



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΤΑΜΕΙΟ  
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ  
ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ  
ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ

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

### **Συνεργαζόμενοι φορείς:**



ΕΤΜΕ: Πέππας & Συνεργάτες Ε.Ε.



Γραφείο Μαχάιρα Α.Ε.



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος



Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών – Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης

## **Ενότητα Εργασίας 2**

Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων

## **Παραδοτέο Π2.2**

Τεχνική έκθεση περιγραφής βροχομετρικών και μετεωρολογικών δεδομένων και επεξεργασιών

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Αντικείμενο της παρούσας έκθεσης είναι η ανάλυση των βροχομετρικών και μετεωρολογικών δεδομένων που συλλέχθηκαν από τις πιλοτικές λεκάνες και η περιγραφή των επεξεργασιών για την παραγωγή των απαιτούμενων χρονοσειρών. Οι χρονοσειρές που προέκυψαν από την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων πραγματικού χρόνου του μετρητικού συστήματος και περιλαμβάνουν: (α) σημειακές χρονοσειρές βροχόπτωσης και λοιπών μετεωρολογικών μεταβλητών (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου), και (β) χρονοσειρές επιφανειακής βροχόπτωσης και δυναμικής εξατμοδιαπνοής των υπολεκανών ενδιαφέροντος. Τα σημειακά ύψη βροχής των βροχομετρικών σταθμών αξιοποιούνται αφενός για την παραγωγή χρονοσειρών επιφανειακών βροχοπτώσεων και αφετέρου στην ανάλυση των ισχυρών επεισοδίων καταιγίδων. Η παραγωγή των επιφανειακών βροχοπτώσεων σε κάθε λεκάνη ή υπολεκάνη ενδιαφέροντος έγινε με τυπικές τεχνικές χωρικής ολοκλήρωσης (πολύγωνα Thiessen), ενώ η δυναμική εξατμοδιαπνοή εκτιμήθηκε έμμεσα, συναρτήσει της θερμοκρασίας.

## **ABSTRACT**

Objective of this report is the analysis of rainfall and meteorological data that are gathered from the pilot basins and the description of their processing for the generation of the essential time series. The time series that are derived through processing of real-time raw data from the monitoring network are: (a) point time series of rainfall and other meteorological variables (temperature, relative humidity, wind velocity), and (b) time series of areal rainfall and potential evapotranspiration across all sub-basins of interest. Point rainfall depths from rain gauges are used for the generation of areal time series as well as the analysis of intense storm events. The extraction of areal rainfall across each basin or sub-basin of interest was done through typical techniques of spatial integration (Thiessen polygons), while the potential evapotranspiration data were indirectly estimated, as function of temperature.

# Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή</b>	<b>5</b>
1.1	Αντικείμενο του τεύχους - Ιστορικό.....	5
1.2	Διάρθρωση του τεύχους .....	5
<b>2</b>	<b>Περιοχή μελέτης</b>	<b>7</b>
2.1	Γενικά κλιματικά χαρακτηριστικά περιοχής μελέτης .....	7
2.2	Λεκάνη απορροής Νέδοντα.....	9
2.3	Λεκάνη απορροής Λούσιου.....	10
2.4	Λεκάνη απορροής Σαρανταπόταμου.....	11
2.5	Λεκάνη απορροής ρέματος Χαλανδρίου.....	12
<b>3</b>	<b>Μετεωρολογικοί σταθμοί και δεδομένα</b>	<b>14</b>
3.1	Γενικά χαρακτηριστικά σταθμών .....	14
3.2	Μετεωρολογικοί σταθμοί λεκάνης Νέδοντα.....	15
3.2.1	Αλαγονία .....	15
3.2.2	Αρφαράς.....	16
3.2.3	Καλαμάτα – Νησάκι.....	17
3.2.4	Καλαμάτα - Μπάκας .....	18
3.2.5	Γέφυρα Καρβελίου.....	19
3.2.6	Νέδουσα .....	20
3.2.7	Πολιανή.....	21
3.2.8	Τουριστικό Ταύγετο .....	22
3.3	Μετεωρολογικοί σταθμοί λεκάνης Λούσιου.....	23
3.3.1	Δημητσάνα .....	23
3.3.2	Ελάτη.....	24
3.3.3	Λαγκάδια .....	25
3.3.4	Στεμνίτσα .....	26
3.4	Μετεωρολογικοί σταθμοί λεκάνης Σαρανταπόταμου .....	27
3.4.1	Βίλια .....	27
3.4.2	Πράσινο .....	28
3.5	Μετεωρολογικοί σταθμοί λεκάνης ρέματος Χαλανδρίου .....	29
3.5.1	Παλαιά Πεντέλη .....	29
<b>4</b>	<b>Επεξεργασίες βροχομετρικών δεδομένων</b>	<b>30</b>
4.1	Συμπλήρωση ελλειπουσών τιμών.....	30
4.1.1	Μεθοδολογία .....	30
4.1.2	Λεκάνη απορροής Νέδοντα.....	31

4.1.3	Λεκάνη απορροής Λούσιου .....	33
4.1.4	Λεκάνη απορροής Σαρανταπόταμου .....	34
4.2	Παραγωγή χρονοσειρών επιφανειακής βροχόπτωσης .....	35
4.2.1	Μεθοδολογία .....	35
4.2.2	Λεκάνη Νέδοντα .....	36
4.2.3	Λεκάνη Λούσιου .....	37
4.2.4	Λεκάνη Σαρανταπόταμου .....	37
4.2.5	Λεκάνη ρέματος Χαλανδρίου .....	38
<b>5</b>	<b>Εκτίμηση δυνητικής εξατμοδιαπνοής</b> .....	<b>39</b>
5.1	Σκοπός και μεθοδολογία .....	39
5.2	Μεθοδολογία εκτίμησης δυνητικής εξατμοδιαπνοής.....	39
5.2.1	Φυσικό πλαίσιο εξάτμισης .....	39
5.2.2	Αναλυτικές προσεγγίσεις – Οι μέθοδοι Penman και Penman-Monteith.....	41
5.2.3	Παραμετρική μέθοδος εκτίμησης της εξάτμισης με απλοποίηση της μεθόδου Penman-Monteith.....	42
5.3	Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων θερμοκρασίας .....	43
5.3.1	Μεθοδολογία .....	43
5.3.2	Λεκάνη Νέδοντα .....	44
5.3.3	Λεκάνη Σαρανταπόταμου .....	45
5.4	Εκτίμηση δυνητικής εξατμοδιαπνοής λεκανών Νέδοντα και Σαρανταπόταμου .....	46
5.4.1	Μεθοδολογία .....	46
5.4.2	Λεκάνη Νέδοντα .....	47
5.4.3	Λεκάνη Σαρανταπόταμου .....	48
	<b>Αναφορές</b> .....	<b>50</b>

# 1 Εισαγωγή

---

## 1.1 Αντικείμενο του τεύχους - Ιστορικό

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

Σκοπός της Ενότητας Εργασίας 2 με τίτλο “*Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων*” είναι η παραγωγή της αναγκαίας υποδομής σε δεδομένα, τα οποία θα αξιοποιηθούν στις αναλύσεις των ενοτήτων εργασίας 3 και 4 (δηλαδή στην ανάπτυξη των μεθοδολογιών και υπολογιστικών εργαλείων εκτίμησης των πλημμυρικών ροών). Η υποδομή αυτή περιλαμβάνει στατικές και δυναμικές πληροφορίες, δηλαδή γεωγραφικά δεδομένα και χρονοσειρές.

Στην παρούσα τεχνική έκθεση παρουσιάζεται η ανάλυση των βροχομετρικών και μετεωρολογικών δεδομένων, καθώς και η περιγραφή των επεξεργασιών για την εκτίμηση των επιφανειακών βροχοπτώσεων και των χρονοσειρών δυνητικής εξατμοδιαπνοής.

Η ομάδα εκπόνησης του παρόντος τεύχους είναι:

- Γιάννης Μαρκόνης, Μηχανικός Περιβάλλοντος, Υποψήφιος Δρ. ΕΜΠ
- Σπύρος Λυκούδης, Δρ. Φυσικός
- Ανδρέας Ευστρατιάδης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός
- Αντώνης Κουκουβίνος, Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός, DEA Γεωγραφίας

Συντονιστής του συνόλου των εργασιών της Ενότητας Εργασίας 2 είναι ο Ν. Μαμάσης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ.

## 1.2 Διάρθρωση του τεύχους

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

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.

Στο **Κεφάλαιο 3** περιγράφονται αναλυτικά τα βασικά στατιστικά χαρακτηριστικά των μετεωρολογικών μεταβλητών ανά σταθμό.

Στο **Κεφάλαιο 4** περιγράφονται οι επεξεργασίες των πρωτογενών (σημειακών) βροχομετρικών δεδομένων για την εξαγωγή των χρονοσειρών επιφανειακής βροχόπτωσης στις πιλοτικές λεκάνες και τις υπολεκάνες τους.

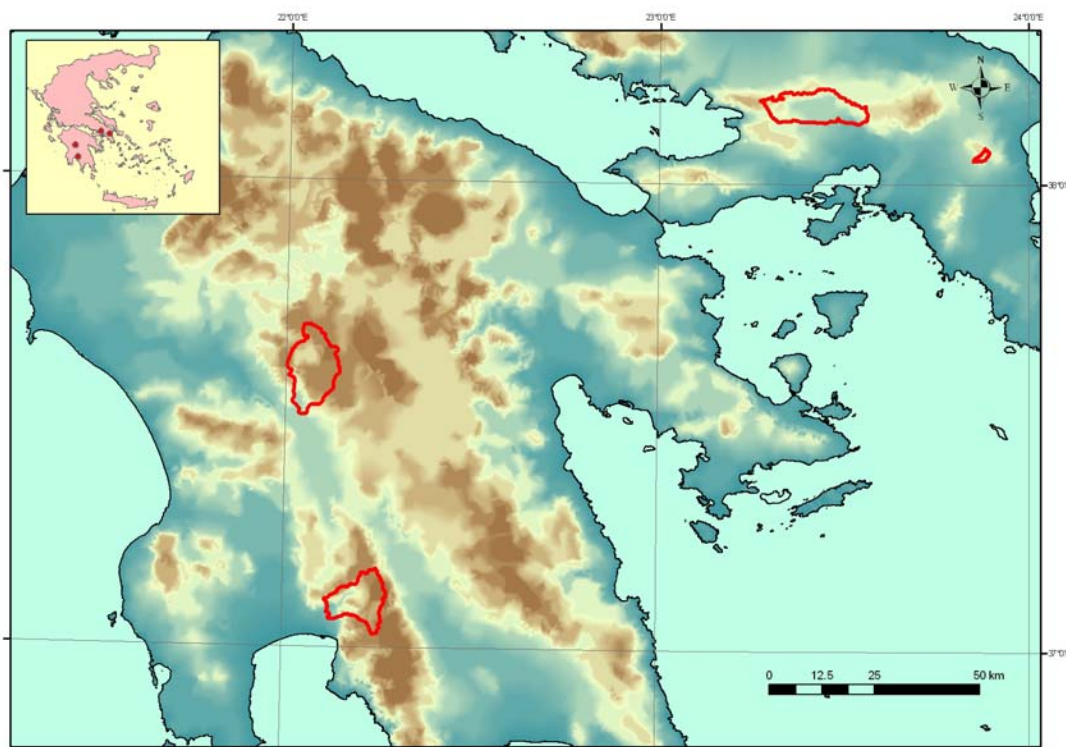
Στο **Κεφάλαιο 5** περιγράφονται οι επεξεργασίες των πρωτογενών δεδομένων θερμοκρασίας για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμοδιαπνοής.

## 2 Περιοχή μελέτης

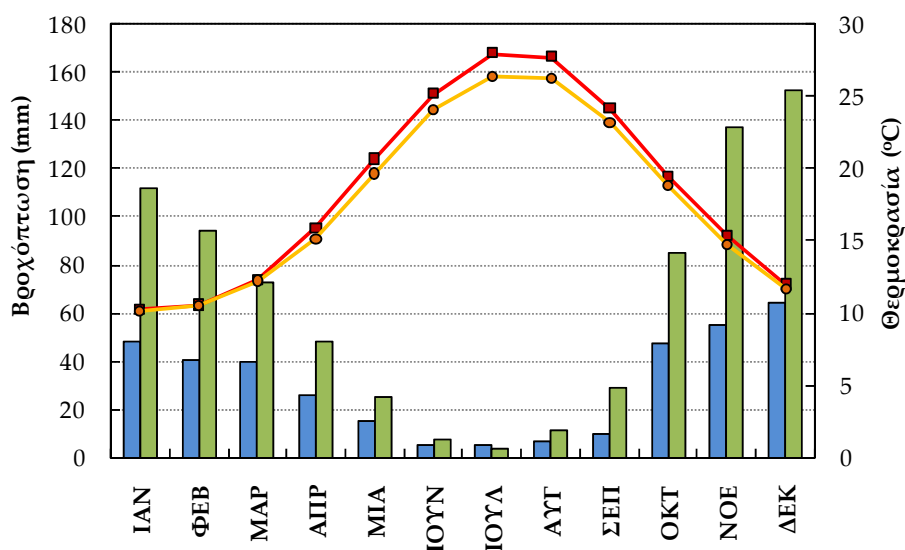
### 2.1 Γενικά κλιματικά χαρακτηριστικά περιοχής μελέτης

Το ερευνητικό έργο περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων από τέσσερις λεκάνες απορροής, δύο στην Στερεά Ελλάδα (λεκάνες απορροής Σαρανταπόταμου και ρέματος Χαλανδρίου) και δύο στην Πελοπόννησο (λεκάνες απορροής Νέδοντα και Λούσιου). Στο πλαίσιο αυτό, αναπτύχθηκε κατάλληλο μετρητικό δίκτυο που περιλαμβάνει μετεωρολογικούς και υδρομετρικούς σταθμούς. Οι θέσεις των λεκανών στην Ελληνική επικράτεια απεικονίζονται στο Σχήμα 2.1. Λεπτομερής περιγραφή των πιλοτικών λεκανών και του μετρητικού δικτύου γίνεται στη σχετική τεχνική έκθεση (Κούσης κ.ά., 2012)

Τα βασικά κλιματικά χαρακτηριστικά 40ετίας των δύο ευρύτερων περιοχών ενδιαφέροντος, όπως προκύπτουν από τους σταθμούς της ΕΜΥ στο Ελληνικό (1955-1997) και στην Καλαμάτα (1956-1997) είναι παρόμοια όσο αφορά στη θερμοκρασία, ενώ η βροχόπτωση στην Αθήνα είναι η μισή της Καλαμάτας (Σχήμα 2.2 και Πίνακες 2.1-2.4). Η μέγιστη μέση θερμοκρασία παρατηρείται τον Ιούλιο (28.5°C και 26.4°C, αντίστοιχα), ενώ η ελάχιστη τον Ιανουάριο (10.3°C και 10.2°C, αντίστοιχα). Οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές παρουσιάζουν αντίστοιχη διακύμανση: στην Αθήνα η ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία κυμαίνεται από 7.0°C έως 22.8°C και η μέγιστη από 13.6 °C έως 31.8 °C, ενώ οι αντίστοιχες τιμές στην Καλαμάτα κυμαίνονται μεταξύ 5.7 °C – 18.1 °C και 15.3 °C– 31.1 °C (ΕΜΥ, 2014).



Σχήμα 2.1: Πιλοτικές λεκάνες απορροής ερευνητικού έργου Δευκαλίων.



Σχήμα 2.2: Κλιματικά χαρακτηριστικά Αθήνας και Καλαμάτας (1955-1997). Οι γραμμές περιγράφουν τη μέση μηνιαία θερμοκρασία (Αθήνα: κόκκινη, Καλαμάτα: πορτοκαλί), ενώ οι μπάρες τη βροχόπτωση (Αθήνα: γαλάζιο, Καλαμάτα: πράσινο).

Η βροχόπτωση παρουσιάζει τη χαρακτηριστική εποχικότητα της ανατολικής Μεσογείου, με σχεδόν άνυδρα καλοκαίρια και μια υγρή περίοδο μεταξύ Οκτωβρίου και Απριλίου με τη μέγιστη μέση μηνιαία βροχόπτωση να παρατηρείται το Δεκέμβριο (64.1 mm και 152.6 mm για την Αθήνα και την Καλαμάτα αντίστοιχα). Ο αριθμός των συνολικών ημερών βροχής δεν διαφοροποιείται σημαντικά με τη μέγιστη συχνότητα να παρατηρείται τον Δεκέμβριο (13.7 και 11.6 ημέρες, αντίστοιχα). Είναι αξιοσημείωτο πως στην Αθήνα αν και το μέσο μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης κατά την υγρή περίοδο είναι περίπου το μισό από αυτό της Καλαμάτας ο αριθμός ημερών βροχής είναι ελαφρώς μεγαλύτερος.

Πίνακας 2.1: Μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας στον σταθμό του Ελληνικού (1955-1997).

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ
Ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία ( °C)	7.0	7.1	8.4	11.4	15.8	20.1
Μέση μηνιαία θερμοκρασία ( °C)	10.3	10.6	12.3	15.9	20.7	25.2
Μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία ( °C)	13.6	14.1	15.7	19.4	24.1	28.7
	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία ( °C)	22.8	22.8	19.6	15.6	12.0	8.8
Μέση μηνιαία θερμοκρασία ( °C)	28.0	27.8	24.2	19.5	15.4	12.0
Μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία ( °C)	31.8	31.7	28.2	23.2	18.8	15.2



Πίνακας 2.2: Μηνιαία διακύμανση βροχόπτωσης στον σταθμό του Ελληνικού (1955-1997).

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ
Μέση μηνιαία βροχόπτωση (mm)	48.3	40.9	39.7	26	15.2	5.6
Μέσος αριθμός ημερών βροχής	13.2	11.8	11.9	9.7	6.8	3.7
	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση μηνιαία βροχόπτωση (mm)	5.2	7.0	9.6	47.8	55.4	64.1
Μέσος αριθμός ημερών βροχής	1.6	1.8	3.9	8.9	11.3	13.7

Πίνακας 2.3: Μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας στον σταθμό της Καλαμάτας (1956-1997).

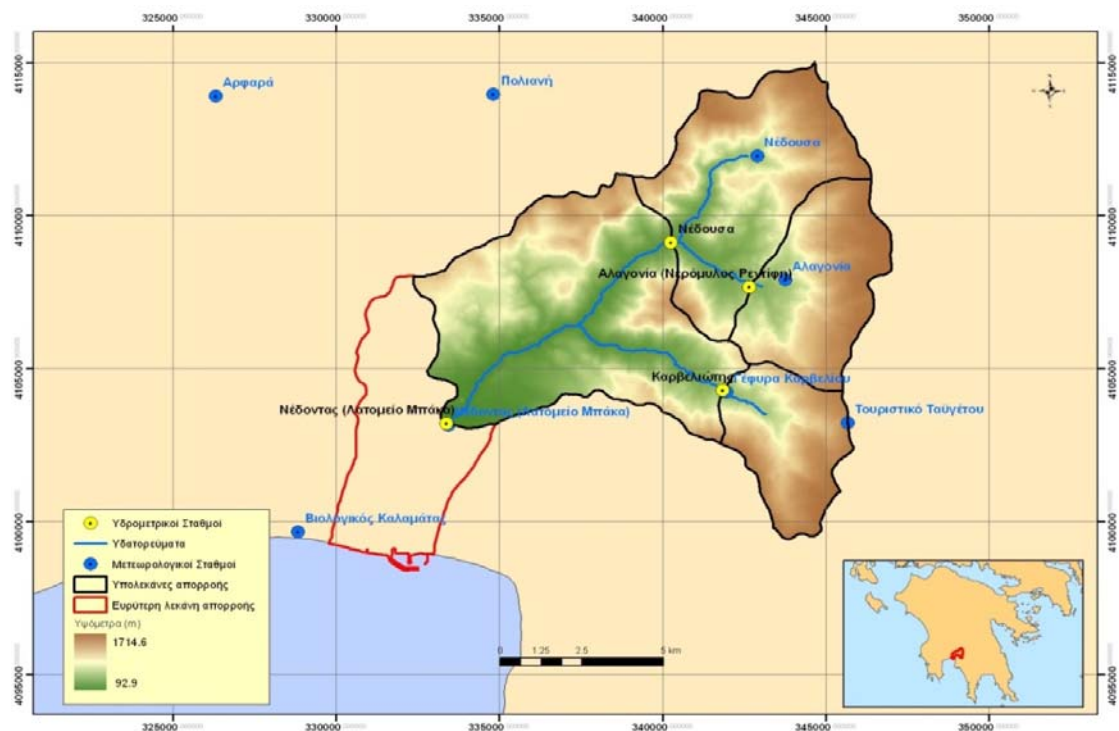
	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ
Ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία (°C)	5.7	5.7	6.8	8.9	12.4	16.0
Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	10.2	10.6	12.3	15.2	19.7	24.1
Μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία (°C)	15.3	15.5	17.1	19.9	24.3	28.8
	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία (°C)	18.1	18.4	16.2	13.2	9.9	7.2
Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	26.4	26.3	23.2	18.9	14.8	11.7
Μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία (°C)	31.1	31.3	28.7	24.7	20.5	16.7

Πίνακας 2.4: Μηνιαία διακύμανση βροχόπτωσης στον σταθμό της Καλαμάτας (1956-1997).

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ
Μέση μηνιαία βροχόπτωση (mm)	111.7	94.1	73	48.5	25.6	7.5
Μέσος αριθμός ημερών βροχής	9.3	10.9	10.3	6.1	5.1	1.9
	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση μηνιαία βροχόπτωση (mm)	4.2	11.3	29.1	85.3	137.4	152.6
Μέσος αριθμός ημερών βροχής	1.3	1.4	1.9	6.9	10.0	11.6

## 2.2 Λεκάνη απορροής Νέδοντα

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Νέδοντα (Σχ. 2.3) βρίσκεται στη νότια Πελοπόννησο, πλησίον της πόλης της Καλαμάτας. Πρόκειται για μια σχετικά ορεινή λεκάνη απορροής με μέσο υψόμετρο κοντά στα 1000 m και συνολική έκταση 79.2 km<sup>2</sup>. Στην λεκάνη έχουν εγκατασταθεί τρεις ακόμη υδρομετρικοί σταθμοί σε ανάντη θέσεις, οπότε προκύπτουν τέσσερις υπολεκάνες, τα χαρακτηριστικά των οποίων δίνονται στον Πίνακα 2.5. Οι μετεωρολογικοί σταθμοί τοποθετήθηκαν στις θέσεις Αλαγονία (765 m), Αρφαρά (96 m), Καλαμάτα-Νησάκι (27 m), Καλαμάτα-Μπάκας (75 m), Καρβελιώτης (598 m), Νέδουσα (712 m), Πολιανή (650 m) και Τουριστικό Ταυγέτου (1310 m).



