



**Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών**

**Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής  
Μηχανικής**

**Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων**

**Διδακτορική Διατριβή**

Ανάπτυξη, Εφαρμογή και Αξιολόγηση Δεικτών Επικινδυνότητας Ξηρασίας και  
Ερημοποίησης για την Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων

Δημήτριος Εμμ. Τσεσμελής

*Αθήνα 2017*

## **Επταμελής Συμβουλευτική Επιτροπή**

### **Τριμελής**

Χρίστος Καραβίτης, Επίκουρος Καθηγητής (*Επιβλέπων*),  
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού  
Πανεπιστημίου Αθηνών.

Κωνσταντίνος Κοσμάς, Καθηγητής,  
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού  
Πανεπιστημίου Αθηνών.

Σταύρος Αλεξανδρής, Επίκουρος Καθηγητής,  
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού  
Πανεπιστημίου Αθηνών.

### **Μέλη**

Διονύσιος Ασημακόπουλος, Καθηγητής,  
Σχολή Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Νικόλαος Μουστάκας, Καθηγητής,  
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού  
Πανεπιστημίου Αθηνών.

Ελπίδα Κολοκυθά, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια,  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Ιωάννης Αργυροκαστρίτης, Αναπληρωτής Καθηγητής,  
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού  
Πανεπιστημίου Αθηνών.

*Δύο τα εναντιώτατα ευβουλία είναι, τάχος τε και οργήν.  
Θουκυδίδης, 460-394 π.Χ.*

*Εν οργή μήτε τι λέγειν μήτε πράσσειν.  
Πυθαγόρας, 580-490 π.Χ.*

*Στην Αριάδνη, Sammy & Νάντια*





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διδακτορική εργασία έχει ως τομέα μελέτης την Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων (ΟΔΥΠ), βάσει των αρχών της οποίας δημιουργήθηκε ένα εργαλείο (δείκτης) για την αναγνώριση των ξηρασιών και των τρωτών περιοχών, καθώς και τη σύνδεση της τρωτότητας στην ξηρασία και την ερημοποίηση. Η Ελλάδα παρουσιάζει συχνά φαινόμενα ξηρασίας, τυχαία και περιοδικά. Αυτό οφείλεται στη χωροχρονική κατανομή των κατακρημνισμάτων, δηλαδή στη διαδοχή των υγρών (Οκτώβριος-Μάρτιος) και των ξηρών περιόδων (Απρίλιος-Σεπτέμβριος). Αν δεν σημειωθούν βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια των υγρών περιόδων τότε ενδέχεται να δημιουργηθούν προβλήματα στη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος απαιτείται τακτική παρατήρηση και επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων, αλλά και ταυτόχρονη εφαρμογή του προληπτικού σχεδιασμού. Ένας τρόπος πρόληψης είναι ο υπολογισμός απλών και σύνθετων δεικτών ξηρασίας μιας περιοχής ή μιας χώρας για την έγκαιρη αναγνώριση του σχετικού προβλήματος. Σε αυτό το πλαίσιο, παρουσιάζεται η ανάπτυξη και η δημιουργία ενός σύνθετου δείκτη που αποτελείται από έξι υπο-δείκτες και συγκεκριμένα από τους υπο-δείκτες κατηγοριοποιημένα SPI6 (cSPI6 και cSPI12), Ζήτηση (Demand), Εφοδιασμός (Supply), Επιπτώσεις (Impacts) και Υποδομές στους Υδατικούς πόρους (Infrastructure), έτσι οι υπο-δείκτες του Standardized Drought Vulnerability Index (SDVI) σχετίζονται με όλες τις πτυχές μιας ξηρασίας (μετεωρολογική, αγροτική, υδρολογική και κοινωνικοοικονομική). Συνυπολογίζοντας όλα τα παραπάνω, εκτιμάται η τρωτότητα σε ένα σημείο ή μια περιοχή. Έπειτα, εξετάστηκε η σχέση των υπο-δεικτών και αναπτύχθηκαν συντελεστές βαρύτητας με στατιστικές και εμπειρικές μεθόδους. Ο σύνθετος δείκτης εφαρμόστηκε σε διάφορες συνθήκες (σενάρια, πραγματικές και υποθετικές τιμές) και διαφορετικές περιοχές (Ελλάδα και Νοτιοανατολική Ευρώπη με τη χρήση δεδομένων από 324 μετεωρολογικούς σταθμούς και περίοδο τουλάχιστον 30 ετών). Η αρχική υπόθεση του SDVI με ίδια βάρη και η μέθοδος των κύριων συνιστωσών δείχνουν ότι προσεγγίζουν καλύτερα την τρωτότητα. Στην συνέχεια, εξετάζεται εάν υπάρχει σύνδεση των δύο διαδικασιών τρωτότητας στην ξηρασία και τρωτότητας στην ερημοποίηση. Για τη συσχέτιση αυτή χρειάστηκε να γίνει όμοια κατηγοριοποίηση και των σύνθετων δεικτών σε 3 κλάσεις (χαμηλή, μέτρια και υψηλή). Με βάση αυτή την παραδοχή, εμφανίστηκε μία σχέση μεταξύ τους, της οποίας η εφαρμογή θα ήταν δόκιμο να εξεταστεί και σε άλλες περιοχές.

Τέλος, αναλύθηκαν οι δείκτες και των δύο διαδικασιών και δημιουργήθηκε ένας σύνθετος δείκτης που εμφανίζει συνδυαστικά την υδατική και εδαφική υποβάθμιση μιας περιοχής έχοντας, επίσης, τη δυνατότητα να τις εμφανίσει και ξεχωριστά. Οι δείκτες που περιλαμβάνονται στην τελική εξίσωση είναι αυτοί της Ξηρότητας (Aridity), της Ζήτησης (Drought Demand), των Επιπτώσεων από την ξηρασία (Drought Impacts), της Αντοχής στην ξηρασία (Drought Resistance), των Υποδομών στους υδατικούς πόρους (Infrastructure), της Έντασης Χρήσης Γης (Land use intensity), του Μητρικού Υλικού (Parent Material), της Φυτοκάλυψης (Plant Cover), των Βροχοπτώσεων (Rainfall), της Κλίσης (Slope) και της Σύστασης του Εδάφους (Soil Texture).

**Λέξεις Κλειδιά:** Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Διαχείριση Ξηρασιών, Προληπτικός Σχεδιασμός, Τρωτότητα στη Ξηρασία, Τρωτότητα στην Ερημοποίησης, Σύνθετοι Δείκτες, Υδατική & Εδαφική Υποβάθμιση.

## ABSTRACT

The present work refers to the implementation of the integrated water resources management methodology for the development of a tool in the form of an index for the recognition of droughts and pertinent vulnerable areas. Such an attempt is further expanded in an effort to produce the connection of vulnerability to drought with that to desertification. Greece is sensitive to drought phenomena (random and periodical). This is a consequence of predominant spatial and temporal distribution of precipitation in the area, expressed with the existing climatic succession of wet (October-March) and dry periods (April-September). Specifically, lower precipitation values during the wet periods could cause serious issues in the water resources availability. Regular observation and processing of meteorological data as well as concurrent application of contingency planning are necessary in order to deal with such issues. Early recognition and possible prevention could be achieved through the estimation of simple and composite drought indices of an area. In this context, the development of a composite index was presented, that included six indicators, namely categorized SPI (cSPI6 and cSPI12), Demand, Supply, Impacts and Infrastructures. The Standardized Drought Vulnerability Index is attempting to relate with all the aspects of drought (meteorological, agricultural, hydrological and socio-economic) and provide an estimation procedure. Thereafter, the relation between the indicators was examined and weights with statistical and empirical methods were developed. The composite index was implemented in various conditions (existing, real and artificial generated data for scenarios testing) and in different areas (Greece and South Eastern Europe with data from 324 meteorological stations for a period of more than 30 years). The initial hypothesis of equal weighting and the method of principal components expressed the vulnerability estimation more effectively. Furthermore, it was analyzed whether there was a correlation between drought and desertification vulnerability. To associate these attempts, a similar classification of these composite indices into three classes (low, medium and high) was necessary. Based on this assumption a relationship between drought and desertification vulnerability was surfaced. Finally, the indicators of both procedures were analyzed and a composite index was created, which shows the water resources and soil degradation of a region. The indicators that have occurred in the final equation are Aridity, Water Demand, Drought Impacts, Drought Resistance, Water Resources Infrastructure, Land Use Intensity, Parent Material, Rainfall, Slope and Soil Texture. All in all, it would be appropriate for further research to implement this methodology in other regions worldwide.

**Keywords:** Integrated Water Resources Management, Drought Management, Contingency Planning, Drought Vulnerability, Desertification Vulnerability, Composite Index, Water & Soil Degradation.

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

AAFC	Agriculture and Agri-Food Canada
AHP	Analytic Hierarchy Process
AWHC	Available Water Holding Capacity
BGI	Bagnouls - Gausson Index
cSPI	Classified Standardized Precipitation Index
CQI	Climate Quality Index
DEM	Digital Elevation Model
DHI	Danish Hydraulic Institute
DMCSEE	Drought Management Centre for Southeastern Europe
EEA	Europe's Environment Assessment
ESA	Environmentally Sensitive Areas
EW	Equal Weights
FAO	Food and Agriculture Organization
GIS	Geographical Information System
IDW	Inverse Distance Weighting
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
PCA	Principal Components Analysis
MCA	Multiple correspondence analysis
MEDALUS	Mediterranean Desertification and Land Use
MQI	Management Quality Index
NRSS	Natural Conservation Service
SDVI	Standardized Drought Vulnerability Index
SPI	Standardized Precipitation Index
SQI	Soil Quality Index
SWDI	Soil & Water Degradation Index
UN	United Nations
UNEP	United Nations Environment Programme
VQI	Vegetation Quality Index
WMO	World Meteorological Organization

## ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΓΓΛΙΚΗΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Αβεβαιότητα	Uncertainty
Ανακύκλωση και Επαναχρησιμοποίηση Νερού	Water Recycling and Reuse
Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών	Principal Component Analysis
Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία	Analytic Hierarchy Process
Απλοί Δείκτες	Indicators
Απορροή	Runoff
Βάση Δεδομένων	Database
Βασική απορροή	Base flow
Βροχόπτωση	Rainfall
Γεωγραφικά Πληροφορικά Συστήματα	Geographical Information Systems
Δείκτες Απόδοσης	Performance Indicators
Δείκτης Έντασης της Ξηρασίας Palmer	Palmer Drought Severity Index
Δείκτης Κανονικοποιημένης Βροχόπτωσης	Standardized Precipitation Index
Δείκτης της Υγρασίας Καλλιεργειών	Crop Moisture Index
Διαπνοή	Transpiration
Διαχείριση των Υδατικών Πόρων	Water Resources Management
Διαχειριστικό Πρόβλημα	Managerial Problem
Διεύθυνση	Command
Διήθηση	Infiltration
Έλεγχος	Control
Έλλειμμα Νερού	Water Shortage
Έλλειψη Νερού	Water Scarcity
Εξάτμιση	Evaporation
Εξέλιξη	Evolution
Επιφάνεια Επικοινωνίας με τον χρήστη	User Interface
Επικινδυνότητα	Risk
Επιπτώσεις από την ξηρασία	Drought impacts
Ερημοποίηση	Desertification
Ευελξίας	Flexibility
Εφοδιασμός Ύδατος	Water Supply
Ζήτηση Νερού	Water Demand
Θετικός Ανατροφοδοτισμός	Positive Feedback
Κανονικοποίηση	Normalization
Κατακρημνίσματα	Precipitation
Κατανομή Ίσου Βάρους - Ισοστάθμιση	Equal Weighting
Κατάταξη	Ranking
Κατηγοριοποιημένη Κλίμακα	Categorical scale
Κατώφλι	Threshold
Κλειστά Συστήματα	Closed Systems

Κοινωνική Τρωτότητα	Social Vulnerability
Κοινωνικό - Οικολογικό Σύστημα	Social - Ecological System
Κρίσιμο Σημείο	Critical Point
Λήπτες των Αποφάσεων	Decision Makers
Λήψη Αποφάσεων	Decision Making
Λόγος Συνοχής	Consistency Ratio
Μελέτη των Υποσυστημάτων	Study of Subsystems
Ξηρασία	Drought
Ξηρότητα	Aridity
Οικονομική Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών	United Nations Economic Commission
Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων	Integrated Water Resources Management
Ολοκλήρωση των Αποτελεσμάτων	Integration of Results
Οργάνωση	Organization
Περιβαλλοντική Τρωτότητα	Environmental Vulnerability
Περιβαλλοντικές Επιστήμες	Environmental Sciences
Περιγραφή του Συστήματος	System Description
Περιγραφικοί Δείκτες	Descriptive Indicators
Πλημμύρα	Flood
Πληροφοριακά Συστήματα Υπολογιστών	Computer Information Systems
Πολύπλοκα Προσαρμοζόμενα Συστήματα	Complex Adaptive Systems
Πολυπλοκότητα	Complexity
Προσαρμοζόμενη Διαχείριση	Adaptive Management
Προσαρμοστικότητα	Adaptability
Στάθμιση	Weighting
Συμμετοχή του Κοινού	Public Participation
Συνδυασμένη Ανάλυση	Conjoint Analysis
Σύνθετοι Δείκτες	Composite Indicators
Συσσωμάτωση	Aggregation
Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων	Decision Support Systems
Σχεδιασμός	Planning
Τρωτότητα	Vulnerability
Τυποποίηση	Standardization
Υγρασία	Moisture
Υδατικό Διαμέρισμα	River Basin District
Υδατική Καταπόνηση	Water Stress
Υδρολογικός Κύκλος	Hydrologic Cycle / Water Cycle
Φυσικά Συστήματα	Natural Systems





## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	5
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	9
ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΓΓΛΙΚΗΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ.....	10
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	13
ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> : ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> : ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	33
2.1. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ .....	33
2.2. ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ.....	36
2.3. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ.....	42
2.4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ .....	44
2.4.1. Ορισμοί Ξηρασίας.....	48
2.5. ΑΙΤΙΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ .....	49
2.6. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ .....	54
2.7. ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΞΗΡΑΣΙΩΝ .....	58
2.8. ΔΕΙΚΤΕΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ .....	71
2.9. ΕΡΗΜΟΠΟΙΗΣΗ .....	72
2.9.1. Ορισμός Ερημοποίησης.....	72
2.9.2. Κύριες Αιτίες της Ερημοποίησης .....	75
2.9.3. Η Ερημοποίηση στην Αφρικανική Ήπειρο .....	77
2.9.4. Η Ερημοποίηση στην Ασιατική Ήπειρο. ....	78
2.9.5. Η Ερημοποίηση στην Αυστραλία. ....	79
2.9.6. Η Ερημοποίηση στη Βόρεια Αή .....	80
2.9.7. Η Ερημοποίηση στη Νότια Αμερική. ....	83
2.9.8. Η Ερημοποίηση στην Ευρώπη. ....	85
2.10. ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ.....	87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	93

3.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	93
3.2. ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ .....	96
3.3. ΠΡΩΤΟΤΥΠΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ .....	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> : ΑΝΑΠΤΥΞΗ SDVI & ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ESA .....	99
4.1. SDVI – ΙΣΟΒΑΡΗΣ ΣΧΕΣΗ (EQUAL WEIGHTING) .....	99
4.2. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΒΑΡΩΝ ΤΟΥ SDVI .....	106
4.2.1. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (PCA) .....	111
4.2.2. Ανάλυση Πολλαπλών Συνιστωσών (MCA).....	112
4.2.3. Η Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων (AHP).....	113
4.2.4. Επαλήθευση της Κατηγοριοποίησης του SDVI.....	114
4.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ESA.....	117
4.3.1. Δείκτης της Ποιότητας του Εδάφους.....	119
4.3.2. Δείκτης της Ποιότητας του Κλίματος.....	122
4.3.3. Δείκτης της Ποιότητας της Βλάστησης.....	124
4.3.4. Δείκτης Ποιότητας Πολιτικών Διαχείρισης.....	127
4.3.5. Υπολογισμός του Δείκτη ESA.....	128
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ SDVI - ESA.....	130
5.1. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ SDVI <sub>EW</sub> ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ.....	130
5.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ SDVI <sub>EW</sub> ΣΤΗΝ Ν. Α. ΕΥΡΩΠΗ .....	139
5.3. ΧΩΡΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ SDVI ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ .....	142
5.3.1. Υπολογισμός των cSPI6 & cSPI12.....	142
5.3.2. Υπολογισμός του Εφοδιασμού και της Ζήτησης .....	145
5.3.3. Υπολογισμός των Υποδομών .....	155
5.3.4. Υπολογισμός των Επιπτώσεων .....	156
5.4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ESA ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ .....	157
5.4.1. Υπολογισμός του Δείκτης της Ποιότητας του Εδάφους .....	158
5.4.2. Υπολογισμός του Δείκτης της Ποιότητας του Κλίματος .....	160
5.4.3. Υπολογισμός του Δείκτης της Ποιότητας της Βλάστησης .....	162
5.4.4. Υπολογισμός του Δείκτης της Ποιότητας της Διαχείρισης .....	164
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup> : ΣΧΕΣΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΡΗΜΟΠΟΙΗΣΗΣ - ΑΝΑΠΤΥΞΗ SWDI.....	166

6.1. ΣΧΕΣΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ - ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΡΗΜΟΠΟΙΗΣΗΣ .....	166
6.2. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ (SWDI) .....	173
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 <sup>ο</sup> : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	181
7.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ SDV <sub>I<sub>EW</sub></sub> ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ .....	181
7.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ SDV <sub>I<sub>EW</sub></sub> ΣΤΗΝ Ν. Α. ΕΥΡΩΠΗ .....	184
7.2.1. Σενάριο Α: Υψηλή Ζήτηση Ύδατος .....	188
7.2.2. Σενάριο Β: Χαμηλή ζήτηση ύδατος .....	190
7.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΩΡΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ SDVI ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ .....	193
7.3.1. Ανάλυση Αβεβαιότητας των Διαφόρων Μεθόδων του SDVI .....	195
7.3.2. Σύγκριση των Μεθόδων Υπολογισμού του SDVI για τον Αύγουστο του 1990 .....	197
7.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ESA ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ .....	198
7.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ SWDI ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ. ....	200
7.6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ .....	203
7.7 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΙΑΣ .....	204
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 <sup>ο</sup> : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	209
8.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΣΤΟΥΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥΣ & ΕΔΑΦΙΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ .....	209
8.2. ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑΣ .....	215
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 <sup>ο</sup> : ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	217
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	224
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ – SDV <sub>I<sub>EW</sub></sub> .....	249
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΧΩΡΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ .....	280
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ SPI 6 & 12 .....	302
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΩΝ ΜΕ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΙΜΩΝ ΤΙΜΩΝ .....	332
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI: ΧΩΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	341
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VII: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΙΔΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΒΑΡΗ ΤΟΥ SDVI .....	355

**Κατάλογος Διαγραμμάτων**

Διάγραμμα 5. 1. Μηνιαία κλιματικά δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας. ....	143
Διάγραμμα 5. 2. Υπολογισμός των SPI6 & SPI12 για τον σταθμό της Ρόδου. ....	145
Διάγραμμα Ι. 1. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Α.Φραγκίστα.....	249
Διάγραμμα Ι. 2. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Ακτίου .....	249
Διάγραμμα Ι. 3. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Αλεξανδρούπολης .....	250
Διάγραμμα Ι. 4. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Αγκιάλου .....	250
Διάγραμμα Ι. 5. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Ανδραβίδας .....	250
Διάγραμμα Ι. 6. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Άραξου .....	251
Διάγραμμα Ι. 7. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Αρδάναβου .....	251
Διάγραμμα Ι. 8. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Άργους.....	251
Διάγραμμα Ι. 9. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Άρτας .....	252
Διάγραμμα Ι. 10. Βροχόπτωση για τον σταθμό των Χανίων .....	252
Διάγραμμα Ι. 11. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Χίου .....	252
Διάγραμμα Ι. 12. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Χρυσούπολης.....	253
Διάγραμμα Ι. 13. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Ηρακλείου .....	253
Διάγραμμα Ι. 14. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Ιεράπετρας .....	253
Διάγραμμα Ι. 15. Βροχόπτωση για τον σταθμό των Ιωαννίνων .....	254
Διάγραμμα Ι. 16. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Καλαμάτας.....	254
Διάγραμμα Ι. 17. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Καστοριάς.....	254
Διάγραμμα Ι. 18. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Καστρακίου .....	255
Διάγραμμα Ι. 19. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Κέρκυρας .....	255
Διάγραμμα Ι. 20. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Κω .....	255
Διάγραμμα Ι. 21. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Κοζάνης.....	256
Διάγραμμα Ι. 22. Βροχόπτωση για τον σταθμό των Κρεμαστών.....	256
Διάγραμμα Ι. 23. Βροχόπτωση για τον σταθμό των Κυθήρων.....	256
Διάγραμμα Ι. 24. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Λαμίας .....	257
Διάγραμμα Ι. 25. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Λάρισας .....	257
Διάγραμμα Ι. 26. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Λέσβου .....	257
Διάγραμμα Ι. 27. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Λήμνου .....	258
Διάγραμμα Ι. 28. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Μεθώνης.....	258
Διάγραμμα Ι. 29. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Μήλου .....	258
Διάγραμμα Ι. 30. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Μοναστηρακίου .....	259
Διάγραμμα Ι. 31. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Νάξου .....	259
Διάγραμμα Ι. 32. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Πλαστήρα.....	259
Διάγραμμα Ι. 33. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Πολυνερίου .....	260
Διάγραμμα Ι. 34. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Πύργου .....	260
Διάγραμμα Ι. 35. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Ρόδου.....	260

Διάγραμμα Ι. 36. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Σάμου .....	261
Διάγραμμα Ι. 37. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Σαντορίνης.....	261
Διάγραμμα Ι. 38. Βροχόπτωση για τον σταθμό των Σερρών.....	261
Διάγραμμα Ι. 39. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Σκύρου.....	262
Διάγραμμα Ι. 40. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Τανάγρας.....	262
Διάγραμμα Ι. 41. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Ταβρωπού.....	262
Διάγραμμα Ι. 42. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Θεσσαλονίκης.....	263
Διάγραμμα Ι. 43. Βροχόπτωση για τον σταθμό των Τρικάλων.....	263
Διάγραμμα Ι. 44. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Τρίπολης.....	263
Διάγραμμα Ι. 45. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Τυμπακίου.....	264
Διάγραμμα Ι. 46. Θερμοκρασία για τον σταθμό του Ακτίου .....	264
Διάγραμμα Ι. 47. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Αλεξανδρούπολης.....	265
Διάγραμμα Ι. 48. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Αγκιάλου .....	265
Διάγραμμα Ι. 49. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Ανδραβίδας.....	265
Διάγραμμα Ι. 50. Θερμοκρασία για τον σταθμό του Άραξου.....	266
Διάγραμμα Ι. 51. Θερμοκρασία για τον σταθμό του Άργους.....	266
Διάγραμμα Ι. 52. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Άρτας.....	267
Διάγραμμα Ι. 53. Θερμοκρασία για τον σταθμό των Χανίων.....	267
Διάγραμμα Ι. 54. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Χίου .....	267
Διάγραμμα Ι. 55. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Χρυσούπολης.....	268
Διάγραμμα Ι. 56. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Ελευσίνας.....	268
Διάγραμμα Ι. 57. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Φιλαδέλφειας.....	268
Διάγραμμα Ι. 58. Θερμοκρασία για τον σταθμό του Ελευσίνιας.....	269
Διάγραμμα Ι. 59. Θερμοκρασία για τον σταθμό του Ηρακλείου.....	269
Διάγραμμα Ι. 60. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Ιεράπετρας.....	270
Διάγραμμα Ι. 61. Θερμοκρασία για τον σταθμό των Ιωαννίνων.....	270
Διάγραμμα Ι. 62. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Καλαμάτας.....	270
Διάγραμμα Ι. 63. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Καστοριάς.....	271
Διάγραμμα Ι. 64. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Κέρκυρας.....	271
Διάγραμμα Ι. 65. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Κω.....	272
Διάγραμμα Ι. 66. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Κοζάνης.....	272
Διάγραμμα Ι. 67. Θερμοκρασία για τον σταθμό των Κυθήρων.....	272
Διάγραμμα Ι. 68. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Λαμίας.....	273
Διάγραμμα Ι. 69. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Λάρισας.....	273
Διάγραμμα Ι. 70. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Λήμνου.....	274
Διάγραμμα Ι. 71. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Μεθώνης.....	274
Διάγραμμα Ι. 72. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Μήλου.....	275
Διάγραμμα Ι. 73. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Νάξου.....	275

Διάγραμμα Ι. 74. Θερμοκρασία για τον σταθμό του Πύργου .....	275
Διάγραμμα Ι. 75. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Ρόδου .....	276
Διάγραμμα Ι. 76. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Σάμου .....	276
Διάγραμμα Ι. 77. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Σαντορίνης .....	276
Διάγραμμα Ι. 78. Θερμοκρασία για τον σταθμό των Σερρών .....	277
Διάγραμμα Ι. 79. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Σκύρου .....	277
Διάγραμμα Ι. 80. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Τανάγρας.....	278
Διάγραμμα Ι. 81. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Θεσσαλονίκης .....	278
Διάγραμμα Ι. 82. Θερμοκρασία για τον σταθμό των Τρικάλων .....	278
Διάγραμμα Ι. 83. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Τρίπολης.....	279
Διάγραμμα Ι. 84. Θερμοκρασία για τον σταθμό του Τυμπακίου .....	279
Διάγραμμα ΙΙ. 1. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό του Αγρινίου (1970 – 1997). .....	280
Διάγραμμα ΙΙ. 2. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό του Αγρινίου (1970 – 1997). .....	280
Διάγραμμα ΙΙ. 3. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Αλεξανδρούπολης (1970 – 1997). .....	281
Διάγραμμα ΙΙ. 4. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Αλεξανδρούπολης (1970 – 1997). .....	281
Διάγραμμα ΙΙ. 5. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό του Αργοστολίου (1970 – 1997). .....	282
Διάγραμμα ΙΙ. 6. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό του Αργοστολίου (1970 – 1997). .....	282
Διάγραμμα ΙΙ. 7. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό του Αστεροσκοπείου (1970 – 1997). .....	283
Διάγραμμα ΙΙ. 8. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό του Αστεροσκοπείου (1970 – 1997). .....	283
Διάγραμμα ΙΙ. 9. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό των Χανίων (1970 – 1997). .....	284
Διάγραμμα ΙΙ. 10. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό του Αστεροσκοπείου (1970 – 1997). .....	284
Διάγραμμα ΙΙ. 11. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό του Διδυμοτείχου (1970 – 1995). .....	285
Διάγραμμα ΙΙ. 12. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό του Διδυμοτείχου (1970 – 1995). .....	285
Διάγραμμα ΙΙ. 13. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό του Ελληνικού (1970 – 1997). .....	286
Διάγραμμα ΙΙ. 14. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό του Ελληνικού (1970 – 1997). .....	286
Διάγραμμα ΙΙ. 15. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό του Ηρακλείου (1970 – 1997). .....	287
Διάγραμμα ΙΙ. 16. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό του Ηρακλείου (1970 – 1997). .....	287
Διάγραμμα ΙΙ. 17. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό των Ιωαννίνων (1970 – 1997). .....	288
Διάγραμμα ΙΙ. 18. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό των Ιωαννίνων (1970 – 1997). .....	288

Διάγραμμα ΙΙ. 19. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό του Κάτω Νευροκοπίου (1970 – 1996). .....	289
Διάγραμμα ΙΙ. 20. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό του Κάτω Νευροκοπίου (1970 – 1996). .....	289
Διάγραμμα ΙΙ. 21. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Κέρκυρας (1970 – 1997). .....	290
Διάγραμμα ΙΙ. 22. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Κέρκυρας (1970 – 1996). .....	290
Διάγραμμα ΙΙ. 23. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Κοζάνης (1970 – 1997). .....	291
Διάγραμμα ΙΙ. 24. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Κοζάνης (1970 – 1996). .....	291
Διάγραμμα ΙΙ. 25. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό των Κυθήρων (1970 – 1997). .....	292
Διάγραμμα ΙΙ. 26. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό των Κυθήρων (1970 – 1996). .....	292
Διάγραμμα ΙΙ. 27. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Λάρισας (1970 – 1997). .....	293
Διάγραμμα ΙΙ. 28. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Λάρισας (1970 – 1996). .....	293
Διάγραμμα ΙΙ. 29. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Λέσβου (1970 – 1997). .....	294
Διάγραμμα ΙΙ. 30. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Λέσβου (1970 – 1996). .....	294
Διάγραμμα ΙΙ. 31. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Μήλου (1970 – 1997). .....	295
Διάγραμμα ΙΙ. 32. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Μήλου (1970 – 1996). .....	295
Διάγραμμα ΙΙ. 33. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Νάξου (1970 – 1997). .....	296
Διάγραμμα ΙΙ. 34. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Νάξου (1970 – 1996). .....	296
Διάγραμμα ΙΙ. 35. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Ρόδου (1970 – 1997). .....	297
Διάγραμμα ΙΙ. 36. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Ρόδου (1970 – 1996). .....	297
Διάγραμμα ΙΙ. 37. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Σάμου (1970 – 1997). .....	298
Διάγραμμα ΙΙ. 38. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Σάμου (1970 – 1996). .....	298
Διάγραμμα ΙΙ. 39. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Σκύρου (1970 – 1997). .....	299
Διάγραμμα ΙΙ. 40. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Σκύρου (1970 – 1996). .....	299
Διάγραμμα ΙΙ. 41. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Θεσσαλονίκης (1970 – 1997). .....	300
Διάγραμμα ΙΙ. 42. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Θεσσαλονίκης (1970 – 1996). .....	300
Διάγραμμα ΙΙ. 43. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Τρίπολης (1970 – 1997). .....	301



Διάγραμμα II. 44. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Τρίπολης (1970 – 1996).....	301
Διάγραμμα III. 1. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Α. Φραγκίστα. ....	302
Διάγραμμα III. 2. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Α. Φραγκίστα. ....	302
Διάγραμμα III. 3. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Ακτίου. ....	303
Διάγραμμα III. 4. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Ακτίου. ....	303
Διάγραμμα III. 5. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Αλεξανδρούπολης. ....	303
Διάγραμμα III. 6. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Αλεξανδρούπολης. ....	304
Διάγραμμα III. 7. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Αγκιάλου. ....	304
Διάγραμμα III. 8. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Αγκιάλου. ....	304
Διάγραμμα III. 9. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Αγκιάλου. ....	305
Διάγραμμα III. 10. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Αγκιάλου. ....	305
Διάγραμμα III. 11. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Άραξου. ....	305
Διάγραμμα III. 12. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Άραξου. ....	306
Διάγραμμα III. 13. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Αρδάνοβου. ....	306
Διάγραμμα III. 14. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Αρδάνοβου. ....	306
Διάγραμμα III. 15. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Άργος. ....	307
Διάγραμμα III. 16. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Άργος. ....	307
Διάγραμμα III. 17. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Άρτας. ....	307
Διάγραμμα III. 18. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Άρτας. ....	308
Διάγραμμα III. 19. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό των Χανίων. ....	308
Διάγραμμα III. 20. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό των Χανίων. ....	308
Διάγραμμα III. 21. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Χίου. ....	309
Διάγραμμα III. 22. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Χίου. ....	309
Διάγραμμα III. 23. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Χρυσούπολης. ....	309
Διάγραμμα III. 24. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Χρυσούπολης. ....	310
Διάγραμμα III. 25. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Ηρακλείου. ....	310
Διάγραμμα III. 26. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Ηρακλείου. ....	310
Διάγραμμα III. 27. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Ιεράπετρας. ....	311
Διάγραμμα III. 28. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Ιεράπετρας. ....	311
Διάγραμμα III. 29. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό των Ιωαννίνων. ....	311

Διάγραμμα III. 30. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό των Ιωαννίνων. .....	312
Διάγραμμα III. 31. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Καλαμάτας. ....	312
Διάγραμμα III. 32. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Καλαμάτας. .....	312
Διάγραμμα III. 33. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Καστοριάς. ....	313
Διάγραμμα III. 34. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Καστοριάς. .....	313
Διάγραμμα III. 35. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Καστρακίου. ....	313
Διάγραμμα III. 36. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Καστρακίου. .....	314
Διάγραμμα III. 37. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Κέρκυρας. ....	314
Διάγραμμα III. 38. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Κέρκυρας.	314
Διάγραμμα III. 39. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Κω. ....	315
Διάγραμμα III. 40. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Κω. ....	315
Διάγραμμα III. 41. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Κοζάνης. ....	315
Διάγραμμα III. 42. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Κοζάνης....	316
Διάγραμμα III. 43. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό των Κρεμαστών. ....	316
Διάγραμμα III. 44. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό των Κρεμαστών. .....	316
Διάγραμμα III. 45. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό των Κυθήρων. ....	317
Διάγραμμα III. 46. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό των Κυθήρων.	317
Διάγραμμα III. 47. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Λαμίας.....	317
Διάγραμμα III. 48. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Λαμίας. ....	318
Διάγραμμα III. 49. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Λάρισας.....	318
Διάγραμμα III. 50. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Λάρισας. ..	318
Διάγραμμα III. 51. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Λέσβου.....	319
Διάγραμμα III. 52. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Λέσβου. ....	319
Διάγραμμα III. 53. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Λήμνου.....	319
Διάγραμμα III. 54. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Λήμνου. ....	320
Διάγραμμα III. 55. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Μεθώνης.....	320
Διάγραμμα III. 56. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Μεθώνης.	320
Διάγραμμα III. 57. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Μήλου.....	321
Διάγραμμα III. 58. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Μήλου. ....	321
Διάγραμμα III. 59. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Νάξου.....	321
Διάγραμμα III. 60. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Νάξου. ....	322
Διάγραμμα III. 61. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Περγουλίου.....	322

Διάγραμμα III. 62. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Πετρουλίου.	322
Διάγραμμα III. 63. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Πλαστήρα.	323
Διάγραμμα III. 64. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Πλαστήρα.	323
Διάγραμμα III. 65. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Πύργου.	323
Διάγραμμα III. 66. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Πύργου.	324
Διάγραμμα III. 67. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Ρόδου.	324
Διάγραμμα III. 68. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Ρόδου.	324
Διάγραμμα III. 69. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Σάμου.	325
Διάγραμμα III. 70. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Σάμου.	325
Διάγραμμα III. 71. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Σαντορίνη.	325
Διάγραμμα III. 72. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Σαντορίνη.	326
Διάγραμμα III. 73. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό των Σερρών.	326
Διάγραμμα III. 74. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό των Σερρών.	326
Διάγραμμα III. 75. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Σκύρου.	327
Διάγραμμα III. 76. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Σκύρου.	327
Διάγραμμα III. 77. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Τανάγρας.	327
Διάγραμμα III. 78. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Τανάγρας.	328
Διάγραμμα III. 79. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Ταυρωπού.	328
Διάγραμμα III. 80. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Ταυρωπού.	328
Διάγραμμα III. 81. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Θεσσαλονίκης.	329
Διάγραμμα III. 82. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Θεσσαλονίκης.	329
Διάγραμμα III. 83. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό των Τρικάλων.	329
Διάγραμμα III. 84. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό των Τρικάλων.	330
Διάγραμμα III. 85. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Τρίπολης.	330
Διάγραμμα III. 86. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Τρίπολης.	330
Διάγραμμα III. 87. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Τυμπακίου.	331
Διάγραμμα III. 88. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Τυμπακίου.	331
Διάγραμμα IV. 1. Σύγκριση σταθμού της Πεντέλης με τις εκτιμώμενες τιμές.	332
Διάγραμμα IV. 2. Σύγκριση σταθμού της Μεσοχωράς με τις εκτιμώμενες τιμές.	332
Διάγραμμα IV. 3. Σύγκριση σταθμού του Λάδωνα με τις εκτιμώμενες τιμές.	333
Διάγραμμα IV. 4. Σύγκριση σταθμού της Νάξου με τις εκτιμώμενες τιμές.	333
Διάγραμμα IV. 5. Σύγκριση σταθμού του Πηνιού με τις εκτιμώμενες τιμές.	334
Διάγραμμα IV. 6. Σύγκριση σταθμού του Εύηνου με τις εκτιμώμενες τιμές.	334
Διάγραμμα IV. 7. Σύγκριση σταθμού του Μόρνου με τις εκτιμώμενες τιμές.	335

Διάγραμμα IV. 8. Σύγκριση σταθμού των Γρεβενών με τις εκτιμώμενες τιμές.....	335
Διάγραμμα IV. 9. Σύγκριση σταθμού του Αλιάκμονα με τις εκτιμώμενες τιμές. ....	336
Διάγραμμα IV. 10. Σύγκριση σταθμού του Αράχθου με τις εκτιμώμενες τιμές. ....	336
Διάγραμμα IV. 11. Σύγκριση σταθμού του Βουραϊκού με τις εκτιμώμενες τιμές. ....	337
Διάγραμμα IV. 12. Σύγκριση σταθμού του Σελινούντα με τις εκτιμώμενες τιμές.....	337
Διάγραμμα IV. 13. Σύγκριση σταθμού του Αωού με τις εκτιμώμενες τιμές.....	338
Διάγραμμα IV. 2. Σύγκριση σταθμού του Αγγίτη με τις εκτιμώμενες τιμές. ....	338
Διάγραμμα IV. 15. Σύγκριση σταθμού της Νάουσας με τις εκτιμώμενες τιμές. ....	339
Διάγραμμα IV. 16. Σύγκριση σταθμού του Λούρου με τις εκτιμώμενες τιμές. ....	339
Διάγραμμα IV. 17. Σύγκριση σταθμού του Βαρθολομαίου με τις εκτιμώμενες τιμές.....	340

### **Κατάλογος Εικόνων**

Εικόνα 2. 1. Υδρολογικός Κύκλος (NASA, n.d.). ....	37
Εικόνα 2. 2. Τυπική δομή της διαδικασίας προσομοίωσης (Καραβίτης, 2005).....	39
Εικόνα 2. 3. Τυπολογία των καταστάσεων έλλειψης νερού (Karavitis, 1992; Karavitis et al., 2014; Vlachos, 1982) .....	47
Εικόνα 2. 4. Ένα πλαίσιο αιτίου-αιτιατού ανάμεσα στη γένεση, τα χαρακτηριστικά, τις επιπτώσεις και τα μέτρα αντιμετώπισης της ξηρασίας. (adapted from AAFC, 2005; Τσεσμελής, 2010). ....	57
Εικόνα 2. 5. Ο Υδρο(παρα)λογικός Κύκλος (National Drought Mitigation Center, 1998). ....	59
Εικόνα 2. 6. Ο Υδρο(μεθοδο)λογικός Κύκλος τροποποιημένος από τον Υδροπαραλογικό Κύκλο. ....	59
Εικόνα 2. 7. Παγκόσμιος χάρτης τρωτότητας στην ερημοποίηση, (NRCSS, 1998). ....	76
Εικόνα 2. 8. Χάρτης του Σαχέλ (Wikipedia, 2014). ....	77
Εικόνα 2. 9. Περιοχή Ουλουρού στην Αυστραλία (Leopold, 2008). ....	80
Εικόνα 2. 10. Ερημοποιημένη περιοχή της Βόρειας Αμερικής (Antonov, 2014). ....	82
Εικόνα 2. 11. Αεροφωτογραφία από το φράγμα Ατσιμπάνια, Σάο Πάολο Βραζιλία (Jon Premosch, 2014). ....	84
Εικόνα 2. 12. Καλλιέργειες αμπελώνων σε επικλινή εδάφη στο Σαντιάγκο της Χιλής. ....	85
Εικόνα 2. 13. Χάρτης δυνητικού κινδύνου ερημοποίησης της Ελλάδας (Yassoglou, 1996). ....	86
Εικόνα 3. 1. Στάδια μελέτης και η σχέση των δεικτών μεταξύ τους.....	94
Εικόνα 3. 2. Διάγραμμα Venn όπου δείχνει τη σχέση μεταξύ των δεικτών της παρούσας εργασίας....	95
Εικόνα 3. 3. Αποτύπωση των υποθέσεων και των αλληλεξαρτήσεων της παρούσας διατριβής. ....	96
Εικόνα 4. 1. Ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης ξηρασίας.....	99
Εικόνα 4. 2. Η σχέση μεταξύ των υπο-δεικτών του SDVI και τις πτυχές της ξηρασίας (Karavitis et al., 2014).....	100
Εικόνα 4. 3. Ιστογράμματα συχνότητας για τους έξι υπο-δείκτες του SDVI. ....	110
Εικόνα 4. 4. Διάγραμμα κυρίων συνιστωσών PCA (Scree plot).....	111
Εικόνα 4. 5. Διάγραμμα πολλαπλών συνιστωσών MCA (Scree plot).....	112

Εικόνα 4. 6. Ιστόγραμμα συχνοτήτων του SDVI με ίσα βάρη. ....	114
Εικόνα 4. 7. Ιστόγραμμα συχνοτήτων του SDVI – PCA. ....	115
Εικόνα 4. 8. Ιστόγραμμα συχνοτήτων του SDVI – MCA. ....	116
Εικόνα 4. 9. Ιστόγραμμα συχνοτήτων του SDVI – AHP. ....	117
Εικόνα 4. 10. Ανάλυση του σύνθετου δείκτη ESA με τους επιμέρους υπο-δείκτες. ....	119
Εικόνα 5. 1. Ετήσιες βροχοπτώσεις των σταθμών Ελληνικού, Λέσβου, Ηρακλείου και Σάμου σε mm (Καραβίτης et al., 2015). ....	132
Εικόνα 5. 2. Σταθμούς και θέσεις που χρησιμοποιούνται (βουνά και επιλεγμένες περιοχές) (Karavitis et al., 2014). ....	133
Εικόνα 5. 3. Η συχνότητα εμφάνισης της ξηρασίας βάσει των δεδομένων του σταθμού της Σάμου (Καραβίτης et al., 2015). ....	134
Εικόνα 5. 4. SPI 6 και 12 Ιανουαρίου και Αυγούστου 1990 (Καραβίτης et al., 2015). ....	135
Εικόνα 5. 5. SPI 6 και 12 Ιανουαρίου και Αυγούστου 2007. ....	136
Εικόνα 5. 6. SPI 6 και SPI 12 Ιανουαρίου και Αυγούστου 2009. ....	138
Εικόνα 5. 7. Θέσεις μετεωρολογικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν (Karavitis et al., 2013). ....	140
Εικόνα 5. 8. SPI 6 και SPI 12 τον Αύγουστο του 2003 στην Ν.Α. Ευρώπη (Karavitis et al., 2013). ....	141
Εικόνα 5. 9. Χάρτης της περιοχής μελέτης, που διατίθεται τους μετεωρολογικούς και τους υδρομετρικούς σταθμούς. ....	151
Εικόνα 5. 10. Συσχέτιση μετρούμενης με προβλεπόμενης μέση μηνιαία απορροής (τιμές όλων των εξεταζόμενων περιπτώσεων). ....	152
Εικόνα 5. 11. Μέσος όρος ετήσιας βροχόπτωσης, μέσης θερμοκρασίας, εξατμοδιαπνοής αναφοράς και απορροής στην Ελλάδα (1971 - 1996). ....	153
Εικόνα 5. 12. Χάρτες για την διαθεσιμότητα του ύδατος. ....	154
Εικόνα 5. 13. Χάρτες εξατμοδιαπνοής πραγματικής και δυνητικής. ....	155
Εικόνα 5. 14. Χάρτες υποδομών στους υδατικούς πόρους. ....	156
Εικόνα 5. 15. Υπό-δείκτες του σύνθετου δείκτη SDVI για την χρονική κλίμακα Οκτώβριος 1983 – Σεπτέμβριος 1996. ....	157
Εικόνα 5. 16. Υπό-δείκτες για τον υπολογισμό του δείκτη ποιότητας του εδάφους. ....	159
Εικόνα 5. 17. Δείκτης ποιότητας του εδάφους. ....	160
Εικόνα 5. 18. Υπό-δείκτες για τον υπολογισμό του δείκτη ποιότητας του κλίματος. ....	161
Εικόνα 5. 19. Δείκτης ποιότητας του κλίματος. ....	162
Εικόνα 5. 20. Υπό-δείκτες για τον υπολογισμό του δείκτη ποιότητας της Βλάστησης. ....	163
Εικόνα 5. 21. Δείκτης ποιότητας της βλάστησης. ....	164
Εικόνα 5. 22. Υπό-δείκτες για τον υπολογισμό του δείκτη ποιότητας της διαχείρισης. ....	165
Εικόνα 5. 23. Δείκτης ποιότητας της διαχείρισης. ....	165
Εικόνα 6. 1. Χάρτες SDVI και ESA σύμφωνα με τη νέα κατηγοριοποίηση. ....	169
Εικόνα 6. 2. Ιστόγραμμα συχνοτήτων της διαφοράς του SDVI από τον ESA. ....	171
Εικόνα 6. 3. Αποτύπωση της διαφοράς του SDVI από τον ESA. ....	171

Εικόνα 6. 4. Διάγραμμα PCA (Scree plot).....	175
Εικόνα 6. 5. Ιστόγραμμα συχνοτήτων της κατηγοριοποίησης του SWDI. ....	178
Εικόνα 6. 6. Σχέση των υπο-δεικτών με τις συνιστώσες του σύνθετου δείκτη SWDI.....	179
Εικόνα 7. 1. Διαδικασία υπολογισμού του SDVI για τον Αύγουστο του 1990 στα διάφορα σημεία. ..	182
Εικόνα 7. 2. Οι χάρτες SDVI για Ιανουαρίου και Αυγούστου 1990 (Karavitis et al., 2014). ....	183
Εικόνα 7. 3. Οι χάρτες SDVI για Ιανουαρίου και Αυγούστου 2007 (Karavitis et al., 2014). ....	183
Εικόνα 7. 4. Οι χάρτες SDVI για Ιανουαρίου και Αυγούστου 2009 (Karavitis et al., 2014). ....	183
Εικόνα 7. 5. Ο SDVI για τον Αύγουστο 2003 στην περιοχή της Νότιο-Ανατολικής Ευρώπης (Karavitis et al., 2013).....	187
Εικόνα 7. 6. Ο SDVI για το Αύγουστος 2003 – σενάρια A και B στην περιοχή της Νότιο-Ανατολικής Ευρώπης (Karavitis et al., 2013).....	190
Εικόνα 7. 7. Ο SDVI για την χρονική κλίμακα Οκτώβριος 1983 – Σεπτέμβριος 1996. ....	194
Εικόνα 7. 8. Ο Διαφορά των μεθόδων υπολογισμού του SDVI για τον Αύγουστο του 1990. ....	197
Εικόνα 7. 9. Δείκτης Περιβαλλοντικά Ευαίσθητων Περιοχών (ESA).....	199
Εικόνα 7. 10. Αποτελέσματα του SWDI για τη χρονική περίοδο 10/1983-09/1996.....	200
Εικόνα 7. 11. Αποτελέσματα των διαδικασιών του SWDI για τη χρονική περίοδο 10/1983-09/1996.	201
Εικόνα 7. 12. Ιστόγραμμα συχνοτήτων των αποτελεσμάτων των σύνθετων δεικτών ανάλογα με τις κλάσεις του.....	201
Εικόνα 9. 1. Προτεινόμενη διάταξη SDVI για την παρακολούθηση μια περιοχής όσον αφορά την τρωτότητα στην ξηρασία .....	218
Εικόνα 9. 2. Προτεινόμενη διάταξη των δεικτών για την παρακολούθηση μια περιοχής όσον αφορά τις αναφερόμενες διαδικασίες.....	219
Εικόνα VI. 1. Εδαφολογικός χάρτης της Ελλάδας.....	342
Εικόνα VI. 2. Μέσος όρος ετήσια βροχόπτωσης από το 10/1970 έως 09/1996.....	342
Εικόνα VI. 3. Μέσος όρος μηνιαίων τιμών της βροχόπτωσης από 10/1970 έως 09/1996.....	343
Εικόνα VI. 4. Μέσος όρος ετήσια μέσης θερμοκρασίας από το 10/1970 έως 09/1996.....	344
Εικόνα VI. 5. Μέσος όρος μηνιαίων τιμών της μέσης θερμοκρασίας από 10/1970 έως 09/1996. ....	345
Εικόνα VI. 6. Ψηφιακό μοντέλου εδάφους. ....	346
Εικόνα VI. 7. Χωρική αποτύπωση της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας στο έδαφος. ....	347
Εικόνα VI. 8. Χωρική αποτύπωση της χρήσης γης για τη δεκαετία του 90.....	348
Εικόνα VI. 9. Μέσος όρος μηνιαίων τιμών της βασικής ροής από 10/1970 έως 09/1996. ....	349
Εικόνα VI. 10. Μέσος όρος μηνιαίων τιμών της απορροής από 10/1970 έως 09/1996.....	350
Εικόνα VI. 11. Μέσος όρος μηνιαίων τιμών της εξατμοδιαπνοής αναφοράς από 10/1970 έως 09/1996. ....	351
Εικόνα VI. 12. Μέσος όρος μηνιαίων τιμών της πραγματικής εξατμοδιαπνοής από 10/1970 έως 09/1996. ....	352
Εικόνα VI. 13. Μέσος όρος μηνιαίων τιμών της δυνητικής εξατμοδιαπνοής από 10/1970 έως 09/1996. ....	353

Εικόνα VI. 14. Μέσος όρος μηνιαίων τιμών της επαναπλήρωσης των υπόγειων υδάτων από 10/1970 έως 09/1996. ....	354
Εικόνα VII. 1. Δομή ερωτηματολογίου για την δημιουργία των συντελεστών .....	355

### **Κατάλογος Πινάκων**

Πίνακας 2. 1. Ορισμοί της Διαχείρισης Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος.....	35
Πίνακας 4. 1. Κατηγοριοποίηση ξηρασίας με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη SPI. ....	101
Πίνακας 4. 2. Κατηγοριοποίηση του cSPI από τον SPI.....	103
Πίνακας 4. 3. Κατηγοριοποίηση του δείκτη Εφοδιασμός Ύδατος. ....	104
Πίνακας 4. 4. Κατηγοριοποίηση του δείκτη Ζήτησης Ύδατος.....	104
Πίνακας 4. 5. Κατηγοριοποίηση του δείκτη Υποδομές.....	105
Πίνακας 4. 6. Κατηγοριοποίηση του δείκτη Επιπτώσεις.....	105
Πίνακας 4. 7. Κατηγορίες Τρωτότητας του δείκτη SDVI. ....	106
Πίνακας 4. 8. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των επιλεγμένων τεχνικών στάθμισης. ....	107
Πίνακας 4. 9. Πλεονεκτήματα Shapiro – δοκιμή Wilk ομαλότητα καθώς και Kendall και συσχέτισης Spearman. ....	108
Πίνακας 4. 10. Τα αποτελέσματα της PCA και τα αντίστοιχα βάρη. ....	112
Πίνακας 4. 11. Τα αποτελέσματα της MCA και τα αντίστοιχα βάρη.....	113
Πίνακας 4. 12. Τα βάρη από την AHP.....	113
Πίνακας 4. 13. Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης του SDVI με ίσα βάρη.....	114
Πίνακας 4. 14. Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης του SDVI – PCA.....	115
Πίνακας 4. 15. Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης του SDVI – MCA.....	116
Πίνακας 4. 16. Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης του SDVI –AHP. ....	116
Πίνακας 4. 17. Τιμές του υπο-δείκτη κοκκομετρική σύσταση του εδάφους.....	120
Πίνακας 4. 18. Τιμές του υπο-δείκτη περιεκτικότητας σε αδρομερή υλικά. ....	120
Πίνακας 4. 19. Τιμές του υπο-δείκτη βάθος εδάφους.....	121
Πίνακας 4. 20. Τιμές του υπο-δείκτη μητρικό υλικό. ....	121
Πίνακας 4. 21. Τιμές του υπο-δείκτη υδρομορφία. ....	121
Πίνακας 4. 22. Τιμές του υπο-δείκτη κλίση.....	122
Πίνακας 4. 23. Τιμές του δείκτη της ποιότητας του εδάφους.....	122
Πίνακας 4. 24. Τιμές του δείκτη της βροχόπτωσης.....	123
Πίνακας 4. 25. Τιμές του δείκτη της ξηρότητας.....	124
Πίνακας 4. 26. Τιμές του δείκτη της ποιότητας του κλίματος.....	124
Πίνακας 4. 27. Τιμές του δείκτη του κινδύνου πυρκαγιάς.....	125
Πίνακας 4. 28. Τιμές του δείκτη προστασία του εδάφους από τη διάβρωση. ....	125
Πίνακας 4. 29. Τιμές του δείκτη αντοχή στη ξηρασία. ....	126
Πίνακας 4. 30. Τιμές του δείκτη της φυτοκάλυψης.....	126

Πίνακας 4. 31. Τιμές του δείκτη της ποιότητας της βλάστησης.....	127
Πίνακας 4. 32. Τιμές του δείκτη της ποιότητας της ποιότητας της διαχείρισης.....	128
Πίνακας 4. 33. Τύποι και κλάσεις του δείκτη ESA.....	129
Πίνακας 5. 1. Επιλεγμένες αναφορές για τις επιπτώσεις της ξηρασίας για το έτος 2007.....	137
Πίνακας 5. 2. Δράσεις αντιμετώπισης της ξηρασίας του 2007.....	138
Πίνακας 5. 3. Εκτιμώμενη κόστος ( $\times 10^3$ €) από την ξηρασία στις περιφέρειες της Σλοβενίας (DMCSEE, 2012) (Karavitis et al., 2013).....	142
Πίνακας 5. 4. Μηνιαίες τιμές για τις παραμέτρους θερμοκρασίας (μέση, μέγιστη & ελάχιστη) και βροχόπτωσης (1970 – 1996).....	143
Πίνακας 5. 5. Στατιστικοί δείκτες των εκτιμώμενων με των μετρούμενων τιμών.....	150
Πίνακας 6. 1. Νέα κατηγοριοποίηση των SDVI και ESA.....	168
Πίνακας 6. 2. Στατιστικά του SDVI σύμφωνα με τις νέες κλάσεις.....	170
Πίνακας 6. 3. Στατιστικά του ESA σύμφωνα με τις νέες κλάσεις.....	170
Πίνακας 6. 4. Στατιστικά από τη διαφορά του SDVI από τον ESA.....	172
Πίνακας 6. 5. Συσχετίσεις μεταξύ των όλων των δεικτών από τους δυο σύνθετους δείκτες.....	174
Πίνακας 6. 6. Βάρη του δείκτη SWDI.....	176
Πίνακας 6. 7. Τα βάρη του δείκτη SWDI πολλαπλασιασμένα με την μέγιστη τιμή τους.....	177
Πίνακας 6. 8. Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης του SWDI.....	178
Πίνακας 6. 9. Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης της υποβάθμισης των εδαφικών πόρων.....	179
Πίνακας 6. 10. Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης της υποβάθμισης των υδατικών πόρων.....	180
Πίνακας 7. 1. Τα SDVI αποτελέσματα σχετικά με τις υπάρχουσες συνθήκες στις Αυγούστου 2003.....	186
Πίνακας 7. 2. Τα αποτελέσματα SDVI για το σενάριο A στην περιοχή της Νότιο-Ανατολικής Ευρώπης.....	189
Πίνακας 7. 3. Τα αποτελέσματα SDVI για το σενάριο B στην περιοχή της Νότιο-Ανατολικής Ευρώπης.....	191
Πίνακας 7. 4. Στατιστικά στοιχεία των μεθόδων του SDVI.....	195
Πίνακας 7. 5. Συσχέτιση μεθόδων του SDVI.....	195
Πίνακας 7. 6. Στατιστικά στοιχεία των μεθόδων του SDVI.....	196
Πίνακας 7. 7. Συσχέτιση μεθόδων του SDVI.....	196
Πίνακας 7. 8. Στατιστικά στοιχεία των δύο διαφορετικών προσεγγίσεων υπολογισμού του SDVI.....	198
Πίνακας 7. 9. Στατιστικά δεδομένα στα αποτελέσματα των σύνθετων δεικτών.....	202
Πίνακας 7. 10. Προκύπτοντα θέματα από την εφαρμογή των δεικτών.....	204
Πίνακας VII. 1. Αποτελέσματα και τελικά βάρη για την AHP.....	356



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εκπόνηση της παρούσας διδακτορικής διατριβής διήρκησε περίπου πεντέμισι έτη. Μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα είχα την τύχη να γνωρίσω και να συνεργαστώ με πολλούς αξιόλογους ανθρώπους. Έτσι, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους που συντέλεσαν στην υλοποίησή της. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον κ. Χρίστο Καραβίτη, Επίκουρο Καθηγητή και επιβλέποντα στην προσπάθεια αυτή που πάντα ήταν δίπλα μου με τις συμβουλές του σε επιστημονικό και σε προσωπικό επίπεδο, οι οποίες συνέβαλαν καθοριστικά στην πραγμάτωσή της. Επιπρόσθετα, η υποστήριξη, η καθοδήγηση, η επίβλεψη και η υπομονή του, καθώς και η εμπιστοσύνη του προς το πρόσωπό μου, αποτέλεσαν σημαντικό παράγοντα για την εκπλήρωση της παρούσας διατριβής.

Συνεχίζοντας, θα ήθελα να εκφράσω την εκτίμησή μου προς τα υπόλοιπα μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, κ.κ. Κωνσταντίνο Κοσμά (Καθηγητή ΓΠΑ) και Σταύρο Αλεξανδρή (Επίκουρο Καθηγητή ΓΠΑ), δίχως την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξη των οποίων δεν θα είχε ολοκληρωθεί η συγκεκριμένη εργασία.

Επιπλέον, επιθυμώ να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στα υπόλοιπα μέλη της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής για τη συμμετοχής τους στον συγκεκριμένο ρόλο. Συγκεκριμένα, ευχαριστώ τους κ.κ. Νικόλαο Μουστάκα (Καθηγητή ΓΠΑ), Διονύσιο Ασημακόπουλο (Καθηγητή ΕΜΠ), Ιωάννη Αργυροκαστρίτη (Αναπληρωτής Καθηγητή ΓΠΑ) και Ελπίδα Κολοκυθά (Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΑΠΘ).

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συνάδελφους, συνεργάτες, αλλά και φίλους. Συγκεκριμένα, επιθυμώ να ευχαριστήσω τον Νικόλαο Σκόνδρα (M.Sc, Ph.D. ΓΠΑ), τον Κωνσταντίνο Σούλη (Ph.D., ΕΔΙΠ ΓΠΑ), την Ναταλία Ρουμελιώτη (Περιβαλλοντολόγο M.Sc. ΕΜΠ), τον Δημήτριο Σταματάκο (M.Sc. ΓΠΑ), τον Παναγιώτη Οικονόμου (M.Sc, Ph.D Candidate CSU, USA), τη Βασιλεία Φασούλη (M.Sc, Ph.D. Candidate ΓΠΑ), τον Ιπποκράτη Γκώτση (M.Sc, Ph.D. Candidate ΓΠΑ), την Χρυσοβαλάντη Τσεσμελή (M.Sc, Ph.D. Candidate ΕΜΠ), τους φίλους μου, τους γονείς μου. Τέλος, θα ήθελα να απευθύνω ιδιαίτερες ευχαριστίες στη σύζυγό μου Κωνσταντία Βασιλάκου (M.Sc, Ph.D. Candidate ΓΠΑ).

Τέλος η παρούσα εργασία υποστηρίχθηκε οικονομικά και επιστημονικά από τα παρακάτω προγράμματα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής:

- **2007-2012: “Desertification Mitigation And Remediation Of Land” (DESIRE).**  
Χρηματοδότηση: Sixth Framework Programme (FP6). Αντικείμενο: Αντιμετώπιση της ερημοποίησης και των επιπτώσεών της. Συμμετοχή 28 Παν/μίων και ερευνητικών ινστιτούτων παγκοσμίως. <http://www.desire-project.eu/>
- **2009-2012: “Drought Management Centre For Southeastern Europe” (DMCSEE).**  
Χρηματοδότηση: South East Europe (SEE) Transnational Cooperation Programme. Αντικείμενο: Αντιμετώπιση της λειψυδρίας και των επιπτώσεών της στη Νοτιοανατολική Ευρώπη. Συμμετοχή 15 Παν/μίων και ερευνητικών ινστιτούτων παγκοσμίως με επικεφαλής το Γεωπονικό Παν/μιο Αθηνών. . <http://www.dmcsee.org/>
- **2011-2015: “Technologies For Water Recycling And Reuse In Latin America: Context, Assessment, Decision Tools and Implementable Strategies under an Uncertain Future”. (COROADO)** Χρηματοδότηση: Seventh Framework Programme (FP7). Συμμετοχή 13 Παν/μίων και ερευνητικών ινστιτούτων παγκοσμίως με επικεφαλής το Γεωπονικό Παν/μιο Αθηνών. <http://www.coroado-project.eu/>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων (ΟΔΥΠ) συμβάλλει στη βέλτιστη χρήση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, με απώτερο σκοπό να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις των αστικών, γεωργικών και βιομηχανικών αναγκών. Σε ορισμένα μέρη του κόσμου, υπάρχει αφθονία νερού, ενώ σε άλλα μέρη (ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες και υπανάπτυκτες χώρες) οι πόροι είναι πενιχροί λόγω μειωμένων βροχοπτώσεων, έλλειψη υποδομών και υπερπληθυσμού. Οι πλημμύρες, η έλλειψη ύδατος, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και οι ξηρασίες συνεχίζουν να απειλούν και να επηρεάζουν τα προς το ζην για το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού σε αυτές τις χώρες. Ως εκ τούτου, υπάρχει επείγουσα ανάγκη για τη δίκαιη κατανομή των υδατινών πόρων. Επιπρόσθετα, η αύξηση του πληθυσμού καθιστά ολοένα και πιο επιτακτικό το ζήτημα της ικανοποίησης των διαφόρων αναγκών του πληθυσμού σε νερό. Οι διαθέσιμοι πόροι (επιφανειακοί και υπόγειοι) διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στη γεωργία, αυξανόμενη μερίδα υπέρ-κατανάλωσης των υπόγειων υδάτων οφείλεται στην εντατικοποίηση του συγκεκριμένου τομέα και κυρίως στην υπεράρδευση. Σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές, η εξάρτηση από τα υπόγεια ύδατα για την παροχή νερού είναι σημαντικά υψηλότερη συγκριτικά με άλλες περιοχές. Σε περιόδους ξηρασίας οι περιοχές αυτές «υποφέρουν» διπλά, καθώς οι χρήστες συνεχίζουν να υπερ-εκμεταλλεύονται τα αποθέματα μην λαμβάνοντας υπόψη την περιορισμένη διαθεσιμότητά τους και προκαλώντας σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα (όπως για παράδειγμα υποβάθμιση της ποιότητας του νερού και των εδαφών, καθώς και διείσδυση του θαλάσσιου νερού στους παράκτιους υδροφορείς).

Η ξηρασία είναι ένας «ύπουλος» φυσικός κίνδυνος που οφείλεται στη μείωση, σε ανύποπτο χρόνο, της αναμενόμενης βροχόπτωσης σε μία περιοχή ή υδρολογική λεκάνη. Η κατάσταση αυτή μπορεί να διαρκέσει μήνες, ή ακόμα χρόνια, με αποτέλεσμα η φύση να μην προλαβαίνει να ανανεώσει τα ύδατα με την ταχύτητα που θα της επέτρεπε να ανταποκριθεί επαρκώς στις απαιτήσεις (του περιβάλλοντος και των ανθρώπων) σε νερό. Ωστόσο, η ξηρασία αποτελεί μια φυσιολογική διαδικασία του κλίματος μιας περιοχής. Το αρνητικό πρόσημο που τη συνοδεύει είναι άμεσα συνυφασμένο με τις δυσμενείς επιπτώσεις της στους ανθρώπους και στο περιβάλλον, καθώς και με την πολυπλοκότητα και τη δυσκολία στην αναγνώριση και την αντιμετώπιση του φαινομένου. Συνήθως, οι λαμβάνοντες τις αποφάσεις, που καλούνται να δώσουν απαντήσεις και πιθανές λύσεις στη διαχείριση του πολύπλοκου

αυτού φαινομένου, εστίαζαν μέχρι πρότινος σε μέτρα και δράσεις άμβλυνσης των επιπτώσεων που συνοδεύουν ένα συμβάν ξηρασίας. Το κλειδί όμως για την αποτελεσματική αντιμετώπιση μιας κρίσης είναι η μελέτη και η κατανόηση του φαινομένου της ξηρασίας και, στη συνέχεια, η κατάστρωση σχεδίων ετοιμότητας. Με άλλα λόγια, ο *προληπτικός σχεδιασμός*.

Ο πρωταρχικός στόχος μιας τέτοιας προσέγγισης είναι η ανάλυση της ξηρασίας βάσει των φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων που συμβάλλουν στην εμφάνισή της. Η επισκόπηση των εννοιών, των χαρακτηριστικών και των επιπτώσεων της ξηρασίας προσφέρει το θεμέλιο για την πληρέστερη κατανόηση του σύνθετου αυτού του φυσικού κινδύνου, συμπεριλαμβανομένου του τρόπου που επηρεάζει τους ανθρώπους και την κοινωνία, αλλά και αντιστρόφως, του τρόπου που η κοινωνία, η μη ορθολογική χρήση των φυσικών πόρων και οι λανθασμένες πολιτικές μπορούν να επιδεινώνουν την τρωτότητα σε αυτόν. Η ξηρασία διαφέρει από τους άλλους φυσικούς κινδύνους για διάφορους λόγους. Κατ' αρχάς, γιατί αργεί στην εμφάνισή της (πλημμύρες, πυρκαγιά, σεισμοί κ.λπ.), γι' αυτό και συχνά χαρακτηρίζεται ως «υφέρπον φαινόμενο» (Tannehill, 1947). Οι επιπτώσεις συσσωρεύονται αργά και για σημαντικό χρονικό διάστημα προτού γίνουν αντιληπτές. Ως εκ τούτου, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η έναρξη και το τέλος της ξηρασίας, με αποτέλεσμα οι επιστήμονες και οι φορείς χάραξης πολιτικής συχνά να διαφωνούν σχετικά με τα μέτρα αντιμετώπισής της.

Κατά την ανάλυση, λοιπόν, ενός τέτοιου φαινομένου, ειδικά σε μία τρωτή περιοχή, είναι σημαντικό να είμαστε σε θέση να αναγνωρίσουμε τη χρονική στιγμή που σηματοδοτεί το τέλος του, με άλλα λόγια την επιστροφή στην «κανονική κατάσταση» (δλδ. στην κανονική βροχόπτωση μετρούμενη ως *μέσος όρος περιόδου*). Για πόσο χρονικό διάστημα η κατάσταση είναι φυσιολογική ή εάν η ξηρασία έχει αφήσει το στίγμα της με σοβαρές επιπτώσεις όπως η ολοκληρωτική καταστροφή των καλλιεργειών, σημαντική μείωση της υδροηλεκτρικής ενέργειας, σοβαρές επιπτώσεις σε χλωρίδα - πανίδα μιας περιοχής αλλά και τη μείωση των εσόδων από τις δραστηριότητες αναψυχής σε έναν ταμιευτήρα. Το ερώτημα που γεννάται είναι εάν το τέλος της ξηρασίας σηματοδοτείται από μετεωρολογικούς ή κλιματολογικούς παράγοντες, ή από τη μείωση των επιπτώσεων της ανθρώπινης δραστηριότητας. Οι επιπτώσεις της ξηρασίας είναι μη δομικές και εκτείνονται σε μια ευρύτερη γεωγραφική περιοχή από ότι οι ζημιές που προκαλούνται από άλλους φυσικούς κινδύνους, όπως οι πλημμύρες, οι καταιγίδες και οι σεισμοί. Αυτό, σε συνδυασμό με τον υφέρποντα χαρακτήρα της ξηρασίας, καθιστά ιδιαίτερα δύσκολο τον ποσοτικό προσδιορισμό των επιπτώσεων. Για αυτόν τον λόγο αποδεικνύεται πολλές φορές πιο δύσκολο να και μπορεί να είναι πιο δύσκολο

να παρέχουν ανακούφιση από καταστροφές σε σχέση με τους άλλους φυσικούς κινδύνους. καθιστούν εξαιρετικά δύσκολο την ανάπτυξη ενός ακριβή μηχανισμού με αξιόπιστες και έγκαιρες εκτιμήσεις της σοβαρότητας της, αλλά και των επιπτώσεων.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η δημιουργία σύνθετων δεικτών: (α) για την εκτίμηση της τρωτότητας στην ξηρασία, (β) την εκτίμηση των φυσικών πόρων (υδατικών & εδαφικών) και (γ) στην προσέγγιση ότι η τρωτότητα στην ξηρασία και στην ερημοποίηση είναι δύο φαινόμενα που επηρεάζονται από κοινούς παράγοντες. Η δομή της συγκεκριμένης διδακτορικής διατριβής έχει ως εξής:

Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>: Εισαγωγή στην ΟΔΥΠ με έμφαση στην ξηρασία.

Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Γενικές πληροφορίες σχετικά με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, όπως π.χ. γενικά για το φαινόμενο της ξηρασίας, της ερημοποίησης και της τρωτότητας.

Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Περιγραφή της διαδικασίας σχεδιασμού της προσέγγισης που ακολουθήθηκε στην παρούσα μελέτη, δηλαδή της μεθοδολογίας, συμπεριλαμβανομένων και των σταδίων εκπόνησής της.

Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Λεπτομερής ανάλυση των δεικτών τρωτότητας στην ξηρασία *Standardized Drought Vulnerability Index (SDVI)* και τρωτότητας στην ερημοποίηση *Environmentally Sensitive Areas (ESA)*.

Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>: Πραγματοποίηση ανάλυσης των εφαρμογών των δύο σύνθετων δεικτών SDVI & ESA.

Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>: Συσχέτιση τρωτότητας ξηρασίας και ερημοποίησης, όπως επίσης και ανάπτυξη του σύνθετου δείκτη *Soil & Water Degradation Index (SWDI)*.

Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup>: Παρουσίαση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των παραπάνω εφαρμογών.

Κεφάλαιο 8<sup>ο</sup>: Αναφορά στα συμπεράσματα που εξάγονται από το σύνολο της διδακτορικής διατριβής.

Κεφάλαιο 9<sup>ο</sup>: Περιγραφή των προτεινόμενων μέτρων για την αντιμετώπιση της ξηρασίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

### 2.1. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Η Διαχείριση των Φυσικών Πόρων (Natural Resources Management, ΔΦΠ) περιλαμβάνει την ανάπτυξη διαδικασιών και στρατηγικών που επικεντρώνονται:

- Στην κατανομή και διατήρηση των πόρων με απώτερο σκοπό τη ρύθμιση των ανθρωπογενών επιπτώσεων στο περιβάλλον (Alexander and Allan, 2007; Kajanus et al., 2012; Kessler et al., 1992).
- Στην εκμετάλλευση των ευκαιριών, την αποφυγή κινδύνων, την άμβλυση των προβλημάτων και την προετοιμασία των ανθρώπων για την αντιμετώπιση αναπόφευκτων δυσκολιών, αυξάνοντας την προσαρμοστικότητα και την αντοχή των υπό μελέτη συστημάτων (Williams, 2011).

Η Δ ΦΠ ουσιαστικά αποτελεί μία διαδικασία που ασχολείται με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ανθρώπου – περιβάλλοντος και αναζητά την αναγνώριση του περιβαλλοντικά επιθυμητού αποτελέσματος λαμβάνοντας υπόψη τους φυσικούς, οικονομικούς, κοινωνικούς και τεχνολογικούς περιορισμούς και εμπόδια (El-Kholly, 2012; Pahl-Wostl and Hare, 2004).

Επίσης, αποτελείται από έναν συνδυασμό επιστημονικών, πολιτικών και κοινωνικο-οικονομικών πρακτικών και ασχολείται με τη ρύθμιση τόσο των επιπτώσεων που προκαλούν οι ανθρώπινες δραστηριότητες στο περιβάλλον, όσο και αυτών, αντίστοιχα, που προκαλούνται από το περιβάλλον στον άνθρωπο (Singh, 1998). Στην πρώτη περίπτωση περιλαμβάνονται επιπτώσεις, όπως η ρύπανση ή η αλλοίωση και υποβάθμιση του περιβάλλοντος από την κατασκευή διαφόρων έργων (π.χ. φράγματα, δρόμοι ή άλλες υποδομές και εγκαταστάσεις), ενώ στη δεύτερη περιλαμβάνονται καταστάσεις, όπως πλημμύρες, κατολισθήσεις και άλλες φυσικές καταστροφές. Εν συντομία, η διαχείριση των φυσικών πόρων και του περιβάλλοντος ασχολείται με την επίλυση των πρακτικών προβλημάτων που προκύπτουν από τη συνύπαρξη ανθρώπου και φύσης (Alexander, 2007).

Συγκεκριμένα, η (περιβαλλοντική) Δι ΦΠ εμπερικλείει τα εξής χαρακτηριστικά (Barrow, 2006, 2005):

- Υποστηρίζει τη βιώσιμη ανάπτυξη.

- Συχνά χρησιμοποιείται ως γενικός όρος.
- Απαιτεί πολυτομεακή, διεπιστημονική, και ολιστική προσέγγιση.
- Προϋποθέτει την ενσωμάτωση και το συμβιβασμό των διαφορετικών, ανά περίπτωση, απόψεων περί ανάπτυξης.
- Επιδιώκει τον συγκερασμό της εΠιστήμης, των κοινωνικών αναγκών, της χάραξης πολιτικής και του [στρατηγικού] σχεδιασμού.
- Είναι μια προορατική/ δυναμική διαδικασία.
- Ενσωματώνει την αρχή της προφύλαξης.
- Πρέπει να μπορεί να εντοπίζει τις ευκαιρίες και να αντιμετωπίζει τους κινδύνους και τα προβλήματα με τον βέλτιστο τρόπο.
- Δίνει έμφαση στη διαχείριση και όχι στην εκμετάλλευση των φυσικών πόρων.
- Η χρονική κλίμακα της διαδικασίας ξεπερνά τα βραχυπρόθεσμα όρια και η χωρική καλύπτει μεγάλο εύρος (τοπική ( παγκόσμια).

Η ΔΦΠ δεν έχει αντικείμενο μόνο με την αντιμετώπιση των προκλήσεων αλλά πρέπει να διαμορφώσει και να παρακολουθεί τις εξελίξεις προκειμένου να αποκτήσει την επαρκή γνώση και να παρέχει έγκαιρη προειδοποίηση ώστε να αυξήσει τις πιθανότητες αντιμετώπισης των προβλημάτων (Williams, 2011). Κάποιες από τις απειλές είναι τυχαίες και επομένως είναι δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να αναγνωριστούν εκ των προτέρων. Άλλες, ωστόσο, αναπτύσσονται με τέτοιο τρόπο που μπορεί εύκολα να αγνοηθούν. Το εύρος των εφαρμογών της ΔΦΠ καλύπτει (όχι περιοριστικά) την ακόλουθη θεματολογία (Alexander, 2007; Grimble and Wellard, 1997; White, 2013):

- Διμερείς και πολυμερείς περιβαλλοντικές συνθήκες - διασυνοριακή οικολογική διαχείριση.
- Ανάπτυξη περιβαλλοντικών πολιτικών και ψήφιση - συμμετοχικός σχεδιασμός και δημόσια διαβούλευση σχετικά με περιβαλλοντικά προγράμματα.
- Εκτίμηση, ανάλυση και διαχείριση περιβαλλοντικών κινδύνων - αντίληψη κινδύνου και μελέτες επικοινωνίας.
- Ανάπτυξη περιβαλλοντικών ρυθμίσεων και κανονισμών (διαχείριση των στερεών και υγρών αποβλήτων, της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, της εξόρυξης των φυσικών πόρων, καθώς και την εποπτεία, την επιβολή και τον έλεγχο της συμμόρφωσης).
- Δυσμενείς επιπτώσεις και οφέλη από την αναψυχή και τον τουρισμό (σχεδιασμός και εφαρμογή φιλικών προς το περιβάλλον προγραμμάτων).

- Διατήρηση των φυσικών πόρων (χαρακτηρισμός και διαχείριση πάρκων, καταφυγίων και άλλων προστατευόμενων περιοχών, χαρακτηρισμός και προστασία των περιοχών άγριας φύσης).
- Οικονομικά του περιβάλλοντος (οικονομική αιτιολόγηση για επενδύσεις στην προστασία του περιβάλλοντος).
- Προώθηση των θετικών περιβαλλοντικών αξιών μέσω της εκπαίδευσης, του διαλόγου και της διάχυσης πληροφοριών.
- Μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον.
- Αξιολόγηση υφιστάμενης κατάστασης των πόρων.
- “Οριοθέτηση” και εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (σχεδιασμός πολιτικών, κανόνων και διαδικασιών για τον περιορισμό των επιπτώσεων).
- Στρατηγικές, μέθοδοι και προγράμματα για την αποκατάσταση των οικολογικά υποβαθμισμένων περιοχών.

Εξαιτίας, λοιπόν, της πολύπλευρης και πολυδιάστατης φύσης της περιβαλλοντικής διαχείρισης, καθώς επίσης και του μεγάλου εύρους των εφαρμογών της, είναι σχετικά δύσκολο να της αποδοθεί ένας πλήρης ορισμός. Βάσει της ανασκόπησης που πραγματοποίησε ο Barrow (2006), ορισμένοι από τους ορισμούς που έχουν δοθεί κατά καιρούς παρατίθενται στον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 2. 1).

Πίνακας 2. 1. Ορισμοί της Διαχείρισης Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος.

Ορισμός	Πηγή
Μια προσέγγιση που ξεπερνά τη διαχείριση των φυσικών πόρων και περιλαμβάνει το πολιτικό, κοινωνικό και φυσικό περιβάλλον. Ασχολείται με ζητήματα αξίας και κατανομής, με τη φύση των ρυθμιστικών μηχανισμών και με τη διαπροσωπική και γεωγραφική ισότητα, καθώς επίσης και με την ισότητα των γενεών.	(William C Clark et al., 2000)
Μια διεπαφή μεταξύ της επιστημονικής προσπάθειας, της αναπτυξιακής πολιτικής και της εφαρμογής.	(Barrow, 2006)
Η διαδικασία κατανομής των φυσικών και τεχνητών πόρων, έτσι ώστε να πραγματοποιείται βέλτιστη χρήση του περιβάλλοντος για την ικανοποίηση βασικών ανθρώπινων αναγκών στο	(Groffman et al., 2006)



---

ελάχιστο, και περισσότερο αν είναι δυνατόν, σε μια βιώσιμη βάση.

Η διαχείριση της περιβαλλοντικής απόδοσης οργανισμών, φορέων και εταιρειών. (G. Wilkinson and B.G. Dale, 1999)

Η περιβαλλοντική διαχείριση δεν μπορεί να ελπίζει να κυριαρχήσει σε όλα τα θέματα και περιβαλλοντικές συνιστώσες που έχει να αντιμετωπίσει. Αντίθετα, η δουλειά του διαχειριστή περιβάλλοντος είναι να μελετήσει και να προσπαθήσει να ελέγξει τις διαδικασίες προκειμένου να επιτύχει συγκεκριμένους στόχους. (Berkes et al., 2000)

---

Γενικά, το επίκεντρο της ΔΦΠ είναι περισσότερο η εφαρμογή, η παρακολούθηση, ο έλεγχος και η αντιμετώπιση των πραγματικών (real-world) περιβαλλοντικών προβλημάτων (π.χ. αλλαγή των ανθρώπινων συνηθειών που επηρεάζουν το περιβάλλον) παρά η ενασχόλησή της με τον θεωρητικό σχεδιασμό (Gray et al., 1995). Παρ'όλο που το "πάντρεμά" της με τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό είναι επιθυμητό, η διαχείριση των φυσικών πόρων, και γενικά του περιβάλλοντος, είναι αφιερωμένη στην κατανόηση των σχέσεων μεταξύ ανθρώπου και περιβάλλοντος, και την εφαρμογή της Επιστήμης και της κοινής λογικής στην επίλυση των προβλημάτων. Η αποδοχή του ότι η οικονομική ανάπτυξη και τα περιβαλλοντικά ζητήματα δεν πρέπει να προσεγγίζονται χωριστά άρχισε να διευρύνεται κάπου μεταξύ του 1972 (Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Ανθρώπινο Περιβάλλον, Στοκχόλμη) και του 1992 (Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη, Ρίο ντε Τζανέιρο - "The Rio Earth Summit").

