



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΤΑΜΕΙΟ  
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ  
ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ  
ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ

## **ΔΕΥΚΑΛΙΩΝ – Εκτίμηση πλημμυρικών ροών στην Ελλάδα σε συνθήκες υδροκλιματικής μεταβλητότητας: Ανάπτυξη φυσικά εδραιωμένου εννοιολογικού-πιθανοτικού πλαισίου και υπολογιστικών εργαλείων**

### **Συνεργαζόμενοι φορείς:**



ΕΤΜΕ: Πέππας & Συνεργάτες Ε.Ε.



Γραφείο Μαχάιρα Α.Ε.



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος



Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών – Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης

### **Ενότητα Εργασίας 4**

Ανάπτυξη πιλοτικού συστήματος πρόγνωσης πλημμυρών

### **Παραδοτέο Π4.2**

Τεχνική έκθεση θεωρητικής τεκμηρίωσης μοντέλων πρόγνωσης καταιγίδων



## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Μελετώνται δύο σημαντικά επεισόδια βροχόπτωσης, στις ευρύτερες περιοχές των λεκανών Νέδοντα, Λούσιου, Σαραντοποτάμου και ρέματος Χαλανδρίου. Η προσομοίωση των εν λόγω επεισοδίων γίνεται μέσω του αριθμητικού μοντέλου καιρού WRF, με το οποίο παράγονται πολλαπλά σενάρια πρόγνωσης με διαφορετικό χρόνο έναρξης και ίδιο χρόνο λήξης, που καλύπτει το σύνολο του επεισοδίου. Οι προγνώσεις αυτές χρησιμοποιούνται στα πλαίσια των πιλοτικών εφαρμογών του συστήματος πρόγνωσης πλημμυρών.

# Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή</b>	<b>5</b>
1.1	Αντικείμενο του τεύχους - Ιστορικό .....	5
1.2	Διάρθρωση του τεύχους.....	6
<b>2</b>	<b>Δεδομένα και μεθοδολογία</b>	<b>7</b>
2.1	Σύντομη περιγραφή του αριθμητικού μοντέλου πρόγνωσης WRF .....	7
2.2	Ρυθμίσεις προσομοιώσεων του WRF .....	7
2.3	Μεθοδολογία.....	8
<b>3</b>	<b>Αποτελέσματα</b>	<b>10</b>
3.1	Περιοχή Πελοποννήσου.....	10
3.2	Περιοχή Αττικής .....	13
	<b>Αναφορές</b>	<b>16</b>

# 1 Εισαγωγή

---

## 1.1 Αντικείμενο του τεύχους - Ιστορικό

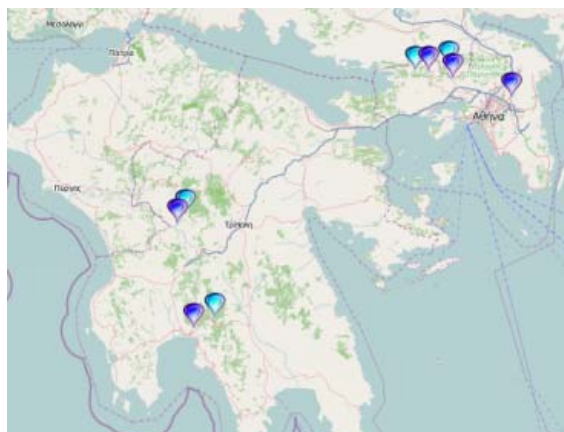
Στα πλαίσια της Δράσης «Συνεργασία» του ΕΣΠΑ 2007-2013, η Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας ανέθεσε στη σύμπραξη τεσσάρων φορέων (ΕΤΜΕ: Πέππας & Συνεργάτες, Γραφείο Μαχαίρα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, και Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών) το ερευνητικό έργο “*ΔΕΥΚΑΛΙΩΝ – Εκτίμηση πλημμυρικών ροών στην Ελλάδα σε συνθήκες υδροκλιματικής μεταβλητότητας: Ανάπτυξη φυσικά εδραιωμένου εννοιολογικού-πιθανοτικού πλαισίου και υπολογιστικών εργαλείων*”. Το έργο αποσκοπεί στην ανάπτυξη φυσικά εδραιωμένων μεθοδολογιών μοντελοποίησης και πρόγνωσης των ισχυρών καταιγίδων και των επαγόμενων πλημμυρικών φαινομένων, προσαρμοσμένων στις ιδιαιτερότητες των ελληνικών υδροκλιματικών και γεωμορφολογικών συνθηκών. Στα πλαίσια του έργου προβλέπεται η ανάπτυξη ενός δικτύου ερευνητικών λεκανών, υφιστάμενων και νέων, στην Ελλάδα και την Κύπρο. Από την ανάλυση των δεδομένων πεδίου (υδρολογικών, μετεωρολογικών, γεωγραφικών) των εν λόγω λεκανών θα εξαχθούν φυσικά τεκμηριωμένες περιοχικές σχέσεις για την εκτίμηση χαρακτηριστικών υδρολογικών μεγεθών σχεδιασμού. Ακόμη, θα αναπτυχθούν υδρολογικά-υδραυλικά μοντέλα που θα ολοκληρωθούν σε ένα επιχειρησιακό σύστημα υδρομετεωρολογικής πρόγνωσης. Τέλος, προβλέπεται ακόμη η προετοιμασία (υπό μορφή προσχεδίου για επιστημονική συζήτηση) ενός πλαισίου κριτηρίων σχεδιασμού και μεθοδολογιών εκπόνησης μελετών υδρολογίας αντιπλημμυρικών έργων.

Σκοπός της Ενότητας Εργασίας 4 με τίτλο “*Ανάπτυξη πιλοτικού συστήματος πρόγνωσης πλημμυρών*” είναι η συνδυασμένη χρήση των μοντέλων βραχυπρόθεσμης πρόγνωσης καιρού, που χρησιμοποιούνται επιχειρησιακά από το ΕΑΑ, και των υδρολογικών-υδραυλικών μοντέλων που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της Ενότητας Εργασίας 3, για τη διαμόρφωση ενός πιλοτικού συστήματος πρόγνωσης πλημμυρών στις πιλοτικές λεκάνες του έργου.

