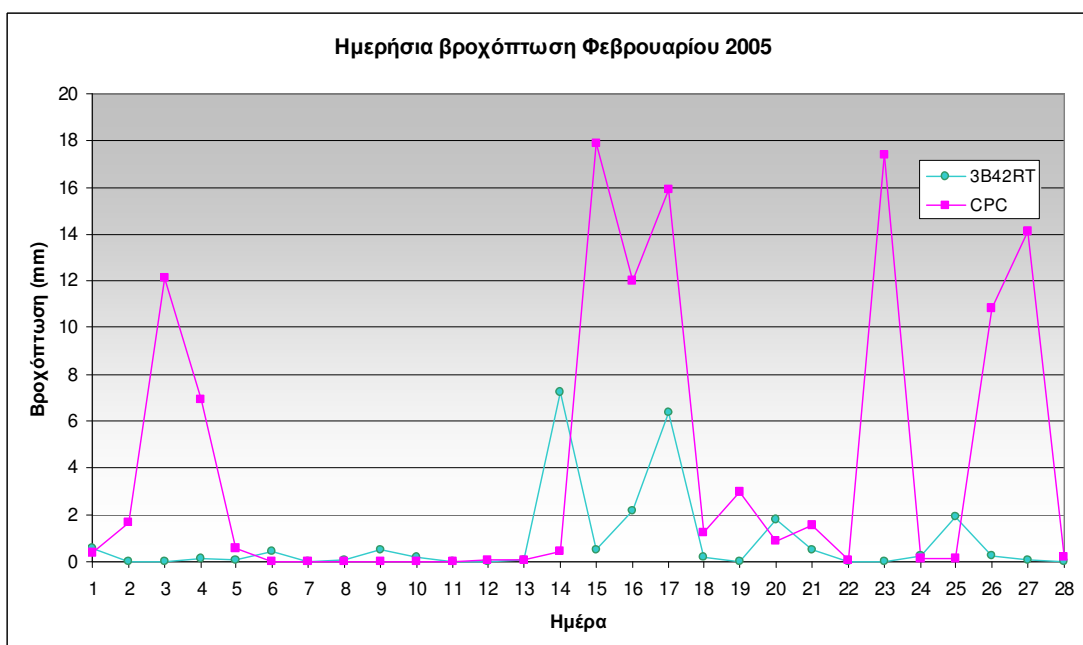


**Σχήμα 8-21:** Μηνιαίοι συντελεστές συσχέτισης (2/2002 – 12/2009).

Η έλλειψη βαθμονόμησης του 3B42RT με επίγειες μετρήσεις είναι καταλυτική σε περιοχές εκτός τροπικών. Οι μετρήσεις του δεν περιλαμβάνουν τις βροχοπτώσεις με μικρή και πολύ ένταση (1 mm/h και 0.1 mm/h), που αντιστοιχούν στο 85% των βροχοπτώσεων στα μέσα γεωγραφικά πλάτη. Αποτέλεσμα είναι να μην καταγράφονται ολόκληρα επεισόδια βροχής και σε αυτά που καταγράφονται, το συνολικό ύψος βροχής να είναι μικρότερο του πραγματικού. Επειδή γενικά οι δορυφορικές μετρήσεις υπερεκτιμούν το συνολικό ύψος βροχής που μετρούν, το αποτέλεσμα είναι οι μετρήσεις του 3B42RT να δίνουν βροχόπτωση ίση ή κατά τι μικρότερη από αυτή που καταγράφεται με επίγειες μετρήσεις.

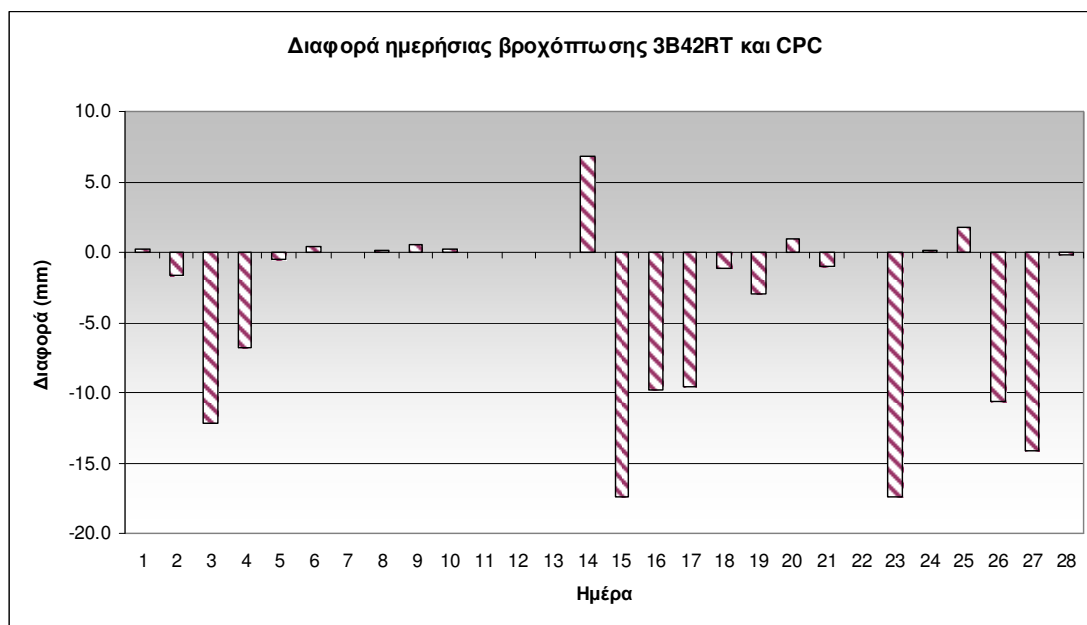


Σχήμα 8-22: Μέσοι μηνιαίοι συντελεστές συσχέτισης (2/2002 – 12/2009).

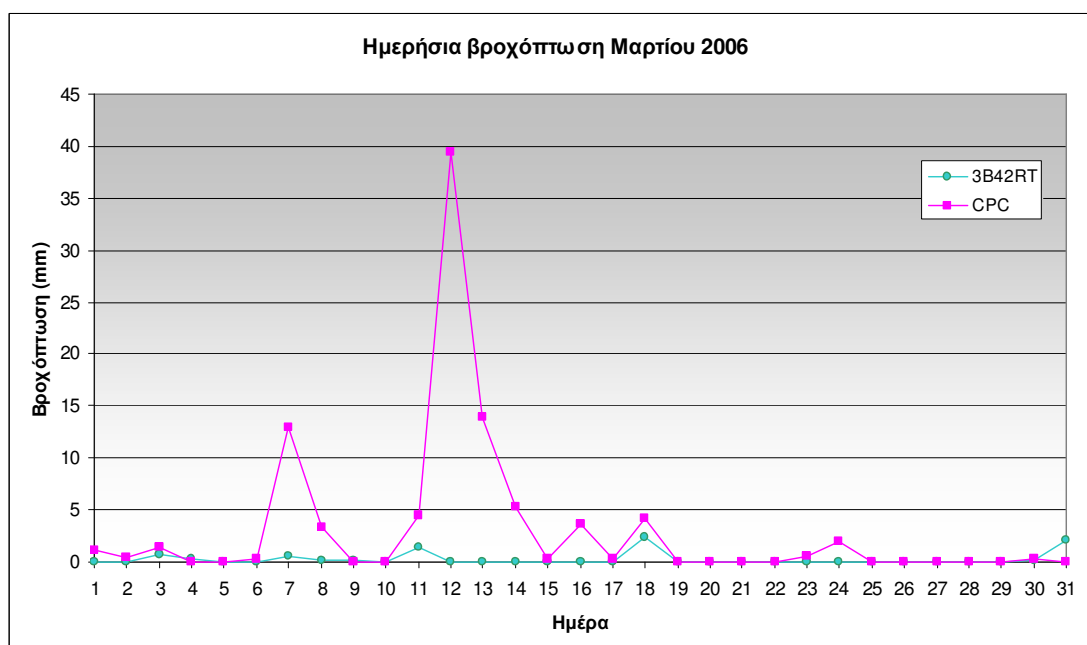


Σχήμα 8-23: Ημερήσια βροχόπτωση Φεβρουαρίου 2005.

Εξετάζοντας τους συντελεστές συσχέτισης των ημερησίων τιμών βροχόπτωσης σε κάθε μήνα (Σχήμα 8-21), παρατηρείται ότι η συσχέτιση των βροχοπτώσεων είναι μεγαλύτερη κατά τους φθινοπωρινούς (μπλε) μήνες και μικρότερη κατά τους χειμερινούς (κίτρινο), εαρινούς (πορφυρό) και θερινούς (πράσινο). Η μικρότερη συσχέτιση εμφανίζεται τους μήνες Ιανουάριο και Ιούλιο. Στο δε Σχήμα 8-22 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές των συντελεστών συσχέτισης, επιβεβαιώνοντας έτσι την προηγούμενη παρατήρηση.



Σχήμα 8-24: Διαφορά ημερήσιας βροχόπτωσης 3B42RT και CPC (2/2005).



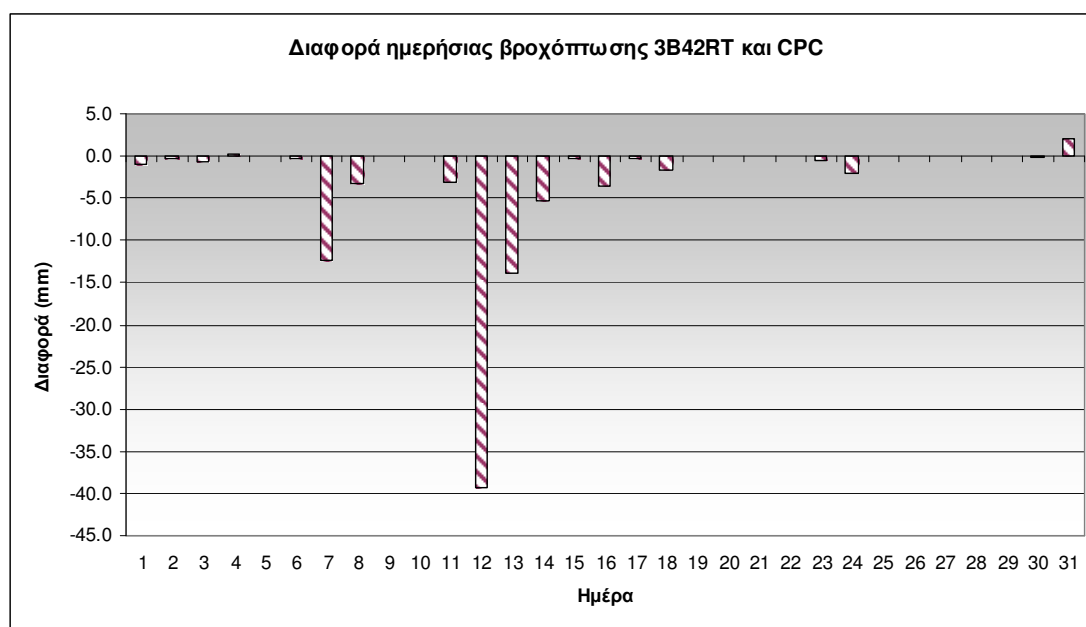
Σχήμα 8-25: Ημερήσια βροχόπτωση Μαρτίου 2006.

Στη συνέχεια, εξετάζονται ο Φεβρουάριος του 2005 και ο Μάρτιος του 2006, δυο από τους πλέον βροχερούς μήνες της τελευταίας πενταετίας. Κατά τη διάρκεια των μηνών



αυτών, έλαβαν χώρα σημαντικές πλημμύρες. Για το Φεβρουάριο του 2005 (Σχήμα 8-23), το μηνιαίο ύψος βροχής κατά τις επίγειες μετρήσεις είναι κατά 80.3% μεγαλύτερο από αυτό που προκύπτει μέσω του 3B42RT. Η διακύμανση της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του μήνα δεν αποτυπώνεται ορθά στο δορυφορικό προϊόν, με διαφοροποίηση κυρίως ως προς το μέγεθος των αιχμών, αλλά και ως προς τη χρονική στιγμή εμφάνισής τους. Οι διαφορές των ημερησίων τιμών βροχόπτωσης του 3B42RT ως προς του CPC παρουσιάζονται στο Σχήμα 8-24. Θετικές τιμές των διαφορών υποδηλώνουν υπερεκτίμηση των τιμών του 3B42RT ως προς του CPC, ενώ αρνητικές τιμές σημαίνουν υπεκτίμηση.

Αντίστοιχα για το Μάρτιο του 2006, η ημερήσια βροχόπτωση σύμφωνα με το 3B42RT και το CPC εμφανίζεται στο Σχήμα 8-25. Ενώ καθ' όλη τη διάρκεια του μήνα το 3B42RT υπεκτιμά το συνολικό ύψος βροχής συγκρινόμενο με το CPC, η διακύμανση της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια της ημέρας βρίσκεται σε συμφωνία. Οι διαφορές των ημερησίων τιμών βροχόπτωσης του 3B42RT ως προς του CPC παρουσιάζονται στο Σχήμα 8-26. Θετικές τιμές των διαφορών υποδηλώνουν υπερεκτίμηση των τιμών του 3B42RT ως προς του CPC, ενώ αρνητικές τιμές σημαίνουν υπεκτίμηση.



**Σχήμα 8-26:** Διαφορά ημερήσιας βροχόπτωσης 3B42 και CPC (3/2006).

Ο Πίνακας 8-8 περιλαμβάνει τις τιμές των στατιστικών δεικτών των ημερησίων τιμών βροχόπτωσης του 3B42RT.

**Πίνακας 8-8:** Στατιστικοί δείκτες ημερήσιας βροχόπτωσης 3B42RT.

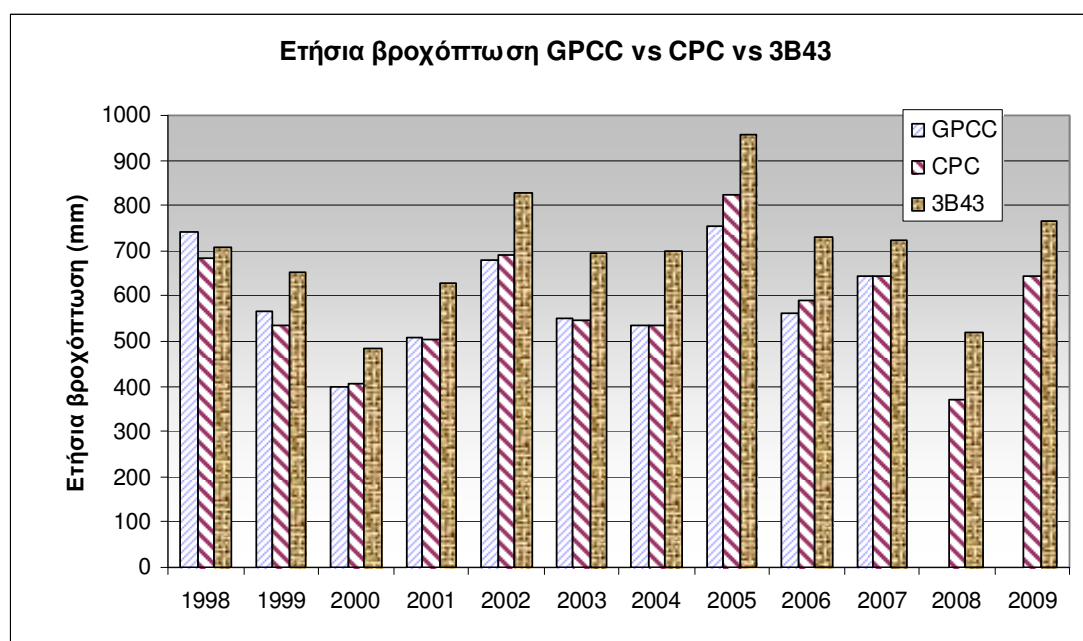
	3B42RT
<b>BIAS (%)</b>	-16.96
<b>MAE</b>	2.374
<b>RMSE</b>	4.726
<b>R</b>	0.05

## 8.4 Σύγκριση 3B43 με επίγειες μετρήσεις

Από το σύνολο των δεδομένων λήφθηκε η χρονική περίοδος 1-1998 έως 12-2007 (GPCC) και 12-2009 (CPC). Λόγω της διαφορετικής χωρικής ανάλυσης των καννάβων του 3B43 και των GPCC και CPC, χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των τεσσάρων αντίστοιχων κυττάρων του πρώτου για να βρεθεί μία τιμή που αντιστοιχεί στον αδρότερο κάνναβο του δεύτερου. Επίσης, εξαιτίας της διαφορετικής χρονικής ανάλυσης των δεδομένων, οι δορυφορικές μετρήσεις αθροίστηκαν, ώστε να προκύψει η ετήσια εκτίμηση του δορυφορικού προϊόντος και να συγκριθούν με τις αντίστοιχες ετήσιες εκτιμήσεις των GPCC και CPC.

### 8.4.1 Ετήσια βροχόπτωση

Στο Σχήμα 8-27 συγκρίνεται η ετήσια βροχόπτωση που μετρήθηκε από τους επίγειους σταθμούς των δικτύου GPCC και CPC με αυτή που εκτιμήθηκε βάσει του προϊόντος 3B43 του δορυφόρου TRMM κατά την περίοδο 1/1998 έως 12/2009. Όσον αφορά τις ετήσιες τιμές της βροχόπτωσης, προκύπτει ότι στο προϊόν 3B43 γίνεται υπερεκτίμηση της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια όλης της χρονικής περιόδου, με εξαίρεση το έτος 1998, κατά το οποίο οι βροχοπτώσεις που λαμβάνονται από το προϊόν 3B43 δεν είναι ορθές. Για το λόγο αυτό, αγνοείται από τις αναλύσεις που γίνονται στη συνέχεια το εν λόγω έτος.



Σχήμα 8-27: Ετήσιες βροχοπτώσεις GPCC, CPC και 3B43.

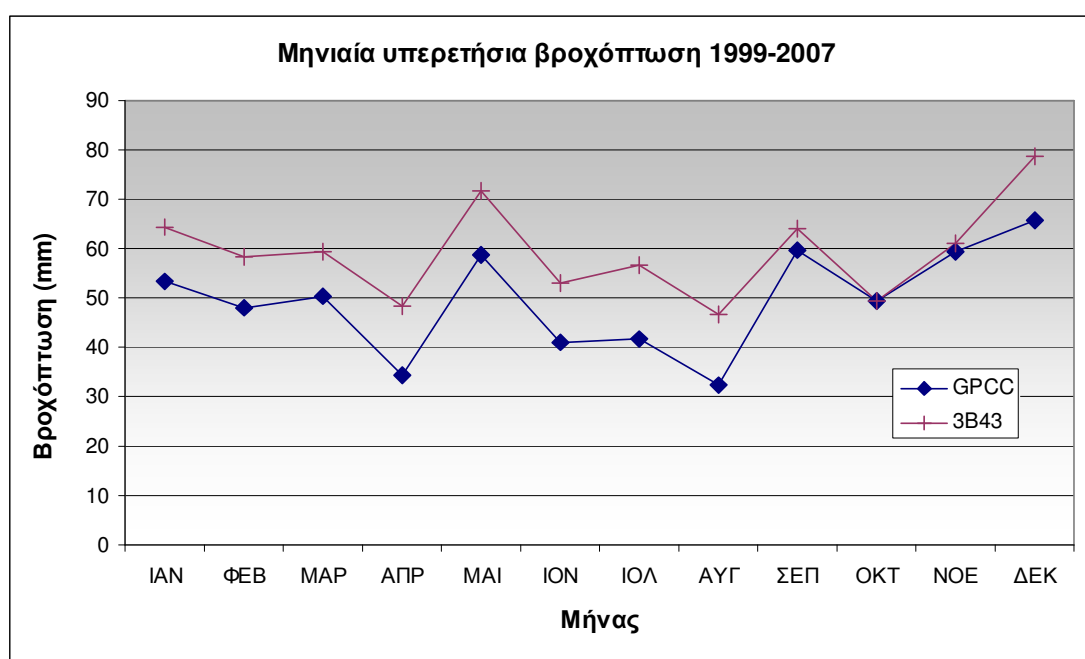
Πίνακας 8-9: Στατιστικοί δείκτες ετήσιας βροχόπτωσης 3B43.

	GPCC	CPC
<b>BIAS (%)</b>	23.27	22.44
<b>MAE</b>	131.28	70.59
<b>RMSE</b>	141.19	80.09
<b>R</b>	0.956	0.978

Οι τιμές των στατιστικών δεικτών των ετησίων βροχοπτώσεων των τριών χρονοσειρών δίδονται στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 8-9).

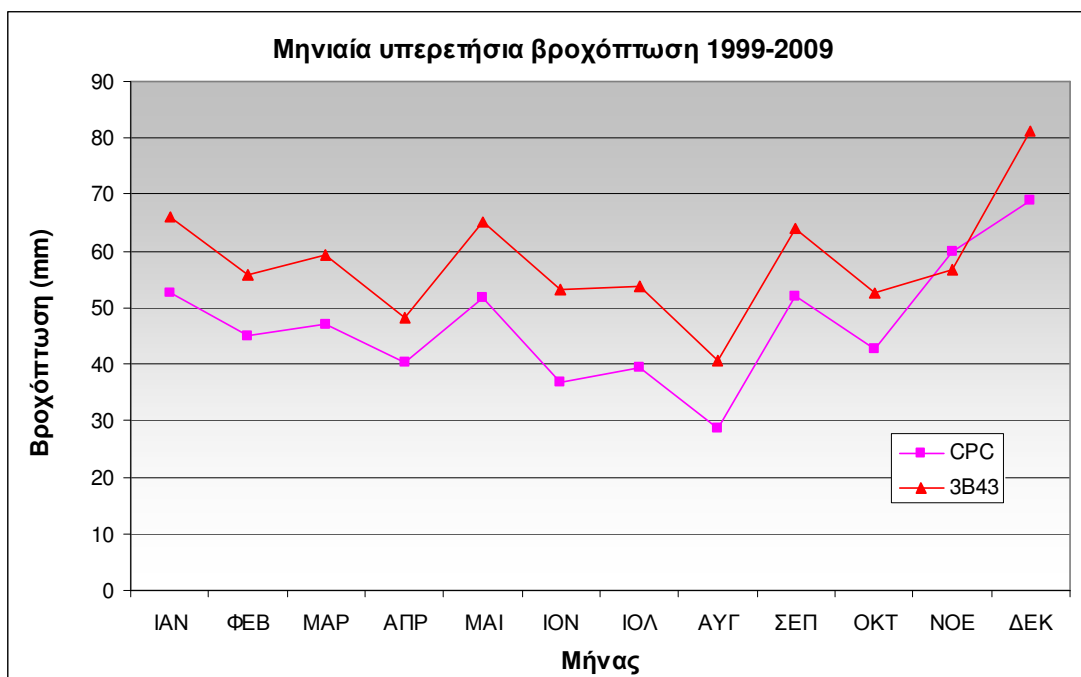
#### 8.4.2 Μηνιαία υπερετήσια βροχόπτωση

Όσον αφορά τις μηνιαίες υπερετήσιες τιμές της βροχόπτωσης που εκφράζουν την εποχιακή διακύμανσή της, αυτές έχουν σχεδιαστεί για το GPCC και το 3B43 στο Σχήμα 8-28 και για το CPC και το 3B43 στο Σχήμα 8-29. Προκύπτει ότι σε όλους τους μήνες εκτός των φθινοπωρινών, τα δορυφορικά δεδομένα υπερεκτιμούν τη βροχόπτωση συγκριτικά με το επίγειο δίκτυο του GPCC. Κατά τους φθινοπωρινούς μήνες, η υπερεκτίμηση είναι πολύ μικρή ενώ το μήνα Οκτώβριο η επιφανειακή βροχόπτωση είναι πρακτικά ίδια. Ο συντελεστής συσχέτισης των 12 ζευγών τιμών μηνιαίας υπερετήσιας βροχόπτωσης λαμβάνει την τιμή 0.877.



Σχήμα 8-28: Μηνιαίες υπερετήσιες βροχοπτώσεις GPCC και 3B43.

Αντίστοιχα, για τα 3B42 και CPC, η επίσης καλή συσχέτιση των μηνιαίων υπερετήσιων τιμών επαληθεύεται και από την τιμή του συντελεστή συσχέτισης, που είναι ίση με 0.884. Γενικά το 3B43 υπερεκτιμά τη βροχόπτωση σε σχέση με το CPC εκτός από τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο στο οποίο υπεκτιμά τη βροχόπτωση.



Σχήμα 8-29: Μηνιαίες υπερετήσιες βροχοπτώσεις CPC και 3B43.

Πίνακας 8-10: Στατιστικοί δείκτες μηνιαίας υπερετήσιας βροχόπτωσης 3B43.

	GPCC	CPC
<b>BIAS (%)</b>	19.86	22.44
<b>MAE</b>	9.83	10.81
<b>RMSE</b>	10.95	11.66
<b>R</b>	0.877	0.884

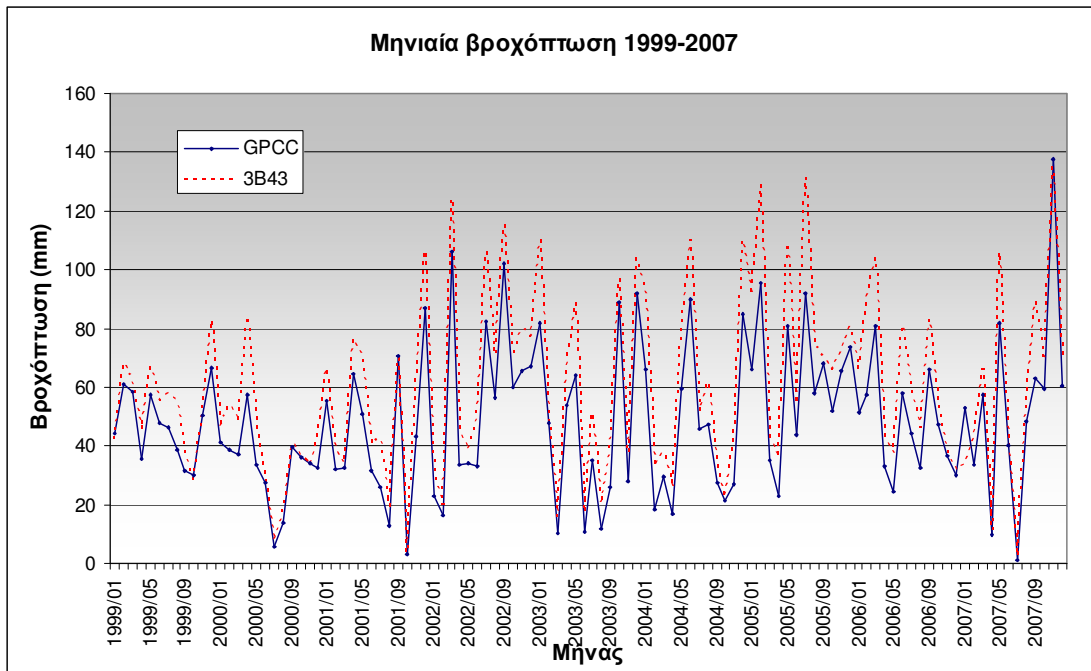
### 8.4.3 Μηνιαία βροχόπτωση

Ο συντελεστής συσχέτισης των μηνιαίων χρονοσειρών 3B43 και GPCC για το διάστημα 1/1999 έως 12/2007 είναι 0.962. Από το Σχήμα 8-30 προκύπτει ότι σε όλους τους μήνες υπάρχει συμφωνία στη διακύμανση της αθροιστικής βροχόπτωσης, με τις δορυφορικές μετρήσεις να υπερεκτιμούν το συνολικό ύψος βροχής σε σχέση με τις επίγειες μετρήσεις GPCC.

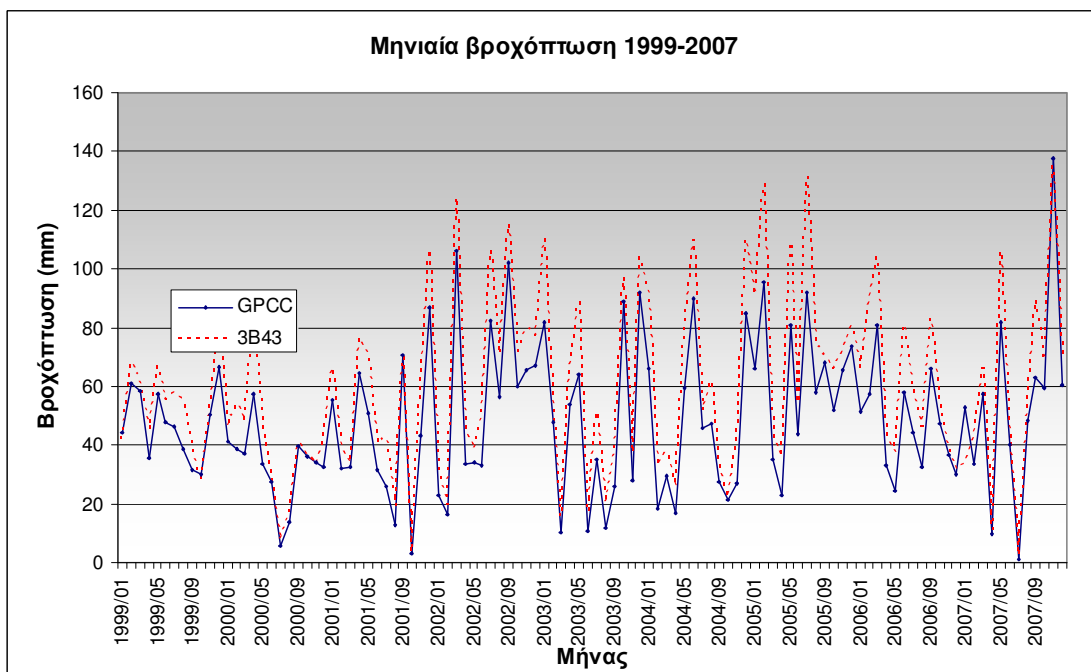
Όσον αφορά το συντελεστή συσχέτισης των μηνιαίων χρονοσειρών 3B43 και CPC για το διάστημα 1/1999 έως 12/2009 είναι 0.922. Από το Σχήμα 8-31 προκύπτει ότι σε όλους τους μήνες υπάρχει συμφωνία στη διακύμανση της αθροιστικής βροχόπτωσης, με τις δορυφορικές μετρήσεις να υπερεκτιμούν το συνολικό ύψος βροχής σε σχέση με τις επίγειες μετρήσεις CPC. Ο Πίνακας 8-11 περιλαμβάνει τις τιμές των στατιστικών δεικτών των μηνιαίων βροχοπτώσεων των τριών χρονοσειρών.

