



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΕΒΟΥ,
MOROCCO ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ STANDARDIZED
PRECIPITATION INDEX (SPI)**



MULITA ZONJA

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΤΖΩΡΑΚΗ ΟΥΡΑΝΙΑ

ΜΥΤΙΛΗΝΗ, 2017
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΕΒΟΥ,
MOROCCO ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ STANDARDIZED
PRECIPITATION INDEX (SPI)**

MULITA ZONJA

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

Τζωράκη Ουρανία, Επίκουρη Καθηγήτρια (επιβλέπουσα)

Χασιώτης Θωμάς, Επίκουρος Καθηγητής

Βελεγράκης Αντώνης, Καθηγητής

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στα πλαίσια της εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω κάποια άτομα, με την συμβολή και την βοήθεια των οποίων μπόρεσα να την ολοκληρώσω με επιτυχία.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Τζωράκη Ουρανία, Επίκουρη Καθηγήτρια του Τμήματος Επιστημών της Θάλασσας του Πανεπιστημίου Αιγαίου και επιβλέπουσα της πτυχιακής μου εργασίας, για την εμπιστοσύνη και την πολύτιμη καθοδήγηση που μου έδειξε.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Lahcen Benaabidate, Καθηγητή του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου του Μαρόκου, για την παραχώρηση των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Κοντογεώργο Ιωάννη και την Μανωλάκη Στεφανία-Μαριέβα για την πολύτιμη βοήθειά τους καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ εγκάρδια την οικογένεια και τους φίλους μου, που με στήριξαν και με εμπιστεύτηκαν όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
2. ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ	7
2.1 Λεκάνη Απορροής	7
2.2 Φράγματα	7
2.3 Ξηρασία	8
2.4 Δείκτης Ξηρασίας SPI (Standardized Precipitation Index)	9
2.4.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα του δείκτη SPI.....	13
3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	15
3.1 Ποταμός Sebou	15
3.2 Περιγραφή των Παραποτάμων του Sebou	18
3.2.1 Ποταμός Beht	19
3.2.2 Ποταμός Ouergha.....	22
4. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ.....	26
4.1 Ανάλυση Δεδομένων Ποταμού Beht	27
4.2 Ανάλυση Δεδομένων Ποταμού Ouergha	35
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	42
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	43
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	49

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για αρκετές δεκαετίες έχουν πραγματοποιηθεί πλήθος υδρολογικών παρατηρήσεων που αφορούν βροχομετρικά δεδομένα και δεδομένα παροχής νερού στην ευρύτερη περιοχή του Μαρόκου. Τα δεδομένα αυτά αφορούν δύο από τους τρεις κύριους παραπόταμους του ποταμού Sebou, ο οποίος γεωγραφικά τοποθετείται στο Μαρόκο.

Γενικά οι υδάτινοι πόροι, αποτελούν μια θεμελιώδη και αναγκαία μορφή για τη διατήρηση και την ανάπτυξη οποιασδήποτε οικονομικής και κοινωνικής ανθρώπινης δραστηριότητας. τα ποτάμια αποτελούν έναν πολύ σημαντικό παράγοντα τόσο για τον άνθρωπο όσο και για την υδρόβια πανίδα της ευρύτερης περιοχής από την οποία διέρχονται αλλά και εκβάλουν. Ωστόσο σημαντικό ρόλο παίζουν και στη γεωργική αλλά και την βιομηχανική ανάπτυξη η οποίες στηρίζονται σε αυτούς. Αυτή η κατάσταση της υπερβολικής ζήτησης για νερό, σε πολύ ακανόνιστες βροχοπτώσεις, προκαλεί μια ποσοτική υποβάθμιση των υδάτινων πόρων, θέτοντας υπό αμφισβήτηση τις τρέχουσες χρήσεις του, οι οποίες με τον τρόπο αυτό βάζουν σε κίνδυνο την μελλοντικές δυνατότητες αξιοποίησης των υδάτων, κάτι το οποίο μπορεί να επιφέρει ακόμα και το φαινόμενο της ξηρασίας.

Η ξηρασία μπορεί να έχει πολλές διαφορετικές πτυχές ανάλογα με τον εκάστοτε κλάδο που την μελετά. Για την Μετεωρολογία, ξηρασία είναι η ελάττωση της βροχόπτωσης σε σχέση με την «κανονική» τιμή της για μεγάλο χρονικό διάστημα. Για την γεωργία σημαίνει μη παραγωγική σοδειά, που είναι αποτέλεσμα της έλλειψης του νερού στα κρίσιμα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας. Για την υδρολογία και την υδρογεωλογία σημαίνει πτώση της στάθμης των λιμνών, ποταμών και του υδροφόρου ορίζοντα κάτω από κάποιο όριο για μία ορισμένη χρονική περίοδο, δηλαδή μία περίοδος κατά την οποία η παροχή νερού (επιφανειακή και υπόγεια) είναι μικρότερη από την ελάχιστη που απαιτείται για την ικανοποίηση των αναγκών μιας περιοχής. Είναι, δηλαδή, μια περίοδος υδρολογικού ελλείμματος (π.χ. στην απορροή, στην αποθήκευση σε ταμιευτήρες, στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα) (National Drought Mitigation Center, 1996b). Ενώ τέλος, για την οικονομία ή την πολιτική, η ξηρασία εμφανίζεται μόνο όταν υπάρχουν οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις.

Οι περιοχές αυτές είναι σημαντικές καθώς το μεσογειακό κλίμα που τις χαρακτηρίζει, τις κάνει πυκνοκατοικημένες, με έντονη γεωργική και βιομηχανική ανάπτυξη αλλά και αγροτική παραγωγή. Έτσι λοιπόν είναι σημαντικό να υπάρχει επάρκεια στους διαθέσιμους

υδατικούς πόρους για την εξυπηρέτηση των παραπάνω αναγκών. Αυτή είναι και η βασική αιτία μελέτης της ξηρασίας στην περιοχή αυτή.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η εκτίμηση της ξηρασίας σε 2 υδρολογικές λεκάνες μέσω του δείκτη SPI (Standardized Precipitation Index). Η εκτίμηση αυτή θα διεξαχθεί μέσω ανάλυσης δεδομένων σε σταθμούς από τους οποίους πάρθηκαν δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα βροχόπτωσης και παροχής σε δύο από τους βασικούς παραπόταμους του ποταμού Sebou, τους Beht και Ouergha. Τα δεδομένα αυτά παραχωρήθηκαν από το εργαστήριο Γεωλογικών Πόρων και Περιβάλλοντος της σχολής Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, του πανεπιστημίου Sidi Mohamed Ben Abdellah, στη περιοχή Fez, στο Μαρόκο.

2. ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

2.1 Λεκάνη Απορροής

Το σύνολο των σημείων της επιφάνειας που τροφοδοτεί με νερό απορροής ένα ρεύμα, αποτελεί τη λεκάνη απορροής του ρεύματος αυτού. Στη φύση τα όρια της περιοχής που συνεισφέρει υπόγειο νερό σε ένα ρεύμα μπορεί να μην ταυτίζονται με αυτά της περιοχής που συνεισφέρει επιφανειακή απορροή. Στην περίπτωση μικρών λεκανών είναι δυνατό υπόγειο νερό να μετακινηθεί από μια λεκάνη στη γειτονική της ή και πολύ μακρύτερα. Αυτό προκαλεί ορισμένες ασάφειες κατά τον καθορισμό των ορίων των λεκανών. Για να ξεπεραστούν οι ασάφειες αυτές, έχει επικρατήσει να ορίζεται ως υδρολογική λεκάνη η έκταση που συνεισφέρει νερό άμεσης απορροής σε ένα ρεύμα. Το όριο που χωρίζει μια υδρολογική λεκάνη απ' τις γειτονικές της λέγεται υδροκρίτης (Bedient and Hunder, 1992).

2.2 Φράγματα

Ονομάζεται μια κατασκευή που εμποδίζει, ανακατευθύνει ή επιβραδύνει την φυσική ροή υδάτων. Συνήθως με την κατασκευή ενός φράγματος δημιουργούνται συλλέκτες υδάτων, δεξαμενές ή ακόμα και τεχνητές λίμνες. Ο ρόλος των φραγμάτων είναι η αναρρύθμιση της ροής των ποταμών και η χρησιμοποίηση των πολύτιμων υδάτινων πόρων κατά τρόπο οικονομικά αποδοτικότερο και περισσότερο ωφέλιμο. Η κατασκευή τους ξεκίνησε πριν από πολλούς αιώνες πριν ακόμα δημιουργηθούν ερωτήματα κι ανησυχίες για τις περιβαλλοντικές μεταβολές που προκαλούν και τις αντιρρήσεις για τη ωφελμιστική σκοπιμότητά τους.

Τα πρώτα φράγματα που κατασκευάστηκαν αποσκοπούσαν κυρίως στην παροχή αντιπλημμυρικής προστασίας και την αποθήκευση νερού για αρδευτικούς και υδρευτικούς σκοπούς, ενώ στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, για ιχθυοκαλλιέργειες, τουρισμό και αναψυχή. Σήμερα, τα φράγματα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τις άλλες κατασκευές πολιτικού μηχανικού, έχουν πολύ μεγαλύτερο μέγεθος σε σχέση με το παρελθόν, αξιοποιούν τις γνώσεις της υδρολογίας και της υδρομηχανικής και το μέγεθος των επιπτώσεων άμεσων ή έμμεσων, οικονομικών ή μη οικονομικών έχει αυξηθεί.

Στη σύγχρονη εποχή η πλειονότητα των φραγμάτων χρησιμοποιείται για πολλαπλούς σκοπούς. Συγκεκριμένα παγκοσμίως τα φράγματα χρησιμοποιούνται για αρδευτικούς σκοπούς (37%), για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (16%), για παροχή πόσιμου νερού

(12%), για αντιπλημμυρικό έλεγχο (6%), για σκοπούς αναψυχής (3%) και για λοιπούς σκοπούς (4%). Τα οφέλη από τη λειτουργία αυτών των φραγμάτων υπήρξαν πολλαπλά, όμως έχουν σε πολλές περιπτώσεις σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

2.3 Ξηρασία

Η ξηρασία, ένα ακραίο μετεωρολογικό-κλιματικό φαινόμενο, μπορεί να εμφανιστεί σε ανύποπτο χρόνο, σε οποιαδήποτε περιοχή και με απροσδιόριστη διάρκεια, ενώ είναι αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης πολλών παραμέτρων. Η ξηρασία δεν περιορίζεται μόνο σε ξηρές και ερημικές περιοχές αλλά και σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από σημαντικά ποσά βροχόπτωσης, προκαλώντας στην τελευταία περίπτωση πολύ περισσότερα προβλήματα σε σχέση με αυτά που εμφανίζονται στις ξηρές περιοχές.

Δεν μπορεί να υπάρξει ένας κοινός παγκόσμιος επιστημονικός ορισμός για την ξηρασία. Κάθε περιοχή πρέπει να έχει το δικό της ορισμό ανάλογα με την κλιματολογία και την τοπογραφία που τη χαρακτηρίζει και αλλάζει ανάλογα με το αντικείμενο της κάθε επιστήμης. (World Meteorological Organization (WMO), 1975; Meteorological Office, 1991; Wilhite and Glantz, 1985). Ο καταστροφικός χαρακτήρας της εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως είναι οι υψηλές θερμοκρασίες, οι ισχυροί άνεμοι και η χαμηλή σχετική υγρασία (Oladipo, 1985). Επίσης η ξηρασία σχετίζεται με το χρόνο εμφάνισής της (καθυστερήση της έναρξης υγρής περιόδου, απουσία βροχόπτωσης κατά τα στάδια ανάπτυξης των φυτών), αλλά και την αποτελεσματικότητα των βροχοπτώσεων (π.χ. ένταση βροχόπτωσης, αριθμός επεισοδίων βροχής). Έτσι, κάθε επεισόδιο ξηρασίας μπορεί να θεωρηθεί μοναδικό με δικά του κλιματικά χαρακτηριστικά και επιπτώσεις.

Γενικά το κρίσιμο επίπεδο της μεταβλητής (βροχόπτωση, θερμοκρασία) με την οποία εκφράζεται η ξηρασία διαφέρει από περιοχή σε περιοχή (Τσακίρης, 1995) και είναι γενικά πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί το κρίσιμο σημείο όπου μια ξηρή περίοδος αποβαίνει σε ήπια ξηρασία με μικρές επιπτώσεις ή σε ακραία ξηρασία. Το κόστος και οι έμμεσες και οι άμεσες συνέπειες μιας επικείμενης ξηρασίας είναι πολλές φορές ανυπέβλητες. Η μειωμένη ποσότητα νερού στο έδαφος, στα ρέματα και στους υπόγειους ταμιευτήρες συνεπάγει την ύπαρξη λιγότερου νερού για τις καλλιέργειες, τη φυσική βλάστηση, τα εκτρεφόμενα ζώα και την άγρια πανίδα. Τα κόστη που σχετίζονται με την ξηρασία παρουσιάζουν μεγάλο εύρος σε οικονομικά (μείωση του ρυθμού ανάπτυξης, αύξηση της ανεργίας και του πληθωρισμού), κοινωνικά (υποσιτισμός, φτώχεια, κοινωνικές αναταραχές,

μετακίνηση πληθυσμού) και περιβαλλοντικά (καταστροφή της άγριας ζωής, αύξηση αλατότητας του νερού και των εδαφών, διάβρωση και ερημοποίηση) θέματα (National Drought Mitigation Center, 1996).

2.4 Δείκτης Ξηρασίας SPI (Standardized Precipitation Index)

Η επιστημονική προσέγγιση του φαινομένου της ξηρασίας περιλαμβάνει διάφορες μεθοδολογίες ανάλυσης, που στηρίζονται σε διαφορετικές παραδοχές και ορισμούς. Η μελέτη των ξηρασιών περιλαμβάνει τόσο την ανάλυση συχνοτήτων ελαχίστων τιμών χαρακτηριστικών υδρολογικών μεταβλητών για μεγάλο χρονικό διάστημα (βροχόπτωση, απορροή κ.α.), όσο και τον προσδιορισμό χαρακτηριστικών δεικτών που αποτελούν μέτρο ποσοτικής εκτίμησης μιας ξηρασίας (υδατικό έλλειμμα, πτώση στάθμης υπόγειου υδροφορέα κ.α.). Ένας δείκτης ξηρασίας που κερδίζει συνεχώς την εκτίμηση της επιστημονικής κοινότητας τα τελευταία χρόνια είναι ο Standardized Precipitation Index (SPI).

Ορισμένοι δείκτες οι οποίοι εφαρμόζονται προκειμένου να γίνει εκτίμηση της ξηρασίας, είναι οι εξής:

Πίνακας 1: Ευρέως χρησιμοποιούμενοι δείκτες ξηρασίας.

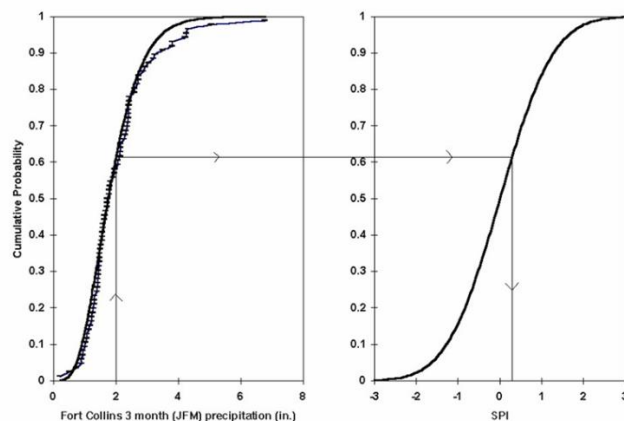
Δείκτες Ξηρασίας	Ορισμός	Αναφορά
Surface Water Supply Index (SWSI) (Δείκτης Παροχής Εδαφικού Νερού)	Αποτελεσματικός δείκτης σε κλίματα με ικανοποιητική ποσότητα χιονιού.	
Crop Moisture Index (CMI) (Δείκτης υγρασίας καλλιέργειας)	Χρήσιμος δείκτης στη γεωργική παραγωγή και λαμβάνει υπόψη βροχόπτωση, θερμοκρασία, συνθήκες εδαφικής υγρασίας.	
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης)	Προκύπτει από την επεξεργασία δορυφορικών εικόνων	(Kim, 2013)
Enhanced Vegetation Index (EVI)	Προκύπτει από την επεξεργασία δορυφορικών εικόνων και χρησιμοποιείται για την βελτιστοποίηση του σήματος που λαμβάνεται από τη βλάστηση	(Jiang et al., 2011)

Standardized Precipitation Index	Προκύπτει από τον τυποποιημένο μετασχηματισμό της πιθανότητας παρατηρούμενης βροχόπτωσης	Kee et al., 1993
(SPI) (Τυποποιημένος Δείκτης Κατακρήμνισης)	και μπορεί να υπολογιστεί για κάθε επιθυμητό διάστημα (1, 3, 6, 12, 24, 48 μηνών κ.α.). Βραχυχρόνια διάρκεια της τάξης μηνών χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη στη γεωργία, ενώ μακροχρόνια διάρκεια χρησιμοποιείται στη διαχείριση υδατικών πόρων και στις υδρολογικές μελέτες	
Reconnaissance Drought Index (RDI)	Λαμβάνει υπόψη εκτός από τη θερμοκρασία και την εξάτμιση.	(Tsakiris et al., 2007)
Statistical Z Score (ZScore)	Αδιάστατος δείκτης που προκύπτει από την αφαίρεση της μέσης τιμής ενός πληθυσμού από μια μεμονωμένη τιμή και διαιρώντας το αποτέλεσμα με την τυπική απόκλιση του συνόλου των τιμών.	Sirdas and Sahin, 2008

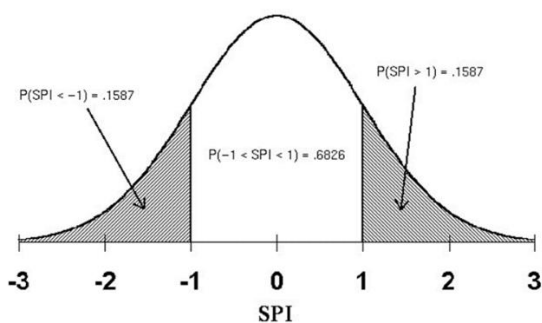
Ο SPI διαφέρει από τους περισσότερους δείκτες, διότι μπορεί και αναγνωρίζει τα διάφορα επεισόδια ξηρασίας έγκαιρα, ενώ μπορεί να υπολογιστεί για διαφορετικά χρονικά κατώφλια δίνοντας σε κάθε περίπτωση ανάλογα αποτελέσματα. Έχει προταθεί με σκοπό τον πιο εύκολο εντοπισμό και την συστηματικότερη καταγραφή των επεισοδίων ξηρασίας, λόγω της απλότητας των δεδομένων που χρησιμοποιεί και της ευκολίας στην κατανόηση των αποτελεσμάτων που δίνει.

Ο Τυποποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης (SPI) είναι ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης για τον χαρακτηρισμό της μετεωρολογικής ξηρασίας σε ένα εύρος χρονοδιαγραμμάτων. Σε σύντομο χρονικό διάστημα, το SPI σχετίζεται στενά με την υγρασία του εδάφους, ενώ σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, το SPI μπορεί να σχετίζεται με την αποθήκευση υπόγειων υδάτων και δεξαμενών. Το SPI μπορεί να συγκριθεί σε περιοχές με έντονα διαφορετικά κλίματα. Μετράει την παρατηρούμενη βροχόπτωση ως τυποποιημένη απόκλιση από μια επιλεγμένη συνάρτηση κατανομής πιθανοτήτων που μοντελοποιεί τα δεδομένα ακατέργαστης βροχόπτωσης. Τα δεδομένα ακατέργαστης βροχόπτωσης προσαρμόζονται τυπικά σε κατανομή γάμμα ή Pearson Τύπου III και στη συνέχεια μετασχηματίζονται σε κανονική κατανομή. Οι τιμές SPI μπορούν να ερμηνευθούν ως ο αριθμός των τυπικών αποκλίσεων με τις οποίες η παρατηρούμενη ανωμαλία αποκλίνει από το μακροπρόθεσμο μέσο όρο. Το SPI μπορεί να δημιουργηθεί για διαφορετικές περιόδους 1 έως 36 μηνών, χρησιμοποιώντας μηνιαία δεδομένα εισόδου. Για την επιχειρησιακή κοινότητα, το SPI έχει

αναγνωριστεί ως ο πρότυπος δείκτης που πρέπει να είναι διαθέσιμος σε όλο τον κόσμο για την ποσοτικοποίηση και την αναφορά της μετεωρολογικής ξηρασίας. Έχουν αναφερθεί ανησυχίες σχετικά με τη χρησιμότητα του SPI ως μέτρο αλλαγών στην ξηρασία που συνδέονται με την αλλαγή του κλίματος, καθώς δεν ασχολείται με αλλαγές στην εξατμισοδιαπνοή.



Εικ.1: Παράδειγμα μετασχηματισμού της ευελιξίας από την προσαρμοσμένη κατανομή γάμμα στην τυπική κανονική κατανομή.



Εικ.2: Τυπική κανονική κατανομή.

Υπολογίζεται από τη διαφορά της βροχόπτωσης από τη μέση τιμή για μία ορισμένη χρονική περίοδο διαιρώντας την με την τυπική απόκλιση. Τα δεδομένα βροχόπτωσης προσαρμόζονται σε μια κατανομή πιθανότητας (Probability Density Function (PDF)) και έπειτα, αυτή μετασχηματίζεται σε μία κανονικοποιημένη μεταβλητή z , η οποία είναι η τιμή του SPI. Επομένως, η μέση τιμή του SPI για μία χρονική περίοδο και για συγκεκριμένη περιοχή είναι 0 και η τυπική απόκλιση είναι 1. 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. Μαθηματικά ο SPI βασίζεται στην αθροιστική πιθανότητα ενός δεδομένου γεγονότος βροχής να συμβεί σε ένα σταθμό. Δηλαδή αν ένα συγκεκριμένο γεγονός βροχής έχει μικρή πιθανότητα στην αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας τότε αυτό σημαίνει ότι είναι ένα πιθανόν γεγονός ξηρασίας. Αντίθετα αν ένα γεγονός βροχής δίνει υψηλή πιθανότητα, τότε πρόκειται για γεγονός υψηλής βροχόπτωσης. Διαστήματα τιμών του δείκτη αυτού και την αντιστοιχία τους σε όρους ξηρασίας παρουσιάζονται στον πίνακα 2. Γενικά τιμές του δείκτη μικρότερες από -1,5 υποδηλώνουν ότι επίκειται σοβαρό γεγονός ξηρασίας.

Πίνακας 2 : Ταξινόμηση ξηρασίας με βάση τις τιμές SPI

Κλάση	Εύρος Τιμών της μεταβλητής SPI	Κατηγορία Επεισοδίου
1	Άνω του 2	Εξαιρετικά Υγρή Περίοδος (Extremely wet)
2	1,50 ως 1,99	Πολύ Υγρή Περίοδος (Severe Wet)
3	1 ως 1,49	Μέτρια Υγρή Περίοδος (Moderate Wet)
4	0 ως 0,99	Ήπια Υγρή Περίοδος (Κανονικές Βροχοπτώσεις) (Mild Wet)
5	0 ως -0,99	Ήπια Ξηρή Περίοδος (Κανονικές Βροχοπτώσεις) (Mild drought)
6	-1 ως -1,49	Μετρίως Ξηρή Περίοδος (Moderate Drought)
7	-1,50 ως - 1,99	Σημαντική Ξηρασία (Severe drought)
8	-2 και κάτω	Εξαιρετικά Ξηρή Περίοδος (Extreme drought)

Οι McKee et al. (1993) από το Colorado State University δημιούργησαν τον δείκτη SPI με σκοπό να οριστεί, να καταγραφεί και να προβλεφθεί η ξηρασία. Πολλά ερευνητικά κέντρα (National Drought Mitigation Center -NDMC, Western Regional Climate Center -WRCC) χρησιμοποιούν σήμερα το δείκτη SPI για την καταγραφή και παρακολούθηση των διαφόρων επεισοδίων ξηρασίας. Η φύση του επιτρέπει τον εντοπισμό ενός σπάνιου επεισοδίου ξηρασίας ή ενός εξαιρετικά υγρού επεισοδίου που μπορεί να παρατηρηθεί σε οποιοδήποτε περιοχή και οποιαδήποτε χρονική στιγμή, αρκεί να υπάρχουν επαρκή δεδομένα βροχοπτώσεων. Ο δείκτης βασίζεται στις παρατηρήσεις βροχόπτωσης για μια ορισμένη χρονική περίοδο. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η περίοδος τόσο πιο αξιόπιστα είναι τα αποτελέσματα του SPI (Wu et al., 2005; Cancelliere and Bonaccorso, 2009).

Σύμφωνα με τους McKee et al. (1993) η περίοδος πρέπει να είναι διάρκειας τουλάχιστον 30 ετών. Μαθηματικά, ο SPI είναι ο αριθμός των τυπικών αποκλίσεων που, το άθροισμα βροχοπτώσεων για μια περίοδο (3, 6, 9, 12 μήνες κλπ), απέχει από τη μέση τιμή μιας μακροχρόνιας χρονοσειράς, εάν υποθέταμε πως οι βροχοπτώσεις ακολουθούσαν κανονική κατανομή.

Για την παρακολούθηση της ξηρασίας απαιτείται δίκτυο υδρομετεωρολογικών σταθμών με μακροχρόνιες χρονοσειρές βροχοπτώσεων και απορροής κατάλληλα τοποθετημένων για τον προσδιορισμό δεικτών της ξηρασίας που εκφράζουν την απόκλιση από τις κανονικές μετεωρολογικές και υδρολογικές συνθήκες, τις συνθήκες για την εδαφική υγρασία για την ανάπτυξη των καλλιεργειών και την έλλειψη σε νερό για τις κοινωνικές ανάγκες. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων μπορεί να προσδιορίσει τις μετεωρολογικές και υδρολογικές περιόδους ξηρασίας (καταγραφή των φαινομένων ξηρασίας) και την ποσοτικοποίησή τους.

