



Πιλοτική εφαρμογή στους υγροτόπους της Αττικής



Ενα Δομημένο Δίκτυο
για την Ενσωμάτωση της Γνώσης
για το Κλίμα, στην Πολιτική και
στο Χωρικό Σχεδιασμό

Εκτίμηση Δείκτη Τρωτότητας Ξηρασίας για την περιφέρεια Αττικής
με τη χρήση προγνωστικού μετεωρολογικού μοντέλου (σενάρια
εκπομπών αερίων A1B & A2)
Τεχνική αναφορά στο πλαίσιο του διακρατικού έργου
Νοτιοανατολικής Ευρώπης ORIENTGATE

Ιούνιος 2014



ΜΟΥΣΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΒΙΟΤΟΠΩΝ - ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ



**SOUTH EAST
EUROPE**
Transnational Cooperation Programme



Programme co-funded by the
EUROPEAN UNION

Η παρούσα μελέτη αποτελεί τμήμα της Πιλοτικής Εφαρμογής 4 «Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στους υγροτόπους της Αττικής» του Θεματικού Κέντρου: Ξηρασία, Νερά και Ακτές, του διακρατικού έργου ORIENTGATE, το οποίο υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος εδαφικής συνεργασίας της Νοτιοανατολικής Ευρώπης (South East Europe Transnational Cooperation Programme).

Ομάδα Εργασίας

EKBY:

Παπαδήμος Δημήτρης, Κατσαβούνη Σωτηρία

Υδρομετεωρολογική Υπηρεσία της Δημοκρατίας της Σερβίας:

Aleksandra Krzic, Vladimir Djurdjevic

Βιβλιογραφική Αναφορά:

Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων Υγροτόπων και Υδρομετεωρολογική Υπηρεσία της Δημοκρατίας της Σερβίας. 2014. Εκτίμηση Δείκτη Τρωτότητας Ξηρασίας για την περιφέρεια Αττικής με τη χρήση προγνωστικού μετεωρολογικού μοντέλου (σενάρια εκπομπών αερίων A1B & A2). Τεχνική αναφορά στο πλαίσιο του διακρατικού έργου Νοτιοανατολικής Ευρώπης ORIENTGATE.

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

σελ.

Κατάλογος Πινάκων

Κατάλογος Σχημάτων

Κατάλογος Χαρτών

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1

ΜΕΡΟΣ Α

**ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΔΟ 1970-2010**

2

1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

3

**1.1. Συγκέντρωση-Επεξεργασία-Συμπλήρωση
μετεωρολογικών δεδομένων**

3

1.2. Μετεωρολογικά δεδομένα στην περιοχή της Αττικής

4

**2. Ο ΔΕΙΚΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ SPI (Standardized
Precipitation Index)**

20

2.1. Υπολογισμός του δείκτη SPI

21

**3. Ο ΔΕΙΚΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΞΗΡΑΣΙΑ
DVI (Drought Vulnerability Index)**

25

ΜΕΡΟΣ Β

	ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2010-2100	28
4.	ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ A1B & A2	29
4.1.	Κλιματικό Σενάριο A1B	29
4.2.	Κλιματικό Σενάριο A2	35
5.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ SPI	47
6.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΞΗΡΑΣΙΑ DVI	50
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	53
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

	σελ.
Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά των μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή μελέτης	4
Πίνακας 2. Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης (r), των μηνιαίων υψών βροχής των σταθμών στην περιοχή της Αττικής	7
Πίνακας 3. Ταξινόμηση ξηρασίας με βάση το δείκτη SPI και αντίστοιχες πιθανότητες εμφάνισης	21
Πίνακας 4. Μετεωρολογικοί σταθμοί και αντίστοιχα χρονικά διαστήματα που μελετήθηκαν στο πλαίσιο του Σχεδίου Διαχείρισης Ξηρασίας – Λειψυδρίας (ΣΔΞΛ) και του έργου OrientGate	22
Πίνακας 5. Κατηγοριοποίηση των παραμέτρων υπολογισμού του δείκτη DVI σε κλάσεις και Score	25

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

	σελ.
Σχήμα 1. Περίοδος διαθεσιμότητας δεδομένων μηνιαίου ύψους βροχής στην περιοχή μελέτης	5

Σχήμα 2.	Μετεωρολογικοί σταθμοί στην περιοχή της Αττικής	6
Σχήμα 3.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Βύρωνα	9
Σχήμα 4.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Ελευσίνα	9
Σχήμα 5.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Ελληνικό	10
Σχήμα 6.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Μαραθώνα	10
Σχήμα 7.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Μαρκόπουλο	11
Σχήμα 8.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Περιστέρι	11
Σχήμα 9.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Τατόι	12
Σχήμα 10.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Νέα Φιλαδέλφεια	12
Σχήμα 11.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Χαλάνδρι	13
Σχήμα 12.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Πειραιά	13
Σχήμα 13.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Βύρωνα για το χρονικό διάστημα 1970-2010	14
Σχήμα 14.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Ελευσίνα για το χρονικό διάστημα 1970-2010	15
Σχήμα 15.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Ελληνικό για το χρονικό διάστημα 1970-2010	15
Σχήμα 16.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Μαραθώνα για το χρονικό διάστημα 1970-2010	16
Σχήμα 17.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Μαρκόπουλο για το χρονικό διάστημα 1970-2010	16
Σχήμα 18.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Περιστέρι για το χρονικό διάστημα 1970-2010	17
Σχήμα 19.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Τατόι για το χρονικό διάστημα 1970-2010	17
Σχήμα 20.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Νέα Φιλαδέλφεια για το χρονικό διάστημα 1970-2010	18
Σχήμα 21.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Χαλάνδρι για το χρονικό διάστημα 1970-2010	18

Σχήμα 22.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Πειραιά για το χρονικό διάστημα 1970-2010	19
Σχήμα 23.	Επεισόδια ξηρασίας, ένταση και διάρκεια αυτών, όπως υπολογίστηκαν για κάθε σταθμό για την ιστορική περίοδο (1970 – 2010)	24
Σχήμα 24.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Βύρωνα για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)	29
Σχήμα 25.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Ελευσίνα για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)	30
Σχήμα 26.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Ελληνικό για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)	30
Σχήμα 27.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Μαραθώνα για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)	31
Σχήμα 28.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Μαρκόπουλο για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)	31
Σχήμα 29.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Περιστερί για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)	32
Σχήμα 30.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Τατόι για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)	32
Σχήμα 31.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Νέα Φιλαδέλφεια για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)	33
Σχήμα 32.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Χαλάνδρι για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)	33
Σχήμα 33.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Πειραιά για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)	34
Σχήμα 34.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Βύρωνα για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)	35
Σχήμα 35.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Ελευσίνα για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)	36
Σχήμα 36.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Ελληνικό για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)	36
Σχήμα 37.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Μαραθώνα για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)	37

Σχήμα 38.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Μαρκόπουλο για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)	37
Σχήμα 39.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Περιστέρι για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)	38
Σχήμα 40.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Τατόι για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)	38
Σχήμα 41.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Νέα Φιλαδέλφεια για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)	39
Σχήμα 42.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Χαλάνδρι για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)	39
Σχήμα 43.	Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Πειραιά για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)	40
Σχήμα 44.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Βύρωνα για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)	41
Σχήμα 45.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Ελευσίνα για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)	41
Σχήμα 46.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Ελληνικό για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)	42
Σχήμα 47.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Μραθώνα για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)	42
Σχήμα 48.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Μαρκόπουλο για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)	43
Σχήμα 49.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Περιστέρι για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)	43
Σχήμα 50.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Τατόι για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)	44
Σχήμα 51.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Νέα Φιλαδέλφεια για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)	44
Σχήμα 52.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Χαλάνδρι για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)	45
Σχήμα 53.	Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Πειραιά για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)	45

Σχήμα 54.	Ετήσια ύψη βροχής της ιστορικής περιόδου (1970-2010) και των κλιματικών σεναρίων A1B & A2 (2010-2100)	46
Σχήμα 55.	Επεισόδια ξηρασίας, ένταση και διάρκεια αυτών, όπως υπολογίστηκαν για κάθε σταθμό για το κλιματικό σενάριο A1B (περίοδο 2010 – 2100)	48
Σχήμα 56.	Επεισόδια ξηρασίας, ένταση και διάρκεια αυτών, όπως υπολογίστηκαν για κάθε σταθμό για το κλιματικό σενάριο A2 (περίοδο 2010 – 2100)	49
Σχήμα 57.	Δείκτης τρωτότητας στη ξηρασία (DVI), για τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Αττικής για τα δύο κλιματικά σενάρια A1B & A2 (περίοδο 2010 – 2100)	50

Κ Α Τ Α Λ Ο Γ Ο Σ Χ Α Ρ Τ Ω Ν

		σελ.
Χάρτης 1.	Δείκτες τρωτότητας στη ξηρασία (DVI), για τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Αττικής, όπως αυτοί υπολογίστηκαν κατά τη χρονική περίοδο 1970 – 2010	27
Χάρτης 2.	Δείκτες τρωτότητας στη ξηρασία (DVI), για τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Αττικής όπως αυτοί υπολογίστηκαν για το κλιματικό σενάριο A1B (περίοδο 2010 – 2100)	51
Χάρτης 3.	Δείκτες τρωτότητας στη ξηρασία (DVI), για τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Αττικής όπως αυτοί υπολογίστηκαν για το κλιματικό σενάριο A2 (περίοδο 2010 – 2100)	52

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο πλαίσιο της κατάρτισης του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (ΥΠΕΚΑ 2013), εκπονήθηκε ειδική μελέτη με τίτλο «Σχέδιο Διαχείρισης Ξηρασίας – Λειψυδρίας».

Ο βασικός σκοπός της ήταν: α) να ποσοτικοποιήσει τα φαινόμενα ξηρασίας και λειψυδρίας στο Υδατικό Διαμέρισμα της Αττικής (ΥΔ06), β) να εξετάσει πιθανές μεθοδολογίες για την πρόβλεψη εκδήλωσης μελλοντικών φαινομένων και γ) να προτείνει μέτρα αντιμετώπισης για διάφορα επίπεδα επικινδυνότητας.

Το παρόν πόνημα αποσκοπεί στην ενδυνάμωση της αποτελεσματικότητας του προαναφερθέντος «Σχεδίου Διαχείρισης Ξηρασίας – Λειψυδρίας» στο Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής, μέσω της ενίσχυσης της διαδικασίας πρόβλεψης μελλοντικών επεισοδίων ξηρασίας.

Πιο συγκεκριμένα στο πλαίσιο του παρόντος:

α) δημιουργήθηκαν μελλοντικές χρονοσειρές μηνιαίων τιμών βροχής για τα επόμενα 100 χρόνια (2010 – 2100), για κάθε μετεωρολογικό σταθμό της περιοχής, με τη χρήση προγνωστικών μετεωρολογικών μοντέλων για τα δύο κλιματικά σενάρια A1B και A2.

β) χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος δείκτης ξηρασίας (SPI-12) και τρωτότητας στη ξηρασία (Drought Vulnerability Index, DVI), καθώς επίσης χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια όρια χαρακτηρισμού των δεικτών αυτών, ώστε τα αποτελέσματα να είναι συμβατά με τα αντίστοιχα στο «Σχέδιο Διαχείρισης Ξηρασίας – Λειψυδρίας».

Προς αυτή την κατεύθυνση, πρώτο βήμα αποτέλεσε η συγκέντρωση δεδομένων βροχής από τους μετεωρολογικούς σταθμούς οι οποίοι βρίσκονται εντός των ορίων της Περιφέρειας και του υδατικού διαμερίσματος Αττικής και στη συνέχεια η επεξεργασία και συμπλήρωση αυτών των δεδομένων. Κατεβλήθη προσπάθεια η ιστορική χρονοσειρά των δεδομένων να είναι διάρκειας μεγαλύτερης των 30 ετών (1970 – 2010), γεγονός που εξασφαλίζει την ακρίβεια υπολογισμού του δείκτη ξηρασίας.

Ως δεύτερο βήμα, υπολογίστηκαν ο δείκτης ξηρασίας SPI-12 και ο δείκτης τρωτότητας στη ξηρασία DVI, για την ιστορική χρονοσειρά δεδομένων, ακολουθώντας τη μεθοδολογία που υιοθετήθηκε και στο «Σχέδιο Διαχείρισης Ξηρασίας – Λειψυδρίας». Στο πλαίσιο αυτό πραγματοποιήθηκε έλεγχος των αποτελεσμάτων ως προς τα αντίστοιχα τα οποία προέκυψαν από το «Σχέδιο Διαχείρισης Ξηρασίας – Λειψυδρίας».

Τέλος, υπολογίστηκαν οι ανωτέρω δείκτες (SPI-12 και DVI) με βάση τις χρονοσειρές μηνιαίων τιμών βροχής των μελλοντικών ετών και εντοπίστηκαν τα μελλοντικά επεισόδια ξηρασίας, η διάρκεια και έντασή τους για τα δύο κλιματικά σενάρια.

ΜΕΡΟΣ Α

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1970-2010

1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

1.1. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ - ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για τους σκοπούς του παρόντος, τα βασικά κριτήρια για την επιλογή των σταθμών παρακολούθησης μετεωρολογικών παραμέτρων ήταν: α) τα στοιχεία που διαθέτουν να καλύπτουν τη χρονική περίοδο (1970-2010), και β) η γεωγραφική τους κατανομή, να είναι τέτοια, ώστε να καλύπτουν κατά το δυνατό ομοιόμορφα την περιοχή μελέτης.

Πηγή πρωτογενών δεδομένων αποτέλεσαν τα μηνιαία φύλλα καταγραφής των μετεωρολογικών παρατηρήσεων του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (Υ.ΠΕ.Κ.Α) και της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ). Η πρωτογενής αυτή πληροφορία καταχωρήθηκε σε μηνιαίο βήμα για το ύψος βροχής και τη θερμοκρασία με τη χρήση λογισμικού επεξεργασίας λογιστικών φύλλων (MS Excel) και την εφαρμογή του λογισμικού “Υδρογνώμων ή Υδρογνώμονας” (www.hydroscope.gr).

Οι πρωτογενείς καταγραφές των μετεωρολογικών παραμέτρων υποβλήθηκαν στα ακόλουθα στάδια επεξεργασίας:

- Συμπλήρωση ελλείψεων (με βάση μηνιαίες τιμές), οι οποίες οφείλονται συνήθως σε βλάβη των οργάνων ή αμέλεια ή κωλύματα των παρατηρητών.
- Επέκταση των χρονοσειρών (με βάση μηνιαίες τιμές), στις περιπτώσεις όπου η λειτουργία των σταθμών εκτείνεται σε μικρότερο διάστημα από αυτό της περιόδου ενδιαφέροντος.

Ως μέθοδος συμπλήρωσης χρησιμοποιήθηκε η Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος 1999, Παπαμιχαήλ 2001, Μπαλτάς 2006). Σύμφωνα με αυτήν, η προς συμπλήρωση τιμή Y_i (εξαρτημένη) εκτιμάται από την αντίστοιχη τιμή X_i (ανεξάρτητη) ενός γειτονικού σταθμού αναφοράς, για την περίοδο όπου σημειώνεται η έλλειψη στον σταθμό Y , με βάση τη γραμμική σχέση:

$$Y_i = aX_i + b$$

όπου

Y_i : η κενή, προς συμπλήρωση τιμή,

X_i : η τιμή του σταθμού αναφοράς,

i : ο εκάστοτε μήνας,

a και b : παράμετροι που εκτιμώνται με τρόπο ώστε να ελαχιστοποιηθεί το τετραγωνικό σφάλμα της εκτίμησης.

Ο βαθμός καταλληλότητας της μεθόδου καθορίζεται από τον συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (r), μεταξύ των τιμών των δύο σταθμών, του οποίου οι τιμές κυμαίνονται στο διάστημα $(-1, 1)$. Για να είναι σημαντική η συσχέτιση θα πρέπει ο συντελεστής r να είναι κατά απόλυτη τιμή μεγαλύτερος από την κρίσιμη τιμή: $r > 0,7$.

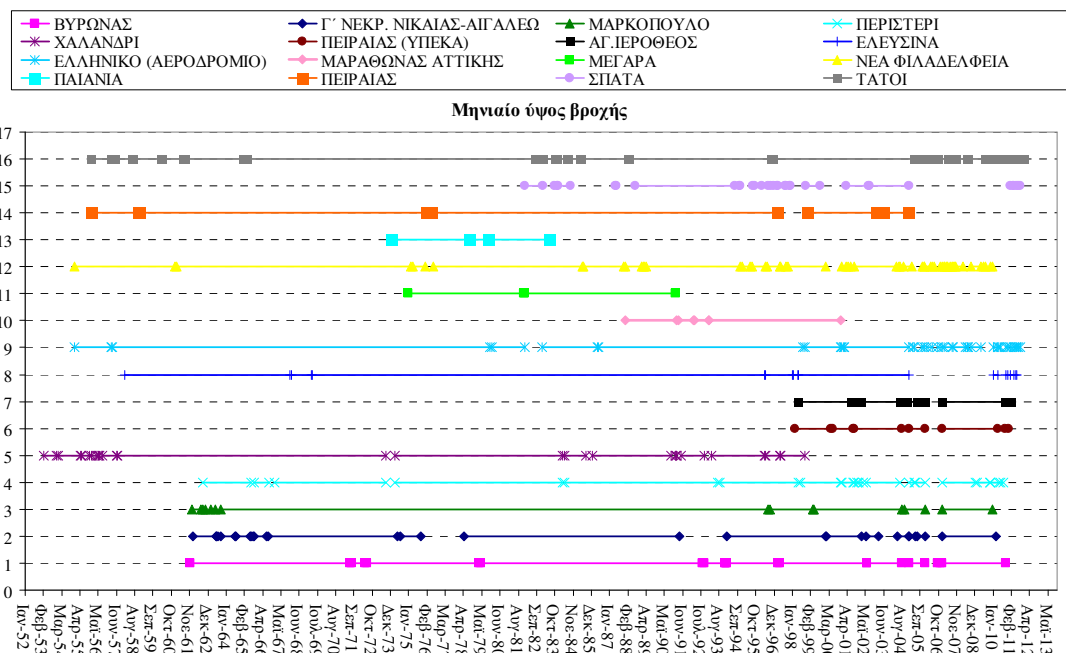
Έτσι, εκτιμήθηκε η συσχέτιση του μηνιαίου ύψους βροχής/θερμοκρασίας όλων των σταθμών μεταξύ τους.

1.2. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Στον Πίνακα 1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μετεωρολογικοί σταθμοί, το υψόμετρο, ο φορέας διαχείρισης του σταθμού καθώς και το είδος της μετρούμενης παραμέτρου στην περιοχή μελέτης της Αττικής. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται το χρονικό διάστημα, για το οποίο οι σταθμοί στην περιοχή μελέτης διαθέτουν παρατηρήσεις μηνιαίου ύψους βροχής.

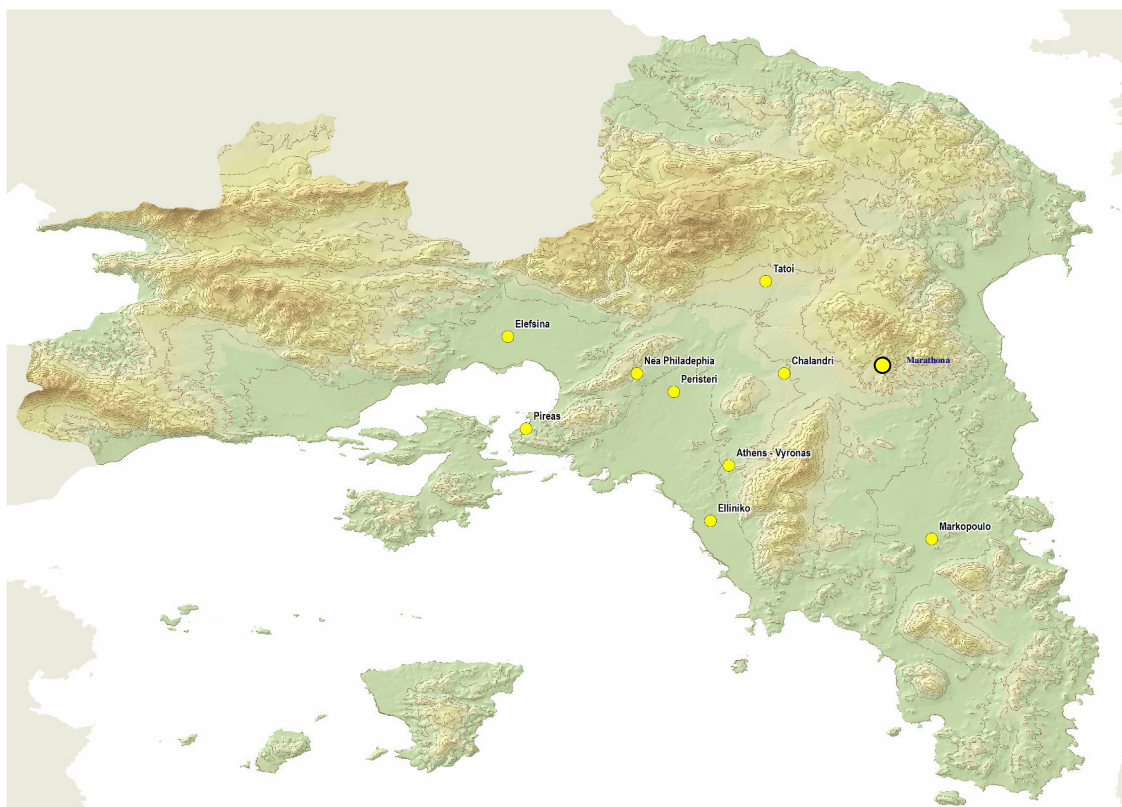
Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά των μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή μελέτης

α/α	Ονομασία σταθμού	Υψόμετρο (m)	Φορέας διαχείρισης	Μετεωρολογικές μεταβλητές
1	Τατόι	237,9	ΕΜΥ	Ύψος βροχής, θερμοκρασία
2	Ελευσίνα	30	ΕΜΥ	Ύψος βροχής, θερμοκρασία
3	Ελληνικό	10	ΕΜΥ	Ύψος βροχής, θερμοκρασία
4	Μαραθώνα	-	ΕΜΥ	Ύψος βροχής, θερμοκρασία
5	Νέα Φιλαδέλφεια	136	ΕΜΥ	Ύψος βροχής, θερμοκρασία
6	Πειραιάς	7	ΕΜΥ	Ύψος βροχής, θερμοκρασία
7	Παιανία	152	ΕΜΥ	Ύψος βροχής, θερμοκρασία
8	Μέγαρα	-	ΕΜΥ	Ύψος βροχής, θερμοκρασία
9	Σπάτα	67,6	ΕΜΥ	Ύψος βροχής, θερμοκρασία
10	Μαρκόπουλο	83,6	ΥΠΕΚΑ	Ύψος βροχής, θερμοκρασία
11	Περιστέρι	75,4	ΥΠΕΚΑ	Ύψος βροχής
12	Βύρωνα	226,4	ΥΠΕΚΑ	Ύψος βροχής, θερμοκρασία
13	Χαλάνδρι	189,3	ΥΠΕΚΑ	Ύψος βροχής
14	Πειραιάς	-	ΥΠΕΚΑ	Ύψος βροχής
15	Γ'Νεκρ.Νίκαιας-Αιγάλεω	67,2	ΥΠΕΚΑ	Ύψος βροχής
16	Αγ.Ιερόθεος	-	ΥΠΕΚΑ	Ύψος βροχής



Σχήμα 1. Περίοδος διαθεσιμότητας δεδομένων μηνιαίου ύψους βροχής στην περιοχή μελέτης

Από το Σχήμα 1 γίνεται αντιληπτό ότι σε όλους τους σταθμούς παρουσιάζονται αρκετές ελλείψεις είτε σε μεμονωμένους μήνες είτε σε ευρύτερα χρονικά διαστήματα που καλύπτουν διαφορετικές περιόδους. Σε 6 από τους ανωτέρω σταθμούς, το χρονικό διάστημα παρατηρήσεων ήταν πολύ μικρό και επομένως επιλέχθηκε να μην χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα τους (σταθμοί: Μέγαρα, Σπάτα, Αγ.Ιερόθεος, Αιγάλεω, Παιανία, Πειραιάς (ΥΠΕΚΑ)). Για τους υπόλοιπους 10 σταθμούς (Σχήμα 2), προκειμένου να αποκτηθεί πλήρης χρονοσειρά δεδομένων ύψους βροχής, τα διαθέσιμα δεδομένα συμπληρώθηκαν και επεκτάθηκαν ώστε να καλύπτουν την περίοδο Ιανουάριος 1970 – Δεκέμβριος 2010.



