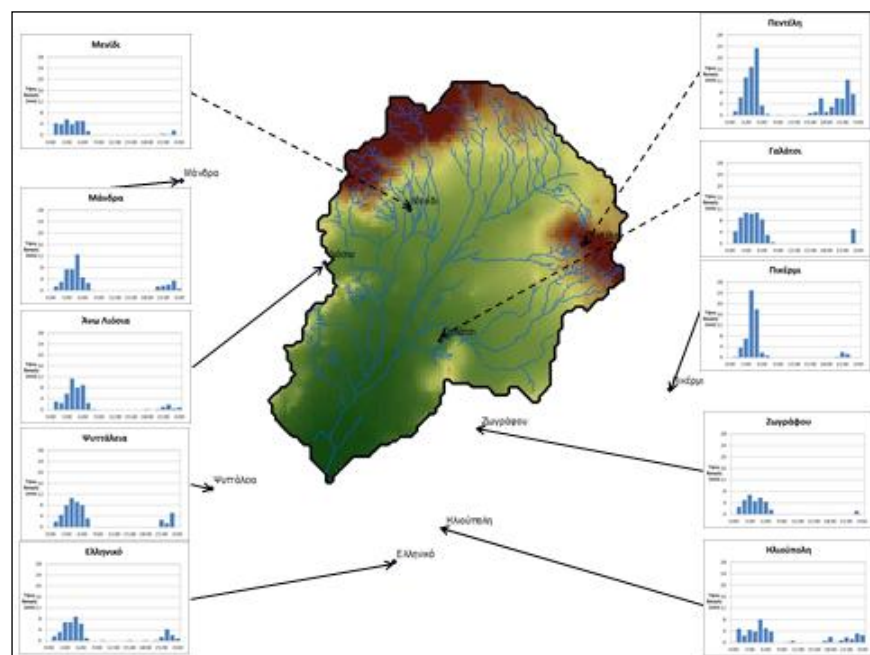




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗΣ  
ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΚΑΤΑΙΓΙΑΣ**



**Διπλωματική Εργασία Χριστόφορου Μ. Καφετζιδάκη**

**Επιβλέπων : Ν. Μαμάσης Λέκτορας Ε.Μ.Π.**

**Αθήνα, Μάρτιος 2011**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου, Νικόλαο Μαμάση, Λέκτορα ΕΜΠ για την ανάθεση και επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής, η συνεργασία μας αποδείχτηκε ειλικρινής και άκρως εποικοδομητική. Η επιστημονική του καθοδήγηση και οι καίριες επισημάνσεις του ήταν καθοριστικές για την διεκπεραίωση αυτού του εγχειρήματος.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την ομάδα διαχείρισης του συστήματος *Meteonet.gr*, απ' όπου αντλήθηκαν τα δεδομένα της παρούσας εργασίας, χωρίς τη συμβολή της οποίας η πραγματοποίηση της εργασίας δε θα ήταν εφικτή.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά τη χρονική και χωρική εξέλιξη ισχυρών καταιγίδων σε διαφορετικές κλίμακες (χωρικές και χρονικές). Η περιοχή μελέτης οριοθετείται από την υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κηφισού Αττικής, όπου τα τελευταία χρόνια λειτουργεί ένα πυκνό δίκτυο βροχογράφων (METEONET), το οποίο παρέχει δεδομένα μικρής χρονικής κλίμακας. Ως δεδομένα βροχόπτωσης για την παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν τρία έντονα επεισόδια βροχής συνολικής διάρκειας μιας μέρας. Με βάση τις δεκάλεπτες αυτές μετρήσεις δημιουργήθηκαν βροχογραφήματα για κάθε μετεωρολογικό σταθμό με χρονικό βήμα δέκα λεπτών, μισής ώρας και μίας ώρας.

Τα σημειακά ύψη βροχής μετατράπηκαν στην πορεία σε επιφανειακή βροχόπτωση με χρήση τεσσάρων διαφορετικών μεθόδων χωρικής παρεμβολής με αποτέλεσμα τη δημιουργία επιφανειών βροχής δεκάλεπτης, τριαντάλεπτης, και ωριαίας χρονικής διάρκειας. Από τις επιφάνειες αυτές προέκυψαν τα μέγιστα ύψη βροχής, τα οποία και μελετήθηκαν σε διαφορετικές χωρικές κλίμακες (0.06 km<sup>2</sup>, 1.56 km<sup>2</sup>, 6.25 km<sup>2</sup>, 39.06 km<sup>2</sup>, 156.25 km<sup>2</sup>, 360.8 km<sup>2</sup>). Οι παραπάνω διενέργειες πραγματοποιήθηκαν με χρήση του προγράμματος Συστημάτων Γεωγραφικής Πληροφορίας ArcGIS, το οποίο προσφέρει καλύτερη εποπτεία της χωροχρονικής εξέλιξης των έντονων επεισοδίων βροχής.

Με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν από τις προαναφερθείσες διαδικασίες, υπολογίστηκε στη συνέχεια ο συντελεστής επιφανειακής αναγωγής  $\phi$  (μέσο επιφανειακό ύψος βροχής προς μέγιστο σημειακό ύψος βροχής) για διάφορες χωρικές και χρονικές κλίμακες. Κατόπιν σύγκρισης του πειραματικού συντελεστή  $\phi$  με αντίστοιχους εμπειρικούς που υπάρχουν στη βιβλιογραφία, εξήχθησαν κάποια συμπεράσματα σχετικά με την καταλληλότητα τους και την προσαρμογή τους στις συνθήκες της Ελλάδας.

Τέλος, επιχειρήθηκε πιλοτικά η ανάπτυξη εμπειρικών σχέσεων που συνδέουν την ένταση της βροχόπτωσης με την χωρική και χρονική κλίμακα και προσφέρουν μια πρώτη προσέγγιση που απαιτεί όμως πιο επισταμένη και ενδεδεγμένη περαιτέρω διερεύνηση.

## ABSTRACT

The present graduate study examines the time and spatial development of intense rainfall in different scales (both in time and space). The study area is located in the watershed of Kifisos River of Attica in Greece. In this area is planted a dense network of rain gauges ([METEONET]), which provides data of small time scale. In this study three intense day-duration rainfall episodes of ten-minute time interval were used to produce graphs of rain (of ten-minute, half-hour and one-hour time interval) in each hydrometric station of the area.

The point rain heights of the graphs were later changed into surface rainfall using four different territorial interjection methods. As a result, rainfall surfaces of ten-minute, half-hour and one-hour time duration were formed through GIS program ArcGIS, which offers better monitoring of the progress of intense rainfall episodes in time and in space. Thus, it was possible to estimate the maximum rain in different spatial scales (0.06 km<sup>2</sup>, 1.56 km<sup>2</sup>, 6.25 km<sup>2</sup>, 39.06 km<sup>2</sup>, 156.25 km<sup>2</sup>, 360.8 km<sup>2</sup>).

Based on the exported data from these techniques, the surface reduction factor (medium surface rain height divided by the maximum point rain height) was also computed for various space and time scales. Its comparison with the corresponding empirical factor in bibliography led to certain conclusions with regard to their effectiveness and adaptation in conditions of Greece.

Finally, an attempt was made to develop an empirical relation connecting rainfall intensity with time and area, which demands further research.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	<b>i</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>iv</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Αντικείμενο - Στόχος Διπλωματικής Εργασίας .....	1
1.2 Περιγραφή Μεθοδολογίας .....	2
1.3 Διάρθρωση Εργασίας.....	3
1.4 Δυσκολίες κατά την εκπόνηση της εργασίας.....	4
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ</b> .....	<b>6</b>
2.1 Γενικά για τα κατακρημνίσματα.....	6
2.2 Γένεση των κατακρημνίσεων.....	7
2.3 Βασικά Μετρικά Μεγέθη Κατακρημνίσεων.....	8
2.4 Μέτρηση Κατακρημνισμάτων .....	9
2.5 Επιφανειακή Ολοκλήρωση Σημειακών Βροχοπτώσεων .....	11
2.5.1 Προσαρμογή Επιφανειών (Ψηφιδωτή Διαμέριση).....	12
2.5.2 Συντελεστής Επιφανειακής Αναγωγής.....	18
2.6 Συνοπτική Παρουσίαση Λειτουργικού Πακέτου ArcGIS .....	20
2.6.1 Γενικά για τα ΓΣΠ.....	20
2.6.2 Συνοπτική Περιγραφή ArcGIS και Εφαρμογών του .....	20
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Περιγραφή Μεθοδολογίας</b> .....	<b>24</b>
3.1 Επιλογή και Εισαγωγή Δεδομένων στο Πρόγραμμα ArcGIS .....	24
3.2 Μετατροπή Σημειακών Δεδομένων σε Επιφανειακά .....	29
3.3 Αποτύπωση Επιφανειακής Βροχόπτωσης εντός των Ορίων της Λεκάνης Απορροής.....	38
3.4 Εμφάνιση Μέγιστων Ψών Βροχής Ανάλογα Με Την Επιφάνεια .....	42
3.5 Εκτίμηση Εμπειρικής Σχέσης Έντασης Βροχής – Έκτασης και Διάρκειας .....	44

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΕΞΑΓΩΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>45</b>
4.1 Υδρολογική Λεκάνη Κηφισού και Θέση Μετεωρολογικών Σταθμών .....	45
4.2 Αποτύπωση Βροχογραφημάτων .....	46
4.3 Αποτύπωση Επιφανειακής Βροχόπτωσης .....	53
4.4 Σχέση Μέγιστου ύψους Βροχής – Επιφάνειας .....	61
4.5 Διαγράμματα Πειραματικού Συντελεστή Επιφανειακής Αναγωγής – Σύγκριση με το Θεωρητικό .....	70
4.6 Εκτίμηση Εμπειρικής Σχέσης Έντασης Βροχής – Έκτασης και Διάρκειας .....	74
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - Συμπεράσματα.....</b>	<b>78</b>
5.1 Γενική Θεώρηση Εργασίας.....	78
5.2 Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις.....	78
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>81</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>	<b>83</b>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Αντικείμενο - Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της χωρικής και χρονικής κατανομής ισχυρών καταιγίδων σε διαφορετικές κλίμακες (χωρικές και χρονικές).

Κύριο μέγεθος μέτρησης των βροχοπτώσεων είναι το ύψος τους  $h$  (μετρούμενο συνήθως σε χιλιοστά) σε δεδομένο χρόνο  $t$  (η χρονική κλίμακα ποικίλει ανάλογα με το σκοπό της μελέτης). Παράγωγο μέγεθος είναι η ένταση, η μεταβολή δηλαδή του ύψους της βροχόπτωσης  $\Delta h$  σε χρόνο  $\Delta t$ . Το φαινόμενο της κατακρήμνισης είναι επιφανειακά ανομοιομορφο, δηλαδή εξελίσσεται σε κάποια επιφάνεια της γης με ρυθμό που μεταβάλλεται στο χώρο. Για την πλήρη γνώση της χωροχρονικής εξέλιξης ενός φαινομένου θα απαιτούσε να είναι γνωστό το πεδίο  $h(x, y, t)$  σε κάθε σημείο  $(x, y)$  της επιφάνειας που ενδιαφέρει και σε κάθε χρονική στιγμή  $t$ .

Τα συμβατικά όργανα μετρήσεων παρέχουν σημειακή πληροφορία για ένα επιφανειακό φαινόμενο. Η ολοκλήρωση της σημειακής πληροφορίας στην επιφάνεια αποτελεί τον τελικό στόχο της μελέτης των βροχοπτώσεων και είναι ακριβέστερη όσο πυκνότερα είναι τα σημεία μέτρησης στην επιφάνεια του φαινομένου.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κηφισού Αττικής, όπου τα τελευταία χρόνια λειτουργεί ένα πυκνό δίκτυο βροχογράφων (METEONET), το οποίο παρέχει δεδομένα μικρής χρονικής κλίμακας. Με βάση τα δεδομένα αυτά δημιουργήθηκαν επιφάνειες βροχής δεκάλεπτης, τριαντάλεπτης, και ωριαίας χρονικής διάρκειας και μελετήθηκε το ύψος της βροχής σε χωρικές κλίμακες ( $0.06 \text{ km}^2$ ,  $1.56 \text{ km}^2$ ,  $6.25 \text{ km}^2$ ,  $39.06 \text{ km}^2$ ,  $156.25 \text{ km}^2$ ,  $360.8 \text{ km}^2$ ). Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Συστημάτων Γεωγραφικής Πληροφορίας ArcGIS, το οποίο προσφέρει καλύτερη εποπτεία της χωροχρονικής εξέλιξης των έντονων επεισοδίων βροχής.

Με βάση την ανάλυση αυτή διερευνήθηκε η καταλληλότητα των υπαρχόντων στην βιβλιογραφία εμπειρικών συντελεστών αναγωγής της σημειακής έντονης βροχόπτωσης σε επιφανειακή. Επιπλέον, επιχειρήθηκε πιλοτικά η ανάπτυξη εμπειρικών σχέσεων που συνδέουν την ένταση της βροχόπτωσης με την χωρική και χρονική κλίμακα.

## 1.2 Περιγραφή Μεθοδολογίας

Ακολούθως, παρουσιάζονται συνοπτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας, με τη σειρά που αυτά πραγματοποιήθηκαν :

- Συλλογή δεδομένων από τη διαδικτυακή σελίδα METEONET και δημιουργία βροχογραφημάτων χρονικής κλίμακας δεκαλέπτου, μισής και μιας ώρας για τρία διαφορετικά επεισόδια βροχής.
- Μετατροπή σημειακών μετρήσεων βροχόπτωσης σε επιφανειακά δεδομένα και αποτύπωση επιφανειακής βροχόπτωσης δεκάλεπτης, τριαντάλεπτης, και ωριαίας χρονικής διάρκειας στη λεκάνη του Κηφισού με χρήση τεσσάρων μεθόδων χωρικής παρεμβολής (μέσω της εφαρμογής ArcMap του προγράμματος ArcGIS).
- Εύρεση επιφανειακών μέγιστων υψών βροχής δεκάλεπτης, τριαντάλεπτης, και ωριαίας χρονικής διάρκειας και διαγραμματική αποτύπωσή τους σε διαφορετικές χωρικές κλίμακες ( $0.06 \text{ km}^2$ ,  $1.56 \text{ km}^2$ ,  $6.25 \text{ km}^2$ ,  $39.06 \text{ km}^2$ ,  $156.25 \text{ km}^2$ ,  $360.8 \text{ km}^2$ ).
- Υπολογισμός του συντελεστή αναγωγής της σημειακής έντονης βροχόπτωσης σε επιφανειακή για διαφορετικές χωρικές και χρονικές κλίμακες και σύγκριση του με θεωρητικό συντελεστή από τη βιβλιογραφία.
- Εκτίμηση εμπειρικών σχέσεων που συνδέουν την ένταση της βροχόπτωσης με τη βρεχόμενη επιφάνεια και τη διάρκεια της βροχόπτωσης.



### 1.3 Διάρθρωση Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία δομείται σε πέντε βασικά κεφάλαια. Στο **πρώτο** κεφάλαιο, παρατίθενται γενικά στοιχεία για τη μελέτη που αφορούν στο αντικείμενο, τη δομή, τις δυσκολίες στην υλοποίησή της, αλλά και τη διάρθρωση του παρόντος τεύχους.

Στο **δεύτερο** κεφάλαιο, παρουσιάζεται συνοπτικά το θεωρητικό υπόβαθρο της παρούσας μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται μια γενική περιγραφή του φαινομένου των κατακρημνισμάτων και στη συνέχεια κάποιων βασικών χαρακτηριστικών του, όπως ο τρόπος σχηματισμού των κατακρημνισμάτων, κάποια βασικά μετρητικά μεγέθη και μετρικά όργανα. Επιπλέον, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην περιγραφή συγκεκριμένων μεθόδων μετατροπής της σημειακής βροχόπτωσης σε επιφανειακή καθώς και στη βιβλιογραφική αναφορά στους υπάρχοντες εμπειρικούς συντελεστές αναγωγής της σημειακής έντονης βροχόπτωσης σε επιφανειακή. Τέλος, γίνεται μια σύντομη αναφορά στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και στο αντίστοιχο πρόγραμμα ArcGIS που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της μελέτης.

Στο **τρίτο** κεφάλαιο, πραγματοποιείται λεπτομερής περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία. Αρχικά, παρατίθενται τα δεδομένα εισόδου, (βροχομετρικά δεδομένα, όρια υδρολογικής λεκάνης, υδρογραφικό δίκτυο, ψηφιακό μοντέλο εδάφους, θέση μετεωρολογικών σταθμών) και ακολουθεί περιγραφή της επεξεργασίας τους ώστε να εισαχθούν στο πρόγραμμα ArcGIS. Στη συνέχεια, περιγράφονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τη μετατροπή της σημειακής βροχόπτωσης σε επιφανειακή εντός των ορίων της υδρολογικής λεκάνης. Ακόμα, περιγράφεται ο τρόπος υπολογισμού των μέγιστων υψών βροχής σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες και ο τρόπος εκτίμησης των αντίστοιχων συντελεστών επιφανειακής αναγωγής. Τέλος παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την ανάπτυξη εμπειρικών σχέσεων που συνδέουν την ένταση της βροχόπτωσης με την χωρική και χρονική κλίμακα.

Το **τέταρτο** κεφάλαιο περιλαμβάνει συγκεντρωτικούς πίνακες, διαγράμματα και χάρτες απεικόνισης των αποτελεσμάτων της μελέτης. Στο κεφάλαιο αυτό περιέχονται χάρτες με τη λεκάνη του Κηφισού και προσαρμοσμένα σε αυτή βροχογραφήματα για κάθε μετεωρολογικό σταθμό (για δεδομένα επεισόδια βροχής), χάρτες αποτύπωσης της επιφανειακής βροχόπτωσης δεκάλεπτης, τριαντάλεπτης, και ωριαίας χρονικής διάρκειας, διαγράμματα μέγιστου ύψους βροχής – βρεχόμενης επιφάνειας, διαγράμματα πειραματικού και θεωρητικού συντελεστή επιφανειακής αναγωγής σε διαφορετικές χρονικές και χωρικές κλίμακες και τέλος διαγράμματα εμπειρικής σχέσης έντασης βροχόπτωσης με την επιφάνεια και τη διάρκεια βροχής.

Στο **πέμπτο** και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας, γίνεται μια συνολική αποτίμηση της μελέτης και εκθέτονται τα συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις που προέκυψαν καθ' όλη τη διάρκεια της πραγματοποίησης της.

Τέλος στο **παράρτημα** παρατίθενται τα δεδομένα των τριών επεισοδίων από τους μετεωρολογικούς σταθμούς και τα διαγράμματα του πειραματικού συντελεστή επιφανειακής αναγωγής  $\phi$  σε σύγκριση με τον αντίστοιχο θεωρητικό για κάθε επεισόδιο ξεχωριστά.

#### 1.4 Δυσκολίες κατά την εκπόνηση της εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια προσπάθεια διερεύνηση της χωρικής και χρονικής κατανομής ισχυρών καταιγίδων σε διαφορετικές χωρικές και χρονικές κλίμακες. Η διαδικασία επιφυλάσσει πολλές δυσκολίες μέχρι την ολοκλήρωσή της, καθώς απαιτείται η συγκέντρωση και χρήση διαφόρων δεδομένων εισόδου καθώς και η εφαρμογή σύνθετων υπολογιστικών και χαρτογραφικών μοντέλων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία τα δεδομένα εισαγωγής προέρχονται από βροχομετρικές μετρήσεις, οι οποίες πραγματοποιούνται σε διάφορους μετεωρολογικούς σταθμούς. Για αξιόπιστα και έγκυρα αποτελέσματα απαιτείται η ύπαρξη ενός πυκνού υδρομετρικού δικτύου, με σύγχρονο εξοπλισμό και αναβαθμισμένη λειτουργία. Είναι αυτονόητο ότι η αξιοπιστία και η ακρίβεια μιας

μελέτης εξαρτάται άμεσα από την εγκυρότητα και την ακρίβεια των απαιτούμενων δεδομένων. Η απουσία δεδομένων υποχρεώνει των ερευνητή σε μια σειρά από παραδοχές, οι οποίες πιθανότατα να οδηγήσουν σε ανακριβή ή ακόμα και εσφαλμένα αποτελέσματα και συμπεράσματα.

Επιπλέον, η εκμάθηση και εφαρμογή των προγραμμάτων που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία ενδέχεται να δυσκολέψει το νέο χρήστη. Ιδιαίτερη προσοχή και επιπρόσθετη μελέτη απαιτείται ώστε να εισαχθούν στα προγράμματα οι κατάλληλες παράμετροι ώστε να προσομοιάζουν όσο το δυνατό καλύτερα τις συνθήκες της μελέτης.

Τέλος, η προσπάθεια προσαρμογής μιας μαθηματικής έκφρασης στα πειραματικά αποτελέσματα αποτελεί μια περίπλοκη διαδικασία, που απαιτεί γνώση και χρήση ενός ικανού αριθμού δεδομένων για αξιόπιστα συμπεράσματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

### 2.1 Γενικά για τα κατακρημνίσματα

Με τον όρο **κατακρημνίσματα** μπορεί να περιγραφεί κάθε μορφή υγρασίας που φτάνει από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της γης (Μιμίκου, 2002). Η υγρασία της ατμόσφαιρας προέρχεται κυρίως από την εξάτμιση του νερού από υγρές επιφάνειες, όπως η θάλασσα, οι λίμνες, τα ποτάμια, καθώς και τη διαπνοή των φυτών. Τα φαινόμενα τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα τα κατακρημνίσματα (π.χ. βροχόπτωση, χιονόπτωση) ονομάζονται κατακρημνίσεις.

Οι κατακρημνίσεις αποτελούν γενεσιουργό αίτιο των υδρολογικών φαινομένων πάνω στη γη. Η κατακρήμνιση που φτάνει στην επιφάνεια της γης και δεν απορρέει είτε επιφανειακά είτε υπόγεια ονομάζεται υδρολογική απώλεια και αποτελείται κυρίως από τις ακόλουθες συνιστώσες (Eagleson, 1970) :

1. Εξάτμιση – Η διαδικασία κατά την οποία το νερό των υδάτινων επιφανειών περνάει άμεσα από την υγρή στην αέρια φάση (Μετατροπή Υγρού Σώματος σε Αέριο).
2. Διαπνοή - Η διαδικασία κατά την οποία το νερό περνάει από την υγρή στην αέρια κατάσταση μέσω του μεταβολισμού των φυτών (Μετατροπή Υγρού Σώματος σε Αέριο).
3. Ενσωμάτωση του νερού μέσα στη φυσική δομή της φυτοκάλυψης στη διαδικασία ανάπτυξής της.
4. Εξάχνωση – Η διαδικασία κατά την οποία το νερό περνάει άμεσα από τη στερεά στην αέρια κατάσταση (Μετατροπή Στερεού Σώματος σε Αέριο).

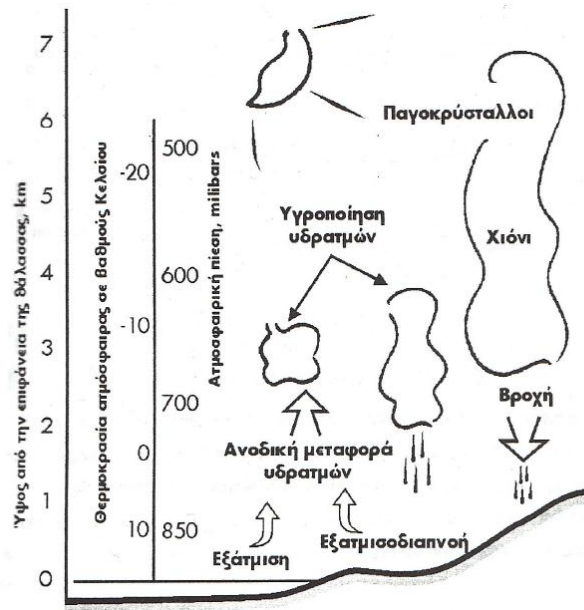
Οι κύριες μορφές των κατακρημνισμάτων είναι τρεις: η βροχή, το χιόνι και το χαλάζι. Η παρούσα διπλωματική εργασία καταπιάνεται εξολοκλήρου με το φαινόμενο της βροχόπτωσης και κάποιες συγκεκριμένες συνιστώσες του.

## 2.2 Γένεση των κατακρημνίσεων

Η κατακρήμνιση είναι φυσικό αποτέλεσμα των διεργασιών που συντελούνται στην ατμόσφαιρα, όπως η ανύψωση, η ψύξη και η συμπύκνωση των υδρατμών. Τα τρία βασικά στάδια σχηματισμού των κατακρημνίσεων είναι τα εξής (Μιμίκου, 1994):

1. Δημιουργία θερμοδυναμικής κατάστασης κορεσμού των υδρατμών – Συνθήκες υγροποίησης. Οι συνθήκες αυτές επιτυγχάνονται κυρίως λόγω της διόγκωσης και ψύξης του εμπλουτισμένου σε υγρασία αέρα κατά την ανοδική του πορεία. Η ανοδική αυτή πορεία οφείλεται σε διαφορές θερμοκρασίας και πιέσεων, οι οποίες τελικά προκαλούν πεδία ανέμων.
2. Αλλαγή φάσης του περιεχόμενου νερού από αέρια (υδρατμοί) σε υγρή ή στερεή. Στη φάση αυτή συντελείται η συμπύκνωση των υδρατμών σε λεπτά σταγονίδια ενδεικτικής μέσης διαμέτρου 10 – 30 μm ή μικρούς κρυστάλλους πάγου (ανάλογα τη θερμοκρασία). Η δημιουργία των σταγονιδίων σε μεγάλες ποσότητες είναι εμφανής μακροσκοπικά με τη μορφή νεφών, αλλά δεν είναι ικανή για την έναρξη της κατακρήμνισης, αφού τα σταγονίδια λόγω της μικρής ταχύτητας καθίζησής τους παραμένουν σε αιώρηση.
3. Αύξηση των μικρών σταγονιδίων νερού ή κρυστάλλων πάγου σε κατακρημνισμό μέγεθος. Στο στάδιο αυτό παρατηρείται εντυπωσιακή αύξηση της μάζας των σταγόνων ή των παγοκρυστάλλων με αποτέλεσμα οι δυνάμεις βαρύτητας να υπερνικήσουν την αιώρηση που δημιουργεί η τυρβώδης διάχυση και να δημιουργηθεί κατακρήμνιση.

Η πραγματοποίηση των πρώτων δύο σταδίων είναι αρκετά συνήθης, χωρίς όμως να ακολουθείται πάντα από το τρίτο στάδιο, δηλαδή την παραγωγή κατακρημνίσεων. Συχνά τα σύννεφα που σχηματίζονται θερμαίνονται είτε από διάφορες ακτινοβολίες είτε λόγω καθοδικής τους πορείας έως ότου διαλυθούν με επανεξάτμιση των σταγονιδίων. Στο Σχήμα 2.1 αναπαρίσταται γραφικά η διαδικασία σχηματισμού κατακρημνισμάτων.



Σχήμα 2.1 Γραφική απεικόνιση μηχανισμού σχηματισμού κατακρημνισμάτων (Μιμίκου, 2002)

### 2.3 Βασικά Μετρικά Μεγέθη Κατακρημνίσεων

Κύριο μέγεθος μέτρησης των κατακρημνισμάτων αποτελεί το **ύψος  $h$**  σε δεδομένο **χρόνο  $t$** , το οποίο μπορεί εύκολα να μετρηθεί σε σημειακή βάση με τη χρήση συγκεκριμένων οργάνων όπως θα περιγραφεί και στη συνέχεια. Παράγωγο μέγεθος είναι η **ένταση  $i$** , που προκύπτει ως πηλίκο του συνολικού ύψους του κατακρημνίσματος προς τον αντίστοιχο χρόνο ως εξής:

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Όπου,

$\Delta h$  είναι η μεταβολή του ύψους του κατακρημνίσματος στον αντίστοιχο χρόνο  $\Delta t$ .

Το φαινόμενο της κατακρήμνισης εξελίσσεται με μεταβαλλόμενο ρυθμό από σημείο σε σημείο, δηλαδή είναι επιφανειακά ανομοιόμορφο (Κουτσογιάννης, 1999). Σημαντικές διαφορές στην ένταση και στο συνολικό ύψος μπορούν να παρατηρηθούν ακόμα και για σχετικά μικρές αποστάσεις (της τάξης των λίγων km). Η ορθότερη και πλήρης γνώση της χωροχρονικής εξέλιξης μιας κατακρήμνισης θα απαιτούσε να είναι γνωστό το πεδίο  $h(x,y,t)$  σε κάθε σημείο  $(x,y)$  της επιφάνειας μελέτης σε κάθε

χρονική στιγμή  $t$ . Κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατό με τα συμβατικά όργανα μέτρησης, τα οποία παρέχουν σημειακές πληροφορίες, δηλαδή πραγματοποιούν τις μετρήσεις σε συγκεκριμένη θέση στο χώρο. Κατά συνέπεια, όσο πιο πυκνά είναι τα σημεία που παρέχουν πληροφορία για ένα μέγεθος τόσο πιο ακριβής είναι η πραγματική χωρική κατανομή του μεγέθους αυτού. Άλλωστε η ολοκλήρωση της σημειακής πληροφορίας είναι και ο τελικός στόχος στη μελέτη των βροχοπτώσεων.

Σε ότι αφορά στη χρονική εξέλιξη των κατακρημνίσεων απαιτείται λήψη διαδοχικών μετρήσεων ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Η αλληλουχία των διαδοχικών μετρήσεων αποτελεί μια χρονοσειρά. Η χρονική κλίμακα μέτρησης εξαρτάται από την πρακτική μέτρησης και από τις μετρικές δυνατότητες του οργάνου και μπορεί να κυμαίνεται από 5 λεπτά μέχρι και μία ημέρα. Ανάλογα με την υδρολογική μελέτη, η χρονική κλίμακα της μελέτης ενδέχεται να διαφέρει από την χρονική κλίμακα μέτρησης. Αυτό πρακτικά σημαίνει τη μετάβαση από λεπτότερες χρονικές κλίμακες μέτρησης σε αδρότερες (το αντίστροφο είναι εξειδικευμένο και επιτυγχάνεται με χρήση στατιστικών μεθόδων). Για παράδειγμα, δεκάλεπτες μετρήσεις βροχόπτωσης μπορούν να μετατραπούν σε δεδομένα μιας ώρας, μιας μέρας, ενός μήνα ακόμα και ενός έτους (μέσω της συνάθροισης των επιμέρους μετρήσεων).

#### 2.4 Μέτρηση Κατακρημνισμάτων

Για τη μέτρηση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων χρησιμοποιείται σήμερα ένας μεγάλος αριθμός τύπων οργάνων. Κατά τη σημειακή μέτρηση των κατακρημνισμάτων χρησιμοποιούνται κυρίως κυλινδρικά δοχεία, εγκατεστημένα σε συγκεκριμένες θέσεις, που συλλέγουν κυρίως τη βροχόπτωση και βοηθητικά τη χιονόπτωση, δίνοντας την αντίστοιχη σημειακή μέτρηση. Οι σημειακοί αυτοί μετρητές διακρίνονται σε δύο τύπους (Μιμίκου, 2002):

- Βροχόμετρα. Είναι όργανα σημειακής μέτρησης της βροχής και του χιονιού, τα οποία παρέχουν πληροφορίες για την ολική βροχόπτωση είτε για το ισοδύναμο ύψος νερού μιας χιονόπτωσης ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα (συνήθως 8, 12 ή 24 ώρες) μέσω ανάγνωσης της ένδειξης από ένα παρατηρητή. Ο κλασσικός τύπος βροχογράφου αποτελείται από το συλλέκτη, έναν αποδέκτη και ένα χωνί.

- Βροχογράφοι. Είναι όργανα σημειακής μέτρησης της βροχής και του χιονιού, καταγράφοντας με απλό ωρολογιακό μηχανισμό τη μεταβολή του ύψους βροχής στο χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο περιγράφουν τη χρονική κατανομή της σημειακής βροχόπτωσης. Οι βροχογράφοι δίνουν παρατηρήσεις για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα και για το λόγο αυτό είναι κατάλληλα για τη μελέτη της διακύμανσης της έντασης μιας βροχής.

Σε πολλές περιπτώσεις τα συμβατικά όργανα μέτρησης των κατακρημνισμάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω κρίνονται ανεπαρκή για να περιγράψουν τη χωρική και χρονική διακύμανση του μεγέθους. Η χρήση μετεωρολογικών ραντάρ προσφέρει σημαντικές δυνατότητες στη μέτρηση της βροχής καθώς :

- Η χρήση τους είναι πιο εύκολη σε σχέση με τη χρήση ενός δικτύου βροχογράφων.
- Η περιοχή μέτρησης από ένα βροχογράφο είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με αυτή του ραντάρ.
- Τα προβλήματα εξαιτίας της διαφοροποίησης μιας περιοχής ξεπερνιούνται με τη χρήση των ραντάρ, καθώς η συνολική πληροφορία της κατανομής της βροχής στο χώρο και στο χρόνο συγκεντρώνεται και επεξεργάζεται για κάθε στοιχείο χωριστά.
- Το ραντάρ σαρώνει σε μια απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ ο βροχογράφος μετράει τη βροχή στην επιφάνεια του εδάφους.

Η εγκατάσταση δικτύων σημειακών μετρήσεων αποτελεί ένα εξαιρετικά περίπλοκο εγχείρημα, απαιτεί ειδική μελέτη και εξαρτάται κυρίως από κλιματικούς και γεωμορφολογικούς παράγοντες αλλά και από τη χρήση των βροχομετρικών δεδομένων. Γενικά, όσο πιο πυκνό είναι το δίκτυο των βροχομετρικών σταθμών τόσο πιο αντιπροσωπευτικό είναι για την επιφανειακή βροχόπτωση και μειώνονται σημαντικά τα λάθη λόγω ανομοιομορφίας της γεωμορφολογίας της περιοχής. Επιπλέον, τα σφάλματα μέτρησης της βροχής μειώνονται με τη διάρκεια της βροχής και το μέγεθος της επιφάνειας, αλλά αυξάνονται με το ύψος της επιφανειακής βροχόπτωσης.



## 2.5 Επιφανειακή Ολοκλήρωση Σημειακών Βροχοπτώσεων

Οι μετρήσεις που λαμβάνονται από τα όργανα σημειακής μέτρησης αφορούν αποκλειστικά το σημείο στο οποίο βρίσκονται εγκατεστημένα τα όργανα αυτά. Σε πολλές όμως περιπτώσεις είναι απαραίτητη η γνώση ενός μεγέθους σε μια ορισμένη επιφάνεια, π.χ. για την εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου απαιτείται γνώση της επιφανειακής βροχόπτωσης της υδρολογικής λεκάνης. Για το σκοπό αυτό, σε μια υδρολογική λεκάνη τοποθετείται δίκτυο βροχογράφων, σε θέσεις κατάλληλες ώστε να αποτυπώνεται καλύτερα η χωρική διαφοροποίηση της βροχής. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα των σημειακών μετρήσεων επεξεργάζονται μέσω κατάλληλων **μεθόδων επιφανειακής ολοκλήρωσης** και ανάγονται σε επιφανειακό ύψος βροχής της λεκάνης.

Οι μέθοδοι επιφανειακής ολοκλήρωσης μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1997) :

- Μέθοδοι άμεσης ολοκλήρωσης. Υπολογίζουν την επιφανειακή βροχόπτωση απευθείας από τις τιμές της σημειακής βροχόπτωσης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν η μέθοδος του μέσου όρου, η μέθοδος Thiessen και η μέθοδος δύο αξόνων Bethlahmy.
- Μέθοδοι προσαρμογής επιφάνειας. Εκτιμούν αρχικά τη γεωγραφική μεταβλητότητα της βροχόπτωσης στην υπό εξέταση περιοχή και στη συνέχεια υπολογίζουν την επιφανειακή βροχόπτωση. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν η μέθοδος των ισοϋετιών, η μέθοδος υπολογιστικής γραμμικής παρεμβολής, η μέθοδος των αντίστροφων σταθμισμένων αποστάσεων, η μέθοδος βασικών ακτινωτών συναρτήσεων, η μέθοδος πολυωνύμων, η μέθοδος προσαρμογής splines, η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων με πολυώνυμα και η μέθοδος βέλτιστης ολοκλήρωσης (Kriging).

Στη συνέχεια γίνεται μια περαιτέρω αναφορά στην προσαρμογή επιφανειών και ιδιαίτερα στις μεθόδους ψηφιδωτής διαμέρισης που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη.

### 2.5.1 Προσαρμογή Επιφανειών (Ψηφιδωτή Διαμέριση)

Σύμφωνα με τη μέθοδο της ψηφιδωτής διαμέρισης η περιοχή ολοκλήρωσης διαμερίζεται σε ισομεγέθη στοιχειώδη κύτταρα ή ψηφίδες με την εφαρμογή ενός ορθογωνικού καννάβου, με δεδομένη ισαποχή των οριζόντιων και κατακόρυφων γραμμών του (Μαμάσης και Κουτσογιάννης, 1999). Για κάθε κύτταρο, υπολογίζεται η τιμή της μεταβλητής, η οποία αντιστοιχεί στο κέντρο του κυττάρου, αλλά θεωρείται σταθερή για όλη την επιφάνειά του. Η επιφανειακή τιμή προκύπτει τότε, ως ο μέσος όρος των τιμών όλων των κυττάρων. Η τιμή που ολοκληρώνεται μπορεί να είναι στιγμιαία, μέση ή αθροιστική για συγκεκριμένη χρονική διάρκεια.

Ανάλογα με το αν η κατασκευασμένη επιφάνεια διατηρεί ή όχι τις μετρημένες σημειακές τιμές οι μέθοδοι διακρίνονται αντίστοιχα σε :

- μέθοδοι ακριβούς παρεμβολής (exact-interpolation methods)
- μέθοδοι εξομάλυνσης (smoothing methods).

Μία δεύτερη κατηγοριοποίηση των μεθόδων τις διαχωρίζει σε :

- Στατιστικές - στοχαστικές μέθοδοι (statistical-stochastic methods). Βασίζονται στην αρχή να μειώνουν τα σφάλματα παρεμβολής στα σημεία της επιφάνειας όπου δεν υπάρχουν σημειακές μετρήσεις. Πλεονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι ότι υπολογίζουν το σφάλμα παρεμβολής σε κάθε σημείο.
- Προσδιοριστικές μέθοδοι (deterministic methods). Παράγουν επιφάνειες με τη χρήση άλλων μαθηματικών κριτηρίων.

Στη συνέχεια, περιγράφονται δύο γνωστές προσδιοριστικές μέθοδοι ακριβούς παρεμβολής αλλά και δύο στατιστικές, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν μέσω του προγράμματος γεωγραφικής πληροφορίας ArcGIS για την εκτίμηση της βροχόπτωσης σε σημεία της υπό εξέταση περιοχής που δεν υπήρχε καταγεγραμμένη πληροφορία.