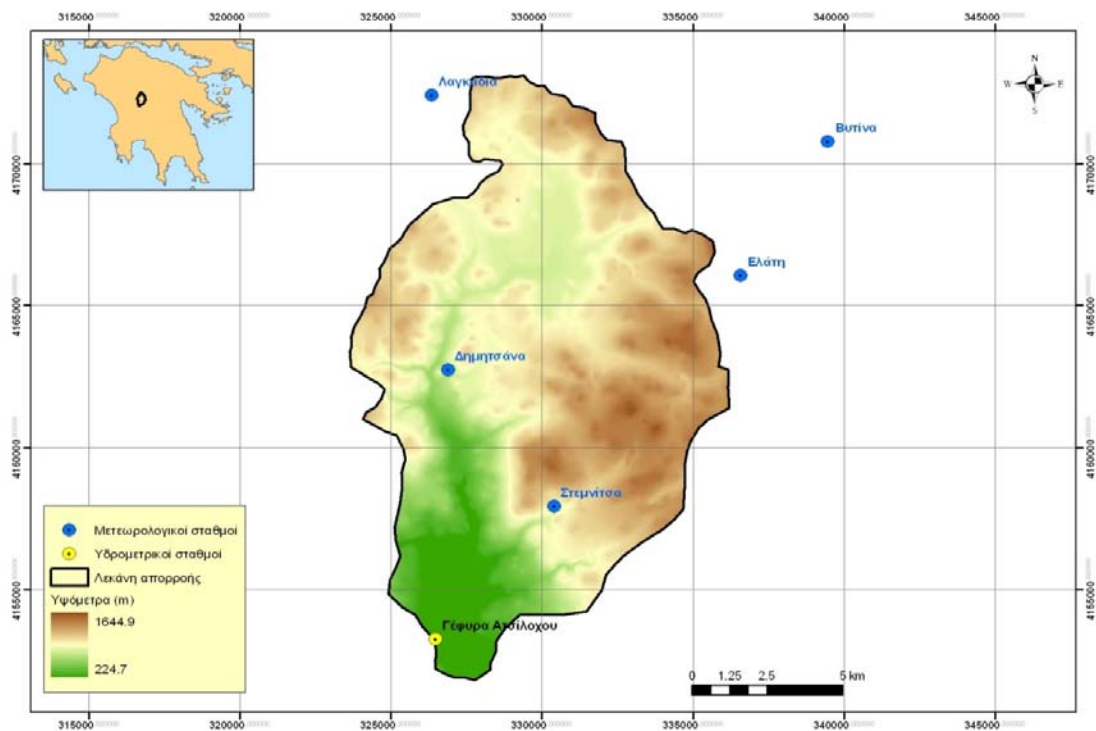
Σχήμα 2.3: Λεκάνη απορροής Νέδοντα.

Πίνακας 2.5: Χαρακτηριστικά μεγέθη υπολεκανών απορροής Νέδοντα.

Υπολεκάνη – υδρομετρικός σταθμός	Λατομείο Μπάκα	Καρβελιώτης	Αλαγονία	Νέδουσα
Έκταση λεκάνης (km <sup>2</sup> )	20.8	15.3	20.9	32.2
Μήκος κύριου υδατορέματος (km)	18.0	6.5	5.6	8.1
Μέσου υψόμετρο λεκάνης (m)	875.7	1098.5	1092.6	927.6
Υψόμετρο στην έξοδο (m)	93	596.2	597.5	397.5
Διαφορά μέσου υψομέτρου και υψομέτρου στην έξοδο (m)	782.7	502.3	495.1	530.1
Χρόνος συγκέντρωσης κατά Giandotti (h)	3.17	1.42	1.50	1.89

### 2.3 Λεκάνη απορροής Λούσιου

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Λούσιου (Σχ. 2.4) βρίσκεται στην κεντρική Πελοπόννησο και στην παρούσα μελέτη εξετάστηκε μόνο το ορεινό τμήμα της, ανάντη του υδρομετρικού σταθμού στη Γέφυρα Ατσίχολου, σαν μια ενιαία λεκάνη με έκταση 166.3 km<sup>2</sup> και μέσο υψόμετρο 1081 m (Πίνακας 2.6). Τοποθετήθηκαν τέσσερις μετεωρολογικοί σταθμοί στις θέσεις Δημητσάνα (951 m), Ελάτη (1207 m), Λαγκάδια (970 m) και Στεμνίτσα (1074 m).



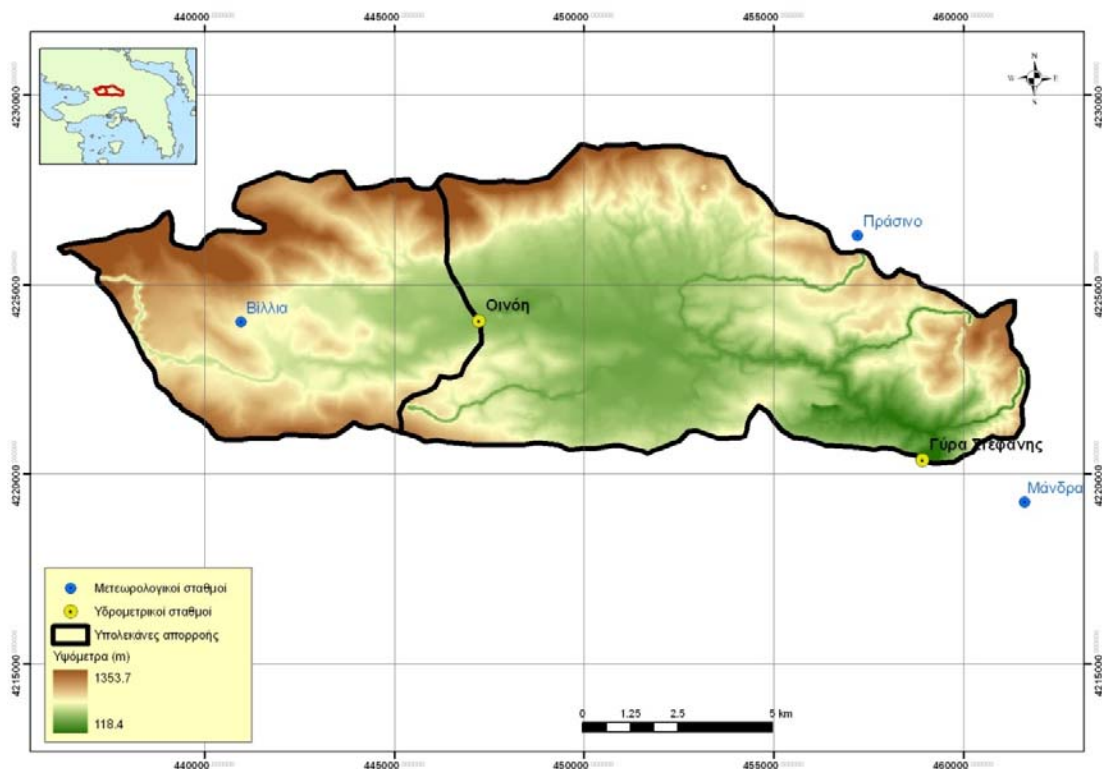
Σχήμα 2.4: Λεκάνη απορροής Λούσιου.

Πίνακας 2.6: Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής Λούσιου.

Υπολεκάνη – υδρομετρικός σταθμός	Γέφυρα Ατσίχολου
Έκταση λεκάνης (km <sup>2</sup> )	166.3
Μήκος κύριου υδατορέματος (km)	28.3
Μέσου υψόμετρο λεκάνης (m)	1081.3
Υψόμετρο στην έξοδο (m)	224.8
Διαφορά μέσου υψομέτρου και υψομέτρου στην έξοδο (m)	856.5
Χρόνος συγκέντρωσης κατά Giandotti (h)	4.02

## 2.4 Λεκάνη απορροής Σαρανταπόταμου

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Σαρανταπόταμου (Σχ. 2.5) βρίσκεται στην νοτιοανατολική Στερεά Ελλάδα και στην παρούσα μελέτη εξετάστηκε επίσης μόνο το ορεινό τμήμα της με συνολική έκταση 195.8 km<sup>2</sup> και μέσο υψόμετρο στα 530 m. Η εν λόγω λεκάνη χωρίστηκε σε δύο υπολεκάνες (Πίνακας 2.7) στις οποίες τοποθετήθηκαν δύο μετεωρολογικοί σταθμοί στις θέσεις: Βίλια (523 m) και Πράσινο (564 m).



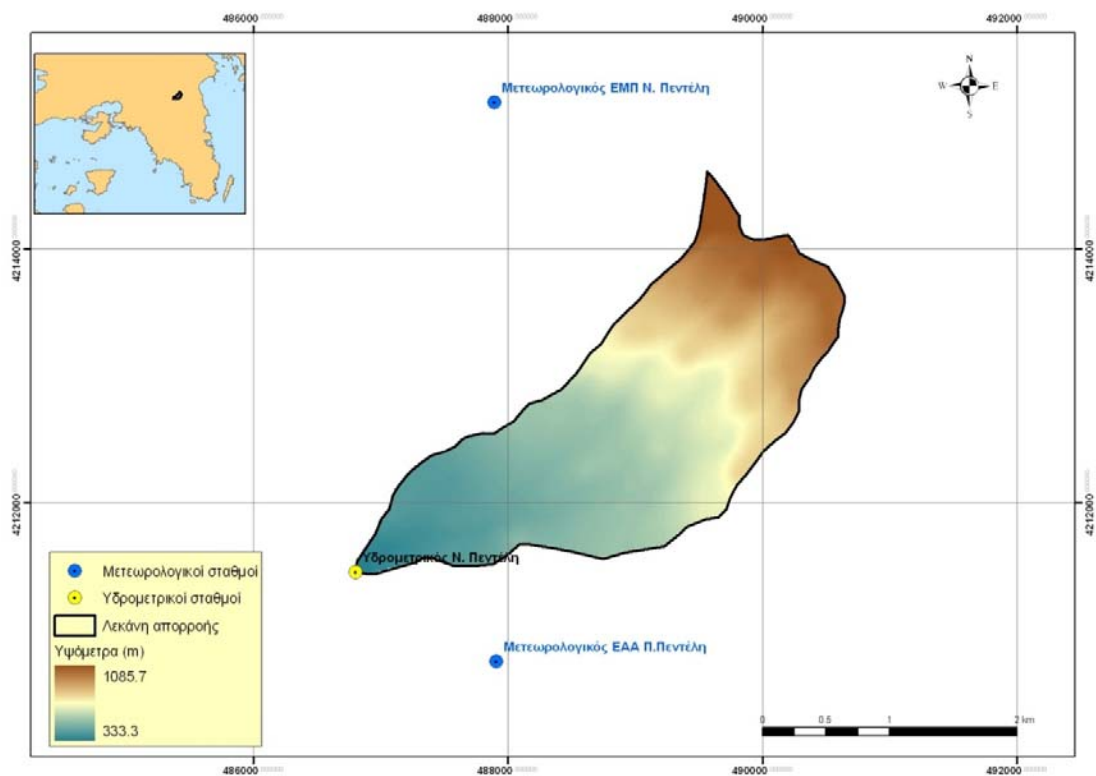
Σχήμα 2.5: Λεκάνη απορροής Σαρανταπόταμου.

Πίνακας 2.7: Χαρακτηριστικά μεγέθη υπολεκανών απορροής Σαρανταπόταμου.

Υπολεκάνη – υδρομετρικός σταθμός	Οινόη	Γύρα Στεφάνης
Έκταση λεκάνης (km <sup>2</sup> )	51.2	144.6
Μήκος κύριου υδατορέματος (km)	13.019	30.7
Μέσου ψόμετρο λεκάνης (m)	603.8	494.9
Υψόμετρο στην έξοδο (m)	320	157
Διαφορά μέσου υψομέτρου και υψομέτρου στην έξοδο (m)	283.8	337.9
Χρόνος συγκέντρωσης κατά Giandotti (h)	3.57	6.40

## 2.5 Λεκάνη απορροής ρέματος Χαλανδρίου

Η λεκάνη απορροής του ρέματος Χαλανδρίου (Σχ. 2.6) βρίσκεται στο Λεκανοπέδιο Αττικής εντός του ομώνυμου δήμου. Εξετάζεται μια μικρή υπολεκάνη απορροής του άνω ρού του ρέματος με έκταση 5.2 km<sup>2</sup> με μέσο υψόμετρο 607.5 m για την οποία χρησιμοποιήθηκε ο σταθμός του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών στην Παλαιά Πεντέλη (495 m).



Σχήμα 2.6: Λεκάνη απορροής ρέματος Χαλανδρίου.

Πίνακας 2.8: Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής ρέματος Χαλανδρίου.

Υπολεκάνη – υδρομετρικός σταθμός	Ρέμα Χαλανδρίου
Έκταση λεκάνης (km <sup>2</sup> )	5.2
Μήκος κύριου υδατορέματος (km)	5.1
Μέσου ψόμετρο λεκάνης (m)	607.5
Υψόμετρο στην έξοδο (m)	333.3
Διαφορά μέσου υψομέτρου και υψομέτρου στην έξοδο (m)	274.2
Χρόνος συγκέντρωσης κατά Giandotti (h)	1.27

## 3 Μετεωρολογικοί σταθμοί και δεδομένα

### 3.1 Γενικά χαρακτηριστικά σταθμών

Στο κεφάλαιο αυτό συνοψίζονται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν σε κάθε πλήρη μετεωρολογικό (ή απλό βροχομετρικό) σταθμό. Τα γενικά στοιχεία όλων των σταθμών δίνονται στον Πίνακα 3.1. Στη συνέχεια, η παρουσίαση κάθε σταθμού τυποποιείται ως εξής:

Στην πάνω αριστερή γωνία κάθε σελίδας αναφέρονται τα βασικά στοιχεία του σταθμού μέτρησης. Ο κωδικός του σταθμού αναφέρεται στη βάση δεδομένων του προγράμματος Δευκαλίων (<http://system.deucalionproject.gr/>) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απευθείας πρόσβαση στο εν λόγω σταθμό προσθέτοντας τον στην παραπάνω διεύθυνση. Για παράδειγμα, ο μετεωρολογικός σταθμός στην Αλαγονία, με κωδικό 1363, βρίσκεται στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://system.deucalionproject.gr/stations/d/1363/>. Δίπλα στα στοιχεία του σταθμού παρατίθενται δύο χάρτες με τη θέση σταθμού σε κλίμακα 1:500 και 1:2000 m, αντίστοιχα, όπως εμφανίζονται στη διαδικτυακή βάση. Ακολουθεί ο πίνακας με τις μετρούμενες μεταβλητές. Όπως προηγουμένως, ο κωδικός κάθε χρονοσειράς αναφέρεται στη βάση δεδομένων με αντίστοιχη δυνατότητα πρόσβασης (π.χ., η ταχύτητα ανέμου στην Αλαγονία βρίσκεται στη θέση <http://system.deucalionproject.gr/timeseries/d/9255/>). Τέλος παρουσιάζονται τα ωριαία και ημερήσια μέγιστα (σε μορφή πίνακα), καθώς και η μηνιαία διακύμανση της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης (σε μορφή διαγράμματος).

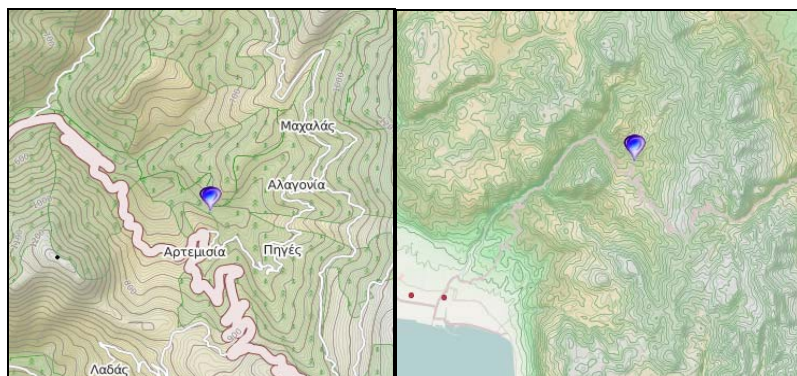
Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά μετεωρολογικών και απλών βροχομετρικών σταθμών.

Όνομασία	Κωδικός	Λεκάνη απορροής	Έναρξη	Υψόμετρο (m)
Αλαγονία	1363	Νέδοντας	25/10/2012	765
Αρφαράς	1374	Νέδοντας	25/10/2012	96
Καλαμάτα – Νησάκι	1367	Νέδοντας	01/09/2011	27
Καλαμάτα – Λατομείο Μπάκα	1354	Νέδοντας	17/12/2011	75
Γέφυρα Καρβελίου	1356	Νέδοντας	16/12/2011	598
Νέδουσα	1359	Νέδοντας	16/12/2011	712
Πολιανή	1376	Νέδοντας	25/10/2012	650
Τουριστικό Ταύγετου	1357	Νέδοντας	01/09/2011	1310
Δημητσάνα	1377	Λούσιος	08/12/2012	951
Ελάτη	1373	Λούσιος	01/09/2011	1207
Λαγκάδια	1375	Λούσιος	26/10/2012	970
Στεμνίτσα	1351	Λούσιος	16/03/2012	1094
Βίλια	1347	Σαρανταπόταμος	12/12/2011	523
Πράσινο	1345	Σαρανταπόταμος	12/12/2011	564
Παλαιά Πεντέλη	1364	P. Χαλανδρίου	11/12/2011	495

## 3.2 Μετεωρολογικοί σταθμοί λεκάνης Νέδοντα

### 3.2.1 Αλαγονία

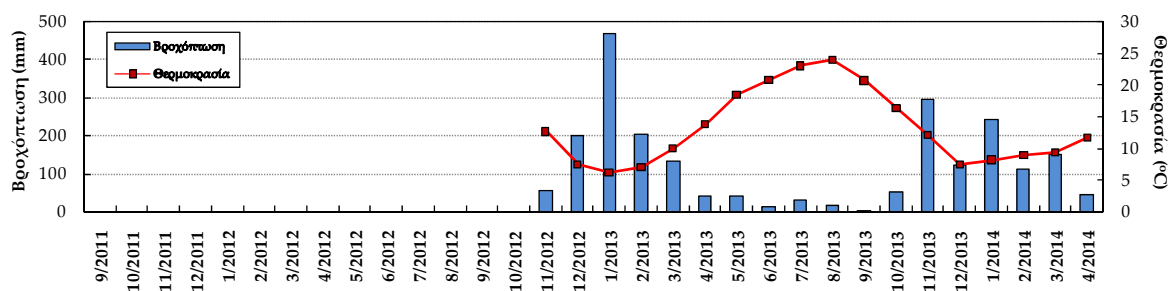
Κωδικός	1363
Έναρξη	25/10/2012
Λειτουργ.	
Γ. Μήκος	22.24°
Γ. Πλάτος	37.10 °
Υψόμετρο	765 m



#### Χρονοσειρές

Κωδ.	Μεταβλητή	Χρονικό Βήμα	Μονάδα Μέτρησης	Έναρξη	Λήξη
9255	Ταχύτητα ανέμου	Δέκα λεπτά	m/s	25/10/2012 17:10	30/04/2014 24:00
9253	Θερμοκρασία αέρα	Δέκα λεπτά	°C	25/10/2012 17:10	30/04/2014 24:00
9254	Σχετική υγρασία	Δέκα λεπτά	%	25/10/2012 17:10	30/04/2014 24:00
9256	Βροχόπτωση	Δέκα λεπτά	mm	25/10/2012 17:10	30/04/2014 24:00

#### Μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας και βροχόπτωσης



#### Μέγιστα βροχόπτωσης

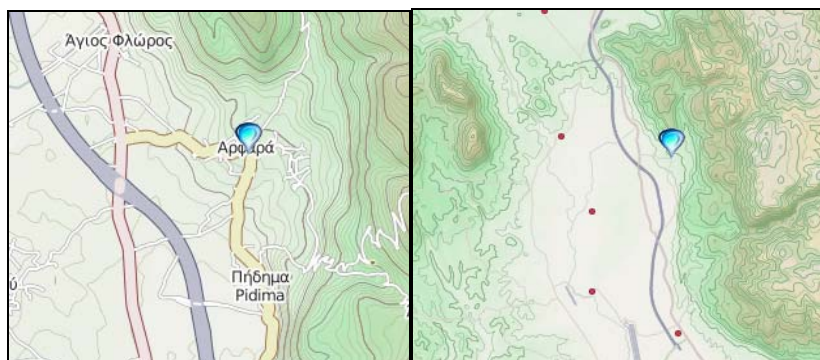
Κλίμακα	Ημερομηνία	Ύψος Υετού (mm)
Ωριαία:	16/01/2013	21.4
24ωρη:	17/01/2013	136.8

Δεν παρουσιάστηκε κάποιο πρόβλημα σε κάποιο από τα όργανα του σταθμού μέτρησης καθόλη τη διάρκεια λειτουργίας του.