Σχήμα 2. Μετεωρολογικοί σταθμοί στην περιοχή της Αττικής

Η συμπλήρωση και επέκταση των δεδομένων έγινε σε μηνιαία κλίμακα. Αρχικά εκτιμήθηκε η συσχέτιση του μηνιαίου ύψους βροχής όλων των σταθμών μεταξύ τους. Οι συντελεστές συσχέτισης που προέκυψαν από την ανάλυση αυτή δίνονται στον Πίνακα 2. Η συμπλήρωση και επέκταση των δεδομένων του κάθε σταθμού έγινε με βάση τα δεδομένα του γειτονικού του σταθμού με τη μεγαλύτερη συσχέτιση.

Πίνακας 2. Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης (r), των μηνιαίων υψών βροχής των σταθμών στην περιοχή της Αττικής

Μετεωρολογικοί σταθμοί	Συντελεστές συσχέτισης (r)								
	Ελευσίνα	Ελληνικό	Μαραθώνας	Μαρκόπουλο	Περιστέρι	Τατόι	Νέα Φιλαδέλφεια	Χαλάνδρι	Πειραιάς
Βύρωνας	0,758	0,865	0,854	0,814	0,778	0,716	0,786	0,820	0,763
Ελευσίνα		0,853	0,866	0,786	0,801	0,750	0,867	0,819	0,777
Ελληνικό			0,884	0,907	0,825	0,793	0,898	0,898	0,856
Μαραθώνας				0,852	0,832	0,790	0,858	0,828	0,881
Μαρκόπουλο					0,785	0,788	0,843	0,882	0,783
Περιστέρι						0,754	0,878	0,846	0,760
Τατόι							0,831	0,843	0,672
Νέα Φιλαδέλφεια								0,907	0,809
Χαλάνδρι									0,811

- Συμπλήρωση σταθμού Μαρκόπουλο

Για τη συμπλήρωση των μηνιαίων τιμών ύψους βροχής του σταθμού Μαρκόπουλο, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του σταθμού Ελληνικό, λόγω της ισχυρής θετικής συσχέτισης που είχαν μεταξύ τους.

- Συμπλήρωση σταθμού Ελληνικό

Για τη συμπλήρωση των μηνιαίων τιμών ύψους βροχής του σταθμού Ελληνικό, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των σταθμών Μαρκόπουλο και Βύρωνα, λόγω της ισχυρής θετικής συσχέτισης που είχαν μεταξύ τους.

- Συμπλήρωση σταθμού Βύρωνα

Για τη συμπλήρωση των μηνιαίων τιμών ύψους βροχής του σταθμού Βύρωνα, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του σταθμού Ελληνικό, λόγω της ισχυρής θετικής συσχέτισης που είχαν μεταξύ τους.

- Συμπλήρωση σταθμού Χαλάνδρι

Για τη συμπλήρωση των μηνιαίων τιμών ύψους βροχής του σταθμού Χαλάνδρι, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των σταθμών Νέα Φιλαδέλφεια και Ελληνικό, λόγω της ισχυρής θετικής συσχέτισης που είχαν μεταξύ τους.

- Συμπλήρωση σταθμού Νέα Φιλαδέλφεια

Για τη συμπλήρωση των μηνιαίων τιμών ύψους βροχής του σταθμού Νέα Φιλαδέλφεια, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των σταθμών Χαλάνδρι και Ελληνικό, λόγω της ισχυρής θετικής συσχέτισης που είχαν μεταξύ τους.

- Συμπλήρωση σταθμού Ελευσίνα

Για τη συμπλήρωση των μηνιαίων τιμών ύψους βροχής του σταθμού Ελευσίνα, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του σταθμού Νέα Φιλαδέλφεια, λόγω της ισχυρής θετικής συσχέτισης που είχαν μεταξύ τους.

- Συμπλήρωση σταθμού Πειραιά

Για τη συμπλήρωση των μηνιαίων τιμών ύψους βροχής του σταθμού Πειραιά, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του σταθμού Ελληνικό, λόγω της ισχυρής θετικής συσχέτισης που είχαν μεταξύ τους.

- Συμπλήρωση σταθμού Τατόι

Για τη συμπλήρωση των μηνιαίων τιμών ύψους βροχής του σταθμού Τατόι, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του σταθμού Χαλάνδρι, λόγω της ισχυρής θετικής συσχέτισης που είχαν μεταξύ τους.

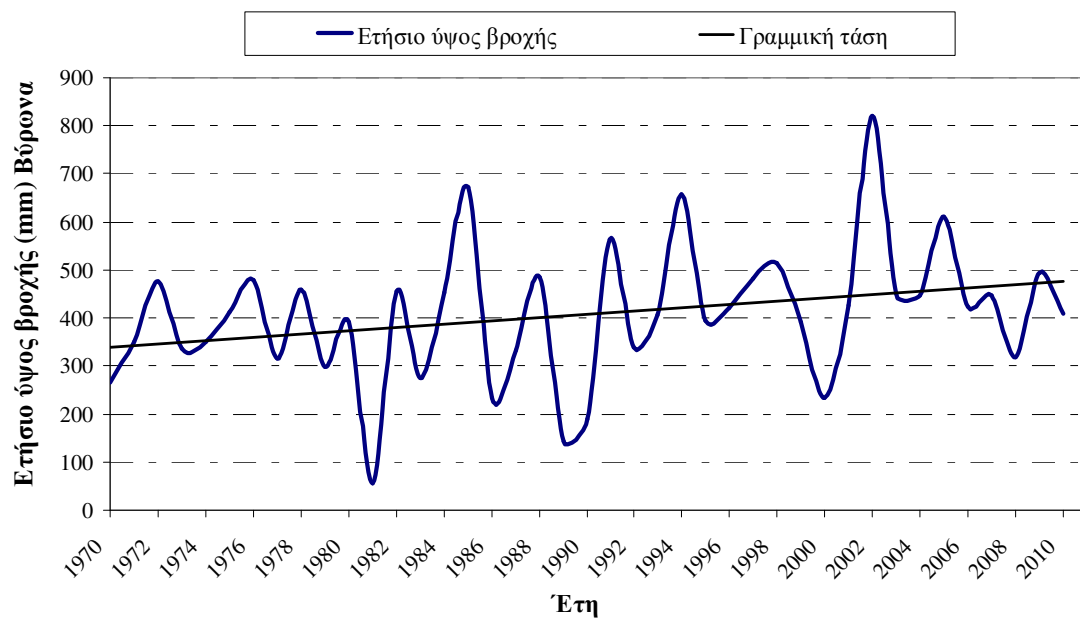
- Συμπλήρωση σταθμού Μαραθώνα

Για τη συμπλήρωση των μηνιαίων τιμών ύψους βροχής του σταθμού Μαραθώνα, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του σταθμού Ελληνικό, λόγω της ισχυρής θετικής συσχέτισης που είχαν μεταξύ τους.

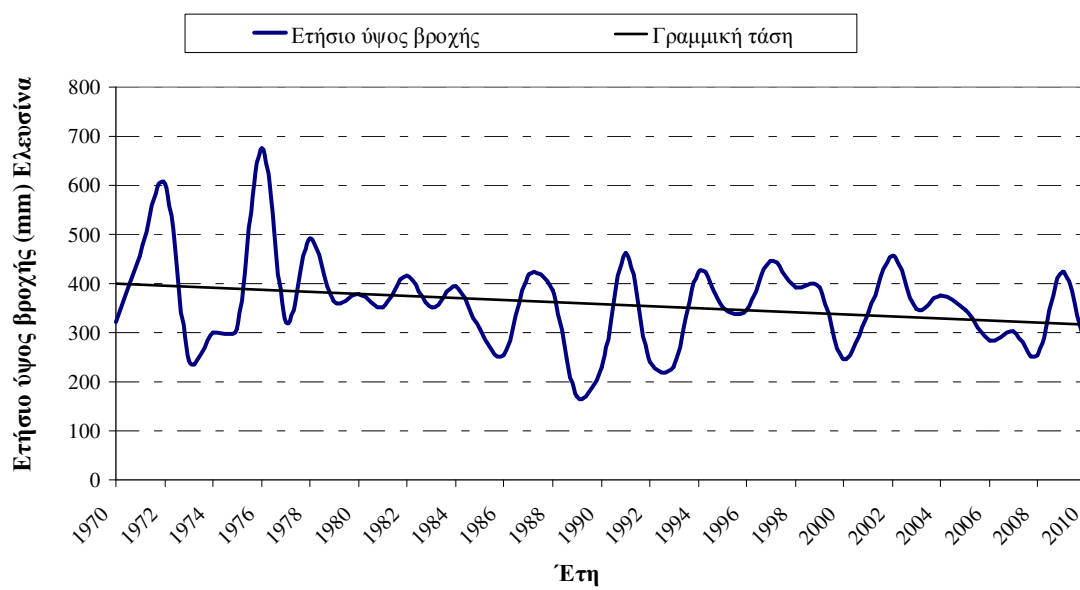
- Συμπλήρωση σταθμού Περιστερί

Για τη συμπλήρωση των μηνιαίων τιμών ύψους βροχής του σταθμού Περιστερί, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του σταθμού Νέα Φιλαδέλφεια, λόγω της ισχυρής θετικής συσχέτισης που είχαν μεταξύ τους.

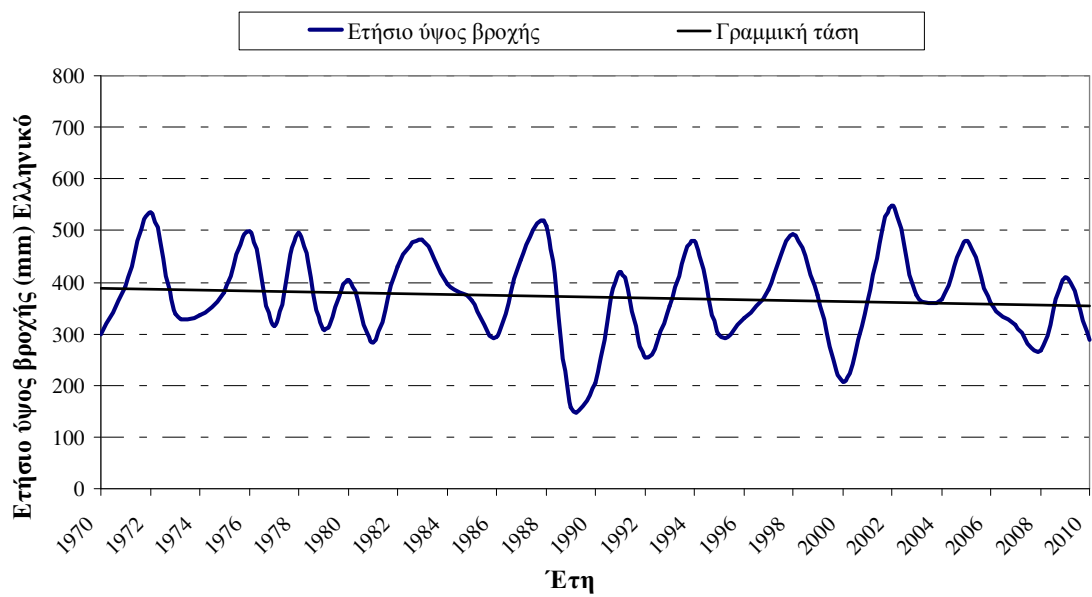
Στα Σχήματα 3 έως 12 παρουσιάζεται γραφικά η διακύμανση του ετήσιου ύψους βροχής των σταθμών Βύρωνα, Ελευσίνα, Ελληνικό, Μαραθώνα, Μαρκόπουλο, Περιστερί, Τατόι, Νέα Φιλαδέλφεια, Χαλάνδρι, Πειραιά και η γραμμική του τάση αντίστοιχα.



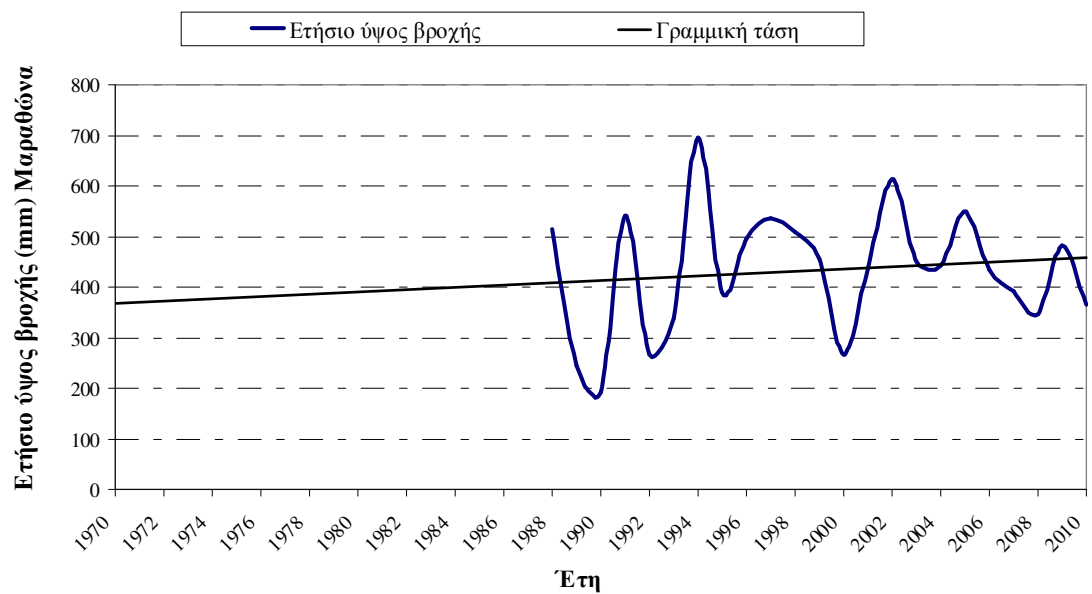
Σχήμα 3. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Βύρωνα



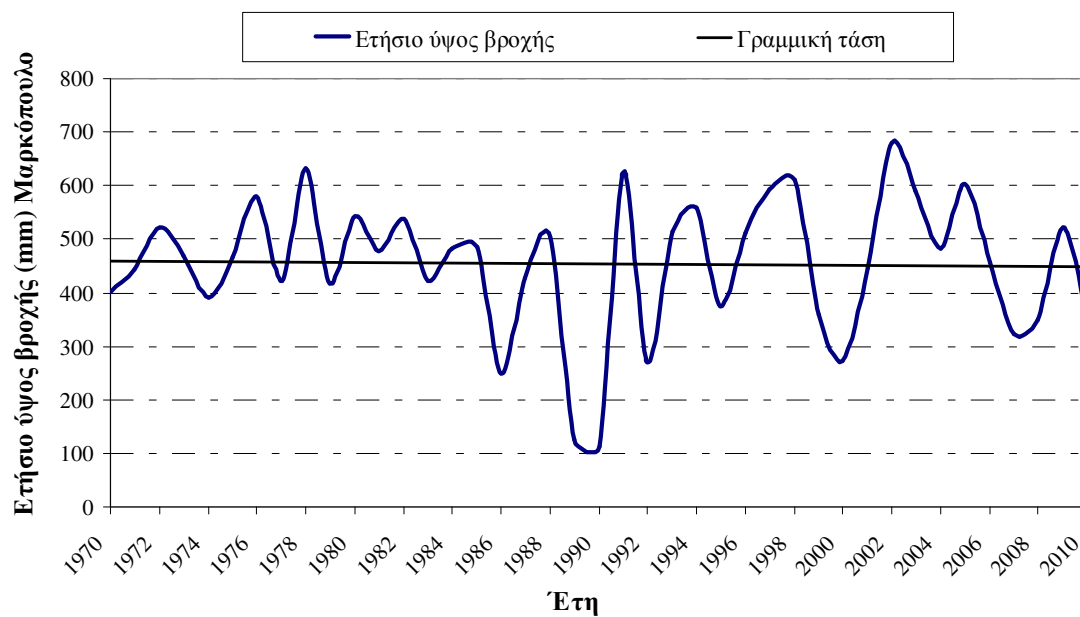
Σχήμα 4. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Ελευσίνα



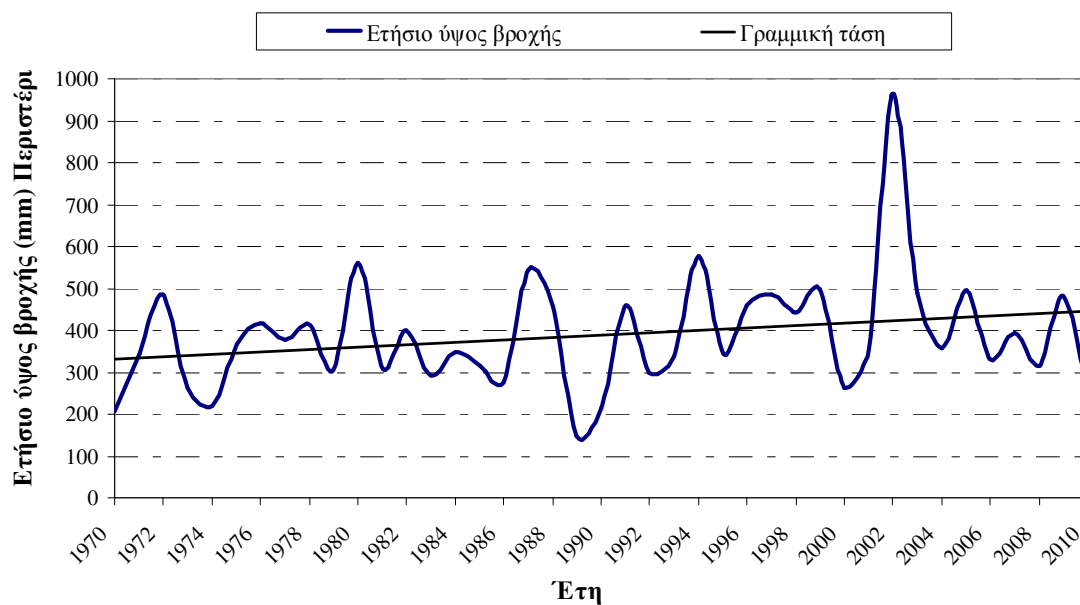
Σχήμα 5. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Ελληνικό



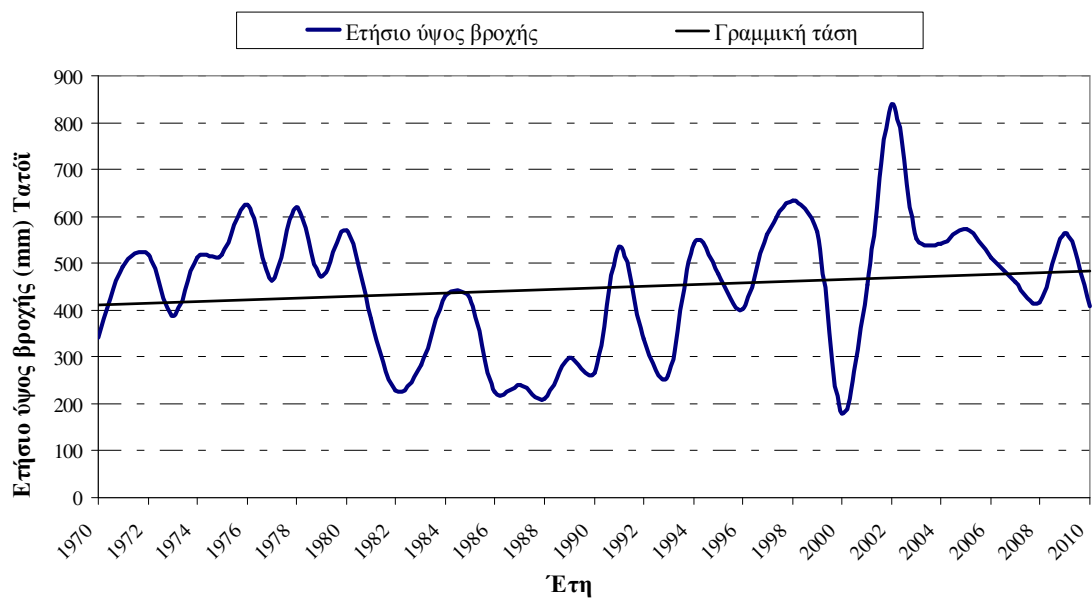
Σχήμα 6. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Μαραθώνα



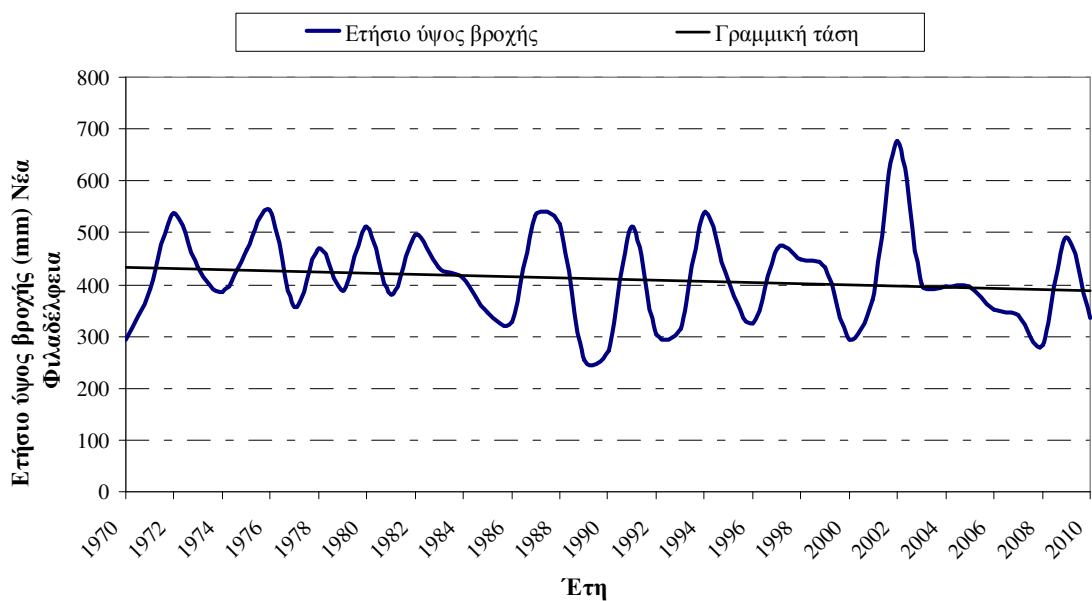
Σχήμα 7. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Μαρκόπουλο



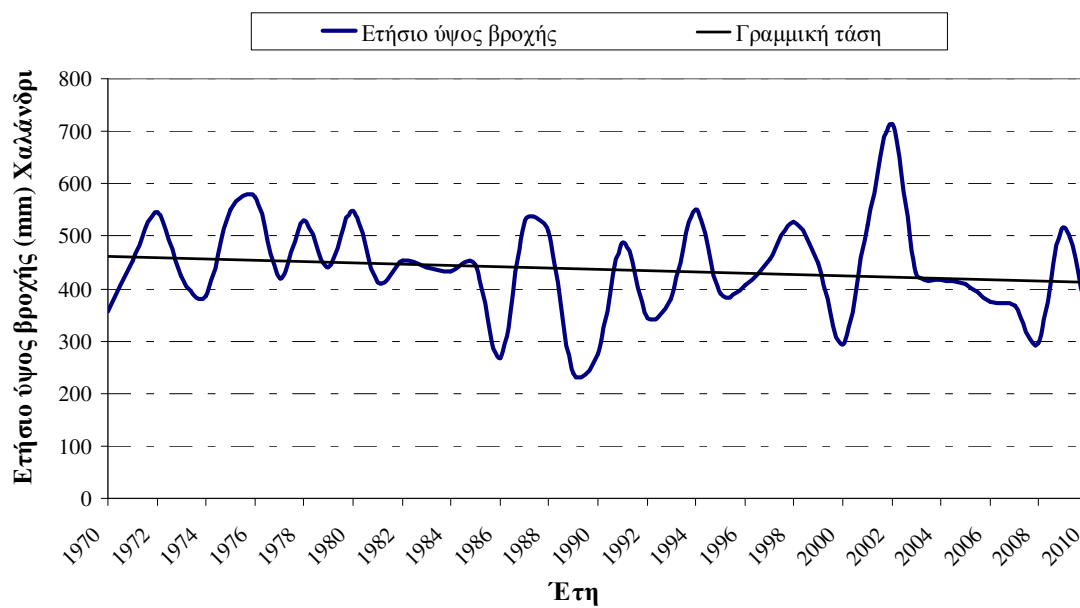
Σχήμα 8. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Περιστερί