Πίνακας 8-11: Στατιστικοί δείκτες μηνιαίας βροχόπτωσης 3B43.

	GPCC	CPC
<b>BIAS (%)</b>	23.27	22.44
<b>MAE</b>	11.69	12.40
<b>RMSE</b>	14.40	15.94
<b>R</b>	0.962	0.922



Σχήμα 8-30: Σύγκριση μηνιαίας βροχόπτωσης GPCC και 3B43.



Σχήμα 8-31: Σύγκριση μηνιαίας βροχόπτωσης GPC και 3B43.

### 8.5 Διόρθωση του 3B42RT

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν στις παραγράφους 8.2 και 8.3, προκύπτει ότι ενώ το 3B42 έχει καλή συσχέτιση με τις επίγειες μετρήσεις ακόμα και σε ημερήσιο χρονικό βήμα, η απόδοση του 3B42RT δεν είναι το ίδιο καλή. Η έλλειψη της βαθμονόμησης του 3B42RT αποδεικνύεται ζωτικής σημασίας, τόσο σε επίπεδο συνολικού όγκου βροχόπτωσης όσο και σε επίπεδο χρονικής διακύμανσης της έντασης της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου.

Παρόλα τα προβλήματα που καταρχήν εμφανίζονται κατά τη επαλήθευση του 3B42RT, διαφαίνεται ότι είναι δυνατή η διόρθωσή του χρησιμοποιώντας τις επίγειες μετρήσεις CPC. Ο στόχος της εργασίας αυτής έγκειται στην εύρεση μίας ή περισσοτέρων σχέσεων, που θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν λαμβάνοντας υπόψη:

- Την τιμή του 3B42RT
- Την τιμή του 3B42 (όταν υπάρχει)
- Τη χρονική στιγμή (π.χ. μήνας, εποχή, κ.λ.π.)

και να επιστρέφουν τη διορθωμένη τιμή του 3B42RT. Το σύνολο των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθεί για την κατάρτιση των σχέσεων αυτών αρχίζει από 1/2/2002 και τελειώνει στις 31/12/2008. Το χρονικό διάστημα από 1/1/2009 έως 31/12/2009 θα χρησιμοποιηθεί για την επαλήθευση των σχέσεων διόρθωσης.

Για την αξιολόγηση της απόδοσης των σχέσεων διόρθωσης, θα χρησιμοποιηθούν οι στατιστικοί δείκτες που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.7.2. Μετά από δοκιμές, διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχει μία καθολική σχέση για τη διόρθωση του 3B42RT. Βρέθηκε ότι καλύτερα αποτελέσματα προκύπτουν αν χρησιμοποιηθούν ξεχωριστές σχέσεις για κάθε εποχή χωριστά και ακόμα καλύτερα αν γίνει χρήση μίας σχέσης για κάθε μήνα. Η υιοθέτηση της τελευταίας διαπίστωσης, οδήγησε στην εύρεση και χρήση μίας διαφορετικής σχέσης διόρθωσης της βροχόπτωσης του 3B42RT για κάθε μήνα.

Στις ακόλουθες παραγράφους παρατίθενται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της διόρθωσης των μετρήσεων του 3B42RT.

### 8.5.1 Με χρήση μετρήσεων CPC και 3B42

Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 8-12) παρουσιάζονται συνοπτικά οι στατιστικοί δείκτες της διόρθωσης του 3B42RT με βάση τα CPC και 3B42. Στο Σχήμα 8-32 φαίνεται η επαλήθευση των εξισώσεων διόρθωσης (Πίνακας 8-14) για τους μήνες Ιανουάριο έως και Δεκέμβριο του 2009.

**Πίνακας 8-12:** Στατιστικοί δείκτες διόρθωσης 3B42RT με CPC και 3B42.

Μήνας	BIAS (%)	MAE	RMSE	R	Eff
Ιανουάριος	-59.629	0.793	2.204	0.736	-2.193
Φεβρουάριος	226.199	0.419	1.245	0.896	0.354
Μάρτιος	-48.653	0.501	1.123	0.503	-0.482
Απρίλιος	-42.415	1.492	3.999	0.914	-0.041
Μάιος	126.088	1.055	2.215	0.372	0.120
Ιούνιος	-29.419	1.298	1.953	0.576	-0.170
Ιούλιος	-37.159	0.667	1.574	0.581	-2.039
Αύγουστος	-51.903	0.236	0.847	0.606	-5.689
Σεπτέμβριος	28.881	2.513	4.208	0.728	-0.156
Οκτώβριος	-17.381	0.505	1.404	0.771	0.151
Νοέμβριος	9.578	2.359	3.058	0.788	-2.131
Δεκέμβριος	21.642	1.261	2.051	0.793	0.604

Σημειώνεται ότι κατά την εφαρμογή των εξισώσεων (8-8) έως (8-19), εάν η διορθωμένη τιμή του 3B42RT προκύπτει αρνητική, τίθεται ίση με το μηδέν. Επίσης, στην περίπτωση που το ημερήσιο ύψος βροχής είναι πολύ μικρό (<0.1 mm), τότε τίθεται ίσο με την επίγεια τιμή του, καθώς δεν είναι δυνατή η μέτρησή του στα

προϊόντα 3B42 και 3B42RT. Τέλος, γίνεται διόρθωση εκ των υστέρων στην περίπτωση που το ημερήσιο ύψος βροχής είναι πολύ μεγάλο (>10 mm) με βάση τις επίγειες μετρήσεις.

Γενικά, παρατηρείται ότι η διόρθωση είναι περισσότερη επιτυχής κατά τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες και λιγότερο κατά τους εαρινούς και τους θερινούς. Πολύ αυξημένες τιμές συστηματικού σφάλματος εμφανίζονται κατά τους μήνες Φεβρουάριο και Μάιο.

### 8.5.2 Με χρήση μετρήσεων CPC

Όταν η πρόγνωση των πλημμυρών γίνεται σε πραγματικό χρόνο, τα μόνα διαθέσιμα δεδομένα είναι οι δορυφορικές μετρήσεις του 3B42RT με υστέρηση μερικών ωρών και οι ημερήσιες μετρήσεις του CPC με υστέρηση συνήθως μίας ημέρας και 12 ωρών. Συνεπώς η διόρθωση των μετρήσεων του 3B42RT με μετρήσεις του 3B42 δεν μπορεί να επιτελείται σε πραγματικό χρόνο, καθώς οι μετρήσεις του δευτέρου δημοσιεύονται με υστέρηση τουλάχιστον ενάμιση μήνα.

Για το λόγο αυτό, έγινε μια προσπάθεια διόρθωσης των μετρήσεων του 3B42RT με βάση μόνο τις επίγειες μετρήσεις του CPC. Αρχικά, χρησιμοποιούνται τα κοινά ιστορικά ζεύγη μετρήσεων της περιόδου 2/2002 έως 12/2008. Από τα ζεύγη αυτά, αφαιρούνται οι μηδενικές ή σχεδόν μηδενικές τιμές (<0.1 mm αθροιστικό ύψος βροχόπτωσης). Η αφαίρεση των τιμών αυτών επιβάλλεται, καθώς σε αρκετές χρονικές στιγμές η δορυφορική κυρίως καταγραφή είναι μηδενική, ενώ η επίγεια έχει τιμή σαφώς μεγαλύτερη του μηδενός, με αποτέλεσμα αν ληφθούν υπόψη στη συσχέτιση των δυο χρονοσειρών, το αποτέλεσμα να μην είναι ορθό.

Αφού συσχετιστούν για κάθε μήνα οι δυο χρονοσειρές, χρησιμοποιείται η εξίσωση που προκύπτει στις δορυφορικές μετρήσεις του αντίστοιχου μήνα του έτους 2009, ώστε να ληφθεί η διορθωμένη δορυφορική μέτρηση. Εν συνεχεία, συγκρίνεται η διορθωμένη χρονοσειρά με τις αντίστοιχες επίγειες μετρήσεις, αγνοώντας πάλι τα μηδενικά ζεύγη τιμών. Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 8-13) παρουσιάζονται συνοπτικά οι τιμές των στατιστικών δεικτών ανά μήνα των εξισώσεων διόρθωσης του 3B42RT με βάση το CPC. Στο Σχήμα 8-33 φαίνεται η επαλήθευση των εξισώσεων διόρθωσης (Πίνακας 8-15) για τους μήνες Ιανουάριο έως και Δεκέμβριο του 2009.

**Πίνακας 8-13:** Στατιστικοί δείκτες διόρθωσης 3B42RT με CPC.

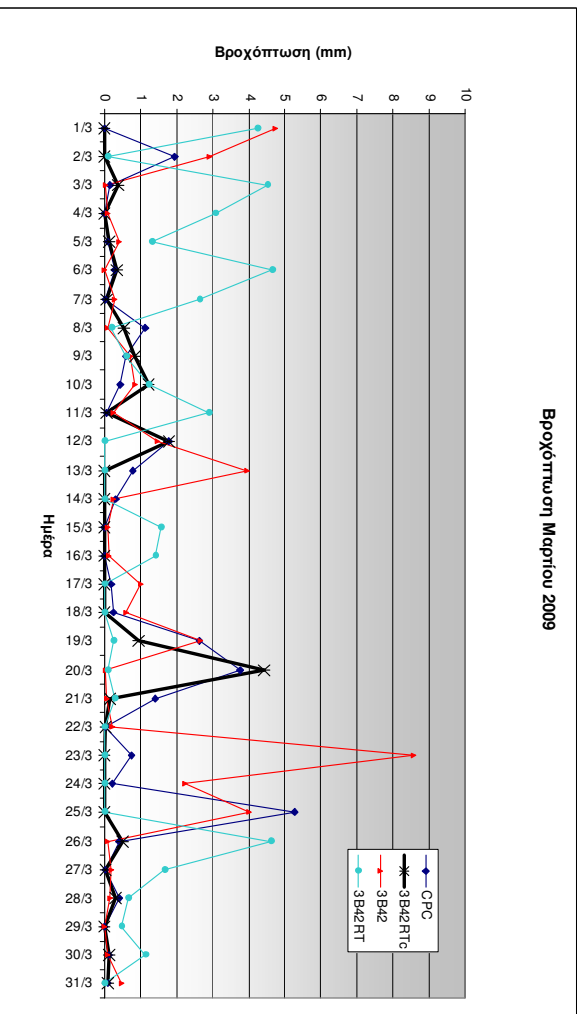
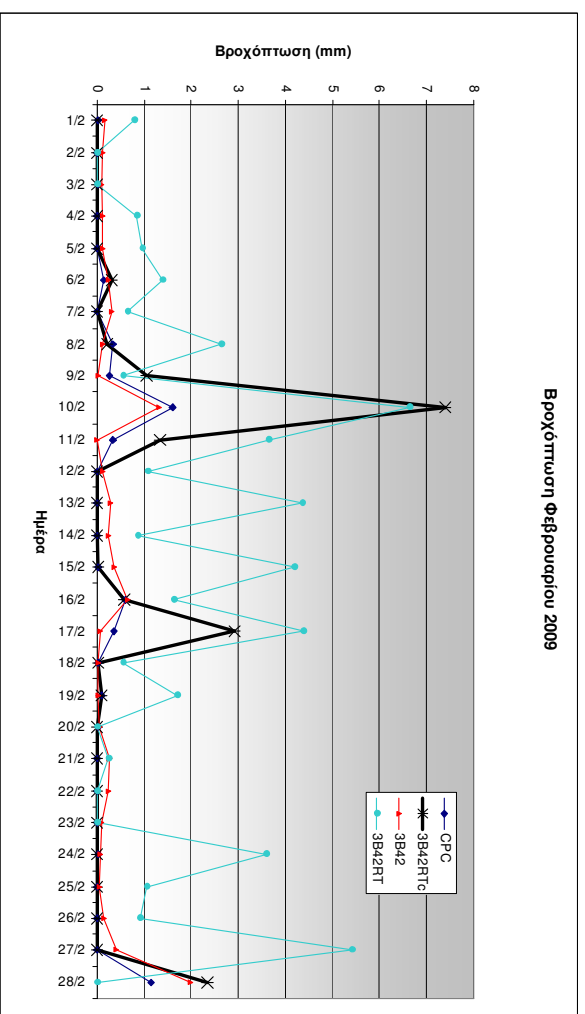
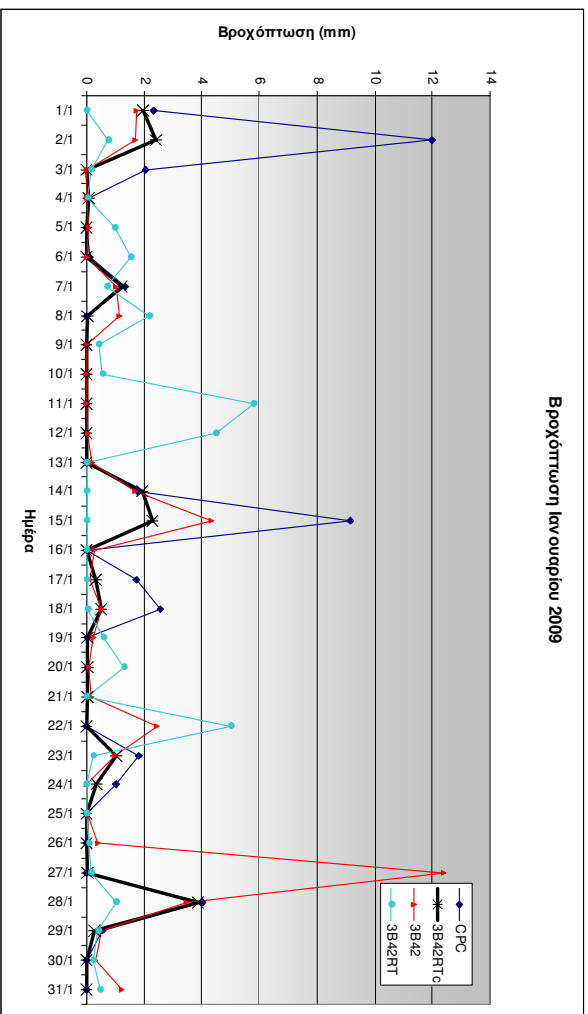
Μήνας	BIAS (%)	MAE	RMSE	R	Eff
Ιανουάριος	-19.609	0.901	2.118	0.620	-1.262
Φεβρουάριος	191.061	0.346	0.924	0.875	0.418
Μάρτιος	70.386	0.705	1.274	0.639	0.334
Απρίλιος	-63.192	0.952	1.306	0.858	0.335
Μάιος	50.002	0.395	0.765	0.824	0.635
Ιούνιος	4.972	1.257	1.587	0.543	0.068
Ιούλιος	-17.971	0.517	1.231	0.788	-0.336
Αύγουστος	17.107	0.273	0.925	0.614	0.304
Σεπτέμβριος	-16.054	1.807	2.408	0.704	-0.935
Οκτώβριος	-34.070	0.463	1.481	0.840	-1.152
Νοέμβριος	1.614	2.158	2.677	0.689	-3.292
Δεκέμβριος	11.845	0.918	1.818	0.559	-0.232

**Πίνακας 8-14:** Διόρθωση ημερήσιας βροχόπτωσης 3B42RT με CPC και 3B42.

Μήνας	Εξίσωση	
Ιανουάριος:	$z = a \cdot [\ln(x) \cdot \tanh(y)] + b \cdot [\cos(x) \cdot \cos(y)] + c$ <b>a:</b> 1.47536, <b>b:</b> -1.41299, <b>c:</b> 1.76596	(8-8)
Φεβρουάριος:	$z = a + b \cdot y + c \cdot y^2 + d \cdot x + e \cdot x \cdot y + f \cdot x \cdot y^2$ <b>a:</b> 2.06688, <b>b:</b> -2.16862, <b>c:</b> 0.53976 <b>d:</b> 0.13836, <b>e:</b> 0.80112, <b>f:</b> -0.19305	(8-9)
Μάρτιος:	$z = a + b \cdot x + \frac{c}{y} + d \cdot x^2 + \frac{e}{y^2} + f \cdot \frac{x}{y}$ <b>a:</b> 0.41254, <b>b:</b> 1.4371, <b>c:</b> -0.26247 <b>d:</b> -0.05946, <b>e:</b> 0.051585, <b>f:</b> -0.23981	(8-10)
Απρίλιος:	$z = \frac{a + b \cdot x + c \cdot y}{1 + d \cdot x + e \cdot y} + f$ <b>a:</b> 0, <b>b:</b> -0.07828, <b>c:</b> 0.46543 <b>d:</b> -2.13847, <b>e:</b> 15.74037, <b>f:</b> 0.83654	(8-11)
Μάιος:	$z = a + b \cdot y + c \cdot y^2 + d \cdot x + e \cdot x \cdot y + f \cdot x \cdot y^2$ <b>a:</b> 0.493, <b>b:</b> -1.9991, <b>c:</b> 1.16 <b>d:</b> 0.89389, <b>e:</b> 1.5611, <b>f:</b> -1.9846	(8-12)
Ιούνιος:	$z = a + b \cdot y + c \cdot x + d \cdot x \cdot y + e \cdot x^2 + f \cdot x^2 \cdot y$ <b>a:</b> 1.4267, <b>b:</b> 0.6611, <b>c:</b> -0.31167 <b>d:</b> -0.5224, <b>e:</b> 0.02421, <b>f:</b> 0.07877	(8-13)
Ιούλιος:	$z = \frac{1}{a + b \cdot x + c \cdot y + d \cdot x^2 + e \cdot y^2}$ <b>a:</b> 1.96228, <b>b:</b> -0.52844, <b>c:</b> -0.5678 <b>d:</b> 0.04638, <b>e:</b> 0.25878	(8-14)
Αύγουστος:	$z = \frac{1}{a + b \cdot x + c \cdot y + d \cdot x^2 + e \cdot y^2}$ <b>a:</b> 1.8809, <b>b:</b> -0.2977, <b>c:</b> -1.1892 <b>d:</b> 0.01454, <b>e:</b> 0.62643	(8-15)
Σεπτέμβριος:	$z = a + b \cdot x + c \cdot y + d \cdot x^2 + e \cdot y^2 + f \cdot x \cdot y$ <b>a:</b> 1.023118, <b>b:</b> 0.18539, <b>c:</b> -0.3482 <b>d:</b> 0.04844, <b>e:</b> 0.19336, <b>f:</b> 0.02418	(8-16)
Οκτώβριος:	$z = \frac{a + b \cdot x + c \cdot y}{1 + d \cdot \ln(x) + e \cdot \ln(y)}$ <b>a:</b> 2.6928, <b>b:</b> -1.511, <b>c:</b> -0.1183 <b>d:</b> -1.6531, <b>e:</b> -0.2385	(8-17)
Νοέμβριος:	$z = \frac{1}{a + b \cdot x + c \cdot y + d \cdot x^2 + e \cdot y^2 + f \cdot x \cdot y}$ <b>a:</b> 0.8554, <b>b:</b> -0.3129, <b>c:</b> 0.01561 <b>d:</b> 0.03898, <b>e:</b> 0.03428, <b>f:</b> -0.031	(8-18)
Δεκέμβριος:	$z = a \cdot \left( \sqrt{\frac{x}{y}} \right) + b \cdot \left( \frac{e^x}{e^y} \right)$ <b>a:</b> 1.8098, <b>b:</b> 0.00602	(8-19)

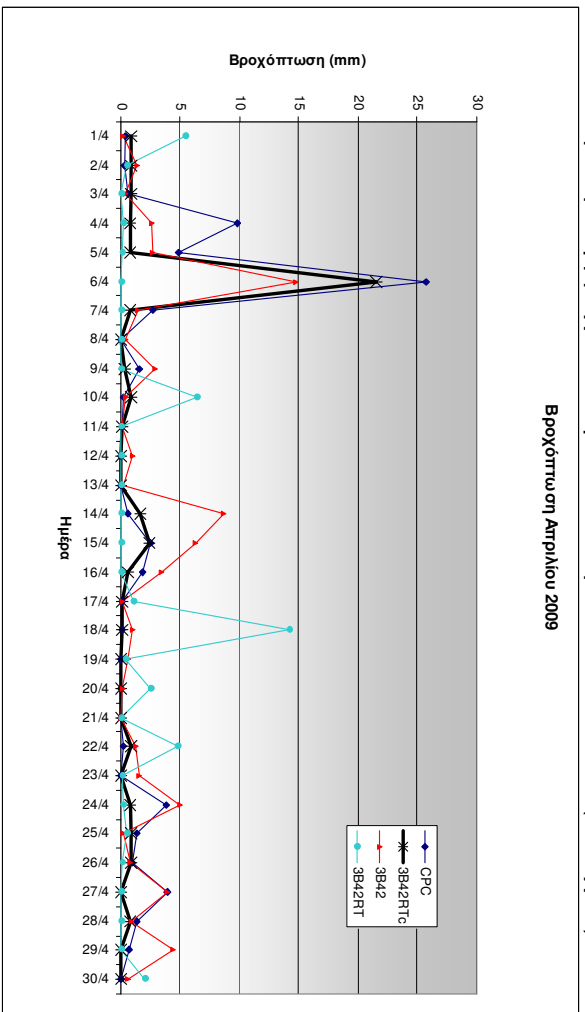


Σχήμα 8-32: Διορθωμένη Βροχόπτωση 3B42RT c με CPC και 3B42 (2009).

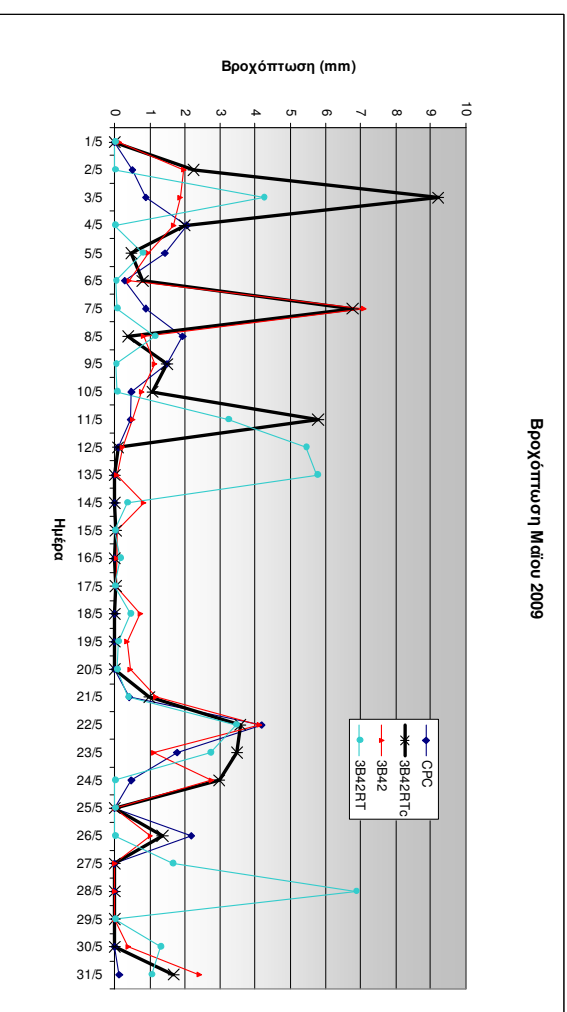


Διορθωμένη βροχόπτωση 3B42RTc με CPC και 3B42 (συνέχεια)

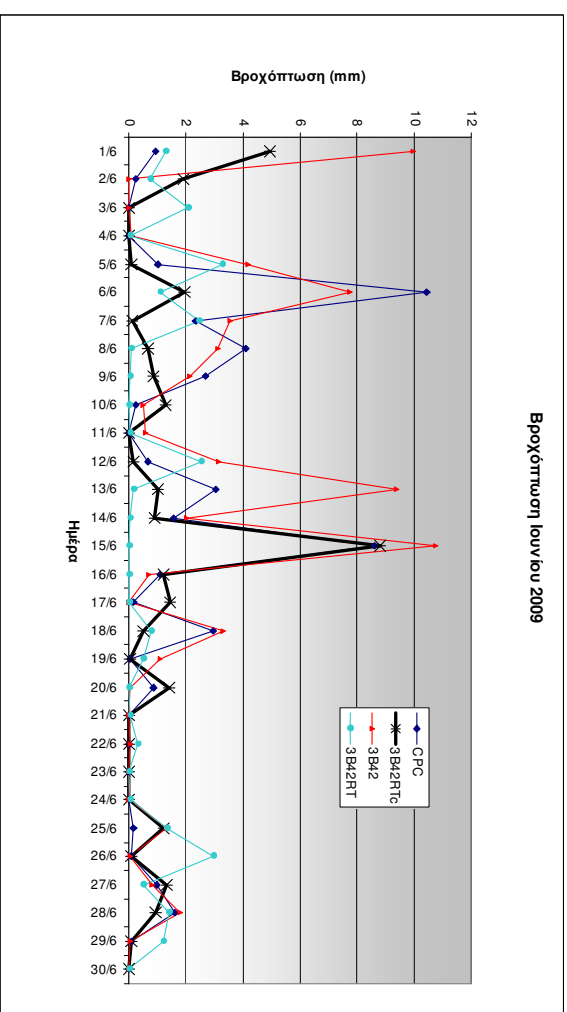
Βροχόπτωση Απριλίου 2009



Βροχόπτωση Μαΐου 2009

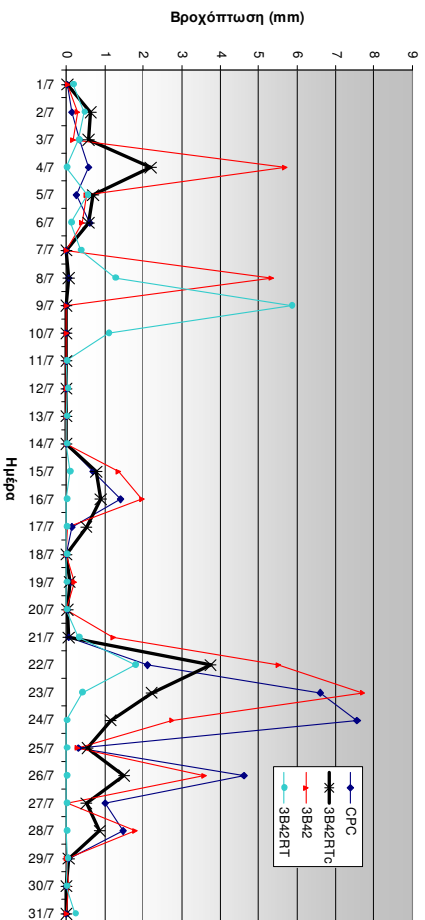


Βροχόπτωση Ιουνίου 2009

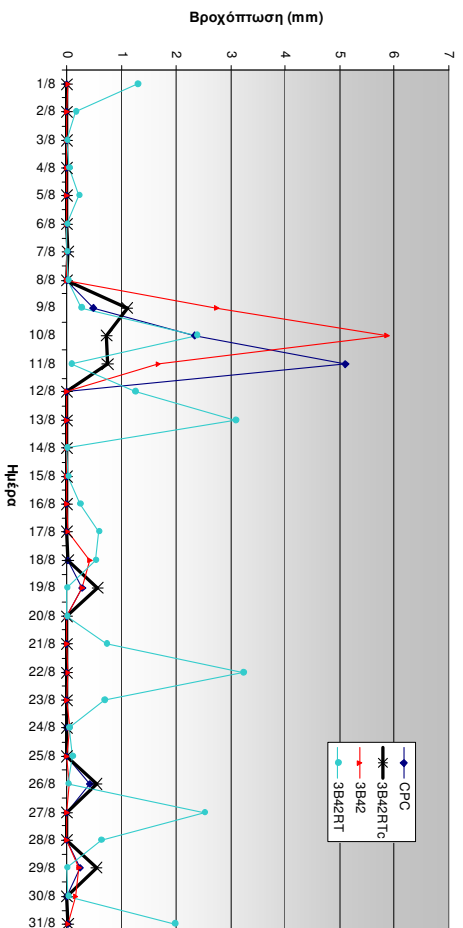


### Διορθωμένη βροχόπτωση 3B42RTc με CPC και 3B42 (συνέχεια)

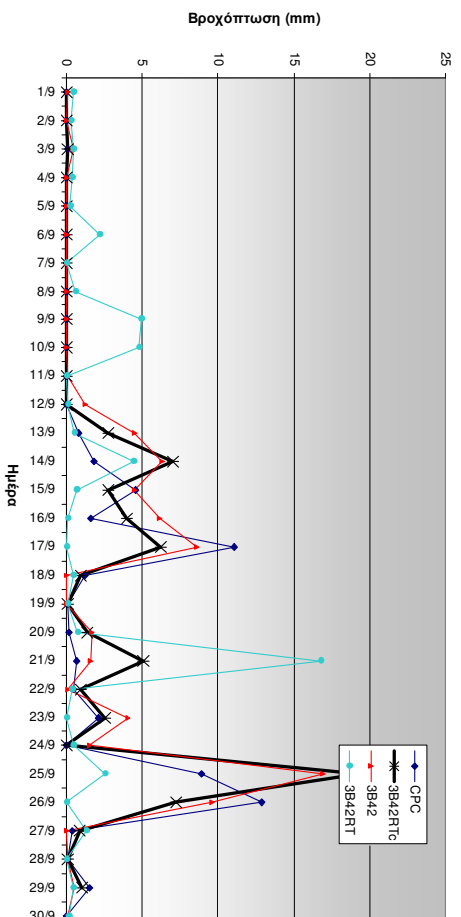
Βροχόπτωση Ιουλίου 2009



Βροχόπτωση Αυγούστου 2009

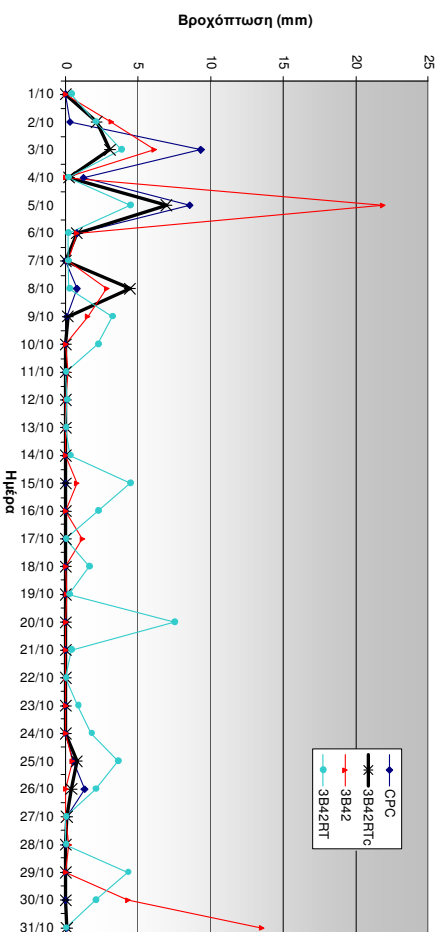


Βροχόπτωση Σεπτεμβρίου 2009

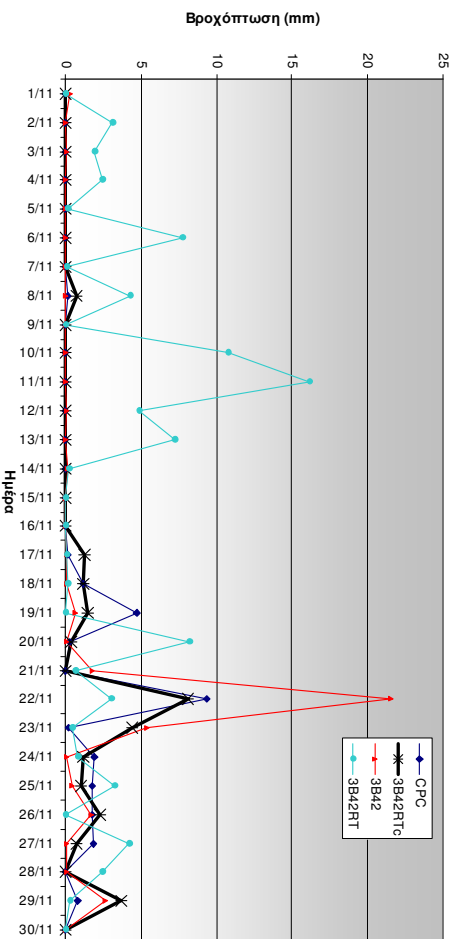


Διορθωμένη βροχόπτωση 3B42RTc με CPC και 3B42 (συνέχεια)