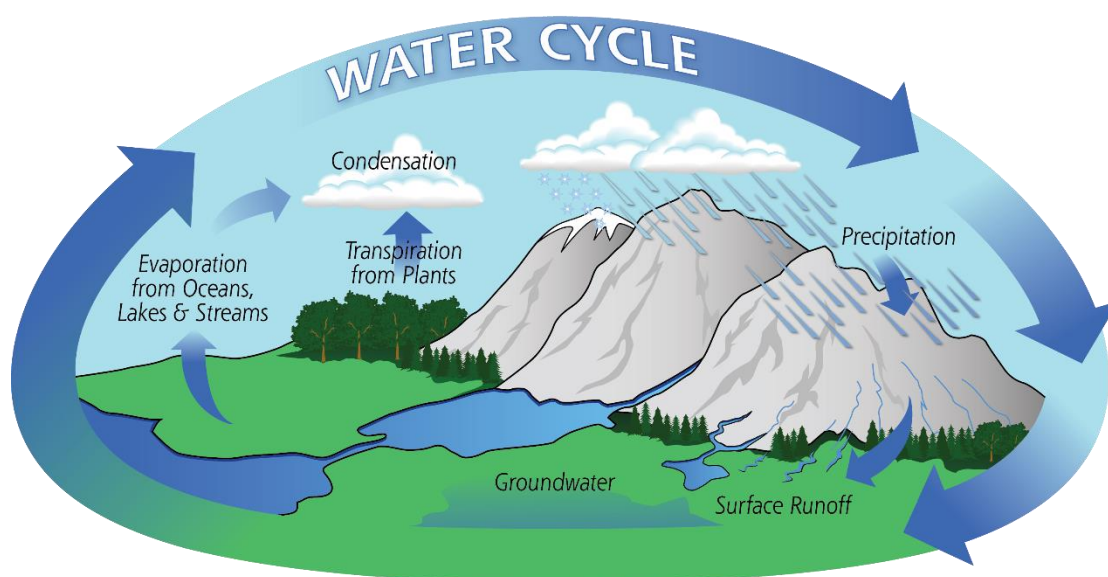
## 2.2. ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Η ολοένα και εντατικότερη ανάπτυξη συστημάτων υδατικών πόρων σε παγκόσμια κλίμακα, ταυτόχρονα με τα συνεχώς αυξανόμενα υδατικά ελλείμματα, κατέστησε επιτακτική την ανάγκη εφαρμογής ολοκληρωμένων μεθόδων διαχείρισής τους (Karavitis, 1996; Rijsberman, 2006). Η επιστήμη της Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων κλήθηκε να εφαρμόσει αυτές τις μεθόδους σε σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα, για να δώσει λύσεις στα σχετιζόμενα με το νερό προβλήματα της ανθρώπινης κοινωνίας. Το νερό είναι βασικό στοιχείο όλων των περιβαλλοντικών και κοινωνικών διαδικασιών. Αποτελεί κύριο συστατικό του οικολογικού

κύκλου και είναι απαραίτητο για την αγροτική, τη βιομηχανική παραγωγή και την παραγωγή ενέργειας (Biswas, 2004; Goudriaan and Unsworth, 1990; Molden and Sakthivadivel, 1999; Soulis et al., 2016; Stålnacke and Gooch, 2010). Η συνήθης πρακτική είναι η ζήτηση σε νερό, η οποία αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς, να καλύπτεται μέσω της άντλησης των αποθεμάτων του υδροφόρου ορίζοντα. Επιπροσθέτως, κατασκευάζονται φράγματα για τον έλεγχο των πλημμυρών και την ταμίευση του νερού. Εν συνεχεία, για την μεταφορά του νερού, πολλές φορές σε εκατοντάδες χιλιόμετρα απόσταση, δημιουργούνται υδραγωγεία, όπου επιτυγχάνεται με βέλτιστο τρόπο η εκμετάλλευση των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων. Τέλος, για την υδροδότηση παραδοσιακών ημι-ερημικών ή/ και ερημικών περιοχών δημιουργούνται ενεργοβόρα εργοστάσια αφαλάτωσης (Gleick, 2000; Simoionovic, 2002).

Σήμερα παρατηρείται μια αύξηση των προβλημάτων, καθώς στην έλλειψη του νερού έρχεται να προστεθεί και η υποβάθμιση του περιβάλλοντος από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Karavitis et al., 2014). Για να δοθεί μία διάσταση της κατανομής του νερού στη Γη θα πρέπει να αναφερθεί σε αυτό το σημείο περίπου το 96.5% βρίσκεται στις θάλασσες και τους ωκεανούς (αλμυρό νερό) το 1.8% είναι σε στερεά μορφή (πάγος), ενώ μόνο το 1.7% στα επιφανειακά νερά (USGS, n.d.). Αξιοσημείωτο είναι δε ότι το γλυκό νερό αποτελεί μόνο το 2.5% του νερού της Γης και περίπου το 0.3% των συνολικών αποθεμάτων του υπάρχει στα ποτάμια και τις λίμνες, που είναι και οι κύριες πηγές υδροληψίας.

Σημαντικό τμήμα των εργασιών της διαχείρισης υδατικών πόρων αποτελεί η μελέτη του υδρολογικού κύκλου (hydrologic cycle or water cycle) και των επιμέρους τμημάτων του (Εικόνα 2. 1. Υδρολογικός Κύκλος (NASA, n.d.).



Εικόνα 2. 1. Υδρολογικός Κύκλος (NASA, n.d.).

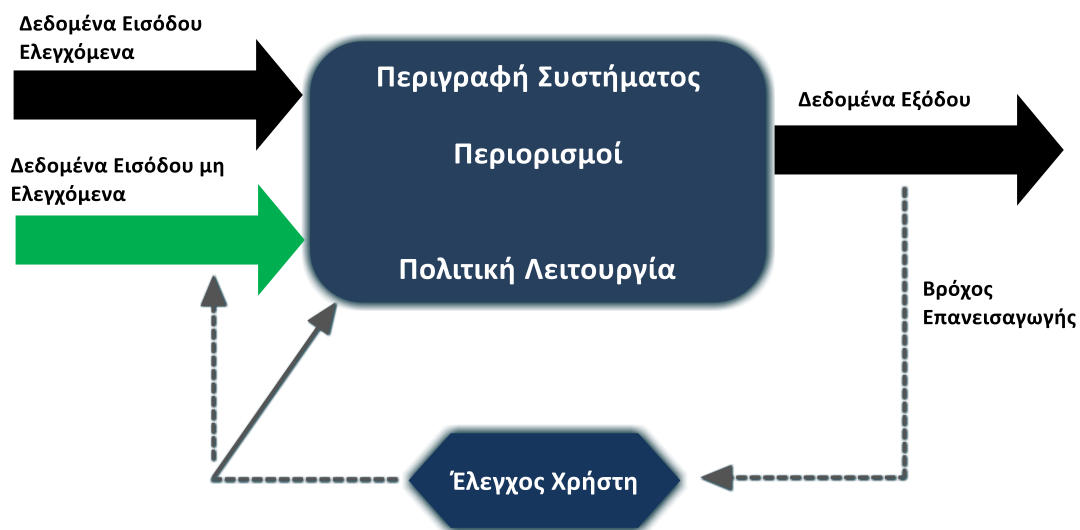
Ένα από τα πιο σημαντικά ερωτήματα στην Υδρολογία είναι το εάν με τις αλλαγές που μπορεί να συμβούν στο κλιματικό καθεστώς στο μέλλον σε σχέση με το θερμικό περιεχόμενο της ατμόσφαιρας, θα υπάρξει κάποια διαφοροποίηση του υδρολογικού κύκλου. Εάν πραγματικά συμβεί αυτό, τότε από το μέγεθος και την φύση της εν λόγω εντατικοποίησης ή ύφεσης θα υπάρξει μεγάλο ενδιαφέρον, διότι αυτές οι επισυμβαίνουσες αλλαγές στον υδρολογικό κύκλο μπορεί να οδηγήσουν σε αλλαγές στη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων, και στην μεταβολή της συχνότητας και της έντασης των καταιγίδων, των πλημμυρών και της ξηρασίας, καθώς και στην ενίσχυση του ρόλου των υδρατμών στην ατμόσφαιρα λόγω ανάδρασης (water vapor feedback). Τα εμπειρικά στοιχεία παρατήρησης στον υδρολογικό κύκλο παρέχουν μια πρόσθετη υποστήριξη για το θεωρητικό πλαίσιο που θα συνδέει αυτές τις αλλαγές στον υδρολογικό κύκλο πιθανόν πλέον έντονα σε σχέση με τις παρατηρούμενες αλλαγές στην αισθητή θερμότητα (sensible heat) της ατμόσφαιρας. Στο πλαίσιο αυτής της έρευνας εξετάζεται και διερευνάται η τρέχουσα κατάσταση συγκρινόμενη με τις ιστορικές τάσεις των υδρολογικών μεταβλητών, συμπεριλαμβανομένων των βροχοπτώσεων, της απορροής, των επιπέδων της εδαφικής υγρασίας, του ενεργειακού ισοζυγίου μάζας και της εξατμισοδιαπνοής. Τα δεδομένα είναι συχνά ελλιπή σε χωρική και χρονική κλίμακα και οι αναλύσεις των μεταβλητών σε επίπεδο περιφέρειας είναι συχνά αντιφατικές. Ωστόσο κάτω από μια υπάρχουσα θεώρηση με την χρήση σεναρίων, πιθανολογείται μια συνεχής εντατικοποίηση του υδρολογικού κύκλου. Σε αντίθεση με αυτές τις τάσεις, τα υπάρχοντα εμπειρικά δεδομένα παρατήρησης μέχρι σήμερα δεν υποστηρίζουν με συνέπεια μια αύξηση στη συχνότητα ή την ένταση των έντονων και ακραίων καιρικών φαινομένων (τροπικές καταιγίδες, πλημμύρες και ξηρασία) (Sheffield et al. 2012; Grigg, 2014; Karavitis et al. 2014).

Η κρίση των υδατικών πόρων επιδρά δυσμενώς στην πλειοψηφία των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, με τις παρακάτω επιπτώσεις να είναι από τις πλέον αισθητές:

- Αυξημένες δυσκολίες στον εφοδιασμό με τις απαιτούμενες ποσότητες νερού για διάφορες χρήσεις (αγροτικές, αστικές, βιομηχανικές).
- Εντεινόμενα προβλήματα στις προσπάθειες για την προστασία του περιβάλλοντος από τις αντίξοες υδατικές (πόροι, ζήτηση, ποιότητα κ.λπ.) και υδρολογικές (πλημμύρες κ.λπ.) συνθήκες.
- Αυξημένοι κίνδυνοι για τον πληθυσμό και το περιβάλλον εξ αιτίας της ρύπανσης και της μόλυνσης των υδάτων και των οικοσυστημάτων που αυτά υποστηρίζουν.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις παραπάνω σύντομες επισημάνσεις, η διαχείριση των υδατικών πόρων έχει σαν πρωταρχικό στόχο την κάλυψη των αναγκών σε νερό στην επιθυμητή

ποσότητα και ποιότητα και στον απαιτούμενο χώρο και χρόνο. Οι παρακάτω σύντομες σημειώσεις αφορούν στη μεθοδολογία που πρέπει να εφαρμοστεί και τους σημαντικότερους από τους παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν για την επίτευξη του παραπάνω στόχου. Επιπρόσθετα, η «η διαχείριση των υδατικών πόρων περιέχει όλες τις οργανωμένες δραστηριότητες, σχετικά με την ανάπτυξη, διατήρηση, προστασία και τον έλεγχο προστασίας των υδατικών πόρων και των έργων τους, κάτω απ' όλες τις συνθήκες, με την ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος και την αειφορία του πόρου» (Καραβίτης, 2005). Η διαχείριση δηλαδή πρέπει να είναι προετοιμασμένη για όλα τα πιθανά συμβάντα και αυτό καθορίζει και τον βαθμό επιτυχίας της. Ένα ιδεατό μοντέλο ολοκληρωμένης διαχείρισης παρουσιάζεται στην Εικόνα 2. 2.



Εικόνα 2. 2. Τυπική δομή της διαδικασίας προσομοίωσης (Καραβίτης, 2005).

Οι βασικές συνιστώσες της διαχείρισης των υδατικών πόρων είναι (Grigg, 1999, 1996; Karavitis, 1999):

- Σχεδιασμός (**Planning**): Είναι η διαδικασία που καθορίζει τους σκοπούς και τους στόχους και προσδιορίζει τους στόχους των επιμέρους εργασιών.
- Οργάνωση (**Organization**): Αποτελεί βασική αρχή και διεργασία της διαχείρισης. Μέσω αυτής θα εφαρμοστεί ο σχεδιασμός, και εκφράζεται συνήθως από έναν «οργανισμό». Η δομή κάθε οργανισμού απορρέει από τον στόχο του. Ανεξάρτητα όμως από τα διαφορετικά στοιχεία κάθε οργανισμού που προσαρμόζονται στα αντίστοιχα καθήκοντά τους, σε όλους τους αποτελεσματικούς και επιτυχημένους οργανισμούς υπάρχουν τα παρακάτω στοιχεία (το λεγόμενο C<sup>3</sup>I):

- Επικοινωνία (communication)

- Έλεγχος (control)
- Διοίκηση (command)
- Πληροφόρηση (intelligence)
- Διεύθυνση (**Command**): Είναι εξαιρετικά σημαντική για την ανάθεση των καθηκόντων και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και γίνεται κυρίως μέσω του οργανισμού.
- Έλεγχος (**Control**): Είναι και αυτός αναπόσπαστο στοιχείο της οργάνωσης, και στην ουσία απαραίτητος για την αξιολόγηση των συνολικών στόχων της διαχείρισης. Γι' αυτό πολλές φορές μπορεί να εφαρμόζεται και από διαφορετικές «οντότητες» ή οργανισμούς.

Στις δραστηριότητες της διαχείρισης υδατικών πόρων περιλαμβάνονται η έρευνα και η μελέτη της παρούσας κατάστασης των υδατικών πόρων (σύμφωνα με τα βήματα του σχεδιασμού) και προβλέψεις για το μέλλον (Karavitis et al., 2015; Kim and Valdés, 2003). Επίσης, η συλλογή και η ανάλυση των δεδομένων για τους υφιστάμενους και για τους ανεκμετάλλευτους υδατικούς πόρους και τη ζήτηση (αγροτική, αστική και βιομηχανική), με βάση τα υφιστάμενα έργα ή υποψήφια έργα που μπορεί να υλοποιηθούν (Hirsch et al., 1982; Lansey et al., 2001; Loucks et al., 2005). Επιπρόσθετα, συμπεριλαμβάνεται η ανάπτυξη στρατηγικών και η προετοιμασία των απαραίτητων σχεδίων διαχείρισης, αλλά και των αποφάσεων για την εξασφάλιση αποδοχής και συμμετοχής των διαφόρων ενδιαφερομένων ομάδων (Gikas and Tchobanoglous, 2009; Grigg, 2008, 1996; Karavitis, 1996; Loukas et al., 2007; Vörösmarty et al., 2000).

Η ΟΔΥΠ έχει συμπεριλάβει τις διάφορες κοινωνικό-οικονομικές αλλαγές που επηρέασαν την κοινωνία στις αρχές της χιλιετίας (Alcamo et al., 2007; Arnell, 2004, 1999; Maia and Schumann, 2007). Επιπρόσθετα, θεωρείται πλέον μια πολύπλοκη τεχνικό-κοινωνική διαδικασία που περιλαμβάνει αρκετές ειδικότητες και πολλές προσεγγίσεις που πρέπει να δοκιμαστούν ταυτόχρονα (Grigg and Vlachos, 1993; Karavitis et al., 2014; Maia and Silva, 2009). Η διαδικασία της διαχείρισης των υδατικών πόρων μετατρέπεται σε ακόμα πολυπλοκότερη διαδικασία, καθώς αυτή βρίσκεται σε συνεχή αλληλεπίδραση με τρία συστήματα. Το πρώτο είναι το κοινωνικό-οικονομικό σύστημα, το οποίο περιλαμβάνει τις ανθρώπινες δραστηριότητες που χρησιμοποιούν ή σχετίζονται με το νερό. Στη συνέχεια, το διοικητικό-θεσμικό σύστημα που περιλαμβάνει τη διοίκηση, τη νομοθεσία, το ρυθμιστικό πλαίσιο, τις διαχειριστικές αρχές και τις αρμόδιες υπηρεσίες για τον έλεγχο της εφαρμογής των νόμων και των ρυθμίσεων. Τέλος, υπάρχει το σύστημα φυσικών πόρων, το οποίο ενσωματώνει τα φυσικά και τα τεχνητά υδάτινα σώματα, τα έργα/ υποδομές (π.χ.

γεωτρήσεις, φρέατα, δίκτυα, κανάλια, εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων) και τους κανόνες λειτουργίας τους (Barraqué et al., 2008a; Ganoulis et al., 2013; Loucks et al., 2005).

Τα παραπάνω συστήματα είναι εξαιρετικά πολύπλοκα ως προς τη δομή και τη συμπεριφορά τους. Η μεταξύ τους αλληλεπίδραση και η αμφίδρομη σχέση που αναπτύσσουν με τη διαχείριση των υδατικών πόρων, περιπλέκουν ακόμη περισσότερο τη διαδικασία της διαχείρισης (Grigg, 2008, 1999, 1996; Karavitis, 1998). Το μεγάλο πλήθος των παραμέτρων που υπεισέρχονται, ο αριθμός των προσώπων που εμπλέκονται και οι συχνά αντικρουόμενοι στόχοι, που θα πρέπει να ικανοποιηθούν, καθιστούν τη διαχείριση υδατικών πόρων μια διαδικασία εξαιρετικά πολύπλοκη. Οι δύο μεγάλες κατηγορίες της διαχείρισης των υδατικών πόρων είναι η διαχείριση της ζήτησης (water demand) και η διαχείριση του εφοδιασμού του νερού (water supply). Η διαχείριση του εφοδιασμού ορίζεται κάθε μέτρο ή ενέργεια που θα αυξήσει την ικανότητα ενός συστήματος υδατικών πόρων ή συστήματος υδροδότησης να παρέχει το απαιτούμενο νερό. Η διαχείριση της ζήτησης νερού ορίζεται ως «κάθε μέτρο ή ενέργεια που θα μειώσει τη ζήτηση και την αναμενόμενη χρήση του διαθέσιμου νερού» (Grigg and Vlachos, 1993; Hsu and Cheng, 2002). Η παραδοσιακή προσέγγιση των υδρολόγων και των μηχανικών υδατικών πόρων ήταν - και σε ορισμένες περιπτώσεις συνεχίζει να είναι - η αξιολόγηση των διαθέσιμων πόρων και η αύξηση του εφοδιασμού σε νερό μέσω των κατάλληλων υποδομών (Herbertson and Tate, 2001). Αυτή η προσέγγιση, χωρίς τη συμβολή της ανάλυσης της ζήτησης του νερού από τις διάφορες χρήσεις οδήγησε σε αρνητικές επιπτώσεις καθώς επίσης και στην αύξηση του ευκαιριακού κόστους του νερού σε μη βιώσιμα επίπεδα (Xie, 2006). Το πρόβλημα αυτό καλείται να λύσει η διαχείριση της ζήτησης του νερού αναζητώντας την αποδεκτή ισορροπία μεταξύ των διαθέσιμων υδατικών πόρων (Ζήτηση  $\leq$  Εφοδιασμός) και των συχνά ανταγωνιστικών χρήσεων νερού χρησιμοποιώντας όλα τα διαθέσιμα μέσα (Kampragou et al., 2010; Sharma and Vairavamoorthy, 2009). Η διαχείριση της ζήτησης νερού ενθαρρύνει την ορθολογική και αποτελεσματικότερη χρήση των διαθέσιμων υδατικών πόρων πριν την εφαρμογή μέτρων αύξησης του εφοδιασμού. Συγκεκριμένα, αποσκοπεί στη μείωση των απωλειών και της σπατάλης του νερού (αγροτική, αστική και βιομηχανική χρήση). Επιπλέον, στοχεύει στην καταλληλότερη χρήση του νερού, εξασφαλίζοντας τη δίκαιη κατανομή ανάμεσα στους διάφορους χρήστες, συμπεριλαμβανομένου των οικολογικών αναγκών (οικολογική παροχή), καθώς επίσης και στην αειφορία των πόρων .

Σύμφωνα με την Παγκόσμια Συνεργασία Σύμπραξης για το Νερό (GWP, 2005, 2004, 2003), η ΟΔΥΠ ορίζεται ως «μια διαδικασία που εξισορροπεί τις απόψεις και τους σκοπούς πολιτικών ομάδων, γεωγραφικών περιοχών και τους στόχους της ανάπτυξης; και προστατεύει τους

πόρους για τα φυσικά και οικολογικά συστήματα». Επίσης, συνδυάζει τη διαχείριση γης και των υδάτων μέσω της ευρείας συμμετοχής των διαφόρων ενδιαφερομένων ομάδων (Baer, R. and Lehmann, A., 2012; GWP, 2000). Ωστόσο, παρά τη διάδοση και την υποστήριξη που απολαμβάνει το συγκεκριμένο πλαίσιο, σε πολλές χώρες η ολοκληρωμένη διαχείριση δεν εφαρμόζεται “ολοκληρωμένα” και η εφαρμογή περιορίζεται ακόμα μόνο στον τομέα των υδάτων (Bishop, B., 1970; Dungumaro and Madulu, 2003; WWAP, 2009). Η συνεχόμενη αύξηση του πληθυσμού είναι μία ακόμα πρόκληση της ΟΔΥΠ, αφού η αύξηση αυτή αντικατοπτρίζεται στα προβλήματα διαχείρισης και ανάπτυξης των υδατικών πόρων, καθώς επίσης και σε άλλα προβλήματα που εμφανίζονται στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες (Dungumaro and Madulu, 2003). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, προκύπτουν οι παρακάτω αρχές και διαστάσεις με απώτερο σκοπό την εφαρμογή της ΟΔΥΠ (Born and Sonzogni, 1995; Grigg, 1996; ICWE, 1992; Mei Xie, 2006; Priscoli, 2013; UNEP, 1992):

- Οικολογική, λ.χ. το πόσιμο νερό είναι ένας πεπερασμένος και ευάλωτος πόρος, απαραίτητος για τη διατήρηση της ζωής, της ανάπτυξης και του περιβάλλοντος.
- Θεσμική: η ανάπτυξη και η διαχείριση του νερού πρέπει να βασίζεται σε συμμετοχικές διαδικασίες, εμπλέκοντας χρήστες, σχεδιαστές και λήπτες αποφάσεων, όλων των επιπέδων.
- Φυλετική: οι γυναίκες διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στον εφοδιασμό, τη διαχείριση και τη διασφάλιση του νερού.
- Οργανωτική: το νερό έχει οικονομική αξία σε όλες τις ανταγωνιστικές χρήσεις του και θα πρέπει να αναγνωρίζεται ως οικονομικό αγαθό.
- Ενασχόληση με ανταγωνιστικές χρήσεις, όπως ύδρευση – άρδευση.
- Αντιμετώπιση τοπικών και περιφερειακών ανησυχιών, μεταφορά νερού.
- Ισορροπία μεταξύ ποιότητας και ποσότητας του νερού, σε σχέση με τις διάφορες χρήσεις.
- Συντονισμός διακυβερνητικών θεμάτων, κοινά σχέδια διαχείρισης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο.
- Διατήρηση του συντονισμού, ιδιαίτερα σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

### 2.3. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Η φύση, με σταθερότητα και διάρκεια, μπορεί να εισάγει ακραίες μεταβολές στις μεταβλητές και τους παράγοντες των ανθρώπινων συστημάτων. Τέτοιες ακραίες μεταβολές ή ακραία

γεγονότα, όπως οι σεισμοί, οι πλημμύρες και οι ξηρασίες, που συχνά ονομάζονται και φυσικοί κίνδυνοι, μπορεί να παρουσιάσουν ανυπέρβλητα εμπόδια και δυσκολίες στον τρόπο αντιμετώπισής τους από τις ανθρώπινες κοινωνίες (Kalabokidis et al., 2005, 2004; Karavitis, 1992). Σε αυτό το πλαίσιο, υποστηρίζεται ότι οι ξηρασίες είναι ένας από τους πολλούς φυσικούς κινδύνους που είναι δυνατόν να πλήξουν την ύδρευση και την άρδευση - με άλλα λόγια τον εφοδιασμό μιας περιοχής. Η υπάρχουσα τάση ανάμεσα στους ευρείς τεχνικούς και επαγγελματικούς κύκλους, στους διαχειριστές, τους πολιτικούς και λήπτες των αποφάσεων και γενικά ανάμεσα στους κοινούς πολίτες, είναι να θεωρούν την ξηρασία ως κάτι το παροδικό, έναν τυχαίο και απομακρυσμένο κίνδυνο που απαιτεί μόνο μια έκτακτη κινητοποίηση (Grigg, N. S. and Vlachos, E. C., 1990; Karavitis, 1998). Όμως, η συσσωρευμένη εμπειρία από τις επιστημονικές έρευνες και παρατηρήσεις των τελευταίων δεκαετιών δείχνει ότι οι ξηρασίες είναι αναπόφευκτες, καθώς τα φαινόμενα αυτά φαίνονται να είναι αναπόδραστα και μόνιμα στοιχεία του παγκόσμιου κλίματος. Επίσης, είναι σημαντικό να επισημανθεί, ότι μπορεί να δημιουργηθεί ένας πολύ πιο σοβαρός και εξαπλωμένος κίνδυνος για τον εφοδιασμό, από τους φυσικούς ή και τους τεχνολογικούς κινδύνους, οφειλόμενος στη λανθασμένη διαχείριση, που συνοδεύεται από ανεπιτυχείς πρακτικές σχεδιασμού και συντήρησης των υδατικών συστημάτων. (Fischhendler, 2004; Karavitis, 1999).

Τα ζητήματα ξηρασίας γίνονται ζητήματα έκτακτης ανάγκης και πρόκειται να διαδραματίσουν έναν βασικό ρόλο στο άμεσο μέλλον για τον καθορισμό και των περιβαλλοντικών και αναπτυξιακών πολιτικών σε παγκόσμια κλίμακα. Όσον αφορά την Ευρώπη, οι ξηρασίες που σημειώθηκαν στην Ελλάδα το 1989-1993, στην Ισπανία και τη Γαλλία, το 2003 και το 2005, και πάλι στην Ελλάδα το 2007 - 2008, επιβεβαιώνουν αυτή την τάση, καθώς επίσης και την άμεση ανάγκη εφαρμογής κοινών στρατηγικών που θα αντιμετωπίσουν το πρόβλημα σε ολόκληρη την Ευρώπη και όχι μόνο στις Μεσογειακές χώρες (Ciais et al., 2005; Karavitis, 1992, 1999, Karavitis et al., 2012, 2011, Pedro-Monzonis et al., 2015a, 2015b).

Η ξηρασία που σημειώθηκε στην Ελλάδα το 1989-1993, το 2005 στην Ισπανία, την Πορτογαλία και σε κάποια μέρη της Γαλλίας, προκλήθηκαν από χαμηλά ποσοστά βροχοπτώσεων. Στην Ισπανία, η μέση ετήσια βροχόπτωση ήταν χαμηλότερη από την ελάχιστη που έχει καταμετρηθεί στη χρονοσειρά από το 1974 έως το 2003. Αυτή η ιδιαίτερη μείωση των βροχοπτώσεων (από 650 mm/year σε 400 mm/year) είχε μεγάλες επιπτώσεις στις αποθηκευμένες ποσότητες νερού στους ταμιευτήρες, στη διαθεσιμότητα πόσιμου



νερού, στην παραγωγή ενέργειας, στην ποιότητα νερού, στην περιβαλλοντική πίεση και στον κίνδυνο πυρκαγιάς (Ciais et al., 2005; Karavitis et al., 2012, 2011). Αυτή η κατάσταση επέφερε την εφαρμογή ειδικών σχεδίων για καταστάσεις επαγρύπνησης για την αντιμετώπιση ενδεχόμενης ξηρασίας, με την εφαρμογή αντίστοιχων μέτρων διαχείρισης, όπως οι περιορισμοί άρδευσης και τα μέτρα έκτακτης ανάγκης. Η ξηρασία του 1989 - 1990 στην Ελλάδα θεωρήθηκε αρχικά ότι είχε περίοδο επαναφοράς χιλιετίας με βροχόπτωση που πλησίασε μόλις το 40% της μέσης ετήσιας, αν και οι συνεχείς μετέπειτα ξηρασίες μείωσαν κάπως αυτήν την θεώρηση (Karavitis et al., 2012, 2011).

## 2.4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Η ξηρασία και οι συνέπειές της πρέπει να αναγνωρίζονται και να λαμβάνονται υπόψη από τα αρχικά ακόμα στάδια των προσπαθειών σχεδιασμού και διαχείρισης των υδατικών πόρων. Υπό αυτό το πρίσμα, τα μέτρα και οι προσπάθειες αντιμετώπισης των ξηρασιών πρέπει να ξεκινήσουν αρχικά από τη μελέτη των διαστάσεων του φαινομένου (Cancelliere et al., 2007; Karavitis, 1992; Priscoli, 2013; Salas et al., 2005). Οι διαστάσεις περιλαμβάνουν, θεωρητικά, τον ορισμό, τα αίτια και τις επιπτώσεις των ξηρασιών. Ο ακριβής ορισμός των ξηρασιών παρουσιάζει πολλές δυσκολίες για μία αντικειμενική παραδοχή του (Grigg, N. S. and Vlachos, E. C., 1990; Karavitis, 1992; 1999; Yevjevich et al., 1983). Γενικότερα υπάρχουν πολλοί αντιφατικοί και αμφιλεγόμενοι ορισμοί που συντείνουν στο να δημιουργείται μία σχετικά ασαφής κατάσταση. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η ξηρασία μπορεί να σημαίνει διαφορετικά πράγματα, τόσο στο ευρύ κοινό, όσο και στις διάφορες επιστημονικές ειδικότητες. Οι λειτουργικοί ορισμοί επιτρέπουν τον προσδιορισμό της αρχής και του τέλους, καθώς επίσης και του βαθμού δριμύτητας μιας ξηρασίας (Karavitis, 1992, 1999; Vlachos, 1990; Vlachos and Braga, 2001). Αυτοί οι ορισμοί κατηγοριοποιούνται βάσει τεσσάρων βασικών προσεγγίσεων για να προσδιορίσουν και να περιγράψουν τα γεγονότα ξηρασίας: μετεωρολογική, υδρολογική, γεωργική, και κοινωνικοοικονομική ξηρασία. Οι τρεις πρώτες προσεγγίσεις θεωρούν τη ξηρασία ως ένα φυσικό φαινόμενο. Η τελευταία εξετάζει ένα γεγονός ξηρασίας σε σχέση με την ανθρωποκεντρική Ζήτηση και Εφοδιασμό, ακολουθώντας τα αποτελέσματα της έλλειψης νερού μέσω του κοινωνικοοικονομικού συστήματος (Bordi et al., 2006; Eriyagama et al., 2009; Grigg, 1996; Karavitis, 1999; Karavitis et al., 2014; Yevjevich et al., 1983).

Συγκεκριμένα, για ένα μετεωρολόγο μπορεί να είναι μία περίοδος ανώμαλου ξηρού καιρού ή η έλλειψη κατακρημνισμάτων, για έναν υδρολόγο μπορεί να ειπωθεί ότι είναι μία έντονη

έλλειψη υδάτων που προκαλεί σημαντική υδρολογική αστάθεια σε μία περιοχή (συμπεριλαμβανομένων των κατακρημνισμάτων και των απορροών). Σε έναν μηχανικό υδατικών πόρων μπορεί να σηματοδοτεί ένα πρόβλημα ζήτησης και εφοδιασμού νερού, δηλαδή δεν υπάρχει ξηρασία χωρίς μία συγκεκριμένη ζήτηση ανεξάρτητα από τις υδρολογικές αστάθειες (Karavitis, 1992; Konikow and Kendy, 2005; Tallaksen and Lanen, 2004). Με άλλα λόγια σε έναν ωκεανό δεν έχουμε ξηρασία, όχι γιατί υπάρχει άφθονος εφοδιασμός νερού, αλλά γιατί δεν υπάρχει συγκεκριμένη ζήτηση. Για έναν γεωπόνο, η ξηρασία είναι δυνατό να εκφραστεί σαν την έλλειψη επαρκούς άρδευσης σε συγκεκριμένη καλλιέργεια. Για έναν οικονομολόγο, η ξηρασία μπορεί να σημαίνει σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις και, τέλος, σε ένα κοινωνιολόγο μπορεί να υπονοεί πιέσεις και παραμορφώσεις σε ένα δεδομένο κοινωνικό οικοδόμημα. Μία άλλη πηγή δυσκολιών στον ορισμό των ξηρασιών ξεκινά από τον συνδυασμό τους με τις υπάρχουσες γεωγραφικές, υδρολογικές, γεωλογικές, ιστορικές και πολιτιστικές συνθήκες ενός τόπου. Μία τρίτη πηγή δυσκολιών προκύπτει από την ανάμειξη των συνεπειών και του φυσικού φαινομένου αυτού καθ' εαυτού στους διάφορους ορισμούς. Εν τέλει, το κεντρικό πρόβλημα σε όλες τις έρευνες και τους ορισμούς φαίνεται να είναι ο καθορισμός της αρχής και του τέλους μίας ξηρασίας (Horridge et al., 2005; Karavitis, 1992; 1999; Kogan, 1997; Vlachos and James, 1983; Τσεσμελής, 2010).

Οι ξηρασίες προκύπτουν από τον συνδυασμό πολλών φυσικών παραγόντων, που ενισχύονται από ανθρωπογενείς επιρροές. Η πρωταρχική αιτία κάθε ξηρασίας είναι η ανεπάρκεια των βροχοπτώσεων και, συγκεκριμένα, η χρονική στιγμή, η κατανομή και η ένταση αυτής της ανεπάρκειας σε σχέση με την υπάρχουσα αποθηκευμένη ποσότητα νερού, την παροχή και τη ζήτηση. Η ανεπάρκεια αυτή έχει ως αποτέλεσμα την έλλειψη του απαραίτητου νερού για τη λειτουργία του φυσικού οικοσυστήματος και/ή για τις απαραίτητες ανθρώπινες δραστηριότητες (Bond et al., 2008; Tilman and Downing, 1996; Tyree et al., 1994).

Υψηλές τιμές θερμοκρασιών αέρα και υψηλά ποσοστά εξατμισοδιαπνοής συνδράμουν στην έλλειψη της βροχόπτωσης, επιδεινώνοντας τη δριμύτητα και τη διάρκεια της περιόδου ξηρασίας. Οι υψηλές θερμοκρασίες αέρα το καλοκαίρι, όταν συνδέονται με τον καθαρό ουρανό και την ηλιοφάνεια, αυξάνουν την εξατμισοδιαπνοή σε τέτοιο σημείο που η διαθέσιμη βροχόπτωση ελαχιστοποιείται ή μηδενίζεται και, ως εκ τούτου, δεν επαρκεί για την επαναφόρτιση των υπόγειων νερών ή των υδατορευμάτων / ποταμών (Alexandris et al., 2006; Hargreaves and Samani, 1985). Ξηρασίες μπορούν να εμφανιστούν και το χειμώνα, όταν οι κατακρημνίσεις αποθηκεύονται στη λεκάνη απορροής με τη μορφή πάγου και χιονιού, εμποδίζοντας την επαναφόρτιση των ποταμών και των υδροφόρων οριζόντων, μέχρι

να ανέβει η θερμοκρασία του αέρα και να αρχίσει το λιώσιμο του χιονιού. Οι κατακρημνίσεις και η θερμοκρασία του αέρα εξαρτώνται από τα πρότυπα κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας (atmospheric circulation patterns). Κατά συνέπεια, κάθε αλλαγή στη θέση, τη διάρκεια και την ένταση των αντικυκλώνων οδηγεί σε αλλαγές της επικρατούσας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και προκαλεί ανωμαλίες στις κατακρημνίσεις και τις θερμοκρασίες. Η ξηρασία σχετίζεται, επίσης, με τη χρονική στιγμή (π.χ. εποχή του περιστατικού, καθυστερήσεις στην έναρξη της περιόδου βροχών, περιστατικό των βροχών σε σχέση με τα κύρια στάδια ανάπτυξης των καλλιεργειών) και την αποτελεσματικότητα (π.χ. ένταση βροχοπτώσεων, αριθμός βροχοπτώσεων) των κατακρημνίσεων. Άλλοι κλιματικοί παράγοντες, που συνδέονται με τα περιστατικά ξηρασιών και επιδεινώνουν την δριμύτητά τους σε πολλές περιοχές του κόσμου, είναι η μεγάλη ταχύτητα του ανέμου και τα χαμηλά ποσοστά της υγρασίας της ατμόσφαιρας (Borken et al., 2006; Dracup et al., 1980; Peterson et al., 1998; Rossi, 2000; Wilhite and Glantz, 1985).

Είναι σημαντικό να διαφοροποιείται η ξηρασία, που περιορίζεται σε περιοχές με χαμηλές βροχοπτώσεις, ως μακροπρόθεσμο χαρακτηριστικό γνώρισμα από την ξηρασία που δείχνει μια απόκλιση από τη μέση κατάσταση, αλλά βρίσκεται ακόμα μέσα στη φυσική μεταβλητότητα του οικοσυστήματος. Επίσης, πρέπει να διακρίνεται μεταξύ των παροδικών περιόδων ανεπάρκειας ύδατος, της ξηρότητας, της ερημοποίησης και της ξηρασίας αυτής καθ' εαυτής, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 2. 3 (Karavitis et al., 2014).



μεταβλητής κατά τη διάρκεια κάποιου χρονικού διαστήματος. Αυτό γίνεται συγκρίνοντας την τρέχουσα κατάσταση με τον ιστορικό μέσο όρο που προκύπτει από μετρήσεις των τελευταίων 30 ετών. Το κατώτερο όριο που προσδιορίζεται ως αρχή της ξηρασίας (π.χ. 75% της μέσης πτώσης κατά τη διάρκεια ενός καθορισμένου χρονικού διαστήματος) ορίζεται συνήθως αυθαίρετα και όχι βάσει της ακριβούς σχέσης του με συγκεκριμένες επιπτώσεις (Karavitis et al., 2012; McKee et al., 1993).

Οι λειτουργικοί ορισμοί μπορούν, επίσης, να χρησιμοποιηθούν για να αναλύσουν τη συχνότητα, τη δριμύτητα και τη διάρκεια ξηρασίας σε μια δεδομένη ιστορική περίοδο. Τέτοιοι ορισμοί απαιτούν λεπτομερή μετεωρολογικά δεδομένα και δεδομένα που ανταποκρίνονται στις επιπτώσεις, που εξαρτώνται από τη φύση του ορισμού που εφαρμόστηκε. Η μελέτη της κλιματολογίας μίας περιοχής μπορεί να παρέχει μεγαλύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών και της πιθανότητας επανάληψης μιας ξηρασίας στα διάφορα επίπεδα δριμύτητας. Πληροφορίες τέτοιου τύπου είναι εξαιρετικά ευεργετικές στην ανάπτυξη των στρατηγικών αντιμετώπισης και μετριασμού της ξηρασίας και στην προετοιμασία του σχεδίου διαχείρισής της.

#### **2.4.1. Ορισμοί Ξηρασίας**

Η δυσκολία απόδοσης ενός ενιαίου ορισμού στην ξηρασία αποτελεί ένα διαρκές εμπόδιο για την παρατήρηση και την ανάλυσή της (Karavitis, 1992; Karavitis et al., 2012; McKee et al., 1993). Το χαρακτηριστικό αυτό που ξεχωρίζει την ξηρασία από τα υπόλοιπα επικίνδυνα ακραία φαινόμενα είναι η έλλειψη ενός γενικά αποδεκτού ορισμού, όπως ήδη αναλύθηκε στην παράγραφο 2.3. Η ξηρασία πρέπει να ορισθεί σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά κάθε κλιματικού συστήματος και τον συγκεκριμένο τομέα τον οποίο αφορά η επίδρασή της. Ένας πολύπλοκος παράγοντας που παίζει ρόλο στο χαρακτηρισμό της, είναι ότι ποικίλει τόσο στη χωρική όσο και στη χρονική κατανομή της. Επίσης, κάθε περιοχή ή λεκάνη απορροής είναι μοναδική και τα κοινωνικά χαρακτηριστικά της μπορούν και αλλάζουν δυναμικά σε σχέση με πολλαπλούς συσχετιζόμενους παράγοντες. Έτσι ένα φαινόμενο ξηρασίας μπορεί να είναι της ίδιας έντασης και διάρκειας με ένα αντίστοιχο φαινόμενο στο παρελθόν, αλλά τα αποτελέσματά της να διαφέρουν εξαιτίας της κοινωνικής διαφοροποίησης και εξέλιξης (Karavitis, 1999; Wilhite et al., 2007).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση πάνω σε δεκάδες ορισμούς διέκριναν έξι γενικές κατηγορίες ανάλογα με το σκοπό ενδιαφέροντος: μετεωρολογικό, κλιματολογικό, ατμοσφαιρικό, γεωπονικό, υδρολογικό και διαχείρισης υδατικών πόρων (Wilhite and Glantz,

1985). Η εύρεση ενός κοινώς αποδεκτού ορισμού των ξηρασιών παρουσιάζει πολλές δυσκολίες (Grigg, N. S. and Vlachos, E. C., 1990; Karavitis, 1992; Salas, 1986). Η ξηρασία ορίζεται ως ένα φυσικό, αλλά προσωρινό φαινόμενο της διαθεσιμότητας του νερού, το οποίο αποτελείται από συνεχή χαμηλή μέση βροχόπτωση, από αβέβαιη συχνότητα, διάρκεια και σοβαρότητα, από απρόβλεπτη ή δύσκολη να προβλεφθεί εμφάνιση και έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της διαθεσιμότητας των υδάτινων πόρων και τη μείωση της ικανότητας επαναφοράς του οικοσυστήματος (Pereira et al., 2002).

Προκειμένου να υπερπηδηθούν αυτά τα εμπόδια, ένας γενικός ορισμός της ξηρασίας μπορεί να είναι «η κατάσταση αντίξωων και εξαπλωμένων, υδρολογικών, περιβαλλοντολογικών, κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων, εξ' αιτίας μικρότερων από τις γενικά αναμενόμενες ποσότητες νερού» (Karavitis, 1992, 1998). Τέτοιες ελλείψεις νερού μπορεί να προέρχονται από τη μείωση των βροχοπτώσεων, φυσικές ή τεχνικές ελλείψεις στον εφοδιασμό σε νερό, και από λανθασμένους τρόπους διαχείρισης των υδατικών συστημάτων. Συμπερασματικά, λοιπόν, η ξηρασία δεν είναι μόνο η έλλειψη βροχής, όπως πολλές φορές πιστεύεται, αλλά ως ένα πιο πολύπλοκο φαινόμενο που απαιτεί ολοκληρωμένη ανάλυση, αποτίμηση των ενεργειών και στοχευμένες δράσεις (Bradford, 2000; Rossi, 2000; Wilhite et al., 2007).

Το συγκεκριμένο φαινόμενο ξεκινάει αργά και συνήθως αναγνωρίζεται όταν έχει ήδη διαμορφωθεί. Είναι μεγάλης διάρκειας και συνήθως επηρεάζει μεγάλες περιοχές. Οι επιπτώσεις είναι καθοριστικές, όπως και η πρόβλεψη της αρχής και του τέλους του φαινομένου είναι εξαιρετικά δύσκολη υπόθεση (Cordery and McCall, 2000; Karavitis et al., 2015; Βασιλάκου, 2010).

## 2.5. ΑΙΤΙΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Η ξηρασία συνήθως παρουσιάζεται όταν οι βροχοπτώσεις μίας συγκεκριμένης περιοχής είναι λιγότερες του μέσου όρου και ακολουθούνται από μεγάλα ποσοστά εξάτμισης για παρατεταμένες περιόδους. Η ξηρασία διαφέρει από άλλες φυσικές καταστροφές, λόγω της βραδύτητας εγκαθίδρυσής της και της μακράς διάρκειάς της. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η ξηρασία προκαλείται είτε από μείωση των βροχοπτώσεων είτε από ανεπάρκεια των αποθεμάτων των υδατικών πόρων. Η έννοια της ανεπάρκειας είναι σχετική και καθορίζεται από συγκεκριμένη ζήτηση νερού ανά τομέα, ή από συγκεκριμένες δραστηριότητες (Karavitis, 1992; Rossi et al., 1992; Yevjevich et al., 1983).

Πριν από την άνθιση της ανάπτυξης των σύγχρονων πόλεων με μεγάλη κατανάλωση νερού, η ξηρασία ήταν κυρίως μία καταστροφή συνυφασμένη με τη γεωργία. Τώρα, με την αύξηση της αστικοποίησης - ειδικά στις ημίξηρες περιοχές – όπου η αστική επέκταση γίνεται πιο γρήγορα από τα έργα εφοδιασμού σε νερό, η ξηρασία πρέπει να αντιμετωπιστεί όχι μόνο από τον αγρότη, αλλά και από τον αστό. Καθώς οι περισσότεροι υδατικοί πόροι ανανεώνονται με τις βροχοπτώσεις, η ανεπάρκεια αυτών είναι συνήθως ο κύριος λόγος που προκαλεί την ξηρασία. Αυτή η ανεπάρκεια προκαλείται συνήθως από μια δυσμενή απόδοση των παραγόντων που επηρεάζουν το κλίμα στη δεδομένη περιοχή. Η κλιματολογία των βροχοπτώσεων, της θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής υγρασίας, παρέχει μια ένδειξη της συχνότητας και της έντασης των βροχοπτώσεων, το συσχετισμό τους με τη θερμοκρασία και τη μείωση της ατμοσφαιρικής υγρασίας που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια των ξηρασιών (Barriendos, 1997; van Dijk et al., 2013).

Αλλαγές στην ατμόσφαιρα που προκαλούν ξηρασία μπορεί να επεκταθούν σε χρονική κλίμακα του ενός μήνα, μίας εποχής, μερικών χρόνων, ή ακόμα και ενός αιώνα. Εξαιτίας της οικονομικής και περιβαλλοντικής σημασίας της ξηρασίας, γίνονται προσπάθειες πρόβλεψης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (atmospheric circulation patterns) προκειμένου να λυθεί το πρόβλημα που την προκαλεί. Οι εμπειρικές μελέτες, που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα, έχουν δείξει ότι η μετεωρολογική ξηρασία δεν είναι ποτέ αποτέλεσμα μιας και μόνο αιτίας, αλλά το αποτέλεσμα πολλών αιτιών, που δρουν συνεργιστικά στη φύση (Namias, 1983).

Η υπάρχουσα άποψη και συζήτηση θεωρεί τις αιτίες κατά ένα μεγάλο μέρος ως αιτιοκρατικές, δεδομένου ότι η έλλειψη είναι ένα αποτέλεσμα της ευπροσδιόριστης και συνήθως εφαρμοζόμενης προσέγγισης «αιτίου και αιτιατού». Εντούτοις, αν η ξηρασία είναι το σημείο που υπάρχει έλλειψη νερού και υποβάθμιση της ποιότητας του, τότε οι κοινωνικές και πολιτικές αιτίες προσδιορίζονται πιο δύσκολα. Πολλές από τις αιτίες είναι αλληλένδετες και δεν είναι εύκολο να διακριθούν. Μερικές από τις κύριες αιτίες παρατίθενται παρακάτω. Ο κατάλογος δεν είναι κατά σειρά προτεραιότητας, αν και μερικές αιτίες ασκούν μεγαλύτερη επίδραση από άλλες (Alcamo et al., 2007; Bekins et al., 2001; Freeze and Witherspoon, 1967).

Η κύρια αιτία αύξησης της έλλειψης νερού είναι η αύξηση της ζήτησης που με την σειρά της είναι αποτέλεσμα της αύξησης του πληθυσμού. Ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται ραγδαία: το 2020 εκτιμάται ότι θα είναι 7,9 δις, 50% δηλαδή μεγαλύτερος από το 1990 (Dyson, 1996). Το μεγαλύτερο μέρος αυτού του πληθυσμού θα βρίσκεται σε χώρες, στις οποίες το ποσοστό διαθέσιμης ποσότητας νερού για αστική χρήση είναι πολύ χαμηλό, και

στις οποίες αυξάνεται η χρήση συσκευών που χρησιμοποιούν πολύ νερό κατά τη λειτουργία τους. Επίσης, πολλές από αυτές τις χώρες αστικοποιούνται με γρήγορο ρυθμό και ο στόχος της απόκτησης επαρκούς νερού και της κατανομής του στα νέα αστικοποιημένα κέντρα θα αποτελέσει μια σημαντική οικονομική και περιβαλλοντική πρόκληση. Η σημαντικότερη αύξηση της ζήτησης οφείλεται στις αναπτυξιακές ανάγκες του αυξανόμενου πληθυσμού και κυρίως στην ανάγκη να αυξηθούν τα τρόφιμα που θα ικανοποιήσουν τις ανάγκες αυτού του πληθυσμού.

Η υποβάθμιση και η μετατροπή των χρήσεων γης στις λεκάνες απορροής μπορούν να μειώσουν το ποσοστό του διαθέσιμου προς χρήση νερού. Ενώ η μείωση της φυτικής κάλυψης οδηγεί σε μεγαλύτερες απορροές, ταυτόχρονα μειώνει τη διήθηση προς τα υπόγεια νερά και την ικανότητα αποθήκευσης των ταμιευτήρων και των λιμνών λόγω αυξανόμενης καθίζησης από τον αυξανόμενο όγκο φερτών υλικών. Η στράγγιση των υγροτόπων ή της αποψίλωσης δασών σε μεγάλη κλίμακα, μπορεί να αλλάξει το μικρόκλιμα μιας περιοχής. Οι συνέπειες των ανεπαρκών μεθόδων διαχείρισης και καλλιέργειας των εδαφών εντείνουν τον κίνδυνο και κάνουν τις κοινότητες πιο τρωτές, έτσι ώστε ακόμα και μία μικρή αλλαγή στις συνθήκες μπορεί να αποβεί μοιραία. Άλλο ένα ζήτημα σχετικό με τη χρήση της γης είναι η καλλιέργεια υδροβόρων καλλιεργειών και μάλιστα σε ευαίσθητες περιοχές όπως είναι οι ορεινές υδρολογικές λεκάνες, περιοχές περιφερειακά των υγροτόπων, ή ακόμα και περιοχές στις οποίες ήδη παρατηρείται έλλειψη νερού και υποβάθμιση της ποιότητάς του (de Vries et al., 2012; Lambin et al., 2003; Zeng, 2003).

Όσον αφορά την Ευρώπη, εκτιμάται ότι περίπου το 42% της συνολικής εδαφικής έκτασης είναι καλλιεργήσιμο (περιλαμβάνοντας 24% αρόσιμο έδαφος, 16 % μόνιμες καλλιέργειες, και 2 % βοσκοτόπια / λιβάδια), το 33 % είναι δάση και περίπου το 1 % έχει αστικοποιηθεί (EEA, 1995). Η Ευρωπαϊκή Ένωση, με τη μεταρρύθμιση της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής, είναι δεσμευμένη σε μια πολιτική που προάγει την αναδάσωση. Συνολικά στην Ευρώπη, οι δασικές εκτάσεις έχουν αυξηθεί τα τελευταία 30 χρόνια περίπου κατά 10% και υπολογίζεται ότι κάθε δεκαετία θα χάνεται το 2% της γεωργικής γης, λόγω αστικοποίησης. Οι δύο αυτές αλλαγές θα έχουν σημαντική επιρροή στην υδρολογία της περιοχής. Είναι γενικώς αποδεκτό ότι η αναδάσωση μίας περιοχής - λεκάνης απορροής, μειώνει τη μέση απορροή μέσω της αύξησης της κατακράτησης και της εξατμοδιαπνοής, είναι όμως απαραίτητο να τονιστεί ότι αυτή η επίδραση πρέπει να εξισορροπηθεί με τις οικολογικές διεργασίες που διαδραματίζονται σε μία δασική λεκάνη σε επίπεδο προστασίας από την εδαφική διάβρωση και γενικά προστασίας του περιβάλλοντος (Goyal, 2004; Oki, 2006). Η ακριβής επίπτωση στα επιφανειακά νερά, συνεπώς, θα ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του δάσους, την ένταση της



φύτευσης και των πρακτικών διαχείρισης των εδαφών (Angelsen and Kaimowitz, 2001; Nilsson et al., 2010; Taff et al., 2009).

Η αστικοποίηση φαίνεται να επιφέρει αύξηση της επιφανειακής απορροής, μειωμένη διηθητική ικανότητα και μειωμένες τοπικά απορροές. Στις μεσογειακές περιοχές, το ημίξηρο κλίμα, σε συνδυασμό με τη φτωχή διαχείριση του εδάφους και των καλλιεργειών, οδηγεί στην εδαφική υποβάθμιση. Εκτιμάται ότι περίπου το 44% της Ισπανίας έχει προσβληθεί από κάποιο είδος εδαφικής διάβρωσης. Η εδαφική διάβρωση μειώνει τη διηθητική ικανότητα του εδάφους και αυξάνει την τρωτότητα μιας περιοχής στη ξηρασία (Kang et al., 1998).

Η ρύπανση των υδάτων μειώνει τον εφοδιασμό του καθαρού προς χρήση νερού. Αυτό γίνεται πιο έντονο κατά τη διάρκεια περιόδων έλλειψης. Υπό κανονικές συνθήκες, η ικανότητα ενός ποταμού να δεχθεί ένα δεδομένο φορτίο ρύπανσης καθορίζεται από τον παράγοντα μέσης διάλυσης. Δεδομένου ότι η ποσότητα του νερού μειώνεται, οι ποταμοί και τα υδατορεύματα γίνονται όλο και πιο ευαίσθητα στη ρύπανση, όπως, επίσης, οι άνθρωποι και οι υπόλοιποι ζωντανοί οργανισμοί που εξαρτώνται από το νερό. Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί στα επιφανειακά νερά (π.χ. ένα ποτάμι ή μια λίμνη των οποίων το νερό χρησιμοποιείται για αστική χρήση) ή τα υπόγεια και η ρύπανση μπορεί να έχει προέλευση από βιομηχανικά απόβλητα, γεωργικά απόβλητα (λόγω χρήσης χημικών λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων, που καταλήγουν στους υδάτινους αποδέκτες μέσω απορροής και διήθησης), παράνομη διάθεση των αστικών αποβλήτων, ή απόρριψη των ανεπαρκώς επεξεργασμένων λυμάτων. Από την άλλη πλευρά, η μείωση της ρύπανσης του νερού μπορεί να αυξήσει την διαθέσιμη παροχή για τις διάφορες χρήσεις (Carpenter et al., 1998; Sartor et al., 1974; Spulber and Sabbaghi, 1998; Wade Miller, 2006).

Η αυξανόμενη ζήτηση νερού, και μάλιστα όταν δεν γίνεται σωστή χρήση του, θα επιταχύνει την άφιξη των συνθηκών έλλειψης νερού. Η διαδεδομένη παρερμηνεία ότι υπάρχει αφθονία νερού και ότι το μόνο πρόβλημα είναι το να φτάσει στη σωστή θέση και στο σωστό χρόνο, παραμένει ακόμα, με αποτέλεσμα τον προσανατολισμό της διαχείρισης των υδατικών πόρων προς τον εφοδιασμό. Η μείωση και η διαχείριση της ζήτησης του νερού, η επιβολή της αποδοτικότητας της χρήσης και η θέσπιση μέτρων εξοικονόμησης του νερού απαιτούν πλέον άμεσες πολιτικές και νομοθετικές επεμβάσεις (Grigg, 1997, 1996; Manoli et al., 2004; Stephenson, 2012).

Η φτωχή ή ανεπαρκής νομοθεσία μπορεί να επιδεινώσει τα αποτελέσματα της έλλειψης νερού. Οι πράξεις νομοθεσίας που δίνουν τα αποκλειστικά δικαιώματα σε μερικούς χρήστες είναι απαραίτητες για να παρέχουν ασφάλεια για τις επενδύσεις (συνήθως στο γεωργικό

τομέα), αλλά μπορούν να οδηγήσουν σε σοβαρό κίνδυνο κατά τη διάρκεια των περιόδων της έλλειψης. Η διαχείριση των υδατικών πόρων και οι πολιτικές ανάπτυξης έχουν άμεση επίδραση στην ικανότητα μερικών τομέων να επιβιώσουν σε περιόδους έλλειψης. Αν είναι ανεπαρκείς, αναποτελεσματικές, ή αν δεν παρέχουν τουλάχιστον την ικανοποίηση των βασικών αναγκών όλων των πολιτών, τότε ένα ιδιαίτερο περιστατικό έλλειψης ύδατος θα οδηγήσει στην ξηρασία (Fara, 2001; Kampragou et al., 2011; Rossi, 2009).

Η χρήση του νερού στους διεθνείς ποταμούς των διασυνοριακών λεκανών απορροής από τις ανάντη χώρες, μπορεί να οδηγήσει σε συνθήκες ελλείμματος-ξηρασίας στις κατάντη χώρες. Αυτό είναι ένα πρόβλημα που επιδεινώνεται προφανώς κατά τη διάρκεια των περιόδων έλλειψης. Είναι σημαντικό να διατηρείται η επικοινωνία μεταξύ των παρακείμενων χωρών μέσω διαφόρων μηχανισμών, συμπεριλαμβανομένων των ειδικών πρωτοκόλλων, των κοινών επιτροπών, των υπομνημάτων της συμφωνίας, των συνθηκών κ.λπ. Είναι σημαντικό να συνάπτονται αυτές οι συμφωνίες κατά τη διάρκεια των περιόδων αφθονίας νερού παρά σε περιόδους κρίσης (Eleftheriadou and Myloroulos, 2008; Kampragou et al., 2011; Myloroulos et al., 2008).

Οι πολιτικοί και οι λήπτες αποφάσεων είναι τα πρόσωπα που έχουν τη μέγιστη επιρροή στην κατανομή των μειωμένων οικονομικών προϋπολογισμών και την υιοθέτηση των πολιτικών για την αντιμετώπιση των ξηρασιών. Δυστυχώς, η χρονική προοπτική πολλών πολιτικών δεν συμπίπτει με τη χρονική διάσταση μιας συνετής διαχείρισης των υδατικών πόρων, με συνέπεια οι αποφάσεις να λαμβάνονται συνήθως βάσει των βραχυπρόθεσμων πολιτικών οφελών (Iglesias et al., 2009; Wilhite, 2005; Yevjevich et al., 1983).

Υπάρχουν διάφορα κοινωνιολογικά και πολιτιστικά ζητήματα που επιδεινώνουν την κατάσταση έλλειψης νερού. Αυτά τα ζητήματα είναι συχνά ένα αποτέλεσμα πρακτικών που δεν παρουσίασαν αρχικά καμία απειλή στο περιβάλλον, αλλά έχουν γίνει απειλή με τις διάφορες πιέσεις του πληθυσμού και με την αύξηση της κατανάλωσης νερού. Οι προκύπτουσες πιέσεις στο περιβάλλον, παραδείγματος χάριν από υπερβόσκηση, έχουν μια άμεση και καταστρεπτική επίδραση στους υδατικούς πόρους. Οι μακροπρόθεσμες οικονομικές και κοινωνικές επιδράσεις αυτών των ζητημάτων, προκαθορίζουν συχνά το γενικό πολιτικό και οικονομικό πλαίσιο, από το οποίο πηγάζουν πολλές από τις άλλες αιτίες έλλειψης νερού (Berkes et al., 2000; Downing et al., 2000; Iglesias et al., 2009; Karavitis, 1992).

## 2.6. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

Σε περιόδους ξηρασίας, η φυσική βλάστηση στο περιβάλλον είναι εμφανώς διαφοροποιημένη και μπορεί να υπάρξουν ξηρές περιοχές, η απορροή είναι εμφανώς μειωμένη, η στάθμη του νερού σε λίμνες, ποτάμια και ταμειυτήρες μειώνεται και αυξάνει το βάθος των υπογείων υδάτων (γεωτρήσεις – πηγάδια). Σε περιπτώσεις που η ξηρασία εξακολουθεί να επιμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα, μπορεί να προκύψουν μακροχρόνιες επιπτώσεις, όπως τα υπόγεια ύδατα με μείωση της στάθμης, καθίζηση του εδάφους, διείσδυση του θαλάσσιου νερού- σημαντικό πρόβλημα για τις νησιωτικές περιοχές-, και ζημιές σε οικοσυστήματα. Σε αντίθεση με τις άμεσες επιπτώσεις της, οι μακροπρόθεσμες μπορεί να είναι πιο δύσκολο να αντιμετωπιστούν, αλλά και πιο δαπανηρές για τη διαχείριση τους (Konikow and Kendy, 2005; Tallaksen and Lanen, 2004).

Κατά τη διάρκεια της ξηρασίας, η μείωση της απορροής των επιφανειακών υδάτων μπορεί να επηρεάσει την παραγωγή της υδροηλεκτρικής ενέργειας, την πλεύση, την αναψυχή και φυσικά τις επιπτώσεις στα υδρόβια και στα παράκτια είδη. Σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της ξηρασίας στα επιφανειακά ύδατα, στα υπόγεια υπάρχει μια χρονική διαφορά στις στάθμες των γεωτρήσεων και των πηγαδιών και ενδεχομένως η διαφορά αυτή να ισούται με μήνες ή και χρόνια μετά από την έναρξη της ξηρασίας. Παρά τον μειωμένο εφοδιασμό, η ζήτηση εξαρτάται και από τα υπόγεια ύδατα και αυξάνει κατά τη διάρκεια της ξηρασίας, έτσι έχει ως αποτέλεσμα την υπεράντληση των υπόγειων υδάτων. Εάν ο πόρος αντλείται με ταχύτερο ρυθμό από ότι είναι ο φυσικός εμπλουτισμός του υδροφόρου ορίζοντα τότε δημιουργείται σημαντικό πρόβλημα στην επαναπλήρωσή του αλλά και ενδέχεται να επιφέρει επιδείνωση στην ποιότητα των υπογείων υδάτων. Επί των πλείστων, τα επιφανειακά (υδατορεύματα, λίμνες, ταμειυτήρες, υγρότοποι και εκβολές ποταμών) αλληλοεπιδρούν με τα υπόγεια ύδατα. Εκτός του ότι είναι μια σημαντική πηγή νερού των λιμνών και των υγροτόπων, τα υπόγεια ύδατα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση των υδατορευμάτων μεταξύ των γεγονότων βροχής και ειδικά σε περιόδους παρατεταμένης ξηρασίας (Cushman, 1985; Soulis et al., 2016; Stone, 2010).

Η καθίζηση του εδάφους μπορεί να συμβεί σταδιακά ή αιφνίδια. Ένας λόγος που μπορεί να συμβεί αυτό είναι λόγω της υπερβολικής άντλησης και εξάντλησης των υδροφορέων, η οποία μπορεί να προκαλέσει μόνιμη ζημιά στην αποθήκευση των υπόγειων υδάτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η κοιλάδα Σαν Χοακιν (San Joaquin) της Καλιφόρνιας όπου υπάρχει καθίζηση του εδάφους και μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά λειτουργικά και διαρθρωτικά ζητήματα στο κανάλι του δέλτα Μεντότα (Mendota). Σε παράκτιες περιοχές, η

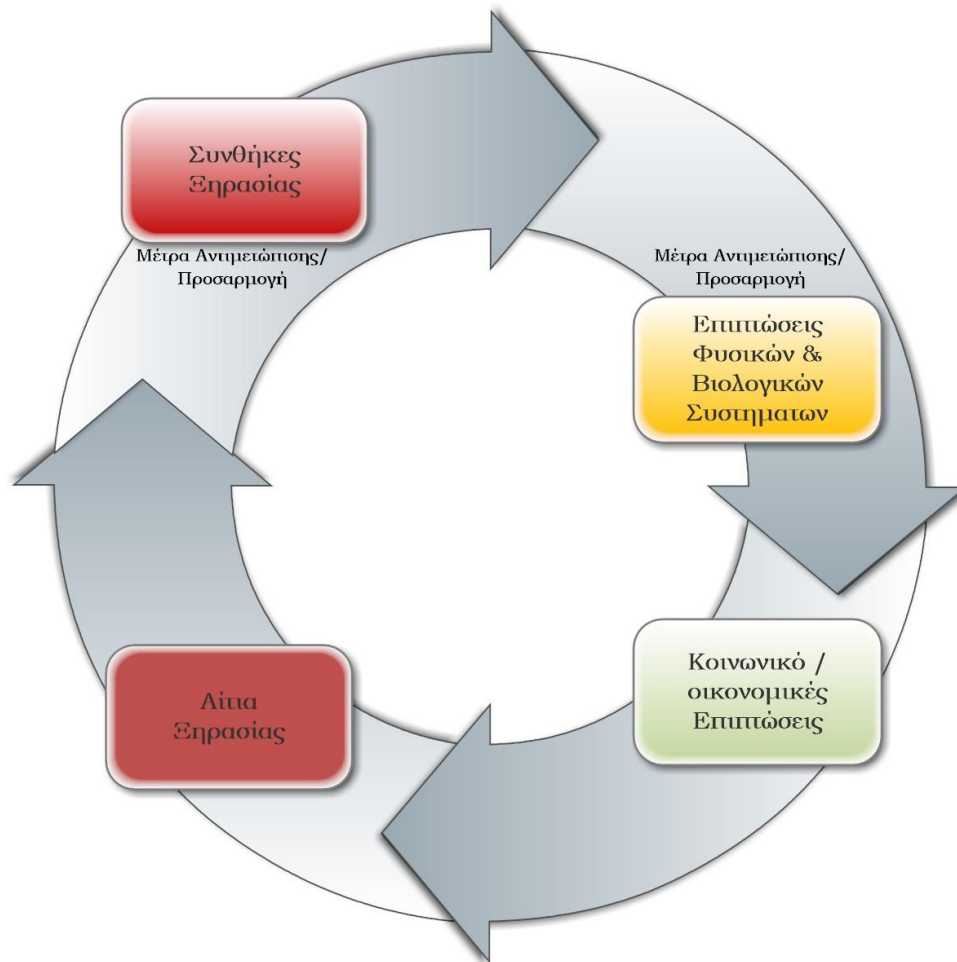
υπεράντληση μπορεί να επιφέρει διείσδυση του θαλασσινού νερού στο σύστημα του υδροφόρου ορίζοντα. Η διείσδυση του θαλασσινού νερού θέτει σε κίνδυνο την ποιότητα των υπογείων υδάτων και μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα των αρδευόμενων εδαφών (αλάτωση) (Freeze and Witherspoon, 1967; Gamvroula et al., 2013; Giordano, 2009; Petalas and Diamantis, 1999).

Για να αντιμετωπιστεί επιτυχώς ένα τέτοιο φαινόμενο πρέπει μια κοινωνία να είναι προετοιμασμένη ώστε να μπορεί να το αντιμετωπίσει. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία ενός σχεδίου αντιμετώπισης των ξηρασιών σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Το σχέδιο αυτό θα πρέπει να υποστηρίζεται από ένα σύστημα πληροφοριών παρακολούθησης των ξηρασιών σε κοντινό πραγματικό χρόνο ώστε να βοηθήσει τους λήπτες των αποφάσεων στην εξεύρεση βέλτιστων λύσεων στα σημαντικά θέματα των υδατικών πόρων τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό επίπεδο (Karavitis et al., 2015, 2014). Το σύστημα αυτό θα πρέπει να βρίσκεται υπό τα πλαίσια του προληπτικού σχεδιασμού και να παρακολουθεί τις άμεσες επιπτώσεις ξηρασίας στον εφοδιασμό, στην ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. Τα αποτελέσματα του φαινομένου έχουν αθροιστική δράση σε όλες τις δραστηριότητες και σχετίζονται με την οικονομία του νερού και την κοινωνία. Οι Wilhite et al., (1987) περιέγραψαν δύο μεθόδους προσέγγισης των αποτελεσμάτων. Πρώτη είναι η προσέγγιση του αιτίου- αιτιατού. Η ξηρασία είναι ένα κλιματικό φαινόμενο που λειτουργεί μοναδικά και έχει κάποιο αποτέλεσμα. Η δεύτερη είναι η προσέγγιση της αλληλεπίδρασης και υποστηρίζει πως ποικίλες διαδικασίες (φυσικές, οικονομικές, κοινωνικές) ίσως επηρεάζουν την μοναδική δράση του φαινομένου και επηρεάζουν και το αποτέλεσμα. Με άλλα λόγια εάν κοινωνικοπολιτικοί και περιβαλλοντικοί λόγοι συνδυαστούν αρνητικά με μια μοναδική λειτουργία ίσως να προκληθεί κρίση. Η δεύτερη προσέγγιση της αλληλεπίδρασης θεωρήθηκε πιο ρεαλιστική, παρουσιάζοντας τα αποτελέσματα του φαινομένου της ξηρασίας σαν «βαθμούς αλληλεπίδρασης» (Karavitis, 1992; Wilhite et al., 2007; Wilhite and Glantz, 1985). Από αυτή την άποψη, μια πρώτη κατηγοριοποίηση θα ήταν σε πρώτου, δευτέρου και τρίτου βαθμού αποτελέσματα (Changnon and Easterling, 1989; Karavitis, 1992 ).

Τα αποτελέσματα πρώτου βαθμού σχετίζονται με αλλαγές στον υδρολογικό κύκλο (βροχόπτωση, απορροή, υπεδάφιο νερό, παροχή ποταμών). Τα αποτελέσματα δευτέρου βαθμού επηρεάζουν τις ανθρώπινες δραστηριότητες (γεωργία, βιομηχανία, μεταφορά, αστική χρήση). Τα αποτελέσματα τρίτου βαθμού μπορούν να θεωρηθούν οι ενέργειες προσαρμογής απέναντι στα πρώτου και δευτέρου βαθμού αποτελέσματα (έλλειμμα εισοδήματος, ρυθμίσεις στον τρόπο ζωής, ορθολογική οργάνωση). Την ίδια στιγμή τα αποτελέσματα τη ξηρασίας θα πρέπει να κατηγοριοποιηθούν σε ένα ενιαίο πλαίσιο

εργασίας, λιτό και περιεκτικό, έτσι ώστε να οδηγηθούμε σε δυναμικές αντιδράσεις απέναντι στο φαινόμενο (Karavitis, 1992; Yevjevich et al., 1983).

Υποστηρίζεται πως η ξηρασία επηρεάζει την κοινωνία έμμεσα ή άμεσα χρησιμοποιώντας ένα ενιαίο πλαίσιο εργασίας, αιτίου αιτιατού, στο οποίο οι παράγοντες που προκαλούν ξηρασία οδηγούν σε ξηρασίες διαφόρων χαρακτηριστικών (AAFC, 2005). Οι ξηρασίες αυτές έχουν βιολογικές και οργανικές επιπτώσεις, οι οποίες στη συνέχεια οδηγούν σε κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις. Οι προσαρμοσμένες αντιδράσεις στη ξηρασία λαμβάνουν χώρα σε δύο χρονικές κλίμακες: μια βραχυπρόθεσμη χρονική κλίμακα που λαμβάνει χώρα νωρίς, στην αρχή της ξηρασίας, και μια μακροπρόθεσμη στρατηγική που λαμβάνει χώρα πριν ή μετά το φαινόμενο της ξηρασίας με σκοπό την αντιμετώπιση αντίστοιχων μελλοντικών φαινομένων. Στην παρακάτω εικόνα δίνεται σχηματικά ο σχεδιασμός. Η προσαρμοστικότητα (adaptation) ορίζεται ως η ρύθμιση- προσαρμογή στα φυσικά ή ανθρώπινα συστήματα, και προκύπτει σαν απάντηση στα πραγματικά ή αναμενόμενα κλιματικά ερεθίσματα (αίτια) ή στα αποτελέσματα τους. Η επιτυχία της προσαρμοστικότητας είναι να μετριάσει τη βλαβερή επίδραση ή να εκμεταλλευτεί τις ευκαιρίες που μπορούν να προκύψουν από ένα φαινόμενο ξηρασίας (Watson et al., 2001).



Εικόνα 2. 4. Ένα πλαίσιο αιτίου-αιτιατού ανάμεσα στη γένεση, τα χαρακτηριστικά, τις επιπτώσεις και τα μέτρα αντιμετώπισης της ξηρασίας. (adapted from (AAFC, 2005; Τσεσμελής, 2010).

Ο Yevjevich ήταν από τους πρώτους που προσπάθησε να δώσει μια πρόβλεψη των ιδιοτήτων της ξηρασίας, χρησιμοποιώντας τη γεωμετρική πιθανολογική κατανομή, ορίζοντας μια ξηρασία  $k$  χρόνων σαν  $k$  συνεχόμενα χρόνια κατά τα οποία δεν υπάρχουν επαρκείς υδατικοί πόροι (Yevjevich, 1967). Χωρίς αμφιβολία ένας ακριβής και ξεκάθαρος ορισμός της ξηρασίας που παραμένει απατηλός (Grigg, 1996; Karavitis, 1992, 1998; Karavitis et al., 2014; Yevjevich et al., 1983). Κλείνοντας η ξηρασία χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες ιδιότητές της και αυτές είναι (Salas, 1993):

- **Διάρκεια:** Ανάλογα με την περιοχή, η διάρκεια της ξηρασίας μπορεί να ποικίλει ανάμεσα σε μια εβδομάδα έως μερικά χρόνια. Λόγω της δυναμικής φύσης του φαινομένου, μια περιοχή μπορεί να διέρχεται από υγρές και ξηρές περιόδους ταυτόχρονα, κατά την εξέταση των διαφόρων χρονικών πλαισίων. Ως εκ τούτου, σε μικρότερες διάρκειες η περιοχή βιώνει ξηρότητα ή υγρασία, ενώ μακροπρόθεσμα, βιώνει το αντίθετο.

- **Μέγεθος:** Το συνολικό έλλειμμα νερού (π.χ. βροχόπτωση, υγρασία εδάφους ή απορροή) κάτω από ορισμένο σημείο κατά τη διάρκεια περιόδου ξηρασίας.
- **Ένταση:** Ο λόγος του μεγέθους της ξηρασίας προς τη διάρκειά της.
- **Δριμύτητα:** Παρέχονται δύο χρήσεις της δριμύτητα - Ο βαθμός του ελλείμματος βροχόπτωσης (μέγεθος) και το μέγεθος των επιπτώσεων εξαιτίας του ελλείμματος αυτού.
- **Γεωγραφική Έκταση:** Η γεωγραφική κάλυψη της ξηρασίας η οποία ποικίλει κατά τη διάρκεια του φαινομένου. Η έκταση αυτή μπορεί να καλύψει μεγάλη επιφάνεια.
- **Συχνότητα - Περίοδος Επαναφοράς:** Αυτή ορίζεται ως ο μέσος χρόνος μεταξύ δύο φαινομένων ξηρασίας με δριμύτητα ίση ή μεγαλύτερη από ένα συγκεκριμένο όριο.

## 2.7. ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΞΗΡΑΣΙΩΝ

Η γενική ικανότητα των ληπτών των αποφάσεων και της κοινωνίας να εμπλακεί σε σενάρια προληπτικής διαχείρισης των φυσικών πόρων, εξαρτάται πρώτιστα από τις προγενέστερες μακροχρόνιες αποφάσεις δημόσιας πολιτικής, ειδικά όσον αφορά τις τεχνολογικές ανακαλύψεις, την κατασκευή ταμιευτήρων, τα προβλήματα διατήρησης του εδάφους, την αποτροπή της διάβρωσης, την έρευνα για την υδατική καταπόνηση των φυτών, και γενικά τη δημιουργία προγραμμάτων και πολιτικών με επαρκή εστίαση στην ανάπτυξη των πόρων. Για να προφυλαχθεί μία περιοχή σε τοπικό και εθνικό επίπεδο από ακραία φαινόμενα ξηρασίας πρέπει να οχυρωθεί με ένα σχέδιο δράσης ικανό να θέσει τους σκοπούς και τους στόχους με στρατηγική διορατικότητα για τη διαχείριση των υδατικών πόρων (Καραβίτης et al, 2008). Όμως συνήθως στην Ελλάδα οι λήπτες των αποφάσεων δεν λειτουργούν με διορατικότητα και βάση του σχεδίου που υπάρχει για την αντιμετώπιση και τον μετριασμό του φαινομένου, ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η Εικόνα 2. 5 όπου αποτυπώνει την παρούσα κατάσταση με τον ύδρο-(παρά)λογικό κύκλο. Η ανησυχία και ο πανικός κατά τη διάρκεια μιας ξηρασίας αντικαθίστανται γρήγορα από την απάθεια μόλις επιστρέψουν οι βροχές και οι συνθήκες ξηρασίας βελτιωθούν. Εάν οι πολιτικοί επιθυμούν να διασπάσουν αυτόν τον κύκλο στο επόμενο επεισόδιο της ξηρασίας ή έστω να μειώσουν την τρωτότητα του συστήματος πρέπει να αντικατασταθεί η αδιαφορία με τον προληπτικό σχεδιασμό στην Εικόνα 2. 6. Αντίθετα με τη σωστή προετοιμασία μειώνεται η τρωτότητα του συστήματος-περιοχής στη ξηρασία.



Εικόνα 2. 5. Ο Υδρο(παρα)λογικός Κύκλος (National Drought Mitigation Center, 1998).



Εικόνα 2. 6. Ο Υδρο(μεθοδο)λογικός Κύκλος τροποποιημένος από τον Υδροπαραλογικό Κύκλο.



Επιπλέον αναλύει τις ευθύνες και τα καθήκοντα των ειδικών ομάδων δράσης αλλά και των ληπτών των αποφάσεων. Οι ξηρασίες των τελευταίων είκοσι ετών όπως εμφανίστηκαν στην παρούσα μελέτη έδειξαν ότι η πολιτεία πρέπει να οργανωθεί με το ισχυρό όπλο του προληπτικού σχεδιασμού ώστε οι λήπτες των αποφάσεων να μην προβούν σε λύσεις βεβιασμένες και αποφάσεις κάτω από μεγάλη πίεση που τελικά δεν επιφέρουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα. (Grigg, 1996; Grigg, N. S. and Vlachos, E. C., 1990; Karavitis, 1992, 1999; Karavitis et al., 2014; Καραβίτης et al., 2015, 2008; Τσεσμελής, 2010).

Κατά συνέπεια, προκύπτει η ανάγκη για "βελτιωμένες θεσμικές ρυθμίσεις" και βελτίωση υποδομής, η ανάπτυξη των οποίων πρέπει να γίνει παράλληλα με την τεχνολογική πρόοδο. Κατόπιν εγείρεται ανάγκη γεφύρωσης του χάσματος μεταξύ της προφορικής συμφωνίας για κάποιο αναγκαστικό σχέδιο επέμβασης και της κατάστρωσης κοινωνικών και πολιτικών προσαρμογών που βασίζονται σε ένα εφαρμοσμένο πρωτόκολλο εν όψει υδατικής ανεπάρκειας. Δεν είναι μόνο η έμφυτη δυσκολία ανάπτυξης εναλλακτικών θεσμικών μηχανισμών, αλλά και η επικρατούσα στάση, δηλαδή να αντιμετωπιστεί απλά η υδατική έλλειψη μέσω μιας προσέγγισης διαχείρισης κρίσης (που υπονοεί μικρής εμβέλειας, αποσπασματικές, τμηματικές αντιδράσεις) εναντίον μιας εκτεταμένης και συστηματικής διαχείρισης κινδύνου, που απαιτεί να δοθεί έμφαση σε πιο περίπλοκες κοινωνικές επιλογές και εναλλακτικά σχέδια οργάνωσης και διοίκησης.

Τα παραπάνω υποδηλώνουν ότι είναι αναγκαίο να αναπτυχθεί ευαισθησία σε ποικίλες συνθήκες και αντιδράσεις παρά απλά να προωθείται ένα ειδικό σχέδιο που τείνει να λειτουργεί υπό περιορισμούς τόσο χρονικούς όσο και διαθεσιμότητας πόρων. Πράγματι, το θεμελιώδες ζήτημα που τίθεται δεν είναι ποια διορθωτικά μέτρα μπορούν να ληφθούν, αλλά εάν οι συγκεκριμένοι θεσμοί είναι σε θέση να χειρισθούν σε μακροχρόνιο ορίζοντα τις μεταβαλλόμενες περιστάσεις του κοινωνικού και φυσικού περιβάλλοντος.