### 3.2.2 Αρφαράς

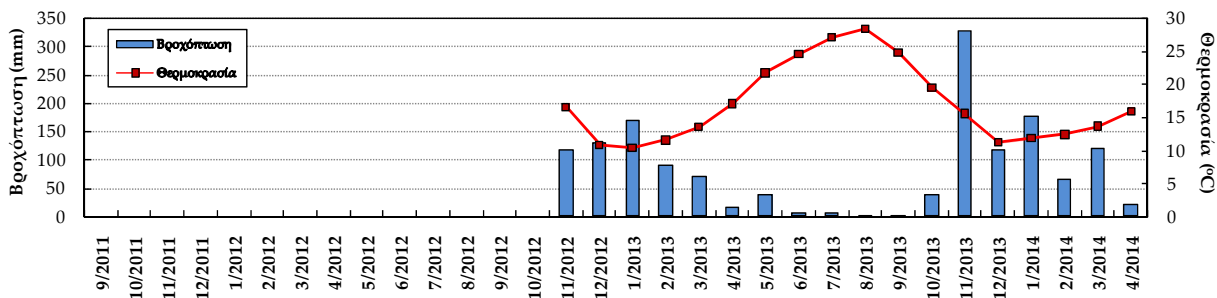
Κωδικός	1374
Εκκίνηση	25/10/2012
Λειτουργ.	
Γ. Μήκος	22.04 °
Γ. Πλάτος	37.16 °
Υψόμετρο	96 m



#### Χρονοσειρές

Κωδ.	Μεταβλητή	Χρονικό Βήμα	Μονάδα Μέτρησης	Έναρξη	Λήξη
9259	Ταχύτητα ανέμου	Δέκα λεπτά	m/s	25/10/2012 17:10	30/04/2014 24:00
9257	Θερμοκρασία αέρα	Δέκα λεπτά	°C	25/10/2012 17:10	30/04/2014 24:00
9258	Σχετική υγρασία	Δέκα λεπτά	%	25/10/2012 17:10	30/04/2014 24:00
9260	Βροχόπτωση	Δέκα λεπτά	mm	25/10/2012 17:10	30/04/2014 24:00

#### Μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας και βροχόπτωσης



#### Μέγιστα βροχόπτωσης

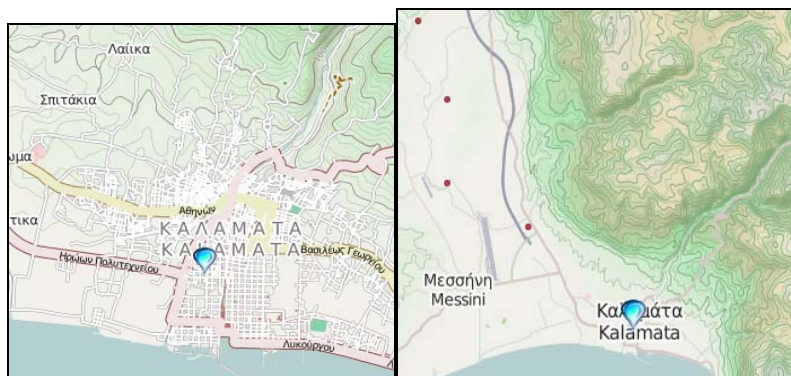
Κλίμακα	Ημερομηνία	Ύψος Υετού (mm)
Ωριαία:	29/11/2012	29.6
24ωρη:	11/11/2013	137.2

Δεν παρουσιάστηκε κάποιο πρόβλημα σε κάποιο από τα όργανα του σταθμού μέτρησης καθόλη τη διάρκεια λειτουργίας του.



### 3.2.3 Καλαμάτα – Νησάκι

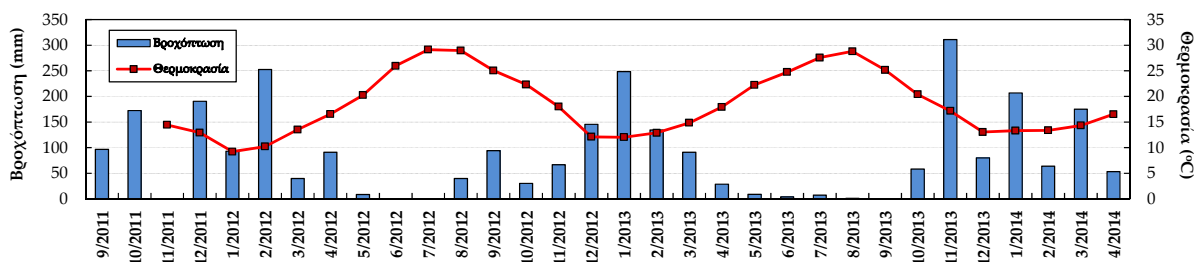
Κωδικός	1367
Εκκίνηση	01/09/2011
Λειτουργ.	
Γ. Μήκος	22.10 °
Γ. Πλάτος	37.03 °
Υψόμετρο	27 m



#### Χρονοσειρές

Κωδ.	Μεταβλητή	Χρονικό Βήμα	Μονάδα Μέτρησης	Έναρξη	Λήξη
9203	Ταχύτητα ανέμου	Δέκα λεπτά	m/s	01/11/2011 00:10	30/04/2014 24:00
9200	Θερμοκρασία αέρα	Δέκα λεπτά	°C	01/11/2011 00:10	30/04/2014 24:00
9201	Σχετική υγρασία	Δέκα λεπτά	%	01/11/2011 00:10	30/04/2014 24:00
9202	Βροχόπτωση	Δέκα λεπτά	mm	01/09/2011 00:10	30/04/2014 24:00

#### Μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας και βροχόπτωσης



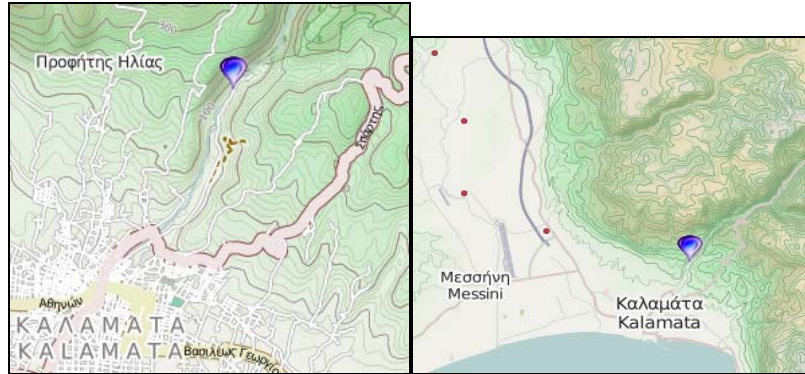
#### Μέγιστα βροχόπτωσης

Κλίμακα	Ημερομηνία	Ύψος Υετού (mm)
Ωριαία:	07/09/2012	36.0
24ωρη:	10/11/2011	77.8

Δεν παρουσιάστηκε κάποιο πρόβλημα σε κάποιο από τα όργανα του σταθμού μέτρησης καθόλη τη διάρκεια λειτουργίας του.

### 3.2.4 Καλαμάτα - Μπάκας

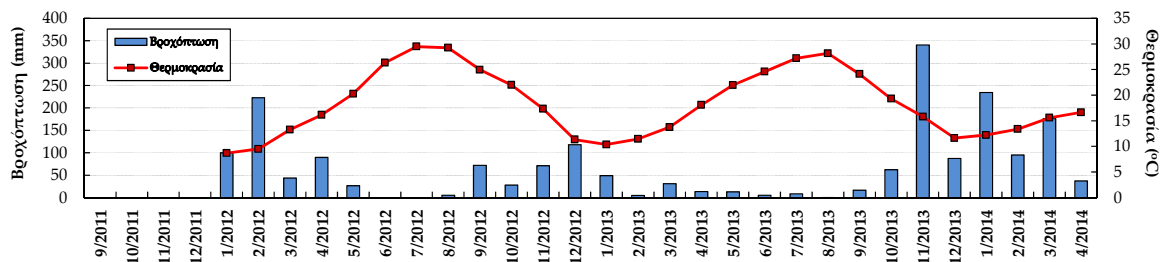
Κωδικός	1354
Εκκίνηση	17/12/2011
Λειτουργ.	
Γ. Μήκος	22.13 °
Γ. Πλάτος	37.06 °
Υψόμετρο	75 m



#### Χρονοσειρές

Κωδ.	Μεταβλητή	Χρονικό Βήμα	Μονάδα Μέτρησης	Έναρξη	Λήξη
9211	Θερμοκρασία αέρα	Δεκαπέντε λεπτά	°C	17/12/2011 11:15	30/04/2014 24:00
9212	Βροχόπτωση	Δεκαπέντελεπτά	mm	17/12/2011 11:15	30/04/2014 24:00

#### Μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας και βροχόπτωσης



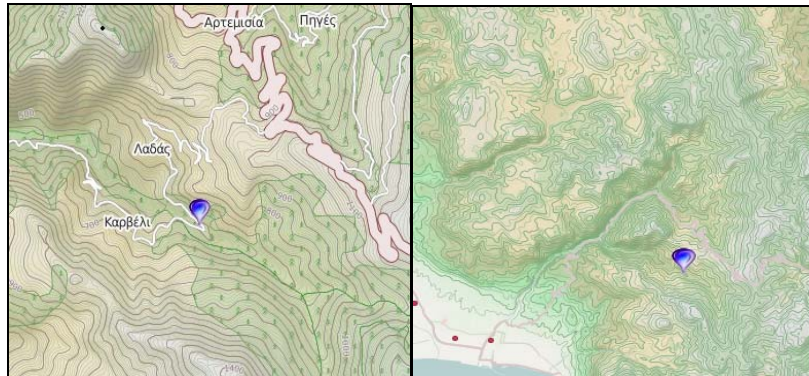
#### Μέγιστα βροχόπτωσης

Κλίμακα	Ημερομηνία	Ύψος Υετού (mm)
<b>Ωριαία:</b>	07/09/2012	24.4
<b>24ωρη:</b>	06/02/2012	53.6

Λόγω βλαβών δεν καταγράφηκαν πλήρη δεδομένα βροχόπτωσης για το διάστημα 18/12/2012 έως 05/03/2013.

### 3.2.5 Γέφυρα Καρβελίου

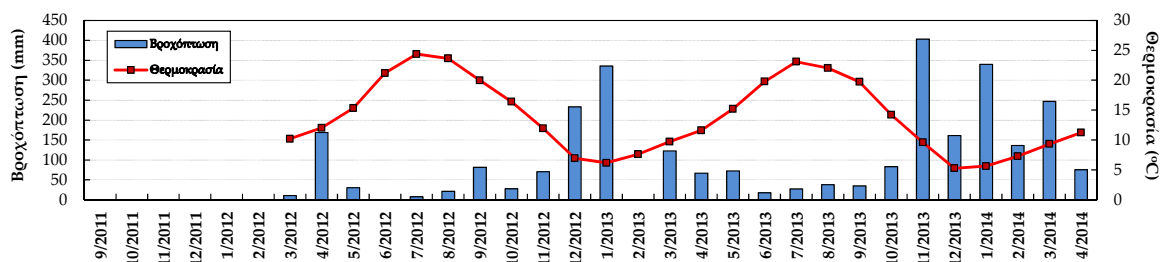
Κωδικός	1356
Εκκίνηση	16/12/2011
Λειτουργ.	
Γ. Μήκος	22.22 °
Γ. Πλάτος	37.07 °
Υψόμετρο	598 m



#### Χρονοσειρές

Κωδ.	Μεταβλητή	Χρονικό Βήμα	Μονάδα Μέτρησης	Έναρξη	Λήξη
9237	Θερμοκρασία αέρα	Δεκαπέντε λεπτά	°C	15/03/2012 10:15	30/04/2014 24:00
9238	Βροχόπτωση	Δεκαπέντε λεπτά	mm	15/03/2012 10:15	30/04/2014 24:00

#### Μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας και βροχόπτωσης



#### Μέγιστα βροχόπτωσης

Κλίμακα	Ημερομηνία	Ύψος Υετού (mm)
Ωριαία:	16/01/2013	29.2
24ωρη:	17/01/2013	127.6

Λόγω βλαβών δεν καταγράφηκαν δεδομένα βροχόπτωσης για το διάστημα 22/1/2013 - 04/03/2013.

### 3.2.6 Νέδουσα

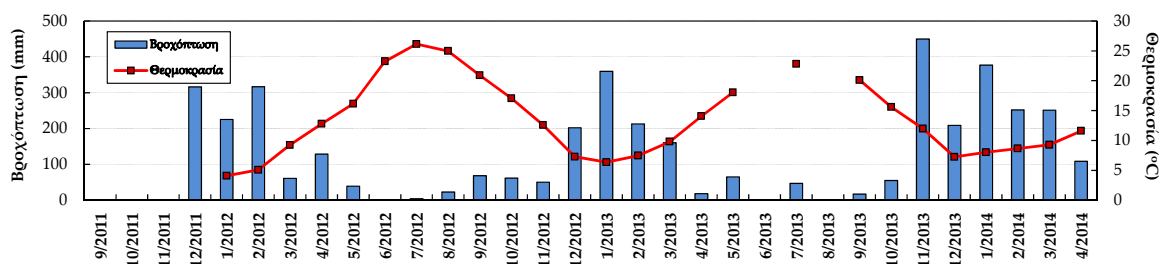
Κωδικός	1359
Εκκίνηση	16/12/2011
Λειτουργ.	
Γ. Μήκος	22.22 °
Γ. Πλάτος	37.07 °
Υψόμετρο	712 m



#### Χρονοσειρές

Κωδ.	Μεταβλητή	Χρονικό Βήμα	Μονάδα Μέτρησης	Έναρξη	Λήξη
9203	Ταχύτητα ανέμου	Δέκα λεπτά	m/s	31/1/2012 00:10	30/04/2014 24:00
9200	Θερμοκρασία αέρα	Δέκα λεπτά	°C	31/1/2012 00:10	30/04/2014 24:00
9201	Σχετική υγρασία	Δέκα λεπτά	%	31/1/2012 00:10	30/04/2014 24:00
9202	Βροχόπτωση	Δέκα λεπτά	mm	3/12/2011 17:00	30/04/2014 24:00

#### Μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας και βροχόπτωσης



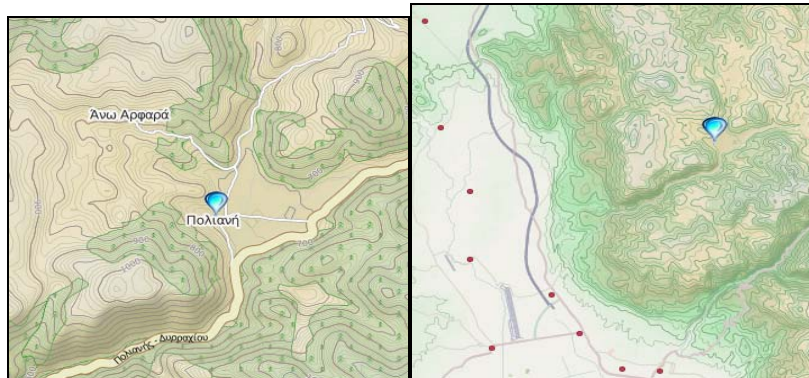
#### Μέγιστα βροχόπτωσης

Κλίμακα	Ημερομηνία	Ύψος Υετού (mm)
Ωριαία:	11/11/2013	28.6
24ωρη:	11/11/2013	120.2

Λόγω απώλειας δικτυακής σύνδεσης δεν καταγράφηκαν δεδομένα κάποιες ημέρες κατά τον 6/2013 και τον 8/2013 (δεν εκτιμήθηκαν μηνιαίες τιμές).

### 3.2.7 Πολιανή

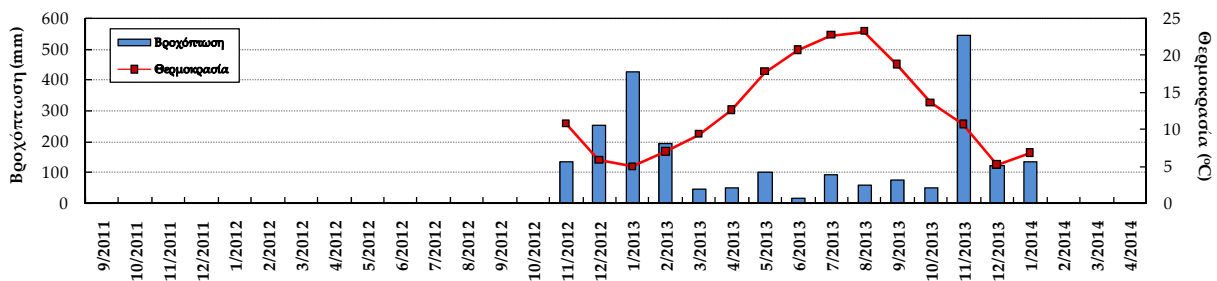
Κωδικός	1376
Εκκίνηση	25/10/2012
Λειτουργ.	
Γ. Μήκος	22.14 °
Γ. Πλάτος	37.16 °
Υψόμετρο	650 m



#### Χρονοσειρές

Κωδ.	Μεταβλητή	Χρονικό Βήμα	Μονάδα Μέτρησης	Έναρξη	Λήξη
9237	Θερμοκρασία αέρα	Δεκαπέντε λεπτά	°C	25/10/2012 12:45	23/01/2014 00:30
9238	Βροχόπτωση	Δεκαπέντε λεπτά	mm	25/10/2012 12:45	23/01/2014 00:30

#### Μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας και βροχόπτωσης



#### Μέγιστα βροχόπτωσης

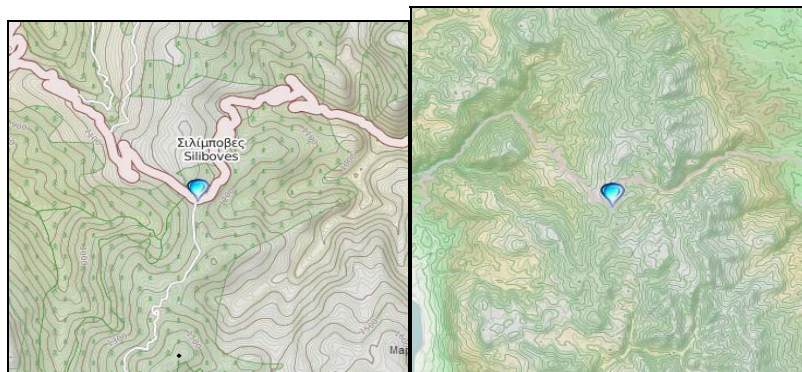
Κλίμακα	Ημερομηνία	Ύψος Υετού (mm)
Ωριαία:	29/11/2012	30.8
24ωρη:	25/01/2013	122.4

Λόγω βλάβης δεν καταγράφηκαν δεδομένα για το διάστημα 20/02/2013 έως 03/03/2013.



### 3.2.8 Τουριστικό Ταϊγέτου

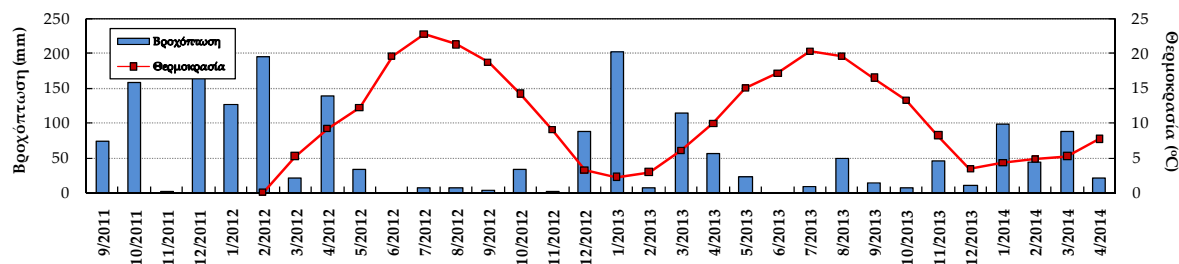
Κωδικός	1357
Εκκίνηση	1/9/2011
Λειτουργ.	
Γ. Μήκος	22.14 °
Γ. Πλάτος	37.16 °
Υψόμετρο	1310 m



#### Χρονοσειρές

Κωδ.	Μεταβλητή	Χρονικό Βήμα	Μονάδα Μέτρησης	Έναρξη	Λήξη
9189	Ταχύτητα ανέμου	Δεκαπέντε λεπτά	m/s	07/02/2012 00:15	30/04/2014 24:00
9187	Θερμοκρασία αέρα	Δεκαπέντε λεπτά	°C	07/02/2012 00:15	30/04/2014 24:00
9188	Σχετική υγρασία	Δεκαπέντε λεπτά	%	07/02/2012 00:15	30/04/2014 24:00
9190	Βροχόπτωση	Δεκαπέντε λεπτά	mm	01/09/2011 00:15	30/04/2014 24:00

#### Μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας και βροχόπτωσης



#### Μέγιστα βροχόπτωσης

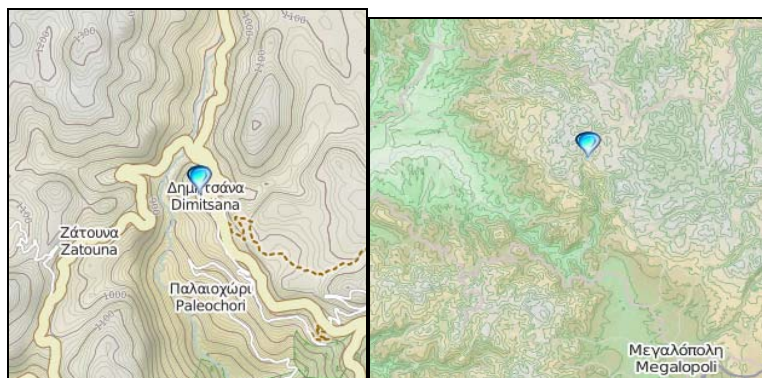
Κλίμακα	Ημερομηνία	Ύψος Υετού (mm)
<b>Ωριαία:</b>	-	-
<b>24ωρη:</b>	06/02/2012	62.6

Ο σταθμός αυτός δε λήφθηκε υπόψη στις επεξεργασίες των βροχομετρικών δεδομένων, καθώς παρουσίαζε συχνές βλάβες και πολύ χαμηλές τιμές βροχόπτωσης σε σχέση με τους γειτονικούς του.

### 3.3 Μετεωρολογικοί σταθμοί λεκάνης Λούσιου

#### 3.3.1 Δημητσάνα

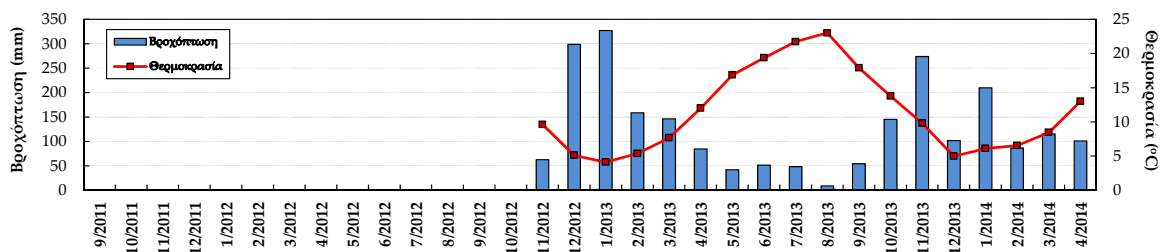
Κωδικός	1377
Εκκίνηση	08/12/2012
Λειτουργ.	
Γ. Μήκος	22.04 °
Γ. Πλάτος	37.60 °
Υψόμετρο	951 m



#### Χρονοσειρές

Κωδ.	Μεταβλητή	Χρονικό Βήμα	Μονάδα Μέτρησης	Έναρξη	Λήξη
9242	Θερμοκρασία αέρα	Δεκαπέντε λεπτά	°C	08/11/2012 12:15	30/04/2014 24:00
9244	Βροχόπτωση	Δεκαπέντε λεπτά	mm	08/11/2012 12:15	30/04/2014 24:00

#### Μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας και βροχόπτωσης



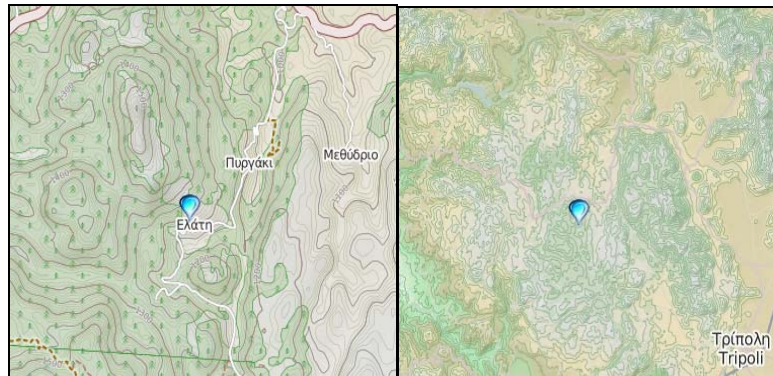
#### Μέγιστα βροχόπτωσης

Κλίμακα	Ημερομηνία	Ύψος Υετού (mm)
<b>Ωριαία:</b>	29/11/2012	18.6
<b>24ωρη:</b>	17/01/2013	67.6

Δεν παρουσιάστηκε κάποιο πρόβλημα σε κάποιο από τα όργανα του σταθμού μέτρησης καθόλη τη διάρκεια λειτουργίας του.