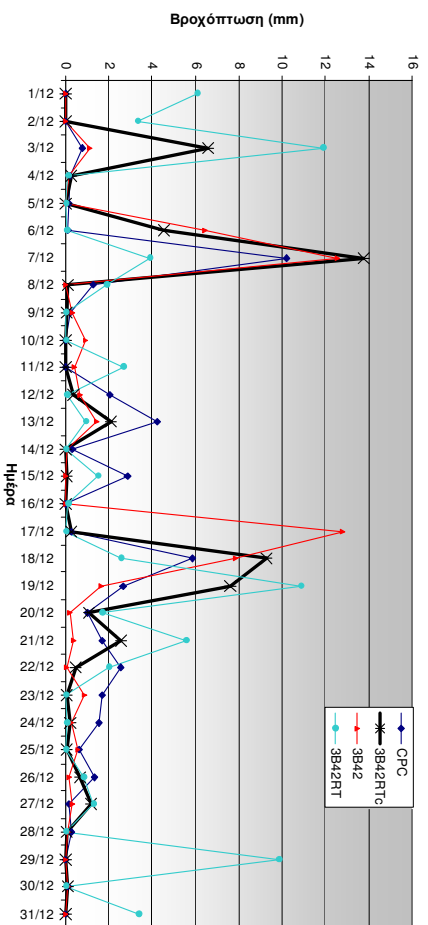
Βροχόπτωση Οκτωβρίου 2009



Βροχόπτωση Νοεμβρίου 2009



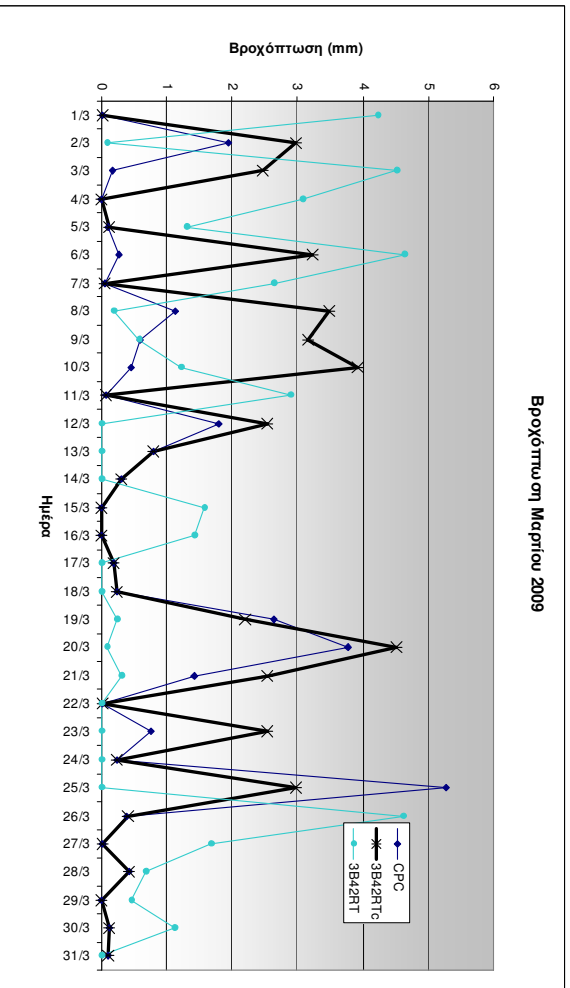
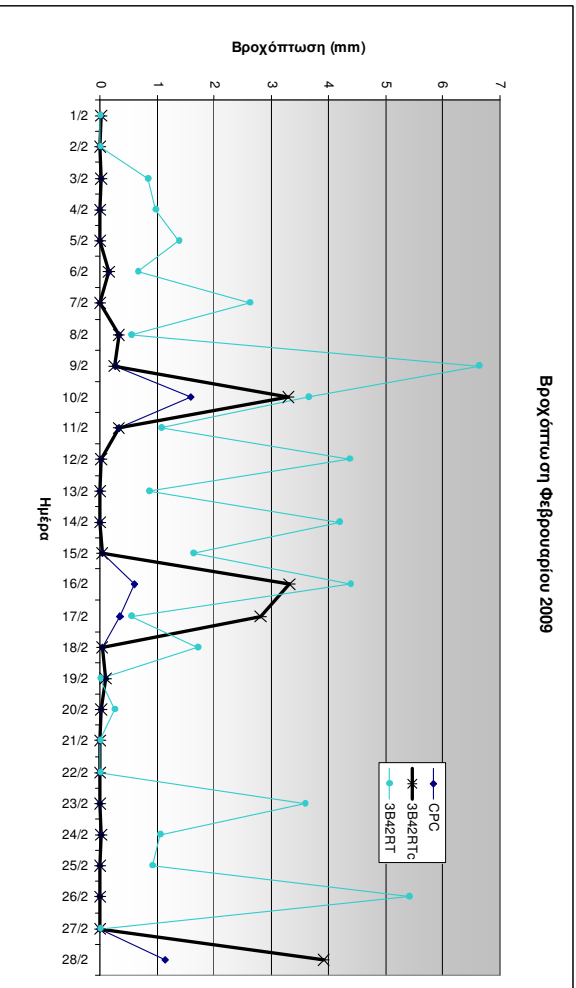
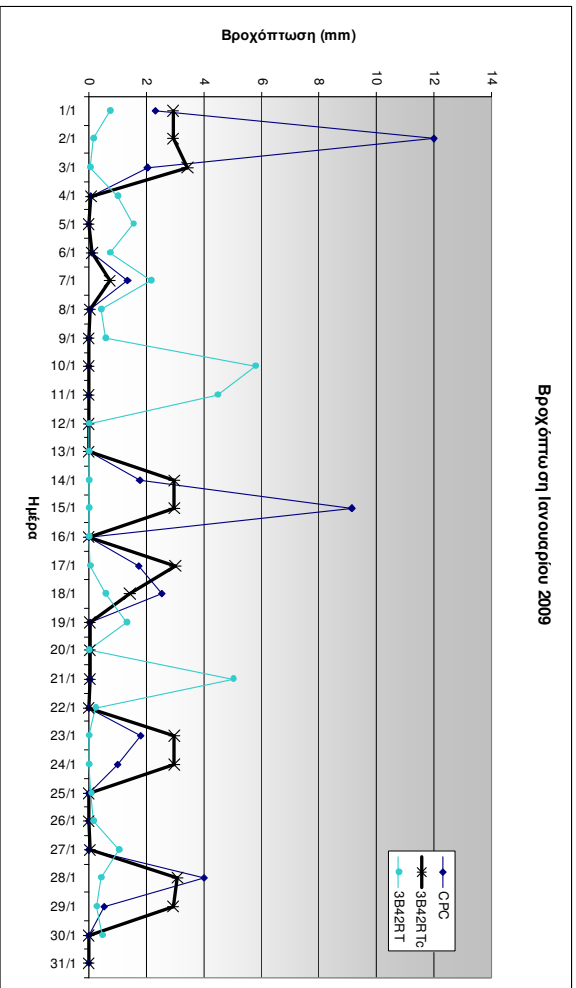
Βροχόπτωση Δεκεμβρίου 2009



Πίνακας 8-15: Διόρθωση ημερήσιας βροχόπτωσης 3B42RT με CPC.

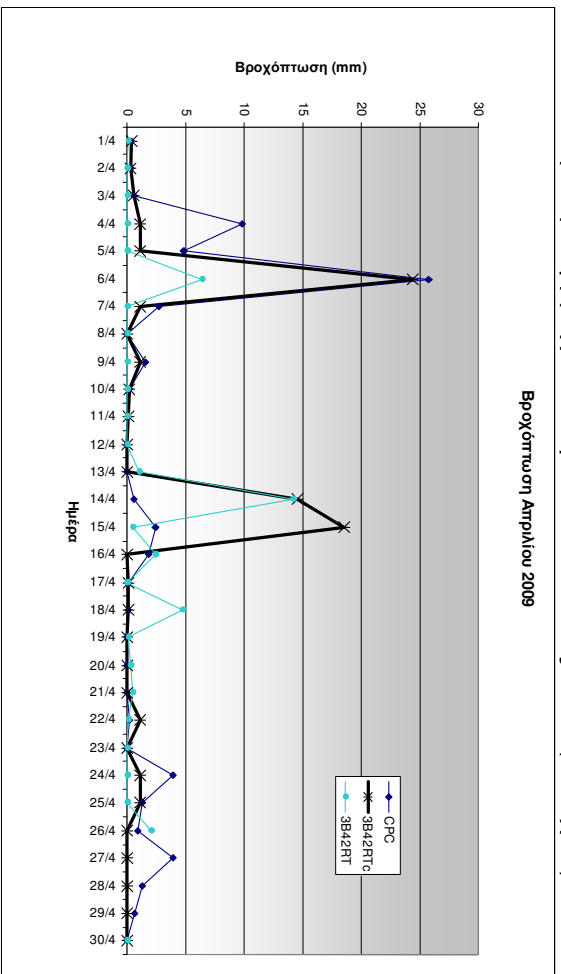
Μήνας	Εξίσωση	
Ιανουάριος:	$z = a \cdot \tan(b \cdot x) + c$ <b>a: -0.17652, b: 76.17792, c: 2.9867</b>	(8-20)
Φεβρουάριος:	$z = \frac{a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3}{1 + e \cdot x + f \cdot x^2 + g \cdot x^3}$ <b>a: 3.91278, b: -47.81441, c: 85.3905</b> <b>d: -10.4039, e: -13.9356, f: 25.7682, g: -3.1604</b>	(8-21)
Μάρτιος:	$z = \frac{a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3}{1 + e \cdot x + f \cdot x^2 + g \cdot x^3}$ <b>a: 2.5411, b: -32.11, c: 90.6978</b> <b>d: -26.8839, e: -11.8948, f: 30.5937, g: -9.008</b>	(8-22)
Απρίλιος:	$z = \frac{a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3}{1 + e \cdot x + f \cdot x^2 + g \cdot x^3}$ <b>a: 1.3439, b: -8.7181, c: 6.01845</b> <b>d: -1.67187, e: -5.9707, f: 2.1136, g: -0.5736</b>	(8-23)
Μάιος:	$z = \frac{a \cdot (x^2 + b \cdot x)}{x^2 + c \cdot x + d} + e$ <b>a: 0.13517, b: -1.3096, c: -3.001</b> <b>d: 2.2286, e: 2.71498</b>	(8-24)
Ιούνιος:	$z = a \cdot \sin(b \cdot x + c) + d$ <b>a: -1.74438, b: 279.7533, c: -1019.6, d: 2.3333</b>	(8-25)
Ιούλιος:	$z = a \cdot \tan(b \cdot x + c) + d$ <b>a: -0.13008, b: -6.3257, c: 3.74704, d: 2.2173</b>	(8-26)
Αύγουστος:	$z = \frac{a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3}{1 + e \cdot x + f \cdot x^2 + g \cdot x^3}$ <b>a: 1.6066, b: -7.7025, c: 5.35375</b> <b>d: -1.01536, e: -5.1508, f: 3.9054, g: -0.806</b>	(8-27)
Σεπτέμβριος:	$z = \frac{a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3}{1 + e \cdot x + f \cdot x^2 + g \cdot x^3}$ <b>a: 3.745, b: -49.942, c: 150.714</b> <b>d: -62.232, e: -14.022, f: 44.166, g: -17.325</b>	(8-28)
Οκτώβριος:	$z = a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3 + e \cdot x^4 + f \cdot x^5 + g \cdot x^6$ <b>a: 0.227, b: 8.1552, c: -8.0439</b> <b>d: 2.9353, e: -0.45851, f: 0.03045, g: -0.00065</b>	(8-29)
Νοέμβριος:	$z = a \cdot \tan(b \cdot x) + c$ <b>a: -0.20464, b: -599.117, c: 3.0261</b>	(8-30)
Δεκέμβριος:	$z = \frac{a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3}{1 + e \cdot x + f \cdot x^2 + g \cdot x^3}$ <b>a: 2.2172, b: -16.6073, c: 7.6545</b> <b>d: 0.81272, e: -7.3054, f: 4.0387, g: -0.05013</b>	(8-31)

**Σχήμα 8-33: Διορθωμένη Βροχόπτωση 3B42RTc με CPC (2009).**

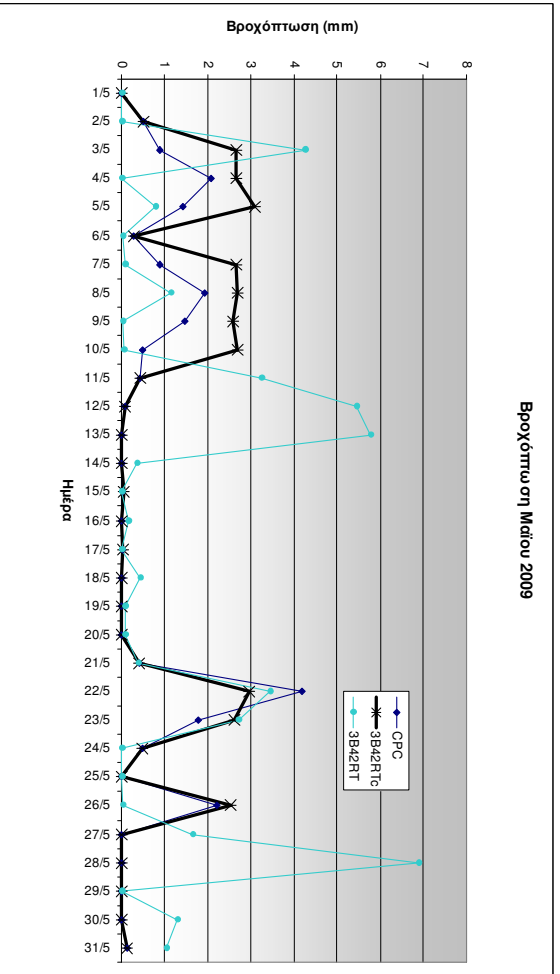


## Διορθωμένη Βροχόπτωση 3B42RTc έτους 2009 (συνέχεια)

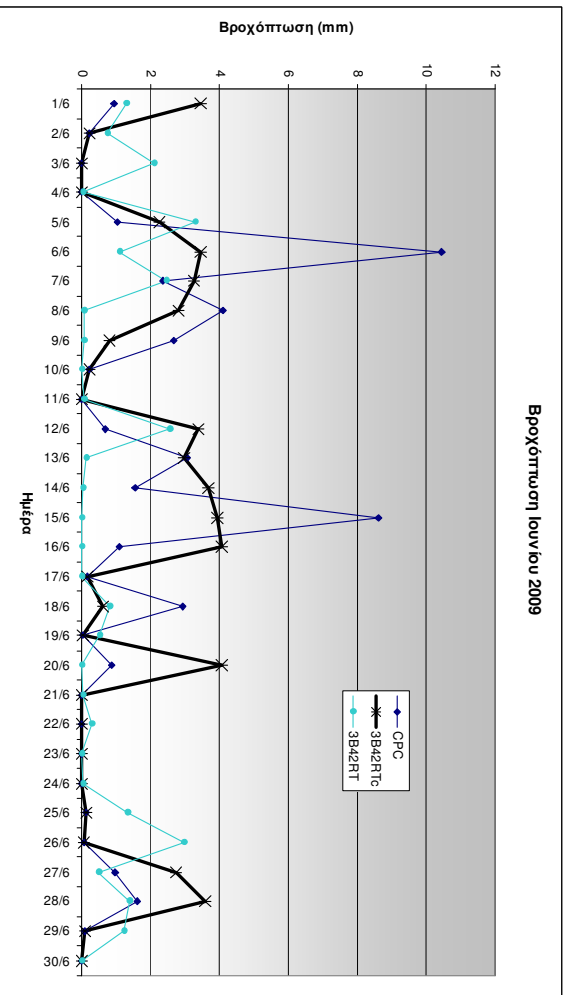
Βροχόπτωση Απριλίου 2009



Βροχόπτωση Μαΐου 2009

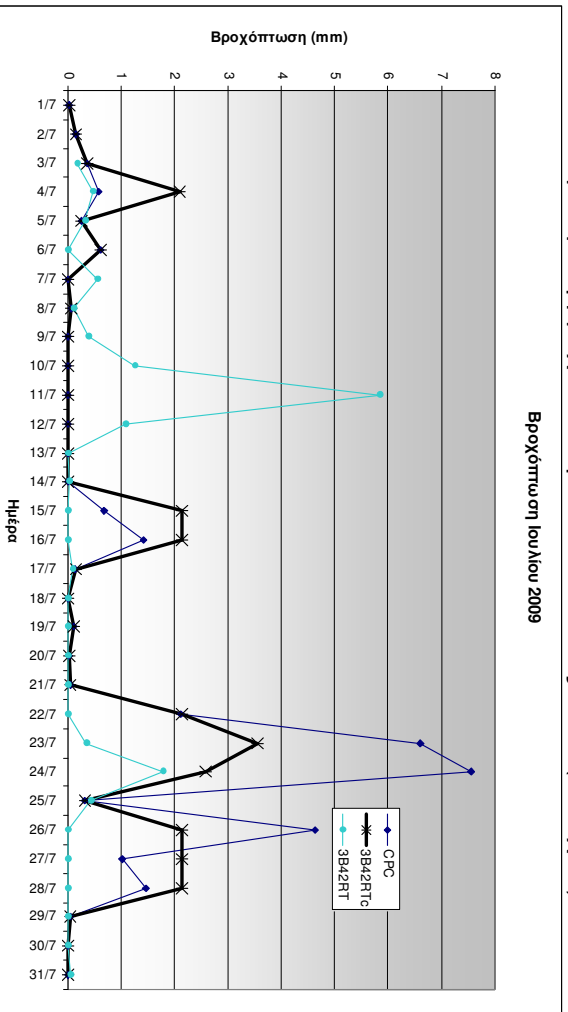


Βροχόπτωση Ιουνίου 2009

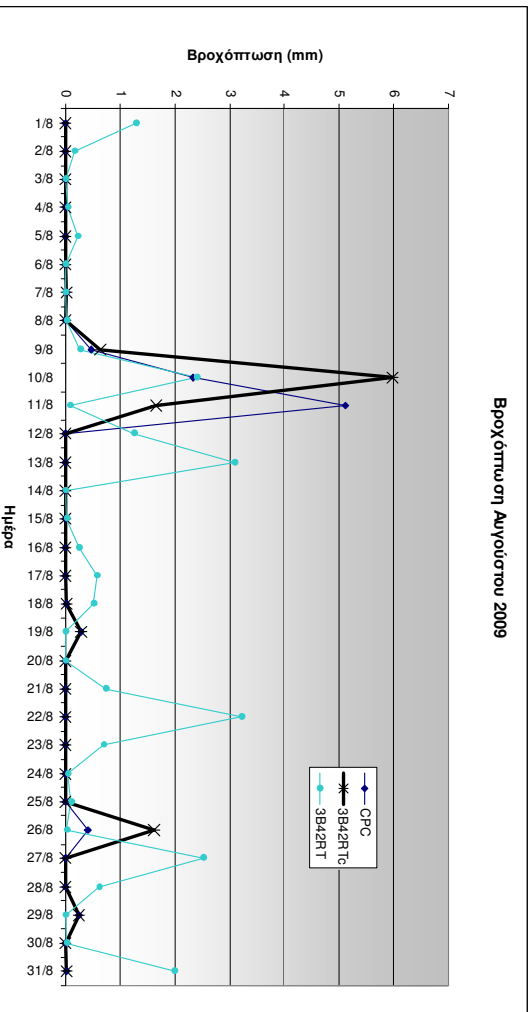


Διορθωμένη Βροχόπτωση 3B42RTc έτους 2008 (συνέχεια)

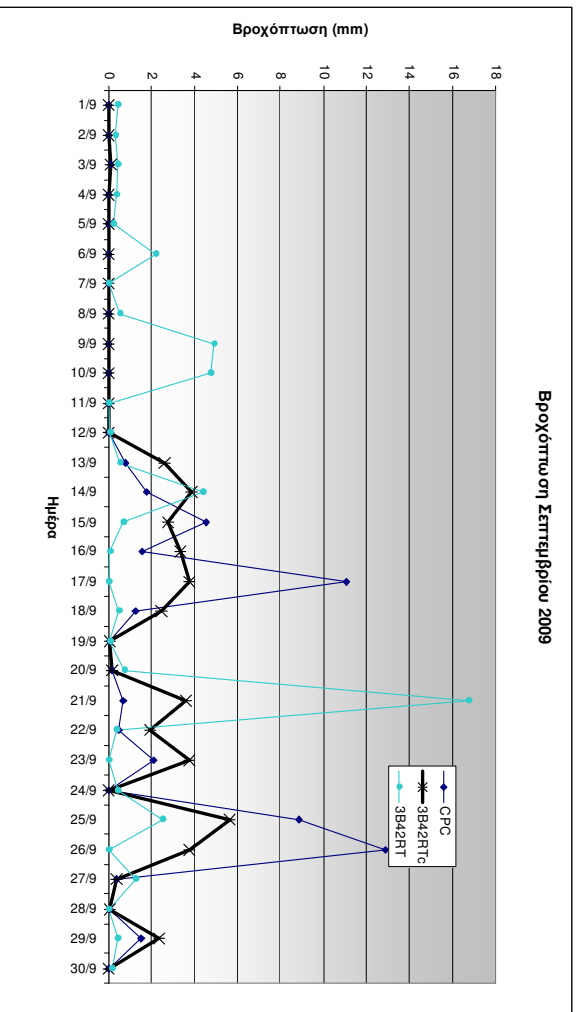
Βροχόπτωση Ιουλίου 2009



Βροχόπτωση Αυγούστου 2009



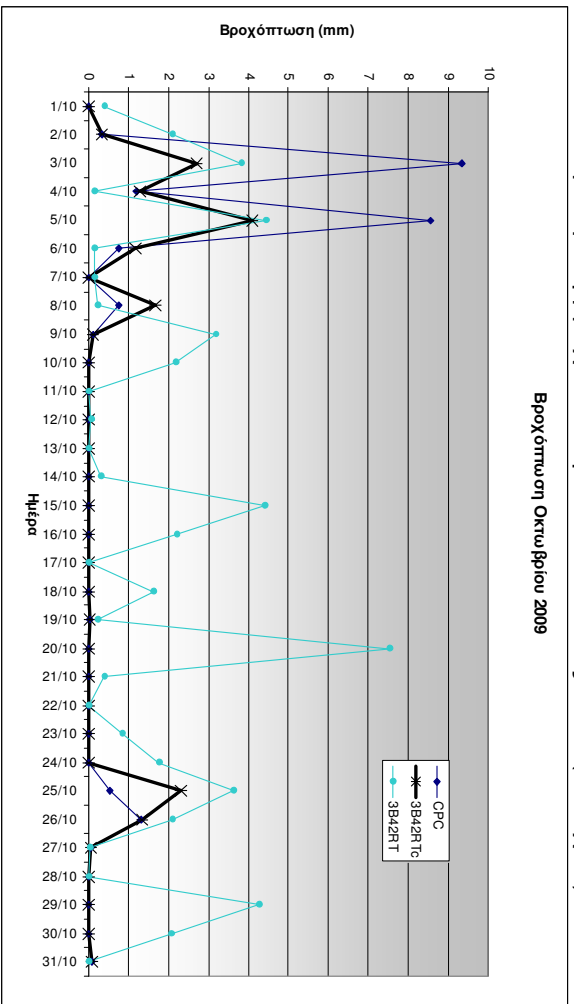
Βροχόπτωση Σεπτεμβρίου 2009



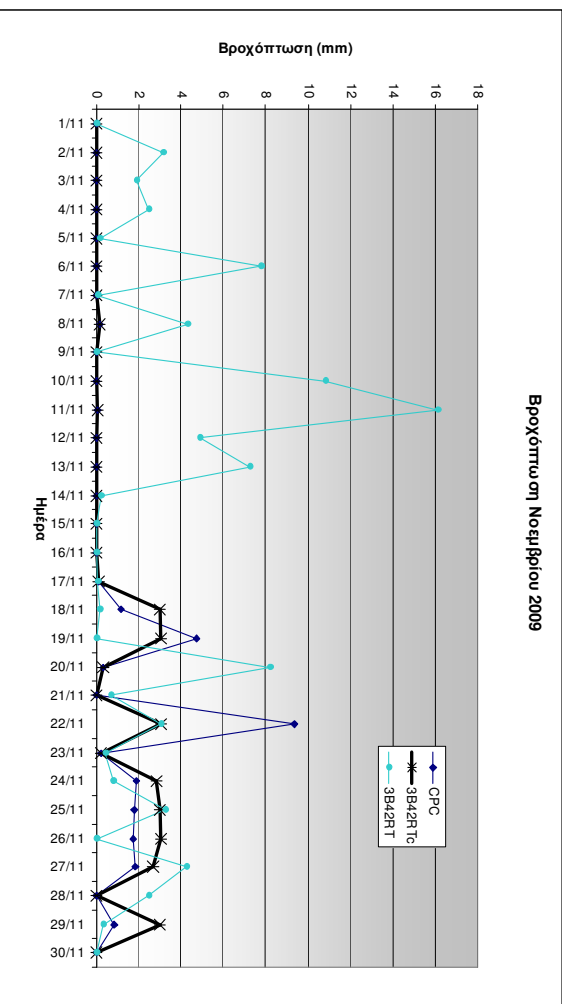


Διορθωμένη Βροχόπτωση 3B42RTc έτους 2009 (συνέχεια)

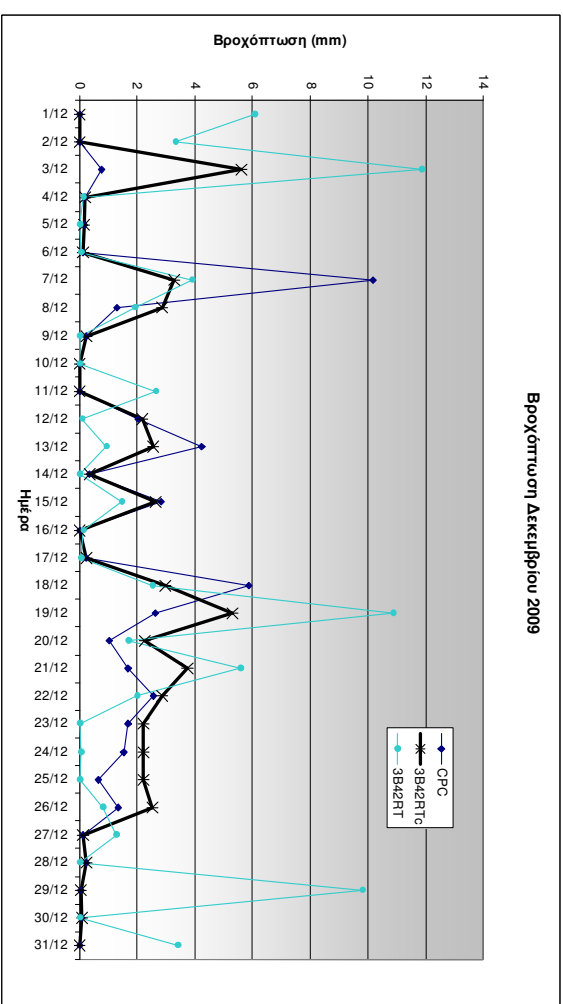
Βροχόπτωση Οκτωβρίου 2009



Βροχόπτωση Νοεμβρίου 2009



Βροχόπτωση Δεκεμβρίου 2009



## 8.6 Ημερήσια βροχόπτωση ΑΤΣ

Τα δεδομένα αθροιστικής βροχόπτωσης από τους έξι εγκατεστημένους Αυτόματους Τηλεμετρικούς Σταθμούς στο νομό Έβρου (παράγραφος 6.3) είναι διαθέσιμα για την περίοδο 2/7/2008 έως 31/12/2009, με ελλείψεις στην καταγραφή των δεδομένων μεταξύ 10/6/2009 και 1/10/2009, καθώς κατά τη χρονική αυτή διάρκεια οι παροχές των ποταμών ήταν πολύ μικρές και τα όργανα απομακρύνθηκαν από τις θέσεις τους για βαθμονόμηση και τακτική συντήρηση.