2.4.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα του δείκτη SPI

Στα πλεονεκτήματα του δείκτη SPI ανήκουν:

- a) Η ευκολία υπολογισμού του, σε σύγκριση με άλλους δείκτες, καθώς απαιτούνται μόνο δεδομένα βροχόπτωσης. Μάλιστα, επειδή δεν εξαρτάται από την εδαφική υγρασία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία τόσο για το καλοκαίρι όσο και για το χειμώνα. Επίσης δεν επηρεάζεται από την τοπογραφία.
- b) Η δυνατότητα υπολογισμού του σε διάφορες χρονικές κλίμακες, γεγονός που επιτρέπει την εκτίμηση συνθηκών ξηρασίας σε μεγάλη ποικιλία μετεωρολογικών, αγροτικών και υδρολογικών εφαρμογών. Αυτή η χρονική ευελιξία είναι αρκετά χρήσιμη και για την αναγνώριση της έναρξης και λήξης της ξηρασίας, κάτι που δύσκολα καταφέρνουν άλλοι δείκτες.
- c) Η κανονικοποίησή του, η οποία εξασφαλίζει τον εντοπισμό της συχνότητας ακραίων γεγονότων σε οποιαδήποτε θέση και με οποιαδήποτε χρονική ανάλυση. Δηλαδή, είναι χωρικά και χρονικά ανεξάρτητος (Guttman, 1998; Heim, 2002; Wu et al., 2007) και για αυτό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες συγκρίσεις. Η κανονικοποίηση του SPI προσδιορίζει τη σπανιότητα ενός επεισοδίου ξηρασίας αφού σχετίζεται μοναδικά με κάποια πιθανότητα.

- d) Η βροχόπτωση που χρησιμοποιείται στον SPI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της έλλειψης βροχής για τη συγκεκριμένη περίοδο.
- e) Ο SPI έχει κανονική κατανομή και έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση τόσο υγρών όσο και ξηρών περιόδων και συνεπώς, είναι δυνατή η παρακολούθηση και υγρών επεισοδίων.
- f) Ο SPI μπορεί να υπολογιστεί και για άλλες υδάτινες παραμέτρους, όπως χιόνι, απορροή, εδαφική υγρασία, υπόγειο νερό, ταμιευτήρες.
- g) Ο SPI κατανοείται και ερμηνεύεται εύκολα (σε σχέση άλλους δείκτες) αφού η τιμή του βασίζεται μόνο σε δεδομένα βροχόπτωσης και αναφέρεται σε πόσες τυπικές αποκλίσεις μακριά είναι η παρατήρηση σε σχέση με τη μέση τιμή.

Αντίθετα, στα μειονεκτήματα του δείκτη SPI ανήκουν:

- a) Η υπόθεση που πρέπει να γίνει εκ των προτέρων, ότι υπάρχει μια κατάλληλη θεωρητική κατανομή που προσαρμόζεται καλά στη χρονοσειρά δεδομένων.
- b) Ο SPI απαιτεί δεδομένα χρονοσειρών μεγάλης διάρκειας και μάλιστα χωρίς ελλείψεις. Ο υπολογισμός του επηρεάζεται άμεσα από το μήκος της χρησιμοποιούμενης χρονοσειράς (Wu et al. 2005; Cancelliere and Bonaccorso, 2009). Το ελάχιστο απαιτούμενο θεωρείται ότι είναι 30 χρόνια, ενώ για την εγκυρότητα ακραίων τιμών SPI απαιτούνται χρονοσειρές τουλάχιστον 80 ετών.
- c) Ο δείκτης SPI δεν είναι ικανός να διακρίνει, ότι κάποιες περιοχές είναι περισσότερο επιρρεπείς στην ξηρασία από άλλες. Ίδια τιμή του δείκτη σε δύο διαφορετικές περιοχές δεν σημαίνει ίδια έλλειψη νερού στις θέσεις αυτές,
- d) Κατά την εφαρμογή του σε μικρές χρονικές κλίμακες (1, 2 ή 3 μηνών) σε περιοχές με μικρή εποχική βροχόπτωση μπορεί να εμφανιστούν αναπάντεχα μεγάλες θετικές ή αρνητικές τιμές του δείκτη λόγω της δύσκολης προσαρμογής των περιπτώσεων μηδενικής βροχόπτωσης.
- e) Απαιτεί ακριβή και αξιόπιστα δεδομένα βροχόπτωσης καθώς είναι η μοναδική παράμετρος του SPI και άρα είναι άμεσα εξαρτώμενος από την ποιότητα των δεδομένων, περισσότερο από άλλους δείκτες που εισάγουν και άλλες παραμέτρους.

3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 Ποταμός Sebou

Το Μαρόκο είναι μια αραβική χώρα της Βόρειας Αφρικής η οποία έχει έκταση 446.550 Km² και βρίσκεται στην Βορειοδυτική άκρη της Αφρικής και συνορεύει ανατολικά με την Αλγερία, νότια με την Μαυριτανία και βόρεια με την Ισπανία. Δυτικά βρέχεται από τον Ατλαντικό ωκεανό, ενώ στο βορρά από την Μεσόγειο. Ο ποταμός Sebou είναι ένας από τους μεγαλύτερους ποταμούς στο βόρειο Μαρόκο με μήκος 496 km και επιφανειακή απορροή 137 m³/s. Εκτείνεται περίπου 600 χιλιόμετρα από την πηγή του η οποία βρίσκεται στην οροσειρά του Μέσου Άτλαντα, η οποία είναι η μακρύτερη οροσειρά της Αφρικής, και καταλήγει στον Ατλαντικό Ωκεανό.

Η φυσιογραφία της λεκάνης απορροής επηρεάζεται έντονα από την κατανομή υψομέτρου μεταξύ βορρά και νότου. Η λεκάνη Sebou μπορεί να χωριστεί σε τρεις ξεχωριστές γεωμορφολογικές περιοχές: το άνω, το μέσο και το χαμηλότερο (κάτω) Sebou. Το άνω Sebou ανέρχεται πάνω από 2.800 μέτρα στην οροσειρά του Μέσου Άτλαντα και βασίζεται κυρίως σε ασβεστολιθικά βράχια. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι πάνω από 1.000 mm και σε υψηλά υψόμετρα χιονίζει τους χειμώνες. Η λεκάνη του μέσου Sebou βρίσκεται στα βουνά Rif και Prerif, τα οποία χαρακτηρίζονται από μέσο υψόμετρο 2.000 μέτρων, πολύ απότομες πλαγιές, ισχυρή κλίση βροχής στη λεκάνη κατά μέσο όρο 2.000 mm. Η λεκάνη Sebou είναι αντιπροσωπεύει τη σημαντικότερη γεωργική περιοχή της χώρας (19.200 km² αρδευόμενων εκτάσεων).

Οι σημαντικότεροι παραπόταμοί του είναι οι Ouergha, Beht και Inaouen. Ο ποταμός Beht υποστηρίζει την άρδευση στην πιο γόνιμη περιοχή του Μαρόκου, το Gharb. Οι Ouergha και Inaouene απορρέουν από τα βουνά Rif και Prerif. Στην κατώτερη λεκάνη, το Sebou ανοίγει σε μια μεγάλη κοιλάδα και διέρχεται μέσα από μια πλημμυρική περιοχή. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι περίπου 600 mm στα δυτικά και 450 mm στα νοτιοανατολικά.

Η λεκάνη απορροής περιλαμβάνει αρκετές μεγάλες και μικρές δεξαμενές που κατασκευάστηκαν σε περίοδο 70 ετών. Για παράδειγμα η δεξαμενή El Kansera κατασκευάστηκε στον ποταμό Beht το 1935. Χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τη κατακράτηση των πλημμυρών, αλλά τώρα αποθηκεύει και νερό. Μέχρι το 1973, υπήρχαν τουλάχιστον 15 φράγματα. Αυτές οι δεξαμενές αποτελούν πλέον σημαντική πηγή άρδευσης

και πόσιμο νερό και ρυθμίζουν έντονα τη ροή στις άνω, μεσαίες και κάτω λεκάνες απορροής.



Εικ.1: Δορυφορική εικόνα απεικόνισης του ποταμού Beht και του φράγματος El Kansera.

Το φράγμα El Wahda, που κατασκευάστηκε στον ποταμό Ouergha μεταξύ 1991 και 1996, είναι το δεύτερο σημαντικότερο φράγμα στην Αφρική μετά το φράγμα High Aswan. Έχει χωρητικότητα αποθήκευσης $3.8 * 10^3 \text{ km}^3$ και ύψος 88 m. Αυτή η δεξαμενή θα παρέχει μακροπρόθεσμη αποθήκευση ενώ ποτίζει 100.000 εκτάρια (10.000 m^2), δημιουργεί δυναμικότητα υδροηλεκτρικής ισχύος $400 \text{ GW h έτος}^{-1}$, μεταφέρει χωρητικότητα νερού $600 * 10^6 \text{ m}^3$ προς τις νότιες περιοχές και προστατεύει την πεδιάδα Rharb από μεγάλες πλημμύρες.



Εικ.2: Δορυφορική εικόνα απεικόνισης του ποταμού Ouergha και του φράγματος El Wahda.

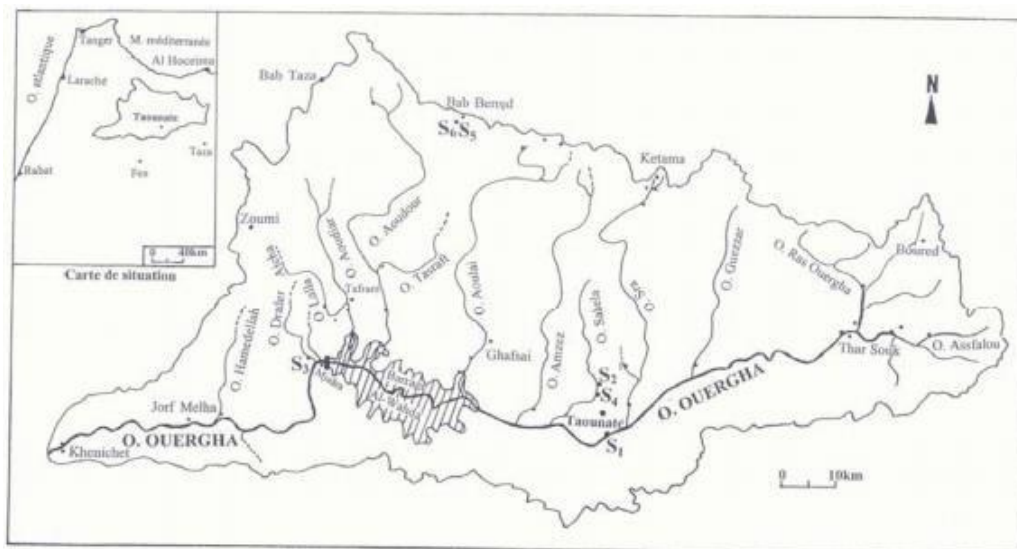
Πίνακας 3: Καταγραφή βασικών φραγμάτων του ποταμού Sebou και χαρακτηριστικών τους, όπου T: μεταφορά νερού (Transfer of water), HE: υδροηλεκτρική ενέργεια (hydroelectricity), I: άρδευση (irrigation), R: ρύθμιση λειτουργίας (regulation), P πόσιμο νερό (potable water).

Παραπόταμος	Φράγμα	Έτος ολοκλήρωσης	Επιφάνεια (km ²)	Χωρητικότητα λεκάνης απορροής (km ³)	Χρήση
Inaouene	Allal El Fassi	1990	5.400	81,5	T
Ouergha	Al Wahda	1996	6.190	3.800	HE-I-R
Beht	El Kansera	1935	4.542	266	HE-I-P

Γενικά τα φράγματα ρυθμίζουν τη ροή νερού των ποταμών. Η τάση αυτή θα μπορούσε να οφείλεται στην υπερβολική χρήση νερού για άρδευση κατά τη διάρκεια της ξηρασίας, στην αύξηση της εξάτμισης που προκαλείται από την υψηλότερη επιφάνεια των επιφανειακών υδάτων και στη μεταφορά νερού σε άλλες περιοχές. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα φράγματα, μπορούμε να εκτιμήσουμε ότι η εκφόρτωση νερού του ποταμού Sebou και των παραπόταμών του μειώθηκε περίπου κατά 70%.

Τα φράγματα έχουν προφανώς πολλά κοινωνικοοικονομικά οφέλη για το Μαρόκο, δεδομένου ότι οι βροχοπτώσεις είναι σπάνιες και διανεμημένες σε σχετικά λίγες ημέρες ανά έτος. Ωστόσο, λόγω του υψηλού ποσοστού φυσικής και ανθρωπογενούς διάβρωσης του εδάφους, και δεδομένης της μειωμένης ικανότητας σχεδιασμού και της μικρής

διάρκειας ζωής τους, δημιουργήθηκαν αμφιβολίες ως προς τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των φραγμάτων αυτών. Μια βασική συνέπεια των δραστηριοτήτων φράγματος είναι η απότομη μείωση της ροής των υδάτων και των ιζημάτων των ποταμών στις ακτές. Εκτιμάται ότι η απόρριψη των υδάτων στον ποταμό Sebou έχει μειωθεί κατά 70% και οι ροές τους κατά 95%.



Εικ.3.: Χάρτης απεικόνισης της τοποθεσίας των σταθμών του ποταμού Ouergha.

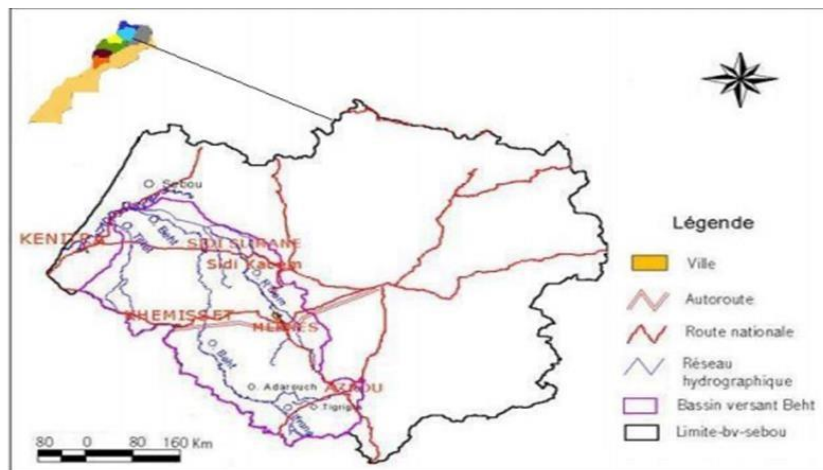
Η ετήσια διακύμανση των βροχοπτώσεων ποικίλλει σημαντικά από το ένα σταθμό στο άλλο. Η κατάσταση αυτή οφείλεται στη γεωγραφική θέση κάθε σταθμού στην λεκάνη απορροής. Η εποχική διακύμανση των βροχοπτώσεων δείχνει ότι ο χειμώνας είναι η βροχερή εποχή που ακολουθείται από την άνοιξη. Οι υδάτινοι πόροι, περισσότερο από κάθε άλλη μορφή πόρων, αποτελούν θεμελιώδες και απαραίτητο στοιχείο για τη διατήρηση και την ανάπτυξη όλων των ανθρώπινων, οικονομικών και κοινωνικών δραστηριοτήτων.

3.2 Περιγραφή των Παραποτάμων του Sebou

Στη παρούσα εργασία τα δεδομένα τα οποία επεξεργάστηκαν αφορούσαν 2 από τους βασικούς παραποτάμους του κύριου ποταμού Sebou, τους Beht και Ouergha. Το επίκεντρο αυτής της μελέτης θα είναι η ποσότητα των βροχοπτώσεων που αναφέρθηκαν κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων ετών. Ωστόσο, η ποσότητα αυτή θα καθοριστεί με βάση τις μηνιαίες ενώ σε άλλη περίπτωση τις ημερήσιες βροχοπτώσεις. Στην πραγματικότητα οι βροχοπτώσεις είναι μεταξύ των παραμέτρων μεγάλης χρησιμότητας για τον ορισμό των διαφόρων κλιματικών παραμέτρων.

3.2.1 Ποταμός Beht

Ο ποταμός Beht είναι ένας παραπόταμος του ποταμού Sebou ο οποίος καταλαμβάνει το νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης απορροής Sebou και είναι πολύ μεγάλης σημασίας τόσο για την ανθρώπινη όσο και για την υδρόβια πανίδα. Ο ποταμός κατακρατείται από το φράγμα αρδεύσεως El Kansera, περίπου 20 χιλιόμετρα νότια του Sidi Slimane. Ωστόσο, τόσο η γεωργική όσο και η βιομηχανική ανάπτυξη σημαίνουν ότι οι επιφανειακοί πόροι της λεκάνης απορροής είναι σε μεγάλη ζήτηση. Αυτή η κατάσταση υπερβολικής ζήτησης για νερό αντιμετωπίζει πολύ ακανόνιστες βροχοπτώσεις, γεγονός που προκαλεί ποσοτική υποβάθμιση των υδάτινων πόρων του, θέτοντας υπό αμφισβήτηση τις τρέχουσες χρήσεις του, οι οποίες έτσι θέτουν σε κίνδυνο τις μελλοντικές δυνατότητες.



Εικ.4: Χάρτης απεικόνισης της λεκάνης του ποταμού Beht

Ο ποταμός Beht επιλέχθηκε δικαιολογημένα, λόγω της υψίστης σημασίας του σε διάφορους τομείς:

- a. Σε ανθρώπινο τομέα: παρουσία στις όχθες πολλών αστικών κέντρων (Khemisset, Sidi Slimane, Sidi ali Tazi, Dar Gaddari)
- b. Σε βιομηχανικό: αυτή είναι η θέση των μεγάλων εγκαταστάσεων βιομηχανίας ζάχαρης (SURAC και SUNAB).
- c. Σε γεωργικό: η περιοχή Gharb είναι μια από τις μεγαλύτερες γεωργικές περιοχές του Μαρόκου.

Ο ποταμός Beht είναι ένας από τα κύρια ρέματα και έχει τις πηγές του στη δυτική άκρη της οροσειράς του μέσου Άτλαντα στο Μαρόκου. Βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα του ποταμού Sebou. Οριοθετείται στα βόρεια από την πεδιάδα Gharb και το οροπέδιο Meknes,

στα νότια από τη λεκάνη του Oum Erbia, δυτικά από τη λεκάνη Bou Regreg και ανατολικά από τον μέσο Ατλαντα. Η περιοχή μιας λεκάνης απορροής καθώς και η περίμετρος παίζει πρωταρχικό ρόλο στις μελέτες υδρορροής. Ο ποταμός Beht εξαπλώνεται σε μια έκταση περίπου 9000 km² και μια περίμετρο 488 km. Στη λεκάνη απορροής Beht ορίζονται ως η χαμηλότερη ακτογραμμή στα 50 m και το μεγαλύτερο υψόμετρο στα 1892 m.

Το υδρογραφικό δίκτυο ορίζεται ως όλα τα φυσικά ή τεχνητά ποτάμια, μόνιμα ή προσωρινά, που συμμετέχουν στη ροή της λεκάνης απορροής. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι αναμφισβήτητα ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της λεκάνης. Μπορεί να πάρει πολλές μορφές. Η διαφοροποίηση του υδρογραφικού δικτύου μιας λεκάνης οφείλεται σε τέσσερις κύριους παράγοντες: τη γεωλογία, το κλίμα, την κλίση και την ανθρώπινη παρουσία. Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής του ποταμού Beht είναι μερικές φορές πολύπλοκο δενδριτικό ενώ άλλες παράλληλο, παρουσιάζοντας υψηλή πυκνότητα και σημαντική δυναμική.

Τα αποθέματα ύδατος, τόσο επιφανειακά όσο και υπόγεια, σε μια λεκάνη απορροής είναι το αποτέλεσμα ταυτόχρονων ή διαδοχικών διαδικασιών που ποικίλλουν σε χρόνο και χώρο. Η κατακρήμνιση (βροχόπτωση) είναι μία από τις σημαντικές επεξηγηματικές μεταβλητές της κατάστασης αυτών των αποθεμάτων. Αυτή η καθίζηση μπορεί να προσεγγιστεί από διαφορετικές οπτικές γωνίες:

- a) Ποσότητα της βροχόπτωσης που αναφέρθηκε σε δεδομένο χρονικό βήμα (ημερήσια, μηνιαία, ετήσια),
- b) Συχνότητα εμφάνισης συμβάντων (υπερχείλιση ή μη υπερχειλίση),
- c) Ένταση, δηλαδή ποια η ποσότητα νερού που έχει πέσει σε μια μονάδα χρόνου
- d) Φύση κατακρήμνισης (υγρή και στερεή)

Το επίκεντρο αυτής της εργασίας θα είναι η ποσότητα των βροχοπτώσεων που μετρήθηκαν και αναφέρθηκαν κατά τη διάρκεια πλήθους ετών. Ωστόσο, η ποσότητα αυτή θα καθοριστεί με βάση τις μηνιαίες βροχοπτώσεις. Οι βροχοπτώσεις παρουσιάζουν μεγάλη χρησιμότητα για τον ορισμό των διαφόρων κλιματικών παραμέτρων.

Σε μια λεκάνη απορροής γενικά, και ειδικότερα στη λεκάνη Beht, υπάρχει μια υψηλή χωρική και χρονική μεταβλητότητα των βροχοπτώσεων τόσο στο χρόνο όσο και στο διάστημα. Στο χρόνο, οι μεταβολές είναι καθημερινές, εποχιακές (η βροχή αυξάνεται

χειμώνας και μειώσεις το καλοκαίρι), ετήσια και διαχρονικά στο χρόνο: οι μεταβολές είναι καθημερινές, εποχιακές (η βροχή αυξάνεται χειμώνας και μειώσεις το καλοκαίρι), μηνιαίες και ετήσιες. Ετήσιες βροχοπτώσεις που καταγράφονται από τους διάφορους σταθμούς φέρουν έναν διαφορετικό συνήθως κάθε φορά μέσο όρο. Αυτός ο μέσος όρος υπόκειται σε αλλαγές συναρτήσει της περιόδου αναφοράς στην οποία υπολογίζεται. Για τον ίδιο σταθμό, αυτός ο μέσος το πιο πιθανό είναι να είναι διαφορετικός για δυο διαφορετικά χρονικά διαστήματα.

Στο χώρο η επίδραση του υψομέτρου γίνεται επίσης αισθητή σε σχέση με τον αριθμό των βροχερών ημερών το χρόνο (για παράδειγμα, 100 ημέρες στα βουνά έναντι 60-70 ημερών στην πεδιάδα). Οι βροχοπτώσεις μειώνονται επίσης από βορρά προς νότο (βροχές 93 ημέρες στο βόρειο Μαρόκο έναντι 34 ημερών στο νότο). Τέλος, η κλίση της βροχόπτωσης επηρεάζεται από την απόσταση από τη θάλασσα (η βροχόπτωση μειώνεται προς το εσωτερικό της λεκάνης). Επίσης, επηρεάζεται από την έκθεση των πλαγιών σε σχέση με τις θαλάσσιες ή ωκεάνιες εισόδους. Συνοπτικά, μπορούμε να πούμε ότι οι επεξηγηματικές μεταβλητές για τις βροχοπτώσεις στην λεκάνη απορροής είναι: υψόμετρο, η κλίση και απόσταση από τη θάλασσα.

Η θερμοκρασία είναι ένας απαραίτητος δείκτης για τον χαρακτηρισμό του κλίματος, καθώς και για τον υπολογισμό των διαφόρων παραμέτρων που σχετίζονται με το υδατικό ισοζύγιο. Λόγω της μη διαθεσιμότητας δεδομένων θερμοκρασίας, αυτή η ενότητα βασίστηκε σε προηγούμενες εργασίες. Προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει ότι η μέση ετήσια μέγιστη θερμοκρασία στη λεκάνη Beht είναι περίπου 23°C, ενώ η ελάχιστη θερμοκρασία είναι περίπου 11 °C. Κατά τη διάρκεια του έτους, οι πιο ζεστούς μήνες είναι τον Ιούλιο και τον Αύγουστο με μέγιστη μέση μηνιαία θερμοκρασία 32°C, ενώ η ελάχιστη θερμοκρασία είναι 5°C κατά τη διάρκεια του Ιανουαρίου. Γενικά, οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες τον Ιούλιο έως τον Αύγουστο και οι μικρότερες τον Ιανουάριο με ετήσιους μέσους όρους που κυμαίνονται από 10 έως 20 °C. Το πλάτος της μεταβολής της θερμοκρασίας είναι σημαντικό ενώ μπορεί να διαφέρει μεταξύ 40 και 50°C.

Λόγω της γεωγραφικής της θέσης μεταξύ δύο ορεινών περιοχών στο βόρειο Μαρόκο, η λεκάνη απορροής του Beht υποβάλλεται σε μεσογειακό κλίμα με ζεστά, ξηρά καλοκαίρια και κρύους, υγρούς χειμώνες. Αυτή η κατάσταση σημαίνει ότι η εποχή των βροχών αποτελείται από δύο εποχές, μια υγρή περίοδο από τον Οκτώβριο μέχρι τον Μάιο και μια ξηρή περίοδο από τον Ιούνιο έως τον Σεπτέμβριο. Στην κλίμακα του Μαρόκου και γενικά,

ο αριθμός των ημερών βροχόπτωσης ποικίλλει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, καθώς μειώνεται από βορρά προς νότο (93 ημέρες στην περιοχή Angkor, 34 στην περιοχή Sous).

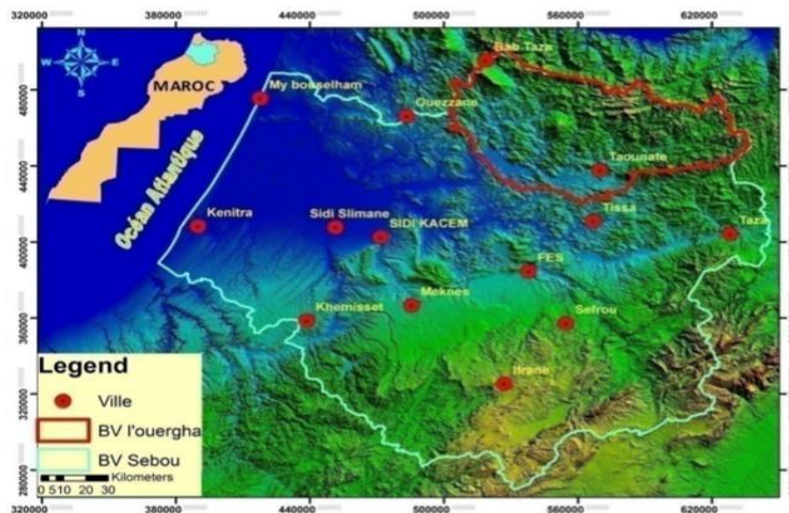
Επίσης ποικίλλει ανάλογα με το υψόμετρο από 70-80 ημέρες στις πεδιάδες του Ατλαντικού και τα οροπέδια, σε περισσότερες από 100 ημέρες στις ψηλές περιοχές του βόρειου Μαρόκου. Ο μέσος αριθμός βροχερών ημερών στον ποταμό Beht είναι 59 ημέρες. Τέλος, η λεκάνη του Beht χαρακτηρίζεται από υψηλή διακύμανση μεταβλητότητας.