### 3.3.2 Ελάτη

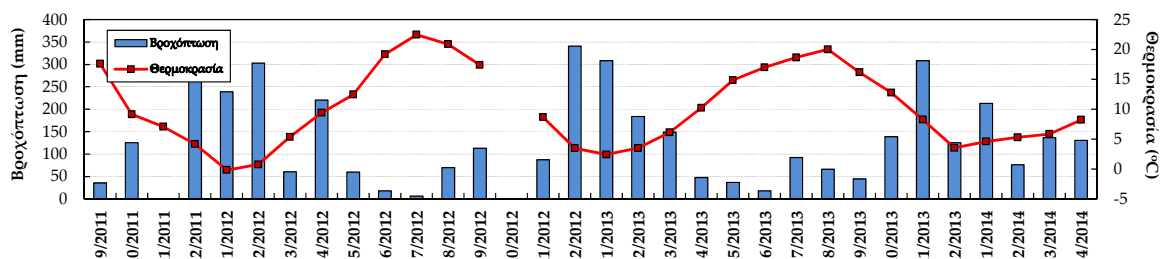
Κωδικός	1373
Εκκίνηση	01/09/2011
Λειτουργ.	
Γ. Μήκος	22.15 °
Γ. Πλάτος	37.62 °
Υψόμετρο	1207 m



#### Χρονοσειρές

Κωδ.	Μεταβλητή	Χρονικό Βήμα	Μονάδα Μέτρησης	Έναρξη	Λήξη
9243	Ταχύτητα ανέμου	Δέκα λεπτά	m/s	01/09/2011 00:10	30/04/2014 24:00
9242	Θερμοκρασία αέρα	Δέκα λεπτά	°C	01/09/2011 00:10	30/04/2014 24:00
9241	Σχετική υγρασία	Δέκα λεπτά	%	01/09/2011 00:10	30/04/2014 24:00
9244	Βροχόπτωση	Δέκα λεπτά	mm	01/09/2011 00:10	30/04/2014 24:00

#### Μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας και βροχόπτωσης



#### Μέγιστα βροχόπτωσης

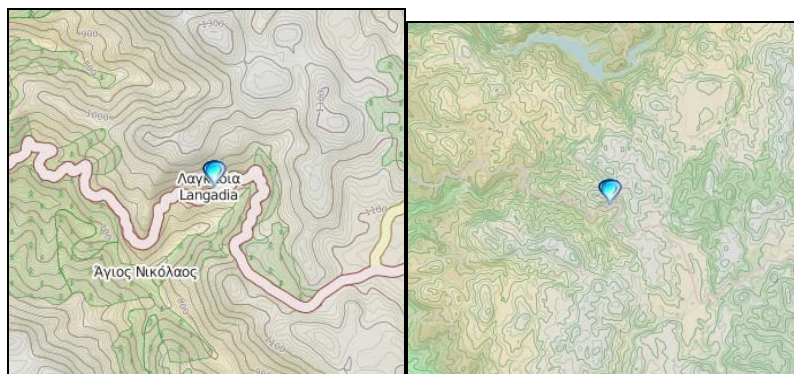
Κλίμακα	Ημερομηνία	Ύψος Υετού (mm)
<b>Ωριαία:</b>	29/11/2012	186.0
<b>24ωρη:</b>	01/08/2013	30.8

Δεν καταγράφηκαν δεδομένα κατά τα διαστήματα 16/11/2011 έως 1/12/2011 και 14/10/2012 έως 1/11/2012.



### 3.3.3 Λαγκάδια

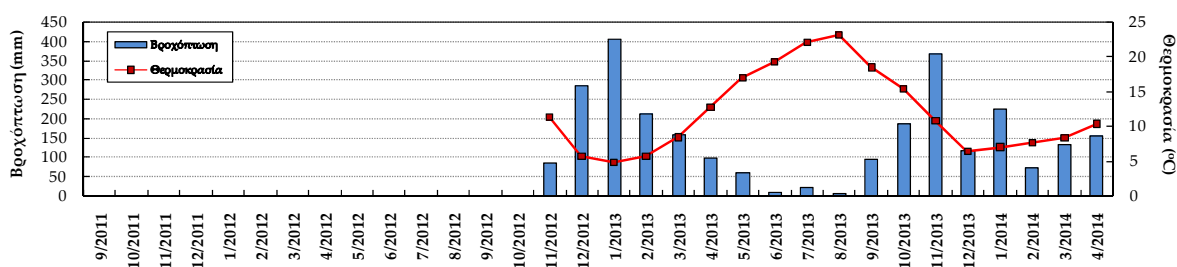
Κωδικός	1375
Εκκίνηση	26/10/2012
Λειτουργ.	
Γ. Μήκος	22.03 °
Γ. Πλάτος	37.68 °
Υψόμετρο	970 m



#### Χρονοσειρές

Κωδ.	Μεταβλητή	Χρονικό Βήμα	Μονάδα Μέτρησης	Έναρξη	Λήξη
9249	Ταχύτητα ανέμου	Δέκα λεπτά	m/s	27/10/2012 17:00	30/04/2014 24:00
9247	Θερμοκρασία αέρα	Δέκα λεπτά	°C	27/10/2012 17:00	30/04/2014 24:00
9248	Σχετική υγρασία	Δέκα λεπτά	%	27/10/2012 17:00	30/04/2014 24:00
9250	Βροχόπτωση	Δέκα λεπτά	mm	27/10/2012 17:00	30/04/2014 24:00

#### Μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας και βροχόπτωσης



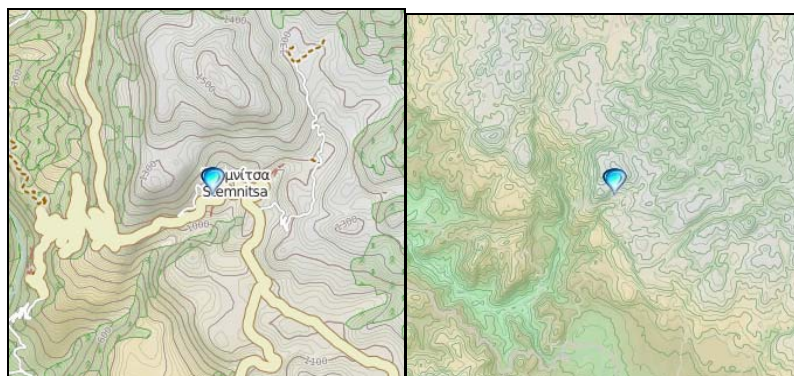
#### Μέγιστα βροχόπτωσης

Κλίμακα	Ημερομηνία	Ύψος Υετού (mm)
Ωριαία:	29/11/2012	20.8
24ωρη:	17/01/2013	106.8

Δεν παρουσιάστηκε κάποιο πρόβλημα σε κάποιο από τα όργανα του σταθμού μέτρησης καθόλη τη διάρκεια λειτουργίας του.

### 3.3.4 Στεμνίτσα

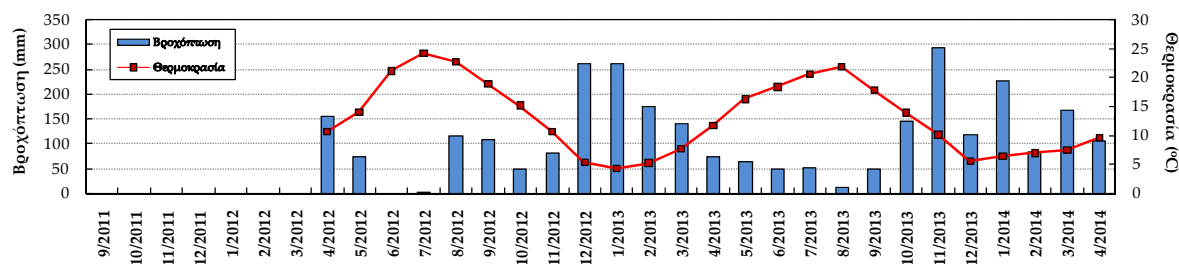
Κωδικός	1351
Εκκίνηση	16/03/2012
Λειτουργ.	
Γ. Μήκος	22.08 °
Γ. Πλάτος	37.55 °
Υψόμετρο	1094 m



#### Χρονοσειρές

Κωδ.	Μεταβλητή	Χρονικό Βήμα	Μονάδα Μέτρησης	Έναρξη	Λήξη
9197	Ταχύτητα ανέμου	Δέκα λεπτά	m/s	16/03/2012 14:40	30/04/2014 24:00
9195	Θερμοκρασία αέρα	Δέκα λεπτά	°C	16/03/2012 14:40	30/04/2014 24:00
9198	Σχετική υγρασία	Δέκα λεπτά	%	16/03/2012 14:40	30/04/2014 24:00
9196	Βροχόπτωση	Δέκα λεπτά	mm	16/03/2012 14:40	30/04/2014 24:00

#### Μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας και βροχόπτωσης



#### Μέγιστα βροχόπτωσης

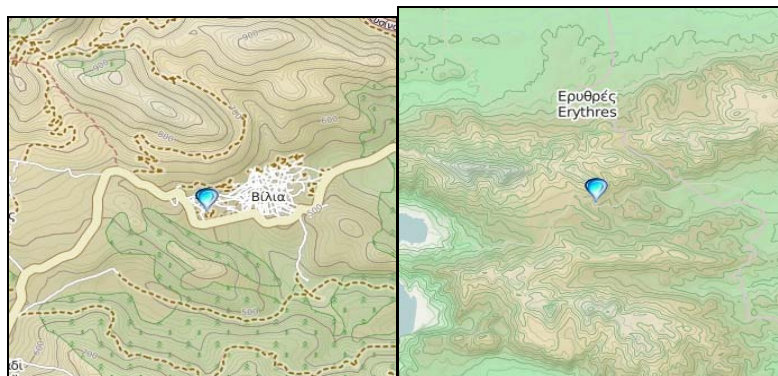
Κλίμακα	Ημερομηνία	Ύψος Υετού (mm)
<b>Ωριαία:</b>	11/08/2012	45.8
<b>24ωρη:</b>	15/09/2012	93.6

Δεν παρουσιάστηκε κάποιο πρόβλημα σε κάποιο από τα όργανα του σταθμού μέτρησης καθόλη τη διάρκεια λειτουργίας του.

### 3.4 Μετεωρολογικοί σταθμοί λεκάνης Σαρανταπόταμου

#### 3.4.1 Βίλια

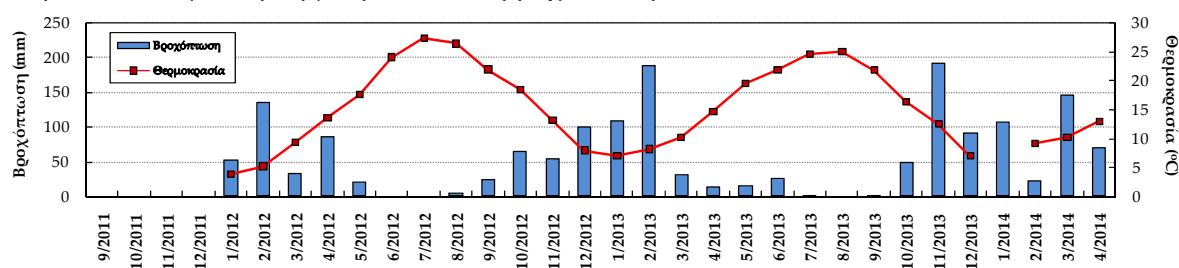
Κωδικός	1347
Εκκίνηση	12/12/2011
Λειτουργ.	
Γ. Μήκος	23.33 °
Γ. Πλάτος	38.16 °
Υψόμετρο	523 m



#### Χρονοσειρές

Κωδ.	Μεταβλητή	Χρονικό Βήμα	Μονάδα Μέτρησης	Έναρξη	Λήξη
9176	Ταχύτητα ανέμου	Δέκα λεπτά	m/s	12/12/2011 11:40	30/04/2014 24:00
9172	Θερμοκρασία αέρα	Δέκα λεπτά	°C	12/12/2011 11:40	30/04/2014 24:00
9174	Σχετική υγρασία	Δέκα λεπτά	%	12/12/2011 11:40	30/04/2014 24:00
9170	Βροχόπτωση	Δέκα λεπτά	mm	12/12/2011 11:40	30/04/2014 24:00

#### Μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας και βροχόπτωσης



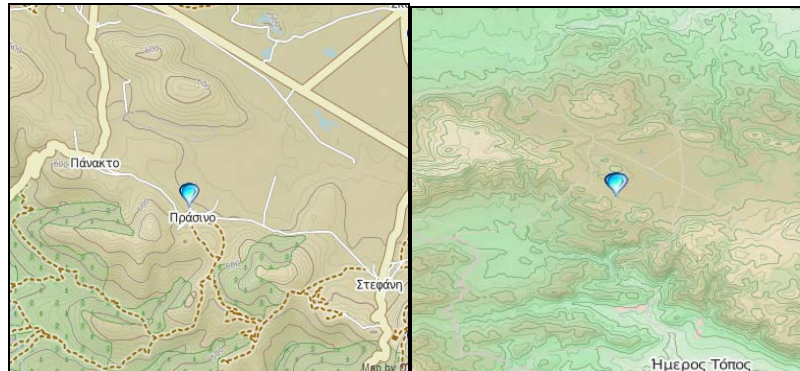
#### Μέγιστα βροχόπτωσης

Κλίμακα	Ημερομηνία	Ύψος Υετού (mm)
Ωριαία:	11/11/2013	25.4
24ωρη:	11/11/2013	98.4

Ο σταθμός δεν λειτουργήσε από τις 3/1/2014 έως 15/1/2014.

### 3.4.2 Πράσινο

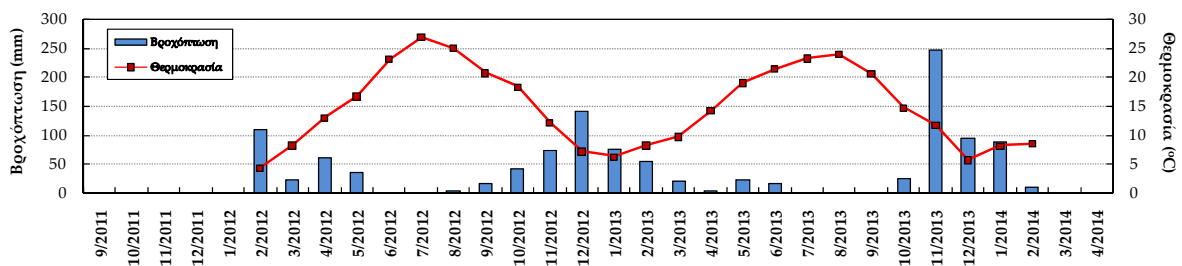
Κωδικός	1345
Εκκίνηση	12/12/2011
Λειτουργ.	
Γ. Μήκος	23.51 °
Γ. Πλάτος	38.18 °
Υψόμετρο	564 m



#### Χρονοσειρές

Κωδ.	Μεταβλητή	Χρονικό Βήμα	Μονάδα Μέτρησης	Έναρξη	Λήξη
9184	Ταχύτητα ανέμου	Δέκα λεπτά	m/s	17/1/2012 17:50	30/04/2014 24:00
9180	Θερμοκρασία αέρα	Δέκα λεπτά	°C	17/1/2012 17:50	30/04/2014 24:00
9182	Σχετική υγρασία	Δέκα λεπτά	%	17/1/2012 17:50	30/04/2014 24:00
9178	Βροχόπτωση	Δέκα λεπτά	mm	17/1/2012 17:50	30/04/2014 24:00

#### Μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας και βροχόπτωσης



#### Μέγιστα βροχόπτωσης

Κλίμακα	Ημερομηνία	Ύψος Υετού (mm)
<b>Ωριαία:</b>	29/11/2012	21.2
<b>24ωρη:</b>	29/12/2012	88.2

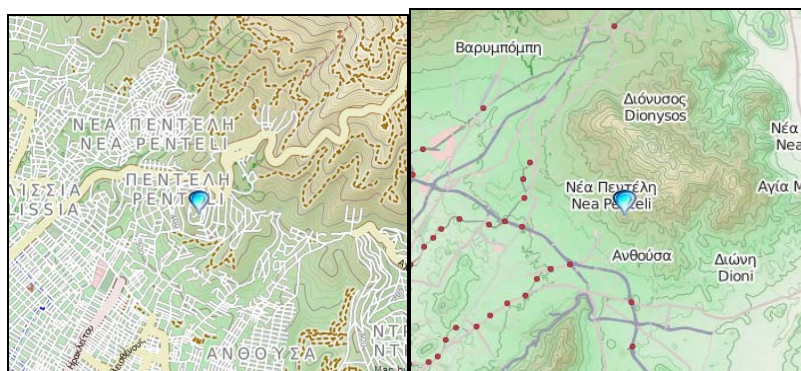
Λόγω προβλημάτων στο σύστημα συλλογής δεν καταγράφηκαν δεδομένα για την περίοδο 10/3/2014 έως 29/04/2014.



### 3.5 Μετεωρολογικοί σταθμοί λεκάνης ρέματος Χαλανδρίου

#### 3.5.1 Παλαιά Πεντέλη

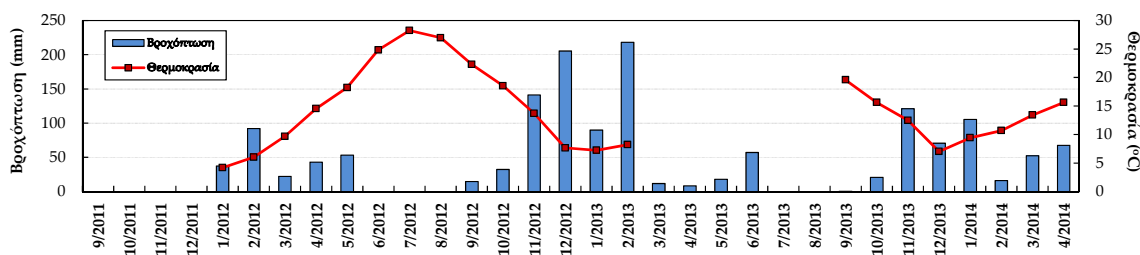
Κωδικός	1364
Εκκίνηση	11/12/2011
Λειτουργ.	
Γ. Μήκος	23.87 °
Γ. Πλάτος	38.05 °
Υψόμετρο	495 m



#### Χρονοσειρές

Κωδ.	Μεταβλητή	Χρονικό Βήμα	Μονάδα Μέτρησης	Έναρξη	Λήξη
9161	Βροχόπτωση	Δέκα λεπτά	mm	11/12/2011 16:30	30/04/2014 24:00
9220	Θερμοκρασία *	Δεκαπέντε λεπτά	°C	11/12/2011 16:45	30/04/2014 24:00

#### Μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας και βροχόπτωσης



#### Μέγιστα βροχόπτωσης

Κλίμακα	Ημερομηνία	Ύψος Υετού (mm)
<b>Ωριαία:</b>	22/02/2012	39.6
<b>24ωρη:</b>	21/02/2013	127.0

Λόγω βλάβης στον σταθ,η,ετρικός σταθμό δεν καταγράφηκαν δεδομένα θερμοκρασίας για το διάστημα 02/2013 έως 09/2013.

\* Η χρονοσειρά της θερμοκρασίας προέρχεται από το σταθμήμετρο που βρίσκεται στο Ρέμα Χαλανδρίου και όχι από το σταθμό του ΕΑΑ.

## 4 Επεξεργασίες βροχομετρικών δεδομένων

Οι επεξεργασίες των βροχομετρικών δεδομένων περιλαμβάνουν: α) την συμπλήρωση των ελλειπουσών τιμών των πρωτογενών χρονοσειρών, ώστε να παραχθούν πλήρεις χρονοσειρές ωριαίου χρονικού βήματος, και β) τον υπολογισμό της επιφανειακής βροχόπτωσης στις λεκάνες και υπολεκάνες ενδιαφέροντος, με τη μέθοδο των πολύγωνων Thiessen.

### 4.1 Συμπλήρωση ελλειπουσών τιμών

#### 4.1.1 Μεθοδολογία

Αρχικά, έγινε κανονικοποίηση του χρονικού βήματος των πρωτογενών μετρήσεων, ώστε να παραχθούν χρονοσειρές βροχόπτωσης σταθερής χρονικής διακριτικότητας, π.χ. 10 ή 15 min. Η διαδικασία αυτή ήταν αναγκαία καθώς σε ορισμένες περιπτώσεις υπήρξαν μικρές χρονικές αποκλίσεις στη μετάδοση των δεδομένων, με αποτέλεσμα την ακανόνιστη απόσταση μεταξύ των αντίστοιχων διαδοχικών τιμών. Στη συνέχεια, οι χρονοσειρές συναθροίστηκαν σε ωριαίο βήμα, θεωρώντας ωστόσο ότι αν λείπει έστω και μια τιμή της χαμηλότερης χρονικής κλίμακας, τότε η αντίστοιχη ωριαία τιμή θεωρείται κενή. Οι επεξεργασίες έγιναν με το λογισμικό Υδρογνώμων.