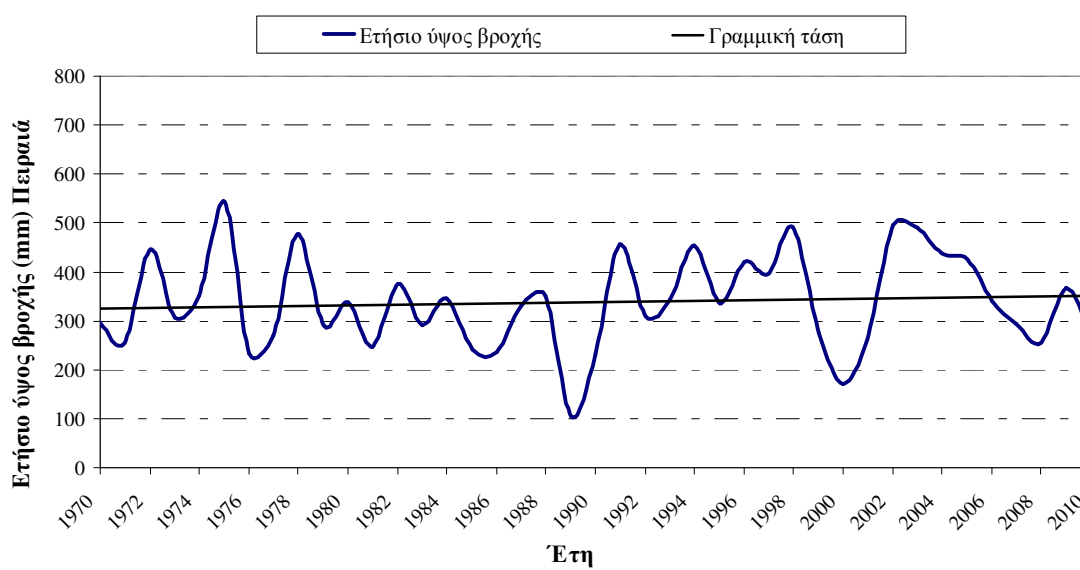
Σχήμα 9. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Ταतो



Σχήμα 10. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Νέα Φιλαδέλφεια



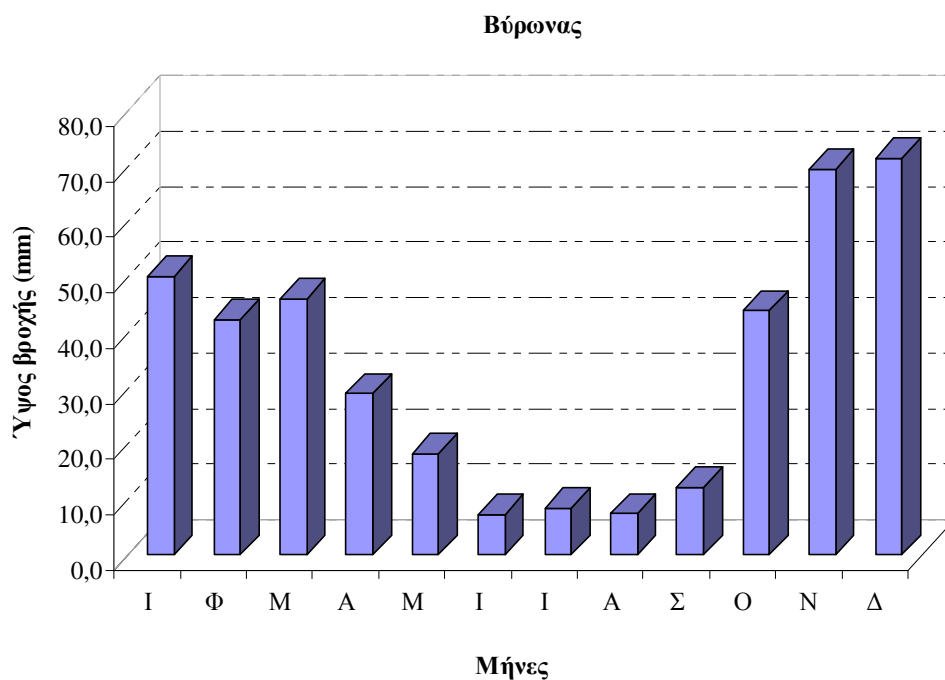
Σχήμα 11. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Χαλάνδρι



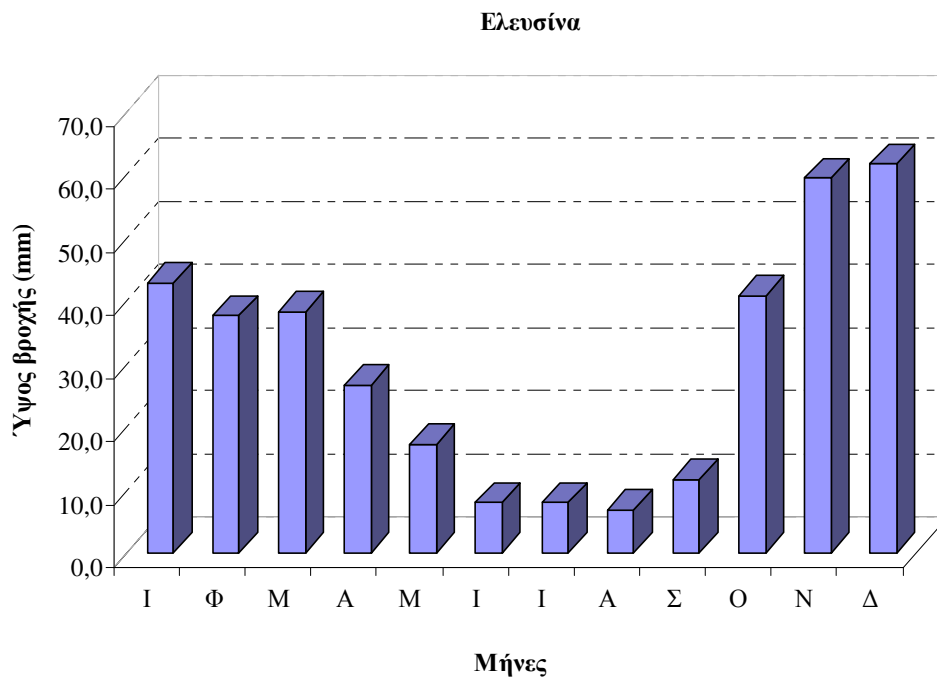
Σχήμα 12. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Πειραιά

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής των σταθμών Βύρωνα, Ελευσίνα, Ελληνικό, Μαρκόπουλο, Περιστερί, Τατόι, Νέα Φιλαδέλφεια, Χαλάνδρι, Πειραιά ανέρχεται σε 407,0 mm, 357,8 mm, 371,8 mm, 453,9 mm, 387,1 mm, 447,0 mm, 410,5 mm, 436,9 mm, 337,9 mm αντίστοιχα, μετά και τη συμπλήρωση των ελλειπουσών τιμών και για το χρονικό διάστημα Ιανουάριος 1970 έως Δεκέμβριο 2010 ενώ για τον σταθμό Μαραθώνα ανέρχεται σε 433,0 mm για το χρονικό διάστημα Ιανουάριος 1988 έως Δεκέμβριο 2010.

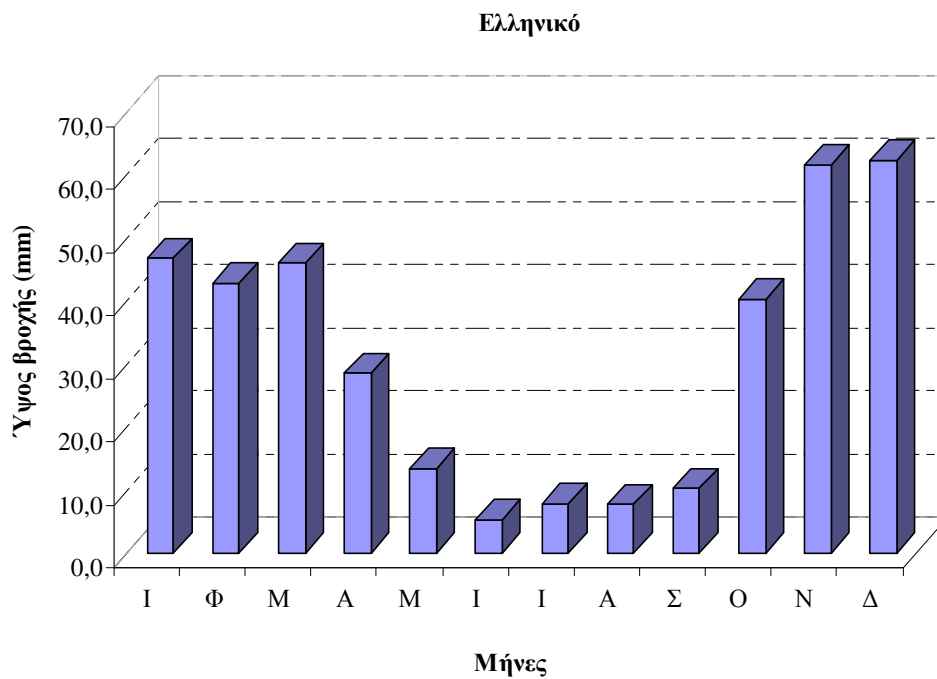
Στα Σχήματα 13 έως 22 δίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές του ύψους βροχής για τους σταθμούς Βύρωνα, Ελευσίνα, Ελληνικό, Μαραθώνα, Μαρκόπουλο, Περιστερί, Τατόι, Νέα Φιλαδέλφεια, Χαλάνδρι, Πειραιά αντίστοιχα, μετά από τη συμπλήρωσή τους και για το προαναφερθέν χρονικό διάστημα.



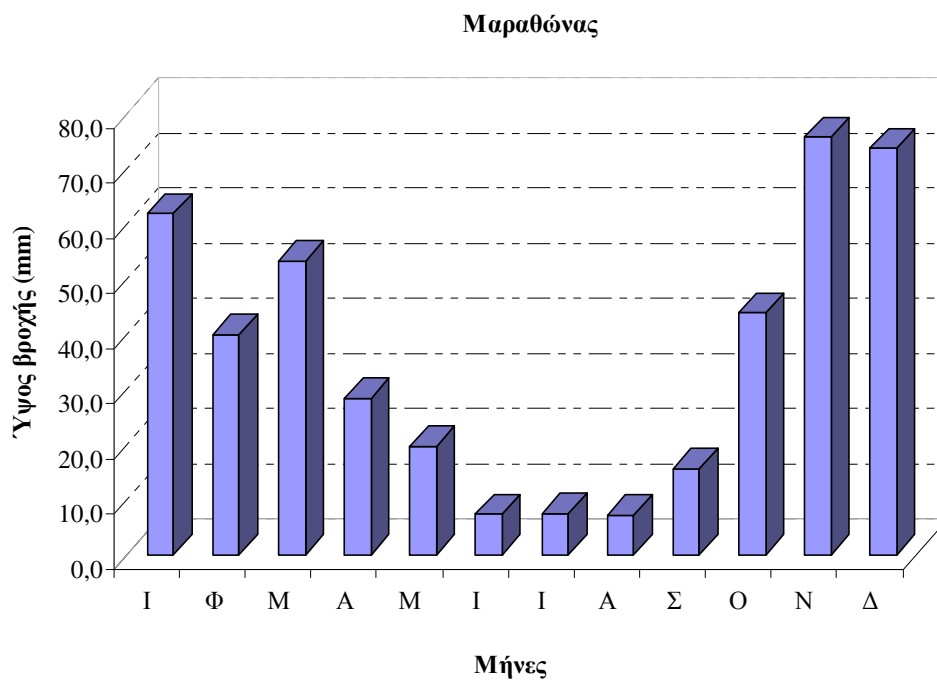
Σχήμα 13. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Βύρωνα για το χρονικό διάστημα 1970-2010



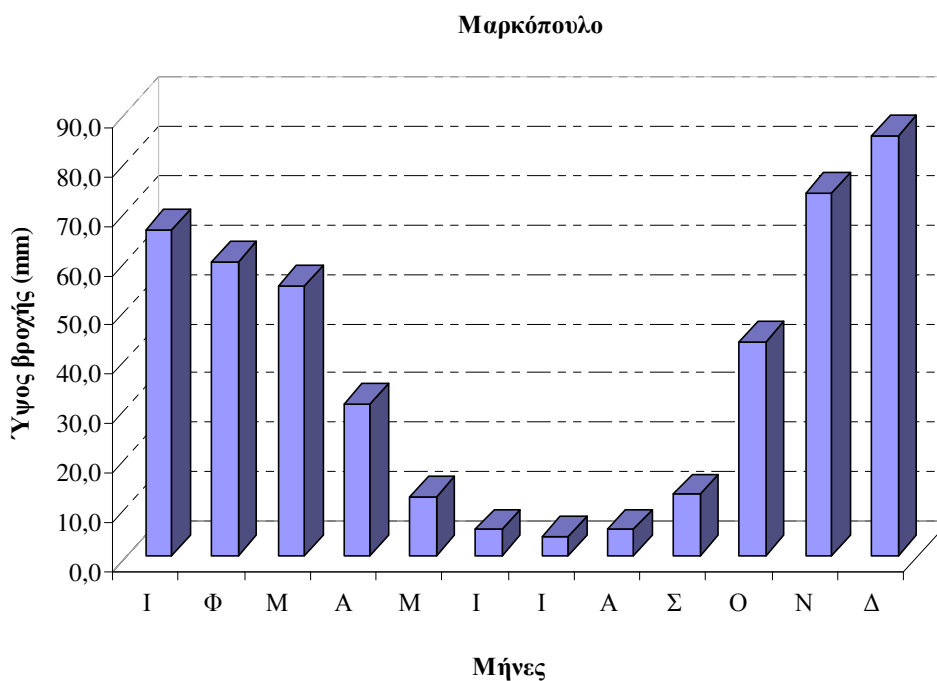
Σχήμα 14. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Ελευσίνα για το χρονικό διάστημα 1970-2010



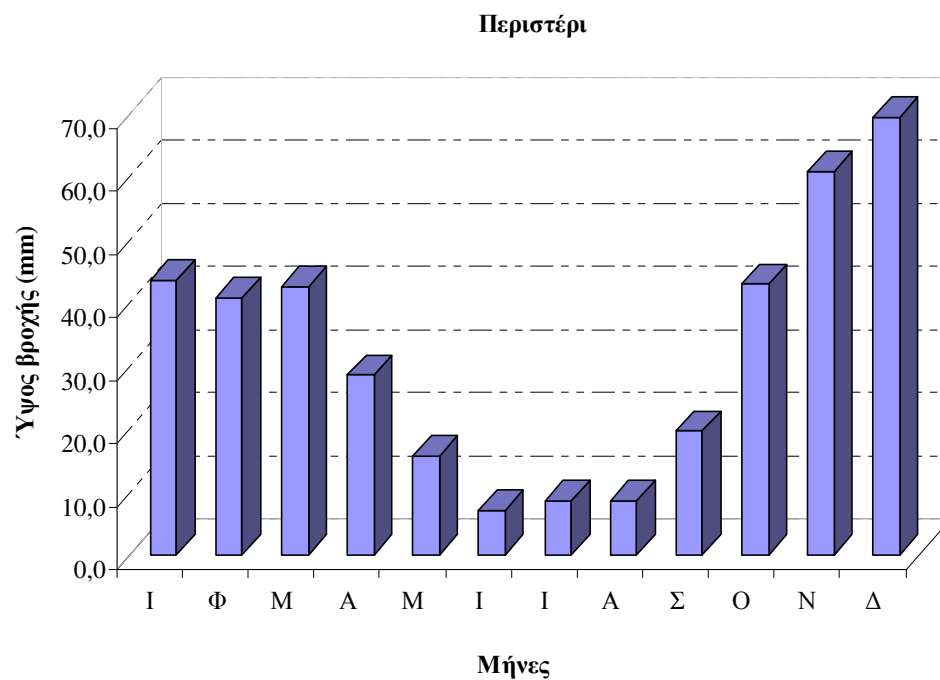
Σχήμα 15. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Ελληνικό για το χρονικό διάστημα 1970-2010



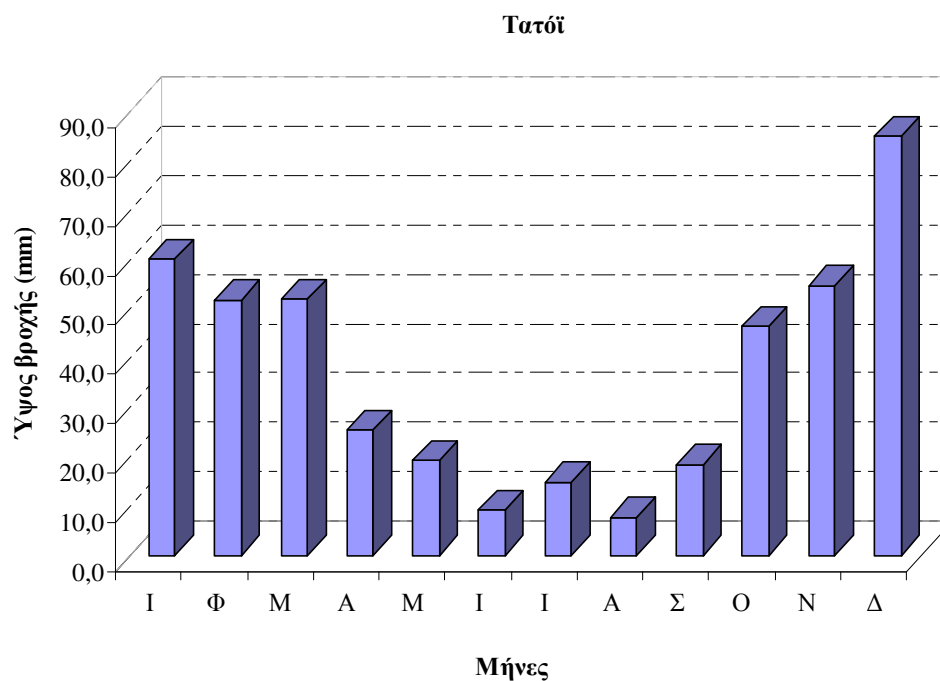
Σχήμα 16. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Μαραθώνα για το χρονικό διάστημα 1988-2010



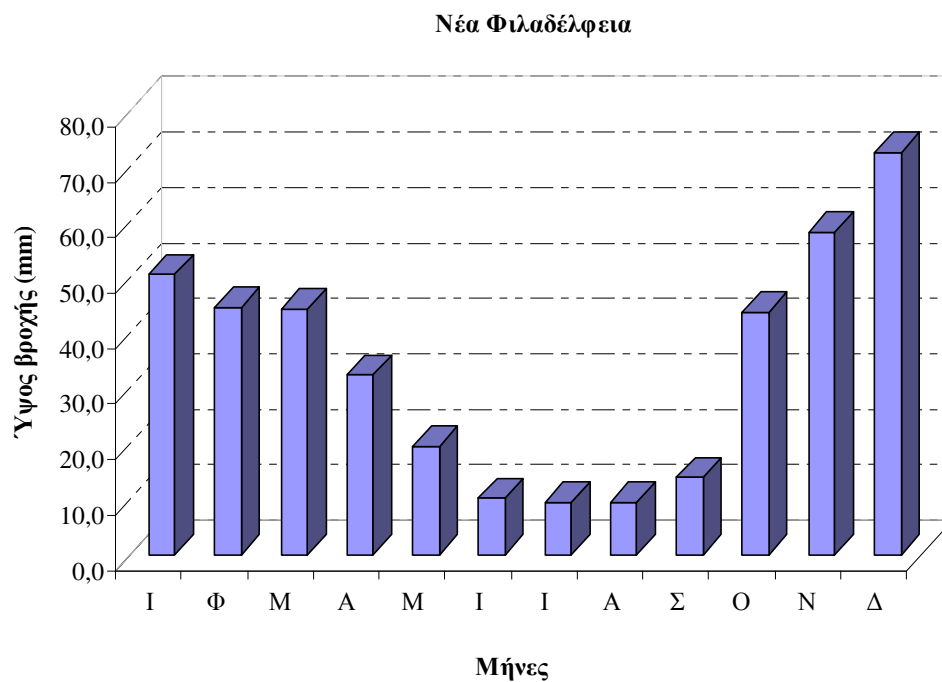
Σχήμα 17. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Μαρκόπουλο για το χρονικό διάστημα 1970-2010



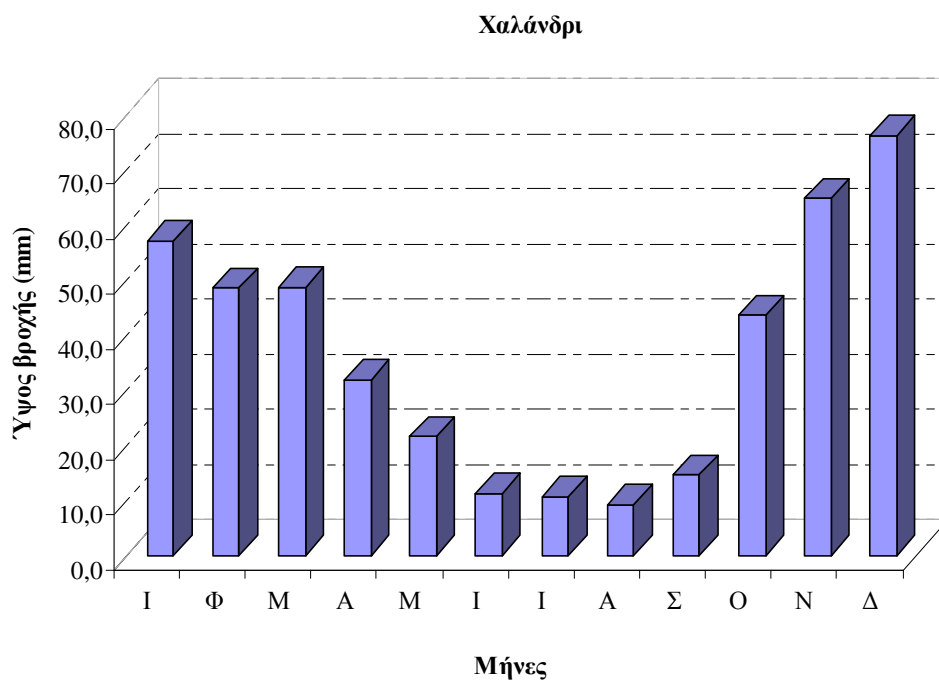
Σχήμα 18. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Περιστέρι για το χρονικό διάστημα 1970-2010



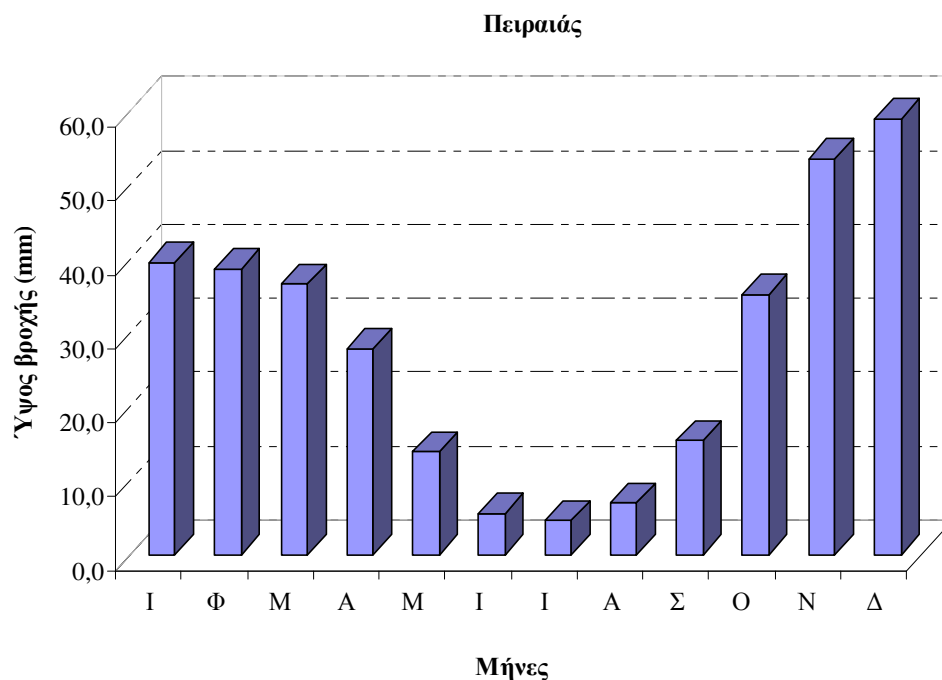
Σχήμα 19. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Τατόι για το χρονικό διάστημα 1970-2010



Σχήμα 20. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Νέα Φιλαδέλφεια για το χρονικό διάστημα 1970-2010



Σχήμα 21. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Χαλάνδρι για το χρονικό διάστημα 1970-2010



Σχήμα 22. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Πειραιά για το χρονικό διάστημα 1970-2010

Από τα Σχήματα αυτά, προκύπτει ότι το μέγιστο της βροχόπτωσης παρατηρείται κατά τον μήνα Δεκέμβριο για όλους του προαναφερθέντες μετεωρολογικούς σταθμούς εκτός από τον σταθμό Μαραθώνα, όπου το μέγιστο παρατηρείται τον μήνα Νοέμβριο. Όσον αφορά το ελάχιστο της βροχόπτωσης παρατηρείται κατά τον μήνα Ιούνιο για τους σταθμούς Βύρωνα, Ελληνικό, Περιστερί, Τατόι, κατά τον μήνα Ιούλιο για τους σταθμούς Μαρκόπουλο και Πειραιά και τον μήνα Αύγουστο για τους σταθμούς Ελευσίνα, Μαραθώνα, Νέα Φιλαδέλφεια και Χαλάνδρι.