Στην παρούσα τεχνική έκθεση μελετώνται τα σημαντικότερα επεισόδια βροχόπτωσης, στις περιοχές των λεκανών του Νέδοντα και του Λούσιου στην Πελοπόννησο καθώς επίσης και της λεκάνης του Σαραντοποτάμου και του ρέματος Χαλανδρίου στην Αττική (Σχήμα 1.1). Συνολικά, επιλέχθηκαν δύο επεισόδια, ένα για την κάθε περιοχή μελέτης:

- το επεισόδιο από τις 15/01/2013 έως τις 20/01/2013 στην περιοχή της Πελοποννήσου (επεισόδιο υπ’ αριθμόν N1\_2013a στη λεκάνη του Νέδοντα και του Λούσιου ποταμού) και
- το επεισόδιο από τις 13/02/2013 έως τις 26/02/2013 στην περιοχή της Αττικής (επεισόδιο υπ’ αριθμόν 7 στη λεκάνη του Σαραντοποτάμου και του ρέματος Χαλανδρίου).

Η προσομοίωση των εν λόγω επεισοδίων γίνεται μέσω του αριθμητικού μοντέλου καιρού WRF. Ειδικότερα, παράγονται πολλαπλά σενάρια πρόγνωσης με διαφορετικό χρόνο έναρξης (και άρα διαφορετικές αρχικές συνθήκες) και ίδιο χρόνο λήξης (άρα διαφορετική διάρκεια), που καλύπτει το σύνολο του επεισοδίου. Οι προγνώσεις αυτές χρησιμοποιούνται στα πλαίσια των πιλοτικών εφαρμογών του συστήματος πρόγνωσης πλημμυρών, όπως περιγράφεται στις συναφείς τεχνικές εκθέσεις (Παραδοτέα 4.3 και 4.4).



Σχήμα 1.1: Οι περιοχές μελέτης στην Πελοπόννησο και την Αττική, για τα επεισόδια έντονης βροχόπτωσης του 2013. Με γαλάζιες και μπλε σφαίρες απεικονίζονται οι μετεωρολογικοί και υδρομετρικοί σταθμοί, αντίστοιχα.

Η ομάδα εκπόνησης του παρόντος τεύχους είναι:

- Κοτρώνη Βασιλική
- Κωλέτσης Ιωάννης
- Λαγουβάρδος Κωνσταντίνος

Συντονιστής του συνόλου των εργασιών της Ενότητας Εργασίας 4 είναι ο Α. Δ. Κούσης, Διευθυντής Ερευνών ΕΑΑ.

## 1.2 Διάρθρωση του τεύχους

Το τεύχος διαρθρώνεται, μαζί με την παρούσα εισαγωγή (Κεφάλαιο 1), σε τρία κεφάλαια.

Στο **Κεφάλαιο 2** περιγράφονται τα δεδομένα του προβλήματος και η μεθοδολογία, με συνοπτική αναφορά στο αριθμητικό μοντέλο πρόγνωσης WRF.

Στο **Κεφάλαιο 3** αναλύονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων στις δύο ευρύτερες περιοχές ενδιαφέροντος (Πελοπόννησος και Αττική).

## 2 Δεδομένα και μεθοδολογία

---

### 2.1 Σύντομη περιγραφή του αριθμητικού μοντέλου πρόγνωσης WRF

Το αριθμητικό μοντέλο WRF (Weather Research and Forecasting model), είναι ένα σύγχρονο αριθμητικό μοντέλο πρόγνωσης καιρού μέσης κλίμακας, το οποίο σχεδιάστηκε ώστε να εξυπηρετήσει τις ανάγκες τόσο του τομέα έρευνας της ατμόσφαιρας, όσο και της επιχειρησιακής πρόγνωσης καιρού. Διαθέτει δύο δυναμικούς πυρήνες, σύστημα αφομοίωσης και σχεδιασμό λογισμικού, το οποίο επιτρέπει την εφαρμογή του σε παράλληλες υπολογιστικές πλατφόρμες. Το μοντέλο ικανοποιεί ένα μεγάλο εύρος μετεωρολογικών εφαρμογών σε μια χωρική κλίμακα που κυμαίνεται από εκατοντάδες μέτρα έως χιλιάδες χιλιόμετρα. Η προσπάθεια για την ανάπτυξη του WRF, ξεκίνησε τα τέλη του 1990 και είναι αποτέλεσμα συνεργασίας αρκετών ερευνητικών ινστιτούτων των ΗΠΑ (NCAR, National Center for Atmospheric Research, NCEP National Centers for Environmental Prediction, FSL, Forecast Systems Laboratory, AFWA, Air Force Weather Agency κ.ά.).

Το WRF επιτρέπει στους ερευνητές να παράγουν προσομοιώσεις τόσο με πραγματικά δεδομένα (παρατηρήσεις, αναλύσεις) όσο και με ιδεατές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Είναι διαθέσιμο σε δύο εκδόσεις: την ARW (Advanced Research WRF), η οποία χρησιμοποιείται στην παρούσα ενότητα εργασίας και την WRF-NMM. Στο WRF παρέχεται η δυνατότητα επιλογής αρκετών σχημάτων παραμετροποίησης, όπως μικροφυσικής, κατακόρυφης μεταφοράς, επιφανειακής φυσικής (τύποι και είδη εδάφους), του πλανητικού οριακού στρώματος, της ακτινοβολίας, κ.α. (Skamarock *et al.*, 2008). Τέλος, χρησιμοποιείται επιχειρησιακά σε πολλά ερευνητικά ινστιτούτα παγκοσμίως, μεταξύ αυτών και στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών.

### 2.2 Ρυθμίσεις προσομοιώσεων του WRF

Για τις προσομοιώσεις των επεισοδίων με το αριθμητικό μοντέλο καιρού WRF, καθορίστηκαν τρία πλέγματα με οριζόντια ανάλυση 18, 6 και 2 km αντίστοιχα, με το εξωτερικό και πρώτο εσωτερικό πλέγμα να διατηρείται το ίδιο, ενώ το ενδότερο εσωτερικό πλέγμα να διαφέρει κατά περίπτωση. Τα κυριότερα σχήματα παραμετροποίησης, τα οποία επιλέχθηκαν για τις προσομοιώσεις, καθώς επίσης και τα βασικά χαρακτηριστικά του αριθμητικού μοντέλου εμφανίζονται στον Πίνακα 2.1. Παράλληλα, οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας την τεχνική *μονόδρομης εμφώλευσης* (one-way nesting).