Επισημαίνεται ότι στους αυτόματους μετεωρολογικούς σταθμούς του δικτύου (Καλαμάτα – Νησάκι, Νέδουσα, Αλαγονία, Πολιανή, Αρφαρά, Δημητσάνα, Στεμνίτσα, Ελάτη, Λαγκάδια, Πράσινο, Βίλια), στους οποίους γίνεται εναλλαγή χειμερινής και θερινής ώρας, έγινε κατάλληλη χρονική μετατόπιση των δεδομένων της θερινής περιόδου ώστε να είναι συνεπή με τα δεδομένα των απλών βροχομετρικών σταθμών (Λατομείο Μπάκα, Γέφυρα Καρβελίου, Παλαιά Πεντέλη), που καταγράφουν μόνο τη χειμερινή ώρα.

Για την συμπλήρωση των ελλειπουσών τιμών των ωριαίων χρονοσειρών βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό φύλλο MS Excel. Αρχικά, συμπληρώθηκαν οι μηδενικές τιμές που αναφέρονται σε χρονικά βήματα (ώρες) κατά τα οποία σε κανέναν σταθμό της λεκάνης δεν έχει καταγραφεί βροχόπτωση. Ακολούθως, για κάθε βροχομετρικό σταθμό υπολογίστηκαν οι συντελεστές ετεροσυσχέτισης με όλους τους υπόλοιπους σταθμούς της λεκάνης, ώστε να επιλεγθούν τα καλύτερα συσχετισμένα δείγματα, με βάση τα οποία θα γίνουν οι συμπληρώσεις των μη μηδενικών τιμών. Ο συντελεστής ετεροσυσχέτισης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$r_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^n (x_{it} - \mu_i)(x_{jt} - \mu_j)}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (x_{it} - \mu_i)^2 \sum_{t=1}^n (x_{jt} - \mu_j)^2}} \quad (4.1)$$

όπου  $x_{it}$  και  $x_{jt}$  οι τιμές του ωριαίου ύψους βροχής των σταθμών  $i$  και  $j$  στο χρονικό βήμα  $t$ , και  $\mu_i, \mu_j$  οι αντίστοιχες μέσες τιμές τους. Επισημαίνεται ότι η εκτίμηση των μέσων τιμών αναφέρεται στην κοινή περίοδο δεδομένων των δύο δειγμάτων.

Κατά κανόνα, για τις συμπληρώσεις των κενών τιμών εφαρμόστηκε η σχέση:

$$x_{it} = (\mu_i / \mu_j) x_{jt} \quad (4.2)$$

Η παραπάνω σχέση χρησιμοποιεί ως συντελεστή αναγωγής τον λόγο των μέσων τιμών των δύο χρονοσειρών,  $\mu_i / \mu_j$ . Για τον υπολογισμό των  $\mu_i$  και  $\mu_j$  ελήφθησαν υπόψη τα δείγματα της κοινής, αποκλειστικά, περιόδου δεδομένων κάθε ζεύγους σταθμών, κατ' αντιστοιχία με την εκτίμηση του αντίστοιχου συντελεστή ετεροσυσχέτισης  $r_{ij}$ . Με την παραπάνω διαδικασία εξασφαλίζεται ότι σε περίπτωση μηδενικής βροχόπτωσης στον σταθμό βάσης  $j$  προκύπτει μηδενικό, επίσης, ύψος βροχής και στον σταθμό  $i$ .

Στις ορισμένες περιπτώσεις, όταν οι συσχετίσεις με μεμονωμένους σταθμούς ήταν γενικά χαμηλές, και προκειμένου να εξασφαλιστούν βελτιωμένες εκτιμήσεις του ύψους βροχής στον προς συμπλήρωση σταθμό, θεωρήθηκαν σχέσεις πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης ως προς δύο ανεξάρτητες μεταβλητές, της μορφής:

$$x_{it} = \alpha_{ij} x_{jt} + \alpha_{ik} x_{kt} \quad (4.3)$$

όπου η εκτίμηση των συντελεστών  $\alpha_{ij}$  και  $\alpha_{ik}$  γίνεται με γνωστές σχέσεις της στατιστικής (π.χ. Κουτσογιάννης, 1997). Στην περίπτωση αυτή, προκύπτει μηδενική βροχόπτωση μόνο εφόσον η καταγεγραμμένη βροχόπτωση είναι μηδενική και στους δύο σταθμούς βάσης,  $j$  και  $k$ .

#### 4.1.2 Λεκάνη απορροής Νέδοντα

Για τις συμπληρώσεις των ελλειπουσών τιμών των βροχομετρικών σταθμών της λεκάνης χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα έξι από τους οκτώ βροχομετρικούς σταθμούς. Δεν ελήφθησαν υπόψη ο σταθμός στα Αρφαρά, ο οποίος βρίσκεται εκτός της λεκάνης και δεν χρησιμοποιείται στον υπολογισμό της επιφανειακής βροχόπτωσης, και στο Τουριστικό Ταυγέτου, που όπως αναφέρθηκε στο εδάφιο 3.2.8 κρίθηκε αναξιόπιστος. Ο συγκεκριμένος σταθμός, ο οποίος ανήκει σε ιδιώτη, καταγράφει πολύ χαμηλότερη βροχόπτωση σε σχέση με τους υπόλοιπους ορεινούς σταθμούς της λεκάνης, το οποίο οφείλεται σε κακή τοποθέτηση του οργάνου αλλά και στην αδυναμία καταγραφής σε περίπτωση χιονόπτωσης. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι ο λόγος της μέσης ωριαίας βροχόπτωσης που καταγράφηκε στο Τουριστικό Ταυγέτου προς τη μέση τιμή του εγγύτερου βροχομετρικού σταθμού (Γέφυρα Καρβελίου) είναι μόλις 0.42.

Στον Πίνακα 4.1 δίνονται οι συντελεστές ετεροσυσχέτισης των έξι βροχομετρικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν, σε ωριαία χρονική κλίμακα. Ακόμη, στον Πίνακα 4.2 δίνονται τα στοιχεία για τον προσδιορισμό του λόγου των μέσων τιμών, σύμφωνα με τη σχέση αναγωγής (4.1). Τονίζεται ότι σε ορισμένα ζεύγη σταθμών εφαρμόστηκε η σχέση και με τον αντίστροφο λόγο, όταν δηλαδή ο προς συμπλήρωση σταθμός χρησιμοποιήθηκε ως σταθμός βάσης. Επισημαίνεται ακόμη ότι οι ίδιες σχέσεις αναγωγής εφαρμόστηκαν και για τις συμπληρώσεις των κενών τιμών βροχόπτωσης στη δεκάλεπτη κλίμακα, στην οποία έγιναν οι αναλύσεις των πλημμυρικών επεισοδίων των υπολεκάνων ανάντη των υδρομετρικών σταθμών Αλαγονίας και Γ. Καρβελίου.

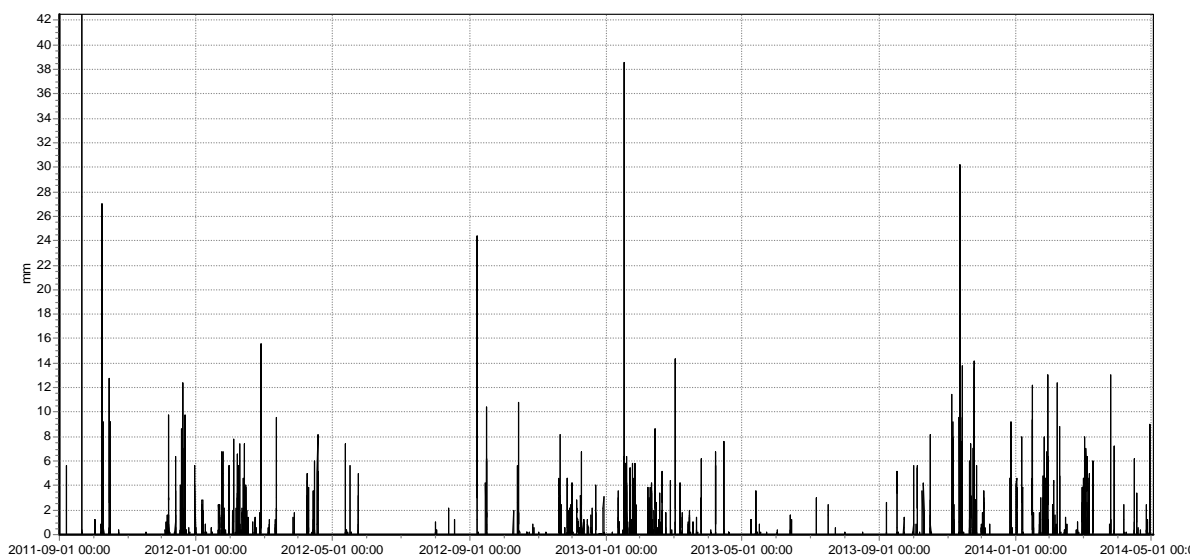
Οι τελικές χρονοσειρές των σημειακών ωριαίων βροχοπτώσεων στους έξι σταθμούς καλύπτουν τη περίοδο από 1/9/2011 έως 1/5/2014. Στο Σχήμα 4.1 απεικονίζεται η εν λόγω χρονοσειρά στον βροχομετρικό σταθμό του Λατομείου Μπάκα. Οι ωριαίες χρονοσειρές χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της επιφανειακής βροχόπτωσης στις υπολεκάνες του Νέδοντα, που με τη σειρά τους αποτελούν δεδομένο εισόδου του μοντέλου συνεχούς υδρολογικής προσομοίωσης, το οποίο προσαρμόστηκε στη λεκάνη. Στον Πίνακα 4.3 δίνονται οι μηνιαίες τιμές ύψους βροχόπτωσης, μετά από τη συμπλήρωση των ωριαίων χρονοσειρών και συνάθροισή τους σε ημερήσιο, αρχικά, και μηνιαίο, εν συνεχεία, χρονικό βήμα.

Πίνακας 4.1: Συντελεστές ετεροσυσχέτισης πρωτογενών χρονοσειρών ωριαίας βροχόπτωσης σταθμών λεκάνης Νέδοντα.

	Λ. Μπάκα	Νέδουσα	Γέφ. Καρβελίου	Αλαγονία	Πολιανή	Νησάκι
Λ. Μπάκα		0.624	0.672	0.603	0.515	0.819
Νέδουσα	0.624		0.732	0.774	0.507	0.580
Γέφ. Καρβελίου	0.672	0.732		0.842	0.463	0.631
Αλαγονία	0.603	0.774	0.842		0.499	0.592
Πολιανή	0.515	0.507	0.463	0.499		0.484
Νησάκι	0.819	0.580	0.631	0.592	0.484	

Πίνακας 4.2: Δεδομένα για τον προσδιορισμό του λόγου των μέσων τιμών για την κοινή περίοδο δεδομένων των ζευγών σταθμών της λεκάνης Νέδοντα, σύμφωνα με τη σχέση (4.3).

Σταθμός $i$	Σταθμός $j$	$r_{ij}$	$\mu_i$ (mm)	$\mu_j$ (mm)	$\mu_i / \mu_j$	$\mu_j / \mu_i$
Λατομείο Μπάκα	Νησάκι	0.819	0.109	0.109	1.00	1.00
Νέδουσα	Αλαγονία	0.774	0.205	0.170	1.20	0.83
Νέδουσα	Γέφ. Καρβελίου	0.732	0.160	0.174	0.92	1.09
Νέδουσα	Νησάκι	0.580	0.186	0.122	1.53	0.66
Γέφ. Καρβελίου	Αλαγονία	0.842	0.200	0.151	1.33	0.75
Γέφ. Καρβελίου	Νησάκι	0.631	0.174	0.108	1.60	0.62
Γέφ. Καρβελίου	Μπάκας	0.672	0.174	0.102	1.70	0.59
Αλαγονία	Νησάκι	0.592	0.170	0.131	1.30	0.77
Αλαγονία	Πολιανή	0.499	0.166	0.214	0.78	1.29
Πολιανή	Λατομείο Μπάκα	0.515	0.217	0.115	1.88	0.53
Πολιανή	Νέδουσα	0.507	0.217	0.182	1.19	0.84



Σχήμα 4.1: Χρονοσειρά ωριαίας βροχόπτωσης στον σταθμό Λατομείο Μπάκα, μετά από συμπλήρωση των ελλειπουσών τιμών.



Πίνακας 4.3: Μηνιαίες χρονοσειρές ύψους βροχόπτωσης σταθμών λεκάνης Νέδοντα, μετά από συμπλήρωση των πρωτογενών ωριαίων δειγμάτων. Με πλάγια γράμματα απεικονίζονται οι τιμές του μήνα που έχουν συμπληρωθεί σε ποσοστό >20%.

<b>Μήνας</b>	<b>Μπάκας</b>	<b>Νέδουσα</b>	<b>Καρβελιώτης</b>	<b>Αλαγονία</b>	<b>Πολιανή</b>	<b>Νησάκι</b>
Σεπ-11	76.5	117.0	122.4	99.6	139.4	76.5
Οκτ-11	172.2	263.0	275.4	224.7	314.0	172.2
Νοε-11	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2
Δεκ-11	193.0	316.0	343.8	263.1	376.5	190.6
Ιαν-12	99.8	225.2	245.2	187.8	267.2	92.8
Φεβ-12	222.6	316.6	421.2	322.6	376.2	252.6
Μαρ-12	43.6	61.2	49.0	38.5	72.6	39.8
Απρ-12	89.6	128.8	168.8	128.8	153.4	91.0
Μαϊ-12	26.4	39.2	30.4	23.6	46.3	20.8
Ιουν-12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ιουλ-12	0.0	4.4	7.2	5.4	5.2	0.0
Αυγ-12	5.2	22.8	21.2	16.2	27.1	39.6
Σεπ-12	71.8	68.8	81.6	62.2	81.9	94.0
Οκτ-12	27.6	62.0	27.6	26.4	43.2	30.4
Νοε-12	71.0	70.5	70.2	56.8	133.4	82.2
Δεκ-12	132.0	202.4	233.4	200.6	253.8	142.6
Ιαν-13	248.6	359.4	523.5	470.0	425.8	248.6
Φεβ-13	134.4	217.1	270.8	203.2	192.8	134.4
Μαρ-13	85.6	160.6	196.2	133.9	44.4	91.2
Απρ-13	32.2	51.0	66.6	42.6	52.4	28.6
Μαϊ-13	12.8	65.4	72.6	43.4	103.0	9.0
Ιουν-13	5.4	16.6	17.6	14.0	17.0	3.8
Ιουλ-13	8.6	45.4	27.2	33.0	93.8	7.4
Αυγ-13	0.4	18.7	38.0	17.8	58.6	1.0
Σεπ-13	16.4	38.3	34.6	18.5	75.8	13.6
Οκτ-13	62.2	54.8	82.8	54.6	52.8	58.4
Νοε-13	340.6	478.6	403.2	295.0	544.2	310.8
Δεκ-13	87.2	173.2	161.4	123.8	133.6	79.8
Ιαν-14	234.6	251.7	340.0	243.8	299.1	206.8
Φεβ-14	95.0	252.5	136.2	114.0	299.3	63.8
Μαρ-14	176.2	252.1	247.0	151.4	298.9	175.2
Απρ-14	37.2	109.4	75.2	47.4	129.3	53.2

#### 4.1.3 Λεκάνη απορροής Λούσιου

Στη λεκάνη του Λούσιου λειτουργούν τέσσερις μετεωρολογικοί σταθμοί, δεκάλεπτης χρονικής διακριτότητας. Οι συμπληρώσεις των κενών τιμών τους έγινε με τη μέθοδο των λόγων των μέσων τιμών (εξ. 4.2), χρησιμοποιώντας κάθε φορά, κατά προτεραιότητα, ως σταθμό βάσης αυτόν που εμφανίζει την υψηλότερη ετεροσυσχέτιση με τον προς συμπλήρωση σταθμό. Οι συντελεστές συσχέτισης, σε δεκάλεπτη κλίμακα, δίνονται στον Πίνακα 4.4. Παρατηρείται ότι οι εν λόγω συντελεστές είναι γενικά χαμηλοί, το οποίο αποδίδεται αφενός στην έντονη χωρική

μεταβλητότητα της βροχόπτωσης αλλά και σε πιθανά σφάλματα που οφείλονται στην επίδραση της χιονόπτωσης κατά τη χειμερινή περίοδο.

Πίνακας 4.4: Συντελεστές ετεροσυσχέτισης πρωτογενών χρονοσειρών δεκάλεπτης βροχόπτωσης σταθμών λεκάνης Λούσιου.

	Ελάτη	Λαγκάδια	Στεμνίτσα	Δημητσάνα
Ελάτη		0.33	0.41	0.25
Λαγκάδια	0.33		0.30	0.34
Στεμνίτσα	0.41	0.30		0.30
Δημητσάνα	0.25	0.34	0.30	

#### 4.1.4 Λεκάνη απορροής Σαρανταπόταμου

Στη λεκάνη αυτή χρησιμοποιήθηκε, εκτός από τα δείγματα των σταθμών Βίλια και Πράσινο, και το δείγμα του αυτόματου μετεωρολογικού σταθμού Μάνδρας, που λειτουργεί υπό την εποπτεία του Υδρολογικού Παρατηρητηρίου της Αθήνας ([www.hoa.ntua.gr](http://www.hoa.ntua.gr)) Στον Πίνακα 4.5 δίνονται οι συντελεστές ετεροσυσχέτισης των παραπάνω βροχομετρικών σταθμών, σε ωριαία χρονική κλίμακα, καθώς τα στοιχεία για τον προσδιορισμό του λόγου των μέσων τιμών, σύμφωνα με τη σχέση αναγωγής (4.1). Σημειώνεται ότι στον σταθμό Πράσινο, όπου ήταν εφικτό, οι ελλείπουσες τιμές βροχόπτωσης συμπληρώθηκαν κατά προτεραιότητα με βάση την σχέση παλινδρόμησης:

$$P_{\text{ΠΡΑΣΙΝΟ}} = 0.327 \times P_{\text{ΒΙΛΙΑ}} + 0.638 \times P_{\text{ΜΑΝΔΡΑ}} \quad (4.4)$$

Ο συντελεστής συσχέτισης της παραπάνω σχέσης είναι 0.567, δεν υπερβαίνει δηλαδή τον συντελεστή συσχέτισης Πράσινου-Μάνδρας (0.587) και Πράσινου-Βιλίων (0.569). Ωστόσο, το σημαντικό του πλεονέκτημα είναι η ταυτόχρονη αξιοποίηση των δύο δειγμάτων, που παρέχει ασφαλέστερη (σταθμισμένη) εκτίμηση της βροχόπτωσης στο Πράσινο, όταν στον έναν από τους δύο άλλους σταθμούς της λεκάνης δεν καταγράφεται καθόλου βροχόπτωση. Η παραπάνω σχέση χρησιμοποιήθηκε και για την εκτίμηση των υψών βροχής του Φεβρουαρίου 2013. Τον μήνα αυτό παρατηρήθηκαν έντονα πλημμυρικά επεισόδια στη λεκάνη, ωστόσο τα ύψη βροχής που κατέγραψε ο σταθμός στο Πράσινο ήταν υπερβολικά χαμηλά, συγκριτικά με τις καταγραφές στα Βίλια και τη Μάνδρα.

Οι τελικές χρονοσειρές των σημειακών ωριαίων βροχοπτώσεων στους τρεις σταθμούς της λεκάνη καλύπτουν τη περίοδο από 1/10/2011 έως 1/5/2014. Κατ' αντιστοιχία με την περίπτωση του Νέδοντα, οι ωριαίες χρονοσειρές χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της επιφανειακής βροχόπτωσης στις υπολεκάνες του Σαρανταπόταμου, που αποτέλεσαν δεδομένο εισόδου του μοντέλου συνεχούς υδρολογικής προσομοίωσης που προσαρμόστηκε στη λεκάνη. Στον Πίνακα 4.6 δίνονται οι μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης στους εν λόγω σταθμούς, μετά από τη συμπλήρωση των ωριαίων χρονοσειρών και συνάθροισή τους σε ημερήσιο και μηνιαίο χρονικό βήμα.

Πίνακας 4.5: Δεδομένα για τον προσδιορισμό του λόγου των μέσων τιμών για την κοινή περίοδο δεδομένων των ζευγών σταθμών της λεκάνης Σαρανταπόταμου, σύμφωνα με τη σχέση (4.1).

Σταθμός $i$	Σταθμός $j$	$r_{ij}$	$\mu_i$ (mm)	$\mu_j$ (mm)	$\mu_i / \mu_j$	$\mu_j / \mu_i$
Μάνδρα	Πράσινο	0.587	0.071	0.071	1.01	0.99
Μάνδρα	Βίλια	0.485	0.078	0.086	0.91	1.10
Βίλια	Πράσινο	0.569	0.082	0.071	1.17	0.86

Πίνακας 4.6: Μηνιαίες χρονοσειρές ύψους βροχόπτωσης σταθμών λεκάνης Νέδοντα, μετά από συμπλήρωση των πρωτογενών ωριαίων δειγμάτων. Με πλάγια γράμματα απεικονίζονται οι τιμές του μήνα που έχουν συμπληρωθεί σε ποσοστό >20%.

Μήνας	Μάνδρα	Πράσινο	Βίλια	Μήνας	Μάνδρα	Πράσινο	Βίλια
Οκτ-11	60.1	55.2	66.1	Φεβ-13	109.1	101.5	188.8
Νοε-11	28.3	26.0	31.1	Μαρ-13	16.5	21.6	30.4
Δεκ-11	135.9	125.0	106.1	Απρ-13	3.3	5.0	12.6
Ιαν-12	71.7	65.3	51.4	Μαϊ-13	14.7	24.0	14.4
Φεβ-12	158.4	110.0	134.2	Ιουν-13	84.5	17.6	24.8
Μαρ-12	32.6	24.0	32.0	Ιουλ-13	0.0	0.2	1.0
Απρ-12	51.4	60.6	85.8	Αυγ-13	0.0	0.0	0.0
Μαϊ-12	46.1	35.2	20.6	Σεπ-13	0.0	0.8	0.4
Ιουν-12	0.0	0.0	0.0	Οκτ-13	27.1	24.8	47.6
Ιουλ-12	0.0	0.0	0.0	Νοε-13	147.8	246.8	192.4
Αυγ-12	10.4	4.8	3.8	Δεκ-13	82.7	95.6	91.4
Σεπ-12	7.1	17.0	24.2	Ιαν-14	98.0	88.4	106.4
Οκτ-12	55.3	56.6	63.8	Φεβ-14	21.8	11.8	22.0
Νοε-12	99.3	112.4	104.3	Μαρ-14	87.7	88.7	146.0
Δεκ-12	127.4	141.4	171.8	Απρ-14	47.5	40.1	69.2
Ιαν-13	98.7	78.2	109.2				

## 4.2 Παραγωγή χρονοσειρών επιφανειακής βροχόπτωσης

### 4.2.1 Μεθοδολογία

Η επιφανειακή βροχόπτωση αποτελεί στοιχείο εισόδου τόσο των μοντέλων γεγονότος, που εφαρμόστηκαν για την αναπαράσταση επιλεγμένων πλημμυρικών επεισοδίων των πιλοτικών λεκανών, όσο και του μοντέλου συνεχούς προσομοίωσης Υδρογείας, που χρησιμοποιήθηκε για την αναπαράσταση του υδρολογικού κύκλου στις λεκάνες Νέδοντα και Σαρανταπόταμου, και στο πλαίσιο της υδρομετεωρολογικής πρόγνωσης (Ευστρατιάδης κ.ά., 2014α, β). Στις αναλύσεις απαιτήθηκε κατάτμηση των λεκανών σε υπολεκάνες, σε κάθε μία από τις οποίες εκτιμήθηκε η επιφανειακή βροχόπτωση σε μορφή είτε πλήρους χρονοσειράς ή μεμονωμένου επεισοδίου.