## Προσδιοριστικές Μέθοδοι Ακριβούς Παρεμβολής

### ➤ Μέθοδος Σταθμισμένων Αντίστροφων Αποστάσεων - Inverse Distance Weighting ( I.D.W)

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μια από τις συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες μεθόδους ακριβούς παρεμβολής και βασίζεται στην υπόθεση ότι η επιφάνεια παρεμβολής επηρεάζεται περισσότερο από τα πιο κοντινά σημεία στα οποία υπάρχουν μετρήσεις παρ' ότι από τα πιο απομακρυσμένα. Η επιφάνεια παρεμβολής προκύπτει ως ένας σταθμισμένος μέσος όρος των διάσπαρτων σημείων με μετρημένες τιμές, το βάρος (η επίδραση) των οποίων ελαττώνεται καθώς αυξάνει η απόσταση. Μία γενική μαθηματική έκφραση περιγραφής της μεθόδου Σ.Α.Α. είναι η εξής :

$$u(x) = \sum_{i=1}^n w_i * u_i$$

Όπου,

**u(x)** : η εκτιμώμενη τιμή που προκύπτει από τη χωρική παρεμβολή στα σημεία όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις.

**n** : ο αριθμός των σημείων όπου υπάρχουν μετρήσεις του εκτιμώμενου μεγέθους και χρησιμοποιούνται ως πλησιέστεροι γείτονες για την παρεμβολή

**u<sub>i</sub>** : οι μετρημένες τιμές στα σημεία αυτά

**w<sub>i</sub>** : η παράμετρος βαρύτητας ή πιο απλά το βάρος του σημείου κάθε μετρημένης τιμής ανάλογα με την απόστασή του από το σημείο παρεμβολής.

Το βάρος κάθε μετρημένης τιμής στην παρεμβολή μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση :

$$w_i = \frac{1}{d_i^p} / \sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}, \quad \text{με} \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Όπου,

**d<sub>i</sub>** : η απόσταση του σημείου της παρεμβολής από το κάθε σημείο με μετρημένη τιμή που χρησιμοποιείται στην παρεμβολή

**p** : εκθετική παράμετρος

Όπως προκύπτει από την παραπάνω μαθηματική σχέση, το βάρος κάθε σημείου είναι αντιστρόφως ανάλογο της απόστασης του από το σημείο παρεμβολής υψωμένης σε μια παράμετρο  $p$ . Σαν αποτέλεσμα, όσο αυξάνεται η απόσταση το βάρος μειώνεται σημαντικά. Η παράμετρος  $p$  καθορίζει το ρυθμό με το οποίο μειώνεται το βάρος. Για  $p=0$  δεν υπάρχει μείωση του βάρους με την απόσταση και επομένως η τιμή του κάθε σημείου παρεμβολής υπολογίζεται ως ο μέσος όρος όλων των τιμών των μετρημένων σημείων. Όσο αυξάνεται η παράμετρος  $p$  μειώνεται ραγδαία η επίδραση των πιο απομακρυσμένων σημείων. Για  $0 < p < 1$  οι εκτιμώμενες τιμές έχουν εξομαλυμένες κορυφές ενώ για  $p > 1$  οι κορυφές αυτές γίνονται πιο αιχμηρές.

Η επιλογή της παραμέτρου  $p$  εξαρτάται από το βαθμό της επιθυμητής εξομάλυνσης της παρεμβολής, την πυκνότητα και την κατανομή των μετρημένων δειγμάτων καθώς και την μέγιστη επιτρεπτή απόσταση επιρροής ενός δείγματος. Το μενού του ArcGIS “Geostatistical Analyst” χρησιμοποιεί εκθετικό παράγοντα μεγαλύτερο από 1. Για  $p=2$  η μέθοδος ονομάζεται παρεμβολή τετραγωνικά σταθμισμένων αντίστροφων αποστάσεων (inverse distance squared weighted interpolation).

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μια αρκετά παλιά τεχνική παρεμβολής, με βασικό όμως μειονέκτημα ότι δεν παράγει τιμές εκτός των ορίων των μετρημένων τιμών. Δηλαδή, οι μέγιστες και ελάχιστες εκτιμώμενες τιμές του μεγέθους είναι αυτές που έχουν προκύψει από τις μετρήσεις.

➤ Μέθοδος Βασικών Ακτινωτών Συναρτήσεων – Radial Basic Functions

Οι μέθοδοι RBF είναι μια σειρά ακριβών τεχνικών παρεμβολής, όπου δηλαδή η επιφάνεια παρεμβολής που παράγεται περνάει ανάμεσα από τα σημεία της δειγματοληψίας. Η διαφορά τους με τις μεθόδους ΣΑΑ που περιγράφηκαν παραπάνω είναι ότι οι πρώτες δίνουν τιμές εκτός των ορίων των μετρημένων τιμών.

Οι μέθοδοι αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό εξομαλυμένων επιφανειών από ένα μεγάλο αριθμό δειγμάτων και μπορούν να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα για ομαλά μεταβαλλόμενες επιφάνειες όπως το υψόμετρο. Είναι, όμως, ακατάλληλες σε περιπτώσεις όπου οι τιμές μεταβάλλονται σημαντικά με την απόσταση και σε περιπτώσεις όπου οι μετρήσεις εμπεριέχουν πιθανότητα σφάλματος ή αβεβαιότητα.

## Μέθοδοι Γεωστατιστικής Ανάλυσης

Ως Γεωστατιστική ορίζεται το σύνολο των στατιστικών μεθόδων που εξετάζουν μεταβλητές που μεταβάλλονται στο χώρο. Χρήση των γεωστατιστικών τεχνικών συναντάται σε διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους όπως η μετεωρολογία, η γεωλογία, η υδρολογία, η γεωχημεία, η δασονομία, κ.α.

Η Γεωστατιστική σχετίζεται στενά με τις μεθόδους παρεμβολής, αλλά ξεπερνάει σημαντικά τα απλά προβλήματα παρεμβολής, καθώς εξετάζει το υπό μελέτη φαινόμενο στις θέσεις όπου δεν υπάρχουν τιμές ως τυχαία μεταβλητή. Βασικό της χαρακτηριστικό, επομένως, είναι ότι η χωρική διακύμανση της μεταβλητής είναι τυχαία, οπότε χρησιμοποιούνται στατιστικά μοντέλα για την “ποσοτικοποίηση” της αβεβαιότητας που εμπεριέχεται στις χωρικές εκτιμήσεις που απορρέουν από τις σημειακές μετρήσεις. Όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό, οι μέθοδοι γεωστατιστικής ανάλυσης είναι αρκετά πολύπλοκες στην εφαρμογή τους και απαιτούν την χρήση κατάλληλων υπολογιστικών προγραμμάτων.

Η Γεωστατιστική ανάλυση περιλαμβάνει δύο κύριες φάσεις:

- i) την χωρική ανάλυση, η οποία περιλαμβάνει την επιλογή και προσαρμογή ενός μοντέλου που περιγράφει την χωρική μεταβλητότητα των σημειακών μετρήσεων, και
- ii) την βέλτιστη γραμμική αμερόληπτη εκτίμηση (Best Linear Unbiased Estimation - BLUE), που σχετίζεται με τον υπολογισμό των εκτιμητριών των αγνώστων ως γραμμικών συναρτήσεων των μετρήσεων. Οι εκτιμήτριες είναι αμερόληπτες, έχουν την ελάχιστη μεταβλητότητα, ενώ για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιείται η μοντελοποίηση της χωρικής μεταβλητότητας.

Σε κάθε περίπτωση παρεμβολής επιδιώκεται η κατά το δυνατόν πιο πιστή εκτίμηση της επιφάνειας της μεταβλητής με την καλύτερη αξιοποίηση των μετρήσεων και με κάποια εκτίμηση του πιθανού σφάλματος. Έτσι, η σύγκριση των διαφόρων μεθόδων μπορεί να γίνει με βάση το πόσο καλά η κάθε μέθοδος ικανοποιεί τα ακόλουθα κριτήρια :

1) Η εκτίμηση σε κάθε σημείο να είναι αμερόληπτη, δηλαδή το σφάλμα εκτίμησης (εκτιμημένη τιμή μείον την αληθινή άγνωστη τιμή) κατά μέσο όρο να είναι μηδέν, και το σφάλμα σε αυτή ή τουλάχιστον το μέσο σφάλμα να είναι το ελάχιστο.

2) Η τιμή της εκτιμήσεως της μεταβλητής στα σημεία όπου υπάρχουν μετρήσεις να είναι ίδια με την μετρημένη τιμή.

3) Να είναι δυνατή η μέτρηση του μέτρου της ακρίβειας της εκτίμησης, δηλαδή τα όρια εμπιστοσύνης ή η διακύμανση της εκτίμησης.

4) Η μέθοδος να μπορεί να εφαρμοστεί σε αυτόματο υπολογισμό με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή.

➤ Μέθοδος Περιοχοποίησης της Πληροφορίας - Kriging

Η μέθοδος Kriging είναι μια προηγμένη τεχνική γεωστατιστικής ανάλυσης που παράγει την εκτιμώμενη επιφάνεια από ένα σύνολο τυχαία κατανεμημένων σημείων. Βασίζεται στη θεωρία της “περιοχοποιημένης μεταβλητής”, η οποία υποθέτει ότι η χωρική μεταβολή του εκτιμώμενου μεγέθους είναι στατιστικά ομογενής σε όλη την επιφάνεια (π.χ., το ίδιο μοτίβο της μεταβολής μπορεί να παρατηρηθεί σε όλα τα σημεία της επιφάνειας).

Με τον όρο “περιοχοποιημένη μεταβλητή” δηλώνεται ο ενδιάμεσος χαρακτήρας της μεταβλητής, δηλαδή μεταξύ μιας τυχαίας και μιας προσδιοριστικής μεταβλητής. Καθώς η μεταβλητή απεικονίζεται από μια συνεχή επιφάνεια, τα κοντινά σημεία παρουσιάζουν συσχέτιση ενώ τα απομακρυσμένα μεταξύ τους σημεία δεν έχουν καμία συσχέτιση. Για το λόγο αυτό, μπορούμε να διακρίνουμε τοπικά χαρακτηριστικά μιας μεταβλητής και στη συνέχεια να προχωρήσουμε στον “κατά περιοχές” προσδιορισμό της.

Ο βαθμός της χωρικής συνέχειας μπορεί να παρασταθεί γραφικά από το “ημιμεταβλητόγραμμα”. Το ημιμεταβλητόγραμμα είναι ένα διάγραμμα XY, το οποίο στον άξονα X έχει την απόσταση και στον άξονα Y το ήμισυ της αντίστοιχης διασποράς της χαρακτηριστικής μεταβλητής στη θέση αυτή.

Η μέθοδος Kriging μπορεί να προσδιορίσει τη ζητούμενη μεταβλητή σε θέσεις όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις χρησιμοποιώντας την πληροφορία που δίδεται από το ημιμεταβλητόγραμμα. Σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η αποφυγή

της μεροληπτικής εκτιμήσεως σε περιπτώσεις όπου υπάρχει υπερσυσσώρευση σημείων με μετρήσεις σε ορισμένες θέσεις και η δυνατότητα υπολογισμού σε κάθε σημείο του σφάλματος για την επιφάνεια που παράχθηκε.

Η μέθοδος αυτή λειτουργεί με τον υπολογισμό ενός βέλτιστου συνδυασμού σταθμικών παραμέτρων (βαρών), ελαχιστοποιώντας το σφάλμα εκτιμήσεως. Αφού η πληροφορία παρέχεται μέσω του ημιμεταβλητογράμματος, το οποίο είναι συνάρτηση της απόστασης, τα βάρη μεταβάλλονται ανάλογα με τη γεωμετρική κατανομή των σημείων δειγματοληψίας στο χώρο.

Καταλήγοντας, η μέθοδος Kriging ως μέθοδος βέλτιστης παρεμβολής μπορεί να προσφέρει πολλές δυνατότητες στο χρήστη, απαιτεί όμως αυξημένη προσοχή κατά την εφαρμογή της. Τα σημαντικότερα σημεία που απαιτούν προσοχή είναι :

- I. Η μέθοδος Kriging δεν έχει σχέση με τη χρονική δομή του πεδίου των μετρήσεων και γι' αυτό οι τιμές που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να έχουν μετρηθεί ταυτόχρονα.
- II. Η επιφάνεια που θα θεωρηθεί ως ενιαία θα πρέπει να προσδιοριστεί με προσοχή. Η περιοχοποίηση που δε θα ληφθεί υπ' όψιν μπορεί να εισάγει μεγάλα σφάλματα ή αστάθεια στις εκτιμήσεις.
- III. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί κατά τη δημιουργία του ημιμεταβλητογράμματος (επιλογή κατάλληλου τύπου και κατάλληλων παραμέτρων).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε χρήση δύο μεθόδων Kriging για τη δημιουργία της επιφάνειας βροχόπτωσης για την υπό μελέτη λεκάνη απορροής. Οι μέθοδοι αυτές είναι :

- Ordinary Kriging : Η πλέον διαδεδομένη μέθοδος Kriging, η οποία βασίζεται στις ακόλουθες παραδοχές :
  - α) η μεταβλητή ακολουθεί κανονική κατανομή
  - β) η εκτίμηση είναι αμερόληπτη
  - γ) μονιμότητα δευτέρου βαθμού
  - δ) ο τοπικός μέσος μπορεί να είναι είτε γνωστός (simple) είτε άγνωστος.

- Ordinary Cokriging : Οι εκτιμήσεις της μελετώμενης μεταβλητής που προκύπτουν από τη μέθοδο Ordinary Kriging βελτιώνονται μέσω της συσχέτισής τους με μια άλλη μεταβλητή. Στην εργασία χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (δηλαδή το υψόμετρο) ως μεταβλητή συσχέτισης. Απαιτεί περισσότερους υπολογισμούς καθώς και εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για κάθε μεταβλητή και της μεταξύ τους αυτοσυσχέτισης.

### 2.5.2 Συντελεστής Επιφανειακής Αναγωγής

Σε πολλές περιπτώσεις είναι αναγκαία η αναγωγή της σημειακής βροχόπτωσης σε επιφανειακή. Όπως ήδη περιγράφηκε, ένας τρόπος αντιμετώπισης αυτής της ανάγκης είναι η επιφανειακή ολοκλήρωση των σημειακών μετρήσεων της βροχόπτωσης σε διαφορετικές θέσεις. Η μέθοδος όμως αυτή μπορεί να παρουσιάσει αρκετά προβλήματα είτε λόγω αραιότητας του δικτύου των βροχογράφων, είτε λόγω λανθασμένου του συγχρονισμού.

Μια μέθοδος άμεσης αναγωγής του σημειακού ύψους βροχής σε επιφανειακό είναι η χρήση του 'συντελεστή επιφανειακής αναγωγής', γνωστού στην ελληνική βιβλιογραφία και ως 'επιφανειακός μειωτικός συντελεστής' ή 'συντελεστής ομοιομόρφισης' (Κουτσογιάννης, 1999). Ο συντελεστής αυτός ορίζεται ως εξής

$$\varphi = \text{επιφανειακό μέσο ύψος βροχής} / \text{μέγιστο σημειακό ύψος βροχής}$$

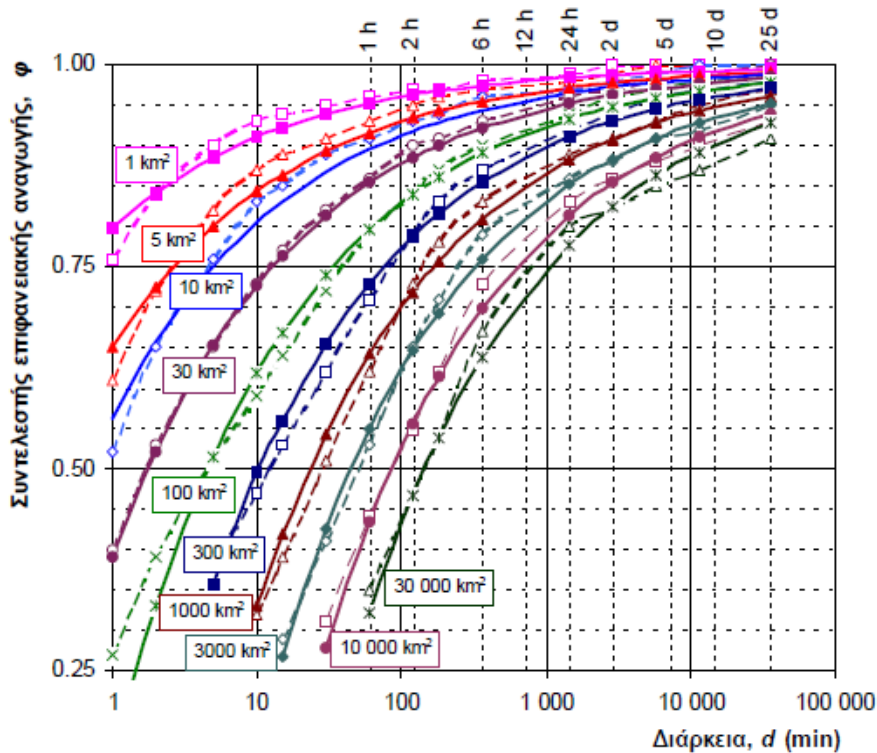
και έχει τις παρακάτω εμπειρικά διαπιστωμένες ιδιότητες :

1. Είναι πάντα μικρότερος του 1.
2. Είναι φθίνουσα συνάρτηση της έκτασης A.
3. Είναι αύξουσα συνάρτηση της διάρκειας d.
4. Εξαρτάται σε κάποιο βαθμό από την περίοδο επαναφοράς (μέγεθος καταιγίδας) και φαίνεται ότι η αύξηση της περιόδου επαναφοράς οδηγεί σε ασθενή μείωση του συντελεστή.

Αν στην περιοχή μελέτης υπάρχουν επαρκή δεδομένα ιστορικών βροχοπτώσεων από σχετικά πυκνό βροχομετρικό δίκτυο, η συνάρτηση  $\varphi$  (d, A) προσδιορίζεται μετά από επεξεργασία αυτών των δεδομένων. Διαφορετικά χρησιμοποιούνται πίνακες ή διαγράμματα της βιβλιογραφίας. Στο σχήμα που ακολουθεί αναπαρίσταται γραφικά η



μεταβολή του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής συναρτήσει της έκτασης και της διάρκειας βροχής με βάση πινακοποιημένες τιμές του National Environmental Research Council 1975.



**Σχήμα 2.2** Μεταβολή του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής συναρτήσει της έκτασης και της διάρκειας βροχής με βάση πινακοποιημένες τιμές του National Environmental Research Council 1975 (διακεκομμένες γραμμές)

Στα πινακοποιημένα αποτελέσματα του National Environmental Research Council 1975 προσαρμόστηκε η ακόλουθη αναλυτική έκφραση (Κουτσογιάννης, 1997β) :

$$\phi = 1 - \frac{0.048A^{0.36-0.01\ln A}}{d^{0.35}} \geq 0.25, \text{ όπου}$$

$\phi$  : συντελεστής επιφανειακής αναγωγής

$d$  : διάρκεια βροχής (h)

$A$  : έκταση ( $\text{km}^2$ )

Στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζεται γραφικά η παραπάνω μαθηματική έκφραση για διαφορετική διάρκεια βροχής και διαφορετική επιφάνεια (διακεκομμένες γραμμές). Στην Ελλάδα, δεν έχει γίνει καμιά αντίστοιχη συστηματική μελέτη για την εξαγωγή καμπύλων μεταβολής του συντελεστή αυτού στις συνθήκες της χώρας μας. Μέχρι

τότε αυτή η ανάγκη θα καλύπτεται από την υπάρχουσα βιβλιογραφία, π.χ. πίνακες και διαγράμματα του National Environmental Research Council 1975 ή η αντίστοιχη προσαρμοσμένη μαθηματική έκφραση (Κουτσογιάννης, 1997β).

## **2.6 Συνοπτική Παρουσίαση Λειτουργικού Πακέτου ArcGIS**

### **2.6.1 Γενικά για τα ΓΣΠ**

Ως Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (Geographical Information System) μπορεί να οριστεί συνοπτικά ένα σύνολο εργαλείων συλλογής, αποθήκευσης, ανάκτησης, ανάλυσης και εμφάνισης χωρικών δεδομένων. Ο όρος Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) αναφέρεται σε κάθε σύστημα υπολογιστή, που έχει τη δυνατότητα να χειρίζεται γεωγραφικά δεδομένα. Στον όρο αυτόν περιλαμβάνονται εκτός από το λογισμικό και το μηχανικό εξοπλισμό, όλες οι διαδικασίες και το ανθρώπινο δυναμικό που συντελούν στην πραγματοποίηση αυτής της δραστηριότητας.

Σε σύγκριση με τους απλούς χάρτες, ένα σύστημα GIS έχει το σημαντικότερο πλεονέκτημα ότι η αποθήκευση των δεδομένων γίνεται χωριστά από την αναπαράστασή τους, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα τα ίδια δεδομένα να μπορούν να αναπαρασταθούν και να διαχειριστούν με διαφορετικούς τρόπους. Επιπλέον, ένα σύστημα GIS έχει όλα τα πλεονεκτήματα από τη χρήση των υπολογιστών, όπως διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων εύκολα και γρήγορα κ.λ.π. Επομένως, με τις δυνατότητες που παρέχονται από τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών η διαχείριση και ανάλυση χωρικών δεδομένων μπορεί πλέον να πραγματοποιηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια και ευκολία.

### **2.6.2 Συνοπτική Περιγραφή ArcGIS και Εφαρμογών του**

Το ArcGIS είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα προγράμματα για Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS). Παρουσιάζει σε μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών οι

οποίες περιλαμβάνουν σχεδιασμό, ανάλυση, διαχείριση και καταγραφή γεωγραφικών συστημάτων κ.α.

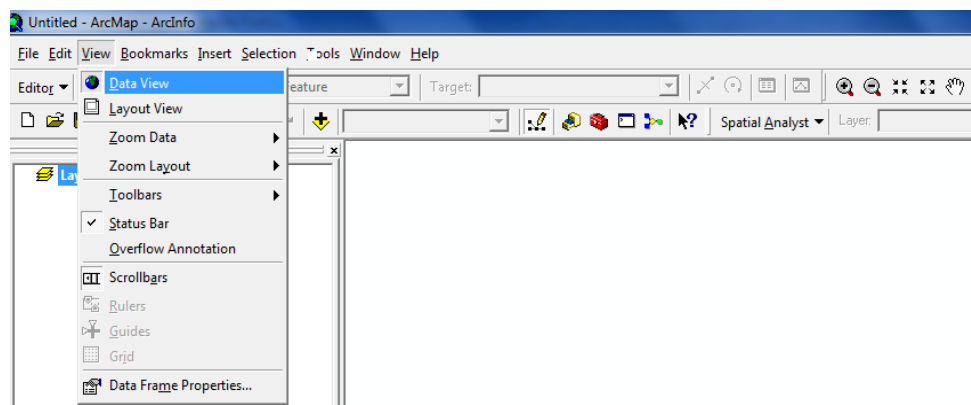
Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας έγινε χρήση της έκδοσης ArcInfo του ArcGIS και πιο συγκεκριμένα η εφαρμογή του ArcMap. Στη συνέχεια παρουσιάζονται εν συντομία βασικές λειτουργίες του ArcMap καθώς και βασικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν την εργασία.

### ➤ ArcMap

Το ArcMap (Σχήμα 2.3) είναι βασική εφαρμογή του ArcGIS και χρησιμοποιείται για την ανάλυση, επεξεργασία, επισκόπηση και διαχείριση χαρτογραφικών δεδομένων. Παρέχει δυο επιλογές απεικόνισης των δεδομένων:

- Data Frame: Η γεωγραφική πληροφορία προβάλλεται σε όλη την έκταση του ‘παραθύρου’, αποτελούμενη από μια σειρά από θεματικά επίπεδα (layers).
- Layout View: Η γεωγραφική πληροφορία έχει τη μορφή μιας σελίδας, στην οποία μπορούν να προστεθούν διάφορα συμπληρωματικά στοιχεία που περιγράφουν καλύτερα ένα χάρτη (π.χ. τίτλος, κλίμακα, σύμβολο βορρά κ.α )

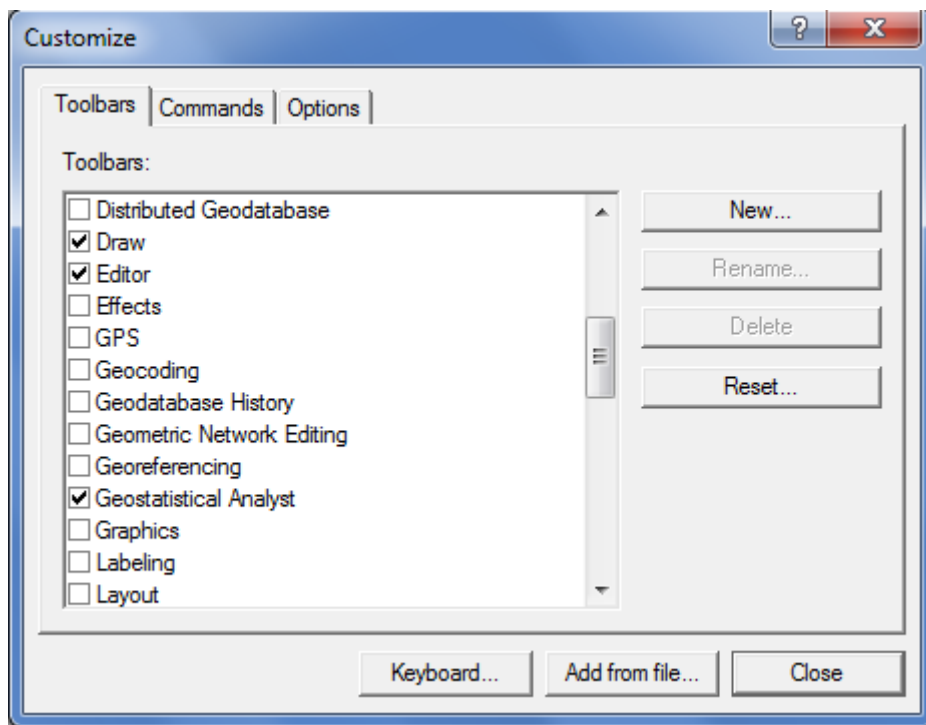
Σε αυτήν την εργασία η εισαγωγή, η επεξεργασία και η οργάνωση των χαρτογραφικών δεδομένων έγινε μέσω Data Frame , ενώ οι χάρτες που εξήχθησαν για την παρουσίαση μορφοποιήθηκαν σε Layout View.



Σχήμα 2.3 Περιβάλλον ArcMap

➤ **Ενεργοποίηση εφαρμογών και επεκτάσεων του ArcMap**

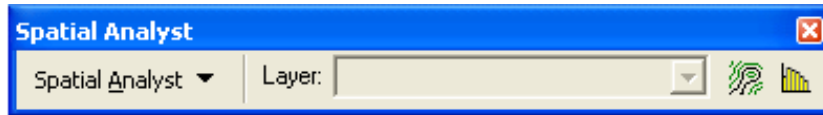
Το λογισμικό πακέτο ArcGIS προσφέρει τη δυνατότητα εισαγωγής διαφόρων επεκτάσεων, οι οποίες υποστηρίζουν μια σειρά από νέες λειτουργίες και εφαρμογές. Η ενεργοποίησή τους γίνεται μέσω του παραθύρου που παρουσιάζεται στη συνέχεια, το οποίο εμφανίζεται μετά από την επιλογή Tools \ Customize από το κεντρικό μενού του ArcMap.



Σχήμα 2.4 Ενεργοποίηση επεκτάσεων

➤ **Η επέκταση Spatial Analyst**

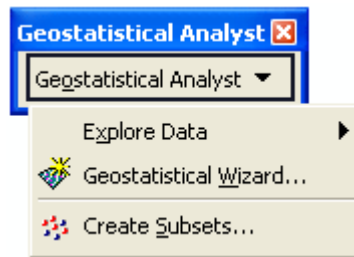
Το μενού Spatial Analyst (Σχήμα 2.5) παρέχει ισχυρά εργαλεία για περιεκτική χωρική μοντελοποίηση και ανάλυση βασισμένη κυρίως σε πλεγματικά (raster) δεδομένα. Επιτρέπει τη δημιουργία, ανάλυση και χαρτογραφική απόδοση πλεγματικών δεδομένων και την υλοποίηση ολοκληρωμένης πλεγματικής – διανυσματικής (raster – vector) ανάλυσης. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο, όταν η απαιτούμενη μοντελοποίηση του χώρου απαιτεί καλής ποιότητας χωρική ανάλυση.



Σχήμα 2.5 Το πτυσσόμενο μενού Spatial Analyst

➤ **Η επέκταση Geostatistical Analyst**

Η επέκταση Geostatistical Analyst (Σχήμα 2.6) παρέχει μια ισχυρή εργαλειοθήκη για την διερεύνηση χωρικών δεδομένων και την παραγωγή επιφανειών. Γεφυρώνει αποτελεσματικά το κενό ανάμεσα στα συστήματα GIS και στη γεωστατιστική ανάλυση, επιτρέποντας τη μοντελοποίηση χωρικών φαινομένων, την ανάλυση του ρίσκου και την ακριβή πρόβλεψη τιμών εντός μιας περιοχής μελέτης.



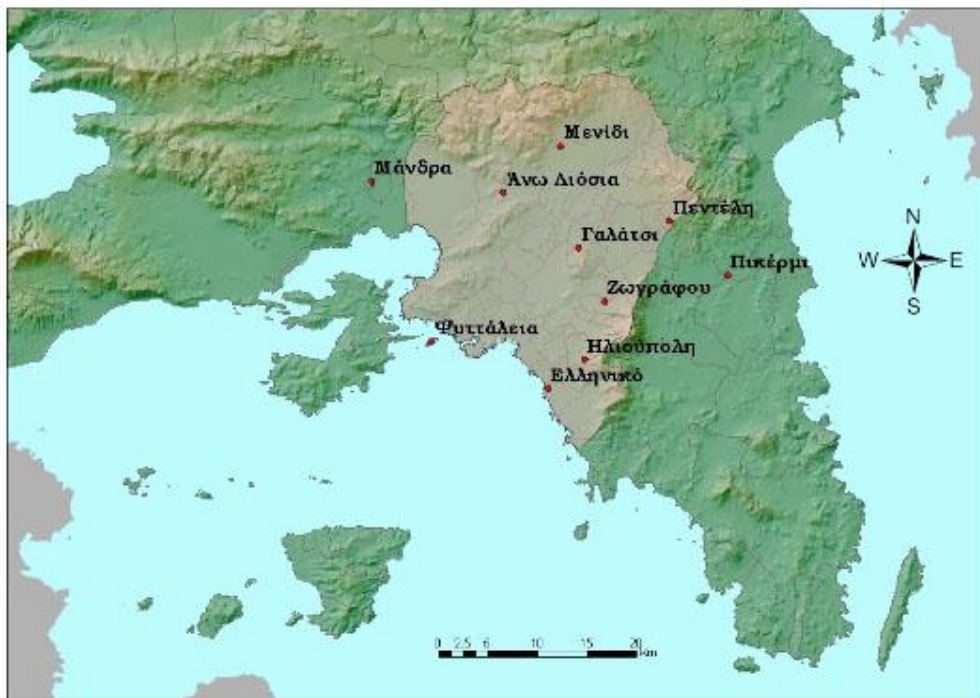
Σχήμα 2.6 Το πτυσσόμενο μενού Geostatistical Analyst

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

### 3.1 Επιλογή και Εισαγωγή Δεδομένων στο Πρόγραμμα ArcGIS

➤ Δεδομένα Εισόδου

Η παρούσα μελέτη αναφέρεται στην λεκάνη απορροής του ποταμού Κηφισού (Σχήμα 3.1). Τα βροχομετρικά δεδομένα προέρχονται από το Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων του Ε.Μ.Π και βρίσκονται αναρτημένα στη διαδικτυακή σελίδα [meteonet.gr](http://meteonet.gr). Στη σελίδα αυτή είναι καταγεγραμμένα επεισόδια βροχής μετρημένα από δέκα αυτόματους τηλεμετρικούς μετεωρολογικούς σταθμούς. Στοιχεία για τον κάθε σταθμό (θέση, έναρξη λειτουργίας, υψόμετρο, γεωγραφικές συντεταγμένες) παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1.



Σχήμα 3.1 Λεκάνη Απορροής Κηφισού και οι αντίστοιχοι μετεωρολογικοί Σταθμοί (meteonet.gr)

**Πίνακας 3.1** Χαρακτηριστικά Μετεωρολογικών Σταθμών

A/A	Θέση	Έναρξη Λειτουργίας	Υψόμετρο (m)	Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος
1	Ζωγράφου	05-08-2005	181	481137,0	4203010,6
2	Μενίδι	25-02-2005	210	476525,5	4217394,2
3	Ψυττάλεια	25-02-2005	20	463569,2	4199167,6
4	Ελληνικό	25-02-2005	6	475537,3	4194336,4
5	Ηλιούπολη	20-05-2005	206	478845,12	4196491,25
6	Μάνδρα	06-07-2005	258	461612,23	4219259,46
7	Γαλάτσι	15-06-2005	176	478560,86	4208815,54
8	Πεντέλη	08-11-2005	729	487886,13	4215140,08
9	Πικέρμι	21-12-2005	133	493588,36	4205655,86
10	Άνω Λιόσια	21-02-2006	184	470969,29	4213921,93

Έγινε επιλογή 3 επεισοδίων βροχής συνολικής διάρκειας 1 μέρας, αποτελούμενα από δεκάλεπτες μετρήσεις. Η επιλογή των συγκεκριμένων ημερομηνιών οφείλεται στα έντονα επεισόδια βροχής που καταγράφηκαν στις διάφορες θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών. Οι ημερομηνίες αυτές είναι οι εξής :

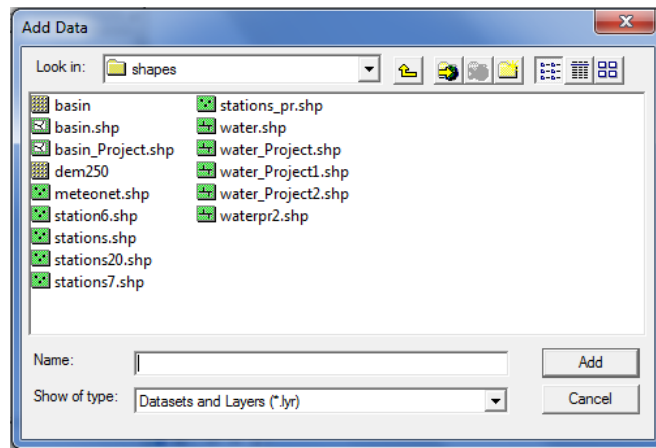
- 10/10/2006
- 12/12/2008
- 18/10/2010

Οι δεκάλεπτες μετρήσεις μεταφέρθηκαν σε φύλλο Excel και στη συνέχεια μετατράπηκαν σε μετρήσεις μισής και μίας ώρας. Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα βροχογραφήματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις σε κάθε σταθμό για τα δεδομένα επεισόδια βροχής.

➤ Εισαγωγή Δεδομένων στο ArcMap

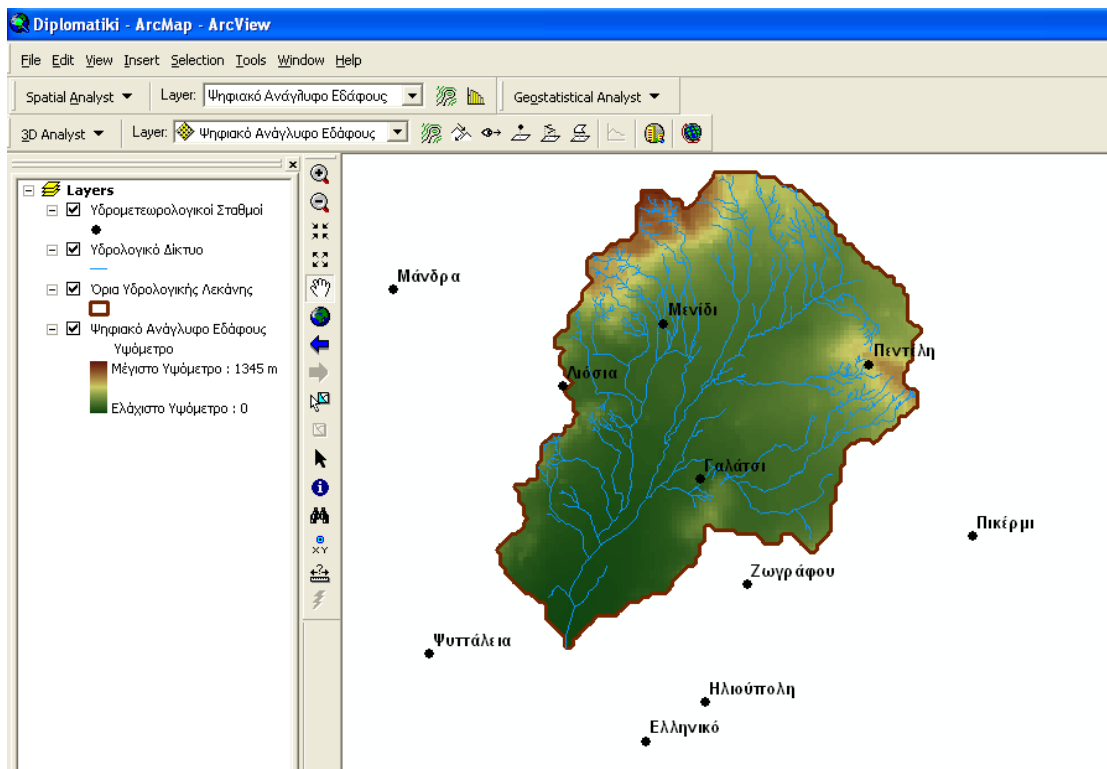
Οι τρεις πίνακες που έχουν πλέον δημιουργηθεί στο Excel (με βήμα 10 λεπτών, μισής και μίας ώρας) εισάγονται στη συνέχεια στο ArcMap. Η εισαγωγή αυτή γίνεται μέσω

της εντολής **Add Data** 



Σχήμα 3.2 Εισαγωγή δεδομένων στο ArcMap

Στο ίδιο φύλλο εργασίας του ArcMap έχουν ήδη εισαχθεί έτοιμα αρχεία (τύπου sparcfile) που περιέχουν πληροφορίες για τα όρια της λεκάνης απορροής, το ψηφιακό ανάγλυφο εδάφους, το υδρολογικό δίκτυο καθώς και τους 10 μετεωρολογικούς σταθμούς. Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζονται τα παραπάνω αρχεία, όπως αυτά απεικονίζονται στο ArcMap.