Για τις αρχικές και οριακές συνθήκες των προσομοιώσεων, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα FNL (Final Operational Global Analyses) των Εθνικών Κέντρων Περιβαλλοντολογικής Πρόγνωσης (NCEP / National Centers for Environmental Prediction) των Η.Π.Α., τα οποία παρέχονται σε χωρική ανάλυση μίας μοίρας και χρονικού βήματος 6 ωρών. Τα δεδομένα αυτά, προέρχονται από Παγκόσμιο Σύστημα Αφομοίωσης (GDAS, Global Data Assimilation System), στο οποίο συλλέγονται διαρκώς δεδομένα παρατηρήσεων μέσω του Παγκόσμιου Τηλεπικοινωνιακού Συστήματος (GTS, Global Telecommunications System) και άλλων πηγών μέσω. Τα δεδομένα αναλύσεων περιλαμβάνουν μετεωρολογικές παραμέτρους στην

επιφάνεια καθώς επίσης και σε 26 βασικά ατμοσφαιρικά επίπεδα από τα 1000 mb έως τα 10 mb, συμπεριλαμβάνοντας το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα και την τροπόπαυση. Στον κατάλογο των μετεωρολογικών παραμέτρων περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων: επιφανειακή ατμοσφαιρική πίεση, ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας, γεωδυναμικό ύψος, θερμοκρασία στο έδαφος και στην επιφάνεια της θάλασσας, παγοκάλυψη, σχετική υγρασία, μετρήσεις των συνιστωσών του ανέμου κλπ. Τα δεδομένα NFL για την αρχικοποίηση του αριθμητικού μοντέλου, παρέχονται στην κωδικοποιημένη μορφή GRIB1, καθώς επίσης και στη σύγχρονη κωδικοποίηση GRIB2, με την τελευταία να χρησιμοποιείται στις προσομοιώσεις της παρούσας ενότητας εργασίας.

Πίνακας 2.1: Κυριότερα σχήματα παραμετροποίησης και βασικά χαρακτηριστικά του μοντέλου WRF.

<b>Έκδοση</b>	<b>WRF – ARW version 3.4</b>	<b>Αναφορά</b>
<b>Πλέγματα</b> (Domains)	3	
<b>Κατακόρυφα επίπεδα</b> (Vertical Levels)	35	
<b>Σχήμα Μικροφυσικής</b> (Microphysical Scheme)	WSM3 WRF Single Momentum 3	Hong <i>et al.</i> (2004)
<b>Σχήμα Ακτινοβολίας</b> (Radiation Scheme)	RRTM / Dudhia Scheme	Dudhia (1989)
<b>Σχήμα Κατακόρυφης Ανάπτυξης</b> (Cumulus Parameterization)	Kain–Fritsch	Kain (2004)
<b>Σχήμα Επιφανειακού Στρώματος</b> (Surface Layer Option)	Monin–Obukhov Scheme	
<b>Σχήμα Εδάφους</b> (Land Surface Scheme)	Unified Noah Land Surface Model	
<b>Σχήμα Πλανητικού Οριακού Στρώματος</b> (Planetary Boundary Layer Option)	Mellor–Yamada–Janjic TKE (ETA) Scheme	

## 2.3 Μεθοδολογία

Η πρόγνωση του καιρού βασίζεται στη χρήση αριθμητικών μοντέλων πρόγνωσης του καιρού με τα οποία πραγματοποιούνται οι απαραίτητοι υπολογισμοί ώστε να περιγραφούν / προβλεφθούν οι ατμοσφαιρικές διεργασίες. Ένα κοινό πρόβλημα για την πρόγνωση του καιρού προέρχεται από την αβεβαιότητα η οποία σχετίζεται με τη χαοτική συμπεριφορά της ατμόσφαιρας. Σχετικά με το πρόβλημα αυτό σημαντική πρόοδος έχει επιτευχθεί, όταν έγινε κατανοητό ότι, προκειμένου να αντιμετωπιστεί η χαοτική συμπεριφορά της ατμόσφαιρας δεν αρκεί μόνο μία "ντετερμινιστική" πρόγνωση, αλλά ένα «σύνολο» προγνώσεων που πραγματοποιούνται είτε με διαφορετικές αρχικές συνθήκες είτε με διαφορετικά μοντέλα ή/και διαφορετικές επιλογές παραμετροποιήσεων του ίδιου μοντέλου ώστε να γίνει δυνατή η αποτύπωση των αβεβαιοτήτων που διέπουν την γνώσεις μας για την ατμόσφαιρα. Έτσι, τόσο το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Μετεωρολογικών Προβλέψεων (ECMWF) όσο και το National Centers for Environmental Prediction (NCEP) εισήγαγαν στις δραστηριότητές τους, στις αρχές της δεκαετίας του 1990, παγκόσμιας κλίμακας επιχειρησιακή πρόγνωση



πολλαπλών δειγμάτων (ensemble forecasting). Σε περιφερειακό επίπεδο, η εφαρμογή των συστημάτων ensemble forecasting είναι σχετικά περιορισμένη.

Στο πλαίσιο του παρόντος έργου και με στόχο να αποτιμηθούν και οι αβεβαιότητες της πρόγνωσης που οφείλονται στις διαφορετικές αρχικές συνθήκες επιλέχθηκε η παρακάτω στρατηγική. Για κάθε επεισόδιο πραγματοποιήθηκε μία σειρά προσομοιώσεων με διαφορετικό χρόνο έναρξης της προσομοίωσης (και επομένως διαφορετικές αρχικές συνθήκες) και ίδιο χρόνο λήξης (άρα διαφορετική διάρκεια) ώστε να προσομοιώνεται το σύνολο του επεισοδίου. Έτσι για τη διάρκεια του επεισοδίου παρήχθησαν πολλαπλά δείγματα (ensemble forecasts) ωριαίων προγνώσεων βροχόπτωσης τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για τις αντίστοιχες υδρολογικές προσομοιώσεις.