Τρεις μετεωρολογικοί σταθμοί που καλύπτουν την περιοχή μελέτης επιλέχθηκαν για να χαρακτηρίσουν το κλίμα της περιοχής μελέτης. Η επιλογή αυτών των σταθμών έγινε δεδομένου του ότι είναι οι κύριοι σταθμοί που έχουν μια μακρά και σχετικά πλήρη σειρά παρατηρήσεων. Για τους τρεις σταθμούς, το καθεστώς βροχοπτώσεων είναι τύπου Μεσογείου όπου η εξέλιξη της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης μεταξύ σταθμών είναι συγκρίσιμη. Η υγρή περίοδος διαρκεί από τον Οκτώβριο έως τον Μάιο, ενώ η ξηρή περίοδος εκτείνεται από τον Ιούνιο έως τον Σεπτέμβριο και θα επικεντρώσουμε τη μελέτη μας σε τρεις διακεκριμένους σταθμούς: Sidi Mokhfi, Ouljet Soltane και El Kansera. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι ο σταθμός El Kansera είναι ο μεγαλύτερος σταθμός στη λεκάνη απορροής του ποταμού Beht, σε σύγκριση με άλλους σταθμούς.

3.2.2 Ποταμός Ouergha

Ο παραπόταμος Uarga ή Ouergha είναι ποτάμι του Μαρόκου, ένας παραπόταμος του ποταμού Sebou που σηματοδοτεί τα νότια σύνορα των βουνών Rif. Περνάει μέσα από τις μικρές πόλεις της El Jorf Melha και Zouayed Douar. Η λεκάνη αυτή έχει περιφέρεια 462 km και συνολική έκταση 6190 km² ή 21,2% της επιφάνειας της λεκάνης απορροής του Sebou καταλαμβάνοντας σημαντικό τμήμα της αψίδας του βουνού Rif. Αυτή η γεωγραφική κατάσταση προκαλεί δροσερό κλίμα και αύξηση της υγρασίας μέσω των αέριων μαζών, με αποτέλεσμα να είναι η πιο υγρή περιοχή στο Μαρόκο, ιδιαίτερα στο υψηλότερο σημείο της Jbel Outka.

Η λεκάνη λαμβάνει μέση ετήσια βροχόπτωση 741 mm, όγκο νερού $4956,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ / έτος και μέση ετήσια θερμοκρασία 18,7 ° C. Το υδρολογικό καθεστώς μπορεί να θεωρηθεί ως καθεστώς βροχοπτώσεων, το οποίο χαρακτηρίζεται από την αφθονία βροχοπτώσεων με πολύ υψηλές ροές τον χειμώνα και συνεπώς από μεγάλες πλημμύρες. Συνδυασμός θερμοκρασίας και κατακρημνίσεων με διάφορες μεθόδους έδειξε ότι η λεκάνη απορροής Ouergha γενικά βρίσκεται σε μεσογειακό κλίμα.

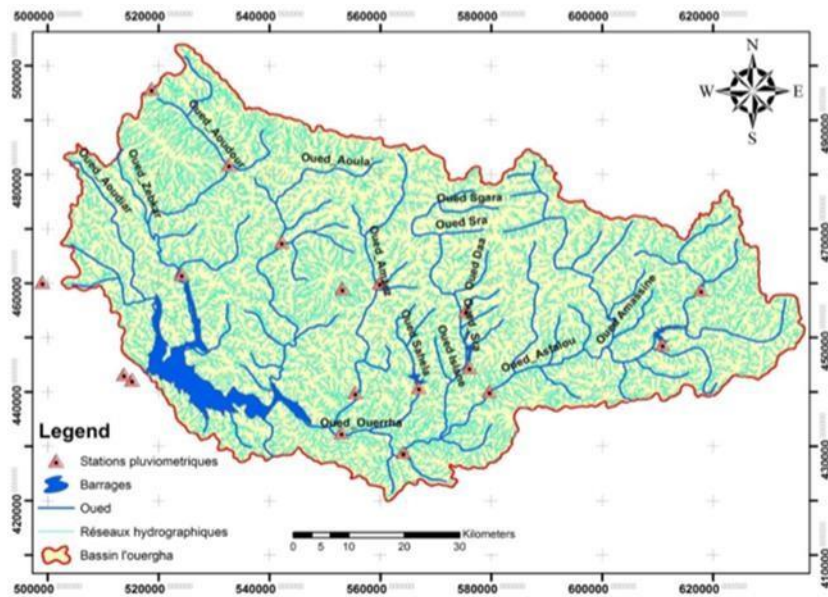


Εικ.5: Χάρτης απεικόνισης της λεκάνης απορροής του ποταμού Ouergha

Ο ποταμός Ouergha έχει μέγιστη ανύψωση παρατηρείται στα 2447 m ενώ ελάχιστο υψόμετρο στα 85 m. Οριοθετείται βορειότερα από την κορυφή του βουνού Rif και διέρχεται επίσης από τις μικρές πόλεις Ketama, Bab Bourred, και Bab Taza, και σε απόσταση 30 χιλιομέτρων από τη Μεσόγειο.

Το φράγμα Al-Wahda βρίσκεται στη λεκάνη του Ouergha με χωρητικότητα συγκράτησης άνω των 3.700 εκατομμυρίων m³, με όγκο 3.8 km³ και έκταση 123 km² και μπορεί να αρδεύσει 110.000 εκτάρια (110 000 * 10000 = m²) στον ίδιο κάμπο. Είναι το μεγαλύτερο φράγμα στο Μαρόκο που μπορεί να προστατεύσει την πεδιάδα Gharb από τις πλημμύρες και παράγει 240 MW υδροηλεκτρικής ενέργειας. Οι πλημμύρες στη λεκάνη, οι οποίες συμβαίνουν μεταξύ Οκτωβρίου και Απριλίου, είναι συχνά εξαιρετικά βίαιες.

Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής Ouergha ρέει από τα ΒΑ στα ΝΔ. Ο ποταμός Ouergha είναι ο δεύτερος κύριος παραπόταμος του ποταμού Sebou μετά τον παραπόταμο Beht. Ο ποταμός Ouergha σχηματίζεται στην αριστερή όχθη από την ένωση του ρέματος Assfalou που προέρχεται από την Ανατολή και του Sra Ouergha που προέρχεται από το Βορρά. Περνάει στον υδρομετρικό σταθμό του Bab Ouender, κάτω από τον οποίο ο ποταμός Ouergha δέχεται μεγάλους παραποτάμους στη δεξιά του όχθη από τα κατάντη προς τα ανάντη. Η τοπογραφική λεκάνη έχει περιφέρεια 462 χιλιομέτρων, έκταση 6190 χιλιομέτρων και κύριο ρεύμα μήκους 255 χιλιομέτρων.



Εικ.6: Χάρτης απεικόνισης του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης απορροής του ποταμού Ouergha.

Το κλίμα της λεκάνης είναι μεσογειακού τύπου που κυμαίνεται από το υγρό έως το μέτρια υγρό. Σε αυτές τις βιοκλιματικές ζώνες συνδέονται διαφορετικά στάδια βλάστησης που σχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με το υψόμετρο. Στην περιοχή μελέτης, το κλίμα σχετίζεται άμεσα με την απομάκρυνση των ακτών της Μεσογείου και του Ατλαντικού και, ως εκ τούτου, με το γενικό κλίμα της χώρας, το οποίο επηρεάζεται από το ζεστό και ξηρό κλίμα της Σαχάρας (Benaabidate al., 2006). Ο ρόλος του κλίματος είναι καθοριστικός στον υδρολογικό κύκλο. Το υδρογεωλογικό δυναμικό και η χωρική και χρονική μεταβλητότητα των κλιματικών παραμέτρων (**βροχόπτωση**, θερμοκρασία, υγρασία και εξάτμιση) διέπονται από το κλίμα.



Εικ.7: Χάρτης απεικόνισης της περιοχής μελέτης και των φραγμάτων El Wahda και El Kansera.

Οι σταθμοί που καλύπτουν την περιοχή μελέτης επιλέχθηκαν για να χαρακτηρίσουν το κλίμα της. Η επιλογή αυτών των σταθμών έγινε εξ' αιτίας του ότι είναι οι κύριοι σταθμοί που έχουν μια μακρά και πλήρη σειρά παρατηρήσεων. Επιπλέον η εξέλιξη της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης μεταξύ τους είναι συγκρίσιμη.

4. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο υδρολογικός χαρακτηρισμός για κάθε έναν από τους δυο κύριους παραπόταμους συλλέχθηκε πλήθος υδρολογικών παρατηρήσεων που αφορούν βροχομετρικά δεδομένα και δεδομένα παροχής νερού. Ο κάθε παραπόταμος περιέχει μικρότερους σταθμούς κατά μήκους τους, οι οποίοι λαμβάνουν μηνιαία και ετήσια δεδομένα τα οποία επεξεργάστηκαν αντίστοιχα.

Στην παρούσα εργασία έγινε επεξεργασία των δεδομένων βροχόπτωσης προκειμένου να χαρακτηριστούν τα υδρολογικά έτη. Επιπλέον, δεδομένου του ότι οι υδρολογικές παρατηρήσεις αυτών των σταθμών δεν αντιστοιχούν στα ίδια υδρολογικά έτη κάθε φορά, η μελέτη αυτή διεξήχθη σε κάθε σταθμό χωριστά.

Πίνακας 4: Πίνακας που παρουσιάζει δεδομένα βροχόπτωσης (Rain Data) και παροχής (Flow Data) του ποταμού Beht.

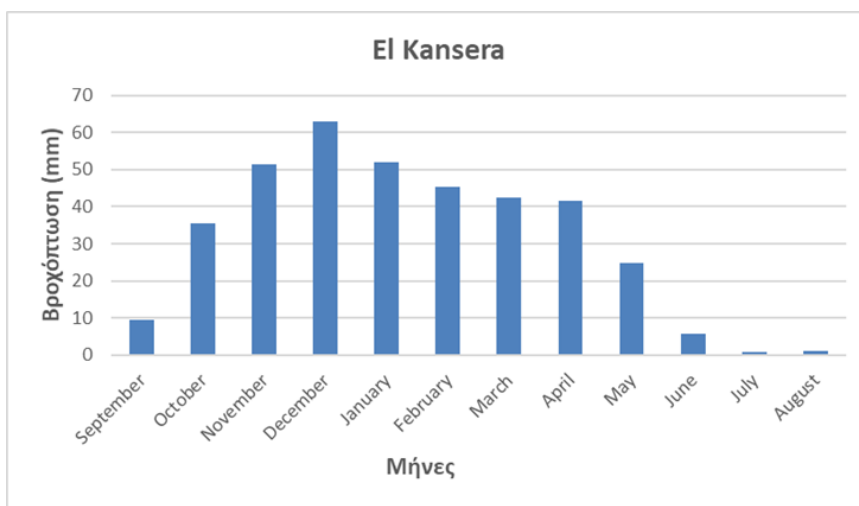
Beht Data			
RAIN DATA			
	Station Name	Interval (Months)	Remarks
1	El Kansera	1935-2009	Not Complete
2	Ouljet Soltane	1982-2009	Complete
3	Sidi Mokhfi	1976-2009	Not Complete
		Interval (Daily)	
1	El Kansera	01/01/1934- 30/11/2014	Complete
3	Oueljet Soltane	01/10/1981- 30/11/2014	Complete
2	Sidi Mokhefi	22/06/1976- 30/04/2015	Complete
FLOW DATA			
	Station Name	Interval (Months)	Remarks
1	El Kansera	1936-1975	Complete
2	Ouljet Soltane	1976-1988	Not Complete
3	Sidi Mokhfi	1976-1989	Not Complete
		Interval (Daily)	
1	Ouljate Soltane	01/09/1991- 31/08/2012	Complete
2	Sidi Mokhfi	18/05/1976- 30/06/1988	Complete

Πίνακας 5: Πίνακας που παρουσιάζει δεδομένα βροχόπτωσης (Rain Data) και παροχής (Flow Data) του ποταμού Ouergha.

Querga Data			
RAIN DATA			
	Station Name	Interval (Months)	Remarks
1	Ain Aicha	1982-2008	Not Complete
2	Asfalou	1998-2009	Not Complete
3	Galez	1980-2008	Not Complete
4	Jebel Outka	1978-2008	Not Complete
5	Ourtzagh	1956-1996	Complete
6	Mjaara	1959-2008	Not Complete
7	Rhafsai	1956-2001	Complete
8	Tabouda	1979-2008	Not Complete
9	Tafrant	1956-1996	Not Complete
		Interval (Daily)	
1	Ain Aicha	01/10/1981- 31/03/2015	Complete
2	Asfalou	01/01/1998- 31/07/2013	Complete
3	Galez	01/04/1980- 31/01/2015	Complete
4	Jebel Outka	01/07/1978- 31/01/2015	Complete
5	Mjaara	01/02/1959- 30/11/2013	Complete
6	Tabouda	01/12/1978- 30/11/2014	Complete
7	Bab Ouender	01/01/1957- 31/03/2015	Complete
8	Hajiria	01/01/1997- 31/01/2015	Complete
9	Alwahda	01/09/1998- 31/05/2002	Complete
10	Boured	01/09/1998- 28/02/2015	Complete
FLOW DATA			
	Station Name	Interval (Months)	Remarks
1	Ain Aicha	1981-2007	Not Complete
2	Galez	1984-2007	Not Complete
3	Mjaara	1984-2007	Not Complete
4	Tabouda	1952-2007	Not Complete
5	Bab Ouender	1952-2007	Not Complete
6	Hajria	1957-2007	Not Complete
7	Boured	1977-1999	Not Complete
		Interval (Daily)	
1	Ain Aicha	28/03/1981- 31/08/2012	Complete
2	Galez	11/09/1983- 31/08/2012	Complete
3	Mjaara	01/09/1959- 29/04/1999	Complete
4	Tabouda	10/04/1978- 31/08/2012	Complete
5	Bab Ouender	01/01/1952- 31/08/2012	Complete

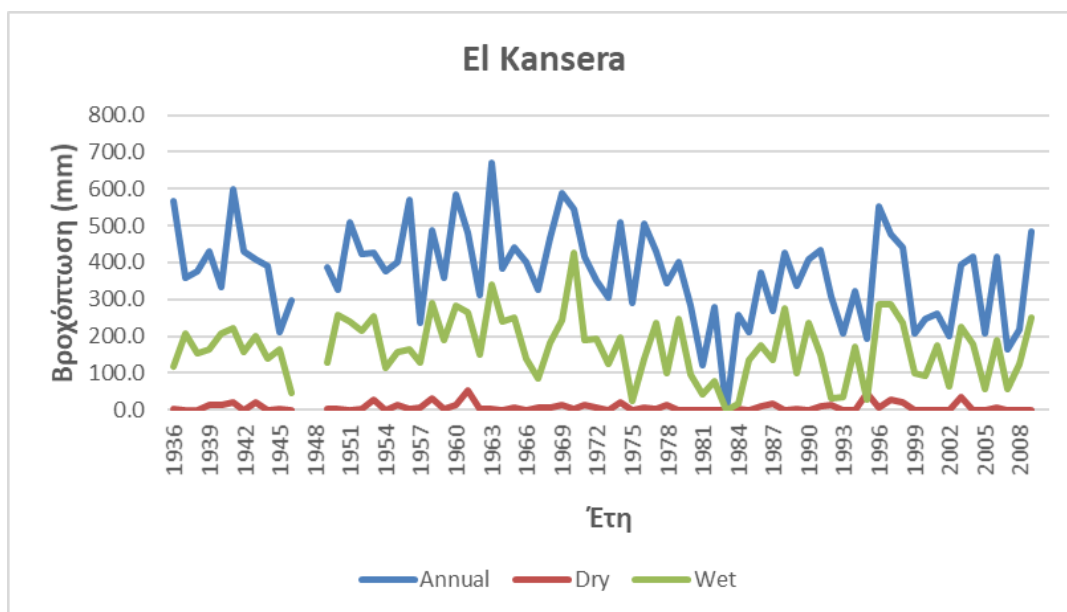
4.1 Ανάλυση Δεδομένων Ποταμού Beht

Αρχικά δημιουργήθηκαν γραφήματα για μια πρώτη εκτίμηση των μηνών του κάθε έτους που παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές βροχόπτωσης. Δεν παρουσιάστηκαν όλα τα γραφήματα μεταξύ των σταθμών καθώς παραλήφθηκαν εκείνα των σταθμών με ελλιπή δεδομένα και προτιμήθηκαν τα πλέον αντιπροσωπευτικά.



Εικ.8: Γράφημα απεικόνισης μέσω μηνιαίων βροχομετρικών δεδομένων για τα έτη 1936 – 2009.

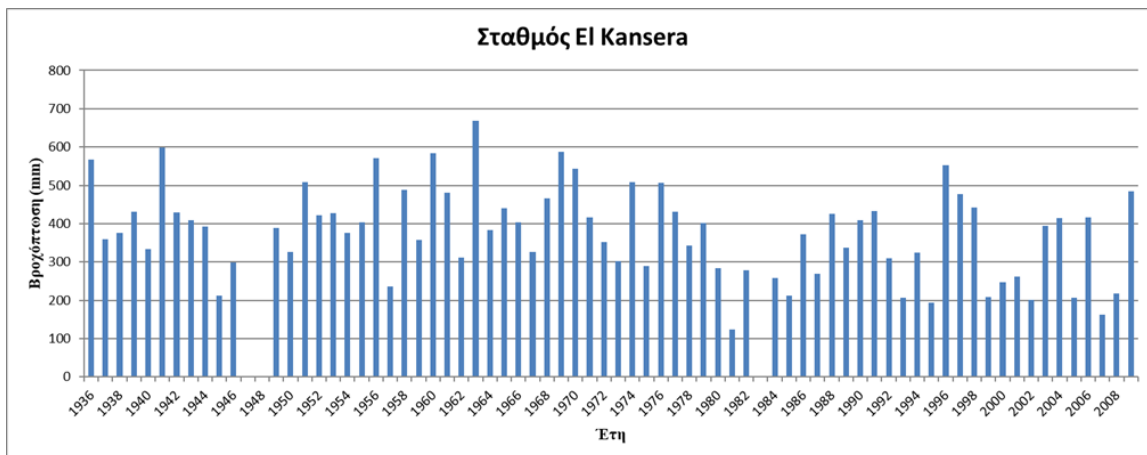
Από τα δεδομένα βροχοπτώσεων για τη περίοδο 1936 – 2009 στο σταθμό El Kansera, παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες βροχοπτώσεις λαμβάνουν χώρα κυρίως τους μήνες Ιανουάριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο. Αντίθετα οι μικρότερες βροχοπτώσεις παρατηρούνται τον μήνα Ιούλιο και Αύγουστο.



Εικ.9: Γράφημα αναπαράστασης ετήσιων – υγρών και ξηρών μηνών από δεδομένα βροχόπτωσης για κάθε έτος, του σταθμού El Kansera.

Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν γραφήματα διακύμανσης για την εκτίμηση του ποσού βροχόπτωσης σε κάθε σταθμό του παραπόταμου Beht ανά έτος. Με κόκκινη γραμμή για τους 3 πιο ξηρούς μήνες (Ιούνιος- Ιούλιος -Αύγουστος), με πράσινη για τους πιο υγρούς μήνες (Νοέμβριος – Δεκέμβριος – Ιανουάριος). Επίσης δεν παρουσιάστηκαν όλα

τα γραφήματα μεταξύ όλων των σταθμών καθώς παραλήφθηκαν εκείνα των σταθμών με ελλιπή δεδομένα και προτιμήθηκαν τα πλέον αντιπροσωπευτικά.

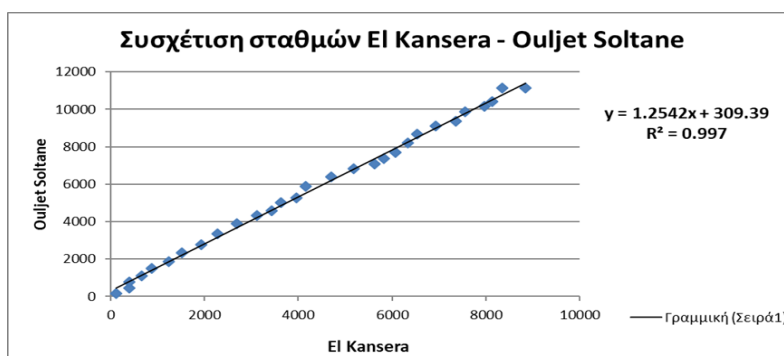


Εικ.10: Γράφημα απεικόνισης βροχόπτωσης ανά έτος στον σταθμό El Kansera.

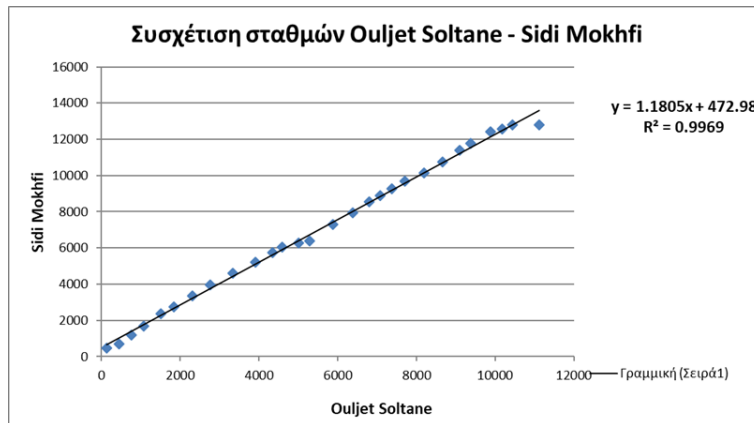
Από το γράφημα (Εικ.10) φαίνεται πως το πιο υγρό έτος είναι το 1963 με ποσότητα βροχόπτωσης 669,2 mm και το πιο ξηρό έτος το 1981 με ποσότητα βροχόπτωσης 122,9 mm κατά τη περίοδο 1936 – 2009, για το σταθμό El Kansera, παραποτάμου του Behl. Λόγω έλλειψης δεδομένων, τις χρονολογίες 1947-1948 και 1983 δεν είναι γνωστή η ποσότητα βροχόπτωσης για τους μήνες στα έτη αυτά.

Έπειτα δημιουργήθηκαν γραφήματα συσχέτισης μεταξύ δυο σταθμών κάθε φορά όσων αφορά την ετήσια βροχόπτωση.

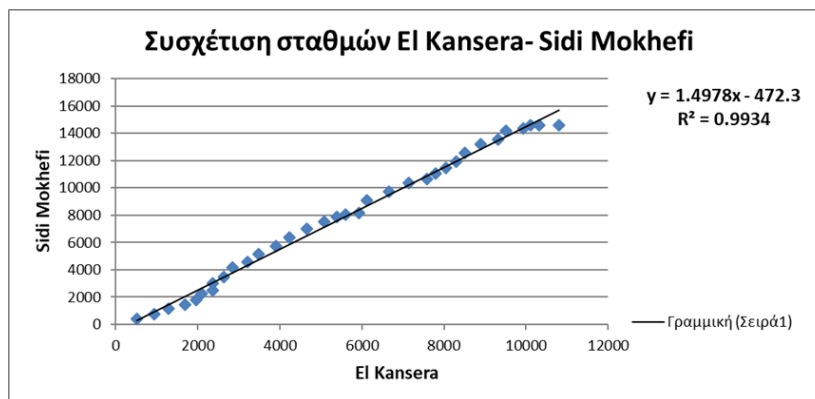
Όπως φαίνεται από τα παρακάτω διαγράμματα συσχέτισης των μετεωρολογικών σταθμών, τα περισσότερα ζευγάρια παρουσιάζουν υψηλή θετική συσχέτιση σύμφωνα με το R^2 .



Εικ.11: Γράφημα συσχέτισης των σταθμών El Kansera- Ouljet Soltane για τα κοινά έτη 1981-2009.

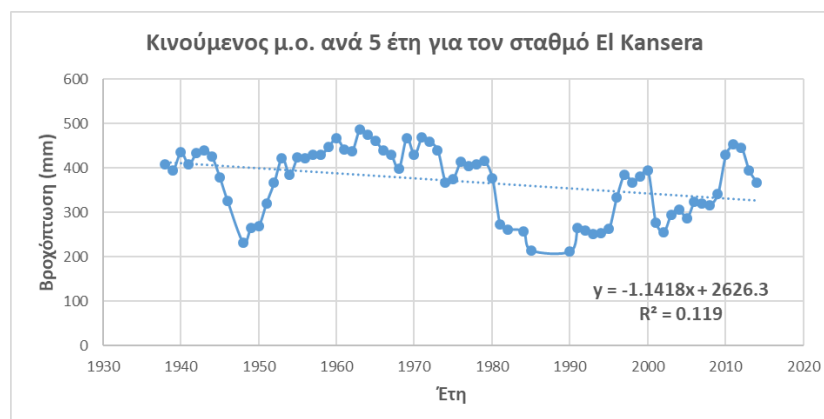


Εικ.12: Γράφημα συσχέτισης των σταθμών Ouljet Soltane- Sidi Mokhfi για τα κοινά έτη 1981-2008.



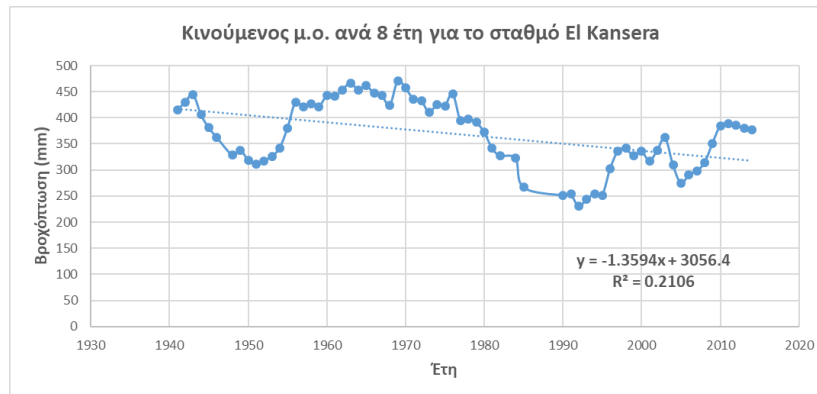
Εικ.13: Γράφημα συσχέτισης των σταθμών El Kansera- Sidi Mokhfi για τα κοινά έτη 1976-2009.

Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος ανά 5, 8 και 12 έτη, προκειμένου να εξαλειφθεί η εποχικότητα και να παρατηρηθεί με μεγαλύτερη ευκολία το πώς κυμαίνεται η βροχόπτωση με το πέρασμα των ετών. Για τον σταθμό El Kansera (το χρονικό διάστημα 1934 με 2014) για παράδειγμα, προκύπτουν τα εξής διαγράμματα:

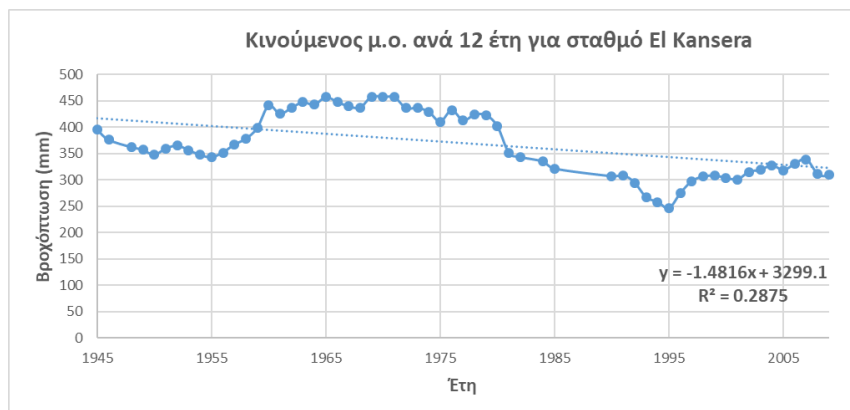


Εικ.13: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 5 έτη του σταθμού El Kansera.

Εδώ παρατηρείται μειωμένη βροχόπτωση στην αρχή και έπειτα μια σταθερότητα για ένα διάστημα περίπου 25 ετών (1950-1976). Έπειτα παρουσιάζονται αυξομειώσεις της βροχόπτωσης με πτωτική όμως τάση.



Εικ.14: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 8 έτη του σταθμού El Kansera.



Εικ.15: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 12 έτη του σταθμού El Kansera.

Εφαρμογή Δείκτης Ξηρασίας Standardized Precipitation Index (SPI)

Ο δείκτης SPI χαρακτηρίζεται από εύκολη χρήση, χρονική και χωρική ευελιξία και για αυτούς τους λόγους επιλέχθηκε η εφαρμογή του στα πλαίσια της παρούσας εργασίας για την ανάλυση της ξηρασίας στο υδατικό δίκτυο των δύο παραποτάμων του ποταμού Sebou.

Ο δείκτης SPI εφαρμόστηκε σε ημερήσια δεδομένα σταθμών του κάθε παραποτάμου, λόγω μεγαλύτερης επάρκειας δεδομένων και συνεπώς μεγαλύτερης αξιοπιστίας αποτελεσμάτων, στα οποία συμπληρώθηκαν οι μήνες οι οποίοι έλλειπαν με τη μέθοδο αντιστρόφων αποστάσεων μέσω κοινών χρονολογιών που υπήρχαν επαρκή δεδομένα των γειτονικών σταθμών.

Η μέθοδος αντιστρόφων αποστάσεων (IDW) εφαρμόστηκε για κάθε σταθμό ξεχωριστά προκειμένου να βρεθούν οι ελλείψεις οι οποίες υπήρχαν. Η μέθοδος αντιστρόφων αποστάσεων (IDW) είναι ένας τύπος προσδιοριστικής μεθόδου για πολυπαραγοντική παρεμβολή με ένα γνωστό διάσπαρτο σύνολο σημείων. Οι καθορισμένες τιμές σε άγνωστα σημεία υπολογίζονται με σταθμισμένο μέσο όρο των διαθέσιμων τιμών στα γνωστά σημεία.

Οι ελλείψεις οι οποίες προέκυψαν στο τέλος αφορούσαν έτη για τα οποία δεν υπήρξαν δεδομένα καθ' όλη τη διάρκειά τους και δεν ήταν δυνατόν να υπολογιστούν με τη μέθοδο αντιστρόφων αποστάσεων λόγω μη κοινών χρονολογιών. Οι ελλείψεις των ετών του κάθε σταθμού φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6: Ημερήσια δεδομένα των σταθμών του ποταμού *Beht*.

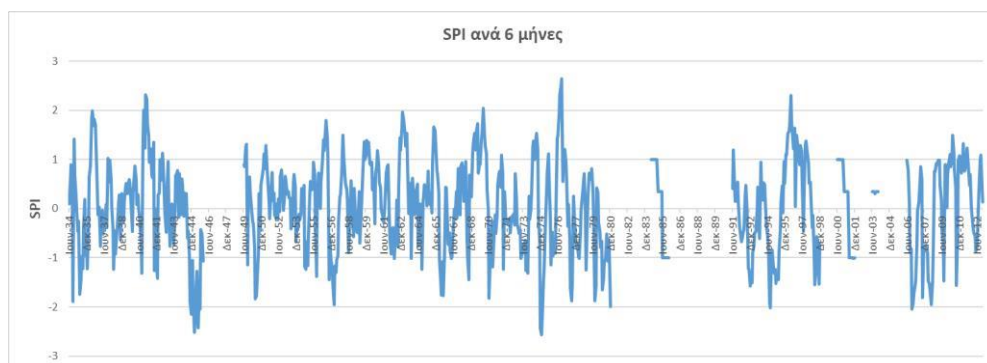
Beht Data				
RAIN DATA				
	Station Name	Interval (Daily)	Dates with data	Dates without data
1	El Kansera	01/12/1934- 30/11/2014	1934-1945, '49-'81, '84-'85, '91-'98, 2000-'01, '03, '06-'12	1946-'48, '82-'83, '86-'90, '99, '02, '04-05
2	Ouljet Soltane	22/06/1976- 30/04/2015	1987, '89, 96, '99-2000, 2010-12	1988, '90-'95, '97-'98, '01-'09
3	Sidi Mokhfi	01/10/1981- 30/11/2014	1990-'91, '96, 2000, '10-'12, '14	92-'95, '97-'99, '01-'09, '13

Όπως προαναφέρθηκε, υπήρχαν και έτη για τα οποία δεν υπήρξαν δεδομένα καθ' όλη τη διάρκειά τους και δεν ήταν δυνατόν να υπολογιστούν με τη μέθοδο αντιστρόφων αποστάσεων λόγω μη κοινών χρονολογιών. Το συνολικό ποσοστό που έλειπε σε μήνες για κάθε σταθμό του κάθε έτους προκειμένου να εφαρμοστεί ο SPI φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 7: Ποσοστά ελλিপών δεδομένων των σταθμών του ποταμού *Beht*.

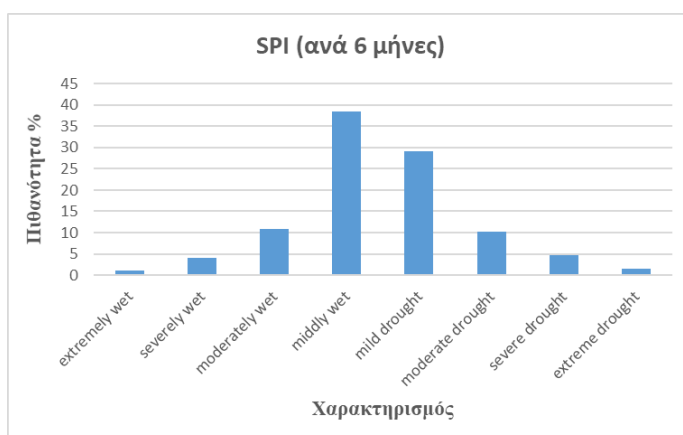
Beht		
	Station Name	(%) Months with out data
1	El Kansera	20.3
2	Ouljet Soltane	76.9
3	Sidi Mokhfi	75.9

Πιο συγκεκριμένα οι διακυμάνσεις ξηρασίας στο σταθμό El Kansera φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα. Λόγω μεγάλου ποσοστού ελλিপών δεδομένων παρακάτω παριστάνεται το πλέον αντιπροσωπευτικό διάγραμμα του σταθμού El Kansera.



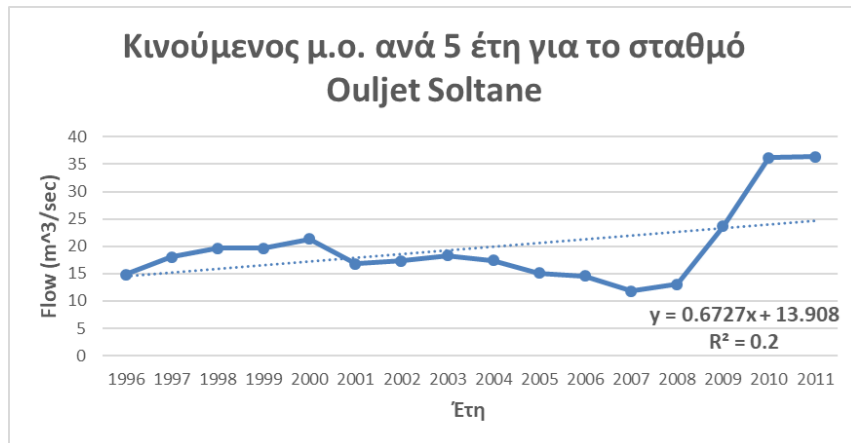
Εικ.16: Γράφημα απεικόνισης του δείκτη SPI με χρονικό βήμα 6 μηνών.

Με τα παραπάνω δεδομένα υπολογίστηκε η ξηρασίας με βάση τις τιμές SPI στους τρεις σταθμούς του παραποτάμου Beht με το χρονικό βήμα 6 μηνών, προκύπτοντας γραφήματα τα οποία μας παρέχουν πληροφορίες για το πόσο ξηρή ή υγρή θεωρείται η κάθε περιοχή στη διάρκεια των ετών. Για τον σταθμό El Kansera για παράδειγμα, προκύπτει:

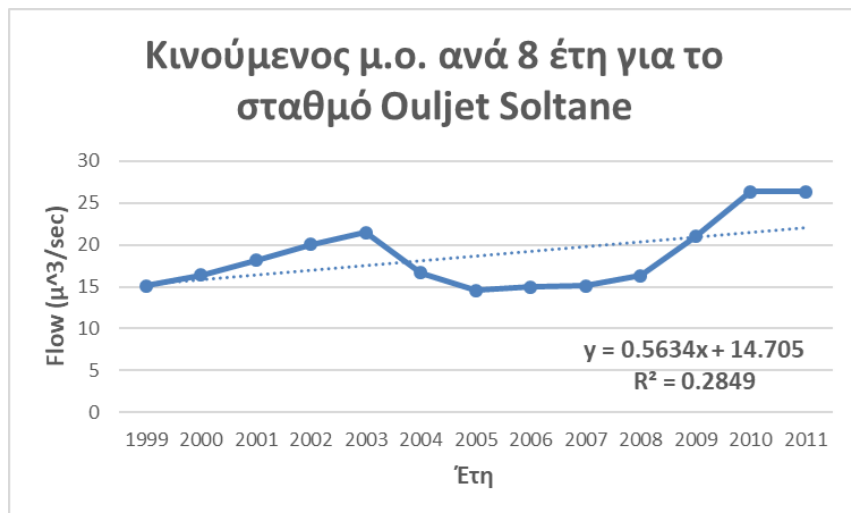


Εικ. 17: Γράφημα απεικόνισης ποσοστών ξηρασίας μέσω του δείκτη SPI.

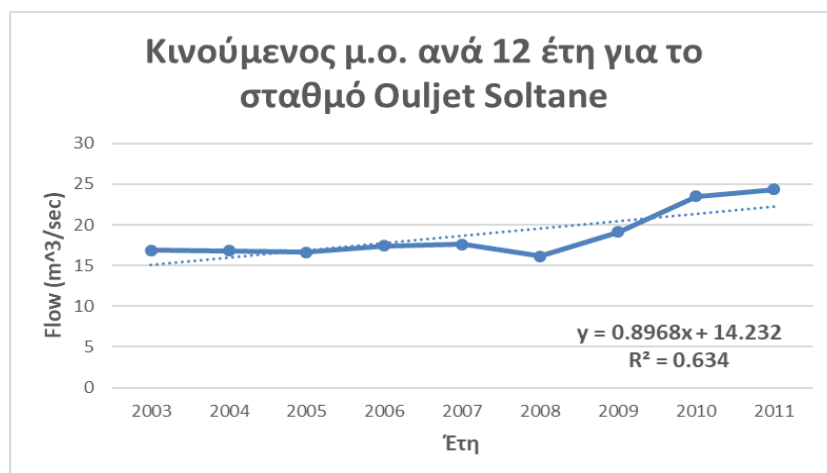
Στις παροχές υπολογίστηκε ο μέσος όρος ανά 5, 8 και 12 έτη, προκειμένου να εξαλειφθεί η εποχικότητα και να παρατηρηθεί με μεγαλύτερη ευκολία το πώς κυμαίνονται με το πέρασμα των ετών. Για τον σταθμό Ouljet Soltane (το χρονικό διάστημα 1996 με 2011) για παράδειγμα, προκύπτουν τα εξής διαγράμματα:



Εικ.18: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 5 έτη του σταθμού Ouljet Soltane.



Εικ.19: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 8 έτη του σταθμού Ouljet Soltane.



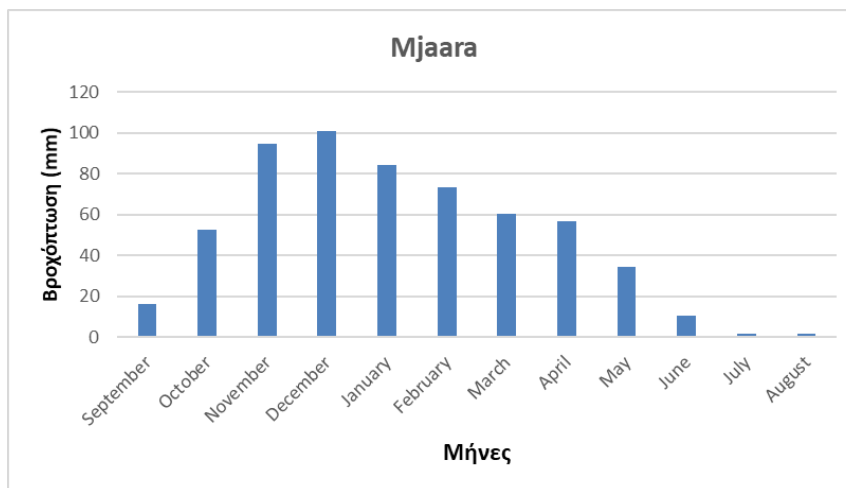
Εικ.20: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 5 έτη του σταθμού Ouljet Soltane.

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και στους υπόλοιπους σταθμούς του ποταμού Beht.

4.2 Ανάλυση Δεδομένων Ποταμού Ouergha

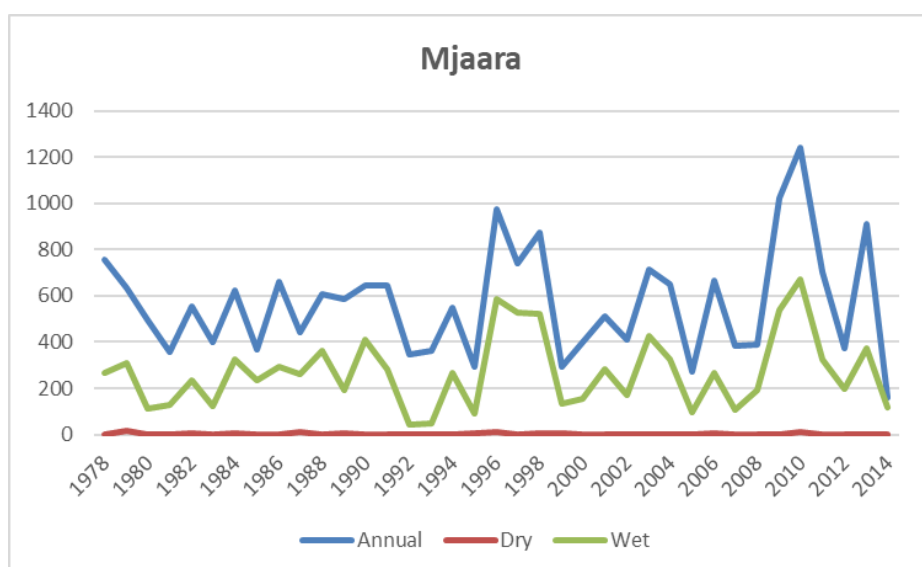
Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με παραπάνω, δηλαδή:

Αρχικά δημιουργήθηκαν γραφήματα για μια πρώτη εκτίμηση των μηνών του κάθε έτους που παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές βροχόπτωσης. Δεν παρουσιάστηκαν όλα τα γραφήματα μεταξύ των σταθμών καθώς παραλήφθηκαν εκείνα των σταθμών με ελλιπή δεδομένα και προτιμήθηκαν τα πλέον αντιπροσωπευτικά.



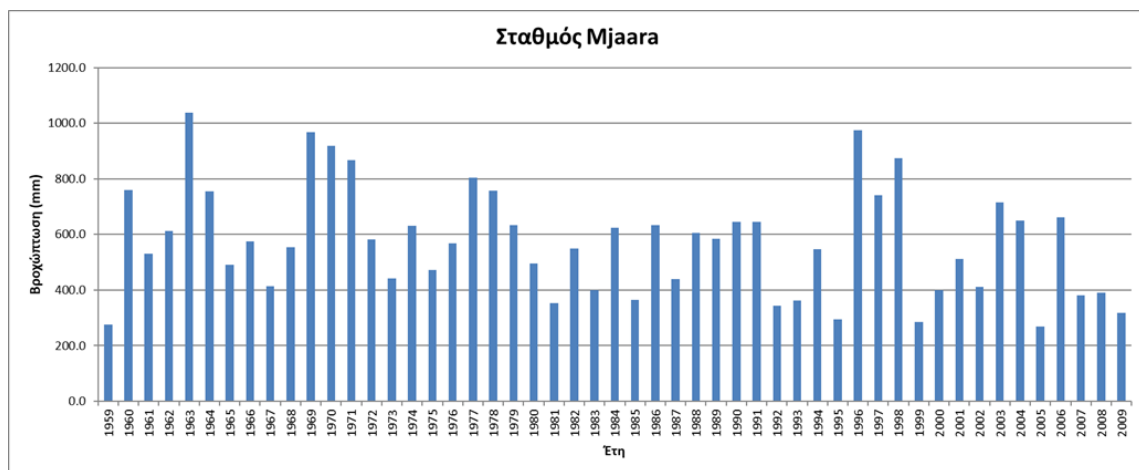
Εικ.21: Γράφημα απεικόνισης μέσω μηνιαίων βροχομετρικών δεδομένων για τα έτη 1978-2014.

Από τα δεδομένα βροχοπτώσεων για τη περίοδο 2078-2014 στο σταθμό Mjaara, παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες βροχοπτώσεις λαμβάνουν χώρα κυρίως τους μήνες Ιανουάριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο. Αντίθετα οι μικρότερες βροχοπτώσεις παρατηρούνται τον μήνα Ιούλιο και Αύγουστο.



Εικ.22: Γράφημα αναπαράστασης ετήσιων – υγρών και ξηρών μηνών από δεδομένα βροχόπτωσης για κάθε έτος του σταθμού Mjaara.

Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν γραφήματα για την εκτίμηση του ποσού βροχόπτωσης σε κάθε σταθμό στο παραπόταμο Ouergha ανά έτος, όπου επίσης δεν παρουσιάστηκαν όλα τα γραφήματα μεταξύ όλων των σταθμών καθώς παραλήφθηκαν εκείνα των σταθμών με ελλιπή δεδομένα και προτιμήθηκαν τα πλέον αντιπροσωπευτικά.

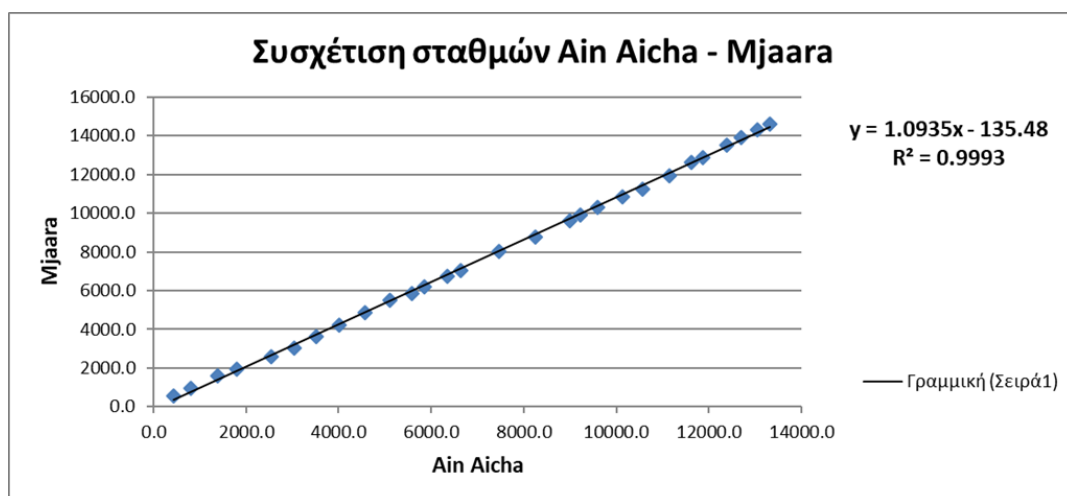


Εικ.23: Γράφημα απεικόνισης βροχόπτωσης ανά έτος στον σταθμό Mjaara.

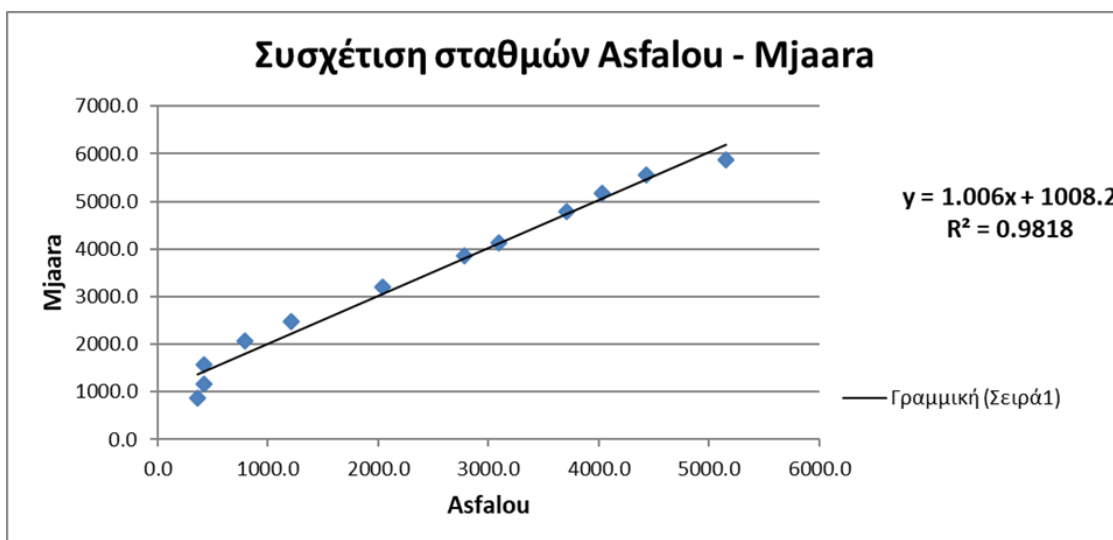
Από το γράφημα (Εικ.23) φαίνεται πως το πιο υγρό έτος είναι το 1963 με ποσότητα βροχόπτωσης 1038,1 mm και το πιο ξηρό έτος το 2005 με ποσότητα βροχόπτωσης 269,3 mm τη περίοδο 1959 – 2009, για το σταθμό Mjaara του παραποτάμου Ouergha.

Έπειτα δημιουργήθηκαν γραφήματα συσχέτισης μεταξύ δυο σταθμών κάθε φορά όσων αφορά την ετήσια βροχόπτωση.

Όπως φαίνεται από τα παρακάτω διαγράμματα συσχέτισης των μετεωρολογικών σταθμών, τα περισσότερα ζευγάρια παρουσιάζουν υψηλή θετική συσχέτιση σύμφωνα με το R^2 ακόμα και στην χειρότερη περίπτωση συσχέτισης.

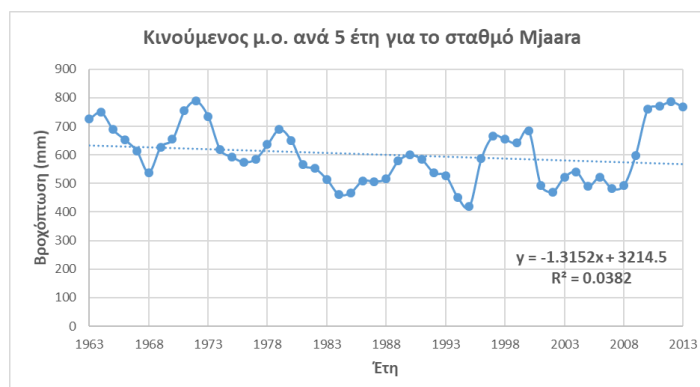


Εικ.24: Γράφημα συσχέτισης των σταθμών Ain Aicha- Mjaara για τα κοινά έτη 1982-2009.

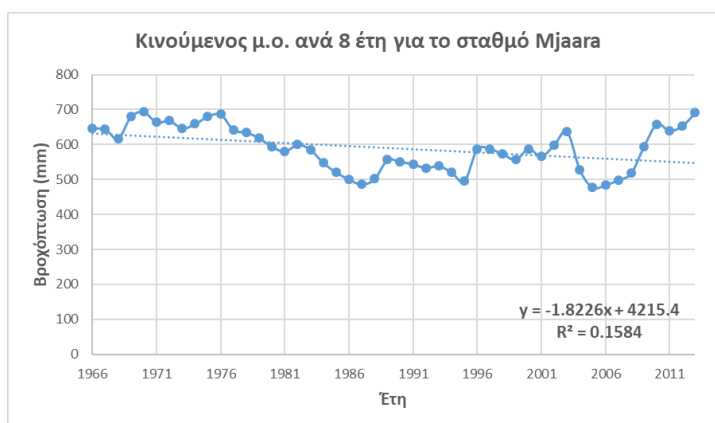


Εικ.25: Γράφημα συσχέτισης των σταθμών Ασφαλου- Μjaara για τα κοινά έτη 1982-2009.