Ο υπολογισμός της επιφανειακής βροχόπτωσης των λεκανών και υπολεκανών ενδιαφέροντος βασίστηκε στα σημειακά δείγματα των βροχομετρικών σταθμών της αντίστοιχης περιοχής. Η χωρική ολοκλήρωση των σημειακών δειγμάτων έγινε με τη μέθοδο των πολυγώνων Thiessen. Για κάθε λεκάνη ή υπολεκάνη της υπολογίστηκαν τα εμβαδά επιρροής κάθε σταθμού,  $A_i$ , και τα αντίστοιχα ποσοστά,  $w_i = A_i / A$ , όπου  $A$  η συνολική έκταση της λεκάνης (ή υπολεκάνης). Η χάραξη των πολυγώνων και οι υπολογισμοί των επιφανειών έγιναν με τη χρήση Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας. Η χωρική ολοκλήρωση έγινε σταθμίζοντας τα επιμέρους σημειακά δείγματα βροχής, με βάση τα εν λόγω ποσοστά (συντελεστές Thiessen), δηλαδή:

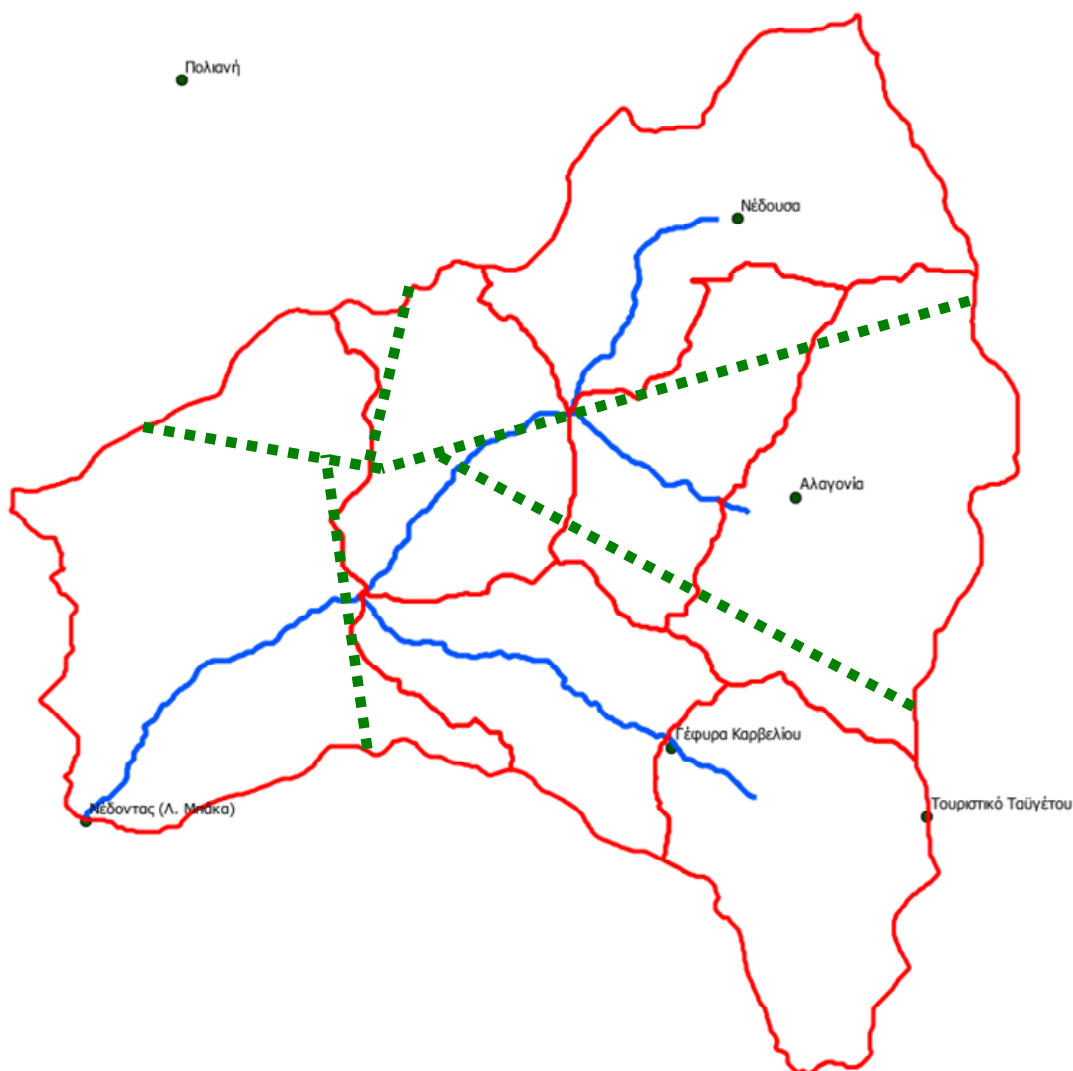
$$P_t = \sum_{i=1}^n w_i P_{it} \quad (4.5)$$

όπου  $P_t$  η εκτίμηση της επιφανειακής βροχόπτωσης στο χρονικό βήμα  $t$  και  $P_{it}$  η σημειακή τιμή της στον σταθμό  $i$ .

#### 4.2.2 Λεκάνη Νέδοντα

Για τις ανάγκες του μοντέλου υδρολογικής προσομοίωσης, η λεκάνη του Νέδοντα διαχωρίστηκε σε επτά υπολεκάνες, όπως φαίνεται στον χάρτη του Σχήματος 4.2. Ο διαχωρισμός αυτός με βάση τους κόμβους συμβολής του κύριου υδρογραφικού δικτύου και τους τρεις υδρομετρικούς σταθμούς της λεκάνης (Γέφυρα Καρβελίου και Αλαγονία – Νερόμυλος Ρεντίφη, ανάντη, και Λατομείο Μπάκα, κατόντη).

Για την εκτίμηση της επιφανειακής βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκαν οι σημειακές χρονοσειρές των βροχομετρικών σταθμών Λατομείου Μπάκα, Γέφυρας Καρβελίου, Αλαγονίας, Νέδουσας και Πολιανής, για τους οποίους χαράχθηκαν τα πολύγωνα Thiessen και υπολογίστηκαν τα εμβαδά επιρροής σε κάθε υπολεκάνη. Οι τιμές των εμβαδών και των αντίστοιχων συντελεστών δίνονται στους Πίνακες 4.7 και 4.8, αντίστοιχα.



Σχήμα 4.2: Υπολεκάνες Νέδοντα και χάραξη πολύγωνων Thiessen, με βάση τους βροχομετρικούς σταθμούς Λ. Μπάκα, Γ. Καρβελίου, Αλαγονίας, Νέδουσας και Πολιανής.

Πίνακας 4.7: Εμβαδά επιρροής βροχομετρικών σταθμών λεκάνης Νέδοντα (km<sup>2</sup>).

Υπολεκάνη	Λ. Μπάκα	Νέδουσα	Γ. Καρβελίου	Αλαγονία	Πολιανή	Σύνολο
Ανάτη Νέδουσας		19.5				<b>19.5</b>
Κατάτη Νέδουσας		3.8	4.6	2.7	1.4	<b>12.5</b>
Κατάτη Αλαγονίας		2.5	1.0	7.4		<b>10.9</b>
Ανάτη Αλαγονίας		1.4	3.0	16.3		<b>20.7</b>
Ανάτη Λ. Μπάκα	21.0		2.0		5.0	<b>28.0</b>
Κατάτη Καρβελίου			11.8			<b>11.8</b>
Ανάτη Καρβελίου			14.9			<b>14.9</b>
<b>Σύνολο λεκάνης</b>	<b>21.0</b>	<b>27.2</b>	<b>37.4</b>	<b>26.4</b>	<b>6.4</b>	<b>118.4</b>

Πίνακας 4.8: Συντελεστές Thiessen βροχομετρικών σταθμών λεκάνης Νέδοντα.

Υπολεκάνη	Λ. Μπάκα	Νέδουσα	Γ. Καρβελίου	Αλαγονία	Πολιανή
Ανάτη Νέδουσας		1.00			
Κατάτη Νέδουσας		0.30	0.37	0.22	0.11
Κατάτη Αλαγονίας		0.23	0.09	0.68	
Ανάτη Αλαγονίας		0.07	0.14	0.79	
Ανάτη Λ. Μπάκα	0.75		0.07		0.18
Κατάτη Καρβελίου			1.00		
Ανάτη Καρβελίου			1.00		
<b>Σύνολο λεκάνης</b>	<b>0.18</b>	<b>0.23</b>	<b>0.32</b>	<b>0.22</b>	<b>0.05</b>

#### 4.2.3 Λεκάνη Λούσιου

Στη λεκάνη του Λούσιου η επιφανειακή βροχόπτωση υπολογίστηκε συγκεντρωτικά, δηλαδή στο σύνολο της λεκάνης και όχι σε επιμέρους υπολεκάνες της. Για την αναγωγή των σημειακών υψών βροχής, εφαρμόστηκαν οι συντελεστές επιρροής του Πίνακα 4.9, που αναφέρονται σε διάφορους συνδυασμούς των πέντε σταθμών της ευρύτερης περιοχής, ανάλογα με το ποιο ήταν σε λειτουργία την αντίστοιχη χρονική περίοδο.

Πίνακας 4.9: Συντελεστές Thiessen βροχομετρικών σταθμών λεκάνης Λούσιου για διάφορους συνδυασμούς σταθμών σε λειτουργία.

	Ελάτη	Λαγκάδια	Βυτίνα	Στεμνίτσα	Δημητσάνα
<b>Συνδυασμός 1</b>	-	0.15	0.05	0.42	0.38
<b>Συνδυασμός 2</b>	0.18	0.13	-	0.38	0.31
<b>Συνδυασμός 3</b>	0.38	-	-	0.62	-

#### 4.2.4 Λεκάνη Σαρανταπόταμου

Για τις ανάγκες του μοντέλου υδρολογικής προσομοίωσης, η λεκάνη του Σαρανταπόταμου διαχωρίστηκε σε πέντε υπολεκάνες, που απεικονίζονται στον χάρτη του Σχήματος 4.3. Ο διαχωρισμός αυτός με βάση τους κόμβους συμβολής του κύριου υδρογραφικού δικτύου και τους δύο υδρομετρικούς σταθμούς της λεκάνης (Γύρα Στεφάνης – κατάτη, και Οινόη – ανάτη). Στον ίδιο χάρτη απεικονίζονται οι τιμές των συντελεστών Thiessen που εφαρμόστηκαν για την επιφανειακή αναγωγή των σημειακών βροχοπτώσεων των σταθμών Μάνδρας, Πράσινου και Βιλίων ως προς τις πέντε υπολεκάνες.



Σχήμα 4.3: Υπολεκάνες Σαρανταπόταμου και χάραξη πολυγώνων Thiessen, με βάση τους βροχομετρικούς σταθμούς Μάνδρας, Πράσινου και Βιλίων.

#### 4.2.5 Λεκάνη ρέματος Χαλανδρίου

Η επιφανειακή βροχόπτωση εκτιμήθηκε με βάση τα βροχομετρικά δεδομένα δύο σταθμών, συγκεκριμένα της Νέας Πεντέλης, με συντελεστή βάρους 0.36, και της Παλαιάς Πεντέλης, με συντελεστή βάρους 0.64.

## 5 Εκτίμηση δυνητικής εξατμοδιαπνοής

---

### 5.1 Σκοπός και μεθοδολογία

Η δυνητική εξατμοδιαπνοή αποτελεί δεδομένο εισόδου των υδρολογικών μοντέλων συνεχούς προσομοίωσης, και εκφράζει τη θεωρητική ζήτηση της λεκάνης σε νερό που καταναλώνεται σε απώλειες εξάτμισης από το έδαφος καθώς και από μόνιμες ή περιστασιακές υδάτινες επιφάνειες, και σε απώλειες λόγω των διεργασιών διαπνοής των φυτών. Στα μοντέλα αυτά, η δυνητική εξατμοδιαπνοή χρησιμοποιείται ως άνω όριο για την εκτίμηση της πραγματικής εξατμοδιαπνοής.

Στο πλαίσιο του έργου Δευκαλίων, αναπτύχθηκε το υπολογιστικό σύστημα Υδρόγειος με σκοπό την υδρολογική προσομοίωση δύο πιλοτικών λεκανών απορροής (Νέδοντας, Σαρανταπόταμος). Η Υδρόγειος βασίζεται σε μια ημικατανεμημένη σχηματοποίηση της λεκάνης απορροής, με εισόδους τις χρονοσειρές επιφανειακής βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμοδιαπνοής κάθε υπολεκάνης, σε ωριαία χρονική κλίμακα (Ευστρατιάδης κ.ά., 2014β).

Για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμοδιαπνοής σε ημερήσια κλίμακα, εφαρμόστηκε μια παραμετρική μέθοδος που χρησιμοποιεί ως στοιχεία εισόδου την εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία, και κάποιες παραμέτρους που έχουν εκτιμηθεί με ανάλυση ενός μεγάλου αριθμού μετεωρολογικών δεδομένων στην Ελλάδα (Τέγος 2007· Tegos *et al.*, 2013). Η εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία είναι θεωρητικό μέγεθος που εξαρτάται από το γεωγραφικό πάτος και την εποχή, ενώ η θερμοκρασία εκτιμάται με βάση επίγειες παρατηρήσεις από μετεωρολογικούς σταθμούς. Συνεπώς, για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτήθηκε η εκτίμηση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας κάθε υπολεκάνης, με βάση τις σημειακές μετρήσεις θερμοκρασίας από το δίκτυο των μετεωρολογικών σταθμών της ευρύτερης λεκάνης. Στη συνέχεια, για τον ωριαίο επιμερισμό της ημερήσιας δυνητικής εξατμοδιαπνοής σε ωριαία θεωρήθηκε η στοιχειώδης προσέγγιση κατανομής του ημερήσιου ύψους δυνητικής εξατμοδιαπνοής σε 24 ίσες ωριαίες τιμές. Τονίζεται ότι μια τέτοια προσέγγιση είναι επαρκής για μοντέλα συνεχούς υδρολογικής προσομοίωσης, στα οποία η ενδοημερήσια χρονική κατανομή της δυνητικής εξατμοδιαπνοής επηρεάζει ελάχιστα τις εκτιμήσεις του υδατικού ισοζυγίου, και ειδικότερα την προσομοίωση των πλημμυρικών γεγονότων, στα οποία τα ωριαία ύψη δυνητικής εξατμοδιαπνοής είναι πολύ μικρότερα σε σχέση με τα αντίστοιχα ύψη βροχόπτωσης.

Στη συνέχεια περιγράφονται, συνοπτικά, το θεωρητικό υπόβαθρο της παραμετρικής μεθόδου εκτίμησης της δυνητικής εξατμοδιαπνοής, οι επεξεργασίες των πρωτογενών μετρήσεων ωριαίας θερμοκρασίας (έλεγχοι, συμπληρώσεις), και η διαδικασία εκτίμησης των χρονοσειρών μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και ημερήσιας δυνητικής εξατμοδιαπνοής στις λεκάνες ενδιαφέροντος.

### 5.2 Μεθοδολογία εκτίμησης δυνητικής εξατμοδιαπνοής

#### 5.2.1 Φυσικό πλαίσιο εξάτμισης

Η εξάτμιση μπορεί να θεωρηθεί τόσο ως διεργασία ανταλλαγής θερμότητας (δηλαδή ως ισοζύγιο ενέργειας) όσο και ως αεροδυναμική διεργασία.

Στην ενεργειακή προσέγγιση, η καθαρή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης,  $R_n$ , ισούται με τη διαφορά της ηλιακής ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος,  $S_n$ , και την γήινης υπέρυθρης, μεγάλου μήκους κύματος, ακτινοβολίας,  $L_n$ . Το μεγαλύτερο μέρος της ποσότητας αυτής μετασχηματίζεται σε λανθάνουσα θερμότητα,  $A$ , η οποία απαιτείται για την εξάτμιση του νερού, και σε αισθητή θερμότητα,  $H$ , μέσω των μηχανισμών αγωγής και κατακόρυφης μεταφοράς. Αγνοώντας τις υπόλοιπες, περιορισμένης σημασίας, συνιστώσες του ενεργειακού ισοζυγίου, όπως η ροή θερμότητας από το έδαφος, προκύπτει:

$$S_n - L_n = A + H \quad (5.1)$$

Η καθαρή ακτινοβολία βραχέων κυμάτων,  $S_n$ , δηλαδή η ενέργεια που προσλαμβάνεται από τον ήλιο, εξαρτάται από την ροή ηλιακής ενέργειας στο όριο της ατμόσφαιρας σε παράλληλο με την επιφάνεια της γης επίπεδο, που συνήθως αναφέρεται ως εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία,  $S_0$ . Σε ημερήσια κλίμακα, η τελευταία είναι αστρονομικό μέγεθος που εξαρτάται από την ημέρα του έτους και το γεωγραφικό πλάτος του σημείου αναφοράς. Εκτός από τα αστρονομικά μεγέθη, για την εκτίμηση των ποσοτήτων  $S_n$  και  $L_n$  απαιτούνται δεδομένα άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας (ή, ελλείψει αυτών, μετρήσεις διάρκειας ηλιοφάνειας ή παρατηρήσεις νέφωσης), θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Ακόμη, η καθαρή ακτινοβολία  $S_n$  εξαρτάται από τις ιδιότητες της εδαφικής επιφάνειας (ανακλαστικότητα, albedo), καθώς και τοπικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά, όπως η κλίση, ο προσανατολισμός και η σκίαση της επιφάνειας αναφοράς (Mamassis *et al.*, 2012).

Για τον επιμερισμό της διαθέσιμης ενέργειας σε λανθάνουσα,  $A$ , και αισθητή,  $H$ , θερμότητα, που συνιστά το πιο δύσκολο τμήμα της μαθηματικής περιγραφής του φαινομένου της εξάτμισης, υιοθετείται η αεροδυναμική προσέγγιση, σύμφωνα με την οποία η εξάτμιση είναι μια διεργασία διάχυσης μάζας. Στην προσέγγιση αυτή περιγράφονται η μεταφορά των υδρατμών μέσω του ανέμου καθώς και της θερμότητας ως διεργασίες διάχυσης, που διέπονται από νόμους μηχανικής των ρευστών. Ειδικότερα, θεωρείται ότι ο ρυθμός εξάτμισης εξαρτάται από τη διαφορά στην περιεκτικότητα των υδρατμών μεταξύ δύο επιπέδων αναφοράς πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, καθώς και από την ταχύτητα του ανέμου, που εισάγεται ως μια συνάρτηση  $F(u)$ . Θεωρητικά, η  $F(u)$  μπορεί να υπολογιστεί με βάση το υψόμετρο, την ταχύτητα του ανέμου, την αεροδυναμική αντίσταση και τη θερμοκρασία. Για απλούστευση, συνήθως χρησιμοποιούνται εμπειρικές σχέσεις, με μοναδικό δεδομένο εισόδου την ταχύτητα ανέμου σε υψόμετρο 2 m.

Τελικά, η εξάτμιση, εκφρασμένη σε όρους ισοδύναμου ύψους νερού ανά μονάδα χρόνου (π.χ. mm/d), δίνεται από τη σχέση:

$$E = \frac{S_n - L_n - H}{\lambda \rho} = \frac{S_n - L_n}{\lambda \rho (1 + b)} \quad (5.2)$$

όπου  $\lambda$  η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, με τυπική τιμή 2460 kJ/kg,  $\rho$  η πυκνότητα του νερού, με τιμή 1000 g/m<sup>3</sup>, και  $b := H / A$  ο λεγόμενος λόγος Bowen, για την εκτίμηση του οποίου, όπως εξηγήθηκε, απαιτούνται μετρήσεις θερμοκρασίας σε δύο επίπεδα (στο έδαφος και την ατμόσφαιρα), καθώς και μετρήσεις υγρασίας στην ατμόσφαιρα.

Λεπτομερής περιγραφή του φυσικού υποβάθρου της εξάτμισης δίνεται από τους Κουτσογιάννη και Ξανθόπουλο (1999, σ. 165-232).



## 5.2.2 Αναλυτικές προσεγγίσεις – Οι μέθοδοι Penman και Penman-Monteith

Από τις ποικίλες μεθοδολογίες που απαντώνται στη βιβλιογραφία για την εκτίμηση της εξατμίσης από υδάτινη επιφάνεια, η αναλυτική μέθοδος του Penman θεωρείται παγκοσμίως ως η πλέον τεκμηριωμένη, καθώς βασίζεται στην φυσική ερμηνεία του φαινομένου. Ο Penman (1948) συνδύασε την εξίσωση ενεργειακού ισοζυγίου στην επιφάνεια της γης με τις εξισώσεις διάχυσης των υδρατμών και αισθητής θερμότητας, προκειμένου να περιορίσει τη χρήση μετρήσεων θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου σε ένα και μόνο επίπεδο. Η κλασική σχέση του Penman γράφεται:

$$E = \frac{\Delta}{(\Delta + \gamma)} \frac{R_n}{\lambda \rho} + \frac{\gamma}{\rho (\Delta + \gamma)} F(u) D \quad (5.3)$$

όπου  $\Delta$  η κλίση της καμπύλης πίεσης κορεσμού (hPa/K), που εξαρτάται από τη θερμοκρασία,  $\gamma$  ο ψυχομετρικός συντελεστής, με τυπική τιμή 0.67 hPa/K, και  $D$  το έλλειμμα κορεσμού των υδρατμών (hPa), δηλαδή η διαφορά μεταξύ της πίεσης κορεσμού  $e_a$  και της πραγματικής πίεσης των υδρατμών  $e_s$ , που είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας.