2. Ο ΔΕΙΚΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ SPI (Standardized Precipitation Index)

Ο δείκτης ξηρασίας SPI αναπτύχθηκε από τους McKee et al. (1993) και βασίζεται στις παρατηρήσεις βροχόπτωσης για μια ορισμένη χρονική περίοδο. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η περίοδος τόσο πιο αξιόπιστα είναι τα αποτελέσματά του. Σύμφωνα με τους McKee et al. (1993) η περίοδος πρέπει να είναι διάρκειας τουλάχιστον 30 ετών.

Ο υπολογισμός του SPI επιτυγχάνεται με την αφαίρεση από τη βροχόπτωση, της μέσης τιμής της χρονικής περιόδου που διερευνάται, και διαιρώντας το αποτέλεσμα με την τυπική απόκλιση. Επειδή όμως η βροχόπτωση δεν έχει κανονική κατανομή, γίνεται μία ρύθμιση η οποία επιτρέπει στον δείκτη SPI να έχει κανονική κατανομή. Επομένως, η μέση τιμή του SPI για μία χρονική περίοδο και για συγκεκριμένη περιοχή είναι 0 και η τυπική απόκλιση είναι 1. Αυτή η κανονικοποίηση του δείκτη SPI αποτελεί πλεονέκτημα, καθώς τα υγρότερα και ξηρότερα τμήματα να μπορούν να αναπαρασταθούν με τον ίδιο τρόπο.

Η φύση του SPI επιτρέπει τον εντοπισμό ενός σπάνιου επεισοδίου ξηρασίας ή ενός εξαιρετικά υγρού επεισοδίου που μπορεί να παρατηρηθεί σε οποιαδήποτε περιοχή και οποιαδήποτε χρονική στιγμή, αρκεί να υπάρχουν επαρκή δεδομένα.

Ο SPI είναι δυνατό να υπολογιστεί για διαφορετικές χρονικές κλίμακες. Οι McKee et al. (1993) υπολόγισαν τον SPI για 3 -, 6 -, 12- , 24- και 48- μηνια χρονικά διαστήματα. Οι μικρές χρονικές κλίμακες αρκούν για την αξιολόγηση και τον χαρακτηρισμό της γεωργικής και μετεωρολογικής ξηρασίας ενώ απαιτούνται μεγαλύτερες κλίμακες για την υδρολογική ξηρασία. Έχει αποδειχθεί ότι ο SPI 3- ή 6-μηνών σχετίζεται με την εδαφική υγρασία (Sims et al. 2002; Ji and Peters 2003), που είναι καθοριστική για τη βλάστηση και τη γεωργία και άρα ελέγχεται η γεωργική, όπως επίσης και η μετεωρολογική ξηρασία (McKee et al. 1993; Hayes et al. 1999), ενώ ο SPI 12-μηνών σχετίζεται με τους υδάτινους πόρους (ταμιευτήρες, ποτάμια, υπόγεια νερά) και συνεπώς, ελέγχεται η υδρολογική ξηρασία (Szalai et al. 2000; Hayes et al. 1999).

Ο SPI είναι αδιάστατος δείκτης, όπου θετικές τιμές υποδεικνύουν βροχοπτώσεις υψηλότερες από το 50% των παρατηρήσεων και αντίστοιχα, αρνητικές τιμές υποδεικνύουν βροχοπτώσεις χαμηλότερες από το 50% των παρατηρήσεων. Αυτή η κανονικοποίηση του δείκτη SPI αποτελεί πλεονέκτημα, έτσι ώστε τα υγρότερα και ξηρότερα επεισόδια να μπορούν να αναπαρασταθούν με τον ίδιο τρόπο.

Οι χαρακτηρισμοί των επεισοδίων ξηρασίας, βασιζόμενοι στην κλίμακα ταξινόμησης του δείκτη SPI κατά McKee et al. (1993), δίνονται στον Πίνακα 3 (Αποστόλου 2010). Ο πίνακας αυτός περιέχει επίσης τις αντίστοιχες πιθανότητες εμφάνισης κάθε κατηγορίας. Επίσης, καθορίστηκαν τα κριτήρια ενός επεισοδίου ξηρασίας σε οποιαδήποτε χρονική κλίμακα. Ένα επεισόδιο ξηρασίας αρχίζει όταν ο δείκτης SPI παίρνει αρνητική τιμή, συνεχίζει με αρνητικές τιμές και γίνεται έντονο όταν ο δείκτης πάρει τιμή μικρότερη ή ίση με το -1.5. Το επεισόδιο τελειώνει όταν ο δείκτης πάρει θετική τιμή. Έτσι κάθε επεισόδιο ξηρασίας έχει τη διάρκειά του, η οποία καθορίζεται από μια αρχή, ένα τέλος και μια ένταση για κάθε μήνα που το επεισόδιο συνεχίζεται.

Πίνακας 3. Ταξινόμηση ξηρασίας με βάση το δείκτη SPI και αντίστοιχες πιθανότητες εμφάνισης

Τιμές SPI	Κατηγορία Επεισοδίου	Πιθανότητα %
$SPI \geq +2.00$	Εξαιρετικά υγρή περίοδος	2.3
$1.50 \leq SPI \leq 1.99$	Πολύ υγρή περίοδος	4.4
$1.00 \leq SPI \leq 1.49$	Υγρή περίοδος	9.2
$0.00 \leq SPI \leq 0.99$	Κανονικές Βροχοπτώσεις	34.1
$-0.99 \leq SPI \leq 0$	Κανονικές Βροχοπτώσεις	34.1
$-1.49 \leq SPI \leq -1.00$	Ξηρασία	9.2
$-1.99 \leq SPI \leq -1.5$	Σημαντική Ξηρασία	4.4
$SPI \leq -2.00$	Εξαιρετική Ξηρασία	2.3

Πηγή: Αποστόλου (2010)

2.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ SPI

Στο «Σχέδιο Διαχείρισης Ξηρασίας – Λειψυδρίας» που εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Διαχειριστικού Σχεδίου Λεκάνης Απορροής Αττικής, χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης SPI διάρκειας 12 μηνών (SPI-12). Για τον υπολογισμό του SPI-12 χρησιμοποιήθηκαν μηνιαία δεδομένα βροχόπτωσης που συλλέχθηκαν από 11 συνολικά μετεωρολογικούς σταθμούς της περιοχής για την περίοδο 1980-2010. Οι ανωτέρω σταθμοί και τα χρονικά διαστήματα για τα οποία μελετήθηκαν δίνονται στον Πίνακα 4.

Στο πλαίσιο του παρόντος έργου OrientGate χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιοι σταθμοί πλην αυτών του Αστεροσκοπείου και του φράγματος Μαραθώνα. Επιπλέον όμως, η διάρκεια της προς μελέτη χρονοσειράς των μηνιαίων τιμών βροχής κάθε σταθμού, επιλέχθηκε να είναι μεγαλύτερη των 30 ετών (1970 – 2010), για την εξασφάλιση αξιόπιστων αποτελεσμάτων (Πίνακας 4) όσον αφορά στον υπολογισμό του δείκτη ξηρασίας.

Πίνακας 4. Μετεωρολογικοί σταθμοί και αντίστοιχα χρονικά διαστήματα που μελετήθηκαν στο πλαίσιο του Σχεδίου Διαχείρισης Ξηρασίας – Λειψυδρίας (ΣΔΞΛ) και του έργου OrientGate

a/a	Μετεωρολογικός Σταθμός	ΣΔΞΛ		OrientGate	
		Περίοδος			
		Από	Έως	Από	Έως
1	Αστεροσκοπείο	1980 – 81	2008 – 09		
2	Βύρωνας	1980 – 81	2009 – 10	1970 – 71	2009 – 10
3	Ελευσίνα	1980 – 81	2000 – 01	1970 – 71	2009 – 10
4	Ελληνικό	1980 – 81	2005 – 06	1970 – 71	2009 – 10
5	Μαραθώνας	1980 – 81	2000 – 01	1988-1989	2009-2010
6	Μαρκόπουλο	1980 – 81	2008 – 09	1970 – 71	2009 – 10
7	Περιστερί	1980 – 81	2009 – 10	1970 – 71	2009 – 10
8	Τατόι	1980 – 81	2000 – 01	1970 – 71	2009 – 10
9	Φιλαδέλφεια	1980 – 81	2005 – 06	1970 – 71	2009 – 10
10	Φρ. Μαραθώνα	1980 – 81	2000 – 01		
11	Χαλάνδρι	1980 – 81	2000 – 01	1970 – 71	2009 – 10
12	Πειραιάς			1970 – 71	2009 – 10

Για τον αναλυτικό υπολογισμό του δείκτη SPI-12 ακολουθήθηκε η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε από τους McKee et al. (1993) και περιγράφεται στο «Σχέδιο Διαχείρισης Ξηρασίας – Λειψυδρίας» (ΥΠΕΚΑ 2013). Σύμφωνα με τους ανωτέρω ο δείκτης SPI υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{για } 0 < H(x) < 0.5$$

$$z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{για } 0.5 < H(x) < 1.0$$

όπου:

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \quad \text{για } 0 < H(x) < 0.5$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2}\right)} \quad \text{για } 0.5 < H(x) < 1.0$$

και

$$\begin{array}{lll} c_0 = 2.515517 & c_1 = 0.802853 & c_2 = 0.010328 \\ d_1 = 1.432788 & d_2 = 0.189269 & d_3 = 0.001308 \end{array}$$

$$H(x) = q + (1 - q)G(x)$$

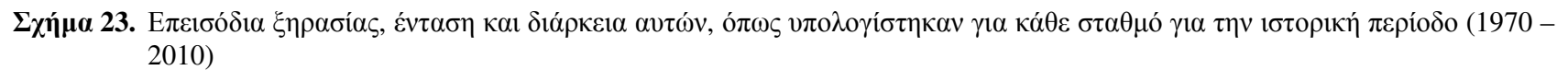
και

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\bar{\alpha})} \int_0^x t^{\bar{\alpha}-1} e^{-t} dt$$

όπου q είναι η πιθανότητα εμφάνισης μηδενικής βροχόπτωσης. Εάν m είναι το πλήθος των περιπτώσεων με μηδενική βροχόπτωση κατά τη διάρκεια της χρονοσειράς, τότε το q μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση $q=m/n$. Άλλες προσεγγίσεις για το χειρισμό των μηδενικών βροχοπτώσεων είναι η αντικατάστασή τους από μια πολύ μικρή ποσότητα (π.χ. 1 mm) (Loukas and Vasiliades 2004)

Οι σχέσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν μέσω του λογισμικού Excel και προέκυψαν οι τιμές του SPI-12 για όλους τους σταθμούς. Στο Παράρτημα I παρουσιάζεται γραφικά ο δείκτης SPI-12 για την ιστορική περίοδο 1970 – 2010.

Στο Σχήμα 23 δίνονται τα επεισόδια ξηρασίας, η ένταση και διάρκειά τους όπως αυτά υπολογίστηκαν σε κάθε σταθμό για την ιστορική περίοδο. Το μέγεθος ξηρασίας ορίζεται ως ορίζεται ως η απόλυτη τιμή του αθροίσματος της χρονοσειράς SPI-12 κατά τους μήνες που διήρκεσε το κάθε επεισόδιο ξηρασίας (δες και επόμενη παράγραφο).



3. Ο ΔΕΙΚΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΞΗΡΑΣΙΑ DVI (Drought Vulnerability Index)

Στο πλαίσιο του έργου «Σχέδιο Διαχείρισης Ξηρασίας – Λειψυδρίας», για την περαιτέρω αποτίμηση της τρωτότητας στη ξηρασία των περιοχών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής και τον καθορισμό ζωνών επικινδυνότητας, αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης Τρωτότητας στη Ξηρασία – Drought Vulnerability Index (DVI) (ΥΠΕΚΑ 2013). Σύμφωνα με τους συγγραφείς: «... ο δείκτης αυτός αποβλέπει στην υπέρθεση όλων των χαρακτηριστικών της ξηρασίας (διάρκεια, ένταση, συχνότητα εμφάνισης), όπως αυτά αναλύονται και υπολογίζονται, με βάση το Δείκτη SPI-12».

Στην παρούσα έρευνα υιοθετήθηκαν τόσο ο δείκτης DVI και η μεθοδολογία υπολογισμού του, όσο και τα όρια χαρακτηρισμού της τρωτότητας στη ξηρασία. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία η οποία περιγράφεται στο «Σχέδιο Διαχείρισης Ξηρασίας – Λειψυδρίας» (ΥΠΕΚΑ 2013), ο δείκτης DVI υπολογίζεται από τη σχέση:

$$DVI_i = 0.25 * \text{Score (drought events)} + 0.25 * \text{Score (drought events with duration > 24 months)} + 0.25 * \text{Score (DM_max)} + 0.25 * \text{Score (Duration_max)}$$

όπου:

DVI_i: Δείκτης τρωτότητας για το σταθμό i

- drought events: Αριθμός επεισοδίων ξηρασίας που παρατηρήθηκαν στην υπό διερεύνηση περίοδο
- drought events with duration > 24 months: Αριθμός επεισοδίων ξηρασίας με διάρκεια μεγαλύτερη των 24 μηνών που παρατηρήθηκαν στην υπό διερεύνηση περίοδο
- DM_max : Μέγιστο μέγεθος επεισοδίου ξηρασίας στην υπό διερεύνηση περίοδο
- Duration_max: Μέγιστη διάρκεια επεισοδίου ξηρασίας στην υπό διερεύνηση περίοδο

Καθεμιά από τις παραπάνω παραμέτρους υπολογίστηκε για κάθε σταθμό (i) με βάση το δείκτη SPI-12, και με βάση την κατάταξή της σε 4 κλάσεις όπου το Score λαμβάνει τιμές από 1-4 (1: χαμηλή τρωτότητα, 4: υψηλή τρωτότητα) (Πίνακας 5).

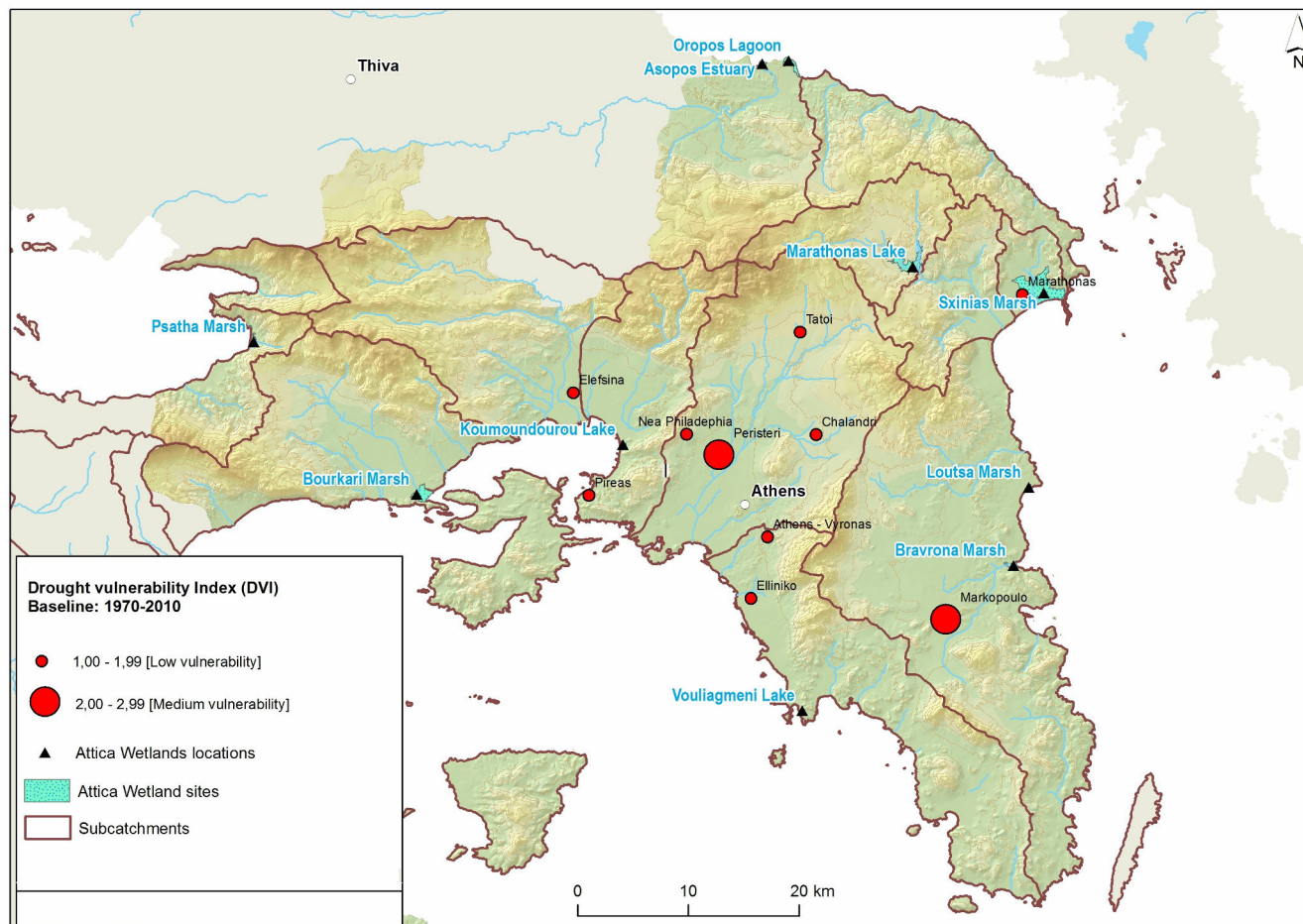
Πίνακας 5. Κατηγοριοποίηση των παραμέτρων υπολογισμού του δείκτη DVI σε κλάσεις και Score

Επεισόδια Ξηρασίας	Επεισόδια Ξηρασίας με διάρκεια >24 μήνες	Μέγιστο μέγεθος ξηρασίας	Μέγιστη διάρκεια επεισοδίου ξηρασίας	Score
0-10	0-4	0 – 30	0 – 20	1
11-20	5-6	31 – 40	21 – 30	2
21-30	7-8	41 – 50	31 – 40	3
>31	>9	> = 51	>=41	4

Όπου με βάση το δείκτη SPI:

- Ως χρόνος έναρξης ενός επεισοδίου ξηρασίας ορίζεται η χρονική στιγμή (μήνας στη παρούσα ανάλυση) όπου ο δείκτης SPI-12 λαμβάνει αρνητική τιμή, και φτάνει στη συνέχεια τουλάχιστον στην τιμή -1 τους ακόλουθους μήνες, χωρίς να λάβει ενδιάμεσα καμία θετική τιμή.
- Ως χρόνος λήξης του επεισοδίου θεωρείται ο μήνας όπου παρατηρήθηκε η πρώτη θετική τιμή.
- Στην περίπτωση που ο Δείκτης SPI-12 λαμβάνει αρνητικές τιμές για κάποιους συνεχόμενους μήνες χωρίς όμως να φτάνει την τιμή -1 (αρνητικές τιμές μικρότερες του -1) τότε το επεισόδιο αυτό δεν θεωρείται ξηρασία, είναι απλά μια περίοδος ξηρότερη από τη μέση κατάσταση.
- Το μέγεθος ενός επεισοδίου ξηρασίας DM (Drought Magnitude), ορίζεται ως η απόλυτη τιμή του αθροίσματος της χρονοσειράς SPI-12 κατά τους μήνες που διήρκεσε το κάθε επεισόδιο ξηρασίας

Ο δείκτης DVI υπολογίστηκε για κάθε μετεωρολογικό σταθμό και για την ιστορική περίοδο 1970-2010 ενώ η οπτική απεικόνισή του δίνεται στον Χάρτη 1.



Χάρτης 1. Δείκτες τρωτότητας στη ξηρασία (DVI), για τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Αττικής, όπως αυτοί υπολογίστηκαν κατά τη χρονική περίοδο 1970 – 2010

ΜΕΡΟΣ Β

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2010-2100

4. ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ A1B & A2

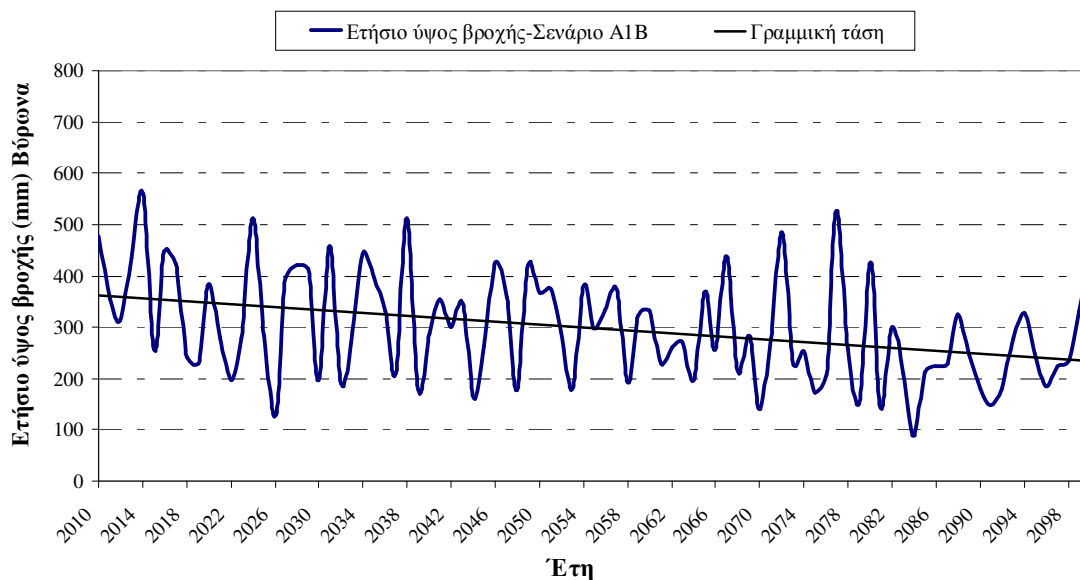
Το προγνωστικό μετεωρολογικό μοντέλο (Kržiž κ.ά. 2011) εφαρμόστηκε για τα σενάρια κλιματικών αλλαγών A1B και A2 κατά την περίοδο 2010-2100 στην περιοχή μελέτης της Αττικής και για τους 10 μετεωρολογικούς σταθμούς. Τα χαρακτηριστικά των σεναρίων A1B και A2 συνοψίζονται ως ακολούθως:

Σενάριο A1B: Ραγδαία οικονομική ανάπτυξη. Ιδιαίτερα έντονη κατανάλωση ενέργειας, αλλά παράλληλα διάδοση νέων και αποδοτικών τεχνολογιών. Χρήση τόσο ορυκτών καυσίμων όσο και εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Μικρές αλλαγές στη χρήση γης. Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού έως το έτος 2050 και σταδιακή μείωσή του στη συνέχεια. Έντονη αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα, η οποία θα φθάσει τα 720 ppm το 2100.