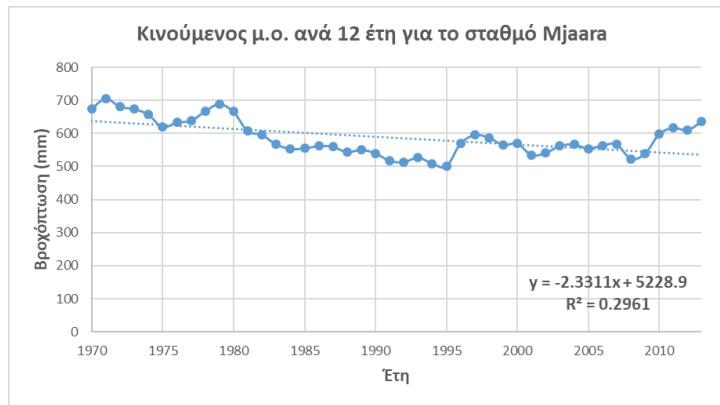
Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος ανά 5, 8 και 12 έτη, προκειμένου να εξαλειφθεί η εποχικότητα και να παρατηρηθεί με μεγαλύτερη ευκολία το πώς κυμαίνεται η βροχόπτωση με το πέρασμα των ετών. Για τον σταθμό Μjaara (το χρονικό διάστημα 1959 με 2013) για παράδειγμα, προκύπτουν τα εξής διαγράμματα:



Εικ.26: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 5 έτη του σταθμού Μjaara.



Εικ.27: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 8 έτη του σταθμού Μjaara.



Εικ.28: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 12 έτη του σταθμού Mjaara.

Εφαρμογή Δείκτης Ξηρασίας Standardized Precipitation Index (SPI)

Ο δείκτης SPI αποτελεί μια βελτίωση των προηγούμενων δεικτών ξηρασίας, αφού χαρακτηρίζεται από εύκολη χρήση και χρονική και χωρική ευελιξία και για του λόγους αυτούς επιλέχθηκε η εφαρμογή του στα πλαίσια της παρούσας εργασίας για την ανάλυση της ξηρασίας στο υδατικό δίκτυο των δύο παραποτάμων του ποταμού Σεβου. Ο δείκτης SPI εφαρμόστηκε σε ημερήσια δεδομένα σταθμών του κάθε παραποτάμου, λόγω μεγαλύτερης επάρκειας δεδομένων και συνεπώς μεγαλύτερης αξιοπιστίας αποτελεσμάτων, στα οποία συμπληρώθηκαν οι μήνες οι οποίοι έλλειπαν με τη μέθοδο αντιστρόφων αποστάσεων μέσω κοινών χρονολογιών που υπήρχαν επαρκή δεδομένα των γειτονικών σταθμών.

Η μέθοδος αντιστρόφων αποστάσεων εφαρμόστηκε για κάθε σταθμό ξεχωριστά προκειμένου να βρεθούν οι ελλείψεις οι οποίες υπήρχαν.

Οι ελλείψεις οι οποίες προέκυψαν στο τέλος αφορούσαν έτη για τα οποία δεν υπήρξαν δεδομένα καθ' όλη τη διάρκειά τους και δεν ήταν δυνατόν να υπολογιστούν με τη μέθοδο αντιστρόφων αποστάσεων λόγω μη κοινών χρονολογιών. Οι ελλείψεις των ετών του κάθε σταθμού φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 8: Ημερήσια δεδομένα των σταθμών του ποταμού Ouergha.

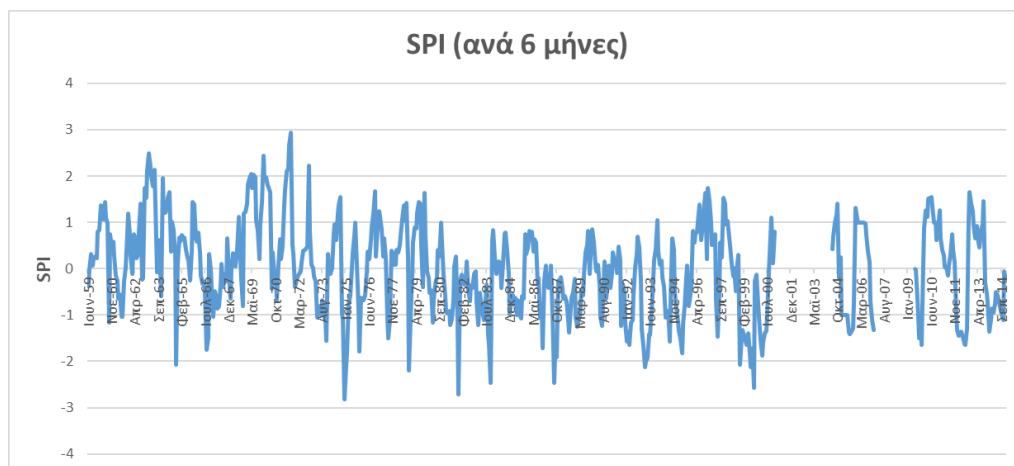
Ouergha Data				
RAIN DATA				
	Station Name	Interval (Daily)	Dates with data	Dates without data
1	Ain Aicha	01/10/1981- 31/03/2015	1982-2000, '04-'06, '09-'14	1981, 2001-'03, '07-'08, '15
2	Asfalou	01/01/1998- 31/07/2013	1998, 2002, '04-'06, '09-'13	1999-2001, '03, '07-'08
3	Galez	01/04/1980- 31/01/2015	1980-2000, '04-'06, '09-'14	2001-'03, '07-'08, '15
4	Jebel Outka	01/07/1978- 31/01/2015	1978-2000, '04-'06, '10-'14	2001-'03, '07-'09, '15
5	Mjaara	01/02/1959- 30/11/2013	1976, '78-2000, '04-'06, '09-'13	1959-'75, '77, 2001-'03, '07-'08
6	Tabouda	01/12/1978- 30/11/2014	1979-2000, '03-'06, '09-'14	1978, 2001-'02, '07-'08
7	Bab Ouender	01/01/1957- 31/03/2015	1959-2000, '04-'06, '09-'14	1957-'58, 2001-'03, '07-'08, '15
8	Hajjiria	01/01/1997- 31/01/2015	1997-2000, '04-'06, '09-'14	2001-'03, '07-'08, '15

Όπως προαναφέρθηκε, υπήρχαν και έτη για τα οποία δεν υπήρξαν δεδομένα καθ' όλη τη διάρκειά τους και δεν ήταν δυνατόν να υπολογιστούν με τη μέθοδο αντιστρόφων αποστάσεων λόγω μη κοινών χρονολογιών. Το συνολικό ποσοστό που έλειπε σε μήνες για κάθε σταθμό του κάθε έτους προκειμένου να εφαρμοστεί ο SPI φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 9: Ποσοστά ελλিপών δεδομένων των σταθμών του ποταμού Beht.

Ouergha		
	Station Name	(%) Months without data
1	Ain Aicha	17.9
2	Asfalou	46.5
3	Galez	16.9
4	Jebel Outka	18.7
5	Mjaara	19.3
6	Tabouda	13.6
7	Bab Ouender	10.5
8	Hajiria	33.2

Πιο συγκεκριμένα οι διακυμάνσεις ξηρασίας στο σταθμό Bab Ouender φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα. Λόγω μεγάλου ποσοστού ελλিপών δεδομένων παρακάτω παριστάνεται το πλέον αντιπροσωπευτικό διάγραμμα του σταθμού Bab Ouender.

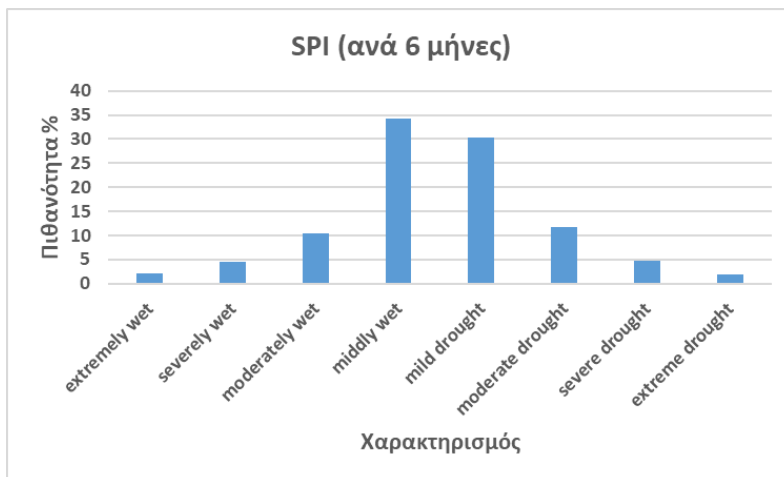


Εικ.29: Γράφημα απεικόνισης του δείκτη SPI με χρονικό βήμα 6 μηνών.

Με τα παραπάνω δεδομένα υπολογίστηκε η ξηρασίας με βάση τις τιμές SPI στους τρεις σταθμούς του παραποτάμου Ouergha με το χρονικό βήμα 6 μηνών, προκύπτοντας

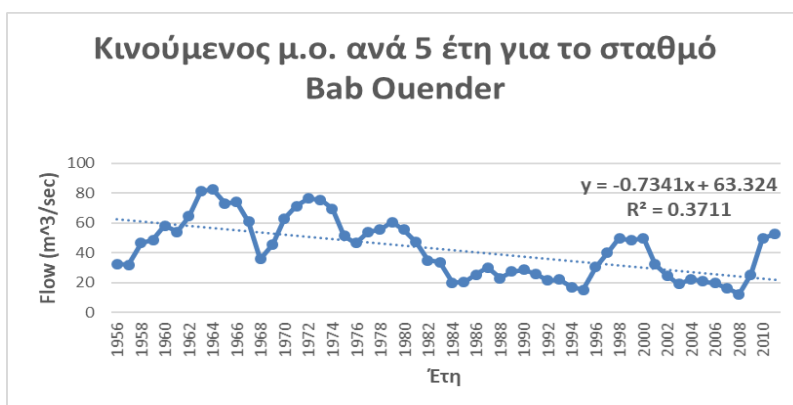
γραφήματα τα οποία μας παρέχουν πληροφορίες για το πόσο ξηρή ή υγρή θεωρείτε η κάθε περιοχή στη διάρκεια των ετών.

Για τον σταθμό Bab Ouender για παράδειγμα, προκύπτει:

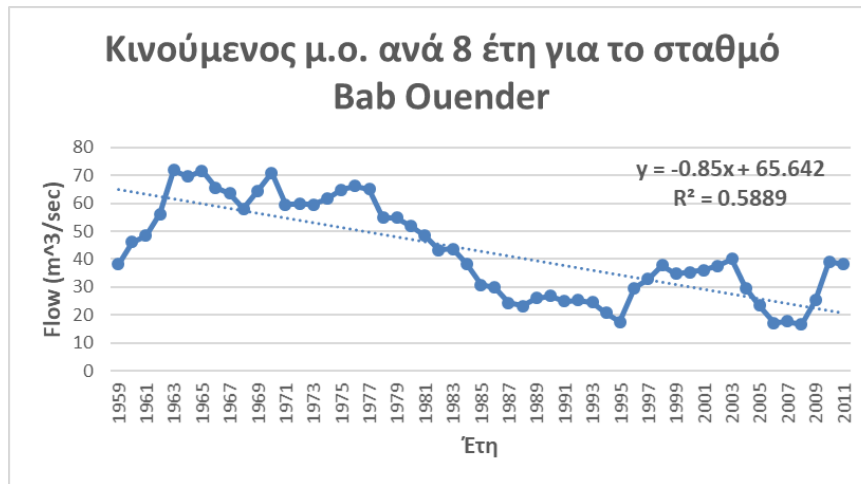


Εικ. 30: Γράφημα απεικόνισης ποσοστών ξηρασίας μέσω του δείκτη SPI.

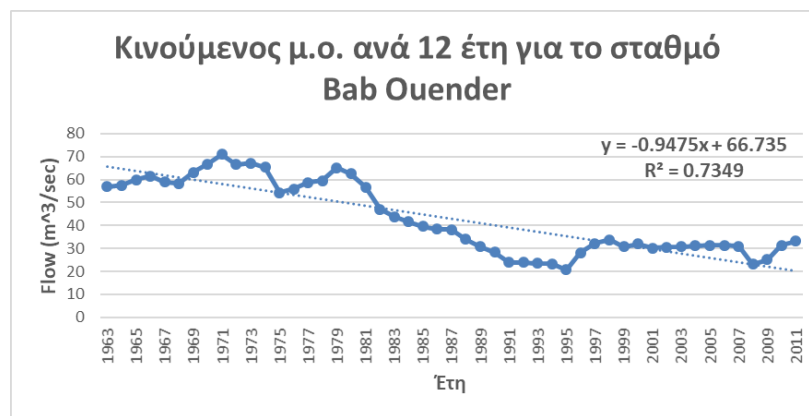
Στις παροχές υπολογίστηκε ο μέσος όρος ανά 5, 8 και 12 έτη, προκειμένου να εξαλειφθεί η εποχικότητα και να παρατηρηθεί με μεγαλύτερη ευκολία το πώς κυμαίνονται με το πέρασμα των ετών. Για τον σταθμό Bab Ouender (το χρονικό διάστημα 1956 με 2011) για παράδειγμα, προκύπτουν τα εξής διαγράμματα:



Εικ.31: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 5 έτη του σταθμού Bab Ouender.



Εικ.32: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 8 έτη του σταθμού Bab Ouender.



Εικ.33: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 8 έτη του σταθμού Bab Ouender.

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και στους υπόλοιπους σταθμούς του ποταμού Ouergha.

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια εκτίμησης της ξηρασίας σε 2 υδρολογικές λεκάνες μέσω του δείκτη SPI (Standardized Precipitation Index). Η εκτίμηση αυτή διεξήχθη μέσω ανάλυσης δεδομένων σε σταθμούς στους οποίους υπήρχαν ημερήσια και μηνιαία δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα βροχόπτωσης και παροχής σε δύο από τους βασικούς παραπόταμους του ποταμού Sebou, τους Beht και Ouergha.

Από τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι οι πιο υγροί μήνες τόσο στον παραπόταμο Beht, όσο και στον Ouergha φαίνεται να είναι ο Ιανουάριος, ο Νοέμβριος και ο Δεκέμβριος, με τα μεγαλύτερα ποσοστά βροχόπτωσης να εμφανίζονται κατά τον μήνα Δεκέμβριο. Αντίθετα οι πιο ξηροί μήνες και στους 2 παραποτάμους είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος, ενώ ακολουθεί ο Ιούνιος με λίγο μεγαλύτερα αλλά επίσης μικρά ποσοστά βροχόπτωσης.

Η τάση της βροχής με το πέρασμα των ετών φαίνεται να είναι πτωτική παρουσιάζοντας ωστόσο ανά καιρούς και σημαντικές αυξήσεις. Πτωτική τάση επίσης, έχει και η παροχή στους σταθμούς των παραποτάμων σε μεγάλη χρονική κλίμακα, ενώ αν εξετασθεί σε μικρότερη φαίνεται να παρουσιάζεται αύξηση τα τελευταία χρόνια.

Οι περιοχές αυτές είναι σημαντικές καθώς λόγω του μεσογειακού κλίμα που τις χαρακτηρίζει, τις κάνει πυκνοκατοικημένες, με έντονη γεωργική και βιομηχανική ανάπτυξη αλλά και αγροτική παραγωγή. Έτσι λοιπόν είναι σημαντικό να υπάρχει επάρκεια στους διαθέσιμους υδατικούς πόρους για την εξυπηρέτηση των αναγκών αυτών. Αυτή είναι και η βασική αιτία μελέτης της ξηρασίας στην περιοχή αυτή. Προκειμένου να γίνει πρόβλεψη για τα επόμενα έτη, αναλύθηκαν τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα και προέκυψαν αποτελέσματα, με βάση τα οποία φαίνονται οι υγρές και ξηρές εποχές σε μεγάλες χρονικές περιόδους. Γεγονός το οποίο είναι χρήσιμο σε διάφορους τομείς οι οποίοι βασίζονται στην επάρκεια διαθέσιμων υδατικών πόρων για την εξυπηρέτηση σημαντικών αναγκών.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Ανδρεάδης Ο. (2015). Οι επιπτώσεις της κατασκευής του φράγματος στο ισοζύγιο ιζήματος της λεκάνης απορροής της Ερεσού. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας. Μυτιλήνη.

Κασσωτάκη, Ε. (2011). Ανάπτυξη μεθοδολογίας υπολογισμού ολικών μέγιστων ημερήσιων φορτίων με τη χρήση στατιστικής υδρολογίας και σύνθετων υδρολογικών μοντέλων προσομοίωσης λεκάνης απορροής. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Περιβάλλοντος, Χανιά.

Κουτσούμπας, Δ. (2012). Σημειώσεις μαθήματος Οικολογίας και Διαχείρισης Παράκτιων Περιοχών. Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας. Μυτιλήνη.

Μιμίκου, Μ.Α. (2006). Τεχνολογία Υδατικών Πόρων. Γ' έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Μιμίκου, Μ.Α., Μπαλτάς, Ε.Α. (2012). Τεχνική Υδρολογία, 5^η έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2012

Μπαλτάς, Ε.Α. (2013). Εφαρμοσμένη Μετεωρολογία, 2^η έκδοση αναθεωρημένη, Εκδόσεις ΖΗΤΗ

Πολιτόπουλος, Δ., (2014). Υδρολογικές διεργασίες διάβρωσης σε μικρές νησιωτικές λεκάνες απορροής- Η περίπτωση του χειμάρρου της Ερεσού Λέσβου, Μεταπτυχιακή Διατριβή

Ξένη Βιβλιογραφία

Abdellah R., (1997). Les bassins néogènes du sillon sud rifain et du Rif nord oriental (Maroc): sédimentologie, paléogéographie et évolution dynamique. Thèse. Doct. Es. Sciences. Fac. Sidi Mohamed Ben Abdallah, Fès.

ABHS., (2006). Étude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin du sebou. Rapport interne.

- ABHS-Fès** : données pluies, débits et températures (1981 à 2011).
- Afkir E., (1985).** Le bassin versant d'Inaouène: caractéristiques climatiques et comportement hydrologique. Thèse 3ème cycle, Univ, Toulouse-le Mirail, 249p.
- ANDRIEUX J. (1971).** La structure du Rif central. Etude des relations entre la tectonique de compression et les nappes de glissement dans un tronçon de la chaîne alpine. Notes et mem. Du serv. Géol. Maroc, 235, 155p.
- Arabia, M., Frankenberg, J. R., Engel, B. A., Arnold, J. G. (2008).** Representation of agricultural conservation practices with SWAT. Hydrological processes 22, 3042-3055.
- Arnold, J. G., Williams, J. R., Maidment, D. R. (1995).** Continuous – time water and sediment-routing model for large basins. Journal of Hydraulic Engineering, 121 (2), 171183.
- Arnold, J.G., Allen, P.M., (1996).** Estimating hydrologic budgets for three Illinois watersheds. Journal of Hydrology 176, 57-77.
- Arnold, J.G., Fohrer, N., (2005).** SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. Hydrol. Process. 19, 563-572.
- Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., Williams J.R., (1998).** Large area hydrologic modeling and assessment: Part I: Model development. J. American Water Resources Assoc, 34 (1), 73-89.
- ASEBRY L., BOURGOIS J., DE LUCA P.& BUTTERLIN J., (1992).** Importance d'une tectonique de distension pliocène dans le rif central (Maroc : la nappe de Ketama existe-t-elle ?, J. Africain Earth. Sci., 15, 49-57.
- ASEBRY L., DE LUCA P., BOURGOIS J., & CHOTIN P., (1987).** Resédimentations d'âge Sénonien dans le rif central (Maroc) : Conséquence sur les divisions paléogéographiques et structurale de la chaîne, J. Africain Earth. Sci., 6, 9-17.
- Behera, S., Panda, R. K., (2006).** Evaluation of management alternatives for an agricultural watershed in a sub-humid subtropical region using a physical process based model. Agric. Ecosyst. Environ, 113, 62-72.

Benaabidate L., Zian A., EL wartiti M. & EL rhaouti S., (2006). Caractérisation climatique et hydrologique du bassin versant du R'dom. 18ème Colloque des Bassins Sédimentaires Marocains, Fès, 10-12, Novembre, 2005.

BENAABIDATE, L., (2000). caractérisation du bassin versant de Sebou : hydrogéologie, qualité des eaux et géochimie des sources thermales. Thèse doct. Es-sc., FST Fès., 250 p.

BENSLIMANE A., (2005) . rapport de la géoélectrique à la reconnaissance des potentialités hydrique dans les formations basaltiques subaffleurantes. Thèse de Doctorat soutenue à la Faculté des Sciences Meknès.

Coutagne A., (1954). Quelques considérations sur le pouvoir évaporant de l'atmosphère, le déficit d'écoulement effectif et le déficit d'écoulement maximum. La houille blanche, pp:360-369.

CWR (2003). Seminar Notes, Center For Water Research, University of Western Australia.

Demirel, M. C., Venancio, A., Kahya, E. (2009). Flow forecast by SWAT model and ANN in Pracana basin, Portugal. *Advances in Engineering Software* **40**, 467-473.

Didon J., durand Dulga M.,& Kornprobst J., (1973). Homologie géologique entre les deux rives du détroit de gibraltar. Bull. Soc. Géol. France, 8, t.17, 77-105.

Elmorijani Z.E. (2003). Conception d'un système d'information à référence spatiale pour la gestion environnementale ; application à la sélection des sites potentiels de stockage de déchets ménagers et industriels en région semi-aride (Souss, Maroc). Thèse de doctorat es sciences, n) 3370. Fac. Sc., Univ. De Genève, suisse.

ERRAMI A., (2001). Evolution tardi-hercynienne et alpine des bassins du Paléozoïque supérieur de la bordure sud-occidentale du Massif ancien du Haut-Atlas. Thèse de Doctorat soutenue à la Faculté des Sciences de Rabat.

FAUGERES J.C., (1978). Les Rides sud rifaines : évolution sédimentaires d'un bassin atlantico – mésogéen de la marge africaine. Thèse doct. Es-sc., univ. Bordeaux I, n° 590.

FAVRE Ph. (1995). Analyse quantitative du rifting et de la relaxation thermique de la partie occidentale de la marge transformante nord-africaine : le Rif externe (Maroc).

Comparaison avec la structure actuelle de la chaîne. *Geodinamica Acta* (Paris), 8, 2, 59-

Frécaut R. (1972). Quelques problèmes actuels de la recherche fondamentale en hydrologie fluviale. Bull. Ass. Géogr. Franç. N°389-390, Paris, pp:291-290.

FRIZON D. ; ANDRIEUX J. & GUEZOU J-C. (1991). Cinématique des chevauchements néogènes dans l'arc bético-rifain : discussion sur le modèle géodynamique. Bull. Soc. Géol. France, t. 162, 4, 611-626.

Gassman, P. W., Reyes, M. R., Green, C. H., Arnold, J. G. (2007b). The soil and water assessment tool: Historical development, applications, and future research directions. Trans. ASAE 50 (4), 1211–1250. \

Gassman, P. W., Reyes, M., Green, C. H., Arnold, J. G., 2007a. SWAT peer-reviewed literature: a review. Proceedings. Third International SWAT Conference, 1315 July 2005, Zurich, Switzerland.

Haida, S., (2000). Transport de matière et bilan de l'érosion mécanique et de l'altération chimique sur le bassin versant de zone semi-aride: le Sebou. Thèse de Doctorat es sciences, Fac. Sc. Kénitra, Univ. Ibn Tofaïl, Maroc.

Jabbar, M. T. (2003). Application of GIS to Estimate Soil Erosion Using RUSLE. Geospatial Information Science, 6, 1, 34-37.

Kusre, B. C., Baruah, D. C., Bordoloi, P. K., Patra, S. C. (2010). Assesment of hydropower potential using GIS and hydrological modeling technique in Kopili River basin in Assam (India). Appl. Energy 87, 298-309.

LAHSSAINI M., (2009). Etude climatologique et hydrologique du bassin versant d'Oued Ifrane moyen Atlas Maroc FST Sais Fès. Rapport de Licence. FST Fès.

Larue J., (2006).« Tectonique, érosion et hydrographie sur la bordure nord-ouest du Massif central (France) », Géomorphologie : relief, processus, environnement, 4/2005 | 2006, 275-296.

Lenhart, T., Eckhardt, K., Fohrer, N., Frede, H.-G. (2002). Comparison of two different approaches of sensitivity analysis. Physics and Chemistry of the Earth 27 (9-10), 645-654.

- Luo, Y. & Zhang, M. (2009).** Management-oriented sensitivity analysis for pesticide transport in watershed-scale water quality modeling using SWAT. *Environmental Pollution* 157, 3370-3378.
- MERGHICH A., (1989).** Contribution à l'étude sédimentologique, minéralogique et géochimique des alluvions actuelles de l'Oued Beht (M roc central). Thèse de 3ème cycle, Econe Normale Supérieure, Fès.
- MESRAR H., (2010).** Application des directives du PAP/CAR et des outils SIG pour l'évaluation de l'érosion hydrique et la définition des facteurs causaux dans la partie aval du bassin versant de l'Oued Amzaz. Rapport PFE Master, FST Fès.
- MINT CHEVIE, M. (2011).** Contribution à l'étude hydroclimatique du bassin versant de l'Oued Beht, Maroc septentrional.
- Morgenthaler S., (1997).** Introduction à la statistique, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 317p.
- MSATEF, K., (2015).** Etude hydrologique du bassin versant de l'Oued Ouergha, Nord du Maroc.
- Musy A. et Higy, C., (1998).** Hydrologie Appliquée, Edition HGA, Bucarest, 368p.
- Musy, A. (2001).** e-drologie. Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne, Suisse.
- Roche M., (1963).** Hydrologie de surface, Gauthier-Villars Editeur, Paris, 429 p.
- Sauvage C., (1960).** Le quotient pluviométrique d'Emberger, son utilisation et la présentation géographique de ses variations au Maroc. *Ann .Serv . phys. globe météo r. I.S.C.*
- SUTER G. (1980).** Carte géologique de la chaîne rifaine. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc. N°245.
- SUTER G., (1967).** Note explicative de la carte géologique du rif, région de moyen Ouarrha (feuille de taouate, Aïn Aïcha, tissa) au /50000ème. Note et Mém. Serv. Géol. Maroc, n° 166 bis.
- Thornthwaite (1955).** "The water balance", *Climatology*, 8:1-104, 1955.

Turc L., (1961). Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle, formule simplifiée et mise à jour. Ann. Agron. Tome XII, pp. 13-49.