Σχήμα 3.3 Αρχεία εισόδου στο ArcMap



Σε ένα Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας κάθε γεωγραφική – γεωμετρική οντότητα μπορεί να συνοδεύεται από ένα μεγάλο αριθμό πληροφοριών. Οι πληροφορίες αυτές αποθηκεύονται στον πίνακα των περιγραφικών χαρακτηριστικών (attribute table). Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ο πίνακας των περιγραφικών χαρακτηριστικών των μετεωρολογικών σταθμών.

FID	Shape	Id	Name	H	X	Y	maxValue	12_12_08	27_12_08	maxhour
0	Point	1	Ζωγράφου	18	481137	4203010.6	67.8	30	20.8	30
1	Point	2	Μενίδι	21	476525.5	4217394.2	108.2	24.6	5.6	44.6
2	Point	3	Ψυττάλεια	20	463569.2	4199167.6	46.6	23.4	11.2	32.4
3	Point	4	Ελληνικό	6	475537.3	4194336.4	61.8	22.4	8.6	29.6
4	Point	5	Ηλιοπούλη	20	478845.12	4196491.25	112.6	22.8	23	40.2
5	Point	6	Μάνδρα	25	461612.23	4219259.46	115.6	26.6	16	32
6	Point	7	Γαλάτση	17	478560.86	4208815.54	53.4	25.8	7.6	33.2
7	Point	8	Πεντέλη	72	487886.13	4215140.08	117.8	35.6	45.6	34
8	Point	9	Πικέρμι	13	493588.36	4205655.86	74.4	30.6	14.6	31
9	Point	10	Λιόσια	18	470969.29	4213921.93	85.2	28.2	5.6	28.8

Σχήμα 3.4 Πίνακας περιγραφικών χαρακτηριστικών μετεωρολογικών σταθμών

Κάθε γραμμή του πίνακα αυτού αφορά σε διαφορετικό γεωμετρικό στοιχείο στο χώρο (**Records**), ενώ κάθε στήλη αναφέρεται σε συγκεκριμένο περιγραφικό χαρακτηριστικό του (**Fields**). Στη δεδομένη περίπτωση, ο πίνακας περιέχει στοιχεία για τους 10 μετεωρολογικούς σταθμούς, όπως το σχήμα, το χαρακτηριστικό τους αριθμό, το όνομα τους, το υψόμετρό τους, τις γεωγραφικές τους συντεταγμένες, κ.α.

➤ Εισαγωγή Δεδομένων στους Σταθμούς - Σύνδεση Πινάκων

Στη συνέχεια θα πρέπει να γίνει η σύνδεση του πίνακα με τα χαρακτηριστικά των σταθμών με τους πίνακες που περιέχουν τη χρονική εξέλιξη της βροχής σε κάθε σταθμό, η δημιουργία των οποίων έχει περιγραφεί παραπάνω.

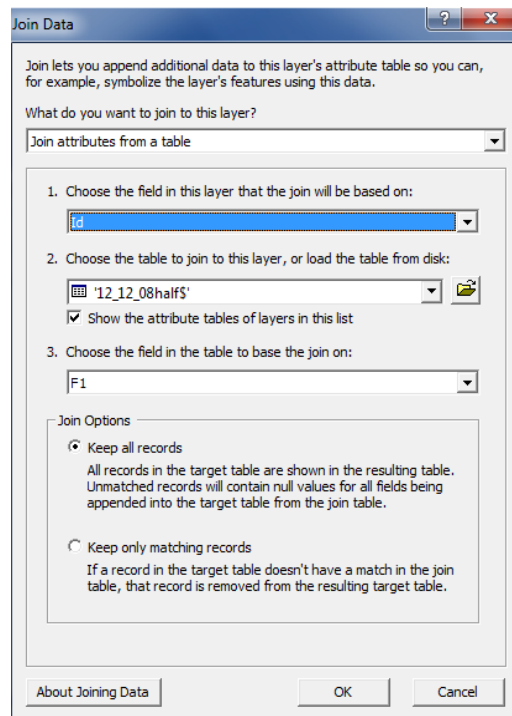
Το ArcMap παρέχει δύο μεθόδους για τη συσχέτιση δεδομένων που είναι αποθηκευμένα σε πίνακες με γεωγραφικά χαρακτηριστικά: είτε μέσω της εντολής **Join** είτε μέσω της εντολής **Relate**. Όταν γίνεται χρήση της εντολής **Join** οι δύο πίνακες ενώνονται, δηλαδή προστίθενται οι ιδιότητες από τον ένα πίνακα στον άλλο με βάση ένα πεδίο κοινό και για τους δύο πίνακες. Στη δεδομένη περίπτωση, ο

πίνακας με τα χαρακτηριστικά των σταθμών ενώνεται με τη χρονική εξέλιξη της βροχής σε κάθε σταθμό μέσω του χαρακτηριστικού αριθμού του κάθε σταθμού, πεδίο που έχουν και οι δύο πίνακες.

Όταν συσχετίζουμε δύο πίνακες (**Relate**), τότε καθορίζεται μία σχέση μεταξύ των δύο πινάκων, η οποία είναι επίσης βασισμένη σε ένα κοινό πεδίο, με τη διαφορά ότι δεν επισυνάπτονται οι ιδιότητες του ενός πίνακα στον άλλον. Υπάρχει, όμως η δυνατότητα πρόσβασης στα σχετικά δεδομένα, όταν αυτό είναι απαραίτητο.

Δύο πίνακες είναι δυνατόν να ενωθούν όταν τα δεδομένα τους έχουν σχέση ένα-προς-ένα ή πολλά-προς-ένα, ενώ δύο πίνακες είναι δυνατόν να συσχετισθούν όταν τα δεδομένα τους έχουν σχέση ένα-προς-πολλά ή πολλά-προς-πολλά. Οι εφαρμογές **Join** και **Relate** ενεργούν σε ένα αρχείο κάθε φορά που το ανοίγουμε. Έτσι, αν αλλάξουν τα βασικά δεδομένα των πινάκων, η αλλαγή αυτή απεικονίζεται στο αρχείο στο οποίο εφαρμόζεται η εντολή **Join** ή **Relate**. Οι πίνακες που ενώνονται ή συσχετίζονται στο ArcMap δεν είναι μόνιμα συνδεδεμένοι. Συνδέονται δυναμικά στο ArcMap και μπορούν ανά πάσα στιγμή να αφαιρεθούν ή να επανασυνδεθούν.

Στην παρούσα εργασία ο πίνακας με τα χαρακτηριστικά των δέκα μετεωρολογικών σταθμών συνδέεται με τους πίνακες που περιέχουν τη χρονική εξέλιξη της βροχής (για διαφορετικά χρονικά βήματα) μέσω της εντολής **Join**. Με τον τρόπο αυτό, εμφανίζεται το παράθυρο (Σχήμα 3.5) στο οποίο εισάγονται οι απαραίτητες πληροφορίες για να γίνει η σύνδεση.



Σχήμα 3.5 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων για τη σύνδεση πινάκων

Στη θέση 1 εισάγεται το πεδίο του αρχείου στο οποίο θα βασιστεί η ένωση. Στο αρχείο των μετεωρολογικών σταθμών το πεδίο αυτό είναι το ID, πεδίο στο οποίο συναντάται ένας χαρακτηριστικός αριθμός για κάθε σταθμό. Στη θέση 2 εισάγεται ο πίνακας που θα συσχετιστεί με το δεδομένο αρχείο. Τέλος, στη θέση 3 εισάγεται το πεδίο του συσχετιζόμενου πίνακα που είναι κοινό με το πεδίο των χαρακτηριστικών αριθμών. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεταξύ εμφάνισης μόνο των στοιχείων που συνδέονται με τις επιπλέον πληροφορίες και εμφάνισης όλων των στοιχείων (και αυτών που συνδέονται με επιπλέον πληροφορίες και αυτών για τα οποία δεν υπάρχουν πληροφορίες).

Πλέον, για κάθε σταθμό ξεχωριστά υπάρχει η χρονική εξέλιξη της βροχής με χρονικό βήμα 10 λεπτών, μιας ώρας και μισής ώρας και για τις 3 διαφορετικές ημερομηνίες.

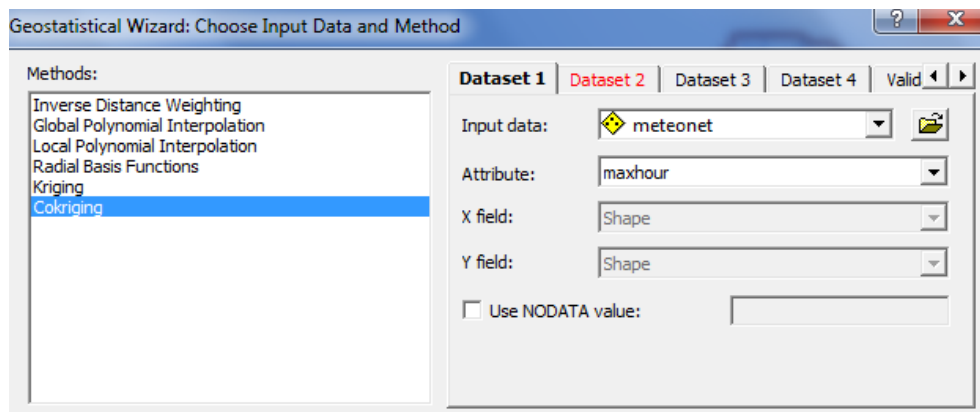
### 3.2 Μετατροπή Σημειακών Δεδομένων σε Επιφανειακά

Σε αυτή τη φάση πραγματοποιείται η κατάρτιση χαρτών επιφανειακής βροχόπτωσης με βάση τις σημειακές μετρήσεις για δεδομένες χρονικές στιγμές και χρονικά

διαστήματα. Οι μέθοδοι που ακολουθήθηκαν για τη μετατροπή της βροχόπτωσης από σημειακή σε επιφανειακή είναι οι εξής :

- ◆ Inverse Distance weighting (I.D.W)
- ◆ Radial Basic Functions (R.B.F)
- ◆ Ordinary Kriging
- ◆ Ordinary Cokriging

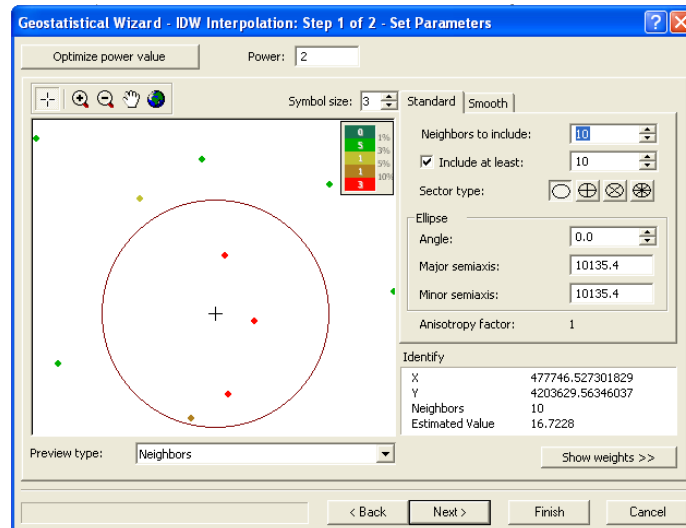
Από το μενού Geostatistical Analyst (Σχήμα 3.6) γίνεται επιλογή της επιθυμητής μεθόδου χωρικής παρεμβολής και των εισαγόμενων δεδομένων. Στη συνέχεια, δίνεται λεπτομερής περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε ξεχωριστά για κάθε μέθοδο.



**Σχήμα 3.6** Εισαγωγή δεδομένων και επιλογή μεθόδου χωρικής παρεμβολής μέσω του μενού του Geostatistical Analyst

### **↻ Inverse Distance weighting (I.D.W)**

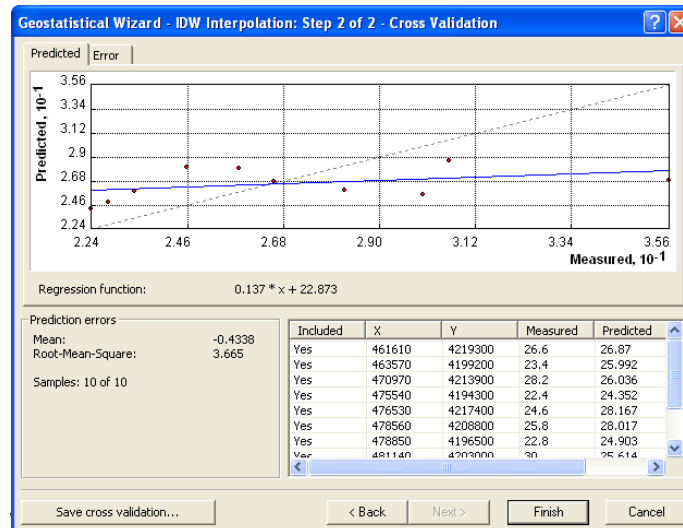
Επιλέγοντας τη μέθοδο παρεμβολής I.D.W. εμφανίζεται το ακόλουθο παράθυρο στο οποίο εισάγονται οι κατάλληλες παράμετροι για την παρεμβολή.



Σχήμα 3.7 Παράθυρο εισαγωγής παραμέτρων για τη μέθοδο IDW

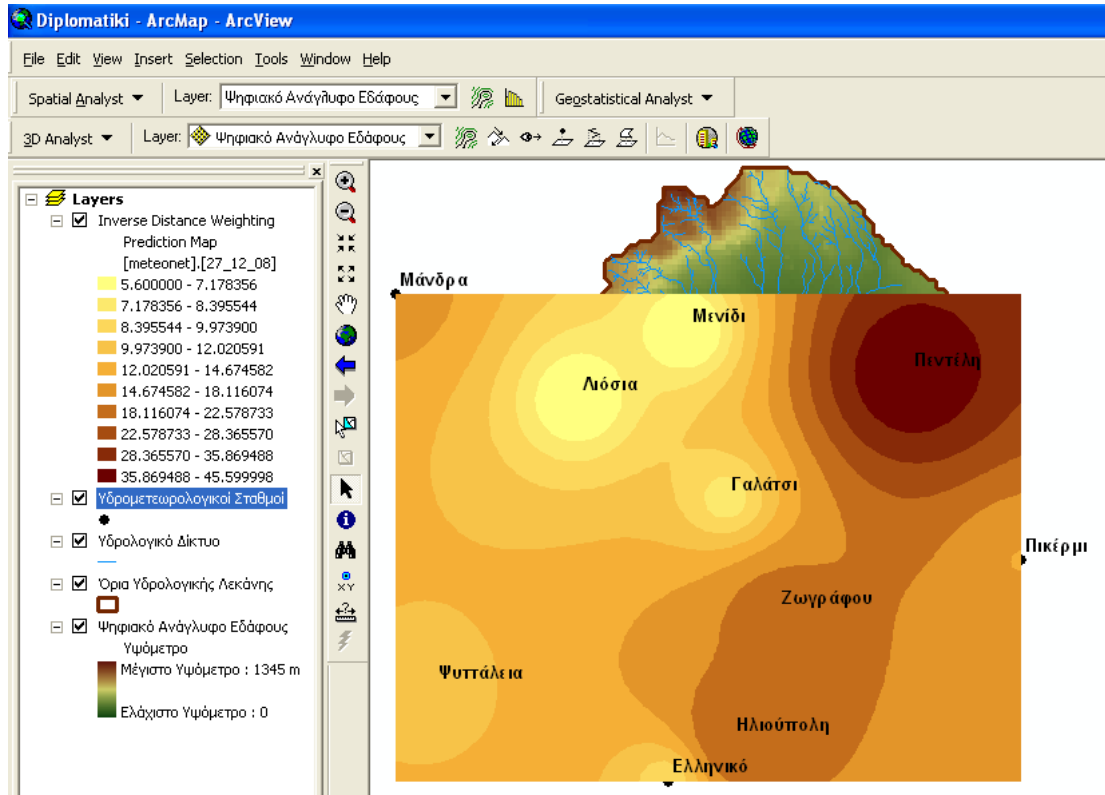
Μέσω του παραθύρου αυτού ο χρήστης μπορεί να μεταβάλλει μια σειρά από παραμέτρους για την καλύτερη εφαρμογή της μεθόδου του πλησιέστερου γείτονα, που εφαρμόζει η I.D.W. Οι παράμετροι αυτές είναι ο συντελεστής βαρύτητας της εξίσωσης που ακολουθεί η μέθοδος, ο αριθμός των στοιχείων που θα ληφθούν υπόψη, το σχήμα και το μέγεθος της περιοχής που θα εφαρμοστεί η μέθοδος του πλησιέστερου γείτονα, οι συντεταγμένες και η τιμή του εκτιμώμενου μεγέθους. Προεπισκόπηση των παραμέτρων αυτών είναι δυνατή στα αριστερά του παραθύρου.

Αφού εισαχθούν οι κατάλληλες παράμετροι, με την επιλογή της εντολής NEXT εμφανίζεται το επόμενο παράθυρο στο οποίο είναι δυνατός ο υπολογισμός της εξίσωσης συσχέτισης μετρημένης – εκτιμώμενης τιμής καθώς και το συνολικό μέσο και μέσο τετραγωνικό σφάλμα που προκύπτει. Μέσω αυτού του “ελέγχου” παρέχεται η δυνατότητα επιστροφής στο παράθυρο των παραμέτρων και επανεκτίμησης τους για ορθότερα αποτελέσματα (Σχήμα 3.8).



Σχήμα 3.8 Παράθυρο ελέγχου σφαλμάτων για τη μέθοδο IDW

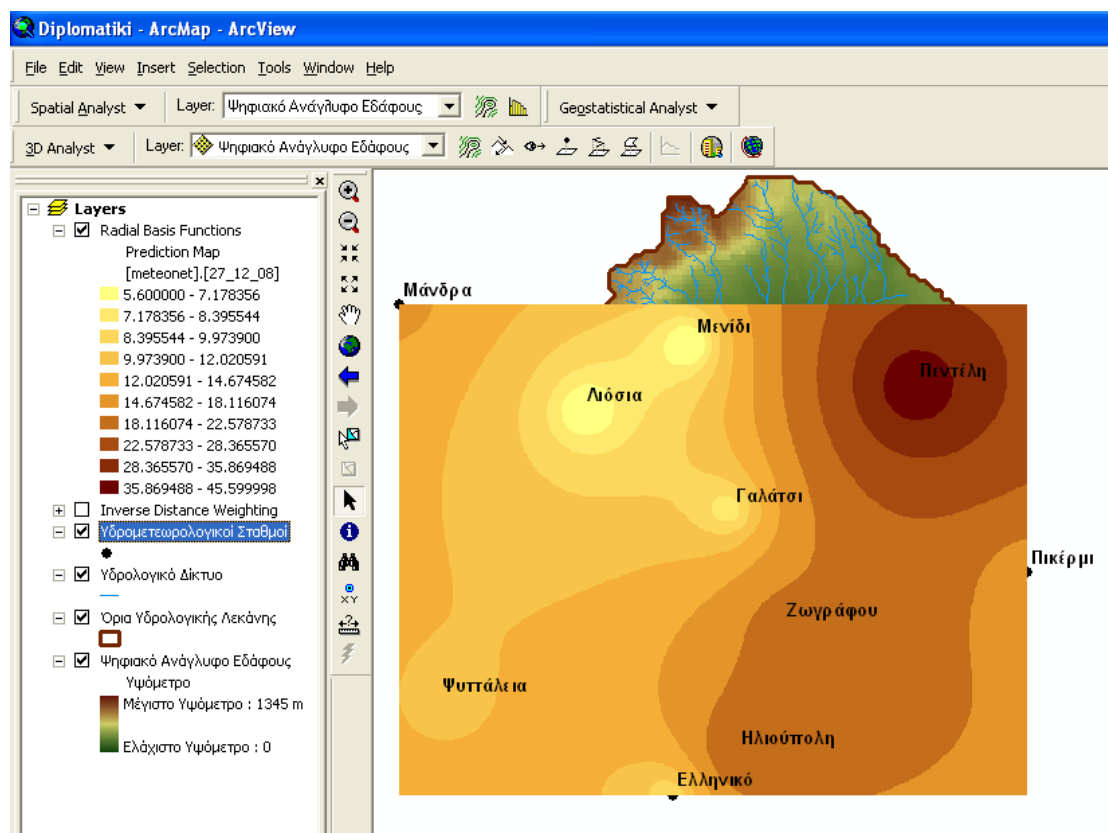
Ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω δημιουργούνται οι χάρτες επιφανειακής βροχόπτωσης με βάση τη μέθοδο IDW. Ένας ενδεικτικός χάρτης επιφανειακής βροχόπτωσης, όπως δημιουργήθηκε στο ArcMap με την IDW μέθοδο παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 3.9 Δημιουργία χάρτη επιφανειακής βροχόπτωσης με τη μέθοδο IDW στο ArcMap

### Radial Basic Functions (R.B.F)

Η διαδικασία που ακολουθείται κατά την εφαρμογή της μεθόδου R.B.F είναι ίδια με εκείνη της μεθόδου I.D.W. Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο και οι δύο μέθοδοι βασίζονται στη θεωρία του πλησιέστερου γείτονα. Η διαφορά της μεθόδου R.B.F με τη μέθοδο I.D.W είναι ότι η πρώτη δίνει τιμές εκτός των ορίων των μετρημένων τιμών. Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται ένας ενδεικτικός χάρτης επιφανειακής βροχόπτωσης, όπως δημιουργήθηκε στο ArcMap με την R.B.F μέθοδο.



**Σχήμα 3.10** Δημιουργία χάρτη επιφανειακής βροχόπτωσης με τη μέθοδο R.B.F στο ArcMap

### Ordinary Kriging

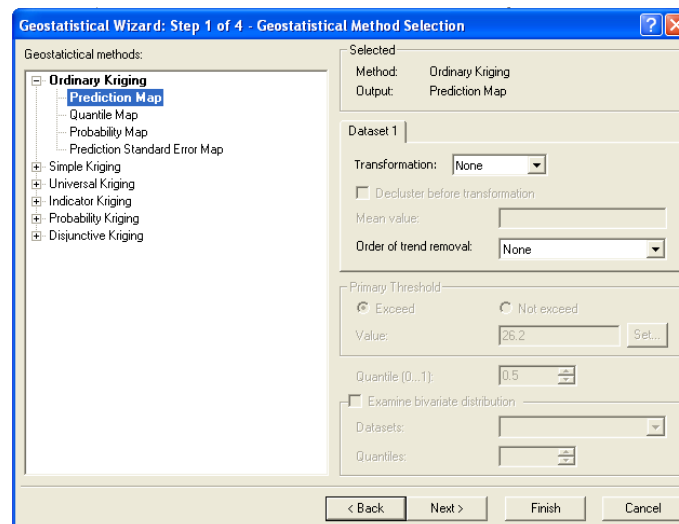
Το Kriging είναι μια σύγχρονη μέθοδος παρεμβολής που μπορεί να είναι είτε ακριβής (exact method) είτε εξομάλυνσης (smoothing method), ανάλογα με το επιλεγμένο μοντέλο μέτρησης σφάλματος. Μέσω του μενού του ArcMap Geostatistical Analyst είναι δυνατός ο υπολογισμός και η επισκόπηση γραφημάτων χωρικής

αυτοσυσχέτισης και δημιουργίας χαρτών πρόβλεψης, πιθανοτήτων, σφαλμάτων, κ.α. Ως γεωστατιστική μέθοδος χρησιμοποιεί στοχαστικά μοντέλα, γεγονός που την καθιστά αρκετά πολύπλοκη και απαιτητική σε ότι αφορά στη λήψη αποφάσεων.

Η εφαρμογή της μέσω του Geostatistical Analyst πραγματοποιείται μέσα από τρία βήματα :

◆ Βήμα 1<sup>ο</sup> – Επιλογή Μεθόδου Kriging και Προϊόντος Εξόδου

Στο ακόλουθο παράθυρο ο χρήστης επιλέγει τη μέθοδο Kriging βάση της οποίας θα γίνει η ανάλυση καθώς και το επιθυμητό προϊόν εξαγωγής (π.χ. χάρτης προβλεπόμενων τιμών, χάρτης πιθανοτήτων, χάρτης προβλεπόμενων σφαλμάτων). Στην παρούσα εργασία επιλέγεται η παραγωγή χάρτη προβλεπόμενων τιμών μέσω της μεθόδου Ordinary Kriging.



Σχήμα 3.11 Επιλογή μεθόδου Kriging και επιθυμητού προϊόντος εξαγωγής

◆ Βήμα 2<sup>ο</sup> – Ρύθμιση παραμέτρων ημιμεταβλητογράμματος και συνδιακύμανσης

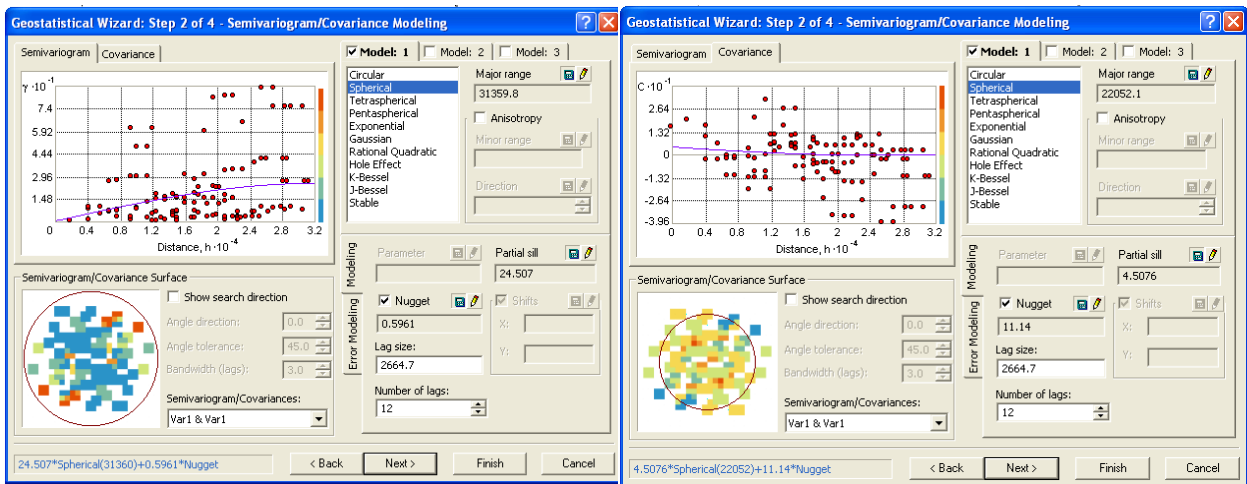
Το βήμα αυτό αποτελεί την ‘καρδιά’ της μεθόδου, καθώς στο σημείο αυτό υπολογίζεται το μεταβλητόγραμμα (Σχήμα 3.12). Οι παράμετροι που ρυθμίζονται σε αυτό το παράθυρο είναι (ξεκινώντας από την κάτω αριστερή γωνία):

- *Semivariogram/Covariance Surface – Χάρτης Μεταβλητότητας*: Κάθε φατνίο (pixel) αντιπροσωπεύει το μέσο όρο όλων των ζευγαριών μέσα σε ένα δεδομένο ‘χωρίο’ απόστασης/κατεύθυνσης. Δυστυχώς, δεν απεικονίζονται οι τιμές αλλά είναι δυνατή η ρύθμιση του μεγέθους του φατνίου και του αριθμού



των χωρίων στις θέσεις Lag Size και Number of bins αντίστοιχα. Στη θέση Anisotropy ο χρήστης μπορεί να μεταβάλλει την κατεύθυνση απεικόνισης.

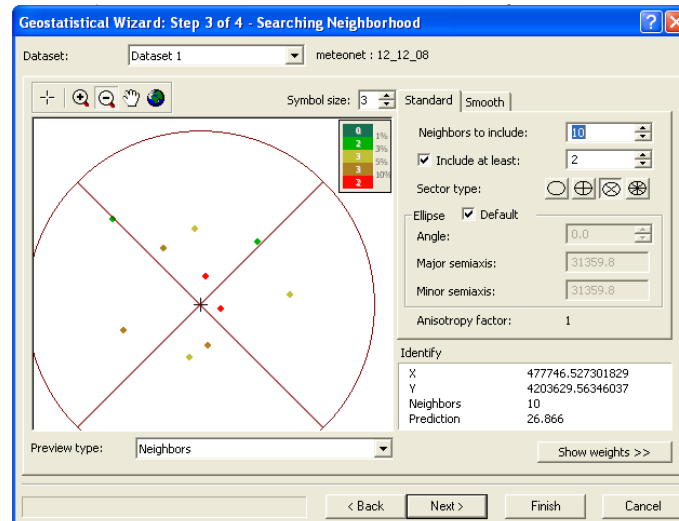
- *View – Επισκόπηση:* Εδώ απεικονίζεται το ημιμεταβλητόγραμμα ή το διάγραμμα της συνδιακύμανσης. Ακόμα στο ίδιο διάγραμμα απεικονίζεται και το επιλεγμένο θεωρητικό ημιμεταβλητόγραμμα.
- *Models - Θεωρητικά μοντέλα ημιμεταβλητογράμματος:* Στη θέση αυτή επιλέγεται το κατάλληλο θεωρητικό μοντέλο που ταιριάζει στη δεδομένη περίπτωση. Το πρόγραμμα για κάθε τύπο ημιμεταβλητογράμματος παρέχει έτοιμες τιμές κάποιων χαρακτηριστικών (π.χ. sill,nugget), τις οποίες ο χρήστης μπορεί εύκολα να τροποποιήσει.



Σχήμα 3.12 Ρύθμιση παραμέτρων ημιμεταβλητογράμματος και συνδιακύμανσης

♦ Βήμα 3<sup>ο</sup> – Καθορισμός επιφάνειας εφαρμογής της μεθόδου Kriging

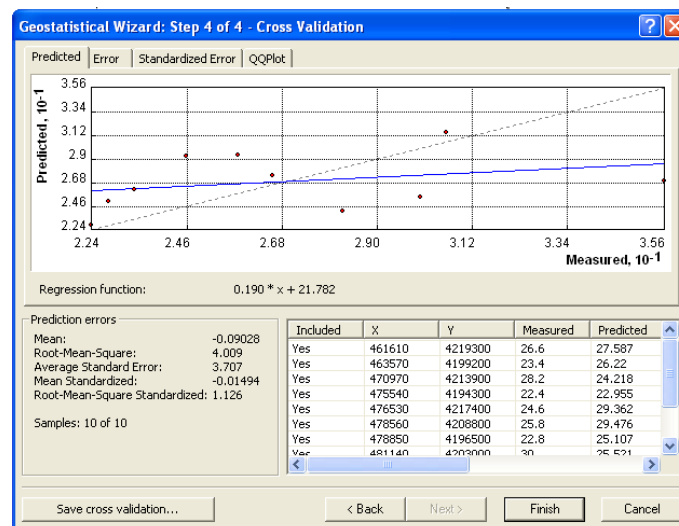
Στο σημείο αυτό μπορεί να ρυθμιστεί το μέγεθος της επιφάνειας στην οποία εφαρμόζεται η μέθοδος Kriging (Σχήμα 3.13). Στα αριστερά του παραθύρου υπάρχει χάρτης με τις θέσεις των μετρημένων στοιχείων, όπου μπορεί να οριστεί η επιθυμητή θέση πρόβλεψης και να υπολογιστεί η αντίστοιχη τιμή. Το παράθυρο αυτό είναι όμοιο με το παράθυρο του πρώτου βήματος της μεθόδου I.D.W., το οποίο περιγράφηκε παραπάνω.



Σχήμα 3.13 Καθορισμός επιφάνειας εφαρμογής της μεθόδου Kriging

♦ Βήμα 4<sup>ο</sup> – Έλεγχος Σφαλμάτων

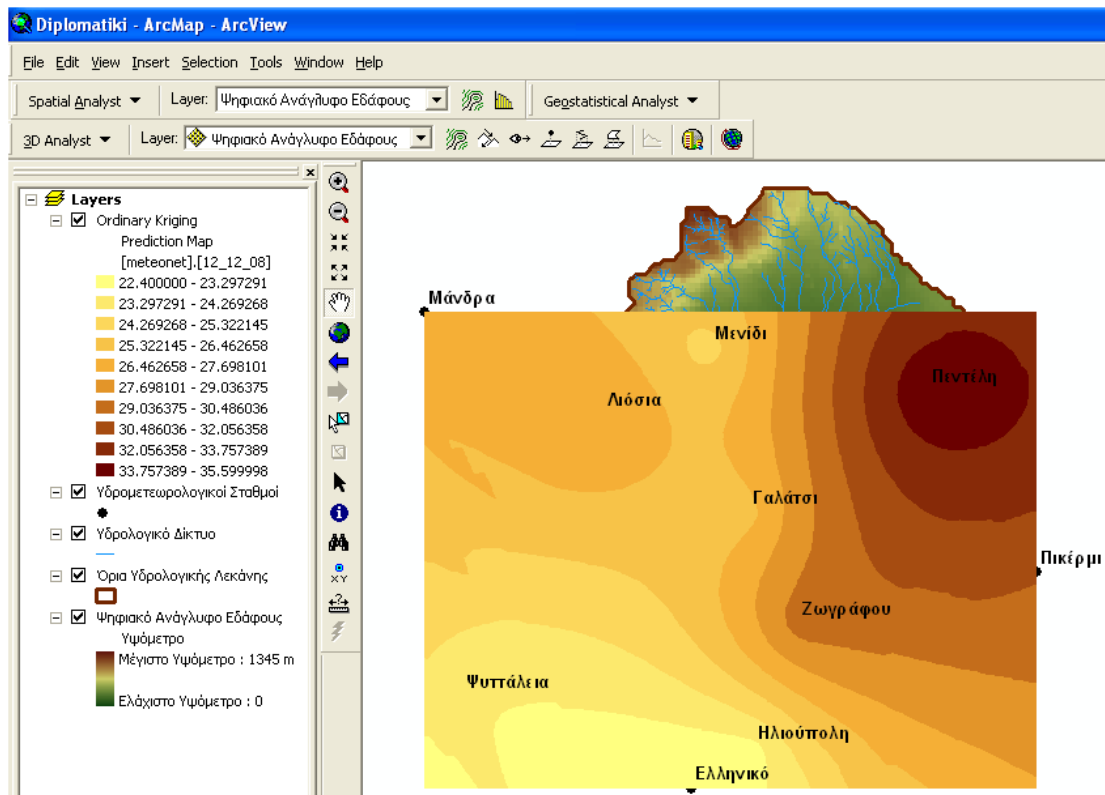
Στο βήμα αυτό δεν ρυθμίζονται παράμετροι της μεθόδου, αλλά ελέγχονται τα εκτιμώμενα σφάλματα (Σχήμα 3.14) και γίνεται σύγκριση των μετρημένων τιμών με αυτές που εκτιμώνται με τη μέθοδο. Αν τα αποτελέσματα είναι αποδεκτά τότε με την εντολή FINISH ολοκληρώνεται η διαδικασία και δημιουργείται ο χάρτης ενδιαφέροντος. Σε αντίθετη περίπτωση παρέχεται η δυνατότητα επιστροφής στα προηγούμενα βήματα και βελτιστοποίησης των παραμέτρων.



Σχήμα 3.14 Έλεγχος Σφαλμάτων

Μετά την ολοκλήρωση των βημάτων παράγεται ο χάρτης με τις εκτιμώμενες τιμές σε κάθε θέση, όπως ενδεικτικά παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.15. Στην παρούσα εργασία

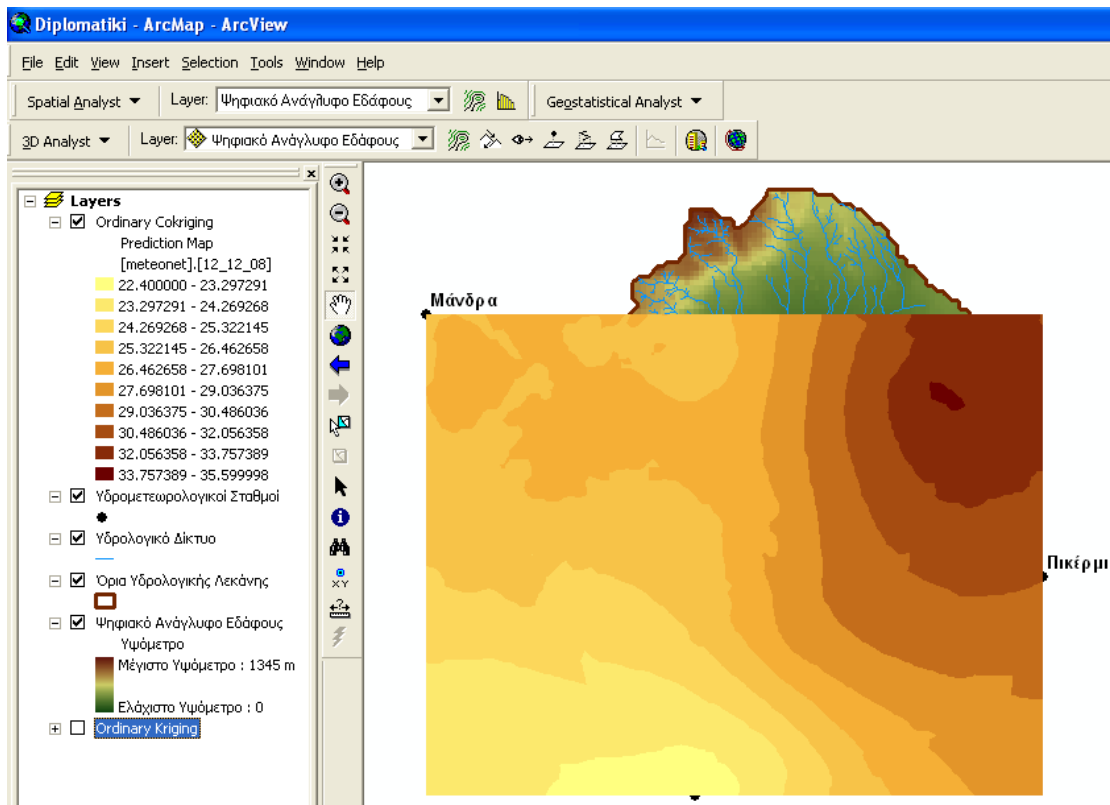
λόγω έλλειψης δεδομένων, δεν έγινε μεταβολή των παραμέτρων αντίθετα διατηρήθηκαν οι τιμές των παραμέτρων που προσφέρει το ίδιο το πρόγραμμα.



Σχήμα 3.15 Δημιουργία χάρτη επιφανειακής βροχόπτωσης με τη μέθοδο Ordinary Kriging στο ArcMap

### Cokriging

Τα βήματα της μεθόδου Cokriging στο ArcMap για τη δημιουργία χάρτη επιφανειακής βροχόπτωσης από τις σημειακές μετρήσεις των δέκα μετεωρολογικών σταθμών είναι ίδια με αυτά που περιγράφηκαν ακριβώς παραπάνω για τη μέθοδο Ordinary Kriging. Η διαφορά είναι ότι πρέπει να εισαχθεί και το αρχείο που περιέχει την πληροφορία με την οποία θα συσχετηθεί το εκτιμώμενο μέγεθος. Στην παρούσα εργασία εισάγεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, δηλαδή η εκτιμώμενη βροχόπτωση συσχετίζεται με το υψόμετρο σε κάθε σημείο. Ενδεικτικά παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα η δημιουργία ενός χάρτη επιφανειακής βροχόπτωσης στο ArcMap μέσω του Geostatistical Analyst.