Αυτή η δράση θα παραγάγει τη γνώση σχετικά με την υπάρχουσα βιβλιογραφία και τις προσεγγίσεις για την ανάπτυξη του σχεδιασμού και των πολιτικών για την διαχείριση ξηρασίας, αλλά και τις προσεγγίσεις στη διαχείριση επικινδυνότητας σε αντίστοιχες συνθήκες. Αν και διάφορες πρόσφατες δημοσιεύσεις περιέχουν κάποια στοιχεία, είναι λίγες οι σχετικές αναφορές περιπτώσεων εφαρμογής με επαρκείς και προσιτές πληροφορίες. Η αξιολόγηση των πολιτικών που εφαρμόζονται στην αντιμετώπιση της έλλειψης νερού σε διάφορους τομείς αναλύει πώς το πρόβλημα γίνεται αντιληπτό στους διάφορους τομείς και δείχνει ποιες στρατηγικές επιλέγονται σήμερα στα διάφορα επίπεδα για να το αντιμετωπίσουν. Οι στρατηγικές που εφαρμόζονται θα πρέπει να είναι σε περιφερειακό,

εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο. Αυτή η δράση θα παράγει γνώση σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφορετικών πολιτικών αντιμετώπισης των φαινομένων. Το θέμα των κατάλληλων μέτρων και η ισορροπία των πολιτικών αυτών θα διερευνηθούν, ενώ συγχρόνως θα διερευνηθεί ο βαθμός με τον οποίο είναι πιθανόν οι σχετιζόμενες με το νερό δράσεις να έχουν αντίκτυπο σε άλλες οικονομικές ή κοινωνικές διαδικασίες, και ποιες δυνατές δράσεις εκτός του τομέα υδάτων είναι σχετικές για ένα δεδομένο πρόβλημα έλλειψης νερού. (Grigg, 1996; Grigg, N. S. and Vlachos, E. C., 1990; Karavitis, 1992, 1999; Karavitis et al., 2014; Καραβίτης et al., 2015, 2008)

Οι διαθέσιμες επιλογές που εφαρμόζονται στο μετριασμό των επιπτώσεων της ξηρασίας μπορούν να περιέχουν δύο τύπους μέτρων τα προληπτικά και τα άμεσης αντίδρασης. Τα **προληπτικά μέτρα** ορίζονται όλα τα μέτρα που συλλαμβάνονται ή προετοιμάζονται από συνειδητές και συστηματικές ενέργειες, οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν στον μετριασμό των συνεπειών της υδατικής έλλειψης (εφοδιασμός). Τα **μέτρα άμεσης αντίδρασης κρίσεων** που ορίζονται ως τα μέτρα εκείνα που βασίζονται κυρίως στον αυτοσχεδιασμό (crisis emergency mobilization) και λαμβάνονται μόλις εμφανισθεί έλλειψη νερού και οι ορατές επιδράσεις είναι ήδη εν εξελίξει (π.χ. μείωση ζήτησης). Αυτά τα μέτρα αντίδρασης περιλαμβάνουν επίσης την εναλλακτική λύση να μην ληφθεί καμία ενέργεια, η οποία εφαρμόζεται συνήθως σε περιπτώσεις που τα άτομα ή οι οργανώσεις μπορούν εύκολα να προσαρμοσθούν ώστε να αντέξουν τις επιπτώσεις και την αποκατάσταση από τη ξηρασία.

Η διαφορά μεταξύ αυτών των δυο ομάδων μέτρων βρίσκεται κυρίως στην προσέγγιση του προληπτικού σχεδιασμού εναντίον του αυτοσχεδιασμού διάφορων ειδικών μέτρων. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η μείωση των διάφορων επιπτώσεων ξηρασίας στα προληπτικά μέτρα μπορεί να υπερβεί αρκετά το κόστος σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μέτρων άμεσης αντίδρασης. Για να εφαρμοστεί λοιπόν σωστά η πρώτη αυτή φάση του σεναρίου του προληπτικού σχεδιασμού, είναι πολύ σημαντικές ως πηγές πληροφόρησης τα χαρακτηριστικά των περιοχών στις οποίες αναμένεται να συμβεί ένα περιστατικό ξηρασίας (τύποι, επιδράσεις, ενεργά μέτρα που λαμβάνονται, μέτρα αντίδρασης, κλπ.). Κάθε προηγούμενη περίπτωση έλλειψης νερού γίνεται έπειτα ένα σημείο στο δείγμα των ιστορικών περιστατικών ξηρασίας. Η δεύτερη φάση της προληπτικής στρατηγικής, δηλαδή τα μέτρα που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της εξελισσόμενης ανεπάρκειας νερού, πρέπει να συσχετίζει τις αλλαγές στον εφοδιασμό και στην ζήτηση του νερού οι οποίες με κάποιο τρόπο, μειώνουν τις επιπτώσεις έλλειψης νερού με κατάλληλο τρόπο (αναλογία κέρδους/κόστους μεγαλύτερη του 1). Επιπλέον, αυτά τα προληπτικά μέτρα μπορούν να εφαρμοστούν για να μειώσουν τις επιπτώσεις και τις απώλειες πέρα από τα αποτελέσματα

των μέτρων που λαμβάνονται για να αυξηθεί ο εφοδιασμός του νερού και να μειωθεί η ζήτησή του κατά τη διάρκεια ξηρασίας. Η τρίτη φάση των προληπτικών στρατηγικών μέτρων, δηλαδή τα μέτρα που λαμβάνονται μετά την περίοδο ξηρασίας, περιέχει καλά προγραμματισμένες δράσεις που στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση της εξάπλωσης των επιπτώσεων πέρα από τις αναπόφευκτες στις διάφορες γεωγραφικές περιοχές και τους σχετικούς οικονομικούς και κοινωνικούς τομείς (Grigg, 1996; Grigg, N. S. and Vlachos, E. C., 1990; Karavitis, 1992, 1999; Karavitis et al., 2014; Καραβίτης et al., 2015, 2008).

Τα καθυστερημένα/αντίδρασης συσχετίζονται μόνο με τις χρονικές φάσεις κατά τη διάρκεια της περιόδου ξηρασίας και των περιόδων κατόπιν αυτών. Οι διαχειριστικές επιλογές αποτελούνται σε κάθε ιδιαίτερη περίπτωση από ένα συνδυασμό μέτρων μετριασμού της ξηρασίας, τα οποία επιλέγονται στη συνέχεια από ένα, μεγάλο σχετικά, πλήρες σύνολο διάφορων τύπων μέτρων. Τα μέτρα είναι φυσικής, τεχνολογικής, κατασκευαστικής και τεχνολογικής δομής. Τα μη-δομικά μέτρα αποτελούνται από οικονομικά, κοινωνικά, θεσμικά, πολιτικά και άλλα μέτρα, είτε προορίζονται να μειώσουν τις επιδράσεις είτε να καταναείμουν δίκαια τις απώλειες, που μπορεί να σημειωθούν σε μια περιοχή ή μια κοινωνία που πλήττεται.

Οι επιλογές αντιμετώπισης στη διαχείριση της ξηρασίας είναι ταξινομημένες σε τρεις ομάδες Εφοδιασμού, Ζήτησης, και ελαχιστοποίησης των Επιπτώσεων και των Απωλειών. Οποιαδήποτε μείωση του εφοδιασμού απαιτεί μείωση της χρήσης νερού, που σημαίνει ότι η κατανάλωση πρέπει να είναι ίδια με τον εφοδιασμό. Όταν οι χρήστες νερού υφίστανται μεγάλη πίεση λόγω αυτής της ρύθμισης αυτό που μένει είναι να εφαρμοστούν μετρά για την αύξηση παροχής νερού, χρήση της ευελιξίας για τη μείωση της ζήτησης, και βέλτιστη ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων και των απωλειών.

Όσον αφορά τον εφοδιασμό, τα μέτρα διαιρούνται σε (Καραβίτης et al, 2008):

- Καλύτερη χρήση του υφιστάμενου εφοδιασμού.
- Ανάπτυξη νέας/εφεδρικού εφοδιασμού (τεχνητή).
- Χρήση πολύ-παραγοντικών προσεγγίσεων για την αύξηση του εφοδιασμού (φυσική και τεχνητή).

Όσον αφορά τη ζήτηση, τα μέτρα διαιρούνται σε:

- Προληπτικά, συμπεριλαμβανομένου και νομοθετικές ρυθμίσεις ώστε να υπάρξει πίεση - ευαισθητοποίηση του κοινού.
- Οικονομικά κίνητρα για τη μείωση της χρήσης ύδατος.

- Άμεσης αντίδρασης, αξιοποίηση του ανακύκλωση νερού.
- Προετοιμασία για τις πιθανές επιπτώσεις των μέτρων ζήτησης τα οποία αυξάνουν τη μείωση της συνολικής ζήτησης (π.χ. μείωση αρδευτικού νερού → επιπτώσεις στην γεωργική παραγωγή).

Όσον αφορά την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων, τα μέτρα μετριασμού ξηρασίας διαιρούνται σε:

- Πρόληψη της ξηρασίας, με πρόβλεψη και προειδοποίηση (σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης/μοντέλα πρόγνωσης).
- Οικονομική ενίσχυση των πληγέντων περιοχών στους διαφόρους τομείς (γεωργία, βιομηχανία και τουρισμός).

Τα μέτρα μετριασμού των επιπτώσεων είναι βασισμένα στον κατάλληλο προγραμματισμό, στο σχέδιο, στην κατασκευή, στη λειτουργία και στη συντήρηση των υδατικών υποδομών και στη διατήρηση της ποιότητας νερού. Οι στρατηγικές διαχείρισης της ξηρασίας περιέχουν όλες εκείνες τις ενέργειες που οδηγούν στο μετριασμό των επιδράσεων της στους χρήστες. Δεδομένου ότι οι ενέργειες διαφέρουν πολύ, και δεδομένου ότι οι χρήστες νερού είναι ποικίλων τύπων, τα καλύτερα δομικά και μη-δομικά μέτρα αντιμετώπισης της ξηρασίας ποικίλλουν σημαντικά από περίπτωση σε περίπτωση και από περιοχή σε περιοχή. Αυτή η δραστηριότητα αντιπροσωπεύει μια συνδυασμένη χρήση μέτρων από ένα πλήρες σύνολο όλων των τύπων μέτρων μετριασμού.

Τα μέτρα αντιμετώπισης και ελαχιστοποίησης της ξηρασίας ορίζονται ως μεμονωμένες και συγκεκριμένες ενέργειες από τους λήπτες των αποφάσεων και οι συνδυασμοί ή το σύνολό τους μπορεί να αντιπροσωπεύουν την κατάλληλη **στρατηγική** αντιμετώπισης ώστε οι επιπτώσεις σε οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο αν είναι ελεγχόμενο. Τα ακόλουθα περιγραφικά βήματα ταξινομούν όλες τις διαχειριστικές επιλογές αντιμετώπισης της ξηρασίας σε τρεις βασικές ομάδες (Karavitis, 1992, 1999; Karavitis et al., 2014):

- **Μέτρα εφοδιασμού**, τα οποία προορίζονται να αυξήσουν τον εφοδιασμό κατά τη διάρκεια της ξηρασίας (*Εφοδιασμός  $\geq$  Ζήτηση*).
- **Μέτρα ζήτησης**, τα οποία προορίζονται να μειώσουν την ζήτηση κατά τη διάρκεια των ξηρασιών (*Εφοδιασμός  $\geq$  Ζήτηση*).
- **Μέτρα ελαχιστοποίησης επιπτώσεων**, τα οποία συσχετίζονται βασικά με τους χρήστες νερού, η ευαισθητοποίηση και η ενημέρωση των χρηστών, και τους

διάφορους οικονομικούς, κοινωνικούς και διοικητικούς παράγοντες, οι οποίοι μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τις επιπτώσεις (*Εφοδιασμός  $\geq$  Ζήτηση*).

Η βασική χρησιμότητά του είναι η δυνατότητα παροχής ενός πλήρους συνόλου μέτρων αντιμετώπισης ξηρασίας που πρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο στα προληπτικά όσο και στα άμεσης αντίδρασης επιλογές. Η χρήση του υφιστάμενου εφοδιασμού νερού κατά τη διάρκεια μίας περιόδου ξηρασίας έχει δύο βασικές πτυχές. Κατ' αρχάς, η ανταλλαγή των παρόντων και των μελλοντικών ωφελειών σε βάρος των μελλοντικών με υψηλό το κίνδυνο μελλοντικών ξηρασιών. Η υπάρχουσα απροθυμία των χρηστών να δεχτούν μια ισορροπία μεταξύ των παρόντων και μελλοντικών ωφελειών μπορεί να αυξήσει σημαντικά τις μελλοντικές απώλειες λόγω ξηρασίας. Συχνά η λογική των χρηστών είναι ότι τα παρόντα οφέλη είναι σίγουρα, ενώ οι μελλοντικές απώλειες υπόκεινται σε αβεβαιότητες, αν και μακροπρόθεσμα αυτές οι αβεβαιότητες θα γίνουν βεβαιότητες. Δεύτερον, οι σχέσεις μεταξύ των απωλειών και των εντάσεων της ξηρασίας τις περισσότερες φορές είναι μη γραμμικές έτσι ώστε τα αυξημένα σημερινά οφέλη να μην αντισταθμίζουν τις μελλοντικές απώλειες (π.χ. μία δριμεία ξηρασία μπορεί να καταστρέψει εντελώς τις καλλιέργειες) (Grigg, 1996; Grigg, N. S. and Vlachos, E. C., 1990; Karavitis, 1992, 1999; Karavitis et al., 2014; Vlachos and James, 1983; Wilhite et al., 2007; Καραβίτης et al., 2015, 2008).

Επομένως, η λειτουργία της αποθηκευτικής ικανότητας κατά τη διάρκεια των ξηρασιών πρέπει να λάβει υπόψη: (1) **περιορισμούς**, που περιλαμβάνουν τις ποινές που συνδέονται με τους κανόνες χορήγησης νερού, και (2) **οικονομικές ανταλλαγές**, που περιλαμβάνουν τα παρόντα και μελλοντικά οφέλη καθώς επίσης και τις σχετικές ποινές. Αυτά τα προβλήματα έχουν ήδη αποδειχθεί σε πρόσφατες περιόδους ξηρασίας ότι είναι ουσιώδη στις αποφάσεις για το μετριασμό. Τα σημαντικότερα από αυτά τα μέτρα παρουσιάζονται διαχρονικά στα παρακάτω (Καραβίτης et al., 2008; Yevjevich et al., 1983)

**Επιφανειακών υδάτων:** Αυτό το μέτρο στο μετριασμό της ξηρασίας είναι τόσο παλιό όσο οι πρώτοι ταμιευτήρες που κατασκευάστηκαν για να παρέχουν νερό σε περιόδους ξηρασίας και σε ξηρά έτη, ανεξάρτητα από τους σκοπούς για τους οποίους δημιουργήθηκε η ταμίευση νερού. Το βασικό πρόβλημα με τέτοιους ταμιευτήρες είναι ότι οι πιθανότητες μετριασμού των ξηρασιών μειώνονται όσο ο λόγος της μέσης ευεργετικής χρήσης ύδατος και της μέσης ποτάμιας παροχής αυξάνει. Για τον ίδιο κίνδυνο απωλειών λόγω ελλειμμάτων κατά τη διάρκεια της ξηρασίας, η αναγκαία ικανότητα αποθήκευσης αυξάνεται γρήγορα και μη γραμμικά όσο αυτή η αναλογία αυξάνεται προς τη μονάδα. Σε μερικές περιπτώσεις, μια σταθερή ποσότητα νερού που αποθηκεύεται σε ταμιευτήρες διατηρείται ως το έσχατο

απόθεμα σε περιόδους μεγάλων υδατικών ελλείψεων. Σε άλλες περιπτώσεις, οι λειτουργίες εφαρμόζονται κάθε φορά που η στάθμη των ταμιευτήρων πέφτει κάτω από ένα ορισμένο επίπεδο, με τις ποινές να αυξάνονται όταν το επίπεδο πέφτει κάτω από συγκεκριμένα όρια. Όλες αυτές οι μέθοδοι, συμπεριλαμβανομένων των διάφορων λειτουργικών κανόνων των ταμιευτήρων, προορίζονται για να βρεθεί μια βέλτιστη ανταλλαγή (trade off) μεταξύ των παρόντων και μελλοντικών ωφελειών. Το γεγονός ότι οι κίνδυνοι απωλειών ξηρασίας αυξάνονται με την επί τοις εκατό αύξηση του συνολικού νερού που χρησιμοποιείται, πρέπει να διαδραματίσει έναν σημαντικό ρόλο όσο η κατανομή των υδάτων σε μια υδρολογική λεκάνη προσεγγίζει τις μέγιστες τιμές.

**Χρήση των υπογείων υδάτων:** Η χρήση των αποθηκευμένων υπόγειων υδάτων έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια με στόχο την ανακούφιση από την υδατική έλλειψη. Αυτή η υπεράντληση είναι συνέπεια της πολιτικής του να ληφθούν τα μέγιστα παρόντα οφέλη, με τις μικρότερες πιθανές επενδύσεις. Οι οικονομικοί περιορισμοί στην άντληση του ύδατος έχουν γίνει κατά κάποιο τρόπο παράγοντες ελέγχου της υπεράντλησης. Από την άλλη μεριά, η χρήση των αποθηκευμένων υπογείων υδάτων ως μέτρο μετριασμού και αντιμετώπισης της ξηρασίας είναι η βελτιωμένη τεχνολογία της φυσικής ή τεχνητής επαναφόρτισης των υδροφόρων στρωμάτων των υπογείων νερών από το πλεόνασμα των επιφανειακών υδάτων και του αρδευτικού νερού. Η ανάπτυξη τεχνολογίας χρήσης νερού, απαιτεί τον κατάλληλο σχεδιασμό διαχείρισης του αποθηκευμένου νερού, τη μεταφορά, την επαναπλήρωση, την απόληψη και την κοινή χρήση των επιφανειακών, υπογείων υδάτων και των λυμάτων αποχέτευσης. Οι αρχές και οι προσεγγίσεις που εφαρμόζονται στη διαχείριση των ξηρασιών των ταμιευμένων επιφανειακών υδάτων μπορούν να εφαρμοστούν στη διαχείριση των αποθηκευμένων υπόγειων υδάτων ως μέτρο μετριασμού της ξηρασίας.

**Μεταφορά νερού:** Αυτό είναι πιθανώς το δεύτερο πιο σημαντικό μέτρο μετριασμού ξηρασίας που χρησιμοποιείται στις επιλογές διαχείρισης από την πλευρά του εφοδιασμού νερού, αμέσως μετά τη χρήση των αποθηκευμένων ποσοτήτων νερού. Συχνά, για να ικανοποιηθούν οι συνθήκες υδατικών ελλειμμάτων προτιμάται η έγκαιρη μεταφορά του πλεονασματικού νερού που αποθηκεύεται, από τη μεταφορά νερού μέσω σωληνώσεων. Εκτός από τις επενδύσεις που είναι συγκεκριμένες για τις χρονικές και χωρικές μεταφορές νερού, η χωρική μεταφορά αντιμετωπίζει πάντα το πρόβλημα της ποσότητας νερού που είναι διαθέσιμο και κάτω υπό ποιες συνθήκες. Οι δυνατότητες μετριασμού ξηρασίας προς μια κατεύθυνση μεταφοράς νερού και της αμφίδρομης ανταλλαγής της περιορίζεται από δύο βασικούς παράγοντες: (α) εάν το νερό είναι διαθέσιμο για μεταφορά ή ανταλλαγή την περίοδο της ξηρασίας, και (β) εάν οι ικανοποιητικές δυνατότητες μεταβίβασης είναι

διαθέσιμες για τη μεταφορά ή την ανταλλαγή, ειδικά σε περίπτωση δριμείας ξηρασίας και ειδικά όταν πρόκειται για μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις. Διάφορες βελτιστοποιημένες ανταλλαγές (trade-off) περιλαμβάνονται στη μεταφορά νερού, με ανταλλαγή (trade-off) των σημερινών και μελλοντικών ωφελειών, κάτω από δεδομένους κινδύνους μελλοντικών απωλειών λόγω ξηρασίας.

**Αφαλάτωση:** το μέτρο αυτό μπορεί να χρησιμεύσει ως μια νέα παροχή νερού σε περιόδους ξηρασίας, με δύο τρόπους: (1) με τη συνεχή χρήση της αφαλατωμένης ποσότητας του υφιστάμενου αλατούχου ή υφάλμυρου νερού σε εκτεταμένες περιόδους ξηρασίας και με περιστασιακή χρήση της σε περιόδους που δεν παρατηρείται ξηρασία και (2) με ενδεχομένως, κινητό εξοπλισμό για την επεξεργασία αλατούχου ή υφάλμυρου νερού σε ακραία φαινόμενα ξηρασίας ή άλλες περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Ο εξοπλισμός αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί ενδεχομένως σε άλλες έκτακτες ανάγκες, πέρα από τον μετριασμό της ξηρασίας.

**Εξοικονόμηση:** Αυτό είναι ένα εφικτό αλλά συχνά αβέβαιο μέτρο μετριασμού ξηρασίας. Είναι σημαντική η αναζήτηση ανταλλαγών μεταξύ των ωφελειών εξοικονόμησης νερού και του κόστους για να γίνει αυτό. Αυτού του είδους η εξοικονόμηση περιλαμβάνει τη μείωση των απωλειών από τις κατασκευές μεταφοράς (συντήρηση και μείωση απωλειών των δικτύων) τη διαχείριση της βλάστησης για τη μικρότερη κατανάλωση ύδατος, τη συντήρηση του εδάφους για αυξανόμενη διηθητική ικανότητα, τη μείωση της εξάτμισης από τη γενική διαχείριση απορροών, των πρακτικών εξοικονόμησης αρδευτικού νερού και παρόμοιων μέτρων. Οι περισσότερες από αυτές τις προσεγγίσεις για εξοικονόμηση νερού μπορούν να ταξινομηθούν ως εκτεταμένα μέτρα, επειδή οι εφαρμογές τους απαιτούν σχετικά μικρή εργασία ανά μονάδα μήκους, περιοχής ή χώρου. Παρόλα αυτά, το συνολικό μήκος, περιοχή ή χώρος, σε αυτές τις δραστηριότητες είναι μεγάλο, με το κόστος σχεδόν ανάλογο τους. Σπάνια τα μέτρα αυτά λειτουργούν αποτελεσματικά ως προς τη μείωση του κόστους της μονάδας. Η μεγάλης ακτίνας δραστηριότητες καθιστούν τα μέτρα εκτεταμένα, συχνά μόνο στα περιθώρια του αποδεκτού λόγου οφέλους-κόστους. Εντούτοις, ένας συνδυασμός εξοικονόμησης νερού με τους άλλους πιθανούς σκοπούς ή τα οφέλη αυτών των μέτρων, μπορεί να οδηγήσει σε αποδεκτές οικονομικά λύσεις.

**Οικονομικά κίνητρα - μείωση κατανάλωσης:** Αυτό το μέτρο μετριασμού βασίζεται αποκλειστικά στα οικονομικά κίνητρα ώστε να χρησιμοποιείται όσο νερό είναι απαραίτητο, ή στις ποινικές ρήτρες στην περίπτωση που ξεπερασθεί η συμφωνηθείσα διατιθέμενο εφοδιασμό νερού κατά τη διάρκεια των περιόδων έλλειψης. Η τιμολόγηση είναι μια

κατάλληλη οικονομική παρότρυνση όποτε είναι εφικτή, είτε με αύξηση της τιμής του νερού σύμφωνα με το συσσωρευμένο έλλειμμα εφοδιασμού νερού, είτε με μείωση της τιμής σε περίπτωση άφθονου εφοδιασμού νερού. Αυτό το μέτρο είναι μια λειτουργία παραγόντων που επηρεάζουν τη βραχυπρόθεσμη σχέση τιμής-ζήτησης. Όσο μεγαλύτερη είναι η παραλλαγή της ζήτησης στην λειτουργία της τιμής, τόσο πιο εύκαμπτος είναι ο χρήστης νερού στο μετριασμό υδατικών ανεπαρκειών μέσω της μείωσης της ζήτησης. Αυτή η ευελιξία επηρεάζεται από το βαθμό παλαιώσης της τεχνολογίας που αφορά τη χρήση νερού, τις επενδύσεις, τα γενικά οικονομικά αποθέματα, κ.λπ.. Ο καλύτερος τρόπος να δοκιμαστεί αυτή η ευελιξία είναι με το να μελετηθεί το κατά πόσο συχνά τα περιστατικά ξηρασίας επηρεάζουν την σχέση εφοδιασμού-ζήτησης των χρηστών νερού.

**Μέτρα κατανάλωσης:** Αυτά τα μέτρα άμεσης αντίδρασης μετριασμού/ αντιμετώπισης της ξηρασίας προκύπτουν από τις ικανότητες πολλών χρηστών νερού να ρυθμίσουν είτε την παραγωγή, είτε τις ποσότητες χρήσης προκειμένου να μειωθεί η ζήτηση νερού σε περιόδους ξηρασίας. Στη γεωργία, αυτή η μείωση εφαρμόζεται με αλλαγές στις καλλιέργειες και τα καλλιεργητικά σχέδια και πρακτικές. Μεγάλοι χρήστες νερού στη βιομηχανία, την ενέργεια και τη γεωργία, μπορούν να εφαρμόσουν σχέσεις ανταλλαγής (trade-off) μεταξύ των προϊόντων και του νερού (μείωση νερού συνεπάγεται μείωση στην παραγωγή). Οι λειτουργίες παραγωγής εξαρτώνται από τους πόρους (ύδρευση, ενέργεια, λίπασμα, κ.λπ.), την τιμή των πόρων και της παραγωγής προϊόντων, την τεχνολογία, τους περιορισμούς στην απόρριψη των αποβλήτων, την αποκατάσταση των πόρων και την επαναχρησιμοποίηση τους, τη μεταφορά των δικαιωμάτων νερού, την ανταλλαγή μεταξύ των πόρων, κ.λπ.. Οι ρυθμίσεις είναι συχνά πολύ εύκαμπτες, ειδικά στην οικιακή χρήση του νερού (μειώνοντας το μέχρι και 40-50% του κανονικού εφοδιασμού νερού). Αυτά τα μέτρα είναι πιθανώς η σημαντικότερη εφεδρεία για το μετριασμό των επιδράσεων των περισσότερων σοβαρών λειψυδριών, όταν η έλλειψη ικανοποιητικού εφοδιασμού νερού αναγκάζει τους χρήστες να ρυθμίσουν την παραγωγή τους και τη κατανάλωση νερού στα ανώτερα όρια της οικονομικής και κοινωνικής ανοχής.

**Πρόβλεψη/πρόγνωση ξηρασιών:** η ξηρασία μπορεί να προβλεφθεί με δύο μεθόδους: (1) πρόβλεψη της με τις κλασσικές προσεγγίσεις πρόγνωσης του μέλλοντος και (2) ανάλυση των στοιχείων και εύρεση του πόσο συχνά εμφανίστηκαν και πόσο καιρό διήρκησαν οι λειψυδρίες στο παρελθόν. Είναι δύσκολο να προβλεφθούν οι καιρικές συνθήκες για διάστημα μεγαλύτερο της τάξης μερικών ημερών ή εβδομάδων. Εντούτοις, το ζήτημα της επιδείνωσης μιας τρέχουσας υδατικής έλλειψης μπορεί να αξιολογηθεί σε μερικές περιπτώσεις με προσοχή. Εάν οι ταμειυτήρες χρησιμεύουν ως μέτρα μετριασμού ξηρασίας,



τα αποθέματα νερού μπορούν να υπολογιστούν. Οι ημίξηρες περιοχές είναι πιο επιρρεπείς σε ξηρά έτη σε σύγκριση με τις υγρές περιοχές. Οι προσπάθειες για την πρόβλεψη των λειψυδριών είναι κοινές στον προγραμματισμό και λειτουργία των υδατικών πόρων ξηρών περιοχών. Δύο βασικές ερωτήσεις προκύπτουν από την αξιολόγηση των ωφελειών της ελαχιστοποίησης των επιπτώσεων μέσω της πρόβλεψης και της προειδοποίησης: (α) εάν οι υδατικές ελλείψεις είναι δυνατόν να προβλεφθούν, και σε περιπτώσεις που ισχύει αυτό, το κατά πόσο η πρόβλεψη είναι σημαντική, υπό την έννοια ότι το μεγαλύτερο ποσοστό άμεσου Εφοδιασμού νερού επαληθεύεται από αυτήν και (β) εάν η πρόβλεψη και η προειδοποίηση δημοσιοποιηθούν, εάν η αξιοπιστία της πρόβλεψης και οι αντιδράσεις των ενδιαφερόμενων ομάδων θα έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση των επιδράσεων. Και για τις δύο ερωτήσεις δεν υπάρχουν αξιόπιστες απαντήσεις αυτή τη στιγμή. Η στάση απέναντι στις υδατικές ελλείψεις διαφέρει από τις αντιδράσεις στις φυσικές ξαφνικές καταστροφές (όπως οι σεισμοί, οι εκρήξεις ηφαιστειών, οι πλημμύρες, οι καθιζήσεις εδάφους, οι χιονοστιβάδες, οι πυρκαγιές, οι ανεμοστρόβιλοι, κ.λπ.). Συνήθως, δεν υφίσταται επείγουσα ανάγκη στην υδατική έλλειψη. Μερικές φορές, ακόμα και όταν γίνει αντιληπτή, μπορεί να είναι πάρα πολύ αργά για οποιαδήποτε αποτρεπτικά ή διορθωτικά μέτρα υδατικής έλλειψης. Η δημιουργία υποδομής μπορεί να θεωρηθεί ως μέτρο μετριασμού ξηρασίας ειδικού είδους. Για την αποθήκευση του νερού και την εξοικονόμηση μέσω της μείωσης της ζήτησης του νερού χρειάζεται χρόνο. Ο χρόνος για την προειδοποίηση για τη ξηρασία είναι συνήθως τόσο μικρός που οι πτυχές εφοδιασμού-ζήτησης της περιόδου πριν τη ξηρασία έχουν συχνά μικρά αποτελέσματα στη γενική λειτουργία του υδατικού συστήματος.

**Μείωση επιπτώσεων:** οποιαδήποτε καταστροφή συγκεκριμένων επιπτώσεων, ιδιαίτερα σε αυτές που δεν μπορεί να υπάρξει ασφάλιση, προσελκύει προγράμματα ανακούφισης πληγέντων και αποκατάστασης λόγω κοινωνικών και πολιτικών αναγκών. Αυτό είναι επίσης ένα μέτρο μετριασμού των υδατικών ανεπαρειών κατάλληλης διασποράς των κινδύνων και των απωλειών σε τοπικό, περιφερειακό, εθνικό, πολυεθνικό ή ακόμα και διεθνές επίπεδο. Αυτά τα προγράμματα έχουν διάφορες μορφές, όπως είναι οι πιστώσεις, οι επιχορηγήσεις, βοήθεια σε υποθήκες, βοήθεια σε σπόρους και ζωικό κεφάλαιο, οι φορολογικές ρυθμίσεις, η βοήθεια ανθρώπινης επιβίωσης, η τεχνική βοήθεια, και παρόμοιες παροχές βοήθειας λόγω καταστροφών. Μεταξύ όλων αυτών των εναλλακτικών λύσεων, το πρόβλημα εντοπίζεται στην επιλογή κατάλληλης σύνθεσης μέτρων βοήθειας λόγω καταστροφών που ανταποκρίνονται στους γενικούς και ειδικούς όρους κάθε ξηρασίας και κάθε πληγείσας περιοχής ξεχωριστά. Τα φυτά αντιδρούν το καθένα διαφορετικά στη ξηρασία. Πολλά είδη θεωρούνται ανθεκτικά. Ένα μίγμα κοινών και ανθεκτικών καλλιεργειών μπορεί επίσης να

αντιπροσωπεύει τη διασπορά των απωλειών. Η γνώση όλων των ανθεκτικών ειδών στη ξηρασία παρέχει χρήσιμες πληροφορίες στην εφαρμογή αυτού του μέτρου. Η ανθεκτικότητα των ειδών είναι η λειτουργία των φυσιολογικών μηχανισμών, της γενετικής παραλλακτικότητας, της αναπαραγωγής και άλλων παραγόντων. Οι ξηρές περιοχές είναι το ενδιαίτημα μερικών φυτών ανθεκτικών στη ξηρασία. Το κατάλληλο πρόγραμμα άρδευσης θα μπορούσε να βελτιώσει ή να διατηρήσει την παραγωγή των καλλιεργειών κατά την διάρκεια μιας περιόδου ξηρασίας. Είναι μια σύνθετη λειτουργία του αναμενόμενου εφοδιασμού νερού και η επίπτωση του ελλείμματος της εδαφολογικής υγρασίας κατά τη διάρκεια της κρίσιμης ανάπτυξης της καλλιέργειας. Η πρακτική της ελάχιστης άρδευσης, ανεξάρτητα από τους κινδύνους λόγω παράσιτων και ασθενειών, μπορεί να εξοικονομήσει νερό σε περιόδους ξηρασίας και να βοηθήσει στον μετριασμό τους. Οι πρακτικές εξοικονόμησης νερού στις ξηρές καλλιεργούμενες περιοχές, καθώς επίσης και στη αρδευόμενη γεωργία, ανήκουν επίσης στα μέτρα μετριασμού ξηρασίας ως γεωργική προσαρμογή αλλά και ως διασπορά των απωλειών. Τέλος, όσον αφορά τα οικονομικά κριτήρια, δεδομένου των συγκεκριμένων δυσκολιών της θέσπισης οριακού κόστους τιμολόγησης, η κατανάλωση νερού σε περιόδους μεγάλης έλλειψης μπορεί να ενταχθεί στο ευρύτερο πλαίσιο "κοινών διλημμάτων": το μεμονωμένο βραχυπρόθεσμο συμφέρον έρχεται σε σύγκρουση με τη μακροπρόθεσμα δημόσια ευημερία έτσι ώστε τελικά να μην εξυπηρετείται κανενός το συμφέρον. Η δυνατότητα συνεχής άντλησης ενός υδροφόρου στρώματος έχει παροτρύνει τους μεμονωμένους αγρότες να αντλούν το μέγιστο ποσό νερού που οι καλλιέργειες τους μπορούν αποτελεσματικά να εκμεταλλευτούν, είναι ένα πρόσφατο παράδειγμα. Από την προοπτική κάθε μεμονωμένου αγρότη, αυτός είναι ο καλύτερος τρόπος να εξασφαλίσουν τα μέγιστα βραχυπρόθεσμα κέρδη. Με την παροχή νερού να μικραίνουν στο εγγύς μέλλον, οι αγρότες θα αναγκαστούν τελικά να συμβιβαστούν με μικρότερες αποδόσεις από τις υδροβόρες καλλιέργειες ή/και με μικρότερα κέρδη από καλλιέργειες που απαιτούν λιγότερη άρδευση. Επομένως, τα προγράμματα εξοικονόμησης επιδιώκουν να αλλάξουν τις μεμονωμένες αντιλήψεις έτσι ώστε οι καταναλωτές να αντιληφθούν τη θέση τους ως ένα τμήμα του συνόλου και όχι ανεξάρτητα αυτού. Σε μικροοικονομικούς όρους, οι προτιμήσεις ("tastes") τροποποιούνται, και η καμπύλη ζήτησης μετατοπίζεται.

Οι διαχειριστικές επιλογές εξοικονόμησης νερού συνοψίζονται κάτω από τρεις βασικούς τίτλους, σχετικά με την διαδικασία οργάνωσης και εφαρμογής: εθελοντική εξοικονόμηση νερού από τους μεμονωμένους καταναλωτές θεσμική εξοικονόμηση από τις δημόσιες υπηρεσίες και υποχρεωτική εξοικονόμηση επιβαλλόμενη μέσω νόμου, διάταξης, ή κανονισμού.

Τα ακόλουθα γενικά συμπεράσματα τα οποία έμμεσα καθοδήγησαν πολλές τοπικές προσπάθειες εξοικονόμησης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να σχεδιαστούν αποτελεσματικότερα προγράμματα εξοικονόμησης στο μέλλον (Καραβίτης et al., 2015, 2008; Yevjevich et al., 1983):

- Τα προγράμματα εξοικονόμησης θα είναι αποτελεσματικότερα όταν οι καταναλωτές μπορούν να πειστούν ότι υπάρχει πραγματικά έλλειψη και ότι αποτελεί πρόβλημα για μια ή περισσότερες ομάδες όπου μέσω αυτών οι καταναλωτές μπορούν να το διαπιστώσουν.
- Τα προγράμματα εξοικονόμησης θα είναι αποτελεσματικότερα όταν γίνονται εκκλήσεις στις ηθικές αρχές, τονίζοντας την ανάγκη να γίνει μια "δίκαιη" συνεισφορά για την ευημερία της ομάδας.
- Τα προγράμματα εξοικονόμησης θα είναι αποτελεσματικότερα όταν πείθονται οι καταναλωτές ότι οι μεμονωμένες προσπάθειές τους μπορούν να συνεισφέρουν στη συλλογική ευημερία.
- Τα προγράμματα εξοικονόμησης θα είναι αποτελεσματικότερα όταν μπορούν να πειστούν οι καταναλωτές ότι οι μεμονωμένες δαπάνες και δυσχέρειες που προέρχονται από τις προσπάθειες τους εξοικονόμησης νερού δεν θα είναι μεγάλες (υποθέτοντας ότι αυτό είναι αλήθεια).
- Τα προγράμματα εξοικονόμησης θα είναι αποτελεσματικότερα όταν πείθονται οι καταναλωτές ότι όλα τα μέλη της σχετικής ομάδας/ων καταβάλλουν επίσης ειλικρινείς προσπάθειες να εξοικονομήσουν νερό.

Όλα τα παραπάνω μπορούν να ενσωματωθούν στις διαχειριστικές επιλογές για την εξασφάλιση των υδατικών αναγκών και ταυτόχρονα ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων. Η συμμετοχή του κοινού σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης την καθιστά απαραίτητη, όμως η αποτελεσματικότητα είναι ένα μεγάλο ζήτημα, για την επίτευξη του στόχου μπορούν να επιστρατευθούν ομάδες δράσεις σε τοπικό και εθνικό επίπεδο χρησιμοποιώντας τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης (Facebook, Twitter, Google+ κ.α.) ζητώντας από τους καταναλωτές να συνεισφέρουν με διάφορες δράσεις αλλά και από την πλευρά τους σε ατομικό μερίδιο ώστε να χάσουν λίγο από την άνεσή τους και να εφαρμόσουν τις προτεινόμενες ενέργειες εξοικονόμησης νερού, και τέλος να υπάρχει επιβράβευση από τον πάροχο.

## 2.8. ΔΕΙΚΤΕΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Υπάρχει πληθώρα δεικτών για την παρακολούθηση της ξηρασίας. Η θέσπιση δεικτών σε μια περιοχή/χώρα είναι αναγκαία και θα πρέπει να παρακολουθούνται οι δείκτες αυτοί για τον προσδιορισμό της έναρξης της ξηρασίας, τόσο σε σημειακή βάση, όσο και σε χωρική. Οι δείκτες ξηρασίας περιλαμβάνουν έναν μεγάλο αριθμό δεδομένων σε μια κατανοητή μεγάλη εικόνα. Μια τιμή δεικτών λειψυδρίας είναι χαρακτηριστικά ένας αριθμός, πολύ πιο χρήσιμος από τα τυχαία ή ανεπεξέργαστα δεδομένα για τη λήψη αποφάσεων. Υπάρχουν πολλοί δείκτες που μετράνε την απόκλιση των βροχοπτώσεων από τις συνηθισμένες ιστορικές καταγραφές. Παρόλο που κανένας από τους δείκτες δε θεωρείται καλύτερος από τους υπόλοιπους για όλες τις περιστάσεις, κάποιοι είναι πιο αποτελεσματικοί από άλλους για δεδομένες συνθήκες και χρήσεις. Η βροχόπτωση είναι ο αρχικός παράγοντας που ελέγχει τον τύπο και την επιρροή των συνθηκών ξηρασίας, όμως επίσης σημαντικός παράγοντας είναι και η εξατμόδιαπνοη. Ιστορικές διαφορές στον υπολογισμό της εξατμόδιαπνοης, προτείνουν μια γενικότερη κατηγοριοποίηση και περιορισμό στην μέτρηση και μόνο της βροχόπτωσης. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως οι δείκτες που βασίζονται μόνο στη βροχόπτωση, λειτουργούν καλύτερα όταν συγκρίνονται με ποιο πολύπλοκους υδρολογικούς δείκτες (Olukeyode Oladipo, 1985; Καραβίτης et al., 2008). Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται πολλοί δείκτες, μερικοί από τους οποίους παρατίθενται συνέχεια.

Από την πιο πάνω κατηγοριοποίηση ανάλογα με τον τομέα ενδιαφέροντος : μετεωρολογικό, ατμοσφαιρικό, γεωπονικό, υδρολογικό και διαχείρισης υδατικών πόρων προκύπτει ο ποσοτικός προσδιορισμός της αρχής και του τέλους ενός φαινομένου λειψυδρίας, της χωρικής επέκτασης του και της σοβαρότητας του. Με επιστημονική αιτιολογία και ανάλυση της δοθείσας υδρομετεωρολογικής πληροφορίας (βροχόπτωση, θερμοκρασία, υγρασία κλπ.) απεικονίζεται η συγκεκριμένη περιοχή που πλήττεται από το φαινόμενο. Ο παραπάνω ποσοτικός προσδιορισμός προκύπτει με τη χρήση των δεικτών ξηρασίας οι οποίοι είναι συνεχείς εξισώσεις διαφόρων υδρομετεωρολογικών μεταβλητών. Οι δείκτες λειψυδρίας είναι πολλοί και κατά καιρούς έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία μέσα από ποικίλες μελέτες και επιστημονική έρευνα (Smakhtin and Hughes, 2007).

Αναφορικά δείκτες λειψυδρίας οι οποίοι έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί είναι :

- Palmer Drought Severity Index (Palmer, 1965).
- Crop Moisture Index (Palmer, 1968).
- Deciles (Gibbs and Maher, 1967).

- FAO Water Satisfaction Index (Frere and Popov, 1979).
- Agro- Hydro Potential (Petrasovits, 1990).
- Surface Water Supply Index (Shafer and Dezman, 1982).
- Reclamation Drought Index (Weghorst, 1996).
- Standardized Precipitation Index (McKee et al., 1993).
- Index of Moisture Adequacy (Sastri, 1993).

Η χρήση των δεικτών είναι σημαντικό εργαλείο για την παρακολούθηση, την πρόβλεψη της ξηρασίας και την επαγρύπνηση απέναντι στο φαινόμενο (Karavitis, 1992, 1999; Rossi, 2003; Sivakumar and Wilhite, 2002). Ωστόσο, στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει έλλειψη στον υπολογισμό της τρωτότητας στην ξηρασία, στην παρούσα εργασία γίνεται μία προσπάθεια ώστε να δοθεί μία απάντηση σε αυτή την πτυχή του φαινομένου ενσωματώνοντας το μετεωρολογικό, το υδρολογικό, το γεωργικό και το κοινωνικο-οικονομικό τμήμα (DMCSEE, 2012).

## 2.9. ΕΡΗΜΟΠΟΙΗΣΗ

Η διαδικασία της ερημοποίησης των ξηρών και ημίξηρων περιοχών της γης δεν προχωρά πάντοτε με σταθερό ρυθμό (Fensholt et al., 2012). Έχει προκαλέσει ανείπωτα προβλήματα στους άμεσα ενδιαφερόμενους και η υποβάθμιση του περιβάλλοντος συνεχίζεται (Verón et al., 2006). Το παρελθόν μπορεί να διδάξει τις νεότερες γενιές εν μέρει καθώς το πρόβλημα είναι μια διαδικασία μη αντιληπτή στο ευρύ κοινό ειδικά στα αρχικά της στάδια ή λόγω του ότι επηρεάζει ένα μικρό τοπικά πληθυσμό. Όσο η διαδικασία της αποκατάστασης διαρκεί τότε οι χρήστες της γεωργικής γης θα στρέφονται σε διαφορετικές περιοχές λόγω του ότι συγκεκριμένη περιοχή δεν είναι πια ελκυστική. Σήμερα, όπου αυτή η επέκταση δεν εύκολη καθόλου (ανέφικτη) οι πολιτικοί, οι επιστήμονες αλλά και το ευρύ κοινό, τελικά συνειδητοποίησαν ότι η συνεχιζόμενη υποβάθμιση των φυσικών πόρων μπορεί να απειλήσει άμεσα το μέλλον τους (Danfeng et al., 2006; Reynolds et al., 2007; Stern et al., 1996).

### 2.9.1. Ορισμός Ερημοποίησης

Η ερημοποίηση είναι ένας όρος που θεσπίστηκε τουλάχιστον πριν από το 1949 όταν δημοσιεύθηκε ένα βιβλίο με τίτλο «Το κλίμα, τα δάση και την ερημοποίηση της Τροπικής Αφρικής» (Aubréville, 1949). Στην περίπτωση αυτή η ερημοποίηση ορίζεται ως η αλλαγή της

παραγωγικής γης σε έρημο ως αποτέλεσμα της απερίμωσης της γης από τον άνθρωπο συμπεριλαμβανομένου τη διάβρωση των εδαφών. Τα αίτια της ερημοποίησης των εδαφών ήταν η αποψίλωση των δασών, οι πυρκαγιές και οι καλλιέργειες λόγω της διάβρωσης των εδαφών (υδατική, αιολική). Η ερημοποίηση ήταν αρκετά σαφές στο συμπέρασμά ότι η ερημοποίηση στην τροπική Αφρική ήταν λόγω της δραστηριότητας του ανθρώπου, και ότι δεν υπήρξε καμία σημαντική αλλαγή του κλίματος τα τελευταία χιλιάδες χρόνια ή και περισσότερο. Μεγαλύτερο μέρος της καταστροφικής αυτής δραστηριότητας παρουσιάστηκε στην πρόσφατη ιστορική στιγμή από τη δράση των αγροτικών πληθυσμών (Kairis et al., 2013; Kosmas et al., 1997; Kosmas and Danalatos, 1994).

Ο πρώτος ορισμός της ερημοποίησης δόθηκε στη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών στο Ναϊρόμπι το 1977 και πρόκειται για μια διαδικασία υποβάθμισης του εδάφους που είναι συνεχές και κατηγοριοποιείται από μικρή σε πολύ σοβαρή υποβάθμιση του εδαφικού πόρου και των φυτών λόγω των δραστηριοτήτων του ανθρώπου. Η ερημοποίηση είναι η υποβάθμιση των χερσαίων οικοσυστημάτων υπό την επίδραση του ανθρώπου. Είναι η διαδικασία της επιδείνωση σε αυτά τα οικοσυστήματα που μπορεί να μετρηθεί με μειωμένη παραγωγικότητα των φυτών, ανεπιθύμητες μεταβολές της βιομάζας και την ποικιλομορφία της μικρο- και μακρο πανίδας και χλωρίδας, σε συνδυασμό με την επιταχυνόμενη υποβάθμιση του εδάφους (UN Secretariat, 1977).

Υπάρχει μια διαφοροποίηση για την ερημοποίηση στην οριοθέτηση της λόγω του ότι μια πλευρά την ερμηνεύει ως μία αλλαγή της κατάστασης ενώ από την άλλη ως τα αποτελέσματα αυτής της αλλαγής. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας αυτής είναι η υποβάθμιση των γαιών, η απώλεια ή και ακόμα η καταστροφή της παραγωγικότητας των εδαφών και η μείωση της βιοποικιλότητας (D'Odorico et al., 2013; Hoffman, 2009; Meadows and Hoffman, 2003). Η ερημοποίηση χαρακτηρίζεται και ως «σιωπηλή καταστροφή» αφού η διάγνωσή της είναι πολύ δύσκολή, ειδικά στα αρχικά στάδια της διαδικασίας, και αντιληπτή γίνεται παρά μόνο όταν η εξαλλοίωση προχωρήσει σε βάθος και επιφέρει την υποβάθμιση των εδαφών (Carbone et al., 2014; Kairis et al., 2014, 2013; Kosmas et al., 2014). Η ερημοποίηση είναι μια διαδικασία που αναπτύσσεται ταχύτατα και καθώς επεκτείνεται το κόστος της αποκατάστασης αυξάνεται έως ότου οι επιπτώσεις είναι μη αναστρέψιμες. Τα μέτρα για την αντιμετώπιση της απαιτούνται εγκαίρως πριν το κόστος της αποκατάστασης ξεπεράσει τις πραγματικές δυνατότητες ή πριν η ευκαιρία μας να δράσουμε χαθεί για πάντα (Asner and Green, 2001; Ojima et al., 1993; Squires, 2013).

Ο ορισμός που θεσπίστηκε στην Παγκόσμια Διάσκεψη Κορυφής του Περιβάλλοντος, ορίζει την ερημοποίηση ως την υποβάθμιση της γης στις ξηρές, ημίξηρες και ύφυγρες περιοχές, η οποία προκύπτει από την δράση πολλών παραγόντων στους οποίους περιλαμβάνονται οι κλιματικές μεταβολές και οι ανθρώπινες δραστηριότητες (UNEP, 1992). Ο όρος ερημοποίηση δεν θα πρέπει να συγχέεται με την δημιουργία ερήμων (Dodd, J. L., 1994; Zhang et al., 2003). Η ερημοποίηση είναι η διαδικασία σύμφωνα με την οποία η παραγωγική γη υποβαθμίζεται και σταδιακά μετατρέπεται σε αφιλόξενη για την αναπτυσσόμενη βλάστηση, δημιουργώντας έτσι κηλίδες απογυμνωμένων περιοχών με την εμφάνιση του μητρικού πετρώματος στην επιφάνεια (Geist, 2005; Pimentel et al., 1995; Schlesinger et al., 1990). Επίσης, η ερημοποίηση ορίζεται ως μία διαδικασία υποβάθμισης της αειφορικής χρήσης του εδάφους και της βλάστησης σε ξηρές, ημίξηρες και ύφυγρες περιοχές η οποία προκαλείται τουλάχιστον μερικώς από τον άνθρωπο, επιπρόσθετα μειώνει ταυτόχρονα την ικανότητα ανάκαμψης και την παραγωγικότητα του εδάφους που δεν είναι ούτε εύκολα αναστρέψιμη με την αναίρεση της αιτίας αλλά ούτε εύκολα επανορθώσιμη χωρίς σημαντικές οικονομικές επεμβάσεις (Nelson, 1990). Η υποβάθμιση του εδάφους μπορεί και συμβαίνει μακριά από οποιοσδήποτε κλιματικές συνθήκες, η παρουσία ή η απουσία μιας κοντινής έρημου δεν έχει καμία άμεση σχέση με την ερημοποίηση (Kassas, 1995; Olsson, 1993; Tolba, 1986). Η ερημοποίηση συνήθως ξεκινά από ένα σημείο όπου γίνεται υπερβολική χρήση. Το σημείο αυτό μπορεί να είναι γύρω από ένα σημείο αρδευόμενης έκτασης ή σε ένα πεδίο που καλλιεργείται. Έτσι η περιοχή που δέχεται υποβάθμιση εξαπλώνεται εάν οι χρήσεις αυτές δρουν εντατικά και χωρίς κάποια πολιτική τελικά, οι περιοχές αυτές μπορούν να συγχωνευτούν σε μια ομοιογενή περιοχή (Reynolds et al., 2007).

Η ερημοποίηση σήμερα αποτελεί απειλή για πολλές περιοχές σε παγκόσμιο επίπεδο όπου το έδαφος έχει φθάσει σε ακραία υποβάθμιση και αδυνατεί να συγκρατήσει το απαραίτητο νερό και τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Οργανισμού Τροφίμων & Γεωργίας πάνω από 36000 εκατομμύρια στρέμματα γης σε 100 χώρες έχουν σήμερα υποστεί ερημοποίηση. Η ερημοποίηση εμφανίζεται παντού εκτός από την Ανταρκτική. Οι επιπτώσεις της επηρεάζουν τις γεωργικές εκτάσεις σε ξηρές περιοχές του πλανήτη που καλύπτουν περίπου το 40% της επιφάνειας του εδάφους και κατοικούν περίπου 2 δισεκατομμύρια άνθρωποι. Σημαντικά προβλήματα σημειώνονται στην Αφρική, στην Ασία, στην Αυστραλία και στην Ευρώπη. Η Δυτική Κίνα πλήττεται σημαντικά εξαιτίας αυτού του προβλήματος, όλο και περισσότερες εκτάσεις βάλλονται από την ερημοποίηση και έτσι περιορίζεται η καλλιεργήσιμη γη. Το πρόβλημα επιτείνεται από τις υψηλές θερμοκρασίες, την αύξηση του πληθυσμού αλλά και από τις μεγάλες περιόδους ξηρασίας. Η Κίνα εδώ και

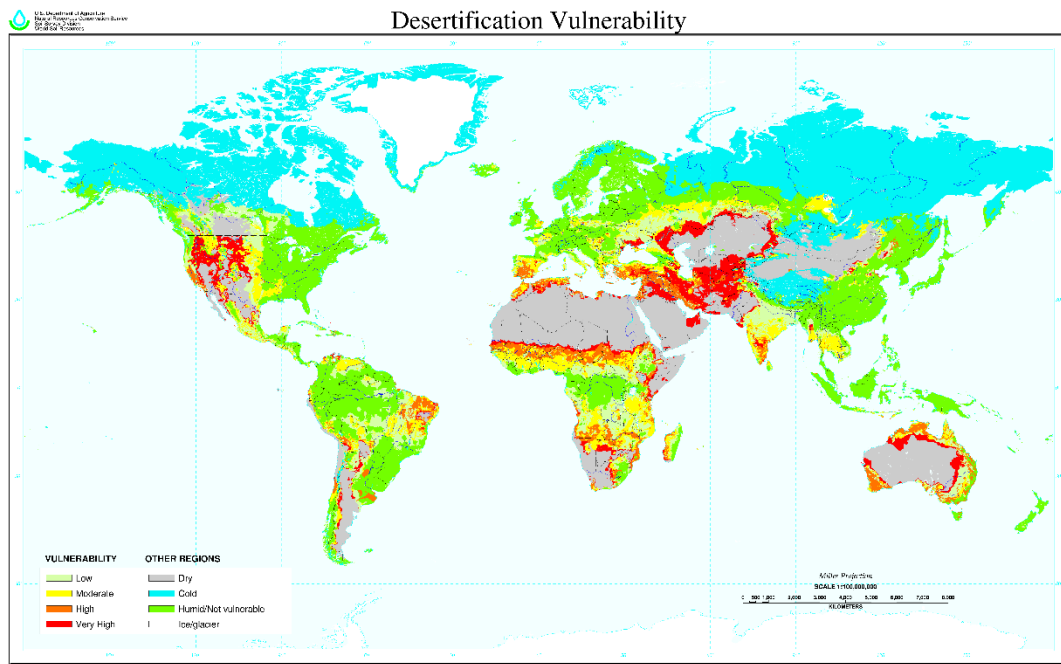
δεκαετίες προσπαθεί να σταματήσει τη αύξηση της ερημοποίησης. Επίσημα στοιχεία δείχνουν ότι οι έρημοι της Κίνας συνολικά μειώνονται με ρυθμό 1200 τετραγωνικών χιλιομέτρων το χρόνο, σε σύγκριση με τα 3500 τετραγωνικά χιλιόμετρα που αυξάνονταν ετησίως, στα τέλη της δεκαετίας του '90 (FAO, 2007; Geist, 2005; Nelson, 1990; Olsson, 1993).

### 2.9.2. Κύριες Αιτίες της Ερημοποίησης

Οι κύριες αιτίες της ερημοποίησης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες οι οποίες αλληλοεπηρεάζονται και αλληλεξαρτώνται είναι η επέμβαση του ανθρώπου στο περιβάλλον και στους φυσικούς πόρους και οι κλιματολογικές συνθήκες. Στην πρώτη κατηγορία εμπεριέχονται η αλόγιστη χρήση των φυσικών πόρων, οι λανθασμένες και ακατάλληλες χρήσεις της γης, η αύξηση των καλλιεργειών λόγω αύξησης του πληθυσμού, ακατάλληλα συστήματα άρδευσης, υπεράρδευση, η υπερβόσκηση ιδιαίτερα σε περιοχές ύστερα από περιόδους ξηρασίας ή μετά από πυρκαγιές, η αστική και βιομηχανική ανάπτυξη, αλάτωση, η ρύπανση από την χρήση φυτοφαρμάκων και η μόλυνση από τα απόβλητα. Η υπερβολική χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη, ο λόγος είναι η αλλαγή της σύστασης του εδάφους και του επιφανειακού και του υπογείου νερού. Επίσης, η ελλιπή κρατική βοήθεια για τις ανάγκες των ήδη πληγέντων περιοχών, η έλλειψη σχεδίου ελέγχου και αντιμετώπισης του φαινομένου, δεν θα πρέπει να αγνοούνται οι πολιτικές που εφαρμόζονται και έχουν ως αποτέλεσμα την εξάντληση των πόρων. Τέλος, ο σημαντικότερος παράγοντας είναι οι πυρκαγιές (Hessel and Verzandvoort, 2012; Kosmas et al., 1997; Olsson, 1993; Sartor et al., 1974).

Στη δεύτερη κατηγορία εμπεριέχονται οι μεγάλες ξηρασίες και κατά συνέπεια η σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο, οι έντονες βροχοπτώσεις και οι υψηλές ταχύτητες του ανέμου. Οι έντονες κλιματικές μεταβολές μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς μια περιοχή και να αυξήσουν τον ρυθμό που εμφανίζεται η ερημοποίηση σε περιόδους έντονης ξηρασίας καθώς και σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων. Οι βροχές αυτές δημιουργούν περισσότερες αρνητικές επιπτώσεις. Ως παράδειγμα, σε περιοχές που η χλωρίδα είναι ήδη αποδυναμωμένη η έντονη βροχόπτωση δημιουργεί μεγάλη πλημμύρα με αποτέλεσμα να εντείνει την αποψίλωση του εδάφους (η φυτοκάλυψη δεν μπορεί να αντισταθεί στην απορροή). Όμοια διαδικασία συμβαίνει με τις υψηλές ταχύτητες ανέμου σε γυμνό ή σε έδαφος με χαμηλή βλάστηση. (Helldén and Tottrup, 2008; Hessel et al., 2014; Hessel and Verzandvoort, 2012; Kairis et al., 2013; Olsson, 1993; Salvati et al., 2009).



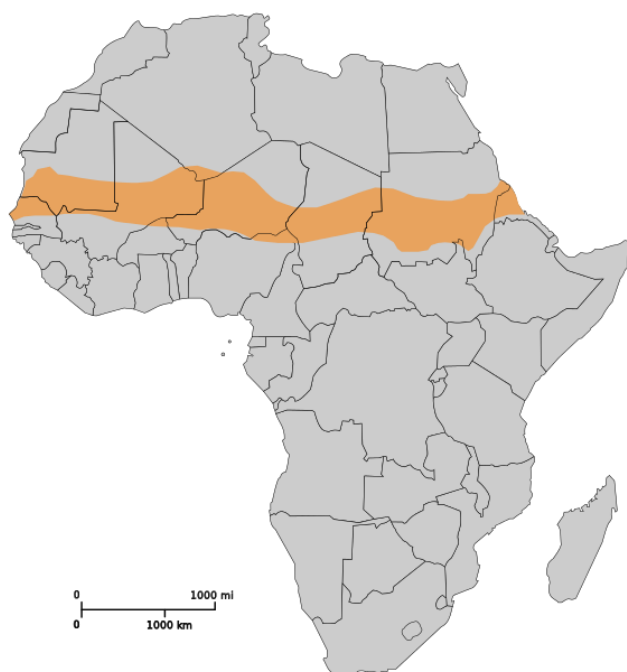


Εικόνα 2. 7. Παγκόσμιος χάρτης τρωτότητας στην ερημοποίηση, (NRCSS, 1998).

Οι μεγάλες περιόδους ξηρασίας και η μείωση των βροχοπτώσεων μπορούν σε μια περιοχή να επηρεάσουν αρνητικά την βιοποικιλότητα και να αυξήσουν την ερημοποίηση. Επίσης, οι έντονες βροχοπτώσεις σε μερικές περιπτώσεις φαίνεται να προκαλούν τεράστια προβλήματα στα εδάφη. Σύμφωνα με το παραπάνω χάρτη (Εικόνα 2. 7), πάνω από το 10% του πληθυσμού απειλείται από τις συνέπειες της ερημοποίησης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αύξηση της διαδικασίας αυτής είναι ότι το 1977 η υποβάθμιση του εδάφους δεν επέτρεπε σε 57 εκατομμύρια ανθρώπους να παράγουν αρκετή τροφή για να συντηρηθούν ενώ το 1984 ο αριθμός τους αυξήθηκε σε 135 εκατομμύρια. Τα τελευταία χρόνια αυτός ο αριθμός ξεπέρασε το 1 δισεκατομμύριο, γεγονός που θα οδηγήσει σε αύξηση της μετακίνησης πληθυσμών για βιοποριστικούς λόγους. Η υποβάθμιση του εδάφους δεν είναι καθόλου ένα νέο πρόβλημα, παρά την προσοχή που επικεντρώθηκε σε αυτόν τα τελευταία χρόνια. Ο αυξανόμενος πληθυσμός επιδεινώνει σημαντικά την κατάσταση σε περιοχές όπως η Κίνα και η Ινδία. Τα ιστορικά στοιχεία δείχνουν τεράστιες εκτάσεις να έχουν επιδεινώσει την κατάσταση σε σχέση πριν από αρκετούς αιώνες στις ξηρές ζώνες και συγκεκριμένα στη Μεσόγειο, στη κοιλάδα της Μεσοποταμίας και στο οροπέδιο της Κίνας. Υπήρχαν και άλλα μέρη όπου είχαν συμβεί καταστροφικές αλλαγές στην φυτοκάλυψη, αλλά ήταν μικρά σε έκταση ή δεν είναι γνωστά (Cawley, 1994; R.w et al., 1977; Salvati, 2010; UN Secretariat, 1977).

### 2.9.3. Η Ερημοποίηση στην Αφρικανική Ήπειρο

Η ερημοποίηση στην Αφρικανική ήπειρο άρχισε πολύ πριν από την μεγάλη ξηρασία του 1969-1973 που έπληξε το Σαχέλ, ονομάζεται η στεπική λωρίδα γης νότια της ερήμου Σαχάρα, που ξεκινά από δυτικά προς ανατολικά από τη Σενεγάλη συνεχίζει σε νότια Μαυριτανία κεντρικό Μάλι, βόρεια Μπουρκίνα Φάσο, κεντρικό Νίγηρα, βόρεια Νιγηρία, κεντρικό Τσαντ, το κέντρο-βόρειο Σουδάν και καταλήγει στην βόρεια Ερυθραία στα παράλια της Ερυθράς Θάλασσας. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος έπειτα από τις ακραίες ξηρασίες είναι η αποψίλωση των δασών στη Σουδανό - Σαχελιανή ζώνη (Dodd, J. L., 1994; Stebbing, 1938, 1937, 1935; Toupet, 1992). Ωστόσο, η ξηρασία δεν είναι η κύρια αιτία της ερημοποίησης αλλά ο άνθρωπος. Η ξηρασία ασκεί επιπρόσθετη πίεση επί των πόρων, επιτείνει τις αρνητικές επιπτώσεις της διαχείρισης και επιταχύνει την υποβάθμιση του εδάφους (Darkoh, 2003).



Εικόνα 2. 8. Χάρτης του Σαχέλ (Wikipedia, 2014).

Η υποβάθμιση των δασών στη Δυτική Αφρική οδηγεί στη διάβρωση και σαν τελικό στάδιο την απογύμνωση των περιοχών με την εμφάνιση του μητρικού πετρώματος στην επιφάνεια του εδάφους (Stebbing, 1938, 1937, 1935; Toupet, 1992). Πολλές μελέτες έδιναν παρόμοια αποτελέσματα για τη συγκεκριμένη ζώνη κατά τη δεκαετία του 1920 και

του 1930 (Toupet, 1992; Zeng, 2003). Η λύση για να σταματήσει η διαδικασία της ερημοποίησης που είχε ξεκινήσει ήταν η ανάπτυξη πολιτικών για τη διαχείριση των βοσκοτόπων ώστε να υπάρχει βλάστηση για να διατηρηθεί το έδαφος αλλά και οι υδατικοί πόροι. Η ευαισθητοποίηση του κοινού και υφίσταται μια καλή κατανόηση των βασικών αρχών της διατήρησης της γης. Το πεδίο εφαρμογής των διαχειριστικών μέτρων υπήρξε, δυστυχώς, βραδεία και η υποβάθμιση του εδάφους συνεχίζει να υπονομεύει τις προσπάθειες για τη βελτίωση των συνθηκών (Gorse and Steeds, 1987).

Η ερημοποίηση εμφανίζεται στις άνυδρες περιοχές της αφρικανικής ηπείρου και εκδηλώνονται ως σοβαρά προβλήματα σε τοπικό ή περιφερειακό επίπεδο. Η υπερβόσκηση

έχει ελαττώσει την παραγωγικότητα των εδαφών σχεδόν παντού εκτός των Περιφερειών βόρεια, δυτικά, ανατολικά, στη Νότια Αφρική. Επιπρόσθετα, η αιολική και η υδατική διάβρωση έχουν καταστρέψει πολλές καλλιεργημένες περιοχές (Darkoh, 2003; Rapp, 1974). Η αλάτωση και η υπεράρδευση δημιουργούν σοβαρά προβλήματα κυρίως στην κοιλάδα του Νείλου και γενικά στη Βόρεια Αφρική. Η εξόρυξη έχει αφήσει τα σημάδια της επιφάνειας όπου ασκείται. Το απογοητευτικό είναι ότι η υποβάθμιση του περιβάλλοντος συνεχίζεται και δεν παρουσιάζει κανένα σημάδι επιβράδυνσης (Veron et al., 2006). Συγκεκριμένα, στο Μποτέτι της Μποτσουάνας για την αντιμετώπισης της ερημοποίησης χρησιμοποιείται σύστημα συλλογής βρόχινου νερού τροφοδοτώντας υπόγεια δεξαμενή αποθήκευσης, έτσι αποφεύγεται η απορροής δηλαδή η υδατική διάβρωση. Επίσης, για μειωθεί η χρήση καυσόξυλων αξιοποιείται το μεθάνιο που παράγεται από την κτηνοτροφία (μαγείρεμα, θέρμανση και φωτισμό). Επίσης, στο Πράσινο Ακρωτήρι (Cape Verde) χρησιμοποιείται η κάθετη καλλιέργεια στην κλίση της Aloe Vera για την καταπολέμηση της διάβρωσης του εδάφους ωστόσο την αύξηση της διήθησης. Ένα άλλο μέτρο που εφαρμόζεται είναι για τη διάβρωση είναι η αναδάσωση. Από την άλλη πλευρά στο Μαρόκο εφαρμόζεται η αμειψισπορά των καλλιεργειών (δημητριακών / ψυχανθή) (Hessel and Verzandvoort, 2012).

#### **2.9.4. Η Ερημοποίηση στην Ασιατική Ήπειρο**

Η ερημοποίηση στις ξηρές ζώνες της Ασίας χαρακτηρίζονται από την υπερβόσκηση των βοσκοτόπων από τη Μέση Ανατολή έως την Κεντρική Ασία, από την υδατική διάβρωση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων από την ανατολική Κίνα έως τη Μεσόγειο, και λόγω της αλάτωσης και της υπεράρδευσης στο Ιράκ, στο Πακιστάν, στην Κίνα, και στη Ρωσία (Cai et al., 2003; Saiko and Zonn, 2000). Βελτιωτικά μέτρα για τη μείωση της υποβάθμισης του εδάφους έχουν εφαρμοστεί σε όλες τις χώρες που πλήττονται με διαφορετικό βαθμό επιτυχίας. Ιστορικά αρχαία καθιστούν σαφές ότι οι καταστροφικές επιπτώσεις του ανθρώπου ήταν ήδη εμφανής δύο ή τρεις χιλιάδες χρόνια πριν στην Κίνα και στην Μέση Ανατολή. Η υλοτομία και η γεωργία σε επικλινή εδάφη ήταν υπεύθυνοι για το μεγαλύτερο μέρος της υποβάθμισης της γης που παρουσιάστηκε στα υψίπεδα της Κίνας και της γύρω περιοχής (Jacobsen and Adams, 1958).

Μεγάλο πρόβλημα από την υπερβόσκηση φαίνεται να υπήρξε από την ραγδαία αύξηση του πληθυσμού στην Ινδία, στη Μέση Ανατολή (Pearse, 1971). Η γεωργία επεκτάθηκε και στα βοσκοτόπια με αποτέλεσμα την διένεξη γεωτρήσεων και την υπερεκμετάλλευση των υπογείων υδάτων, κατά συνέπεια, η γεωργία έχει γίνει μια υψηλού κινδύνου αιτία σε σχέση με το παρελθόν (Cai et al., 2003). Την ίδια στιγμή, οι μειωμένες περιοχές για την κτηνοτροφία δημιουργούν συνθήκες υπερβόσκησης, δηλαδή αυξάνεται η συγκέντρωση των ζώων σε

συγκεκριμένες περιοχές με αποτέλεσμα τη δημιουργία γυμνών εδαφών. Η αιολική διάβρωση, μειώνει αρκετά τη γονιμότητα του εδάφους και καθιστούν αναγκαία τα μέτρα ελέγχου της διάβρωσης στην Κίνα, στον Ιράν και στη Σαουδική Αραβία. Γίνονται προσπάθειες για τη μείωση της διάβρωσης, αλλά το πρόβλημα είναι τόσο μεγάλο όπου η πρόοδος είναι αργή. Η υδατική διάβρωση εμφανίζεται στο οροπέδιο της Κίνας στην περιοχή Shanhsien ανατολικά του Χιαν από τον κίτρινο ποταμό, όπου η συγκέντρωση των φερτών υλικών μερικές φορές είναι τόσο πυκνή στον ποταμό που έπειτα από μετρήσεις έχει καταγραφεί ότι τα ιζήματα φτάνουν στο 46% και ο ποταμός μεταφέρει ετησίως  $1.3 \cdot 10^9$  ton ιζημάτων (De Crespigny, 1971; Yang et al., 2005). Για την μείωση της διάβρωσης στην Κίνα χρησιμοποιείται η δημιουργία αναβαθμών μειώνοντας την απορροή με αποτέλεσμα να περιορίζεται η υδατική διάβρωση (Hessel and Verzandvoort, 2012).

### 2.9.5. Η Ερημοποίηση στην Αυστραλία

Η υποβάθμιση του εδάφους στην Αυστραλία προέρχεται κυρίως από την υπερβόσκηση στα εδάφη της. Σε τοπικό επίπεδο, δηλαδή σε μικρής έκτασης περιοχές αλλά σε όλη την ήπειρο σημειώνονται προβλήματα από την υδατική διάβρωση και την αλάτωση των εδαφών των καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Υποβάθμιση του εδάφους είναι συνήθως γύρω από τις γεωργικές κοινότητες και τις δημοφιλείς τουριστικές περιοχές όπως το Ουλουρού, γνωστό και ως Άγερς Ροκ, που είναι μεγάλος μονόλιθος από ψαμμίτη στο νότιο άκρο της Βόρειας Επικράτειας, στην κεντρική Αυστραλία. Ένα άλλο πρόβλημα που οξύνει τη διαδικασία της ερημοποίησης είναι η υπερβόσκηση. Η υπερβόσκηση ξεκίνησε στο εσωτερικό της ηπείρου στις ξηρές περιοχές για 50 έως 100 χρόνια σε μια περίοδο όταν δεν υπήρχε καμία πληροφορία σχετικά με τη βιωσιμότητα των περιοχών αυτών και επίσης ελάχιστη γνώση των κλιματικών παραμέτρων. Ακόμη, στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα εμφανίστηκαν προβλήματα διάβρωσης (αιολικής και υδατικής), αλάτωσης και υπεράρδευσης στις γεωργικές εκτάσεις. Οι πρώτες δράσεις εναρμονισμένες με την προστασία των θεσπίστηκαν με την αρμόδια νομοθεσία στη δεκαετία του 1930 όπου δημιουργεί ζώνες χρήσεις γης και αποτρέπει την περαιτέρω επιδείνωση της ερημοποίησης στις περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές. Σήμερα με ασφάλεια μπορεί να ειπωθεί ότι η υπερβόσκηση είναι πολύ μικρότερο πρόβλημα από ότι ήταν πριν την εφαρμογή των νόμων. Αντίθετα, εξακολουθεί να υφίσταται το πρόβλημα της διάβρωσης αλλά σε μικρότερο βαθμό. Από την άλλη πλευρά η αλάτωση των εδαφών στην λεκάνη απορροής του ποταμού Murrumbidgee αυξάνεται λόγω των άρδευσης.



Εικόνα 2. 9. Περιοχή Ουλουρού στην Αυστραλία (Leopold, 2008).

Περίπου πάνω από το 25% των ξηρών περιοχών της Αυστραλίας είναι ερημικές λόγω των δυσμενών συνθηκών και της έλλειψης της βλάστησης, από το υπόλοιπο 75% των εδαφών βρίσκεται σε μέτριο κίνδυνο ερημοποίησης. Σοβαρή ερημοποίηση εμφανίζεται στις περιοχές της Νέας Νότιας Ουαλίας και της Νότιας Αυστραλίας, όπου η υπερβόσκηση έχει προκαλέσει μεγάλη μείωση της φυτοκάλυψης. Η υποβάθμιση της βλάστησης λόγω της βόσκησης έχει επίσης σοβαρές επιπτώσεις στην Ανατολική Αυστραλία. Οι πλημμύρες διαβρώνουν σημαντικές ποσότητες εδαφών κυρίως στις λεκάνες απορροής Gascoyne, Ord και Victoria στη Δυτική και βόρεια επικράτεια. Η υδρολογική διάβρωση ήταν και είναι σοβαρή για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Ord. Οι μεγάλες απορροές σε συνδυασμό με το ποδοπάτημα των ζώων έχει αναπτύξει μια επιφάνεια κρούστα όπου απωθεί το νερό και ελαχιστοποιεί τη διήθηση (Condon, 1978; Mabbutt, 1978). Για τον έλεγχο του προβλήματος της ερημοποίησης που είναι πολύ γνωστό στις παραπάνω περιοχές της Αυστραλίας, χρησιμοποιούνται προγράμματα από το κράτος ώστε να μειωθεί η διαδικασία και να προστατευθούν τα τρωτά εδάφη (Bartley et al., 2006; Ludwig and Tongway, 1995).

### 2.9.6. Η Ερημοποίηση στη Βόρεια Αμερική

Η υπερβόσκηση έχει αφήσει ανεξίτηλο το σημάδι της στα ξηρά εδάφη της Βόρειας Αμερικής, και ελάχιστα αποτελέσματα έχουν καταφέρει οι εφαρμοσμένες πολιτικές διαχείρισης για την

αποκατάσταση των περιοχών αυτών. Επίσης, η διάβρωση (αιολική και υδατική) η αλάτωση και η υπεράρδευση με διαφορετικούς βαθμούς σοβαρότητας, είναι κοινά σε όλους σχεδόν τους αρδευόμενους κάμπους. Επί του παρόντος, τα τελευταία 30 χρόνια η ερημοποίηση πιθανώς έχει σταθεροποιηθεί, με κάποια βελτίωση στην φυτοκάλυψη των βοσκοτόπων και ταυτόχρονα με τον έλεγχο της διάβρωσης και της υπεράρδευσης. Σοβαρά προβλήματα από την υπερβόσκηση έχουν προκύψει στα βοσκοτόπια του Μεξικού και των Ηνωμένων Πολιτειών, όπου το πρόβλημα ξεκίνησε από το Μεξικό. Στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα, η υπερβόσκηση ήταν δεδομένη στις δύο πλευρές των συνόρων με την μεγάλη αύξηση στον αριθμό των βοοειδών και η κατάσταση συνεχίστηκε μέχρι και τον 20<sup>ο</sup> αιώνα. Η υπερβόσκηση των βοσκοτόπων επιδείνωσε τη διάβρωση, την αλάτωση και την υπεράρδευση. Στις δεκαετίες του '40 και του '50 οι αμερικανικές αρχές έθεσαν αρχές για τον έλεγχο της ερημοποίησης. Ωστόσο, η εφαρμογή των μέτρων δεν έγινε πιστά και από τις δύο πλευρές. Υπάρχουν περίπου 450\*10<sup>6</sup> ha άγονων περιοχών στον Καναδά, στις Ηνωμένες Πολιτείες και στο Μεξικό. Περίπου τα δύο τρίτα από το σύνολο των εκτάσεων είναι μετρίως ερημοποιημένα και λιγότερο από το ένα τρίτο σοβαρά ερημοποιημένα. Σε γενικές γραμμές, σήμερα τα βοσκοτόπια είναι μετρίως ερημοποιημένα στο Βορρά και σοβαρά ερημοποιημένα στο Νότο. Η διαχωριστική γραμμή προσεγγίζει το δροσερό και ζεστό κλίμα. Η ερημοποίηση στη Βόρεια Αμερική είναι το αποτέλεσμα ενός συνδυασμού υπερβόσκησης και υδατικής διάβρωσης. Υπάρχουν τέσσερις οριοθετηθείσες περιοχές που έχουν υποστεί ακραία ερημοποίηση. Το Νέο Μεξικό, το Τέξας και η Τσιουάουα υποφέρουν πρωτίστως από την υπερβόσκηση και έπειτα από την αιολική διάβρωση. Η τέταρτη περιοχή που έχει πληγεί σοβαρότερα από την ερημοποίηση είναι το Ναβάχο, Βόρειο Νέο Μεξικό και Αριζόνα (Whitford, 1997). Η υπερβόσκηση και συγκεκριμένα από αιγό-πρόβατα έχει αφανίσει τις περισσότερες εκτάσεις χαμηλής βλάστησης με αποτέλεσμα τα εδάφη να διαβρώνονται εύκολα. Είναι απίθανο ότι οποιαδήποτε από αυτές τις περιοχές θα ανακτήσει φυσικά τα επόμενα εκατό ή περισσότερα χρόνια, ακόμη και αν απαγορεύεται εντελώς η βόσκηση (Sheridan, 1981; Whitford, 1997).





Εικόνα 2. 10. Ερημοποιημένη περιοχή της Βόρειας Αμερικής (Antonov, 2014).

Η αιολική διάβρωση στις ξηρές αγροτικές περιοχές είναι η δεύτερη πιο εκτεταμένη διαδικασία ερημοποίησης και ένα ακραίο παράδειγμά της είναι η ζημιά που έχει προκαλέσει στις μεγάλες πεδιάδες (Great Plains) στη δυτική πλευρά του Βορειοδυτικού Ειρηνικού. Η αιολική διάβρωση στις καλλιεργούμενες εκτάσεις δημιουργήθηκε όταν η αρχική χαμηλή βλάστηση χάθηκε και εμφανίστηκαν ξηρές περιοχές. Πρόκειται για μια απειλή όπου επιδεινώνεται κατά τη διάρκεια των ξηρασιών που εμφανίζονται συχνά. Τα αμμώδη εδάφη είναι τα πιο ευαίσθητα στην αιολική διάβρωση λόγω του ότι ο αέρας μεταφέρει μαζί με την σκόνη οργανική ουσία και θρεπτικά στοιχεία. Η εφαρμογή των συστημάτων άρδευσης με σταγόνες ειδικά με κυκλικού τύπου (pivot) έχει αντιμετωπίσει σε μεγάλο βαθμό τη διάβρωση. Μεγάλος εχθρός των εδαφών είναι η εγκατάλειψη των γεωργικών περιοχών λόγω του ότι ο κίνδυνος της ερημοποίησης θα είναι μεγαλύτερος (Jiang and Islam, 2001; Kassas, 1995; Madole, 1994).

Η υδατική διάβρωση είναι ιδιαίτερα σοβαρή και επιταχύνεται η διαδικασία της με την υπερβόσκηση σε βοσκοτόπια και σε γεωργικές περιοχές στην περιοχή Palouse του Βορειοδυτικού Ειρηνικού και τα υψίπεδα του Μεξικού. Κανονική γεωλογική διάβρωση υφίσταται στο Badlands της Νότιας Ντακότα και στα σχιστολιθικά πετρώματα στο Γουαϊόμινγκ, στο Κολοράντο, στη Γιούτα και στο Νέο Μεξικό, όπου η κατάσταση έγινε χειρότερη με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Προβλήματα αλατότητας συναντώνται σχεδόν

σε όλες τις πεδιάδες όπου υπάρχει εντατική καλλιέργεια των εδαφών, συγκεκριμένα, στο San Joaquin Valley της Καλιφόρνια, στο Mexicali valleys του Μεξικού και στη χαμηλότερη κοιλάδα του Rio Grande (Μεξικό) (Abrahams et al., 1995; Sheridan, 1981; Whitford, 1997). Η υπεράρδευση είναι περισσότερο ένα πρόβλημα στις βόρειες Πολιτείες των ΗΠΑ, ενώ ο συνδυασμός υπεράρδευσης και αλάτωσης είναι σοβαρότερη στο νότο. Οι πολιτικές που εφαρμόζονται κάθε χρόνο για τον έλεγχο της ερημοποίησης στη Βόρεια Αμερική ποικίλλει από χρόνο σε χρόνο, συνήθως ανάλογα με την εμφάνιση των ξηρασιών ή των πλημμυρών. Στις ΗΠΑ, για την προστασία του εδάφους δίνεται σημαντική οικονομική υποστήριξη σε ομοσπονδιακό επίπεδο. Η κατάσταση είναι καλύτερη στον Καναδά, αλλά είναι σαφώς χειρότερη στο Μεξικό. Σε αυτό συντελούν οι κλιματολογικές συνθήκες αλλά και οι ανθρώπινες δραστηριότητες (Stockton and Boggess, 1979).