Η παραπάνω σχέση επεκτάθηκε από τον Monteith (1965) για την εκτίμηση της εξατμοδιαπνοής από καλλιεργούμενες επιφάνειες, λαμβάνοντας υπόψη διάφορους παράγοντες αντίστασης, αεροδυναμικούς και επιφανειακούς. Μετά από απλοποιήσεις, προκύπτει η εξής έκφραση, που αποτελεί τη βασική σχέση υπολογισμού της μεθόδου Penman-Monteith:

$$E = \frac{\Delta}{(\Delta + \gamma')} \frac{R_n}{\lambda \rho} + \frac{\gamma}{\rho (\Delta + \gamma')} F(u) D \quad (5.4)$$

όπου:

$$\gamma' = \gamma (1 + r_s / r_a) \quad (5.5)$$

Στην παραπάνω έκφραση, οι ποσότητες  $r_s$  και  $r_a$  εκφράζουν τις συνιστώσες αεροδυναμικής και επιφανειακής αντίστασης, αντίστοιχα. Στην περίπτωση του νερού, η επιφανειακή αντίσταση είναι μηδενική, οπότε λαμβάνεται η αρχική σχέση του Penman (εξ. 5.3). Για κάθε άλλον τύπο επιφάνειας, η εξατμοδιαπνοή μπορεί να υπολογιστεί αναλυτικά, εφόσον βεβαίως είναι γνωστές οι δύο παράμετροι αντίστασης. Στην πράξη, η εκτίμηση της παραμέτρου  $r_s$  από δεδομένα πεδίου είναι εξαιρετικά δύσκολη (μεταξύ άλλων επειδή μεταβάλλεται χρονικά), με εξαίρεση κάποιες ειδικές περιπτώσεις.

Η Διεθνής Οργάνωση Τροφίμων και Γεωργίας (Food and Agriculture Organization, FAO) πρότεινε την εφαρμογή της μεθόδου Penman-Monteith για μια υποθετική καλλιέργεια με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, εισάγοντας έτσι την έννοια της δυνητικής εξατμοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς. Για στάθμη μέτρησης της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας και της ταχύτητας ανέμου τα 2.0 m, και για ύψος καλλιέργειας 0.12 m, η αεροδυναμική και επιφανειακή αντίσταση ισούνται με  $r_a = 208 / u_2$  (όπου  $u_2$  η ταχύτητα ανέμου σε m/s) και  $r_s = 70$  s/m. Μέσω της καλλιέργειας αναφοράς είναι δυνατή η εκτίμηση της δυνητικής εξατμοδιαπνοής κάθε τύπου καλλιέργειας, με χρήση κατάλληλων συντελεστών αναγωγής (φυτικοί συντελεστές), που εξαρτώνται από τον τύπο της καλλιέργειας και την εποχή (Allen *et al.*, 1998).

### 5.2.3 Παραμετρική μέθοδος εκτίμησης της εξάτμισης με απλοποίηση της μεθόδου Penman-Monteith

Η ανάγκη ύπαρξης ταυτόχρονων μετρήσεων θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ηλιακής ακτινοβολίας (εναλλακτικά, ηλιοφάνειας ή νέφωσης), και ταχύτητας ανέμου που απαιτούν οι μέθοδοι Penman και Penman-Monteith, περιορίζει το εύρος εφαρμογής τους. Με εξαίρεση της θερμοκρασία που είναι η ευκολότερα μετρούμενη και συχνότερη μετεωρολογική μεταβλητή, για τις υπόλοιπες μεταβλητές είτε δεν υπάρχουν καθόλου μετρήσεις είτε οι μετρήσεις καλύπτουν μικρή σχετικά περίοδο παρατηρήσεων. Για τον λόγο αυτό, στη βιβλιογραφία έχουν αναπτυχθεί διάφορες ημιεμπειρικές μέθοδοι εκτίμησης της εξάτμισης (ή/και της δυναμικής εξατμοδιαπνοής) συναρτήσει μόνο της θερμοκρασίας ή πληρέστερες μέθοδοι που χρησιμοποιούν μετρήσεις θερμοκρασίας και υπολογισμούς εξωγήινης ηλιακής ακτινοβολίας.

Το σύνηθες μειονέκτημα των περισσότερων απλοποιητικών μεθόδων εκτίμησης της εξάτμισης είναι η περιορισμένη προγνωστική τους ικανότητα σε υδροκλιματικές συνθήκες διαφορετικές από αυτές στις οποίες βασίστηκε η προσαρμογή τους. Πράγματι, τέτοιες προσεγγίσεις κατά κανόνα εμπεριέχουν συντελεστές που έχουν εκτιμηθεί από δεδομένα σε τοπικό επίπεδο, ή συγκεκριμένο εύρος κλιματικών συνθηκών. Συνεπώς, ενώ παρέχουν ικανοποιητικές εκτιμήσεις όταν εφαρμόζονται σε περιοχές με παρόμοια χαρακτηριστικά, η ακρίβειά τους μειώνεται σημαντικά αν χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις πέραν των τυπικών ορίων προσαρμογής τους, χωρίς επαναπροσδιορισμό των σταθερών συντελεστών που εισάγονται στις αντίστοιχες σχέσεις υπολογισμού. Για τον λόγο αυτό, αρχικά οι Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος (1999) και στη συνέχεια οι Tegos *et al.* (2013) διατύπωσαν μια παραμετρική έκφραση στην οποία, αντί για σταθερές, χρησιμοποιούνται κάποιες χωρικά μεταβαλλόμενες παράμετροι, τέτοιες ώστε να μπορούν να προσαρμοστούν στα τοπικά κλιματικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής. Η έκφραση στην οποία καταλήγουν προκύπτει ως απλοποίηση της εξίσωσης Penman-Monteith, η οποία, διαιρώντας τους δύο όρους της με την κλίση της καμπύλης πίεσης κορεσμού  $\Delta$ , γράφεται:

$$E = \frac{1}{\lambda \rho} \frac{R_n + \gamma \lambda F(u) D}{1 + \gamma' / \Delta} \quad (5.6)$$

Στην παραπάνω έκφραση ο αριθμητής είναι το άθροισμα ενός όρου που σχετίζεται με την ηλιακή ακτινοβολία και ενός όρου που σχετίζεται με τις υπόλοιπες μετεωρολογικές μεταβλητές, ενώ ο παρονομαστής είναι συνάρτηση μόνο της θερμοκρασίας. Διατυπώνοντας τον αριθμητή ως μια γραμμική σχέση της εξωγήινης ακτινοβολίας  $R_a$  ( $\text{kJ/m}^2$ ), και τον παρονομαστή ως μια σχέση γραμμικής μείωσης της θερμοκρασίας  $T_a$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), προκύπτει:

$$E = \frac{a R_a + b}{1 - c T_a} \quad (5.7)$$

Η παραπάνω έκφραση περιέχει τρεις παραμέτρους,  $a$  ( $\text{kg/kJ}$ ),  $b$  ( $\text{kg/m}^2$ ) και  $c$  ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ), που στην πράξη υποκαθιστούν τους όρους των μετεωρολογικών μεταβλητών για τις οποίες θεωρείται ότι δεν υπάρχουν μετρήσεις (σχετική υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία/ηλιοφάνεια/νέφωση, ταχύτητα ανέμου). Συγκεκριμένα, δεδομένου ότι η εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί άνω όριο της εισερχόμενης ακτινοβολίας, ο αδιάστατος όρος  $a^* = a / \lambda \rho$  εκφράζει το μέσο ποσοστό της ενέργειας που προσλαμβάνεται από τον ήλιο, η οποία, αφού φτάσει στην επιφάνεια της γης, μετασχηματίζεται σε λανθάνουσα θερμότητα, τροφοδοτώντας έτσι τη διεργασία της εξάτμισης. Η παράμετρος  $b$  ενσωματώνει την έλλειψη πληροφορίας για τις αεροδυναμικές διεργασίες, που οφείλονται στον άνεμο και το έλλειμμα υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Τέλος, η έκφραση  $1 - c T_a$  αντικαθιστά την πιο σύνθετη  $1 + \gamma' / \Delta$ . Υπενθυμίζεται ότι η ποσότητα  $\gamma'$  είναι συνάρτηση της

επιφανειακής και αεροδυναμικής αντίστασης (εξ. 5.5) ενώ η κλίση της καμπύλης πίεσης κορεσμού  $\Delta$  είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας  $T_a$  (Tegos *et al.*, 2013). Εφόσον η τιμή της θερμοκρασίας είναι αρνητική, η εξάτμιση θεωρείται εξ ορισμού μηδενική.

Για την εκτίμηση των παραμέτρων  $a$ ,  $b$  και  $c$ , στην ελληνική επικράτεια, υιοθετήθηκε μια προσέγγιση βελτιστοποίησης, που βασίστηκε σε δείγματα μετεωρολογικών χρονοσειρών από 37 σταθμούς της ΕΜΥ, επαρκώς κατανομημένους στον ελληνικό χώρο (Τέγος, 2007). Σε κάθε σταθμό, υπολογίστηκαν οι χρονοσειρές μηνιαίας εξάτμισης και δυνητικής εξατμοδιαπνοής με τις αναλυτικές μεθόδους Penman και Penman-Monteith, αντίστοιχα, που χρησιμοποιήθηκαν ως χρονοσειρές αναφοράς. Στη συνέχεια, για την αναπαράγωγή των τιμών αναφοράς εφαρμόστηκε η σχέση (5.7), θεωρώντας τις τρεις παραμέτρους ως μεταβλητές ελέγχου ενός προβλήματος βαθμονόμησης, και χρησιμοποιώντας ως μοναδικό δεδομένο εισόδου την χρονοσειρά μηνιαίας θερμοκρασίας κάθε σταθμού. Με τον τρόπο αυτό, σε κάθε σταθμό υπολογίστηκαν οι τιμές των παραμέτρων που εξασφαλίζουν την ελάχιστη απόκλιση μεταξύ των τιμών εξάτμισης (αντίστοιχα, δυνητικής εξατμοδιαπνοής) που εκτιμώνται από την παραμετρική μέθοδο σε σχέση με τις τιμές που προκύπτουν από την ακριβή μέθοδο Penman (αντίστοιχα, Penman-Monteith). Με γνωστές τιμές των παραμέτρων σε κάθε σταθμό, παρήχθησαν, ακόμη, χάρτες χωρικής μεταβολής τους. Αυτό επιτρέπει τον υπολογισμό της εξάτμισης (ή δυνητικής εξατμοδιαπνοής) σε οποιαδήποτε θέση, με εφαρμογή της (5.7), όπου οι τοπικές τιμές των παραμέτρων εκτιμώνται μέσω χωρικής παρεμβολής των σημειακών εκτιμήσεων. Τα πλήρη αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων, περιλαμβανομένων των χαρτών χωρικής μεταβολής των παραμέτρων, δίνονται από τους Tegos *et al.* (2013).

## **5.3 Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων θερμοκρασίας**

### **5.3.1 Μεθοδολογία**

Δεδομένου ότι η εκτίμηση της δυνητικής εξατμοδιαπνοής μέσω της παραμετρικής σχέσης (5.7) μπορεί να γίνει μόνο σε ημερήσια κλίμακα (ή μηνιαία, εφόσον θεωρηθεί η αντιπροσωπευτική ημέρα κάθε μήνα), σκοπός των επεξεργασιών ήταν η παραγωγή αξιόπιστων χρονοσειρών μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας, αρχικά σε σημειακή βάση (δηλαδή στις θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών) και στη συνέχεια σε επιφανειακή (με αναφορά στη λεκάνη ή υπολεκάνη απορροής).

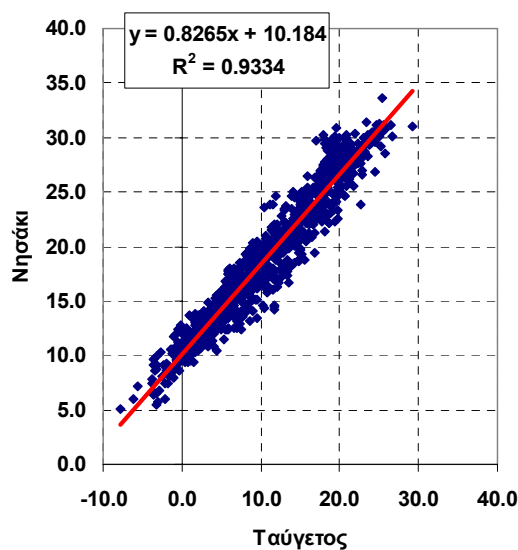
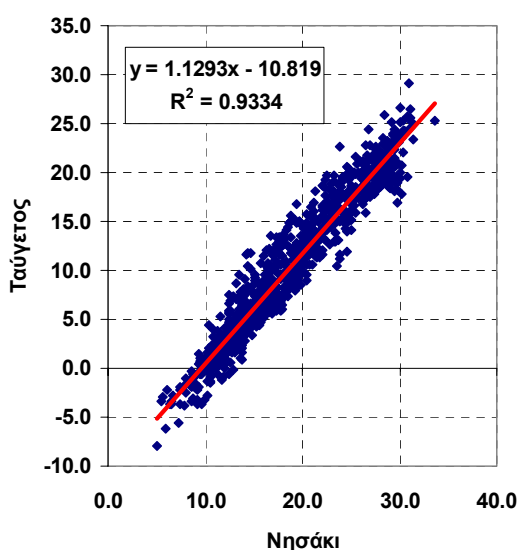
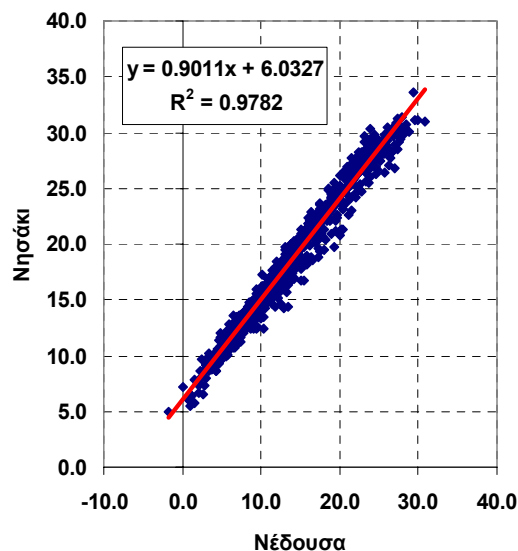
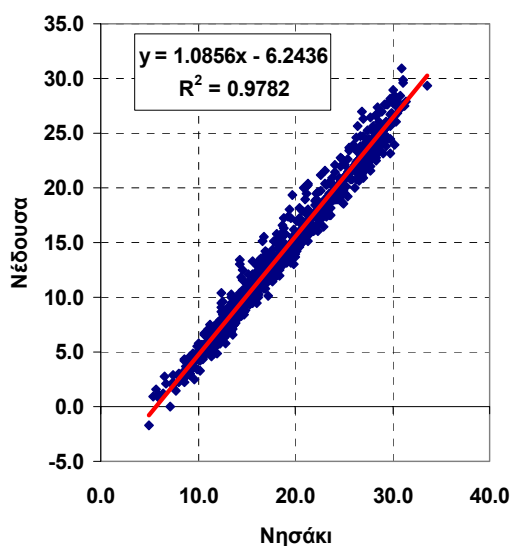
Για τον σκοπό αυτό, συναθροίστηκαν τα πρωτογενή δείγματα των σταθμών ενδιαφέροντος, που ήταν διαθέσιμα σε 10λεπτο ή 15λεπτο χρονικό βήμα, πρώτα σε ωριαίο και μετά σε ημερήσιο χρονικό βήμα. Προκειμένου να γίνει η συνάθροιση των μετρήσεων, δηλαδή ο υπολογισμός του μέσου όρου των μετρήσεων στη διάρκεια κάθε ώρας, θεωρήθηκε επαρκής ακόμα και μία μόνο στιγμιαία τιμή, καθώς στην κλίμακα αυτή οι μεταβολές της θερμοκρασίας είναι πολύ μικρές. Ωστόσο, για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας τέθηκε περιορισμός ως προς τις ελλείπουσες τιμές, έτσι ώστε να μην υπάρχουν παραπάνω από τρεις κενές ώρες ανά ημέρα.

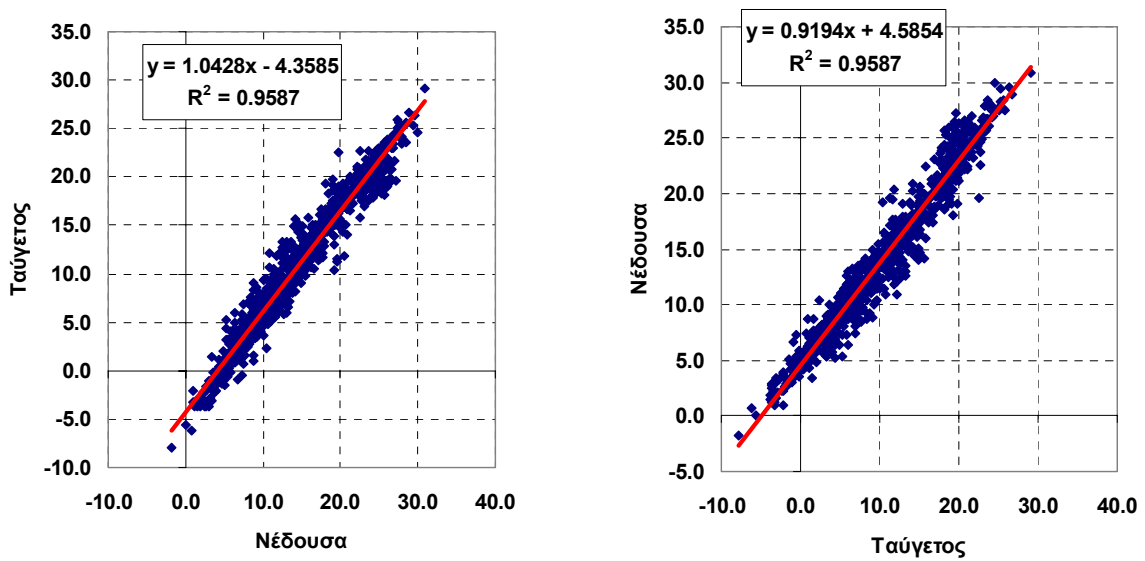
Με την παραπάνω διαδικασία προέκυψαν οι πρωτογενείς χρονοσειρές ημερήσιας θερμοκρασίας (ακριβέστερα, μέσης ημερήσιας), που περιείχαν κενά. Οι κενές τιμές συμπληρώθηκαν μέσω γραμμικής παλινδρόμησης, θεωρώντας ως δείγμα αναφοράς την ημερήσια χρονοσειρά θερμοκρασίας από κάποιον άλλον μετεωρολογικό σταθμό της λεκάνης, με τον οποίο υπάρχει υψηλή συσχέτιση. Βεβαίως, λόγω της περιορισμένης χωρικής και χρονικής μεταβλητότητας της θερμοκρασίας, οι συσχετίσεις ήταν κατά κανόνα πολύ υψηλές, της τάξης του 90% και άνω.

### 5.3.2 Λεκάνη Νέδοντα

Εξετάστηκαν οι χρονοσειρές τριών μετεωρολογικών σταθμών (Καλαμάτα – Νησάκι, Τουριστικό Ταΰγετο, Νέδουσα). Ο δύο πρώτοι ανήκουν σε ιδιώτη, και ήταν ήδη σε λειτουργία πριν την διαμόρφωση του μετρητικού δικτύου, ενώ ο σταθμός στη Νέδουσα τέθηκε σε λειτουργία τον Δεκέμβριο του 2011.

Όπως εξηγήθηκε στο εδάφιο 5.3.1, αρχικά, συναθροίστηκαν τα πρωτογενή δεδομένα λεπτής χρονικής κλίμακας σε ωριαία και, στη συνέχεια, ημερήσια κλίμακα. Για τη συμπλήρωση των κενών τιμών των ημερήσιων δειγμάτων, διατυπώθηκαν οι σχέσεις γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ όλων των συνδυασμών ζευγών σταθμών, που φαίνονται στα διαγράμματα διασποράς του Σχήματος 5.1. Όπως φαίνεται στα διαγράμματα, οι συντελεστές προσδιορισμού είναι εξαιρετικά υψηλοί, το οποίο αποτελεί, εκτός των άλλων, ένδειξη καλής ποιότητας των δεδομένων.

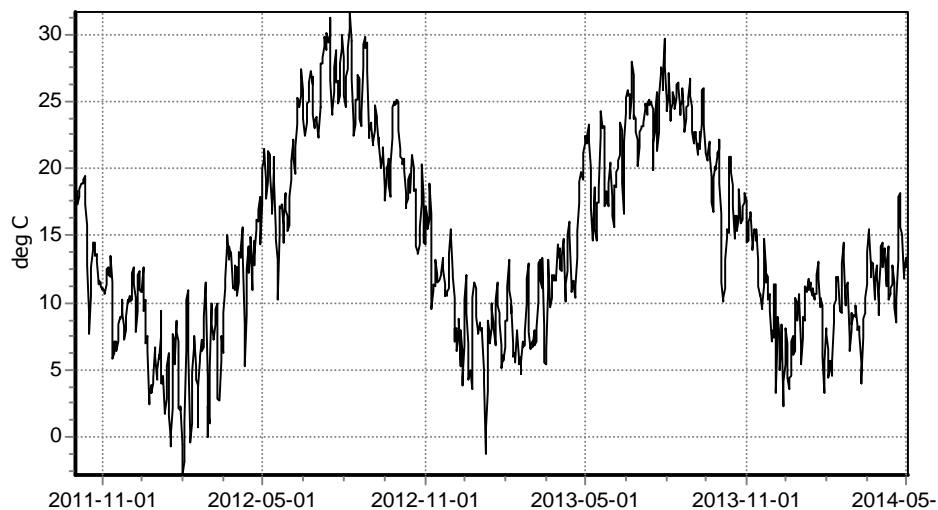




Σχήμα 5.1: Διαγράμματα διασποράς ημερήσιων θερμοκρασιών μεταξύ όλων των ζευγών σταθμών της λεκάνης του Νέδοντα (Νησάκι, Τουριστικό Ταύγετος, Νέδουσα).