Για τους μήνες κατά τους οποίους υπάρχει διαθεσιμότητα δεδομένων, υπολογίστηκαν οι ημερήσιες και μηνιαίες αθροιστικές βροχοπτώσεις σύμφωνα με την παράγραφο 4.4.5 και συγκρίθηκαν με τα υπόλοιπα προϊόντα βροχοπτώσεων (CPC, 3B42, 3B42RT και 3B43). Παράλληλα, ελέγχθηκε το κατά πόσον κατά τη διάρκεια που πραγματικά καταγραφόταν βροχόπτωση από τους επίγειους ΑΤΣ, τα δορυφορικά προϊόντα έδειχναν επίσης βροχόπτωση. Η τελευταία αυτή ενέργεια υλοποιήθηκε με βάση το πρόγραμμα SSM (παράγραφος 4.3), το οποίο υπολόγισε όλες τις ακριβείς χρονικές στιγμές κατά τις οποίες οι δορυφόροι της συστάδας TRMM βρίσκονται πάνω από τις θέσεις εγκατάστασης των ΑΤΣ και τις συνέκρινε με τις αντίστοιχες καταγραφές.

Οι βροχοπτώσεις που καταγράφονται στην ελληνική πλευρά της λεκάνης απορροής του π. Έβρου δεν μπορούν προφανώς να χρησιμοποιηθούν για την πρόγνωση πλημμυρών, καθώς με αυτές μπορεί να εκτιμηθεί μόλις το 6% της επιφανειακής βροχόπτωσης στη λεκάνη απορροής. Ωστόσο, στην περίπτωση που οι τιμές των δυο κατακρημνίσεων, ήτοι της μετρημένης από τους ΑΤΣ και αυτής που λαμβάνεται από ένα εκ των υπολοίπων προϊόντων διαφέρουν κατά μια προκαθορισμένη ποσότητα, π.χ. 20%, τότε εμφανίζεται ένα προειδοποιητικό μήνυμα στο πρόγραμμα EFLOOD.

### 8.6.1 Μηνιαία βροχόπτωση

Στο ακόλουθο Σχήμα 8-34 παρουσιάζονται οι αθροιστικές μηνιαίες βροχοπτώσεις που καταγράφηκαν αφενός μεν από το δίκτυο Αυτόματων Τηλεμετρικών Σταθμών και αφετέρου από τα λοιπά προϊόντα, δορυφορικά (3B42, 3B42RT, 3B42) και μη (CPC). Το προϊόν GPCC έχει παραληφθεί καθώς δεν υπάρχουν δεδομένα για τη χρονική περίοδο Ιουλίου 2008 – Δεκεμβρίου 2009.

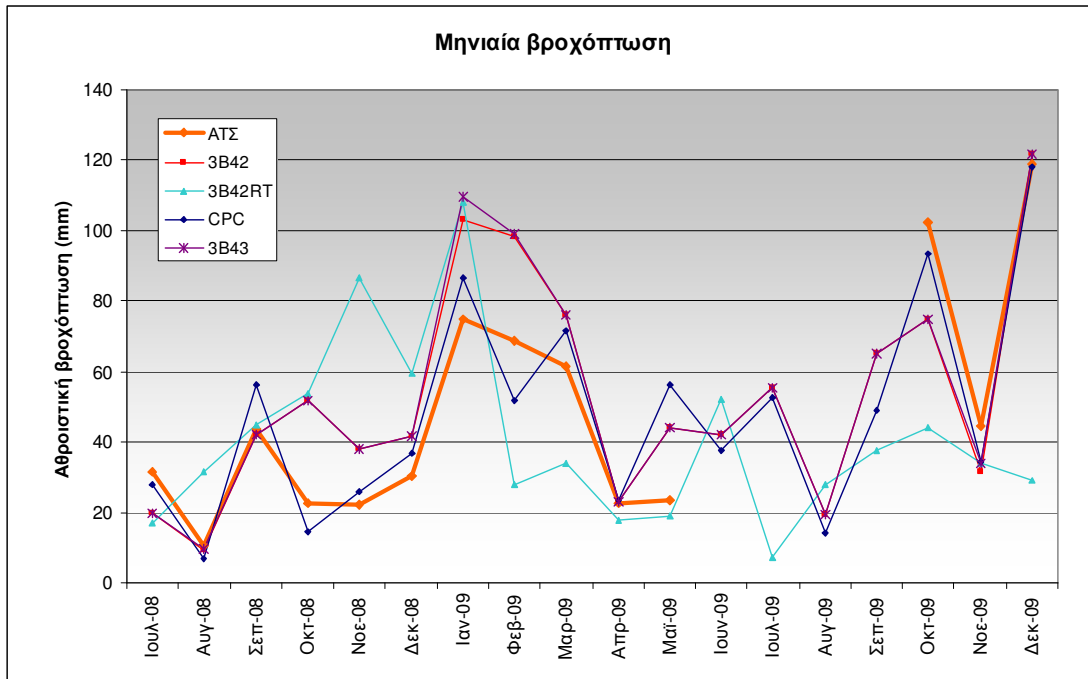
Από το Σχήμα 8-34 προκύπτει ότι με εξαίρεση το μήνα Μάιο του 2009, σε όλους τους υπόλοιπους μήνες οι μετρήσεις βροχόπτωσης των ΑΤΣ βρίσκονται σε συμφωνία με αυτές του CPC, όπως εξάλλου ήταν αναμενόμενο. Μετά δε την τελευταία βαθμονόμηση των αισθητήρων και των συστημάτων γενικότερα, για το διάστημα Οκτώβριος 2009 έως και Δεκέμβριος 2009, η συμφωνία αυτή επιτείνεται ακόμα περισσότερο, με αποτέλεσμα την ταύτιση των δυο χρονοσειρών βροχόπτωσης.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 8-16), παρατίθενται οι τιμές των κυριότερων στατιστικών δεικτών μεταξύ της χρονοσειράς βροχόπτωσης των ΑΤΣ και των λοιπών προϊόντων που συγκρίθηκαν.

Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και με εξέταση των ημερήσιων χρονοσειρών όπως παρουσιάζεται στην ακόλουθη παράγραφο 8.6.2.

**Πίνακας 8-16:** Στατιστικοί δείκτες μηνιαίας βροχόπτωσης ΑΤΣ.

	<b>CPC</b>	<b>3B42</b>	<b>3B42RT</b>	<b>3B43</b>
<b>BIAS (%)</b>	3.79	14.36	-10.49	15.83
<b>MAE</b>	9.28	14.88	30.79	15.20
<b>RMSE</b>	12.24	18.18	39.43	18.94
<b>R</b>	0.926	0.865	0.071	0.860



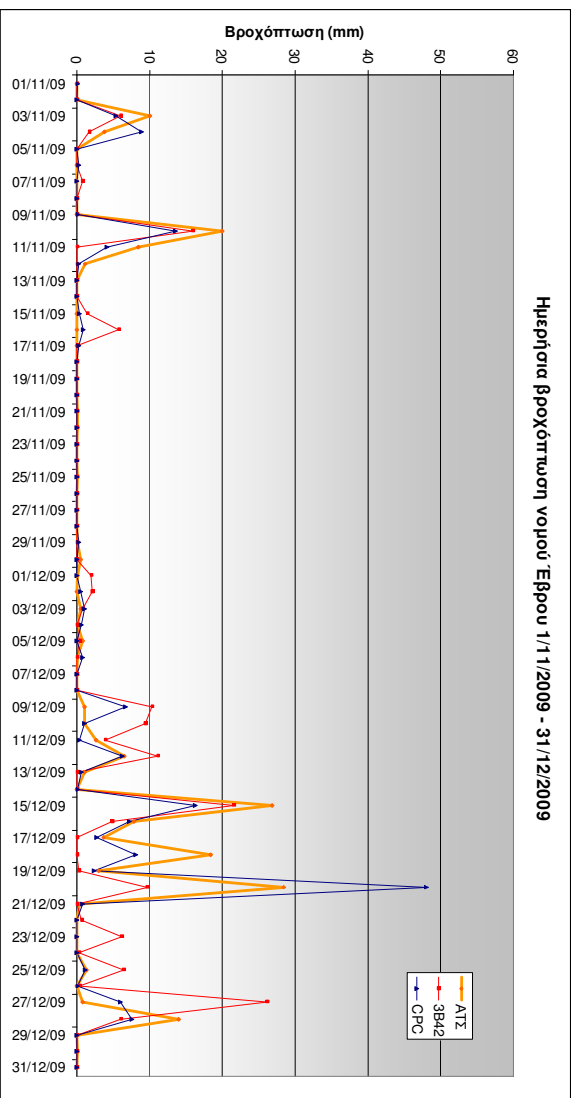
**Σχήμα 8-34:** Μηνιαία βροχόπτωση ΑΤΣ και άλλων προϊόντων.

### 8.6.2 Ημερήσια βροχόπτωση

Εξαιρώντας το 3B43 το οποίο δίδεται σε μηνιαίο χρονικό βήμα και κατά συνέπεια δεν υπάρχουν εκτιμήσεις της ημερήσιας αθροιστικής βροχόπτωσης και το 3B42RT το οποίο όπως καταδείχθηκε στην παράγραφο 8.3.4 παρουσιάζει σχεδόν μηδενική συμφωνία με τα υπόλοιπα προϊόντα, οι τρεις εναπομένουσες χρονοσειρές (ΑΤΣ, 3B42 και CPC) παρουσιάζουν αρκετά καλή συμφωνία και σε ημερήσιο βήμα, όπως μπορεί να διαπιστωθεί από το Σχήμα 8-35 και τον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 8-17).

**Πίνακας 8-17:** Στατιστικοί δείκτες μηνιαίας βροχόπτωσης ΑΤΣ.

	<b>CPC</b>	<b>3B42</b>
<b>BIAS (%)</b>	9.04	22.83
<b>MAE</b>	0.717	1.137
<b>RMSE</b>	1.875	3.568
<b>R</b>	0.803	0.533



**Σχήμα 8-35: Ημερήσια βροχόπτωση ΑΤΣ και άλλων προϊόντων (1/1-31/12/09).**

9

# Πρόγνωση πλημμυρών



## 9 Πρόγνωση πλημμυρών

### 9.1 Χρήση μετρήσεων CPC

Η χρήση των μετρήσεων CPC για την πρόγνωση πλημμυρών, αποσκοπεί στη δημιουργία ενός σεναρίου αναφοράς, καθώς έχουν διαπιστωθεί διάφορα προβλήματα στις καταγραφές βροχόπτωσης των δορυφορικών προϊόντων. Σε επιχειρησιακό επίπεδο, οι μετρήσεις του δικτύου CPC υστερούν έναντι των δορυφορικών για τους κάτωθι λόγους:

- Ο κάρναβος του CPC έχει διαστάσεις  $0.50^\circ \times 0.50^\circ$  ενώ των δορυφορικών έχει διαστάσεις  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ , με τάση περαιτέρω αύξηση της ανάλυσής του τα επόμενα έτη. Αντίθετα οι διαστάσεις του κάρναβου του CPC παραμένουν σταθερές από τη στιγμή που δημοσιεύτηκαν για πρώτη φορά.
- Οι επίγειοι σταθμοί δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένοι σε αντίθεση με τις δορυφορικές μετρήσεις, των οποίων η κατανομή είναι ελεγχόμενη και αναμένεται να φτάσει σύντομα [Sheperd and Terakawa, 2005] το 100% της επιφάνειας της Γης κάθε 3 ώρες.
- Δεν υπάρχουν μετρήσεις βροχόπτωσης πάνω από υδάτινες επιφάνειες (θάλασσες, λίμνες, κλπ) εν αντιθέσει με τις δορυφορικές μετρήσεις. Επίσης δεν υπάρχουν μετρήσεις σε ορεινές ή / και δυσπρόσιτες περιοχές.
- Επειδή διαφέρει ο ορισμός της ημερήσιας βροχόπτωσης ανά κράτος, στις περιοχές των συνόρων εμφανίζονται ασυνέχειες. Η διαφορά αυτή δεν εμφανίζεται στην περιοχή μελέτης, αλλά είναι πιθανό σε άλλες περιοχές να δημιουργηθούν σημαντικά προβλήματα στις αναλύσεις.
- Οι επίγειοι σταθμοί έχουν όργανα με διαφορετικές προδιαγραφές, ακρίβειες και συνθήκες λειτουργίας. Επομένως οι καταγραφές βροχόπτωσης δεν έχουν την ίδια ακρίβεια στο σύνολό τους και συνεπώς την ίδια αξιοπιστία. Αντίθετα, οι δορυφορικές μετρήσεις παράγουν ομοιογενή σύνολα μετρήσεων, με την ίδια δεδομένη ακρίβεια και αξιοπιστία.
- Από πλευράς διαθεσιμότητας στο κοινό, οι δορυφορικές μετρήσεις είναι διαθέσιμες με μερικές ώρες υστέρηση, ενώ η αντίστοιχη υστέρηση των επίγειων μετρήσεων κυμαίνεται από  $1 \frac{1}{2}$  έως 3 ημέρες.

Για τους παραπάνω λόγους, η χρήση αποκλειστικά των επίγειων μετρήσεων του δικτύου CPC δεν υπερέχει των αντίστοιχων δορυφορικών. Ωστόσο, λόγω των παρατηρημένων προβλημάτων κατά την επαλήθευση των δορυφορικών μετρήσεων, η επιτυχής χρήση των επίγειων δεδομένων αποτελεί αφενός μεν σοβαρή ένδειξη ότι καταρχήν η πρόγνωση των πλημμυρών σε επίπεδο λεκάνης απορροής με χρήση ενός μοντέλου βροχής – απορροής μπορεί να πραγματοποιηθεί και αφετέρου καταδεικνύει την τάξη μεγέθους του βαθμού επιτυχίας του.

Κατά τις προσομοιώσεις, χρησιμοποιήθηκαν αθροιστικές βροχοπτώσεις μίας ημέρας έως έξι μηνών προκειμένου να προσδιοριστεί το πλήθος των παρελθουσών μετρήσεων κατακρήμνισης και παροχής που απαιτείται προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη πρόγνωση πλημμυρών. Διαπιστώθηκε για τη θέση 1 (Σχήμα 9-1) ότι για αθροιστικές βροχοπτώσεις διάρκειας 113 ημερών, δηλαδή 4 μηνών περίπου, λαμβάνονται οι καλύτερες προβλέψεις με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του αριθμού των ημερών που λαμβάνει χώρα πλημμυρικό επεισόδιο και το μοντέλο δεν τις προβλέπει (M – missed), ενώ για αθροιστικές βροχοπτώσεις διάρκειας 121 ημερών το μοντέλο λαμβάνει τη μέγιστη βαθμολογία του (ελαχιστοποίηση αθροίσματος F+M – false + missed) όπως ορίστηκαν στην παράγραφο 4.7.3. Αυτό σημαίνει ότι

απαιτούνται δεδομένα βροχόπτωσης περίπου 4 μηνών για την πρόγνωση πλημμυρών στη λεκάνη απορροής του π. Έβρου.

Αντίστοιχα για τη θέση 2 (Σχήμα 9-2), για διάρκεια αθροιστικής βροχόπτωσης 120 ημερών λαμβάνεται η μέγιστη βαθμολογία του μοντέλου, ενώ για διάρκεια αθροιστικής βροχόπτωσης 111 ημερών ελαχιστοποιείται ο αριθμός των μη προβλεπόμενων ημερών κατά τις οποίες συμβαίνει πλημμυρικό επεισόδιο.

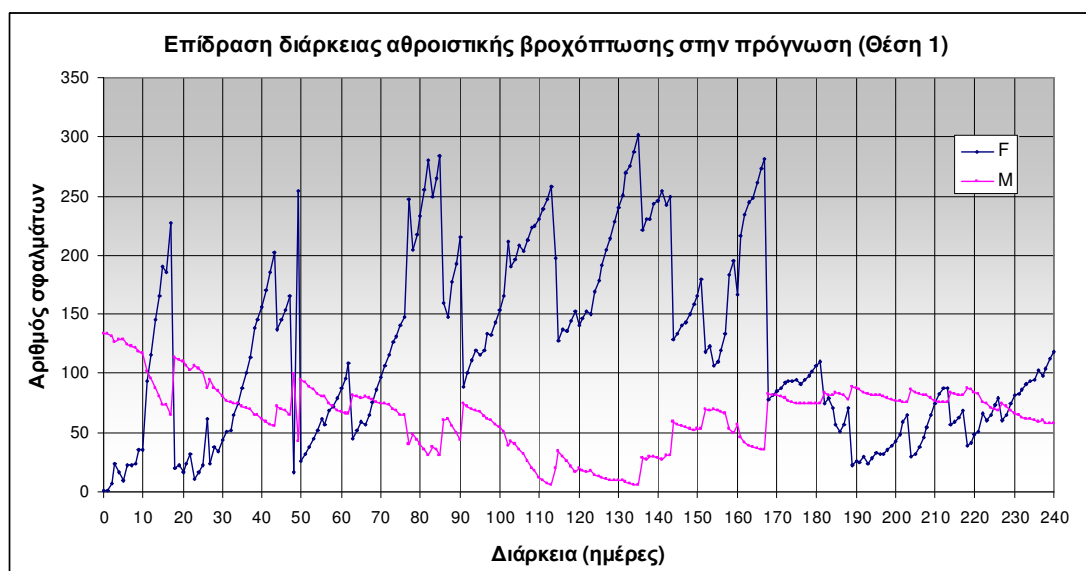
Για τις προαναφερόμενες βέλτιστες τιμές της διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης, έχουν υπολογιστεί αναλυτικά και παρουσιάζονται τα πλήθη των ημερών που αντιστοιχούν σε επιτυχείς και μη προβλέψεις (Πίνακας 9-1). Στον εν λόγω πίνακα, H είναι ο αριθμός των χρονικών βημάτων με ορθή πρόγνωση, M ο αριθμός των χρονικών βημάτων που δεν έγινε πρόγνωση πλημμυρών, ενώ έλαβε χώρα πλημμυρικό επεισόδιο και F ο αριθμός των χρονικών βημάτων που έγινε υπέρβαση του ορίου συναγερμού αλλά δεν έλαβε χώρα κάποιο επεισόδιο (βλ. παράγραφο 4.7.3). Με βάση τη μεγαλύτερη βαθμολογία για την 1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> θέση, τα ποσοστά επιτυχίας  $P_1$  και  $P_2$  ανέρχονται σε:

$$P_1 = \frac{3092}{3257} \cdot 100\% = 94.93\%$$

$$P_2 = \frac{3099}{3258} \cdot 100\% = 95.12\%$$

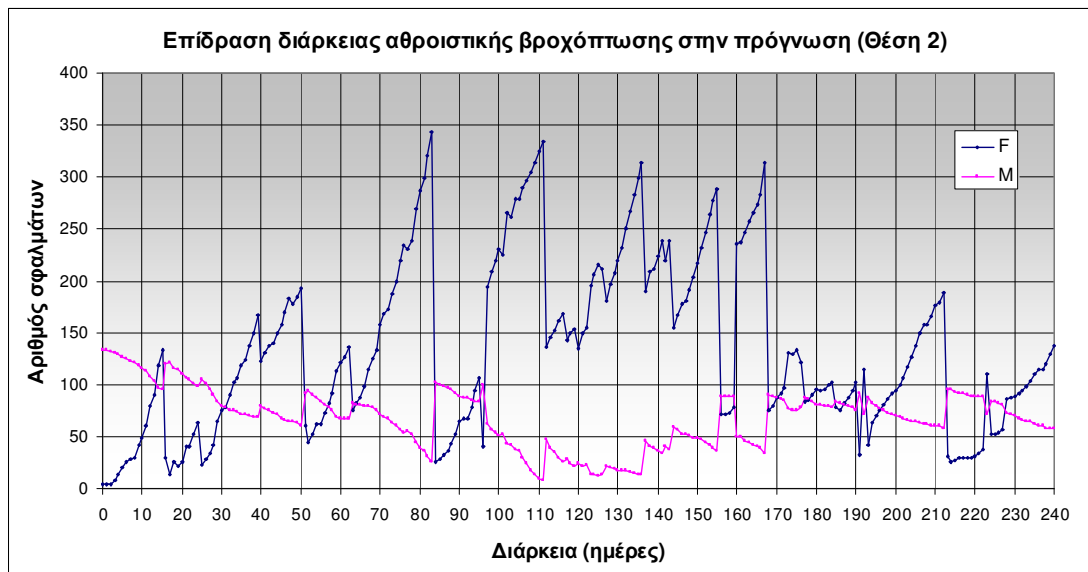
**Πίνακας 9-1:** Βαθμολογία πρόγνωσης πλημμυρών (CPC).

Θέση	Ημέρες	Βαθμολογία	H	M	F
1	113	924.5	3001	6	258
1	121	1072	3092	18	147
2	111	714.5	2925	8	334
2	120	1039.5	3099	24	135



**Σχήμα 9-1:** Επίδραση διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης (CPC, Θέση 1)





**Σχήμα 9-2:** Επίδραση διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης (CPC, Θέση 2)

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 9-2) παρατίθενται τα πέντε πραγματικά πλημμυρικά επεισόδια των ετών 2000-2009, τα οποία προβλέφθηκαν επιτυχώς από το μοντέλο στη Θέση 1. Στη δεύτερη και τρίτη στήλη του πίνακα παρουσιάζονται οι ημερομηνίες εμφάνισης και απόσυρσης των κατακλυζόμενων επιφανειών όπως αυτές εκτιμήθηκαν με τη βοήθεια δορυφορικών εικόνων, αεροφωτογραφιών και επιτόπιων παρατηρήσεων. Στην τέταρτη στήλη αναγράφεται η ημερομηνία κατά την οποία σημειώθηκε υπέρβαση της παροχής συναγερμού με βάση την προσομοίωση που έγινε. Η επόμενη στήλη περιέχει την ημερομηνία κατά την οποία η εκτιμημένη από την προσομοίωση παροχή έγινε μικρότερη από την παροχή συναγερμού. Η τελευταία στήλη περιλαμβάνει την προειδοποίηση σε ημέρες που θα είχαν οι αρμόδιες αρχές πριν την εμφάνιση της πλημμύρας.

Όπως είναι λογικό, η μείωση της παροχής κάτω από τα όρια συναγερμού, δεν έπεται την αυτόματη απόσυρση των υδάτων, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις κατά τις οποίες υπήρχαν εκτεταμένες πλημμύρες όπως το 2005 και το 2006. Σημαντικό είναι ο ρόλος της ανθρώπινης επέμβασης όσον αφορά την αποκατάσταση των ζημιών στα αναχώματα. Η αντίδραση των κρατικών μηχανισμών Ελλάδας και Τουρκίας στην πλημμύρα του 2006 ήταν καλύτερη από αυτή του προηγούμενου έτους.

Η υπέρβαση του ορίου συναγερμού δεν σημαίνει κατ' ανάγκη ότι θα υπάρξει πλημμυρικό επεισόδιο. Επίσης το χρονικό διάστημα μεταξύ της πρώτης εκτιμημένης υπέρβασης του ορίου συναγερμού και της κατάκλισης επιφανειών ποικίλλει, καθώς συνήθως λαμβάνει χώρα θραύση των αναχωμάτων σε ένα ή περισσότερα σημεία, η οποία δεν μπορεί να προβλεφθεί. Ένας άλλος κρίσιμος παράγοντας είναι το αίτιο ή τα αίτια που προκάλεσαν την πλημμύρα. Τα αίτια αυτά αναλύονται στη συνέχεια για κάθε πλημμύρα χωριστά.

Στις αρχές του έτους 2003, λόγω των συνεχών βροχοπτώσεων από τα μέσα του φθινοπώρου στη Βουλγαρία, παρατηρήθηκαν πλημμύρες σε παρέβριες περιοχές. Η άνοδος της στάθμης ήταν σταδιακή, χωρίς να υφίστανται μία ή περισσότερες καταιγίδες που θα προκαλούσαν ταχεία άνοδο της στάθμης των υδάτων του ποταμού. Για το λόγο αυτό, το πλημμυρικό επεισόδιο του 2003 είναι το μοναδικό στο οποίο η προειδοποίηση δίδεται σε σαφώς μεγαλύτερο χρονικό διάστημα πριν την εμφάνιση της πλημμύρας.

Η πλημμύρα του 2005 οφειλόταν σε έντονες βροχοπτώσεις σε συνδυασμό με επιπρόσθετη απορροή που προκύπτει από το λιώσιμο του χιονιού [DFO, 2009]. Η μεγάλη απαιτούμενη διάρκεια των αθροιστικών βροχοπτώσεων (~4 μήνες) για επιτυχέστερες προγνώσεις εξηγείται εν μέρει στη συνιστώσα της χιονόπτωσης, η οποία λαμβάνεται έμμεσα υπόψη με τον τρόπο αυτό. Ομοίως για την πλημμύρα του 2006, οι κύριες αιτίες ήταν η έντονη βροχόπτωση και το λιώσιμο του χιονιού.

Η πλημμύρα του 2007 οφειλόταν σε έντονες βροχοπτώσεις, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν λίγες μόνο ημέρες πριν την έναρξη του πλημμυρικού επεισοδίου [Τσεσμελής, 2007]. Εκτός από το ότι δεν υπήρχε συνεισφορά του λιώσιματος του χιονιού στην πλημμύρα αυτή, κρίνοντας από την ταχύτητα με την οποία εμφανίστηκε η πλημμυρική αιχμή, πιθανολογείται ότι στο μέγεθος αυτής συνέβαλαν οι μαζικές εκροές από τους αποθηκευμένους υδάτινους όγκους νερού των ταμιευτήρων στο βουλγαρικό έδαφος. Σε παρόμοιες περιπτώσεις αθροιστικών υψών βροχόπτωσης, μεσολάβησαν 1 έως 3 εβδομάδες έως ότου εμφανιστεί η πλημμυρική αιχμή στα σημεία ελέγχου.