Πιο συγκεκριμένα, ως αρχικές και οριακές συνθήκες για τις προσομοιώσεις των επεισοδίων ισχυρής βροχόπτωσης των υπό μελέτη περιοχών, χρησιμοποιήθηκαν τα FNL δεδομένα με χρονικό βήμα 6-ωρών. Για το πρώτο επεισόδιο που αφορά την περιοχή της Πελοποννήσου και την περίοδο 14/01/2013 1200 UTC έως τις 20/01/2013 0000 UTC, πραγματοποιήθηκε ένα σύνολο δεκατριών διαδοχικών προσομοιώσεων, με ημερομηνίες έναρξης των προσομοιώσεων από τις 14/01/2013 1200 UTC έως τις 17/01/2013 1200 UTC ανά δωρο και πάντα ημερομηνία λήξης τις 20/01/2013 0000 UTC. Όμοια, για την περιοχή της Αττικής, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων καλύπτουν χρονικά το διάστημα από 20/02/2013 0000 UTC έως τις 22/02/2013 1200 UTC, με ένα σύνολο οκτώ διαδοχικών προσομοιώσεων, με έναρξη των διαδοχικών προσομοιώσεων στις 20/02/2013 0000 UTC και λήξη στις 21/02/2013 1800 UTC, χρονικού βήματος 6 ωρών (Πίνακας 2.2). Το μετεωρολογικό μοντέλο πρόγνωσης καιρού ρυθμίστηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε τα παραγόμενα αρχεία των προσομοιώσεων να δίνουν ωριαίες τιμές της κάθε μετεωρολογικής παραμέτρου, για τα προαναφερόμενα χρονικά διαστήματα (τέταρτη στήλη του Πίνακα 2.2).

Σκοπός της παρούσας ενότητας εργασίας, ήταν να πραγματοποιηθεί ensemble forecasting με έμφαση στις ωριαίες βροχοπτώσεις για το διάστημα των προσομοιώσεων, για κάθε σημείο της περιοχής του ενδότερου εσωτερικού πλέγματος. Για αυτό το λόγο, τα αποτελέσματα της κάθε προσομοίωσης, επεξεργάστηκαν για τις ανάγκες της παρούσας ενότητας εργασίας με στόχο να δημιουργηθούν τα αναγκαία πεδία εισόδου για τις υδρολογικές προσομοιώσεις που ακολούθησαν.

Πίνακας 2.2: Πληροφορίες χρονικής κάλυψης των αριθμητικών προσομοιώσεων του WRF.

Περιοχή Μελέτης	Επεισόδιο	Περίοδος διαδοχικών προσομοιώσεων	Χρονική έκταση αποτελεσμάτων
Πελοπόννησος (Λεκάνες Νέδοντα και Λούσιου)	15/01/2013 – 20/01/2013	14/01/2013 1200 UTC – 17/01/2013 1200 UTC	14/01/2013 1200 UTC – 20/01/2013 0000 UTC
Αττική (Λεκάνες Σαρανταποτάμου και ρέματος Χαλανδρίου)	13/02/2013 – 26/02/2013	20/02/2013 0000 UTC – 21/02/2013 1800 UTC	20/02/2013 0000 UTC – 22/02/2013 1200 UTC