### **2.9.7. Η Ερημοποίηση στη Νότια Αμερική**

Η κατάσταση στη Νότια Αμερική είναι χειρότερη από αυτήν στη Βόρεια. Υπάρχουν σημαντικά προβλήματα που εντείνουν το φαινόμενο της ερημοποίησης, όπως η υπερβόσκηση, οι ακατάλληλες γεωργικές πρακτικές, η υποβάθμιση του εδάφους από την υλοτομία και τη διάβρωση (αιολική και υδατική), καθώς και τα μακροχρόνια προβλήματα στις ξηρές ζώνες της Νότιας Αμερικής. Η αιολική διάβρωση είναι μια μεγάλη απειλή για τις ημίξηρες περιοχές Patras της Αργεντινής, όπου αμμοθύελλες έχουν καταστρέψει και συνεχίζουν να καταστρέφουν ολόκληρες εκτάσεις (Torres et al., 2015). Τα προβλήματα της αλατότητας και της υπεράρδευσης εμφανίζονται στις αρδευόμενες περιοχές στη Δυτική Αργεντινή, ιδιαίτερα κατά μήκος του Rio Salado, και στις πολυάριθμες στενές κοιλάδες του Περού. Ακόμα, σε σοβαρότερη κατάσταση είναι οι αλυκές που βρίσκονται στο οροπέδιο της Βολιβίας, στη Βόρεια Χιλή και στη Δυτική Αργεντινή, οι οποίες είναι φυσικής προέλευσης και δεν οφείλονται στις δραστηριότητες του ανθρώπου. Είναι ελάχιστη η βελτίωση των εδαφών και οι συνθήκες και πρακτικές που επικρατούν είτε επιδεινώνουν το πρόβλημα είτε το διατηρούν σταθερό. Η ερημοποίηση έχει χαρακτηριστεί από μέτριο κίνδυνο στις ημίξηρες περιοχές της βορειοανατολικής Βραζιλίας λόγω της μεγάλης διαφοροποίησης των βροχοπτώσεων, από περιόδους ξηρασιών εναλλάσσονται περίοδοι με έντονες πλημμύρες. Οι μεγάλες ξηρασιές για μεγάλα χρονικά διαστήματα και έπειτα οι έντονες βροχοπτώσεις που συνοδεύονται με πλημμύρες προκαλούν μεγάλα προβλήματα στα εδάφη και εντείνουν τη διαδικασία της ερημοποίησης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ήταν η ξηρασία στο Σάο Πάολο, στο Ρίο ντε Τζανέιρο και στο Μίνας Γκεράις της Βραζιλίας που ήταν η χειρότερη των τελευταίων 80 ετών (2014 - 2016) (Oliveira et al., 2016; Sun et al., 2016). Στις 11/03/2016 σημειώθηκαν



σφοδρές βροχοπτώσεις στο Σάο Πάολο με αποτέλεσμα να χαθούν τουλάχιστον 24 ζωές λόγω κατολισθήσεων (Masoero, 2016).



Εικόνα 2. 11. Αεροφωτογραφία από το φράγμα Ατσιμπάνια, Σάο Πάολο Βραζιλία (Jon Premosch, 2014).

Επίσης, σημαντικά προβλήματα εμφανίζονται στις ακτές του Περού που διασχίζεται από ένα μεγάλο αριθμό μικρού μήκους ποταμών που ξεκινούν από τις Άνδεις προς τον Ειρηνικό Ωκεανό. Πολλές από τις αρδευόμενες κοιλάδες επηρεάζονται σε κάποιο βαθμό από την αλάτωση. Οι κοιλάδες αυτές αποτελούν μόνο ένα μικρό μέρος των ερημικών ακτών του Περού και ακόμη λιγότερο της ερήμου Ατακάμα στη Χιλή. Νοτιότερα, στα ημίξηρα παράκτια βουνά της Χιλής, η υποβάθμιση του εδάφους προέρχεται λόγω υπερβόσκησης και της έντονης καλλιέργειας σε επικλινή εδάφη που ήταν γύρω από τα αστικά κέντρα. Η αδιάκριτη υλοτομία έχει, επίσης, ένα σημαντικό αρνητικό παράγοντα στην ανάπτυξη της περιοχής (Hessel and Verzandvoort, 2012). Στην Αργεντινή, η οποία είναι η πιο ξηρή χώρα της Νότιας Αμερικής, η υπερβόσκηση έχει οδηγήσει την υποβάθμιση της βλάστησης της περιοχής από τα υψηλά οροπέδια στο Βορρά μέχρι την Παταγονία στο Νότο. Η ανεξέλεγκτη υπερβόσκηση των βοσκοτόπων είναι η πιο καταστροφική πτυχή της ερημοποίησης σε όλες τις άνυδρες περιοχές της Νότιας Αμερικής συνυπολογίζοντας και την αλόγιστη υλοτομία στις δασικές εκτάσεις. Η υδατική διάβρωση ακολουθεί την υπερβόσκηση και επιπρόσθετα η αιολική διάβρωση οξύνει το πρόβλημα ειδικά σε εκτάσεις της Αργεντινής (Dregne, 1986).



Εικόνα 2. 12. Καλλιέργειες αμπελώνων σε επικλινή εδάφη στο Σαντιάγκο της Χιλής.

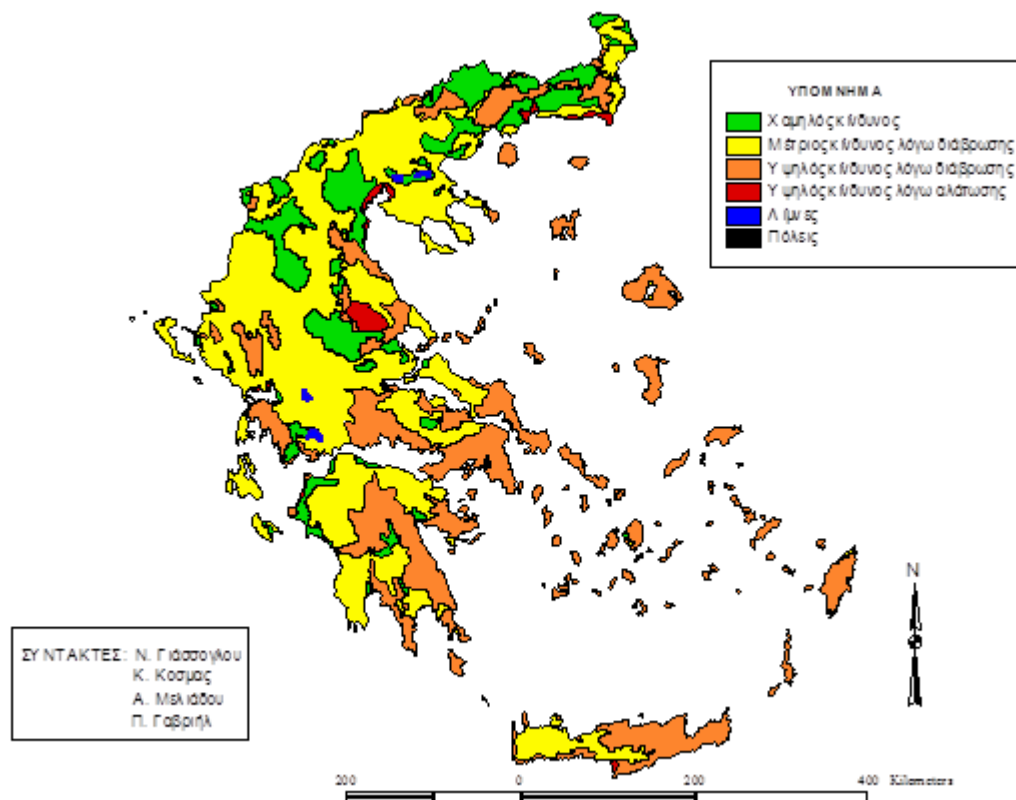
Η αλάτωση επηρεάζει περίπου το 20% της αρδευόμενης γης στην παράκτια κοιλάδα του Περού, μεγάλα τμήματα στην ημίξηρη περιοχή του Γκραν Τσάκο και στις γύρω επαρχίες του Santiago del Estero. Το ίδιο πρόβλημα, σε μικρότερο βαθμό, εμφανίζεται στις αρδευόμενες περιοχές στην άνυδρη Δυτική Αργεντινή και στη βορειοανατολική Βραζιλία. Αν και μόνο το 22% των ξηρών περιοχών της Νότιας Αμερικής επηρεάζονται σοβαρά ή πολύ σοβαρά από την ερημοποίηση, το πρόβλημα είναι σε κρίσιμη κατάσταση γιατί τα καλύτερα εδάφη έχουν υποστεί τις επιπτώσεις της ερημοποίησης και δυστυχώς αυτή η υποβάθμιση συνεχίζεται (Brightsmith and Muñoz-Najar, 2004; Smith, 1979).

### 2.9.8. Η Ερημοποίηση στην Ευρώπη

Το συγκεκριμένο φαινόμενο φαίνεται ότι επηρεάζει και την Ευρώπη και συγκεκριμένα την περιοχή της μεσογείου, οι χώρες που απειλούνται άμεσα είναι η Ελλάδα, η Ιταλία, η Ισπανία και η Πορτογαλία. Η Ισπανία αντιμετωπίζει ο μεγαλύτερο πρόβλημα ερημοποίησης από όλες τις Μεσογειακές χώρες εξαιτίας της τεράστιας εκμετάλλευσης των περιοχών με λόφους της



χώρας εξαιτίας της εκμετάλλευσης αυτών των περιοχών. Εκτιμάται ότι πάνω από το 40% των εδαφών απειλείται από το φαινόμενο της ερημοποίησης. Έπειτα, ακολουθούν η Ιταλία και η Ελλάδα, και η Πορτογαλία που ταλανίζεται και αυτή από τις επιπτώσεις της ερημοποίησης. Ο ελλαδικός χώρος εμφανίζεται έντονα υποβαθμισμένος με πολλές περιοχές να αντιμετωπίζουν σημαντικό κίνδυνο ερημοποίησης. Οι περιοχές υψηλού κινδύνου ερημοποίησης είναι η δυτική Στερεά Ελλάδα, το μεγαλύτερο μέρος της Πελοποννήσου, η ορεινή ζώνη των Ιονίων νήσων, η Κρήτη, τα νησιά του Αιγαίου, η Εύβοια και μέρος της Ηπείρου, Θεσσαλίας και Θράκης. Όπως προκύπτει από πρόσφατες μελέτες, το 35% του ελλαδικού χώρου βρίσκεται σε υψηλό κίνδυνο ερημοποίησης ή έχει ήδη ερημοποιηθεί, ενώ το 49% θεωρείται ότι βρίσκεται σε μέτριο κίνδυνο ερημοποίησης.



Εικόνα 2. 13. Χάρτης δυνητικού κινδύνου ερημοποίησης της Ελλάδας (Yassoglou, 1996).

Η ερημοποίηση ως φυσική διεργασία είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων που δρουν είτε μεμονωμένα είτε αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Οι παράγοντες αυτοί είναι φυσικοί-περιβαλλοντικοί, και ανθρωπογενείς. Συνδυασμός αντίξων φυσικών συνθηκών με αρνητική ανθρώπινη παρέμβαση στο περιβάλλον που πιθανά να επιβάλλεται από δεδομένους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες οδηγούν σε ερημοποίηση σημαντικών εκτάσεων γης (Kosmas et al., 2006, 1997, 1993; Yassoglou et al., 1997; Yassoglou, 1996).

## 2.10. ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ

Η τρωτότητα των ανθρώπινων και φυσικών συστημάτων στις μεταβολές του κλίματος (βραχυχρόνιες και μακροχρόνιες), καθώς και η ικανότητά τους να προσαρμόζονται στις διάφορες αλλαγές, είναι ένα σχετικά νέο πεδίο έρευνας που φέρνει σε επαφή επιστήμονες από ένα ευρύ φάσμα τομέων, όπως αυτή της επιστήμης του κλίματος, των μελετών ανάπτυξης, της διαχείρισης των καταστροφών, της υγείας, των κοινωνικών επιστημών, της αναπτυξιακής πολιτικής και της οικονομίας. Είναι δόκιμο κάθε επιστήμη να έχει τα δικά της θεωρητικά μοντέλα/προσεγγίσεις/εργαλεία για τη μελέτη της τρωτότητας και της προσαρμογής. Είναι επιτακτική ανάγκη η ανάπτυξη μιας κοινής γλώσσας, έτσι ώστε η τρωτότητα να μπορεί να κινηθεί προς τα εμπρός με έναν τρόπο που να ενσωματώνει αυτές τις διαφορετικές προσεγγίσεις με ένα συνεκτικό και ευέλικτο τρόπο, επιτρέποντας στους ερευνητές να αξιολογήσουν την ευπάθεια και τις δυνατότητες προσαρμογής σε ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών πλαισίων, και με τρόπο που είναι διαφανής για τους υπόλοιπους συναδέλφους τους.

Η υπάρχουσα βιβλιογραφία σχετικά με την τρωτότητα και την προσαρμογή συγχέει τους όρους της τρωτότητας, της ευαισθησίας, της ανθεκτικότητας, της προσαρμοστικότητας, και του κινδύνου (Adger, 1999, 2006; Burton et al., 2002; Watson et al., 2001). Από την άλλη πλευρά οι σχέσεις μεταξύ αυτών των όρων είναι ασαφείς, και ο ίδιος ο ορισμός μπορεί να έχει διαφορετικές σημασίες όταν χρησιμοποιείται σε διαφορετικούς τομείς και από διαφορετικούς συγγραφείς. Οι επιστήμονες από το πεδίο των φυσικών κινδύνων τείνουν να εστιάζουν περισσότερο στην έννοια του κινδύνου, ενώ εκείνοι από τις κοινωνικές επιστήμες συχνά προτιμούν να μιλούν από την πλευρά της τρωτότητας (Downing et al., 2001). Οι κοινωνικοί επιστήμονες και οι επιστήμονες του κλίματος συχνά εννοούν διαφορετικά πράγματα όταν χρησιμοποιούν τον όρο "τρωτά σημεία" λαμβάνοντας υπόψη ότι οι κοινωνικοί επιστήμονες τείνουν να προβάλλουν το θέμα της τρωτότητας που εκπροσωπεί το σύνολο των κοινωνικοοικονομικών παραγόντων που καθορίζουν την ικανότητα των ανθρώπων να αντιμετωπίζουν το ζήτημα. Οι κλιματολόγοι συχνά χρησιμοποιούν την τρωτότητα όσον αφορά την πιθανότητα εμφάνισης επιπτώσεων από τα κλιματικά φαινόμενα (Adger, 1999; Adger and Kelly, 1999; Bohle et al., 1994; Nicholls et al., 1999; Stathatou et al., 2015).

Ο σκοπός αυτού του υπο-κεφαλαίου είναι να παρουσιάσει ένα εννοιολογικό πλαίσιο που μπορεί να εφαρμοστεί με συνέπεια σε μελέτες τρωτότητας από ένα ευρύ φάσμα πλαισίων από ερευνητές με διαφορετικό υπόβαθρο, που ασχολούνται με τις επιπτώσεις της και την

αντιμετώπιση της μεταβλητότητας της ξηρασίας μέσα στα ανθρώπινα συστήματα. Η πρόθεση δεν είναι να επαναπροσδιοριστεί ο ορισμός αλλά να εισαχθεί μια εναλλακτική προσέγγιση όσον αφορά την τρωτότητα στην ξηρασία. Η διευκρίνιση αυτή μπορεί να επιτευχθεί μέσω πρακτικών τόσο απλά, όσο η εφαρμογή ενός απλού εργαλείου (πχ ερωτηματολογίου) έως ενός σύνθετου μοντέλου (πχ σύστημα αποφάσεων). Η σύγχυση που προκύπτει από διαφορετικές χρήσεις του όρου «τρωτότητα» μπορεί να ξεπεραστεί σε μεγάλο βαθμό από τη διάκριση μεταξύ της *κοινωνικής τρωτότητας* (*Social vulnerability*) και της *βιοφυσικής τρωτότητας* (*Biophysical vulnerability*). Αυτές οι δύο περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ήδη ευρέως από ορισμένα μέλη της ερευνητικής κοινότητας (Adger, 1999; Maharani et al., 2016; Marshall et al., 2013; Ndungu et al., 2015; Rogers and Woodroffe, 2016; Stathatou et al., 2015; Tullos et al., 2013).

Ο ορισμός της IPCC είναι αυτός που εξετάζει, και συσχετίζει τις δύο αυτές έννοιες (της κοινωνικής και της βιοφυσικής). Επιπρόσθετα, οι ορισμοί του κινδύνου σχετίζονται με τις έννοιες της επικινδυνότητας και των επιπτώσεων. Αντίθετα η έννοια της προσαρμοστικότητας δεν συμπεριλαμβάνεται στις υπάρχουσες σχέσεις με την επικινδυνότητα και την ειδική φύση της προσαρμοστικής ικανότητας και το πώς αυτή διαμεσολαβεί τη σχέση της με την ευπάθεια. Εδώ παρουσιάζεται μια συνοπτική τυπολογία κινδύνου, και οι επιπτώσεις των διαφορετικών χρονικών περιθωρίων που σχετίζονται με διαφορετικούς κινδύνους, όσον αφορά τη διαδικασία προσαρμογής. Οι έννοιες της υφιστάμενης, της μελλοντικής, της πραγματικής και της πιθανής ευπάθειας δημιουργήθηκαν ως βάση για την ποσοτικοποίηση της ευπάθειας και της προσαρμοστικής ικανότητας, όπου αυτό είναι επιθυμητό, όπως για παράδειγμα, σε ολοκληρωμένα μοντέλα εκτίμησης. Τέλος, η σχέση μεταξύ της προσαρμοστικής ικανότητας και της πραγματικής προσαρμογής αναφέρονται, και οι ανησυχίες σχετικά με την πιθανή κατάχρηση της έννοιας της προσαρμοστικής ικανότητας παρουσιάζονται. Η έννοια της πιθανοφάνειας προσαρμογής προτείνεται διστακτικά ως μέσο για την αντιμετώπιση της κάθε προσπάθειας για χρησιμοποίηση της "ανάπτυξης ικανοτήτων" ως πολιτικό μοχλό που θα αποσπάσει την προσοχή από τους διαρθρωτικούς παράγοντες μεγάλης κλίμακας, οι οποίοι συχνά προκαλούν ή επιδεινώνουν την ευπάθεια των ομάδων που δεν έχουν κανέναν έλεγχο πάνω σε τέτοιους παράγοντες (IPCC, 2014; Watson et al., 2001).

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί ορισμοί της τρωτότητας παρόλα αυτά, και είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η τρωτότητα ενός συγκεκριμένου συστήματος μπορεί να συσχετισθεί με ένα συγκεκριμένο κίνδυνο ή με ένα εύρος κινδύνων. Ο όρος κίνδυνος χρησιμοποιείται και αναφέρεται συγκεκριμένα σε φυσικές καταστροφές όπως ξηρασία πλημμύρες,

καταιγίδες/επεισόδια έντονων βροχοπτώσεων, μακροπρόθεσμες αλλαγές στις μέσες τιμές των κλιματικών μεταβλητών, σενάρια μελλοντικών αλλαγών σε διάφορες περιπτώσεις όπως κλίμα, χρήση γης, πληθυσμός κ.ά.. Συγκεκριμένα, οι κλιματολογικοί κίνδυνοι μπορούν να οριστούν σε όρους απόλυτων τιμών ή αποκλίσεις από το μέσο όρο των μεταβλητών, όπως η βροχόπτωση, η θερμοκρασία, η ταχύτητα του ανέμου, ή στάθμη ενός υδροφόρου ορίζοντα, ίσως και ο συνδυασμός κάποιων μεταβλητών μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο όπως, η μειωμένη βροχόπτωση, αυξημένη θερμοκρασία και μειωμένα επίπεδα σχετικής υγρασίας, όλα αυτά εντείνουν το πρόβλημα της έλλειψης του νερού. Οι επιπτώσεις μιας καταστροφής μετριοούνται με χαμένες ζωές (πλημμύρες, καύσωνας, πυρκαγιά), ανθρώπους που πλήττονται (σεισμός, λοιμός) και οικονομικές ζημιές (ξηρασία, καύσωνας, πλημμύρες κ.ά.) (Aven, 2011; Kalogeropoulos et al., 2016; Kalogeropoulos and Chalkias, 2013; Pritchett et al., 2000; Wolf et al., 2013).

Υπάρχει πληθώρα δημοσιεύσεων για την τρωτότητα στην κλιματική αλλαγή οι οποίες μπορούν να διαχωριστούν σε δυο βασικές κατηγορίες, η πρώτη ορίζεται ως οι δυνητικές – εκτιμώμενες επιπτώσεις της τρωτότητας σε ένα σύστημα από ένα κλιματικό συμβάν ή από έναν κίνδυνο (Jones and Boer, 2003). Η δεύτερη ορίζεται ως μία κατάσταση η οποία υφίσταται εντός του συστήματος προτού αντιμετωπιστεί). Διάφορες μελέτες αναφέρουν ότι οι επιπτώσεις από μία πλημμύρα εκφράζονται από τυπικούς παράγοντες όπως η αύξηση ή μείωση του αριθμού των ατόμων εντός του συστήματος που βρίσκονται σε κίνδυνο και η έκθεση του πληθυσμού είναι και αυτή που την ικανότητα του να αντιμετωπίζει τους κινδύνους όταν αυτοί εμφανιστούν (Nicholls et al., 1999). Οι κίνδυνοι αλλά και οι επιπτώσεις τους προσεγγίζουν και σχετίζονται με την τρωτότητα ενός συστήματος που καθορίζεται από τη φύση και τους φυσικούς κινδύνους / καταστροφές. Δεν θα πρέπει να αγνοείται αλλά και να μην συγχέεται η ευαισθησία ενός συστήματος με την τρωτότητα και τον κίνδυνο αφού μπορεί να αλλάξει τις ισορροπίες. Αυτή η οπτική της τρωτότητας ορίζεται από την IPCC (Stathatou et al., 2015; Watson et al., 2001). Για να πραγματοποιηθεί ο προσδιορισμός της τρωτότητας συνήθως χρησιμοποιούνται δείκτες όπου σύμφωνα με αυτούς γίνεται μια αναφορά σε μια κατάσταση για μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (Jones and Boer, 2003).

Επιπρόσθετα, η άποψη ότι η τρωτότητα είναι μια κατάσταση έχει κερδίσει πολλούς επιστήμονες κυρίως στις ανθρωπιστικές επιστήμες. Σε αυτήν τη διατύπωση, η τρωτότητα είναι κάτι που υπάρχει μέσα στο σύστημα ανεξάρτητα από τους εξωτερικούς κινδύνους. Δηλαδή για τις ανθρωπιστικές επιστήμες θεωρείται ως εγγενής ιδιότητα ενός συστήματος που προκύπτει από τα εσωτερικά χαρακτηριστικά και μπορεί να ονομαστεί κοινωνική τρωτότητα (Adger, 1999; Adger and Kelly, 1999). Σε αυτή την κατηγορία καθορίζεται από

παράγοντες όπως η φτώχεια, η ανισότητα, η περιθωριοποίηση, η πρόσβαση στην ασφάλεια και στέγαση (Adger and Kelly, 1999; Blaikie et al., 2014; Cross, 2001). Η κοινωνική τρωτότητα έχει ως πρωταρχικό στόχο στην έρευνα τη χαρτογράφηση των τρωτών μελών μιας κοινωνίας ή των περιοχών που μπορεί να εμφανιστούν μέσα σε αυτή (Downing and Patwardhan, 2003). Σε αυτή τη δομή, είναι η αλληλεπίδραση του κινδύνου με την κοινωνική τρωτότητα που δημιουργεί ένα αποτέλεσμα το οποίο υπολογίζεται από τη φυσική ή οικονομική επίπτωση αλλά και από τη θνησιμότητα. Ως εκ τούτου, αυτή η κατηγορία μπορεί να θεωρηθεί ως ένας από τους κύριους παράγοντες της βιοφυσικής τρωτότητας (Brooks et al., 2005; Brooks and Adger, 2003).

Συνοψίζοντας, η τρωτότητα είναι το μέγεθος των απωλειών που προκύπτουν από ένα καταστροφικό φαινόμενο. Περιλαμβάνει την έκθεση - τις παρούσες αξίες και τις ζωές στην αντίστοιχη περιοχή - και την έλλειψη ικανότητας αντίστασης ή άμυνας στην απειλή. Η τρωτότητα στην ξηρασία είναι το σύνολο των μέτρων της ανθρώπινης ευημερίας που περιλαμβάνει την περιβαλλοντική, κοινωνική και οικονομική έκθεση σε ένα σύνολο από επιβλαβείς διαταραχές. Επίσης, μπορεί να καθοριστεί ποικιλοτρόπως και σε πολλαπλά πλαίσια. Εντούτοις, αφορά πρώτιστα το βαθμό στον οποίο ο πληθυσμός, το ανθρωπογενές και φυσικό περιβάλλον και οι κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες είναι ευαίσθητες και ευπαθείς σε βλάβες από ένα φυσικό καταστροφικό γεγονός (Vlachos and Braga, 2001). Ως εκ τούτου, σε ένα γεγονός ξηρασίας αναφέρεται στις ανθρωπογενείς υποδομές σε συνδυασμό με την πιθανότητα εμφάνισής του και μπορεί να οδηγήσει μέσω του προληπτικού σχεδιασμού (contingency planning) σε στρατηγικές αντιμετώπισης. Η διαχείριση των ξηρασιών και γενικότερα η ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων πρέπει να αντιμετωπίσουν τις συνεχείς αλλαγές στις αξίες και στο μετασχηματισμό των κοινωνικών δομών, καθώς επίσης και στις περιβαλλοντικές και εξωγενείς αλλαγές (όπως είναι οι κλιματικές ανωμαλίες και η αυξανόμενες αλληλεξαρτήσεις). Τέτοιες θεμελιώδεις αλλαγές έχουν δημιουργήσει συνθήκες παγκοσμιοποίησης, υψηλής πολυπλοκότητας, αυξημένης αναταραχής, τρωτότητας και αβεβαιότητας (Grigg, 1997; Grigg and Vlachos, 1993; Karavitis et al., 2014; Τσεσμελής, 2010).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο κίνδυνος (risk) προκύπτει από την αλληλεπίδραση μεταξύ ενός επικίνδυνου φυσικού παράγοντα και μιας τρωτής κοινότητας. Η επικινδυνότητα από την άλλη πλευρά είναι η πιθανότητα να συμβεί ένα ενδεχομένως καταστρεπτικό γεγονός, φαινόμενο ή δραστηριότητα, που μπορεί να προκαλέσει απώλεια ζωών, καταστροφή ιδιοκτησίας, κοινωνική και οικονομική καταστροφή ή περιβαλλοντική υποβάθμιση και στην

μεγαλύτερη έκτασή της, θνησιμότητα (Blaikie et al., 2014; Karavitis et al., 2014; Yevjevich et al., 1983). Η εξίσωση του δίνεται από:

$$f(Risk) = Hazard * Vulnerability$$

όπως παρουσιάζεται ανωτέρω, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαμορφώσει τη σχέση μεταξύ αυτών των εννοιών. Αυτή η προσέγγιση θεμελιώνει μια σημαντική σχέση μεταξύ φυσικού περιβάλλοντος και ανθρωπογενών συστημάτων, και προσφέρει μια ολιστική αντίληψη στην εκτίμηση της επικινδυνότητας. Η ολιστική εκτίμηση του κινδύνου και της τρωτότητας μπορεί να συνθέσει ποσοτικούς δείκτες της συμπεριφοράς και των αποτελεσμάτων των ξηρασιών χρησιμοποιώντας χωρικά επίπεδα πληροφοριών σχετικά με την τοπογραφία, την γεωλογία, την εδαφολογία, τη μετεωρολογία, τη βλάστηση, τα κοινωνικά, και τα οικονομικά στοιχεία, που εάν συσχετισθούν μπορούν να δημιουργήσουν γεωγραφικούς δείκτες απόδοσης του κινδύνου ξηρασίας (Cheng and Tao, 2010).

Οι Karavitis et al., 2014 εξέφρασαν τον παρουσιαζόμενο στα παρακάτω δείκτη SDVI εφαρμόζοντας την διαδικασία της Διεθνούς Στρατηγική για τη Μείωση των Καταστροφών (NISDR, 2004), η ανάλυση της τρωτότητας μπορεί να θεωρηθεί ότι συνθέτει τους κοινωνικούς, οικονομικούς, φυσικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες εκφρασμένη από δύο βασικά στοιχεία και ως εκ τούτου περιγράφεται από:

$$Vulnerability = f(Risk\ identification, Impacts\ assessment).$$

Αυτή η έκφραση περιλαμβάνει και την έκθεση, αλλά μερικές φορές ο ρόλος της έκθεσης δεν είναι σαφής. Δηλαδή δεν μπορούμε να έχουμε τρωτότητα σε ένα κίνδυνο χωρίς να συνυπολογίζουμε τις επιπτώσεις που δημιουργούνται από αυτόν. Τονίζεται ότι έχει επικρατήσει να χρησιμοποιείται ο όρος επικινδυνότητα (Risk) ενός ακραίου γεγονότος (πλημμύρας, ξηρασίας κ.α.) σαν μια υπολογιζόμενη πιθανότητα, που δίδεται από την σχέση:

$$R = 1 - (1 - P)^n$$

Όπου P η πιθανότητα εμφάνισης ενός ακραίου γεγονότος σε οποιοδήποτε χρόνο ( $P=1/T$ , T= η περίοδος επαναφοράς του γεγονότος), και n η εκάστοτε εξεταζόμενη χρονική διάρκεια. Το γεγονός αυτό πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα για την αποφυγή παρερμηνειών (Καραβίτης et al., 2008).

Παλαιότερες χρήσεις αυτών των μεθοδολογιών στο πρόγραμμα MEDALUS Mediterranean desertification and land use (Kosmas et al., 1999), όταν η σχετική έρευνα ήταν ακόμη σε εξέλιξη και δεν είχε ξεκαθαρίσει μεθοδολογικά αυτές τις έννοιες και τις επικαλύψεις τους



οδήγησε στην ονομασία του Δείκτη ESA που παρουσιάζεται στην συνέχεια, σαν δείκτη επικινδυνότητας ενώ καθώς εμπεριέχει επιπτώσεις όπως διάβρωση, ξηρασία, πολιτικές και το μέτρο τους είναι βέβαια δείκτης τρωτότητας (βλ. Κεφ. 4.3).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Όπως γίνεται σαφές και από την επισκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας (Κεφ. 2), η τρωτότητα στην ξηρασία και η τρωτότητα στην ερημοποίηση είναι δύο δείκτες που επηρεάζονται από κοινούς παράγοντες (π.χ. κλιματικά δεδομένα, χρήσεις γης, πολιτικές κ.ά.). Η εκτίμησή τους βασίζεται στη χρήση σύνθετων δεικτών που αποτελούν σημαντικά εργαλεία στον τομέα της διαχείρισης των φυσικών πόρων (υδατικών και εδαφικών).

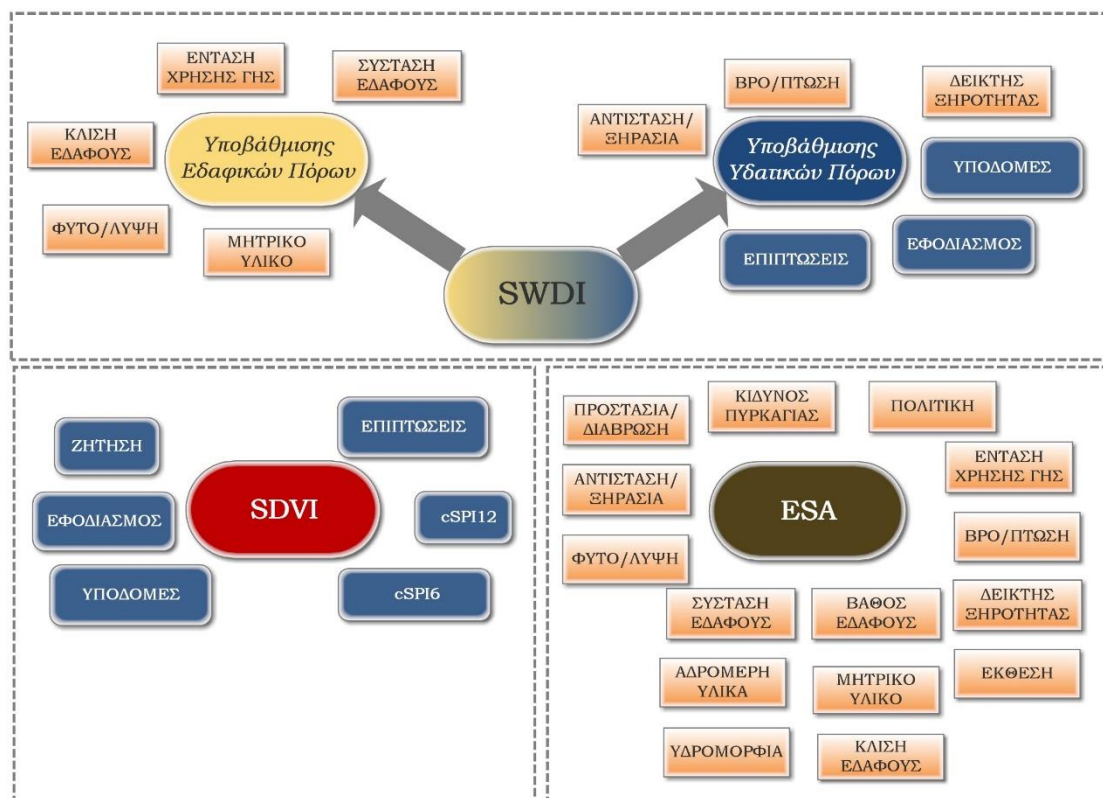
Ένα βασικό ζήτημα που προκύπτει από τη χρήση των δεικτών είναι η ακρίβειά τους. Για παράδειγμα, ο δείκτης βροχόπτωσης, που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ESA, κατηγοριοποιείται σε 3 κλάσεις μόνο, σε κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί διαφορετική τιμή: 4 για λιγότερα από 280mm/year, 2 μεταξύ 280 και 650 mm/year, και 1 για άνω των 650 mm/year. Άλλο ένα ζήτημα είναι η υποκειμενικότητα, η οποία απορρέει από το γεγονός ότι η δημιουργία των δεικτών εξαρτάται από τον τρόπο ανάπτυξής τους (στατιστικές και εμπειρικές μέθοδοι). Σημαντικότεροι παράγοντες όλων, τέλος, είναι ο τρόπος χρήσης και η ποιότητα των δεδομένων που μπορούν να επηρεάσουν την αξία και τα αποτελέσματα των δεικτών, οδηγώντας ακόμα και στη λήψη της λάθος απόφασης για την αντιμετώπιση ενός ακραίου γεγονότος.

Τέλος, παρά τις ομοιότητες που παρουσιάζουν οι δύο έννοιες, ο υπολογισμός των αντίστοιχων δεικτών πρέπει να γίνεται ξεχωριστά. Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια ανάλυσης και σύγκρισης των δύο εννοιών, καθώς και ανάπτυξης μιας μεθοδολογίας για τη συνδυασμένη χρήση τους σε γενικότερο πλαίσιο (εδαφικοί και υδατικοί πόροι).

### 3.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η ανάπτυξη σύνθετων δεικτών για την κατηγοριοποίηση και την αξιολόγηση της κατάστασης των εδαφικών, υδατικών και κοινωνικών συστημάτων ως προς τις συνθήκες της τρωτότητας και υποβάθμισης των φυσικών πόρων σύμφωνα με τις αρχές της ΟΔΥΠ. Το πρώτο βήμα προς αυτήν την κατεύθυνση ήταν η δημιουργία του σύνθετου δείκτη τρωτότητας στην ξηρασία, του Standardized Drought Vulnerability Index (SDVI), με διάφορες προσεγγίσεις, όπως για παράδειγμα με ίσα βάρη και με βάρη από τις μεθόδους PCA, MCA και AHP. Στη συνέχεια,

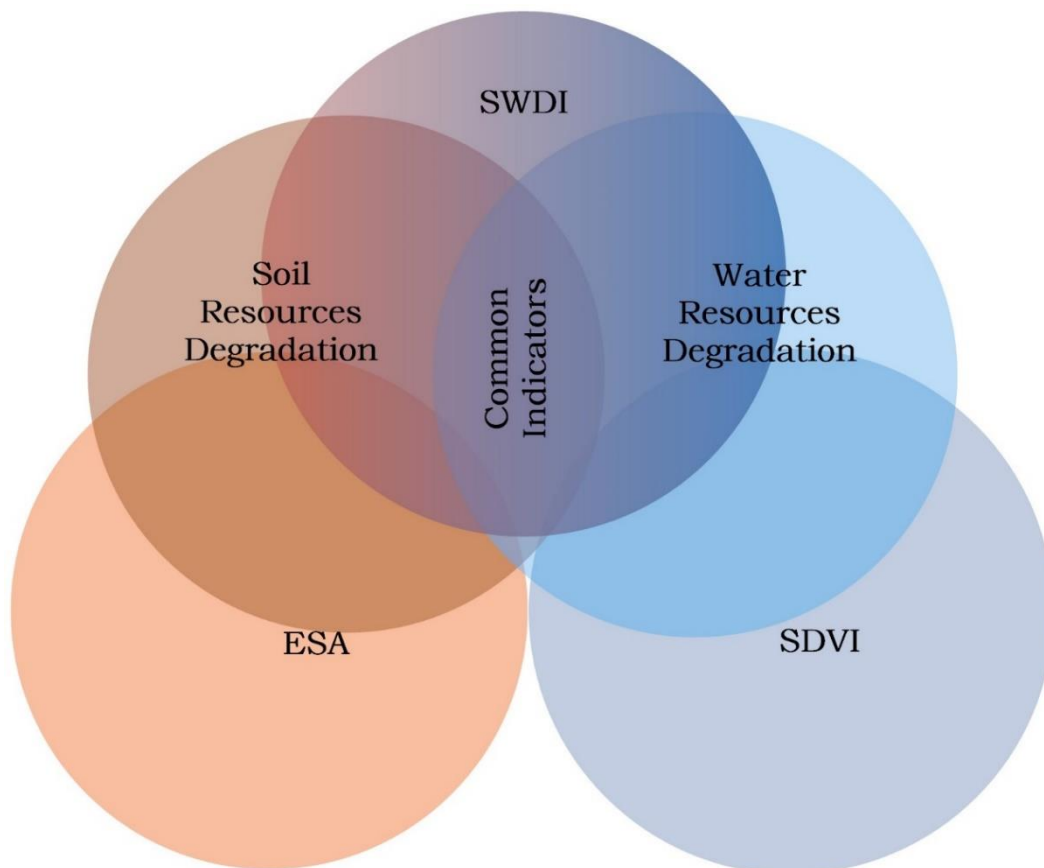
συλλέχθηκαν τα απαιτούμενα δεδομένα (π.χ. βροχοπτώσης) για τον υπολογισμό των SPI (6 και 12), Εφοδιασμός κ.ά.. Έπειτα, η διαδικασία της δημιουργίας των βαρών με στατιστικές μεθόδους (PCA και MCA) πραγματοποιήθηκε βάσει δεδομένων από τη Νοτιοανατολική Ευρώπη και, συγκεκριμένα, τη Βουλγαρία, την Ελλάδα, την Πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας (Π.Γ.Δ.Μ.), την Ουγγαρία, το Μαυροβούνιο, τη Σερβία και τη Σλοβενία. Για την εφαρμογή της ιεραρχικής ανάλυσης αποφάσεων (ΑΗΡ) ζητήθηκε η γνώμη / προτίμηση 15 ειδικών στη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Ακολούθως, πραγματοποιήθηκαν διάφορες εφαρμογές του δείκτη SDVI σε μηνιαία κλίμακα, αλλά και σε μεγαλύτερες περιόδους (ετήσια και υπερετήσια).



Εικόνα 3. 1. Στάδια μελέτης και η σχέση των δεικτών μεταξύ τους.

Το επόμενο στάδιο της εργασίας ήταν ο υπολογισμός του δείκτη ESA. Οι υπολογισμοί έγιναν για το χρονικό διάστημα από τον Οκτώβριο του 1983 έως το Σεπτέμβριο του 1996. Στη συνέχεια, με βάση τους χάρτες της τρωτότητας στην ξηρασία και στην ερημοποίηση, δημιουργήθηκε το πρόβλημα αξιολόγησης των δύο διαδικασιών. Για τον λόγο αυτό, έγινε μία νέα κατηγοριοποίηση σε 3 νέες κλάσεις (χαμηλή, μέση και υψηλή τρωτότητα). Αφαιρώντας της δύο διαδικασίες, εμφανίστηκαν οι περιοχές ταύτισης και διαφοροποίησης της ξηρασίας και της ερημοποίησης. Μέσα από τη σύνδεση των δύο διαδικασιών δημιουργήθηκε ένας νέος σύνθετος δείκτης με υπο-υπο-δείκτες και από τις δυο έννοιες, τα

αποτελέσματα του οποίου αποτυπώνουν την υποβάθμιση των εδαφικών και υδατικών πόρων. Ο σύνθετος δείκτης μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες και να δώσει αποτελέσματα για την υποβάθμιση των εδαφικών και υδατικών πόρων ξεχωριστά. Τα στάδια της διαδικασίας αναλύονται στην Εικόνα 3. 1. Το τελικό βήμα σύνδεσης των δύο διαδικασιών (τρωτότητα στην ξηρασία και στην ερημοποίησης) εμφανίζεται στην Εικόνα 3. 2 με την απεικόνιση των κοινών δεικτών.



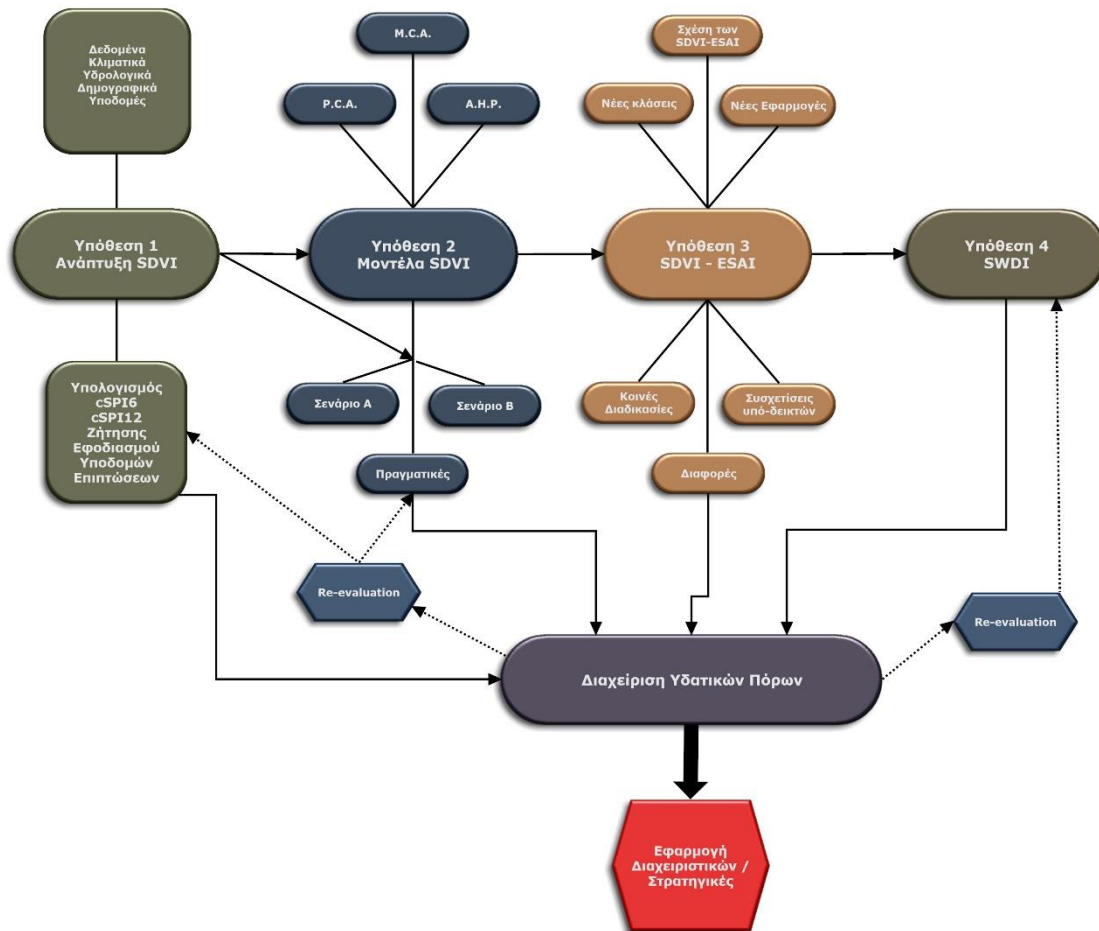
Εικόνα 3. 2. Διάγραμμα Venn όπου δείχνει τη σχέση μεταξύ των δεικτών της παρούσας εργασίας.

Οι υπο-υπο-δείκτες εφαρμόστηκαν όπως κατηγοριοποιούνται στην κάθε διαδικασία, δηλαδή δεν πραγματοποιήθηκε κανονικοποίηση. Λόγω αυτού, χρησιμοποιήθηκαν 1,000 τυχαίες τιμές για τους υπο-υπο-δείκτες, ώστε να οριστούν οι κλάσεις βάσει των συχνοτήτων τους.

Η ανάλυση των μεταβλητών, η συλλογή των δεδομένων, αλλά και η ανάπτυξη του σύνθετου δείκτη SDVI, πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού ερευνητικού έργου DMCSEE “Drought Management Centre for South Eastern Europe”.

### 3.2. ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία για την ανάπτυξη των σύνθετων δεικτών αφορούν επτά χώρες (Βουλγαρία, Ελλάδα, Π.Γ.Δ.Μ., Ουγγαρία, Μαυροβούνιο, Σερβία και Σλοβενία) για την περίοδο του Αυγούστου 2003. Λαμβάνοντας υπόψη την πληθώρα των δεδομένων, στη συγκεκριμένη διατριβή τέθηκαν οι παρακάτω τέσσερις υποθέσεις, που αποτυπώνονται και σχηματικά στην Εικόνα 3. 3.



Εικόνα 3. 3. Αποτύπωση των υποθέσεων και των αλληλεξαρτήσεων της παρούσας διατριβής.

- **Υπόθεση 1:** Δημιουργία ενός σύνθετου δείκτη που μπορεί να αποτυπώσει σε ικανοποιητικό βαθμό την τρωτότητα στη ξηρασία. Αρχικά, δημιουργήθηκε μια ισοβαρής σχέση και εφαρμόστηκε για τον Ελληνικό χώρο, αλλά και για την Νοτιοανατολική Ευρώπη.
- **Υπόθεση 2:** Σύμφωνα με τα δεδομένα από την Νοτιοανατολική Ευρώπη, τη δυνατότητα δημιουργίας συντελεστών με διάφορες μεθόδους και βάσει των αποτελεσμάτων τους, επιλέχθηκε η επικρατέστερη δομή του σύνθετου δείκτη

(SDVI). Οι διάφορες σχέσεις εφαρμόστηκαν για την Ελλάδα και για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (10/1983 – 09/1996).

- **Υπόθεση 3:** Έπειτα από τον υπολογισμό των δεικτών τρωτότητας στην ερημοποίηση (ESA) και στην ξηρασία (SDVI) εξετάστηκε η πιθανή σχέση μεταξύ των δύο διαδικασιών σε χωρική κλίμακα για το χρονικό διάστημα 10/1983 – 09/1996 στην Ελλάδα.
- **Υπόθεση 4:** Είναι εφικτή η δημιουργία ενός σύνθετου δείκτη, προερχόμενου από τη σύνθεση των δύο διαδικασιών, ο οποίος δύναται να αποτυπώσει την υποβάθμιση των εδαφικών και υδατικών πόρων.

Οι υποθέσεις εξετάζονται, αναλύονται και παρουσιάζονται στα επόμενα κεφάλαια όσον αφορά τη σχέση και την αποδοχή τους.

### 3.3. ΠΡΩΤΟΤΥΠΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω αλλά και στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, οι δείκτες αποτελούν ένα μέσο παροχής πληροφοριών ως προς τη κατάσταση μιας διαδικασίας, όπως συμβαίνει στην περίπτωση της τρωτότητας στη ξηρασία, στην ερημοποίηση, αλλά και την υποβάθμιση των εδαφικών και υδατικών πόρων. Επιπρόσθετα, η συμπληρωματική χρήση της ανάλυσης των εννοιών της εδαφικής και της υδατικής υποβάθμισης μπορεί να προσφέρει πολύ σημαντικές πληροφορίες αναφορικά με τις λειτουργίες των συστημάτων και τον τρόπο αντίδρασής τους σε συνθήκες πίεσης στους φυσικούς πόρους.

Η επίτευξη του σκοπού της παρούσας διατριβής αναμένεται να συνεισφέρει:

- Στην ολοκλήρωση της συμπληρωματικής χρήσης των εννοιών της τρωτότητας στην ξηρασία και στην υποβάθμιση των εδαφικών και υδατικών πόρων σε χωρικό επίπεδο ανάλυσης.
- Στην αύξηση των μοντέλων ανάλυσης της τρωτότητας στην ξηρασία και στην υποβάθμιση των εδαφικών και υδατικών πόρων.
- Στην ανάλυση της τρωτότητας στη ξηρασία και στην υποβάθμιση των εδαφικών και υδατικών πόρων, που ως θέματα συναντώνται μεν συχνά στη διεθνή βιβλιογραφία, αλλά η μεταξύ τους σχέση δεν έχει διερευνηθεί σε βάθος (τρωτότητα στην ξηρασία και στην ερημοποίηση).
- Στην ενεργοποίηση μιας ολοκληρωμένης διαδικασίας ανάπτυξης, εφαρμογής και αξιολόγησης σύνθετων δεικτών - ανεξάρτητα από το πλαίσιο στο οποίο αυτοί θα

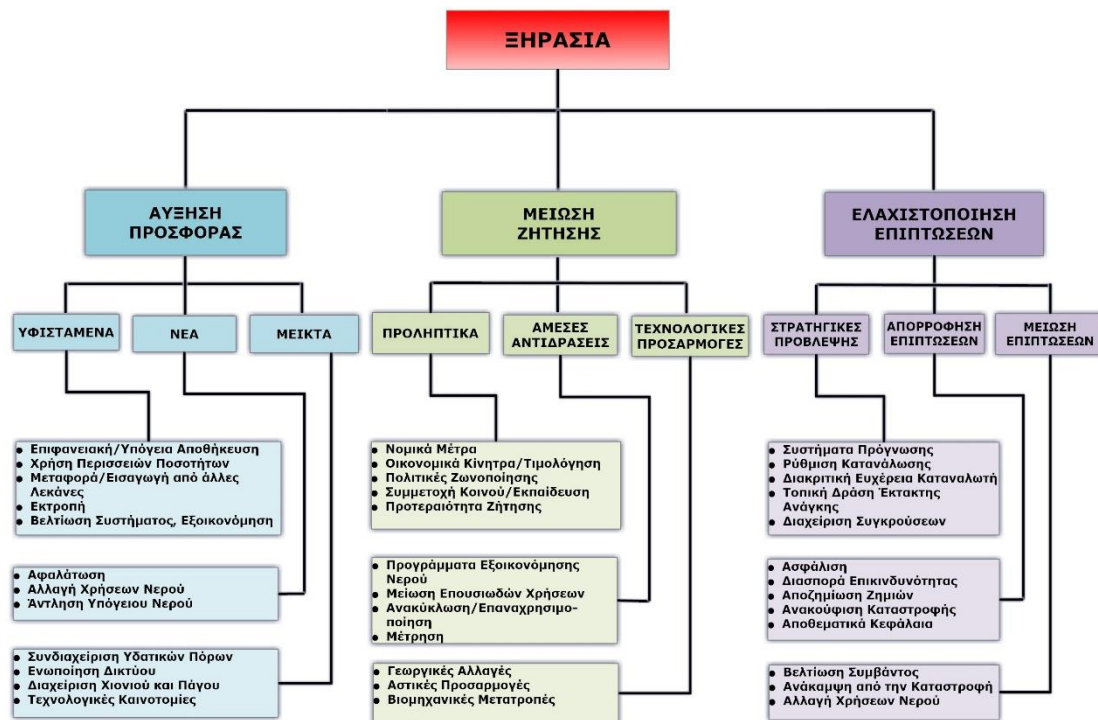
χρησιμοποιηθούν - που δύσκολα συναντάται στην ελληνική ή/και την ξένη βιβλιογραφία.

- Στη λήψη αποφάσεων προς την κατεύθυνση της ΟΔΥΠ, ενσωματώνοντας τον προληπτικό σχεδιασμό και χρησιμοποιώντας την πρόβλεψη που αποτελεί χρήσιμο εργαλείο της διαχείρισης.
- Στην ερμηνεία του SWDI (εδαφική και υδατική υποβάθμιση), αλλά και για των δύο εννοιών χωριστά χωρίς περαιτέρω επεξεργασία δεδομένων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΑΝΑΠΤΥΞΗ SDVI & ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ESA

### 4.1. SDVI – ΙΣΟΒΑΡΗΣ ΣΧΕΣΗ (EQUAL WEIGHTING)

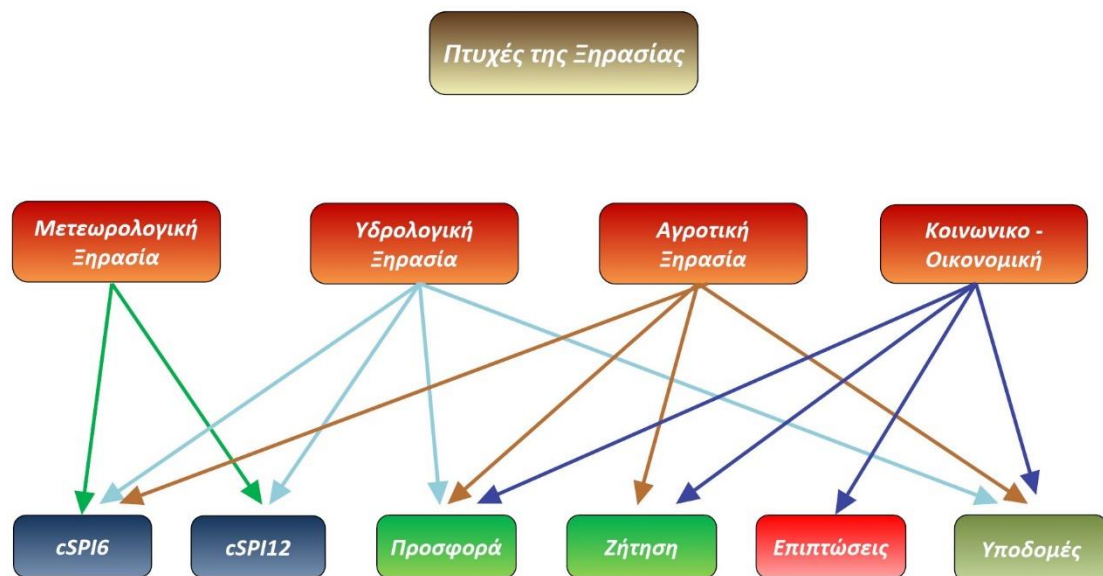
Ο Standardized Drought Vulnerability Index (SDVI) είναι ένας σύνθετος δείκτης που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του Κέντρου Διαχείρισης της Ξηρασίας (έργο DMCSEE) και παρουσιάστηκε για πρώτη φορά κατά τη διάρκεια της 5ης Συνάντησης και Κατάρτισης του έργου στο Λάσκο της Σλοβενίας (28/6 - 1/7/2011) (DMCSEE, 2012). Ο SDVI αποσκοπεί στο να προσφέρει μια ολοκληρωμένη μέτρηση της τρωτότητας στην ξηρασία, ενσωματώνοντας και τις τέσσερις διαστάσεις της ξηρασίας: μετεωρολογική (SPI6 & SPI12), υδρολογική (Εφοδιασμός), κοινωνικές και οικονομικές (Ζήτηση, Επιπτώσεις & Υποδομές). Τα στοιχεία για τη ζήτηση νερού, την προμήθεια, τις σχετικές υποδομές και τις επιπτώσεις συγκεντρώθηκαν από αρμόδιες τοπικές και εθνικές αρχές και οργανισμούς. Οι τιμές των υπο-δεικτών μετατράπηκαν σε κλίμακα αξιών, διαδικασία που διευκολύνθηκε από τα συστατικά που έχουν ενσωματωθεί στον SDVI. Η δομή του και οι σχέσεις μεταξύ των υπο-δεικτών παρουσιάζονται σχηματικά στα διαγράμματα των Εικόνων 4. 1 και 4. 2.



Εικόνα 4. 1. Ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης ξηρασίας (Προσαρμογή από Grigg, N. S. and Vlachos, E. C., 1990; Karavitis, 1992, 1999; Karavitis et al., 2014, Yevjevich et al., 1983).



Ο υπο-υπο-δείκτης cSPI προέρχεται από τον SPI (Standard Precipitation Index) και, σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, η χρήση του είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη. Σχεδιάστηκε για την ανίχνευση της έναρξης και την παρακολούθηση των επεισοδίων ξηρασίας και διαφέρει από τους υπολοίπους δείκτες, διότι αναγνωρίζει έγκαιρα τα κρούσματα ξηρασίας. Είναι απλούστερος σε σχέση με τους δείκτες PDSI (Palmer Drought Severity Index), RDI (Reconnaissance Drought Index) κ.ά. και βασίζεται στην πιθανότητα κατακρήμνισης κατά τη διάρκεια συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Χαρακτηριστικό του δείκτη SPI είναι η ευελιξία του στον προσδιορισμό της ξηρασίας σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες, κάτι πολύ σημαντικό, αφού η διάρκεια των επεισοδίων ξηρασίας παρουσιάζει πολύ μεγάλες διακυμάνσεις. Τα επεισόδια μικρής διάρκειας μετρούνται από μετεωρολογικά όργανα και ορίζονται σύμφωνα με τους τοπικούς κλιματολογικούς όρους. Επεισόδια διάρκειας τριών ως έξι μηνών έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην αγροτική παραγωγή, διότι οδηγούν σε μεγάλη μείωση της εδαφικής υγρασίας. Επεισόδια μεγαλύτερης διάρκειας (μήνες έως χρόνια) έχουν σοβαρή επίδραση στους επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους (Karavitis, 1992; McKee et al., 1993; Tsakiris et al., 2007; Vangelis et al., 2013; Σκόνδρας, 2015; Τσεσμελής, 2010).



Εικόνα 4. 2. Η σχέση μεταξύ των υπο-υπο-δεικτών του SDVI και των πτυχών της ξηρασίας (Karavitis et al., 2014).

Οι τιμές του SDVI υπολογίζονται συγκρίνοντας το συνολικό ύψος των κατακρημνίσεων μιας περιοχής κατά τη διάρκεια ορισμένης χρονικής περιόδου με το μέσο ύψος κατακρημνίσεων για την ίδια χρονική διάρκεια. Για παράδειγμα, το συνολικό ύψος κατακρημνίσεων κατά τη διάρκεια οποιουδήποτε μήνα συγκρίνεται με το μέσο ύψος κατακρημνίσεων του ίδιου μήνα

(μέγεθος που προκύπτει από τις διαθέσιμες ιστορικές καταγραφές προηγούμενων ετών). Η ένταση ενός επεισοδίου ξηρασίας στη συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να συγκριθεί με τις μέσες συνθήκες. Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από 2.00 και πάνω (εξαιρετικά υγρή περίοδος), έως και λιγότερο από -2.00 (εξαιρετική ξηρασία), ενώ η περιοχή τιμών από 0.49 ως -0.49 υποδεικνύει περίπου φυσιολογικές συνθήκες (Πίνακας 4. 1). Ένα επεισόδιο ξηρασίας ορίζεται από τις συνεχώς αρνητικές τιμές του δείκτη, μικρότερες ή ίσες του -1, και το επεισόδιο συνεχίζεται μέχρι ο δείκτης να λάβει θετικές τιμές. Η διάρκεια του επεισοδίου ορίζεται από το χρονικό διάστημα μεταξύ της έναρξης και λήξης αυτής της περιόδου. Το μέγεθος του επεισοδίου ξηρασίας μετριέται από το άθροισμα των τιμών του δείκτη για τους μήνες της ξηρασίας.

Πίνακας 4. 1. Κατηγοριοποίηση ξηρασίας με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη SPI.

Τιμές SPI	Κατηγοριοποίηση
> 2.00	Εξαιρετικά Υγρή
1.50 – 1.99	Πολύ Υγρή
1.00 – 1.49	Μετρίως Υγρή
0.50 – 0.99	Ήπια Υγρή
-0.49 – 0.49	Κανονικές Συνθήκες
-0.50 – -0.99	Ήπια Ξηρασία
-1.00 – -1.49	Μέτρια Ξηρασία
-1.50 - -1.99	Μεγάλη Ξηρασία
< -2.00	Ακραία Ξηρασία

Ο SPI υπολογίζεται με την προσαρμογή μιας συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας στην κατανομή συχνότητας της βροχόπτωσης, αθροισμένη πέρα από το χρονικό διάστημα ενδιαφέροντος. Αυτός ο υπολογισμός εκτελείται χωριστά για κάθε μήνα (ή οποιαδήποτε είναι η χρονική βάση από τη χρονοσειρά βροχόπτωσης) και για κάθε θέση στο ίδιο διάστημα. Έπειτα, κάθε συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας μετασχηματίζεται μέσα στην τυποποιημένη κανονική κατανομή.

Η γάμμα κατανομή καθορίζεται από τη συχνότητά της ή, διαφορετικά, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας ορίζεται ως:

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{1 - (H(x))^2} \right]} \quad g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad , \text{ για } x > 0 \quad (4.1)$$

όπου  $\alpha > 0$  είναι ο παράγοντας μορφής,  $\beta > 0$  είναι ο παράγοντας κλίμακας και  $x > 0$  είναι τη τιμή της βροχόπτωσης.  $\Gamma(\alpha)$  είναι η συνάρτηση γάμμα που ορίζεται ως εξής:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (4.2)$$

Η προσαρμογή της κατανομής στα δεδομένα απαιτεί την εκτίμηση των  $\alpha$  και  $\beta$ . Οι Edwards και McKee (1997) πρότειναν την εκτίμηση αυτών των παραμέτρων χρησιμοποιώντας την προσέγγιση του Thom (1958) για τη μέγιστη πιθανότητα ως εξής:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (4.3)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (4.4)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (4.5)$$

όπου για  $n$  παρατηρήσεις:

Οι προκύπτουσες παράμετροι χρησιμοποιούνται έπειτα για την εύρεση της αθροιστικής πιθανότητας ενός παρατηρηθέντος γεγονότος βροχόπτωσης για τον δοθέντα μήνα και χρονική κλίμακα:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} = \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-\frac{x}{\hat{\beta}}} dx \quad (4.6)$$

Η αντικατάσταση του  $t$  με  $x/\hat{\beta}$  μειώνει την εξίσωση στην ελλiptή κατανομή γάμμα. Ο McKee και λοιποί (1993) χρησιμοποίησαν μια αναλυτική μέθοδο μαζί με τον προτεινόμενο κώδικα λογισμικού από τον τύπο (1986). Δεδομένου ότι η κατανομή γάμμα είναι απροσδιόριστη για  $x=0$  και μια κατανομή βροχόπτωσης μπορεί να περιέχει μηδενικά, η αθροιστική πιθανότητα γίνεται:

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (4.7)$$

όπου  $q$  είναι η πιθανότητα της μηδενικής βροχόπτωσης.

Η αθροιστική πιθανότητα,  $H(x)$ , μετασχηματίζεται έπειτα στην τυποποιημένη κανονική τυχαία μεταβλητή  $Z$  με το μέσο όρο μηδέν και τη διακύμανση ένα, η οποία είναι η τιμή του SPI. Μετά από τους Edwards και McKee (1997), οι Hughes και Saunders (2002), υιοθετούν την

κατά προσέγγιση μετατροπή που παρέχεται από τους Abramowitz και Stegun (1965) ως εναλλακτική λύση:

$$Z = SPI = - \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \text{ για } 0 < H(x) < 0.5 \quad (4.8)$$

$$Z = SPI = + \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \text{ για } 0.5 < H(x) < 1 \quad (4.9)$$

όπου

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(H(x))^2} \right]}, \text{ για } 0 < H(x) < 0.5 \quad (4.10)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{1 - (H(x))^2} \right]}, \text{ για } 0.5 < H(x) < 1 \quad (4.11)$$

και  $c_0=2.515517$ ,  $c_1=0.802853$ ,  $c_2=0.010308$ ,  $d_1=1.432788$ ,  $d_2=0.189269$ ,  $d_3=0.001308$ .

Τέλος, πραγματοποιήθηκε η νέα κατηγοριοποίηση του cSPI από τον SPI, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4. 2.

Πίνακας 4. 2. Κατηγοριοποίηση του cSPI από τον SPI.

Τιμή cSPI	Κατάσταση	Τιμή SPI
0	Υγρή Κατάσταση	$\geq 1.50$
1	Σχεδόν Υγρή Κατάσταση	0 - 1.49
2	Σχεδόν Ξηρή Κατάσταση	0 - -1.49
3	Ξηρή Κατάσταση	$\leq -1.50$

Ο Εφοδιασμός Ύδατος (Supply) περιγράφει το έλλειμμα στην παροχή χωρητικότητας (απώλειες του δικτύου) και στην κάλυψη της ζήτησης, και εξαρτάται από τη διαθέσιμη ποσότητα νερού. Εάν ο μέσος όρος της ποσότητας νερού είναι  $50\text{m}^3/\text{day}$  και ο εφοδιασμός την συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι  $50\text{m}^3/\text{day}$  τότε, σύμφωνα με την κατάσταση, δεν υπάρχει πρόβλημα εφοδιασμού (τιμή 0). Αντίθετα, εάν υπάρχει έλλειμμα εφοδιασμού της τάξης του 15%, τότε η τιμή του υπο-υπο-δείκτη θα είναι 1.

Πίνακας 4. 3. Κατηγοριοποίηση του δείκτη Εφοδιασμός Ύδατος.

Τιμή	Εφοδιασμός Ύδατος
0	Χωρίς Έλλειμμα
1	1 - 15% Έλλειμμα
2	16 - 50% Έλλειμμα
3	> 50% Έλλειμμα

Η Ζήτηση Ύδατος (Demand) περιγράφει το έλλειμμα της ικανοποίησης της ζήτησης στις διάφορες χρήσεις της (άρδευση, ύδρευση και βιομηχανίες). Εάν ο μέσος όρος της απαιτούμενης ποσότητας νερού είναι  $50\text{m}^3/\text{day}$  και η ζήτηση τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι  $50\text{m}^3/\text{day}$  τότε, σύμφωνα με την κατάταξη, δεν υπάρχει πρόβλημα (τιμή 0). Στην περίπτωση ύπαρξης ελλείμματος για την ικανοποίηση της ζήτησης πάνω από 50%, τότε η τιμή του υπο-υπο-δείκτη θα είναι ίση με 3.

Πίνακας 4. 4. Κατηγοριοποίηση του δείκτη Ζήτηση Ύδατος.

Τιμή	Ζήτηση Ύδατος
0	Χωρίς Έλλειμμα
1	1 - 15% Έλλειμμα
2	16 - 50% Έλλειμμα
3	> 50% Έλλειμμα

Οι Υποδομές (ταμιευτήρες, δίκτυα μεταφοράς, εργοστάσια αφαλάτωσης, κ.ά.) περιγράφουν το υφιστάμενο επίπεδο των υποδομών ανάπτυξης σε σχέση με το επίπεδο της ανεπάρκειας (απόκλιση από την προβλεπόμενη παραγωγική ικανότητα του εφοδιασμού). Οι όροι των Υποδομών και του Εφοδιασμού μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα (ποσοστό ανεπάρκειας 15% μπορεί να προκαλέσει αντίστοιχου μεγέθους έλλειμμα στον εφοδιασμό), αλλά ο κύριος ρόλος του πρώτου είναι να απεικονίσει την κατάσταση των υποδομών. Η μέση ή η βέλτιστη σχεδιαστική ικανότητα των υποδομών ύδρευσης μιας περιοχής είναι  $500\text{ m}^3/\text{sec}$ . Ο όγκος μπορεί να μειωθεί λόγω της ηλικίας της υποδομής ή λόγω ανεπαρκούς συντήρησης. Η τιμή

του δείκτη βασίζεται στην απόκλιση του όγκου από την προβλεπόμενη παραγωγική ικανότητα.

Πίνακας 4. 5. Κατηγοριοποίηση του δείκτη Υποδομές.

Τιμή	Υποδομές
0	Χωρίς Έλλειμα
1	1 - 15% Έλλειμα
2	16 - 50% Έλλειμα
3	> 50% Έλλειμα

Οι Επιπτώσεις περιγράφουν τις απώλειες (μετατρέπονται σε χρηματικές μονάδες) που θα μπορούσαν να έχουν προκληθεί λόγω έλλειψης του εφοδιασμού ή της ζήτησης. Αν η μέση ετήσια παραγωγή (σε νομισματικές μονάδες) μιας περιοχής είναι 100 εκατομμύρια δολάρια, τότε σε ένα ξηρό έτος η παραγωγή μπορεί να μειωθεί λόγω αδυναμίας κάλυψης της ζήτησης. Η τιμή του δείκτη βασίζεται σε αυτήν την απώλεια.

Πίνακας 4. 6. Κατηγοριοποίηση του δείκτη Επιπτώσεις.

Τιμή	Επιπτώσεις
0	Χωρίς Ζημιές
1	1 - 15% Έλλειμα
2	16 - 50% Ζημιές
3	> 50% Ζημιές

Οι τιμές των υπο-υπο-δεικτών που περιλαμβάνονται στο σύνθετο δείκτη υπολογίζονται σε τοπική κλίμακα, αλλά και σε επίπεδο λεκάνης ή υπολεκάνης απορροής, ενώ στην περίπτωση των Υποδομών χρησιμοποιούνται μέσες τιμές. Οι έξι παράγοντες κατατάσσονται ανάλογα με την ευπάθεια (0 - 3 κλίμακα) και την απόδοσή τους. Η τελική τιμή της τρωτότητας ανά περιοχή υπολογίζεται από τη μέση κλιμακούμενη τιμή των συστατικών στην ακόλουθη εξίσωση:

$$SDVI = \frac{\sum_{i=1}^N \text{Scaled Values of the Components}}{\text{Number of Components (N = 6)}} \quad (4.12)$$

Όπως φαίνεται από την εξίσωση 4.12, όλες οι συνιστώσες έχουν το ίδιο βάρος. Παρά τον κίνδυνο για υποτίμηση ή υπερίμηση ορισμένων συνιστωσών, εφαρμόζεται ίση στάθμιση σε όλους τους δείκτες, καθώς η ίση στάθμιση είναι πρακτικά πιο εύκολη και γρήγορη, επίσης δεν απαιτείται να προηγηθεί στατιστική ανάλυση για την ιεράρχιση των συντελεστών. Επιπλέον, για τον καθορισμό των συντελεστών για τα συστατικά ενός σύνθετου φαινομένου απαιτείται στατιστική ανάλυση. Τα αποτελέσματα του SDVI τελικά κατατάσσονται σε έξι κατηγορίες τρωτότητας (Πίνακας 4. 7) που «απεικονίζουν» την κατάσταση τρωτότητας ανά περιοχή. Οι κατηγορίες αυτές καθορίστηκαν με τη βοήθεια των ειδικών του ερευνητικού έργου DMCSEE (OECD, 2008).

Πίνακας 4. 7. Κατηγορίες Τρωτότητας του δείκτη SDVI.

SDVI	Κλίμακα Δείκτη
0.00 – 0.49	Χωρίς Τρωτότητα
0.50 – 0.99	Χαμηλή Τρωτότητα
1.00 – 1.49	Μέτρια Τρωτότητα
1.50 – 1.99	Υψηλή Τρωτότητα
2.00 – 2.49	Πολύ Υψηλή Τρωτότητα
2.50 – 3.00	Ακραία Τρωτότητα

## 4.2. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΒΑΡΩΝ ΤΟΥ SDVI

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε, ώστε ο SDVI να αποτυπώνει πιθανόν καταλληλότερα τα γεγονότα ξηρασίας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την δημιουργία συντελεστών για τους έξι υπο-υπο-δείκτες τους. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis), η Πολλαπλή Ανάλυση Συνιστωσών (Multiple Correspondence Analysis) και η Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων (Analytical Hierarchy Process). Στον Πίνακα 4. 8 εμφανίζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα καθεμιάς από τις παραπάνω τεχνικές στάθμισης για τη δημιουργία δεικτών.

Πίνακας 4. 8. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των επιλεγμένων τεχνικών στάθμισης.

Τεχνική Στάθμισης	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Ίσα βάρη (Equal Weighting)	Αφαιρεί υπερεκτιμήσεις ή υποεκτιμήσεις Εύκολη ανάπτυξη του σύνθετου δείκτη	Μερική αποτύπωση της πραγματικότητας Έλλειψη στατιστικής ή εμπειρικής βάσης
Ανάλυση κυρίων συνιστωσών (Principal Component Analysis)	Διατηρεί τη μέγιστη διακύμανση μεταξύ των δεδομένων Τα μεγαλύτερα βάρη ανατίθενται σε μεταβλητές με μεγαλύτερη μεταβλητότητα	Εξαρτάται από τα δεδομένα Ευαίσθητη σε ακραίες τιμές Απαιτεί συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών Ελαχιστοποίηση της συνεισφοράς των μεταβλητών με διαφορετική συμπεριφορά
Πολλαπλή ανάλυση συνιστωσών (Multiple Correspondence Analysis)	Μπορεί να εφαρμοστεί τόσο με ποσοτικές, όσο και ποιοτικές μεταβλητές / δείκτες	Ευαίσθητη και δύσκολη διαδικασία να εφαρμοστεί
Ιεραρχική ανάλυση αποφάσεων (Analytical Hierarchy Process)	Κάθε πρόβλημα απόφασης «σπάει» στις συνιστώσες του και τα επί μέρους κριτήρια (συνιστώσες) ιεραρχούνται βάσει της σπουδαιότητάς τους Αποτυπώνει τόσο υποκειμενική, όσο και αντικειμενική αξιολόγηση των μέτρων Τον έλεγχο των ασυνεπειών υποστηρίζει ομάδα λήψης αποφάσεων Αναπτύσσει κλίμακες, στις οποίες συνήθως δεν υπάρχουν μέτρα	Είναι δυνατό να συμβούν παρατυπίες Αντιστάθμιση ανάμεσα στο καλό αποτέλεσμα σε ορισμένα κριτήρια και κακές βαθμολογίες σε άλλα κριτήρια Ο αριθμός των κατά ζεύγη συγκρίσεων που πρέπει να γίνουν μπορεί να γίνει πολύ μεγάλος Δύσκολο να γίνει διάκριση ανάμεσα στις εφαρμοσμένες κλίμακες

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέκυψαν από το ερευνητικό έργο DMCSEE, και αντιπροσωπεύουν τον Αύγουστο του 2003. Οι χώρες απ' όπου προέρχονται τα δεδομένα αυτά είναι η Βουλγαρία, η Ελλάδα, η Π.Γ.Δ.Μ., η Ουγγαρία, το Μαυροβούνιο, η Σερβία και η



Σλοβενία, που ήταν και επικεφαλής του έργου. Για το συγκεκριμένα μήνα, κάθε εταίρος του DMSEE συνέλεξε δεδομένα για τους εξής υπο-δείκτες:

- cSPI-6
- cSPI-12
- Εφοδιασμός (Supply)
- Ζήτηση (Demand)
- Επιπτώσεις (Impacts)
- Υποδομές (Infrastructures)

Η στατιστική ανάλυση των συλλεχθέντων δεδομένων εμφανίζεται στον Πίνακα 4. 9 και στην Εικόνα 4. 3 (252 λεκάνες/283 μετεωρολογικούς σταθμούς). Ο εν λόγω πίνακας συνοψίζει την Shapiro – Wilk ομαλότητα δοκιμής για κάθε ένα από τα έξι στοιχεία ευρετηρίου, καθώς και τη μη-παραμετρική Kendall και Spearman μεταξύ κάθε ζεύγους των στοιχείων. Όπως εμφανίζεται στον πίνακα, τα στοιχεία αποκλίνουν από την κανονική κατανομή, ενώ οι συσχετισμοί είναι στατιστικά σημαντικοί σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

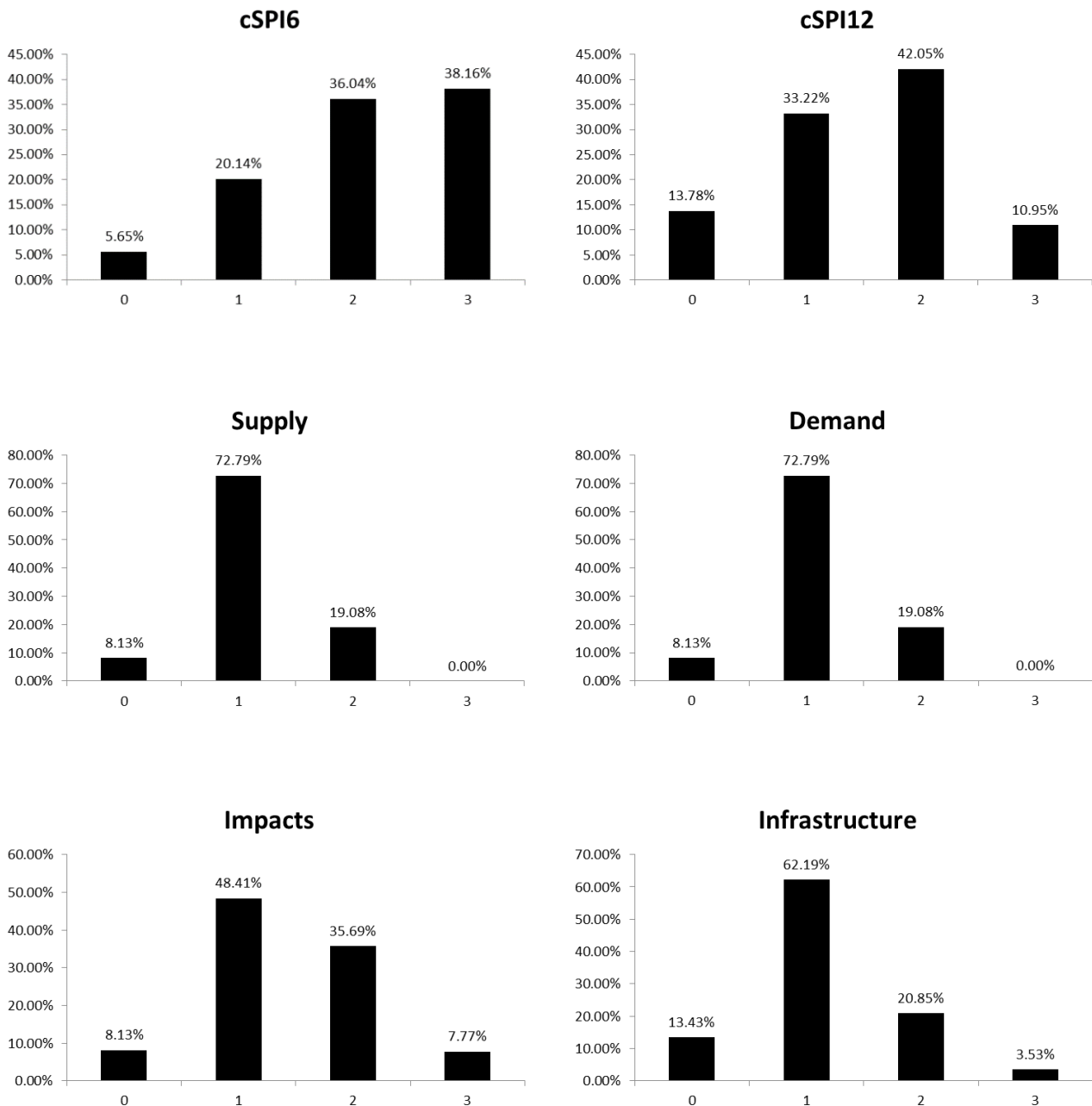
Πίνακας 4. 9. Πλεονεκτήματα Shapiro – δοκιμή Wilk ομαλότητα καθώς και Kendall και συσχέτισης Spearman.