**Πίνακας 9-2:** Πρόγνωση πλημμυρικών επεισοδίων (Θέση 1, CPC).

A/A	Πλημμύρα (Πραγματικό γεγονός)		Προσομοίωση Συναγερμού		Προειδοποίηση (ημέρες)
	Αρχή	Τέλος	Αρχή	Τέλος	
1	17.01.03	03.03.03	29.09.02	06.03.03	111
2	17.02.05	24.03.05	04.02.05	30.04.05	13
3	02.01.06	20.01.06	18.12.05	29.01.06	15
4	09.03.06	25.03.06	24.02.06	16.04.06	13
5	16.11.07	02.12.07	17.11.07	17.02.08	-1

**Πίνακας 9-3:** Πρόγνωση πλημμυρικών επεισοδίων (Θέση 2, CPC).

A/A	Πλημμύρα (Πραγματικό γεγονός)		Προσομοίωση Συναγερμού		Προειδοποίηση (ημέρες)
	Αρχή	Τέλος	Αρχή	Τέλος	
1	17.01.03	03.03.03	30.09.02	07.03.03	110
2	17.02.05	24.03.05	04.02.05	16.06.05	13
3	02.01.06	20.01.06	27.11.05	30.01.06	36
4	09.03.06	25.03.06	24.02.06	26.04.06	13
5	16.11.07	02.12.07	17.11.07	19.02.08	-1

## 9.2 Χρήση προϊόντος 3B42

Ανάλογες προσομοιώσεις με αυτή που περιγράφεται στην παράγραφο 9.1 πραγματοποιήθηκαν με χρήση των δορυφορικών μετρήσεων του προϊόντος 3B42. Ο Πίνακας 9-4 παραθέτει τα αποτελέσματα της εύρεσης της βέλτιστης διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης του 3B42, η οποία ελαχιστοποιεί το M στην πρώτη περίπτωση και μεγιστοποιεί τη συνολική βαθμολογία στη δεύτερη. Με βάση τη μεγαλύτερη βαθμολογία για την 1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> θέση, τα ποσοστά επιτυχίας P<sub>1</sub> και P<sub>2</sub> ανέρχονται σε:

$$P_1 = \frac{3047}{3285} \cdot 100\% = 92.75\%$$

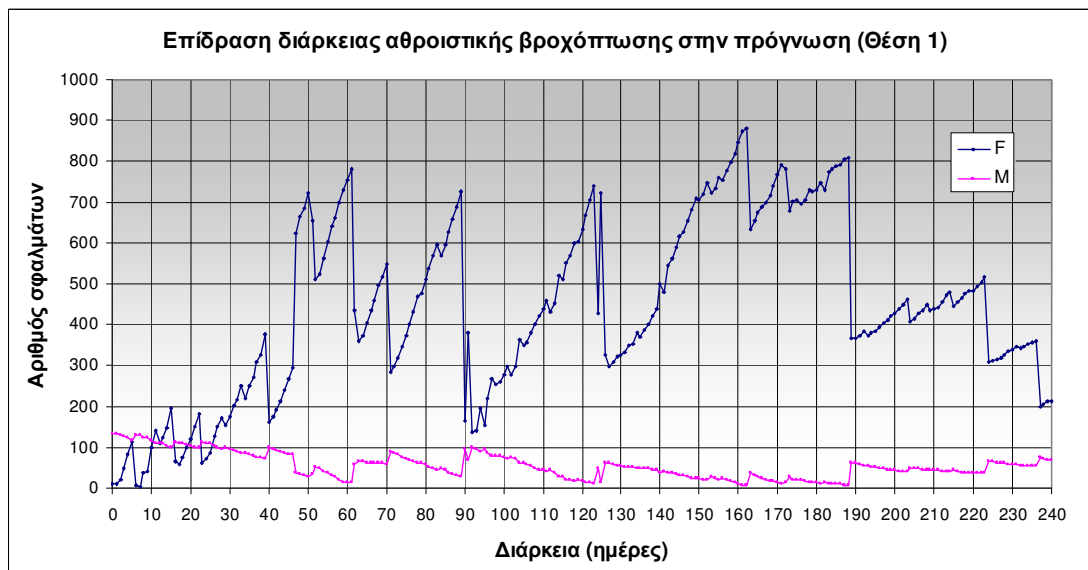
$$P_2 = \frac{2896}{3266} \cdot 100\% = 88.67\%$$

Παρατηρείται ότι η διάρκεια της αθροιστικής βροχόπτωσης σε ημέρες είναι ανάλογη με αυτή που υπολογίστηκε στην περίπτωση των δεδομένων του δικτύου CPC, εκτός από την περίπτωση της μέγιστης βαθμολογίας της Θέσης 1, στην οποία είναι 3 αντί 3.5 μήνες. Παρατηρείται γενικά ότι η βαθμολογία της επιτυχίας της πρόγνωσης με χρήση των δορυφορικών μετρήσεων του προϊόντος 3B42 είναι σαφώς μικρότερη από αυτή του δικτύου επίγειων μετρήσεων CPC. Αυτό ήταν αναμενόμενο λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της επαλήθευσης των τιμών της ημερήσιας βροχόπτωσης που προέρχονται από δορυφορικές μετρήσεις με τις αντίστοιχες τιμές επίγειων καταγραφών της παραγράφου 8.2.4.

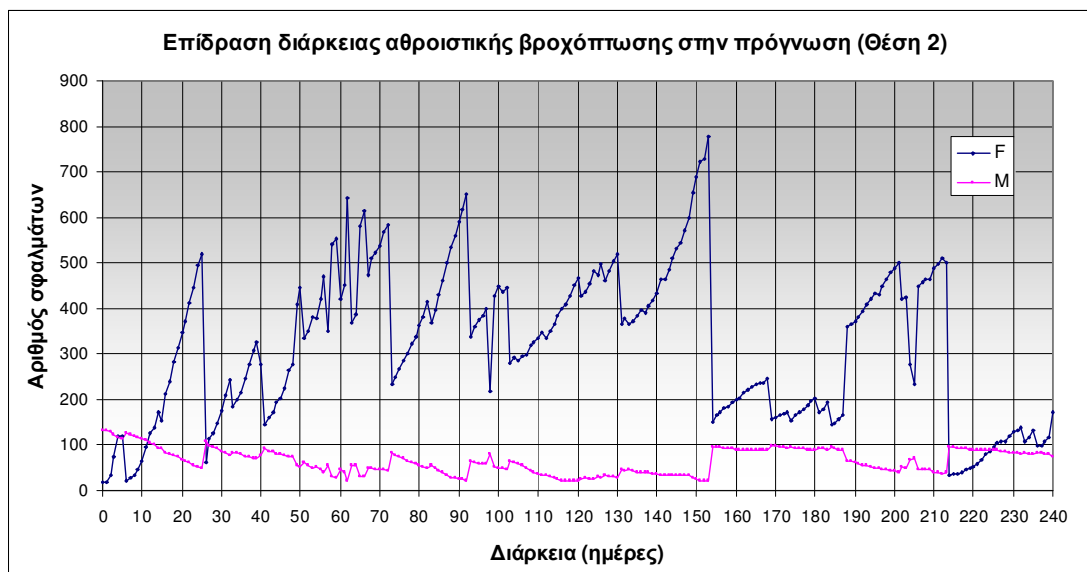
Τα αποτελέσματα της διαδικασίας ανεύρεσης των βέλτιστων διαρκειών αθροιστικών βροχοπτώσεων για την πρόγνωση των πλημμυρών έχουν παρασταθεί εποπτικά για τη μεν Θέση 1 στο Σχήμα 9-3 ενώ για τη δε Θέση 2 στο Σχήμα 9-4.

**Πίνακας 9-4:** Βαθμολογία πρόγνωσης πλημμυρών (3B42).

Θέση	Ημέρες	Βαθμολογία	H	M	F
1	123	-335.5	2505	11	739
1	93	279.5	3047	96	142
2	119	289.5	2787	20	452
2	112	436.0	2896	34	336



**Σχήμα 9-3:** Επίδραση διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης (3B42, Θέση 1)



**Σχήμα 9-4:** Επίδραση διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης (3B42, Θέση 2)

Οι χρόνοι προειδοποίησης είναι σαφώς μικρότεροι από τους αντίστοιχους που προέκυψαν με χρήση των δεδομένων CPC. Ωστόσο, τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά, αφού στη θέση 2 σε όλες τις περιπτώσεις πλην του πλημμυρικού επεισοδίου 02/01/2006 – 20/01/2006 γίνεται πρόγνωση της πλημμύρας με αρκετά μεγάλη χρονική ειδοποίηση. Πρόβλημα παρουσιάζεται στη Θέση 1, στην οποία μόνο η πρώτη πλημμύρα του έτους 2003 προβλέπεται με επαρκή προειδοποίηση, ενώ δυο πλημμύρες προβλέπονται εκ των υστέρων. Αντίθετα, στη Θέση 2, οι προβλέψεις είναι ελαφρώς καλύτερες από αυτές που ελήφθησαν χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις CPC.

**Πίνακας 9-5:** Πρόγνωση πλημμυρικών επεισοδίων (Θέση 1, 3B42).

Α/Α	Πραγματική Κατάσταση		Προσομοίωση		Προειδοποίηση (ημέρες)
	Αρχή	Τέλος	Αρχή	Τέλος	
1	17.01.03	03.03.03	30.08.02	05.03.03	140
2	17.02.05	24.03.05	15.02.05	30.04.05	2
3	03.01.06	20.01.06	05.01.06	13.01.06	-2
4	10.03.06	24.03.06	06.03.06	27.05.06	4
5	16.11.07	02.12.07	17.11.06	07.01.08	-1

**Πίνακας 9-6:** Πρόγνωση πλημμυρικών επεισοδίων (Θέση 2, 3B42).

Α/Α	Πραγματική Κατάσταση		Προσομοίωση		Προειδοποίηση (ημέρες)
	Αρχή	Τέλος	Αρχή	Τέλος	
1	17.01.03	03.03.03	23.09.02	03.03.03	116
2	17.02.05	24.03.05	03.02.05	21.06.05	14
3	02.01.06	20.01.06	23.11.05	15.01.06	40
4	09.03.06	25.03.06	24.02.06	08.07.06	13
5	16.11.07	02.12.07	16.11.07	17.02.08	0

### 9.3 Χρήση προϊόντος 3B42RT

Για τα δεδομένα του προϊόντος 3B42RT πραγματοποιήθηκαν δυο προσομοιώσεις την πρώτη χρησιμοποιούνται αυτούσια χωρίς καμία επεξεργασία, ενώ στη δεύτερη εφαρμόζονται οι σχέσεις διόρθωσης των παραγράφων 8.5.1 και 8.5.2, με βάση τις μετρήσεις του δικτύου CPC και του δορυφορικού προϊόντος 3B42, όταν οι τελευταίες είναι διαθέσιμες.

#### 9.3.1 3B42RT χωρίς διόρθωση

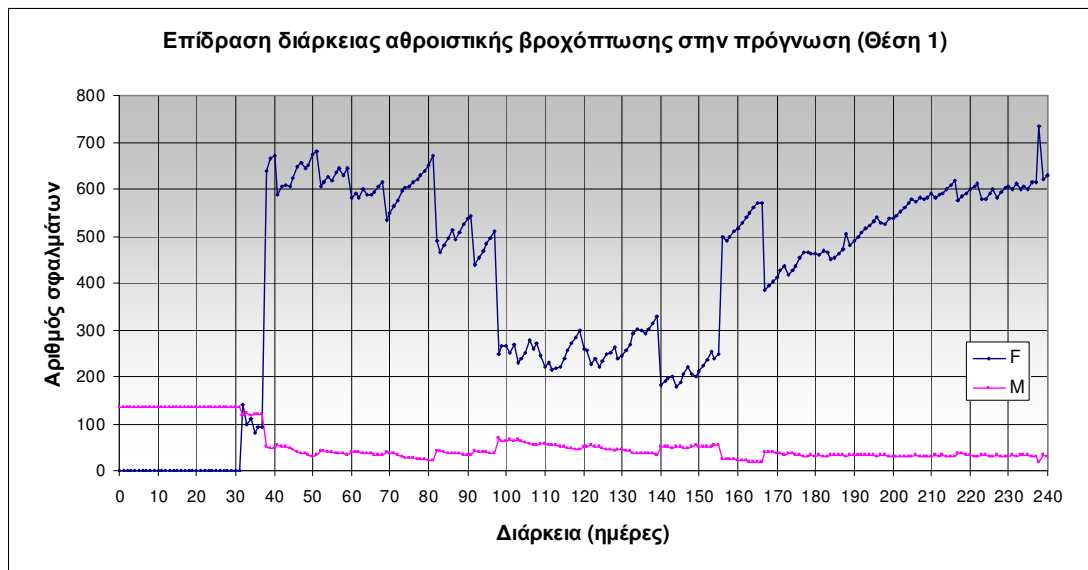
Ο Πίνακας 9-7 περιέχει τα αποτελέσματα της εύρεσης της βέλτιστης διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης του 3B42RT, η οποία ελαχιστοποιεί το Μ στην πρώτη περίπτωση και μεγιστοποιεί τη συνολική βαθμολογία στη δεύτερη. Η βαθμολογία έχει προσαρμοστεί για να είναι συγκρίσιμη ως τάξη μεγέθους με αυτή των προηγούμενων προσομοιώσεων, προσθέτοντας τον ακέραιο αριθμό (728-διάρκεια αθροιστικής βροχόπτωσης)×0.5. Αυτό είναι αναγκαίο καθώς τα δεδομένα του 3B42RT αρχίζουν από τις 29/1/2002, εν αντιθέσει με τα υπόλοιπα που αρχίζουν από την 1/2/2000. Σε όλες τις περιπτώσεις δεν υπήρχαν λανθασμένες προβλέψεις στο διάστημα 1/2/2000 έως 28/1/2002, ούτε συνέβησαν πλημμύρες. Επομένως θεωρείται ότι και το δορυφορικό προϊόν 3B42RT θα έκανε μόνο επιτυχείς προβλέψεις κατά τη χρονική διάρκεια που δεν υπάρχουν δεδομένα. Με βάση τη μεγαλύτερη βαθμολογία για την 1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> θέση, τα ποσοστά επιτυχίας  $P_1$  και  $P_2$  ανέρχονται σε:

$$P_1 = \frac{2276}{2506} \cdot 100\% = 90.82\%$$

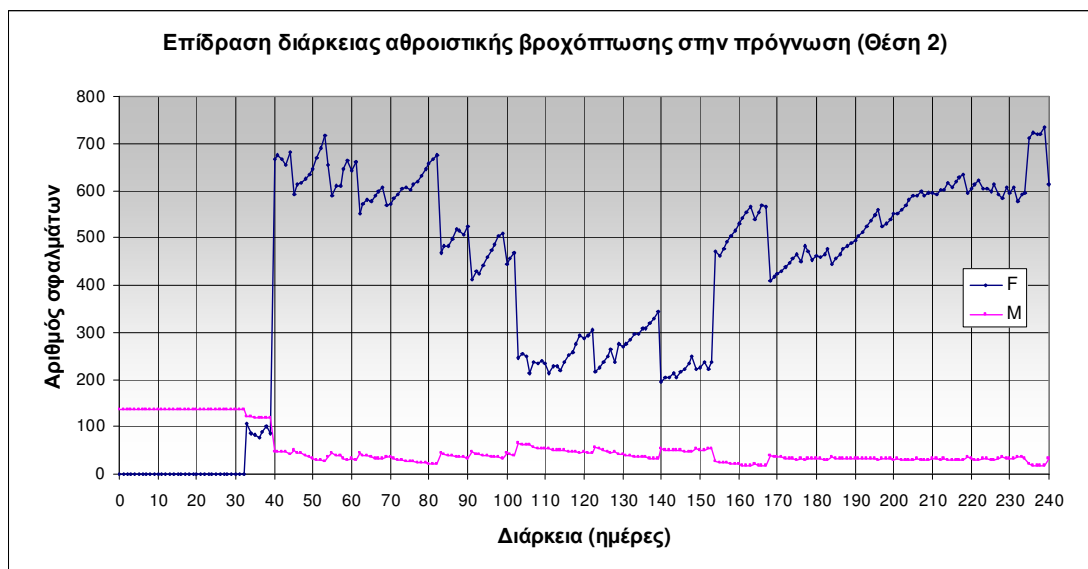
$$P_2 = \frac{2263}{2510} \cdot 100\% = 90.16\%$$

Παρατηρείται ότι οι διάρκειες των αθροιστικών βροχοπτώσεων σε ημέρες είναι εν γένει μεγαλύτερες από αυτές που υπολογίστηκαν στις περιπτώσεις των δεδομένων του δικτύου CPC και των δορυφορικών μετρήσεων του 3B42, η δε αντίστοιχη βαθμολογία μικρότερη. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι οι εκτιμήσεις της επιφανειακής βροχόπτωσης του 3B42RT φαίνεται ότι δεν έχουν αποτυπώσει σωστά τις μέγιστες αιχμές τόσο ως προς το μέγεθός τους όσο και ως προς τη χρονική στιγμή εμφάνισής τους. Παρόλο που με τις αθροιστικές βροχοπτώσεις η επίδραση της χρονικής υστέρησης υποβαθμίζεται σημαντικά, το μέγεθος των ημερησίων υψών βροχόπτωσης δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί, με αποτέλεσμα να μην λαμβάνονται ακριβείς προβλέψεις ως προς την αρχή και το τέλος των παροχών συναγερμού αλλά και ως προς το μέγεθος της πλημμύρας.

Τα αποτελέσματα της διαδικασίας ανεύρεσης των βέλτιστων διαρκειών αθροιστικών βροχοπτώσεων για την πρόγνωση των πλημμυρών έχουν παρασταθεί εποπτικά για τη μεν Θέση 1 στο Σχήμα 9-5 ενώ για τη δε Θέση 2 στο Σχήμα 9-6.



Σχήμα 9-5: Επίδραση διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης (3B42RT, Θέση 1)



Σχήμα 9-6: Επίδραση διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης (3B42RT, Θέση 2)

Πίνακας 9-7: Βαθμολογία πρόγνωσης πλημμυρών (3B42RT).

Θέση	Ημέρες	Βαθμολογία	H	M	F
1	165	-358.5	1899	17	569
1	144	262.0	2276	52	178
2	163	-347.5	1905	17	565
2	140	215.5	2263	52	195

Πίνακας 9-8: Πρόγνωση πλημμυρικών επεισοδίων (Θέση 1, 3B42RT).

A/A	Πραγματική Κατάσταση		Προσομοίωση		Προειδοποίηση (ημέρες)
	Αρχή	Τέλος	Αρχή	Τέλος	
1	17.01.03	03.03.03	25.01.03	07.04.03	-8
2	17.02.05	24.03.05	30.12.04	29.03.05	49
3	03.01.06	20.01.06	03.12.05	04.03.06	31
4	10.03.06	24.03.06	-	-	-
5	16.11.07	02.12.07	-	-	-

**Πίνακας 9-9:** Πρόγνωση πλημμυρικών επεισοδίων (Θέση 2, 3B42RT).

Α/Α	Πραγματική Κατάσταση		Προσομοίωση		Προειδοποίηση (ημέρες)
	Αρχή	Τέλος	Αρχή	Τέλος	
1	17.01.03	03.03.03	24.01.03	25.02.03	-7
2	17.02.05	24.03.05	02.01.05	14.03.05	46
3	02.01.06	20.01.06	28.11.05	11.02.06	35
4	09.03.06	25.03.06	-	-	-
5	16.11.07	02.12.07	-	-	-

Για τις πρώτες τρεις πλημμύρες, η πρόγνωση γίνεται ορθά από το μοντέλο και μάλιστα ο αριθμός ημερών της προειδοποίησης είναι ιδιαίτερα μεγάλος. Όμως και στις δυο θέσεις, το μοντέλο αποτυγχάνει να προγνώσει τις πλημμύρες του Μαρτίου 2006 και Νοεμβρίου 2007, γεγονός που οφείλεται βασικά στην αποτυχία των μετρήσεων του 3B42RT να αποτυπώσουν σωστά το ύψος βροχόπτωσης αλλά και τη χρονική στιγμή εμφάνισης των αιχμών των καταιγίδων. Μάλιστα η πλημμύρα του Ιανουαρίου – Μαρτίου 2006 φαίνεται να έχει μετατοπιστεί χρονικά προς τα πίσω, με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται μια ασυνήθιστα μεγάλη διάρκεια προειδοποίησης.

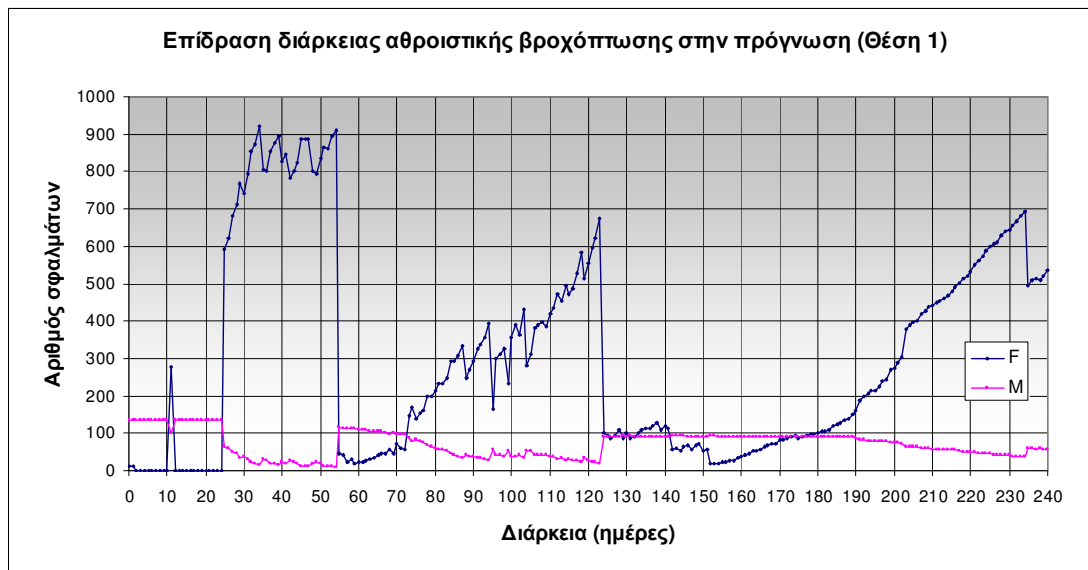
Ομοίως το 2005, ο λόγος ύπαρξης μεγάλης διάρκειας προειδοποίησης οφείλεται στη λανθασμένη χρονική ακολουθία των επεισοδίων βροχόπτωσης. Η χρονική ακολουθία έχει αντίθετα αποτελέσματα στην πλημμύρα του 2003, η οποία προβλέπεται με καθυστέρηση, γεγονός που υποδηλώνει ότι το πρόβλημα των μετατοπισμένων χρονικά αιχμών των καταιγίδων είναι τυχαίο. Στο σημείο αυτό τονίζεται ότι τα δεδομένα του προϊόντος 3B42RT έχουν χρησιμοποιηθεί χωρίς καμία επεξεργασία ακριβώς όπως διανέμονται από τη NASA.

### 9.3.2 3B42RT με διόρθωση

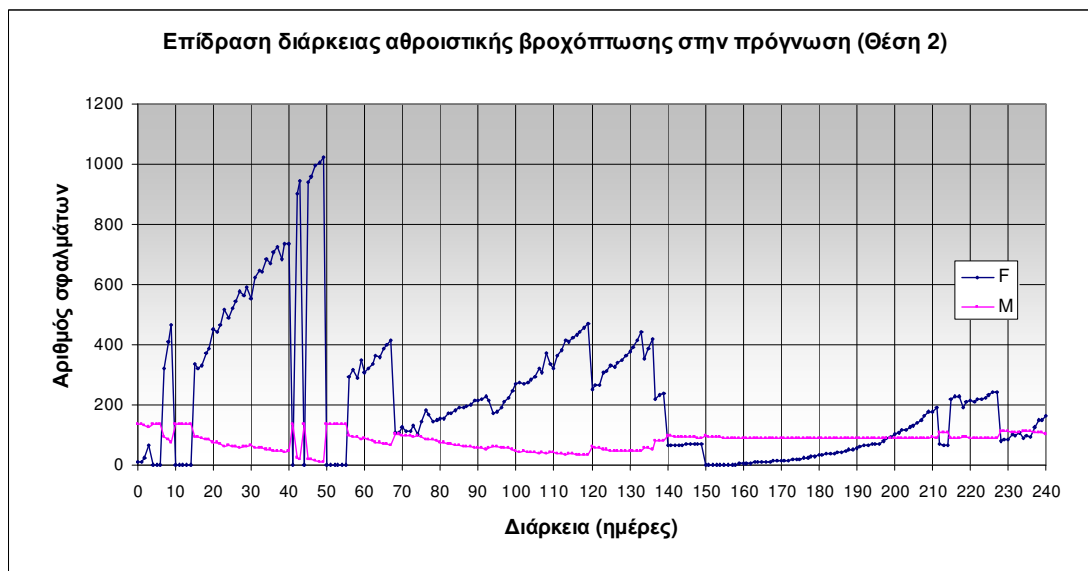
Καθώς τα αποτελέσματα της πρόγνωσης πλημμυρών με χρήση των δεδομένων 3B42RT άνευ διορθώσεως δεν είναι καθόλου ικανοποιητικά, εφαρμόζονται οι διορθωτικές σχέσεις των παραγράφων 8.5.1 και 8.5.2 στις πρωτογενείς μετρήσεις του προϊόντος 3B42RT. Οι διορθωμένες μετρήσεις του προϊόντος 3B42RT για λόγους διαχωρισμού τους από τις μη διορθωμένες, θα συμβολίζονται με 3B42RTc.

Ο Πίνακας 9-10 περιέχει τα αποτελέσματα της εύρεσης της βέλτιστης διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης του 3B42RTc, η οποία ελαχιστοποιεί το M στην πρώτη περίπτωση και μεγιστοποιεί τη συνολική βαθμολογία στη δεύτερη. Η βαθμολογία έχει προσαρμοστεί για να είναι συγκρίσιμη ως τάξη μεγέθους με αυτή των προηγούμενων προσομοιώσεων, προσθέτοντας τον ακέραιο αριθμό (728-διάρκεια αθροιστικής βροχόπτωσης)×0.5, όπως έγινε και στην περίπτωση των μη διορθωμένων δεδομένων.

Τα αποτελέσματα της διαδικασίας ανεύρεσης των βέλτιστων διαρκειών αθροιστικών βροχοπτώσεων για την πρόγνωση των πλημμυρών έχουν παρασταθεί εποπτικά για τη μεν Θέση 1 στο Σχήμα 9-7 ενώ για τη δε Θέση 2 στο Σχήμα 9-8.



**Σχήμα 9-7:** Επίδραση διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης (3B42RTc, Θέση 1)



**Σχήμα 9-8:** Επίδραση διάρκειας αθροιστικής βροχόπτωσης (3B42RTc, Θέση 2)

Με βάση τη μεγαλύτερη βαθμολογία για την 1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> θέση, τα ποσοστά επιτυχίας  $P_1$  και  $P_2$  ανέρχονται σε:

$$P_1 = \frac{2383}{2494} \cdot 100\% = 95.55\%$$

$$P_2 = \frac{2405}{2494} \cdot 100\% = 96.43\%$$

**Πίνακας 9-10:** Βαθμολογία πρόγνωσης πλημμυρών (3B42RTc).

Θέση	Ημέρες	Βαθμολογία	H	M	F
1	118	-430.0	1924	22	586
1	156	257.5	2383	49	72
2	116	-162.0	2068	33	433
2	156	312.50	2405	49	50



**Πίνακας 9-11:** Πρόγνωση πλημμυρικών επεισοδίων (Θέση 1, 3B42RTc).

Α/Α	Πραγματική Κατάσταση		Προσομοίωση		Προειδοποίηση (ημέρες)
	Αρχή	Τέλος	Αρχή	Τέλος	
1	17.01.03	03.03.03	27.10.03	31.03.03	82
2	17.02.05	24.03.05	14.02.05	13.04.05	3
3	03.01.06	20.01.06	11.12.05	09.01.06	23
4	10.03.06	24.03.06	15.02.06	20.04.06	23
5	16.11.07	02.12.07	03.11.07	09.01.08	13

**Πίνακας 9-12:** Πρόγνωση πλημμυρικών επεισοδίων (Θέση 2, 3B42RTc).

Α/Α	Πραγματική Κατάσταση		Προσομοίωση		Προειδοποίηση (ημέρες)
	Αρχή	Τέλος	Αρχή	Τέλος	
1	17.01.03	03.03.03	29.09.02	08.04.03	110
2	17.02.05	24.03.05	11.02.05	22.04.05	6
3	02.01.06	20.01.06	14.12.05	11.01.06	19
4	09.03.06	25.03.06	04.03.06	22.04.06	5
5	16.11.07	02.12.07	22.10.07	09.02.08	25

Με τη βοήθεια των διορθωτικών σχέσεων ανά μήνα, οι προσομοιώσεις με τις εκτιμημένες κατακρημνίσεις του προϊόντος 3B42RTc, δίδουν αποτελέσματα εφάμιλλα με αυτά των μετρήσεων CPC. Φυσικά, οι επίγειες μετρήσεις του δικτύου CPC έχουν χρησιμοποιηθεί για τη ρύθμιση του προϊόντος 3B42RT, οπότε κάτι τέτοιο είναι λίγο – πολύ αναμενόμενο. Το πρόβλημα που παρουσιάζεται εντονότερα στις προσομοιώσεις με βάση τις διορθωμένες τιμές 3B42RTc, είναι η διάρκεια της περιόδου συναγερμού που στις περισσότερες των περιπτώσεων λήγει πριν το τέλος του πλημμυρικού επεισοδίου (Πίνακας 9-11, Πίνακας 9-12).

Σε κάθε περίπτωση, η διόρθωση του 3B42RT έχει θετικά αποτελέσματα και είναι απαραίτητη να γίνεται πριν τη χρήση των μετρήσεων κατακρημνισής του στις προσομοιώσεις.

#### 9.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακας 9-13 και Πίνακας 9-14), συγκρίνονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων με χρήση των δεδομένων βροχοπτώσεων CPC, 3B42, 3B42RT και 3B42RTc για τις δυο θέσεις στις οποίες έγιναν προσομοιώσεις, τη θέση 1 και τη θέση 2.