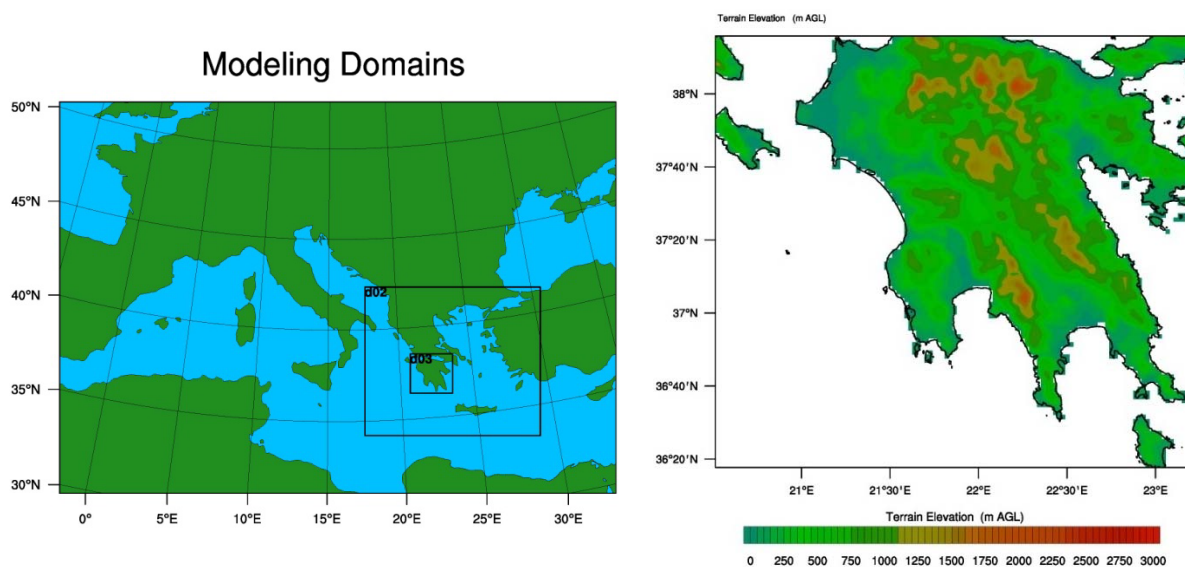
## 3 Αποτελέσματα

### 3.1 Περιοχή Πελοποννήσου

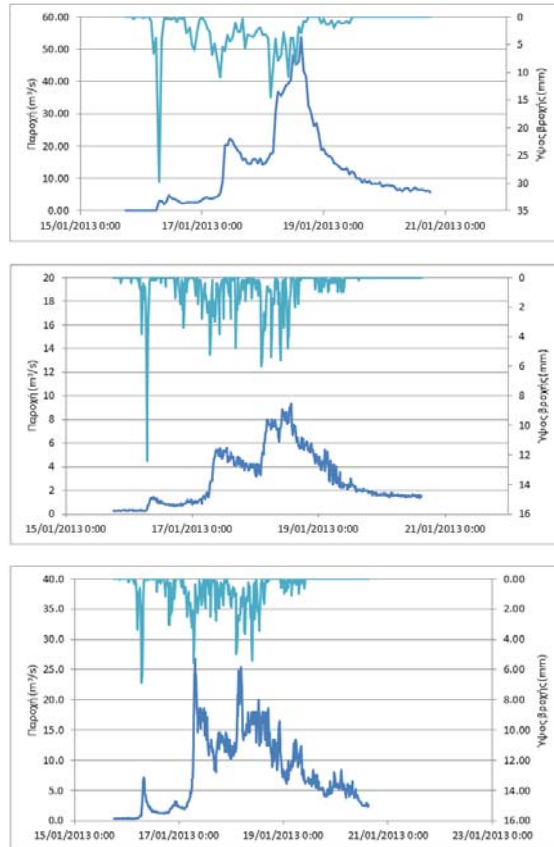
Για τις λεκάνες του Νέδοντα και του Λούσιου προσομοιώθηκε το επεισόδιο N1\_2013a, που καλύπτει χρονικά την περίοδο από 15/01/2013 έως 20/01/2013. Για την προσομοίωση του επεισοδίου, χρησιμοποιήθηκαν τα πλέγματα που εμφανίζονται στο Σχήμα 2α με το ενδότερο πλέγμα να καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα της Πελοποννήσου (Σχήμα 2β). Πιο αναλυτικά:

- το **πλέγμα 1** αποτελείται από 184×129 σημεία πλέγματος (σύνολο 23 736 σημεία), με οριζόντια χωρική ανάλυση 18 km. Το πλέγμα καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα της Ευρώπης, των ακτών της Βόρειας Αφρικής, καθώς επίσης και το μεγαλύτερο τμήμα της Μεσογείου και της Μαύρης Θάλασσας (Σχήμα 3.1α)
- το **πλέγμα 2** αποτελείται από 174×147 σημεία πλέγματος (σύνολο 25 578 σημεία), με οριζόντια χωρική ανάλυση 6 km. Το πλέγμα καλύπτει τον Ελλαδικό χώρο και τις ακτές της Δυτικής Τουρκίας, όπως απεικονίζεται στο μεγάλο τετράγωνο με ετικέτα d02 του Σχήματος 3.1α
- το **πλέγμα 3** αποτελείται από 120×108 σημεία πλέγματος (σύνολο 12 960 σημεία), με οριζόντια χωρική ανάλυση 2 km, και καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα της Πελοποννήσου, καθώς επίσης οριακά τα νησιά των Κυθήρων και της Ζακύνθου.

Οι θέσεις των τριών πλεγμάτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1α, ενώ ολόκληρο το πλέγμα, καθώς επίσης και η τοπογραφία του, όπως υπολογίζεται από το μοντέλο, εμφανίζονται στο Σχήμα 3.1β.



Σχήμα 3.1: (α) Απεικόνιση των επιλεγμένων τριών πλεγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για τις διαδοχικές προσομοιώσεις του επεισοδίου ισχυρής βροχόπτωσης στην Πελοπόννησο από το αριθμητικό μοντέλο καιρού WRF, (β) το ενδότερο εσωτερικό πλέγμα 3, με την τοπογραφία της περιοχής, όπως υπολογίζεται από το μοντέλο WRF.

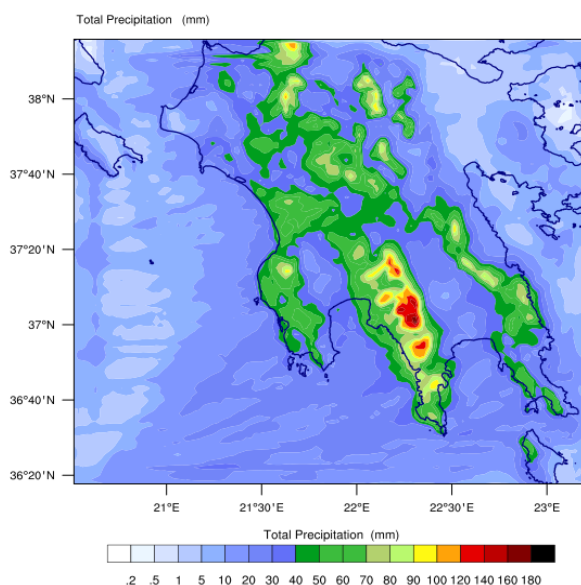


Σχήμα 3.2: Γραφήματα χρονοσειράς ύψους βροχόπτωσης (μπλε γραμμή) και παροχής (γαλάζια γραμμή) στις θέσεις (α) λατομείο Μπάκα, (β) Καρβελιώτη και (γ) Αλαγονίας (περισσότερες πληροφορίες για τις χρονοσειρές των καταγραφών του επεισοδίου στο σύνδεσμο [http://deucalionproject.gr/events/nedondas/event\\_N1\\_2013a.htm](http://deucalionproject.gr/events/nedondas/event_N1_2013a.htm)).

Σύμφωνα με τις καταγραφές των αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή μελέτης, τα συνολικά ύψη βροχής για το προαναφερόμενο χρονικό διάστημα, κυμαίνονται από 262.9 mm στη θέση λατομείο Μπάκα έως 272.7 mm στη θέση Αλαγονία, με τα μεγαλύτερα ύψη ημερήσιας βροχόπτωσης να καταγράφονται στις 18/01/2014 (Σχήμα 3.2).

Η προσομοίωση του μοντέλου για τις 18/01/2014, αποτύπωσε τα μεγάλα ύψη βροχόπτωσης, κυρίως στις ορεινές περιοχές, όπου το ημερήσιο ύψος ξεπέρασε τα 70 mm, όπως διακρίνεται στο Σχήμα 3.3. Το προαναφερόμενο σχήμα, αναπαριστά το ημερήσιο ύψος βροχόπτωσης τη συγκεκριμένη ημερομηνία, με τις αρχικές συνθήκες της πρώτης προσομοίωσης (14/01/2013 1200 UTC).