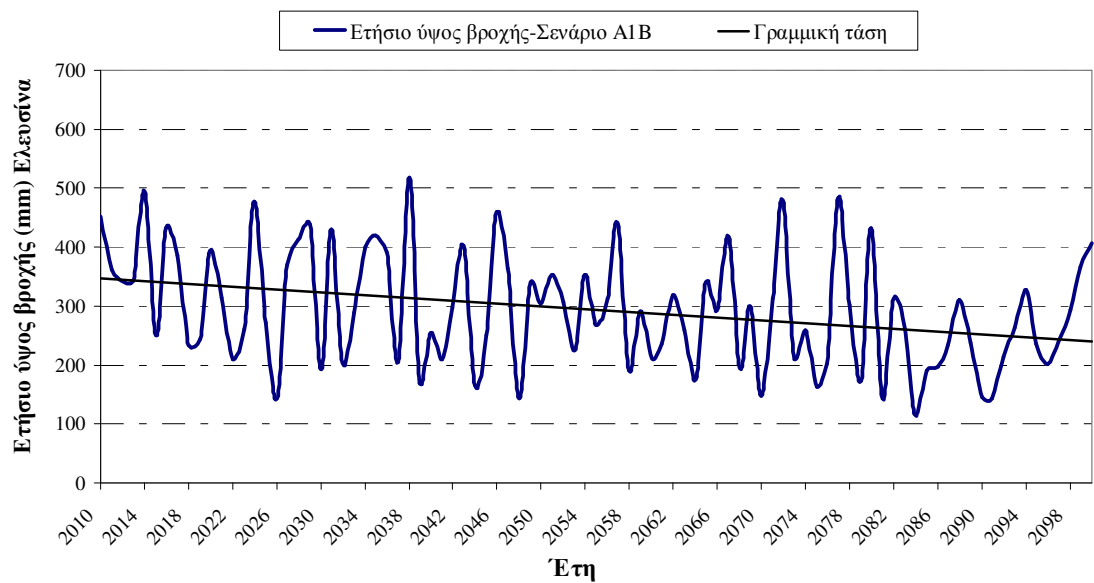
Σενάριο A2: Μέτρια αύξηση του μέσου παγκόσμιου κατά κεφαλήν εισοδήματος. Ιδιαίτερα έντονη κατανάλωση ενέργειας. Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού. Αργή και τμηματική τεχνολογική ανάπτυξη και μέτριες έως μεγάλες αλλαγές στη χρήση γης. Ραγδαία αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα, η οποία θα φθάσει τα 850 ppm το 2100.

4.1. Κλιματικό Σενάριο A1B

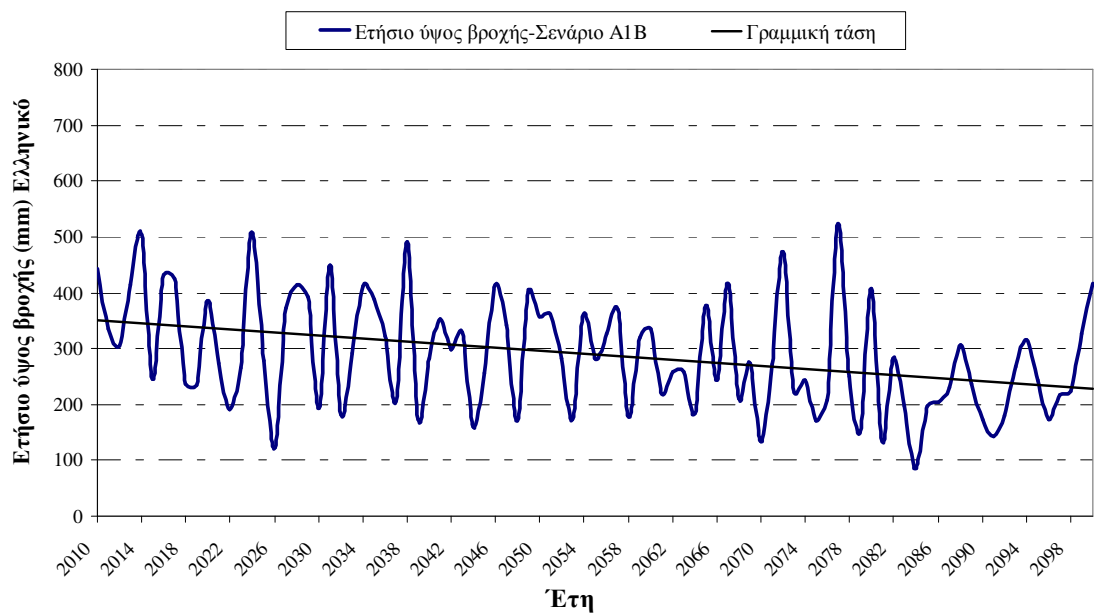
Στα Σχήματα 24 έως 33 παρουσιάζεται γραφικά η διακύμανση του ετήσιου ύψους βροχής των σταθμών Βύρωνα, Ελευσίνα, Ελληνικό, Μαραθώνα, Μαρκόπουλο, Περιστέρι, Τατόι, Νέα Φιλαδέλφεια, Χαλάνδρι, Πειραιά και η γραμμική του τάση αντίστοιχα για την περίοδο 2010-2100.



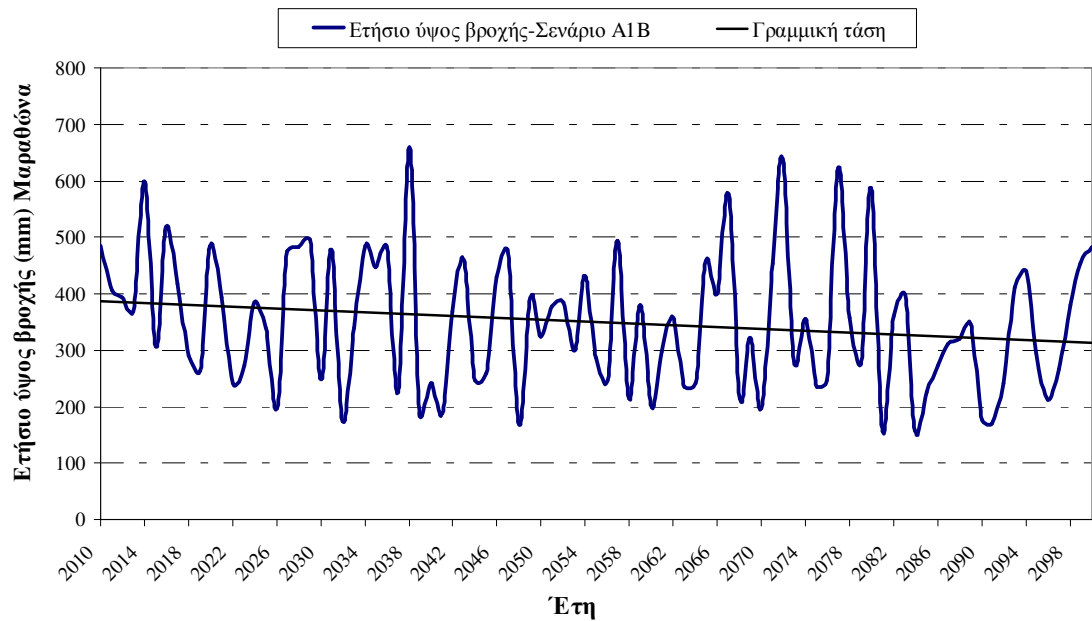
Σχήμα 24. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Βύρωνα για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)



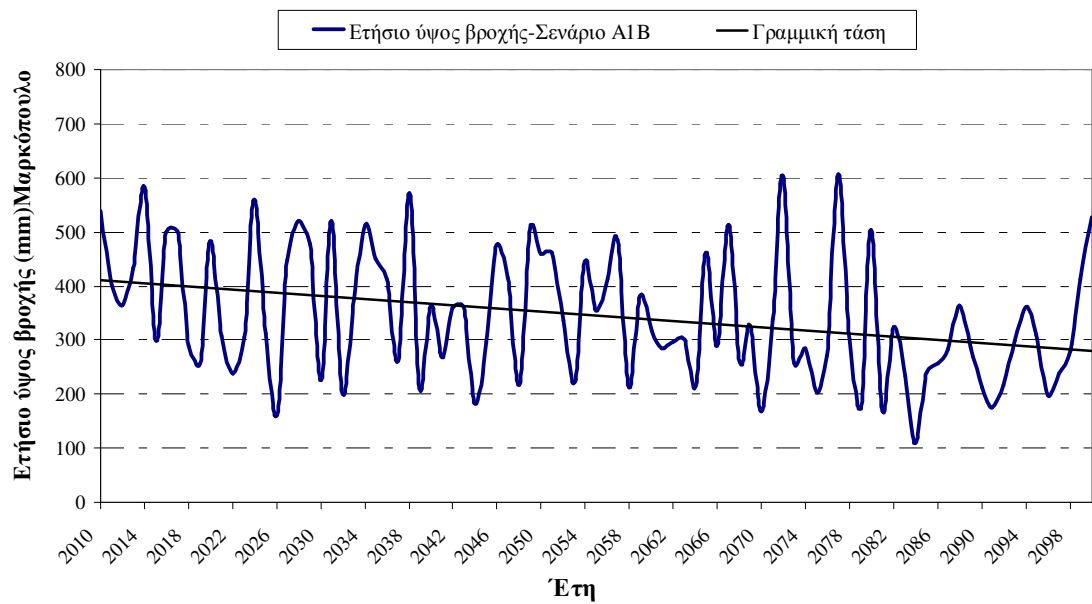
Σχήμα 25. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Ελευσίνα για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)



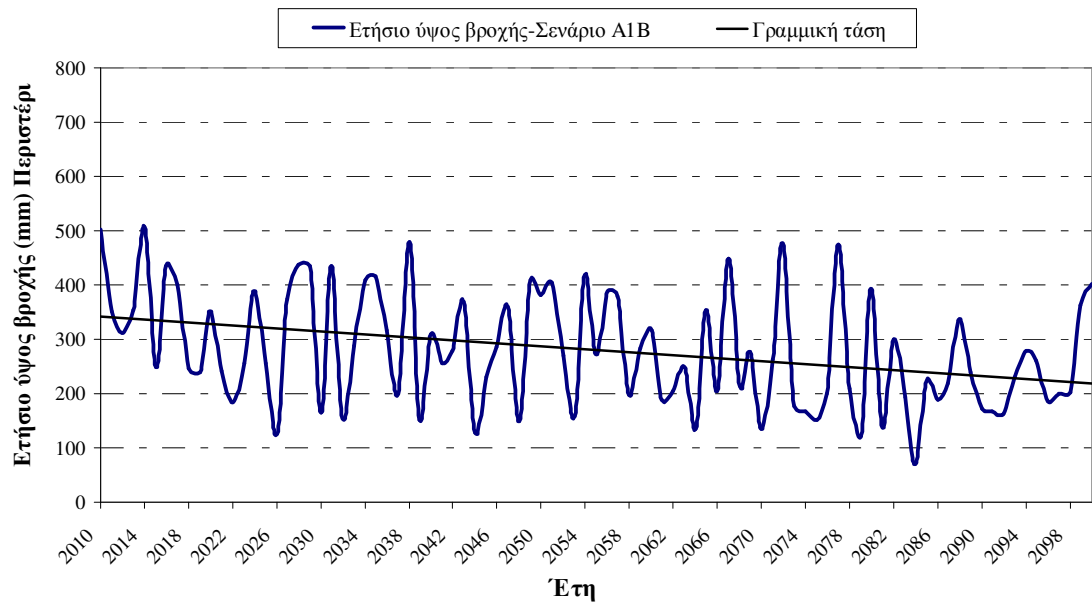
Σχήμα 26. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Ελληνικό για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)



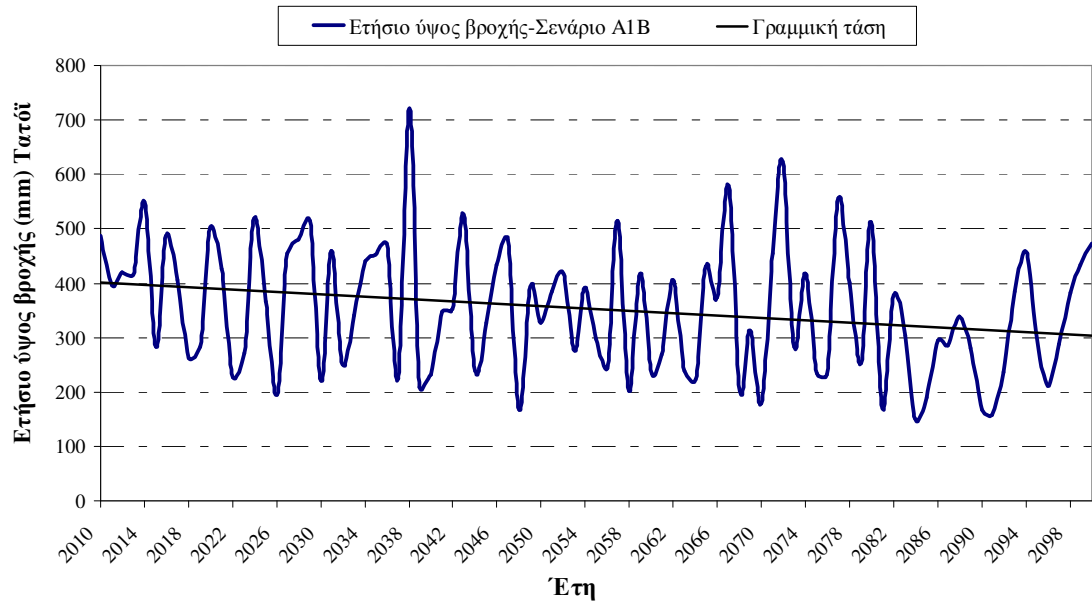
Σχήμα 27. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Μαραθώνα για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)



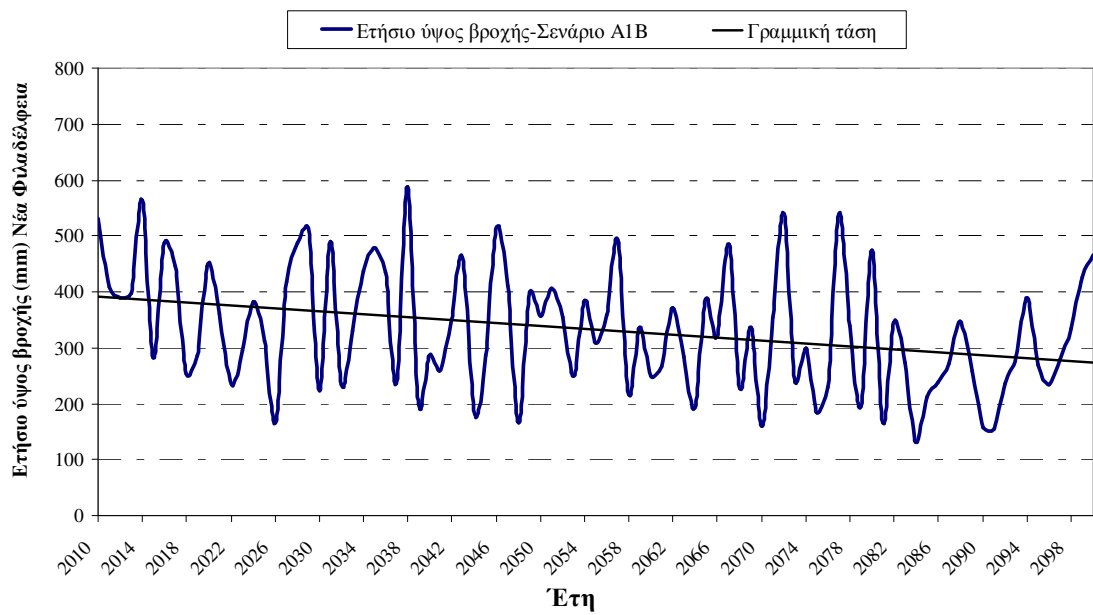
Σχήμα 28. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Μαρκόπουλο για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)



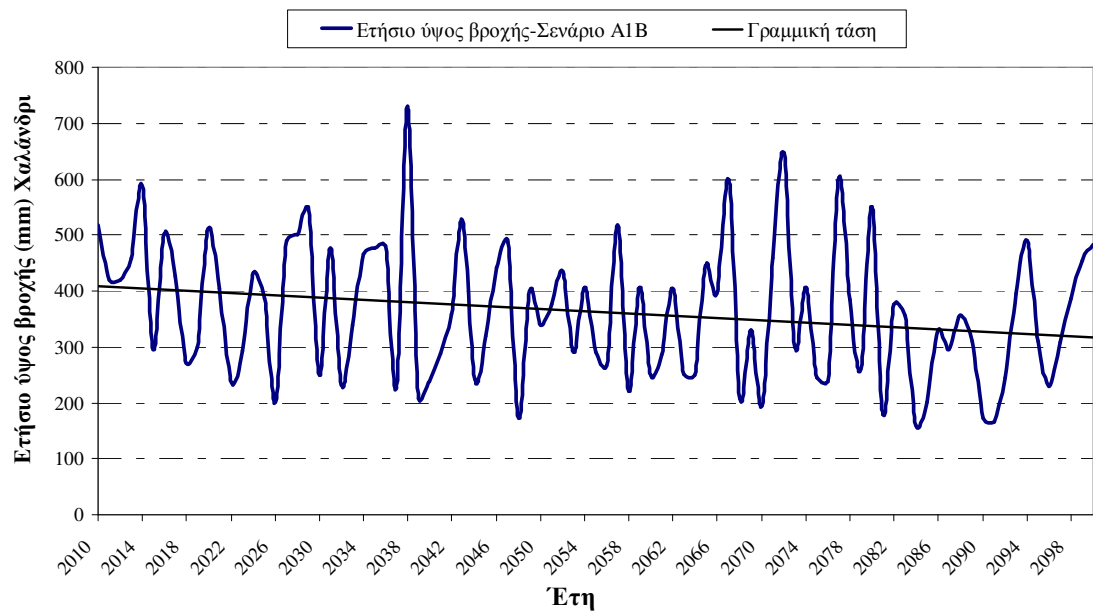
Σχήμα 29. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Περιστερί για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)



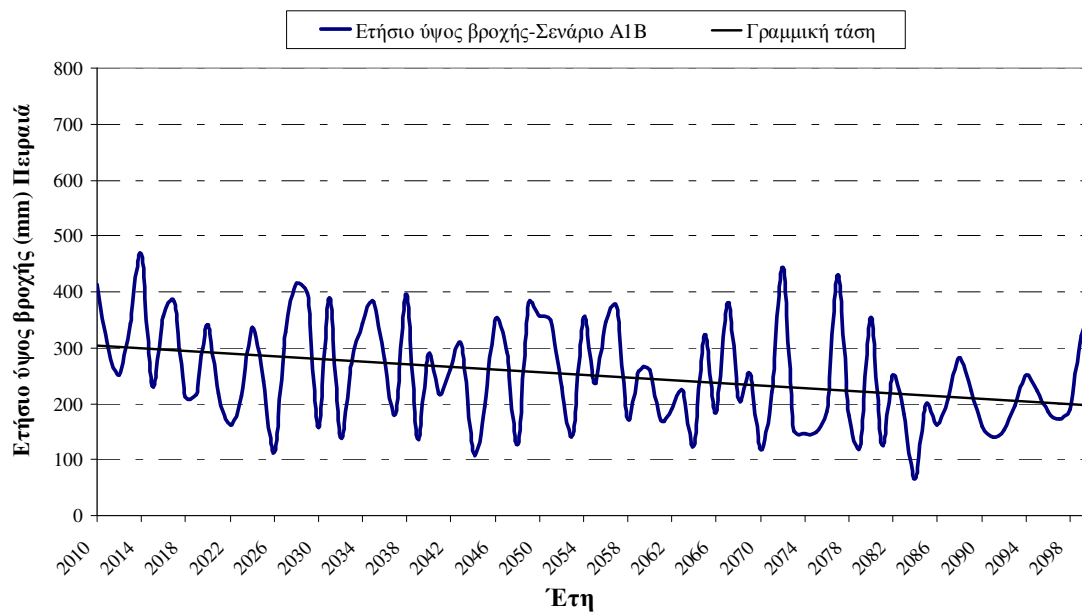
Σχήμα 30. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Τατόι για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)



Σχήμα 31. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Νέα Φιλαδέλφεια για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)



Σχήμα 32. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Χαλάνδρι για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)

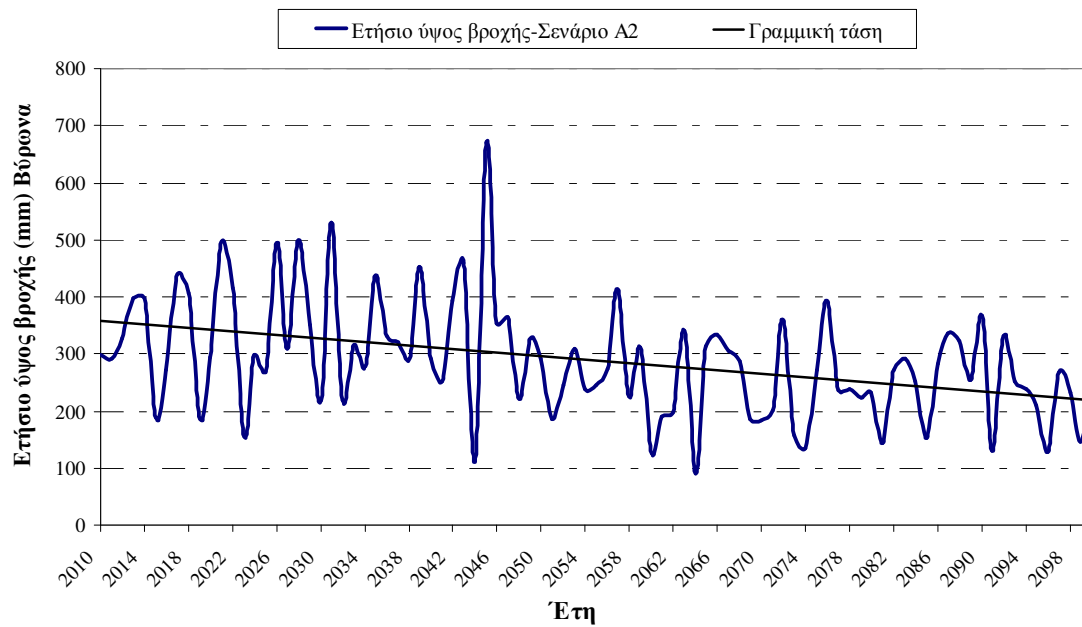


Σχήμα 33. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Πειραιά για το σενάριο A1B (περίοδο 2010-2100)

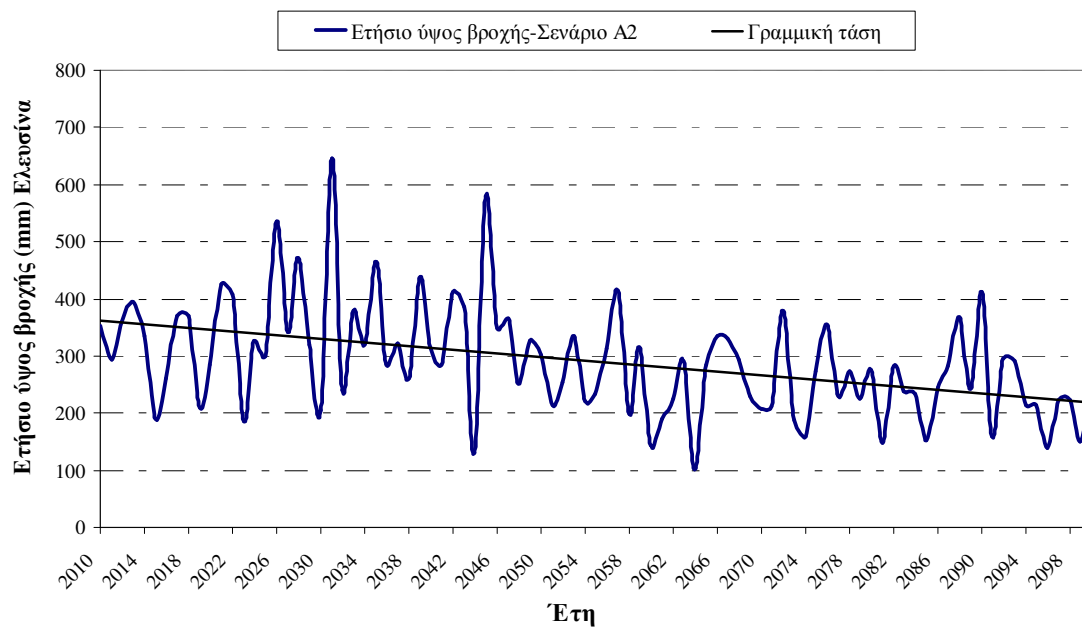
Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής των σταθμών Βύρωνα, Ελευσίνα, Ελληνικό, Μαραθώνα, Μαρκόπουλο, Περιστερί, Τατόι, Νέα Φιλαδέλφεια, Χαλάνδρι, Πειραιά ανέρχεται σε 298,5 mm, 293,8 mm, 289,0 mm, 349,9 mm, 345,1 mm, 280,1 mm, 351,9 mm, 332,4 mm, 362,8 mm, 250,9 mm αντίστοιχα για το χρονικό διάστημα Ιανουάριος 2010 έως Δεκέμβριο 2100 και για το κλιματικό σενάριο A1B.