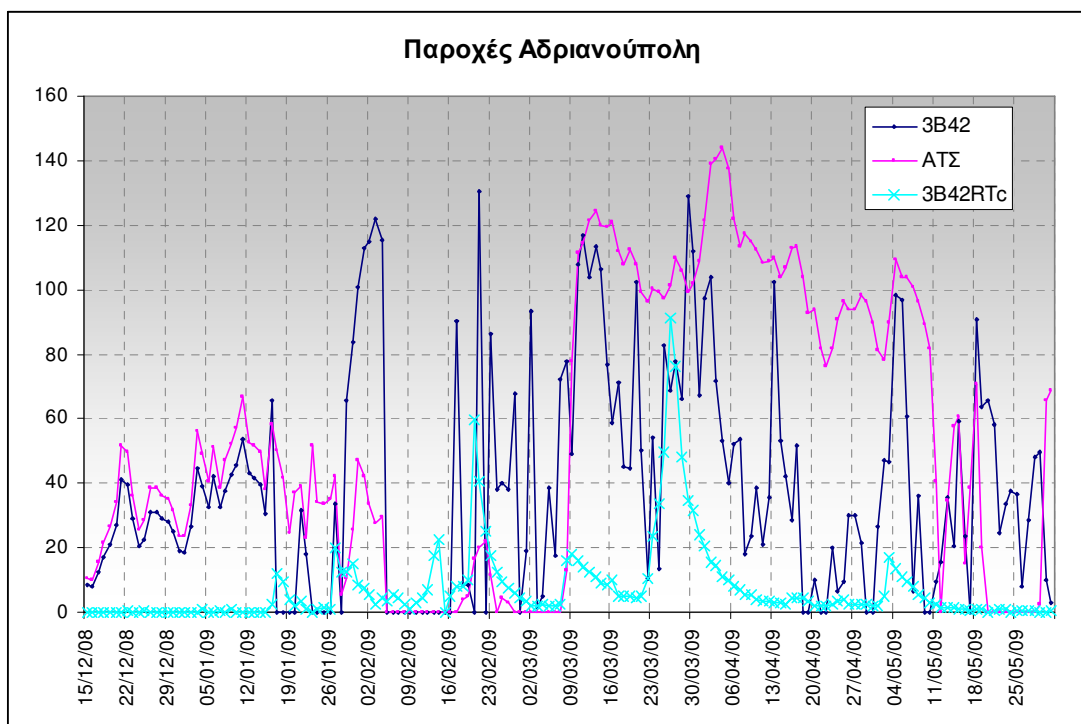
Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων στη θέση 1, δείχνουν ότι οι χειρότερες προβλέψεις γίνονται όταν χρησιμοποιούνται οι βροχοπτώσεις του 3B42RT. Στην περίπτωση αυτή, 1 από τις 5 πλημμύρες δεν προβλέπεται καθόλου, οι πλημμύρες του 2006 εμφανίζονται ως μία πλημμύρα, ενώ η πλημμύρα του 2003 προβλέπεται ενώ βρίσκεται εν εξελίξει στην πραγματικότητα. Αντίθετα, η χρήση των διορθωμένων μετρήσεων του 3B42RT με βάση τις μετρήσεις του 3B42 και του CPC παράγει πολύ καλά αποτελέσματα με μοναδική εξαίρεση τη μικρή διάρκεια προειδοποίησης της πλημμύρας του 2005. Παρόλα αυτά, αποτελεί τη μοναδική περίπτωση κατά την

οποία η πλημμύρα του 2007 προβλέπεται ορθά και μάλιστα με σημαντικό χρόνο προειδοποίησης.

**Πίνακας 9-13:** Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων (Θέση 1).

A/A	Πλημμύρα (Πραγματικό γεγονός)		Σύνολο Δεδομένων	Αρχή Συναγερμού	Τέλος Συναγερμού	Προειδοποίηση (ημέρες)
	Αρχή	Τέλος				
<b>1</b>	17.01.03	03.03.03	CPC	29.09.02	06.03.03	111
			3B42	30/08/02	05.03.03	140
			3B42RT	25.01.03	07.04.03	-8
			3B42RTc	27.10.03	31.03.03	82
<b>2</b>	17.02.05	24.03.05	CPC	04.02.05	30.04.05	13
			3B42	15.02.05	30.04.05	2
			3B42RT	30.12.04	29.03.05	49
			3B42RTc	14.02.05	13.04.05	3
<b>3</b>	02.01.06	20.01.06	CPC	18.12.05	29.01.06	15
			3B42	05.01.06	13.01.06	-2
			3B42RT	03.12.05	04.03.06	31
			3B42RTc	11.12.05	09.01.06	23
<b>4</b>	09.03.06	25.03.06	CPC	24.02.06	16.04.06	13
			3B42	06.03.06	27.05.06	4
			3B42RT	-	-	-
			3B42RTc	15.02.06	20.04.06	23
<b>5</b>	16.11.07	02.12.07	CPC	17.11.07	17.02.08	-1
			3B42	17.11.06	07.01.08	-1
			3B42RT	-	-	-
			3B42RTc	03.11.07	09.01.08	13

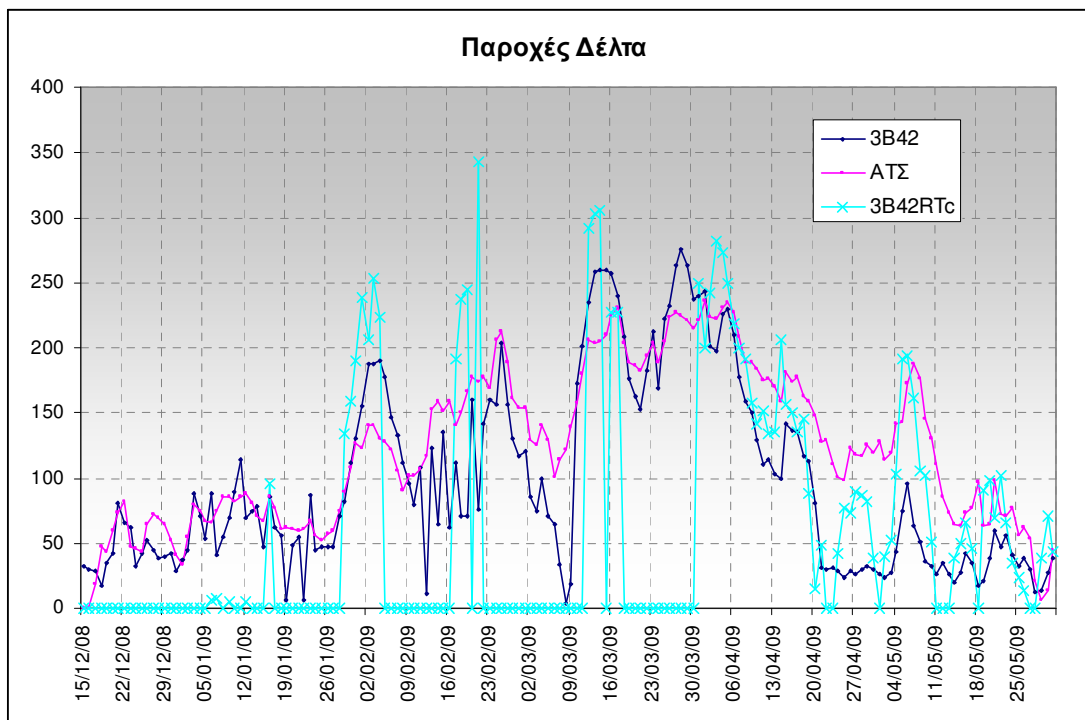
Η απόδοση του διορθωμένου προϊόντος 3B42RTc είναι το ίδιο καλή και στη θέση 2. Όχι μόνο επιτυγχάνει να προβλέψει τις πλημμύρες που η μη διορθωμένη του έκδοση δεν προβλέπει, αλλά και οι χρόνοι πρόβλεψης σε όλες τις πλημμύρες (πλην του έτους 2005) είναι πολύ καλοί. Όπως και στη θέση 1, η χρήση του διορθωμένου συνόλου μετρήσεων 3B42RTc αποτελεί τη μοναδική περίπτωση σωστής και έγκαιρης πρόβλεψης της πλημμύρας του έτους 2007. Στα ακόλουθα σχήματα (Σχήμα 9-9 και Σχήμα 9-10) φαίνονται οι μετρημένες παροχές και οι εκτιμημένες με βάση τα δορυφορικά προϊόντα 3B42 και 3B42RTc για τις θέσεις Αδριανούπολη και Δέλτα αντίστοιχα.



**Σχήμα 9-9:** Παροχές στην Αδριανούπολη (3B42, 3B42RTc, Θέση 1)

**Πίνακας 9-14:** Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων (Θέση 2).

Α/Α	Πλημμύρα (Πραγματικό γεγονός)		Σύνολο Δεδομένων	Αρχή Συναγερμού	Τέλος Συναγερμού	Προειδοποίηση (ημέρες)
	Αρχή	Τέλος				
<b>1</b>	17.01.03	03.03.03	CPC	30.09.02	07.03.03	110
			3B42	23.09.02	03.03.03	116
			3B42RT	24.01.03	25.02.03	-7
			3B42RTc	29.09.02	08.04.03	110
<b>2</b>	17.02.05	24.03.05	CPC	04.02.05	16.06.05	13
			3B42	03.02.05	21.06.05	14
			3B42RT	02.01.05	14.03.05	46
			3B42RTc	11.02.05	22.04.05	6
<b>3</b>	02.01.06	20.01.06	CPC	27.11.05	30.01.06	36
			3B42	23.11.05	15.01.06	40
			3B42RT	28.11.05	11.02.06	35
			3B42RTc	14.12.05	11.01.06	19
<b>4</b>	09.03.06	25.03.06	CPC	24.02.06	26.04.06	13
			3B42	24.02.06	08.07.06	13
			3B42RT	-	-	-
			3B42RTc	04.03.06	22.04.06	5
<b>5</b>	16.11.07	02.12.07	CPC	17.11.07	19.02.08	-1
			3B42	16.11.07	17.02.08	0
			3B42RT	-	-	-
			3B42RTc	22.10.07	09.02.08	25



**Σχήμα 9-10:** Παροχές στο Δέλτα (3B42, 3B42RTc, Θέση 2)

Με τη βοήθεια των παραπάνω πινάκων, μπορεί να λεχθεί ότι η πρόγνωση των πλημμυρών με τη βοήθεια δορυφορικών δεδομένων είναι εφικτή. Τα αποτελέσματα εξαρτώνται από την ποιότητα και την ποσότητα των δεδομένων, οι οποίες τα τελευταία χρόνια έχουν αυξηθεί ιδιαίτερα, χωρίς όμως να απουσιάζουν προβλήματα.

Το βασικότερο θέμα είναι η επαλήθευση και διόρθωση των μετρήσεων με βάση επίγειες μετρήσεις. Όταν η διαδικασία αυτή γίνεται (3B42), τότε τα αποτελέσματα είναι σαφώς βελτιωμένα, με αντάλλαγμα την διάθεσή τους σε μεταγενέστερες χρονικές στιγμές που μπορεί να φθάσουν έως και τους δυο μήνες. Η καθυστέρηση αυτή είναι αποτρεπτική στη χρήση των δεδομένων σε επιχειρησιακό επίπεδο, καθώς μια μέση τάξη μεγέθους αριθμού ημερών προειδοποίησης είναι από μία έως δυο εβδομάδες. Στη δε περίπτωση που παρακάμπτεται η διαδικασία επίγειας επαλήθευσης και διόρθωσης (3B42RT) εμφανίζονται πολλά προβλήματα στα δεδομένα και οι προγνώσεις που λαμβάνονται δεν είναι αξιόπιστες ούτε μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επιχειρησιακό επίπεδο.

Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, προτάθηκε ένας τρόπος διόρθωσης των δεδομένων του προϊόντος 3B42RT με τις επίγειες μετρήσεις του δικτύου CPC αλλά και του προϊόντος 3B42 (όταν αυτό είναι διαθέσιμο) σε πραγματικό χρόνο. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων με τη χρήση του διορθωμένου προϊόντος (3B42RTc) είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά. Σε μερικές μάλιστα περιπτώσεις είναι καλύτερα από αυτά που λαμβάνονται χρησιμοποιώντας μόνο επίγειες μετρήσεις.

**10**

**Συμπεράσματα**



# 10 Συμπεράσματα

## 10.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα βασικά συμπεράσματα της παρούσας διατριβής και η συμβολή τους στην αντίστοιχη θεματολογία.

## 10.2 Πλατφόρμα συλλειτουργίας μοντέλων OpenMI

Στην παρούσα διατριβή, χρησιμοποιήθηκαν πλήθος διαφορετικών πηγών πρωτογενών δεδομένων βροχόπτωσης με τελικό σκοπό την πρόγνωση πλημμυρών σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από διαφορετικούς τρόπους καταγραφής (δορυφορικά και επίγεια), έχουν υποστεί διαφορετική επεξεργασία και φυσικά διατίθενται σε ποικιλία χωρικών και χρονικών βημάτων. Κατά κανόνα, με την εξέλιξη της τεχνολογίας, οι αλγόριθμοι επεξεργασίας των μετρήσεων σημειακής βροχόπτωσης στην περίπτωση επίγειων μετρήσεων και πρωτογενών βοηθητικών παραμέτρων για τον υπολογισμό της βροχόπτωσης (ορατή, υπέρυθρη και μικροκυματική ακτινοβολία) στην περίπτωση των δορυφορικών μετρήσεων, βελτιώνονται διαρκώς. Αποτέλεσμα αυτής της εξέλιξης των αλγορίθμων, είναι η περιοδική επανεπεξεργασία και διάθεση στο ερευνητικό κοινό των βελτιωμένων προϊόντων επιφανειακής βροχόπτωσης, με πιθανώς διαφορετικό χρονικό ή χωρικό βήμα, άλλες μονάδες μέτρησης, κλπ.

Η δημιουργία ενός και μόνο προγράμματος που θα μπορεί να διαβάσει, να αναγνωρίζει και να επεξεργάζεται όλα τα διαθέσιμα σύνολα βροχόπτωσης, προσκρούει όπως έχει αναφερθεί στα ακόλουθα προβλήματα τα οποία περιγράφονται συνοπτικά:

- Η μετατροπή των πρωτογενών δεδομένων για να αποκτηθεί χωρική συμβατότητα δεν είναι μία σταθερή διαδικασία. Για παράδειγμα η εκτίμηση της τιμής της επιφανειακής βροχόπτωσης σε μια περιοχή, όταν τα πρωτογενή δεδομένα δίδονται σε καννάβο  $0.50^{\circ} \times 0.50^{\circ}$  είναι διαφορετική απ' ό,τι στην περίπτωση καννάβου  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ , καθώς απαιτείται διαφορετικός αριθμός κυττάρων σε κάθε περίπτωση.
- Η μετατροπή των πρωτογενών δεδομένων για να αποκτηθεί χρονική συμβατότητα επίσης ποικίλλει ανάλογα με το χρονικό βήμα με το οποίο δίδονται τα πρωτογενή δεδομένα. Για παράδειγμα, η διαδικασία εκτίμησης της ημερήσιας βροχόπτωσης είναι διαφορετική στην περίπτωση που οι τιμές δίδονται ανά ώρα ή ανά 3-ωρο.
- Κάθε προϊόν δίδεται με διαφορετικές ψηφιακές προδιαγραφές. Υπάρχουν προϊόντα τα οποία διατίθενται σε δυαδικά αρχεία, ενώ άλλα δίδονται σε αρχεία κειμένου. Ακόμα όμως και μεταξύ δυο προϊόντων που δίδονται με την ίδια μορφή (π.χ. δυαδικά αρχεία), τα δεδομένα βρίσκονται αποθηκευμένα με διαφορετικό, μη συμβατό, τρόπο.
- Οι μονάδες μέτρησης της βροχόπτωσης διαφέρουν. Αν και στα περισσότερα προϊόντα οι μονάδες μέτρησης είναι τα χιλιοστά, υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες χρησιμοποιούνται για τεχνικούς λόγους άλλες μονάδες όπως για παράδειγμα το 0.1 mm.

- Δεν υπάρχει δυνατότητα να προβλεφθούν μελλοντικές χρονικές ή χωρικές διακριτότητες, μορφές αρχείων, μονάδες μέτρησης και γενικότερα διαφοροποιήσεις.

Επομένως για τη χρήση ενός νέου προϊόντος ή την ενσωμάτωση ενός βελτιωμένου υφιστάμενου προϊόντος στη διαδικασία προσομοίωσης των πλημμυρών, θα πρέπει να γίνεται κάθε φορά επέμβαση στο βασικό πρόγραμμα. Αντίθετα, με τη χρήση της πλατφόρμας OpenMI παρακάμπτονται τα προβλήματα αυτά, καθώς:

- Εξασφαλίζονται αυτόματα η χωρική και χρονική συμβατότητα
- Η μετατροπή των μονάδων γίνεται αυτόματα
- Η προσθήκη νέων προϊόντων ή βελτιωμένων υφιστάμενων προϊόντων μπορεί να γίνει από οποιοδήποτε χρήστη – προγραμματιστή, χωρίς να έχει πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα του προγράμματος.

Η εκσφαλμάτωση της διαδικασίας προσομοίωσης απλοποιείται σημαντικά, καθώς αντί για τη δημιουργία ενός μεγάλου και πολυσύνθετου προγράμματος, δημιουργούνται πολλά μικρότερα, στα οποία είναι ευκολότερη η επέμβαση, η συντήρηση και η βελτίωσή τους.

Τέλος, λόγω της ανοικτής αρχιτεκτονικής της πλατφόρμας OpenMI, είναι δυνατόν να αντικατασταθούν τμήματα της διαδικασίας πρόγνωσης πλημμυρών σε άλλα διαφορετικά ή περισσότερο εξελιγμένα μοντέλα, ή ακόμα να χρησιμοποιηθεί η διαδικασία αυτή για άλλο σκοπό, όπως για την εκτίμηση του υδατικού δυναμικού μίας υπολεκάνης ή την εκτίμηση της δυνητικής εξαμισοδιαπνοής σε ένα οποιοδήποτε σημείο της περιοχής μελέτης.

Αν και μέχρι σήμερα η ανοικτή πλατφόρμα συλλειτουργίας μοντέλων OpenMI έχει χρησιμοποιηθεί με χρήση υφιστάμενων προγραμμάτων που έχουν μετατραπεί εκ των υστέρων, κυρίως σε εργασίες επαλήθευσης, στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής αποδεικνύεται ότι ο σχεδιασμός και προγραμματισμός εκπόνησης σύνθετων εργασιών με τη βοήθεια της πλατφόρμας είναι εξίσου σημαντικός για την επιστημονική κοινότητα. Μάλιστα, είναι πιο εύκολη η ενσωμάτωση των απαραίτητων προϋποθέσεων συμβατότητας με την πλατφόρμα σε νέα προγράμματα, παρά η μετατροπή υφισταμένων.

### **10.3 Αξιολόγηση των προϊόντων βροχόπτωσης**

Από τις αναλύσεις που έγιναν στα προϊόντα CPC, GPCC, 3B42, 3B42RT και 3B43, προκύπτουν αρκετά χρήσιμα συμπεράσματα, τα οποία λαμβάνονται υπόψη κατά την πρόγνωση των πλημμυρών. Τα συμπεράσματα αυτά, αναφέρονται σε μέσα γεωγραφικά πλάτη του Βορείου Ημισφαιρίου και ειδικότερα στη Βαλκανική Χερσόνησο. Παρόλο που είναι πιθανό μερικά ή το σύνολο αυτών να ισχύουν σε κάποιο βαθμό και σε άλλες περιοχές μέσω γεωγραφικών πλατών, επειδή η έρευνα περιορίστηκε σε συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, η οποία μάλιστα έχει ιδιαίτερα κλιματικά χαρακτηριστικά, απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση για την απόδειξη της ισχύος τους σε περιοχές κείμενες εκτός των γεωγραφικών ορίων της διατριβής. Τα συμπεράσματα αυτά αναλύονται στη συνέχεια.



### 10.3.1 Επίγειες μετρήσεις

Κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1998-2009, υπάρχουν τρία σύνολα επίγειων μετρήσεων διαθέσιμα. Το πρώτο είναι οι μηνιαίες εκτιμήσεις επιφανειακής βροχόπτωσης του Global Precipitation Climate Center για την περίοδο 1998 έως 2007, σε έναν κάνναβο  $0.50^{\circ} \times 0.50^{\circ}$ , ο οποίος καλύπτει όλη την επιφάνεια της Γης. Το δεύτερο σύνολο αποτελείται από τις ημερήσιες εκτιμήσεις βροχόπτωσης του Climate Prediction Center για την περίοδο 1998-2009, που δίδεται επίσης σε κάνναβο  $0.50^{\circ} \times 0.50^{\circ}$  που καλύπτει όλη την επιφάνεια της υδρογείου. Τέλος, για το διάστημα Ιούνιος 2008 έως Δεκέμβριος 2009, υπάρχουν οι καταγραφές αθροιστικής βροχόπτωσης των έξι αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών (ΑΤΣ) στην ελληνική επικράτεια.

Από τη σύγκριση των επίγειων μετρήσεων μεταξύ τους (βλ. 8.1 και 8.6), συμπεραίνεται ότι αυτές βρίσκονται σε συμφωνία, τόσο σε ετήσιο όσο και σε μηνιαίο χρονικό βήμα. Επίσης υπάρχει μεγάλη συσχέτιση των μηνιαίων υπερετήσιων βροχοπτώσεων. Όσον αφορά τις μετρήσεις των ΑΤΣ, αυτές μπορούν να συγκριθούν μόνο με αυτές του CPC, καθώς δεν υπάρχει κοινό χρονικό διάστημα με τις μετρήσεις του GPCC. Με τις μετρήσεις των ΑΤΣ, επιβεβαιώνονται οι εκτιμήσεις βροχόπτωσης του δικτύου CPC, έστω και σε ένα μικρό τμήμα της συνολικής λεκάνης απορροής. Τα δυο συνόλων επίγειων μετρήσεων συσχετίζονται πολύ καλά μεταξύ τους, ακόμα και σε ημερήσιο βήμα.

Από τα προαναφερόμενα προκύπτει ότι όλες οι επίγειες μετρήσεις βρίσκονται σε συμφωνία μεταξύ τους. Επιπρόσθετα, λαμβανομένης υπόψη και της πυκνότητας των επίγειων σταθμών, επαληθεύεται η παραδοχή ότι το σφάλμα των επίγειων μετρήσεων βροχόπτωσης σε κάνναβο  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  του οποίου τα κύτταρα περιέχουν τουλάχιστον 5 σταθμούς, περιορίζεται σε λιγότερο του 10%, όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 4.7.2, καθώς σε καμία περίπτωση δεν παρατηρούνται αποκλίσεις μεγαλύτερες της τάξης του 8-9% στα αθροιστικά ύψη βροχόπτωσης των συνόλων μετρήσεων των επίγειων σταθμών.

Η μεγαλύτερη αξιοπιστία των επίγειων μετρήσεων αποτελεί εφελκυστήριον στη συνέχεια για τη συγκριτική αξιολόγηση των δορυφορικών προϊόντων εκτίμησης της επιφανειακής βροχόπτωσης.

### 10.3.2 Δορυφορικά προϊόντα

Οι εκτιμήσεις επιφανειακής βροχόπτωσης που προέρχονται από δορυφορικές μετρήσεις, αναπόφευκτα μεταφέρουν τα μειονεκτήματα (αλλά και τα πλεονεκτήματα) των οργάνων που επιτελούν τις πρωτογενείς μετρήσεις. Τα όργανα αυτά στην παρούσα μορφή τους δεν έχουν τη δυνατότητα να μετρήσουν βροχοπτώσεις μικρής έντασης ( $<1$  mm/h) αλλά ούτε μπορούν να διαχωρίσουν τη βροχόπτωση από τη χιονόπτωση. Αν και τα μειονεκτήματα αυτά δεν είναι καθόλου σημαντικά στην περιοχή των τροπικών για την οποία σχεδιάστηκε αρχικά το σύστημα μέτρησης της κατακρήμνισης μέσω των δορυφόρων της συστάδας TRMM, εκτός των τροπικών και ειδικά στην περιοχή μέσω γεωγραφικών πλατών, τα μειονεκτήματα αυτά είναι σημαντικά.

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών, έχουν προσαρμοστεί οι αλγόριθμοι επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων με βάση μετρημένα ιστορικά επεισόδια, ώστε να αντισταθμίζονται οι προβληματικές μετρήσεις. Επιπρόσθετα, σε ένα από τα

προϊόντα, το 3B42, χρησιμοποιείται ένα επίγειο δίκτυο σταθμών για την εκ των υστέρων βαθμονόμησή του, ενώ στο 3B43 χρησιμοποιείται το δίκτυο σταθμών GPCC για τον ίδιο σκοπό.

Αν και το αποτέλεσμα είναι πολύ θετικό, ιδιαίτερα συγκρινόμενο με προϊόντα που δεν έχουν υποστεί την εκ των υστέρων βαθμονόμηση, όπως το 3B42RT, η διαδικασία αυτή δρα αποτρεπτικά για τη χρήση σε πραγματικό χρόνο των δορυφορικών δεδομένων. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι για να ολοκληρωθεί η επεξεργασία των δορυφορικών μετρήσεων με επίγειες, χρειάζεται σημαντικός χρόνος για τη συγκέντρωση των επίγειων μετρήσεων, την επεξεργασία αυτών και στη συνέχεια τη βαθμονόμηση των δορυφορικών μετρήσεων με τις επίγειες. Παρόλα αυτά, η επαλήθευση των προϊόντων 3B42 και 3B43 απέδειξε ότι ο βαθμός αξιοπιστίας των δορυφορικών μετρήσεων εξαρτάται οπωσδήποτε από την εκ των υστέρων βαθμονόμησή τους με επίγειες μετρήσεις και από το χρονικό βήμα της επεξεργασίας τους. Η αξιοπιστία του 3B43 που δίδεται σε μηνιαίο βήμα είναι μεγαλύτερη από αυτή του 3B42 που δίδεται σε 3-ωρο χρονικό βήμα.

Δυστυχώς το προϊόν 3B42RT, το μοναδικό που δημοσιεύεται σε πραγματικό χρόνο, δεν είναι έτοιμο ακόμα για χρήση σε επιχειρησιακό επίπεδο, τουλάχιστον σε περιοχές μέσω γεωγραφικών πλατών. Αυτό διαφαίνεται καταρχήν από τη σύγκριση των υψών βροχόπτωσης της χρονοσειράς 3B42RT με οποιοδήποτε σύνολο επίγειων μετρήσεων (GPCC, CPC) και σε οποιαδήποτε χρονική κλίμακα (έτος, μήνας, ημέρα). Η χρονοσειρά του 3B42RT όχι μόνο δεν προσεγγίζει σωστά τις αιχμές της βροχόπτωσης, αλλά πολλές φορές αποτυγχάνει στην ορθή περιγραφή της ημερήσιας και μηνιαίας διακύμανσης της βροχόπτωσης. Συγκρίνοντας δε τη χρονοσειρά αυτή με την αντίστοιχη του 3B42 (βλ. παράγραφο 8.5), προκύπτουν μεγάλες διαφοροποιήσεις και καθώς η μοναδική τους διαφορά έγκειται στην εκ των υστέρων βαθμονόμηση της χρονοσειράς με επίγειες μετρήσεις, συμπεραίνεται ότι τουλάχιστον για την περιοχή μελέτης, η εκ των υστέρων βαθμονόμηση είναι απολύτως απαραίτητη.

Τέλος το 3B43 βρίσκεται πιο κοντά στις επίγειες μετρήσεις απ' ό,τι τα δυο άλλα δορυφορικά προϊόντα. Και η χρονοσειρά του 3B43 υφίσταται εκ των υστέρων βαθμονόμηση, αλλά η χρονική διακριτικότητα των υψών βροχόπτωσης είναι μηνιαία σε αντίθεση με την 3-ωρη χρονική διακριτικότητα των άλλων δυο χρονοσειρών, με αποτέλεσμα να παρακάμπτονται οι αλγόριθμοι παρεμβολής των άλλων δυο χρονοσειρών. Οι αλγόριθμοι παρεμβολής χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση και τον υπολογισμό των ελλειπών τιμών της χρονοσειράς των 3B42 και 3B42RT, καθώς η σημερινή κάλυψη των δορυφόρων δεν είναι πλήρης, αλλά αφήνει πολλά κενά στην επιφάνεια της Γης (βλ. παράγραφο 4.3.5). Προκύπτει επομένως ότι οι αλγόριθμοι παρεμβολής χρειάζονται αρκετές βελτιώσεις για περιοχές εκτός των τροπικών.

#### **10.4 Πρόγνωση πλημμυρών**

Τα αποτελέσματα των διεργασιών για την πρόγνωση πλημμυρών στο επίπεδο της λεκάνης του ποταμού Έβρου, χρησιμοποιώντας μόνο τις εκτιμήσεις επιφανειακής βροχόπτωσης του προϊόντος 3B42RT χωρίς να εφαρμοστεί κάποιου είδους διόρθωση εκ των υστέρων δεν είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά (βλ. παράγραφο 9.3.1). Χρειάζονται πολλές βελτιώσεις ακόμα και μάλλον εντελώς διαφορετικά όργανα μέτρησης για την παραγωγή ενός αντίστοιχου δορυφορικού προϊόντος το οποίο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές μέσω γεωγραφικών πλατών. Παρόλα αυτά, επειδή το προϊόν αυτό είναι το μοναδικό που δημοσιεύεται σε πραγματικό χρόνο και εκμεταλλευόμενοι τις σύγχρονες υπολογιστικές δυνατότητες, η διόρθωσή του σε

σχεδόν πραγματικό χρόνο όχι μόνο είναι εφικτή, αλλά τα αποτελέσματά της είναι αρκετά καλύτερα (βλ. παράγραφο 9.3.2).