Όμως, για την αναλυτική παρουσίαση των ωριαίων υψών βροχόπτωσης, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης επεξεργάστηκαν εκ νέου, δίνοντας πληροφορίες για κάθε σημείο του ενδότερου πλέγματος 3. Έτσι λοιπόν, για κάθε προσομοίωση δημιουργείται ένα αρχείο σε μορφή .txt, ώστε να μπορεί να επεξεργαστεί εύκολα από οποιοδήποτε λογισμικό ή πρόγραμμα επεξεργασίας δεδομένων, το οποίο αποτελείται από 12960 γραμμές (120 x 108 σημεία του πλέγματος 3) και n-στήλες, όπου n ο αριθμός των ωρών από την πρώτη ώρα της προσομοίωσης έως την τελευταία (20/01/2013 0000 UTC). Τα αρχεία αυτά, αποτελούν τα παραδοτέα αρχεία, της παρούσας ενότητας εργασίας, τα οποία απαριθμούνται σε δεκατρία. Τέλος, ένα παράδειγμα παρουσίασης των αποτελεσμάτων δίνεται στο Σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.3: Ημερήσιο ύψος βροχόπτωσης στην περιοχή της Πελοποννήσου στις 18/01/2013, όπως παράχθηκε από την πρώτη προσομοίωση (14/01/2013 1200 UTC) του αριθμητικού μοντέλου καιρού WRF.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Lat	Lon	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
12828	12827	38.091	23.151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12829	12828	38.089	23.174	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12830	12829	38.087	23.197	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12831	12830	38.085	23.221	0	0	0	0	0.003	0.008	0.009	0.006	0.005	0.002	0	0	0	0
12832	12831	38.084	23.244	0	0	0	0.003	0.018	0.038	0.044	0.036	0.029	0.015	0.006	0.001	0.001	0.002
12833	12832	38.082	23.267	0	0	0.001	0.008	0.046	0.095	0.11	0.096	0.077	0.041	0.017	0.003	0.003	0.004
12834	12833	38.08	23.291	0	0.003	0.006	0.024	0.076	0.138	0.156	0.14	0.116	0.066	0.031	0.007	0.004	0.005
12835	12834	38.078	23.314	0	0.012	0.022	0.05	0.106	0.167	0.185	0.171	0.149	0.089	0.049	0.014	0.004	0.004
12836	12835	38.077	23.338	0	0.029	0.053	0.089	0.136	0.178	0.193	0.18	0.167	0.107	0.069	0.025	0.004	0.002
12837	12836	38.075	23.361	0	0.039	0.072	0.11	0.158	0.19	0.202	0.193	0.186	0.127	0.088	0.037	0.007	0.002
12838	12837	38.073	23.384	0	0.04	0.073	0.108	0.164	0.194	0.203	0.197	0.198	0.144	0.103	0.051	0.016	0.001
12839	12838	38.071	23.408	0	0.037	0.067	0.099	0.164	0.194	0.201	0.199	0.203	0.157	0.113	0.066	0.034	0.001
12840	12839	38.069	23.431	0	0.031	0.057	0.087	0.159	0.192	0.199	0.196	0.2	0.159	0.115	0.07	0.039	0.001
12841	12840	38.068	23.454	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12842	12841	38.264	20.669	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12843	12842	38.263	20.692	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12844	12843	38.262	20.716	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12845	12844	38.26	20.739	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12846	12845	38.259	20.763	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0	0	0	0	0
12847	12846	38.258	20.786	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12848	12847	38.257	20.81	0	0	0	0	0	0	0.056	0.262	0	0	0	0	0	0
12849	12848	38.256	20.833	0	0	0.189	0.136	0.223	0.267	0.715	0.508	0	0	0	0	0	0
12850	12849	38.254	20.857	0	0	0.198	0.146	0.251	0.356	0.772	0.267	0	0	0	0	0	0
12851	12850	38.253	20.88	0	0	0.188	0.002	0.194	0.138	0.687	0.116	0	0	0	0	0	0

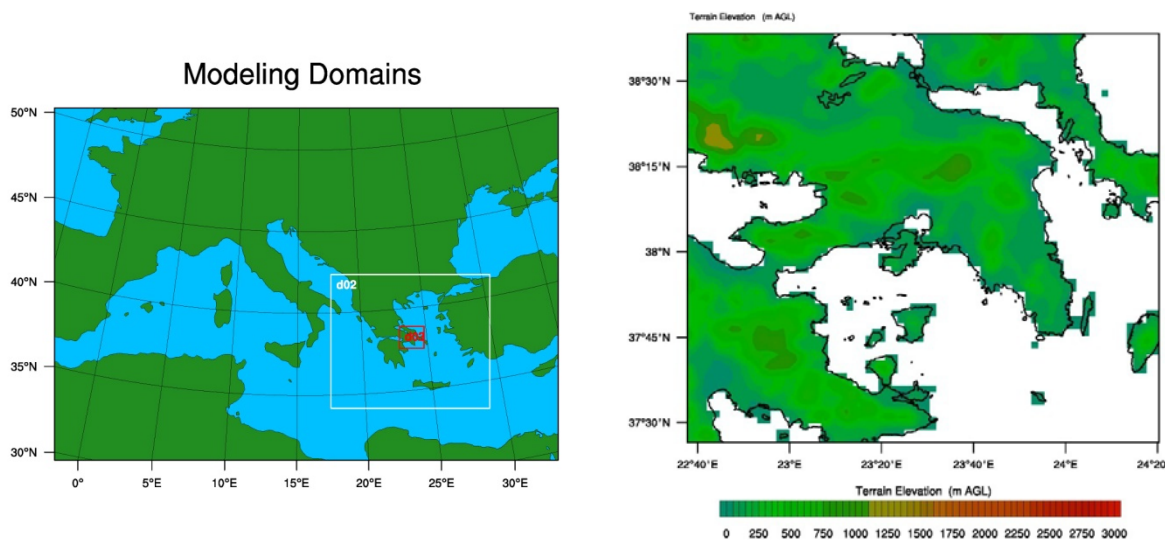
Σχήμα 3.4: Αρχείο ωριαίων προγνώσεων βροχής για κάθε σημείο πλέγματος. Συγκεκριμένα στην πρώτη στήλη (A), εμφανίζεται ο αύξων αριθμός των σημείων του πλέγματος 3, στις επόμενες δύο στήλες το γεωγραφικό πλάτος και μήκος (B, C) της περιοχής μελέτης και από την τέταρτη στήλη και δεξιότερα το ωριαίο ύψος βροχής.