**Σχήμα 3.16** Δημιουργία χάρτη επιφανειακής βροχόπτωσης με τη μέθοδο Ordinary Cokriging στο ArcMap

Στην παρούσα εργασία, εφαρμόστηκαν και οι τέσσερις μέθοδοι χωρικής παρεμβολής, όπως αυτές παρουσιάστηκαν προηγουμένως, για τα βροχομετρικά δεδομένα που καταγράφηκαν στις 12/12/2008. Οι αντίστοιχοι χάρτες επιφανειακής βροχόπτωσης παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο. Για τις ημερομηνίες 10/10/2006 και 18/10/2010 η μετατροπή της σημειακής βροχόπτωσης σε επιφανειακή, για να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα στους περαιτέρω υπολογισμούς, πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Cokriging.

### 3.3 Αποτύπωση Επιφανειακής Βροχόπτωσης εντός των Ορίων της Λεκάνης Απορροής

Όπως είναι εμφανές και στα προηγούμενα σχήματα που παρουσιάστηκαν, οι χάρτες που εξάγονται από τη χωρική παρεμβολή των σημειακών δεδομένων βροχόπτωσης έχουν σχήμα ορθογωνίου και οριοθετούνται από τους πιο απομακρυσμένους σταθμούς. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι εμφανή τα όρια της λεκάνης απορροής αλλά

και ότι δεν υπάρχουν δεδομένα για κάποια περιοχή εντός αυτής. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να γίνει επέκταση του χάρτη ώστε να καλύπτεται ολόκληρη η λεκάνη απορροής αλλά και να περιοριστεί η αποτύπωση της επιφανειακής βροχόπτωσης εντός των ορίων της λεκάνης. Τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα ακόλουθα:

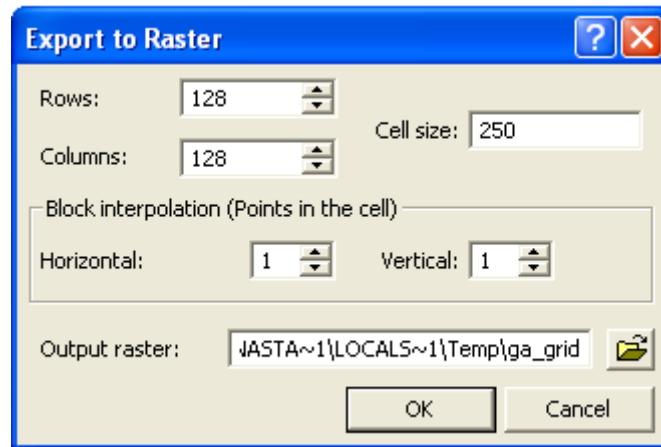
➤ Επέκταση του χάρτη

Όπως ήδη έχει διατυπωθεί, οι εξαγόμενοι χάρτες δεν καλύπτουν όλη την επιφάνεια της λεκάνης απορροής. Για το λόγο αυτό πρέπει να γίνει επέκτασή τους. Αυτό επιτυγχάνεται με την ακόλουθη διαδικασία. Στον πίνακα με τις ιδιότητες του χάρτη ενδιαφέροντος (**Properties**) επιλέγεται η καρτέλα **Extent**, όπου εμφανίζονται τα όρια απεικόνισης του χάρτη. Μεταβάλλοντας τα όρια αυτά είναι πλέον δυνατή η αποτύπωση της επιφανειακής βροχόπτωσης σε όλη την έκταση της λεκάνης απορροής.

➤ Ψηφιδωτή αποτύπωση

Οι χάρτες επιφανειακής βροχόπτωσης που έχουν δημιουργηθεί θα πρέπει να αποτυπωθούν σε ψηφιδωτή μορφή (raster). Το καινούριο αρχείο που θα δημιουργηθεί θα αποτελείται από φατνία (ψηφίδες) συγκεκριμένου μεγέθους, καθένα από αυτά θα περιέχει την αντίστοιχα υπολογισμένη τιμή της βροχόπτωσης. Το αρχείο αυτό αποθηκεύεται και αποτυπώνεται στην οθόνη με τη μορφή κανάβου. Η διαδικασία είναι η ακόλουθη:

- ◆ Με δεξιά κλικ και επιλέγοντας διαδοχικά **Data** → **Export to Raster** εμφανίζεται το ακόλουθο παράθυρο στο οποίο ρυθμίζονται το μέγεθος του κάθε φατνίου (είτε σε πόσες στήλες και πόσες γραμμές θα διαιρεθεί ο κανάβος), ο αριθμός των σημείων σε κάθε φατνίο καθώς και η επιθυμητή θέση αποθήκευσης. Το μέγεθος του φατνίου που εισάγεται στην παρούσα εργασία είναι 250, όσο και το μέγεθος του φατνίου του κανάβου με τα όρια της υδρολογικής λεκάνης.

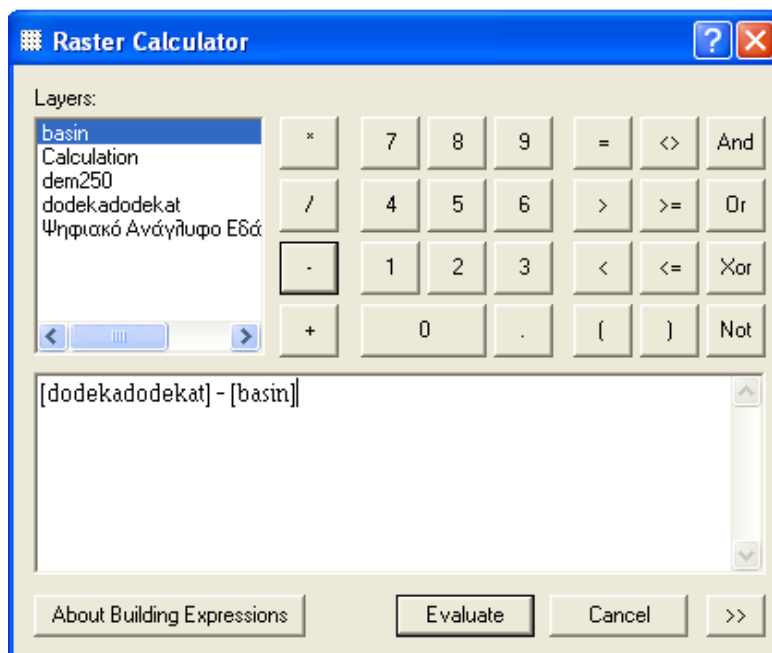


Σχήμα 3.17 Ρύθμιση παραμέτρων για μετατροπή αρχείου σε μορφή Raster

➤ Αποτύπωση της επιφανειακής βροχόπτωσης εντός των ορίων της λεκάνης απορροής

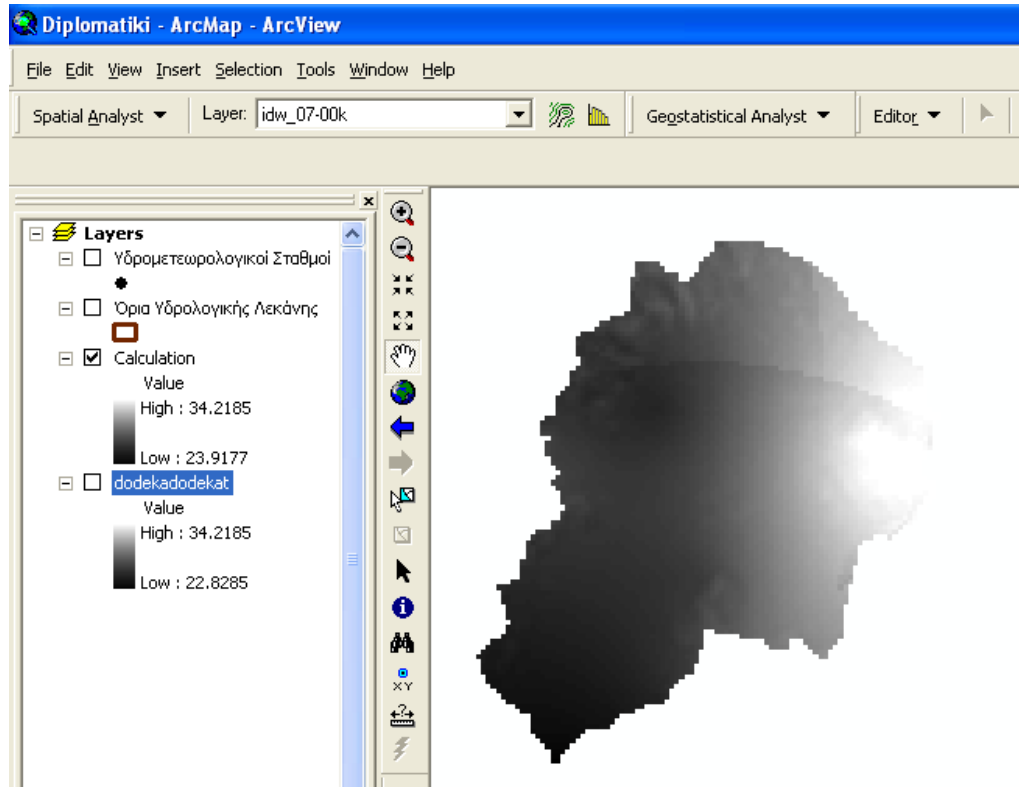
Για αποτύπωση της επιφανειακής βροχόπτωσης εντός των ορίων της λεκάνης απορροής ακολουθείται η ακόλουθη διαδικασία:

- ◆ Από το μενού του ArcMap **Spatial Analyst** επιλέγεται η εντολή **Raster Calculator**. Ακολούθως εμφανίζεται στην οθόνη το παράθυρο του Σχήματος 3.18, όπου πραγματοποιείται η πράξη της αφαίρεσης μεταξύ των κανάβων της επιφανειακής βροχόπτωσης και του ορίου της λεκάνης απορροής.



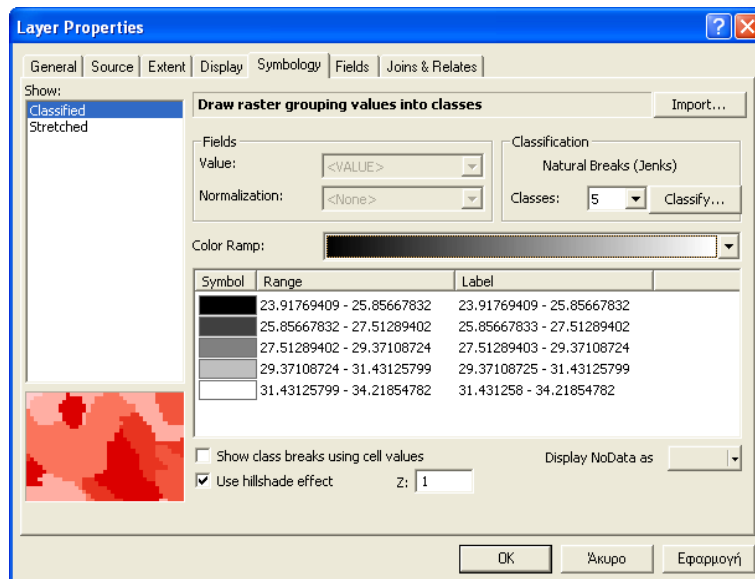
Σχήμα 3.18 Παράθυρο Raster Calculator

Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένας καινούριος κάναβος με τα ύψη της βροχής σε κάθε φατνίο του οριοθετημένος εντός των ορίων της λεκάνης απορροής, όπως ενδεικτικά παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.19.



Σχήμα 3.19 Κάναβος υψών βροχής οριοθετημένος από την υδρολογική λεκάνη

Τέλος, θα πρέπει να γίνει επεξεργασία του κανάβου αυτού ώστε να αποκτήσει την επιθυμητή εμφάνιση για να είναι δυνατή η καλύτερη απεικόνιση των υψών βροχής σε αυτόν. Επιλέγοντας διαδοχικά **Properties** → **Symbology** → **Classified** εμφανίζεται το ακόλουθο παράθυρο στο οποίο εισάγονται οι κλάσεις και τα επιθυμητά χρώματα προβολής των υψών βροχής.

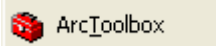


Σχήμα 3.20 Παράθυρο επεξεργασίας του τρόπου απεικόνισης διαφορετικών τιμών

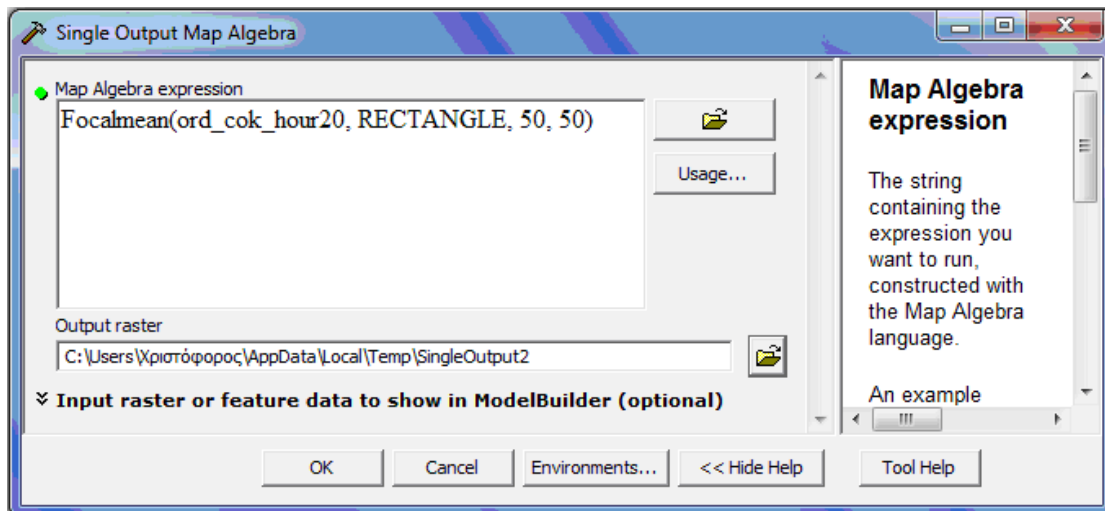
Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι χάρτες επιφανειακής βροχόπτωσης που προέκυψαν από τη διαδικασία που μόλις περιγράφηκε.

### 3.4 Εμφάνιση Μέγιστων Ψών Βροχής Ανάλογα Με Την Επιφάνεια

Στον κানাβο με την επιφανειακή βροχόπτωση μπορεί να επισημανθεί η μέγιστη τιμή της βροχής για το εκάστοτε επεισόδιο. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το μέγεθος του φατνίου (pixel) έχει οριστεί 250m × 250m. Το πρόγραμμα προσφέρει τη δυνατότητα μεταβολής του μεγέθους του φατνίου του κανάβου. Η διαδικασία είναι η ακόλουθη :

- ♦ Από την ειδική εργαλειοθήκη του ArcMap  επιλέγεται διαδοχικά **Spatial Analyst Tools** → **Map Algebra** → **Single Output Map Algebra** και στη συνέχεια εμφανίζεται το ακόλουθο παράθυρο. Στο παράθυρο αυτό επιλέγεται ο κানাβος και με κατάλληλη εντολή μεταβάλλεται το μέγεθος των φατνίων του.





Σχήμα 3.20 Αλλαγή μεγέθους φατνίου κανάβου

Πλέον έχουν δημιουργηθεί κανάβοι για το ίδιο επεισόδιο βροχής με διαφορετικό μέγεθος φατνίου. Όπως γίνεται αντιληπτό, η μέγιστη τιμή του ύψους βροχής διαφέρει από κανάβο σε κανάβο. Πιο συγκεκριμένα, όσο μεγαλώνει το μέγεθος του φατνίου μειώνεται η μέγιστη εκτιμώμενη τιμή. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα διαφορετικά μεγέθη φατνίων των κανάβων που δημιουργήθηκαν.

Πίνακας 3.2 Διαφορετικά μεγέθη φατνίων των κανάβων

	1×1	5×5	10×10	25×25	50×50	Όλη η λεκάνη
Pixels	1	25	100	625	2500	5773
Έκταση(km <sup>2</sup> )	0,0625	1,562	6,25	39,06	156,25	360,8

Στο Κεφάλαιο 4.4 παρουσιάζονται τα διαγράμματα μέγιστου ύψους βροχής σε σχέση με τη βρεχόμενη επιφάνεια, όπως αυτά προέκυψαν από τη διαδικασία που μόλις περιγράφηκε.

➤ **Υπολογισμός Συντελεστή Επιφανειακής Αναγωγής φ**

Αφού ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία μπορεί πλέον να υπολογιστεί ο συντελεστής επιφανειακής αναγωγής φ με βάση τη σχέση :

$$\phi = \frac{\text{μέγιστο} \cdot \text{επιφανειακό} \cdot \text{ύψος} \cdot \text{βροχής}}{\text{μέγιστο} \cdot \text{σημειακό} \cdot \text{ύψος} \cdot \text{βροχής}}$$

Στο Κεφάλαιο 4.5 παρουσιάζονται τα διαγράμματα του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής  $\phi$  σε σχέση με τη βρεχόμενη επιφάνεια και γίνεται σύγκριση με την θεωρητική τιμή του συντελεστή αυτού.

### 3.5 Εκτίμηση Εμπειρικής Σχέσης Έντασης Βροχής – Έκτασης και Διάρκειας

Στην τελική φάση της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιείται μια απόπειρα δημιουργίας μιας μαθηματικής εμπειρικής σχέσης, η οποία προσαρμόζεται στα δεδομένα που προέκυψαν από τις παραπάνω διαδικασίες και εκφράζει τη μέγιστη σημειακή ένταση βροχόπτωσης  $i$  ως συνάρτηση της διάρκειας της βροχής  $t$  και της βρεχόμενης έκτασης  $A$ . Η μαθηματική αυτή σχέση θα είναι της μορφής :

$$i = a \times t^b \times A^c$$

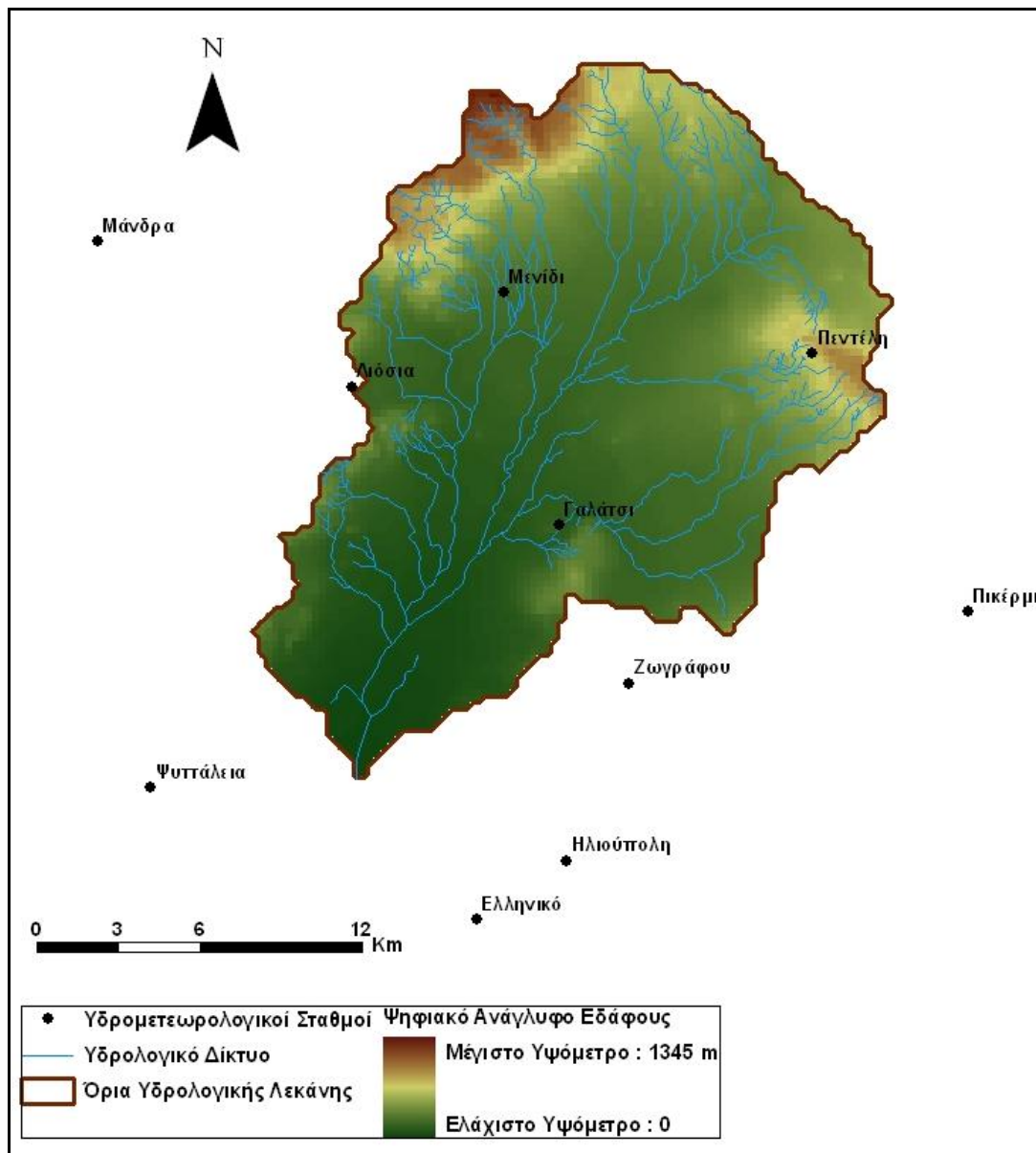
όπου,  $a$ ,  $b$  και  $c$  αδιάστατοι συντελεστές. Στη συνέχεια περιγράφεται η πορεία εύρεσης αυτών των συντελεστών.

Αρχικά, επιλέγεται το μέγιστο ύψος βροχής για κάθε ένα από τα τρία επεισόδια σε όλες τις υπολογιζόμενες χρονικές και χωρικές κλίμακες που έχουν καθοριστεί, για παράδειγμα διάρκειας 10 λεπτών, και έκτασης 39.06 km<sup>2</sup>, κ.α. Κατά αυτόν τον τρόπο καταστρώνεται ένας πίνακας στο Excel που περιλαμβάνει την ένταση της βροχής  $i$ , τη διάρκεια  $t$  και την έκταση  $A$ . Κατόπιν λογαρίθμησης προκύπτει η σχέση  $\ln i = \ln a + b \times \ln t + c \times \ln A$ , απ' όπου με διπλή συσχέτιση προκύπτουν τελικά οι παράμετροι  $a$ ,  $b$  και  $c$ . Επιπλέον γίνεται έλεγχος του συντελεστή συσχέτισης  $r$ , για τον οποίο θα πρέπει να ισχύει  $r > \frac{2}{\sqrt{n}}$ , όπου  $n$  το πλήθος των στοιχείων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΕΞΑΓΩΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 4.1 Υδρολογική Λεκάνη Κηφισού και Θέση Μετεωρολογικών Σταθμών

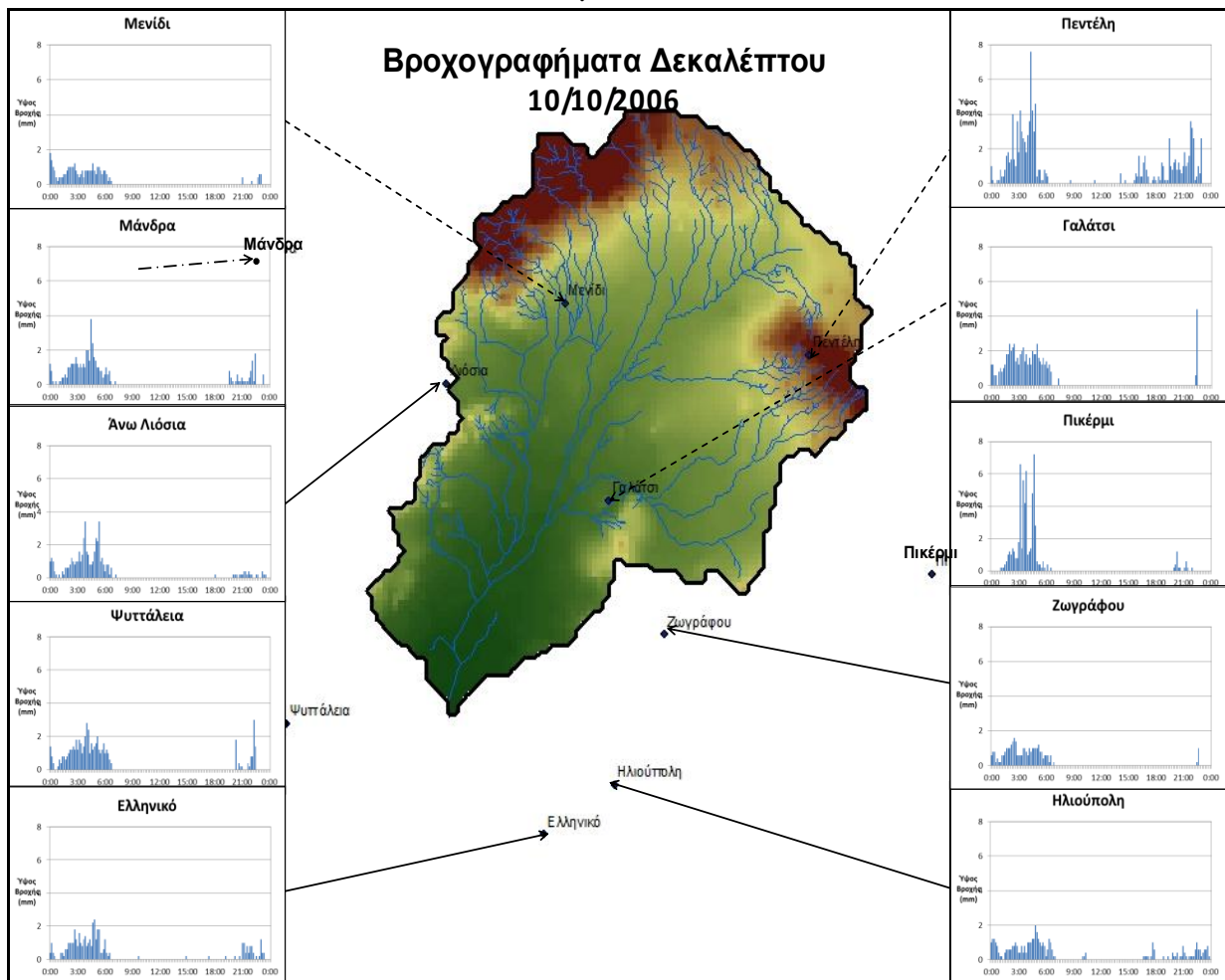
Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνεται χαρτογραφικά η υδρολογική λεκάνη Κηφισού και η θέση των μετεωρολογικών σταθμών, στις μετρήσεις των οποίων βασίστηκε η παρούσα μελέτη.

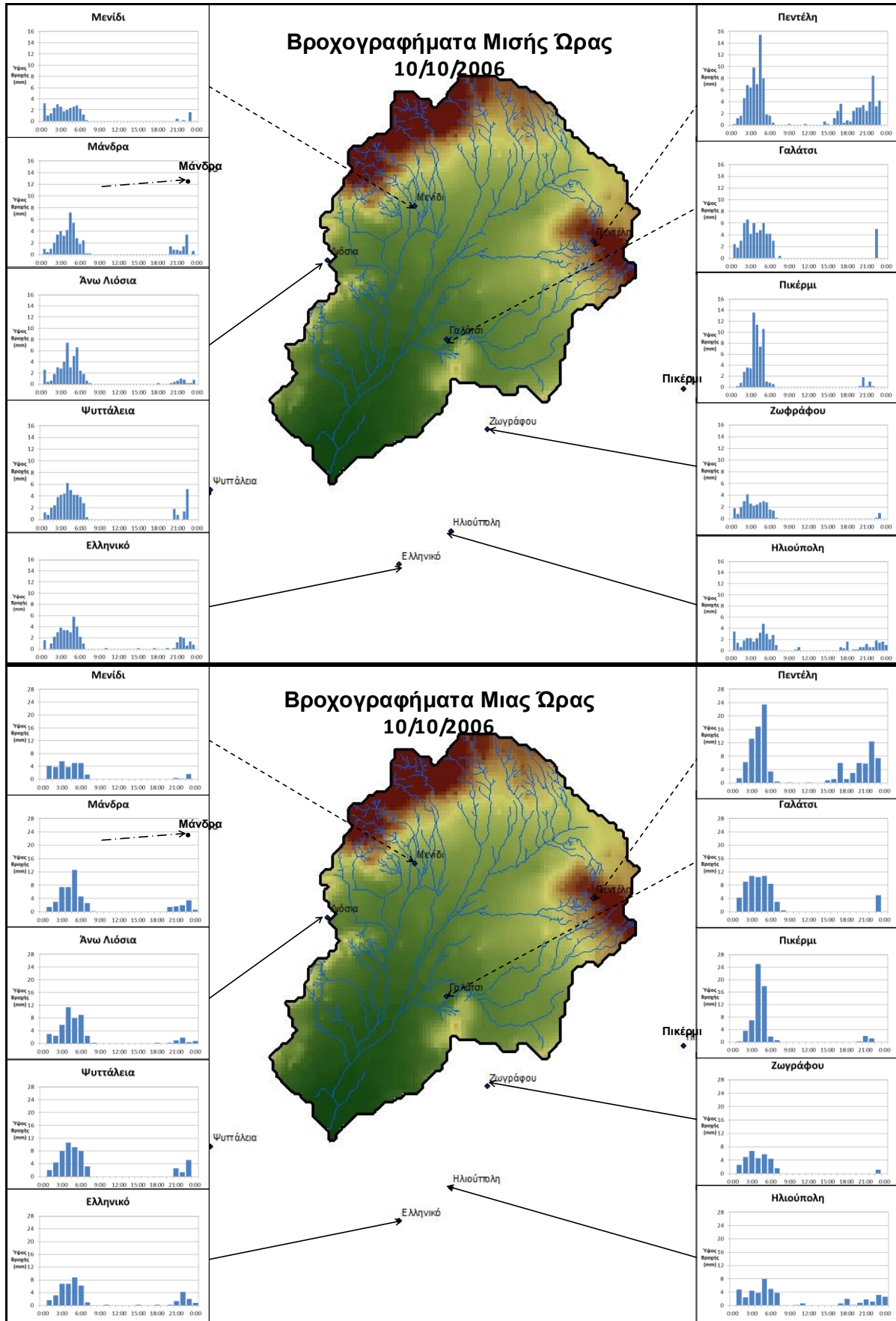


Σχήμα 4.1 Υδρολογική λεκάνη Κηφισού και θέση μετεωρολογικών σταθμών

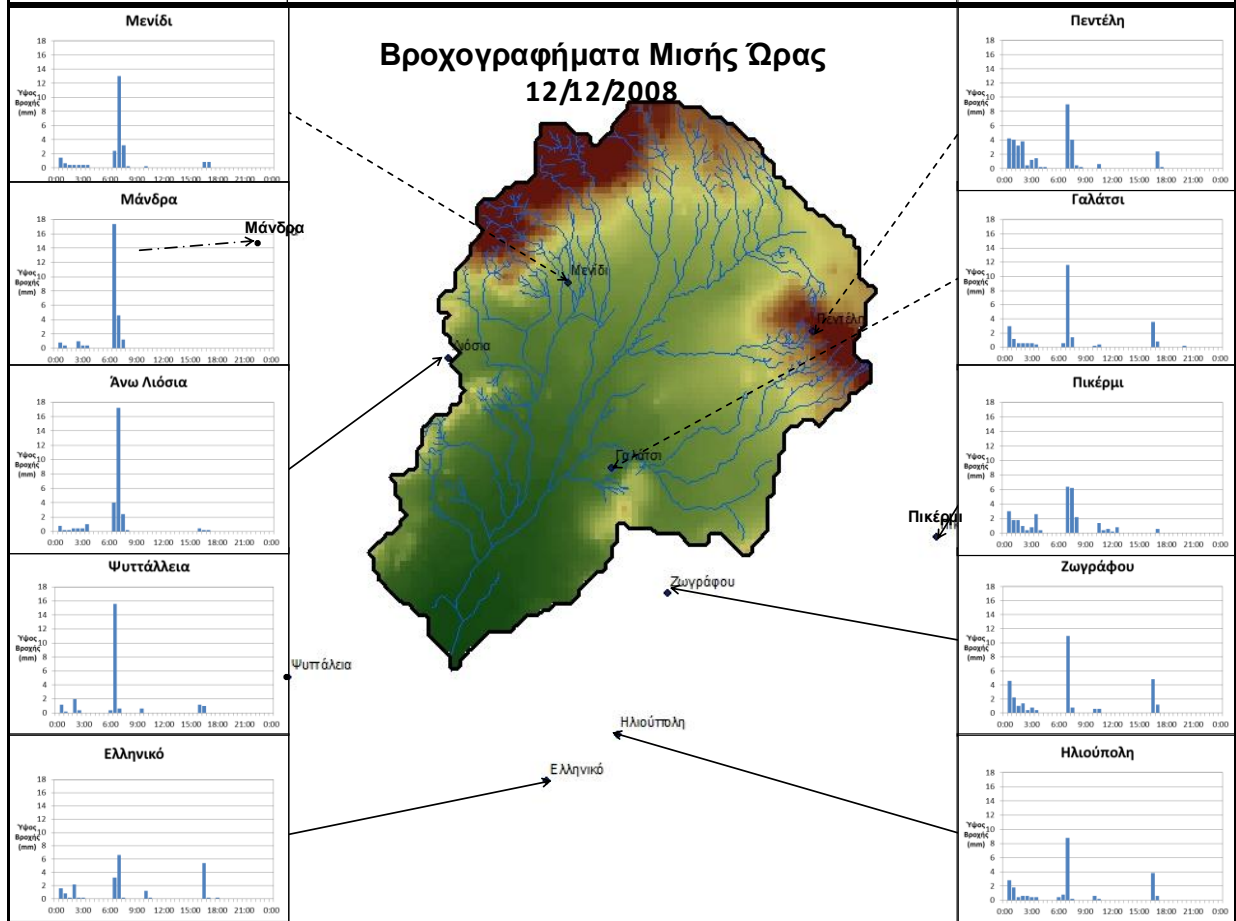
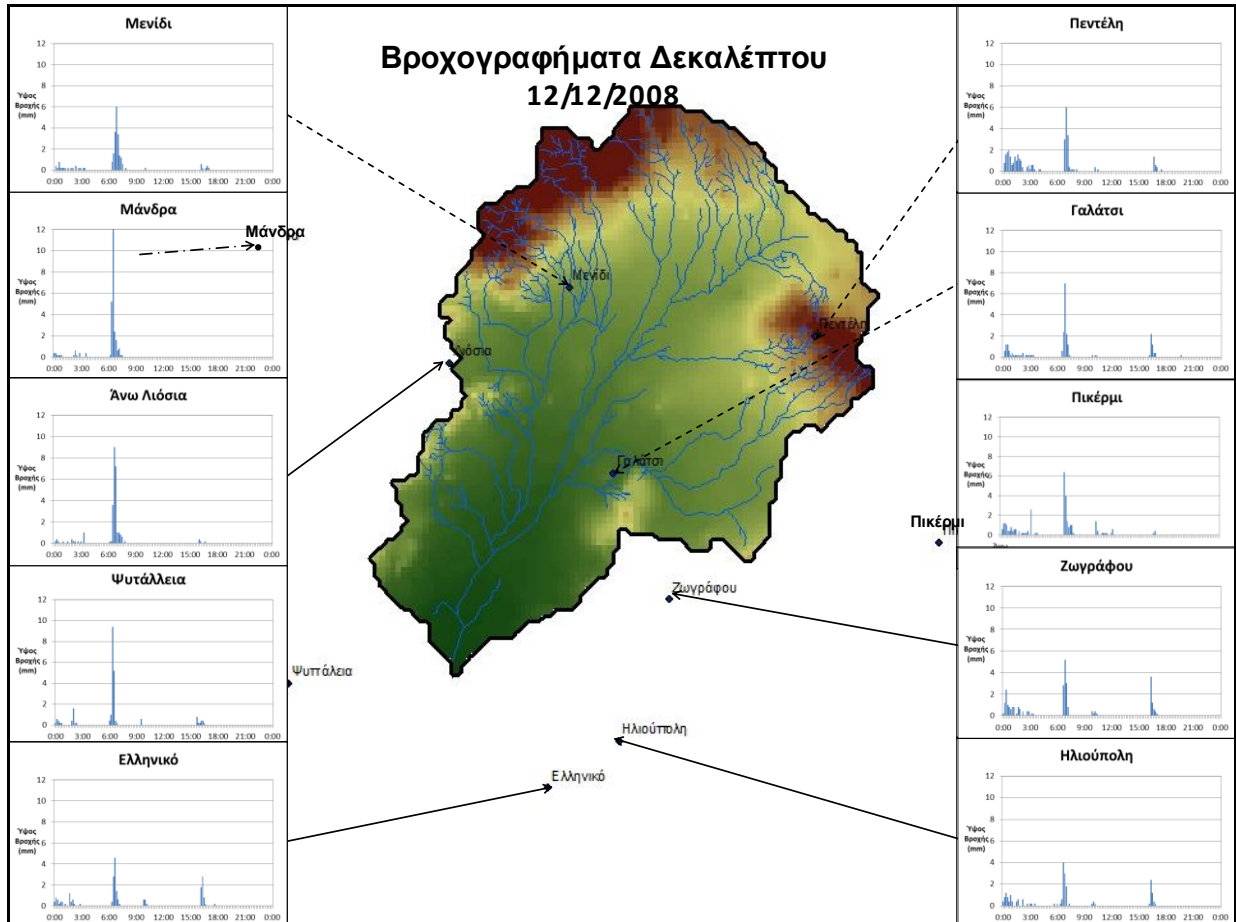
## 4.2 Αποτύπωση Βροχογραφημάτων

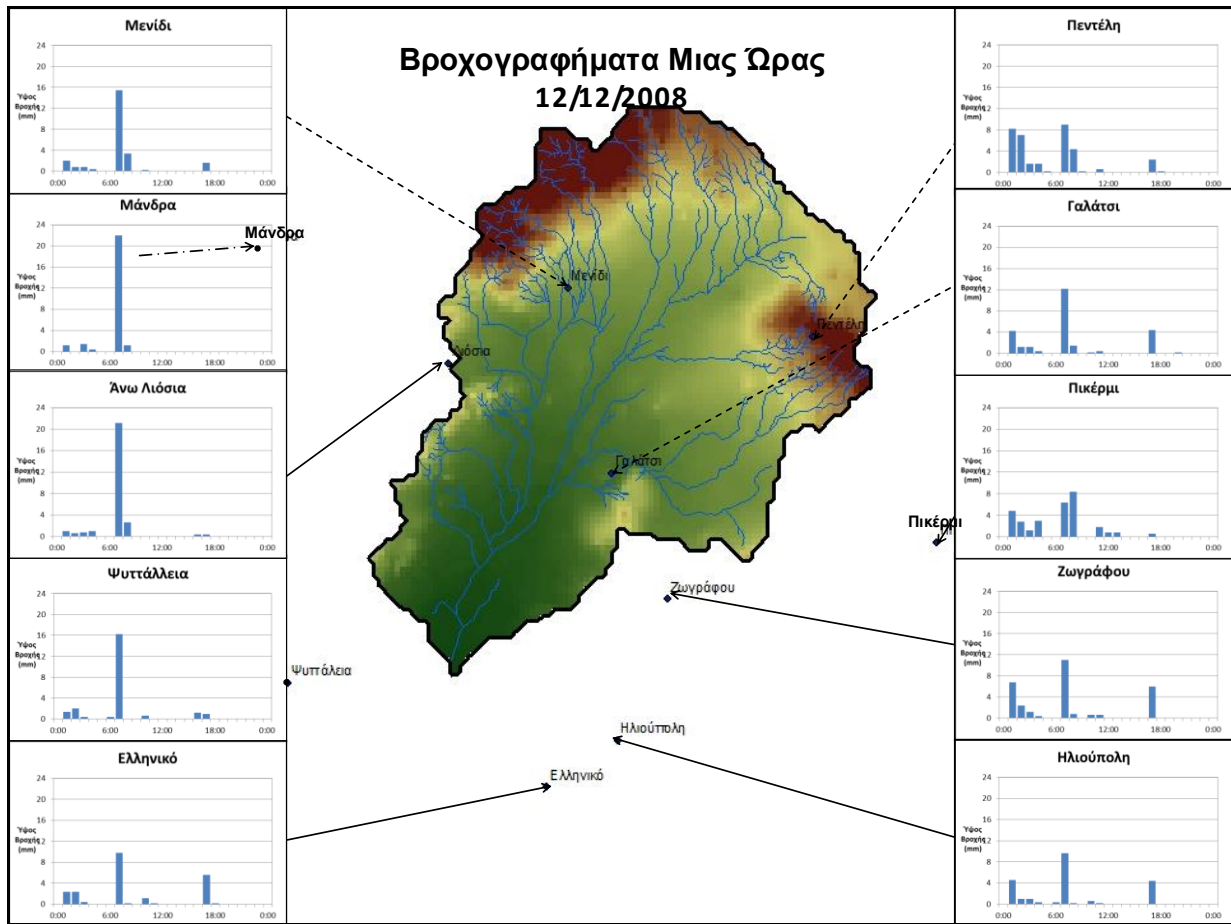
Οι δεκάλεπτες μετρήσεις των τριών επεισοδίων βροχής που καταγράφηκαν στους δέκα μετεωρολογικούς σταθμούς μετατράπηκαν σε μετρήσεις μισής και μίας ώρας και στη συνέχεια κατασκευάστηκαν τα αντίστοιχα βροχογραφήματα. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα βροχογραφήματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις σε κάθε σταθμό για τις ημερομηνίες 12/12/2008, 10/10/2006 και 18/10/2010.