Πιο συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα της πρόγνωσης πλημμυρών χρησιμοποιώντας το προϊόν 3B42RT και τις επίγειες μετρήσεις του δικτύου CPC σε πραγματικό χρόνο αλλά και τις δορυφορικές του 3B42 στα ιστορικά ζεύγη τιμών των δυο πρώτων, για τη διόρθωση των εκτιμήσεων επιφανειακής βροχόπτωσης του πρώτου, είναι σαφώς συγκρίσιμα με αυτά του 3B42. Η διαδικασία αυτή φαίνεται να βελτιώνεται με το πέρασμα του χρόνου. Ωστόσο, το συνολικό χρονικό κοινό διάστημα υψών βροχόπτωσης των δυο χρονοσειρών είναι μικρό για την εξαγωγή τέτοιων συμπερασμάτων με μεγάλη βεβαιότητα.

Αντίθετα τα αποτελέσματα του προϊόντος 3B42 ήταν πολύ καλύτερα, χωρίς όμως την απουσία μερικών προβλημάτων, όπως αυτά αναπτύχθηκαν στην παράγραφο 9.2. Με τη χρήση του 3B42, κατέστη δυνατή η ορθή πρόβλεψη όλων των πλημμυρών στην Αδριανούπολη και στο Δέλτα του Έβρου με έστω μικρότερη δυνατότητα πρόβλεψης απ' ότι χρησιμοποιώντας τις επίγειες μετρήσεις του δικτύου CPC. Η εκ των υστέρων βαθμονόμηση των δορυφορικών μετρήσεων με επίγειες διαδραματίζει καταλυτικό ρόλο στην βελτίωση του προϊόντος. Το 3B42 θα ήταν το ιδανικό προϊόν από τα υφιστάμενα δορυφορικά σύνολα μετρήσεων για χρήση σε επιχειρησιακό επίπεδο, αν ήταν δυνατή η χρήση του σε πραγματικό χρόνο.

Όσον αφορά τη χρονική διακριτότητα των δεδομένων βροχόπτωσης για την πρόγνωση πλημμυρών, είναι σαφές ότι η χρήση ημερήσιων τιμών βροχόπτωσης αποτελεί μονόδρομο. Μικρότερη χρονική διακριτότητα, η οποία υφίσταται ήδη στα δορυφορικά δεδομένα, δεν κατέστη δυνατόν να χρησιμοποιηθεί στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης λόγω της μη διαθεσιμότητας μετρήσεων στάθμης σε μικρότερα του ημερησίου χρονικά διαστήματα. Παρόλα αυτά, αποτελεί αντικείμενο διερεύνησης του κατά πόσο μικρότερα της ημέρας χρονικά βήματα υπολογισμών βελτιώνουν τα αποτελέσματα της πρόγνωσης πλημμυρών σε μεγάλες λεκάνες απορροής όπως αυτή του π. Έβρου.

Η εγκατάσταση του δικτύου σύγχρονων ΑΤΣ στο νομό Έβρου, έχει προσδώσει νέες δυνατότητες στο μοντέλο πρόβλεψης πλημμυρών για τρεις λόγους. Πρώτον, οι μετρήσεις στάθμης και ταχύτητας με αυτόματη αναγωγή σε παροχή, θεωρούνται πολύ πιο ακριβείς από τις παραδοσιακές μετρήσεις με σταθμήμετρο. Δεύτερον, οι μετρήσεις γίνονται κάθε μία ώρα και είναι διαθέσιμες στο κοινό άμεσα μέσω τηλεμετάδοσης, επομένως θα καταστεί εφικτή η λειτουργία του συστήματος με μικρότερο του ημερησίου χρονικό βήμα π.χ. 12-ωρου, 6-ωρου ή 3-ωρου. Τρίτον οι μετρήσεις γίνονται στην έξοδο κάθε υπολεκάνης απορροής (με εξαίρεση του Τούντζα του οποίου η έξοδος βρίσκεται εκτός των ελληνικών συνόρων), με αποτέλεσμα να καταστεί εφικτός ο διαχωρισμός του μοντέλου σε υπολεκάνες, αντί στο σύνολο της λεκάνης απορροής του π. Έβρου.

## 10.5 Δημοσιότητα

Η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα της παραπάνω έρευνας δημοσιεύθηκαν στα έγκριτα επιστημονικά περιοδικά Environmental Modelling & Software [Fotopoulos et al., 2010] και Theoretical and Applied Climatology [Fotopoulos et al., 2010b].



**11**

**Μελλοντική  
έρευνα**



# 11 Μελλοντική έρευνα

## 11.1 Δυναμικός χαρακτήρας δορυφορικών μετρήσεων

Η χρήση δορυφορικών μετρήσεων κατακρήμνισης έχει συνεισφέρει σημαντικά στην εκπόνηση μελετών σε περιοχές με λίγες ή καθόλου επίγειες μετρήσεις. Οι δορυφορικές μετρήσεις δεν επηρεάζονται από φυσικά εμπόδια και δεν περιορίζονται εντός πολιτικών συνόρων. Οι ελεύθερα διανεμόμενες δορυφορικές μετρήσεις έχουν έντονα δυναμικό χαρακτήρα καθώς:

- Οι αλγόριθμοι υπολογισμού τους υφίστανται διαρκή βελτίωση
- Το μέγεθος της χρονοσειράς τους αυξάνει με το πέρασμα του χρόνου
- Η χωρική και χρονική διακριτότητάς τους μειώνεται κυρίως λόγω της αύξησης της υπολογιστικής ισχύος των Η/Υ

Οι συνεχείς ποιοτικές βελτιώσεις των μετρήσεων αυτών αλλά και ο διαρκώς αυξανόμενος όγκος των χρονοσειρών, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ανά τακτά διαστήματα ώστε να επικαιροποιούνται όλες οι προτεινόμενες μεθοδολογίες αξιοποίησής τους, συμπεριλαμβανομένης και αυτής της παρούσας διατριβής.

Καθώς μάλιστα πλησιάζει η χρονική στιγμή τερματισμού της αποστολής του TRMM (2012), οι εργασίες για την ολοκλήρωση της αποστολής GPM (Global Precipitation Mission) [Fotopoulos and Bras, 2002] έχουν εντατικοποιηθεί. Η συστάδα των δορυφόρων της αποστολής GPM θα καλύπτει κάθε τρεις ώρες κατ' ελάχιστον όλη την επιφάνεια του πλανήτη και θα φέρει υπερσύγχρονα όργανα όπως το Advanced Precipitation Radar και το TMI+. Με τα όργανα αυτά θα είναι εφικτή η μέτρηση επεισοδίων βροχόπτωσης πολύ μικρής έντασης αλλά και ο διαχωρισμός χιονόπτωσης – βροχόπτωσης [Hou, 2008 · Nakamura, 2008].

Οι αλλαγές αυτές, θα οδηγήσουν σε σημαντικές βελτιώσεις των δορυφορικών προϊόντων, οι οποίες θα επιφέρουν μεγάλες διαφοροποιήσεις κυρίως στις περιοχές εκτός των τροπικών. Στις περιοχές αυτές, τόσο οι βροχοπτώσεις πολύ μικρής έντασης όσο και οι χιονοπτώσεις διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον υδατικό κύκλο.

Από τα παραπάνω συνάγεται η αναγκαιότητα συνεχούς επαλήθευσης, βελτίωσης και επέκτασης των μεθόδων που χρησιμοποιούν δορυφορικά προϊόντα, ιδιαίτερα σε «προβληματικές» περιοχές, όπως αυτές των μέσων γεωγραφικών πλατών, στις οποίες η ποιότητα των δορυφορικών μετρήσεων δεν είναι εφάμιλλη με αυτή των μετρήσεων στους τροπικούς. Η αξιοποίηση των νέων βελτιωμένων προϊόντων, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές τροποποιήσεις των έως σήμερα προτεινόμενων εφαρμογών τους, αποτελεί αντικείμενο μελλοντικής έρευνας.

## 11.2 Βελτίωση της πλατφόρμας συλλειτουργίας μοντέλων OpenMI

Η πλατφόρμα συλλειτουργίας μοντέλων OpenMI αποτελεί τη βάση ανάπτυξης του συστήματος πρόγνωσης πλημμυρών της παρούσας διατριβής. Η πλατφόρμα αυτή, συνεισφέρει σημαντικά στη δυνατότητα επέκτασης και μελλοντικής βελτίωσης του συστήματος προσομοίωσης της επιφανειακής απορροής και κατ' επέκταση των προγνώσεων πλημμυρών. Παρόλα αυτά, πρόκειται για ένα προϊόν που είναι καινούριο στη σύλληψη (2005) και υλοποίησή του (από το 2007). Επειδή δεν έχει

τύχει ακόμα ευρείας εφαρμογής από τις εταιρείες ανάπτυξης επιστημονικού και τεχνικού λογισμικού, οι βελτιώσεις του μέχρι στιγμής είναι περιορισμένες καθώς η ανατροφοδότηση των προγραμματιστών του με αναφορές λαθών, επιθυμητά νέα χαρακτηριστικά και γενικότερες παρατηρήσεις είναι περιορισμένη.

Με την επικείμενη έκδοση 2 της πλατφόρμας OpenMI (υπολογίζεται περί τα μέσα του 2011), οι επιπρόσθετες δυνατότητες που διατίθενται στους προγραμματιστές μοντέλων όπως αναφέρθηκαν στην παράγραφο 3.3.7, δημιουργούν νέες προοπτικές για τη βελτίωση και αναβάθμιση του συστήματος, αφού μπορούν να χρησιμοποιηθούν μοντέλα των οποίων τα δεδομένα ή / και τα αποτελέσματα δεν μεταβάλλονται χρονικά, προγράμματα οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων και γραφικές διεπιφάνειες για την παρακολούθηση της προόδου ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ των μονάδων που συνιστούν το όλο σύστημα.

Η αναβάθμιση του συστήματος πρόγνωσης πλημμυρών με την αντικατάσταση της έκδοσης 1.4 που χρησιμοποιείται με τη νέα έκδοση 2.0 και με τον κατάλληλο προγραμματισμό των υποπρογραμμάτων, έτσι ώστε να εκμεταλλευτούν τις νέες προσφερόμενες δυνατότητες, μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο ενασχόλησης των ερευνητών στο μέλλον.

### **11.3 Ενσωμάτωση επίγειων μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο**

Για την επαλήθευση των δορυφορικών μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν τα προϊόντα CPC και GPCC, τα οποία προέρχονται το συνδυασμό πλήθους επίγειων σταθμών μέτρησης βροχοπτώσης. Οι σταθμοί αυτοί δεν υπερβαίνουν τους 50 στη λεκάνη απορροής του π. Έβρου που βρίσκεται επί βουλγαρικού εδάφους, από σύνολο 300 και πλέον επίγειων σταθμών που υπάρχουν και λειτουργούν μέχρι σήμερα [Artinyan et al., 2008].

Έχει ήδη εγκριθεί η χρηματοδότηση στο πλαίσιο του προγράμματος Interreg III / Phare CBC / Ελλάδα – Βουλγαρία 2000-2006<sup>7</sup>, η δημιουργία ενός δικτύου αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών στο βουλγαρικό έδαφος, με βάση το οποίο θα γίνεται συνεχής καταγραφή των βροχοπτώσεων (μεταξύ άλλων). Τα δεδομένα αυτά θα τηλεμεταδίδονται κατόπιν συμφωνίας σε πραγματικό χρόνο στην Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας – Θράκης για περαιτέρω επεξεργασία [Koudoumakis, 2006]. Συνδυάζοντας το επίγειο δίκτυο ΑΤΣ στην ελληνική επικράτεια με το αντίστοιχο βουλγαρικό, μπορεί να υπολογιστεί η επιφανειακή βροχόπτωση σε πραγματικό χρόνο που αντιστοιχεί στο 72% της λεκάνης απορροής του π. Έβρου. Αν και δεν υπάρχει πρόβλεψη για δημιουργία αντίστοιχου δικτύου μέτρησης της βροχόπτωσης στο τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού που βρίσκεται επί τουρκικού εδάφους, επειδή ο ποταμός Εργίνης συμβάλλει στον ποταμό Έβρο λίγο ανάντη της γέφυρας των Κήπων, η πρόγνωση πλημμυρών στην πόλη της Αδριανούπολης δεν επηρεάζεται από τη βροχόπτωση στην τουρκική πλευρά.

Συνεπώς μπορούν να αντικατασταθούν τα δεδομένα επίγειων βροχοπτώσεων που λαμβάνονται από τα προϊόντα CPC και GPCC με τις ακριβέστερες μετρήσεις που θα παρέχονται κάθε 10 λεπτά από τα δίκτυα ΑΤΣ σε Ελλάδα και Βουλγαρία σε πραγματικό χρόνο, βελτιώνοντας σημαντικά τις επιδόσεις του συστήματος πρόγνωσης πλημμυρών.

<sup>7</sup> Παρόλο που το πρόγραμμα έχει ολοκληρωθεί, εντούτοις το συγκεκριμένο έργο έχει πάρει πολλές παρατάσεις και αναμένεται να ολοκληρωθεί στο τέλος του 2011.



#### 11.4 Ενσωμάτωση νέων μονάδων στο σύστημα

Όπως έχει ήδη αναλυθεί διεξοδικά, οι μονάδες που απαρτίζουν το σύστημα πρόγνωσης πλημμυρών, μπορούν κατά βούληση να αναβαθμιστούν ή να αντικατασταθούν από άλλες ενδεχομένως ακριβέστερες. Για παράδειγμα είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν βελτιωμένα ή διαφορετικά δορυφορικά προϊόντα (όπως το 3A12) ή ακόμα να χρησιμοποιηθούν προϊόντα που προέρχονται από μεμονωμένους δορυφόρους και όχι από επιφανειακή και χρονική ολοκλήρωση των δεδομένων του συνόλου των δορυφόρων.

Μπορούν επίσης να ληφθούν υπόψη περισσότερες μεταβλητές για την εκτίμηση της επιφανειακής απορροής, όπως η εξατμισοδιαπνοή και η αλληλεπίδραση των επιφανειακών υδάτων με τα υπόγεια.

Η εκτίμηση των παραμέτρων αυτών μπορεί να γίνει κάνοντας χρήση υφιστάμενων μοντέλων τα οποία έχουν ήδη τροποποιηθεί ώστε να είναι συμβατά με το OpenMI (Πίνακας 3-1) ή που μπορούν να τροποποιηθούν είτε νέων μοντέλων που θα έχουν εγγενή συμβατότητα με το OpenMI.



12

**Βιβλιογραφικές  
αναφορές**



## 12 Βιβλιογραφικές αναφορές

### 12.1 Αναφορές 1ου κεφαλαίου

Ελληνικός Στρατός, 2ο Επιτελικό Γραφείο «Συμφωνία – Πρωτόκολλα μεταξύ Ελλάδος – Τουρκίας Περί Οριοθετήσεων Ε/Τ Μεθορίου, Συντηρήσεως Οροσήμεων και Προλήψεως – Διευθετήσεως Μεθοριακών Επεισοδίων», Αθήνα, 1972.

Ελληνικός Στρατός, 2ο Επιτελικό Γραφείο «Ελληνοτουρκικά Συμφωνία έργων ποταμού Έβρου», Αθήνα, 1977.

Ηνωμένα Έθνη PNUD «Η Ανάπτυξη του Ελληνο-τουρκικού τμήματος της λεκάνης του ποταμού Maritza – Evros – Meric», Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για την Ανάπτυξη, Ηνωμένα Έθνη, 1972.

Μόνιμος επιτροπή ποταμού Έβρου «Γενική Μελέτη: Αντιπλημμυρικά Έργα, Αποστράγγισης, Άρδευσης και Γεωργική Εκμετάλλευσης», Δ2-ΥΔΕ, Αθήνα, 1955.

Τσεσμελής, Γ. «Τεχνική αναφορά για τις θεομηνίες του έτους 2007 στο ν. Έβρου», Τμήμα Εποπτείας Υδραυλικών Έργων, Διεύθυνση Επίβλεψης Κατασκευής Έργων, Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας - Θράκης, 2007.

Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε «Συμφωνία Ελλάδος – Τουρκίας για τη διευθέτηση του Έβρου», Διεύθυνση Υδραυλικών Κατασκευών, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Αθήνα, 1963.

Υπουργείο Δημοσίων Έργων Τουρκίας «Μελέτη Αναχωμάτων Έβρου και προσαρμογής αυτών στη γέφυρα Υψάλων», Άγκυρα, 1959.

Adler, R. F., Kummerow, C., Bolvin, D., Curtis, S., Kidd, C, «Status of TRMM Monthly Estimates of Tropical Precipitation», Symposium on Cloud Systems, Hurricanes and TRMM, Meteorological Monographs, 29, Number 51, edited by W.-K. Tao and R. Adler, pp. 223-234, 2003.

Enright, L. «Low-Cost Re-Architecting of NASA's TRMM Mission Control Center», Proc. Ground System Architectures Workshops, Manhattan Beach, CA, 2004.

Everett, D. «GPM Satellites, Orbits and Coverage», Goddard Space Flight Center, MD, USA, 2001.

Fotopoulos, F. and Bras, R. L., «Operational Simulation of the GPM Constellation and Evaluation of its Efficiency in Measuring Precipitation», 28-31 May 2002, Washington DC, AGU.

Fotopoulos F. and Tsesmelis G. «Early Warning System for Floods in Evros River», Proc. Conf. for Meric Flood Protection, Ankara, Turkey, 22 September 2006.

- Fukami, K., «Potential capabilities of flood assessment from satellite rainfall data», proc. 5th Global Precipitation Measurement (GPM) International Planning Workshop, Tokyo, Japan, 2-4 November 2005.
- Gavardinas, C., Fotopoulos F., Gijbers P. and Moore, R. «OpenMI: A Standard Interface for Linking Environmental Models» Proceedings of the 19th International Conference Informatics for Environmental Protection, Brno, Czech Republic, p. 486-490, EnviroInfo 2005.
- Gregersen, J.B. and Blind M. «OpenMI: The Essentials Concepts and their Implications for Legacy Software.», The International Environmental Modelling and Software Society Conference Complexity and Integrated Resources Management, University of Osnabrück, Germany, June 2004.
- Harza Engineering Company «Master Plan for Meric-Evros river development», Chicago, USA, 1953.
- Hossain, F; and Katiyar, N. «Improving Flood Forecasting in International River Basins» EOS (AGU), Volume 87(5), pp49-50, 2006.
- Hossain, F.; Katiyar, N.; Wolf, A.; Hong, Y. «The Emerging role of Satellite Rainfall Data in Improving the Hydro-political Situation of Flood Monitoring in the Under-developed Regions of the World», Natural Hazards, volume 43: pp 199-210, 2007
- 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 Multi-satellite Precipitation Analysis: Quasi-Global, Multi-Year, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scale». J. Hydrometeor., 8(1), 38-55, 2007.
- Jean – Claude Henry «Ανάπτυξις λεκάνης ποταμού Έβρου – Μέριτς. Έκθεσις επί των Υδάτινων Πόρων», Ηνωμένα Έθνη, 1971.
- Kummerow, C., W. Barnes, T. Kozu, J. Shiue, and J. Simpson, «The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package». Journal Atmospheric Oceanic Technology, 15, pp809-816, 1988.
- Moore, R. V., Fortune, D. and Tindall, C. I. «Update on the HarmonIT Project», Presentation at Hydroinformatics, Singapore, June 2004.
- Moore, R. V., Gijbers, P., Fortune, D. and Gregersen J.B. «OpenMI Document Series: Part A – Scope of the OpenMI», HarmonIT European Programme, Butford Technical Publishing Ltd, Pershore, UK, August 2005.
- National Aeronautics and Space Administration «TRMM turns Ten», URL: [http://www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/TRMM\\_10th.html](http://www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/TRMM_10th.html), Τελευταία Πρόσβαση: 2007
- National Research Council of the National Academies Interim Report, «Assessment of the Benefits of Extending the Tropical Rainfall Measuring Mission: A Perspective from the Research and Operations Communities», Washington, D.C., USA, 2004.

- Revena, C., Murray, S., Abramovitz, J., and Hammond, A., «Watersheds of the World: Ecological Value and Vulnerability». Washington, DC: World Resources Institute (WRI), 1998.
- Samson, P. and Charrier, B. «International Freshwater Conflict: Issues and Prevention Strategies.» Green Cross Report, 1997.
- Shepherd, M. and Terakawa, A., «Satellite-based Flood Assessment Capabilities», proc. 5th Global Precipitation Measurement (GPM) International Planning Workshop, Tokyo, Japan, 2-4 November 2005.
- Umeda, K., «Global Flood Alert System (GFAS)», proc. 5th Global Precipitation Measurement (GPM) International Planning Workshop, Tokyo, Japan, 2-4 November 2005.
- Wolf, Aaron «Transboundary freshwater dispute database», University of Oregon, USA, 2005.

## 12.2 Αναφορές 2ου κεφαλαίου

- Ηνωμένα Έθνη PNUD «Η Ανάπτυξη του Ελληνο-τουρκικού τμήματος της λεκάνης του ποταμού Maritza – Evros – Meric», Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για την Ανάπτυξη, Ηνωμένα Έθνη, 1972.
- Κουτσογιάννης, Δ. «Υδρολογικές μέθοδοι διόδευσης πλημμυρών», εκπαιδευτικό βοήθημα, 16 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1988.
- Κουτσογιάννης, Δ., και Μαμάσης, Ν. «Στρατηγική αντιμετώπισης των πλημμυρών: Σύγχρονο τεχνολογικό πλαίσιο, Ολοκληρωμένος σχεδιασμός αντιπλημμυρικής προστασίας: Η πρόκληση για το μέλλον», Αθήνα, Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδας, Αθήνα, 2010.
- Μπαλτάς, Ε. Α. «Εκτίμηση και πρόγνωση καταιγίδων και πλημμυρών με χρήση μετεωρολογικού ραντάρ», Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1996.
- Argent, R. M., «A case study of environmental modelling and simulation using transplantable components», Environmental Modelling & Software, 20(12), 1514-1523, 2005.
- Astaras, Th. And Lambrinos, N. «Land classification of part of Thrace (East Rhodope) by visual interpretation of MSS images of first and second generation Landsat images», Geo Journal, Volume 17.3, pp 357-363, 1988.
- Bakanoğulları, Fatih «Monitoring of Performance a Hydrological Model to Estimate Annual Water Yield in a Small Watershed in Meric River Basin», BALWOIS, Ohrid, FYROM, May 2006.
- Baltas, E. and Mimikou, M. «Short-term Rainfall Forecasting by Using Radar Data». International Journal of Water Resources Development, Vol.10, No.1:67-77

- Barrow, T.L.M, Braga B.P.F, and Jesus, R.M.R. «A flood forecasting model for Sao Paulo City: A new approach», IV International Symposium on Hydrologic Applications of Weather Radar, San Diego, p.77, 1998.
- Bell, V. A., Carrington, D. S. & Moore, R. J. «Comparison of rainfall-runoff models for flood forecasting. II. Calibration and evaluation of models». Environment Agency R&D Technical Report W242, 2000.
- Bertolani, L., Perotto, A., Salerno, R. «Validation of High Resolution Satellite – Derived Rainfall Estimates and Operational Mesoscale Models Forecasts of Precipitation over Southern Europe», Proc. 1st PEHRPP Workshop, Geneva, 3-5 December 2007.
- Beven, K. J. «Rainfall-runoff modelling: the primer», Wiley, 2000.
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. «Time Series Analysis: Forecasting and Control», Holden-day, San Francisco, USA, 1976.
- Central America Mitch Initiative (CAMI), Regional Operational Flash Flood Guidance. <http://www.hrc-lab.org/>, Hydrologic Research Center, Τελευταία Πρόσβαση: Μάρτιος 2009.
- Cluckie, I. D. «Real-time flood forecasting using weather radar», In Concise encyclopedia of environmental systems (ed. P. C. Young), pp. 291-298. Oxford: Pergamon, 1993.
- Fowler H. J. and Ekstrom, M. «Multi-model ensemble estimates of climate change impacts on UK seasonal precipitation extremes» Int. Journal of Climatology, 29(3): 385-416, 2009.
- Franchini, M. and Lamberti, P. «A flood routing Muckingum type simulation and forecasting model based on level data alone», Water Resources Research, 30(7), 2183-2196, 1994.
- Fukami, K., «Potential capabilities of flood assessment from satellite rainfall data», proc. 5th Global Precipitation Measurement (GPM) International Planning Workshop, Tokyo, Japan, 2-4 November 2005.
- Gavardinas, C., Fotopoulos F., Gijbbers P. and Moore, R. «OpenMI: A Standard Interface for Linking Environmental Models» Proceedings of the 19th International Conference Informatics for Environmental Protection, Brno, Czech Republic, p. 486-490, EnviroInfo 2005.
- Georgakakos, K.P., 2008: «Forecasting Flash Floods» Chapter 44, WMO Guide to Hydrologic Practices, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 18 pp., in press.
- Georgakakos, K.P. 2007: «Flash flood forecasting and warning» Chapter 3, WMO Flood Forecasting and Warning Manual, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 30 pp.
- Gregersen, J.B. and Blind M. «OpenMI: The Essentials Concepts and their Implications for Legacy Software.», The International Environmental Modelling and Software Society Conference Complexity and Integrated Resources Management, University of Osnabrück, Germany, June 2004.



- Gregersen, J. P., Gijssbers, P. J. A., and Westen, S. J. P. «OpenMI: Open modelling interface». *Journal of Hydroinformatics*, 9(3), 175-191, 2007.
- Harris, A., Rahman, S., Hossain, F., Yarborough, L., Bagtzoglou, A. and Easson, G. «Satellite-based Flood Modelling Using TRMM-based Rainfall Products», *Sensors*, volume 7: pp 3416-3427, 2007.
- Harza Engineering Company «Master Plan for Meric-Evros river development», Chicago, USA, 1953.
- Hazarika M. K., Kafle T. P., Sharma R., Karki S., Shrestha R. M. and Samarakoon 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
- Henry, Jean – Claude «Ανάπτυξις λεκάνης ποταμού Έβρου – Μέριτς. Έκθεσις επί των Υδάτινων Πόρων», Ηνωμένα Έθνη, 1971.
- Hossain, F; and Katiyar, N. «Improving Flood Forecasting in International River Basins» *EOS (AGU)*, Volume 87(5), pp49-50, 2006.
- Hossain, F.; Katiyar, N.; Wolf, A.; Hong, Y. «The Emerging role of Satellite Rainfall Data in Improving the Hydro-political Situation of Flood Monitoring in the Under-developed Regions of the World», *Natural Hazards*, volume 43: pp 199-210, 2007
- Hou, A. «The Global Precipitation Measurement (GPM) Mission: Overview And U.S Science Status», *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, July 2008.
- Hovardas, T. and Poirazidis, K. «Evaluation of the Environmentalist Dimension of Ecotourism at the Dadia Forest Reserve (Greece)», *Environmental Management*, Volume 38, pp 810-822, August 2006.
- Huffman, G. «Tropical Rainfall Measuring Mission Variable Rainrate Infrared Algorithm», *Goddard Space Flight Center*, Baltimore, Greenbelt, MD, USA, April 2004.
- Kitanidis, P. K. and Bras, R. «Real time forecasting with a conceptual hydrologic model. 2. Applications and results», *Water Resources Research*, 16(6), 1033-1044, 1980.
- Li L., Hong, Y., Wang J., Adler, R., Policelli, F., Habib, S., Irwn, S., Korme, T., and 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», *Natural Hazards*, 0921-030X, November 2008.
- Makropoulos, C., Koutsoyiannis D., Stanić M., Djordjević S., Prodanović D., Dašić, T., Prohaska S., Maksimović, Č. and Wheeler, H. «A multi-model approach to the simulation of large scale karst flows» *Journal of Hydrology*, 348, pp. 412–424, 2008.
- Makropoulos, C., E. Safiolea, S. Baki, E. Douka, A. Stamou, and M. Mimikou, «An integrated, multi-modelling approach for the assessment of water quality:

- lesson from the Pinios River Case in Greece», International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs), 2010 International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake, Fifth Biennial Meeting, Ottawa, Canada , July 5<sup>th</sup> – 8<sup>th</sup>, 2010.
- Mimikou, M. and Baltas E. «Flood Forecasting Based on Radar Rainfall Measurements», Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 122(3), ISSN 0733-9496, JWRMD5: 151-156, 1996.
- Mimikou, M. «Storms, Floods and Radar Hydrology». Final Report sponsored by the EEC, ENVIRONMENT, DG XII, 1995.
- Mimikou, M, and Papathanasiou Chr., «Analysis of rainfall data from a weather radar and a raingauge network», 1st Scientific Workshop on Integrated Water Resources Management, 5-6 June 2009, Orestiada.
- Moll, J. R. «Real time flood forecasting on the River Rhine», Proc. Hamburg Symposium, IAHS publ. no. 147, August 1983.
- Moore, R. V., Fortune, D. and Tindall, C. I. «Update on the HarmonIT Project», Presentation at Hydroinformatics, Singapore, June 2004.
- Moore, R. V., Gijbers, P., Fortune, D. and Gregersen J.B. «OpenMI Document Series: Part A – Scope of the OpenMI», HarmonIT European Programme, Butford Technical Publishing Ltd, Pershore, UK, August 2005.
- O' Connell, P.E. «Real time Hydrological forecasting and Control», Proc. 1<sup>st</sup> International Workshop, Institute of Hydrology, Wallingford, UK, 1980.
- Petkov I., Spassov, V., A. Benderev, V. Hristov. «Hydrogeological background and heavy metal contamination of groundwater in industrial zone: Plovdiv-Assenovgrad (Bulgaria)». XVII Congress of Carpathian - Balkan Geological Association – Environmental Geology, Bratislava, Slovakia, September 2002.
- Shepherd, M. and Terakawa, A.,«Satellite-based Flood Assessment Capabilities», proc. 5th Global Precipitation Measurement (GPM) International Planning Workshop, Tokyo, Japan, 2-4 November 2005.
- Shiklomanov, A. I.; Lammers, R. B.; Vörösmarty, C. J. «Widespread decline in hydrological monitoring threatens pan-arctic research». EOS Transactions, 83(2), 16–17, 2002.
- Stokstad, E. «Scarcity of rain, stream gages threatens forecasts», Science, ISSN 0036-8075, Vol. 285, N° 5431, pp. 1199-1200, 1999.
- Todini, E. and Bossi, A. «PAB (Parabolic and Backwater), an unconditionally stable flood routing scheme particularly suited for real time forecasting and control», Journal of Hydraulic Research, 24(5), 1986.
- Umeda, K., «Global Flood Alert System (GFAS)», proc. 5th Global Precipitation Measurement (GPM) International Planning Workshop, Tokyo, Japan, 2-4 November 2005.