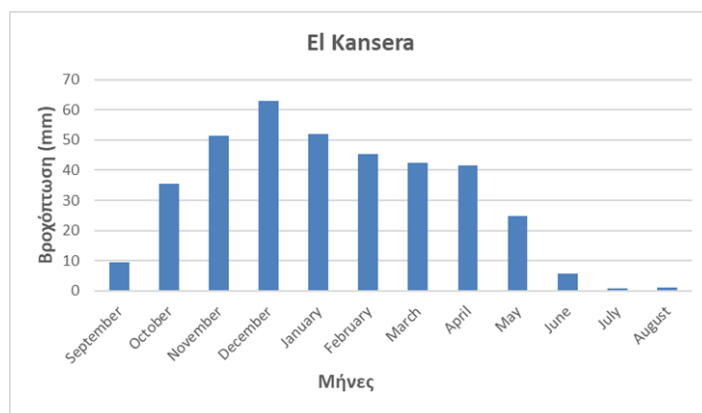
Wolting (1999). Statistique appliquée à la gestion des phénomènes naturels, Editeur, United Kingdom. 156p.

Zian A., (2011). Hydrologie, Qualité des Eaux de Surfaces et des sédiments et géochimie des eaux thermales du bassin versant de l'oued R'dom. Thèse doct.3ème cycle, FST FES, 276p

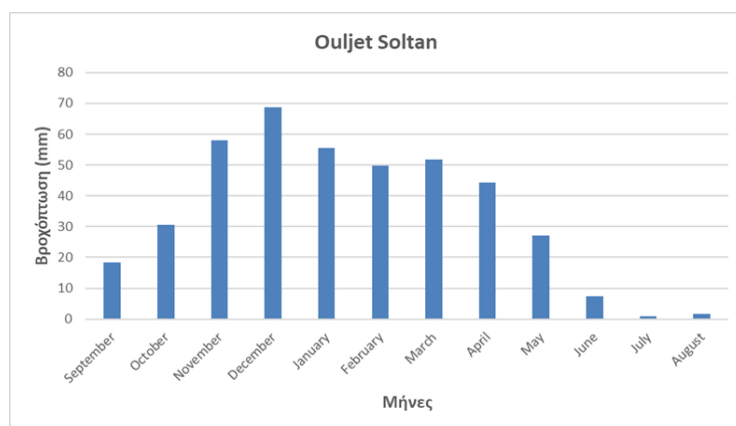
Komar P. D. (1998). Beach Processes and Sedimentation (2nd Edition). Prentice Hall, N.J. USA. 544 pp.

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

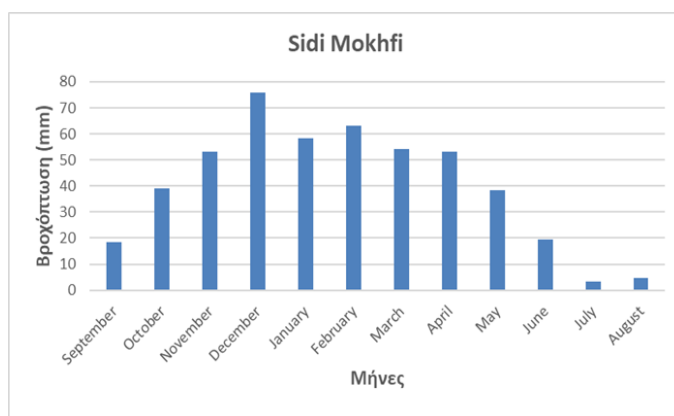
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 : Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση



Εικ. Π1: Γράφημα απεικόνισης μέσω μηνιαίων βροχομετρικών δεδομένων για τα έτη 1936-2008 του σταθμού El Kansera.



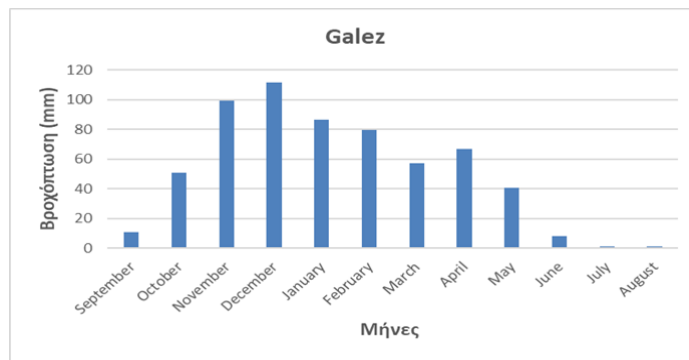
Εικ. Π2: Γράφημα απεικόνισης μέσω μηνιαίων βροχομετρικών δεδομένων για τα έτη 1982-2010 του σταθμού Ouljet Soltan.



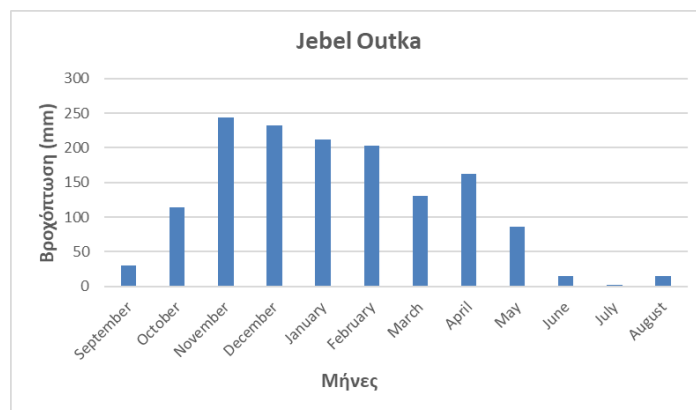
Εικ. Π3: Γράφημα απεικόνισης μέσω μηνιαίων βροχομετρικών δεδομένων για τα έτη 1977-2009 του σταθμού Sidi Mokhefi.



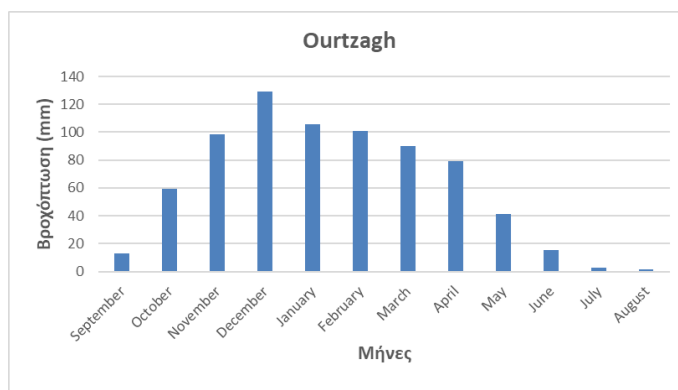
Εικ. Π4: Γράφημα απεικόνισης μέσω μηνιαίων βροχομετρικών δεδομένων για τα έτη 1982-2009 του σταθμού Ain Aicha.



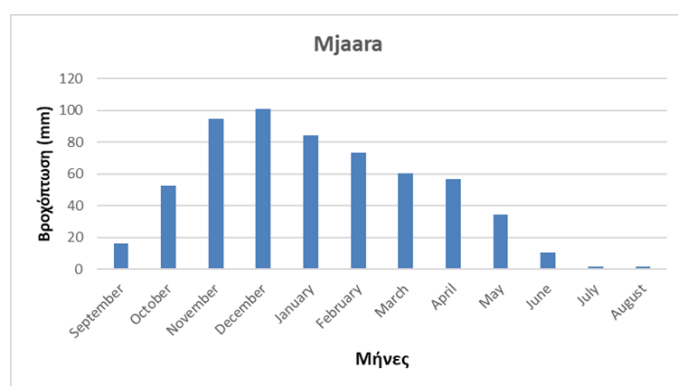
Εικ. Π5: Γράφημα απεικόνισης μέσω μηνιαίων βροχομετρικών δεδομένων για τα έτη 1980-2008 του σταθμού Galez.



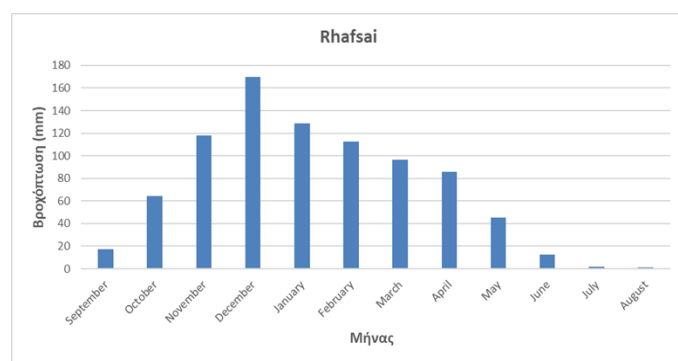
Εικ. Π6: Γράφημα απεικόνισης μέσω μηνιαίων βροχομετρικών δεδομένων για τα έτη 1979-2014 του σταθμού Jebel Outka.



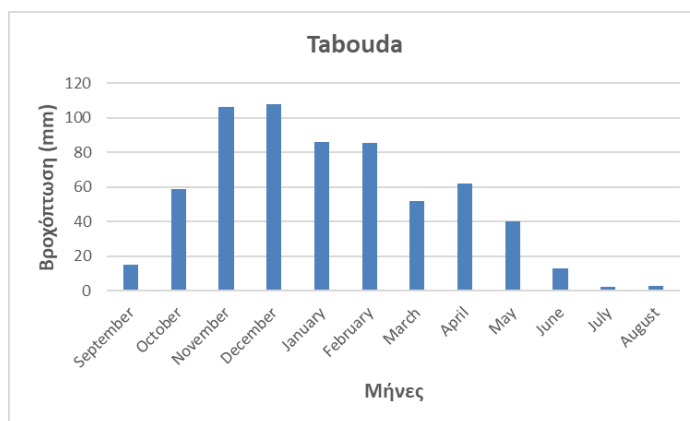
Εικ. Π7: Γράφημα απεικόνισης μέσω μηνιαίων βροχομετρικών δεδομένων για τα έτη 1956-1996 του σταθμού Ourtzagh..



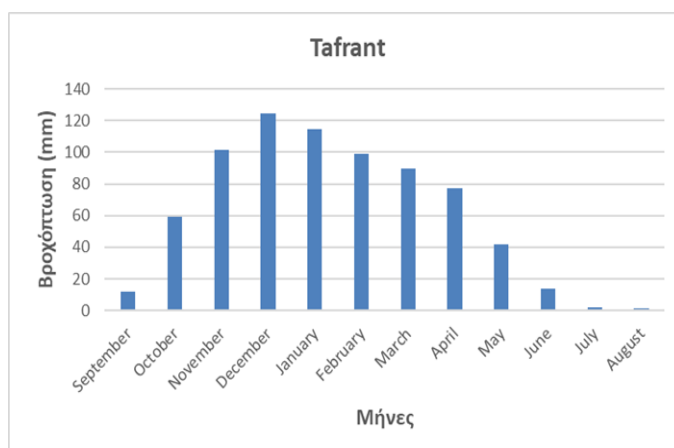
Εικ. Π8: Γράφημα απεικόνισης μέσω μηνιαίων βροχομετρικών δεδομένων για τα έτη 1978-2014 του σταθμού Mjaara.



Εικ. Π9: Γράφημα απεικόνισης μέσω μηνιαίων βροχομετρικών δεδομένων για τα έτη 1956-2000 του σταθμού Rhafsai.

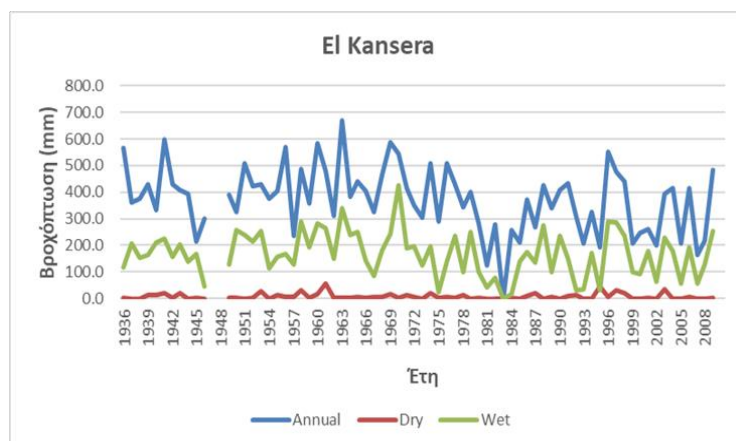


Εικ. Π10: Γράφημα απεικόνισης μέσω μηνιαίων βροχομετρικών δεδομένων για τα έτη 1979-2009 του σταθμού Tabouda.

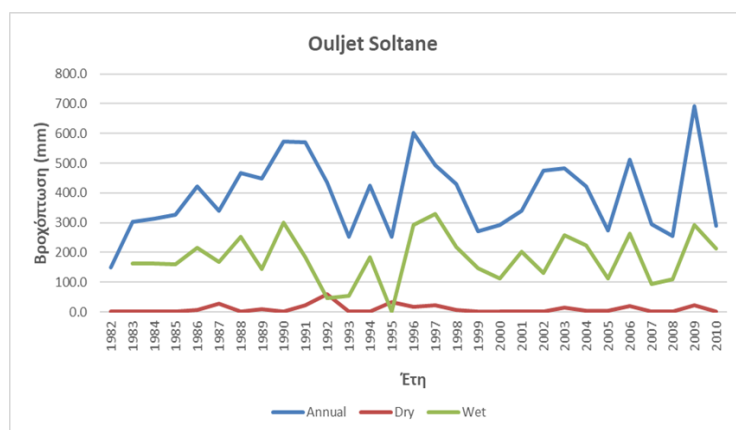


Εικ. Π11: Γράφημα απεικόνισης μέσω μηνιαίων βροχομετρικών δεδομένων για τα έτη 1956-1996 του σταθμού Tafrant

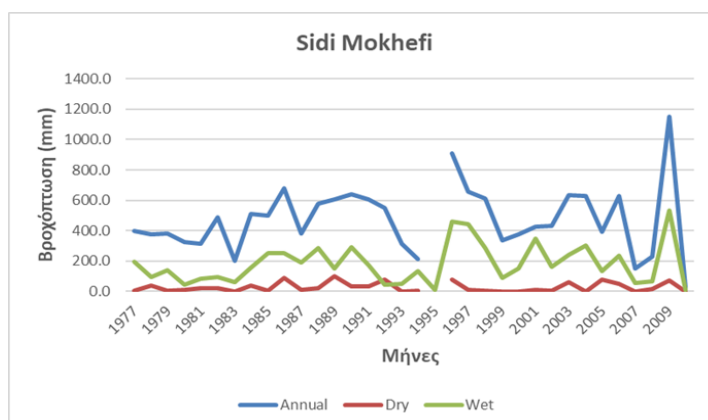
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Ετήσια Δεδομένα Βροχόπτωσης -Υγροί και Ξηροί Μήνες



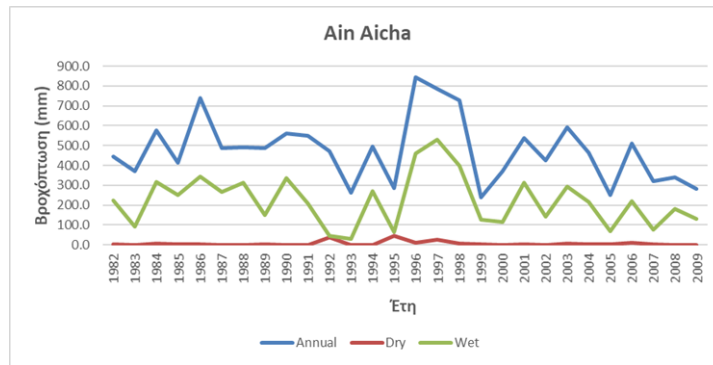
Εικ. Π12: Γράφημα αναπαράστασης ετήσιων- υγρών και ξηρών μηνών από δεδομένα βροχόπτωσης για κάθε έτος του σταθμού El Kansera.



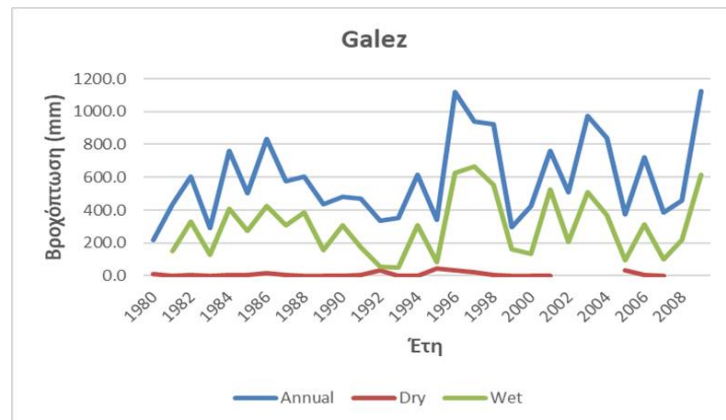
Εικ. Π13: Γράφημα αναπαράστασης ετήσιων- υγρών και ξηρών μηνών από δεδομένα βροχόπτωσης για κάθε έτος του σταθμού Ouljet Soltane.



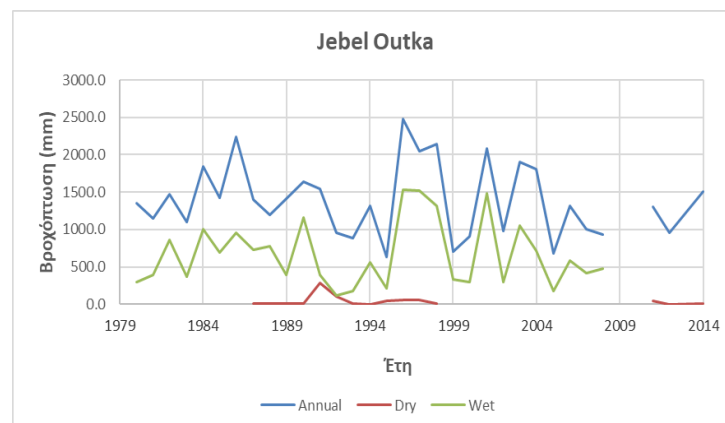
Εικ. Π14: Γράφημα αναπαράστασης ετήσιων- υγρών και ξηρών μηνών από δεδομένα βροχόπτωσης για κάθε έτος του σταθμού Sidi Mokhefi.



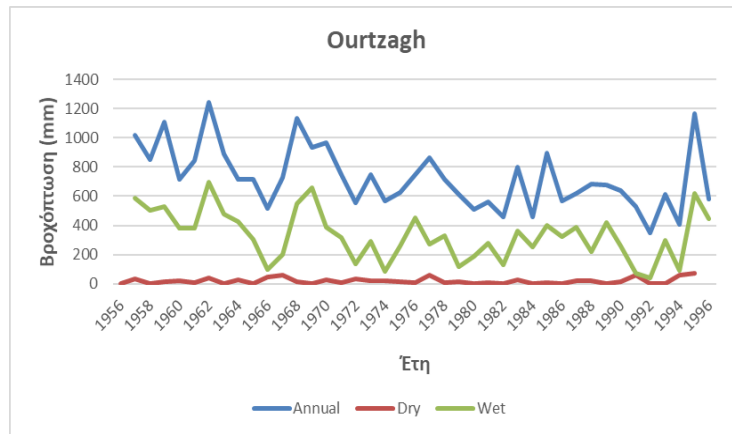
Εικ. Π15: Γράφημα αναπαράστασης ετήσιων- υγρών και ξηρών μηνών από δεδομένα βροχόπτωσης για κάθε έτος του σταθμού Ain Aicha.



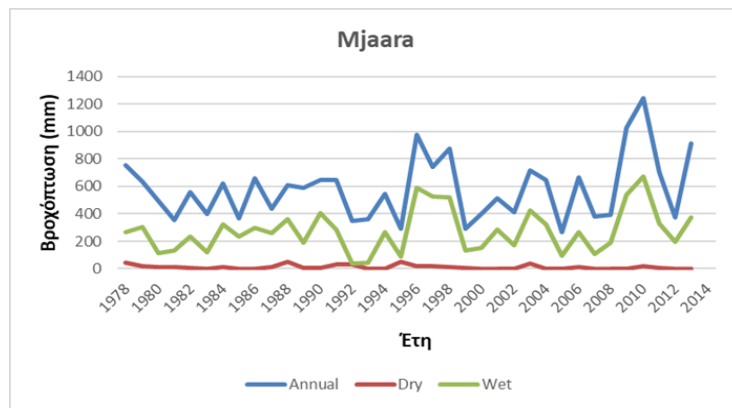
Εικ. Π16: Γράφημα αναπαράστασης ετήσιων- υγρών και ξηρών μηνών από δεδομένα βροχόπτωσης για κάθε έτος του σταθμού Galez.



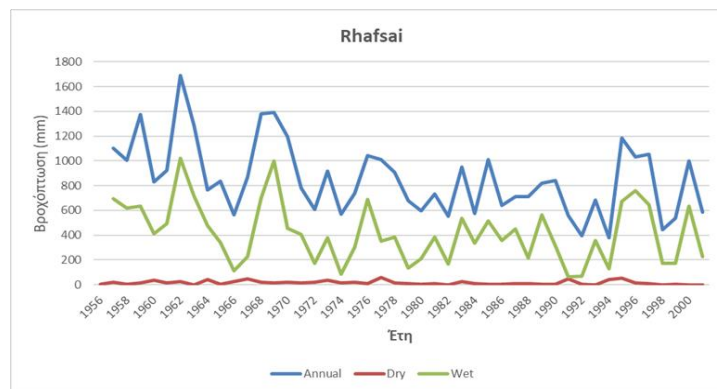
Εικ. Π17: Γράφημα αναπαράστασης ετήσιων- υγρών και ξηρών μηνών από δεδομένα βροχόπτωσης για κάθε έτος του σταθμού Jebel Outka.



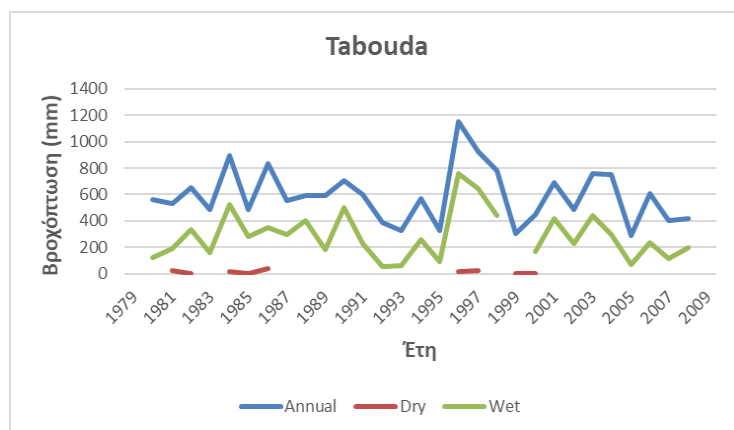
Εικ. Π18: Γράφημα αναπαράστασης ετήσιων- υγρών και ξηρών μηνών από δεδομένα βροχόπτωσης για κάθε έτος του σταθμού Ourtzagh.



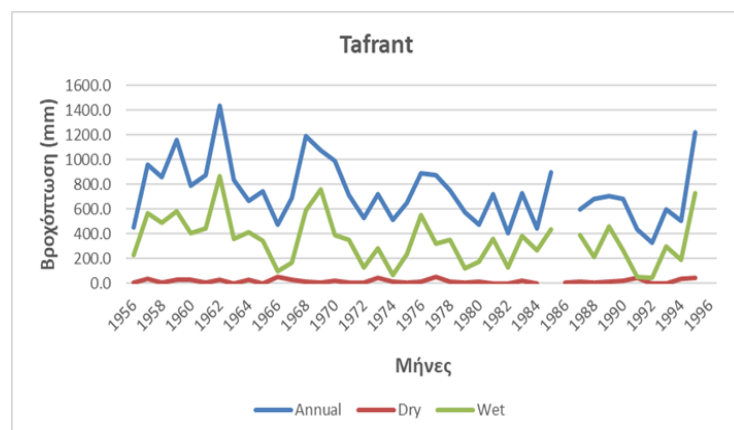
Εικ. Π19: Γράφημα αναπαράστασης ετήσιων- υγρών και ξηρών μηνών από δεδομένα βροχόπτωσης για κάθε έτος του σταθμού Mjaara.



Εικ. Π20: Γράφημα αναπαράστασης ετήσιων- υγρών και ξηρών μηνών από δεδομένα βροχόπτωσης για κάθε έτος του σταθμού Rhafsai.

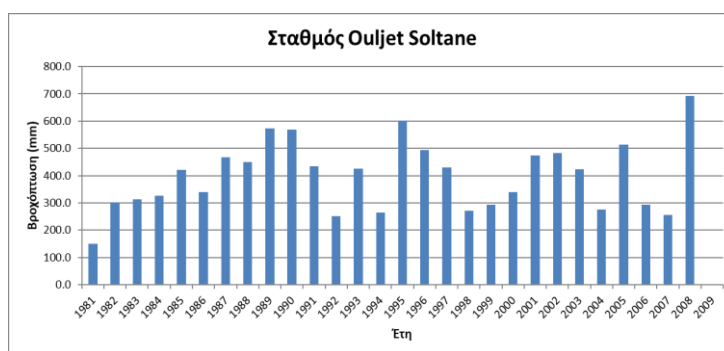


Εικ. Π21: Γράφημα αναπαράστασης ετήσιων- υγρών και ξηρών μηνών από δεδομένα βροχόπτωσης για κάθε έτος του σταθμού Tabouda

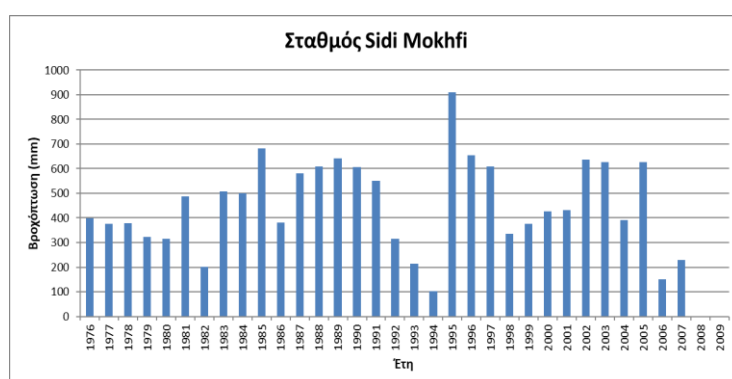


Εικ. Π22: Γράφημα αναπαράστασης ετήσιων- υγρών και ξηρών μηνών από δεδομένα βροχόπτωσης για κάθε έτος του σταθμού Tafrant.