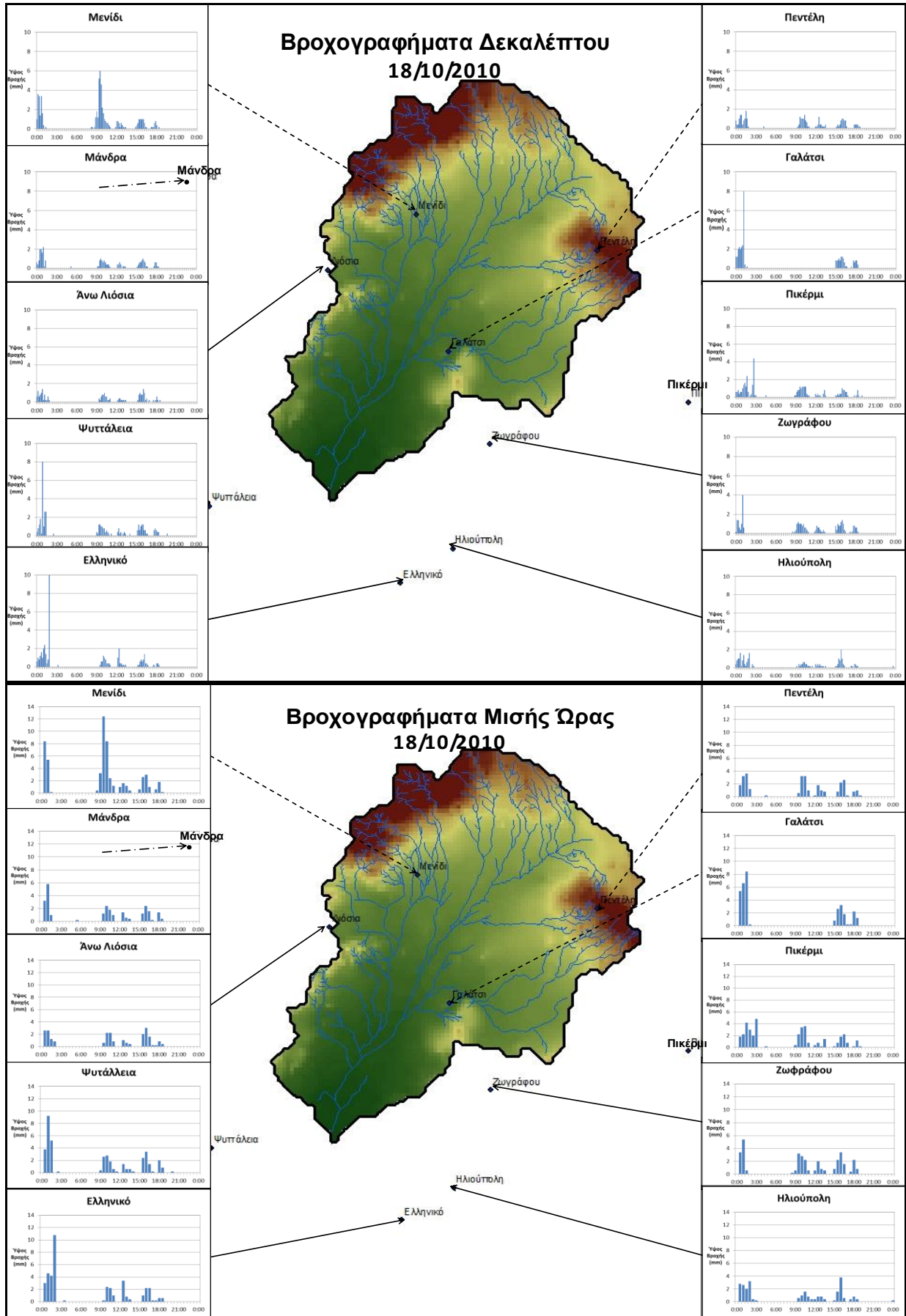


Σχήμα 4.2 Βροχογραφήματα από τους δέκα μετεωρολογικούς σταθμούς με βήμα δέκα λεπτών, μισής και μιας ώρας - 10/10/2006

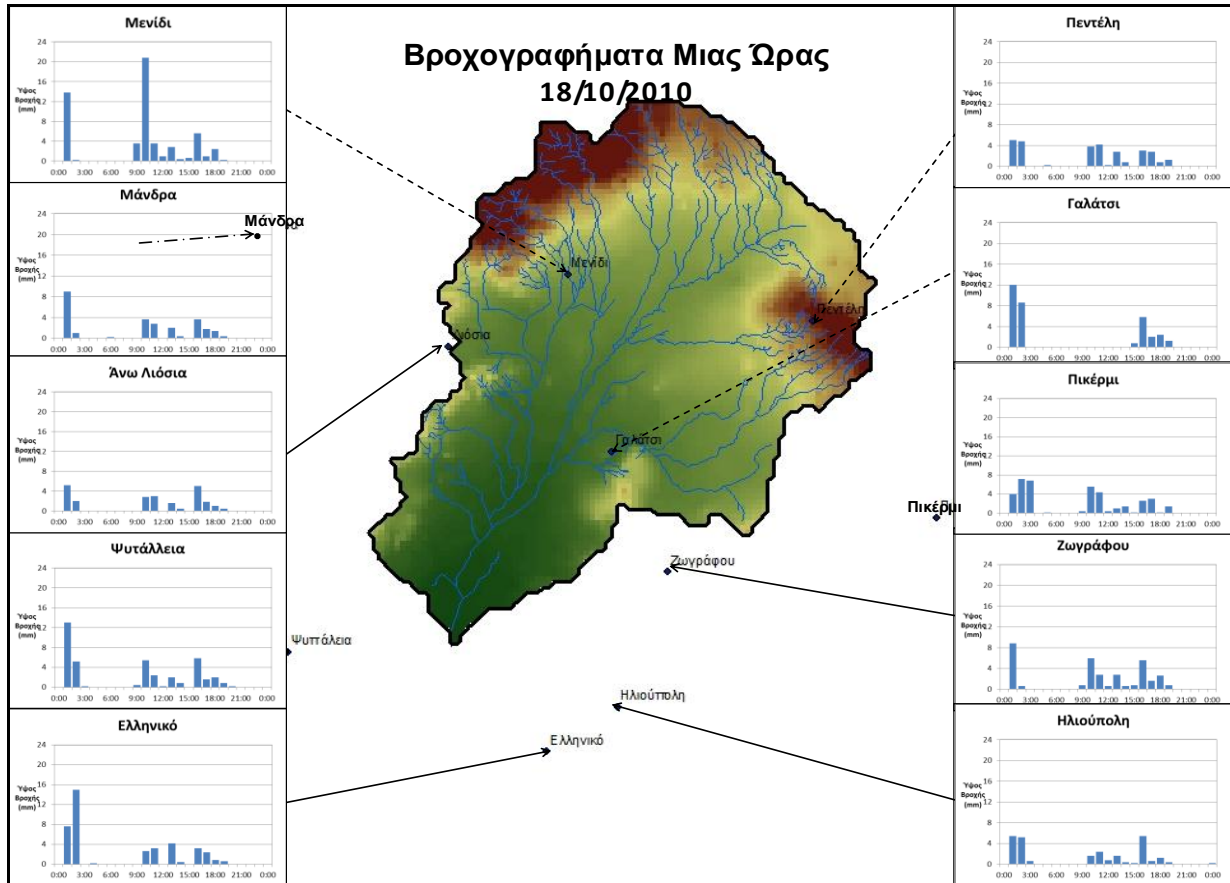




**Σχήμα 4.2** Βροχογραφήματα από τους δέκα μετεωρολογικούς σταθμούς με βήμα δέκα λεπτών, μισής και μιας ώρας - 12/12/2008







**Σχήμα 4.2** Βροχογραφήματα από τους δέκα μετεωρολογικούς σταθμούς με βήμα δέκα λεπτών, μισής και μιας ώρας - 18/10/2010

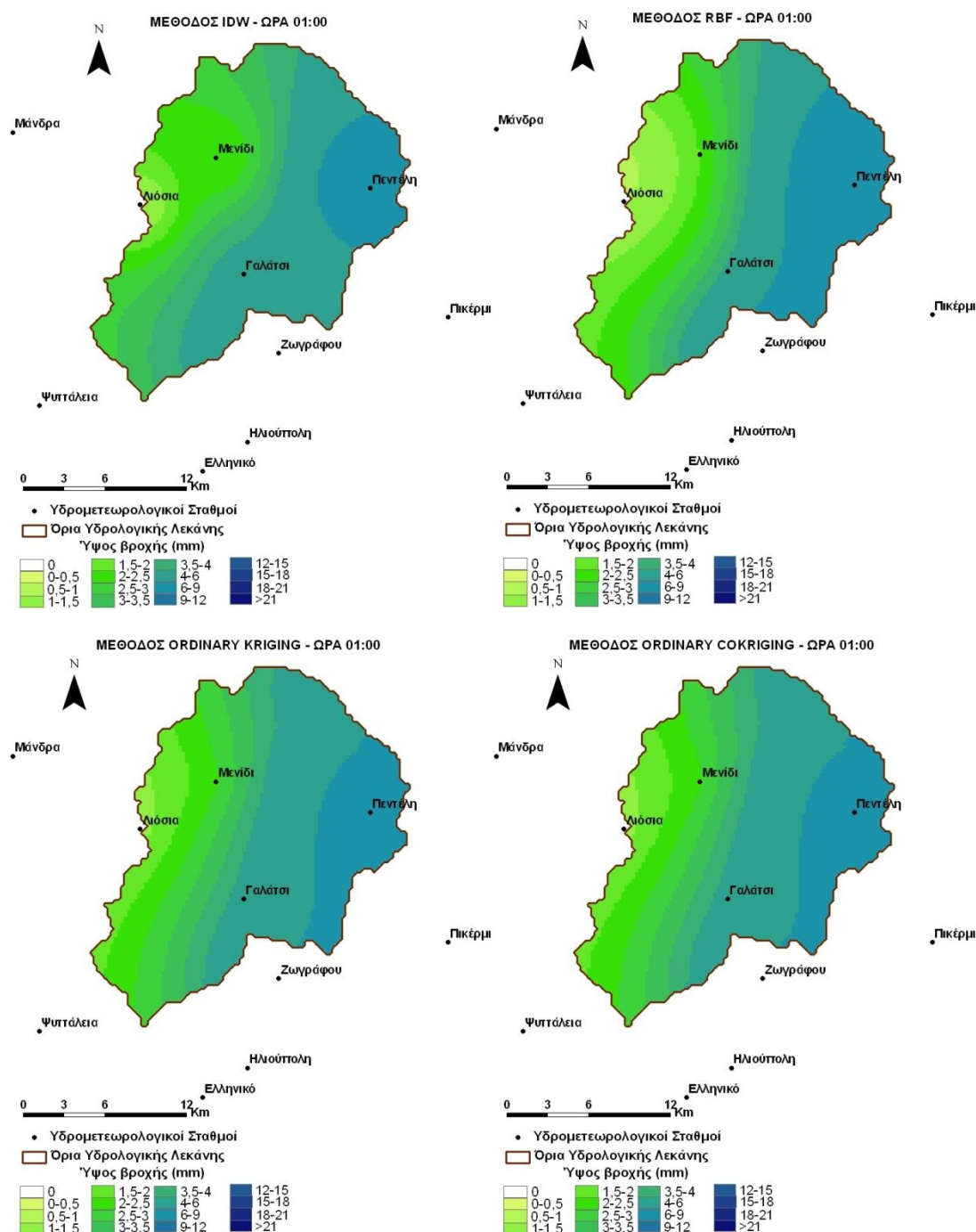
- Στο πρώτο επεισόδιο στις 10/10/2006 διαπιστώνεται από τα βροχογραφήματα ότι τα μεγαλύτερα ύψη βροχής βρίσκονται στις ανατολικές περιοχές στους μετεωρολογικούς σταθμούς Πεντέλης και Πικέρι. Με έντονες αυξομειώσεις στην ένταση της βροχής σε όλη την χρονική διάρκεια. Στους υπόλοιπους μετεωρολογικούς σταθμούς τα ύψη βροχής είναι μικρότερα και πιο ομοιόμορφα στην χρονική τους διάρκεια.
- Στο δεύτερο επεισόδιο στις 12/12/2008 τα μεγαλύτερα ύψη βροχής παρατηρούνται στις δυτικές περιοχές στους μετεωρολογικούς σταθμούς Μάνδρας, Άνω Λιόσια και Ψυτάλλεια. Η ένταση της βροχής δεν είναι καθόλου ομοιόμορφη.

- Στο τρίτο επεισόδιο στις 18/12/2010 τα μεγαλύτερα ύψη βροχής παρατηρούνται στους μετεωρολογικούς σταθμούς των περιοχών Ελληνικού Ψυτάλλειας και Γαλατσίου. Στις αδρότερες χρονικές κλίμακες το μεγαλύτερο ύψος βροχής παρατηρείται στο μετεωρολογικό σταθμό του Μενιδίου.

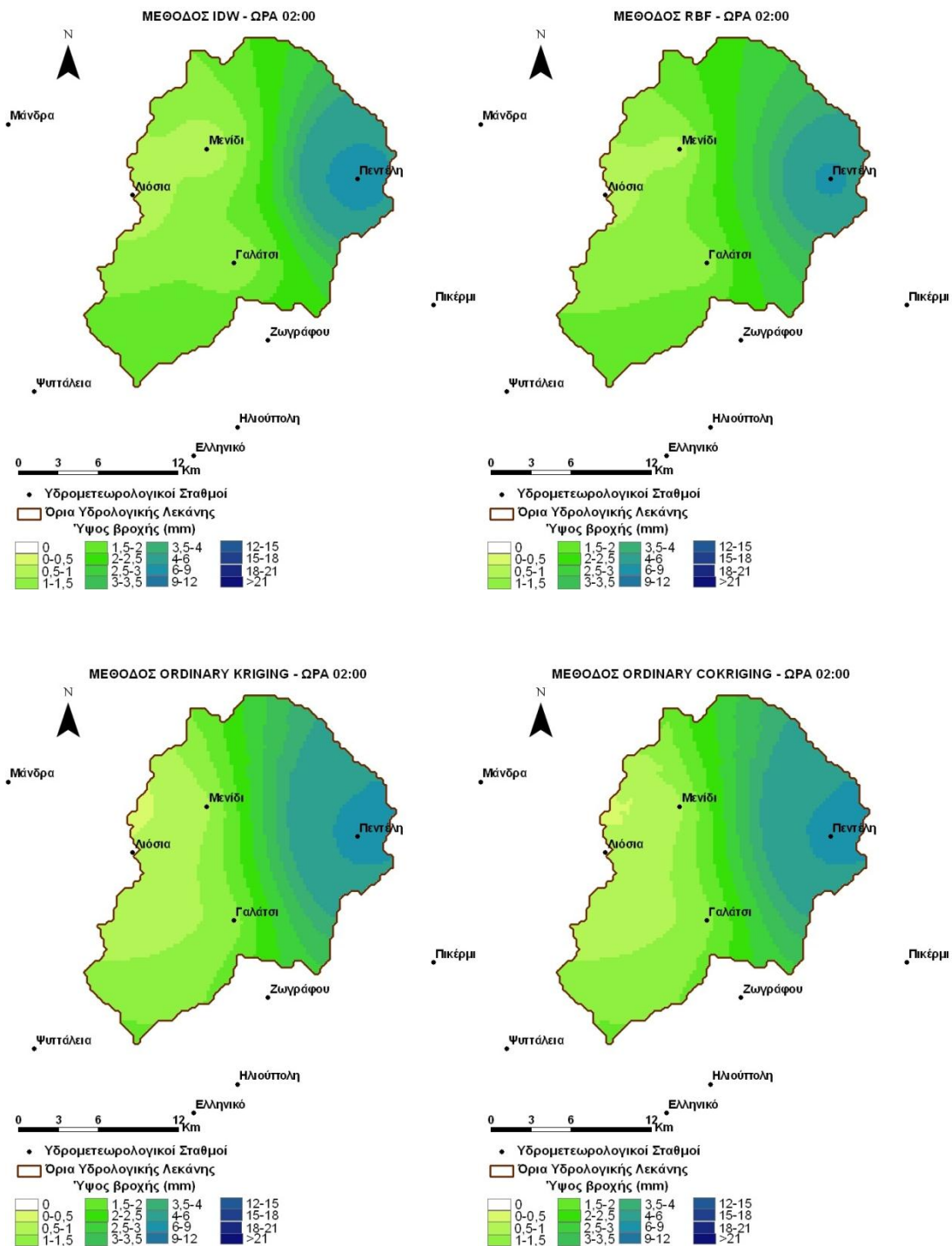
Γενικά σε όλα τα επεισόδια υπάρχει αρκετά μεγάλη χωρική συσχέτιση στη χρονική εξέλιξη των υψών βροχής. Αυτό συμβαίνει γιατί ο μηχανισμός γένεσης της βροχόπτωσης ήταν και στις τρεις περιπτώσεις εξωτροπικοί κυκλώνες (υφέσεις) σε αντίθεση με άλλους μηχανισμούς όπως οι μεταγωγικές καταιγίδες στις οποίες η βροχόπτωση παρουσιάζει μεγάλη χωρική ανομοιομορφία.

### 4.3 Αποτύπωση Επιφανειακής Βροχόπτωσης

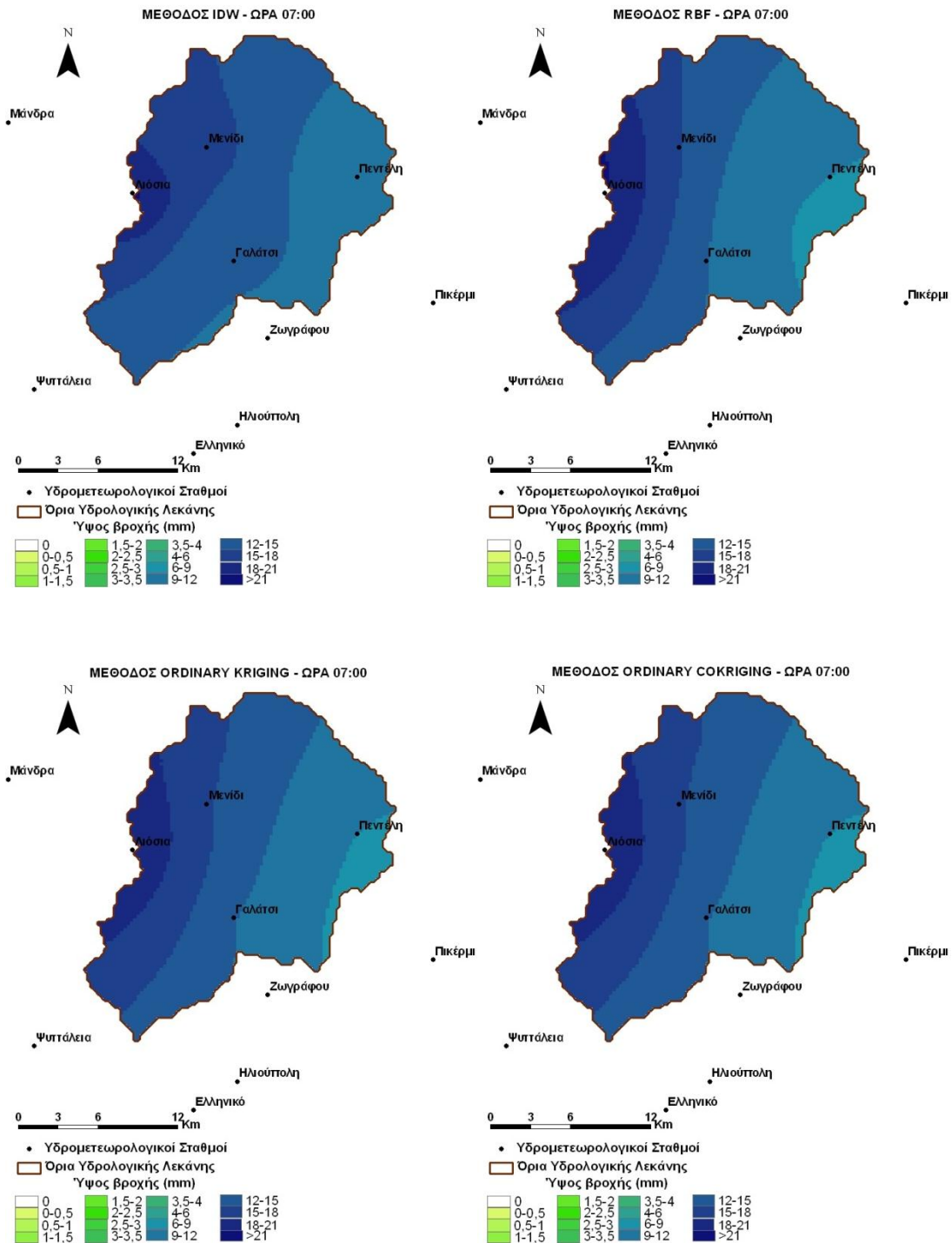
Τα σημειακά δεδομένα από τους βροχομετρικούς σταθμούς ανάγονται σε επιφανειακή βροχόπτωση με τις μεθόδους που περιγράφηκαν στα προηγούμενα δύο κεφάλαια. Στα ακόλουθα σχήματα παρουσιάζεται η επιφανειακή βροχόπτωση με τις τέσσερις μεθόδους παρεμβολής στην υδρολογική λεκάνη του Κηφισού για διαφορετικές ώρες στις 12/12/2008.



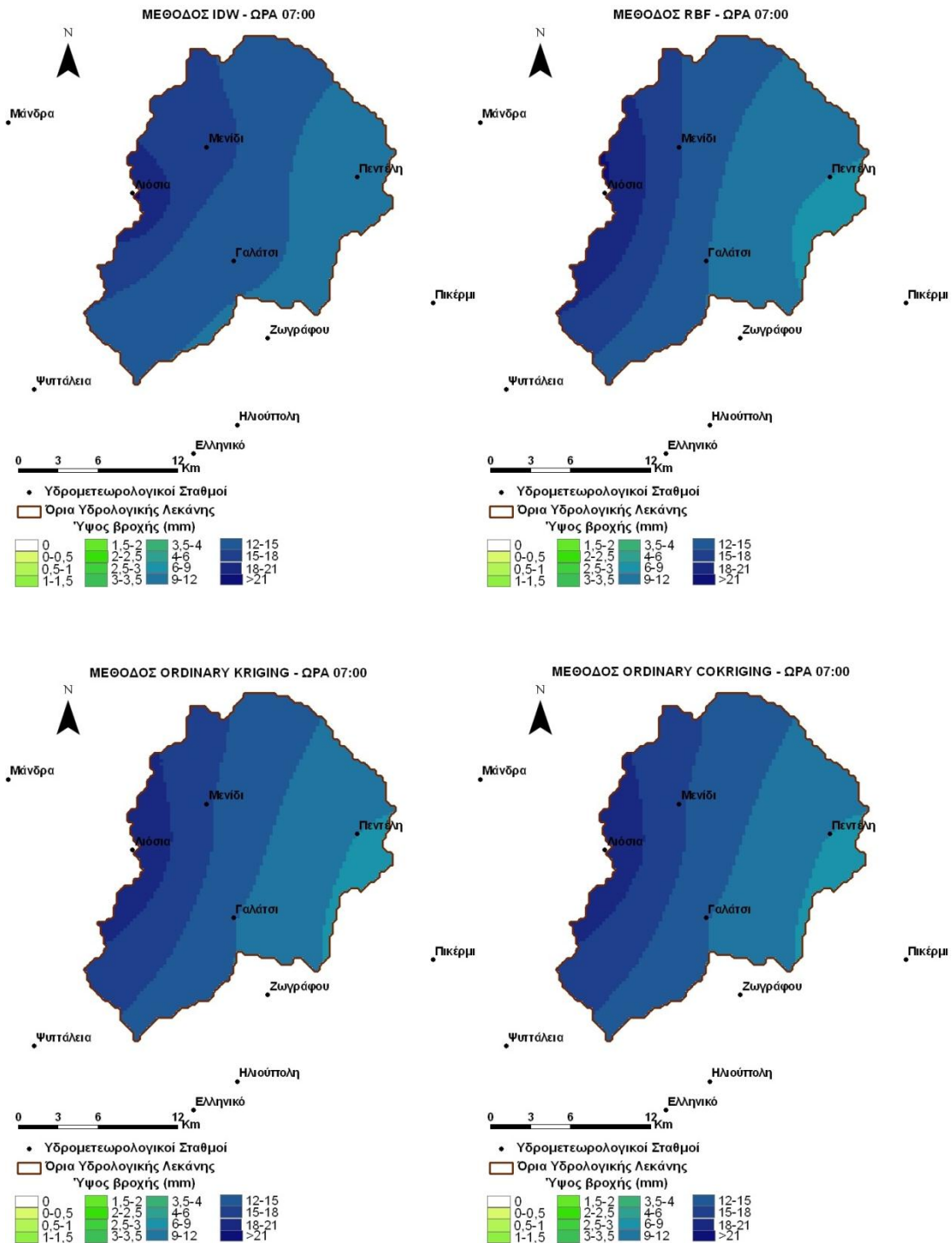
Σχήμα 4.3 Αποτύπωση επιφανειακής ωριαίας βροχόπτωσης με βάση τέσσερις μεθόδους χωρικής παρεμβολής (12/12/208 - Ωρα 01:00)



Σχήμα 4.4 Αποτύπωση επιφανειακής ωριαίας βροχόπτωσης με βάση τέσσερις μεθόδους χωρικής παρεμβολής (12/12/2008 - Ωρα 02:00)

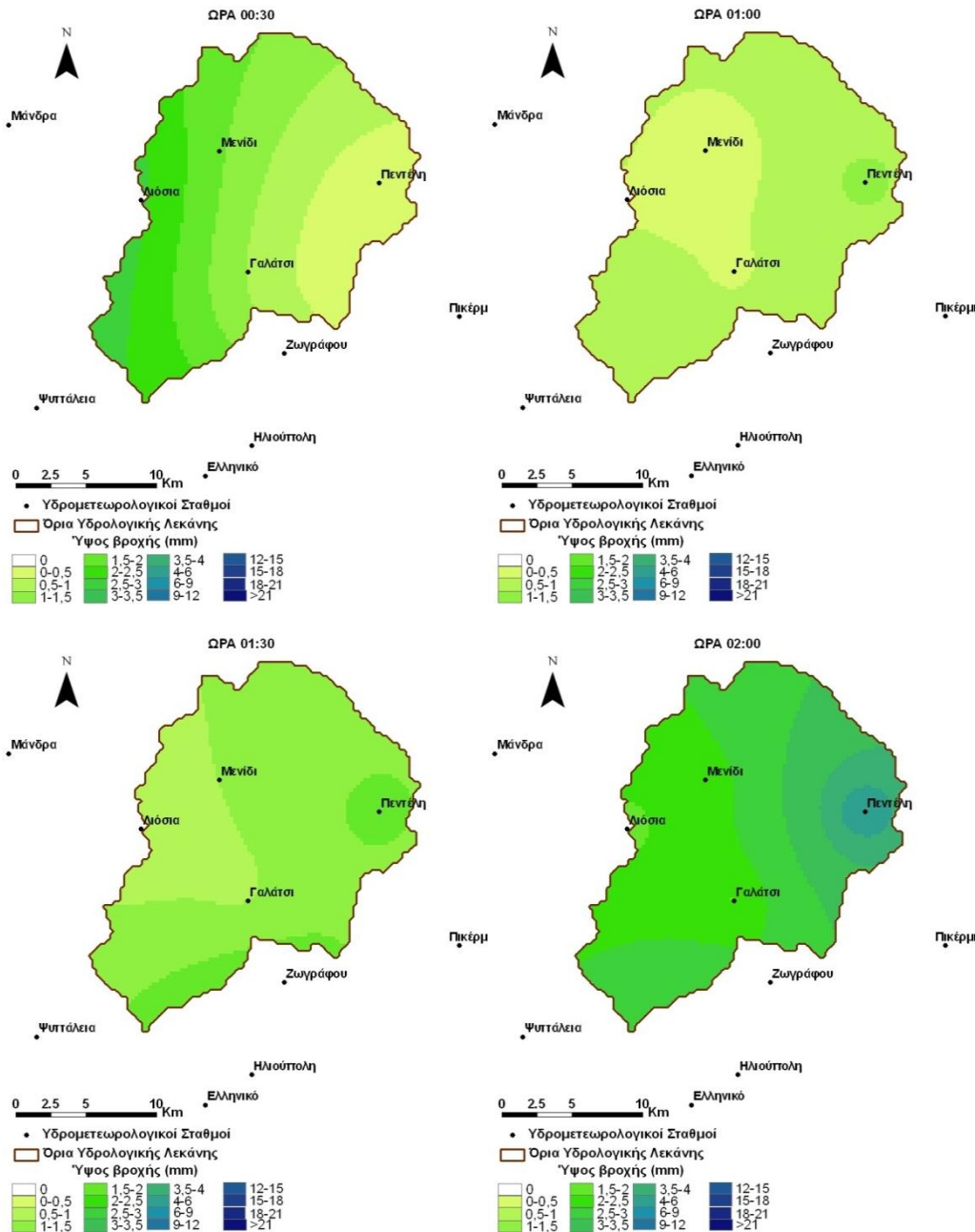


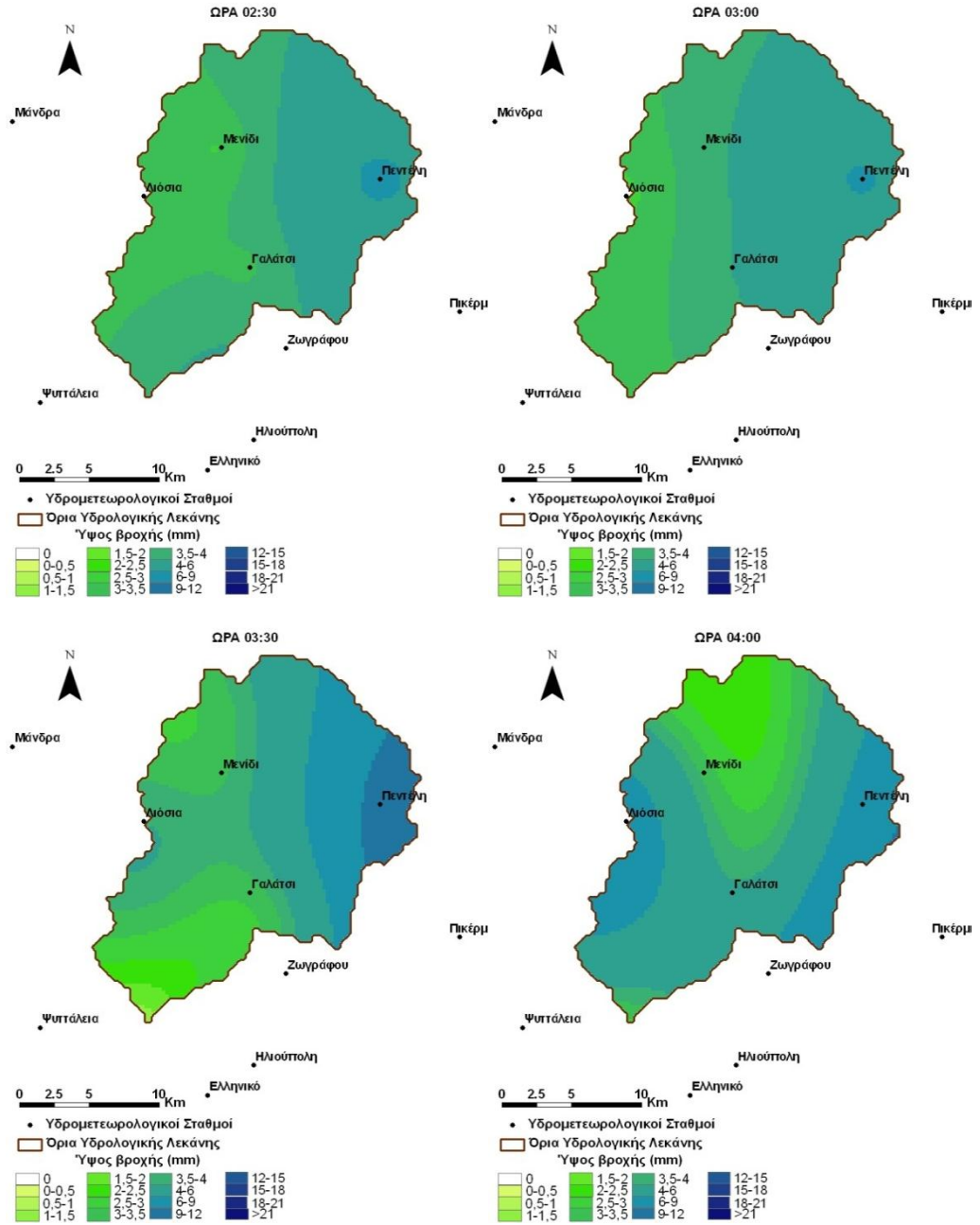
Σχήμα 4.5 Αποτύπωση επιφανειακής ωριαίας βροχόπτωσης με βάση τέσσερις μεθόδους χωρικής παρεμβολής (12/12/2008 - Ωρα 07:00)



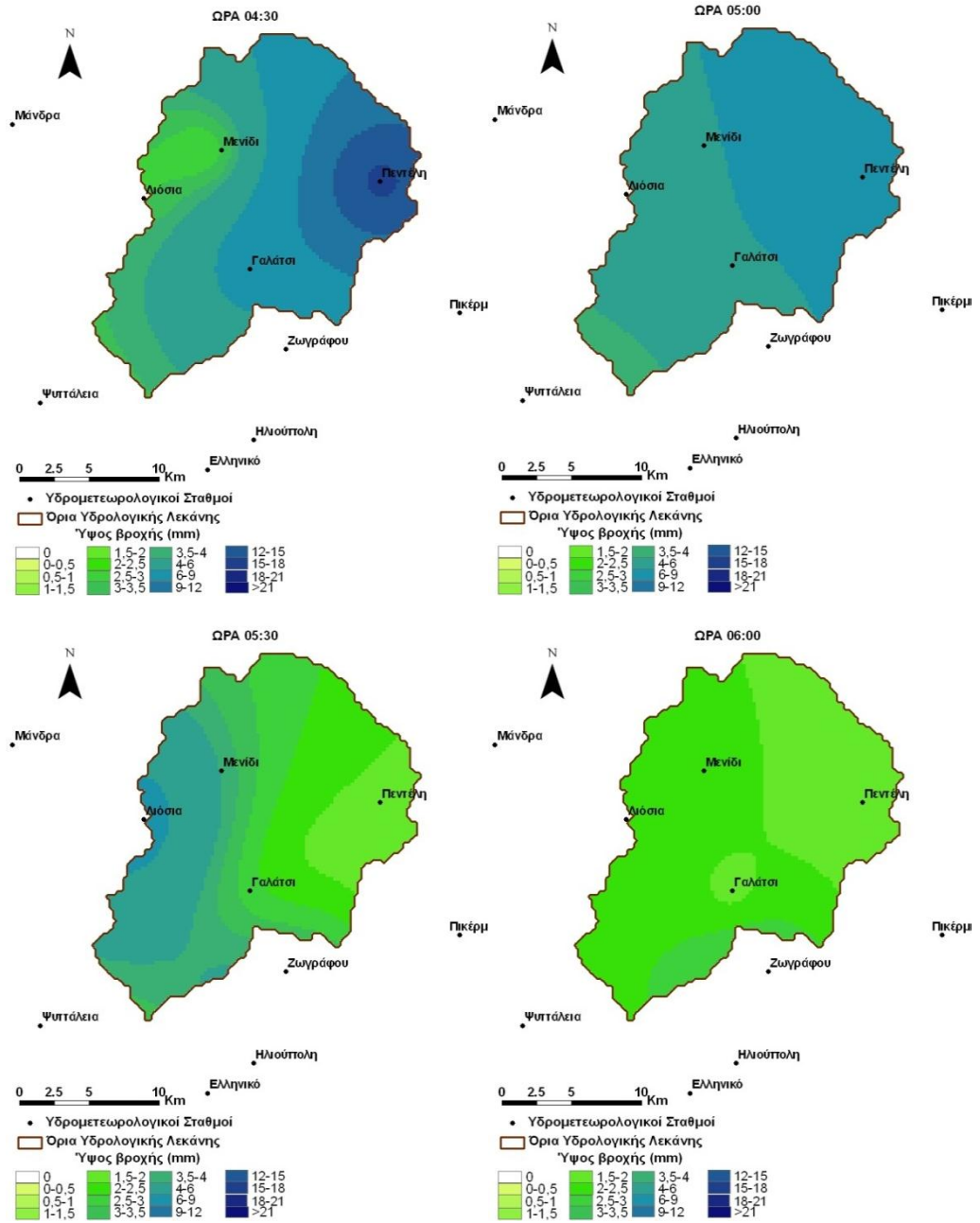
Σχήμα 4.6 Αποτύπωση επιφανειακής ωριαίας βροχόπτωσης με βάση τέσσερις μεθόδους χωρικής παρεμβολής (12/12/208 - Ωρα 08:00)

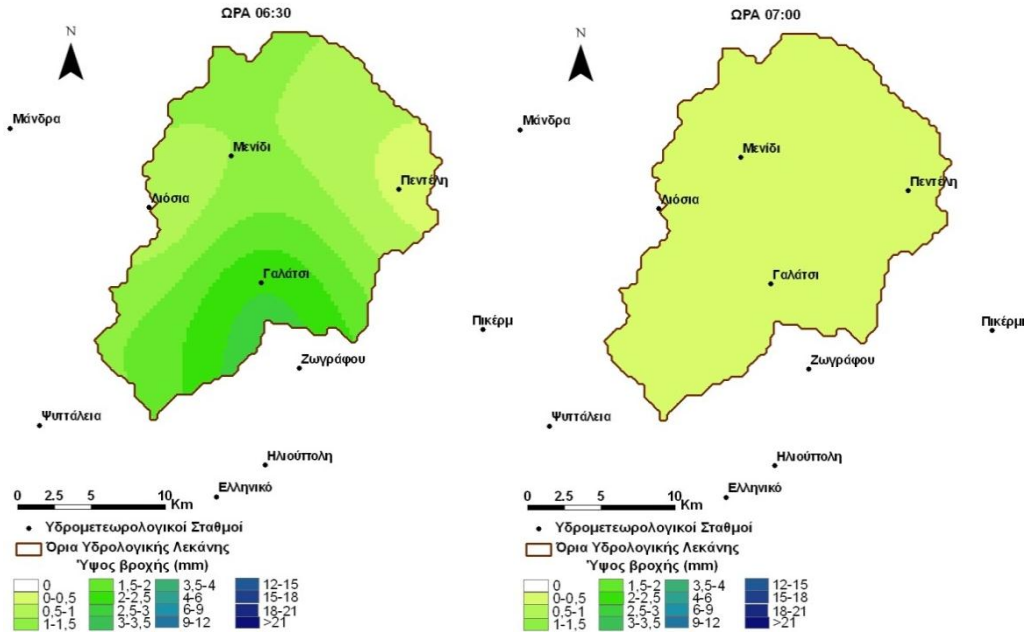
Στη συνέχεια, αποτυπώνεται η επιφανειακή βροχόπτωση της υδρολογικής λεκάνης του Κηφισού όπως αυτή μετρήθηκε από τους υδρομετεωρολογικούς σταθμούς στις 10/10/2006. Η επιφανειακή βροχόπτωση που παρουσιάζεται στα ακόλουθα σχήματα εκτιμήθηκε με τη μέθοδο χωρικής παρεμβολής RBF και αναφέρεται στο χρονικό διάστημα μεταξύ 00:30 και 07:00 (με βήμα μισής ώρας).