4.2. Κλιματικό Σενάριο A2

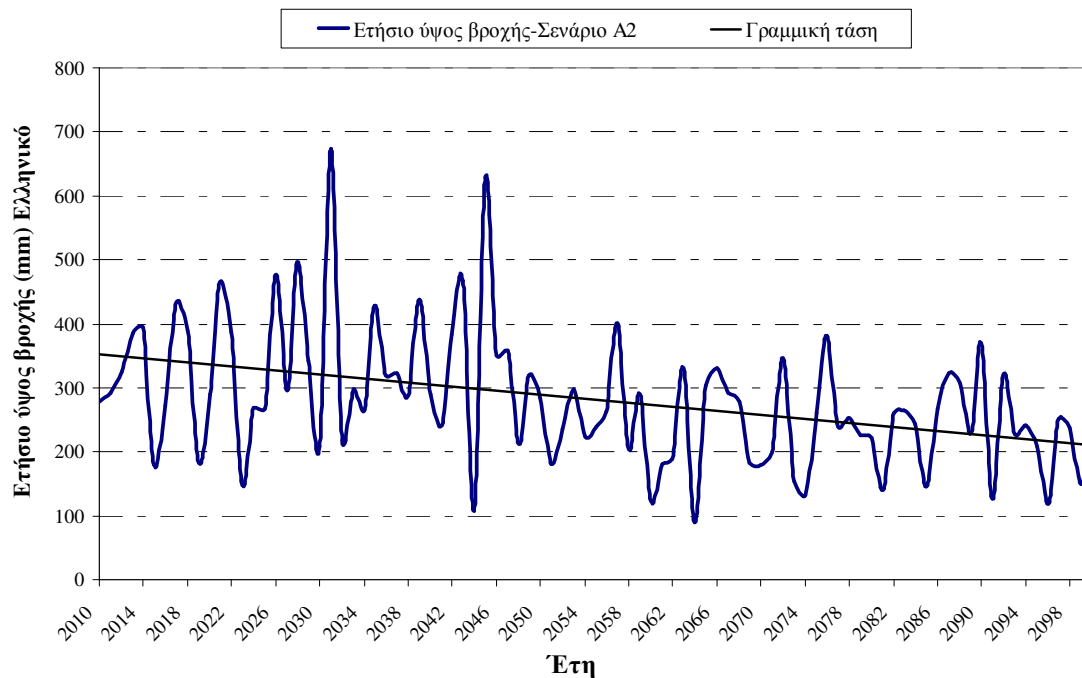
Στα Σχήματα 34 έως 43 παρουσιάζεται γραφικά η διακύμανση του ετήσιου ύψους βροχής των σταθμών Βύρωνα, Ελευσίνα, Ελληνικό, Μαραθώνα, Μαρκόπουλο, Περιστερί, Τατόι, Νέα Φιλαδέλφεια, Χαλάνδρι, Πειραιά και η γραμμική του τάση αντίστοιχα για την περίοδο 2010-2100.



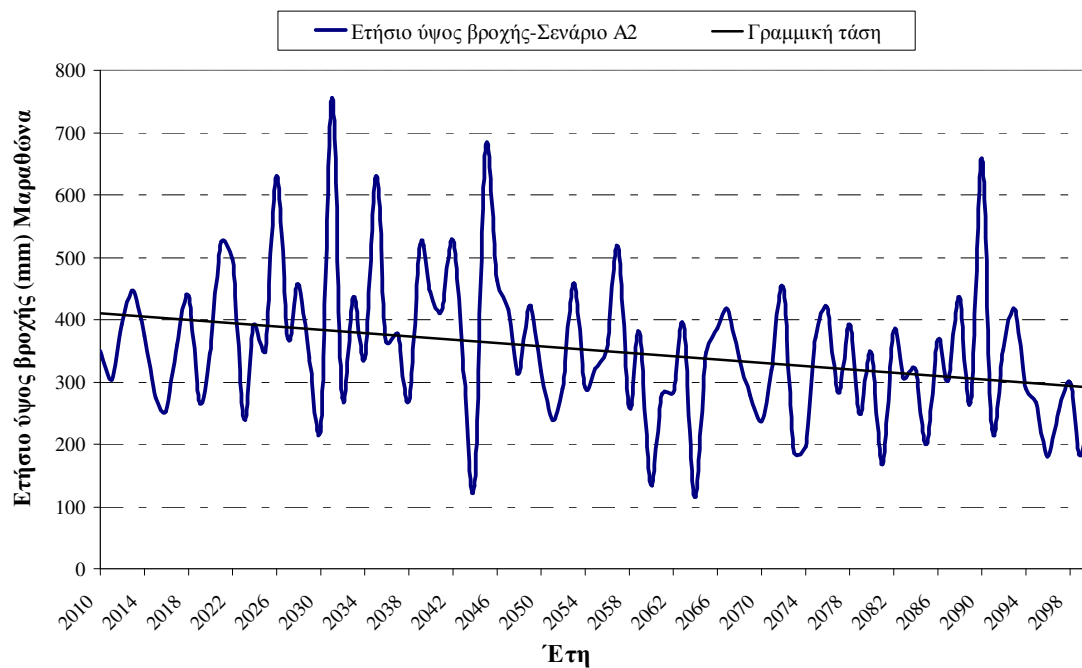
Σχήμα 34. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Βύρωνα για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)



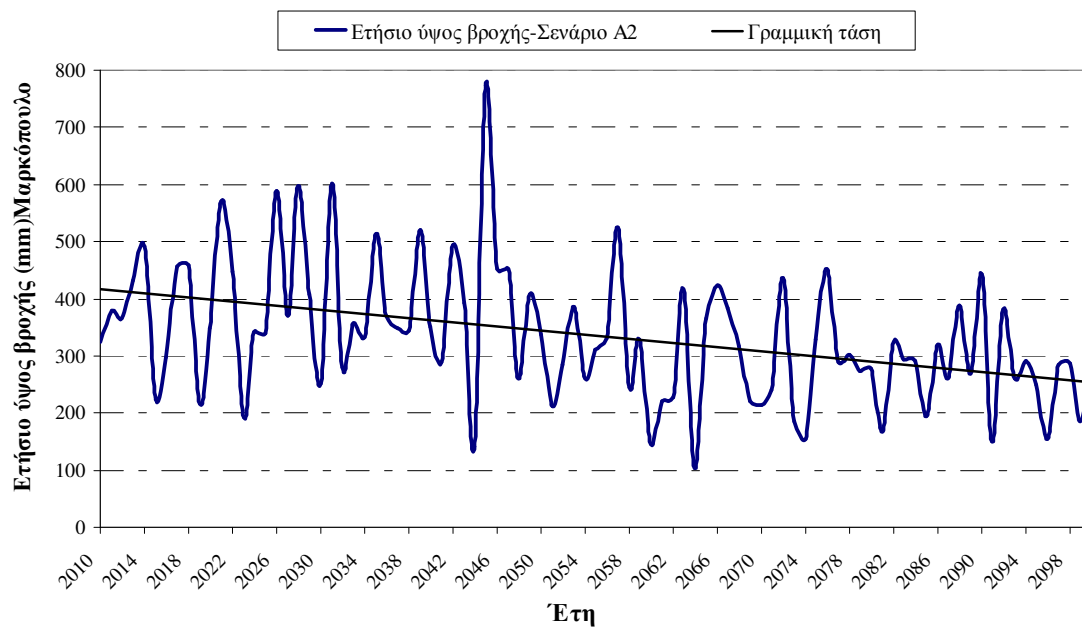
Σχήμα 35. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Ελευσίνα για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)



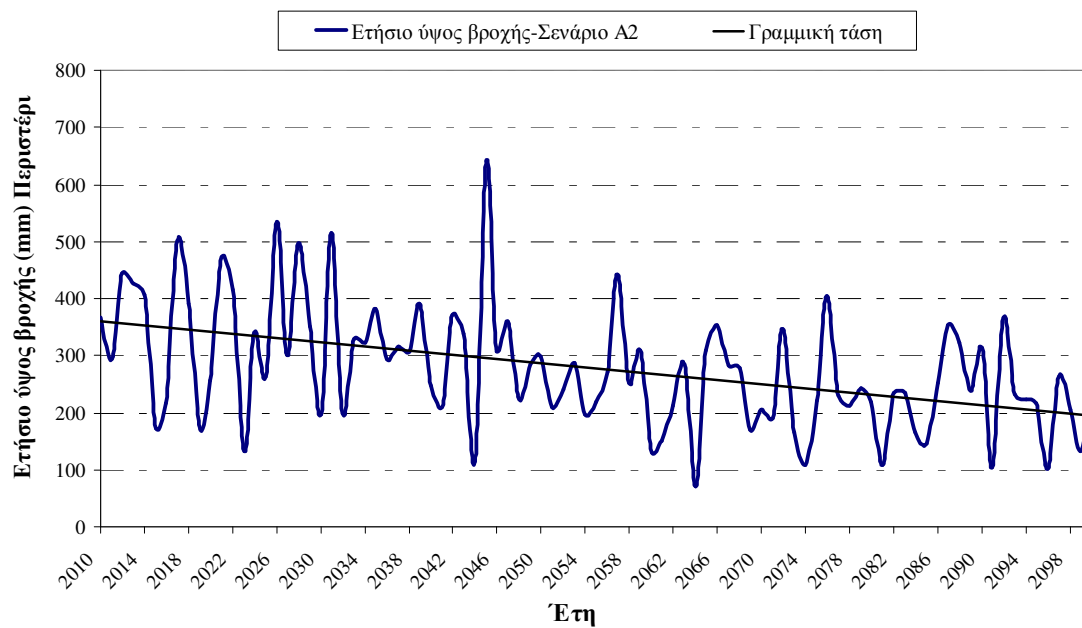
Σχήμα 36. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Ελληνικό για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)



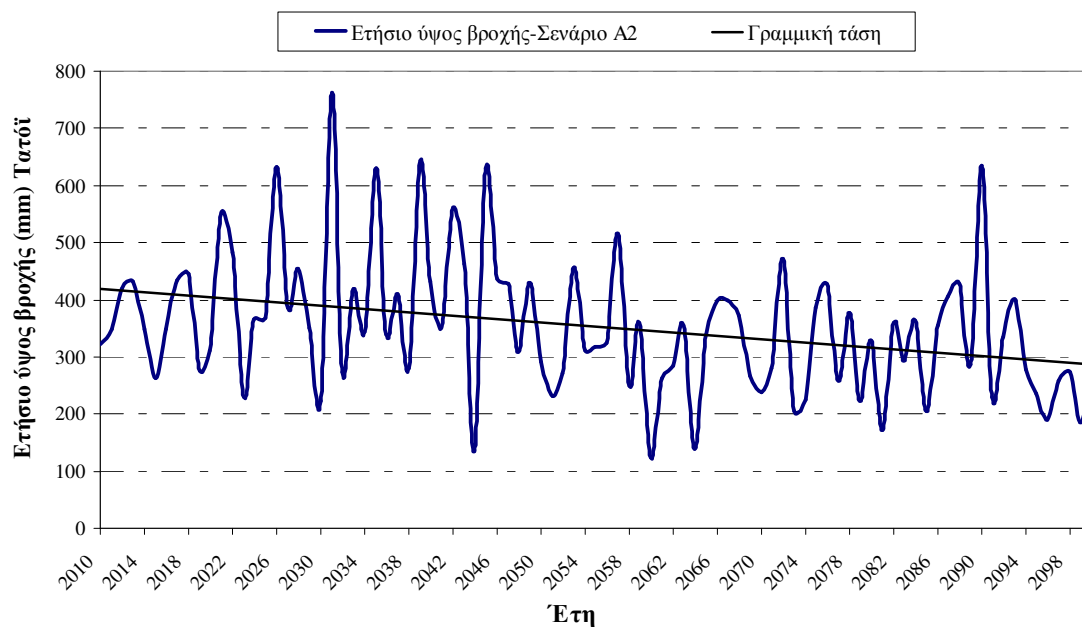
Σχήμα 37. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Μαραθώνα για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)



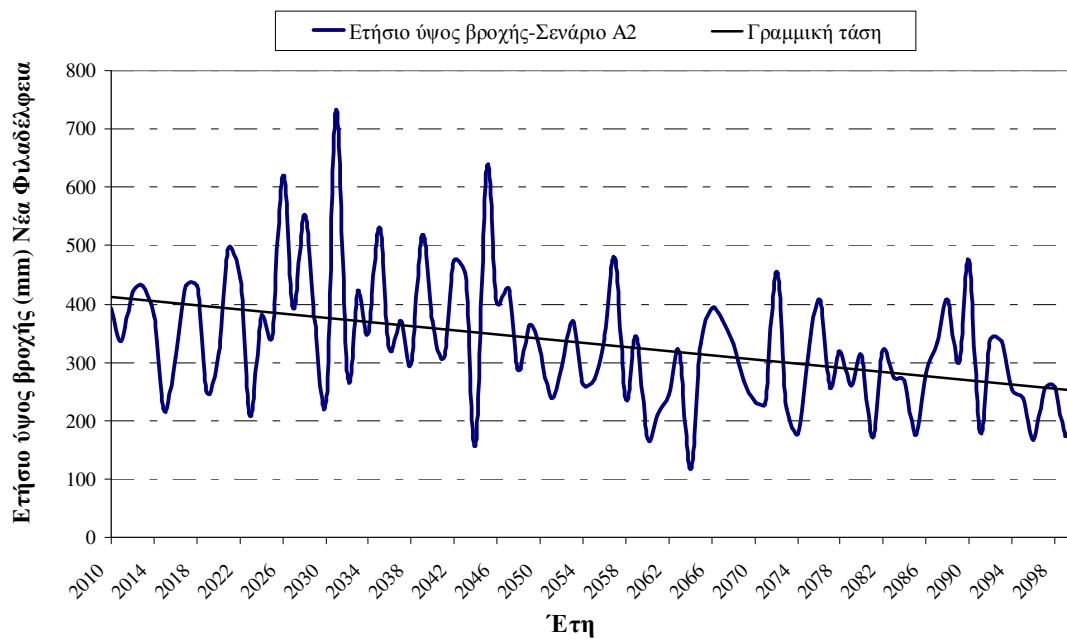
Σχήμα 38. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Μαρκόπουλο για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)



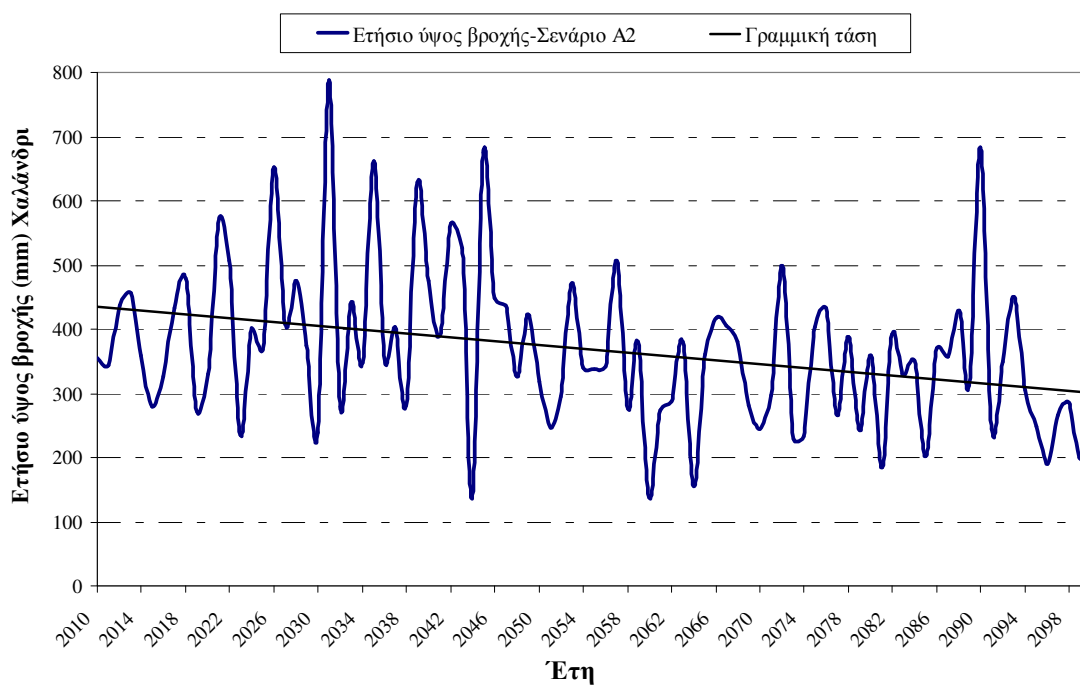
Σχήμα 39. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Περιστερί για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)



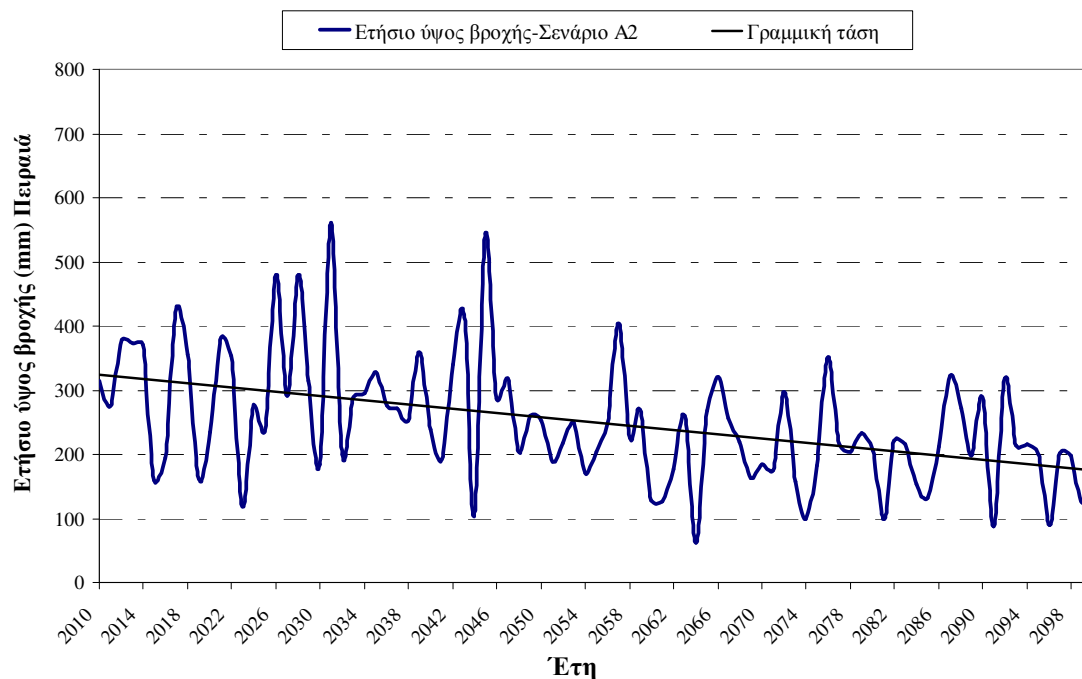
Σχήμα 40. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Τατού για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)



Σχήμα 41. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Νέα Φιλαδέλφεια για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)



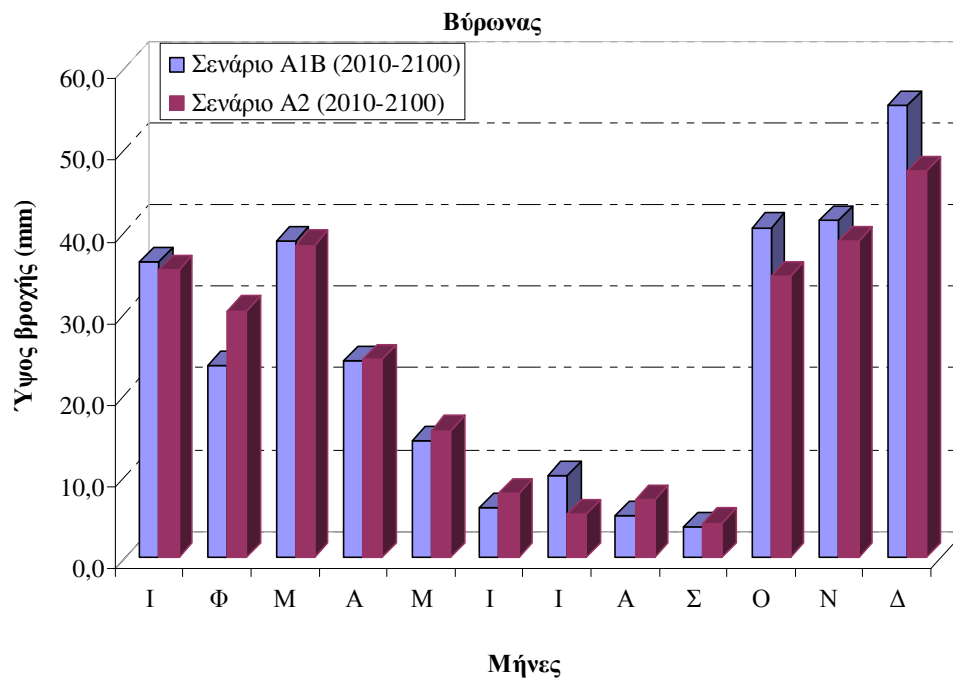
Σχήμα 42. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Χαλάνδρι για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)



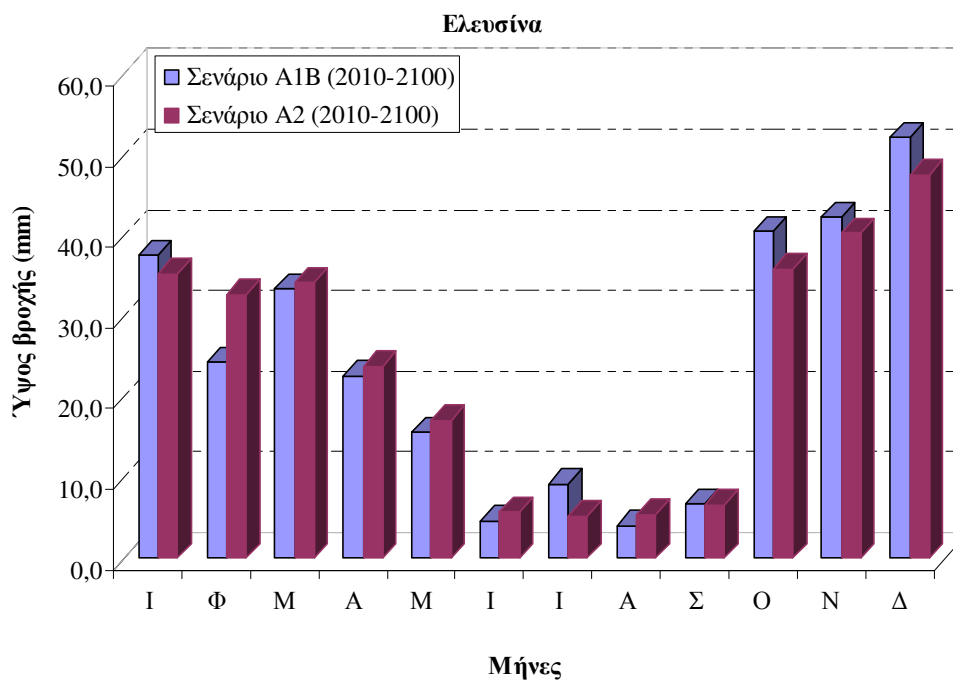
Σχήμα 43. Ετήσια ύψη βροχής και γραμμική τάση στον σταθμό Πειραιά για το σενάριο A2 (περίοδο 2010-2100)

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής των σταθμών Βύρωνα, Ελευσίνα, Ελληνικό, Μαραθώνα, Μαρκόπουλο, Περιστερί, Τατόι, Νέα Φιλαδέλφεια, Χαλάνδρι, Πειραιά ανέρχεται σε 288,0 mm, 290,4 mm, 280,9 mm, 350,6 mm, 334,3 mm, 277,7 mm, 352,5 mm, 331,8 mm, 368,2 mm, 250,3 mm αντίστοιχα για το χρονικό διάστημα Ιανουάριος 2010 έως Δεκέμβριο 2100 και για το κλιματικό σενάριο A2.