	SPI6	SPI12	Supply	Demand	Impacts	Infrastructure
<b>Statistic</b>						
<b>Shapiro – Wilk</b>	0.831	0.871	0.682	0.682	0.842	0.796
<b>p-value</b>						
	2.20E-16	1.25E-11	2.20E-16	2.20E-16	2.72E-13	2.20E-16
<b>Kendall Correlation</b>						
	SPI6	SPI12	Supply	Demand	Impacts	Infrastructure
SPI6	1.000	0.737**	0.136**	0.152**	0.197**	0.061*
		0.000	0.000	0.000	0.000	0.043
SPI12		1.000	0.110**	0.133**	0.193**	0.048
			0.000	0.000	0.000	0.111
Supply			1.000	0.281**	0.244**	0.550**
				0.000	0.000	0.000
Demand				1.000	0.939**	0.208**
					0.000	0.000
Impacts					1.000	0.198**
						0.000
Infrastructure						1.000

<b>Spearman Correlation</b>						
	SPI6	SPI12	Supply	Demand	Impacts	Infrastructure
SPI6	1.000	0.806**	0.165**	0.178**	0.228**	0.087*
		0.000	0.000	0.000	0.000	0.011
SPI12		1.000	0.127**	0.156**	0.222**	0.057
			0.000	0.000	0.000	0.098
Supply			1.000	0.305**	0.271**	0.584**
				0.000	0.000	0.000
Demand				1.000	0.971**	0.233**
					0.000	0.000
Impacts					1.000	0.225**
						0.000
Infrastructure						1.000

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).



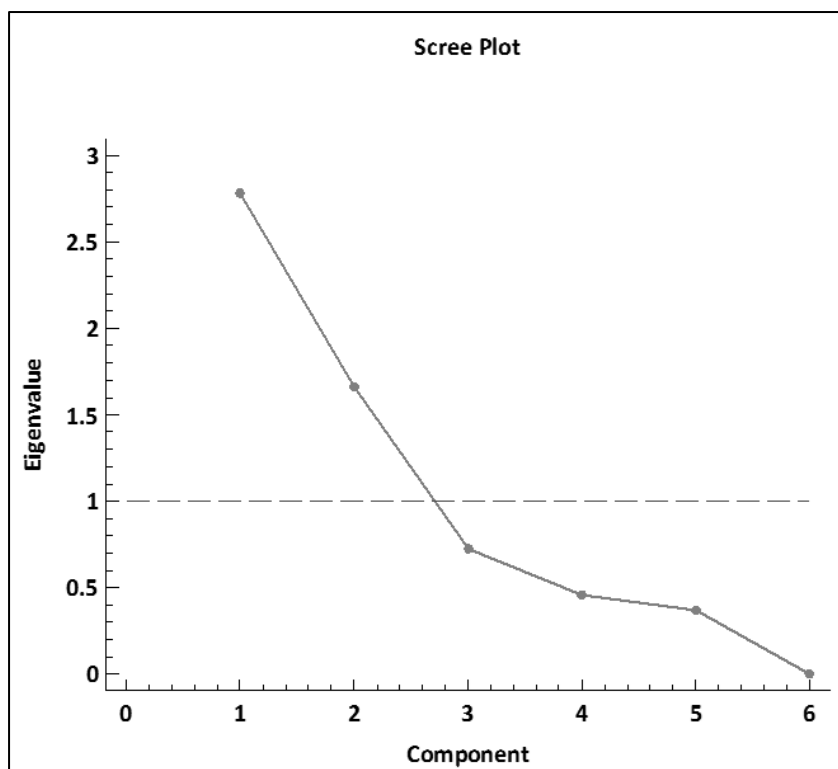
Εικόνα 4. 3. Ιστογράμματα συχνοτήτων για τους έξι υπο-δείκτες του SDVI.

Με βάση την ταξινόμηση των υπο-δεικτών, που παρουσιάζονται στην ενότητα 4.1, αποτυπώνονται τα ιστογράμματα συχνοτήτων των στοιχείων του SDVI. Οι cSPI6 και cSPI12 ταξινομούνται στην τιμή 3 με ποσοστό 38.16% και στην τιμή 2 με ποσοστό 42.05%, αντίστοιχα. Επίσης, για τους υπο-δείκτες Εφοδιασμός (Supply) και Ζήτηση (Demand) η τιμή 1 εμφανίζεται με ποσοστό πάνω από 70%. Επιπλέον, οι Επιπτώσεις, με ποσοστό 84.1%, λαμβάνουν τις τιμές 1 και 2 (48.41% και 35.69%, αντίστοιχα). Τέλος, οι Υποδομές είναι σε πολύ καλή κατάσταση, με τη Σλοβενία να υστερεί και να είναι ιδιαίτερα τρωτή σε αυτόν τον υπο-δείκτη εξαιτίας του ότι δεν υπάρχουν ταμειυτήρες για να συγκρατούν το νερό. Η τιμή 1

εμφανίζεται με το μεγαλύτερο ποσοστό και, συγκεκριμένα, 62.19%. Σύμφωνα με τους υποδείκτες cSPI6 και cSPI12, το μεγαλύτερο ποσοστό του χώρου που καταλαμβάνεται από τις προαναφερθείσες χώρες ταξινομείται στην τιμή 3 (38.16%) και ως αρκετά ξηρό (42.05%), αντίστοιχα. Όσον αφορά τη Ζήτηση και τον Εφοδιασμό, 72.79% των περιοχών παρουσιάζουν ελλείμματα σε νερό άνω του 15%. Ως προς τις Επιπτώσεις, 48.41% των περιοχών εμφανίζουν οικονομικές απώλειες σε ποσοστό έως και 15%. Τέλος, όσον αφορά την ανεπάρκεια υποδομών, 62.19% των περιοχών παρουσιάζουν μέχρι 15% ανεπάρκεια (απόκλιση από τη σχεδιασμένη χωρητικότητα).

#### 4.2.1. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (PCA)

Τα αποτελέσματα της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (PCA) επί των αρχικών δεδομένων ανά συνιστώσα του δείκτη για τους έξι υπο-δείκτες παρουσιάζονται στην Εικόνα 4. 4. Ωστόσο, μόνο οι δύο πρώτες συνιστώσες έχουν επιλεγεί για τον υπολογισμό των συντελεστών στάθμισης του SDVI. Τα δύο συστατικά αντιπροσωπεύουν ένα αθροιστικό ποσοστό διακύμανσης που ανέρχεται στο 74.119% (πρώτο συστατικό: 46.395%, το δεύτερο συστατικό: 27.724%). Τα βάρη που προκύπτουν για τις δύο προσεγγίσεις (PCA1 και PCA2) εμφανίζονται στον Πίνακα 4. 10.



Εικόνα 4. 4. Διάγραμμα κυρίων συνιστωσών PCA (Scree plot).

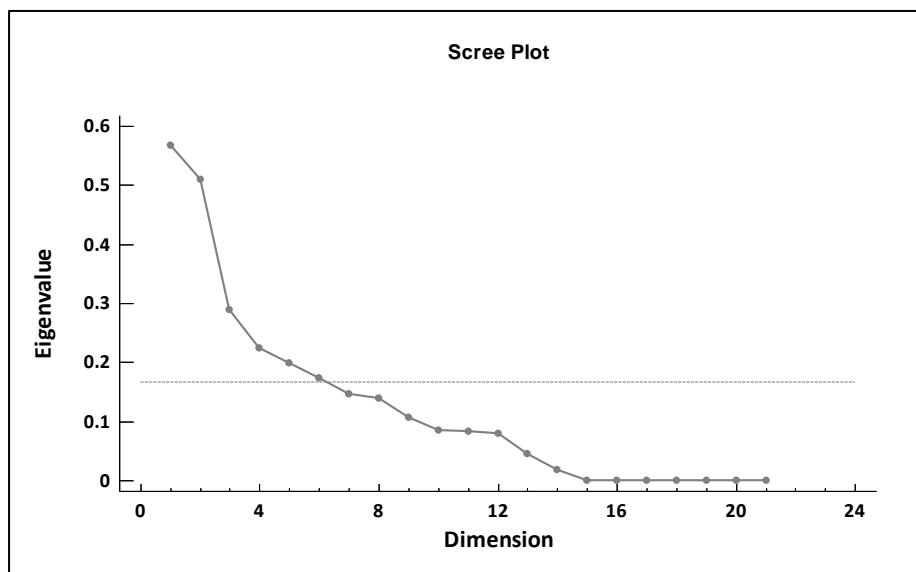
Καλό θα ήταν να λαμβάνεται υπόψη η εξίσωση του δεύτερου συστατικού λόγω ποσοστού 74.119%, σε σχέση με το 46.395% του πρώτου.

Πίνακας 4. 10. Τα αποτελέσματα της PCA και τα αντίστοιχα βάρη.

Υπό-δείκτες	PCA1	PCA2
cSPI6	0.10	0.17
cSPI12	0.05	0.17
Εφοδιασμός	0.32	0.20
Ζήτηση	0.32	0.20
Επιπτώσεις	0.06	0.16
Υποδομές	0.15	0.10
	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>

#### 4.2.2. Ανάλυση Πολλαπλών Συνιστωσών (MCA)

Παρόμοια διαδικασία, με αυτήν που ακολουθήθηκε στην PCA (4.2.1.), εφαρμόστηκε και στην Ανάλυση Πολλαπλών Συνιστωσών. Τα αποτελέσματα της μεθόδου (Εικόνα 4. 5) εμφανίζουν έξι συνιστώσες με ποσοστό 73.565%.



Εικόνα 4. 5. Διάγραμμα πολλαπλών συνιστωσών MCA (Scree plot).

Σύμφωνα με τα έξι αυτά συστατικά, τα τελικά βάρη της MCA εμφανίζονται στον παρακάτω Πίνακα 4. 11.

Πίνακας 4. 11. Τα αποτελέσματα της MCA και τα αντίστοιχα βάρη.

Υπό-δείκτες	MCA
cSPI6	0.23
cSPI12	0.25
Εφοδιασμός	0.10
Ζήτηση	0.10
Επιπτώσεις	0.19
Υποδομές	0.13
	<b>1.00</b>

#### 4.2.3. Η Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων (AHP)

Για την Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων ζητήθηκε η γνώμη / προτίμηση 15 ειδικών πάνω στη διαχείριση των υδάτινων πόρων (τόσο εντός όσο και εκτός του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών) για την παροχή των σχετικών βαρών. Είναι αξιοσημείωτο δε το γεγονός ότι όλοι οι εμπειρογνώμονες παρείχαν μηδενική συνοχή, πράγμα που σημαίνει ότι οι απαντήσεις τους δεν ήταν ασυνεπείς λόγω σύγκρισης (Saaty, 1980). Αυτό ήταν αναμενόμενο λαμβάνοντας υπόψη το μικρό αριθμό των δειγμάτων και την εμπειρία των ερωτηθέντων. Όλα τα παράγωγα σύνολα βαρών, καθώς και το τελικό σύνολο, εμφανίζεται στον Πίνακα 4. 12. Τα τελικά βάρη υπολογίζονται ως η μέση τιμή που προέρχεται από την προτεινόμενη στάθμιση των εμπειρογνομόνων.

Πίνακας 4. 12. Τα βάρη από την AHP.

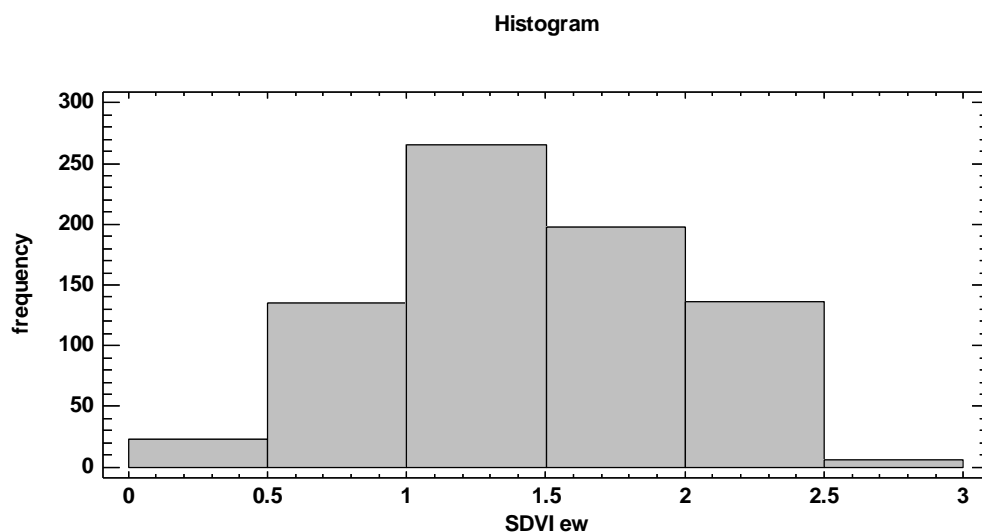
Υπό-δείκτες	AHP
cSPI6	0.201
cSPI12	0.193
Εφοδιασμός	0.154
Ζήτηση	0.154
Επιπτώσεις	0.173
Υποδομές	0.125
	<b>1.00</b>

#### 4.2.4. Επαλήθευση της Κατηγοριοποίησης του SDVI

Η κατηγοριοποίηση του δείκτη έγινε με τη σύμφωνη γνώμη όλων των εταίρων του ερευνητικού έργου DMCSEE. Οι κλάσεις καθορίστηκαν χρησιμοποιώντας τυχαίες τιμές στους υπο-δείκτες, από τις οποίες υπολογίστηκε ο SDVI με τα διάφορα βάρη. Για την περίπτωση των ίδιων βαρών, η κατηγοριοποίηση εμφανίζεται στον Πίνακα 4. 13, με τον μέσο να είναι 1.50 και την τυπική απόκλιση 0.50. Σε αυτήν την περίπτωση, η γνώμη των ειδικών ταυτίζεται με τα αποτελέσματα του Πίνακα 4. 13. Στην PCA ο μέσος είναι 1.51 και η τυπική απόκλιση 0.53. Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης εμφανίζονται στον Πίνακα 4. 14 και την Εικόνα 4. 6.

Πίνακας 4. 13. Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης του SDVI με ίσα βάρη.

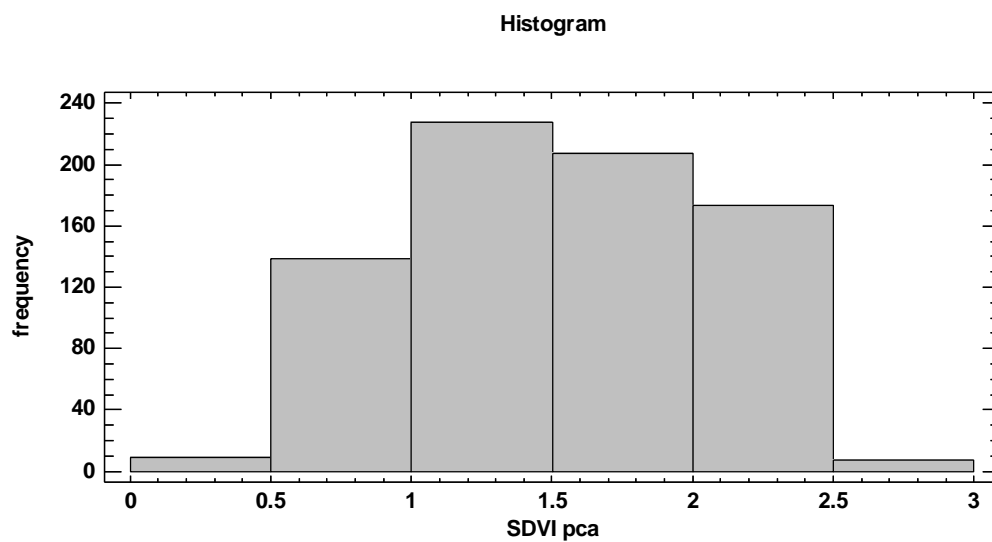
Κλάση	Όρια Κλάσεων	Μέσον	Συχνότητα	Σχετική Συχνότητα	Αθροιστική Συχνότητα	Αθροιστική Σχετική Συχνότητα
1	0.00 – 0.49	0.25	23	0.0301	23	0.0301
2	0.50 – 0.99	0.75	135	0.1769	158	0.2071
3	1.00 – 1.49	1.25	265	0.3473	423	0.5544
4	1.50 – 1.99	1.75	198	0.2595	621	0.8139
5	2.00 – 2.49	2.25	136	0.1782	757	0.9921
6	2.50 – 3.00	2.75	6	0.0079	763	1.0000



Εικόνα 4. 6. Ιστογράμμο συχνοτήτων του SDVI με ίσα βάρη.

Πίνακας 4. 14. Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης του SDVI – PCA.

Κλάση	Όρια Κλάσεων	Μέσον	Συχνότητα	Σχετική Συχνότητα	Αθροιστική Συχνότητα	Αθροιστική Σχετική Συχνότητα
1	0.00 – 0.49	0.25	9	0.0118	9	0.0118
2	0.50 – 0.99	0.75	139	0.1822	148	0.1940
3	1.00 – 1.49	1.25	228	0.2988	376	0.4928
4	1.50 – 1.99	1.75	207	0.2713	583	0.7641
5	2.00 – 2.49	2.25	173	0.2267	756	0.9908
6	2.50 – 3.00	2.75	7	0.0092	763	1.0000



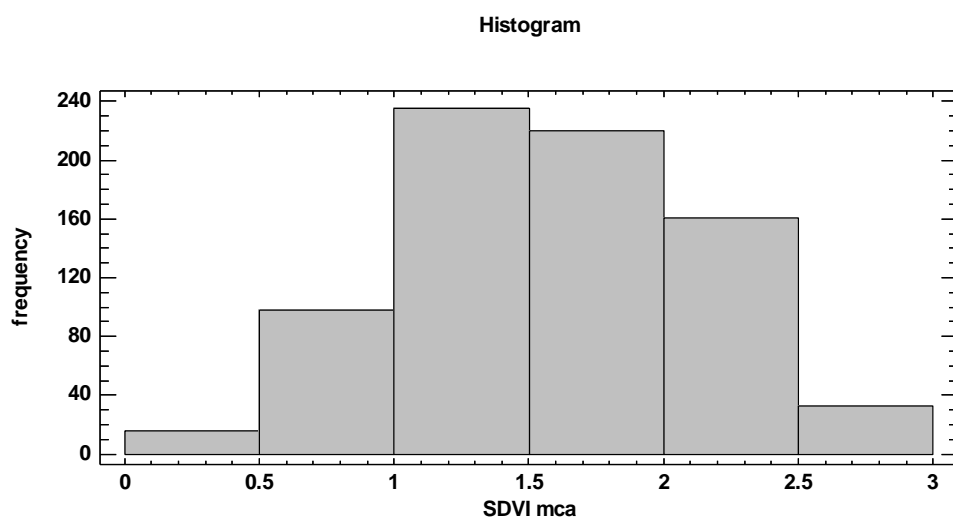
Εικόνα 4. 7. Ιστόγραμμα συχνοτήτων του SDVI – PCA.

Στη MCA, ο μέσος είναι ίσος με 1.59 και η τυπική απόκλιση 0.53, Ενώ, στην AHP, 1.55 και 0.52, αντίστοιχα.



Πίνακας 4. 15. Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης του SDVI – MCA.

Κλάση	Όρια Κλάσεων	Μέσον	Συχνότητα	Σχετική Συχνότητα	Αθροιστική Συχνότητα	Αθροιστική Σχετική Συχνότητα
1	0.00 – 0.49	0.25	16	0.0210	16	0.0210
2	0.50 – 0.99	0.75	98	0.1284	114	0.1494
3	1.00 – 1.49	1.25	235	0.3080	349	0.4574
4	1.50 – 1.99	1.75	220	0.2883	569	0.7457
5	2.00 – 2.49	2.25	161	0.2110	730	0.9567
6	2.50 – 3.00	2.75	33	0.0433	763	1.0000

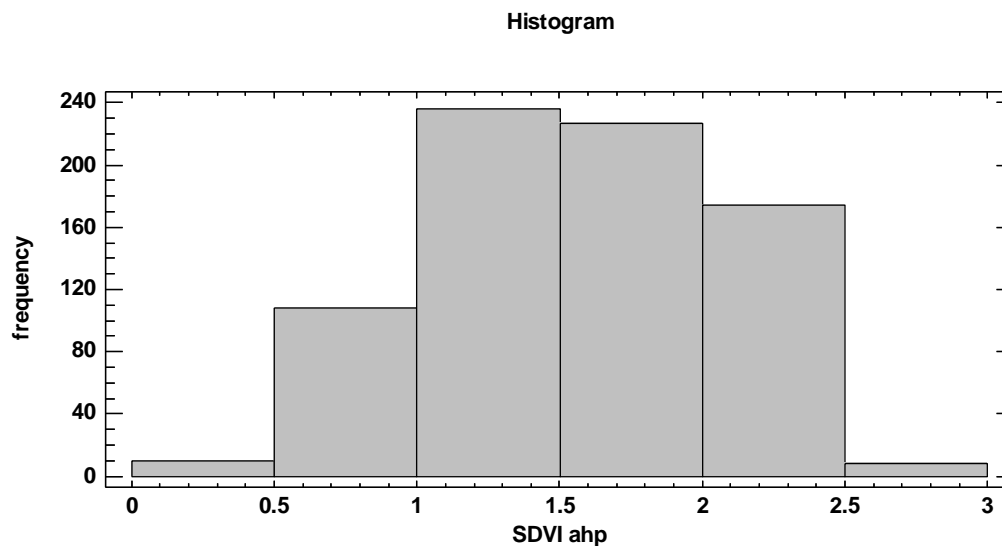


Εικόνα 4. 8. Ιστόγραμμα συχνοτήτων του SDVI – MCA.

Πίνακας 4. 16. Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης του SDVI –AHP.

Κλάση	Όρια Κλάσεων	Μέσον	Συχνότητα	Σχετική Συχνότητα	Αθροιστική Συχνότητα	Αθροιστική Σχετική Συχνότητα
1	0.00 – 0.49	0.25	10	0.0131	10	0.0131
2	0.50 – 0.99	0.75	108	0.1415	118	0.1547
3	1.00 – 1.49	1.25	236	0.3093	354	0.4640
4	1.50 – 1.99	1.75	227	0.2975	581	0.7615

5	2.00 – 2.49	2.25	174	0.2280	755	0.9895
6	2.50 – 3.00	2.75	8	0.0105	763	1.0000



Εικόνα 4. 9. Ιστόγραμμα συχνοτήτων του SDVI – AHP.

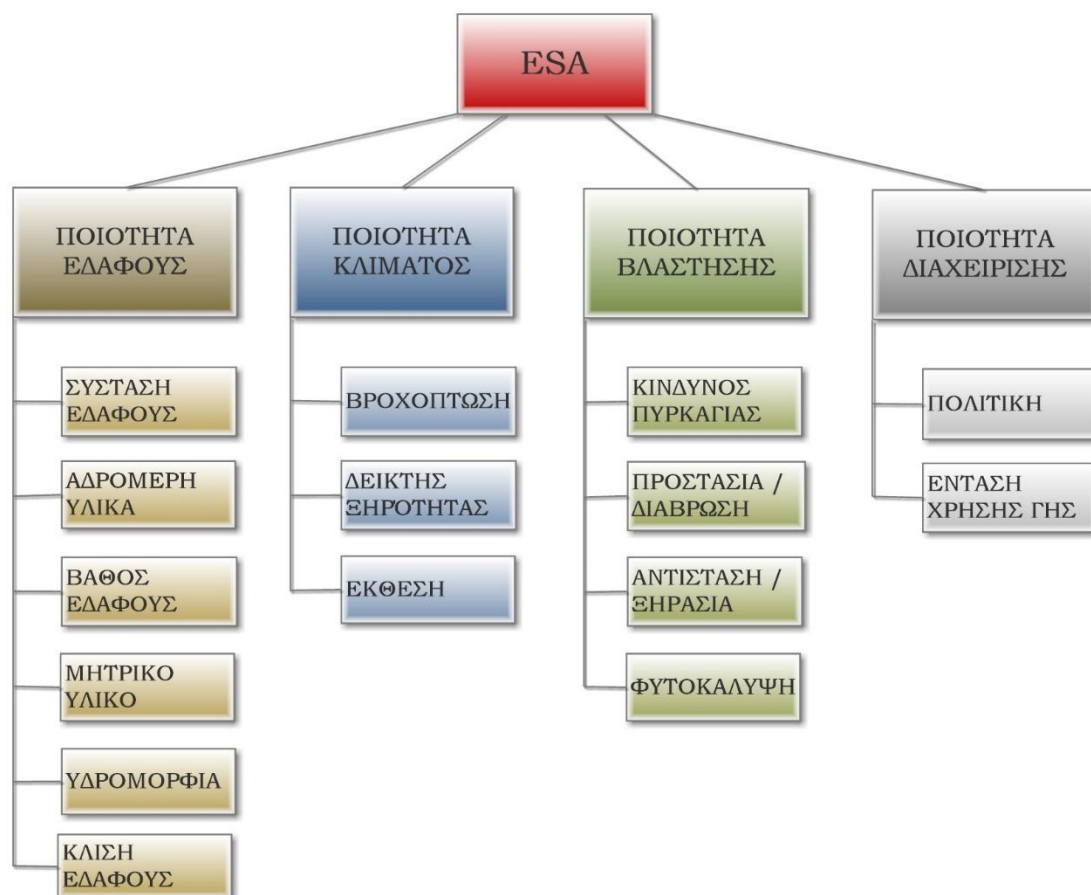
Συμπερασματικά, προκύπτει από τους παραπάνω πίνακες και διαγράμματα ότι η αρχική κατηγοριοποίηση ήταν ορθή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλες τις μεθόδους. Η MCA και η AHP είναι πιο ευαίσθητες στις ακραίες τιμές της τρωτότητας, ενώ η PCA και η μέθοδος των ίσων βαρών συμπίπτουν.

### 4.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ESA

Ο δείκτης Environmentally Sensitive Areas (ESA) εκτιμά την τρωτότητα μιας περιοχής στην ερημοποίηση μέσω της ανάλυσης διάφορων παραμέτρων, όπως είναι το έδαφος, η γεωλογία, η βλάστηση, το κλίμα, και οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Κάθε μία από αυτές τις παραμέτρους κατηγοριοποιείται και κάθε παράγοντας έχει συντελεστές στάθμισης για κάθε κατηγορία. Ο σύνθετος δείκτης χωρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες: την ποιότητα του εδάφους, την ποιότητα του κλίματος, την ποιότητα της βλάστησης και την ποιότητα της διαχείρισης. Μετά τον υπολογισμό των τεσσάρων δεικτών για κάθε ποιότητα, κάθε ένας εκ των οποίων απαρτίζεται από 15 υπο-υπο-δείκτες, παράγεται ο ESA. Ο δείκτης διαβαθμίζεται σε 8 κλάσεις (Πίνακας 4. 33) και ομαδοποιείται σε 4 τύπους. Η μεθοδολογία υπολογισμού της τρωτότητας στην ερημοποίηση βασίστηκε στο ερευνητικό έργο MEDALUS, “Mediterranean Desertification and Land Use” (Kosmas et al., 1999).

Ο **τύπος Α** περιλαμβάνει περιοχές που είναι εξαιρετικά υποβαθμισμένες λόγω της εφαρμογής κακών πρακτικών, και χαρακτηρίζονται ως κρίσιμες, αποτελώντας απειλή για το περιβάλλον και τις γύρω περιοχές. Για παράδειγμα, στον τύπο Α μπορεί να περιλαμβάνονται περιοχές που έχουν υποστεί σημαντική διάβρωση λόγω μεγάλων απορροών και απώλειας εδαφών (πλημμύρες). Στον **τύπο Β** κατατάσσονται οι περιοχές, στις οποίες μια αλλαγή στη λεπτή ισορροπία των φυσικών και ανθρώπινων δραστηριοτήτων είναι πιθανό να επιφέρει ερημοποίηση, και χαρακτηρίζονται ως ευαίσθητες. Για παράδειγμα, οι επιπτώσεις μιας μεγάλης ξηρασίας μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα να χαθεί μεγάλη έκταση φυτοκάλυψης, με αποτέλεσμα να υπόκεινται σε μεγαλύτερη διάβρωση και, τέλος, αλλαγή τύπου (δηλαδή μετάβαση από τύπου Β σε τύπου Α). Οι αλλαγές στις χρήσεις γης, όπως είναι για παράδειγμα η στροφή προς την καλλιέργεια σιτηρών, μπορεί να οδηγήσει άμεσα σε αύξηση των απορροών και της διάβρωσης, ακόμα και ενδεχόμενη ρύπανση στα κατάντη από φυτοφάρμακα και λιπάσματα. Ο **τύπος Γ** αφορά σε περιοχές που απειλούνται από την ερημοποίηση υπό σημαντικές αλλαγές σε πολλούς τομείς, όπως μη ορθή χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων και ταυτόχρονες αλλαγές στις υφιστάμενες κοινωνικό - οικονομικές συνθήκες. Επίσης, η εγκατάλειψη της γης και οι μη ορθές πρακτικές στις εφαρμοζόμενες πολιτικές χαρακτηρίζουν αυτές τις περιοχές, οι οποίες εν τέλει χαρακτηρίζονται ως δυνητικά ευαίσθητες. Σε αντίθεση με τους παραπάνω τύπους, οι περιοχές του **τύπου Δ** δεν εμφανίζουν τρωτότητα στην ερημοποίηση.

Για τον υπολογισμό του δείκτη ESA χρειάζονται δεδομένα για το έδαφος, τη φυτοκάλυψη, το κλίμα και τα χαρακτηριστικά διαχείρισης της γης (Εικόνα 4. 10).



Εικόνα 4. 10. Ανάλυση του σύνθετου δείκτη ESA με τους επιμέρους υπο-δείκτες.

#### 4.3.1. Δείκτης της Ποιότητας του Εδάφους

Ο δείκτης της Ποιότητας του Εδάφους (SQI) απαρτίζεται από 6 υπο-δείκτες: την κοκκομετρική σύσταση του εδάφους (soil texture), την περιεκτικότητα σε αδρομερή υλικά (rock fragment), το βάθος του εδάφους (soil depth), το μητρικό υλικό (parent material), την υδρομορφία (drainage) και την κλίση (slope gradient).

Η κοκκομετρική σύσταση του εδάφους επηρεάζει την ποιότητα του εδάφους, καθώς σχετίζεται με την ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί νερό (water holf capacity) Επίσης, επιδρά στην ταχύτητα διήθησης του νερού στους εδαφικούς πόρους. Για παράδειγμα, τα εδάφη που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε ιλύ συγκρατούν μεγαλύτερες ποσότητες νερού, σε αντίθεση με τα αμμώδη εδάφη. Βάσει της κοκκομετρικής τους σύστασης, τα εδάφη κατηγοριοποιούνται με τον τρόπο που παρουσιάζεται στον Πίνακα 4. 17 (Kosmas et al., 1999).

Πίνακας 4. 17. Τιμές του υπο-υπο-δείκτη κοκκομετρική σύσταση του εδάφους.

Κλάση	Περιγραφή	Κοκκομετρική σύσταση	Τιμή δείκτη
1	Καλά εδάφη	L, SCL, SL, LS, CL	1.0
2	Μέτρια εδάφη	SC, SiL, SiCL	1.2
3	Φτωχά εδάφη	Si, C, SiC	1.6
4	Πολύ φτωχά εδάφη	S	2.0

Η περιεκτικότητα σε αδρομερή υλικά που υπάρχει στην επιφάνεια του εδάφους ταξινομείται ανάλογα με την ικανότητα αυτών τη διατήρηση του νερού του εδάφους και στην προστασία του εδάφους από τη διάβρωση. Οι τιμές του υπο-υπο-δείκτη εμφανίζονται στον Πίνακα 4. 18.

Πίνακας 4. 18. Τιμές του υπο-υπο-δείκτη περιεκτικότητας σε αδρομερή υλικά.

Κλάση	Περιγραφή	Ποσοστό (%)	Τιμή δείκτη
1	Πολύ πετρώδη	> 60	1.0
2	Πετρώδη	20 – 60	1.3
3	Γυμνό - ελαφρώς πετρώδη	< 20	2.0

Το βάθος εδάφους ορίζεται ως το βάθος του προφίλ του εδάφους από την επιφάνειά του έως το μητρικό υλικό. Το βάθος του εδάφους κατατάσσεται σε τέσσερις κατηγορίες (Πίνακας 4. 19).

Πίνακας 4. 19. Τιμές του υπο-υπο-δείκτη βάθος εδάφους.

Κλάση	Περιγραφή	Βάθος (cm)	Τιμή δείκτη
1	Βαθιά	> 75	1.0
2	Μετρίως βαθιά	30 – 75	2.0
3	Ρηχά	15 – 30	3.0
4	Πολύ ρηχά	< 15	4.0

Ο παράγοντας μητρικό υλικό κατατάσσεται ανάλογα με την ευαισθησία του στην ερημοποίηση σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά των πετρωμάτων (Πίνακας 4. 20).

Πίνακας 4. 20. Τιμές του υπο-υπο-δείκτη μητρικό υλικό.

Κλάση	Μητρικό υλικό	Τιμή δείκτη
1	Σχιστόλιθος, σχίστης, βασικά, υπερβασικά πετρώματα, κροκαλοπαγή, ψαθυρές αποθέσεις	1.0
2	Ασβεστόλιθος, μάρμαρο, γρανίτης, ρυόλιθος, ιγκνιμβρίτης, γνεύσιος, ιλυόλιθος, ψαμμίτης	1.7
3	Μάργες*, πυροκλαστικά	2.0

\*για πολυετή θλάση, η τιμή του δείκτη είναι ίση με 1.0

Για την υδρομορφία ορίζονται τρεις κατηγορίες που αντιστοιχούν στη συσχέτισή τους με την υφαλμύρωση, η οποία αυξάνει την τρωτότητα ερημοποίησης (Πίνακας 4. 21).

Πίνακας 4. 21. Τιμές του υπο-υπο-δείκτη υδρομορφία.

Κλάση	Περιγραφή	Τιμή δείκτη
1	Καλώς αποστραγγιζόμενα εδάφη	1.0
2	Μετρίως αποστραγγιζόμενα εδάφη	1.2
3	Κακώς αποστραγγιζόμενα εδάφη	2.0

Η κλίση του εδάφους κατατάσσεται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με την επίδρασή της στη διάβρωση του εδάφους, με το βαθμό διάβρωσης να είναι μεγαλύτερος στις μεγάλες κλίσεις από ότι στις ήπιες.

Πίνακας 4. 22. Τιμές του υπο-υπο-δείκτη κλίση.

Κλάση	Περιγραφή κλίσης	Κλίση (%)	Τιμή δείκτη
1	Σχεδόν επίπεδα	< 6	1.0
2	Ελαφρώς κεκλιμένα	6 – 18	1.2
3	Απότομα	18 – 35	1.5
4	Πολύ απότομα	> 35	2.0

Ο SQI ορίζεται ως ο γεωμετρικός μέσος των παραπάνω δεικτών:

$$SQI = \sqrt[6]{Texture * Rock * Depth * Material * Drainage * Slope} \quad (4.13)$$

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα από την εξίσωση 4.13, ο δείκτης διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες (Πίνακας 4. 23).

Πίνακας 4. 23. Τιμές του δείκτη της Ποιότητας του Εδάφους.

Κλάση	Περιγραφή ποιότητας	Τιμή δείκτη
1	Υψηλή	< 1.13
2	Μέτρια	1.14 – 1.45
3	Χαμηλή	> 1.45

#### 4.3.2. Δείκτης της Ποιότητας του Κλίματος

Ο δείκτης της Ποιότητας του Κλίματος (CQI) αξιολογείται με τη χρήση των παραμέτρων που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του νερού στα φυτά, όπως είναι η ποσότητα των βροχοπτώσεων, η θερμοκρασία του αέρα και η ξηρότητα, καθώς και οποιοσδήποτε κλιματικός κίνδυνος, όπως ο παγετός, που θα μπορούσε να αναστείλει, ή ακόμη και να σταματήσει, την ανάπτυξη των φυτών. Οι υπο-δείκτες που χρειάζονται για τον υπολογισμό του CQI είναι τρεις: η βροχόπτωση (rainfall), η ξηρότητα (aridity) και η κλίση (slope).

Ο υπο-δείκτης της βροχόπτωσης υπολογίζεται από τις ετήσιες τιμές του και κατηγοριοποιείται σε τρεις κλάσεις, με την ετήσια βροχόπτωση των 280 mm να αναφέρεται ως μια κρίσιμη τιμή για τη διάβρωση του εδάφους και την ανάπτυξη των φυτών (Πίνακας 4.24).

Πίνακας 4. 24. Τιμές του υπο-δείκτη της βροχόπτωσης.

Κλάση	Βροχόπτωση (mm)	Τιμή δείκτη
1	> 650	1
2	280 – 650	2
3	< 280	4

Ο υπο-υπο-δείκτης ξηρότητας βασίζεται στον ξηροθερμικό δείκτη Bagnouls - Gausson (BGI), διακρίνεται σε έξι κλάσεις και υπολογίζεται βάσει του εξής τύπου:

$$BGI = \sum_{i=1}^n (2t_i - P_i), \text{ όταν το } k \geq 0 \quad (4.14)$$

$P_i$  = η βροχόπτωση  $i$  μηνών (mm)

$T_i$  = η θερμοκρασία αέρος  $i$  μηνών ( $^{\circ}\text{C}$ )

$k$  = οι μήνες που η διαφορά  $2t_i - P_i$



Πίνακας 4. 25. Τιμές του υπο-δείκτη της ξηρότητας.

Κλάση	Κλίμακα BGI	Τιμή δείκτη
1	< 50	1.0
2	50 – 75	1.1
3	75 – 100	1.2
4	100 – 125	1.4
5	125 – 150	1.8
6	> 150	2.0

Η έκθεση διαιρείται σε δύο κατηγορίες- τη βόρεια και την νότια έκθεση-, οι τιμές των οποίων ορίζονται ως 1 και 2, αντίστοιχα.

Τα παραπάνω τρία χαρακτηριστικά συνδυάζονται για να εκτιμηθεί ο CQI, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο της Εξίσωσης 4.15).

$$CQI = \sqrt[3]{Ra \text{ inf all} * Aridity * Aspect} \quad (4.15)$$

Στη συνέχεια, η ποιότητα του κλίματος ορίζεται χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 4. 26 και διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες.

Πίνακας 4. 26. Τιμές του δείκτη της ποιότητας του κλίματος.

Κλάση	Περιγραφή	Τιμή δείκτη
1	Υψηλής ποιότητας	< 1.15
2	Μέτριας ποιότητας	1.15 – 1.81
3	Χαμηλής ποιότητας	> 1.81

#### 4.3.3. Δείκτης της Ποιότητας της Βλάστησης

Ο δείκτης της Ποιότητας της Βλάστησης (VQI) αξιολογείται από τέσσερις όρους: τον κίνδυνο πυρκαγιάς (fire risk), την προστασία από τη διάβρωση των εδαφών (erosion protection), την αντοχή στην ξηρασία (drought resistance) και τη φυτοκάλυψη (plant cover).

Ο κίνδυνος πυρκαγιάς εξαρτάται από τα είδη της φυτοκάλυψης, χαρακτηριστικό που με τη σειρά του σχετίζεται με το πόσο ευαίσθητο είναι το κάθε είδος. Ο παρών υπο-δείκτης διακρίνεται σε τέσσερις κλάσεις, οι οποίες αποτυπώνονται στον Πίνακα 4. 27.

Πίνακας 4. 27. Τιμές του δείκτη του κινδύνου πυρκαγιάς.

Κλάση	Περιγραφή	Τύπος βλάστησης	Τιμή δείκτη
1	Μικρός	Ακάλυπτο έδαφος, πολυετείς καλλιέργειες, ετήσιες καλλιέργειες (αραβόσιτος, καπνός, ηλίανθος)	1.0
2	Μέτριος	Ετήσιες καλλιέργειες (σιτηρά, αγρωστώδη), φυλλοβόλος δρυς, φρύγανα/ αειθαλές δάσος	1.3
3	Υψηλός	Φρύγανα	1.6
4	Πολύ υψηλός	Δάσος Πεύκης	2.0

Η προστασία του εδάφους από τη διάβρωση εξαρτάται και αυτή από τα είδη της φυτοκάλυψης και, συγκεκριμένα, από την ικανότητα του κάθε είδους να συγκρατεί το έδαφος. Οι κλάσεις που χωρίζεται ο υπο-δείκτης είναι πέντε και αποτυπώνονται στον Πίνακα 4. 28.

Πίνακας 4. 28. Τιμές του δείκτη προστασία του εδάφους από τη διάβρωση.

Κλάση	Περιγραφή	Τύπος βλάστησης	Τιμή δείκτη
1	Πολύ μεγάλη	Φρύγανα/ αειθαλές δάσος και θάμνοι	1.0
2	Μεγάλη	Φρύγανα, δάσος Πεύκης, πολυετείς γράσταις, αειθαλείς πολυετείς καλλιέργειες	1.3
3	Μέτρια	Φυλλοβόλα δάση	1.6
4	Μικρή	Φυλλοβόλες πολυετείς καλλιέργειες (αμυγδαλιές, οπωροφόρα)	1.8
5	Πολύ μικρή	Ετήσιες καλλιέργειες (σιτηρά), ετήσια αγρωστώδη, αμπέλια	2.0

Η αντοχή στην ξηρασία βασίζεται στην φυτοκάλυψη μιας εξεταζόμενης περιοχής. Ο υπο-δείκτης αυτός χωρίζεται σε πέντε κατηγορίες, ανάλογα με τον φυτικό τύπο που καλύπτει το έδαφος.

Πίνακας 4. 29. Τιμές του δείκτη αντοχή στη ξηρασία.

Κλάση	Περιγραφή	Τύπος βλάστησης	Τιμή δείκτη
1	Πολύ υψηλή	Φρύγανα/ αειθαλές δάσος, φρύγανα	1.0
2	Υψηλή	Κωνοφόρα, φυλλοβόλα, ελιές	1.2
3	Μέτρια	Δενδρώδεις (αμπέλια, σπωροφόρα) καλλιέργειες αμυγδαλιές,	1.4
4	Χαμηλή	Πολυετείς λειμώνες	1.7
5	Πολύ χαμηλή	Ετήσιες καλλιέργειες, ετήσιοι λειμώνες	2.0

Η φυτοκάλυψη σχετίζει τα διάφορα φυτικά είδη με το ποσοστό κάλυψης του εδάφους. Όσο μεγαλύτερη είναι η φυτοκάλυψη, τόσο καλύτερα είναι τα αποτελέσματα όσον αφορά την αντιμετώπιση της τρωτότητας στην ερημοποίηση.

Πίνακας 4. 30. Τιμές του δείκτη της φυτοκάλυψης.

Κλάση	Ποσοστό (%)	Τιμή δείκτη
1	>40	1.0
2	10 – 40	1.8
3	< 10	2.0

Ο VQI εκτιμάται ως το προϊόν των παραπάνω χαρακτηριστικών της βλάστησης που σχετίζονται με την ευαισθησία στην ερημοποίηση χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο της Εξίσωσης 4.15. Στη συνέχεια, ο δείκτης κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες, που καθορίζουν την ποιότητα της βλάστησης σε σχέση με την ερημοποίηση (Πίνακας 4. 31).

$$VQI = \sqrt[4]{\text{FireRisk} * \text{Erosion Pr} . * \text{Drought Res} . * \text{PlantCover}} \quad (4.15)$$

Πίνακας 4. 31. Τιμές του δείκτη της ποιότητας της βλάστησης.

Κλάση	Περιγραφή	Τιμή δείκτη
1	Υψηλή	< 1.13
2	Μέτρια	1.13 – 1.38
3	Χαμηλή	> 1.38

#### 4.3.4. Δείκτης της Ποιότητας Πολιτικών Διαχείρισης

Όπως προαναφέρθηκε, οι χρήσεις γης ταξινομούνται σε κατηγορίες με βάση την κύρια χρήση προκειμένου να γίνει αξιολόγηση της ποιότητας της διαχείρισης ή του βαθμού της ανθρώπινης δραστηριότητας που προκαλεί την πίεση (π.χ. η καλλιεργήσιμη γη, τα βοσκοτόπια). Χαμηλότερη πίεση δέχονται τα εδάφη που καλύπτονται από δάση, θαμνώδεις εκτάσεις, πάρκα αναψυχής κ.λπ.. Για τον υπολογισμό του δείκτη της Ποιότητας της Διαχείρισης (MQI) λαμβάνεται υπόψη η ένταση της χρήσης γης και οι εφαρμοζόμενες πολιτικές για την προστασία των εδαφών από την ερημοποίηση.

Ο υπο-δείκτης έντασης της χρήσης γης (land use intensity) σχετίζεται με την εκμετάλλευση του εδάφους. Όσο εντονότερη είναι (άνθρωπος), τόσο αυξάνεται η τρωτότητα στην ερημοποίηση. Για τον υπολογισμό της παραμέτρου, γίνεται διαχωρισμός σε καλλιεργήσιμες γαίες, βοσκοτόπους και φυσικές περιοχές. Οι τιμές που λαμβάνει η παράμετρος αυτή είναι 1.0 για χαμηλή, 1.5 για μέτρια και 2.0 για υψηλή ένταση χρήσης γης.

Ο δεύτερος υπο-δείκτης, δηλαδή οι πολιτικές (policies) που εφαρμόζουν οι εμπλεκόμενοι φορείς όσον αφορά στη διαχείριση των εδαφών, στοχεύει στην προστασία του περιβάλλοντος. Οι πολιτικές αυτές ταξινομούνται ανάλογα με το βαθμό, στον οποίο έχουν επιβληθεί για κάθε περίπτωση χρήσης γης. Αρχικά συλλέγονται οι πληροφορίες σχετικά με τις υφιστάμενες πολιτικές και, στη συνέχεια, αξιολογείται ο βαθμός υλοποίησης/ εφαρμογής. Όταν σε μια περιοχή η εφαρμογή των πολιτικών αφορά πάνω από το 75% της έκτασής της, ο υπο-δείκτης λαμβάνει την τιμή 1. Για ποσοστό εφαρμογής μεταξύ 25 και 75%, η τιμή του είναι 1.5 και, τέλος, όταν έχουμε ανεπαρκή εφαρμογή μέτρων, τότε ο υπο-δείκτης λαμβάνει την τιμή 2.0. Η εξίσωση που υπολογίζει τον MQI αποτυπώνεται στη σχέση 4.16 και οι κλάσεις του δείκτη στον Πίνακα 4. 32.

$$MQI = \sqrt[2]{\text{LandUseIntensity} * \text{Policy}} \quad (4.16)$$

Πίνακας 4. 32. Τιμές του δείκτη της ποιότητας της ποιότητας της διαχείρισης.

Κλάση	Περιγραφή	Τιμή δείκτη
1	Υψηλή	1.0 – 1.25
2	Μέτρια	1.26 – 1.50
3	Χαμηλή	> 1.51

#### 4.3.5. Υπολογισμός του Δείκτη ESA

Το τελικό στάδιο περιλαμβάνει την αντιστοίχιση του φυσικού περιβάλλοντος με την ποιότητα του εδάφους, την ποιότητα του κλίματος, την ποιότητα της βλάστησης και τα ανθρωπογενή μέτρα που λαμβάνονται, ώστε να μειωθεί η τρωτότητα στο φαινόμενο της ερημοποίησης (ποιότητα διαχείρισης). Για τον ορισμό των διαφόρων τύπων των περιοχών που είναι ευάλωτες στην ερημοποίηση, εφαρμόζεται η Εξίσωση 4.17, στην οποία εμπεριέχονται και οι τέσσερις δείκτες.

$$ESA = \sqrt[4]{SQI * CQI * VQI * MQI} \quad (4.17)$$

Οι κατηγορίες που έχει ο σύνθετος δείκτης είναι οκτώ και εμφανίζονται στον παρακάτω Πίνακα (4. 33).

Πίνακας 4. 33. Τύποι και κλάσεις του δείκτη ESA.

Τύπος	Κατηγορία	Κλάση του ESA
Κρίσιμες	C3	>1.53
«	C2	1.42-1.53
«	C1	1.38-1.41
Ευαίσθητες	F3	1.33-1.37
«	F2	1.27-1.32
«	F1	1.23-1.26
Δυνητικά ευαίσθητες	P	1.17-1.22
Μη απειλούμενες	N	<1.17

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ SDVI - ESA

### 5.1. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ SDVI<sub>EW</sub> ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

Η Ελλάδα βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της Ευρώπης και, ειδικότερα, στη νοτιότερη απόληξη της Βαλκανικής χερσονήσου (ή χερσονήσου του Αίμου). Αποτελεί ουσιαστικά το σταυροδρόμι των τριών ηπείρων, της Ευρώπης, της Ασίας και της Αφρικής. Συνορεύει βόρεια με την Π.Γ.Δ.Μ. και την Βουλγαρία, βορειοδυτικά με την Αλβανία και ανατολικά με την Τουρκία. Ανατολικά βρέχεται από το Αιγαίο Πέλαγος, δυτικά από το Ιόνιο και νότια από τη Μεσόγειο Θάλασσα. Η συνολική της έκταση είναι 131,957 Km<sup>2</sup>, και κατανέμεται σε τρεις «κύριες» γεωγραφικές ενότητες:

- το ηπειρωτικό τμήμα (από την περιοχή της Στερεάς Ελλάδας στον Νότο ως την περιοχή της Θράκης στο βορειοανατολικό άκρο), που αποτελεί και το μεγαλύτερο της χώρας,
- την Πελοπόννησο, η οποία ενώνεται με το ηπειρωτικό τμήμα μέσω του Ισθμού της Κορίνθου, και
- τα περίπου 6,000 μεγαλύτερα και μικρότερα νησιά και νησίδες, που βρίσκονται διάσπαρτα σε ολόκληρη τη θαλάσσια περιοχή της χώρας, είτε μόνα τους είτε ενταγμένα σε νησιωτικά συμπλέγματα, συγκροτώντας έτσι το μοναδικό στην ευρωπαϊκή ήπειρο ελληνικό Αρχιπέλαγος. Μερικά από τα γνωστότερα και δημοφιλέστερα ελληνικά νησιά ή συμπλέγματα είναι η Κρήτη, η Ρόδος, η Κέρκυρα, τα Δωδεκάνησα και οι Κυκλάδες.

Το 80% του εδάφους της Ελλάδας είναι ορεινό ή ημιορεινό, γεγονός που την καθιστά μία από τις ορεινότερες χώρες στην Ευρώπη. Ταυτόχρονα, το συνολικό μήκος της ακτογραμμής της είναι περίπου 16,000 km, εκ των οποίων τα 7,500 km βρίσκονται στα νησιά του ελληνικού αρχιπελάγους, κάτι που προσδίδει ένα σπάνιο γεωμορφολογικό χαρακτηριστικό σε ολόκληρη την ευρωπαϊκή ήπειρο.

Το κλίμα της Ελλάδας είναι τυπικά μεσογειακό: ήπιοι και υγροί χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και, γενικά, μακρές περιόδους ηλιοφάνειας κατά την μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. Η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ των παραλλήλων 340 και 420 του Βορείου ημισφαιρίου και βρέχεται από την Ανατολική Μεσόγειο. Ειδικότερα, στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας παρουσιάζεται μια μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων, πάντα βέβαια μέσα στα

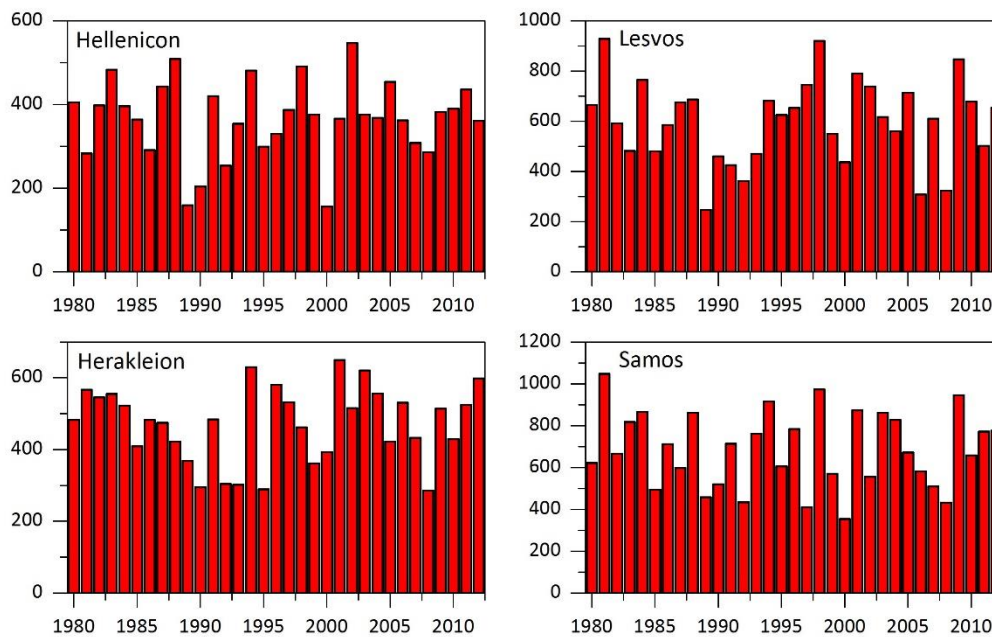
πλαίσια του Μεσογειακού κλίματος. Αυτό οφείλεται στην τοπογραφική διαμόρφωση της χώρας που έχει μεγάλες διαφορές υψομέτρου (υπάρχουν μεγάλες οροσειρές κατά μήκος της κεντρικής χώρας και άλλοι ορεινοί όγκοι) και εναλλαγή ξηράς και θάλασσας. Έτσι, από το ξηρό κλίμα της Αττικής, και γενικά της Ανατολικής Ελλάδας, μεταπίπτουμε στο υγρό της Βόρειας και Δυτικής Ελλάδας. Τέτοιες κλιματικές διαφορές συναντώνται ακόμη και σε τόπους που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, φαινόμενο που παρουσιάζεται σε λίγες μόνο χώρες παγκοσμίως. Από κλιματολογικής πλευράς, το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές: Την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο, που διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου και μέχρι το τέλος Μαρτίου, και τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο.

Κατά την πρώτη περίοδο, οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, όπου κατά μέσον όρο η μέση ελάχιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 5-10 °C στις παραθαλάσσιες περιοχές, από 0-5 °C στις ηπειρωτικές περιοχές και με τιμές υπό το μηδέν στις βόρειες περιοχές. Οι βροχές στη χώρα μας, ακόμη και τη χειμερινή περίοδο, δεν διαρκούν για πολλές ημέρες και ο ουρανός της Ελλάδας δεν μένει συνεφιασμένος για αρκετές συνεχόμενες ημέρες, όπως συμβαίνει σε άλλες περιοχές της γης. Οι χειμερινές κακοκαιρίες διακόπτονται συχνά κατά τον Ιανουάριο και το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου χαρακτηρίζεται από ηλιόλουστες ημέρες, τις γνωστές από την αρχαιότητα “Αλκυονίδες ημέρες”. Ο χειμώνας είναι ηπιότερος στα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου από ότι στη Βόρεια και Ανατολική Ελλάδα. Κατά τη θερμή και άνομβρη εποχή ο καιρός είναι σταθερός, ο ουρανός σχεδόν αίθριος, ο ήλιος λαμπερός και δεν βρέχει, εκτός από σπάνια διαλείμματα με ραγδαίες βροχές ή καταιγίδες μικρής όμως διάρκειας. Η θερμότερη περίοδος είναι το τελευταίο δεκαήμερο του Ιουλίου και το πρώτο του Αυγούστου, με τη μέση μέγιστη θερμοκρασία να κυμαίνεται από 29 °C μέχρι 35 °C. Κατά τη θερμή εποχή, οι υψηλές θερμοκρασίες μετριάζονται από τη δροσερή θαλάσσια αύρα στις παράκτιες περιοχές της χώρας και από τους βόρειους ανέμους (ετήσιες) που φυσούν κυρίως στο Αιγαίο. Η άνοιξη έχει μικρή διάρκεια, διότι ο μεν χειμώνας είναι όψιμος, το δε καλοκαίρι αρχίζει πρώιμα. Το φθινόπωρο είναι μακρύ και θερμό και, πολλές φορές, στη Νότια Ελλάδα, παρατείνεται μέχρι και τα μισά του Δεκεμβρίου (Ε.Μ.Υ.; Τσεσμελής, 2010).

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τον υπολογισμό του σύνθετου δείκτη SDVI περιλάμβαναν αρχικά τον υπολογισμό του SPI με χρονικό βήμα 6 και 12 μηνών. Στη συνέχεια, έγινε η μετατροπή των σημειακών τιμών σε επιφάνεια για να γίνει αντιληπτό το μέγεθος του φαινομένου και χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα Εφοδιασμού και Ζήτησης από τα προσχέδια των διαχειριστικών μελετών υδατικών πόρων ανά υδατικό διαμέρισμα. Το επόμενο βήμα

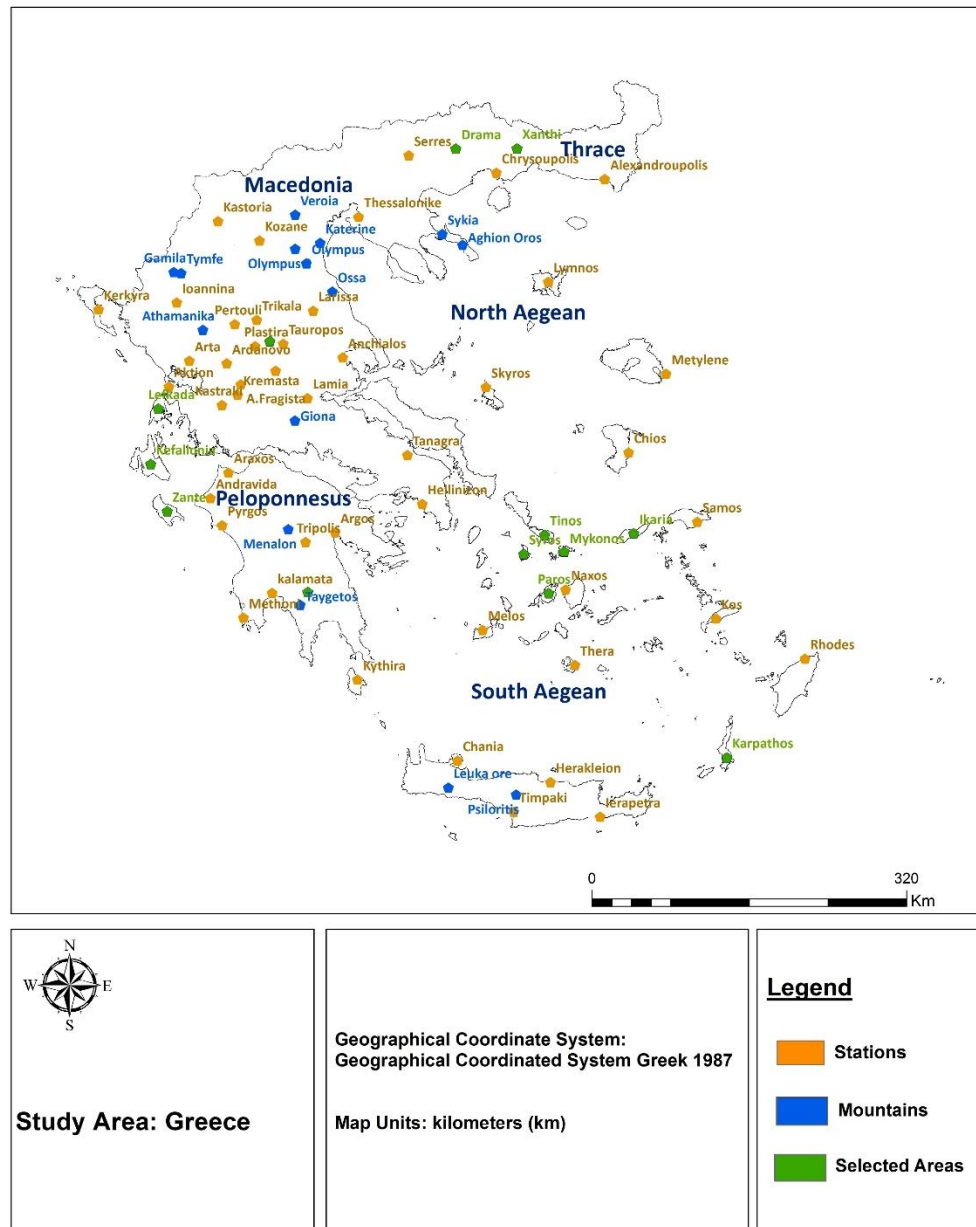


ήταν ο καθορισμός των Επιπτώσεων κάθε περιόδου, αλλά και των Υποδομών στους υδατικούς πόρους (Karavitis et al., 2014, 2013; Τσεσμελής, 2010).



Εικόνα 5. 1. Ετήσιες βροχοπτώσεις των σταθμών Ελληνικού, Λέσβου, Ηρακλείου και Σάμου σε mm (Καραβίτης et al., 2015).

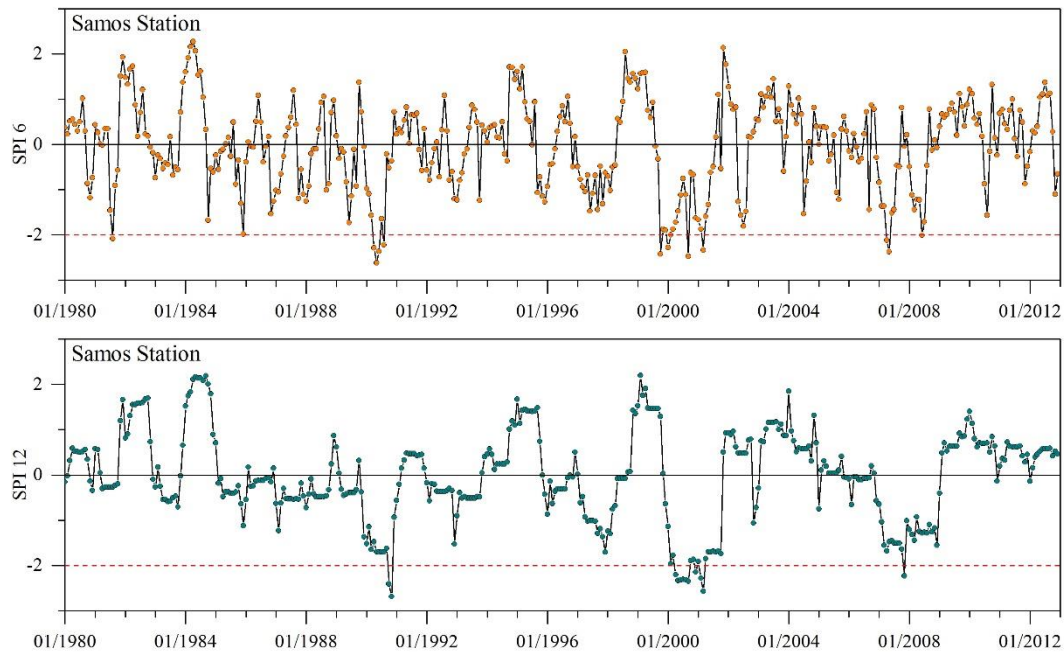
Ο SPI 6 και ο SPI 12 έχουν υπολογιστεί σε εθνικό επίπεδο. Για την εν λόγω εκτίμηση χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα βροχόπτωσης από 46 σταθμούς, τα οποία συλλέχθηκαν σε συνεργασία με την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία της Ελλάδας και το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (Εικόνα 5. 2). Τα δεδομένα αυτά καλύπτουν διαφορετικές χρονικές περιόδους από το 1947 έως το 2012. Όλα τα δεδομένα της βροχόπτωσης μετατράπηκαν σε μηνιαίες τιμές (Εικόνα 5. 1). Όλοι οι επιλεγμένοι βροχομετρικοί σταθμοί παρουσιάζουν δεδομένα καλής ποιότητας και οι SPI τιμές εξήχθησαν από μια χρονική περίοδο 30 ετών και άνω (McKee et al., 1993). Δεν πραγματοποιήθηκε συμπλήρωση κενών τιμών, καθώς θεωρήθηκε ότι τα μη επεξεργασμένα δεδομένα μπορεί να είναι καταλληλότερα από εκείνα που θα προέκυπταν μετά την εφαρμογή "διορθωτικών" διαδικασιών, όπως η ομοιογένεια, για την ακριβέστερη διάγνωση των φαινομένων ξηρασίας (ακραία ελάχιστες τιμές). Στη συνέχεια, από τις μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης υπολογίστηκαν οι SPI6 και SPI12.



Εικόνα 5. 2. Σταθμοί και θέσεις που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων βροχόπτωσης (βουνά και επιλεγμένες περιοχές) (Karavitis et al., 2014).

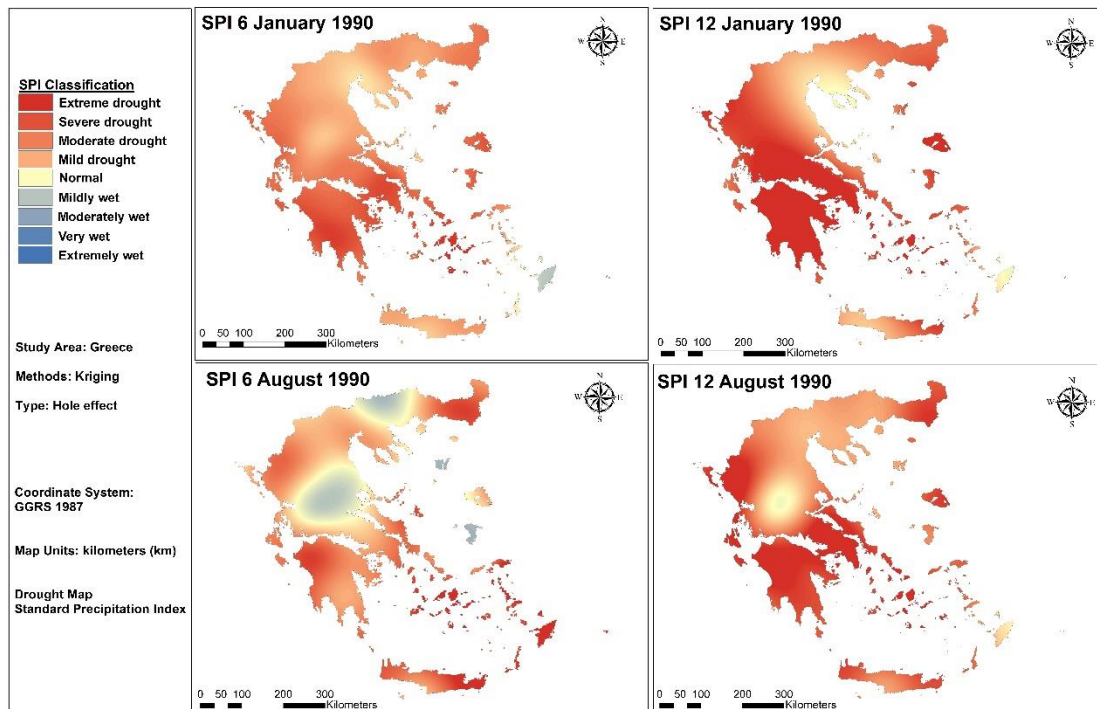
Για τους σκοπούς της παρούσας διατριβής, έγινε επιλεκτικά χαρτογραφική απεικόνιση των τιμών για τους μήνες Ιανουάριο και Αύγουστο για τα έτη 1990, 2007 (χρόνια ξηρασία) και 2009 (κανονικό έτος) (Karavitis et al., 2014). Η γεωστατιστική μέθοδος που επιλέχθηκε για την αποτύπωση των σημειακών τιμών είναι η μέθοδος Kriging. Η μέθοδος αυτή και τα διάφορα μοντέλα που υπάρχουν (hole effect, exponential and spherical) εξετάστηκαν και επιλέχθηκε το κατάλληλο σύμφωνα με τις σχετικές στατιστικές παραμέτρους. Οι παράμετροι υπολογισμού ήταν το σφάλμα της μέσης τετραγωνικής ρίζας και το μέσο τυπικό σφάλμα, των οποίων οι τιμές θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερα για την καλύτερη χωρική

εκτίμηση. Από τους παραπάνω στατιστικούς δείκτες, επιλέχθηκε το hole effect λόγω μικρότερου σφάλματος (Karavitis et al., 2012). Αυτή η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον ArcGIS 10 και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 5.4, 5.5 και 5.6. Οι χάρτες δίνουν τη δυνατότητα αποτύπωσης και παρουσίασης τόσο της έντασης όσο και της χωρο-χρονικής κατανομής της ξηρασίας.



Εικόνα 5. 3. Η συχνότητα εμφάνισης της ξηρασίας βάσει των δεδομένων του σταθμού της Σάμου (Καραβίτης et al., 2015).

Εκτός από τις θέσεις των σταθμών χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον 28 θέσεις που παρουσιάζονται στην Εικόνα 5. 2. Δεκαπέντε από τα σημεία αυτά είναι υψηλές βουνοκορφές (μηδενική τρωτότητα στην ξηρασία) και οι περιοχές γύρω από αυτές. Δεδομένου ότι οι περιοχές αυτές δεν επηρεάζονται από επικείμενες ξηρασίες, η τελική τιμή του SDVI για αυτές είναι μηδέν. Οι υπόλοιπες 13 θέσεις αντιπροσωπεύουν περιοχές που λαμβάνουν χώρα κρίσιμες οικονομικές και κοινωνικές δραστηριότητες και εμφανίζουν τρωτότητα στην ξηρασία . Στις περιοχές αυτές οι τιμές των SPI εκτιμήθηκε βάσει της χωρικής εκτίμησης του προηγούμενου βήματος.

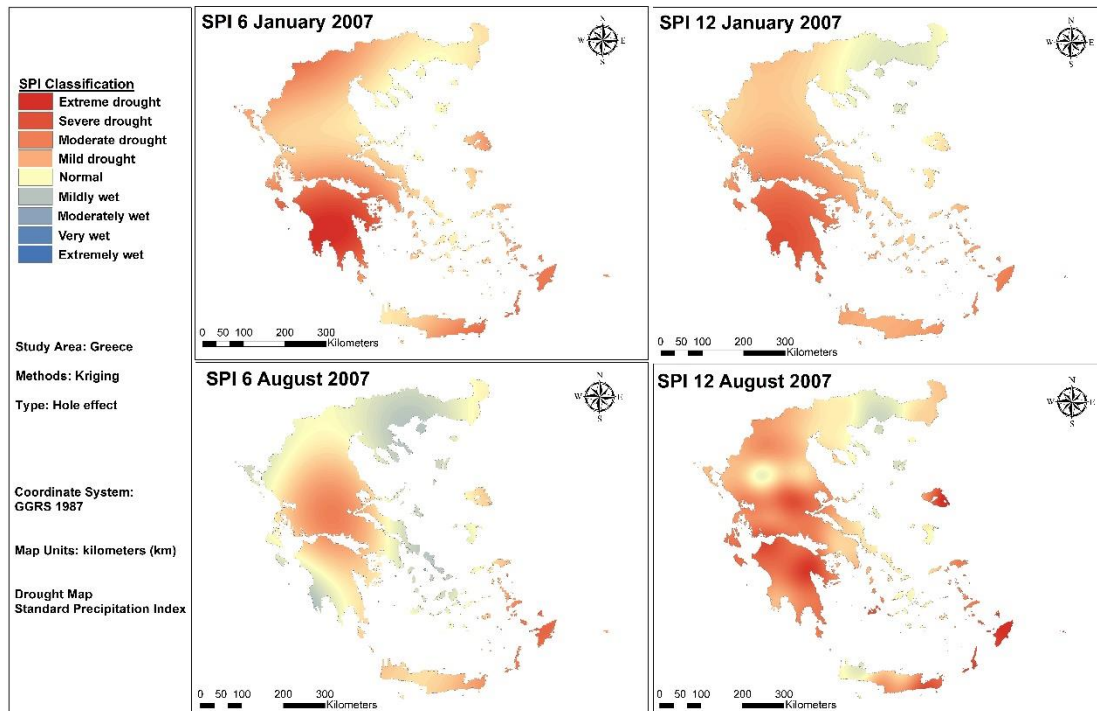


Εικόνα 5. 4. SPI 6 και 12 Ιανουαρίου και Αυγούστου 1990 (Καραβίτης et al., 2015).

Εκτιμάται ότι η δημιουργία αυτών των επιπλέον θέσεων μπορεί να οδηγήσει σε πιο αντιπροσωπευτική και ορθότερη εκτίμηση του SDVI, αφού οι αρχικές θέσεις (σταθμοί) ήταν ελλιπείς σε χωρικό επίπεδο λόγω ότι δεν λάμβαναν υπόψη περιοχές με υψηλή ή χαμηλή τρωτότητα. Απουσία αυτών των τιμών, τα αποτελέσματα θα εμφάνιζαν απόκλιση από τις πραγματικές συνθήκες. Το γεγονός αυτό ήταν ιδιαίτερα εμφανές στην απεικόνιση των αποτελεσμάτων, με τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται (μέθοδος Σταθμισμένης Αντίστροφης Απόστασης- IDW) να εμφανίζει αυξημένες τιμές σε περιοχές χωρίς πραγματική τρωτότητα στην ξηρασία (π.χ. κορυφές των βουνών) και αντίστροφα.

Ο υπολογισμός των Επιπτώσεων σε επίπεδο χώρας παρουσιάζει διάφορες δυσκολίες (Grigg, 2014; Karavitis et al., 2015, 2014; Vlachos, 1982). Η υπάρχουσα βιβλιογραφία δεν προσφέρει το απαραίτητο πλαίσιο για την ταξινόμηση των οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ξηρασίας. Αντίθετα, υπάρχει πληθώρα εργασιών που καταπίνουν με τις επιπτώσεις στη γεωργία και περιέχουν διάσπαρτες, μόνο, πληροφορίες σχετικά με τις παραπάνω κατηγορίες (Bond et al., 2008; Grigg, 2008; Karavitis et al., 2014; Vlachos and James, 1983; Vlachos, 1982; Wilhite et al., 2007). Τελικά κατέστη δυνατό να συγκεντρωθούν στοιχεία για τη ζήτηση του νερού, τις ύδρευσης, τις υποδομές στους υδατικούς πόρους και τις επιπτώσεις της ξηρασίας για 59 από τις 74 θέσεις (εξαιρέσει τις κορυφές 15). Πιο συγκεκριμένα, από τα από τα σχέδια διαχείρισης των υδατικών πόρων των λεκανών απορροής συλλέχθηκαν δεδομένα που καλύπτουν διαφορετικές χρονικές

περιόδους από το 1982 έως το 2009 και αφορούν στις απώλειες των δικτύων ύδρευσης ανά Υδατικό διαμέρισμα, τον εφοδιασμό ύδατος και το μέσο όρο ζήτησης / κατανάλωσης νερού ανά κάτοικο, κ.λπ. (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f, 2013g, 2013h, 2013i, 2013j, 2013k, 2013l, 2013m, 2013n). Οι μελέτες αυτές παράχθηκαν χρησιμοποιώντας εξειδικευμένα λογισμικά για τις υδρολογικές συνθήκες και τη διαχείριση των υδάτων.



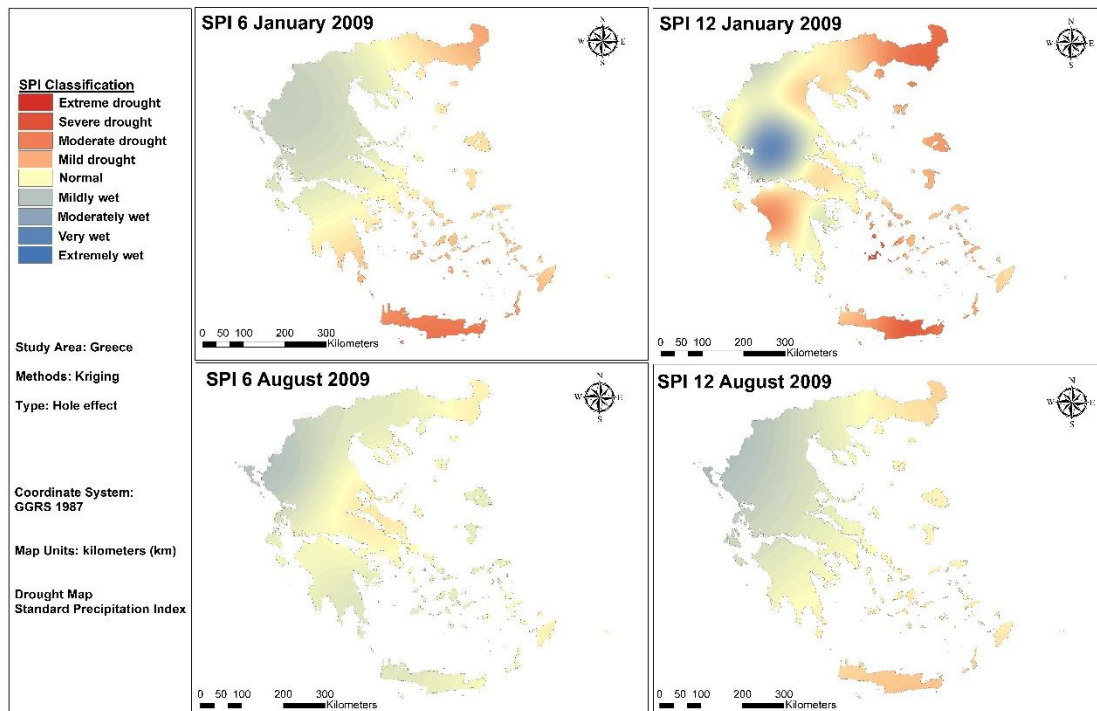
Εικόνα 5. 5. SPI 6 και 12 Ιανουαρίου και Αυγούστου 2007.

Η Υποδομή εκτιμήθηκε με βάση τη διαφορά μεταξύ της σχεδιασμένης και της πραγματικής ικανότητας της χώρας (φράγματα), καθώς και για τις αναφερόμενες συνθήκες λειτουργίας των υποδομών στα υπό μελέτη έτη. Τα δεδομένα αφορούν σε διάφορες χρονικές περιόδους, από το 1964 έως το 2012. Επιπρόσθετα, τα απαραίτητα δεδομένα για τις επιπτώσεις προήλθαν από άρθρα που δημοσιεύτηκαν σε Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης. Στον Πίνακα 5. 1 παρουσιάζεται ένα δείγμα αυτών των το 2007 και στον Πίνακα 5. 2 μέρος των μέτρων αντιμετώπισης.

Πίνακας 5. 1. Επιλεγμένες αναφορές για τις επιπτώσεις της ξηρασίας για το έτος 2007.

Περιοχή	Τύπος αρχείο: μάζα Μέσα ενημέρωσης	Ημερομηνία	Αναφορές για την ξηρασία
Θεσσαλία Κυκλάδες	- Καθημερινή	18/3/2007	Η ξηρασία χτυπά τις Κυκλάδες και την Θεσσαλία
Χίος	Η Αλήθεια	12/4/2007	Επιδότησεις για την ξηρασία
Χίος	Η Αλήθεια	24/4/2007	Η ξηρασία και το προγραμματισμένο μοντέλο ανάπτυξης για την χώρα μας
Ικαρία	www.nikaria.gr	14/5/2007	Ξηρασία στην Ικαρία
Θεσσαλία	Έθνος	17/7/2007	Η Θεσσαλία στο χείλος του εμφυλίου πολέμου για την ξηρασία
Θεσσαλία	Ελευθεροτυπία	23/7/2007	Η ξηρασία "καίει" τον κάμπο της Θεσσαλίας
Κυκλάδες	Καθημερινή	1/8/2007	Εδώ και τώρα έργα ενάντια της ξηρασίας. Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, Κυκλάδες
Κυκλάδες	Καθημερινή	1/8/2007	Εντάθηκε η ξηρασία στις Κυκλάδες
Ελλάδα	Ελευθεροτυπία	9/8/2007	Τι κάνουμε για την ξηρασία σε όριο σε επάρκειας σε όλη τη χώρα
Σάμος	www.samos.gr	29/8/2007	Μέτρα για την ξηρασία





Εικόνα 5. 6. SPI 6 και SPI 12 Ιανουαρίου και Αυγούστου 2009.