**Σχήμα 4.7** Αποτύπωση επιφανειακής βροχόπτωσης για επεισόδιο βροχής στις 10/10/2006 μεταξύ 00:30 και 07:00 και με βήμα μισής ώρας

#### 4.4 Σχέση Μέγιστου ύψους Βροχής – Επιφάνειας

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα μέγιστα εκτιμώμενα ύψη βροχής για διαφορετικά μεγέθη φατνίων των κανάβων.

**Πίνακας 4.1** Μέγιστα ύψη βροχής σε σχέση με την έκταση του φατνίου του κανάβου  
(Δεκάλεπτες μετρήσεις – 10/10/2006)

	Pixels / Επιφάνεια Φατνίου (Km <sup>2</sup> )					
	1×1 / 0.06	5×5 / 1.56	10×10 / 6.25	25×25 / 39.06	50×50 / 156.25	360.8
<b>0:00</b>	1.34	1.33	1.32	1.29	1.25	0.92
<b>0:10</b>	1.3	1.29	1.28	1.25	1.18	0.78
<b>0:20</b>	0.96	0.95	0.93	0.89	0.81	0.37
<b>0:30</b>	0.55	0.54	0.53	0.48	0.42	0.19
<b>1:30</b>	0.7	0.69	0.68	0.65	0.6	0.48
<b>2:00</b>	1.13	1.12	1.12	1.11	1.1	1.08
<b>2:20</b>	3.08	3.03	2.96	2.88	2.68	1.74
<b>2:30</b>	1.47	1.45	1.43	1.36	1.32	1.19
<b>2:40</b>	1.78	1.73	1.66	1.47	1.35	1.21
<b>2:50</b>	3	2.95	2.88	2.76	2.61	1.76
<b>3:00</b>	1.69	1.68	1.67	1.65	1.55	1.16
<b>3:10</b>	4.96	4.85	4.75	4.42	3.84	2.06
<b>3:20</b>	2.99	2.98	2.93	2.75	2.46	1.5
<b>3:30</b>	3.48	3.38	3.29	2.95	2.51	1.4
<b>3:40</b>	2.94	2.88	2.82	2.6	2.3	1.62
<b>3:50</b>	3.08	2.97	2.89	2.57	2.24	1.75
<b>4:00</b>	2.78	2.73	2.67	2.52	2.37	1.73
<b>4:10</b>	3.04	2.99	2.93	2.81	2.67	1.91
<b>4:20</b>	7.63	7.42	7.11	6.8	6.07	2.67
<b>4:30</b>	4.28	4.23	4.2	4.07	3.72	2.33
<b>4:40</b>	4.28	4.14	4.01	3.57	3.2	2.18
<b>4:50</b>	4.65	4.55	4.44	4.36	4.07	2.51
<b>5:00</b>	2.39	2.35	2.27	1.98	1.88	1.28
<b>5:10</b>	2.21	2.2	2.18	2.08	1.84	1.34
<b>5:20</b>	3.38	3.32	3.17	2.65	2.12	1.46
<b>5:30</b>	0.99	0.98	0.95	0.86	0.85	0.62
<b>5:40</b>	1.19	1.18	1.13	0.99	0.97	0.68
<b>5:50</b>	1.2	1.14	1.07	0.94	0.86	0.72
<b>6:00</b>	1.19	1.18	1.16	1.03	0.93	0.74
<b>21:50</b>	3.6	3.51	3.36	3.2	2.87	1.2
<b>22:00</b>	3.19	3.12	3	2.85	2.59	1.24
<b>22:30</b>	1.79	1.78	1.73	1.58	1.4	0.82

**Πίνακας 4.2** Μέγιστα ύψη βροχής σε σχέση με την έκταση του φατνίου του κανάβου  
(Μετρήσεις μισάωρου – 10/10/2006)

	Pixels / Επιφάνεια Φατνίου (Κm <sup>2</sup> )					
	1×1 / 0.06	5×5 / 1.56	10×10 / 6.25	25×25 / 39.06	50×50 / 156.25	360.8
<b>0:30</b>	2.83	2.82	2.78	2.64	2.39	1.33
<b>1:00</b>	1.19	1.19	1.17	1.1	0.98	0.6
<b>1:30</b>	1.78	1.74	1.71	1.64	1.53	1.22
<b>2:00</b>	4.59	4.57	4.51	4.31	3.97	2.77
<b>2:30</b>	5.11	5.07	5.02	4.95	4.79	3.99
<b>3:00</b>	5.29	5.24	5.17	5.07	4.94	4.06
<b>3:30</b>	10.95	10.77	10.61	10.03	8.83	5.04
<b>4:00</b>	8.26	8.11	7.99	7.51	7.48	5.11
<b>4:30</b>	15.39	15.12	14.69	14.06	12.85	7.03
<b>5:00</b>	8.45	8.3	8.2	7.93	7.5	5.91
<b>5:30</b>	4.77	4.71	4.62	4.44	4.13	3.47
<b>6:00</b>	3.12	3	2.87	2.66	2.53	2.16
<b>6:30</b>	2.45	2.39	2.37	2.21	1.96	1.34
<b>20:00</b>	2.98	2.9	2.78	2.66	2.35	1.09
<b>20:30</b>	3.41	3.34	3.24	3.09	2.74	1.22
<b>21:30</b>	4.04	3.94	3.81	3.73	3.49	1.83
<b>22:00</b>	8.4	8.18	7.86	7.48	6.74	3.07
<b>22:30</b>	4.43	4.34	4.25	3.89	3.54	2.05
<b>23:00</b>	4.8	4.23	3.84	3.47	3.11	1.45

**Πίνακας 4.3** Μέγιστα ύψη βροχής σε σχέση με την έκταση του φατνίου του κανάβου  
(Μετρήσεις μιας ώρας – 10/10/2006)

	Pixels / Επιφάνεια Φατνίου (Κm <sup>2</sup> )					
	1×1 / 0.06	5×5 / 1.56	10×10 / 6.25	25×25 / 39.06	50×50 / 156.25	360.8
<b>1:00</b>	3.51	3.49	3.44	3.31	3.05	2.01
<b>2:00</b>	4.63	4.59	4.57	4.52	4.45	4.06
<b>3:00</b>	9.95	9.87	9.77	9.62	9.39	7.96
<b>4:00</b>	19.36	19.03	18.73	17.63	15.68	10.08
<b>5:00</b>	23.62	23.22	22.79	22.14	20.56	12.93
<b>6:00</b>	6.33	6.14	6.01	5.75	5.68	5.62
<b>7:00</b>	3.05	2.97	2.92	2.7	2.29	1.39
<b>20:00</b>	6.28	5.89	5.51	5.06	4.52	1.87
<b>21:00</b>	5.81	5.68	5.49	5.25	4.79	2.46
<b>22:00</b>	12.41	12.13	11.68	11.23	10.24	4.91
<b>23:00</b>	7.34	7.15	6.9	6.31	5.68	3.38

**Πίνακας 4.4** Μέγιστα ύψη βροχής σε σχέση με την έκταση του φατνίου του κανάβου  
(Δεκάλεπτες μετρήσεις – 12/12/2008)

	Pixels / Επιφάνεια Φατνίου (Κm <sup>2</sup> )					
	<b>1×1 / 0.06</b>	<b>5×5 / 1.56</b>	<b>10×10 / 6.25</b>	<b>25×25 / 39.06</b>	<b>50×50 / 156.25</b>	<b>360.8</b>
<b>0:30</b>	1.62	1.59	1.57	1.54	1.46	0.98
<b>0:40</b>	2	1.96	1.9	1.82	1.63	0.74
<b>1:20</b>	1.4	1.36	1.31	1.25	1.09	0.38
<b>6:20</b>	5.12	4.93	4.68	3.92	2.7	0.74
<b>6:30</b>	4.65	4.47	4.28	3.84	3.12	1.46
<b>6:40</b>	7.17	6.96	6.64	5.99	4.88	2.95
<b>6:50</b>	7.28	7.23	7.2	7.01	6.507	5.1
<b>7:00</b>	6.24	6.16	6.11	5.94	5.5	3.23
<b>7:10</b>	3.67	3.6	3.55	3.39	3.04	1.67
<b>7:20</b>	1.26	1.19	1.17	1.11	1.04	0.57

**Πίνακας 4.5** Μέγιστα ύψη βροχής σε σχέση με την έκταση του φατνίου του κανάβου  
(Μετρήσεις μισάωρου – 12/12/2008)

	Pixels / Επιφάνεια Φατνίου (Κm <sup>2</sup> )					
	<b>1×1 / 0.06</b>	<b>5×5 / 1.56</b>	<b>10×10 / 6.25</b>	<b>25×25 / 39.06</b>	<b>50×50 / 156.25</b>	<b>360.8</b>
<b>0:30</b>	3.70	3.70	3.69	3.63	3.48	2.51
<b>1:00</b>	3.77	3.7	3.6	3.45	3.14	1.59
<b>1:30</b>	3.22	3.15	3.06	2.92	2.61	1.11
<b>2:00</b>	2.6	2.56	2.51	2.43	2.22	1.32
<b>2:30</b>	0.54	0.53	0.53	0.52	0.52	0.49
<b>3:00</b>	1.2	1.18	1.16	1.12	1.04	0.64
<b>3:30</b>	1.77	1.72	1.68	1.52	1.29	0.7
<b>4:00</b>	0.26	0.251	0.24	0.22	0.17	0.05
<b>4:30</b>	0.21	0.19	0.18	0.16	0.14	0.04
<b>6:30</b>	10.18	9.85	9.45	8.19	6.13	2.28
<b>7:00</b>	16.95	16.72	16.34	15.3	13.88	11.27
<b>7:30</b>	4.72	4.6	4.49	4.19	3.86	2.54
<b>8:00</b>	0.93	0.88	0.83	0.64	0.49	0.19
<b>10:00</b>	0.45	0.44	0.43	0.39	0.35	0.18
<b>10:30</b>	0.86	0.83	0.81	0.74	0.63	0.28
<b>16:30</b>	4.39	4.33	4.27	3.96	3.39	1.25
<b>17:00</b>	2.38	2.33	2.28	2.16	2.01	1.07

**Πίνακας 4.6** Μέγιστα ύψη βροχής σε σχέση με την έκταση του φατνίου του κανάβου  
(Μετρήσεις μιας ώρας – 12/12/2008)

	Pixels / Επιφάνεια Φατνίου (Κμ <sup>2</sup> )					
	1×1 / 0.06	5×5 / 1.56	10×10 / 6.25	25×25 / 39.06	50×50 / 156.25	360.8
<b>1:00</b>	7.4	7.32	7.19	7.04	6.59	4.1
<b>2:00</b>	6.99	6.86	6.65	6.35	5.64	2.53
<b>3:00</b>	1.33	1.31	1.29	1.28	1.24	1.07
<b>4:00</b>	2.04	1.98	1.92	1.74	1.46	0.75
<b>5:00</b>	0.21	0.19	0.18	0.16	0.14	0.04
<b>6:00</b>	0.1	0.099	0.098	0.095	0.09	0.062
<b>7:00</b>	20.89	20.66	20.3	19.29	17.44	13.55
<b>8:00</b>	5.66	5.48	5.32	4.83	4.31	2.73
<b>9:00</b>	0.21	0.19	0.18	0.16	0.14	0.04
<b>10:00</b>	0.61	0.6	0.59	0.54	0.47	0.21
<b>11:00</b>	0.98	0.94	0.92	0.82	0.68	0.28

**Πίνακας 4.7** Μέγιστα ύψη βροχής σε σχέση με την έκταση του φατνίου του κανάβου  
(Δεκάλεπτες μετρήσεις – 18/10/2010)

	Pixels / Επιφάνεια Φατνίου (Κμ <sup>2</sup> )					
	1×1 / 0.06	5×5 / 1.56	10×10 / 6.25	25×25 / 39.06	50×50 / 156.25	360.8
<b>0:00</b>	1.17	1.12	1.04	0.89	0.83	0.75
<b>0:10</b>	2.02	1.99	1.95	1.85	1.79	1.41
<b>0:20</b>	3.37	3.21	3.03	2.5	2.12	1.57
<b>0:30</b>	2.17	2.11	2.03	1.77	1.51	1.31
<b>0:40</b>	3.39	3.29	3.08	2.58	2.41	1.74
<b>0:50</b>	4.91	4.78	4.61	4.12	3.35	1.85
<b>1:00</b>	7.85	7.51	6.99	5.51	4.26	2.23
<b>1:20</b>	1.41	1.37	1.31	1.16	0.91	0.58
<b>1:30</b>	1.83	1.78	1.74	1.66	1.43	0.47
<b>1:40</b>	1.6	1.53	1.45	1.18	0.79	0.23
<b>9:20</b>	5.19	4.96	4.45	3.26	2.8	1.38
<b>9:30</b>	5.99	5.72	5.14	3.78	3.25	1.6
<b>9:40</b>	4.55	4.29	3.99	3.13	2.68	1.51
<b>9:50</b>	2.18	2.09	1.98	1.68	1.52	0.99
<b>10:00</b>	1.6	1.55	1.46	1.25	1.17	0.87
<b>11:50</b>	2.56	2.44	2.31	1.88	1.35	0.43
<b>15:50</b>	1.2	1.19	1.18	1.15	1.11	0.97
<b>16:00</b>	1.43	1.42	1.41	1.37	1.3	1.1

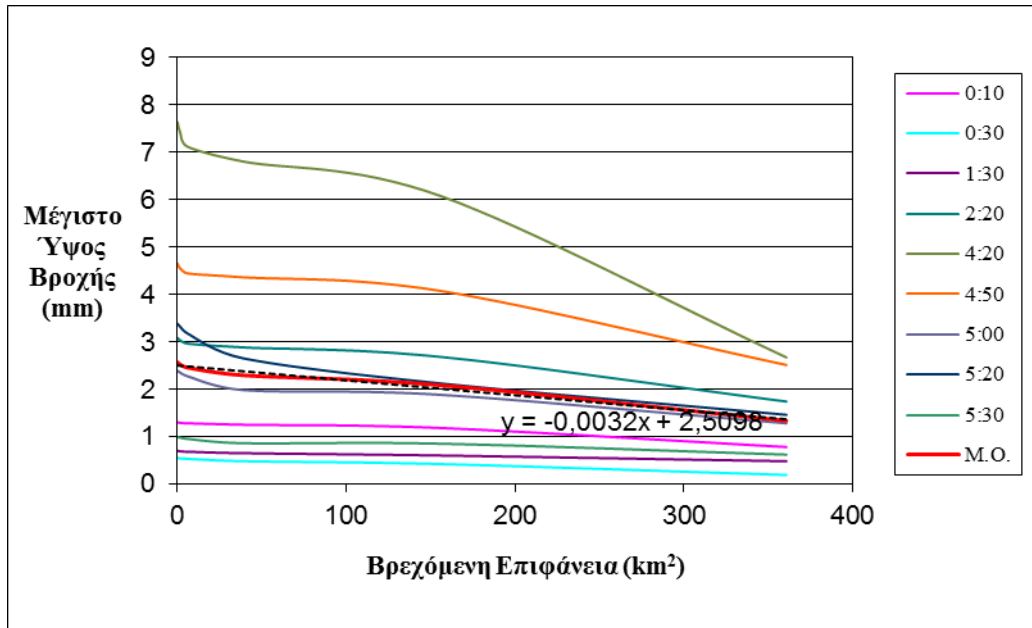
**Πίνακας 4.8** Μέγιστα ύψη βροχής σε σχέση με την έκταση του φατνίου του κανάβου  
(Μετρήσεις μισάωρου –18/10/2010)

	Pixels / Επιφάνεια Φατνίου (Κm <sup>2</sup> )					
	<b>1×1 / 0.06</b>	<b>5×5 / 1.56</b>	<b>10×10 / 6.25</b>	<b>25×25 / 39.06</b>	<b>50×50 / 156.25</b>	<b>360.8</b>
<b>0:30</b>	8.39	8.13	7.58	6.25	5.68	4.3
<b>1:00</b>	6.31	6.27	6.2	5.99	5.69	4.71
<b>2:00</b>	3.16	3.03	2.89	2.43	1.84	0.95
<b>9:30</b>	12.39	11.83	10.63	7.81	6.72	3.37
<b>10:00</b>	8.4	8.09	7.45	5.94	5.38	3.42
<b>10:30</b>	3.2	3.17	3.1	2.98	2.77	2.05
<b>12:30</b>	1.8	1.77	1.71	1.61	1.53	1.27
<b>13:30</b>	8.37	8.02	7.28	5.53	4.72	3.18
<b>15:30</b>	2.61	2.58	2.55	2.45	2.34	1.96
<b>16:00</b>	3.22	3.2	3.19	3.15	3.1	2.83
<b>16:30</b>	2.59	2.55	2.47	2.34	2.17	1.71

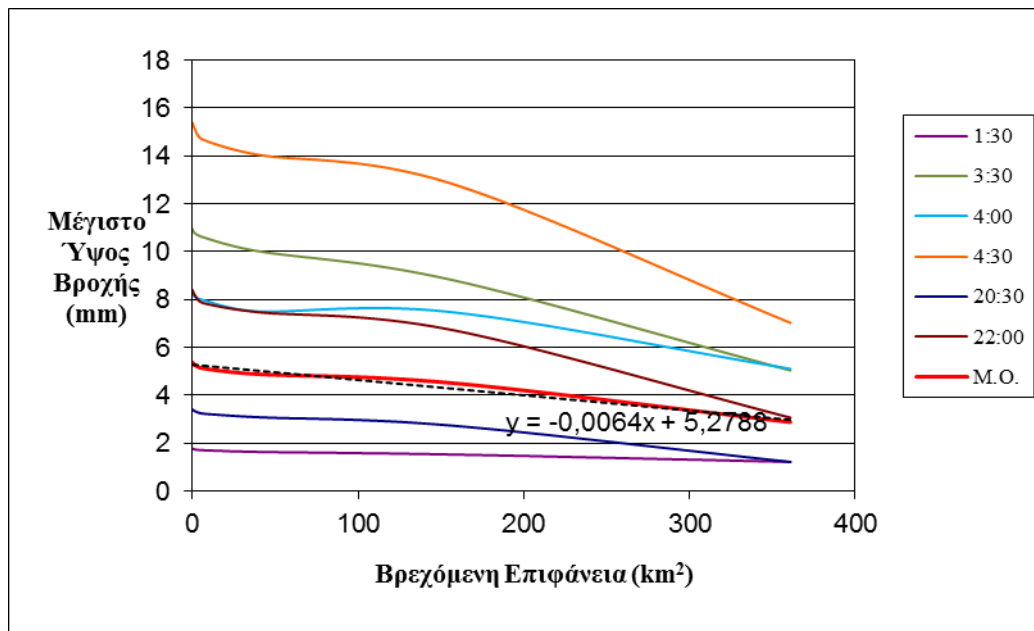
**Πίνακας 4.9** Μέγιστα ύψη βροχής σε σχέση με την έκταση του φατνίου του κανάβου  
(Μετρήσεις μιας ώρας –18/10/2010)

	Pixels / Επιφάνεια Φατνίου (Κm <sup>2</sup> )					
	<b>1×1 / 0.06</b>	<b>5×5 / 1.56</b>	<b>10×10 / 6.25</b>	<b>25×25 / 39.06</b>	<b>50×50 / 156.25</b>	<b>360.8</b>
<b>1:00</b>	13.79	13.47	12.81	11.21	10.46	9.08
<b>2:00</b>	8.58	8.28	7.64	6.17	5.6	4.13
<b>10:00</b>	20.79	19.93	18.09	13.75	12.1	6.79
<b>11:00</b>	4.2	4.16	4.06	3.91	3.68	2.82
<b>13:00</b>	2.8	2.75	2.65	2.49	2.38	1.97
<b>16:00</b>	5.8	5.78	5.72	5.53	5.31	4.75
<b>17:00</b>	2.8	2.76	2.69	2.6	2.4	1.88
<b>18:00</b>	2.61	2.59	2.56	2.41	2.12	1.77

Στα διαγράμματα που ακολουθούν αποτυπώνεται η σχέση των μέγιστων εκτιμώμενων υψών βροχής με την αντίστοιχη βρεχόμενη επιφάνεια

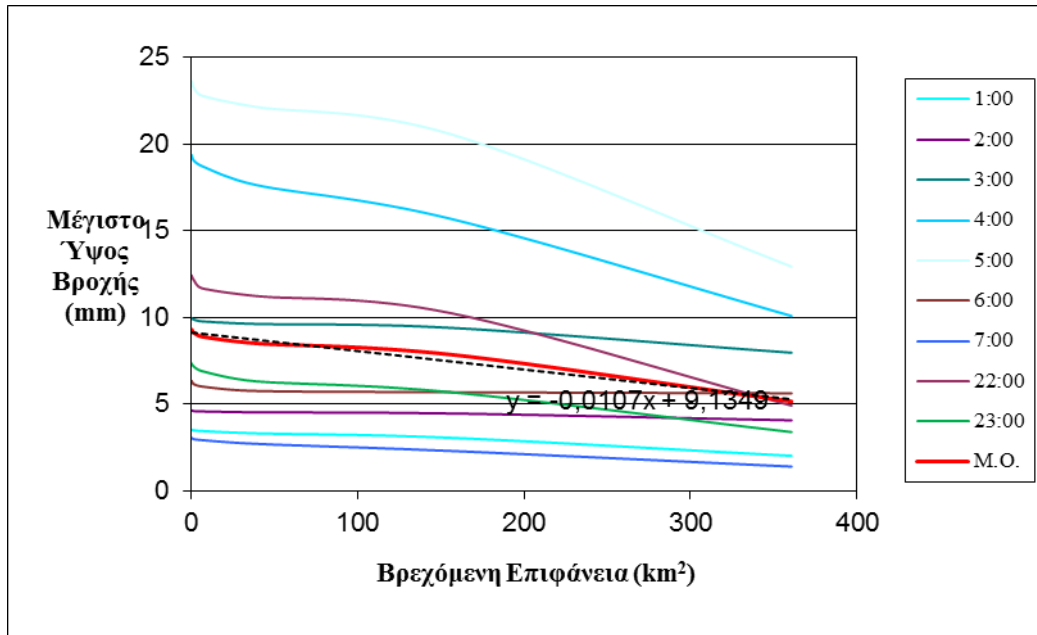


Διάγραμμα 4.1 Χωρική μεταβολή μέγιστου ύψους βροχής για δεκάλεπτα επεισόδια βροχής – 10/10/2006

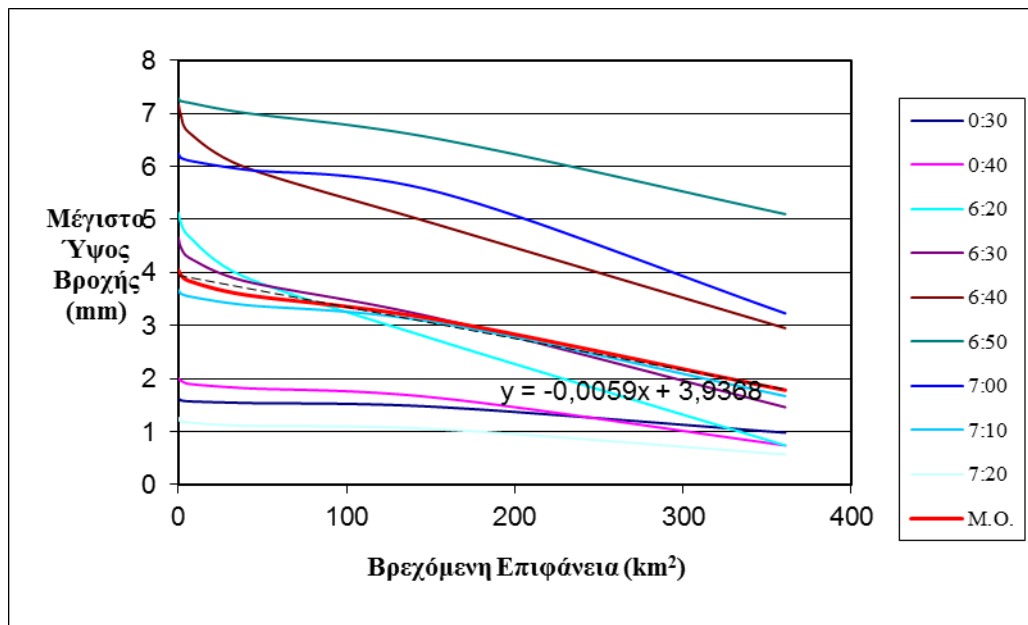


Διάγραμμα 4.2 Χωρική μεταβολή μέγιστου ύψους βροχής για επεισόδια βροχής μισής ώρας – 10/10/2006

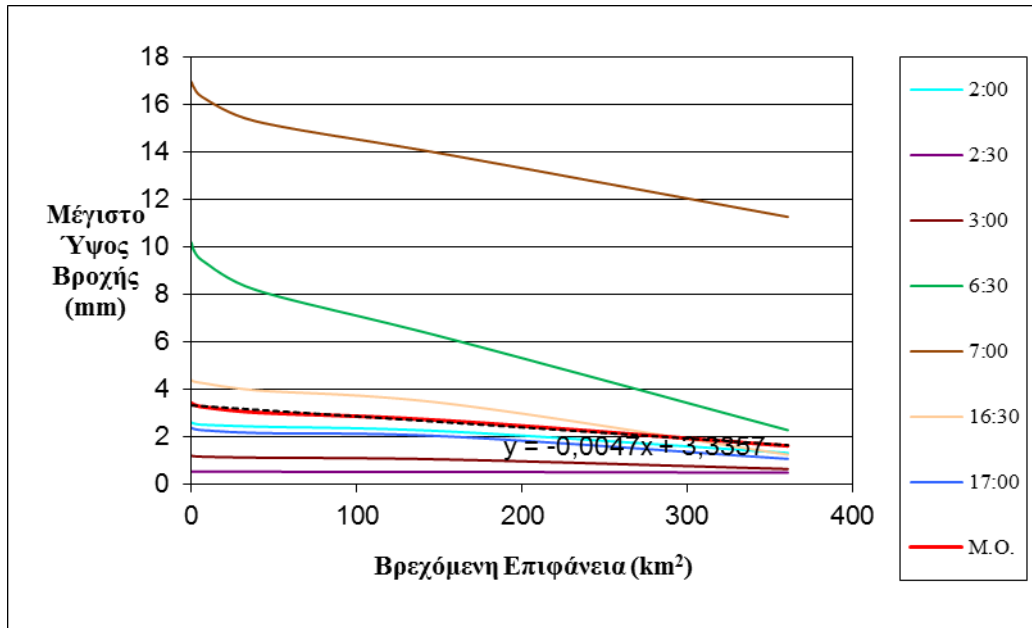




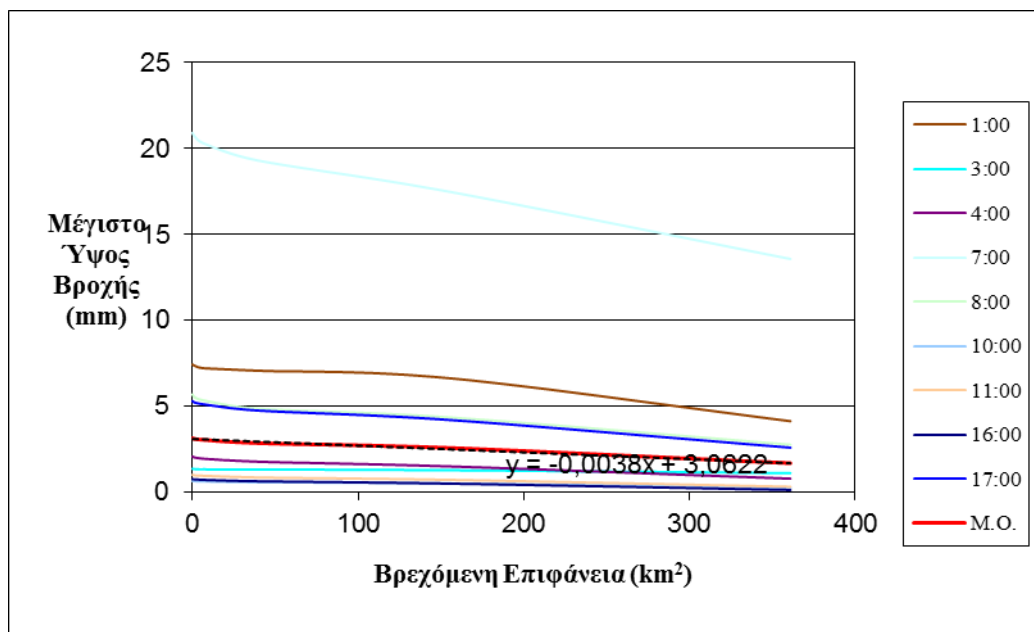
Διάγραμμα 4.3 Χωρική μεταβολή μέγιστου ύψους βροχής για επεισόδια βροχής μίας ώρας – 10/10/2006



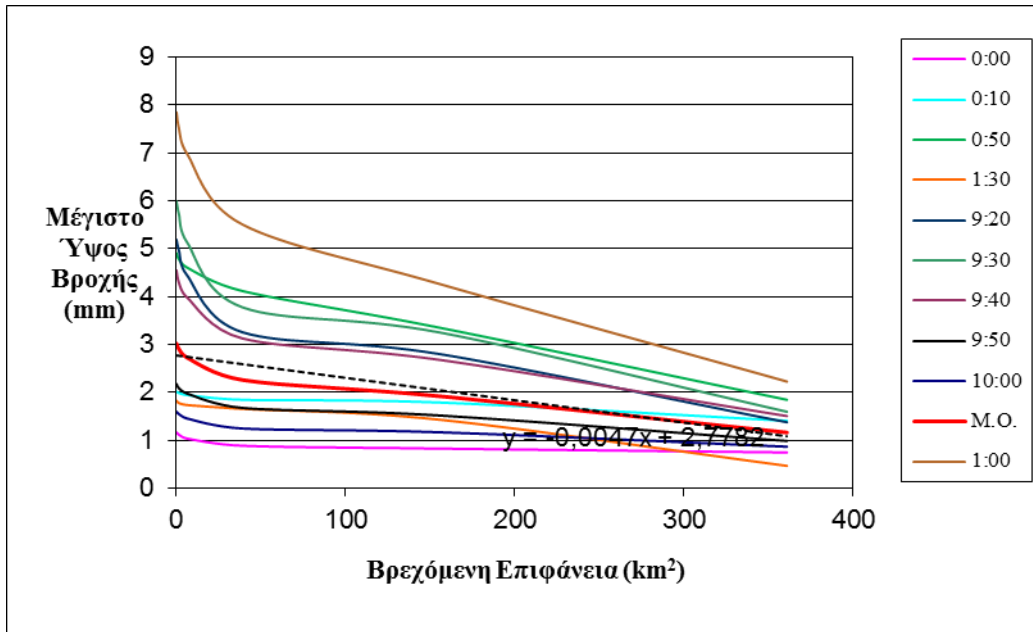
Διάγραμμα 4.4 Χωρική μεταβολή μέγιστου ύψους βροχής για δεκάλεπτα επεισόδια βροχής – 12/12/2008



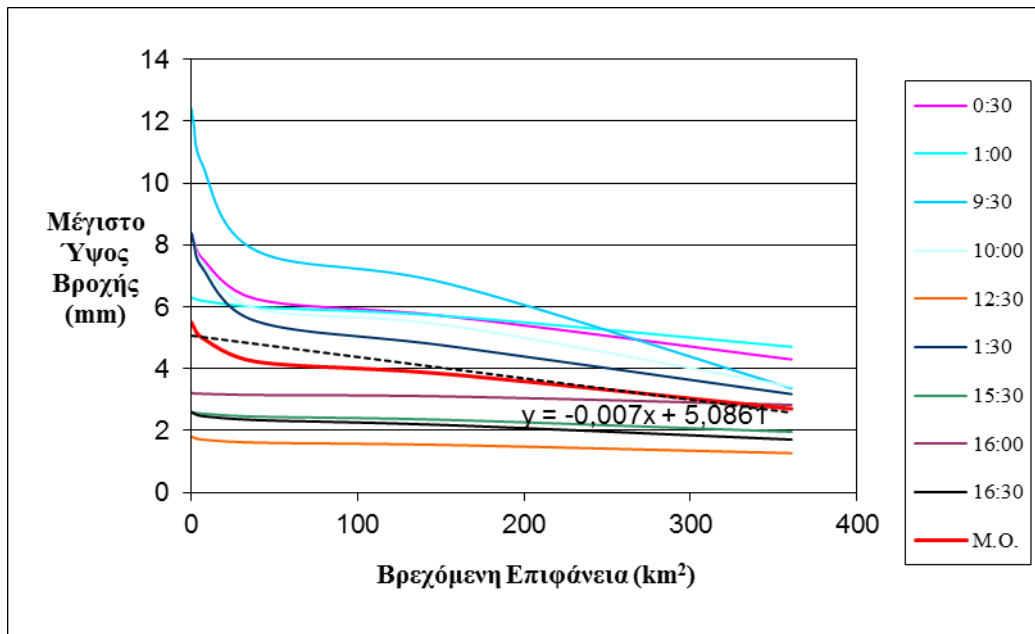
Διάγραμμα 4.5 Χωρική μεταβολή μέγιστου ύψους βροχής για επεισόδια βροχής μισής ώρας – 12/12/2008



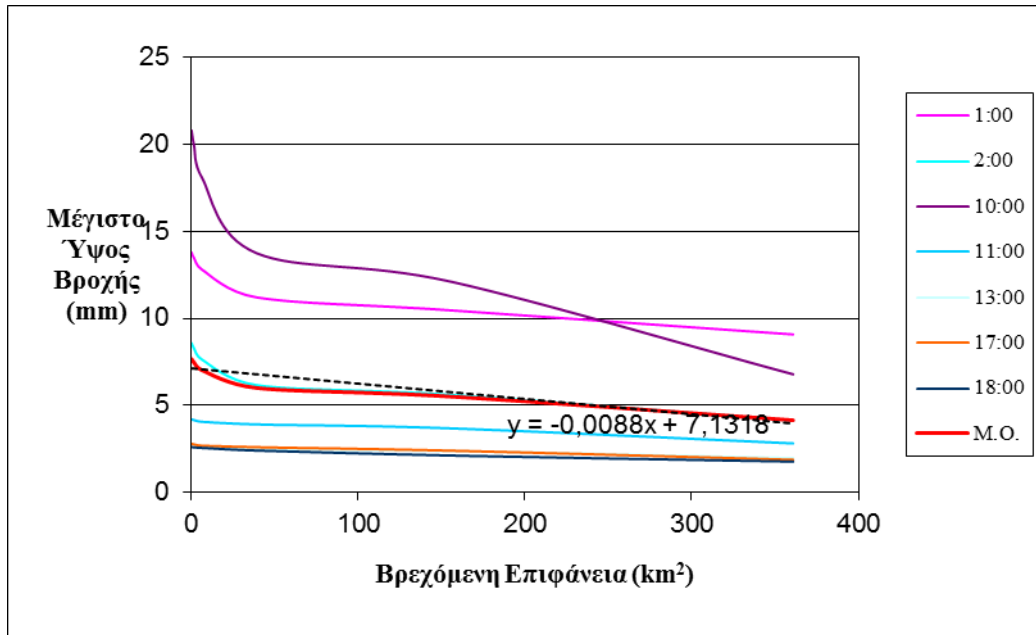
Διάγραμμα 4.6 Χωρική μεταβολή μέγιστου ύψους βροχής για επεισόδια βροχής μίας ώρας – 12/12/2008



Διάγραμμα 4.7 Χωρική μεταβολή μέγιστου ύψους βροχής για δεκάλεπτα επεισόδια βροχής – 18/10/2010



Διάγραμμα 4.8 Χωρική μεταβολή μέγιστου ύψους βροχής για επεισόδια βροχής μισής ώρας – 18/10/2010



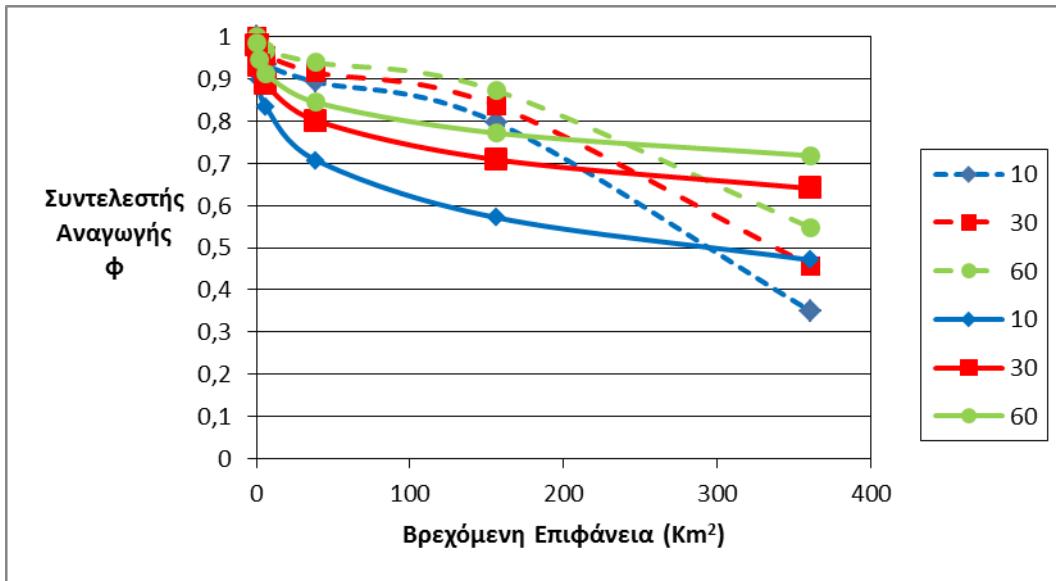
**Διάγραμμα 4.9** Χωρική μεταβολή μέγιστου ύψους βροχής για επεισόδια βροχής μίας ώρας – 18/10/2010

Από τα παραπάνω διαγράμματα, επαληθεύεται άμεσα η αρχική υπόθεση ότι το μέγιστο ύψος βροχής μειώνεται καθώς αυξάνει η βρεχόμενη επιφάνεια.