### 12.3 Αναφορές 3ου κεφαλαίου

- Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων «Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων», ΕΕΚ, L327, Οκτώβριος 2000.
- ΕΥΔΑΠ «Ενιαίες παραδοχές υπολογισμού των παροχών ακαθάρτων στο λεκανοπέδιο της Αθήνας», Εγκύκλιος 121272/85, Αθήνα, Ιανουάριος 1985.
- Argent, R. M., «A case study of environmental modelling and simulation using transplantable components», *Environmental Modelling & Software*, 20(12), 1514-1523, 2005.
- Blind, M. and Gregersen J.B. «Towards an Open Modelling Interface (OpenMI) the HarmonIT project», *Advances in Geosciences*, Volume 4, pp 69-74, August 2005.
- Fotopoulos, F. and Gavardinas C., «Linking Water, Storm and Sewer networks», *OpenMI Workshop*, Munich, Germany, September 2005.
- Gavardinas, C., Fotopoulos F., Gijsbers P. and Moore, R. «OpenMI: A Standard Interface for Linking Environmental Models» *Proceedings of the 19th International Conference Informatics for Environmental Protection*, Brno, Czech Republic, p. 486-490, *EnvirolInfo* 2005.
- Gijsbers, P., Westen, S., Dirksen, F., Blind, M., Gavardinas, C. and Gregersen J.B. «OpenMI Document Series: Part B – Guidelines for the OpenMI», Version 1.4, HarmonIT European Programme, Butford Technical Publishing Ltd, Pershore, UK, May 2007.
- Goodall, J. L., Robinson, B. F., Shatnawi, F. M., and Castronova, A.M. «Linking hydrologic models and data: The OpenMI approach», *American Geophysical Union*, Fall Meeting, December 15-19, 2008, San Francisco, USA.
- Gregersen, J. B., Gijsbers, P. J. A., Westen, S. J. P., and Blind, M., «OpenMI: The Essential Concepts and their Implications for Legacy Software». *Advances in Geosciences*, 4, 37-44, 2005.
- Gregersen, J. P., Gijsbers, P. J. A., and Westen, S. J. P., «OpenMI: Open modelling interface». *Journal of Hydroinformatics*, 9(3), 175-191, 2007.
- Makropoulos, C., E. Safiolea, A. Efstratiades, E. Oikonomidou, V. Kaffes, C. Papathanasiou and M. Mimikou, «Multi-Reservoir Management With OpenMI», 11th International Conference On Environmental Science And Technology, Chania, Crete, September 3rd - 5<sup>th</sup>, 2009.
- Makropoulos, C., E. Safiolea, S. Baki, E. Douka, A. Stamou, and M. Mimikou, «An integrated, multi-modelling approach for the assessment of water quality: lesson from the Pinios River Case in Greece», *International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs)*, 2010 International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake, Fifth Biennial Meeting, Ottawa, Canada , July 5<sup>th</sup> – 8<sup>th</sup>, 2010.

- Maryland Department of the Environment «Patapsco / Back River Watershed SWMM Model Report», MDE, Baltimore, Maryland, USA, April 2004.
- Mimikou, M., Hadjissavva, P., Kouvopoulos, Y. and Afrateos, H., «Sensitivity Analysis of Design and Operational Characteristics of Reservoirs», In: Waterpower '93, ASCE Proc. Publication, ISBN 0-87262-924-4, Vol. 2, 1993.
- Mimikou, M, Baltas, E, Varanou, E, and Fotopoulos, F. «Assessment of Climatically Induced Hydrological Changes in Greece. Proc. Int. Conf. on Water Resources and Management», ASCE, Minneapolis, Minnesota, USA, July 2000.
- Moore, R. V., Fortune, D. and Tindall, C. I. «Update on the HarmonIT Project», Presentation at Hydroinformatics, Singapore, June 2004.
- Moore, R. V. and Tindall, C. I. «An overview of the open modelling interface and environment (the OpenMI)», Environmental Science & Policy, Volume 8, Issue 3, pp. 279-286, June 2005.
- Moore, R. V., Gijssbers, P., Fortune, D. and Gregersen J.B. «OpenMI Document Series: Part A – Scope of the OpenMI», HarmonIT European Programme, Butford Technical Publishing Ltd, Pershore, UK, August 2005.
- Rossman, L. A. «EPANET 2: User's Manual», Environmental Protection Agency, EPA/600/R-00/057, Cincinnati, Ohio, USA, September 2000.
- Sinding, P., Gijssbers, P., Westen, S. and Gregersen J. B. «OpenMI Document Series: Part F – org.OpenMI.Utilities technical documentation», HarmonIT European Programme, Butford Technical Publishing Ltd, Pershore, UK, September 2005.
- Tillman, D. H., Cole, T. M., and Bunch, B. W., «Detailed Reservoir Water Quality Modeling (CE-QUAL-W2), Alabama – Coosa – Tallapoosa / Apalachicola – Chattahoochee - Flint (ACT/ACF) Comprehensive Water Resource Study», Technical Report EL-99-15, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS., USA, 1999
- Tri, G. T., «Using ArcGIS to Link Urban Stormwater Software (SWMM) and Economic Flood Damage Analysis Software (HEC-FDA)», The Twenty-Second Annual ESRI International User Conference, San Diego, CA, USA, July 2002.
- U.S. Army Corps of Engineers, «CE-QUAL-R1: A Numerical One-Dimensional Model of Reservoir Water Quality; User's Manual», Instruction Report E-82-1, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., 1982.
- U.S. Army Corps of Engineers «Merrimack river watershed assessment study: Modeling Methodology», USACE, New England District, USA, March 2003.

#### **12.4 Αναφορές 4ου κεφαλαίου**

- Κουτσογιάννης Δ, «Στατιστική Υδρολογία», έκδοση 3, Τομέας Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1999.

- Μιμίκου, Μ. Α. και Μπαλτάς Ε. Α.. «Τεχνική Υδρολογία», 4η Έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Ιούνιος 2006.
- Τσεσμελής, Γ. «Τεχνική αναφορά για τις θεομηνίες του έτους 2007 στο ν. Έβρου», Τμήμα Εποπτείας Υδραυλικών Έργων, Διεύθυνση Επίβλεψης Κατασκευής Έργων, Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας - Θράκης, 2007.
- Colwell, P. «Solving Kepler's Equation Over Three Centuries», Willmann-Bell, Inc. Richmond, Virginia, 1993.
- Coyne, G. V., Hoskin, M. A., and Pedersen O. «Gregorian reform of the calendar: Proceedings of the Vatican conference to commemorate its 400th anniversary, 1582-1992», Pontifical Academy of Sciences, Vatican, 1983.
- Dinku, T., Ceccato, P, Grover-Kopec, E., Lemma, M., Connor, S. J., and Ropelewski, C. F., «Validation of satellite rainfall products over East Africa's complex topography», International Journal of Remote Sensing, volume 28, pp 1503–1526, 2007.
- European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT), «About EUMETSAT», URL: <http://www.eumetsat.int/Home/Main/AboutEUMETSAT/index.htm?l=en>, Τελευταία Πρόσβαση: Φεβρουάριος 2009.
- Feidas, H., «Validation of satellite rainfall products over Greece». Theoretical and Applied Climatology, doi: 10.1007/s00704-009-0135-8, 2009.
- Fotopoulos F. and Tsesmelis G. «Monitoring of the characteristics (Quantity & Quality) of the rivers' Evros (Maritsa), Ardas and Erythrotamos (Bjala)», Proc. Interreg III-A Greece – Bulgaria Steering Committee, Thessaloniki, June 2006.
- Gent, R. H. «Comment of the Origin of the Julian Day System», Sky and Telescope, volume 62, p. 16, July 1981.
- Goddard Space Flight Center, NASA, «Aqua Project Science», URL: <http://aqua.nasa.gov/>, Τελευταία Πρόσβαση: Φεβρουάριος 2009.
- Henschke, A. E. and Habib, E., «Validation of NASA-TRMM MPA precipitation estimates during tropical storms using gauge and radar-based estimates». Eos Trans. AGU, 88(23), Jt. Assem. Suppl., Abstract H24A-04, 2008.
- Huffman, G. J., Adler, R. F., Rudolf, B., Schneider, U., and Keehn, P. R., «Global precipitation estimates based on a technique for combining satellite-based estimates, rain gauge analysis, and NWP model precipitation information», Journal of Climate, volume 8, pp 1284–1295, 1995.
- Japan Meteorological Agency (JMA), Satellite Program Division, «JMA's Satellite Home Page», URL: <http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/satellite/index.html>, Τελευταία Πρόσβαση: Φεβρουάριος 2009.
- Kozu, T., Ong, J. T., Wilson, C. L., Reddy, K. K., Jain, A. R., Viswanathan, G., Iguchi, T., Thurai, M., Katsumata, T., «Precipitation measurements in Singapore and south India for TRMM ground validation and TRMM PR algorithm improvements». TRMM International Science Conference, 22–26 July 2002, Honolulu, HI, 2002.

- Legates, D. R. and Willmott, C. J. «Mean seasonal and spatial variability in gauge-corrected, global precipitation», *Int. J. Climate*, volume 10, pp. 111-127, 1990.
- Marks, D. A., Wolff, D. B. and Silbersteing, D. S., «Availability of high-quality TRMM ground validation data from Kwajalein, RMI: A practical application of the relative calibration adjustment technique», *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, volume 26, pp 413–429, 2009.
- MathWorks «MATLAB – The Language of Technical Computing: User Manual version 9.0», USA, 2009.
- Morrissey, M. L. and Greene, J. S., «Comparison of two satellite-based rainfall algorithms using atoll rain gauge data», *Journal of Applied Meteorology*, volume 32, pp411-425, 1993.
- Moyer Gordon, «The Origin of the Julian Day System», *Sky and Telescope*, volume 61, p. 311-313, April 1981.
- National Space Development Agency Of Japan. «TRMM Data Users Handbook», Earth Observation Center, Saitama, Japan, February 2001.
- NGDC, «Total solar irradiance data archive 1978-2007», National Geophysical Data Center, 2007.
- Nicholson, S.E. et al, «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*, volume 42, pp 1337–1354, 2003.
- NOAA Satellite and Information Service, «Geostationary Operational Environmental Satellites», URL: <http://www.oso.noaa.gov/goes/>, Τελευταία Πρόσβαση: Φεβρουάριος 2009.
- Rudolf, B., «Management and analysis of precipitation data on a routine basis.», *Proceedings Int WMO/IAHS/ETH Symposium on Precipitation and Evaporation*, Bratislava, Slovakia, Slovak Hydrometeorology Institute, pp 69-76, 1993.
- Sevket, Cokgor «Meric – Maritza – Evros Floods in Turkey», Alexandroupolis, May 2005.
- Sevruk, B., «Methods of correction for systematic error in point precipitation measurement for operational use», *WMO Operational Hydrology Rep. 21*, WMO Rep. No 589, 91pp., 1982.
- Shin, D. B., Chiu, L. S., Kafatos, M., «Comparison of the monthly precipitation derived from the TRMM satellite». *Geophys Res Lett* 28(5):795–798, 2001.
- Villarini, G., Krajewski, W. F. «Evaluation of the research version TMPA three-hourly 0.25° × 0.25° rainfall estimates over Oklahoma». *Geophys Res Let* 34:L05402. doi:10.1029/2006GL029147, 2007.
- Ward W.R. «Comments on the long-term stability of the earth's obliquity», *Icarus* 50, 444, 1982.
- Wittmann A. «The obliquity of the ecliptic», *Astronomy & astrophysics* 73, 129-131, 1979.

Xie, P. and Arkin, P. A., «An inter-comparison of gauge observations and satellite estimates of monthly precipitation», Journal of Applied Meteorology, volume 34, pp. 1134 – 1160, 1995.

## 12.5 Αναφορές 5ου κεφαλαίου

Ελληνικός Στρατός, 2ο Επιτελικό Γραφείο «Ελληνοτουρκικά Συμφωνία έργων ποταμού Έβρου», Αθήνα, Ιούλιος 1977.

ΕΣΥΕ, Γενική Γραμματεία Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας «Πραγματικός πληθυσμός της Ελλάδος κατά την απογραφή της 18ης Μαρτίου 2001, κατά νομούς, δήμους, κοινότητες, δημοτικά / κοινοτικά διαμερίσματα και οικισμούς», Αθήνα, ΕΣΥΕ, 2001.

Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων «Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων», ΕΕΚ, L327, Οκτώβριος 2000.

Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων «Τόποι Κοινοτικής Σημασίας όσον αφορά τη Μεσογειακή Ζώνη», ΕΕΚ, L259 volume 49, Σεπτέμβριος 2006.

Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης «Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2007 για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας», ΕΕΚ, L288 volume 37, Νοέμβριος 2007.

Λιώκη – Λειβαδά, Ηρώ «Εισαγωγή στην Υδρομετεωρολογία», Αθήνα, Διατμηματικό – Διεπιστημονικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών - Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, 1999.

Τσεσμελής, Γ. «Υπόμνημα εργασιών στην ελληνοβουλγαρική και ελληνοτουρκική μεθόριο», Τμήμα Εποπτείας Υδραυλικών Έργων, Διεύθυνση Επίβλεψης Κατασκευής Έργων, Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας - Θράκης, Σεπτέμβριος 2006.

Τσεσμελής, Γ. «Τεχνική αναφορά για τις θεομηνίες του έτους 2007 στο ν. Έβρου», Τμήμα Εποπτείας Υδραυλικών Έργων, Διεύθυνση Επίβλεψης Κατασκευής Έργων, Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας - Θράκης, Νοέμβριος 2007.

Φωτόπουλος Φ. «Παρακολούθηση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των ποταμών Ερυθροποτάμου, Άρδα και Έβρου. Υποέργο 2: επιλογή θέσεων, παρακολούθηση, αξιολόγηση – ταξινόμηση υδάτων», Αθήνα, Ιανουάριος 2007.

ΥΔΕΤ Υπουργείο Δημοσίων Έργων Τουρκίας «Μελέτη Αναχωμάτων Έβρου και προσαρμογής αυτών στη γέφυρα Υψάλων», Άγκυρα, Οκτώβριος 1959.

ΥΔΕΤ Υπουργείο Δημοσίων Έργων Τουρκίας «Meric Nehrinde Kum Adaciklari Uzerindeki Agaclarin Temizlenmesi», DSI, Αδριανούπολη, Ιανουάριος 2007.

Artinyan E., Bogachev, A. and Spiridonov, V. «Usage of short-range weather forecast model Aladin for the modelling of the surface runoff for the Maritza, Tundja &

- Arda river basins in Bulgaria», Presented at the EFFF conference, Rotterdam, Netherlands, March 2003.
- Artinyan, E. «Hydrological Modelling of the High Flow in Maritza River Basin – Analysis of the Influence of the Topolnitsa Reservoir», National Institute of Meteorology and Hydrology of Bulgaria, Plovdiv, Bulgaria, November 2006.
- Artinyan E., Dimitrov, D. and Balabanova, S. «Assessment of Flood Monitoring and Forecasting of the Republic of Bulgaria», National Institute of Meteorology and Hydrology of Bulgaria, Plovdiv, Bulgaria, March 2006.
- Astaras, Th. and Lambrinos, N. «Land classification of part of Thrace (East Rhodope) by visual interpretation of MSS images of first and second generation Landsat images», Geo Journal, Volume 17.3, pp 357-363, 1988.
- Biswas, A. «Management of International Waters: Problems and Perspective.» Water Resources Development. Vol. 9 #2, 1993.
- Fotopoulos F. and Tsesmelis G. «Early Warning System for Floods in Evros River», Proc. Conf. for Meric Flood Protection, Ankara, Turkey, 22 September 2006.
- Harza Engineering Company «Master Plan for Meric-Evros river development», Chicago, USA, February 1953.
- Harza Engineering Company «Master Plan for Meric-Evros river development, Supplement to Report», Chicago, USA, April 1955.
- Harza Engineering Company «Addendum No 1 to contract documents No 129-1», Chicago, USA, April 1955.
- Hovardas, T. and Poirazidis, K. «Evaluation of the Environmentalist Dimension of Ecotourism at the Dadia Forest Reserve (Greece)», Environmental Management, Volume 38, pp 810-822, August 2006.
- Knight, C. G. and Staneva, M. P. «The water resources of Bulgaria: an overview», GeoJournal, Volume 40.4, pp 347-362, December 1996.
- Nationalna Elektricheska Kompania EAD. «Annual Report 2007», Official NEK Company Brochure, January 2008.
- NEKEAD Nationalna Elektricheska Kompania EAD. «Hydro Power Cascades and Dams», Official NEK Company Brochure, May 2007.
- NSIB National Statistical Institute of Bulgaria «Population Bulletin 2006», NSI, Sofia, Bulgaria, May 2006.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L. and McMahon, T. A. «Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification», Hydrology and Earth System Science, Volume 11: pp 1633-1644, 2007.
- Petkov I., Spassov, V., A. Benderev, V. Hristov. «Hydrogeological background and heavy metal contamination of groundwater in industrial zone: Plovdiv-Assenovgrad (Bulgaria)». XVII Congress of Carpathian - Balkan Geological Association – Environmental Geology, Bratislava, Slovakia, September 2002.



Ramsar Convention «The List of Wetlands of International Importance». Ramsar Organization, URL: <http://www.ramsar.org>, Τελευταία Πρόσβαση: Νοέμβριος 2007.

Sevket, C. «Meric – Maritza – Evros Floods in Turkey», Alexandroupolis, May 2005.

Tsakiris, G., Nalbantis, I. and Pistrika, A. «Critical technical issues of the EU Flood Directive», European Water 25/26, pp 39-51, 2009.

TSI Turkish Statistical Institute «Census of Population (Genel Nufus Sayimi)», TSI, Ankara, Turkey, 2000.

## 12.6 Αναφορές 6ου κεφαλαίου

ΓΧΚ Γενικό Χημείο του Κράτους. «Αποτελέσματα Δειγματοληψιών 12ου Υδατικού Διαμερίσματος (Θράκη)», Κεντρικό Εργαστήριο Νερών Δικτύου ΥΠΕΧΩΔΕ, Γ' Χημική Υπηρεσία Αθηνών, Γενικό Χημείο του Κράτους, Υπουργείο Οικονομίας και Οικονομικών, Ιανουάριος 2006.

Εργαστήριο Υδρολογίας & Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, «Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. URL: <http://ndbhmi.chi.civil.ntua.gr/el/index.html>, Τελευταία Πρόσβαση: Ιούλιος 2006.

Προεδρικό Διάταγμα 696 της 8/8.10.1974, «Περί αμοιβών μηχανικών δια σύνταξιν μελετών, επίβλεψιν, παραλαβήν κλπ Συγκοινωνιακών, Υδραυλικών και Κτιριακών Εργων, ως και Τοπογραφικών, Κτηματογραφικών και Χαρτογραφικών Εργασιών και σχετικών τεχνικών προδιαγραφών μελετών», ΦΕΚ Τεύχος Α, Φύλλο 301, 1974.

Φωτόπουλος Φ. «Σύνταξη τεχνικού δελτίου έργων υποδομών για το έργο: 'Παρακολούθηση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των ποταμών Ερυθροποτάμου, Άρδα και Έβρου'», Αθήνα, Ιούλιος 2005.

Φωτόπουλος Φ. «Παρακολούθηση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των ποταμών Ερυθροποτάμου, Άρδα και Έβρου. Υποέργο 2: επιλογή θέσεων, παρακολούθηση, αξιολόγηση – ταξινόμηση υδάτων», Αθήνα, Ιανουάριος 2007.

Adler, R. F., Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Curtis, S. and 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.

Brackenridge, G.R., E. Anderson and S. Caquard, 2008. Global active archive of large floods 1985-2007, Dartmouth Flood Observatory (DFO), Hanover, USA, [www.dartmouth.edu/~floods/Archives/](http://www.dartmouth.edu/~floods/Archives/), last accessed July 2009.

Chokngamwong R and L. Chiu (2007), Thailand daily rainfall and comparison with TRMM products. J Hydrometeorol 9(2), pp. 256–266.

Chen, M. and Xie, P., «A global daily gauge-based precipitation analysis, Part I: Assessing Objective Techniques», Proc. 32<sup>nd</sup> Annual Climate Diagnostics & Prediction Workshop, Tallahassee, FL, USA, 22-26 October, 2007.

- Chen, M., Shi, W., Xie, P., Silva, V. B. S., Kousky, V. E., Higgins, R. W. , and Janowiak, J. E., «Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation», *Journal Geophysical Research*, 113, D04110, doi:10.1029/2007JD009132, 2008.
- Deutscher Wetterdienst, «Global Precipitation Climate Center», Federal Ministry of Transport, Building and Urban Affairs, Climate and Environment, GPCC Web Site. URL: <http://gpcc.dwd.de/>, Τελευταία Πρόσβαση: Μάιος 2009.
- Dinku, T., Ceccato, P., Grover-Kopec, E., Lemma, M., Connor, S. J. and Ropelewski, C. F. «Validation of satellite rainfall products over East Africa's complex topography», *International Journal of Remote Sensing*, 28:7,1503 — 1526, January 2007.
- Enright, L. «Low-Cost Re-Architecting of NASA's TRMM Mission Control Center», *Proc. Ground System Architectures Workshops*, Manhattan Beach, CA, 30 March 2004.
- Everett, D. «GPM Satellites, Orbits and Coverage», Goddard Space Flight Center, MD, USA, May 2001.
- European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT), «De-orbiting of Metosat-5», URL: <http://www.eumetsat.int/Home/Main/Media/News/029693?l=en>, Τελευταία Πρόσβαση: Φεβρουάριος 2009.
- Fotopoulos, F. «Simulation of the Sampling Properties of the Global Precipitation Mission», MSc Thesis, Massachusetts Institute of Technology, May 2002.
- Fotopoulos F. and Tsesmelis G. «Monitoring of the characteristics (Quantity & Quality) of the rivers' Evros (Maritsa), Ardas and Erythropotamos (Bjala)», *Proc. Interreg III-A Greece – Bulgaria Steering Committee*, Thessaloniki, June 2006.
- House, R., «Mesoscale Convective Systems», *Reviews of Geophysics*, volume 43, RG4003, doi:10.1029/2004RG000150, 2004.
- Huffman, G. «Tropical Rainfall Measuring Mission Variable Rainrate Infrared Algorithm», Goddard Space Flight Center, Baltimore, Greenbelt, MD, USA, April 2004.
- Huffman, G., Adler, R., Bolvin, D., Gu, G., Nelkin, E., Bowman, K., Hong, Y., Stocker, E., Wolff, D., «The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis: Quasi-Global, Multi-Year, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scale». *Journal of Hydrometeorology*, volume 8(1), pp. 38-55, 2007.
- Jianping, H., Yujie, W., Tianhe, W., and Yuhong, Y. «Dusty cloud radiative forcing derived from satellite data for middle latitude regions of East Asia», *Progress in Natural Science*, volume 16, 10, 1084–1089, 2006.
- Kummerow, C., Barnes, W., Koza, T., Shiue, J., and Simpson, J., «The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package». *Journal Atmospheric Oceanic Technology*, 15, pp809-816, 1988.

- Minnis, P., and 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.
- National Aeronautics and Space Administration «TRMM turns Ten», URL: [http://www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/TRMM\\_10th.html](http://www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/TRMM_10th.html), Τελευταία Πρόσβαση: Νοέμβριος 2007
- National Aeronautics and Space Administration, «Clouds and the Earth's Radiant Energy System», URL: <http://science.larc.nasa.gov/ceres/>, Τελευταία Πρόσβαση: Φεβρουάριος 2008.
- National Space Development Agency Of Japan. «TRMM Data Users Handbook», Earth Observation Center, Saitama, Japan, February 2001.
- Pessi, A., and Businger, S., «Relationships Between Lightning, Precipitation, and Hydrometeor Characteristics over the North Pacific Ocean». Journal of Applied Meteorology and Climatology, 48, 833-848, 2009.
- Petersen, W. A., Christian, H. J. and Rutledge, S. A., «TRMM observations of the global relationship between ice water content and lightning», Geophys. Res. Lett., 32, No. 14, 2005.
- Rudolf, B. and Schneider, U. «Calculation of Gridded Precipitation Data for the Global Land-Surface using in-situ Gauge Observations», Proc. 2nd International Precipitation Working Group, Monterey, 25-28 October 2004.
- Rudolf, B. and Rubel, F. «Global Precipitation. In: Observed Global Climate. New Series on Landolt - Börnstein, Numerical Data and Functional Relationships», Springer, Berlin, 11.1 - 11.53, 2005.
- Xie, P., Chen, M., Yang, S., Yatagai, A., Hayasaka, T., and Fukushima, Y., «A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia», Journal of Hydrometeorology, volume 8, issue 3, pp. 607-626, 2007.

## **12.7 Αναφορές κεφαλαίων 7 και 8**

- Bertolani, L., Perotto, A., Salerno, R. «Validation of High Resolution Satellite – Derived Rainfall Estimates and Operational Mesoscale Models Forecasts of Precipitation over Southern Europe», Proc. 1st PEHRPP Workshop, Geneva, 3-5 December 2007.
- Deutscher Wetterdienst, «Global Precipitation Climate Center», Federal Ministry of Transport, Building and Urban Affairs, Climate and Environment, GPCC Web Site, URL: <http://gpcc.dwd.de/>, Τελευταία Πρόσβαση: Μάιος 2009.
- Feidas, H., «Validation of satellite rainfall products over Greece». Theoretical and Applied Climatology, doi: 10.1007/s00704-009-0135-8, 2009.
- Kidd, C. «Retrieval of light precipitation in mid-latitudes», Proc. 2nd International Precipitation Working Group, Monterey, 25-28 October 2004.

Legates, D. R., and G. J. McCabe Jr. (1999), Evaluating the Use of “Goodness-of-Fit” Measures in Hydrologic and Hydroclimatic Model Validation, *Water Resour. Res.*, 35(1), 233–241.

NIST National Institute of Standards and Technology, «Digital Library of Mathematical Functions», URL: <http://dlmf.nist.gov/>, NIST Web Site. Τελευταία Πρόσβαση: Ιούνιος 2009.

Phillips, James «Equations to fit 2D data sets (curve fitting)», URL: <http://www.zunzun.com/>. Τελευταία πρόσβαση: Ιούλιος 2009.

## **12.8 Αναφορές 9ου κεφαλαίου**

Τσεσμελής, Γ. «Τεχνική αναφορά για τις θεομηνίες του έτους 2007 στο ν. Έβρου», Τμήμα Εποπτείας Υδραυλικών Έργων, Διεύθυνση Επίβλεψης Κατασκευής Έργων, Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας - Θράκης, 2007.

DFO Dartmouth Flood Observatory, «Space-based Measurement of Surface Water», URL: <http://www.dartmouth.edu/~floods/>, Τελευταία Πρόσβαση: Απρίλιος 2009.

Sevket, C «Meriç – Maritza – Evros Floods in Turkey», Alexandroupolis, May 2005.

Shepherd, M. and Terakawa, A., «Satellite-based Flood Assessment Capabilities», proc. 5th Global Precipitation Measurement (GPM) International Planning Workshop, Tokyo, Japan, 2-4 November 2005.

## **12.9 Αναφορές κεφαλαίων 10 και 11**

Artinyan, E., Habets, F., Noilhan, J., Ledoux, E., Dimitrov, D., Martin, E., and Le Moignem P., «Modelling the water budget and the riverflows of the Maritsa basin in Bulgaria», *Hydrology and Earth System Sciences*, volume 12, pp. 21-37, 2008.

Fotopoulos, F. and Bras, R. L., «Operational Simulation of the GPM Constellation and Evaluation of its Efficiency in Measuring Precipitation», 28-31 May 2002, Washington DC, AGU.

Fotopoulos, F., Makropoulos, C., and Mimikou, M.A. «Flood forecasting in transboundary catchments using the Open Modeling Interface», *Environmental Modelling & Software*, Volume 25, Issue 12, Pages 1640-1649, December 2010.

Fotopoulos, F., Makropoulos, C., and Mimikou, M.A. «Validation of satellite rainfall products for operational flood forecasting: the case of the Evros catchment», *Theoretical and Applied Climatology*, doi: 10.1007/s00704-010-0354-z, 2010.

Hou, A. «The Global Precipitation Measurement (GPM) Mission: Overview And U.S Science Status», *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, July 2008.

Koudoumakis, P., «Transboundary Evros River Basin», proc. Thematic Forum 1 meeting, Environment, governance and flood prevention in border regions, Regional Framework Operation (RFO) Change On Borders, Maastricht, September 2006.

Nakamura, K. «Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)», Proc. The Eighteenth IHP Training Course, Hydrospheric Atmospheric Research Center, Nagoya University, Japan, November 2008.