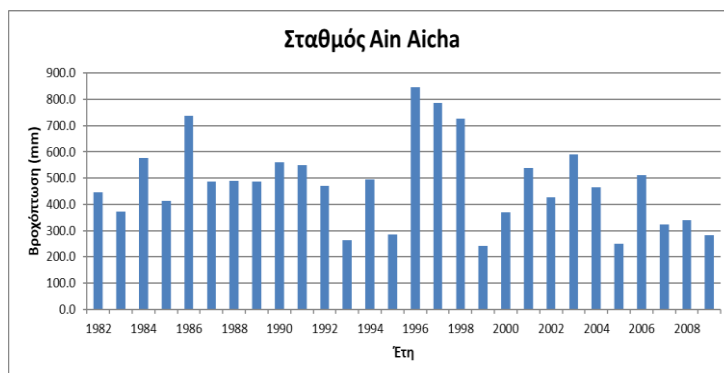
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: Γραφήματα απεικόνισης βροχόπτωσης ανά έτος



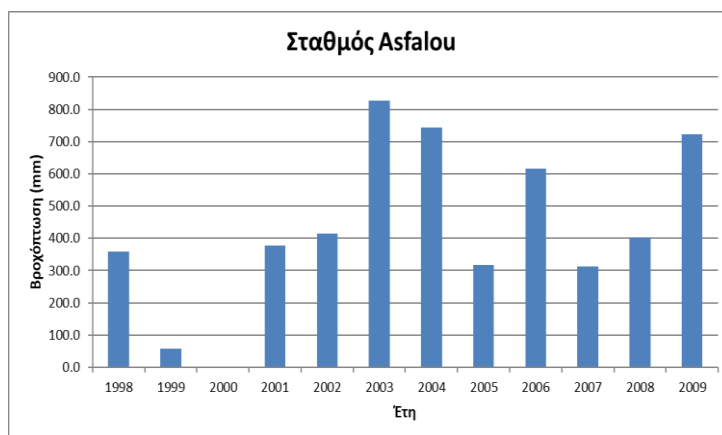
Εικ.Π23: Γράφημα απεικόνισης βροχόπτωσης ανά έτος στον σταθμό Ouljet Soltane.



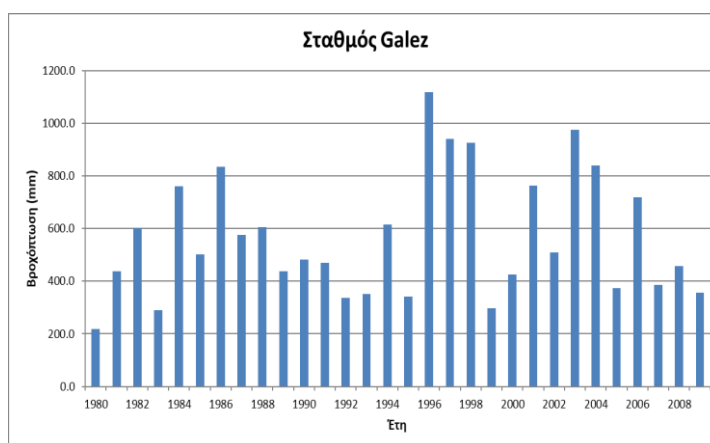
Εικ.Π24: Γράφημα απεικόνισης βροχόπτωσης ανά έτος στον σταθμό Sidi Mokhfi.



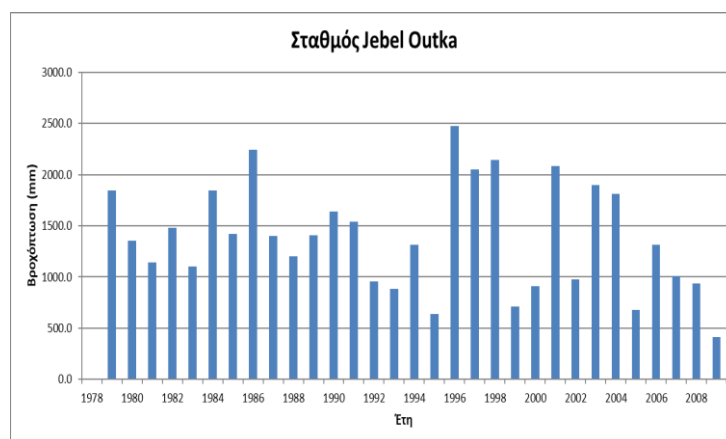
Εικ.Π25: Γράφημα απεικόνισης βροχόπτωσης ανά έτος στον σταθμό Ain Aicha.



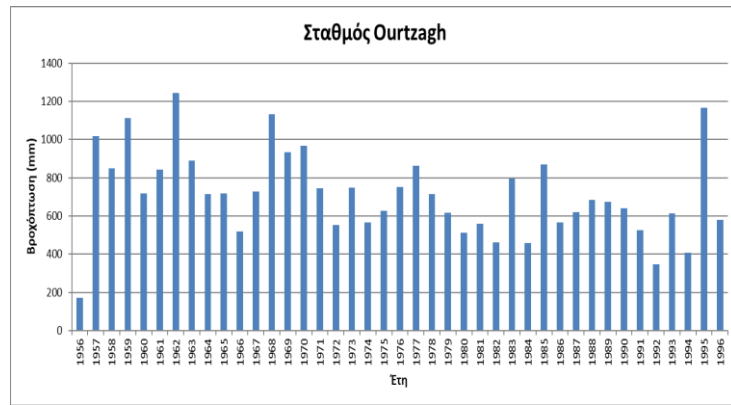
Εικ.Π26: Γράφημα απεικόνισης βροχόπτωσης ανά έτος στον σταθμό Ασφαλου.



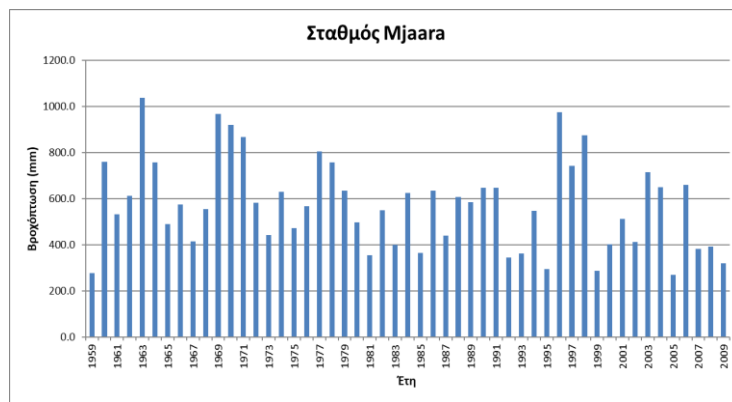
Εικ.Π27: Γράφημα απεικόνισης βροχόπτωσης ανά έτος στον σταθμό Galez..



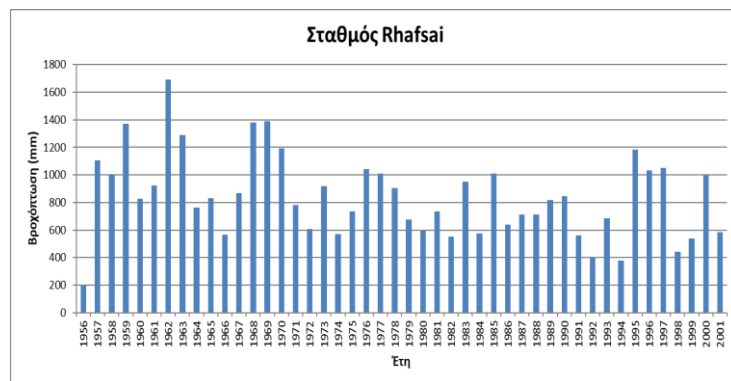
Εικ.Π28: Γράφημα απεικόνισης βροχόπτωσης ανά έτος στον σταθμό Jebel Outka.



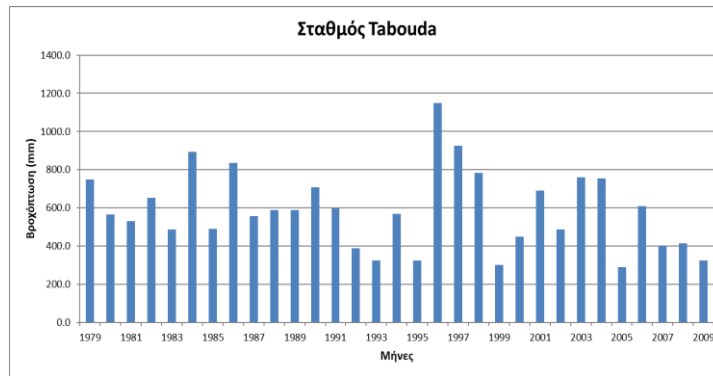
Εικ.Π29: Γράφημα απεικόνισης βροχόπτωσης ανά έτος στον σταθμό Ourtzagh.



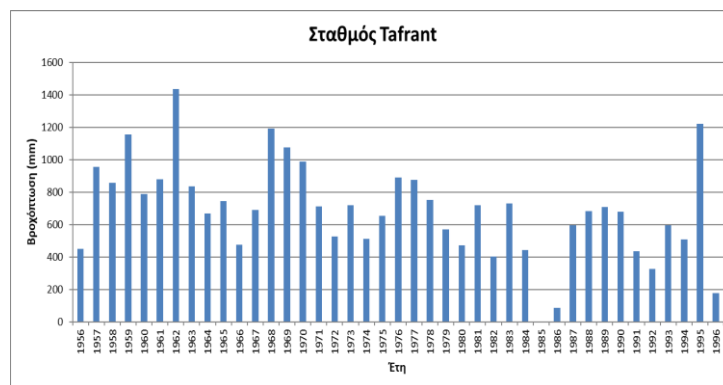
Εικ.Π30: Γράφημα απεικόνισης βροχόπτωσης ανά έτος στον σταθμό Mjaara.



Εικ.Π31: Γράφημα απεικόνισης βροχόπτωσης ανά έτος στον σταθμό Rhafsai.

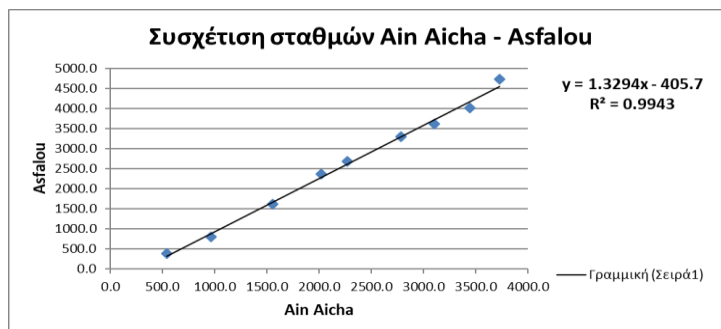


Εικ.Π32: Γράφημα απεικόνισης βροχόπτωσης ανά έτος στον σταθμό Tabouada.

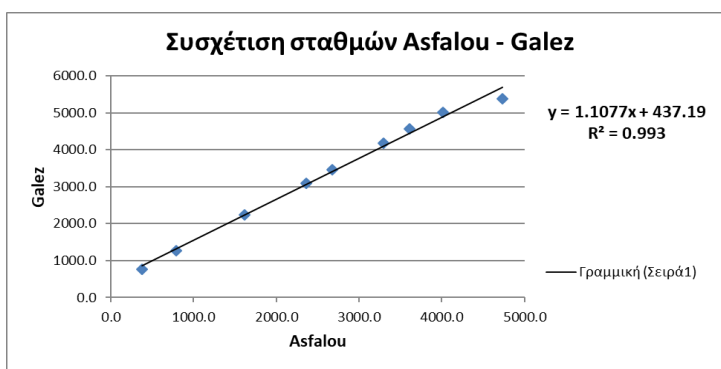


Εικ.Π33: Γράφημα απεικόνισης βροχόπτωσης ανά έτος στον σταθμό Tafrant.

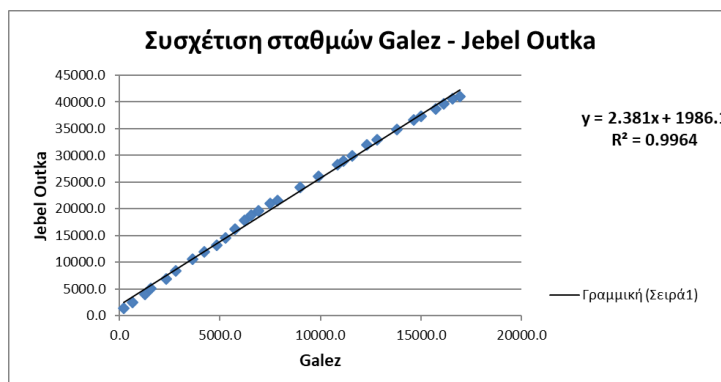
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4. Συσχέτιση σταθμών



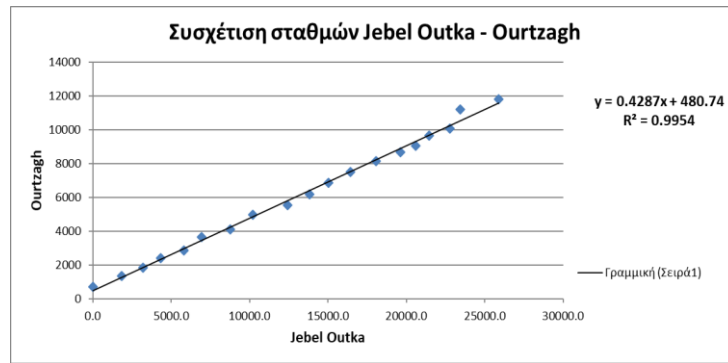
Εικ.Π34:Γράφημα συσχέτισης των σταθμών Ain Aicha- Asfalou για τα κοινά έτη 1998-2009.



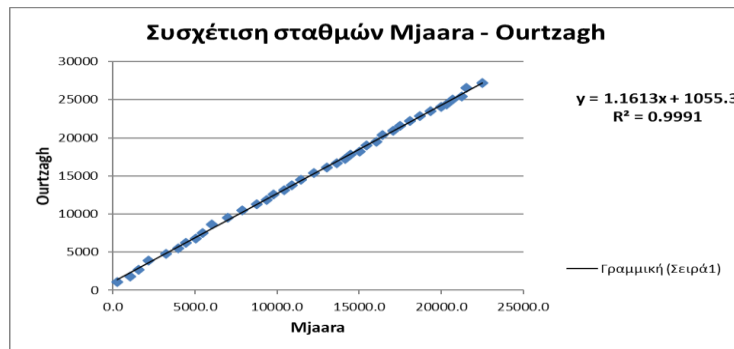
Εικ.Π35:Γράφημα συσχέτισης των σταθμών Asfalou- Galez για τα κοινά έτη 1998-2009.



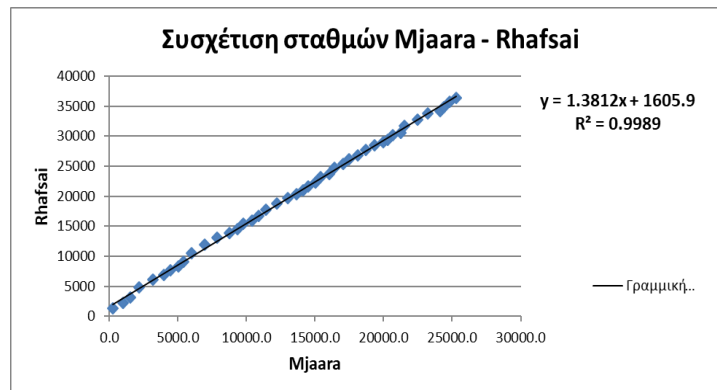
Εικ.Π36:Γράφημα συσχέτισης των σταθμών Galez- Jebel Outka για τα κοινά έτη 1980-2009.



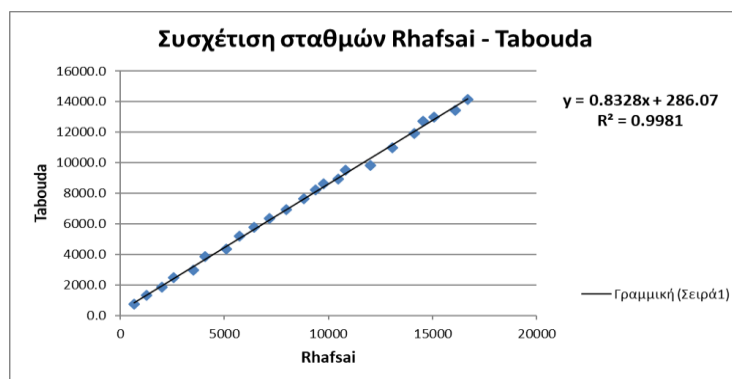
Εικ.Π37:Γράφημα συσχέτισης των σταθμών Jebel Outka- Ourtzagh για τα κοινά έτη 1978-1996.



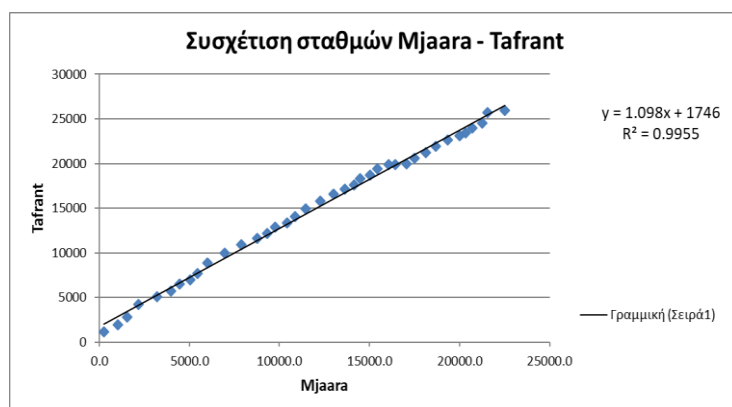
Εικ.Π38:Γράφημα συσχέτισης των σταθμών Mjaara- Ourtzagh για τα κοινά έτη 1959-1996.



Εικ.Π39:Γράφημα συσχέτισης των σταθμών Mjaara- Rhafsai για τα κοινά έτη 1959-2001.

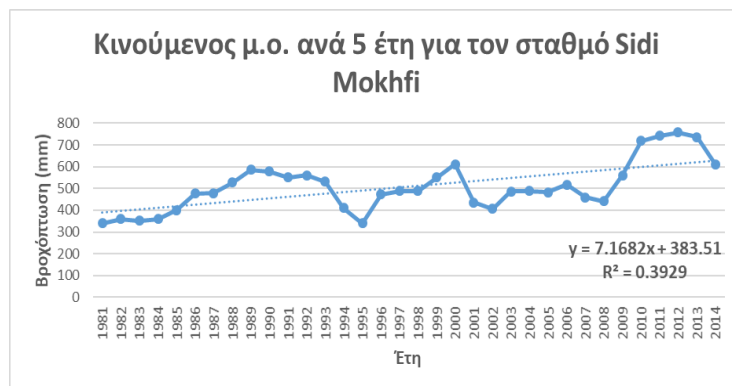


Εικ.Π40:Γράφημα συσχέτισης των σταθμών Rhafsai- Tabouda για τα κοινά έτη 1979-2001.

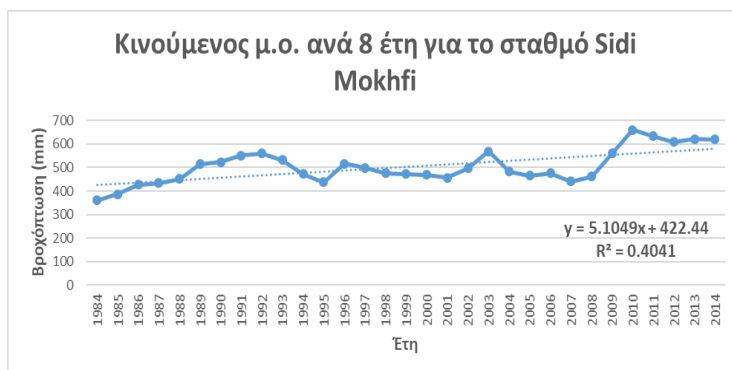


Εικ.Π41:Γράφημα συσχέτισης των σταθμών Jebel Outka- Ourtzagh για τα κοινά έτη 1959-1996.

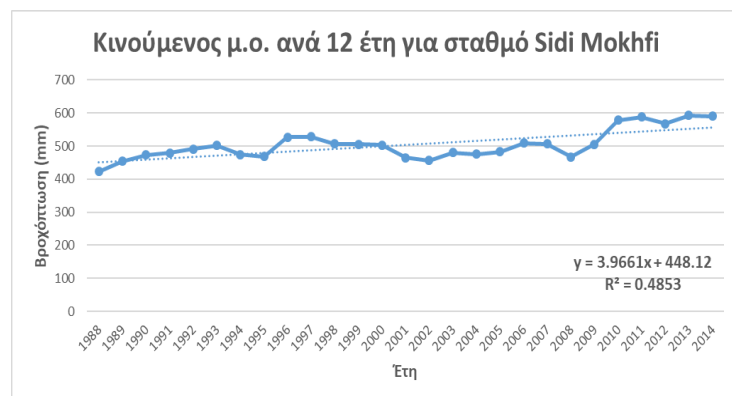
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5. Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μέσου όρου βροχόπτωσης ανά 5, 8 και 12 έτη.



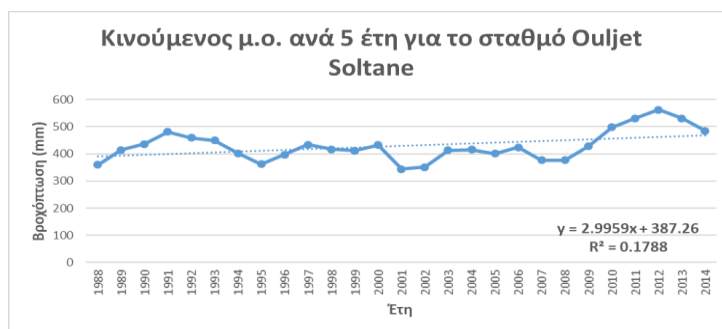
Εικ.42: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 5 έτη του σταθμού Sidi Mokhfi.



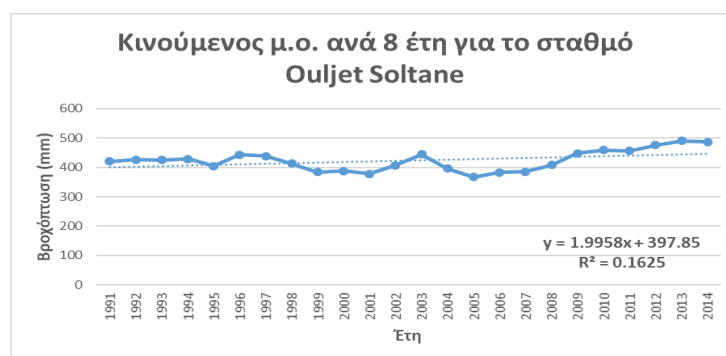
Εικ.43: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 8 έτη του σταθμού Sidi Mokhfi.



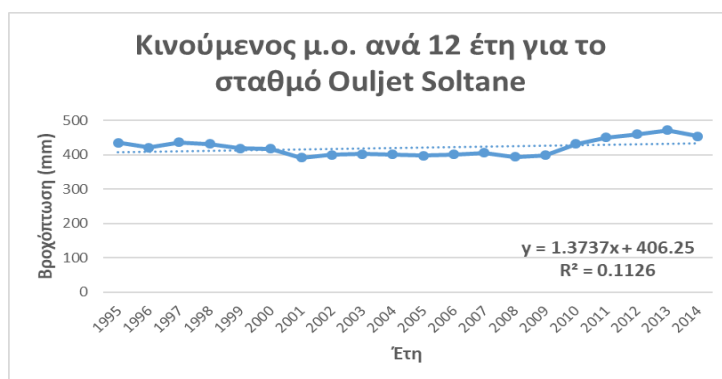
Εικ.44: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 12 έτη του σταθμού Sidi Mokhfi.



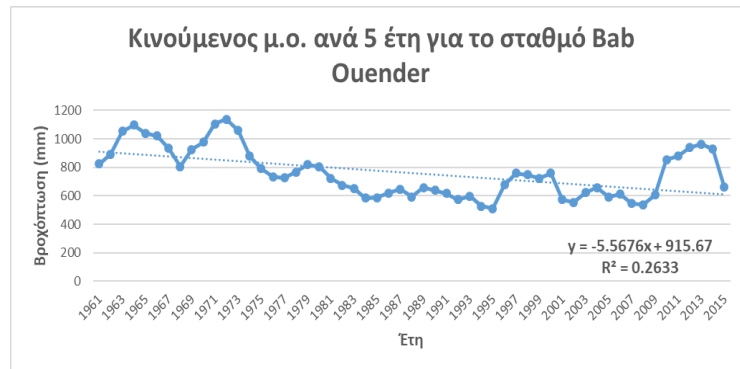
Εικ.45: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 5 έτη του σταθμού Ouljet Soltane.



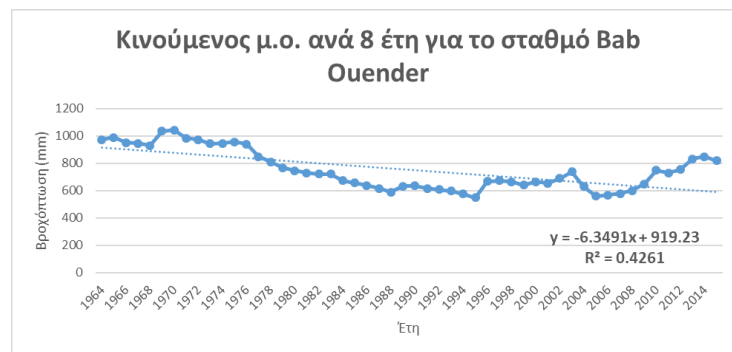
Εικ.46: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 8 έτη του σταθμού Ouljet Soltane.



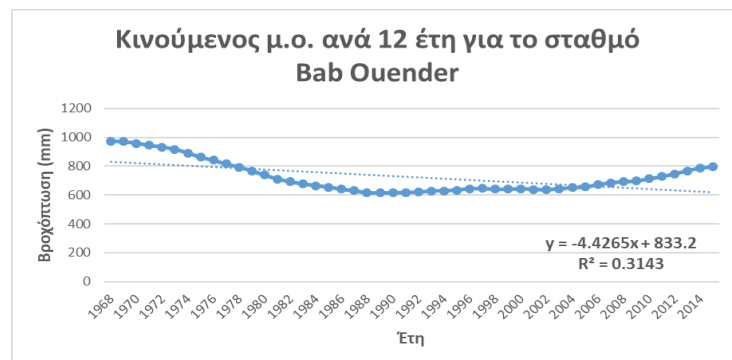
Εικ.47: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 12 έτη του σταθμού Ouljet Soltane.



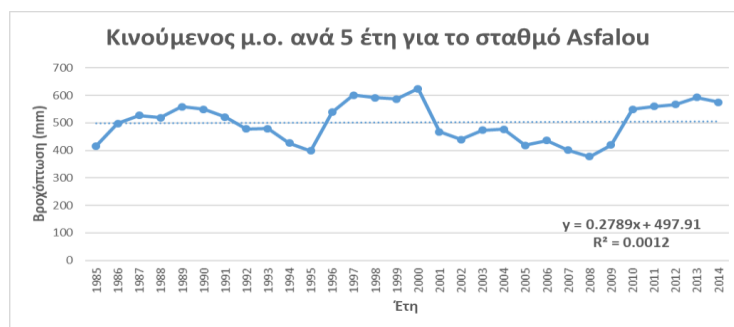
Εικ.48: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 5 έτη του σταθμού Bab Ouender.