Η τιμή του SDVI ανά επιλεγμένη περιοχή και μήνα υπολογίστηκε σύμφωνα με την Εξίσωση 4.11. Έπειτα, οι τιμές που παράχθηκαν ταξινομήθηκαν σε κατηγορίες και, τέλος, έγινε αποτύπωση αυτών σε GIS χρήσει της μεθόδου IDW. Για τις χωρικές εκτιμήσεις του δείκτη επιλέχθηκε η μέθοδος αυτή (IDW) από την μέθοδο Kriging λόγω ότι κρατά ανέπαφες τις αρχικές τιμές και η εκτίμηση των χωρικών τιμών γίνεται μόνο από τις γειτονικές.

Πίνακας 5. 2. Δράσεις αντιμετώπισης της ξηρασίας του 2007.

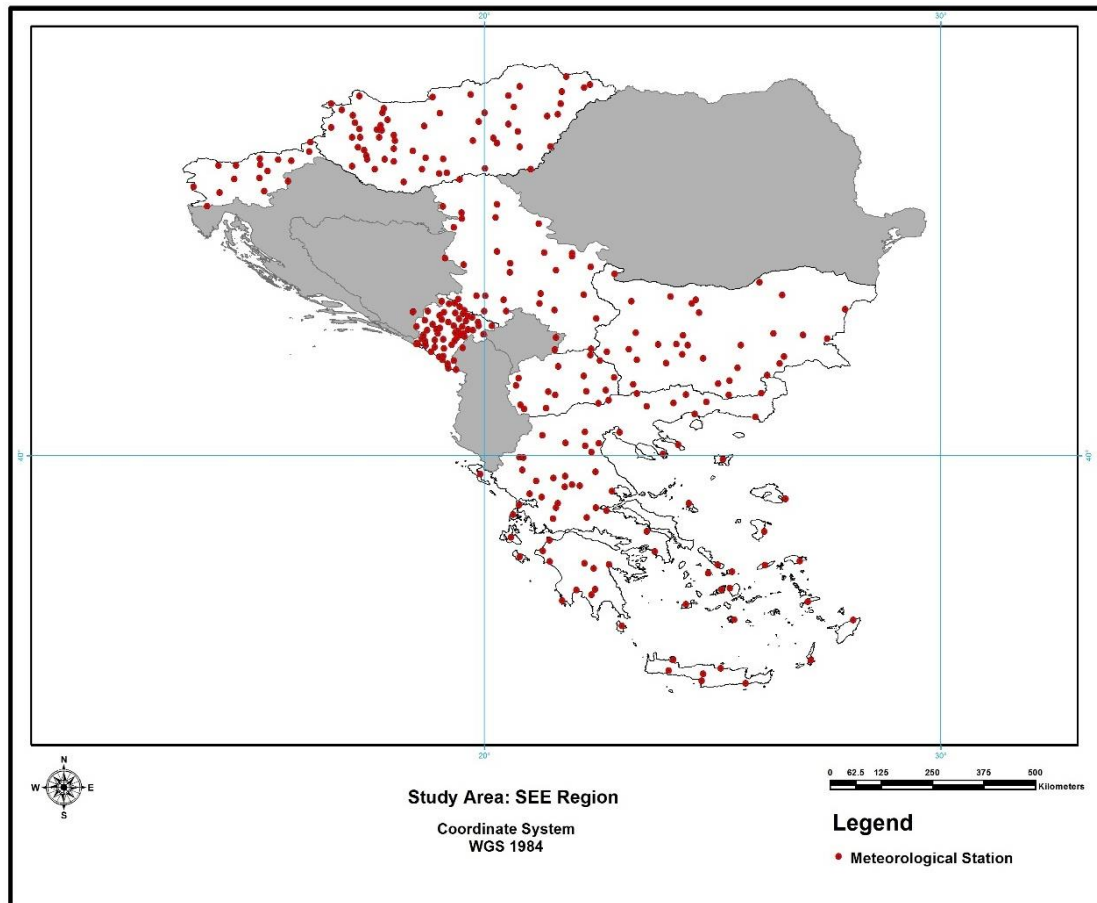
Βελτίωση Εφοδιασμού	Μείωση Ζήτησης	Ελαχιστοποίηση Επιπτώσεων	Υποδομές
Ταμειυτήρες, φράγματα κλπ	Άρδευση σταματά σε περιόδους ξηρασίας.		Προσέγγιση διαχείρισης κρίσεων
Βελτίωση των υφιστάμενων διαδικασιών συντήρησης, διατήρησης, χρήση των υπογείων υδάτων, και μεταφορά νερού με υδροφόρες		Ανακοίνωσε αποζημιώσεων από την Ξηρασία	Ανακοίνωση του διαχειριστικού σχεδίου ξηρασία που δημοσιεύεται το 2008 Ανακοίνωση της δημιουργία εργοστασίων αφαλάτωσης σε διάφορα νησιά
	Ενημέρωσης του κοινού για την εξοικονόμηση νερού, διανομή με δελτίο νερού		Υπάρχοντα φράγματα δεν επαρκούν, η ανακοίνωση κατασκευή νέων φραγμάτων

## 5.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ SDVI<sub>EW</sub> ΣΤΗΝ Ν. Α. ΕΥΡΩΠΗ

Η περιοχή μελέτης στην παρούσα προσπάθεια είναι οι χώρες της Νότιο-Ανατολικής Ευρώπης, οι οποίες περιβάλλονται από θάλασσα και, συγκεκριμένα, από: την Αδριατική και το Ιόνιο Πέλαγος στα δυτικά, το Αιγαίο<sup>3</sup>, τον Ελλήσποντο και την Προποντίδα στα νότια και νοτιοανατολικά, και τη Μαύρη Θάλασσα (Εύξεινος Πόντος) μέσω του Βοσπόρου, η οποία αποτελεί την ανατολική πλευρά. Το συνολικό εμβαδόν τους φθάνει τα 484,140 Km<sup>2</sup>, ο συνολικός πληθυσμός τους 40,087,930 κατοίκους και το ετήσιο Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν εκτιμάται σε 615 δις € (DMCSEE, 2012; EEA, 2012). Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής είναι ορεινό. Συνολικά, στην Αδριατική, στο Ιόνιο και τις ακτές του Αιγαίου το κλίμα είναι μεσογειακό, στις ακτές της Μαύρης Θάλασσας το κλίμα είναι υγρό υποτροπικό και ωκεάνιο, και στην ενδοχώρα είναι υγρό ηπειρωτικό. Στο βόρειο τμήμα και στα βουνά, οι χειμώνες είναι ψυχροί και χιονώδεις, ενώ τα καλοκαίρια είναι ζεστά και ξηρά. Στο νότιο τμήμα οι χειμώνες είναι ηπιότεροι. Κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα, και ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 ετών, οι επιπτώσεις της αυξημένης μεταβλητότητας του κλίματος έγιναν ιδιαίτερα ορατές στη Νότιο-Ανατολική Ευρώπη (κάτι που ισχύει άλλωστε και για τη συντριπτική πλειοψηφία των περιοχών παγκοσμίως), με τη συχνότητα των ξηρασιών και των πλημμυρών να είναι σημαντικά αυξημένα. Επιπλέον, συνυπολογίζοντας τα παραπάνω, ο κίνδυνος της ξηρασίας και η τρωτότητα στην ξηρασία είναι πιθανόν να αυξηθούν στο νότιο τμήμα της Ευρώπης. Το 2003, η Ευρώπη γνώρισε ένα από τα σοβαρότερα κύματα καύσωνα και γεγονότων ξηρασίας από την άποψη των επιπτώσεων. Για αυτόν τον λόγο επιλέχθηκε ο Αύγουστος του 2003 ως το αντιπροσωπευτικό χρονικό πλαίσιο για τη σχετική εκτίμηση της τρωτότητας.

Ο SDVI εφαρμόστηκε σε επτά χώρες της Νότιο-Ανατολικής Ευρώπης: στη Βουλγαρία, την Ελλάδα, την Π.Γ.Δ.Μ., την Ουγγαρία, το Μαυροβούνιο, τη Σερβία και τη Σλοβενία. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των έξι υπο-δεικτών του SDVI ήταν σε ένα μηνιαίο χρονικό βήμα και αναφέρονται στην ενότητα 4.2. Οι θέσεις των σημείων εμφανίζονται στην Εικόνα 5. 7.. Επίσης, δημιουργήθηκαν δυο σενάρια, ένα για υψηλή ζήτηση με αντίστοιχες επιπτώσεις από την ξηρασία και ένα για χαμηλή.





Εικόνα 5. 7. Θέσεις μετεωρολογικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν (Karavitis et al., 2013).

Οι δείκτες SPI 6 και SPI 12 για τον Αύγουστο του 2003 (Εικόνα 5. 8) αποτυπώνουν ακραίες συνθήκες ξηρασίας για τη βόρεια περιοχή της Ν.Α. Ευρώπης σε αντίθεση με τη Νότια που κυριαρχούν υγρές συνθήκες. Τα δεδομένα για τους δείκτες Εφοδιασμός και Ζήτηση συμπεριλαμβάνουν τις απώλειες των δικτύων ανά περιοχή, τον μηνιαία εφοδιασμό του νερού, καθώς και τη μηνιαία ζήτηση. Τα δεδομένα για τον Αύγουστο του 2003 συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια υλοποίησης του έργου DMCSEE από τους αντίστοιχους εταίρους. Η περιγραφή των επιπτώσεων της ξηρασίας παίζει καθοριστικό ρόλο κατά την εκτίμηση της τρωτότητας, δεδομένου ότι αναδεικνύει μέρος από τις παρατηρούμενες συστηματικές αδυναμίες. Εν προκειμένω, οι εταίροι από κάθε συμμετέχουσα χώρα παρείχαν το υλικό αξιολόγησης πηγών πληροφόρησης (επιστημονικές δημοσιεύσεις, ερευνητικά έργα, εφημερίδες, πειράματα πεδίου, κ.λπ.), το οποίο και χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων για τις περιόδους ξηρασίας που καταγράφονται στη Ν.Α. Ευρώπη.



Πίνακας 5. 3. Εκτιμώμενο κόστος ( $\times 10^3$  €) από την ξηρασία στις περιφέρειες της Σλοβενίας (DMCSEE, 2012;(Karavitis et al., 2013).

25580	29252	2938	18578	897	11751	10028	8554	4023	2996	5825	7958	128384
<b>Pomurska</b>	<b>Podravska</b>	<b>Koroška</b>	<b>Savinjska</b>	<b>Zasavska</b>	<b>Spodnje-posavska</b>	<b>JV Slovenija</b>	<b>Osrednje-slovenska</b>	<b>Gorenjska</b>	<b>Notranjo-kraška</b>	<b>Goriška</b>	<b>Obalno-kraška</b>	<b>Σύνολο</b>

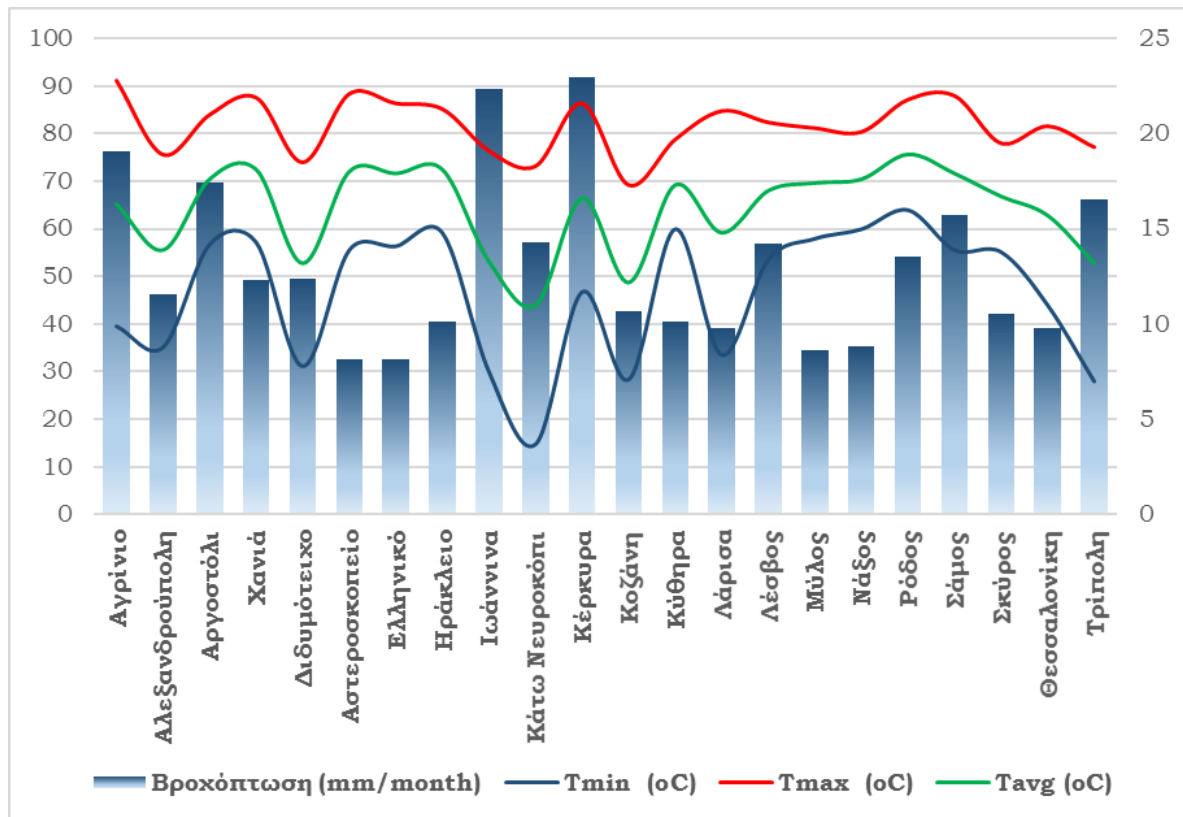
Με βάση τις ανωτέρω εφαρμογές αποδεικνύεται ότι η πρώτη υπόθεση (Κεφ. 3) της παρούσας διδακτορικής διατριβής ισχύει και μπορεί να οδηγήσει στην περαιτέρω αποδοχή και χρήση του δείκτη SDVI.

### 5.3. ΧΩΡΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ SDVI ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Ο SDVI υπολογίστηκε για τον ελλαδικό χώρο για τη χρονική περίοδο από τον Οκτώβριο του 1983 μέχρι το Σεπτέμβριο του 1996. Οι υπο-δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό ήταν ο cSPI 6, ο cSPI 12, η Ζήτηση, ο Εφοδιασμός, οι Επιπτώσεις και οι Υποδομές. Η περίοδος αυτή επιλέχθηκε λόγω της αύξησης της αγροτικής εκμετάλλευσης, καθώς και λόγω των ξηρασιών που εμφανίστηκαν μεταξύ 1989 και 1993.

#### 5.3.1. Υπολογισμός των cSPI6 & cSPI12

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη προέρχονται από 22 μετεωρολογικούς σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (21) και του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (1). Οι χρονοσειρές των δεδομένων των μετεωρολογικών σταθμών δεν παρουσίασαν προβλήματα δεν υπάρχουν προβλήματα στις χρονοσειρές. Χάρινομοιομορφίας των δεδομένων επιλέχθηκε κοινή χρονοσειρά 01/1970 – 12/2000 (30 έτη για τον SPI) και λήφθηκαν υπόψη οι τιμές για το διάστημα 10/1971 – 09/1996.



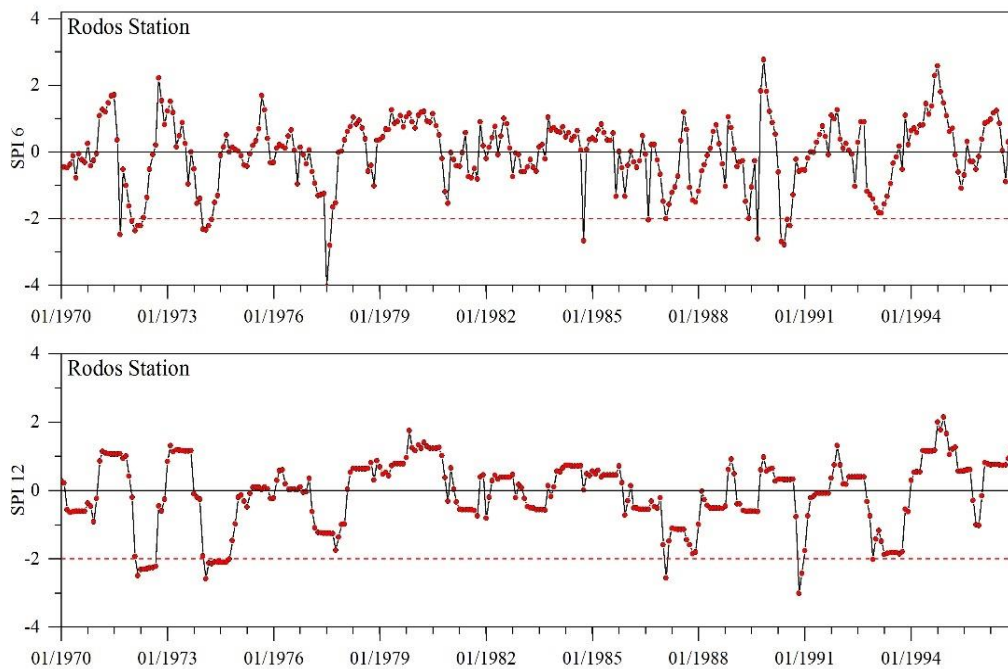
Διάγραμμα 5. 1. Μηνιαία κλιματικά δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας.

Πίνακας 5. 4. Μηνιαίες τιμές για τις παραμέτρους θερμοκρασίας (μέση, μέγιστη & ελάχιστη) και βροχόπτωσης (1970 – 1996).

α/α	Σταθμός	Υψόμετρο m	T <sub>min</sub> °C	T <sub>max</sub> °C	T <sub>avg</sub> °C	Βροχόπτωση mm
1	Αγρίνιο	25	9.9	22.8	16.3	76.3
2	Αλεξανδρούπολη	3	8.8	18.9	13.9	46.3
3	Αργοστόλι	25	14.2	21.0	17.6	69.6
4	Χανιά	62	14.3	21.9	18.1	49.1
5	Διδυμότειχο	91	7.8	18.5	13.2	49.6
6	Αστεροσκοπείο	107	13.9	22.1	18.0	32.6
7	Ελληνικό	62	14.1	21.6	17.9	32.6
8	Ηράκλειο	39	14.8	21.3	18.1	40.4
9	Ιωάννινα	484	7.5	19.1	13.3	89.4

10	Κάτω Νευροκόπι	652	3.7	18.3	11.0	57.1
11	Κέρκυρα	4	11.7	21.6	16.6	91.9
12	Κοζάνη	626	7.1	17.3	12.2	42.8
13	Κύθηρα	167	15.0	19.7	17.3	40.4
15	Λάρισα	74	8.4	21.2	14.8	39.0
15	Λέσβος	5	13.4	20.6	17.0	56.9
16	Μύλος	7	14.5	20.3	17.4	34.6
17	Νάξος	10	15.0	20.1	17.6	35.3
18	Ρόδος	11	16.0	21.8	18.9	54.2
19	Σάμος	6	13.9	22.0	17.9	62.8
20	Σκύρος	18	13.8	19.5	16.7	42.1
21	Θεσσαλονίκη	32	11.0	20.4	15.7	39.1
22	Τρίπολη	652	7.0	19.3	13.2	66.1

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για να υπολογιστεί ο SPI λήφθηκε από το Κέντρο Διαχείρισης της Ξηρασίας για τη Νότιο-Ανατολική Ευρώπη (DMCSEE, 2009), έπειτα από τον υπολογισμό των SPI για την χρονική κλίμακα των 6 και 12 μηνών. Οι cSPI 6 και cSPI 12 δημιουργήθηκαν από τους αντίστοιχους SPI, και για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιήθηκαν μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης (Πίνακας 5. 4). Στη συνέχεια, έγινε αναγωγή από μηνιαίο βήμα σε βήμα δύο περιόδων. Για τον πρώτο υπο-δείκτη, εξήχθη ο μέσος όρος κάθε έτους υπολογίζοντας τους μήνες Ιούνιο και Δεκέμβριο. Δεν χρησιμοποιήθηκαν όλοι οι μήνες, ώστε να μην υπάρχουν επικαλύψεις. Αντίστοιχα, για τον δεύτερο υπο-δείκτη χρησιμοποιήθηκε μόνο ο Δεκέμβριος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των υπο-δεικτών, η τρωτότητα είναι υψηλή (High Vulnerable) για αυτήν την περίοδο. Για παράδειγμα, η βροχόπτωση μειώθηκε κατά 30.5% στο Διδυμότειχο, 31.7% στη Σκύρο και 11.3% στην Κοζάνη. Επιπροσθέτως, η χειρότερη ξηρασία που έχει σημειωθεί στην Ελλάδα ήταν αυτή του 1989 - 1990. Άξιο αναφοράς είναι ότι τον Οκτώβριο του 1990 η Αθήνα ήταν ανοχύρωτη στην απειλή της ανομβρίας, καθώς τα αποθέματα που υπήρχαν μπορούσαν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες για πενήντα έξι ημέρες μόνο (Karavitis, 1999, 1998).



Διάγραμμα 5. 2. Υπολογισμός των SPI6 & SPI12 για τον σταθμό της Ρόδου.

### 5.3.2. Υπολογισμός του Εφοδιασμού και της Ζήτησης

Οι υπο-δείκτες Εφοδιασμός (Supply) και Ζήτηση (Demand) υπολογίστηκαν βάσει των αποτελεσμάτων από το λογισμικό AgroHydroLogos (Soulis and Dercas, 2007, 2010; Soulis et al., 2016; Σούλης, 2009). Η προσομοίωση αυτή πραγματοποιήθηκε για το χρονικό διάστημα από τον Οκτώβριο του 1970 έως τον Σεπτέμβριο του 1996. Τα αποτελέσματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν από το επόμενο έτος και η χρονική περίοδος που εξετάστηκε για τους δείκτες του Εφοδιασμού ήταν από τον Οκτώβριο του 1983 έως το Σεπτέμβριο του 1996 σε σύγκριση με την περίοδο κατά την οποία «έτρεξε» το μοντέλο. Το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) ήταν προγραμματισμένο να περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα δεδομένα και τις μεθόδους για την εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου και την αυτοματοποιημένη εκτίμηση των υδρολογικών παραμέτρων, την περιβαλλοντική ευαισθησία και τη διαθεσιμότητα των συνδέσεων με το ψηφιακό υπόβαθρο. Μια σύντομη περιγραφή των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εφαρμογή παρουσιάζεται παρακάτω.

Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) που χρησιμοποιήθηκε προέρχεται από τα δεδομένα Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (Jarvis et al., 2008). Η χωρική ανάλυση του αρχικού DEM που χρησιμοποιήθηκε στη διαδικασία της διόδευσης της απορροής είναι 85 m \* 85 m. Χρησιμοποιήθηκε και μια δεύτερη έκδοση με χωρική ανάλυση 300 m \* 300 m, η οποία χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του υδρολογικού ισοζυγίου. Με αυτόν τον τρόπο, το

δίκτυο αποστράγγισης της περιοχής μελέτης περιγράφεται με επαρκείς λεπτομέρειες, ενώ οι υπολογιστικές απαιτήσεις του μοντέλου ήταν περιορισμένες. Για τα δύο ψηφιακά υπόβαθρα εδάφους DEM ακολουθήθηκε η συνήθης ανάλυση αναγλύφου στο GIS για τις υδρολογικές εφαρμογές, η οποία περιλαμβάνει την επεξεργασία του DEM όσον αφορά διόρθωση σημείων, υπολογισμό της κατεύθυνσης της απορροής και της αθροιστικής απορροής. Τα εδαφολογικά δεδομένα προήλθαν από την ευρωπαϊκή βάση δεδομένων του εδάφους (Panagos et al., 2012).

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και τις εδαφολογικές συναρτήσεις, που προέρχονται από την ίδια βάση δεδομένων, δημιουργήθηκε χάρτης (layer) με την ικανότητα συγκράτησης του διαθέσιμου νερού (AWHC) στο έδαφος. Τα δεδομένα κάλυψης γης προήλθαν από το CORINE 1990. Ο χάρτης δεδομένων φυτοκάλυψης χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με τη βάση δεδομένων του υδρολογικού μοντέλου για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και των παραμέτρων απορροής. Τέλος, δημιουργήθηκαν χάρτες με τα δεδομένα που περιέχουν τις θέσεις των διαθέσιμων μετεωρολογικών σταθμών και τις μετρούμενες μετεωρολογικές παραμέτρους. Συγκεκριμένα, σε αυτήν την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν 22 μετεωρολογικοί σταθμοί κατανεμημένοι κατά μήκος της περιοχής μελέτης. Τα διαθέσιμα στοιχεία ήταν το ύψος βροχόπτωσης, η ελάχιστη, η μέγιστη και η μέση θερμοκρασία σε μηνιαία κλίμακα για τα έτη 1970-1996.

Επίσης, πληροφορίες σχετικά με τις περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές (περιοχές του δικτύου Natura 2000, εθνικά πάρκα, αρχαιολογικούς χώρους, και άλλες προστατευόμενες περιοχές) προήλθαν από την ελληνική δημόσια ανοικτή υπηρεσία GeoData (<http://geodata.gov.gr/>). Από το μοντέλο προσομοίωσης του υδρολογικού μοντέλου προέκυψαν η μηνιαία και η ετήσια μέση απορροή σε κάθε σημείο του ελλαδικού χώρου. Το μοντέλο λειτουργεί ως προέκταση της εφαρμογής ESRI ArcGIS, προκειμένου να εκτιμήσει χωρικά το υδρολογικό ισοζύγιο, και ταυτόχρονα να γίνει χρήση των προηγμένων δυνατοτήτων του ArcGIS στη διαχείριση, επεξεργασία, ανάλυση και οπτικοποίηση γεωγραφικών δεδομένων. Το μοντέλο υπολογίζει σε μηνιαία βάση την υγρασία του εδάφους, την άμεση απορροή, τη βαθιά διήθηση, την πραγματική εξατμισοδιαπνοή και τη βασική απορροή. Επιπλέον, μπορεί να υπολογίσει άλλες σημαντικές παραμέτρους, συμπεριλαμβανομένης της υδατοκαταπόνησης των φυτών και των αναγκών σε νερό άρδευσης (ζήτηση). Το υδρολογικό μοντέλο είναι απλό και ευέλικτο, καθώς το εννοιολογικό σύστημά του βασίστηκε σε απλοποιημένη μέθοδο, αλλά με καλώς καθιερωμένες μεθόδους για την προσομοίωση των διαφόρων υδρολογικών διεργασιών.

Οι κύριοι λόγοι για την επιλογή του μοντέλου προσομοίωσης AgroHydroLogic σε αυτήν τη μελέτη είναι οι εξής:

- Έλλειψη δεδομένων για τον εφοδιασμό των υδάτων και την πραγματική ζήτηση σε μηνιαίο ή ετήσιο χρονικό βήμα.
- Οι τιμές απορροής εκτιμώνται σε κάθε σημείο του δικτύου για κάθε χρονικό βήμα. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατόν να εκτιμηθεί η απαιτούμενη μηνιαία και ετήσια τιμή απορροής (φυσικός εφοδιασμός) σε θέσεις που δεν είναι γνωστές.
- Προσφέρει μεγαλύτερη διορατικότητα και, ταυτόχρονα, ευελιξία στην προσαρμογή του μοντέλου με τις ειδικές απαιτήσεις της παρούσας εφαρμογής.
- Το μοντέλο έχει ήδη εφαρμοστεί και δοκιμαστεί στις ελληνικές συνθήκες και αυτό καθιστά δυνατή την εφαρμογή του σε μια τεράστια περιοχή κάτω από τις μεγάλες διαφοροποιήσεις του ελληνικού ανάγλυφου.
- Το μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των δεδομένων εισόδου- συγκεκριμένα έγινε εφαρμογή με μηνιαίες τιμές.

Το μοντέλο εφαρμόστηκε για περίοδο 26 ετών και σε μηνιαία χρονική κλίμακα, από τον Οκτώβριο του 1970 μέχρι τον Σεπτέμβριο του 1996, και επέτρεψε την εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου σε όλη την Ελλάδα (σε εθνική κλίμακα, περιοχή  $\approx 131,940 \text{ Km}^2$ ). Η μηνιαία χρονική κλίμακα επιλέχθηκε λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας των καθημερινών μετεωρολογικών δεδομένων.

Στην περίπτωση αυτή, η εκτίμηση των συνιστωσών του υδατικού ισοζυγίου βασίζεται στο μοντέλο Thornthwaite-Mather (1957), το οποίο αποτελείται από την αποθήκευση του νερού στο έδαφος και στα υπόγεια ύδατα. Έτσι έχει μόνο δύο παραμέτρους, την ικανότητα συγκράτησης του διαθέσιμου νερού στο έδαφος σε κάθε κελί του πλέγματος ( $AWC_{i,j}$ ) και μία παράμετρο διατήρησης ( $AC$ ). Σε κάθε χρονικό βήμα και κάθε κελί του δικτύου, δίνεται το ύψος βροχής  $P_{t,i,j}$ , η δυναμική εξατμισοδιαπνοή  $ET_p_{t,i,j}$ , στο τρέχον χρονικό βήμα, καθώς και το βάθος αποθήκευσης νερού στο έδαφος  $St_{-1,i,j}$  και η επιφανειακή απορροή  $Qt_{-1,i,j}$ , στο προηγούμενο χρονικό βήμα και, τελικά, το πραγματικό ύψος εξατμισοδιαπνοής  $ET_a_{t,i,j}$ , η επιφανειακή απορροή  $Qt_{t,i,j}$ , το βάθος του εδάφους επαναπλήρωσης του νερού  $Q_{gw_{t,i,j}}$ , και το βάθος αποθήκευσης νερού του εδάφους  $St_{t,i,j}$  στην τρέχουσα χρονική βαθμίδα υπολογίζονται ως εξής:



$$\left. \begin{aligned}
 S_{t,i,j} &= S_{t-1,i,j} + P_{t,i,j} - ET_{pt,i,j} \\
 ET_{at,i,j} &= ET_{pt,i,j} \\
 Q_{temp t,i,j} &= S_{t,i,j} - AWC_{i,j} \\
 Q_{t,i,j} &= a_c (Q_{t-1,i,j} + Q_{temp t,i,j}) \\
 S_{t,i,j} &= AWC_{i,j} \\
 Q_{gw t,i,j} &= Q_{temp t,i,j} - Q_{t,i,j}
 \end{aligned} \right\} \text{if } P_{t,i,j} \geq ET_{pt,i,j}$$

$$\left. \begin{aligned}
 S_{t,i,j} &= S_{t-1,i,j} - e^{\frac{P_{t,i,j} - ET_{pt,i,j}}{AWC_{i,j}}} \\
 ET_{at,i,j} &= P_{t,i,j} + S_{t-1,i,j} - S_{t,i,j} \\
 Q_{t,i,j} &= 0
 \end{aligned} \right\} \text{if } P_{t,i,j} < ET_{pt,i,j}$$
(5.1)

Ο δείκτης  $t$  ορίζει το τρέχον χρονικό βήμα και οι δείκτες  $i, j$  ορίζουν το τρέχον κελί του κάναβου.

Το  $ET_p$  υπολογίζεται ως συνάρτηση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς ( $ET_o$ ) και των χαρακτηριστικών της φυτοκάλυψης χρησιμοποιώντας τους διάφορους φυτικούς συντελεστές ( $K_c$ ) ως εξής (Allen et al., 1998):

$$ET_p = ET_o * K_c \quad (5.2)$$

Οι τιμές του  $K_c$  προσδιορίζονται για κάθε κελί και κάθε μήνα, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της βλάστησης του κάθε κελιού, βάσει της φυτοκάλυψης του μοντέλου, το οποίο περιέχει πληροφορίες για τις διάφορες καλλιέργειες. Η  $ET_o$  υπολογίζεται με τη μέθοδο Hargreaves λόγω των διαθέσιμων δεδομένων (Hargreaves and Samani, 1985).

Η βασική απορροή προσομοιώνεται από την εκθετική εξίσωση (Arnold et al., 1993).

$$\begin{aligned}
 Q_{bt,i,j} &= Q_{b,t-1,i,j} e^{(-a_b)} + Q_{gw t,i,j} (1 - e^{(-a_b)}) & \text{if } aq > aq_q \\
 Q_{bt,i,j} &= 0 & \text{if } aq \leq aq_q
 \end{aligned} \quad (5.4)$$

, όπου  $Q_{bt,i,j}$  είναι η βασική απορροή για το τρέχον χρονικό βήμα,  $Q_{b,t-1,i,j}$  είναι η βασική απορροή στο προηγούμενο χρονικό βήμα,  $a_b$  είναι η μείωση της βασικής απορροής,  $Q_{gw t,i,j}$  είναι ο εμπλουτισμός του υδροφορέα στο τρέχον χρονικό βήμα,  $aq$  είναι το νερό που αποθηκεύεται στον υδροφορέα στο τρέχον χρονικό βήμα, και  $aq_q$  είναι το όριο του αποθηκευμένου νερού, κάτω από το οποίο δεν υπάρχει βασική απορροή.

Στα μεγάλα υψόμετρα, οι αποθήκες χιονιού και τα χιόνια που λιώνουν προσδιορίζονται με βάση τη θερμοκρασία του αέρα (Hock, 2003). Το λιώσιμο του χιονιού προστίθεται στο ύψος βροχόπτωσης κατά τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου, ενώ η συσσώρευση χιονιού

αφαιρείται. Αντίστοιχα, η μηνιαία αθροιστική απορροή υπολογίζεται για κάθε κελί του δικτύου του υδατορεύματος, για κάθε χρονικό βήμα, με την προσθήκη των αθροίσεων της επιφανειακής απορροής για αυτό το χρονικό διάστημα με την αθροιστική βασική απορροή.

Η Ελλάδα διαθέτει πολύ έντονο ανάγλυφο, με αποτέλεσμα να παρατηρείται μεγάλη χωρική μεταβλητότητα κυρίως στην βροχόπτωση, αλλά και τη θερμοκρασία. Επιπλέον, δεν υπάρχουν διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα για ορεινές περιοχές με απότομο ανάγλυφο και πολλά νησιά ενώ, αντίθετα, υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα από περιοχές με χαμηλό υψόμετρο, αλλά κυρίως από τα αεροδρόμια της χώρας. Ως εκ τούτου, οι πληροφορίες αυτές δεν αντανακλούν τις χωρικές μεταβολές του κλίματος, καθώς επηρεάζονται από την τοπογραφία και τη γεωγραφική έκθεση. Η προσέγγιση που χρησιμοποιείται στην παρούσα εφαρμογή, προκειμένου να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα είναι η χρήση της IDW. Τέλος, το πρώτο έτος δεν λήφθηκε υπόψη στη διαδικασία προσομοίωσης καθώς θεωρήθηκε ως προπαρασκευαστικό ούτως ώστε να απεικονιστεί η υγρασία του εδάφους σε χωρική κατανομή.

Λόγω της πολύ περιορισμένης διαθεσιμότητας αξιόπιστων υδρολογικών δεδομένων και την τεράστια περιοχή μελέτης, η λεπτομερής βαθμονόμηση και επικύρωση των αποτελεσμάτων από το υδρολογικό μοντέλο δεν ήταν εφικτές. Ωστόσο, το μοντέλο έχει ήδη δοκιμαστεί με επιτυχία για συγκεκριμένες περιοχές της Ελλάδας (Karavitis and Kerkides, 2002; Soulis et al., 2016; Soulis and Dercas, 2010). Επιπλέον, οι κύριες παράμετροι βαθμονόμησης του μοντέλου προσαρμόστηκαν σύμφωνα με μια προσέγγιση δοκιμής και λάθους με τη χρήση των πληροφοριών και υδρομετεωρολογικών δεδομένων στο Παράρτημα III. Τα αποτελέσματα της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας επικυρώθηκαν συγκρίνοντας τις εκτιμώμενες μέσες μηνιαίες τιμές απορροής με τις αντίστοιχες παρατηρούμενες μέσες μηνιαίες τιμές απορροής σε 17 διαφορετικές τοποθεσίες από εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν για την προσαρμογή των παραμέτρων βαθμονόμησης- οι θέσεις παρουσιάζονται στην Εικόνα 5. 9 και στον Πίνακα 5. 4.

Η απόδοση του μοντέλου αξιολογήθηκε στατιστικά με βάση τον δείκτη Nash-Sutcliffe (NSE), τον δείκτη NSE με λογαριθμική τιμές (lnNSE) και τον δείκτη Percent Bias (PBIAS). Οι NSE, και lnNSE έχουν εύρος μεταξύ  $-\infty$  και +1, με τις οι τιμές κοντά στο 1 να δείχνουν καλύτερη απόδοση στο μοντέλο. Ο PBIAS είναι ένας δείκτης που δείχνει εάν υπάρχει υποεκτίμηση ή υπερεκτίμηση- οι τιμές που βρίσκονται κοντά στο 0 δείχνουν καλύτερη απόδοση του μοντέλου. Τα αποτελέσματα του μοντέλου θεωρούνται ικανοποιητικά αν οι δείκτες NSE και lnNSE είναι μεγαλύτεροι από το 0.5 και ο PBIAS κυμαίνεται στο  $\pm 25\%$  (Moriasi et al., 2007;

Rahman et al., 2013). Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5. 5, τα αποτελέσματα του μοντέλου είναι ικανοποιητικά στις περισσότερες από τις θέσεις σύγκρισης (Morigasi et al., 2007; Rahman et al., 2013). Τιμές του NSE κάτω από 0.5 παρατηρήθηκαν σε 4 περιπτώσεις, ενώ τιμές του LnNSE κάτω από 0.5 παρατηρήθηκαν μόνο σε 2 περιπτώσεις. Χαμηλές επιδόσεις του μοντέλου σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μπορούν να αποδοθούν σε ειδικά χαρακτηριστικά των αντίστοιχων λεκανών απορροής. Για παράδειγμα, η υποεκτίμηση της απορροής στη λεκάνη απορροής του Λούρου μπορεί να αποδοθεί στην παρουσία ενός εκτεταμένου καρστικού σχηματισμού. Τέλος, το διάγραμμα διασποράς μεταξύ των παρατηρούμενων έναντι των προβλεπόμενων μέσω μηνιαίων τιμών απορροής από όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις απεικονίζεται στην Εικόνα 5. 10. Συσχέτιση μετρούμενης με την προβλεπόμενη μέση μηνιαία απορροής (τιμές όλων των εξεταζόμενων περιπτώσεων). Όπως είναι εμφανές, η συνολική απόδοση του μοντέλου είναι ικανοποιητική ( $R^2 = 0.87$ , slope = 1.09). Οι θέσεις των μετεωρολογικών και των υδρομετρικών σταθμών εμφανίζονται στην Εικόνα 5. 9.

Πίνακας 5. 5. Στατιστικοί δείκτες των εκτιμώμενων με των μετρούμενων τιμών

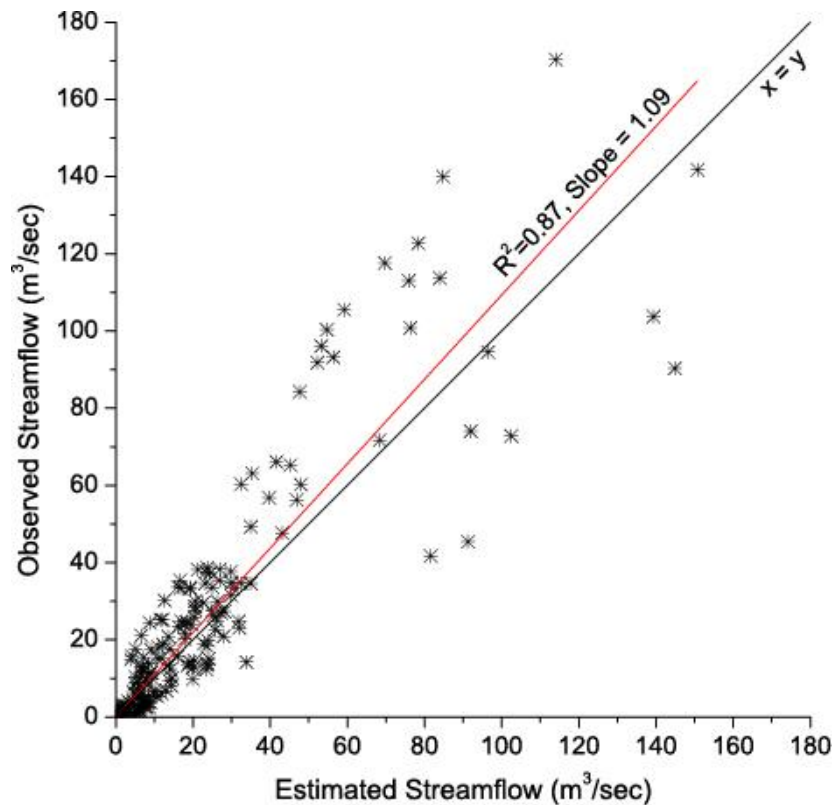
ID	Υδρομετρικός	Έκταση Λεκάνης (km <sup>2</sup> )	NSE	Logarithmic NSE	PBIAS (%)
1	Πεντέλη, Αττική	8	0.59	0.80	21.25
2	Αλφειός, Μεσοχώρα	549	0.52	0.75	-24.68
3	Αραπίτσα, Νάουσα	129	0.61	0.66	-12.76
4	Φανερωμένη, Νάξος	9	0.72	0.80	14.30
5	Πηνειός, Θεσσαλία	10,776	0.65	0.82	9.28
6	Εύηνος	1,083	0.82	0.82	-11.45
7	Μόρνος	920	0.79	0.86	-0.48
8	Βενέτικος, Γρεβενά	817	0.78	0.72	-4.64
9	Λάδωνας	750	0.63	0.50	-22.09
10	Λούρος	520	-1.97	-6.88	-52.08
11	Αλιάκμονας	5,005	0.58	0.78	4.74
12	Άραχθος	1,820	0.58	0.84	-27.08
13	Βουραϊκός	184	0.67	0.70	10.58
14	Σελινούντας	320	-2.28	0.51	79.13
15	Πηνειός, Ηλεία	725	0.74	0.60	-1.67
16	Αωός	1,520	0.38	0.67	-39.11
17	Αγγίτης	1,866	-0.32	-0.56	-16.89



Εικόνα 5. 9. Χάρτης της περιοχής μελέτης που απεικονίζει τις σχετικές θέσεις των μετεωρολογικών και των υδρομετρικών σταθμών.

Στο χάρτη (α) της Εικόνα 5. 11 απεικονίζεται η μέση ετήσια βροχόπτωση των 25 ετών. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, υπάρχει μια τεράστια χωρική μεταβλητότητα της ετήσιας κατακρήμνισης που κυμαίνεται από πάνω από 2.000 mm/year στη βορειοδυτική πλευρά και αρκετά κάτω από 500 mm/year στο κεντρικό Αιγαίο. Αυτή η τεράστια χωρική μεταβλητότητα, η οποία έρχεται σε αντίθεση με το σχετικά μικρό μέγεθος της χώρας, μπορεί να αποδοθεί στο απότομο ανάγλυφό της, συμπεριλαμβανομένης της οροσειράς της Πίνδου με κατεύθυνση Βορρά-Νότου που διαιρεί την ηπειρωτική Ελλάδα, αλλά επηρεάζει και τις νησιωτικές περιοχές (κυρίως την περιοχή των Κυκλάδων). Επίσης, στους χάρτες (b, c) εμφανίζεται, αντίστοιχα, η μέση ετήσια εξατμοδιαπνοή αναφοράς ( $ET_0$ ) και η πραγματική εξατμοδιαπνοή ( $ET_a$ ). Είναι ενδιαφέρον ότι οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλές

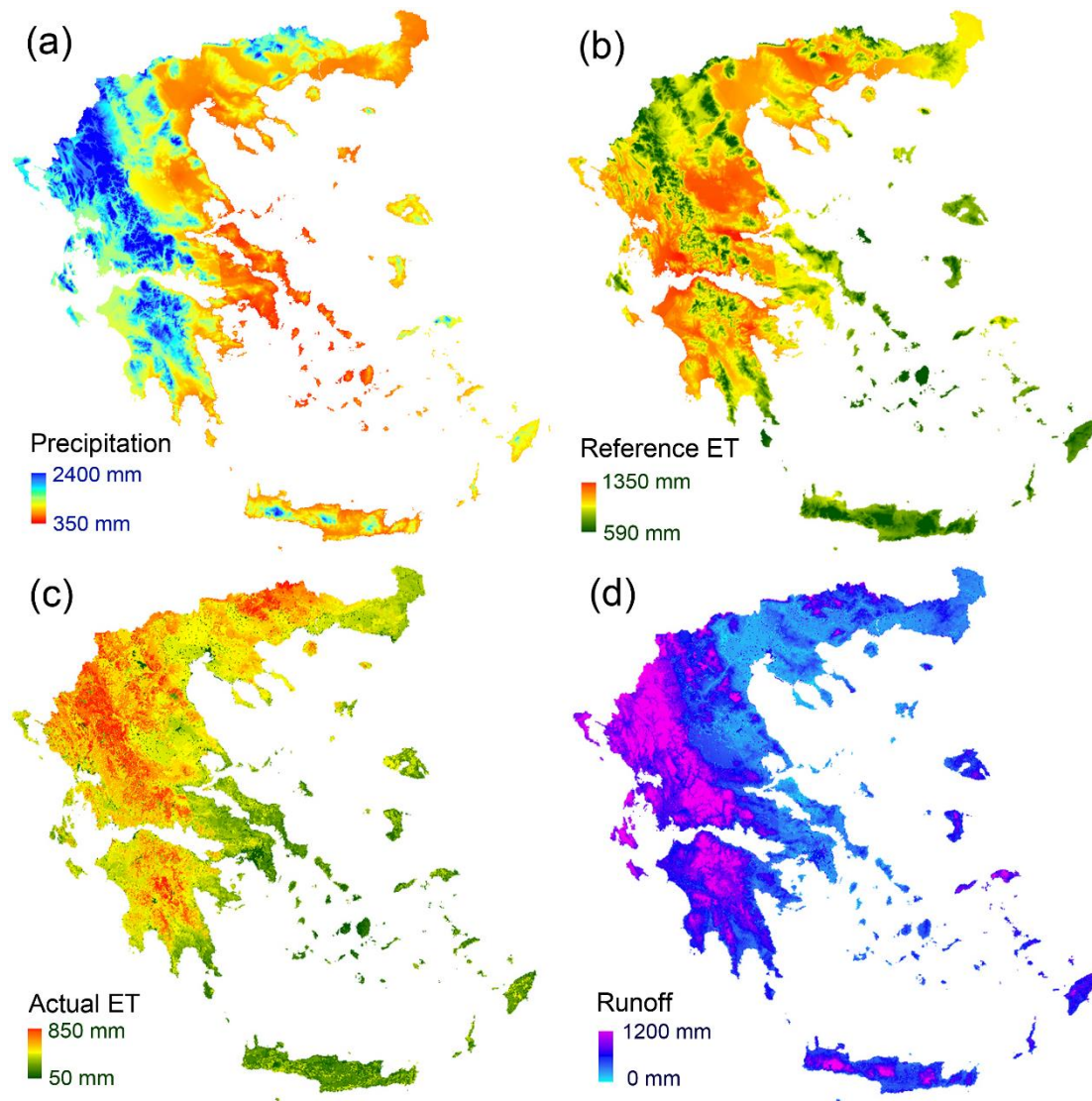
τιμές βάθους διήθησης χαρακτηρίζονται ταυτόχρονα από χαμηλή πραγματική εξατμισοδιαπνοή. Αυτό συμβαίνει επειδή στις ξηρές περιοχές η διαθέσιμη υγρασία του εδάφους σε συνδυασμό με την ικανότητα συγκράτησης του νερού του εδάφους, που σχετίζονται με το βάθος της διήθησης, αποτελούν τις κύριες παραμέτρους που επηρεάζουν την πραγματική εξατμισοδιαπνοή. Η μέση ετήσια απορροή των 25 χρόνων απεικονίζεται στο χάρτη (d). Είναι εμφανές ότι η απορροή είναι κυρίως συνάρτηση της βροχόπτωσης, των χαρακτηριστικών του εδάφους και της φυτοκάλυψης.



Εικόνα 5. 10. Συσχέτιση μετρούμενης με την προβλεπόμενη μέση μηνιαία απορροής (τιμές όλων των εξεταζόμενων περιπτώσεων).

Όλες οι συσχετίσεις των μετρούμενων, σε σχέση με τις θεκτιμώμενες, τιμές για τις 17 θέσεις που εξετάστηκαν εμφανίζονται στο Παράρτημα III.





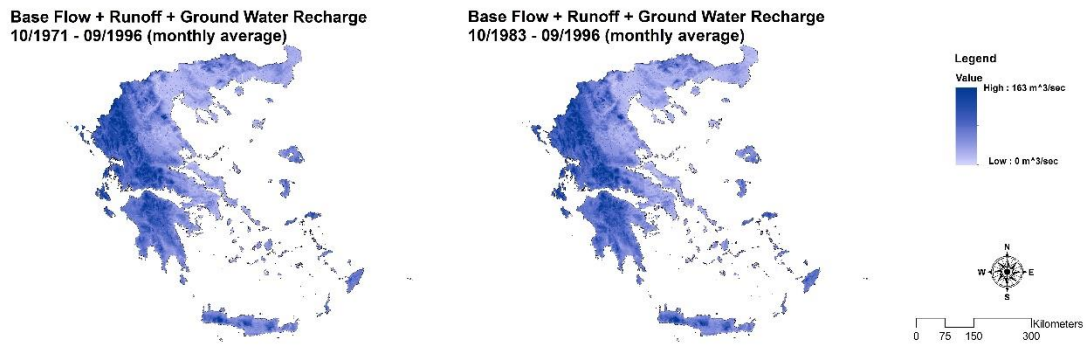
Εικόνα 5. 11. Μέσος όρος ετήσιας βροχόπτωσης, μέσης θερμοκρασίας, εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και απορροής στην Ελλάδα (1971 - 1996).

Για να υπολογιστεί ο υπο-δείκτης Εφοδιασμός εφαρμόστηκαν οι παρακάτω σχέσεις 5.7 & 5.8. Ο υπολογισμός για όλη την Ελλάδα έγινε σύμφωνα με τη σχέση 5.7 ενώ η σχέση 5.8 εφαρμόστηκε για τους υπόγειους υδροφορείς. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στην Εικόνα 5. 12.

$$\text{Supply Indicator} = \frac{\overline{(\text{StreamFlow})} - (\text{StreamFlow}_i)}{(\text{StreamFlow})}, \quad (5.7)$$

και

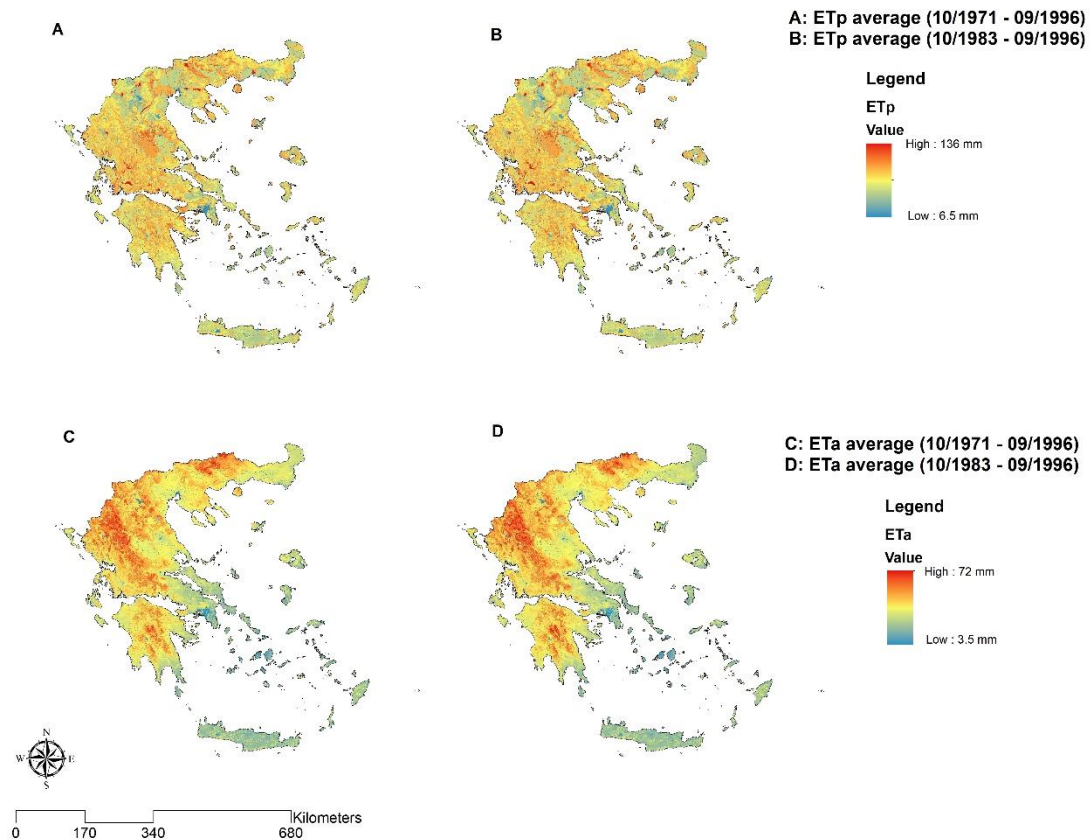
$$\text{Supply Indicator} = \frac{\overline{(\text{GroundWaterRecharge})} - (\text{GroundWaterRecharge}_i)}{(\text{GroundWaterRecharge})}, \quad (5.8)$$



Εικόνα 5. 12. Χάρτες για τον Εφοδιασμό του ύδατος.

Ο υπολογισμός της Ζήτησης εξήχθη από την αφαίρεση της δυνητικής από την πραγματική εξατμισοδιαπνοή ( $ET_p - ET_a$ ), όπως υπολογίστηκαν από το μοντέλο, ενώ για τις άλλες ανάγκες (ύδρευση και βιομηχανία) δεν υπήρχαν διαφοροποιήσεις. Ο υπο-δείκτης Εφοδιασμός εμφανίζεται να είναι στην κλάση “Vulnerable” στο μεγαλύτερο μέρος της χωρική τους επιφάνειας, ενώ περιοχές όπως η Νότια Πελοπόννησος και η Κεντρική Μακεδονία δεν εμφανίζουν κάποιο πρόβλημα. Αντίθετα, η περιοχή του Έβρου και η Βόρεια Εύβοια βρίσκονται στην κλάση “Highly Vulnerable”. Παρόμοια συμπεριφορά δείχνει και η Ζήτηση, που βρίσκεται στην κλάση “Vulnerable”, εκτός από τις περιοχές της Ανατολικής Μακεδονίας που είναι στην κλάση “Highly Vulnerable”.

$$\text{Demand Indicator} = \frac{(\overline{ET_p} - \overline{ET_a}) - (ET_{p_i} - ET_{a_i})}{(\overline{ET_p} - \overline{ET_a})} \quad (5.9)$$

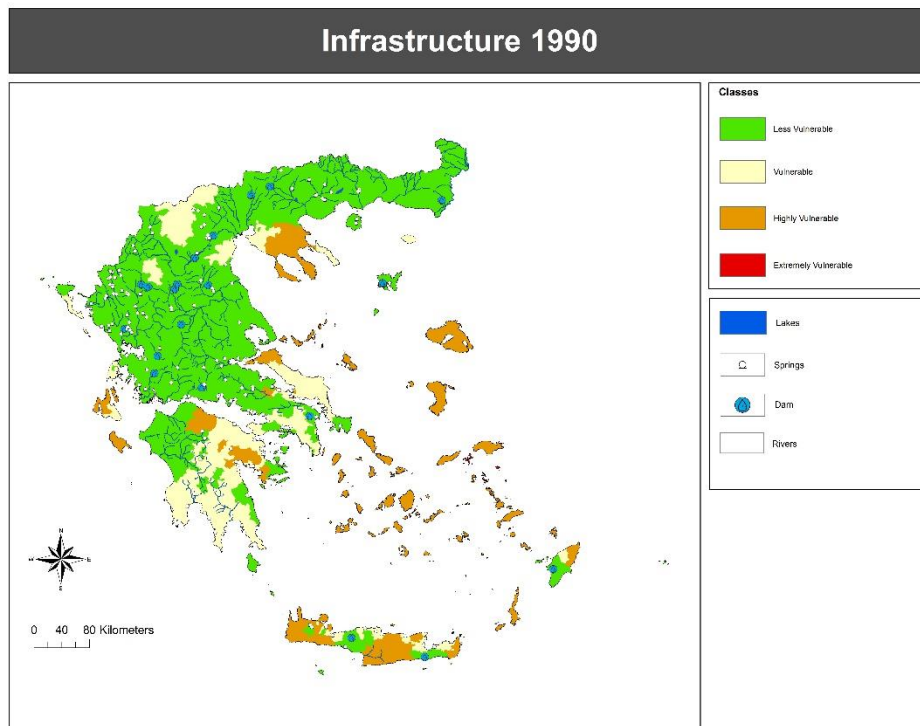


Εικόνα 5. 13. Χάρτες πραγματικής και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής.

### 5.3.3. Υπολογισμός των Υποδομών

Στον Χάρτη F της Εικόνας 5. 15 εμφανίζεται η τρωτότητα για τις υποδομές όσον αφορά τους υδατικούς πόρους. Το πρώτο φράγμα κατασκευάστηκε στην Ελλάδα το 1929 και, συγκεκριμένα, στον Μαραθώνα με ύψος φράγματος 54m, μήκος στέψης 285m, μέγιστη χωρητικότητα ταμιευτήρα  $41 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  και χρησιμοποιήθηκε για να καλύψει κυρίως τις υδρευτικές ανάγκες της Αττικής που τότε είχε πληθυσμό γύρω στους 620,000 κατοίκους, συμπεριλαμβανομένης και της Βοιωτίας. Σήμερα, η Αττική φιλοξενεί περίπου 3,700,000 κατοίκους. Μέχρι τη δεκαετία του '90, υπήρχαν μόνο 12 μεγάλα φράγματα σε μία χώρα, όπου η κατανομή επιφανειακών- υπογείων υδάτων είναι κατά μέσο όρο 70 - 30% (αναφορά). Στην παρακάτω εικόνα (5. 14) εμφανίζεται ο χάρτης που δείχνει τις τρωτές περιοχές πάνω στις υποδομές. Στην ηπειρωτική Ελλάδα υπάρχουν περισσότερες υποδομές σε σχέση με τις νησιωτικές περιοχές. Τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο παρατηρούνται μόνο 3 φράγματα- 2 στην Κρήτη και 1 στη Ρόδο. Επίσης, αθροιστικός παράγοντας είναι και οι μειωμένες βροχοπτώσεις των νησιωτικών περιοχών σε σχέση με τις ηπειρωτικές.



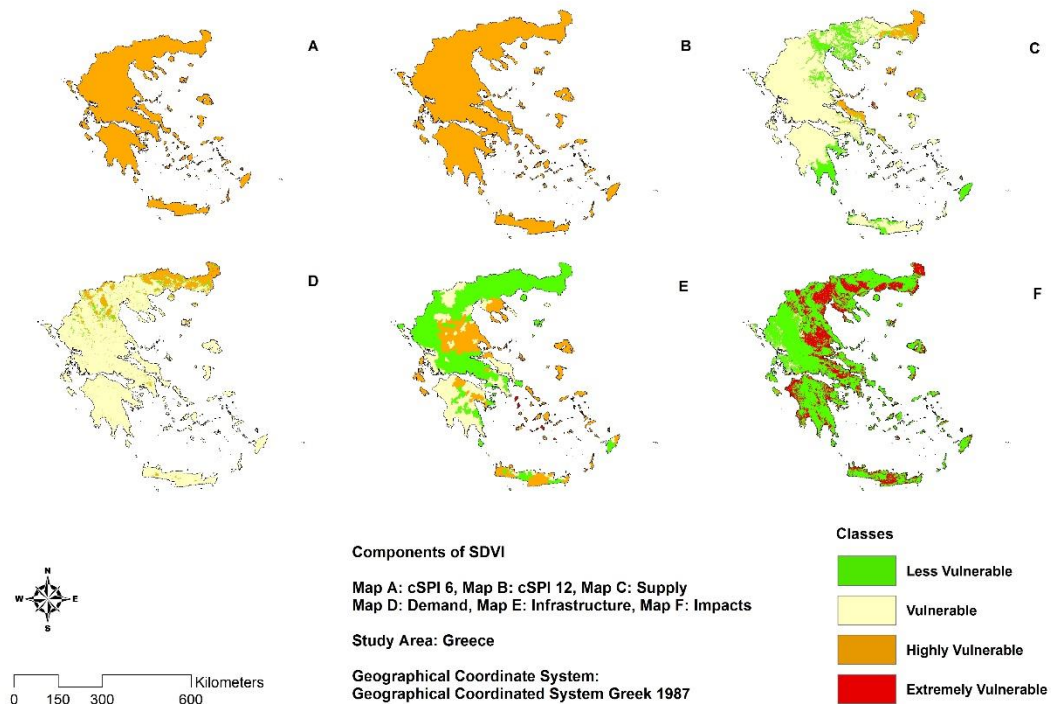


Εικόνα 5. 14. Χάρτες υποδομών στους υδατικούς πόρους.

Η αύξηση του αριθμού των φραγμάτων και η ταυτόχρονη αύξηση της ζήτησης, κυρίως λόγω αρδευτικών αναγκών σε σχέση με τις προηγούμενες δεκαετίες, ξεκίνησε έπειτα από την ξηρή περίοδο 1989 – 1993. Σήμερα έχουν κατασκευαστεί πάνω από 120 φράγματα, με αποτέλεσμα οι υποδομές να έχουν βελτιωθεί σημαντικά σε σχέση με τις εξεταζόμενες περιόδους. Σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων, μεγάλα φράγματα είναι αυτά με ύψος από 15m ή όγκο (χωρητικότητα)  $3 * 10^6 \text{ m}^3$ , εφόσον το ύψος είναι πάνω 5 m.

#### 5.3.4. Υπολογισμός των Επιπτώσεων

Στην περίοδο αυτή υπήρξαν σημαντικές ζημιές από τις ξηρασίες στις αγροτικές περιοχές με τις περισσότερες να εμφανίζονται το 1989 – 1990, με τα δημοσιεύματα του Τύπου να αναφέρουν τότε ότι μόνο το 10% των καλλιεργειών θα επιβίωνε. Το συνολικό ύψος βροχόπτωσης, για τον Ιανουάριο του 1990, ήταν μόνο το 9% της μέσης τιμής. Μηδενική βροχόπτωση καταγράφηκε στην Αθήνα έναντι ενός μέσου όρου 38.4 mm (σταθμός Ελληνικού - Μάρτιος 1990). Συνολικά, το κόστος των επιπτώσεων που προκλήθηκαν από τη ξηρασία το 1990 άγγιξε το 1.5 δισ. Αμερικανικά δολάρια (USD) (Karavitis, 1992, 1998).



Εικόνα 5. 15. Υπό-δείκτες του σύνθετου δείκτη SDVI για την χρονική κλίμακα Οκτώβριος 1983 – Σεπτέμβριος 1996.

Σύμφωνα με την παραπάνω εφαρμογή και τις αναλύσεις αποδεικνύεται ότι η **δεύτερη υπόθεση** (Κεφ. 3) της παρούσας διδακτορικής διατριβής ισχύει και μπορεί να οδηγήσει στην περαιτέρω αποδοχή και χρήση του δείκτη SDVI με τη δημιουργία των βαρών.

## 5.4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ESA ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

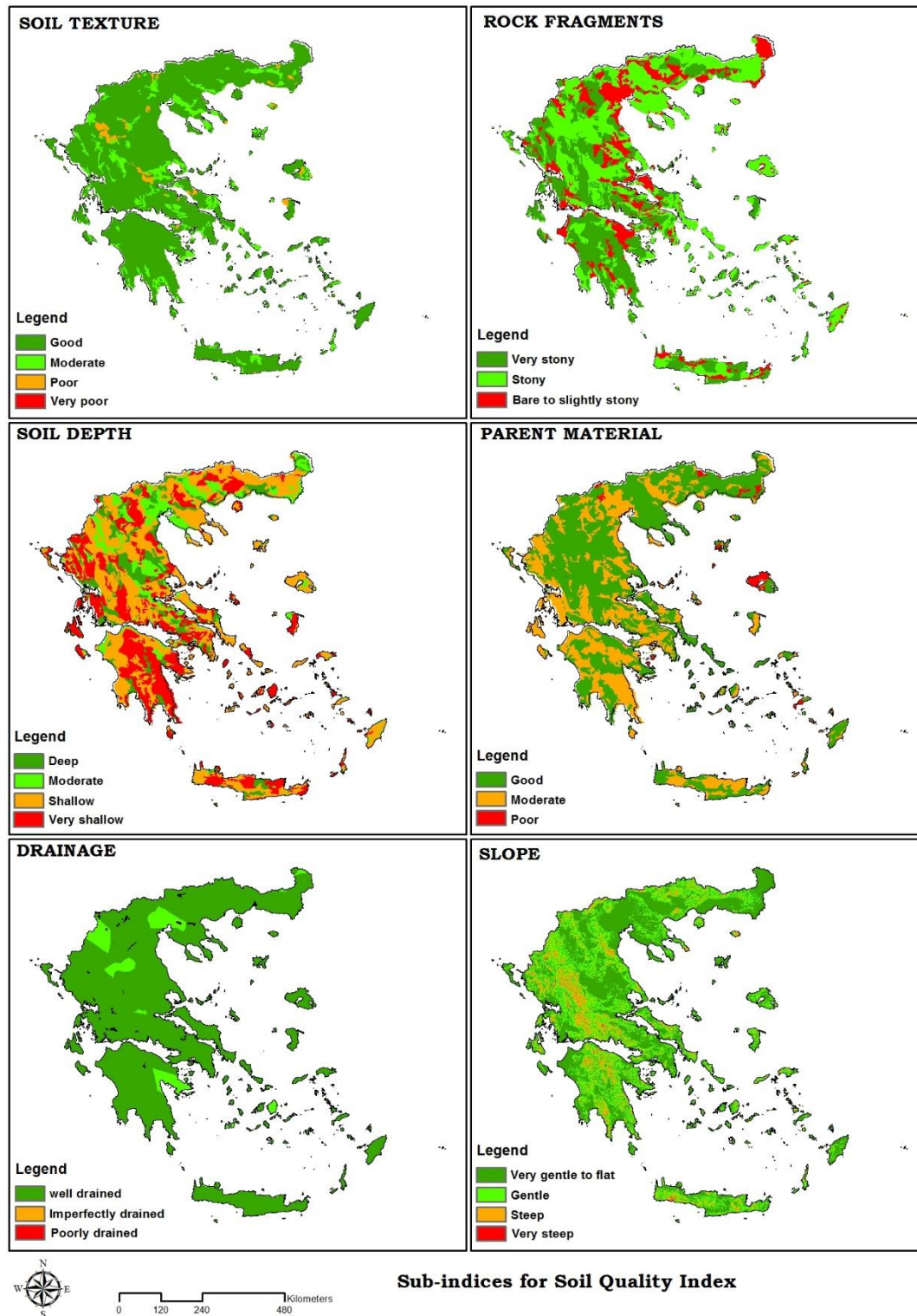
Ο Ελληνικός χώρος εμφανίζεται υποβαθμισμένος με αρκετές περιοχές να αντιμετωπίζουν σημαντική τρωτότητα στην ερημοποίηση. Οι περιοχές υψηλής τρωτότητας στην ερημοποίηση είναι η Δυτική Στερεά Ελλάδα, το μεγαλύτερο μέρος της Πελοποννήσου, η Κρήτη, οι Κυκλάδες, τα Δωδεκάνησα, η Δυτική Λέσβος η Εύβοια και μέρος της Ηπείρου, της Θεσσαλίας και της Θράκης (Kosmas et al., 1997; Yassoglou et al., 1997). Η εξεταζόμενη περίοδος για την εφαρμογή στην Ελλάδα είναι από τον Οκτώβριο του 1983 μέχρι τον Σεπτέμβριο του 1996. Η συγκεκριμένη περίοδος, στην οποία υπήρξαν διάφορες αλλαγές, όπως η αύξηση των καλλιεργούμενων γαιών στην αγροτική κατανομή, σημειώθηκε ως η ξηρότερη περίοδος των τελευταίων 100 χρόνων (κυρίως το διάστημα από το 1998 έως και το

1993). Συν τοις άλλης, παρουσιάστηκε αύξηση της ζήτησης στην άρδευση λόγω της αύξησης των καλλιεργειών και της εντατικοποίησης της γεωργίας . Όλα αυτά συνηγόρησαν στη δημιουργία υποδομών στους υδατικούς πόρους (φράγματα, αναβαθμούς, λιμνοδεξαμενές κ.λπ.). Ένας ακόμα επιβαρυντικός παράγοντας είναι οι πυρκαγιές που σημειώθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, την περίοδο 1964-1975 ο μέσος όρος των καμένων εκτάσεων ήταν 129,000 στρέμματα το χρόνο, ενώ κατά την περίοδο 1976-1986 ήταν 378,000 στρέμματα, μέγεθος που τελικά αυξήθηκε στα 520,000 στρέμματα τη δεκαετία 1986-1995. Όλα τα παραπάνω, αλλά και άλλες δράσεις, τείνουν να επιβαρύνουν τα εδάφη.

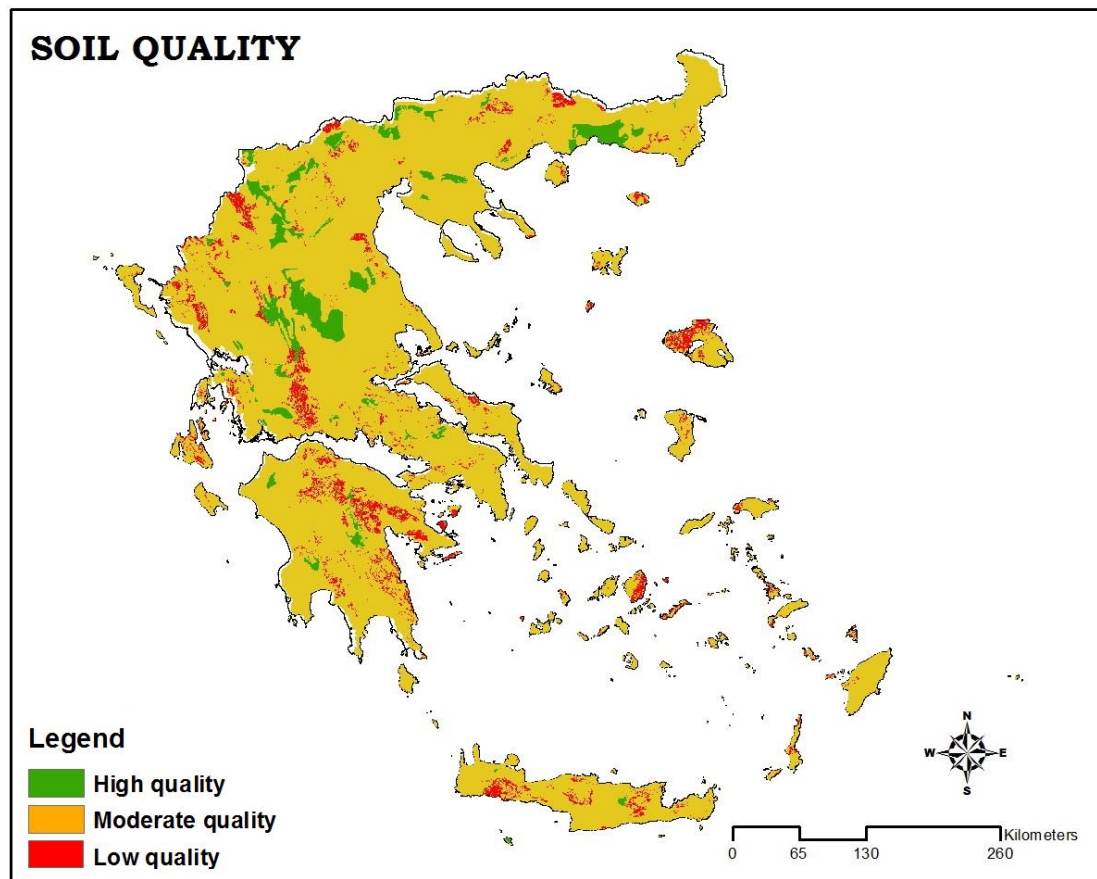
#### **5.4.1. Υπολογισμός του Δείκτη της Ποιότητας του Εδάφους**

Τα εδάφη που σχηματίζονται από διαφορετικά μητρικά υλικά επηρεάζουν έντονα τη βλάστηση, τη διάβρωση του εδάφους και την ερημοποίηση. Για αυτό το λόγο, το έδαφος παίζει τον πρωταρχικό ρόλο στην τρωτότητα στην ερημοποίηση. Για παράδειγμα, ο ασβεστόλιθος σχηματίζει αβαθή εδάφη, και σε μια ξηρή περίοδο ή σε μία έντονη ξηρασία η τρωτότητα στην ερημοποίηση είναι μεγαλύτερη. Λοφώδεις περιοχές σε τριτογενείς μάργες είναι επίσης πολύ ευαίσθητες στην ερημοποίηση λόγω της μεγάλης διαβρωσιμότητας των εδαφών που σχηματίζουν. Επίσης, η οξίνιση των γεωργικών εδαφών, που προκαλείται από εκτεταμένη χρήση όξινων λιπασμάτων που έχουν σχηματιστεί πάνω σε όξινα μητρικά υλικά, αποτελεί αιτία ερημοποίησης. Ο υπολογισμός του δείκτη αυτού βασίστηκε στον εδαφολογικό χάρτη του Ομ. Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, κ. Γιάσογλου, για να δημιουργηθούν οι κατάλληλοι υπο-δείκτες σύμφωνα με τις τιμές της μεθοδολογίας του ESA.

Σύμφωνα με τους πίνακες της παραγράφου 4.3.1, δημιουργήθηκαν οι υπο-δείκτες για την ποιότητα του εδάφους. Οι υπο-δείκτες αυτοί εμφανίζονται στην Εικόνα 5. 16. Υπο-δείκτες για τον υπολογισμό του δείκτη Ποιότητας του Εδάφους.



Εικόνα 5. 16. Υπο-δείκτες για τον υπολογισμό του δείκτη Ποιότητας του Εδάφους.



Εικόνα 5. 17. Δείκτης Ποιότητας του Εδάφους.

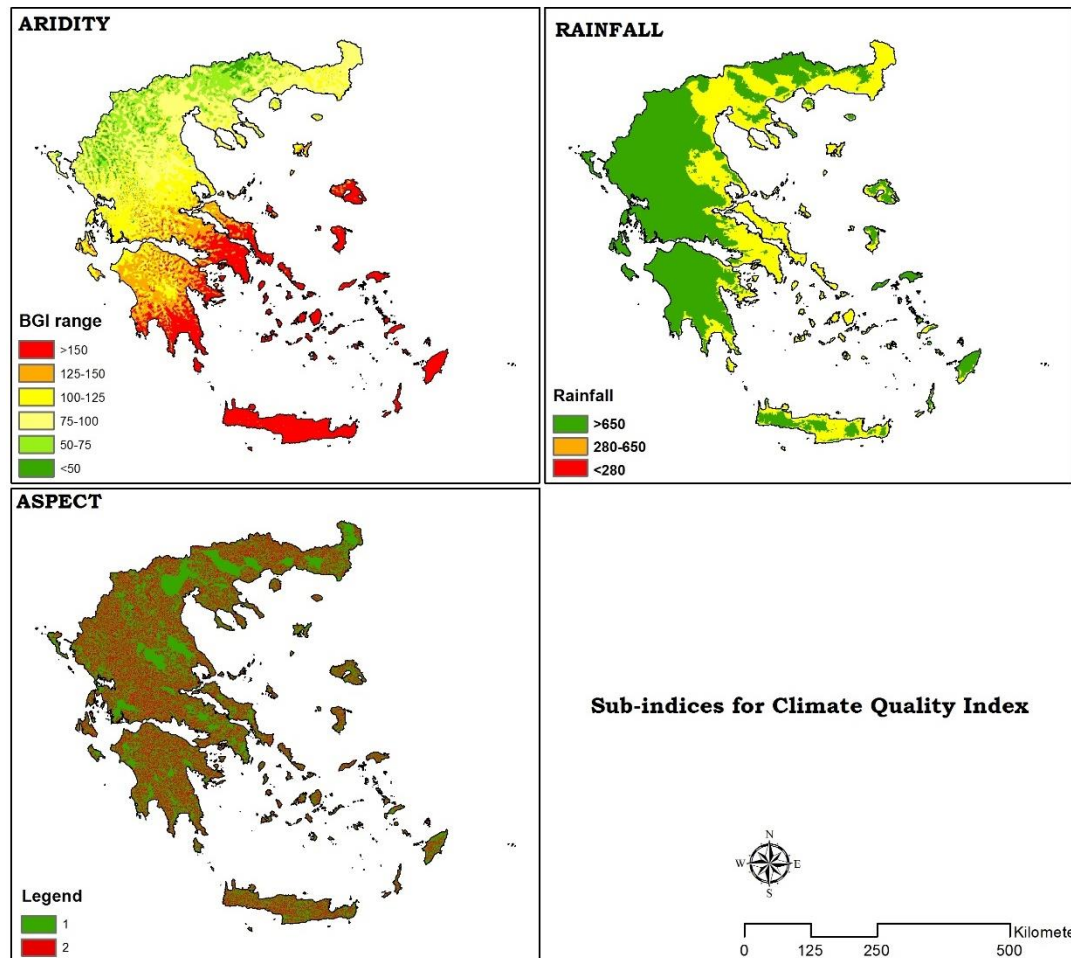
Το έδαφος είναι ο κυρίαρχος παράγοντας των χερσαίων οικοσυστημάτων στις άνυδρες, ημίξηρες και ξηρές περιοχές κυρίως μέσω της επίδρασής του στην παραγωγή βιομάζας. Οι δείκτες της Ποιότητας του Εδάφους για τη χαρτογράφηση των περιβαλλοντικά ευαίσθητων περιοχών στην ερημοποίηση μπορεί να σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα του νερού και την αντίσταση διάβρωσης. Στην Εικόνα 5. 16 εμφανίζονται οι έξι παράμετροι του εδάφους που υπολογίστηκαν. Η Ποιότητα του Εδάφους υπολογίστηκε με βάση την Εξίσωση 4.12, και τα εδάφη κατηγοριοποιήθηκαν σύμφωνα με τις κατηγορίες του Πίνακα 4. 23. Μόνο το 5.22% βρίσκεται στην πρώτη κλάση (High quality), το 88.87% στη δεύτερη κλάση (Moderate quality) και στην τρίτη κλάση (High quality) το 5.9%.