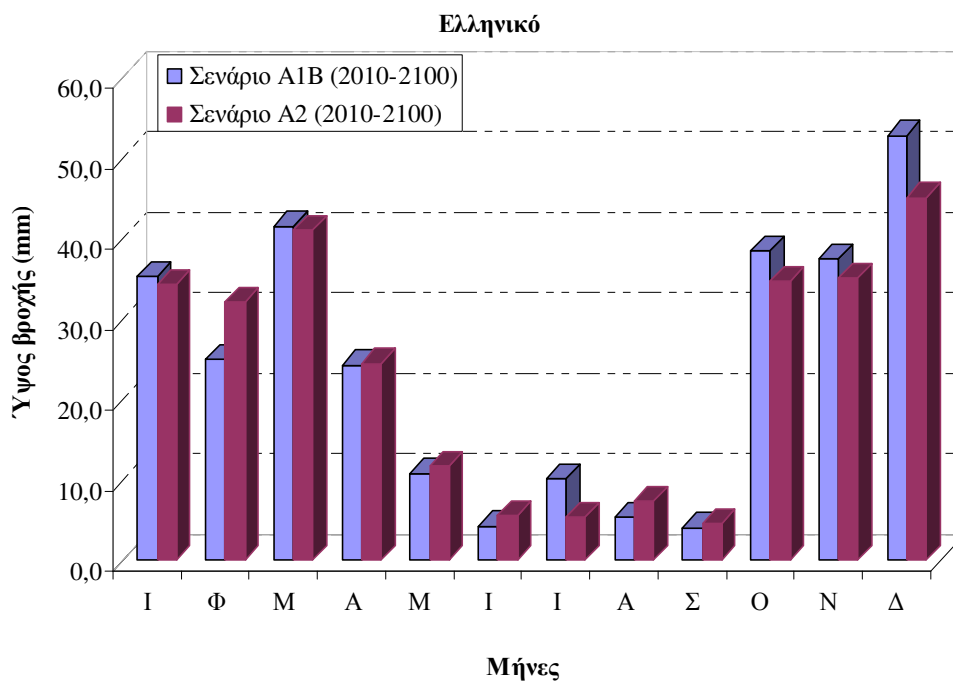
Στα Σχήματα 44 έως 53 δίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές του ύψους βροχής για τους σταθμούς Βύρωνα, Ελευσίνα, Ελληνικό, Μαραθώνα, Μαρκόπουλο, Περιστερί, Τατόι, Νέα Φιλαδέλφεια, Χαλάνδρι, Πειραιά αντίστοιχα, για τα κλιματικά σενάρια A1B και A2 και για το προαναφερθέν χρονικό διάστημα.



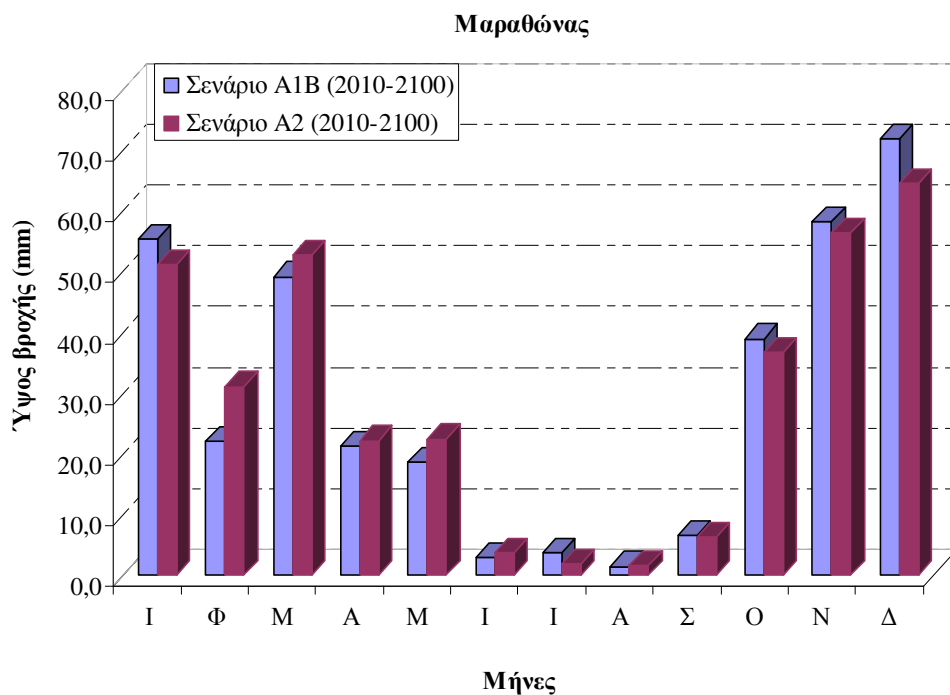
Σχήμα 44. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Βύρωνας για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)



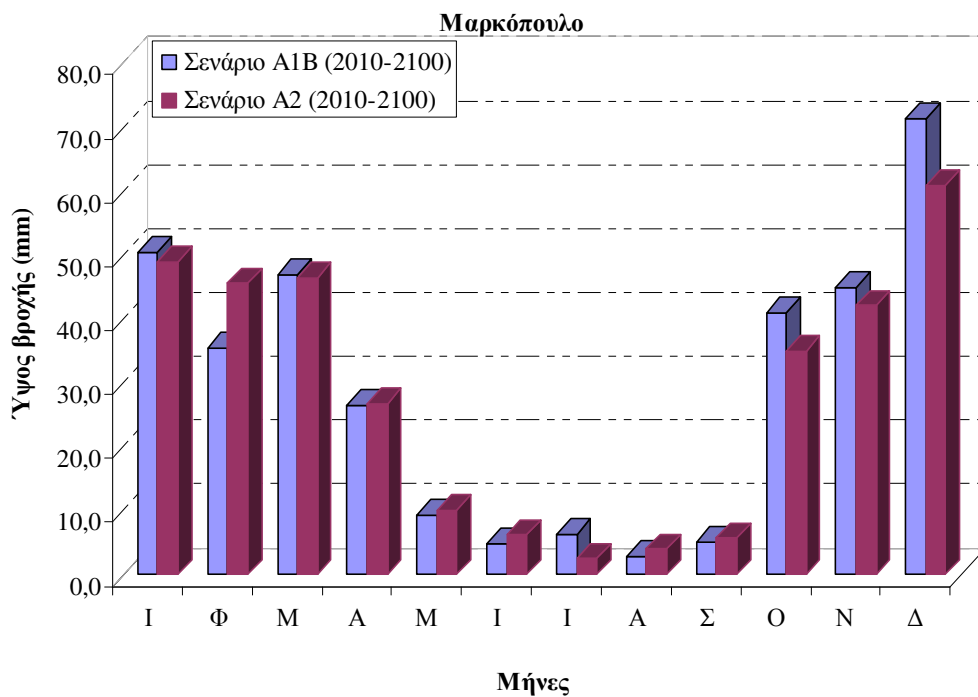
Σχήμα 45. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Ελευσίνα για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)



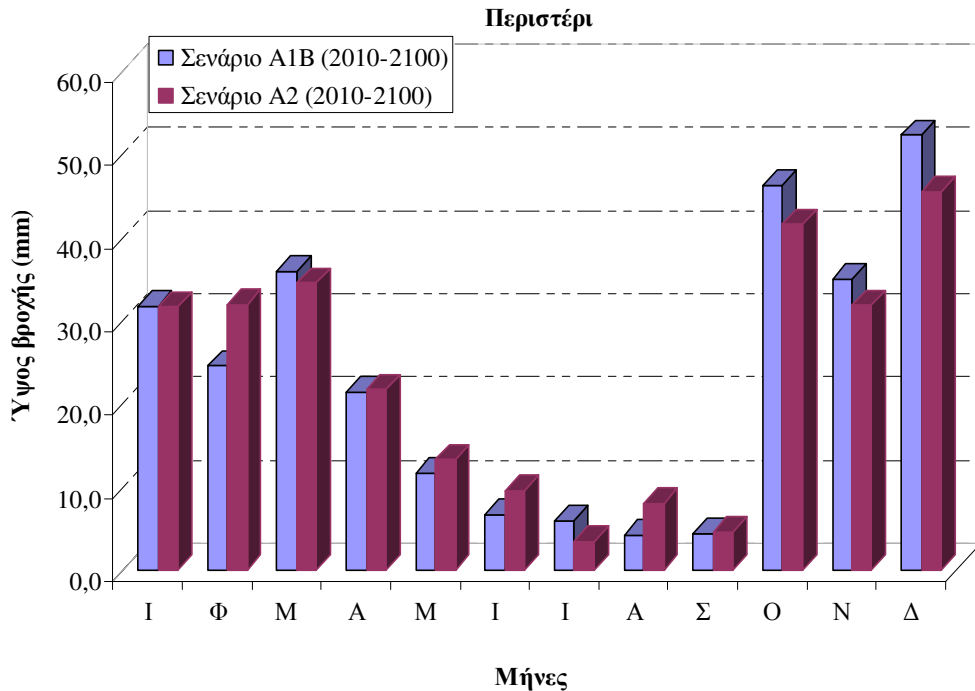
Σχήμα 46. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Ελληνικό για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)



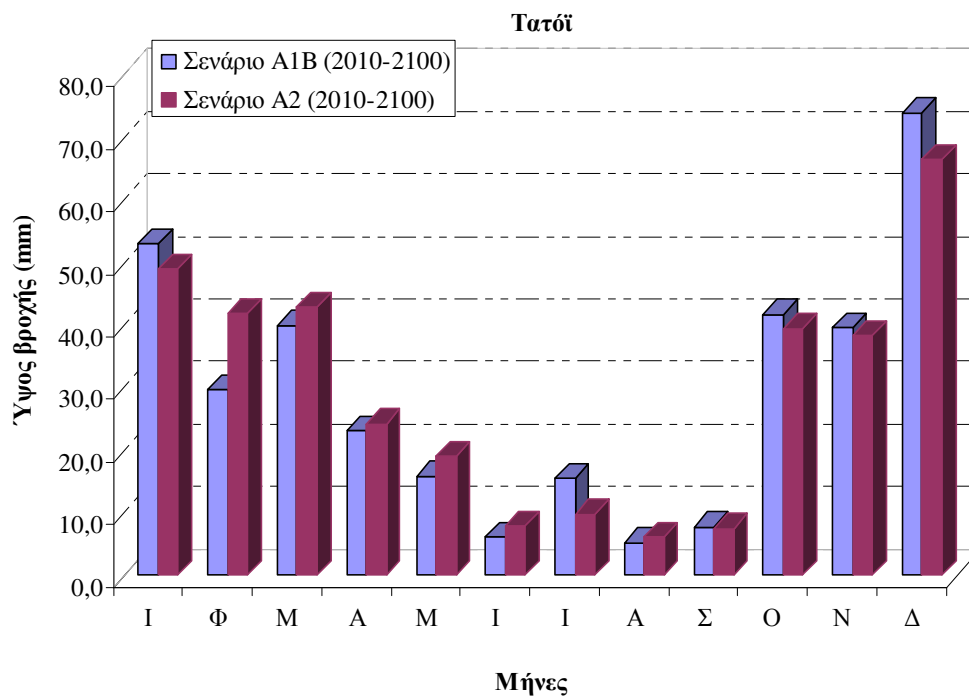
Σχήμα 47. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Μαραθώνα για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)



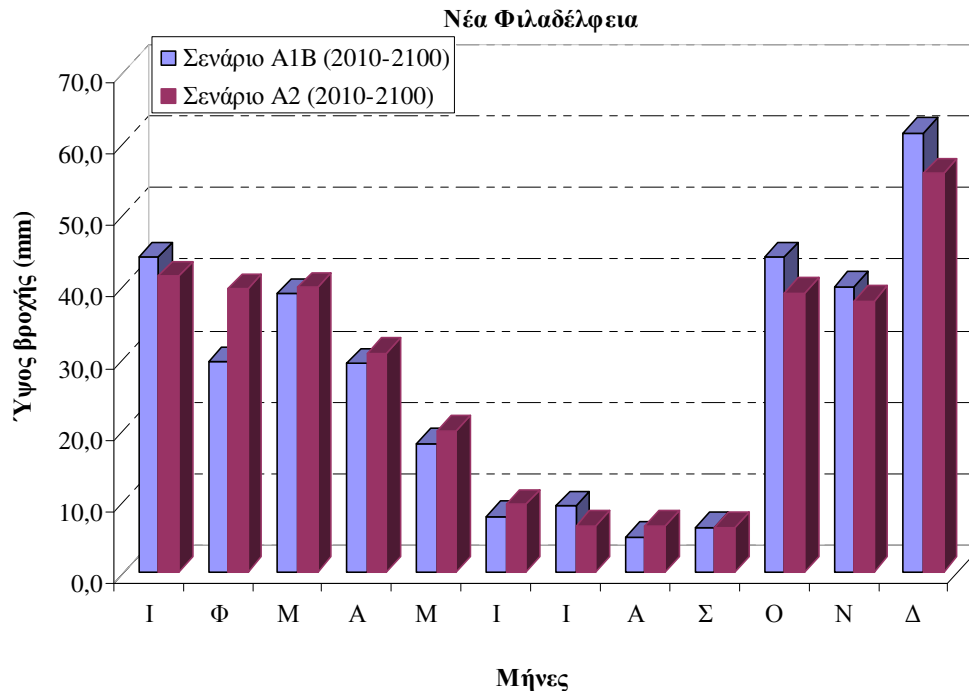
Σχήμα 48. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Μαρκόπουλο για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)



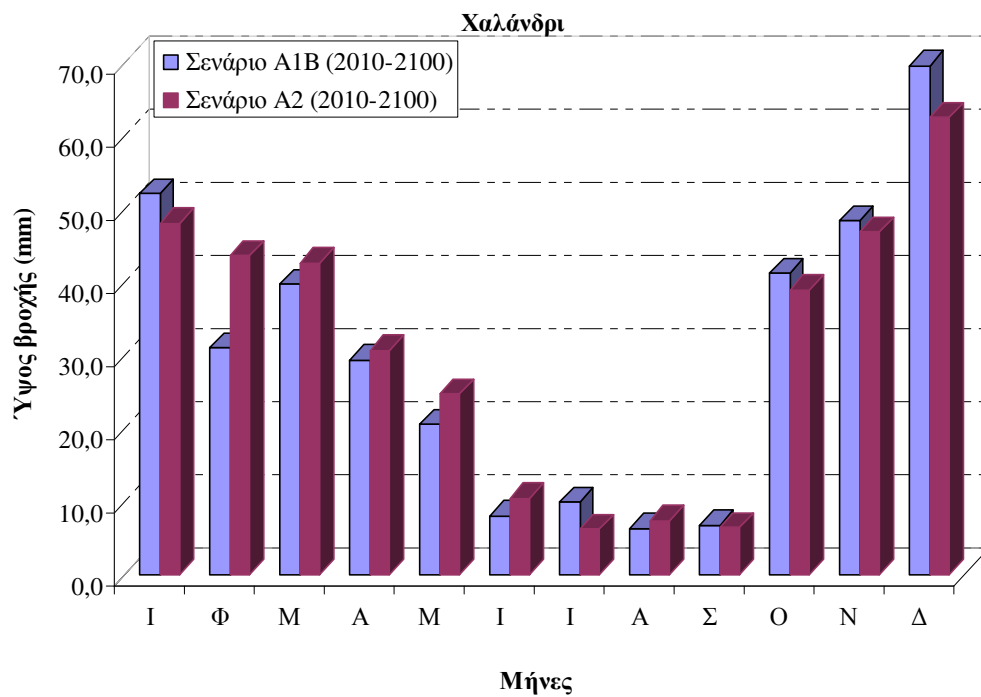
Σχήμα 49. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Περιστέρι για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)



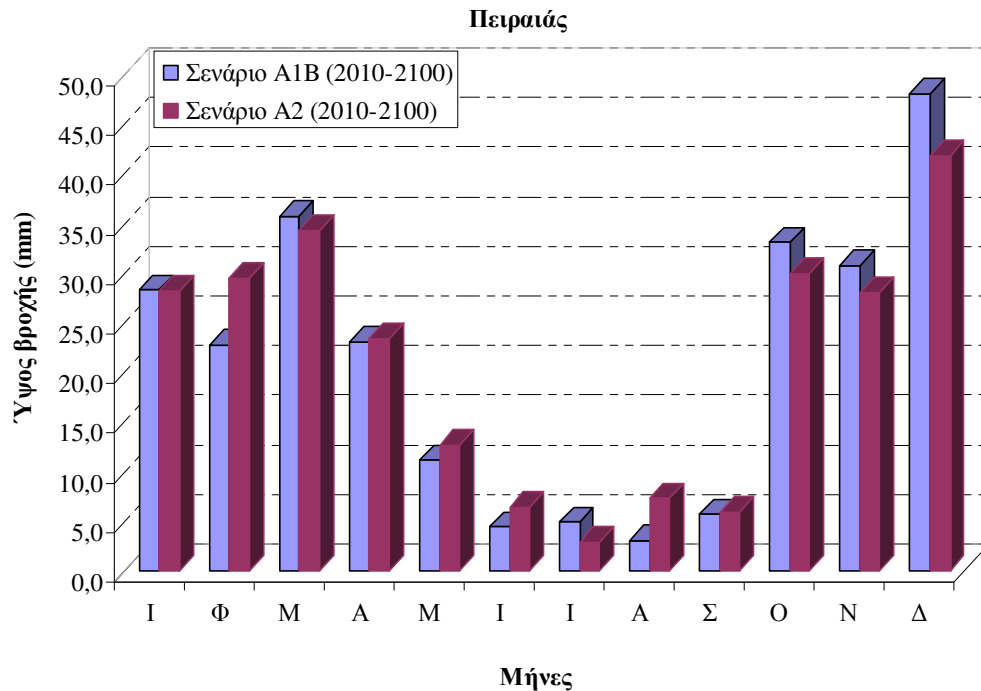
Σχήμα 50. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Τατόι για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)



Σχήμα 51. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Νέα Φιλαδέλφεια για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)



Σχήμα 52. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Χαλάνδρι για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)

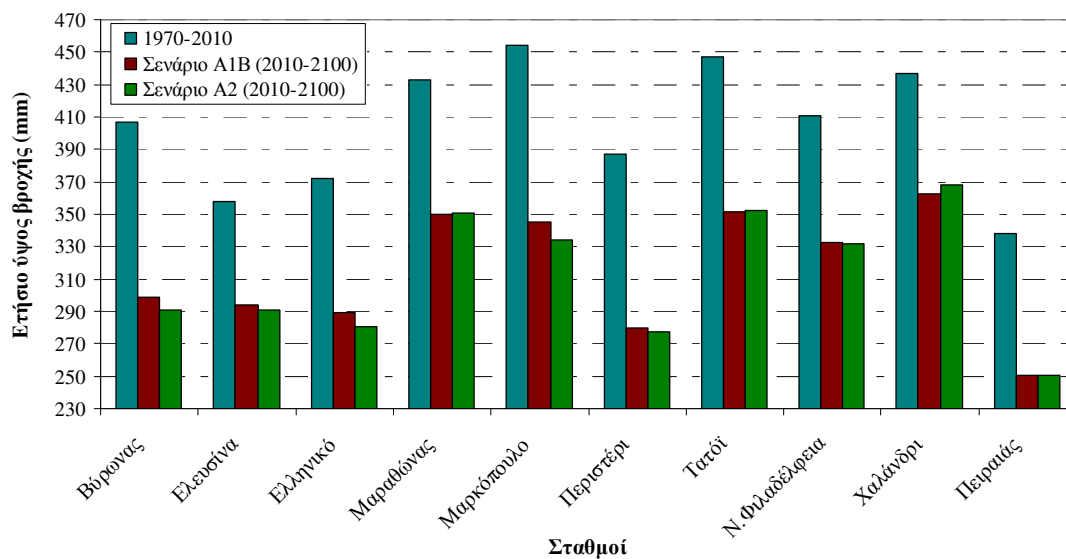


Σχήμα 53. Μέσα μηνιαία ύψη βροχής στον σταθμό Πειραιά για τα κλιματικά σενάρια A1B & A2 (χρονικό διάστημα 2010-2100)

Από τα Σχήματα αυτά, προκύπτει ότι το μέγιστο της βροχόπτωσης παρατηρείται κατά τον μήνα Δεκέμβριο για όλους του προαναφερθέντες μετεωρολογικούς σταθμούς και για τα δύο κλιματικά σενάρια.

Όσον αφορά το ελάχιστο της βροχόπτωσης, για το κλιματικό σενάριο A1B παρατηρείται κατά τον μήνα Αύγουστο για τους σταθμούς Ελευσίνα, Μαραθώνα, Μαρκόπουλο, Περιστερί, Τατόι, Νέα Φιλαδέλφεια, Χαλάνδρι, Πειραιάς και τον μήνα Σεπτέμβριο για τους σταθμούς Βύρωνα, Ελληνικό ενώ για το κλιματικό σενάριο A2 παρατηρείται κατά τον μήνα Αύγουστο για τους σταθμούς Μαραθώνα, Τατόι, τον μήνα Σεπτέμβριο για τους σταθμούς Βύρωνα, Ελληνικό, Νέα Φιλαδέλφεια και τον μήνα Ιούλιο για τους σταθμούς Ελευσίνα, Μαρκόπουλο, Περιστερί, Χαλάνδρι και Πειραιάς.

Στο Σχήμα 54 δίνεται το ετήσιο ύψος βροχής όλων των σταθμών για την ιστορική χρονοσειρά 1970-2010 και για τις χρονοσειρές των δύο κλιματικών σεναρίων A1B και A2 και κατά την περίοδο 2010-2100. Παρατηρείται μείωση στο ετήσιο ύψος βροχής των δύο σεναρίων κλιματικής αλλαγής A1B και A2 (περίοδο 2010-2100) σε σχέση με αυτό της περιόδου 1970-2100 και για όλους τους μετεωρολογικούς σταθμούς.



Σχήμα 54. Ετήσια ύψη βροχής της ιστορικής περιόδου (1970-2010) και των κλιματικών σεναρίων A1B & A2 (2010-2100)

5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ SPI

Για τον υπολογισμό του δείκτη SPI-12 για τη μελλοντική περίοδο 2010-2100, ακολουθήθηκε η ίδια μεθοδολογία που αναπτύχθηκε και για τον υπολογισμό του δείκτη για την ιστορική χρονοσειρά 1970-2010.