### 3.2 Περιοχή Αττικής

Για τις λεκάνες του Σαρανταποτάμου και του ρέματος Χαλανδρίου, προσομοιώθηκε το επεισόδιο με αριθμό 7, που καλύπτει χρονικά την περίοδο από 13/02/2013 έως 26/02/2013. Για την προσομοίωση του επεισοδίου, χρησιμοποιήθηκαν τα πλέγματα που εμφανίζονται στο Σχήμα 6α με το ενδότερο πλέγμα να καλύπτει την Αττική και τμήματα των γειτονικών γεωγραφικών διαμερισμάτων (Σχήμα 6β). Πιο αναλυτικά:

- το **πλέγμα 1** αποτελείται από 184×129 σημεία πλέγματος (σύνολο 23 736 σημεία), με οριζόντια χωρική ανάλυση 18 km. Το πλέγμα καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα της Ευρώπης, των ακτών της Βόρειας Αφρικής, καθώς επίσης και το μεγαλύτερο τμήμα της Μεσογείου και της Μαύρης Θάλασσας (Σχήμα 3.5α)
- το **πλέγμα 2** αποτελείται από 174×147 σημεία πλέγματος (σύνολο 25 578 σημεία), με οριζόντια χωρική ανάλυση 6 km. Το πλέγμα καλύπτει τον Ελλαδικό χώρο και τις ακτές της Δυτικής Τουρκίας, όπως απεικονίζεται στο μεγάλο τετράγωνο με ετικέτα d02 του Σχήματος 3.5α
- το **πλέγμα 3** αποτελείται από 75×66 σημεία πλέγματος (σύνολο 4 950 σημεία), με οριζόντια χωρική ανάλυση 2 km, και καλύπτει την Αττική, τμήματα της Ανατολικής Βοιωτίας, της Βορειοανατολικής Πελοποννήσου και της Εύβοιας, καθώς επίσης και τα νησιά του Σαρωνικού και την Κέα.

Οι θέσεις των τριών πλεγμάτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.5α, ενώ ολόκληρο το πλέγμα καθώς επίσης και η τοπογραφία του, όπως υπολογίζεται από το μοντέλο, εμφανίζονται στο Σχήμα 3.5β.

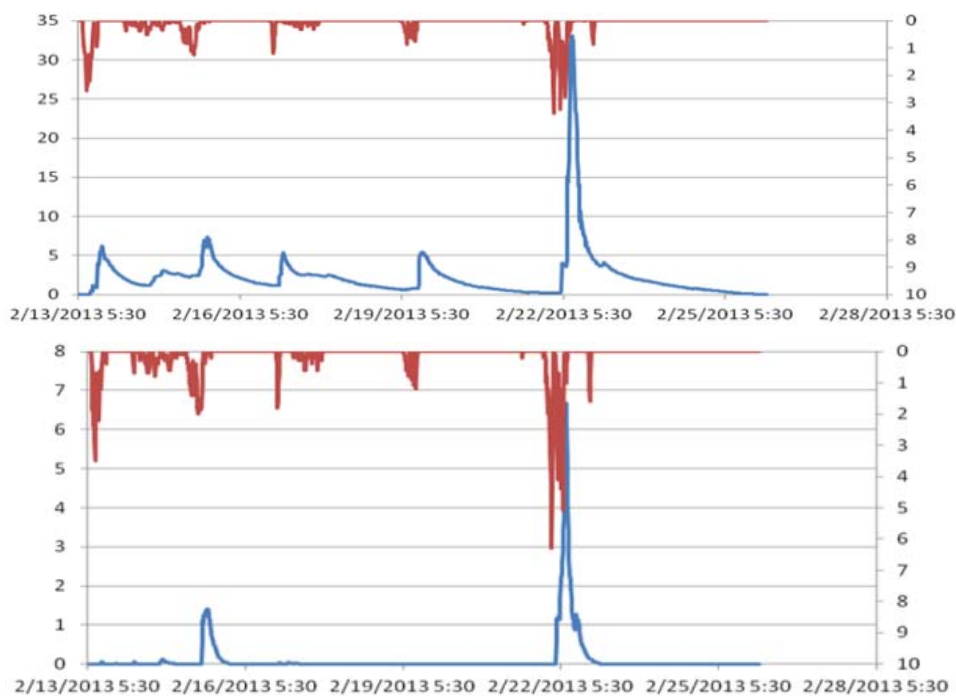


Σχήμα 3.5: (α) Απεικόνιση των επιλεγμένων τριών πλεγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για τις διαδοχικές προσομοιώσεις του επεισοδίου ισχυρής βροχόπτωσης στην Αττική από το αριθμητικό μοντέλο καιρού WRF, (β) το ενδότερο εσωτερικό πλέγμα 3, με την τοπογραφία της περιοχής, όπως υπολογίζεται από το μοντέλο WRF.

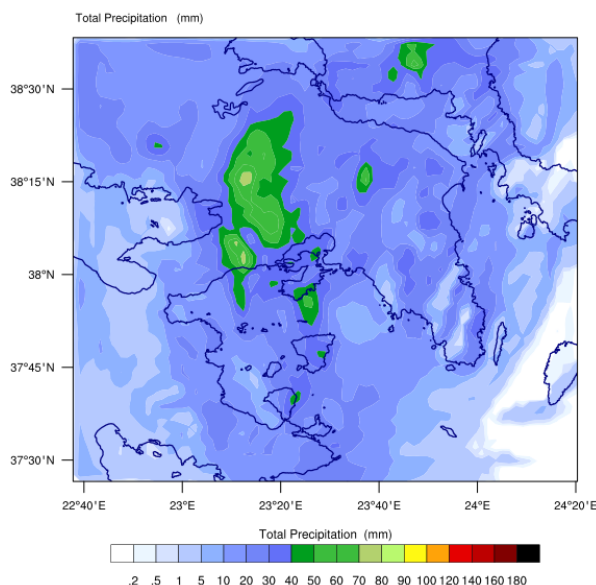
Οι αυτόματοι μετεωρολογικοί σταθμοί στην περιοχή μελέτης, κατέγραψαν συνολικά ύψη βροχής για το προαναφερόμενο χρονικό διάστημα, 129.3 mm στη θέση Γύρα Στεφάνης και 180.4 mm στην Οινόη Αττικής, με τα μεγαλύτερα ύψη ημερήσιας βροχόπτωσης να καταγράφονται τις πρωινές ώρες της 22/02/2014 (Σχήμα 3.6).