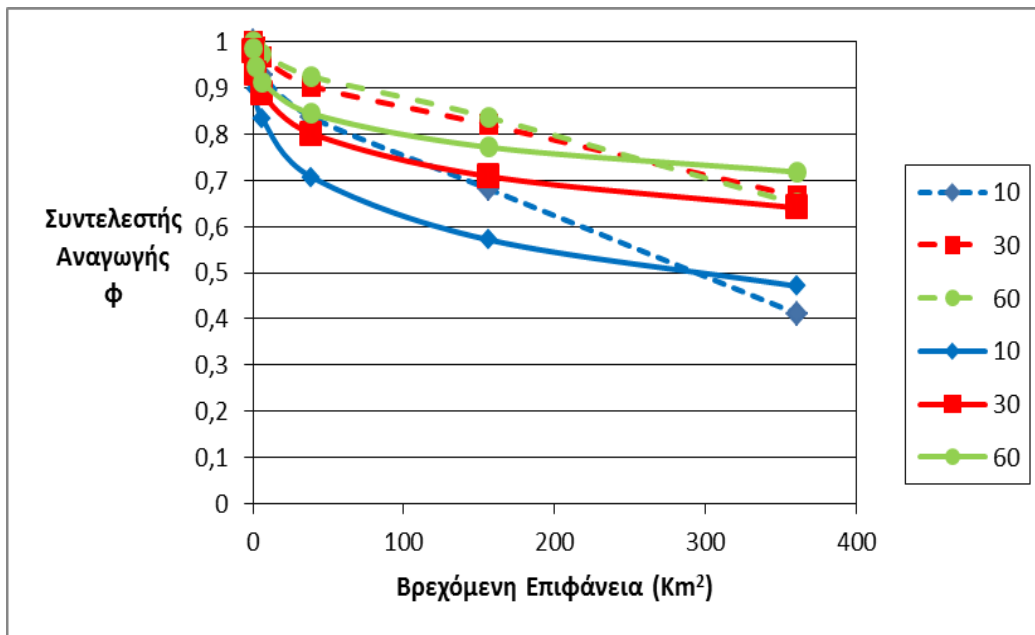
#### 4.5 Διαγράμματα Πειραματικού Συντελεστή Επιφανειακής Αναγωγής – Σύγκριση με το Θεωρητικό

Στα διαγράμματα που ακολουθούν αποτυπώνεται η μεταβολή του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής ανάλογα με τη βρεχόμενη επιφάνεια, όπως αυτός έχει εκτιμηθεί από τα μέγιστα ύψη βροχής για διαφορετικά χρονικά διαστήματα (10 min, 30 min, 60 min). Επιπλέον γίνεται σύγκριση των τιμών αυτών με τις αντίστοιχες τιμές που προκύπτουν από την εμπειρική σχέση της βιβλιογραφίας (Κουτσογιάννης, 1997):

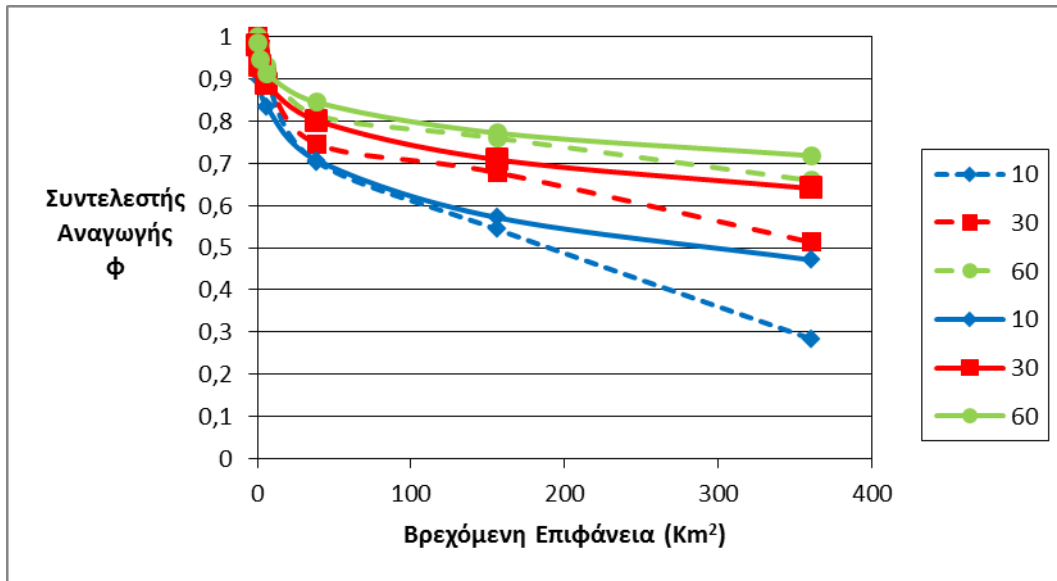
$$\phi = 1 - \frac{0.048A^{0.36-0.01\ln A}}{d^{0.35}} \geq 0.25 .$$



**Διάγραμμα 4.10** Χωρική μεταβολή συντελεστή αναγωγής φ με βάση τις μέγιστες μετρήσεις βροχόπτωσης (διακεκομμένες γραμμές) σε σύγκριση με τις θεωρητικές τιμές (συνεχείς γραμμές) - 10/10/2006



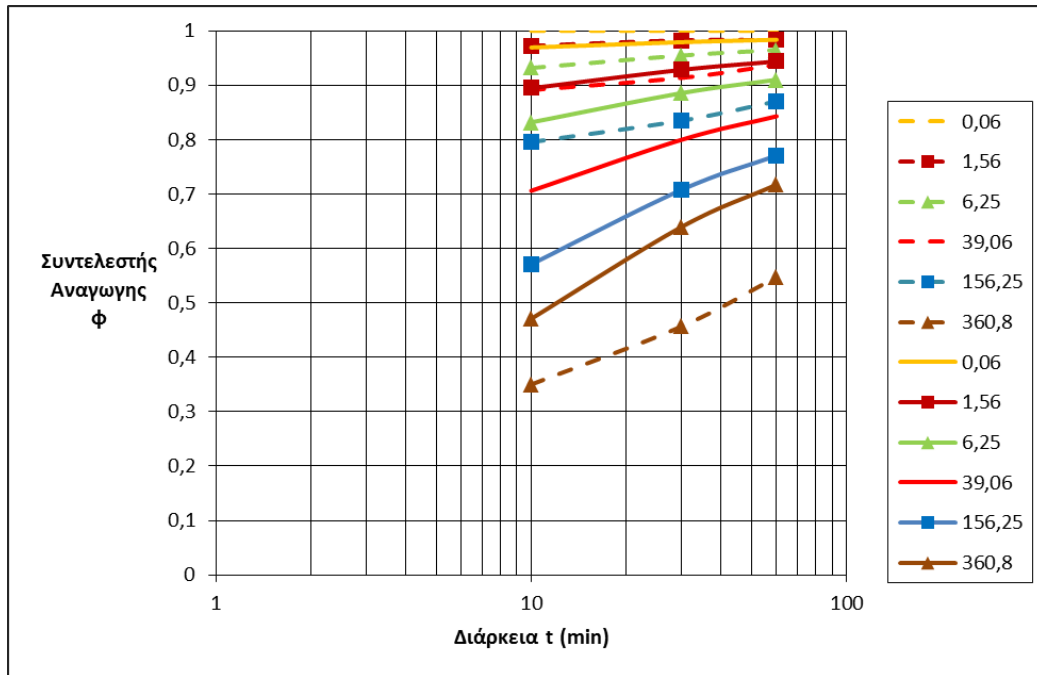
**Διάγραμμα 4.11** Χωρική μεταβολή συντελεστή αναγωγής φ με βάση τις μέγιστες μετρήσεις βροχόπτωσης (διακεκομμένες γραμμές) σε σύγκριση με τις θεωρητικές τιμές (συνεχείς γραμμές) - 12/12/2008.



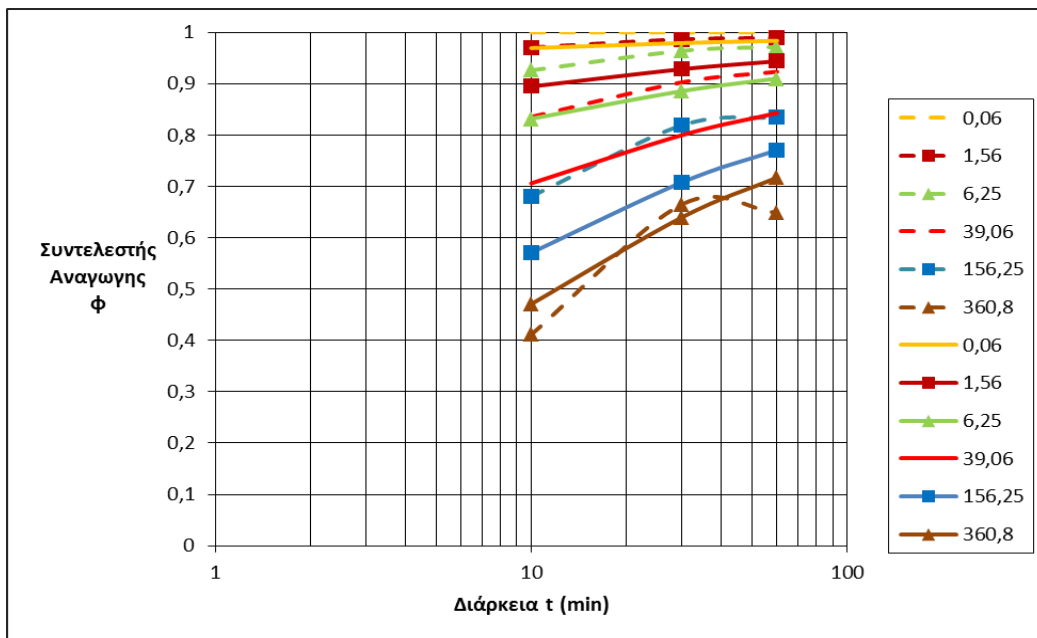
**Διάγραμμα 4.12** Χωρική μεταβολή συντελεστή αναγωγής  $\phi$  με βάση τις μέγιστες μετρήσεις βροχόπτωσης (διακεκομμένες γραμμές) σε σύγκριση με τις θεωρητικές τιμές (συνεχείς γραμμές) - 18/10/2010

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει το γενικό συμπέρασμα ότι ο συντελεστής συντελεστή επιφανειακής αναγωγής  $\phi$ , όπως αυτός εκτιμήθηκε πειραματικά, μειώνεται με την αύξηση της βρεχόμενης επιφάνειας ενώ αυξάνεται με τη διάρκεια της βροχής. Το συμπέρασμα αυτό συμπίπτει με το θεωρητικό τύπο της βιβλιογραφίας, αλλά γενικότερα παρατηρείται μια σημαντική απόκλιση των πειραματικών τιμών από το θεωρητικό τύπο.

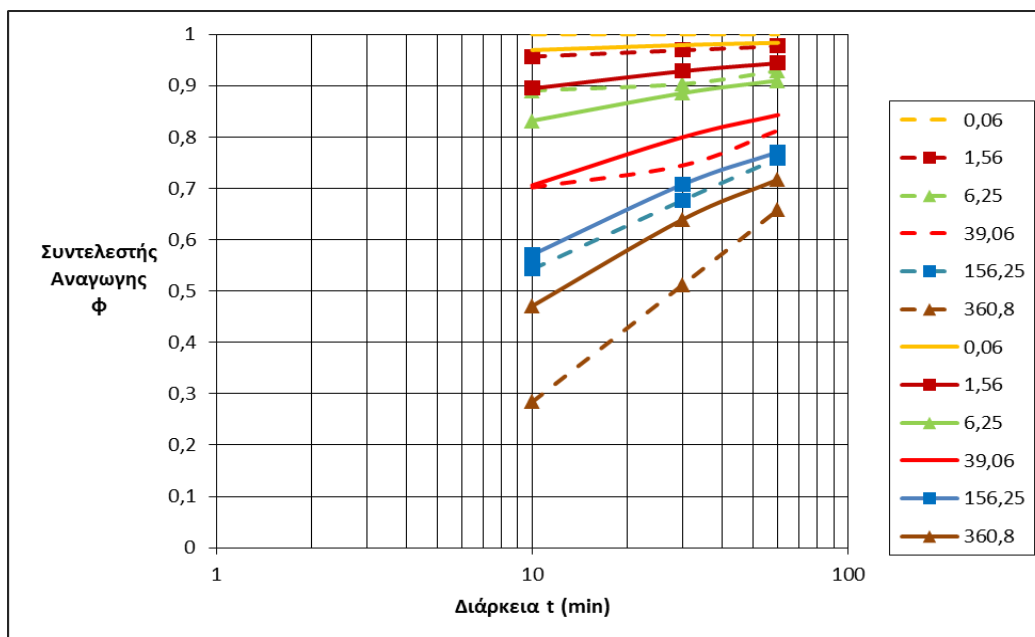
Στα επόμενα διαγράμματα αποτυπώνεται η μεταβολή του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής συναρτήση της διάρκειας βροχής για διαφορετικές βρεχόμενες επιφάνειες για τα τρία διαφορετικά επεισόδια.



**Διάγραμμα 4.13** Μεταβολή του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής συναρτήσει της έκτασης και την διάρκειας βροχής, σύμφωνα με τις θεωρητικές τιμές (συνεχείς γραμμές) σε σύγκριση με τις πειραματικές τιμές (διακεκομμένες γραμμές) – 10/10/2010



**Διάγραμμα 4.14** Μεταβολή του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής συναρτήσει της έκτασης και την διάρκειας βροχής, σύμφωνα με τις θεωρητικές τιμές (συνεχείς γραμμές) σε σύγκριση με τις πειραματικές τιμές (διακεκομμένες γραμμές) – 12/12/2008



**Διάγραμμα 4.15** Μεταβολή του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής συναρτήσει της έκτασης και την διάρκεια βροχής, σύμφωνα με τις θεωρητικές τιμές (συνεχείς γραμμές) σε σύγκριση με τις πειραματικές τιμές (διακεκομμένες γραμμές) – 18/10/2010

#### 4.6 Εκτίμηση Εμπειρικής Σχέσης Έντασης Βροχής – Έκτασης και Διάρκειας

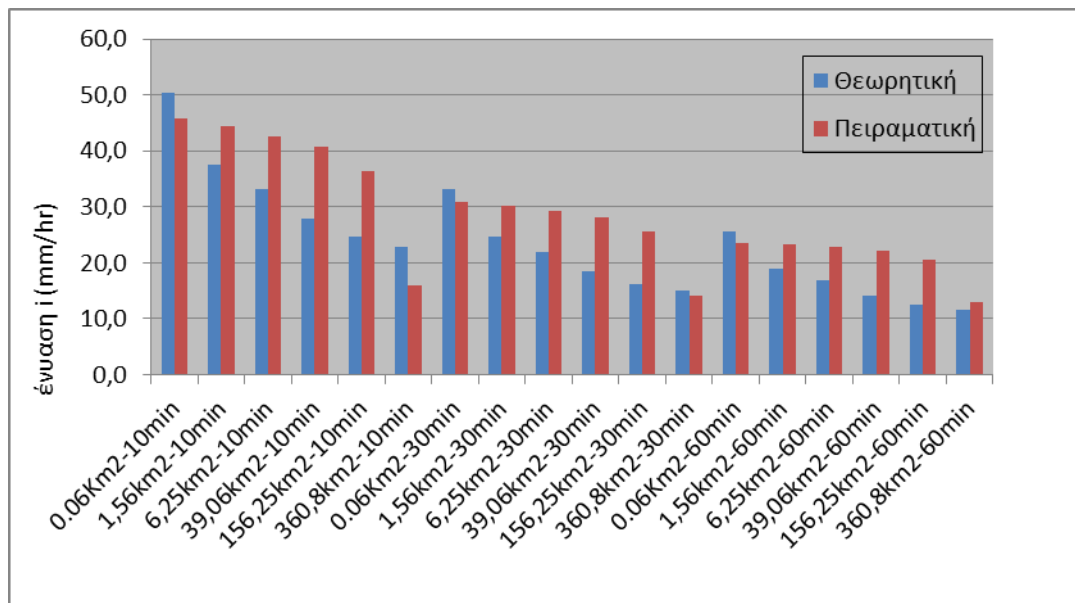
Με βάση τη θεωρία της παραγράφου 3.5 επιλέχθηκε το μέγιστο ύψος βροχής για κάθε ένα από τα τρία επεισόδια, σε όλες τις υπολογιζόμενες χρονικές και χωρικές κλίμακες, δηλαδή για χρονική διάρκεια 10 λεπτών, 30 λεπτών και 60 λεπτών και για επιφάνεια 0.06 km<sup>2</sup>, 1.56 km<sup>2</sup>, 6.25 km<sup>2</sup>, 39.06 km<sup>2</sup>, 156.25 km<sup>2</sup> και 360.8 km<sup>2</sup>. Στον πίνακα 4.10 παρουσιάζονται οι παράμετροι a, b και c, όπως αυτοί προέκυψαν από την θεωρία για κάθε ένα επεισόδιο. Επιπλέον γίνεται έλεγχος του συντελεστή συσχέτισης r, για τον οποίο θα πρέπει να ισχύει  $r > \frac{2}{\sqrt{n}}$ , όπου n το πλήθος των στοιχείων.



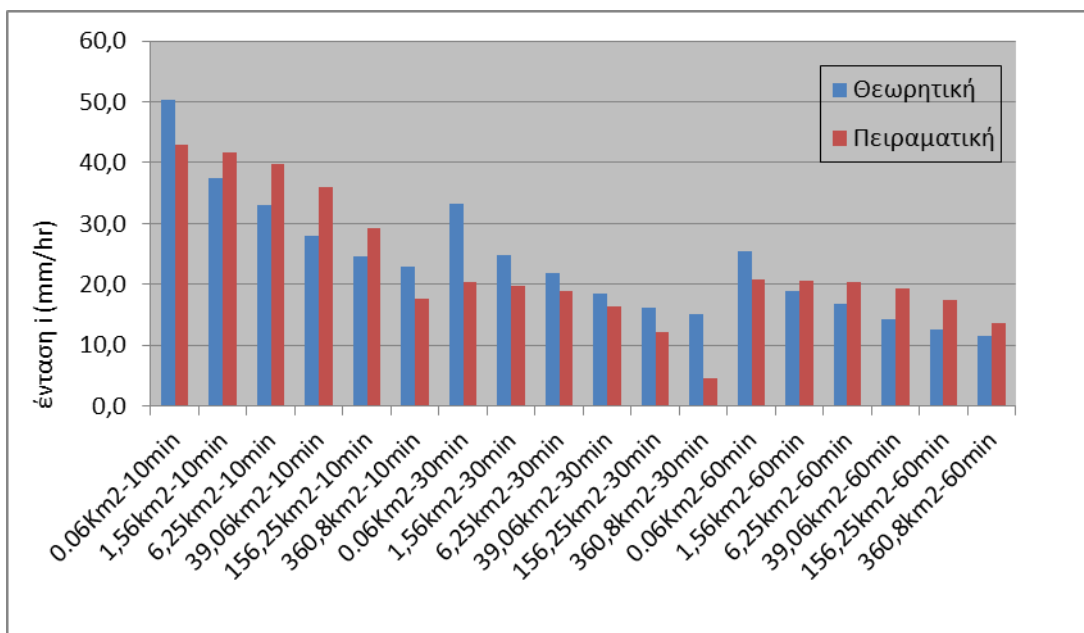
**Πίνακας 4.10** Παράμετροι εμπειρικής σχέσης

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>R</b>
<b>10/10/2006</b>	23,74	-0,31	-0,07	0,81
<b>18/12/2008</b>	18,20	-0,37	-0,09	0,72
<b>18/10/2010</b>	17,50	-0,46	-0,12	0,90
<b>M.O.</b>	19,81	-0,38	-0,09	-

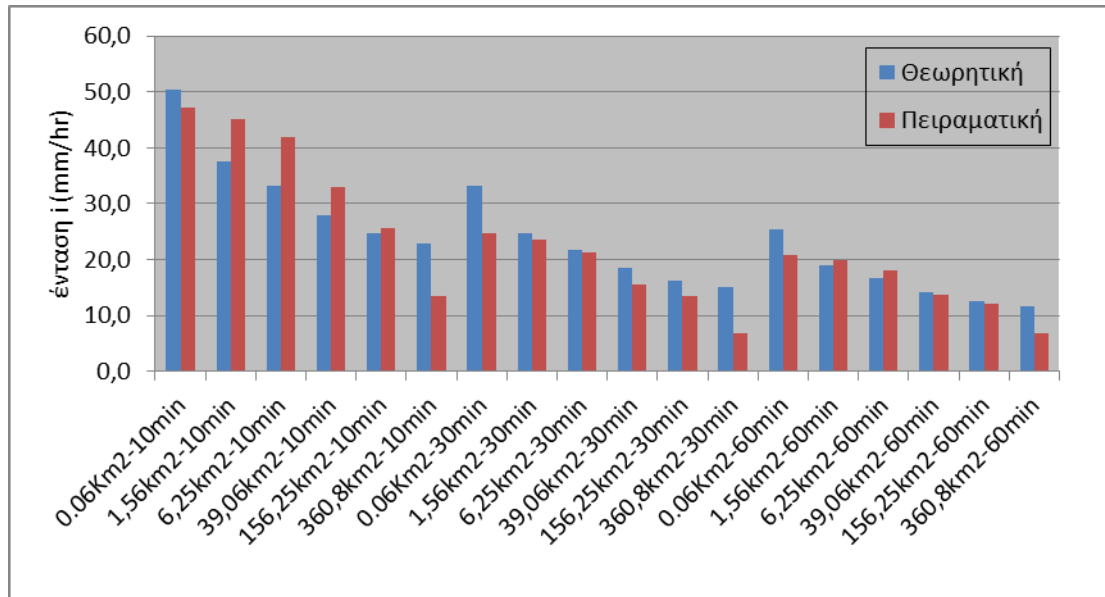
Στα παρακάτω διαγράμματα συγκρίνεται η θεωρητική και η πειραματική τιμή της έντασης  $i$  που προκύπτει για κάθε επεισόδιο.



**Διάγραμμα 4.16** Σύγκριση θεωρητικών και πειραματικών τιμών της έντασης της βροχής – (10/10/2006)



**Διάγραμμα 4.17** Σύγκριση θεωρητικών και πειραματικών τιμών της έντασης της βροχής – (12/12/2008)

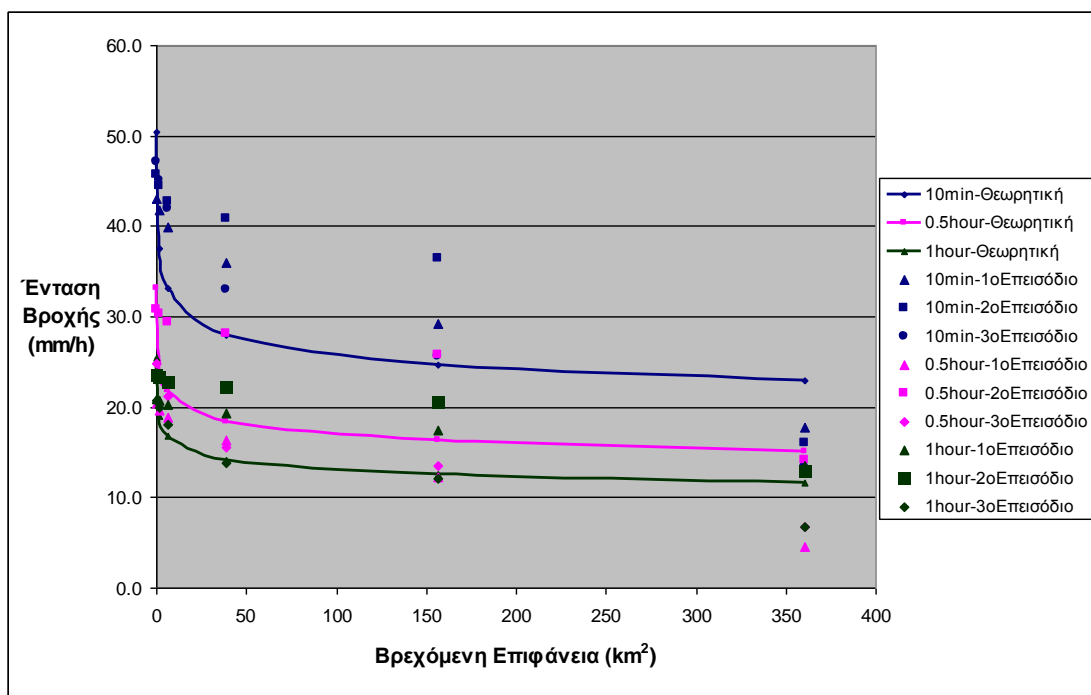


**Διάγραμμα 4.18** Σύγκριση θεωρητικών και πειραματικών τιμών της έντασης της βροχής – (18/10/2010)

Η τελική μαθηματική σχέση που προέκυψε από τις πειραματικές τιμές είναι της μορφής :

$$i = 19.81t^{-0.38} \Lambda^{-0.09}$$

Στο επόμενο διάγραμμα αποτυπώνεται γραφικά η σχέση αυτή καθώς και οι πειραματικές τιμές της έντασης  $i$  που προέκυψαν από τα τρία διαφορετικά επεισόδια βροχής.



**Διάγραμμα 4.19** Χωρική μεταβολή της έντασης της βροχής (θεωρητική σχέση) σε σύγκριση με τις αντίστοιχες πειραματικές τιμές για τα τρία επεισόδια βροχής

Η προσαρμογή του θεωρητικού μοντέλου στα πειραματικά δεδομένα είναι ικανοποιητική και αναμένεται να βελτιωθεί με την προσθήκη περισσότερων δεδομένων καθώς και την εξασφάλιση ότι αυτά αντιστοιχούν στην ίδια περίοδο επαναφοράς. Συγκεκριμένα θα απαιτούνταν οι ισχυρές καταιγίδες για μια περίοδο τουλάχιστον 30 ετών ώστε να προσδιορίζοταν με αξιοπιστία η περίοδος επαναφοράς κάθε επεισοδίου. Στην παρούσα εργασία κάτι τέτοιο δε ήταν εξαρχής εφικτό καθώς το δίκτυο METEONET, από όπου αντλήθηκαν τα δεδομένα, λειτουργεί τα τελευταία 6 χρόνια.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 5.1 Γενική Θεώρηση Εργασίας

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, μελετήθηκε η χωροχρονική εξέλιξη ισχυρών καταιγίδων. Κατόπιν επεξεργασίας βροχομετρικών δεδομένων έντονων επεισοδίων βροχής για διαφορετικές χρονικές και χωρικές κλίμακες, διερευνήθηκε η καταλληλότητα των υπαρχόντων στην βιβλιογραφία εμπειρικών συντελεστών αναγωγής της σημειακής έντονης βροχόπτωσης σε επιφανειακή και επιπλέον επιχειρήθηκε πιλοτικά η ανάπτυξη εμπειρικών σχέσεων που συνδέουν την ένταση της βροχόπτωσης με την χωρική και χρονική κλίμακα, δηλαδή τη βρεχόμενη επιφάνεια και τη διάρκεια της βροχόπτωσης.

Βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για την διερεύνηση της χωροχρονικής εξέλιξης της καταιγίδας με στόχο μια πρώτη απόπειρα εισαγωγής του μεγέθους της επιφάνειας στις σχέσεις υπολογισμού της έντασης ισχυρών βροχοπτώσεων. Για το λόγο αυτό, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην περιγραφή και αποτύπωση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στο μεγαλύτερο της μέρος μέσω των εφαρμογών Συστημάτων Γεωγραφικής Πληροφορίας (GIS).

### 5.2 Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις

Ξεκινώντας, πρέπει να επισημανθεί η συμβολή του προγράμματος Συστημάτων Γεωγραφικής Πληροφορίας ArcGIS στην υλοποίηση της παρούσας μελέτης. Η χρησιμότητά ενός τέτοιου προγράμματος αποδεικνύεται καθοριστική για γρήγορη και άμεση ανάλυση μετεωρολογικών δεδομένων σε οποιαδήποτε περιοχή. Αν και αρκετά απαιτητικό, είναι ιδιαίτερα εύχρηστα ακόμα και για το νέο χρήστη, με πλούσιο γραφικό περιβάλλον, προσφέροντας μια σειρά από δυνατότητες ως προς την εκτίμηση, την καταγραφή και την απεικόνιση των επιφανειακών βροχοπτώσεων και των διάφορων παραμέτρων τους. Λόγω της χωρικής και χρονικής φύσης των απαιτούμενων πληροφοριών, αλλά και λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων, τα

Συστήματα Γεωγραφικής Πληροφορίας έχουν συμβάλει αποφασιστικά στη διαχείριση των υδατικών πόρων.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν καθ' όλη τη διάρκεια της διεξαγωγής αυτής της μελέτης :

- ◆ Η εγκυρότητα και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της συνολικής μελέτης, όπως άλλωστε συμβαίνει σε όλες τις αντίστοιχες περιπτώσεις, είναι συνάρτηση της διαθεσιμότητας των δεδομένων και της ακρίβειάς τους. Η συνεισφορά του δικτύου METEONET σε αυτήν την κατεύθυνση ήταν πολύ σημαντική, καθώς μέσω του πυκνού δικτύου των βροχομετρικών σταθμών παρέχεται σε κάθε χρήστη η δυνατότητα εύκολης και άμεσης άντλησης από το διαδίκτυο βροχομετρικών δεδομένων για όλα τα επεισόδια βροχής των τελευταίων ετών.
- ◆ Η επιφανειακή ολοκλήρωση των σημειακών βροχομετρικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω του προγράμματος ArcGIS με χρήση δύο προσδιοριστικών μεθόδων ακριβούς παρεμβολής, τη μέθοδο Σταθμισμένων Αντίστροφων Αποστάσεων (I.D.W.) και τη μέθοδο Ακτινωτών Συναρτήσεων (R.B.F), και δύο στατιστικών μεθόδων, τη μέθοδο Kriging και τη μέθοδο Cokriging. Αν και δε δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στη συγκριτική τους αξιολόγηση, γρήγορα διαπιστώθηκε η υπεροχή σε ακρίβεια και αξιοπιστία των στατιστικών μεθόδων, λόγω της δυνατότητας ελαχιστοποίησης των σφαλμάτων, και ιδιαίτερα της μεθόδου Cokriging καθώς εισάγει και την παράμετρο του υψομέτρου στους υπολογισμούς. Για το λόγο αυτό, στους υπόλοιπους υπολογισμούς της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τα ύψη βροχής που προέκυψαν από τη μέθοδο Cokriging.
- ◆ Κατά τη μελέτη του μέγιστου σημειακού ύψους βροχής σε διαφορετικές χωρικές κλίμακες επιβεβαιώθηκε ότι είναι φθίνουσα συνάρτηση με την αύξηση της αντίστοιχης βρεχόμενης επιφάνειας μελέτης

- ◆ Κατά την πειραματική διερεύνηση του συντελεστή αναγωγής της σημειακής βροχοπτώσης σε επιφανειακή επαληθεύτηκαν οι παρακάτω ιδιότητες που αναφέρονται στη βιβλιογραφία :
  - i. Είναι πάντα μικρότερος του 1.
  - ii. Είναι φθίνουσα συνάρτηση της έκτασης A.
  - iii. Είναι φθίνουσα συνάρτηση της διάρκειας t.Σε σχέση με την εξάρτηση του από την περίοδο επαναφοράς, δεν είναι εφικτό να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα εξαιτίας του μικρού δείγματος που έχει μελετηθεί.
  
- ◆ Σε σύγκριση των πειραματικών τιμών με τον εμπειρικό τύπο του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής φ (Κουτσογιάννης, 1997) παρατηρείται σημαντική απόκλιση και ιδιαίτερα μια υπερεκτίμηση του πειραματικού συντελεστή.
  
- ◆ Κατά την προσπάθεια προσαρμογής μιας μαθηματικής έκφρασης στα πειραματικά δεδομένα μέγιστων υψών βροχής επαληθεύεται η μείωση της έντασης της βροχής με την αύξηση της διάρκειας t και της βρεχόμενης επιφάνειας A. Στην σύγκριση μεταξύ θεωρητικής έντασης και πειραματικής παρατηρείται ότι ο θεωρητικός τύπος υπερεκτιμά την ένταση σε σημείο και στα τρία επεισόδια ενώ υποεκτιμά την ένταση καθώς αυξάνει η διάρκεια t και η βρεχόμενη επιφάνεια A.
  
- ◆ Η δημιουργία της εμπειρικής σχέσης  $i = 19.81t^{-0.38}A^{-0.09}$  αποτελεί μια απόπειρα εισαγωγής της παραμέτρου της επιφάνειας στις σχέσεις υπολογισμού της έντασης ισχυρών βροχοπτώσεων. Σήμερα, η πρόβλεψη ισχυρών καταιγίδων πραγματοποιείται με χρήση όμβριων καμπύλων, οι οποίες συνδέουν τη μέγιστη ένταση της βροχής με τη διάρκεια και την περίοδο επαναφοράς της καταιγίδας. Η προσθήκη σε αυτήν τη μαθηματική έκφραση της παραμέτρου της έκτασης ( δηλαδή  $i = a \times t^b \times A^c \times T^d$  ) μπορεί να αποτελέσει ένα νέο πεδίο περαιτέρω διερεύνησης, στο οποίο απαιτείται η επεξεργασία ενός μεγάλου πλήθους δεδομένων για πολλά χρόνια που δεν ήταν διαθέσιμα σε αυτήν την φάση δεδομένου ότι το METEONET λειτουργεί τα τελευταία 6 χρόνια

**BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Κουτσογιάννης Δ. - Θ. Ξανθόπουλος, 1999. *Τεχνική Υδρολογία, 3η Έκδοση*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Κουτσογιάννης Δ., 1997. *Στατιστική Υδρολογία, 4η Έκδοση*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Μαμάσης Ν., 2007. *Εισαγωγή στη Γεωστατιστική*, Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Αθήνα.
- Μαμάσης Ν., 2008. *Εκτίμηση Πλημμυρικών Παροχών*, Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Αθήνα.
- Μαμάσης Ν., 2006. *Κατακρημνίσματα και Χωρική Μεταβλητότητά τους*, Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Αθήνα.
- Μιμίκου Μ. 1994. *Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, Β' Έκδοση*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Μιμίκου Μ.Α. - Μπαλτάς Ε.Α., 2002. *Τεχνική Υδρολογία, Β' Έκδοση*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα.
- Παπαδοπούλου Γ., Γεωργίου Ε., Μαμάσης Ν. και Μιμίκου Μ., 2009. *Εκτίμηση Χωρικής Κατανομής Κλιματικών και Βιοκλιματικών Δεικτών στην Περιοχή της Αττικής με χρήση Δεδομένων του Δικτύου METEONET, Τεχνικά Χρονικά Ι*, Αθήνα.
- Σκοπελίτη Α. - Στάμου Λ., 2007. *Υδρολογική Ανάλυση Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους σε Περιβάλλον Σ.Γ.Π.*, Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών στους Υδατικούς Πόρους, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Ε.Μ.Π. «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Αθήνα.

Τζούλης, Β., 1996. *Διερεύνηση της χωροχρονικής κατανομής των βροχοπτώσεων με τη χρήση Συστημάτων Γεωγραφικής Πληροφορίας*, Διπλωματική εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Τσούλος Λ., 1999. *Ψηφιακή Χαρτογραφία*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Collins Cobuild, 1995. *English Dictionary*, The University Of Birmingham, HarperCollins Publishers, Great Britain.