#### 5.4.2. Υπολογισμός του Δείκτη της Ποιότητας του Κλίματος

Ο στόχος του δείκτη Ποιότητας του Κλίματος (CQI) στην τρέχουσα εφαρμογή είναι η αξιολόγηση της διαθεσιμότητας νερού στην περιοχή μελέτης, δηλαδή στην Ελλάδα, για τη συγκεκριμένη περίοδο εφαρμογής (10/1983 – 09/1996). Η Ποιότητα του Κλίματος αξιολογείται με τη χρήση των παραμέτρων που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του νερού στα

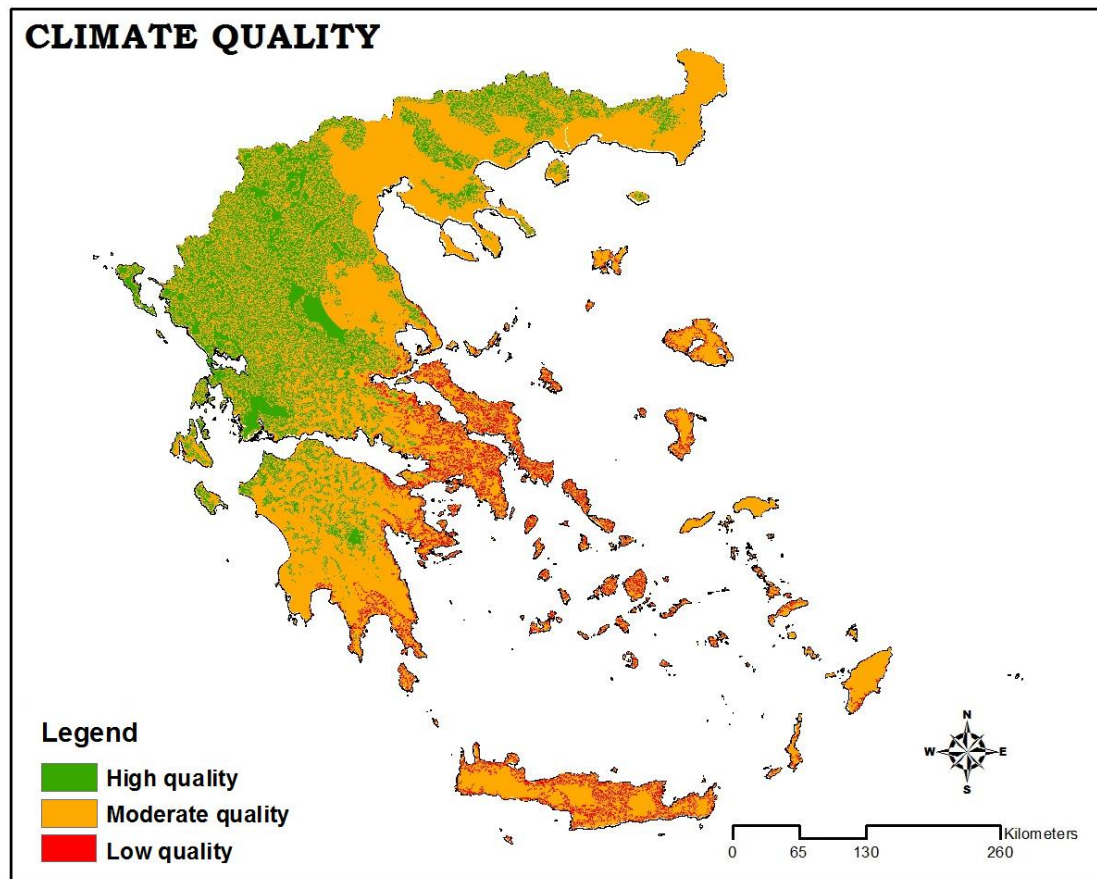


φυτά, το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης, τη θερμοκρασία του αέρα και την ξηρότητα. Ο προσδιορισμός του υπο-δείκτη της ξηρότητας βασίστηκε στον ξηροθερμικό δείκτη Bagnouls - Gaussen (BGI). Τα δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας προήλθαν από 22 μετεωρολογικούς σταθμούς και ήταν σε μηνιαία κλίμακα.



Εικόνα 5. 18. Υπο-δείκτες για τον υπολογισμό του δείκτη Ποιότητας του Κλίματος.

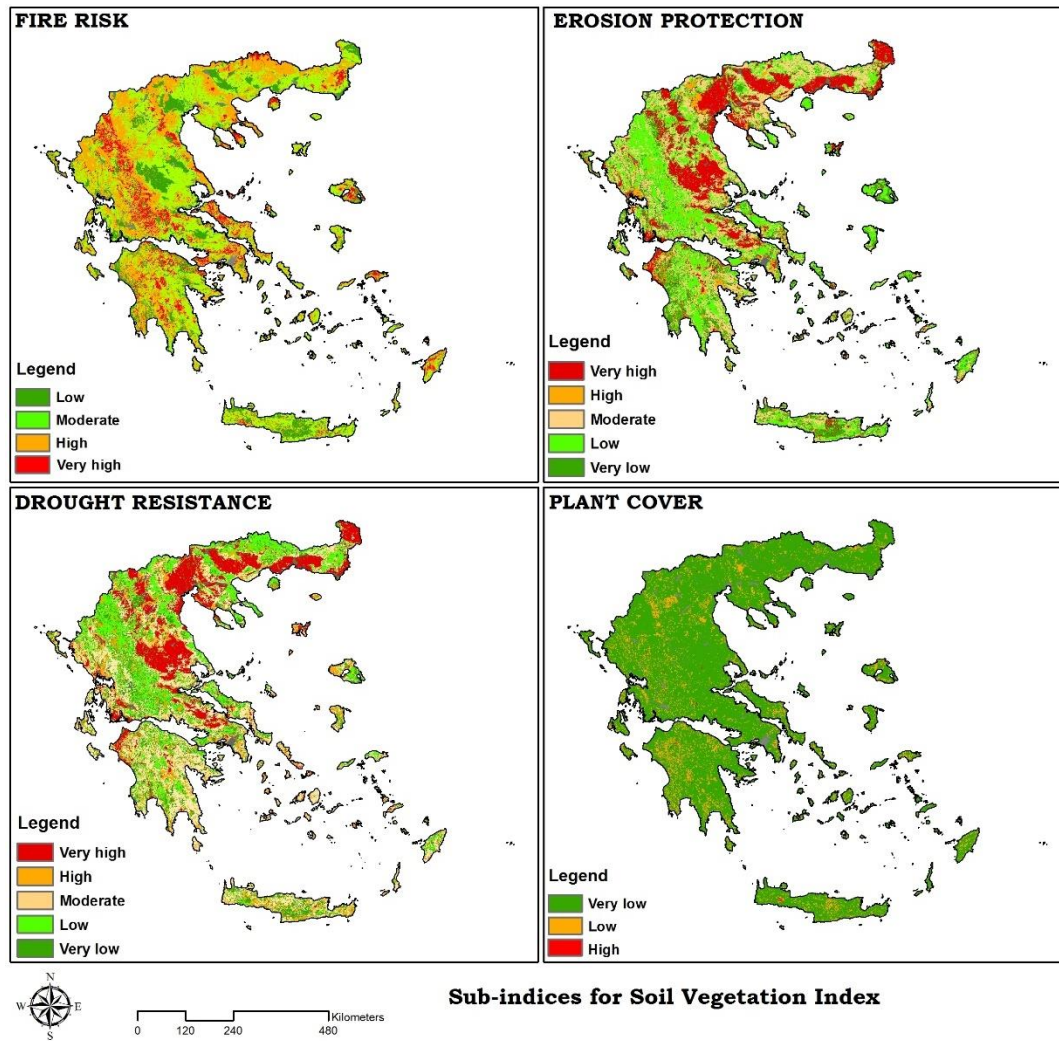
Σύμφωνα με την Εικόνα 5. 19, το 24.9% κατατάσσεται στην κλίμακα υψηλής ποιότητας του κλίματος και εμφανίζεται με πράσινο χρώμα στον χάρτη, ενώ η μέτρια (68.19%) με πορτοκαλί. Τέλος, με κόκκινο χρώμα επισημαίνεται η χαμηλή ποιότητα και ανέρχεται σε ποσοστό 6.91%.



Εικόνα 5. 19. Δείκτης Ποιότητας του Κλίματος.

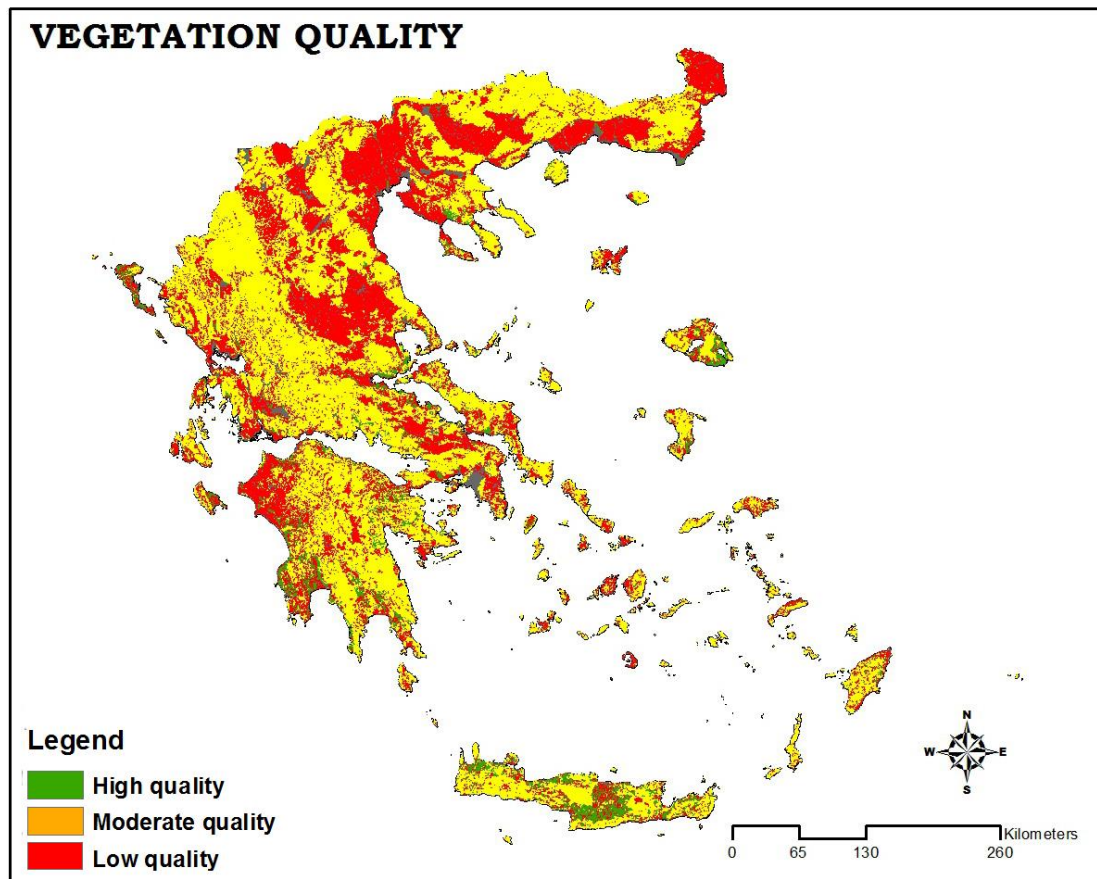
#### 5.4.3. Υπολογισμός του Δείκτη της Ποιότητας της Βλάστησης

Το κυρίαρχο συστατικό του δείκτη αυτού είναι η φυτοκάλυψη. Η φυτοκάλυψη είναι πολύ κρίσιμη για την απορροή και μπορεί να αλλάξει εύκολα κατά μήκος των ημιορεινών περιοχών της Μεσογείου. Αυτό εξαρτάται άμεσα από τις κλιματικές συνθήκες και την περίοδο του έτους. Σε περιοχές με ετήσια βροχόπτωση μικρότερη από 300 mm και υψηλή εξατμισοδιαπνοή, η διαθεσιμότητα του νερού για τα φυτά μειώνεται δραστικά, με αποτέλεσμα το έδαφος να παραμένει σχετικά γυμνό και έτσι να ευνοείται η επιφανειακή απορροή του νερού και η απώλεια του εδάφους. Η Ποιότητα της Βλάστησης αξιολογήθηκε από την άποψη των τριών πτυχών της, δηλαδή την προστασία από τη διάβρωση των εδαφών, την αντοχή στην ξηρασία και τη φυτοκάλυψη. Λόγω του ότι η περίοδος εφαρμογής ήταν το διάστημα 1983 με 1996, χρησιμοποιήθηκε το CORINE του έτους 1990, που καλύπτει και την Ελλάδα με τις χρήσεις γης. Η κατηγοριοποίηση έγινε σύμφωνα με τον Πίνακα 4. 23.



Εικόνα 5. 20. Υπό-δείκτες για τον υπολογισμό του δείκτη Ποιότητας της Βλάστησης.



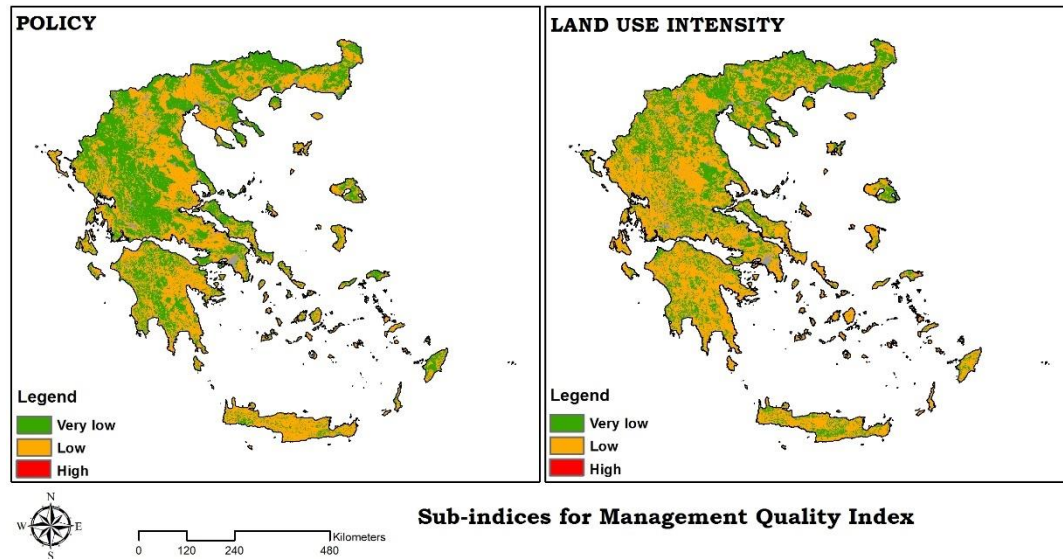


Εικόνα 5. 21. Δείκτης Ποιότητας της Βλάστησης.

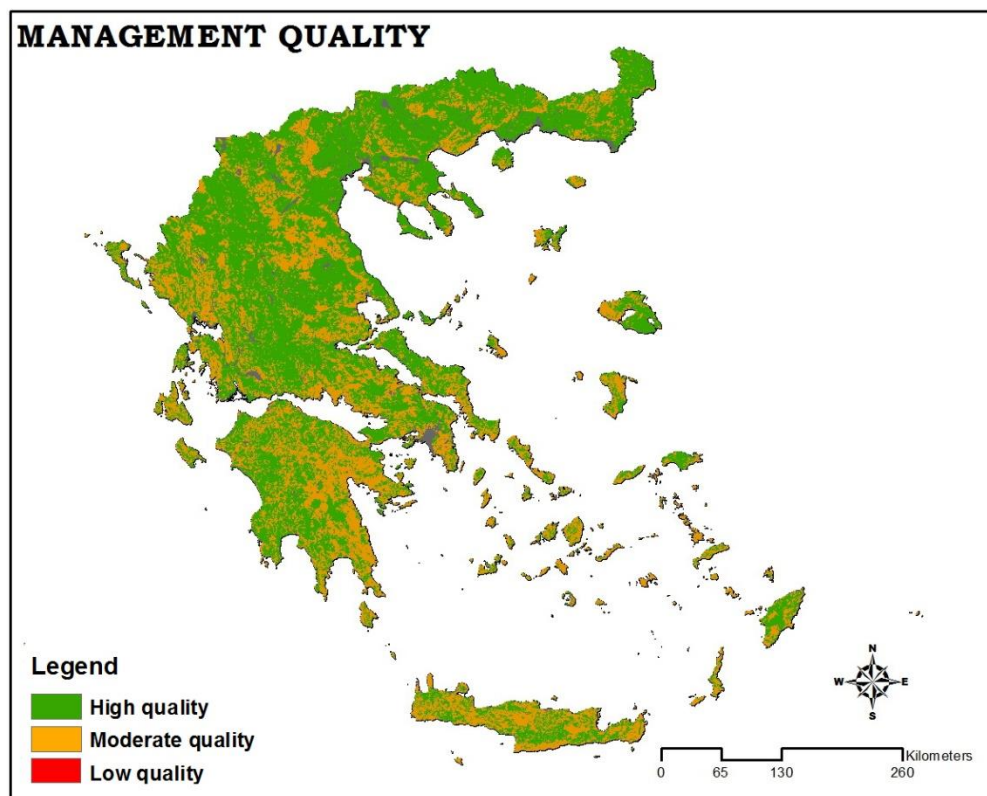
Παρατηρείται ότι η χαμηλή ποιότητα βλάστησης εμφανίζεται σε μεγαλύτερο ποσοστό (34.55%) σε σχέση με την Ποιότητα του Κλίματος και του Εδάφους. Στη μεσαία κλάση αντιστοιχεί το 56.41% και, τέλος, μόνο το 9.03% βρίσκεται στην υψηλή ποιότητα.

#### 5.4.4. Υπολογισμός του Δείκτη της Ποιότητας της Διαχείρισης

Ο δείκτης της Ποιότητας της Διαχείρισης λαμβάνει υπόψη την πίεση που προκαλείται από τον ανθρώπινο παράγοντα. Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται είναι η ένταση της χρήσης γης και η πολιτική για την προστασία της γης, λαμβάνοντας υπόψη σημαντικές επιπτώσεις στους φυσικούς πόρους (έδαφος, νερό, βλάστηση κ.λπ.) στην περιοχή μελέτης. Ο χάρτης-υπόβαθρο που χρησιμοποιήθηκε και στους δύο δείκτες είναι του CORINE του έτους 1990.



Εικόνα 5. 22. Υπο-δείκτες για τον υπολογισμό του δείκτη Ποιότητας της Διαχείρισης.



Εικόνα 5. 23. Δείκτης Ποιότητας της Διαχείρισης.

Η εικόνα που αποτυπώνεται στον χάρτη της διαχείρισης (5. 23) είναι σαφώς καλύτερη συγκρινόμενη με τις άλλες τρεις ποιότητες. Συγκεκριμένα, εμφανίζονται δύο κλάσεις, δεν υπάρχει χαμηλή ποιότητα και τα ποσοστά για την υψηλή και τη μέση ποιότητα είναι 64.06% και 35.94%, αντίστοιχα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>: ΣΧΕΣΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΡΗΜΟΠΟΙΗΣΗΣ - ΑΝΑΠΤΥΞΗ SWDI

### 6.1. ΣΧΕΣΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ - ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΡΗΜΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η ερημοποίηση είναι ένα σημαντικό παγκόσμιο οικολογικό και περιβαλλοντικό πρόβλημα. Ο όρος ερημοποίηση δεν θα πρέπει να συγχέεται με τη δημιουργία ερήμων. Η ερημοποίηση είναι η διαδικασία, σύμφωνα με την οποία η παραγωγική γη υποβαθμίζεται και σταδιακά μετατρέπεται σε αφιλόξενη -για την αναπτυσσόμενη βλάστηση- περιοχή, δημιουργώντας έτσι κηλίδες απογυμνωμένων περιοχών με την εμφάνιση του μητρικού πετρώματος στην επιφάνεια. Οι παράγοντες που την επιτείνουν είναι οι μεγάλης διακύμανσης κλιματικές συνθήκες και οι συχνές και μεγάλης έντασης βροχοπτώσεις, οι εποχιακές ξηρασίες, το έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο και η γενικά περιορισμένη φυτική κάλυψη. Επίσης, η χρόνια ανθρωπογενής παρέμβαση στο περιβάλλον και η πρόσφατη εγκατάλειψη των αγροτικών περιοχών, με την ταυτόχρονη μείωση του αγροτικού δυναμικού, συνεπικουρούν στην εξάπλωση του φαινομένου.

Το φαινόμενο της ερημοποίησης φαίνεται ότι αφορά και την Ευρώπη με τη λεκάνη της Μεσογείου να αντιμετωπίζει αξιοσημείωτο πρόβλημα. Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία και Πορτογαλία απειλούνται άμεσα. Το μεγαλύτερο πρόβλημα ερημοποίησης από όλες τις Μεσογειακές χώρες αντιμετωπίζει η Ισπανία εξαιτίας της τεράστιας εκμετάλλευσης των λοφωδών περιοχών της χώρας λόγω του μεγάλου πληθυσμού. Εκτιμάται ότι στη χώρα ποσοστό μεγαλύτερο του 40% των εδαφών απειλείται με ερημοποίηση, ακολουθεί η Ιταλία και η Ελλάδα. Η Ελλάδα, λόγω του ορεινού της χαρακτήρα, παρουσιάζει απότομες υψομετρικές διαφορές, που σχηματίζουν επιφάνειες με ισχυρές κλίσεις σε μεγάλο τμήμα της χώρας. Συγκεκριμένα, κλίσεις που υπερβαίνουν το 10% καλύπτουν το 50% της συνολικής της έκτασης. Οι ισχυρές κλίσεις προκαλούν έντονες επιφανειακές απορροές και διαβρώσεις των εδαφών εκεί όπου δεν υπάρχει επαρκής φυτοκάλυψη. Οι διαδικασίες αυτές αποτελούν τις κύριες αιτίες της ερημοποίησης στον ελλαδικό χώρο.

Από την άλλη πλευρά, η ξηρασία, όπως έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια, σχετίζεται άμεσα με τις μειωμένες βροχοπτώσεις σε διάφορα χρονικά διαστήματα. Η εμφάνισή τους επιφέρει σημαντικά προβλήματα στην κοινωνία και ειδικά στις γεωργικές

εκτάσεις λόγω μη ικανοποίησης των αρδευτικών αναγκών. Σε αντίθεση με την τρωτότητα στην ερημοποίηση, η τρωτότητα στην ξηρασία δεν είναι τόσο διαδεδομένη. Το μεσογειακό κλίμα είναι ευαίσθητο σε συχνά φαινόμενα ξηρασίας και αυτό οφείλεται στη χωροχρονική κατανομή των κατακρημνισμάτων, δηλαδή στις υγρές (Οκτώβριος-Μάρτιος) και τις ξηρές περιόδους (Απρίλιος-Σεπτέμβριος). Αντλαμβάνεται κανείς ότι αν δεν σημειωθούν βροχοπτώσεις στην περίοδο Οκτώβριος-Μάρτιος, τότε θα δημιουργηθούν προβλήματα στη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος χρειάζεται τακτική παρακολούθηση των διαθέσιμων πόρων, αλλά και, ταυτοχρόνως, εφαρμογή προληπτικού σχεδιασμού.

Η ξηρασία οδηγεί στον περιορισμό των διαθέσιμων υδατικών πόρων και την υποβάθμισή τους από πλευράς ποιότητας. Από αυτόν τον περιορισμό και την υποβάθμιση των υδατικών πόρων (με περισσότερο σημαντική την επίδραση στους επιφανειακούς υδατικούς πόρους και στα συστήματα επιφανειακής αποθήκευσης) επηρεάζονται όλα τα υδατικά συστήματα που διαθέτουν το νερό στους χρήστες, όπως στους οικισμούς για ύδρευση, στις βιομηχανίες, στη γεωργία κ.ά.. Σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την τρωτότητα του φαινομένου είναι η αυξημένη ζήτηση ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω των αρδευόμενων εκτάσεων, αλλά και της ραγδαίας εποχιακής αύξησης του πληθυσμού στις τουριστικές περιοχές. Σε περιόδους κρίσης, η διαχείριση της ζήτησης είναι επιτακτική ανάγκη. Οι διαθέσιμες υποδομές είναι ένα άλλο σημαντικό κομμάτι. Όσο καλύτερα αποθηκευτικά μέσα υπάρχουν (φράγματα, λιμνοδεξαμενές κ.ά.), τόσο καλύτερα μπορεί να μειωθεί η τρωτότητα της περιοχής. Επίσης, σε παράκτιες περιοχές, όπου η βροχόπτωση είναι πολύ χαμηλή, η αφαλάτωση και η επαναχρησιμοποίηση του νερού είναι ζωτικής σημασίας.

Η τρωτότητα στην ξηρασία και την ερημοποίηση είναι φαινόμενα σύνθετα που οφείλονται και σε ανθρωπογενείς αιτίες. Ιδιαίτερα για τις ξηρές και ημίξηρες συνθήκες της Μεσογείου, όπου τα συστήματα είναι περισσότερο ευάλωτα, η υπερβολική χρήση των πόρων οδηγεί στην υποβάθμιση και την καταστροφή τους. Ο άνθρωπος, εκτός από τις παρεμβάσεις του στη φύση, επηρεάζει και με τις αποφάσεις που λαμβάνει για τη διαχείριση τέτοιων φαινομένων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η λανθασμένη πολιτική της κατασκευής νέων έργων, και μάλιστα μεγάλων, με αφορμή την ξηρασία. Άλλο ένα τέτοιο παράδειγμα είναι και η ανόρουξη γεωτρήσεων, διότι προκαλεί υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων νερών και μη αντιστρεπτή βλάβη στους υπόγειους υδροφορείς. Η δημιουργία νέου εφοδιασμού νερού μπορεί να βοηθήσει σε περίοδο ξηρασίας, όμως τα αμέσως επόμενα χρόνια ο εφοδιασμός αυτός «δημιουργεί» νέους χρήστες, οι οποίοι εισάγουν νέες ανάγκες με τις νέες εκτάσεις που μπαίνουν σε καθεστώς άρδευσης. Έτσι, την επόμενη περίοδο ξηρασίας η τρωτότητα

μεγαλώνει, αφού η ζήτηση έχει αυξηθεί και τα περιθώρια κάλυψής της έχουν στενέψει περισσότερο.

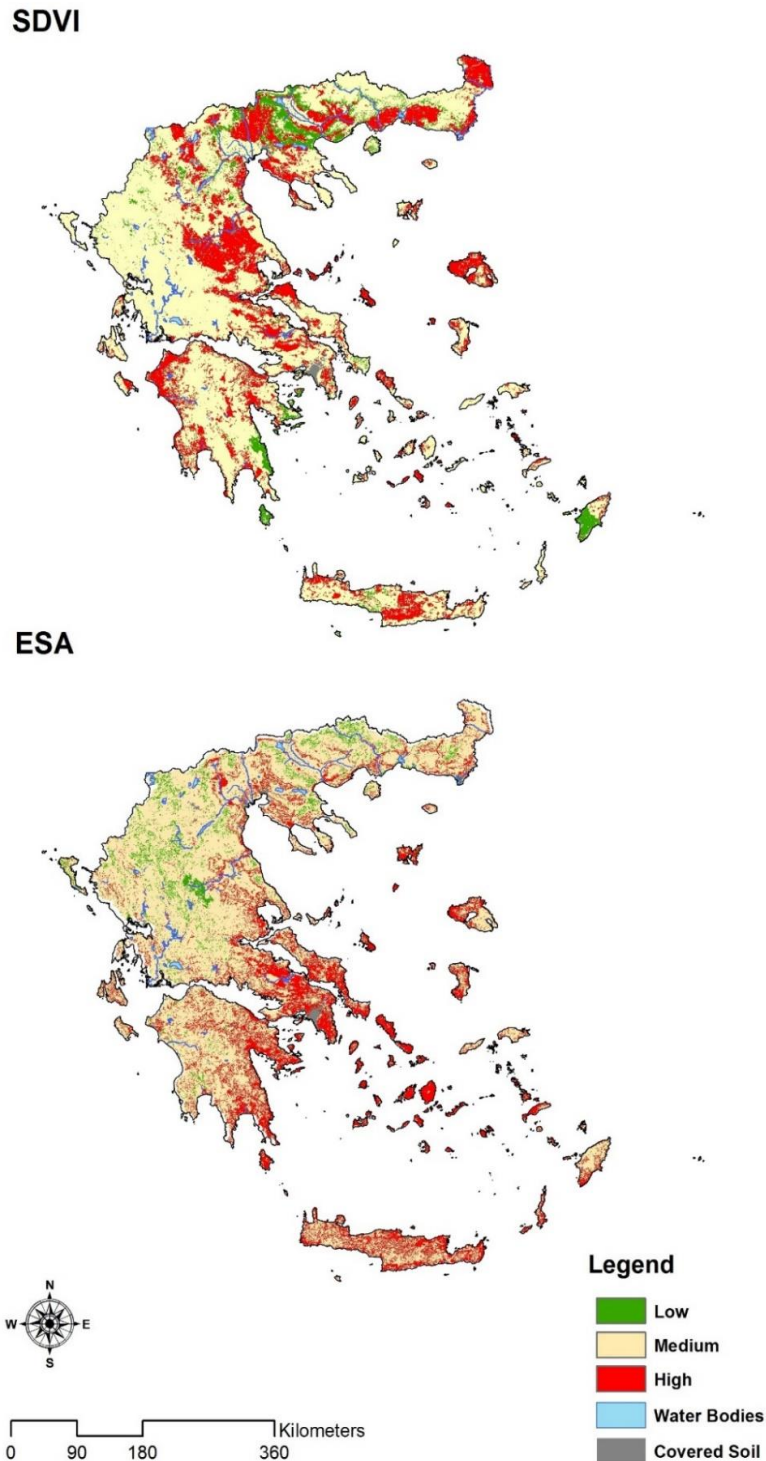
Σύμφωνα με τα παραπάνω, η τρωτότητα στην ξηρασία και την ερημοποίηση έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά. Το κυριότερο εξ αυτών είναι η ανεπάρκεια των υδατικών πόρων είτε λόγω χαμηλών βροχοπτώσεων είτε λόγω αύξησης της ζήτησης σε επίπεδα που δεν μπορεί να ικανοποιηθεί. Στην παρούσα ενότητα γίνεται προσπάθεια να συσχετιστούν μεταξύ τους σύμφωνα με τον SDVI και τον ESA που εφαρμόστηκαν στην Ελλάδα και έχουν περιγραφεί στο Κεφάλαιο 4. Για να πραγματοποιηθεί αυτή η συσχέτιση χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των συγκεκριμένων δεικτών (Κεφάλαιο 5) .

Το πρόβλημα που προκύπτει είναι η διαφορά της κατηγοριοποίησης των δύο σύνθετων δεικτών. Ο SDVI έχει 6 κλάσεις στο σύνολο, με 2 κλάσεις να αναφέρονται με Χωρίς και Χαμηλή, 1 με Μέση και 3 με Υψηλή (Υψηλή, Πολύ Υψηλή και Ακραία Τρωτότητα) τρωτότητα. Αντίστοιχα, ο ESA έχει 8 κλάσεις, με 2 εξ αυτών να τοποθετούνται στη Χαμηλή κλίμακα, 3 στη Μέση και 3 στην Υψηλή. Για να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο δημιουργήθηκε μια νέα κατηγοριοποίηση τριών κλάσεων (Χαμηλή- Μέτρια- Υψηλή τρωτότητα) που παρουσιάζεται στον Πίνακα 6. 1.

Πίνακας 6. 1. Νέα κατηγοριοποίηση των SDVI και ESA.

Κλάση του SDVI	Κλάση του ESA	Νέα Κλάση	Τύπος Τρωτότητας
> 1.50	> 1.39	3	Υψηλή
1.00 – 1.49	1.23 - 1.38	2	Μέση
< 0.99	< 1.22	1	Χαμηλή

Σε γενικές γραμμές δεν υπήρξαν μεγάλες διαφοροποιήσεις με τις άλλες δύο μεθόδους (PCA και AHP) εκτός από την περίπτωση της MCA. Στην Εικόνα 6. 1 εμφανίζονται οι χάρτες των σύνθετων δεικτών και ο μετασχηματισμός τους βάσει της νέας κατηγοριοποίησης.



Εικόνα 6. 1. Χάρτες SDVI και ESA σύμφωνα με τη νέα κατηγοριοποίηση.

Στους δύο παρακάτω πίνακες (6. 2 & 6. 3) αποτυπώνεται το πλήθος που εμφανίζεται για κάθε δείκτη και για κάθε κλάση. Παρατηρείται ότι και για τους 2 σύνθετους δείκτες (SDVI και ESA) η τιμή 2 καταλαμβάνει το 67.3% και 68.7%, αντίστοιχα. Για την πρώτη κλάση (1) η σχετική συχνότητα του SDVI είναι 6.2%, ενώ για τον ESA είναι 8.1% και, τέλος, η κλάση υψηλής τρωτότητας έχει ποσοστό εμφάνισης 26.5% για τον πρώτο και 23.2% για τον δεύτερο.

Πίνακας 6. 2. Στατιστικά του SDVI σύμφωνα με τις νέες κλάσεις.

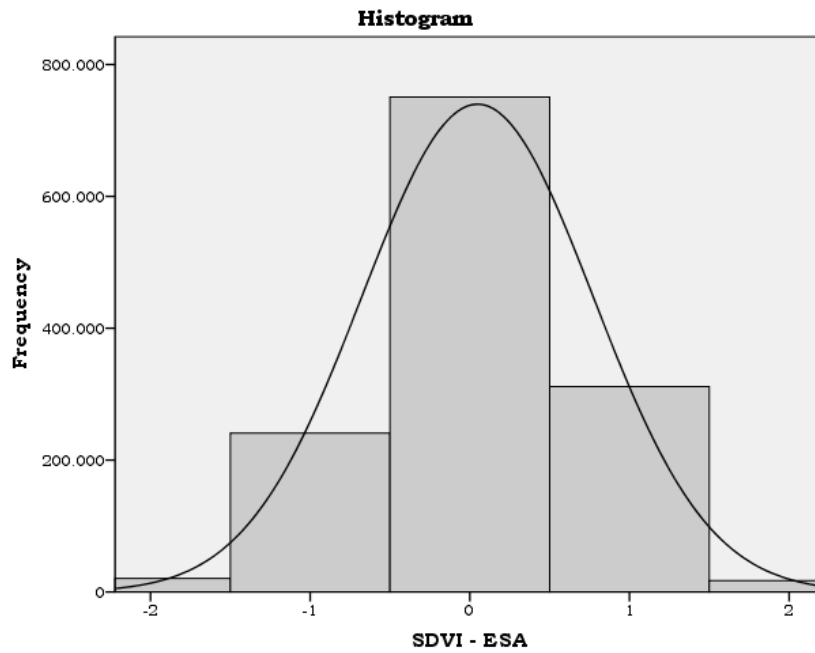
Τιμή	Συχνότητα	Σχετική Συχνότητα	Αθροιστική Σχετική Συχνότητα
1	87625	6.2	6.2
2	946883	67.3	73.5
3	372182	26.5	100.0

Πίνακας 6. 3. Στατιστικά του ESA σύμφωνα με τις νέες κλάσεις.

Τιμή	Συχνότητα	Σχετική Συχνότητα	Αθροιστική Σχετική Συχνότητα
1	113547	8.1	8.1
2	966423	68.7	76.8
3	326720	23.2	100.0

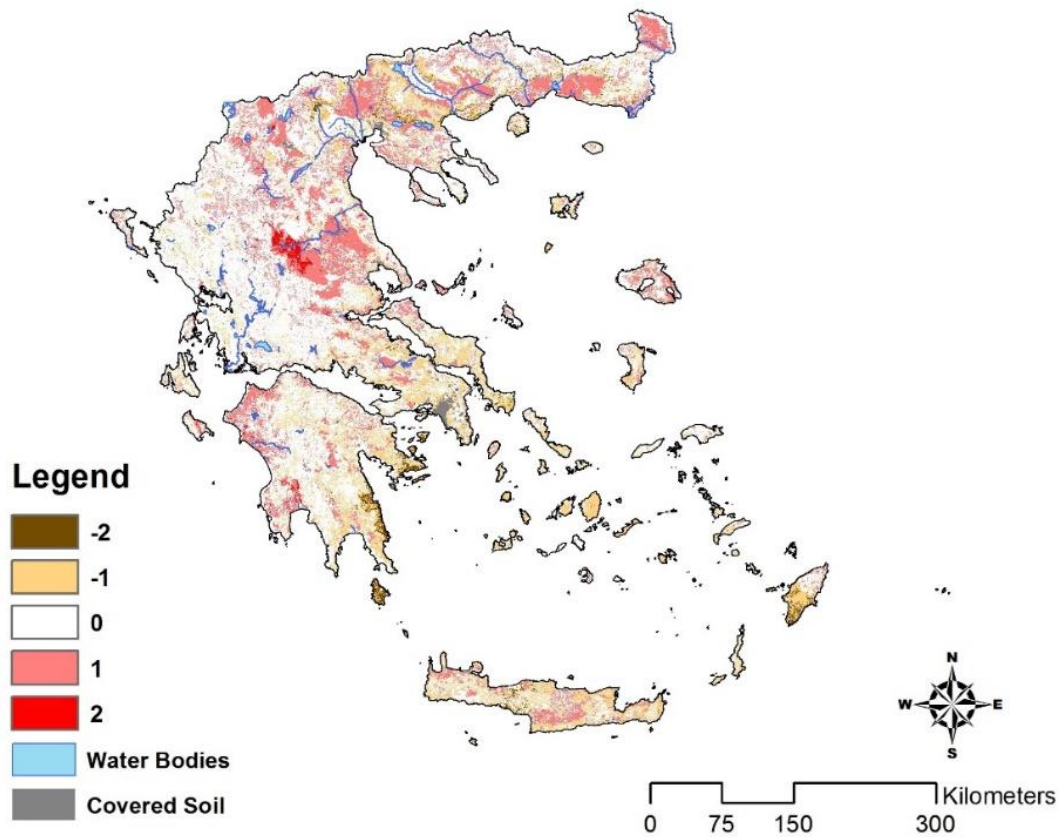
Στην Εικόνα 6. 3 αντικατοπτρίζεται η διαφορά του SDVI από τον ESA, δηλαδή το αποτέλεσμα της αφαίρεσης σε χωρική βάση της πρώτης διαδικασίας από τη δεύτερη. Η κατηγοριοποίηση αυτής της αφαίρεσης είναι η διαφορά των κλάσεων όταν η τιμή είναι μηδέν. Ως εκ τούτου, γίνεται αντιληπτό ότι η περιοχή είναι τρωτή τόσο στη ξηρασία, όσο και στην ερημοποίηση, και υπάρχει μια ταύτιση των δυο διαδικασιών. Οι θετικές τιμές (1 και 2) δείχνουν ότι η συγκεκριμένη περιοχή είναι πιο τρωτή στην ξηρασία, ενώ αντίστοιχα οι αρνητικές τιμές (-2 και -1) ότι η περιοχή είναι περισσότερο ευαίσθητη στην ερημοποίηση.





Εικόνα 6. 2. Ιστόγραμμα συχνοτήτων της διαφοράς του SDVI από τον ESA.

### SDVI - ESA



Εικόνα 6. 3. Αποτύπωση της διαφοράς του SDVI από τον ESA.



Σε γενική κλίμακα, και σύμφωνα με τον Πίνακα 6. 4 και την Εικόνα 6. 2, όπου εμφανίζεται το ιστόγραμμα συχνοτήτων, υπάρχει ταύτιση των δύο σύνθετων δεικτών σε ποσοστό 56.0%. Η ερμηνεία που δίνεται είναι ότι, ακολουθώντας τη νέα κατηγοριοποίηση, οι περιοχές εμφανίζουν ή δεν εμφανίζουν τρωτότητα στην ξηρασία και την ερημοποίηση. Επίσης, παρατηρείται ότι το 24.5% και το 19.5% των περιοχών είναι περισσότερο τρωτές στην ξηρασία και την ερημοποίηση, αντίστοιχα.

Πίνακας 6. 4. Στατιστικά από τη διαφορά του SDVI από τον ESA.

Τιμή	Συχνότητα	Σχετική Συχνότητα	Αθροιστική Συχνότητα	Σχετική
-2	20606	1.5		1.5
-1	240810	18.0		19.5
0	750649	56.0		75.5
1	311481	23.2		98.7
2	17319	1.3		100.0

Συμπερασματικά από τους παραπάνω χάρτες, οι αγροτικές περιοχές είναι περισσότερο τρωτές στην ξηρασία. Ο θεσσαλικός κάμπος συγκεντρώνει τα περισσότερα προβλήματα, ενώ ταυτόχρονα σε υψηλή τρωτότητα στην ερημοποίηση κατατάσσονται όλα τα νησιά του Αιγαίου, περιοχές της Ανατολικής Πελοποννήσου, της Στερεάς Ελλάδας και της Εύβοιας, τμήματα της Θεσσαλίας, της Μακεδονίας και της Θράκης, καθώς και το Κεντρικό και Νοτιο-Ανατολικό τμήμα της Κρήτης, όπου υπάρχουν μειωμένες βροχοπτώσεις.

Σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση (Πίνακας 6. 4 και την Εικόνα 6. 2) αποδεικνύεται ότι η **τρίτη υπόθεση** (Κεφ. 3) της διδακτορικής διατριβής ισχύει και μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία ενός σύνθετου δείκτη για την εκτίμηση της υποβάθμισης των φυσικών πόρων (εδαφικών και υδατικών).

## 6.2. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ (SWDI)

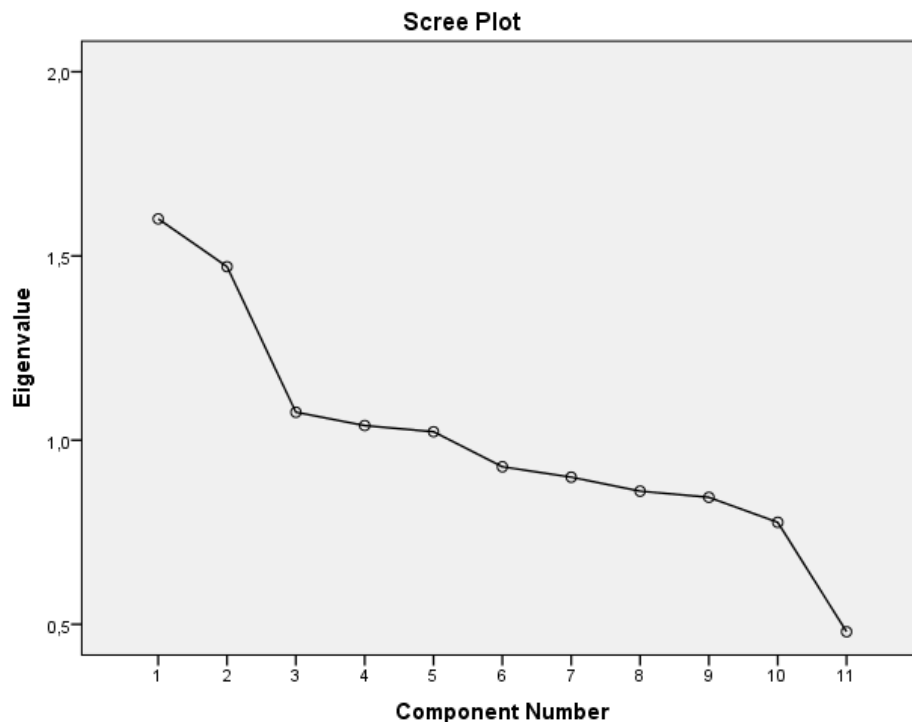
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η προσπάθεια ενοποίησης των υπο-δεικτών SDVI και ESA με σκοπό τη δημιουργία ενός νέου σύνθετου δείκτη που θα μπορεί να εντοπίζει χωρικά τις υποβαθμισμένες -σε υδατικούς και εδαφικούς πόρους- περιοχές. Προς αυτήν την κατεύθυνση, αρχικά πραγματοποιήθηκε ανάλυση όλων των δεικτών και των δύο διαδικασιών (6 του SDVI και 14 του ESA). Βάσει της συσχέτισης και της διακύμανσης του δείκτη ΚΜΟ (0.71), επιλέχθηκαν οι 11 ακόλουθοι δείκτες:

1. Ξηρότητα (Aridity),
2. Ζήτηση (Demand),
3. Επιπτώσεις από την ξηρασία (Impacts),
4. Αντοχή στη ξηρασία (Drought Resistance),
5. Υποδομές στους υδατικούς πόρους (Infrastructure),
6. Ένταση χρήσης γης (Land use intensity),
7. Μητρικό υλικό (Parent material),
8. Φυτοκάλυψη (Plant cover),
9. Βροχόπτωση (Rainfall),
10. Κλίσης (Slope), και
11. Σύσταση του εδάφους (Soil texture).

Πίνακας 6. 5. Συσχετίσεις μεταξύ των όλων των δεικτών από τους δυο σύνθετους δείκτες.

	Ξηρότητα (1)	Αντίσταση στη		Ένταση			Σύσταση		Μητρικό	Κλίση	
		Ζήτηση (2)	Ξηρασία (3)	Επιπτώσεις (4)	Χρήσης Γης (5)	Φυτο/ψη (6)	Βρο/ση (7)	Εδάφους (8)	Υποδομή (9)	Υλικό (10)	Εδάφους (11)
<b>(1)</b>	<b>1.000</b>	-0.022	-0.016	-0.024	-0.026	0.005	0.360	0.015	0.013	0.030	-0.060
<b>(2)</b>	-0.022	<b>1.000</b>	-0.048	0.216	-0.002	0.026	-0.079	-0.040	-0.113	-0.039	0.086
<b>(3)</b>	-0.016	-0.048	<b>1.000</b>	-0.067	0.204	0.117	0.077	-0.003	0.221	0.024	-0.054
<b>(4)</b>	-0.024	0.216	-0.067	<b>1.000</b>	-0.008	0.028	-0.085	-0.036	-0.137	-0.078	0.100
<b>(5)</b>	-0.026	-0.002	0.204	-0.008	<b>1.000</b>	0.510	-0.040	-0.022	-0.001	-0.014	0.005
<b>(6)</b>	0.005	0.026	0.117	0.028	0.510	<b>1.000</b>	-0.045	-0.019	-0.028	-0.007	0.019
<b>(7)</b>	0.360	-0.079	0.077	-0.085	-0.040	-0.045	<b>1.000</b>	0.020	0.050	0.010	-0.076
<b>(8)</b>	0.015	-0.040	-0.003	-0.036	-0.022	-0.019	0.020	<b>1.000</b>	0.007	-0.039	-0.008
<b>(9)</b>	0.013	-0.113	0.221	-0.137	-0.001	-0.028	0.050	0.007	<b>1.000</b>	0.062	-0.001
<b>(10)</b>	0.030	-0.039	0.024	-0.078	-0.014	-0.007	0.010	-0.039	0.062	<b>1.000</b>	-0.040
<b>(11)</b>	-0.060	0.086	-0.054	0.100	0.005	0.019	-0.076	-0.008	-0.001	-0.040	<b>1.000</b>

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε η μέθοδος PCA με τη χρήση 6 συστατικών που αντιστοιχούσαν στο 73.06%. Το συγκεκριμένο ποσοστό είναι ικανοποιητικό για τη δημιουργία των βαρών (Εικόνα 6. 4). Τα τελικά βάρη προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό του ποσοστού της διακύμανσης κάθε κύριας συνιστώσας και αθροίζονται. Στον Πίνακα 6. 6 εμφανίζονται τα βάρη του νέου σύνθετου δείκτη υποβάθμισης των υδατικών και εδαφικών πόρων. Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται στη σχέση αντιπροσωπεύουν το κλίμα, το έδαφος, τη βλάστηση και τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις.



Εικόνα 6. 4. Διάγραμμα PCA (Scree plot).

Για το κλίμα αντιστοιχούν οι δείκτες της Ξηρότητας και της Βροχόπτωσης, για το έδαφος το Μητρικό υλικό, η Κλίση και η Σύσταση του εδάφους, για τη βλάστηση η Φυτοκάλυψη και η Αντοχή στη ξηρασία και, τέλος, για τις ανθρωπογενείς επεμβάσεις η Ζήτηση, οι Επιπτώσεις, η Ενταση της χρήσης γης και οι Υποδομές. Είναι εμφανές ότι οι δείκτες που χρησιμοποιούνται δίνουν πληροφορίες για τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης, αλλά και για τον τρόπο που διαχειρίζεται ο άνθρωπος/λαμβάνοντας τις αποφάσεις τους φυσικούς πόρους.

Πίνακας 6. 6. Βάρη του δείκτη SWDI.

Υποδείκτες	Βάρη
Ξηρότητας (Aridity)	0.182
Αντοχή στη ξηρασία(Drought Resistance)	0.068
Βροχόπτωση (Rainfall)	0.076
Έντασης χρήσης γης (Land use intensity)	0.080
Επιπτώσεις (Impacts)	0.072
Ζήτηση (Demand)	0.110
Κλίση (Slope)	0.094
Μητρικό υλικό (Parent material)	0.077
Σύσταση εδάφους (Soil texture)	0.041
Υποδομές (Infrastructure)	0.094
Φυτοκάλυψης (Plant cover)	0.106
	<b>1.000</b>

Βάσει του παραπάνω πίνακα και του σύνθετου δείκτη, το μεγαλύτερο βάρος (0.182) αντιστοιχεί στον δείκτη Ξηρότητας και το μικρότερο (0.041) στο δείκτη Σύσταση εδάφους. Εν συνεχεία, προκύπτει ότι τη δεύτερη μεγαλύτερη βαρύτητα κατέχει η Ζήτηση, την τρίτη η Φυτοκάλυψη, την τέταρτη οι Υποδομές, την πέμπτη η Κλίση του εδάφους, την έκτη η Ένταση χρήσης γης, την έβδομη το Μητρικό υλικό του εδάφους, την όγδοη η Βροχόπτωση, την ένατη οι Επιπτώσεις, τη δέκατη η Αντοχή στην ξηρασία. Στην τελευταία θέση βρίσκεται η Σύσταση του εδάφους. Για τη τελική κατηγοριοποίηση των υπο-δεικτών ως προς τη βαρύτητα έγινε μια επιπλέον διόρθωση στις τιμές των βαρών του Πίνακα 6. 6. Συγκεκριμένα, οι τελικές τιμές καθορίστηκαν από τα βάρη επί των μέγιστων τιμών που εμφανίζονται αντίστοιχα στον εκάστοτε υπο-δείκτη. Οι νέες τιμές βαρύτητας που χαρακτηρίζουν τον κάθε υπο-δείκτη εμφανίζονται στον Πίνακα 6. 7.

Πίνακας 6. 7. Τα βάρη του δείκτη SWDI πολλαπλασιασμένα με τη μέγιστη τιμή τους.

Υπό-δείκτες	Βάρη	Μέγιστη τιμή	Τελική τιμή
Ξηρότητας (Aridity)	0.182	2	0.364
Αντοχή στη ξηρασία(Drought Resistance)	0.068	2	0.136
Βροχόπτωση (Rainfall)	0.076	4	0.304
Έντασης χρήσης γης (Land use intensity)	0.080	2	0.160
Επιπτώσεις (Impacts)	0.072	3	0.216
Ζήτηση (Demand)	0.110	3	0.330
Κλίση (Slope)	0.094	2	0.188
Μητρικό υλικό (Parent material)	0.077	2	0.154
Σύσταση εδάφους (Soil texture)	0.041	2	0.082
Υποδομές (Infrastructure)	0.094	3	0.282
Φυτοκάλυψης (Plant cover)	0.106	2	0.212
	<b>1.000</b>		

Από τους δύο πίνακες (6.6 & 6.7) παρατηρείται ότι, και στις δύο περιπτώσεις, οι δείκτες Ξηρότητα και Ζήτηση καταλαμβάνουν την πρώτη και τη δεύτερη θέση, αντίστοιχα. Την τελευταία και προτελευταία θέση κατέχουν η Σύσταση του εδάφους και η Αντοχή στην ξηρασία. Αντιθέτως, διαφοροποίηση εμφανίζεται στην περίπτωση του υπο-δείκτη Βροχόπτωση, ο οποίος βάσει του Πίνακα 6. 6 καταλαμβάνει την όγδοη θέση έναντι της τρίτης θέσης που κατέχει μετά τη διόρθωση των βαρών βάσει των μέγιστων τιμών. Παρόμοια συμπεριφορά εμφανίζει ο υπο-δείκτης Επιπτώσεις που από την ένατη θέση μεταπήδησε στην πέμπτη.

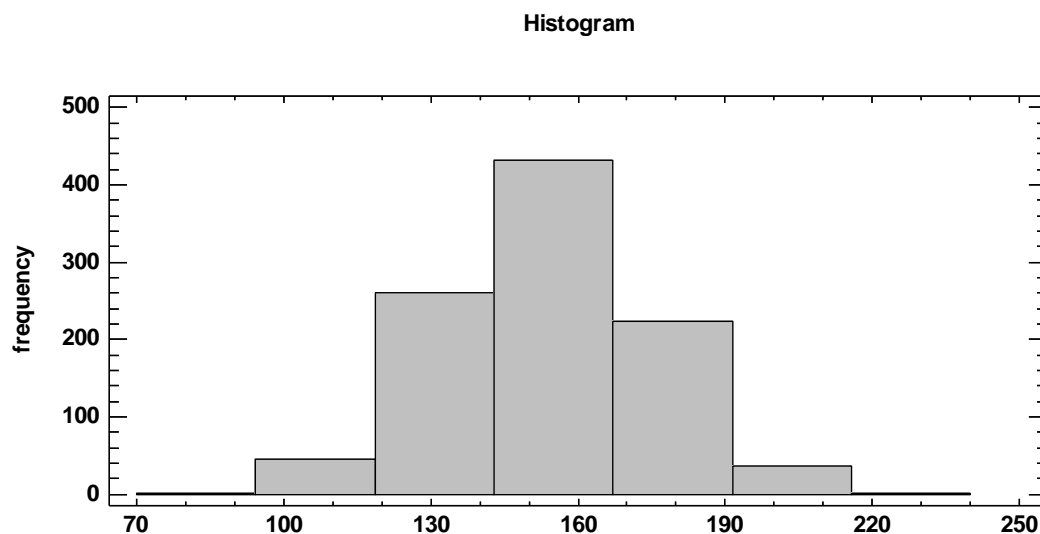
Στη συνέχεια, ακολουθήθηκε μια διαδικασία ανάπτυξης κλάσεων και διερεύνησης της ταυτόχρονης μεταβολής των δεικτών. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα 1,000 διαφορετικών δοκιμών ταυτόχρονης μεταβολής των υπο-δεικτών με τη χρήση τυχαίων αριθμών εντός του εύρους κατηγοριοποίησης και της ανάλυσης της αβεβαιότητας των δεικτών.

Η παραγωγή των τυχαίων αριθμών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της συνάρτησης των τυχαίων αριθμών στο Excel 2016, η οποία παράγει αριθμούς που προέρχονται από ομοιόμορφη κατανομή. Το δείγμα σε σχέση με μία χωρική εφαρμογή είναι μικρό, αλλά αντιπροσωπευτικό, ώστε να δημιουργηθούν οι κλάσεις σε σχέση με τη συχνότητα εμφάνισής τους. Έπειτα, υπολογίστηκε ο σύνθετος δείκτης. Λόγω του ότι το εύρος τιμών των

αποτελεσμάτων ήταν μικρό, οι τιμές πολλαπλασιάστηκαν επί 100 ώστε να προβάλλεται μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Τα εύρη των κλάσεων εμφανίζονται στον παρακάτω Πίνακα 6. 8 (OECD, 2008).

Πίνακας 6. 8. Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης του SWDI.

Κλάση	Όρια Κλάσεων	Μέσον	Συχνότητα	Σχετική Συχνότητα	Αθροιστική Συχνότητα	Αθροιστική Σχετική Συχνότητα
1	<94	82.0	1	0.001	1	0.001
2	94 - 118	106.0	45	0.045	46	0.046
3	118 - 142	130.5	261	0.261	307	0.307
4	142 - 167	155.0	431	0.431	738	0.738
5	167 - 191	179.5	224	0.224	962	0.962
6	191 - 215	203.5	37	0.037	999	0.999
7	>215	233.0	1	0.001	1000	1



Εικόνα 6. 5. Ιστόγραμμα συχνοτήτων της κατηγοριοποίησης του SWDI.

Για τη βέλτιστη ερμηνεία των αποτελεσμάτων, πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός των δεικτών που αφορούν τους εδαφικούς με αυτούς που αφορούν τους υδατικούς πόρους, αλλά και τους κοινούς τους. Συγκεκριμένα, στην υποβάθμιση των εδαφικών πόρων εντάσσονται οι δείκτες της Έντασης χρήσης γης, το μητρικό υλικό, η φυτοκάλυψη, η βροχόπτωση, η κλίση και η Σύσταση του εδάφους.

SWDI	Έδαφος	Νερό	Βλάστηση	Κοινωνικά Οικονομικά
Υπό-δείκτες				
Ανομβρίας	✓	✓	-	✓
Αντοχή στη Ξηρασία	✓	-	✓	-
Βροχόπτωση	-	✓	✓	-
Έντασης χρήσης γης	✓	✓	✓	✓
Επιπτώσεις	✓	✓	✓	✓
Ζήτηση	-	✓	✓	-
Κλίση	✓	-	-	-
Μητρικό υλικό	✓	-	-	-
Σύσταση εδάφους	✓	-	-	-
Υποδομές	✓	✓	✓	✓
Φυτοκάλυψης	✓	✓	✓	-

Εικόνα 6. 6. Σχέση των υπο-δεικτών με τις συνιστώσες του σύνθετου δείκτη SWDI.

Για την υποβάθμιση των υδατικών πόρων υπολογίζονται οι δείκτες της ξηρότητας, της Ζήτησης, των Επιπτώσεων, της Αντοχής στην ξηρασία, των Υποδομών και της Βροχόπτωσης. Χρησιμοποιώντας τις ίδιες βαρύτητες των δεικτών, ώστε να μην αλλοιωθεί η μεταξύ τους σχέση, καθώς και οι τυχαίες τιμές, εξήχθησαν νέες κλάσεις για τις δύο διαδικασίες. Στους παρακάτω Πίνακες (6.9 & 6.10) εμφανίζονται οι κατηγοριοποιήσεις των δύο διαδικασιών.

Πίνακας 6. 9. Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης της υποβάθμισης των εδαφικών πόρων.

Κλάση	Όρια Κλάσεων	Μέσον	Συχνότητα	Σχετική Συχνότητα	Αθροιστική Συχνότητα	Αθροιστική Σχετική Συχνότητα
1	<54	49.6429	16	0.016	16	0.016
2	54 - 63	58.9286	129	0.129	145	0.145
3	63 - 72	68.2143	319	0.319	464	0.464
4	72 - 82	77.5	304	0.304	768	0.768
5	82 - 91	86.7857	158	0.158	926	0.926
6	91 - 100	96.0714	63	0.063	989	0.989
7	>100	105.357	11	0.011	1000	1



Πίνακας 6. 10. Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης της υποβάθμισης των υδατικών πόρων.

Κλάση	Όρια Κλάσεων	Μέσον	Συχνότητα	Σχετική Συχνότητα	Αθροιστική Συχνότητα	Αθροιστική Σχετική Συχνότητα
1	<49	39.6429	4	0.004	4	0.004
2	49 - 68	58.9286	103	0.103	107	0.107
3	68 - 87	78.2143	250	0.25	357	0.357
4	87 - 107	97.5	355	0.355	712	0.712
5	107 - 126	116.786	213	0.213	925	0.925
6	126 - 145	136.071	68	0.068	993	0.993
7	>145	155.357	7	0.007	1000	1

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία δημιουργίας του νέου σύνθετου δείκτη με όνομα “Δείκτης Υποβάθμισης Εδαφικών και Υδατικών Πόρων” (*Soil & Water Resources Degradation Index*), έγινε εφαρμογή του για το χρονικό διάστημα από τον Οκτώβριο του 1983 μέχρι το Σεπτέμβριο του 1996. Επίσης, εφαρμόστηκε και για τις δύο διαδικασίες με απώτερο στόχο να εντοπίσει ποιός από τους δύο τομείς (υδατικών ή εδαφικών πόρων) αντιμετωπίζει το μεγαλύτερο πρόβλημα. Τα αποτελέσματα από τις εφαρμογές των δεικτών εμφανίζονται στο Κεφάλαιο 7.

Από τους παραπάνω σύνθετους δείκτες αποδεικνύεται ότι και η τέταρτη υπόθεση (Κεφ. 3) της παρούσας διδακτορικής διατριβής ισχύει και μπορεί να αποτυπώσει την υφιστάμενη κατάσταση μιας περιοχής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

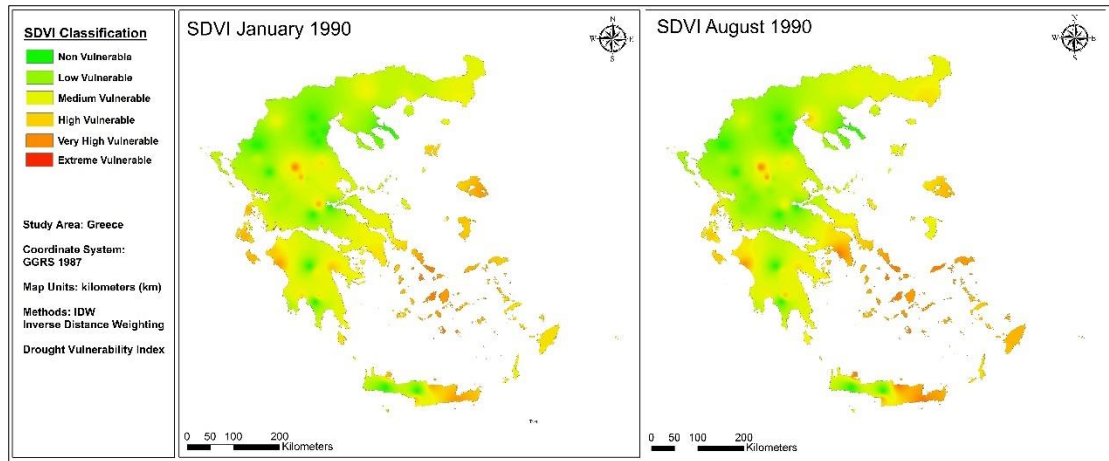
### 7.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ SDVI<sub>EW</sub> ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Σύμφωνα με τη διαδικασία που αναλύθηκε στα Κεφάλαια 5 και 6, ο χάρτης του SPI 6 και του SPI 12 του Ιανουαρίου και του Αυγούστου των ετών 1990, 2007 και 2009 παράχθηκαν χρησιμοποιώντας δεδομένα βροχόπτωσης από 46 σταθμούς. Στη χωρική κατανομή του SPI 6 για τον Αυγούστο του 1990 τα νησιά του Νοτίου Αιγαίου, η Κεντρική Μακεδονία και η Θράκη αποτυπώνουν συνθήκες ακραίας ξηρασίας. Ενδεικτικά, για τον σταθμό στο νησί της Θήρας (Νότιο Αιγαίο) η βροχόπτωση ήταν 16.4 mm το έτος 1989, ενώ ο μέσος όρος ήταν 325.6 mm (1982–2006). Επομένως, υπάρχει 95% μείωση για το έτος 1990, κατά τη διάρκεια του οποίου σημειώθηκε βροχόπτωση 113.3 mm, εμφανίζεται δηλαδή 35% μείωση. Για τον Ιανουάριο του 2007, η Δυτική Ελλάδα, αλλά κυρίως η Νότια Ελλάδα, είχε υποστεί εντονότερα το φαινόμενο. Ενδεικτικά, τα νησιά των Κυκλάδων στο Νότιο Αιγαίο φαίνεται να έχουν υποστεί σοβαρή μείωση. Στον σταθμό της Ρόδου η βροχόπτωση ήταν 398.2 mm, ενώ ο μέσος όρος (1955–2009) είναι 675 mm, επομένως υπάρχει 41% μείωση. Ξηρές συνθήκες παρατηρούνται μόνο στις κεντρικές και ανατολικές περιοχές της χώρας. Στο σταθμό του Ταυρωπού η βροχόπτωση ήταν 811 mm και η μέση ετήσια τιμή (1963 – 2008) είναι 1,247.8 mm, αντανakλώντας μείωση της τάξης του 35%. Τον Ιανουάριο του 2009, παρατηρούνται στη Θράκη ήπιες ξηρές συνθήκες. Επίσης, καταγράφεται στον σταθμό της Αλεξανδρούπολης 332.6 mm, ενώ η μέση ετήσια τιμή (1947 – 2009) είναι 537.8 mm, αντανakλώντας μια μείωση σε ποσοστό 38%. Ήπιες υγρές συνθήκες εμφανίζονται σε ολόκληρη τη χώρα κατά τη διάρκεια του Αυγούστου του ίδιου έτους. Συνολικά, στην Ελλάδα, παρατηρείται μια χρονική υστέρηση συνήθως όσον αφορά τη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων. Έτσι, οι κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις των περιορισμένων βροχοπτώσεων που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου (που αντιπροσωπεύεται επίσης στους χάρτες Ιανουαρίου), θα εμφανίσουν σημαντικές ελλείψεις με περαιτέρω επιδείνωση κατά την καλοκαιρινή περίοδο της αυξημένης ζήτησης. Ένα τέτοιο θέμα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, ιδιαίτερα όταν αναφερόμαστε σε εκτίμηση της τρωτότητας. Επιπρόσθετα, υπάρχει η πεποίθηση ότι οι 13 θέσεις που προστέθηκαν συμβάλλουν στην πιο αντιπροσωπευτική εκτίμηση του SDVI. Ο υπολογισμός του σύνθετου δείκτη πραγματοποιήθηκε σημειοκά και εμφανίζεται στην παρακάτω Εικόνα 7. 1.

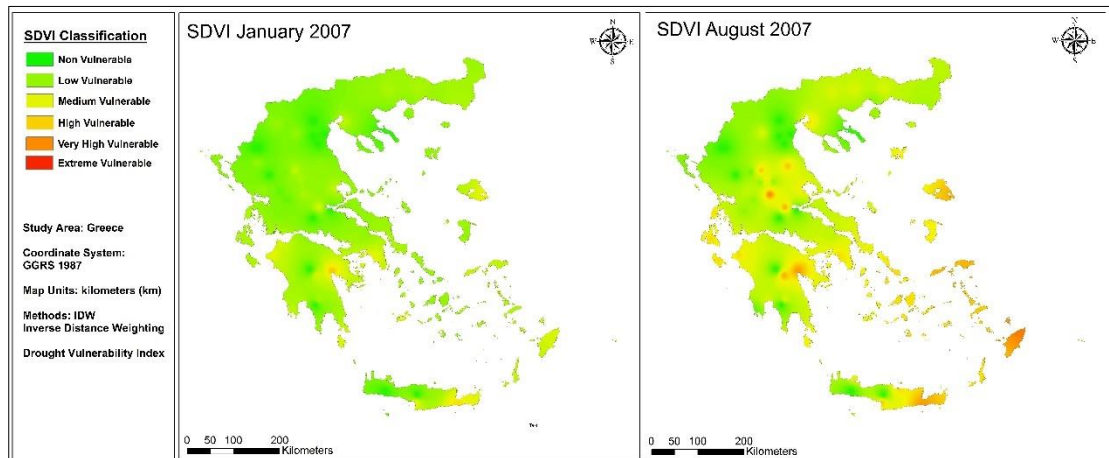
Station	C-SPI 6	C-SPI 12	Supply	Demand	Impact	Inf	SDVI
A.Fragista	1	1	0	0	0	0	0.33
Aktion	2	3	1	1	1	0	1.33
Alexandroupoli	3	3	1	1	0	2	1.67
Anchialos	1	2	1	1	1	2	1.33
Andravida	2	3	1	1	1	2	1.67
Araxos	3	3	1	1	1	1	1.67
Ardanovo	1	2	0	0	0	0	0.50
Argos	2	3	1	1	1	2	1.67
Arta	2	3	0	0	0	1	1.00
Chania	3	3	2	2	2	2	2.33
Chios	1	2	1	1	1	2	1.33
Chrysoupoli	2	2	1	1	1	1	1.33
Hellinicon	2	3	2	3	2	2	2.33
Heraklion	3	3	2	2	2	2	2.33
Ierapetra	3	3	2	2	2	2	2.33
Ioannina	2	3	0	0	0	0	0.83
kalamata	2	3	1	1	1	1	1.50
Kastoria	2	2	1	1	1	0	1.17
Kastraki	1	2	0	0	0	0	0.50
Kerkyra	2	3	0	0	0	0	0.83
Kos	3	2	2	2	1	1	1.83
Kozani	2	2	0	0	0	0	0.67
Kremasta	1	2	0	0	0	0	0.50

Εικόνα 7. 1. Διαδικασία υπολογισμού του SDVI για τον Αύγουστο του 1990 στα διάφορα σημεία.

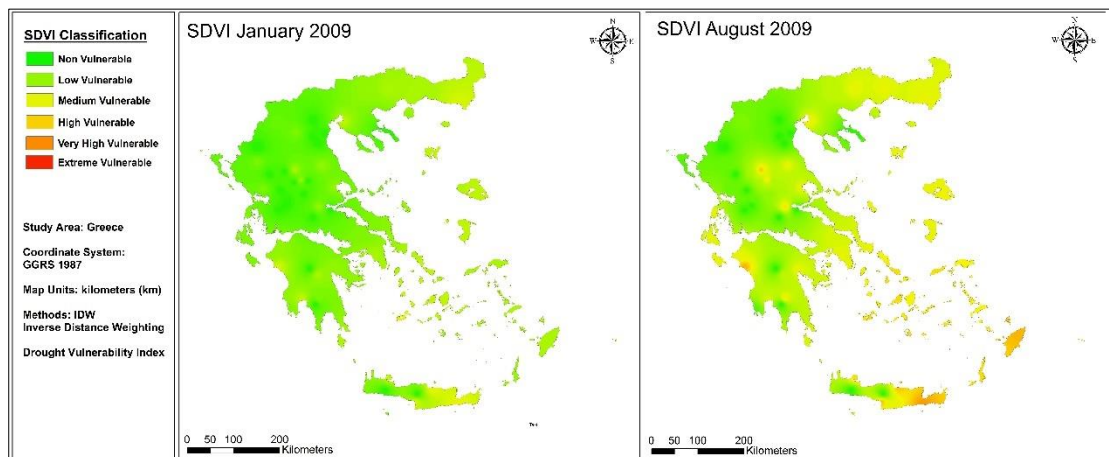
Συνεχίζοντας, οι τιμές του SDVI υπολογίστηκαν σύμφωνα με τη διαδικασία που αναφέρθηκε παραπάνω και απεικονίζονται σε ψηφιακούς χάρτες στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 7. 2, Εικόνα 7. 3 και Εικόνα 7. 4). Συγκριτικά, οι υψηλότερες τιμές σημειώθηκαν στις τιμές των SPI 6 και των SPI 12 το 1990. Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια του Αυγούστου του 2009, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι βροχοπτώσεις δεν μεταβλήθηκαν ιδιαίτερα από τον μέσο όρο τους. Συνολικά, η αναπαράσταση των χαρτών SPI φαίνεται να έχει απεικονίσει επαρκώς τις φυσικές κλιματικές συνθήκες (μετεωρολογική ξηρασία) όσον αφορά τη βροχόπτωση χωρικής και χρονικής κλίμακας.



Εικόνα 7. 2. Οι χάρτες SDVI Ιανουαρίου και Αυγούστου 1990 (Karavitis et al., 2014).



Εικόνα 7. 3. Οι χάρτες SDVI Ιανουαρίου και Αυγούστου 2007 (Karavitis et al., 2014).



Εικόνα 7. 4. Οι χάρτες SDVI Ιανουαρίου και Αυγούστου 2009 (Karavitis et al., 2014).

Οι δείκτες εμφανίζουν υψηλότερες τιμές τον Ιανουαρίο του 1990 και τον Αύγουστο των ετών 1990, 2007 και 2009. Αυτό το γεγονός μπορεί να αποδοθεί στην υψηλή ζήτηση νερού κατά την καλοκαιρινή περίοδο (άρδευση, τουρισμός) που η χώρα έχει την τάση να «πάσχει» περισσότερο λόγω της ανεπάρκειας διαθέσιμων υδατικών πόρων. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, οι επιπτώσεις ξηρασίας είναι συνήθως μηδενικές. Σχετικά με την εκτίμηση του δείκτη για την Υποδομή, έχει παρατηρηθεί μια σημαντική αλλαγή από το 1990 έως το 2007. Από το 1990 και μετά έλαβαν χώρα πολλές νέες εξελίξεις στις υποδομές νερού με την κατασκευή νέων φραγμάτων και συστημάτων υδατικών δικτύων. Από το 2007 έως το 2009, δεν έχει καταγραφεί σχεδόν καμία αλλαγή. Ωστόσο, η κατάσταση των υποδομών στους υδατικούς πόρους στην Ελλάδα συνεχίζει να βραδυπορεί εξαιτίας της έλλειψης ολοκληρωμένου σχεδιασμού που, σε συνδυασμό με το κόστος συντήρησης και λειτουργίας των υποδομών, μειώνει κατά πολύ την αποτελεσματικότητά τους (Barraqué et al., 2008b).

Εν κατακλείδι, φαίνεται ότι ο SDVI προσφέρει ένα βήμα προς την κατεύθυνση της της σύνδεσης των βροχοπτώσεων με τα ελλείμματα ζήτησης που συνήθως οριοθετούν και οξύνουν τις υδατικές συνθήκες και την τρωτότητα στην ξηρασία. Ο σύνθετος δείκτης δίνει τη δυνατότητα απεικόνισης διάφορων περιοχών και ακολουθεί ικανοποιητικά τις διακυμάνσεις της τρωτότητας στην Ελλάδα σε σχέση με τις καταγεγραμμένες ξηρασίες και επιπτώσεις.

## 7.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ SDVI<sub>EW</sub> ΣΤΗΝ Ν. Α. ΕΥΡΩΠΗ

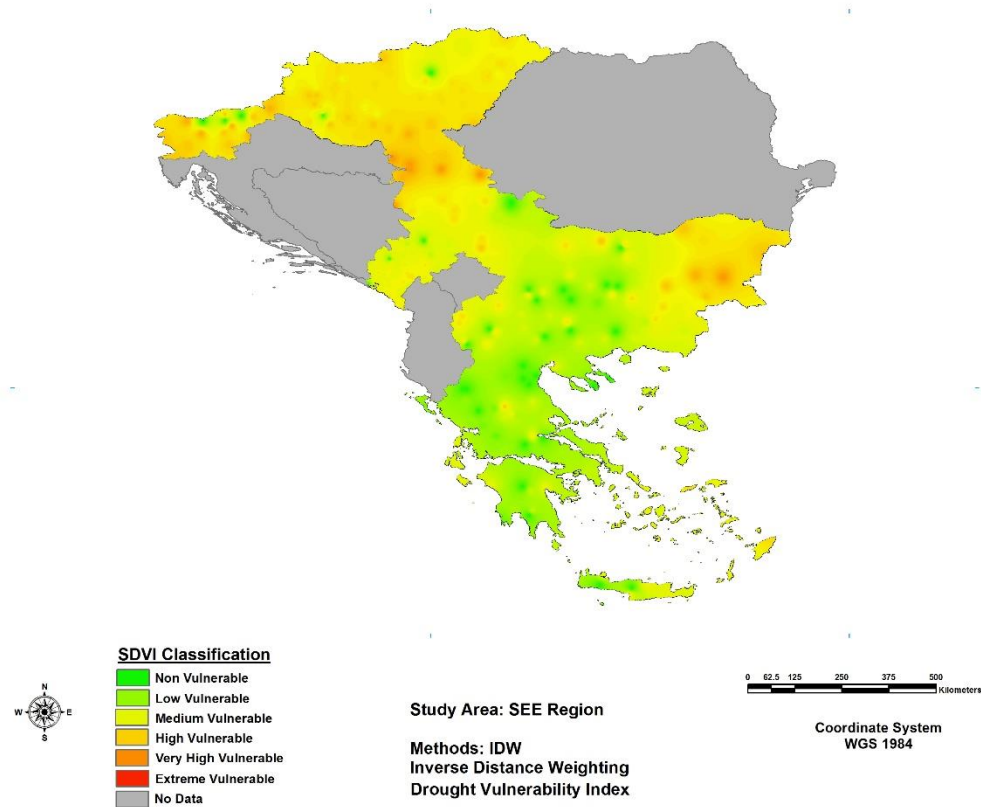
Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 7. 1 για τις σημειακές και στην Εικόνα 7. 5 για τις χωρικές τιμές. Σύμφωνα με τον Πίνακα (7. 1), η τρωτότητα για ολόκληρη την περιοχή που μελετάται είναι ίση με 1.46 που αυτό μεταφράζεται σε Μέτρια Τρωτότητα. Στην περίπτωση της Ελλάδας, που είναι η λιγότερο τρωτή χώρα στην ξηρασία, η μέση τιμή της είναι ίση με 1.10 (Μέτρια Τρωτότητα), ενώ η Σλοβενία που αναφέρεται ως η πιο τρωτή χώρα, εμφανίζει μέσο όρο που ανέρχεται στο 1.90 (Υψηλή Τρωτότητα). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι μόνο 15 από τους 252 σταθμούς στις διάφορες λεκάνες, που χρησιμοποιούνται στην παρούσα προσπάθεια, εμφανίζουν πολύ μεγάλη ευαισθησία ( $\geq 2$ ) και αυτοί βρίσκονται στη Σλοβενία, την Ουγγαρία, τη Σερβία και τη Βουλγαρία. Οι περιοχές που πλήττονται περισσότερο είναι στην πλειοψηφία τους γεωργικές περιοχές, στις οποίες παρουσιάστηκαν υψηλές ζημιές στην παραγωγή λόγω της ξηρασίας αυτής. Με άλλα λόγια, όπου υπήρχαν αρδευτικές απαιτήσεις δημιουργήθηκαν σοβαρά προβλήματα εφοδιασμού ύδατος, ειδικά στην Σλοβενία όπου δεν υπάρχουν πολλές υποδομές ώστε να αποθηκευτεί το επιφανειακό νερό και να χρησιμοποιηθεί όταν αυξάνεται η ζήτηση. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι βόρειες

χώρες της Ν.Α. Ευρώπης ορίζουν την μετεωρολογική ξηρασία όταν δεν σημειωθούν κατακρημνίσεις για τουλάχιστον 20 ημέρες. Γενικά, η νότια πλευρά της Ν.Α. Ευρώπης (Ελλάδα, Π.Γ.Δ.Μ. και Δυτική Βουλγαρία) εμφανίζει χαμηλότερη τρωτότητα στην ξηρασία. Τα αποτελέσματα της SDVI μπορούν να συνδεθούν άμεσα με τα αποτελέσματα της SPI, δεδομένου ότι οι πλέον πιο τρωτές χώρες εμφανίζουν ακραίες συνθήκες ξηρασίας σε σχέση με τη νότια περιοχή. Στο νότιο άκρο της περιοχής (ως επί τω πλείστον στην Ελλάδα), ο Αύγουστος είναι, μαζί με τον Ιούλιο, ένας από τους ξηρότερους μήνες του έτους λόγω μηδενικών βροχοπτώσεων, αλλά και υψηλών θερμοκρασιών. Επιπλέον, οι περιορισμένες βροχοπτώσεις κατά τους προηγούμενους μήνες στις τρωτές περιοχές που συνήθως είχαν υγρό χειμώνα έχουν ως αντίκτυπο λιγότερα αποθέματα σε νερό στους υδροφορείς (έλλειψη υποδομών). Στην Ελλάδα αν συμβεί κάτι αντίστοιχο, δηλαδή ξηρός χειμώνας, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να μην γεμίσουν οι ταμιευτήρες και να μην γίνει επαναπλήρωση των υπόγειων υδροφορέων. Έτσι, κατά την καλλιεργητική περίοδο, και περισσότερο το καλοκαίρι, θα υπάρξουν σημαντικά ελλείμματα στον εφοδιασμό του νερού (περίπου το 85% ετησίως για την κατανάλωση νερού χρησιμοποιείται από τη γεωργία).

Πίνακας 7. 1. Τα αποτελέσματα του SDVI σχετικά με τις υπάρχουσες συνθήκες τον Αύγουστο 2003 (Karavitis et al., 2013).

Χώρα	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Σταθμοί	Περιοχές με μηδενική τρωτότητα δεν συμπεριλαμβάνονται				Συνολικά Σημεία	Περιοχές με μηδενική τρωτότητα συμπεριλαμβάνονται			
			Μέγιστο	Ελάχιστο	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση		Μέγιστο	Ελάχιστο	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
Ελλάδα	131957	59	1.83	0.33	1.10	0.34	74	1.83	0.00	0.88	0.54
Π.Γ.Δ.Μ.	27713	12	1.67	1.00	1.39	0.23	16	1.67	0.00	1.04	0.63
Βουλγαρία	110994	28	2.17	0.50	1.50	0.39	35	2.17	0.00	1.20	0.69
Σερβία	88361	28	2.17	1.00	1.61	0.42	32	2.17	0.00	1.41	0.66
Μαυροβούνιο	13812	55	1.67	1.17	1.47	0.13	61	1.67	0.00	1.33	0.45
Ουγγαρία	93030	58	1.83	1.33	1.64	0.12	60	1.83	0.00	1.59	0.32
Σλοβενία	20273	12	2.00	1.83	1.90	0.08	15	2.00	0.00	1.52	0.76
Σύνολο	486140	252	2.17	0.33	1.46	0.35	293	2.17	0.00	1.25	0.61

Ως εκ τούτου, η άρδευση και οι αστικές ανάγκες (ζήτηση) αυξάνουν αισθητά την τρωτότητα στη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Επιπλέον, σύμφωνα με τον SPI, ορισμένες περιοχές στο νότιο τμήμα (περιοχές ορεινές, χαμηλή οικονομικών δραστηριοτήτων κ.λπ.) βιώνουν έντονη ξηρασία, αλλά πολύ χαμηλή τρωτότητα, δεδομένου ότι η ζήτηση και οι επιπτώσεις ήταν ουσιαστικά ανύπαρκτες. Η συγκεκριμένη παρατήρηση αποδίδεται στην επιρροή αυτών των παραμέτρων (π.χ. επιπτώσεις, ζήτηση). Συνολικά, πρέπει να αναφερθεί ότι οι επιπτώσεις των σοβαρών γεγονότων ξηρασίας που σημειώθηκαν το καλοκαίρι του 2003 θα ήταν πιο αισθητές στο βόρειο τμήμα της Νότιο-Ανατολικής Ευρώπης. Τα αποτελέσματα που παράχθηκαν απεικονίζονται στην Εικόνα 7. 5.