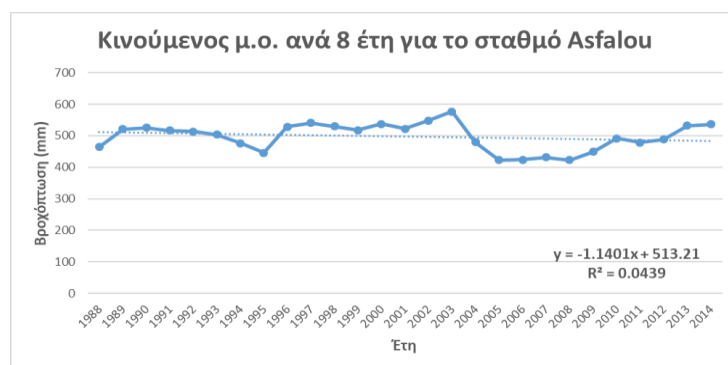
Εικ.49: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 8 έτη του σταθμού Bab Ouender.



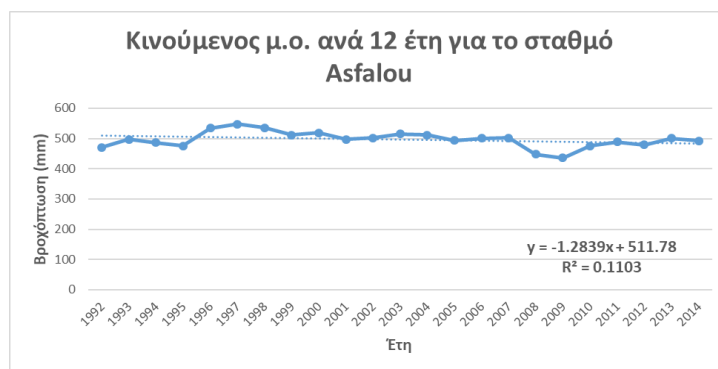
Εικ.50: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 12 έτη του σταθμού Bab Ouender.



Εικ.51: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 5 έτη του σταθμού Asfalou.

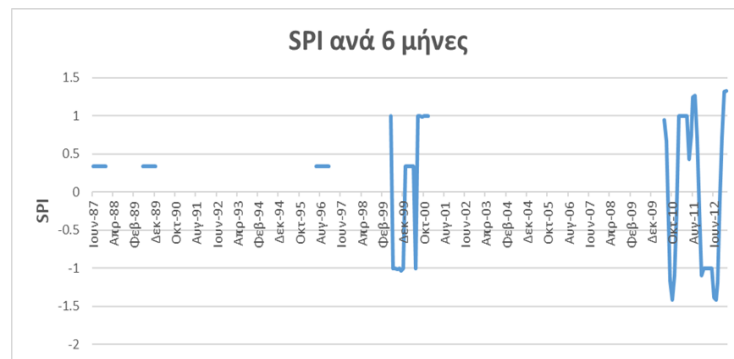


Εικ.52: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 8 έτη του σταθμού Asfalou.

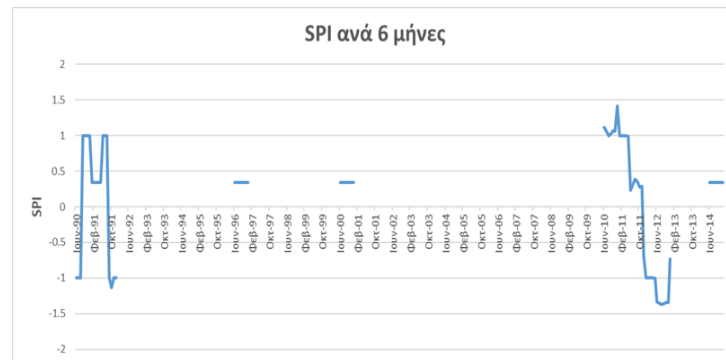


Εικ.53: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 12 έτη του σταθμού Asfalou.

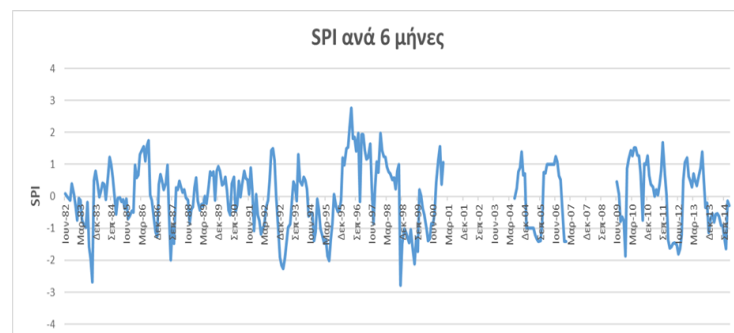
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6: Δείκτης SPI με χρονικό βήμα 6 μηνών



Εικ. Π54: Γράφημα απεικόνισης του δείκτη SPI με χρονικό βήμα 6 μηνών του σταθμού Soltjet Soltane.



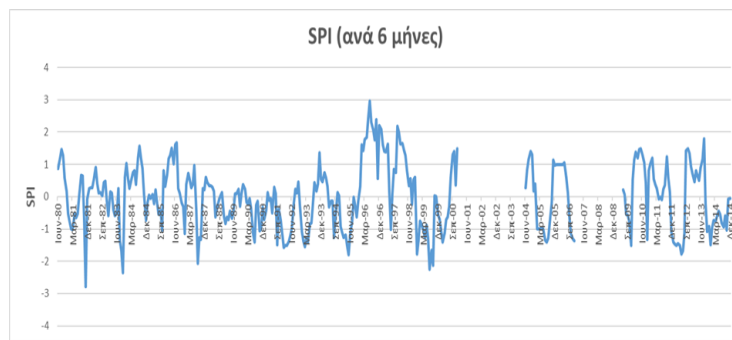
Εικ. Π55: Γράφημα απεικόνισης του δείκτη SPI με χρονικό βήμα 6 μηνών του σταθμού Sidi Mokhefi.



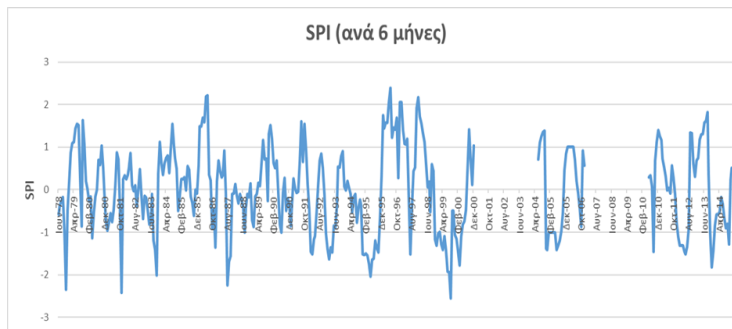
Εικ. Π56: Γράφημα απεικόνισης του δείκτη SPI με χρονικό βήμα 6 μηνών του σταθμού Ain Aicha.



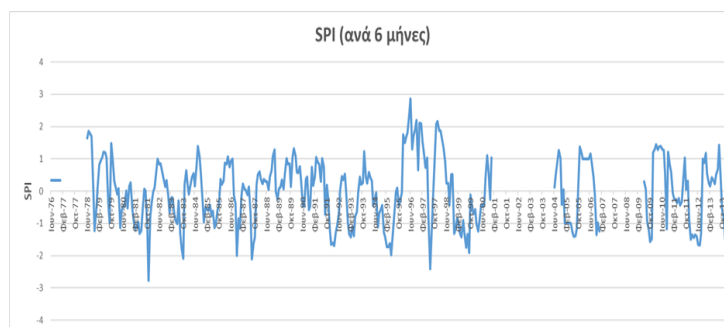
Εικ. Π57: Γράφημα απεικόνισης του δείκτη SPI με χρονικό βήμα 6 μηνών του σταθμού Assfalou.



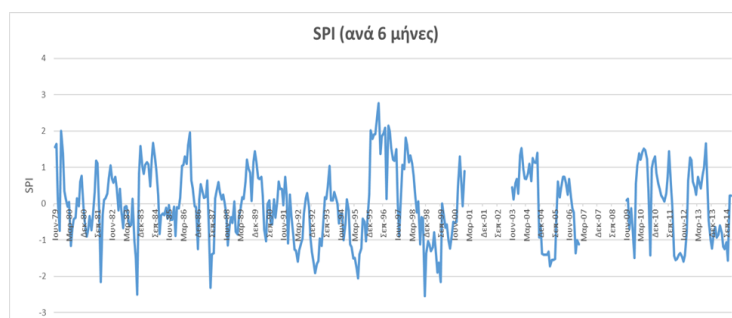
Εικ. Π58: Γράφημα απεικόνισης του δείκτη SPI με χρονικό βήμα 6 μηνών του σταθμού Galez.



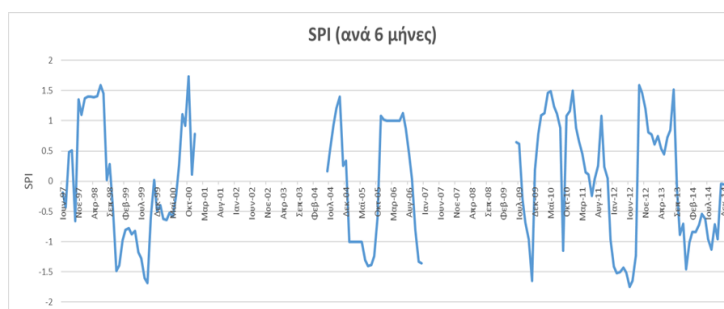
Εικ. Π59: Γράφημα απεικόνισης του δείκτη SPI με χρονικό βήμα 6 μηνών του σταθμού Jebel Outka.



Εικ. Π60: Γράφημα απεικόνισης του δείκτη SPI με χρονικό βήμα 6 μηνών του σταθμού Mjaara.

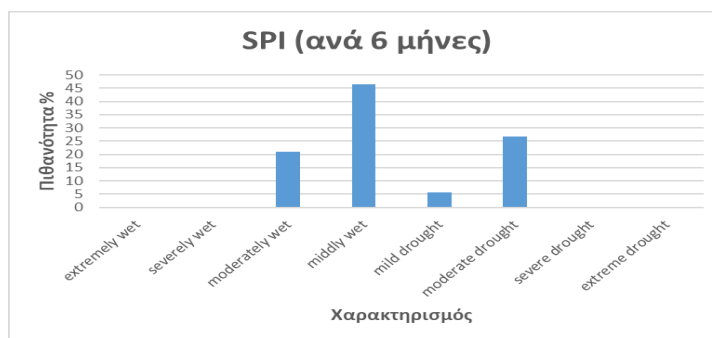


Εικ. Π61: Γράφημα απεικόνισης του δείκτη SPI με χρονικό βήμα 6 μηνών του σταθμού Tabouida.

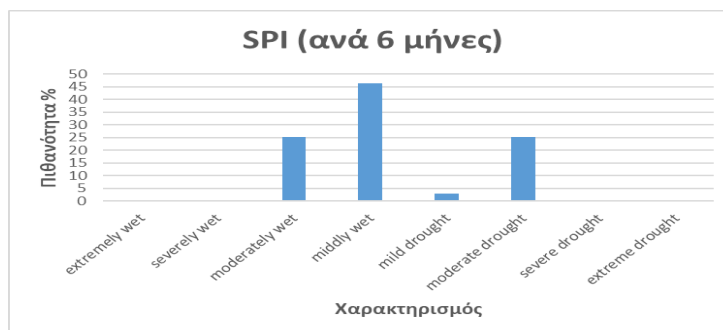


Εικ. Π62: Γράφημα απεικόνισης του δείκτη SPI με χρονικό βήμα 6 μηνών του σταθμού Hajiria.

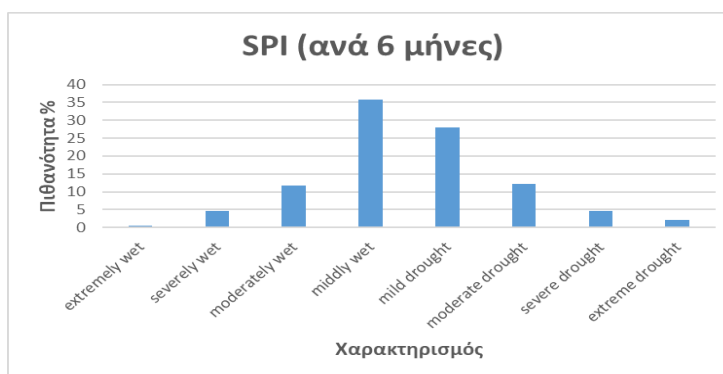
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7: Ποσοστά ξηρασίας μέσω του δείκτη SPI



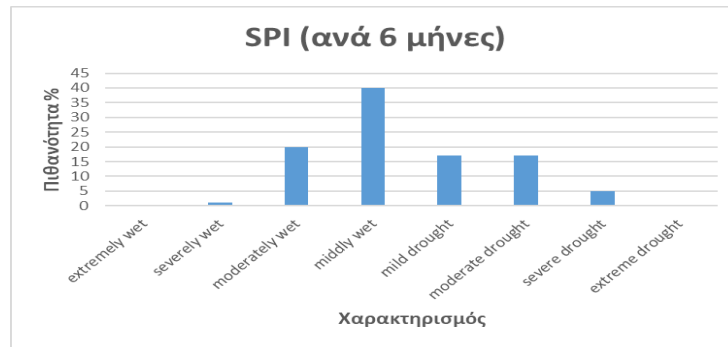
Εικ. Π63: Γράφημα απεικόνισης ποσοστών ξηρασίας μέσω του δείκτη SPI του σταθμού Ouljet Soltane.



Εικ. Π64: Γράφημα απεικόνισης ποσοστών ξηρασίας μέσω του δείκτη SPI του σταθμού Sidi Mokhefi.



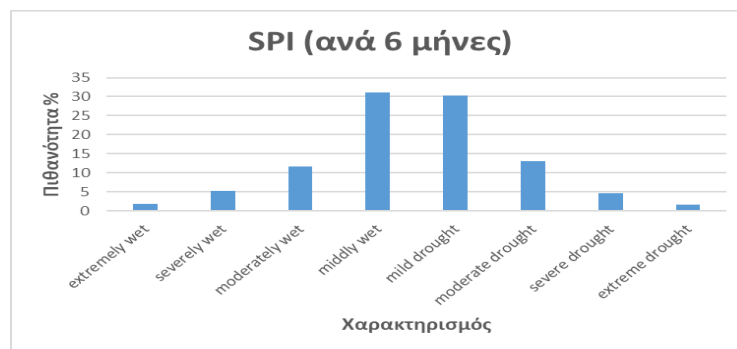
Εικ. Π65: Γράφημα απεικόνισης ποσοστών ξηρασίας μέσω του δείκτη SPI του σταθμού Ain Aicha.



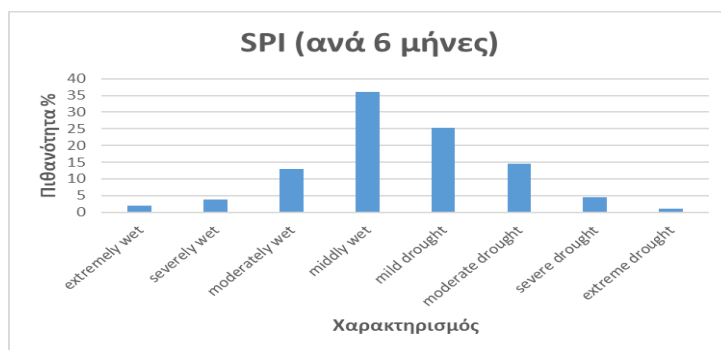
Εικ. Π66: Γράφημα απεικόνισης ποσοστών ξηρασίας μέσω του δείκτη SPI του σταθμού Asfalou.



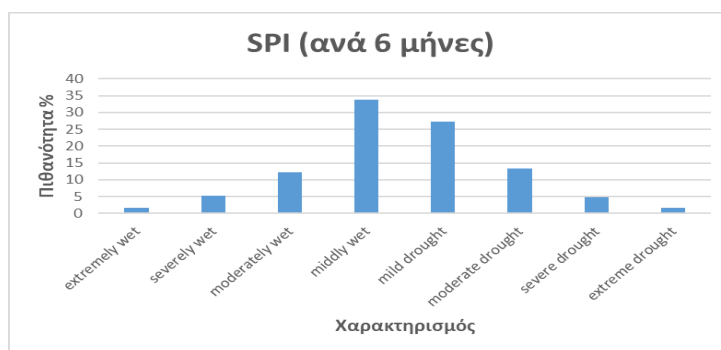
Εικ. Π67: Γράφημα απεικόνισης ποσοστών ξηρασίας μέσω του δείκτη SPI του σταθμού Galez.



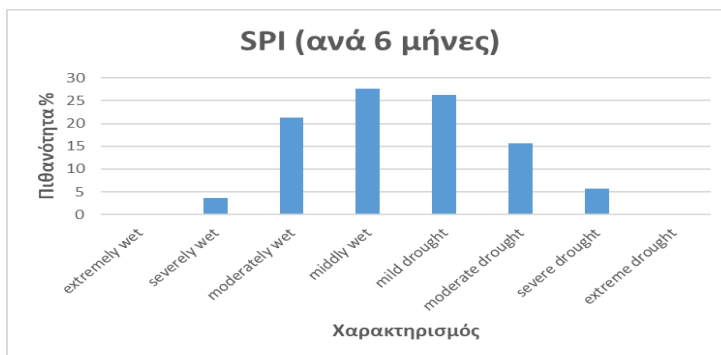
Εικ. Π68: Γράφημα απεικόνισης ποσοστών ξηρασίας μέσω του δείκτη SPI του σταθμού Jebel Outka.



Εικ. Π69: Γράφημα απεικόνισης ποσοστών ξηρασίας μέσω του δείκτη SPI του σταθμού Μjaara.

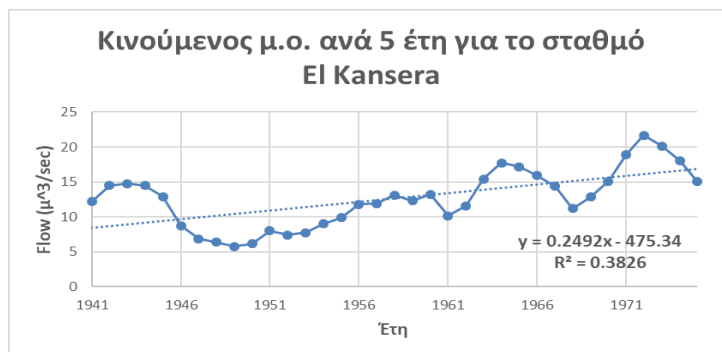


Εικ. Π70: Γράφημα απεικόνισης ποσοστών ξηρασίας μέσω του δείκτη SPI του σταθμού Tabouda.

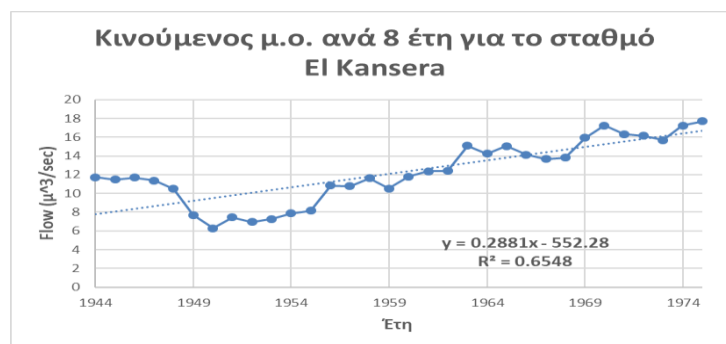


Εικ. Π71: Γράφημα απεικόνισης ποσοστών ξηρασίας μέσω του δείκτη SPI του σταθμού Hajiria.

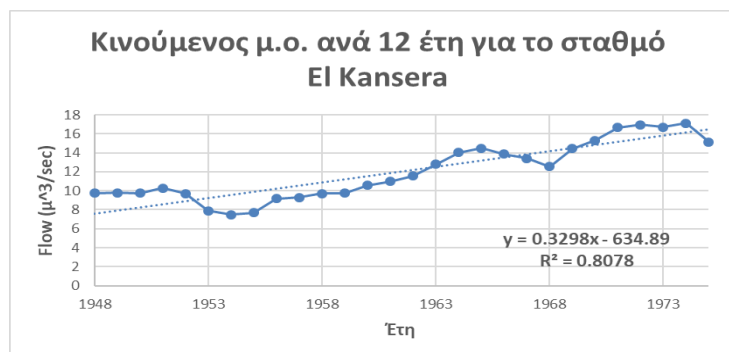
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μέσου όρου παροχής ανά 5, 8 και 12 έτη.



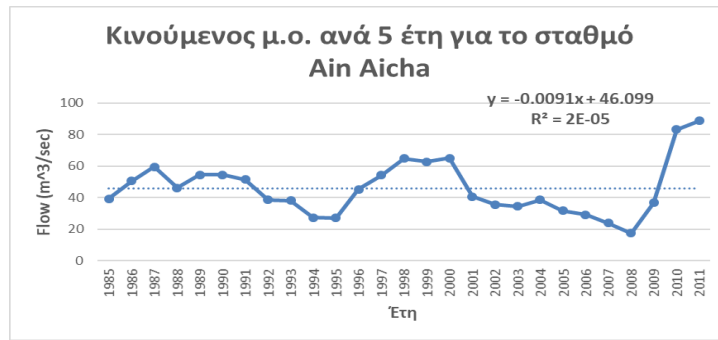
Εικ.Π72: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 5 έτη του σταθμού El Kansera.



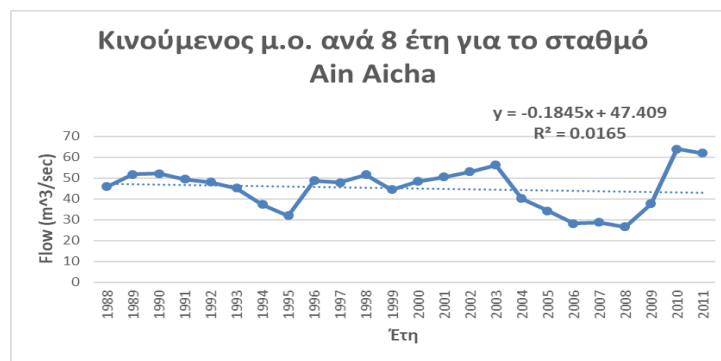
Εικ.Π73: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 8 έτη του σταθμού El Kansera.



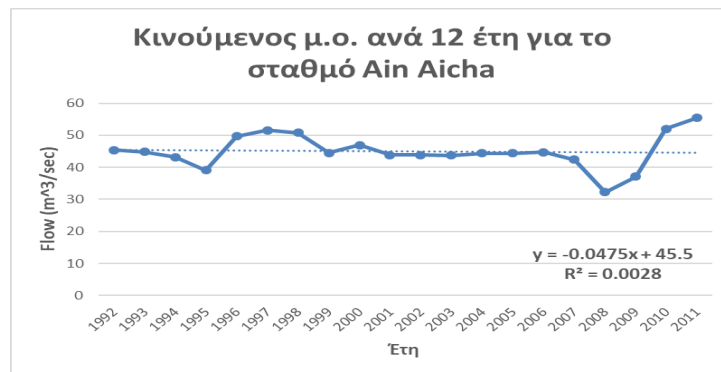
Εικ.Π74: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 12 έτη του σταθμού El Kansera.



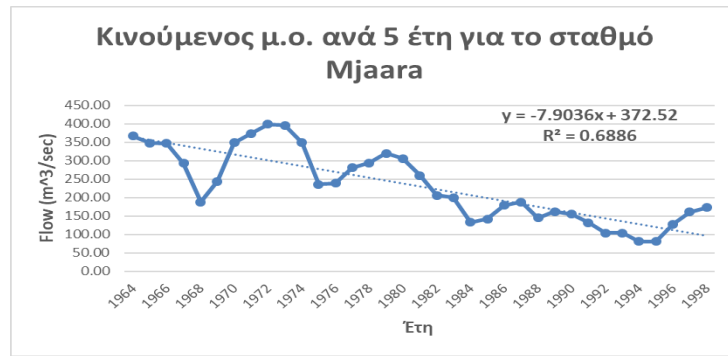
Εικ.Π75: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 5 έτη του σταθμού Aina Aicha.



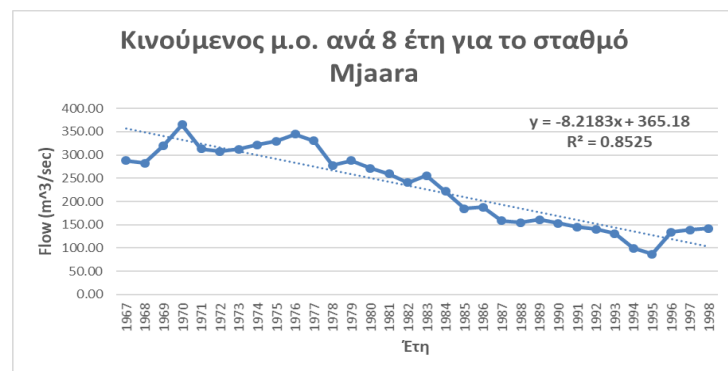
Εικ.Π76: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 8 έτη του σταθμού Aina Aicha.



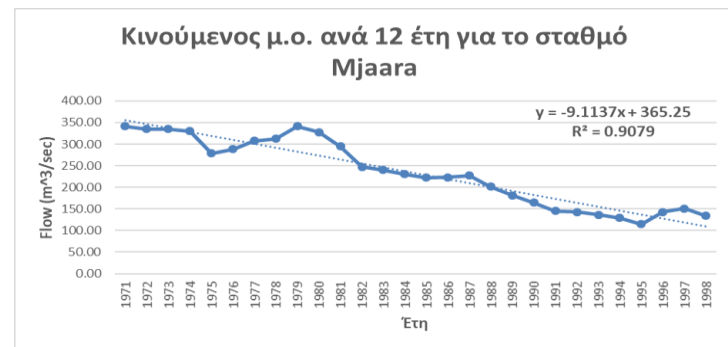
Εικ.Π77: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 12 έτη του σταθμού Aina Aicha.



Εικ.Π78: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 5 έτη του σταθμού Mjaara.



Εικ.Π79: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 8 έτη του σταθμού Mjaara.



Εικ.Π80: Γράφημα απεικόνισης κινούμενου μ. ο. ανά 12 έτη του σταθμού Mjaara.