Η προσομοίωση του μοντέλου για το χρονικό διάστημα από 21/02/2013 1200 UTC έως 22/02/2014 1200 UTC, αποτύπωσε τα μεγάλα ύψη βροχόπτωσης κυρίως στη Δυτική Αττική, όπου το ύψος βροχής ξεπέρασε τα 50 mm, όπως διακρίνεται στο Σχήμα 3.7. Το προαναφερόμενο σχήμα, αναπαριστά το ύψος βροχόπτωσης σε χρονικό διάστημα ενός εικοσιτετραώρου για τη συγκεκριμένη ημερομηνία, με τις αρχικές συνθήκες της πρώτης προσομοίωσης (20/02/2013 0000 UTC).

Εργαζόμενοι όμοια με την προηγούμενη περίπτωση, για την κάθε προσομοίωση δημιουργήθηκε ένα αρχείο σε μορφή .txt, το οποίο αποτελείται από 4950 γραμμές (75 x 66 σημεία του πλέγματος 3) και n-στήλες, όπου n ο αριθμός των ωρών από την πρώτη ώρα της προσομοίωσης έως την τελευταία (22/02/2013 1200 UTC). Τα αρχεία αυτά, αποτελούν τα παραδοτέα αρχεία, της παρούσας ενότητας εργασίας για την περίπτωση της Αττικής, τα οποία απαριθμούνται σε οκτώ. Τέλος, αντίστοιχο παράδειγμα παρουσίασης των αποτελεσμάτων όμοιο με αυτό της Πελοποννήσου, δίνεται και για την Αττική στο Σχήμα 3.8.



Σχήμα 3.6: Γραφήματα χρονοσειράς ύψους βροχόπτωσης (μπλε γραμμή) και παροχής (γαλάζια γραμμή) στις θέσεις (α) Γύρα Στεφάνης και (β) Οινόης Αττικής (περισσότερες πληροφορίες για τις χρονοσειρές των καταγραφών του επεισοδίου στο σύνδεσμο [http://deucalionproject.gr/events/sarantapotamos/event\\_2013-02-13.htm](http://deucalionproject.gr/events/sarantapotamos/event_2013-02-13.htm)).



Σχήμα 3.7: Ύψος βροχόπτωσης στην περιοχή της Αττικής για το χρονικό διάστημα από 21/02/2013 1200 UTC έως τις 22/02/2013 1200 UTC, όπως παράχθηκε από την πρώτη προσομοίωση (20/02/2013 0000 UTC), του αριθμητικού μοντέλου καιρού WRF.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Lat	Lon	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
4401	4400	38.422	23.902	0	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4402	4401	38.42	23.926	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.006	0	0
4403	4402	38.418	23.949	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.044	0	0
4404	4403	38.416	23.973	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.006	0.022	0	0
4405	4404	38.414	23.996	0	0.021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0
4406	4405	38.412	24.019	0	0.051	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4407	4406	38.41	24.043	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0.001
4408	4407	38.408	24.066	0	0.048	0	0	0	0	0	0	0.022	0.004	0	0	0.015	0.012
4409	4408	38.406	24.09	0	0.033	0.056	0	0	0	0	0	0.027	0.075	0.016	0.001	0.161	0.013
4410	4409	38.404	24.113	0	0	0.038	0	0	0	0	0	0.012	0.174	0.061	0.01	0.79	0.076
4411	4410	38.402	24.137	0	0	0	0	0	0	0	0	0.006	0.092	0.103	0.027	0.187	0.043
4412	4411	38.4	24.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0.005	0.013	0.116	0.23	0.317	0.005
4413	4412	38.398	24.184	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.027	0.136	0.463	0
4414	4413	38.396	24.207	0	0.034	0.496	0	0	0	0	0	0	0	0.011	0.094	0.132	0
4415	4414	38.394	24.231	0	0.051	0.75	0.032	0	0	0	0	0	0	0.009	0.016	0.001	0
4416	4415	38.392	24.254	0	0	1.01	0.05	0	0	0	0	0	0	0.01	0.005	0	0
4417	4416	38.39	24.277	0	0	0.509	0.286	0	0	0	0	0	0	0.007	0.001	0	0
4418	4417	38.388	24.301	0	0	0.105	0.432	0	0	0.01	0	0	0	0.007	0	0	0
4419	4418	38.386	24.324	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.008	0	0	0
4420	4419	38.384	24.348	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.018	0	0
4421	4420	38.382	24.371	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.016	0.034	0	0
4422	4421	38.38	24.395	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.044	0.006	0	0
4423	4422	38.378	24.418	0	0	0	0.253	0.008	0.004	0	0	0	0.001	0.022	0.038	0.018	0
4424	4423	38.376	24.442	0	0	0	0.001	0.022	0.017	0	0	0	0	0.004	0.018	0.008	0

Σχήμα 3.8: Αρχείο ωριαίων προγνώσεων βροχής για κάθε σημείο πλέγματος. Στην πρώτη στήλη (A), εμφανίζεται ο αύξων αριθμός των σημείων του πλέγματος 3, στις επόμενες δύο στήλες το γεωγραφικό πλάτος και μήκος (B, C) της περιοχής μελέτης και από την τέταρτη στήλη και δεξιότερα το ωριαίο ύψος βροχής.

## Αναφορές

---

- Dudhia, J., 1989: Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model. *J. Atmos. Sci.*, 46, 3077–3107.
- Hong, S.-Y., J. Dudhia, and S.-H. Chen, 2004: A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 103–120.
- Kain, J. S., 2004: The Kain-Fritsch convective parameterization: An update. *J. Appl. Meteor.*, 43, 170–181.
- Skamarock, W. C., J. P. Klemp, J. Dudhia *et al.*, 2008: “A description of the advanced research WRF version 3,” *NCAR Technical Note*, NCAR/ TN-4751STR.