Goovaerts P., 1999. *Geostatistical Approaches for Incorporating Elevation into the Spatial Interpolation of Rainfall*, Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Michigan, U.S.A.

Grammatikoyiannis A., Mamassis N., Baltas E. and Mimikou M., 2005. *A Meteorological Telemetric Network for Monitoring of the Athens Wider Area (Meteonet)*, *Proceedings of the 9th International Conference on Environmental Science and Technology (9CEST)*, Department of Environmental Studies, University of the Aegean, Rhodes.

ESRI, 2006. *ArcGIS Desktop Help*, U.S.A.

Murugesu Sivapalan, Günter Blöschl, 1997. *Transformation of Point Rainfall to Areal Rainfall: Intensity – Duration Frequency Curves*, Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, Technische Universität, Vienna, Austria.

### **Διευθύνσεις στο Διαδίκτυο**

<http://meteonet.chi.civil.ntua.gr/>

<http://www.itia.ntua.gr>

<http://esri.com>

<http://el.wikipedia.org>

<http://www.statistics.gr>



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακες βροχομετρικών δεδομένων (METEONET)

Πίνακας 1 10/10/2006 - Δεκάλεπτες Μετρήσεις Βροχής (mm)

	Ψυτάλλεια	Άγιος Κοσμάς	Μενίδι	Ζωγράφου	Γαλάτσι	Ηλιού-πολη	Μάνδρα	Πεντέλη	Πικέρμι	Άνω Λιόσια
0:00	1.4	0.4	1.8	0.6	1.2	1	1.2	1	0	1.4
0:10	0.8	1	1.4	0.8	1.2	1.2	0.8	0.2	0	0.8
0:20	0.4	0.4	1	0.8	0.6	1.2	0.2	0	0	0.4
0:30	0	0.2	0.8	0.2	0.6	1	0	0	0	0
0:40	0	0	0.4	0.4	0	0.8	0.2	0.2	0	0
0:50	0.2	0	0.2	0.2	0.8	0.4	0	0.2	0	0.2
1:00	0.6	0	0.4	0.2	1	0.2	0.2	0.8	0.2	0.6
1:10	0.4	0.4	0.4	0.6	0.8	0.2	0.2	0.4	0.2	0.4
1:20	0.8	0.4	0.4	0.6	1	0	0.4	0.4	0.2	0.8
1:30	0.8	0.2	0.6	0.8	1.2	0.4	0.4	0.8	0.4	0.8
1:40	0.6	0.6	0.6	1	1.8	0.6	0.6	1.6	0.6	0.6
1:50	0.8	0.6	0.8	1	1.8	0.6	0.4	1.8	1	0.8
2:00	1	1	1	1	2.4	0.6	1	1.2	1.2	1
2:10	1.2	1	1	1.2	2	0.6	1	1.4	1	1.2
2:20	1.2	1	1	1.4	2.2	0.8	1.2	4	1.4	1.2
2:30	1.4	1	1	1.6	2.4	0.8	1.2	1.4	1.2	1.4
2:40	1.2	1.8	1.2	1.4	1.4	1	1.2	1	0.8	1.2
2:50	1.8	1.2	0.8	0.6	1.6	0.8	1.6	3.6	0.8	1.8
3:00	1.2	0.8	0.6	0.6	1.2	0.4	1.2	1.8	1.8	1.2
3:10	1.8	1.6	0.4	0.6	1.8	0.4	1	4.2	6.6	1.8
3:20	1.6	1	0.6	0.6	2	0.8	1.2	3	1.4	1.6
3:30	1	0.8	0.8	1	2.2	0.4	1	2.6	5.6	1
3:40	1.4	1.2	0.4	1	1.4	0.8	1.2	2.4	4.2	1.4
3:50	2	1.4	0.8	0.8	1.8	0.4	1	1.8	6.2	2
4:00	2.8	0.8	0.8	0.6	1.2	1	2	2.8	1	2.8
4:10	2.4	1	0.8	1	1.6	1	2	3.6	1.2	2.4
4:20	1	1.2	0.8	0.8	1.2	1	1.4	7.6	1.4	1
4:30	1.6	0.8	0.8	1	2	1.2	3.8	4.2	4.8	1.6
4:40	1.2	2.2	1.2	1	1.8	1.2	2.4	3	7.2	1.2
4:50	1.4	2.4	0.8	1	1.8	2	1.6	4.6	2.8	1.4
5:00	1.6	1.2	0.6	1	2.4	1.6	1.4	0.4	0.6	1.6
5:10	2	1.8	1	1.2	1.6	1.2	1	0.8	0.4	2
5:20	1.2	1.8	1	0.8	1.4	1	1	0.8	0.4	1.2
5:30	1	0.4	0.8	0.8	1.2	0.8	0.8	0.2	0.2	1
5:40	1.2	0.4	0.6	0.4	1.6	1	0.8	0.2	0.6	1.2
5:50	1.6	0.6	0.8	0.6	1.2	0.8	0.4	0.8	0.2	1.6
6:00	1	1.2	0.8	0.6	1.4	0.2	0.6	0.6	0	1
6:10	1.2	0.4	0.6	0.6	1	0.6	1	0.4	0.4	1.2
6:20	1	0.2	0.2	0.2	1.2	1.2	0.6	0	0	1
6:30	0.6	0.4	0.4	0.6	0.8	1	0.8	0	0.2	0.6
6:40	0.4	0	0.2	0	0	0.6	0.2	0	0	0.4
6:50	0	0	0	0.2	0	0.2	0	0	0	0

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

7:00	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0
7:10	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0
7:20	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0
7:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:40	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0
8:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9:40	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
9:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:00	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0
10:10	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0
10:20	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0
10:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:20	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0
11:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:10	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0
14:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:40	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0
14:50	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
15:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

15:40	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0
15:50	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0
16:00	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0
16:10	0	0	0	0	0	0	0	1.6	0	0
16:20	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0
16:30	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0
16:40	0	0	0	0	0	0.2	0	1.2	0	0
16:50	0	0	0	0	0	0.2	0	1.6	0	0
17:00	0	0	0	0	0	0.2	0	0.8	0	0
17:10	0	0	0	0	0	0.2	0	0.4	0	0
17:20	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
17:30	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0
17:40	0	0	0	0	0	1	0	0.2	0	0
17:50	0	0	0	0	0	0.6	0	0.4	0	0
18:00	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0
18:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18:20	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0
18:30	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0
18:40	0	0	0	0	0	0	0	1.2	0	0
18:50	0	0	0	0	0	0.2	0	1	0	0
19:00	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0
19:10	0	0.2	0	0	0	0	0	0.2	0	0
19:20	0	0	0	0	0	0.2	0	0.2	0	0
19:30	0	0	0	0	0	0	0	2.6	0	0
19:40	0	0	0	0	0	0	0.8	1	0	0
19:50	0	0	0	0	0	0.4	0.4	0.8	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0.2	0.2	1.2	0.2	0
20:10	0	0.2	0	0	0	0.2	0	1.4	0.4	0
20:20	1.8	0	0	0	0	0.4	0.2	0.8	1.2	1.8
20:30	0	0	0	0	0	0	0.6	1.2	0.2	0
20:40	0.4	0.2	0	0	0	0.2	0.2	0.8	0.2	0.4
20:50	0.2	0	0	0	0	0.2	0.2	0.6	0	0.2
21:00	0.2	1	0.4	0	0	0.8	0.4	1	0	0.2
21:10	0	1	0	0	0	0.4	0.2	1.8	0.2	0
21:20	0	0.4	0	0	0	0.2	0.2	1	0.6	0
21:30	0	0.8	0	0	0	0	0.2	1.2	0.2	0
21:40	0.4	0.4	0	0	0	0.2	0.2	1.6	0	0.4
21:50	0.2	0.8	0	0	0	0.2	0.4	3.6	0	0.2
22:00	0.8	0.8	0.2	0	0	0.2	0.8	3.2	0.2	0.8
22:10	0.8	0.4	0	0	0	0.2	1.4	2.6	0	0.8
22:20	3	0	0	0	0.6	0.6	0.2	0.2	0	3
22:30	1.4	0.2	0	0.2	4.4	1	1.8	0.4	0	1.4
22:40	0	0	0.4	1	0	0.6	0	1	0	0
22:50	0	0.2	0.6	0	0	0.6	0	0.6	0	0
23:00	0	1.2	0.6	0	0	0.2	0	2.6	0	0
23:10	0	0.4	0	0	0	0.4	0	0	0	0
23:20	0	0.4	0	0	0	0.6	0.6	0	0	0
23:30	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0
23:40	0	0	0	0	0	0.8	0	0	0	0
23:50	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0
24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 2 12/12/2008 - Δεκάλεπτες Μετρήσεις Βροχής (mm)

	Ψυτάλλεια	Άγιος Κοσμάς	Μενίδι	Ζωγράφου	Γαλάτσι	Ηλιού-πολη	Μάνδρα	Πεντέλη	Πικέρμι	Άνω Λιόσια
0:00	0,2	0,4	0	0,2	0	0,4	0,4	0	0	0
0:10	0,6	0,8	0,4	1,2	0,6	0,8	0,4	0,8	0,6	0,2
0:20	0,4	0,6	0,2	2,4	1,2	1,2	0,2	1,6	1,2	0,4
0:30	0,2	0,2	0,8	1	1,2	0,8	0,2	1,8	1,2	0,2
0:40	0,2	0,4	0,2	0,8	0,6	0,4	0,2	2	1	0
0:50	0	0,4	0,2	0,6	0,2	1	0,2	1,4	0,4	0
1:00	0	0	0,2	0,8	0,4	0,4	0	0,6	0,4	0,2
1:10	0	0,2	0,2	0,8	0,2	0	0	0,8	0,8	0
1:20	0	0	0	0	0,2	0	0	1,4	0,4	0
1:30	0	0	0,2	0,2	0,2	0,4	0	1	0,6	0,2
1:40	0	1,2	0	0,8	0,2	0,6	0	1,6	0,6	0
1:50	0,4	0,4	0,2	0,6	0,2	0	0	1,2	0	0
2:00	1,6	0,6	0,2	0	0,2	0	0	1	0,4	0,4
2:10	0,2	0,2	0	0,4	0,4	0,6	0,2	0,4	0	0,2
2:20	0,2	0	0,4	0	0	0	0,6	0	0,2	0,2
2:30	0	0	0	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0
2:40	0	0	0,2	0,4	0,2	0,2	0	0,4	0,2	0,2
2:50	0	0,2	0,2	0,4	0,2	0	0,4	0,6	0,2	0
3:00	0	0	0	0	0,2	0,2	0	0,2	0,4	0,2
3:10	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0	0,6	0	0
3:20	0	0	0,2	0,2	0,2	0	0	0,6	2,6	1
3:30	0	0	0	0	0	0,2	0,4	0,2	0	0
3:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0
4:10	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0
4:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:40	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0
5:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0,4	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0
6:10	1	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0,2
6:20	9,4	0,4	0,8	0	0	0,2	5,2	0	0	0,2
6:30	5,2	2,8	1,6	0	0,6	0,6	12	0	0	3,6
6:40	0,4	4,6	3,6	2,8	2,4	4	2,4	0	0	9
6:50	0,2	1,4	6	5,2	7	3	1,6	3	0	7,2
7:00	0	0,6	3,4	3	2,2	1,8	0,6	6	6,4	1
7:10	0	0,2	1,4	0,8	1,2	0	0,8	3,4	4	1
7:20	0	0	1,2	0	0,2	0,2	0,2	0,4	1,4	0,8
7:30	0	0	0,6	0	0	0	0,2	0,2	0,8	0,6
7:40	0	0	0	0	0	0	0	0,2	1	0
7:50	0	0	0,2	0	0	0	0	0,2	1	0,2
8:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

8:10	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0
8:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9:30	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9:50	0	0,6	0	0,4	0,2	0,2	0	0	0	0
10:00	0	0,6	0,2	0,2	0	0,4	0	0	0	0
10:10	0	0,2	0	0,4	0,2	0,2	0	0,4	0	0
10:20	0	0	0	0,2	0,2	0	0	0	0	0
10:30	0	0	0	0	0	0	0	0,2	1,4	0
10:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0
10:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0
11:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0
11:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0
11:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0
11:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0
12:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0
12:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15:40	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15:50	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16:00	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
16:10	0,4	1,8	0,6	0	0,2	0,2	0	0	0	0,2
16:20	0,4	2,8	0,2	3,6	2,2	2,4	0	0	0	0
16:30	0,2	0,8	0	1,2	1,2	1,2	0	0	0	0
16:40	0	0,2	0,2	0,6	0,4	0,4	0	1,4	0	0,2

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

16:50	0	0	0,4	0,4	0,4	0,2	0	0,6	0,2	0
17:00	0	0	0,2	0,2	0	0	0	0,4	0,4	0
17:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17:30	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0
17:40	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0
17:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:40	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0
19:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 3 18/10/20010 - Δεκάλεπτες Μετρήσεις Βροχής (mm)

	Ψυτάλλεια	Άγιος Κοσμάς	Μενίδι	Ζωγράφου	Γαλάτσι	Ηλιούπολη	Μάνδρα	Πεντέλη	Πικέρμι	Άνω Λίτσια
0:00	0.4	0.6	1	0.2	1.2	0.4	0.6	0.8	0.6	0.6
0:10	0.8	1	3.6	1.4	1.2	0.8	0.4	0.4	0.6	1.2
0:20	1.2	0.8	3.4	1.4	2	1	0.8	0.4	0.8	0.6
0:30	1.8	1.2	1.4	0.6	2.2	1	2	1	0.4	0.8
0:40	0.2	1.6	3.4	0.4	2	1.6	2	1.4	0.6	1
0:50	8	1	1.6	1	2.2	0.2	1.6	1.4	0.6	1.4
1:00	1	2	0.4	4	2.4	0.8	2.2	0.4	1	0.2
1:10	2.6	2.4	0	0.6	8	1.4	0.2	0.8	1.4	0.8
1:20	2.6	1.4	0.2	0	0.4	0.4	0.8	1	1.6	0.2
1:30	0	0.4	0	0	0	0.2	0	1.8	1.2	0.2
1:40	0	0.8	0	0	0.2	0.6	0	1	2.4	0.6
1:50	0	10	0	0	0	1	0	0.2	0.6	0.2
2:00	0	0	0	0	0	1.6	0	0	0	0
2:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0
2:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0
2:30	0.2	0	0	0	0	0.4	0	0	1.4	0
2:40	0	0	0	0	0	0.2	0	0	4.4	0
2:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0
3:10	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
3:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:10	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0
4:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0
4:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:10	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0
5:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

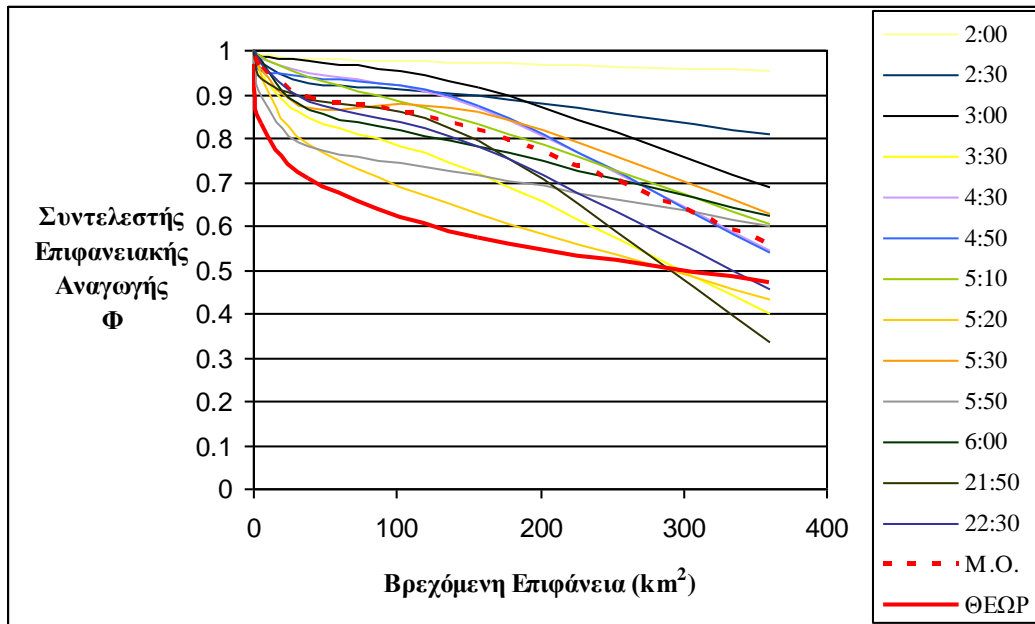
8:10	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0
8:20	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0
8:30	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0
8:40	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0
8:50	0	0	1.2	0.2	0	0	0	0	0.2	0
9:00	0.4	0	1.8	0.4	0	0	0	0	0.2	0
9:10	0.2	0	1.2	1	0	0.2	0.2	0	0.6	0
9:20	1.2	0	5.2	1.2	0	0	0.2	0.2	0.8	0.4
9:30	1.2	0.2	6	1	0	0.4	0.8	0.4	0.8	0.2
9:40	1	0.6	4.6	1	0	0.2	1	1.2	1.2	0.6
9:50	1	0.6	2.2	1	0	0.4	0.8	1	1	0.8
10:00	0.8	1.2	1.6	0.8	0	0.4	0.6	1	1.2	0.8
10:10	0.8	1	1	1	0	0.6	0.8	1	1.2	1
10:20	0.4	0.8	0.8	0.6	0	0.6	0.6	1.4	1.2	0.6
10:30	0.6	0.4	0.6	0.6	0	0.4	0.4	0.8	1.2	0.6
10:40	0.4	0.4	0.6	0.4	0	0.4	0.4	0.6	0.4	0.2
10:50	0.2	0.4	0.4	0.2	0	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2
11:00	0	0.2	0.2	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4
11:10	0.2	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0
11:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:30	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0
11:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:50	0	0	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0
12:00	0	0	0.8	0.4	0	0.4	0	0.2	0.4	0
12:10	0.4	1	0.8	0.8	0	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2
12:20	0.8	2	0.6	0.6	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
12:30	0.2	0.4	0.2	0.6	0	0.2	0.6	1.2	0.2	0.4
12:40	0.4	0.4	0.6	0.4	0	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2
12:50	0	0.2	0.4	0.2	0	0.2	0	0.4	0	0.2
13:00	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0.2	0.2	0.2	0	0.2
13:10	0.4	0.2	0.2	0.4	0	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2
13:20	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0	0.2	0.2	0.8	0.2
13:30	0	0	0	0	0	0.2	0	0.4	0.2	0
13:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:00	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:50	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0
15:00	0	0	0.4	0.8	0.8	0.2	0	0	0.2	0
15:10	0.6	0.2	0.6	0.4	0.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
15:20	1.2	0.2	1	1	0.8	0.4	0.4	0.4	0.4	0.8
15:30	0.6	0.6	1	0.8	1	1	0.6	0.2	0.2	1
15:40	1	0.8	1	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4	0.8
15:50	1.2	0.6	1	1.2	1.2	2	0.8	0.8	0.4	0.8
16:00	1.2	0.8	1	1.4	1.2	1	1	1	1	1.4
16:10	0.6	1.4	0.6	1	1	0.4	0.8	1	0.8	1
16:20	0.6	0.4	0.2	0.4	0.6	0.2	0.6	0.8	0.8	0.2
16:30	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0	0.2	0.8	0.6	0.4
16:40	0.2	0.2	0	0	0.2	0	0.2	0.2	0.6	0



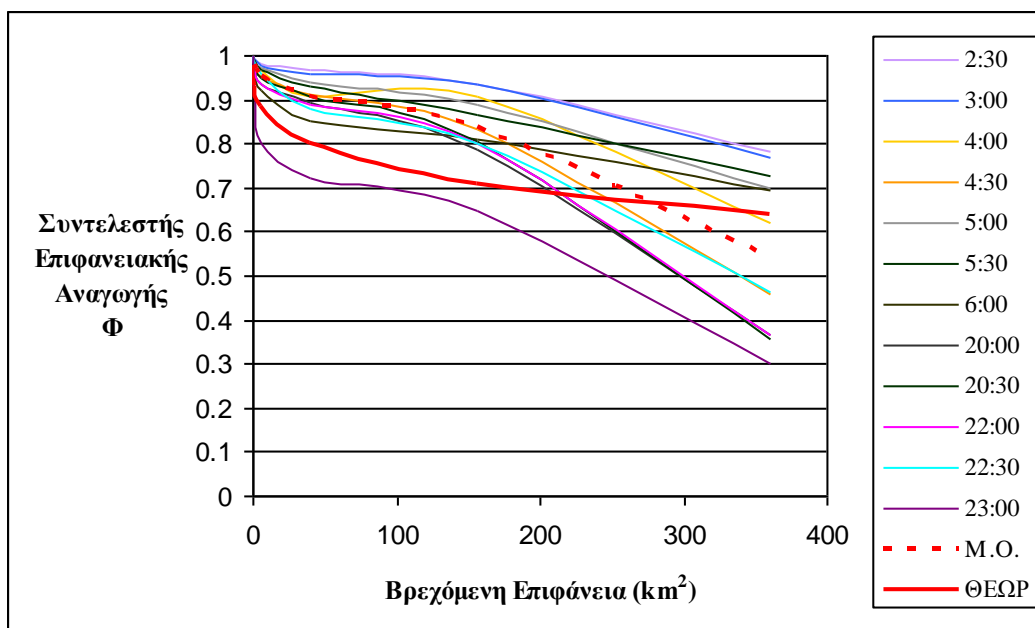
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

16:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2
17:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17:10	0	0	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0
17:20	0	0	0.2	0	0.2	0.2	0	0	0	0
17:30	0	0.2	0.2	0.2	0	0.2	0	0	0	0.2
17:40	0.6	0.2	0.6	0.8	0.8	0	0.2	0	0	0
17:50	0.8	0	0.8	0.8	0.6	0.4	0.6	0.4	0.2	0.2
18:00	0.6	0.4	0.4	0.6	0.8	0.4	0.6	0.4	0	0.6
18:10	0.4	0.4	0	0.6	0.8	0.2	0.2	0.4	0.2	0.2
18:20	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	0.2	0.4	0.8	0
18:30	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2
18:40	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0
18:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0
19:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:40	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:40	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0
23:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

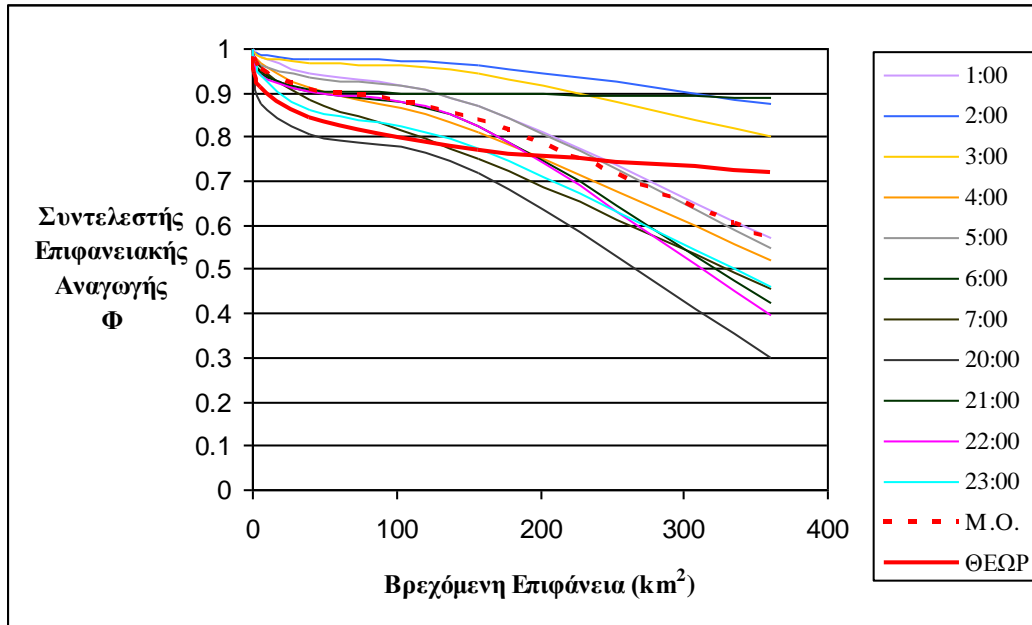
**Διαγράμματα Πειραματικού Επιφανειακής Αναγωγής Συντελεστή Αναγωγής  $\Phi$   
και Σύγκριση με τον Αντίστοιχο Θεωρητικό**



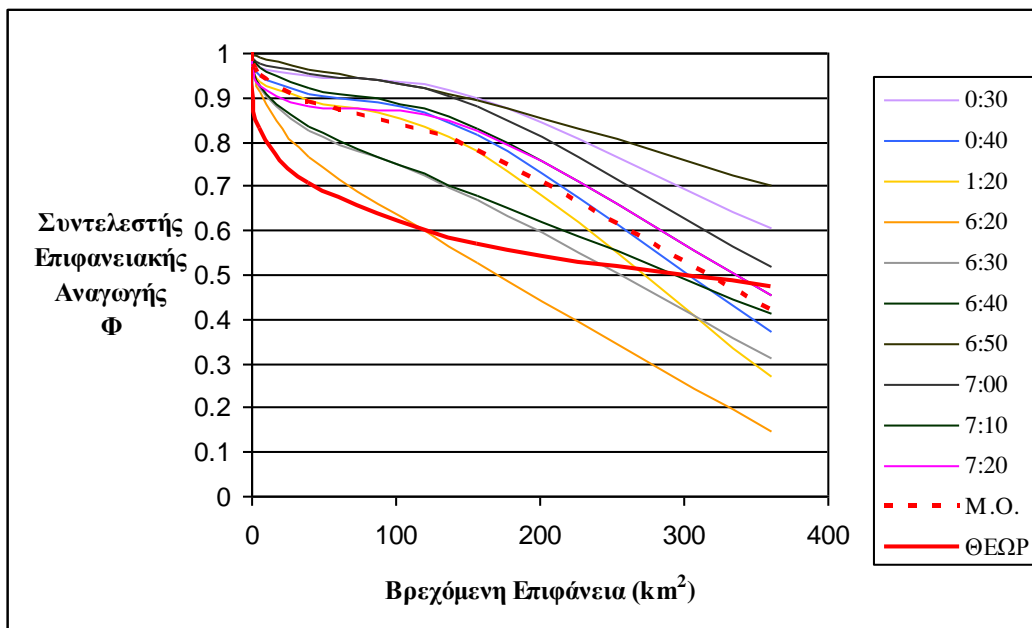
**Διάγραμμα 1** Χωρική μεταβολή συντελεστή αναγωγής  $\Phi$  με βάση δεκάλεπτες μετρήσεις βροχόπτωσης και σύγκριση με τη θεωρητική τιμή - 10/10/2006



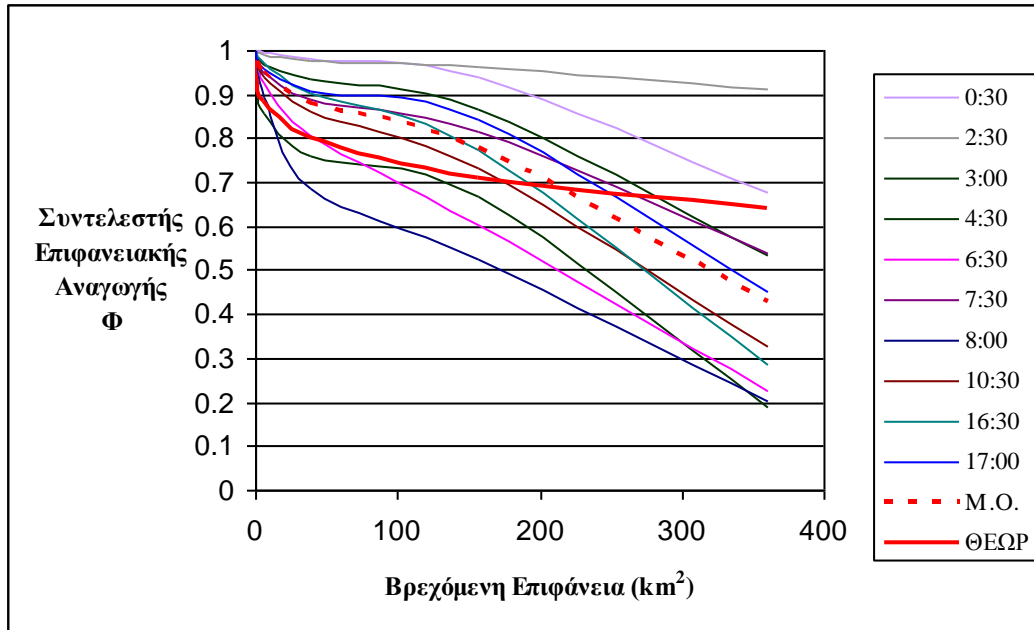
**Διάγραμμα 2** Χωρική μεταβολή συντελεστή αναγωγής  $\Phi$  με βάση μετρήσεις βροχόπτωσης μισής ώρας και σύγκριση με τη θεωρητική τιμή - 10/10/2006



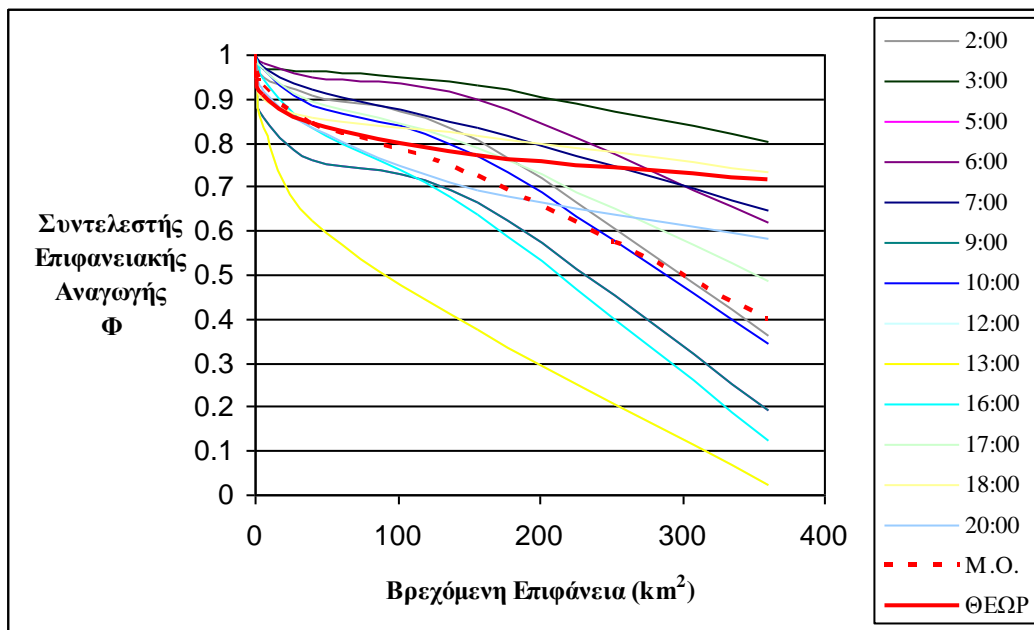
Διάγραμμα 3 Χωρική μεταβολή συντελεστή αναγωγής  $\Phi$  με βάση μετρήσεις βροχόπτωσης μίας ώρας και σύγκριση με τη θεωρητική τιμή - 10/10/2006



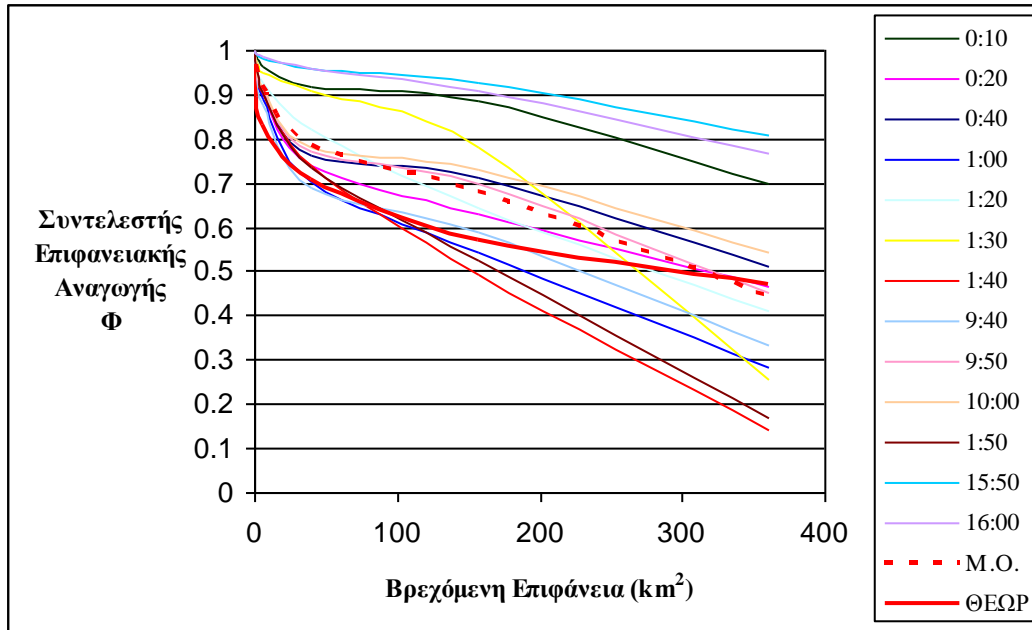
Διάγραμμα 4 Χωρική μεταβολή συντελεστή αναγωγής  $\Phi$  με βάση δεκάλεπτες μετρήσεις βροχόπτωσης και σύγκριση με τη θεωρητική τιμή - 12/12/2008



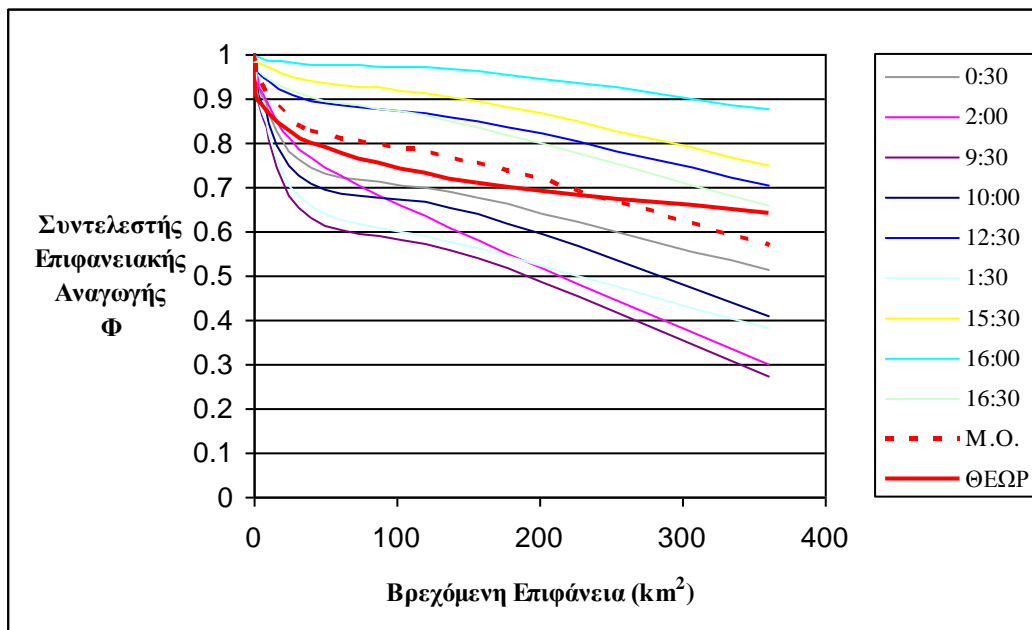
**Διάγραμμα 5** Χωρική μεταβολή συντελεστή αναγωγής  $\Phi$  με βάση μετρήσεις βροχόπτωσης μισής ώρας και σύγκριση με τη θεωρητική τιμή - 12/12/2008



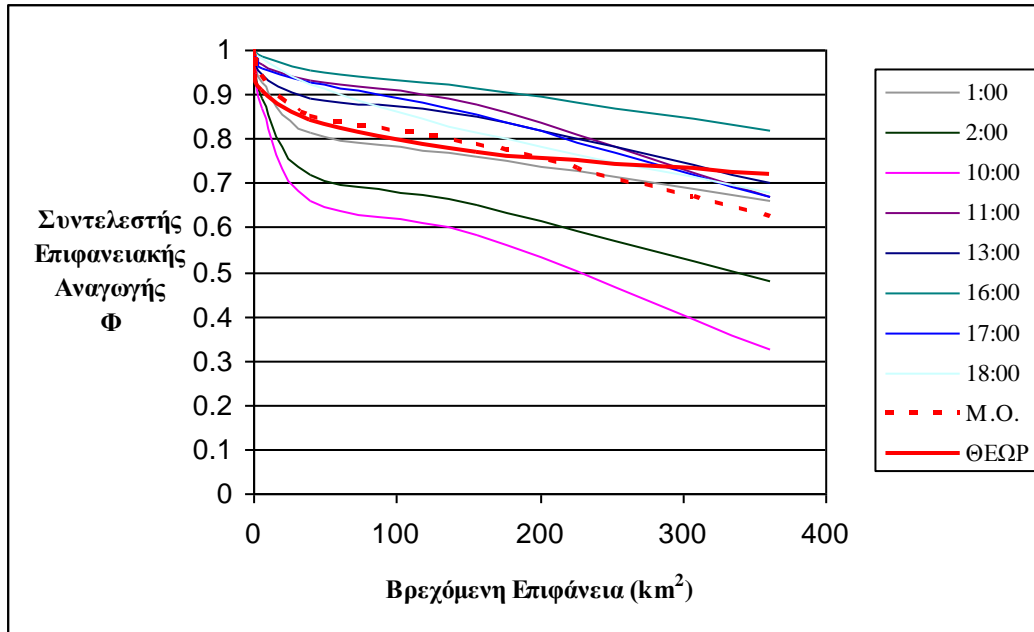
**Διάγραμμα 6** Χωρική μεταβολή συντελεστή αναγωγής  $\Phi$  με βάση μετρήσεις βροχόπτωσης μίας ώρας και σύγκριση με τη θεωρητική τιμή - 12/12/2008



**Διάγραμμα 7** Χωρική μεταβολή συντελεστή αναγωγής  $\Phi$  με βάση δεκάλεπτες μετρήσεις βροχόπτωσης και σύγκριση με τη θεωρητική τιμή – 18/10/2010



**Διάγραμμα 8** Χωρική μεταβολή συντελεστή αναγωγής  $\Phi$  με βάση μετρήσεις βροχόπτωσης μισής ώρας και σύγκριση με τη θεωρητική τιμή – 18/10/2010



**Διάγραμμα 9** Χωρική μεταβολή συντελεστή αναγωγής  $\Phi$  με βάση μετρήσεις βροχόπτωσης μίας ώρας και σύγκριση με τη θεωρητική τιμή – 18/10/2010