### 5.3.3 Λεκάνη Σαρανταπόταμου

Στη λεκάνη του Σαρανταπόταμου εφαρμόστηκε μια αντίστοιχη διαδικασία, θεωρώντας τους τρεις μετεωρολογικούς σταθμούς της ευρύτερης περιοχής (Μάνδρα, Πράσινο, Βίλια). Στο Σχήμα 5.2 απεικονίζεται, ενδεικτικά, η τελική (συμπληρωμένη) χρονοσειρά ημερήσιας θερμοκρασίας στον σταθμό Βίλια της περιόδου 1/10/2011-30/4/2014.



Σχήμα 5.2: Συμπληρωμένη χρονοσειρά μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας στον σταθμό Βίλια.

## 5.4 Εκτίμηση δυνητικής εξατμοδιαπνοής λεκανών Νέδοντα και Σαρανταπόταμου

### 5.4.1 Μεθοδολογία

Για την εκτίμηση της ημερήσιας δυνητικής εξατμοδιαπνοής μέσω της σχέσης (5.7) απαιτούνται τα εξής δεδομένα, που αναφέρονται στο αντιπροσωπευτικό σημείο (π.χ. κέντρο βάρους) της λεκάνης ή υπολεκάνης:

- το γεωγραφικό πλάτος και υψόμετρο·
- οι τιμές των παραμέτρων  $a$ ,  $b$  και  $c$ ·
- η χρονοσειρά μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας.

Οι τιμές των παραμέτρων ελήφθησαν από την εργασία των Tegos *et al.* (2013), με βάση τις βελτιστοποιημένες εκτιμήσεις στις θέσεις των εγγύτερων σταθμών της EMY.

Η χρονοσειρά μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας κάθε λεκάνης ή υπολεκάνης προέκυψε από τα σημειακά δείγματα, μέσω χωρικής ολοκλήρωσης και, στη συνέχεια, υψομετρικής αναγωγής. Συγκεκριμένα, στα συμπληρωμένα δείγματα των χρονοσειρών ημερήσιας θερμοκρασίας στους σταθμούς κάθε λεκάνης, εφαρμόστηκε μια διαδικασία στάθμισης αντίστοιχη με αυτή της επιφανειακής βροχόπτωσης, που βασίζεται στη χρήση των πολυγώνων Thiessen (βλ. 4.2.1). Στο πλαίσιο αυτό, υπολογίστηκαν οι επιφάνειες επιρροής των μετεωρολογικών σταθμών όπου ήταν διαθέσιμες οι χρονοσειρές ημερήσιας θερμοκρασίας και οι αντίστοιχοι συντελεστές Thiessen. Στη συνέχεια, σταθμίζοντας τα επιμέρους δείγματα, υπολογίστηκε μια μέση θερμοκρασία της επιφάνειας αναφοράς (υπολεκάνη), σε κάθε χρονικό βήμα (ημέρα). Ωστόσο, η θερμοκρασία αυτή δεν μπορεί να θεωρηθεί πλήρως αντιπροσωπευτική της υπολεκάνης, καθώς αναφέρεται σε κάποιο σταθμισμένο, με βάση τους συντελεστές Thiessen, υψόμετρο, το οποίο ενδεχομένως να διαφέρει σημαντικά από το μέσο υψόμετρο της περιοχής. Προκειμένου να ληφθεί μια κατά το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτική εκτίμηση, εφαρμόστηκε μια τεχνική υψομετρικής αναγωγής, που βασίζεται στην εφαρμογή ενός συντελεστή διόρθωσης που εκτιμάται από τη σχέση:

$$\lambda = 1 + \theta \frac{z_s - z_\sigma}{T_s} \quad (5.8)$$

όπου  $z_s$  το μέσο υψόμετρο της υπολεκάνης,  $z_\sigma$  το σταθμισμένο, με βάση τους συντελεστές Thiessen, υψόμετρο των μετεωρολογικών σταθμών,  $T_s$  η μέση ετήσια θερμοκρασία, που επίσης εκτιμάται ως σταθμισμένο άθροισμα των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών των μετεωρολογικών σταθμών, και  $\theta$  η θερμοβαθμίδα, δηλαδή η ανά μονάδα μέτρου μεταβολή της θερμοκρασίας. Στις δύο λεκάνες που εξετάστηκαν (Νέδοντα, Σαρανταπόταμος), η θερμοβαθμίδα εκτιμήθηκε από την κλίση της ευθείας γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ των μέσων ετήσιων τιμών των σημειακών δειγμάτων και των αντίστοιχων υψομέτρων των μετεωρολογικών σταθμών.

Από τη παραπάνω διαδικασία προέκυψαν οι τελικές χρονοσειρές ημερήσιας θερμοκρασίας, που θεωρούνται αντιπροσωπευτικές κάθε υπολεκάνης. Στη συνέχεια, από την (5.7), με κατάλληλες τιμές παραμέτρων, υπολογίστηκε το ημερήσιο ύψος δυνητικής εξατμοδιαπνοής, για την περίοδο 1/9/2011 έως 30/4/2014. Τέλος, οι τιμές κάθε ημέρας ισομοιράστηκαν στο 24ωρο, διαιρώντας δια τον αριθμό των ωρών της ημέρας, οπότε ελήφθησαν οι χρονοσειρές ωριαίας δυνητικής εξατμοδιαπνοής στις υπολεκάνες ενδιαφέροντος, που χρησιμοποιήθηκαν σε μεταγενέστερες εργασίες, ως δεδομένα εισόδου του μοντέλου υδρολογικής προσομοίωσης Υδρογείος.

#### 5.4.2 Λεκάνη Νέδοντα

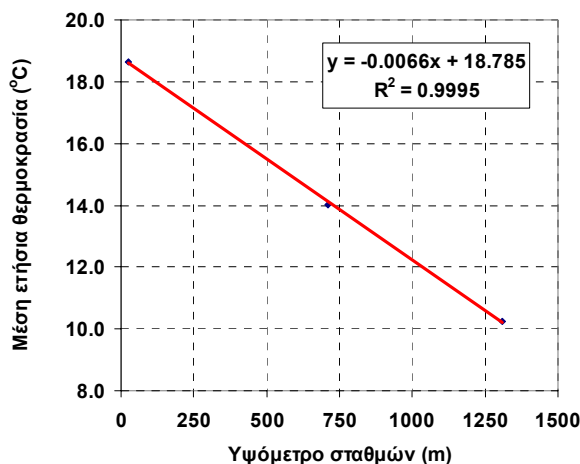
Όπως αναφέρθηκε στο εδάφιο 4.2.2, στο πλαίσιο της υδρολογικής προσομοίωσης με το μοντέλο Υδρόγειος, η λεκάνη του Νέδοντα χωρίστηκε σε επτά υπολεκάνες, που απεικονίζονται στον χάρτη του Σχήματος 4.2. Για την κατάρτιση των χρονοσειρών ημερήσιας θερμοκρασίας στις υπολεκάνες, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του Πίνακα 5.1, όπου δίνονται τα μέσα υψόμετρα των υπολεκανών και οι συντελεστές Thiessen των τριών μετεωρολογικών σταθμών της λεκάνης.

Πίνακας 5.1: Μέσα υψόμετρα υπολεκανών και συντελεστές Thiessen σταθμών Νέδοντα.

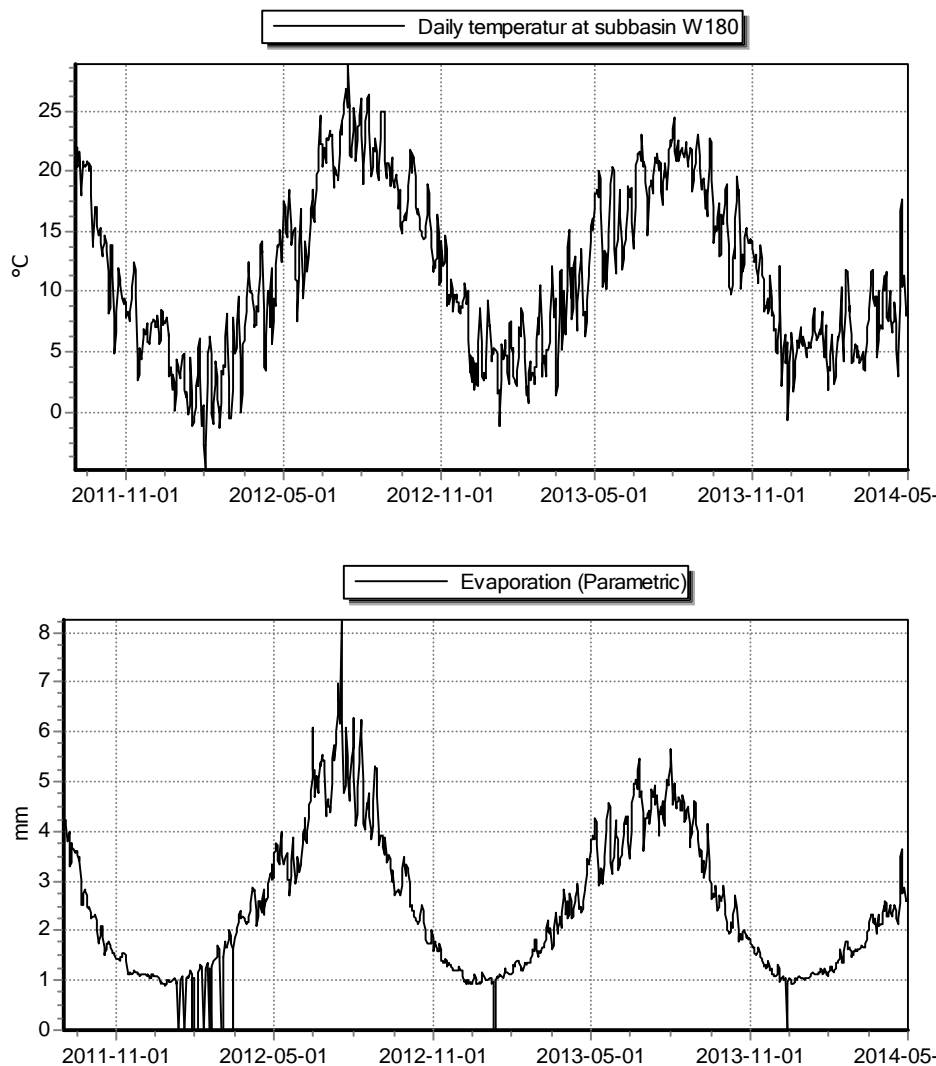
Υπολεκάνη	Μέσο υψόμετρο (m)	Νησάκι	Νέδουσα	Τουρ. Ταυγέτου
Ανάντη Νέδουσας	1008.9	0.000	1.000	0.000
Κατάντη Νέδουσας	741.9	0.174	0.826	0.000
Κατάντη Αλαγονίας	739.4	0.000	0.931	0.069
Ανάντη Αλαγονίας	654.9	0.921	0.078	0.001
Ανάντη Λ. Μπάκα	710.1	0.297	0.077	0.626
Κατάντη Καρβελίου	1096.5	0.000	0.000	1.000
Ανάντη Καρβελίου	1092.4	0.000	0.480	0.520

Για τις υψομετρικές αναγωγές εφαρμόστηκε ενιαία θερμοβαθμίδα σε όλες τις υπολεκάνες, ίση με  $-0.0066 \text{ }^\circ\text{C/m}$ , η οποία εκτιμήθηκε με βάση τις μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας των τριών σταθμών (Νησάκι  $18.7 \text{ }^\circ\text{C}$ , Τουριστικό Ταυγέτου  $10.3 \text{ }^\circ\text{C}$ , Νέδουσα  $14.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) και τα αντίστοιχα υψόμετρα (Νησάκι 27 m, Τουριστικό Ταυγέτου 1310 m, Νέδουσα 712 m). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.3, τα τρία σημεία που προκύπτουν στο σχετικό διάγραμμα διασποράς είναι πρακτικά συνευθειακά (συντελεστής προσδιορισμού 99.9%), και η κλίση της εν λόγω ευθείας αποτελεί εκτιμήτρια της θερμοβαθμίδας.

Για την εκτίμηση της ημερήσιας δυνητικής εξατμοδιαπνοής των υπολεκανών με βάση τις χρονοσειρές επιφανειακής θερμοκρασίας εφαρμόστηκαν κοινές τιμές των τριών παραμέτρων της σχέσης (5.7), που ελήφθησαν από τις βελτιστοποιημένες εκτιμήσεις στον σταθμό της ΕΜΥ στην Καλαμάτα ( $a = 0.000053 \text{ kg/kJ}$ ,  $b = -0.064 \text{ kg/m}^2$ ,  $c = 0.0253 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ). Ακόμη, θεωρήθηκε κοινό γεωγραφικό πλάτος  $\varphi = 37.5^\circ$ . Στο Σχήμα 5.4 απεικονίζονται, ενδεικτικά, οι χρονοσειρές μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και ημερήσιας δυνητικής εξατμοδιαπνοής της υπολεκάνης ανάντη του υδρομετρικού σταθμού Νέδουσας, για την περίοδο 1/9/2011-30/4/2014.



Σχήμα 5.3: Εκτίμηση θερμοβαθμίδας στη λεκάνη του Νέδοντα.



Σχήμα 5.4: Χρονοσειρές μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (πάνω) και ημερήσιου ύψους δυνητικής εξατμοδιαπνοής (κάτω) στην υπολεκάνη Νέδουσα.

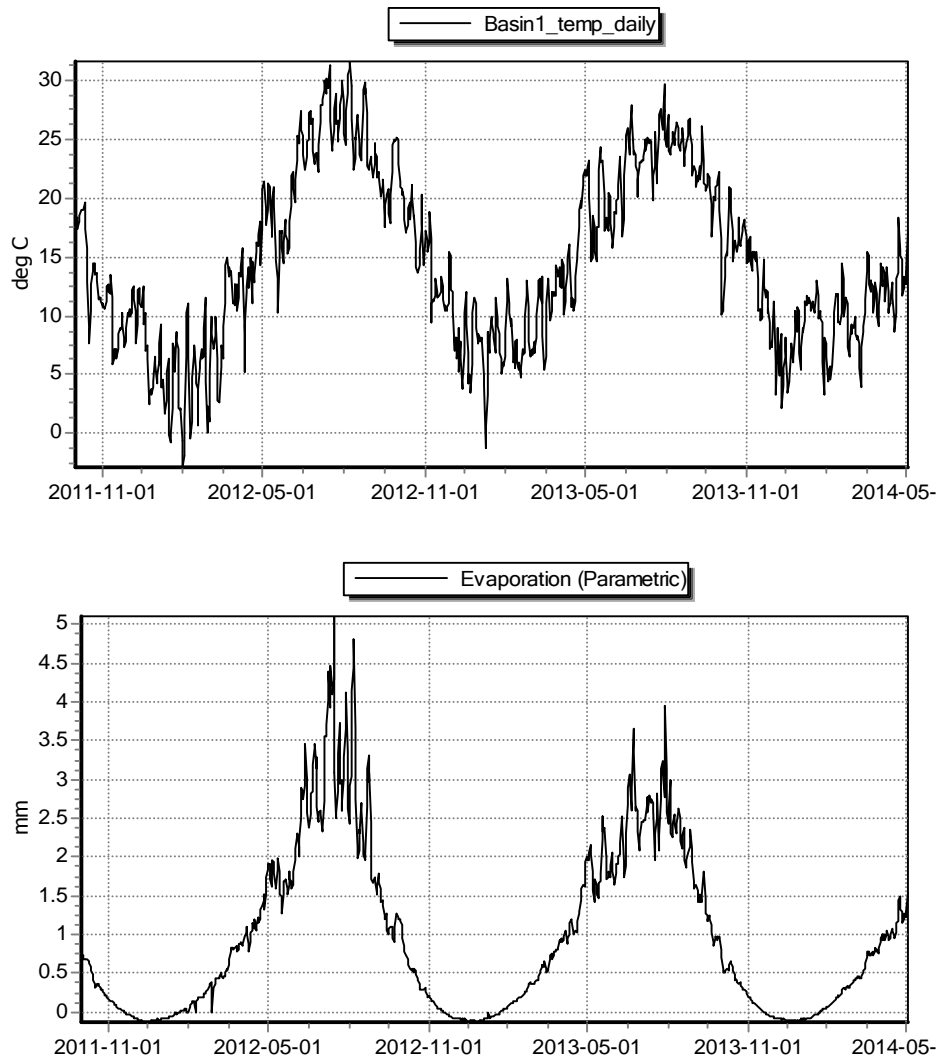
### 5.4.3 Λεκάνη Σαρανταπόταμου

Για την υδρολογική προσομοίωση του Σαρανταπόταμου, η λεκάνη απορροής του χωρίστηκε σε πέντε υπολεκάνες, που απεικονίζονται στον χάρτη του Σχήματος 4.3. Για την κατάρτιση των χρονοσειρών ημερήσιας θερμοκρασίας στις υπολεκάνες εφαρμόστηκαν οι συντελεστές Thiessen των ίδιων μετεωρολογικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των επιφανειακών βροχοπτώσεων, που επίσης φαίνονται στον χάρτη του Σχήματος 4.3. Στην περίπτωση του Σαρανταπόταμου δεν έγιναν υψομετρικές αναγωγές, καθώς στις περισσότερες υπολεκάνες οι θερμοκρασίες εκτιμώνται από τα δεδομένα ενός μόνο σταθμού, που μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικός.

Για την εκτίμηση της ημερήσιας δυνητικής εξατμοδιαπνοής των υπολεκανών με βάση τις αντίστοιχες χρονοσειρές επιφανειακής θερμοκρασίας εφαρμόστηκαν κοινές τιμές των τριών παραμέτρων, που ελήφθησαν από ως μέσος όρος των βελτιστοποιημένων εκτιμήσεων των δύο



εγγύτερων σταθμών της ΕΜΥ, στην Κόρινθο και το Ελληνικό. Οι τιμές που εφαρμόστηκαν είναι  $a = 0.000044 \text{ kg/kJ}$ ,  $b = -0.678 \text{ kg/m}^2$  και  $c = 0.0255 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . Ακόμη, θεωρήθηκε κοινό γεωγραφικό πλάτος  $\varphi = 36.5^\circ$ . Στο Σχήμα 5.5 απεικονίζονται, ενδεικτικά, οι χρονοσειρές μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και ημερήσιας δυνητικής εξατμοδιαπνοής της υπολεκάνης ανάντη του υδρομετρικού σταθμού Οινόης, για την περίοδο 1/10/2011-30/4/2014.



Σχήμα 5.5: Χρονοσειρές μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (πάνω) και ημερήσιου ύψους δυνητικής εξατμοδιαπνοής (κάτω) στην υπολεκάνη Νέδουσας.

## Αναφορές

---

- Ευστρατιάδης, Α., Α. Κουκουβίνος, Ε. Μιχαηλίδη, Ε. Γαλιούνα, Κ. Τζούκα, Α. Δ. Κούσης, Ν. Μαμάσης, και Δ. Κουτσογιάννης, Τεχνική έκθεση περιγραφής περιοχικών σχέσεων εκτίμησης χαρακτηριστικών υδρολογικών μεγεθών, *ΔΕΥΚΑΛΙΩΝ – Εκτίμηση πλημμυρικών ροών στην Ελλάδα σε συνθήκες υδροκλιματικής μεταβλητότητας: Ανάπτυξη φυσικά εδραιωμένου εννοιολογικού-πιθανοτικού πλαισίου και υπολογιστικών εργαλείων*, Ανάδοχοι: ΕΤΜΕ: Πέππας & Συν/τες Ε.Ε., Γραφείο Μαχαίρα, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 146 σελίδες, Σεπτέμβριος 2014α.
- Ευστρατιάδης, Α., Α. Κουκουβίνος, Π. Δημητριάδης, Ε. Ρόζος, και Α. Δ. Κούσης, Τεχνική έκθεση θεωρητικής τεκμηρίωσης μοντέλου υδρολογικής-υδραυλικής προσομοίωσης, *ΔΕΥΚΑΛΙΩΝ – Εκτίμηση πλημμυρικών ροών στην Ελλάδα σε συνθήκες υδροκλιματικής μεταβλητότητας: Ανάπτυξη φυσικά εδραιωμένου εννοιολογικού-πιθανοτικού πλαισίου και υπολογιστικών εργαλείων*, Ανάδοχοι: ΕΤΜΕ: Πέππας & Συν/τες Ε.Ε., Γραφείο Μαχαίρα, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 108 σελίδες, Σεπτέμβριος 2014β.
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ), *Κλίμα πόλεων*, 2014 (στατιστικά στοιχεία διαθέσιμα στη διεύθυνση [http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/climatology\\_html](http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/climatology_html)).
- Κούσης, Α. Δ., Σ. Λυκούδης, και Γ. Καραβοκυρός, Τεχνική έκθεση περιγραφής μετρητικού συστήματος τηλεμετάδοσης-επεξεργασίας δεδομένων, *ΔΕΥΚΑΛΙΩΝ – Εκτίμηση πλημμυρικών ροών στην Ελλάδα σε συνθήκες υδροκλιματικής μεταβλητότητας: Ανάπτυξη φυσικά εδραιωμένου εννοιολογικού-πιθανοτικού πλαισίου και υπολογιστικών εργαλείων*, Ανάδοχοι: ΕΤΜΕ: Πέππας & Συν/τες, Γραφείο Μαχαίρα, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος ΕΜΠ, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 77 σελίδες, Μάρτιος 2012.
- Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.
- Κουτσογιάννης, Δ., *Στατιστική Υδρολογία*, Έκδοση 4, 312 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1997.
- Τέγος, Α., *Απλοποίηση της εκτίμησης της εξατμοδιαπνοής στην Ελλάδα*, Μεταπτυχιακή εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2007.
- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements, *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*, Rome, 1998.
- Mamassis, N., A. Efstratiadis, and E. Apostolidou, Topography-adjusted solar radiation indices and their importance in hydrology, *Hydrological Sciences Journal*, 57(4), 756–775, doi:10.1080/02626667.2012.670703, 2012.
- Monteith, J. L., *Evaporation and the environment: The state and movement of water in living organism*, XIXth Symposium, Cambridge University Press, Swansea, 1965.

Penman, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass, *Royal Society of London Proceedings, Series A*, 193, 120-145, 1948.

Tegos, A., A. Efstratiadis, and D. Koutsoyiannis, A parametric model for potential evapotranspiration estimation based on a simplified formulation of the Penman-Monteith equation, *Evapotranspiration – An Overview*, edited by S. Alexandris, 143–165, doi:10.5772/52927, InTech, 2013.