Στο Παράρτημα I, παρουσιάζεται γραφικά ο δείκτης SPI-12 για τη μελλοντική περίοδο 2010-2100 για τα δύο κλιματικά σενάρια A1B & A2.

Στο Παράρτημα II, δίνονται υπό μορφή πινάκων η ημερομηνία, η διάρκεια και το μέγεθος των επεισοδίων ξηρασίας σε κάθε σταθμό κατά τη διάρκεια της μελλοντικής περιόδου για τα δύο κλιματικά σενάρια.

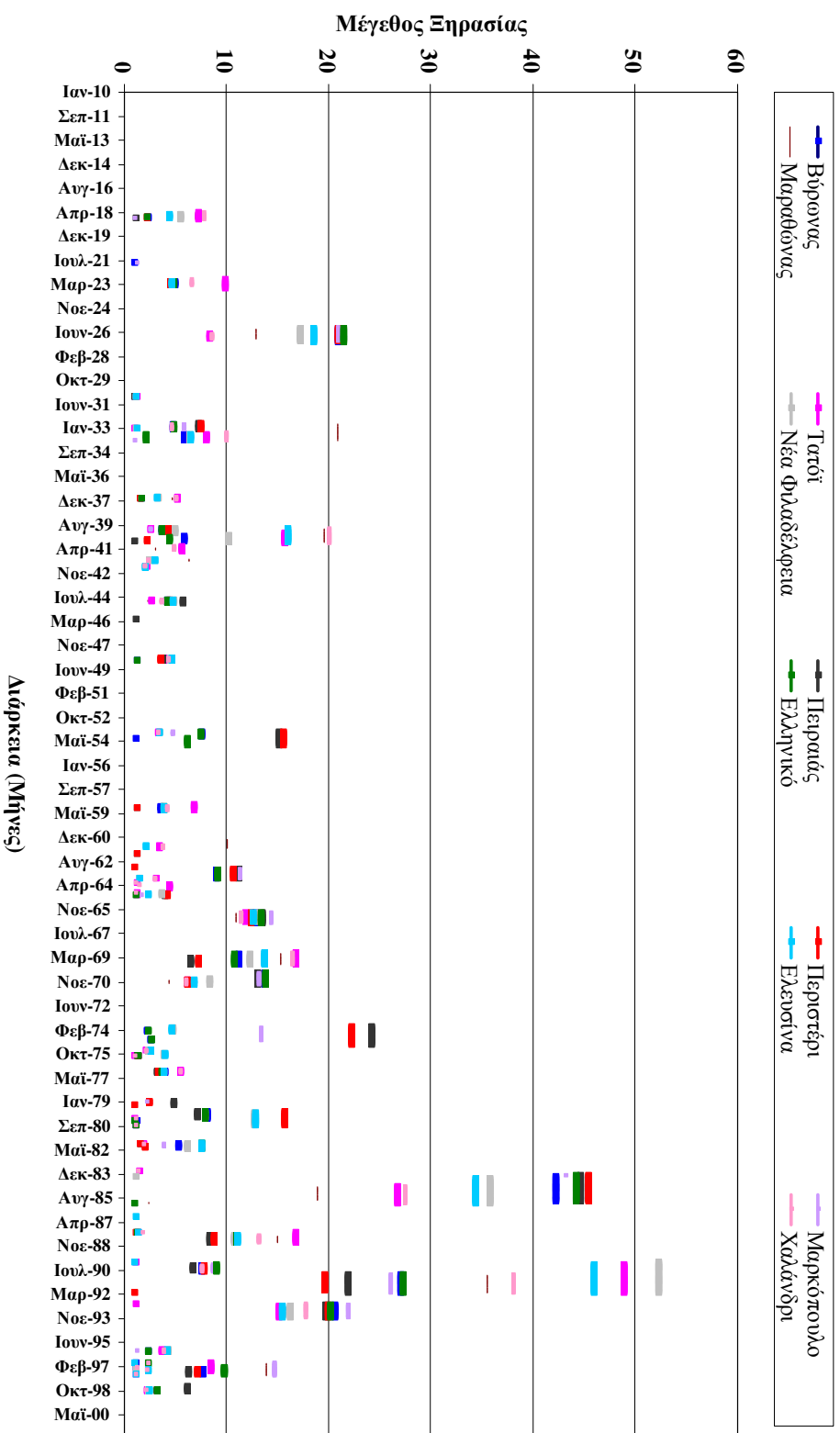
Στα Σχήματα 55 και 56 δίνονται τα επεισόδια ξηρασίας, η ένταση και διάρκειά τους όπως αυτά υπολογίστηκαν για κάθε σταθμό για τα δύο κλιματικά σενάρια A1B και A2 και για τη μελλοντική περίοδο (2010 – 2100).

Από το Σχήμα 55 όπου απεικονίζονται τα επεισόδια ξηρασίας για το κλιματικό σενάριο A1B κατά τη μελλοντική περίοδο 2010 – 2100 προκύπτουν τα ακόλουθα:

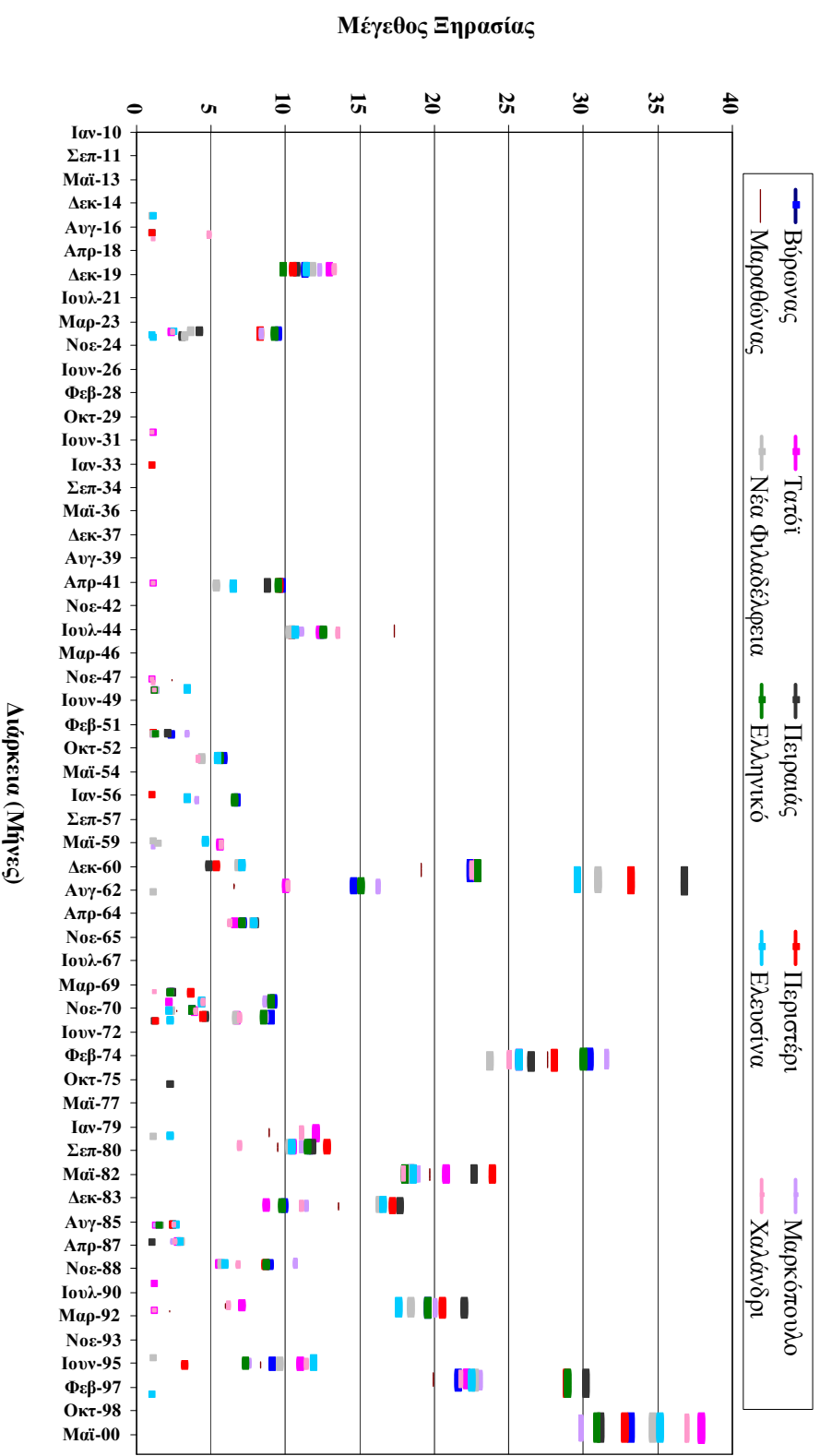
- Έως και το 2031 αναμένονται τρία με τέσσερα επεισόδια ξηρασίας μικρής έντασης και διάρκειας, με το τελευταίο επεισόδιο να εκδηλώνεται περισσότερο έντονα στους σταθμούς της Ν. Φιλαδέλφειας, Ελευσίνας και Ελληνικού.
- Από το 2033 έως και το 2064 η συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων ξηρασίας αναμένεται να αυξηθεί. Παρόλα αυτά, πλην δυο περιπτώσεων (το 2040 και το 2054), η έντασή τους δεν αναμένεται να είναι μεγάλη. Οι περιοχές των σταθμών Ελευσίνας, Περιστερί, Τατοΐου και Χαλάνδρι αναμένεται να εμφανίσουν την μεγαλύτερη ένταση.
- Από το 2064 έως και το 2092 η συχνότητα εμφάνισης των επεισοδίων ξηρασίας αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό ενώ αντίστοιχη είναι και η αύξηση της έντασής τους σε όλους τους σταθμούς.

Από το Σχήμα 56 όπου απεικονίζονται τα επεισόδια ξηρασίας για το κλιματικό σενάριο A2 κατά τη μελλοντική περίοδο 2010 – 2100 προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Έως και το 2031 αναμένονται ελάχιστα επεισόδια ξηρασίας μικρής έντασης και διάρκειας, με το τελευταίο επεισόδιο να εκδηλώνεται περισσότερο έντονα στους σταθμούς της Ν. Φιλαδέλφειας, Ελευσίνας και Ελληνικού.
- Από το 2041 έως και το 2060 η συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων ξηρασίας αναμένεται να αυξηθεί, η έντασή τους δε, αναμένεται να είναι μικρή.
- Από το 2073 έως και το 2099 η συχνότητα εμφάνισης των επεισοδίων ξηρασίας αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό ενώ αντίστοιχη είναι και η αύξηση της έντασής τους σε όλους τους σταθμούς.



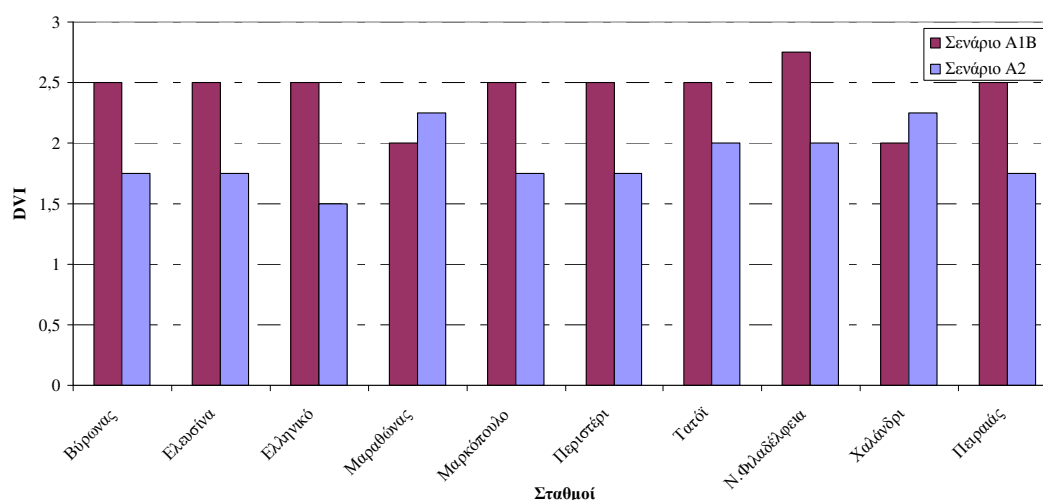
Σχήμα 55. Επεισόδια ξηρασίας, ένταση και διάρκεια αυτών, όπως υπολογίστηκαν για κάθε σταθμό για το κλιματικό σενάριο Δ1Β (περίοδο 2010 – 2100)



Σχήμα 56. Επεισόδια ξηρασίας, ένταση και διάρκεια αυτών, όπως υπολογίστηκαν για κάθε σταθμό για το κλιματικό σενάριο A2 (περίοδο 2010 – 2100)

6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΞΗΡΑΣΙΑ DVI

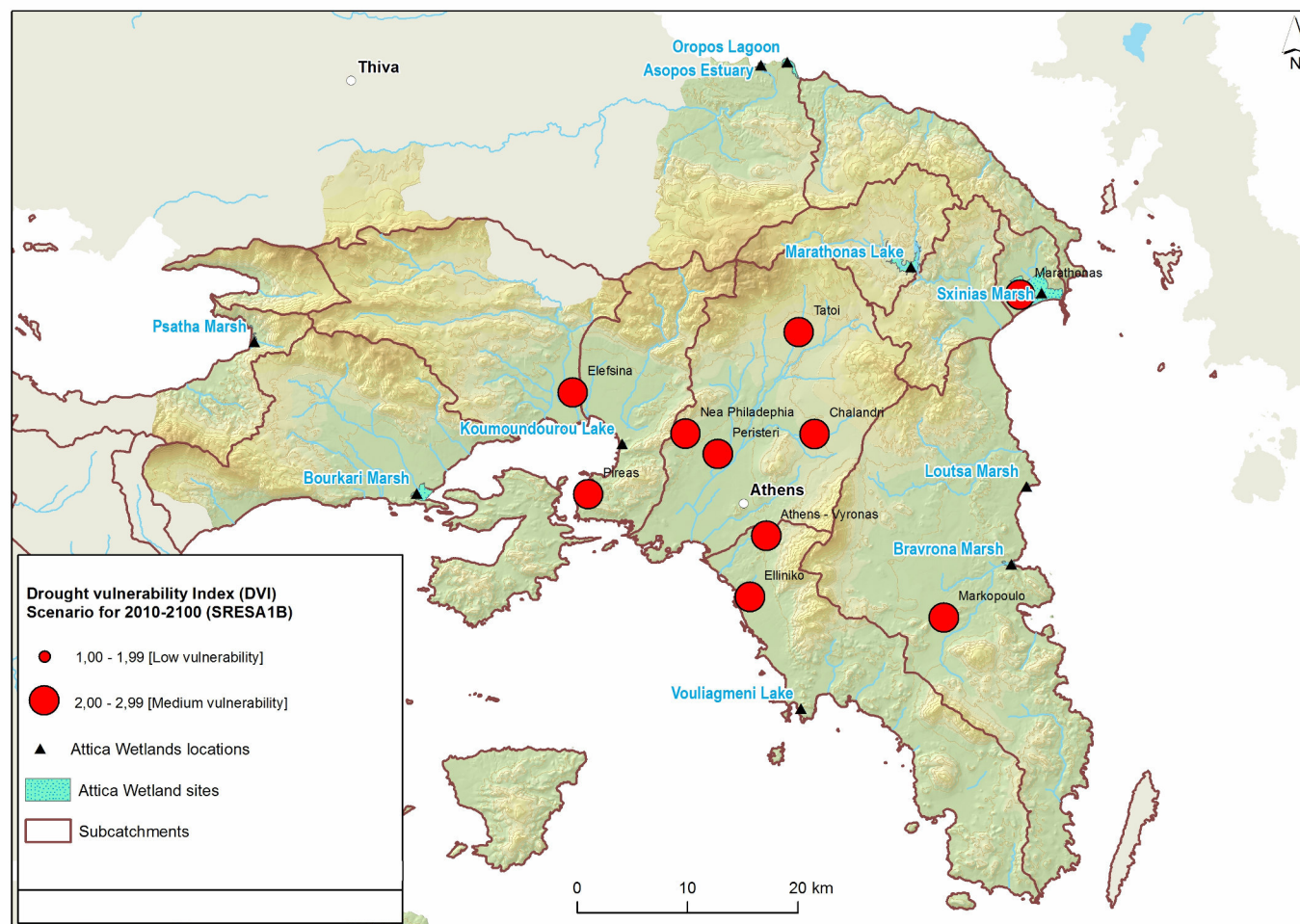
Ο δείκτης DVI υπολογίστηκε για κάθε μετεωρολογικό σταθμό, για τα δυο κλιματικά σενάρια A1B και A2. Στο Σχήμα 57 παρατίθεται η τιμή του δείκτη DVI για τα δύο σενάρια και για όλους τους μετεωρολογικούς σταθμούς. Από το σχήμα γίνεται αντιληπτό ότι ο δείκτης είναι μεγαλύτερος για το σενάριο A1B σε σχέση με το σενάριο A2 σε όλους τους σταθμούς εκτός από τον Μαραθώνα και το Χαλάνδρι.



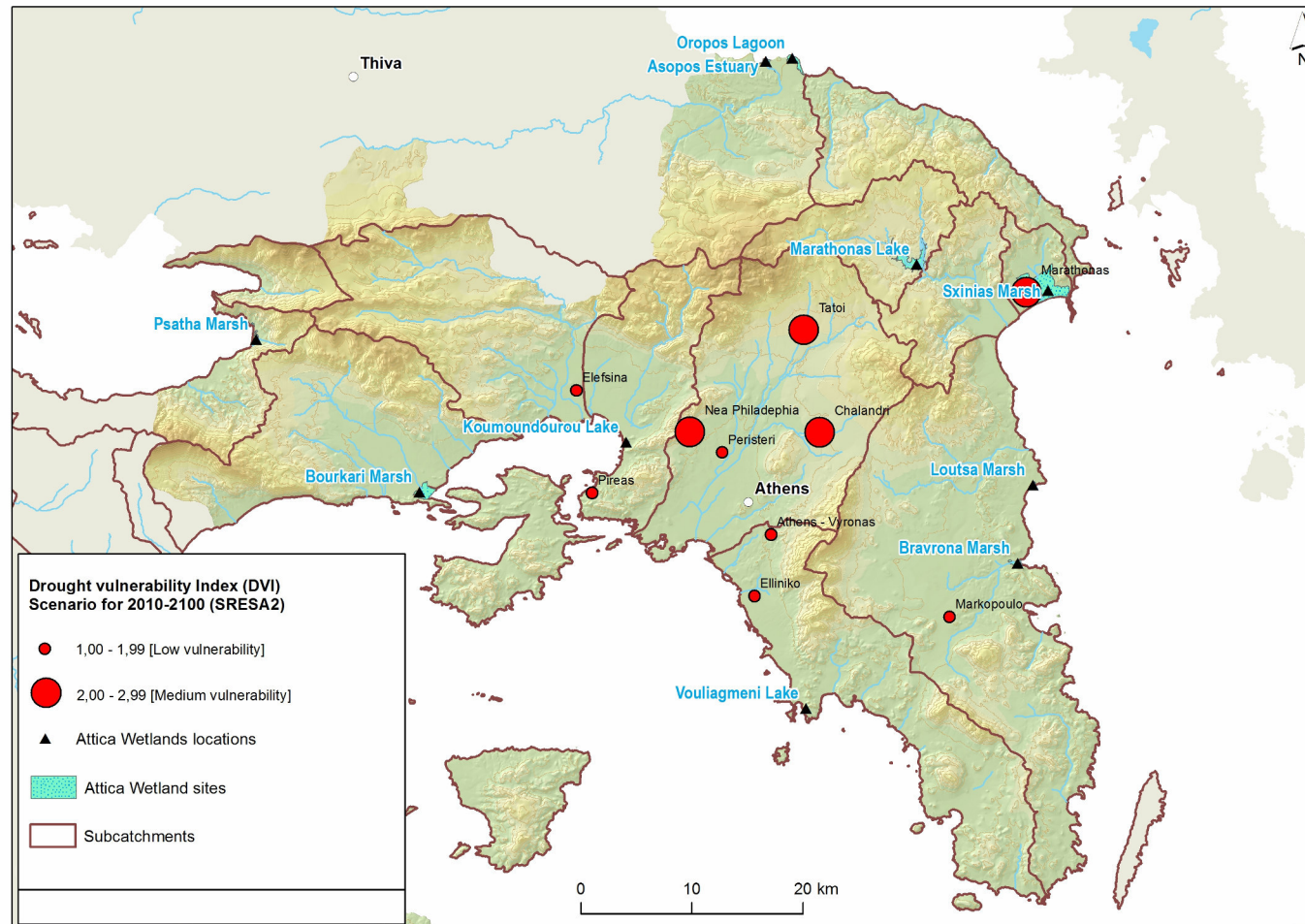
Σχήμα 57. Δείκτης τρωτότητας στη ξηρασία (DVI), για τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Αττικής για τα δύο κλιματικά σενάρια A1B & A2 (περίοδο 2010 – 2100)

Η οπτική απεικόνιση του δείκτη DVI δίνεται στους Χάρτες 2 και 3.

Από τους ανωτέρω χάρτες γίνεται αντιληπτή η μετάβαση όλων των περιοχών των σταθμών από την κατάσταση της χαμηλής τρωτότητας σε μέτρια κατάσταση τρωτότητας στην ξηρασία. Η επιδείνωση αυτή στο δείκτη τρωτότητας, αποδίδεται στα αυξημένα επεισόδια ξηρασίας (τόσο σε συχνότητα όσο και ένταση) της δεύτερης πεντηκονταετίας (2064 – 2100).



Χάρτης 2. Δείκτες τρωτότητας στη ξηρασία (DVI), για τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Αττικής όπως αυτοί υπολογίστηκαν για το κλιματικό σενάριο A1B (περίοδο 2010 – 2100)



Χάρτης 3. Δείκτες τρωτότητας στη ξηρασία (DVI), για τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Αττικής όπως αυτοί υπολογίστηκαν για το κλιματικό σενάριο A2 (περίοδο 2010 – 2100)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αποστόλου, Κ. 2010. Χρήση δεικτών για την εκτίμηση και πρόβλεψη της ξηρασίας στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.
- ΥΠΕΚΑ 2013. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (GR06). Σύμπραξη NAMA ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ & ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ ΑΕ – ΓΑΜΜΑ4 ΕΠΕ – ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΣΙΔΕΡΗΣ – SPEED ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΑΕ – ΦΩΤΙΟΣ ΠΕΡΓΑΝΤΗΣ – ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΝΤΑΣΚΑΣ – ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΓΙΑΝΝΕΛΗΣ – ΧΡΗΣΤΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΣ – ANNA ΜΠΙΤΣΑΚΑΚΗ – ΤΣΟΥΚΙΑ – ΕΥΣΕΒΙΟΣ ΧΑΤΖΗΚΩΣΤΑΣ.
- Agnew, C. T. 2000. Using the SPI to Identify Drought. Drought Network News, Vol. 12, No. 1: 6-12, Winter 1999–Spring 2000.
- Hayes, M. J. 1999. Drought Indices. NDMC – Drought Happens, Drought Indices. <http://enso.unl.edu/ndmc/enigma/indices.htm/>, updated 12 October 1999.
- Ji, L. and A. Peters. 2003. Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. Remote Sensing of Environment, 87: pp. 85–89.
- Kržič, A. I. Tošić, V. Djurdjević, K. Veljović, B. Rajković. 2011. Changes in climate indices for Serbia according to the SRES-A1B and SRES-A2 scenarios. Clim. Res. 49:73-86.
- Loukas, A. and L. Vasiliades. 2004. Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece. Natural Hazards and Earth System Sciences, 4: 719–731.
- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, 17-23 January.
- Sims, A. P., D. S. Niyogi, and S. Raman. 2002. Adopting drought indices for estimating soil moisture: A North Carolina case study. Geophys. Res. Lett., 29, 8, 1183.
- Szalai, S. and C. Szinell. 2000. Comparison of two drought indices for drought monitoring in Hungary — a case study. In Drought and Drought Mitigation in Europe, Vogt JV, Somma F (eds). Kluwer: Dordrecht: 161–166.