Εικόνα 7. 5. Ο SDVI για τον Αύγουστο 2003 στην περιοχή της Νότιο-Ανατολικής Ευρώπης (Karavitis et al., 2013).



### 7.2.1. Σενάριο Α: Υψηλή Ζήτηση Ύδατος

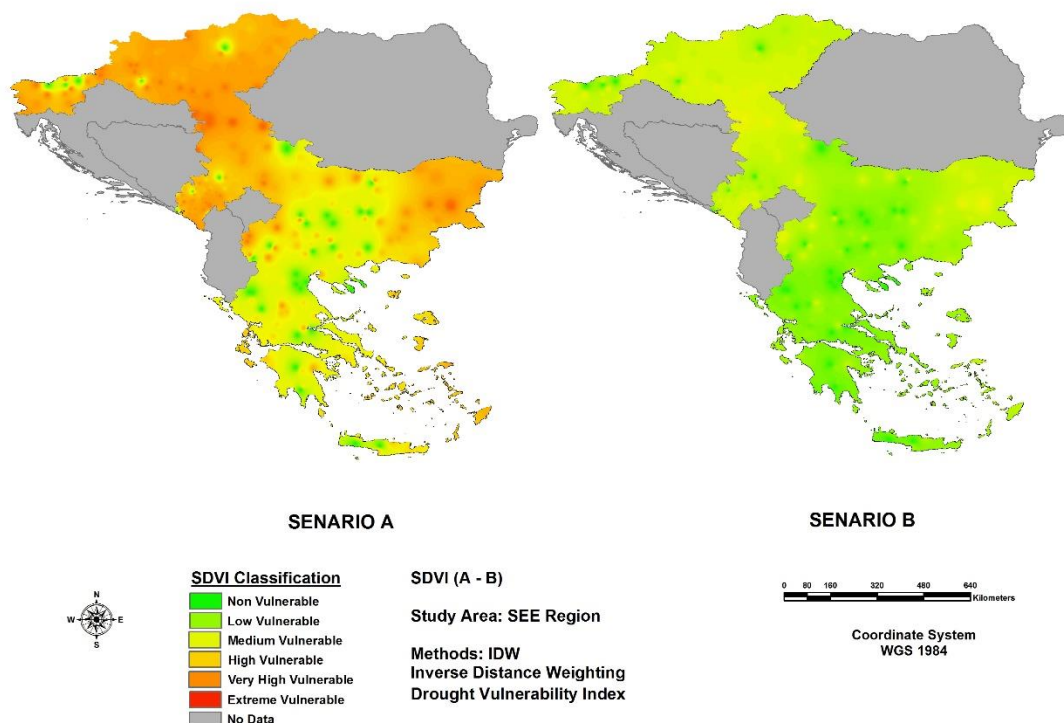
Στο πρώτο σενάριο, οι υπο-δείκτες Ζήτηση και Επιπτώσεις καθορίστηκαν με την τιμή 3, δηλαδή οι απαιτήσεις σε νερό ήταν κατά 50% πάνω από τις συνηθισμένες (πάνω από το μέσο όρο), ενώ ταυτόχρονα προκλήθηκαν ζημιές από την ξηρασία αντίστοιχα πάνω από 50%. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το εν λόγω σενάριο (ελάχιστες πιθανότητες) παρουσιάζονται στην Εικόνα 7. 6 και οι σημειακές τιμές στον Πίνακα 7. 2. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, ο μέσος όρος στην περιοχή μελέτης έχει αλλάξει κλάση, όπως αναμενόταν, από Μέτρια Τρωτότητα σε Πολύ Υψηλή Τρωτότητα (2.02). Επιπλέον, η κατάταξη των χωρών έχει τροποποιηθεί και συγκεκριμένα για την Ελλάδα (1.72 – Υψηλή Τρωτότητα) και τη Σλοβενία (2.24 – Πολύ Υψηλή Τρωτότητα). Η Βουλγαρία έχει γίνει λιγότερο τρωτή από την Π.Γ.Δ.Μ. και το Μαυροβούνιο. Από τους 252 σταθμούς, οι 172 έχουν βρεθεί με Πολύ Υψηλή Τρωτότητα (κυρίως στο βόρειο τμήμα της περιοχής).

Πίνακας 7. 2. Τα αποτελέσματα του SDVI για το σενάριο Α στην περιοχή της Νότιο-Ανατολικής Ευρώπης (Karavitis et al., 2013).

Χώρα	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Σταθμοί	Περιοχές με μηδενική τρωτότητα δεν συμπεριλαμβάνονται				Συνολικά Σημεία	Περιοχές με μηδενική τρωτότητα συμπεριλαμβάνονται			
			Μέγιστο	Ελάχιστο	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση		Μέγιστο	Ελάχιστο	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
Ελλάδα	131957	59	2.17	1.17	1.72	0.19	74	2.17	0.00	1.37	0.71
Π.Γ.Δ.Μ.	27713	12	2.33	1.67	2.06	0.23	16	2.33	0.00	1.54	0.91
Βουλγαρία	110994	28	2.50	1.50	1.95	0.26	35	2.50	0.00	1.56	0.81
Σερβία	88361	28	2.50	1.67	2.11	0.29	32	2.50	0.00	1.84	0.75
Μαυροβούνιο	13812	55	2.33	1.83	2.14	0.13	61	2.33	0.00	1.93	0.65
Ουγγαρία	93030	58	2.33	1.83	2.14	0.12	60	2.33	0.00	2.07	0.40
Σλοβενία	20273	12	2.33	2.17	2.24	0.08	15	2.33	0.00	1.79	0.90
Σύνολο	486140	252	2.50	1.17	2.02	0.26	293	2.50	0.00	1.73	0.75

### 7.2.2. Σενάριο Β: Χαμηλή Ζήτηση Ύδατος

Εφαρμόζοντας το αξίωμα αυτό, οι υπο-δείκτες της Ζήτησης του νερού, αλλά και οι σχετικές Επιπτώσεις, θεωρούνται ως εξαιρετικά χαμηλές. Έτσι, με βάση τις αντίστοιχες παραμέτρους, τέθηκε η χαμηλότερη τιμή της τρωτότητας για τους αντίστοιχους υπο-δείκτες (0). Το αποτέλεσμα που παράγεται από την εφαρμογή αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 7. 6 και στον Πίνακα 7. 3. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η μέση τιμή της περιοχής που εξετάζεται δεν έχει αλλάξει σημαντικά (1.02 – Μέτρια Τρωτότητα) σε σύγκριση με τις πραγματικές συνθήκες. Ωστόσο, αυτό το σενάριο παρουσιάζει τη συνολική κατάσταση λιγότερο τρωτή στην ξηρασία σε σχέση με την πραγματικότητα. Για άλλη μια φορά, η Ελλάδα και η Σλοβενία έχουν χαρακτηριστεί ως η λιγότερο και η περισσότερο τρωτή χώρα, αντίστοιχα. Στην περίπτωση αυτή, όπως και στο προηγούμενο σενάριο, η Βουλγαρία έχει γίνει λιγότερο ευάλωτη από την Π.Γ.Δ.Μ. και το Μαυροβούνιο. Εκ των 252 υπό μελέτη σταθμών, οι 172 έχουν βρεθεί με Μέτρια Τρωτότητα, ενώ 80 έχουν ταξινομηθεί με Χαμηλή Τρωτότητα, κυρίως στο νότιο τμήμα της περιοχής.



Εικόνα 7. 6. Ο SDVI για τον Αύγουστο 2003 – σενάρια A και B στην περιοχή της Νότιο-Ανατολικής Ευρώπης (Karavitis et al., 2013).

Πίνακας 7. 3. Τα αποτελέσματα SDVI για το σενάριο Β στην περιοχή της Νότιο-Ανατολικής Ευρώπης (Karavitis et al., 2013).

Χώρα	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Σταθμοί	Περιοχές με μηδενική τρωτότητα δεν συμπεριλαμβάνονται				Συνολικά Σημεία	Περιοχές με μηδενική τρωτότητα συμπεριλαμβάνονται			
			Μέγιστο	Ελάχιστο	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση		Μέγιστο	Ελάχιστο	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
Ελλάδα	131957	59	1.17	0.17	0.72	0.19	74	1.17	0.00	0.57	0.34
Π.Γ.Δ.Μ.	27713	12	1.33	0.67	1.06	0.25	16	1.33	0.00	0.79	0.50
Βουλγαρία	110994	28	1.50	0.50	0.95	0.26	35	1.50	0.00	0.76	0.44
Σερβία	88361	28	1.50	0.67	1.11	0.29	32	1.50	0.00	0.97	0.46
Μαυροβούνιο	13812	55	1.33	0.83	1.14	0.13	61	1.33	0.00	1.02	0.36
Ουγγαρία	93030	58	1.33	0.83	1.14	0.12	60	1.33	0.00	1.10	0.24
Σλοβενία	20273	12	1.33	1.17	1.24	0.08	15	1.33	0.00	0.99	0.50
Σύνολο	486140	252	1.50	0.17	1.02	0.26	293	1.50	0.00	0.87	0.43

Συνολικά, η περιοχή της Ν.Α. εμφανίζεται με μέτρια τρωτότητα τον Αυγούστο του 2003, υπό τους όρους που σημειώθηκαν. Σύμφωνα με τις υποθέσεις του σεναρίου Α – έλλειμμα νερού (υψηλή ζήτηση) και ακραίες επιπτώσεις → η περιοχή ταξινομείται σε πολύ μεγάλη τρωτότητα. Οι παραδοχές για το σενάριο Β → χαμηλή ζήτηση και μηδενικές επιπτώσεις → η κατάσταση της τρωτότητας χαρακτηρίζεται ως μέτρια. Ακόμα, το θέμα ευπάθειας που περιγράφεται έχει φτάσει σε χαμηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με τα πραγματικά τον Αύγουστο του 2003.

Σε όλες τις αναλυθείσες περιπτώσεις (πραγματικές συνθήκες και σεναρία), το νότιο τμήμα της περιοχής είναι λιγότερο ευαίσθητο, με την Ελλάδα και τη Σλοβενία να εμφανίζονται ως λιγότερο τρωτές σε σχέση με τις άλλες χώρες. Επιπλέον, σε όλες τις περιπτώσεις, η τρωτότητα φαίνεται να ακολουθεί τη γενική τάση που αντικατοπτρίζεται από την απεικόνιση των SPI6 και SPI12. Πιο συγκεκριμένα, τόσο το σύνολο των αποτελεσμάτων του SPI, όσο και των αντίστοιχων SDVI, σταδιακά μειώνονται από πλευράς σοβαρότητας καθώς κινείται από το Βορρά (Σλοβενία και Ουγγαρία) προς το Νότο (Π.Γ.Δ.Μ. και Ελλάδα). Ωστόσο, η αξιολόγηση των τιμών του SDVI εμφανίζει μια σχέση μεταξύ της υψηλότερης τιμής του SPI6 και των τιμών του SPI12 (2.07 και 1.50, αντίστοιχα). Αυτές τις τιμές μπορούν να θεωρηθούν ως αναμενόμενες, εφόσον τα στοιχεία του SPI αντιπροσωπεύουν το ένα τρίτο των υποδεικτών του SDVI και είναι εξίσου σταθμισμένα μέσα στη εξίσωσή του.

Υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων του SPI (6 και 12) και του SDVI, από την άλλη πλευρά ο SPI δεν δύναται να αντιμετωπίσει με αποτελεσματικότητα όλες τις πτυχές/διαστάσεις της έννοιας τρωτότητας. Κατά συνέπεια, οι άλλοι τέσσερις υπο-δείκτες φαίνεται να διορθώνουν το κενό και να οδηγούν στη σύνδεση των επιπτώσεων της ξηρασίας σε σχέση με τα χαρακτηριστικά και με αυτό το τρόπο να παρουσιάζεται η τρωτότητα ως ένας περισσότερο συνεκτικός όρος (Karavitis et al., 2014). Πιο συγκεκριμένα, εξετάζοντας τα σεναρία, με το SPI, τον εφοδιασμό και τις υποδομές να έχουν τις πραγματικές τους τιμές για τον Αυγούστο του 2003, η εκτιμώμενη τρωτότητα επηρεάστηκε θετικά ή αρνητικά από τις τροποποιημένες τιμές ζήτησης και επιπτώσεων ανά σενάριο.

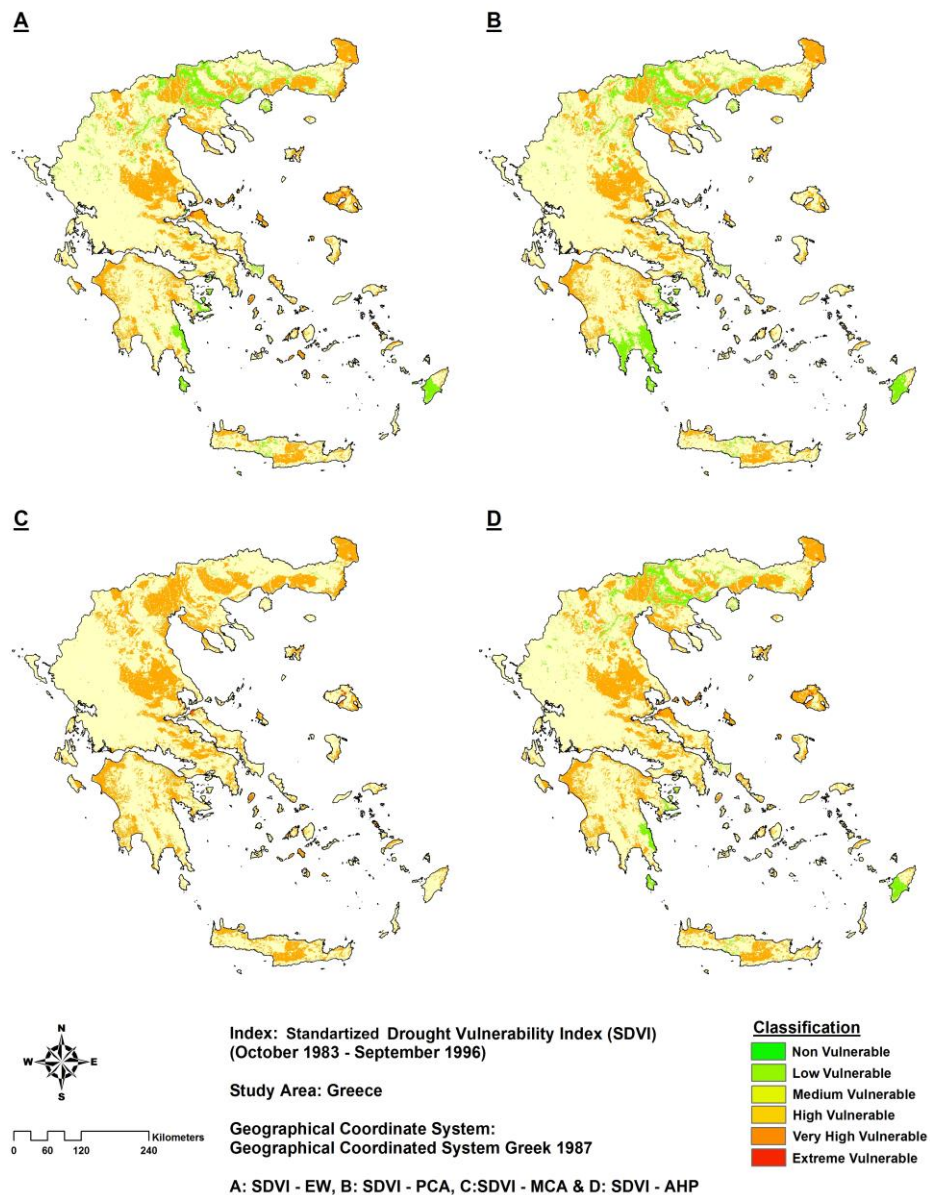
Το χρονικό διάστημα (Αύγουστος, 2003) κρίνεται ως καθοριστική παράμετρος για την αξιολόγηση της τρωτότητας. Στις βόρειες χώρες η γεωργία στηρίζεται στη βροχοπτώση (έλλειψη υποδομών), με αποτέλεσμα οι μειωμένες βροχοπτώσεις ή οι ξηρές περίοδοι να οδηγούν σε συνθήκες μεγάλης τρωτότητας, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες. Αντίθετα, στις νότιες περιοχές και γενικά στις μεσογειακές χώρες, μια μακρά ξηρή θερινή περίοδος (Μάιος – Οκτώβριος) θεωρείται ένα κανονικό γεγονός του κλίματος της περιοχής. Σε αρκετές

περιοχές και ιδιαίτερα στα νησιά των Κυκλάδων, οι τιμές του υετού τον Ιούλιο και τον Αύγουστο είναι συχνά σχεδόν μηδενικές, με αποτέλεσμα ο SPI να εμφανίζει κανονικές συνθήκες. Με άλλα λόγια, ο SPI αδυνατεί να αντικατοπτρίσει την εποχιακή ξηρασία. Αυτό έχει ως μειονέκτημα τη μη συσχέτιση του SPI με την τρωτότητα και, επίσης, τη μη ικανότητά του να εμφανίσει το έλλειμμα νερού στον Εφοδιασμό και τη Ζήτηση.

Για να εμφανιστεί στην Ελλάδα υψηλή τρωτότητα στην ξηρασία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, τα υδατικά αποθέματα στους ταμιευτήρες και τους υπόγειους υδροφορείς θα πρέπει να έχουν περιοριστεί πολύ κατά τους χειμερινούς μήνες. Δεδομένου ότι η πλειοψηφία των κατακρημνισμάτων πέφτει κατά τους χειμερινούς μήνες ένα φαινόμενο μετεωρολογικής ξηρασίας τους χειμερινούς μήνες δρα συσσωρευτικά και, σε συνδυασμό με τις υψηλές απαιτήσεις του καλοκαιριού σε νερό (άρδευση, τουρισμός και ύδρευση), μπορεί να οδηγήσει σε πολύ δυσμενείς επιπτώσεις. Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας (υπο-δείκτης) που εντείνει την τρωτότητα είναι η έλλειψη υποδομών που μπορεί να δημιουργήσει καταστροφικές πιέσεις σε ξηρές περιόδους. Ο SDVI ενσωματώνει όλα τα παραπάνω και μπορεί να απεικονίσει αυτήν τη συμπεριφορά σε διαφορετικές συνθήκες.

### **7.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΩΡΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ SDVI ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

Ο SDVI υπολογίστηκε σύμφωνα με τις εξισώσεις του 4<sup>ου</sup> κεφαλαίου και τα αποτελέσματά του εμφανίζονται παρακάτω. Τα βάρη που προέρχονται από τις μεθόδους PCA, AHP και MCA, καθώς και από τη διαδικασία EW, εισήχθησαν σε τέσσερα διαφορετικά γραμμικά μοντέλα. Τα αποτελέσματα που παράγονται από τα μοντέλα και τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν συνοψίζονται στην Εικόνα 7. 7. Στον χάρτη Α εμφανίζεται ο SDVI με ίσα βάρη (αρχική τεχνική δημιουργίας του δείκτη), ενώ οι χάρτες Β, C και D τα αποτελέσματα των PCA, MCA και AHP, αντίστοιχα.



Εικόνα 7. 7. Ο SDVI για τη χρονική κλίμακα Οκτώβριος 1983 – Σεπτέμβριος 1996.

Παρατηρείται ότι όλες οι μέθοδοι εμφανίζουν πολύ υψηλό βαθμό μεταξύ τους συσχέτισης. Μια διαφορά που εμφανίζεται στον Πίνακα 7. 4 είναι η ελάχιστη τιμή της MCA, η οποία διαφέρει από την ελάχιστη τιμή που σημειώνεται χωρικά στις άλλες 3 μεθόδους. Συγκεκριμένα, η ελάχιστη τιμή είναι 0.92, ενώ των υπολοίπων μεθόδων είναι 0.667 (EW), 0.680 (PCA) και 0.788 (AHP). Ο μεγαλύτερος βαθμός συσχέτισης (0.992) σημειώνεται μεταξύ της EW και της AHP, ενώ ο χαμηλότερος μεταξύ της PCA και της MCA. Το γενικό συμπέρασμα από τα παραπάνω είναι ότι ο σύνθετος δείκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με τις 4 σχέσεις χωρίς μεγάλες διαφορές.

Πίνακας 7. 4. Στατιστικά στοιχεία των μεθόδων του SDVI.

	SDVI ew	SDVI pca	SDVI mca	SDVI ahp
<b>Πλήθος</b>	1406690	1406690	1406690	1406690
<b>Μέσος Όρος</b>	1.26440	1.28811	1.37537	1.33375
<b>Τυπικό Σφάλμα Μέσου</b>	0.000236	0.000220	0.000237	0.000227
<b>Διάμεσος</b>	1.16667	1.28000	1.28000	1.25000
<b>Τυπική Απόκλιση</b>	0.279807	0.260728	0.280695	0.269084
<b>Διακύμανση</b>	0.078	0.068	0.079	0.072
<b>Εύρος</b>	1.500	1.480	1.230	1.385
<b>Ελάχιστη Τιμή</b>	0.667	0.680	0.920	0.788
<b>Μέγιστη Τιμή</b>	2.167	2.160	2.150	2.173

Πίνακας 7. 5. Συσχέτιση μεθόδων του SDVI.

	SDVI ew	SDVI pca	SDVI mca	SDVI ahp
<b>SDVI ew</b>	1	0.975	0.977	0.992
<b>SDVI pca</b>		1	0.953	0.987
<b>SDVI mca</b>			1	0.988
<b>SDVI ahp</b>				1

### 7.3.1. Ανάλυση Αβεβαιότητας των Διαφόρων Μεθόδων του SDVI

Η ανάλυση αβεβαιότητας των μεθόδων του σύνθετου δείκτη εξετάζει την αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων που θα χρησιμοποιηθούν ώστε να λύσουν τυχόν προβλήματα στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Με άλλα λόγια, η ανάλυση αυτή έχει ως στόχο να συμβάλλει στη λήψη των αποφάσεων μέσα από την ποσοτικοποίηση των αβεβαιοτήτων στις διάφορες μεθόδους. Σε αντίθεση με την ανάλυση, η αριθμητική τιμή της μεταβλητής στα πειράματα αβεβαιότητας που ασχολούνται με την εκτίμηση της αβεβαιότητας σε μια μέτρηση επηρεάζεται από σφάλματα λόγω οργάνων ή μεθοδολογίας.



Πίνακας 7. 6. Στατιστικά στοιχεία των μεθόδων του SDVI.

	SDVI ew	SDVI pca	SDVI mca	SDVI ahp
<b>Πλήθος</b>	10000	10000	10000	10000
<b>Μέσος Όρος</b>	1.498	1.499	1.500	1.499
<b>Τυπικό Σφάλμα Μέσου</b>	0.005	0.005	0.005	0.005
<b>Διάμεσος</b>	1.500	1.500	1.500	1.502
<b>Τυπική Απόκλιση</b>	0.461	0.471	0.491	0.467
<b>Διακύμανση</b>	0.213	0.222	0.241	0.219
<b>Εύρος</b>	2.830	2.830	2.900	2.850
<b>Ελάχιστη Τιμή</b>	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>Μέγιστη Τιμή</b>	2.830	2.830	2.900	2.850

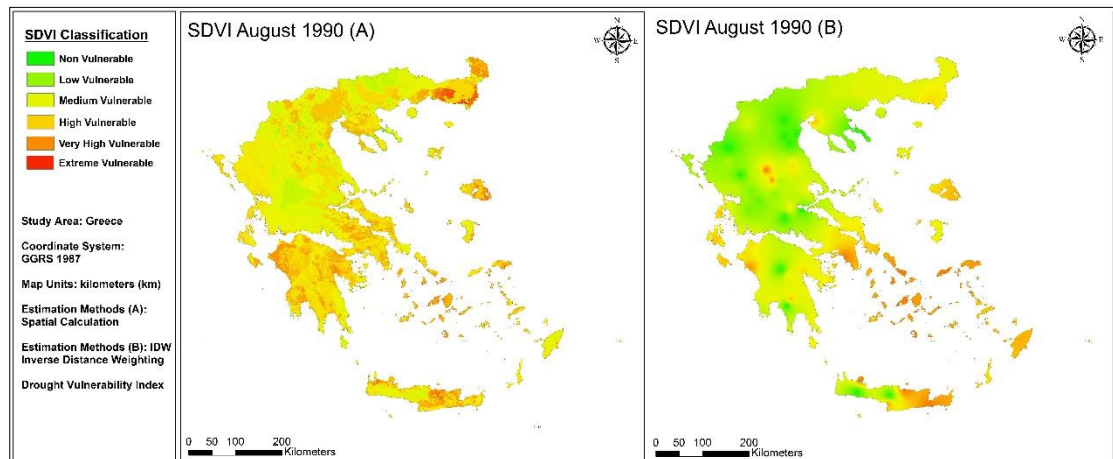
Πίνακας 7. 7. Συσχέτιση μεθόδων του SDVI.

	SDVI ew	SDVI pca	SDVI mca	SDVI ahp
<b>SDVI ew</b>	1	0.981	0.942	0.988
<b>SDVI pca</b>		1	0.915	0.982
<b>SDVI mca</b>			1	0.973
<b>SDVI ahp</b>				1

Οι συγκρίσεις αυτές είναι αρκετά απλές συγκριτικά με την πολυπλοκότητα ενός σύνθετου δείκτη, στον οποίο οι αβεβαιότητες μπορεί να είναι περισσότερες ή λιγότερες από την πραγματικότητα. Η διαδικασία της ανάλυσης της αβεβαιότητας βασίζεται σε μια σειρά από τεχνικές για τον προσδιορισμό της αξιοπιστίας των μοντέλων που αντιπροσωπεύουν διάφορες πηγές αβεβαιότητας, όπως των δεδομένων, της δημιουργίας των βαρών, της δημιουργίας των κατηγοριών, της διαδικασίας του σχεδιασμού και τις αποφάσεις. Για αυτούς τους λόγους, δημιουργήθηκαν δέκα χιλιάδες τυχαίες τιμές (10,000) για τους έξι υπο-δείκτες του SDVI και, έπειτα, υπολογίστηκαν οι μέθοδοι του σύνθετου δείκτη.

### 7.3.2. Σύγκριση των Μεθόδων Υπολογισμού του SDVI για τον Αύγουστο του 1990

Εγινε μια προσπάθεια υπολογισμού του SDVI για τον Αύγουστο του 1990 σε χωρική κλίμακα για να γίνει σύγκριση με τους χάρτες της ενότητας 7.1, οι τιμές των οποίων προέκυψαν από τις σημειακές τιμές με τη μέθοδο IDW. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στην Εικόνα 7. 8. Ενώ υπάρχει ταύτιση των αποτελεσμάτων στην περιοχή της Κρήτης και των νησιών παρατηρούνται αρκετές διαφορές εσθν περιοχή της Κεντρικής και Βόρειας Ελλάδας.



Εικόνα 7. 8. Η διαφορά των μεθόδων υπολογισμού του SDVI για τον Αύγουστο του 1990.

Από τους δύο χάρτες προκύπτουν τα στατιστικά του Πίνακα 7. 8 που παρουσιάζει την ανάλυση των χωρικών τιμών του δείκτη και στις δύο περιπτώσεις.

Πίνακας 7. 8. Στατιστικά στοιχεία των δύο διαφορετικών προσεγγίσεων υπολογισμού του SDVI.

	SDVI Spatial	SDVI IDW
Πλήθος	1406690	1406690
Μέσος Όρος	1.26440	1.07562
Τυπικό Σφάλμα Μέσου	1.16667	1.34985
Διάμεσος	0.279807	0.450554
Τυπική Απόκλιση	0.078	0.033
Διακύμανση	1.500	1.337
Εύρος	0.667	0.000
Ελάχιστη Τιμή	2.167	2.333

Αξίζει να σημειωθεί πως η μέση τιμή και η διάμεσος των δύο χαρτών είναι στην ίδια κλάση, δηλαδή κατατάσσονται στη Μέτρια Τρωτότητα στην ξηρασία. Ωστόσο, υπάρχει σημαντική διαφορά στις αντίστοιχες μέγιστες και ελάχιστες τιμές που αποδίδεται στο ότι κατά την χρήση της μεθόδου (IDW προστέθηκαν σημεία στις κορυφές των βουνών που εμφανίζουν σχεδόν μηδενική τρωτότητα. Συμπερασματικά, η χωρική μέθοδος είναι μεν ακριβέστερη, αλλά σε περιπτώσεις που δεν υπάρχουν χωρικά δεδομένα οι σημειακές τιμές μπορούν να δώσουν σωστά αποτελέσματα με κάποια, όμως, απόκλιση.

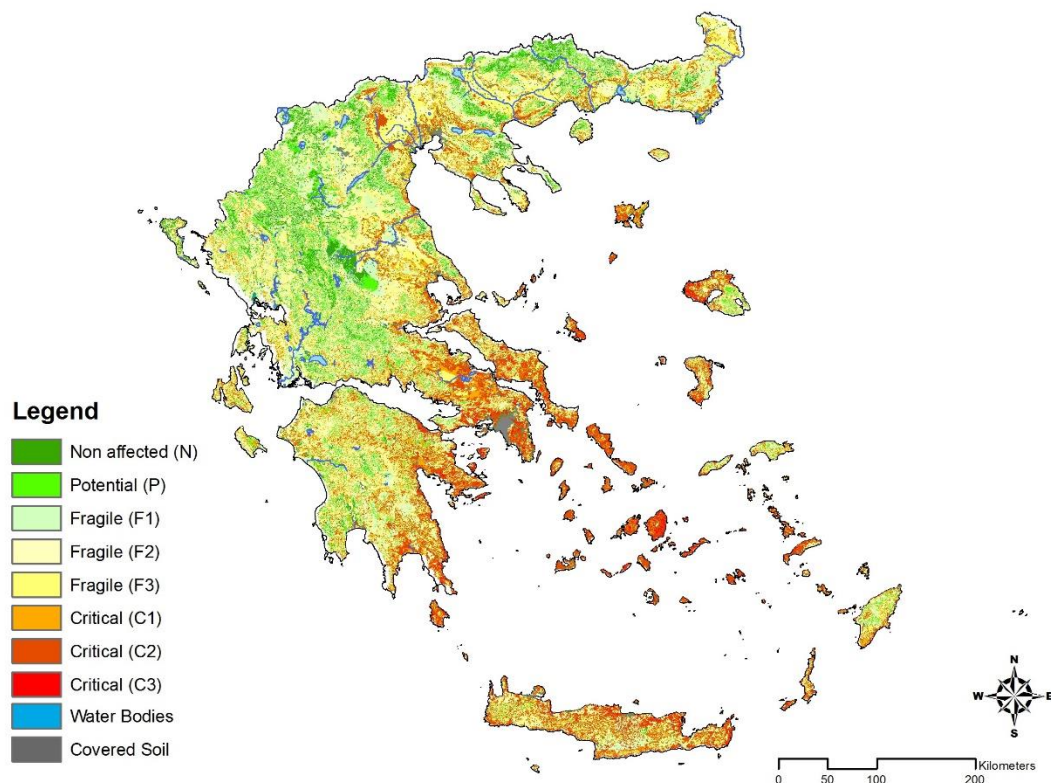
#### 7.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ESA ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η ερημοποίηση των ελληνικών γαιών είναι ένα φαινόμενο που συνεχίζεται περίπου επί τρεις χιλιετίες και αφορά στην εξάντληση της παραγωγικότητας των εδαφών και των διαθέσιμων υδάτινων αποθεμάτων. Η ακραία αυτή υποβάθμιση των δύο σπουδαίων αυτών πόρων συμβαίνει στη ζώνη εξάπλωσης της ελιάς και έχει ήδη επεκταθεί σε περισσότερο του 20% της συνολικής της έκτασης. Οι απειλούμενες από την ερημοποίηση περιοχές ανέρχονται στο 30% της συνολικής έκτασης της χώρας, ενώ το 49% βρίσκεται σε στάδιο πιθανής ερημοποίησης. Η μεγαλύτερη απειλή εντοπίζεται σε Κρήτη, Λέσβο, Ανατολική Στερεά και Πελοπόννησο, αλλά και σε σημεία της Θεσσαλίας και της Θράκης. Παρά τις αντίξοες φυσικές συνθήκες που επικρατούν στην Ευρωπαϊκή Μεσόγειο, ερημοποίηση συμβαίνει μόνον αν συνυπάρξει και αλόγιστη ανθρώπινη δράση. Επομένως, τόσο στην Ελλάδα όσο και στις άλλες

χώρες της περιοχής, η ερημοποίηση συναντάται στις ευαίσθητες ζώνες που χαρακτηρίζονται από υπερεκμετάλλευση των εδαφικών, υδατικών, και εν γένει, των φυσικών, πόρων. Το φαινόμενο εξελίσσεται πολύ αργά και παρουσιάζει χρονική και τοπική ασυνέχεια. Έτσι, δυστυχώς, δεν γίνεται άμεσα αντιληπτό από τις εκάστοτε κοινωνίες μέχρις ότου τις πλήξει ανεπανόρθωτα. Η κατάσταση έχει ήδη φτάσει στο απροχώρητο και η εξέλιξη του φαινομένου έχει επιταχυνθεί κατά πολύ τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω της βιομηχανοποίησης των αγροτικών εκμεταλλεύσεων και της υπερκατανάλωσης του νερού.

Χρησιμοποιώντας τους τέσσερις δείκτες (Έδαφος, Κλίμα, Βλάστηση και Διαχείριση) εφαρμόστηκε η σχέση 4.17 και τα αποτελέσματα κατέστη εφικτή η αξιολόγηση των Περιβαλλοντικά Ευαίσθητων –στην ερημοποίηση- Περιοχών. Ο υπολογισμός και σε αυτόν τον χάρτη έγινε σε περιβάλλον GIS. Τελικά, δημιουργήθηκε ο Πίνακας 5. 28. Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση του δείκτη, παρουσιάζονται οκτώ κατηγορίες: ξεκινώντας από τις περιοχές που εν είναι ευαίσθητες στην ερημοποίηση, στις δυνητικά ευαίσθητες, στις ευαίσθητες (F1, F2 και F3) και, τέλος, στις κρίσιμες περιοχές (C1, C2 και C3), οι οποίες δεν μπορούν να αποκατασταθούν (ειδικά η κλάση C3).

### Environmentally Sensitive Areas to Desertification

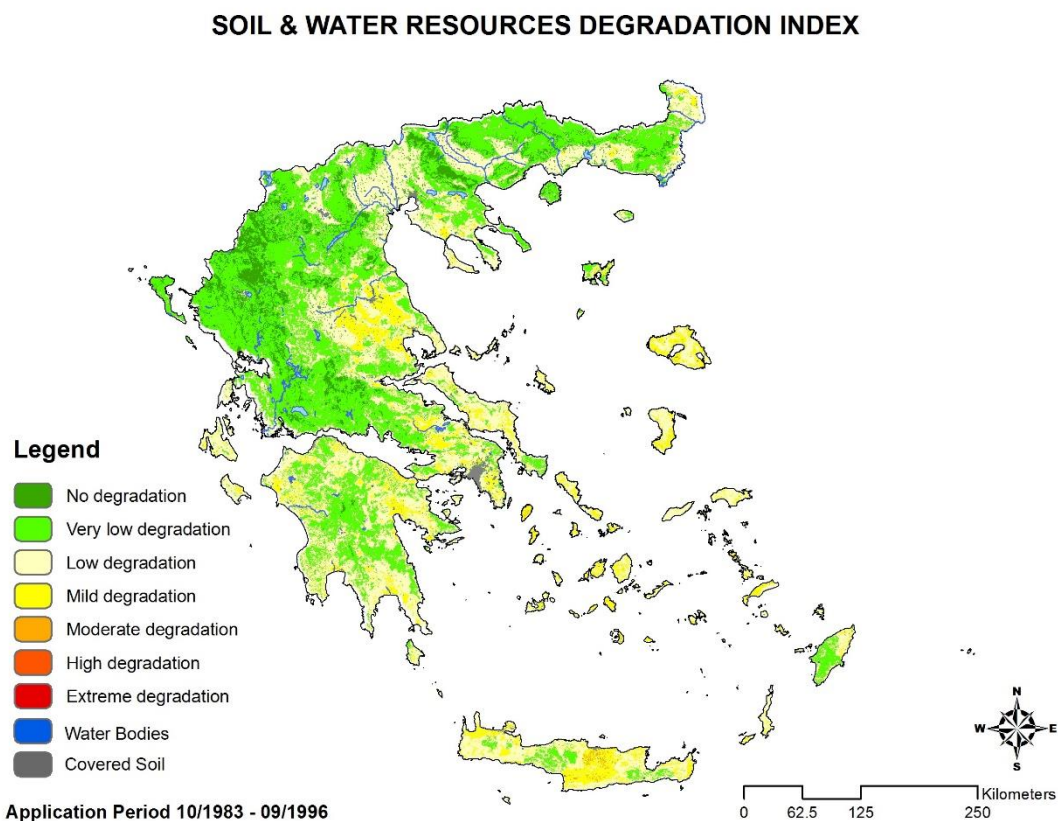


Εικόνα 7. 9. Δείκτης Περιβαλλοντικά Ευαίσθητων Περιοχών (ESA).

Αναλύοντας την Εικόνα 7. 9 βλέπουμε πως η πρώτη κλάση (non affected) έχει ποσοστό εμφάνισης 8.07%, η δεύτερη κλάση (potential) 11.91%, για τις ευαίσθητες περιοχές το συνολικό ποσοστό ανέρχεται στο 53.43% (19.54%, 18.72% και 15.17% για τα F1, F2 και F3, αντίστοιχα) και, τέλος, για τις κρίσιμες περιοχές είναι 26.59% (10.36%, 14.53% και 1.7% για τα C1, C2 και C3, αντίστοιχα).

## 7.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ SWDI ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

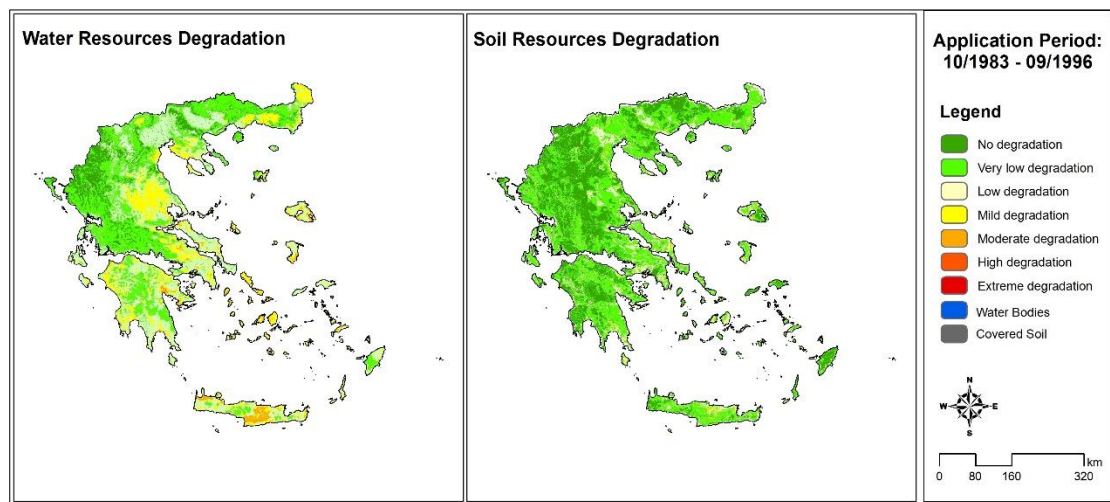
Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από τους υπο-δείκτες των SDVI και ESA (Κεφάλαιο 5) υπολογίστηκε ο νέος σύνθετος δείκτης με σκοπό να εξεταστεί η κατάσταση των εδαφικών και υδατικών πόρων της περιοχής μελέτης για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Τα αποτελέσματά του εμφανίζονται στις Εικόνες Εικόνα 7. 10, Εικόνα 7. 11, Εικόνα 7. 12 και στον Πίνακα 7. 9.



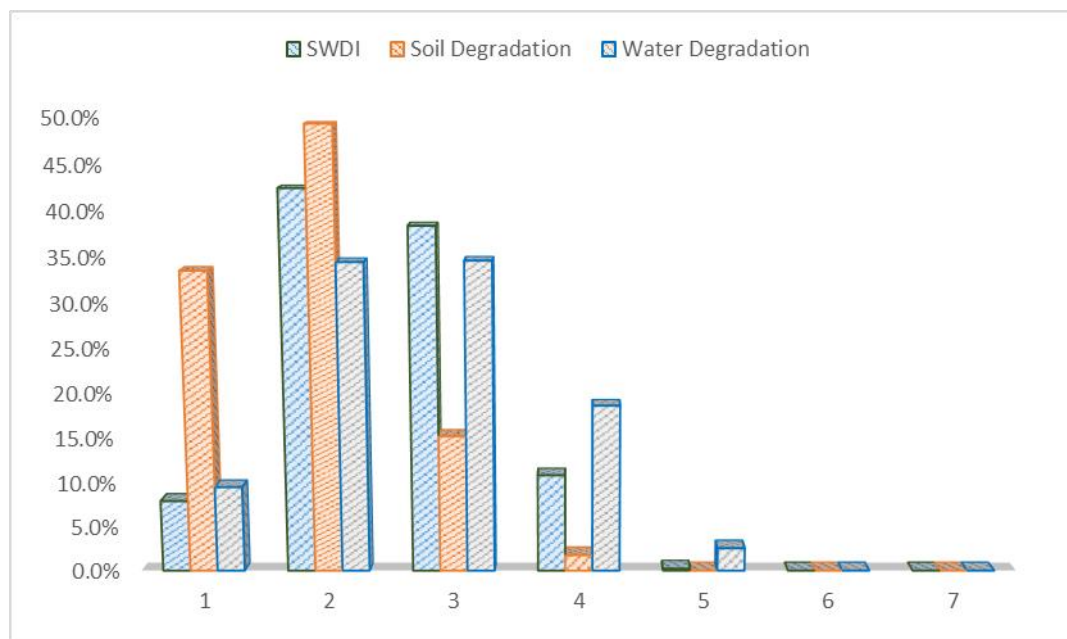
Εικόνα 7. 10. Αποτελέσματα του SWDI για τη χρονική περίοδο 10/1983-09/1996.

Παρατηρείται ότι η μέγιστη τιμή στο χωρικό δείγμα τιμών αντιστοιχεί στην κλάση Μέτρια Υποβάθμιση των εδαφικών και υδατικών πόρων (Moderate degradation) σε μικρή κλίμακα.

Οι περιοχές που παρουσιάζουν τις τιμές αυτές είναι η Κρήτη, η Λέσβος, η Χίος, η Κύθνος, η Κέα, η Ίος και η Πάρος. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι δύο διαδικασίες (Εικόνα 7. 11). Από τους τρεις χάρτες της συγκεκριμένης υπο-ενότητας καθίσταται εμφανές ότι, για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (10/1983 - 09/1996), η υποβάθμιση στους υδατικούς πόρους είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτήν στους εδαφικούς πόρους. Οι περιοχές με την μεγαλύτερη αγροτική δραστηριότητα εμφανίζουν μεγαλύτερη υποβάθμιση στους υδατικούς πόρους. Πρέπει να ληφθούν μέτρα προστασίας και στις δύο διαδικασίες (υδατικοί & εδαφικοί πόροι).



Εικόνα 7. 11. Αποτελέσματα των διαδικασιών του SWDI για τη χρονική περίοδο 10/1983-09/1996.



Εικόνα 7. 12. Ιστόγραμμα συχνότητας των αποτελεσμάτων των σύνθετων δεικτών ανάλογα με τις κλάσεις του.

Πίνακας 7. 9. Στατιστικά δεδομένα στα αποτελέσματα των σύνθετων δεικτών.

Στατιστικά	Soil Degradation	Water Degradation SWDI	
Μέσος όρος	57.080	72.093	118.778
Διάμεσος	56.790	70.280	117.750
Τυπική απόκλιση	6.275	17.447	17.9433
Εύρος τιμών	98.4	44.2	121.8
Ελάχιστη τιμή	38.1	29.2	59.7
Μέγιστη τιμή	82.3	127.6	181.5

Οι φορείς χάραξης περιβαλλοντικής πολιτικής είναι αντιμέτωποι με πολλά και σημαντικά προβλήματα. Δεν πρέπει να αγνοηθεί το γεγονός ότι υπάρχουν προβλήματα με την ποιότητα του νερού που οφείλονται στην υπερβολική χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, την εισχώρηση της θάλασσας στους υπόγειους υδροφορείς. Επιπρόσθετα, είναι ανάγκη να ληφθούν άμεσα και έμμεσα μέτρα για τη διάβρωση και την ερημοποίηση του εδάφους. Εκτός από τα προαναφερθέντα προβλήματα όμως τα υδατικά διαμερίσματα αντιμετωπίζουν στο σύνολό τους πληθώρα άλλων σχετικών προβλημάτων, όπως για παράδειγμα:

- Προβλήματα διαχείρισης υδατικού δυναμικού και εξάντλησης των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων.
- Σημαντική καθυστέρηση σε έργα εκμετάλλευσης των επιφανειακών υδάτων, αλλά και έργα προστασίας των ποταμών, ρεμάτων και υδροκριτών.
- Αρνητικό ισοζύγιο υδατικών πόρων, με σημαντικά προβλήματα ταπείνωσης των υπόγειων υδροφορέων και μη επαρκούς και ορθολογικής διαχείρισης των υδάτινων πόρων, σύμφωνα με τις κατευθύνσεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ και της υφιστάμενης εθνικής νομοθεσίας.
- Πιέσεις στις χρήσεις γης και το φυσικό περιβάλλον (κυρίως χωροταξικές).
- Υποβάθμιση νερού και εδάφους από την εντατική εκμετάλλευσή τους και τη χρήση φυτοφαρμάκων.
- Ελλείψεις σε υποδομές, όπως δίκτυα αποχέτευσης, βιολογικοί καθαρισμοί, απορρίμματα κ.ά..

Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα που παρουσιάζεται συνολικά στην Ελλάδα (ανεξάρτητα από το εκτενές δίκτυο παρακολούθησης των υπόγειων και επιφανειακών συστημάτων και το

δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών που διαθέτει) σχετίζεται με την παροχή δεδομένων καλής ποιότητας που θα μπορούσαν να συνεισφέρουν αποτελεσματικά στην ανάλυση των προβλημάτων και την ανάπτυξη λύσεων για την ΟΔΥΠ. Το πρόβλημα αυτό εντοπίζεται κυρίως στη μη ορθολογική χρήση του υφιστάμενου τεχνολογικού εξοπλισμού, όπως η λειτουργία των μετεωρολογικών σταθμών, αφού η εγκατάστασή τους δεν ακολουθείται από τα πρωτόκολλα του WMO και FAO.

Είναι εμφανές λοιπόν ότι, για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα που γίνονται οι εφαρμογές των σύνθετων δεικτών, οι υδατικοί πόροι χρήζουν περισσότερης προσοχής σε σχέση με τους εδαφικούς, ειδικότερα περιοχές με έντονες γεωργικές εκμεταλλεύσεις, όπως η Θεσσαλία, η Κεντρική Μακεδονία αλλά και το Ηράκλειο της Κρήτης.

## 7.6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ

Σύμφωνα με την διεξαχθείσα έρευνα και την εφαρμογή της μεθοδολογίας της διδακτορικής διατριβής διατυπώθηκαν οι υποθέσεις που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 3. Η πρώτη υπόθεση απαντήθηκε με την επιτυχή εφαρμογή του σύνθετου δείκτη SDVI με ίσα βάρη για τον Ελληνικό χώρο, αλλά και για την Νοτιοανατολική Ευρώπη (πραγματικές τιμές και δύο σενάρια). Στη συνέχεια, η δεύτερη υπόθεση αποδείχθηκε βάση της επιτυχούς δημιουργίας βαρών με στατιστικές και εμπειρικές μεθόδους χρήσει των δεδομένων από την Ν.Α. Ευρώπη, καθώς επίσης από την εφαρμογή των διαφόρων σχέσεων στον ελλαδικό χώρο και από τις 10,000 τυχαίες τιμές. Συμπερασματικά, προτάθηκαν οι εξισώσεις με τα καλύτερα αποτελέσματα. Έπειτα, από τον υπολογισμό των δεικτών τρωτότητας στην ερημοποίηση (ESA) και στην ξηρασία (SDVI) εξετάστηκε η πιθανή σχέση μεταξύ των δύο διαδικασιών σε χωρική κλίμακα για το χρονικό διάστημα 10/1983 – 09/1996 στην Ελλάδα. Βάσει των αποτελεσμάτων αποδείχθηκε η τρίτη υπόθεση, δηλαδή, ότι υπάρχει μία σχέση μεταξύ των δύο διαδικασιών. Τέλος, η τέταρτη, και τελευταία, υπόθεση ήταν εάν είναι εφικτή η δημιουργία ενός σύνθετου δείκτη από τη σύνθεση των δύο διαδικασιών που θα χαρακτηρίζει την υποβάθμιση των εδαφικών και υδατικών πόρων. Αποδείχθηκε ότι και αυτή η υπόθεση ισχύει με τη δημιουργία και την εφαρμογή του σύνθετου δείκτη SWDI στην Ελλάδα (10/1983 – 09/1996).



Πίνακας 7. 10. Προκύπτοντα θέματα από την εφαρμογή των δεικτών.

Δεδομένα	Δείκτες	Τρωτότητα/ Υποβάθμιση	Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων
- 324 βροχομετρικοί σταθμοί. - Επιπτώσεις και Υποδομές. - Εκτίμηση Εφοδιασμού και Ζήτηση. - Ψηφιακοί χάρτες (υπόβαθρο, ισοΰψεις, γεωλογικός κ.ά.)	- Προετοιμασία και επεξεργασία δεδομένων για τον υπολογισμό των δεικτών. - Αξιολόγηση τιμών και χρονοσειρών.	- Επιλογή των κατάλληλων δεικτών για την εκτίμηση της τρωτότητας. - Εφαρμογή σε διαφορετική χωρική κλίμακα και περιοχή μελέτης.	- Αξιολόγηση των τρωτών και υποβαθμισμένων περιοχών. - Δημιουργία πολιτικών (στρατηγικών και τακτικών μέτρων). - Δημιουργία Σχεδίου Αντιμετώπισης Ξηρασιών (Master Plan) σε τοπικό και εθνικό επίπεδο.

## 7.7 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΙΑΣ

Η πρωτοτυπία της διδακτορικής διατριβής επιβεβαιώνεται από την επιστημονική κοινότητα με τις παρακάτω εργασίες σε διεθνής περιοδικά, σε διεθνή και εθνικά συνέδρια, αλλά και παραδοτέα ερευνητικών έργων.

### Διεθνή περιοδικά

1. **Tsesmelis, D.E.**, Oikonomou, P.D., Vasilakou, C.G., Fassouli, V., Skondras, N.A. and Karavitis, C.A. Assessing Model Uncertainty caused by Different Weighting Methods on Indices: The case of the Standardized Drought Vulnerability Index, Water International, 2017 (under review).
2. Alexandris, S., **Tsesmelis, D.**, Skondras, N., Stamatakos, D., Chatzithomas, C., Vasilakou, C., Gkotsis, I., Fassouli, V., Vitoratos, E., Proutsos, N. and Karavitis, C. The

- Contribution of Empirical Methods to Use Satellite Data on Estimating Daily ETo. Hydrotechnika 2015 (in Greek).
3. Karavitis, C.A., Vasilakou, C.G., **Tsesmelis, D.E.**, Oikonomou, P.D., Skondras, N.A., Stamatakos, D., Fassouli, V. and Alexandris, S. Short-Term Drought Forecasting Combining Stochastic and Geo-Statistical Approaches, European Water Journal, 2015.
  4. Karavitis, C. A., **Tsesmelis, D.E.**, Skondras, N.A., Stamatakos, D., Alexandris, S., Fassouli, V., Vasilakou, C.G., Oikonomou, P.D., Gregorič, G., Grigg, N.S. and Vlachos, E.C. Linking drought characteristics to impacts on a spatial and temporal scale, Water Policy Journal doi:10.2166/wp.2014.205, 2014.
  5. Karavitis, C. A., Chortaria, C., Alexandris, S., Vasilakou, C. G. and **Tsesmelis D. E.**, Development of the standardised precipitation index for Greece, Urban Water Journal, doi: 10.1080/1573062X.2012.690431, 2012.
  6. Karavitis, C.A., Alexandris, S., **Tsesmelis, D.E.**, Athanasopoulos, G. Application of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Greece. Water 2011, 3, 787-805.2.

#### Διεθνή & Εθνικά συνέδρια

- Soulis, K.X. and **Tsesmelis, D.E.**, Calculation of the irrigation water needs spatial and temporal distribution in Greece. 10th World Congress of EWRA - European Water Resources Association, 5-9 July 2017. (under review).
- Karavitis, C.A., Oikonomou, P.D., Waskom, R.M., **Tsesmelis, D.E.**, Vasilakou, C.G., Skondras, N.A., Stamatakos, D., Alexandris, S, and Grigg. N.S.: Application and assessment of the standardized drought vulnerability index in the lower South Platte basin, Colorado, USA. AWRA Annual Water Resources Conference, November 16-19 2015 at the Grand Hyatt Denver, Denver, Colorado, USA.
- Alexandris, S., **Tsesmelis, D.E.**, Skondras, N.A., Stamatakos, D., Vasilakou, C., Gkotsis, I., Fassouli, V., Vitoratos, I., Chatzithomas K., Proutsos, N. and Karavitis, C.A. Comparative Analysis of Reference Evapotranspiration (ETo) Using Terrestrial and Satellite Data in Central Greece, Thessaloniki, 8 & 9 October 2015 (in Greek).
- Karavitis, C.A., **Tsesmelis, D.E.**, Skondras, N.A., Stamatakos, D., Vasilakou, C.G, Gkotsis, I.I, Fasouli, V. and Alexandris, S. 2015. Implementation of Standardized Precipitation Index - SPI for the Analysis of the 1989-1990 Drought using Geographic Information Systems (GIS). 1st Conference on Geographic Information Systems and Spatial Analysis in Agriculture and the Environment. 28-29 May 2015, Agricultural University of Athens (in Greek).

- **Tsesmelis, D.E.**, Indicators Methodology of COROADO Project, 01– 06 December 2014, Santiago and Copiapo Chile.
- Nikolopoulou, A.E., Alexandris, S., **Tsesmelis, D.E.**, Stamatakos, D, Fassouli, V., Skondras, N.A. and Karavitis, C.A. 2014. G. Karaiskakis Stadium Ten Years After: Assessing the Irrigation System Impacts on Turf Quality. 4th European Turfgrass Conference “Balancing Turfgrass Performance and Sustainability”, Osnabrueck, Germany. 06 – 09/07/2014.
- Karavitis, C.A., Vasilakou, C.G., **Tsesmelis, D.E.**, Alexandris, S.G., Fassouli, V.P., Stamatakos, D.V. and Skondras, N.A., 2013. Drought Forecasting Using SPI & ARIMA Models. International Conference “Facets of Uncertainty – Statistical Hydrology 2013”. Kos Island Greece. 17 – 19/10/2013.
- Karavitis, C.A., Alexandris, S.G., Fassouli, V.P., Stamatakos, D.V., Vasilakou, C.G., **Tsesmelis, D.E.** and Skondras, N.A., 2013. Assessment of Meteorological Drought Statistics and Patterns in Central Greece. 13th International Conference on “Environmental Science and Technology – CEST-2013”. Athens, Greece. 05 – 07/09/2013.
- Karavitis, C.A., Alexandris, S.G., Fassouli, V.P., Stamatakos, D.V., Vasilakou, C.G., **Tsesmelis, D.E.**, Skondras, N.A. and Gregoric, G., 2013. Assessing drought vulnerability under alternative water demand deficit scenarios in South Eastern Europe. 8th International Conference of European Water Association (EWRA) on “Water Resources Management in an Interdisciplinary and Changing Context”. Porto, Portugal. 26 – 29/06/2013.
- Karavitis, C. A., Alexandris, S. G., Fassouli, V. P., Stamatakos, C. G., **Tsesmelis, D. E.** & Skondras, N. A. (2011). Drought Vulnerability assessment, DMCSEE Project, 5th DMCSEE Consortium Meeting, Workshop and training, June 28 – July 1, 2011, Lasko, Slovenia.

**Παραδοτέα ερευνητικών προγραμμάτων:**

- Karavitis, C.A., Vasilakou, C.G., **Tsesmelis, D.E.**, Alexandris, S., Fassouli, V., Stamatakos, D., Skondras, N., Gironas, J., Hunter, C., Porto, M., Dalcanale, F., Reyna, R., Labaque, M., Vanegas, M. and Ramirez, E., 2014. Statistical Analysis and Development of Vulnerability Indicators – Internal Report. COROADO Project
- Participation as co-author in the book entitled: Desire for Greener Land, Options for Sustainable Land Management in Drylands, WOCAT – DESIRE, ISBN 978-94-6173-329-0, 2012
- Karavitis, C., Skondras, N., Fassouli, V., **Tsesmelis, D.**, Stamatakos, D., Alexandris, S., Salvador, R., Isidoro, D., Dechmi, F., Lecina, S., Aragues, R., Quilez, D., Zapata, N., Playan, E., Stolte, J, Eggen G., Oertlé, E., Gross, T., Wintgens, T., Verzendvoort, S., Heesmans, H. and van den Elsen, E. 2012. Manual of Indicators: Data Request – Internal Report. COROADO Project.
- Karavitis, C., Fassouli, V., Skondras, N., **Tsesmelis, D.**, Stamatakos, D. and Alexandris, S. 2012. COROADO: Updated Work Plan – Internal Report. COROADO Project.
- Karavitis, C., Fassouli, V., Skondras, N., **Tsesmelis, D.**, Stamatakos, D. and Alexandris, S. 2012. List of Tools – Internal Report. COROADO Project.
- Karavitis, C.A., Skondras, N.A., **Tsesmelis, D.E.**, Stamatakos, D., Alexandris, S., Fassouli, V., Szalai, S. and Istvan, S. 2012. Drought impacts archive and drought vulnerability index. In Drought Management Centre for South-East Europe – DMCSEE: Summary of project results.
- Karavitis, C.A., Skondras, N.A., **Tsesmelis, D.E.**, Stamatakos, D., Alexandris, S., Fassouli, V., Szalai, S. and Istvan, S., 2012. Drought Vulnerability Index: Application Manual. DMCSEE Project.
- Karavitis, C.A., Alexandris, S., **Tsesmelis, D.**, Stamatakos, D., Fassouli, V. and Skondras, N., 2012. 4.2.1. Drought Vulnerability Estimates Based on Climatological and Geomorphological Data – Deliverable. DMCSEE Project.
- Karavitis, C.A., Alexandris, S., **Tsesmelis, D.**, Stamatakos, D. and Fassouli, V. Report of development and implementation of irrigation scheduling system in Copais Plain Greece. (WIN ISAREG model), Agricultural University of Athens, 2012, Drought Management Centre for South East Europe. DMCSEE Project.
- Karavitis, C., Kosmas, C., Alexandris, S., Kounalaki, A., Skondras N., Fassouli, V., Stamatakos, D., **Tsesmelis, D.**, Kairis, O. and Karamesouti, M., 2012. Sustainable

grazing protects against soil erosion. Policy Brief: Recommendations from Agia Barbara Site of Crete, Greece. DESIRE Project.

- Kosmas, C., Karavitis, C., Kairis, O., Kounalaki, A., Fassouli, V. and **Tsesmelis, D.** Using Indicators for Identifying Best Land Management Practices for Combating Desertification, Agricultural University of Athens, 2012, Fragile arid and semi-arid ecosystems are in urgent need of integrated conservation approaches that can prevent and reduce widespread degradation. DESIRE Project.
- Karavitis, C., Kosmas, C., Alexandris, S., Kounalaki, A., Skondras N., Fassouli, V., Stamatakos, D., **Tsesmelis, D.**, Kairis, O. and Karamesouti, M., 2012. WP3 Stakeholder Workshop 3 – Report: Held in Greece, Crete, Herakleion, Aghia Barbara – November 16th 2011. DESIRE Project.
- Karavitis, C., Fassouli, V., Todorovic, B., Alexandris, S., Skondras, N., **Tsesmelis, D.**, and Stamatakos, D., 2011. D. 1.1. Project launch-report with a detailed updated work plan, Project Advisory Board, staff appointment – Deliverable, COROADO Project.
- Karavitis, C., Skondras, N., Fassouli, V., **Tsesmelis, D.**, Stamatakos, D., Alexandris, S and Todorovic, B., 2011. D.9.1. Dissemination Plan – Deliverable, COROADO Project.
- Karavitis, C., Alexandris, S., **Tsesmelis, D.**, Stamatakos, D. and Fassouli, V. Drought Risk Assessment Based On Impacts Archive, Agricultural University of Athens, 2011, Drought Management Centre for South East Europe (DMCSEE).
- Karavitis, C., Alexandris, S., **Tsesmelis, D.**, Stamatakos, D., Fassouli, V. and Papapetrou, A. Questionnaire on preparation of climate data and maps, Agricultural University of Athens, 2010, Drought Management Centre for South East Europe (DMCSEE).
- Karavitis, C., Alexandris, S., **Tsesmelis, D.**, Stamatakos, D. and Fassouli, V. Implementation Of Standardized Precipitation Index – SPI, Agricultural University of Athens, 2010, Drought Management Centre for South East Europe (DMCSEE).
- Karavitis, C., Alexandris, S., Oikonomou, D., **Tsesmelis, D.**, Fassouli, V. and Chortaria C., 2008. Technical Support of the Central Water Resources Agency for the Preparation of Drought Management Strategies and Short Term Drought Response Plan in Greece.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup>: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διατριβή αποτελεί μία προσπάθεια σύνδεσης των υδατικών και εδαφικών πόρων και της υποβάθμισής τους μέσω της τρωτότητας στην ξηρασία και την ερημοποίηση. Για την τρωτότητα στην ξηρασία αναπτύχθηκε ο σύνθετος δείκτης SDVI με διάφορα βάρη που εξήχθησαν από στατιστικές και εμπειρικές μεθόδους. Επίσης, για την τρωτότητα στην ερημοποίηση χρησιμοποιήθηκε ο υπάρχων δείκτης ESA που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου MEDALUS και προσφέρει μια αξιολόγηση των Περιβαλλοντικά Ευαίσθητων Περιοχών (ESA). Οι δύο δείκτες αναλύονται στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο και η εφαρμογή τους στο 5<sup>ο</sup>. Στη συνέχεια, λόγω του ότι οι δύο έννοιες στηρίζονται σε βασικούς παράγοντες και, κυρίως, στη διαθεσιμότητα του νερού, έγινε προσπάθεια ανάπτυξης ενός νέου δείκτη, ο οποίος που θα μπορεί να αποτυπώνει την τρωτότητα των εδαφικών και υδατικών πόρων στην υποβάθμιση τόσο συνθετικά, όσο και ανεξάρτητα για τον καθένα πόρο.

### 8.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΣΤΟΥΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥΣ & ΕΔΑΦΙΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ

Οι εμπλεκόμενοι φορείς συνήθως χρησιμοποιούν ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων, τεχνικών και μεθόδων, καθώς και απλουστευμένων ιεραρχικά μεθόδων, προκειμένου να λάβουν μια απόφαση. Σε πολλές περιπτώσεις, οι τεχνικές και οι μέθοδοι που ακολουθούνται περιέχουν μερικές μόνο πτυχές της σύνθετης πραγματικότητας των προβλημάτων που υπάρχουν και τα οποία καλούνται να επιλύσουν. Οι σύνθετοι δείκτες, λοιπόν, αποτελούν εργαλείο που έχει δημιουργηθεί από και γύρω από αυτά τα προβλήματα. Η υποκειμενικότητα και η αβεβαιότητα είναι συνεχώς παρούσες στην κατασκευή σύνθετων δεικτών και επηρεάζουν την αξιοπιστία τους για τη διαχείριση και τη λήψη των αποφάσεων. Το γεγονός αυτό επιτείνει η ποικιλία των προσεγγίσεων, τεχνικών και μεθόδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο πλαίσιο των διαφόρων φάσεων της κατασκευής και ειδικά των διαδικασιών στάθμισης, κανονικοποίησης και ενσωμάτωσης των παραμέτρων των δεικτών. Για αυτό, ένας από τους στόχους αυτής της προσπάθειας ήταν να διαπιστωθούν τυχόν σημαντικές διαφορές μεταξύ των εξεταζόμενων τεχνικών στάθμισης του SDVI, δηλαδή της PCA, της AHP, της MCA και της EW, ώστε να εντοπιστούν ενδεχόμενες επιπτώσεις στη διαδικασία λήψης των αποφάσεων.

Ο SDVI (ισοβαρής σχέση) αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του έργου DMCSEE και με τη βοήθεια των παραπάνω τεχνικών έγινε η στάθμιση των διαφόρων βαρών. Οι διαφορές μεταξύ των

εξεταζόμενων τεχνικών ελέγχθηκαν μέσω των συσχετίσεων. Το πιο σημαντικό εύρημα της παρούσας προσπάθειας αφορά στις στατιστικά σημαντικές διαφορές που παρατηρήθηκαν μεταξύ των πραγματικών τιμών, των υποθετικών τιμών και των τιμών από τα σενάρια. Ωστόσο, οι διαφορές αυτές μπορεί να μην είναι εύκολα ανιχνεύσιμες. Ειδικότερα, σε περιπτώσεις, στις οποίες ο ειδικός που εφαρμόζει τους σύνθετους δείκτες δεν έχει πλήρη εικόνα της περιοχής μελέτης, τότε οδηγούμαστε σε περαιτέρω αβεβαιότητα. Επιπλέον, οι προσπάθειες λήψης αποφάσεων μπορεί να είναι σε κίνδυνο όταν οι διάφοροι δείκτες αντιμετωπίζονται ως πλήρως αξιόπιστα εργαλεία ή χωρίς περαιτέρω διερεύνηση. Στο πλαίσιο αυτό, η κατάταξη του δείκτη, η οποία είναι συνήθως λιγότερο ευέλικτη σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη, γίνεται όλο και πιο σημαντική για τους φορείς λήψης των αποφάσεων και μπορεί να επηρεάσει την απόφασή τους αφού πίσω από αυτή υπάρχει μία αιτιολόγηση που στηρίζεται σε μια φαινομενικά επιστημονική και τεχνική βάση. Παρόλα αυτά, πολύ σημαντικό βήμα για την έρευνα είναι η χρησιμοποίηση μεγαλύτερου αριθμού δεικτών, αλλά και ποιοτικών δεδομένων, που θα στοχεύσουν σε καλύτερα και εγκυρότερα αποτελέσματα, δηλαδή σε καταλληλότερες αποφάσεις πολιτικής.

Έπειτα από τις διάφορες εφαρμογές του SDVI σε χρονικό, χωρικό και στατιστικό επίπεδο τα γενικά χαρακτηριστικά που εξάγονται για τις περιοχές εφαρμογής είναι τα εξής:

- Σύμφωνα με τους SPI και SDVI η ξηρασία του 1989 – 1990, και γενικά η περίοδος από το 1988 έως και το 1993, ήταν η μεγαλύτερη περίοδος ξηρασίας που έχει καταγραφεί στην Ελλάδα και έχει αποτυπωθεί στη βιβλιογραφία, καθώς τον Οκτώβριο του 1990 η Αθήνα είχε διαθέσιμα υδατικά αποθέματα που ικανοποιούσαν τη ζήτηση για διάστημα μόνο πενήντα έξι ημερών (Grigg, 1996; Karavitis, 1992; 1998; Karavitis et al, 2012).
- Από τα δεδομένα βροχόπτωσης παρατηρείται ότι το 1989 σημειώθηκαν στη Σαντορίνη μόνο 16.4mm/year (μέσος όρος 324.2mm/year), στο Αγρίνιο η μείωση ήταν της τάξεως του 56.4% το χρόνο και ενώ για το 1990 η βροχόπτωση μειώθηκε κατά 30.5% στο Διδυμότειχο, 31.7% στη Σκύρο και 22.5% στη Λέσβο.
- Σύμφωνα με τον SDVI, η τρωτότητα στην ξηρασία τον Αύγουστο του 1990 ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με άλλους μήνες του ίδιου έτους ή άλλων ετών, όπως το 2007 και 2009 που επίσης εξετάστηκαν.
- Από τη χωρική εφαρμογή του SDVI για τη χρονική περίοδο από τον Οκτώβριο του 1983 μέχρι το Σεπτέμβριο του 1996 προκύπτουν τα εξής:
  - Η Θεσσαλία και η Ανατολική Μακεδονία απεικονίζονται στην κλάση Υψηλής Τρωτότητας (High Vulnerable) με την κλάση αυτή να καταλαμβάνει περίπου το

50% σε χωρική κατανομή (Λάρισα, Καρδίτσα Θεσσαλίας και η περιοχή του Έβρου). Αυτό οφείλεται στο ότι οι περιοχές αυτές έχουν έντονη γεωργική δραστηριότητα και, κατ' επέκταση, αυξημένη ζήτηση λόγω άρδευσης.

- Η Ανατολική Μακεδονία, η Λέσβος και το Ηράκλειο Κρήτης βρίσκονται στην κατηγορία Πολύ Υψηλής Τρωτότητας (Very high Vulnerability) σε χαμηλή χωρική κατανομή. Επίσης, η γεωργία είναι η κύρια δραστηριότητα και σε αυτές τις περιοχές.
- Από την άλλη πλευρά, η Ήπειρος και η Δυτική Ελλάδα είναι οι νομοί με τη χαμηλότερη τρωτότητα. Στις περιοχές αυτές σημειώνονται οι υψηλότερες βροχοπτώσεις (Πίνδος), την ίδια στιγμή που δεν υπάρχουν μεγάλες αγροτικές περιοχές, όπως στη Θεσσαλία. Επιπρόσθετα, πέντε από τα δώδεκα μεγάλα φράγματα που υπήρχαν τότε είναι κατασκευασμένα στη Δυτική Ελλάδα.
- Η σύγκριση των δύο προσεγγίσεων έδειξε ότι οι χωρικές τιμές είναι πιο αντιπροσωπευτικές σε σχέση με τις σημειακές. Επιπλέον, όταν υπάρχει σχετική έλλειψη δεδομένων (π.χ. Αργολίδα, όπου υπάρχει μόνο ένας σταθμός), η μετατροπή των σημειακών τιμών σε χωρικές αποτυπώνει πολύ καλά την κατάσταση αν χρησιμοποιηθεί η μέθοδος IDW.
- Επιπρόσθετα, ενώ υπάρχει ταύτιση των αποτελεσμάτων με την παρατηρηθείσα κατάσταση στην περιοχή της Κρήτης και των νησιών, αρκετές διαφορές εμφανίζονται στην περιοχή της Κεντρικής και Βόρειας Ελλάδας.
- Με την εφαρμογή του δείκτη στη Νότιο-Ανατολική Ευρώπη για το 2003 προέκυψε ότι η Ελλάδα είναι η λιγότερο τρωτή χώρα στην ξηρασία, με τη μέση τιμή της να είναι 1.10 (Μέτρια Τρωτότητα). Αντίθετα, η Σλοβενία είναι η πλέον τρωτή χώρα με μέσο όρο 1.90 (Υψηλή Τρωτότητα) και αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω του ότι το 2003 οι βόρειες χώρες πλήττονταν από την ξηρασία, ενώ στο Νότο επικρατούσαν υγρές συνθήκες.
- Σύμφωνα με τις εφαρμογές που έγιναν με τα υπάρχοντα δεδομένα για τη χρονική περίοδο από τον Οκτώβριο του 1983 μέχρι το Σεπτέμβριο του 1996 φαίνεται ότι οι μέθοδοι PCA, AHP και EW δίνουν πολύ καλά αποτελέσματα με πολύ ισχυρές συσχετίσεις μεταξύ τους, σε αντίθεση με την MCA που δεν έδωσε τα επιθυμητά αποτελέσματα (ειδικά στις ακραίες τιμές).
- Για την ανάλυση της αβεβαιότητας για τις διάφορες σχέσεις του SDVI χρησιμοποιήθηκαν 10,000 τυχαίες τιμές και το συμπέρασμα ήταν ότι η μέθοδος MCA εμφάνισε τη μικρότερη συσχέτιση.



- Μπορεί να ειπωθεί ότι από τις τεχνικές στάθμισης που εξετάστηκαν η PCA, EW και AHP δείχνουν να αποτυπώνουν πιθανώς καλύτερα την τρωτότητα στην ξηρασία σύμφωνα με τα αποτελέσματα, τόσο στις πραγματικές όσο και στις υποθετικές τιμές.
- Αποδείχθηκε ότι η χρησιμότητα του SDVI είναι ζωτικής σημασίας για τη διαχείριση λόγω ότι επιτρέπει τον ακριβή εντοπισμό των περιοχών, στις οποίες πρέπει να ληφθούν μέτρα. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η γενίκευση που συνήθως ακολουθεί απλούς δείκτες ή δεδομένα βροχής.
- Ο SDVI μπορεί να συμβάλλει στη σύνδεση των βροχοπτώσεων με τα ελλείμματα ζήτησης που συνήθως οριοθετούν και οξύνουν τις υδατικές συνθήκες και την τρωτότητα στην ξηρασία.
- Ο σύνθετος δείκτης παρουσίασε δυνατότητα απεικόνισης διάφορων περιοχών και ακολούθησε ικανοποιητικά τις διακυμάνσεις της τρωτότητας στην Ελλάδα σε σχέση με τις καταγεγραμμένες ξηρασίες, αλλά και τις επιπτώσεις τους.

Συμπερασματικά, η παρακολούθηση του SDVI σε μία περιοχή μπορεί να βοηθήσει στην έγκαιρη διάγνωση και αντιμετώπιση ενός φαινομένου ξηρασίας σε όλες του τις διαστάσεις. Δεν θα πρέπει να αγνοείται, ωστόσο, η ποιότητα των δεδομένων, διότι αν τα ίδια τα δεδομένα δεν είναι αξιόπιστα και στην κατάλληλη μορφή, δεν έχει νόημα να γίνεται λόγος για την ποιότητα των αποτελεσμάτων. Μια λανθασμένη χαμηλή βροχόπτωση θα αποδώσει λάθος πολιτικές σε ένα σύστημα αποφάσεων με αποτέλεσμα οικονομική επιβάρυνση των τοπικών/ εθνικών προϋπολογισμών. Ένα σύστημα έγκαιρης διάγνωσης της ξηρασίας θα πρέπει επίσης να απαντήσει στα παρακάτω ζητήματα ώστε να μπορεί να δίνει ποιοτικά αποτελέσματα:

- **Δίκτυο δεδομένων:** η ανεπαρκής πυκνότητα των σταθμών, η κακή ποιότητα των μετεωρολογικών και υδρολογικών δεδομένων, των δεδομένων κατανάλωσης, ζήτησης και επιπτώσεων μειώνουν την ικανότητα υπολογισμού των δεικτών.
- **Η έλλειψη συνεργασίας:** η ανεπαρκής ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των κυβερνητικών οργανισμών, αλλά και το υψηλό κόστος των δεδομένων, περιορίζει τη δυνατότητα αξιοποίησης των διαθέσιμων δεδομένων για τον μετριασμό και την απόκριση στην ξηρασία.
- Τα αποτελέσματα του συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης είναι συχνά πολύπλοκα και λεπτομερή με αποτέλεσμα να μην είναι προσιτά στους φορείς λήψης των αποφάσεων, οι οποίοι, με τη σειρά τους, δεν μπορούν να εκπαιδευτούν στην εν λόγω εφαρμογή των πληροφοριών για τη λήψη των σχετικών αποφάσεων.

- **Η πρόβλεψη ξηρασίας:** Δυστυχώς, οι προσπάθειες για την εποχική πρόβλεψη των ξηρασιών είναι μεμονωμένες. Επιπλέον, παρατηρείται έλλειψη εξειδίκευσης των πληροφοριών που παρέχονται από τις προβλέψεις, με αποτέλεσμα οι τελευταίες να μην αξιοποιούνται από τους γεωργούς και τους άλλους χρήστες.
- **Εργαλεία παρακολούθησης της ξηρασίας:** Η δυσκολία ανίχνευση της έναρξης, έντασης και λήξης της ξηρασίας καθιστά επιτακτική την παρακολούθηση των δεικτών. Ο SDVI μπορεί να βοηθήσει στην ανίχνευση της πρόωρης εμφάνισης της ξηρασίας, αλλά και την αναγνώριση των τρωτών περιοχών.
- **Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Ξηρασιών:** Ορίζεται ως οι ενέργειες που γίνονται από τους μεμονωμένους πολίτες (εθελοντικές δράσεις), τη βιομηχανία, την κυβέρνηση (παρακολούθηση ξηρασιών) και άλλους φορείς πριν από την εμφάνιση της ξηρασίας με σκοπό να μειωθεί ο αριθμός ή η ένταση των επιπτώσεων που προκαλεί το φαινόμενο.

Η εφαρμογή του δείκτη ESA στον ελλαδικό χώρο για το διάστημα μεταξύ 10/1983 έως 09/1996 ανέδειξε τα εξής:

- Μεταξύ των Κυκλάδων, μέρους της Κεντρικής Ελλάδας, της Δυτικής Λέσβου και της Δυτικής Εύβοιας, τη χειρότερη εικόνα εμφανίζουν, λόγω εδάφους, βλάστησης και κλίματος, οι Κυκλάδες, με τις ποιότητες των παραμέτρων να ταξινομούνται από μέτριες έως χαμηλές, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα την αποτύπωση της επιδείνωσης του φαινομένου της ερημοποίησης.
- Η Κεντρική Ελλάδα χαρακτηρίζεται από περιοχές Δυνητικώς Απειλούμενες και Ευαίσθητες (F1, F2 και F3). Η ποιότητα του κλίματος φαίνεται να επηρεάζει την εικόνα της περιοχής, καθώς χαρακτηρίζεται από μέτρια έως χαμηλή ποιότητα. Αντίθετα, το έδαφος παρουσιάζεται στην πλειοψηφία του ως μέτριας ποιότητας με εξαίρεση κάποια σημεία που είναι χαμηλής. Η ποιότητα της βλάστησης είναι από χαμηλή έως μέτρια εξαιτίας του ότι δεν υπάρχει σημαντική προστασία του εδάφους από τη διάβρωση και η αντοχή στην ξηρασία είναι χαμηλή.
- Η Κρήτη εμφανίζει προβλήματα και χαρακτηρίζεται κυρίως από περιοχές Ευαίσθητες (F2, F3) και Κρίσιμες (C1), με το μεγαλύτερο πρόβλημα να εμφανίζεται στην περιοχή του Ηρακλείου. Η ποιότητα των κλιματικών συνθηκών, η κακή ποιότητα του εδάφους και η υπάρχουσα βλάστηση επιβαρύνουν την κατάσταση.
- Η Δυτική Πελοπόννησος εμφανίζεται σε καλή κατάσταση με μικρή τρωτότητα στην ερημοποίηση. Αντίθετα, η ανατολική πλευρά δείχνει σημαντική τρωτότητα.

Συγκεκριμένα, η Σκάλα Λακωνίας, η Αργολίδα και η Κορινθία δείχνουν να έχουν έντονες τάσεις ερημοποίησης.

- Η Βόρεια Ελλάδα δείχνει να μην υποφέρει τόσο από την ερημοποίηση, εκτός από συγκεκριμένες περιοχές, όπως η κοιλάδα των Σερρών, της Θεσσαλονίκης, της Έδεσσας, καθώς και η περιοχή του Έβρου.

Για τη σχέση της τρωτότητας στην ξηρασία και της τρωτότητας στην ερημοποίηση αξίζει να σημειωθούν τα παρακάτω:

- Είναι φαινόμενα σύνθετα που οφείλονται σε κλιματολογικούς παράγοντες, αλλά και σε ανθρωπογενείς αιτίες. Κατ' επέκταση, χρειάζονται σύνθετοι δείκτες που να μπορούν να αποτυπώσουν την κατάσταση, όπως είναι ο SDVI και ο ESA.
- Για να είναι εφικτή η σύγκριση των δύο διαδικασιών έγινε νέα κατηγοριοποίηση και αναγωγή σε τρεις νέες κλάσεις: Χαμηλή, Μεσαία και Υψηλή Τρωτότητα.
- Παρατηρείται ταύτιση των δύο σύνθετων δεικτών σε ποσοστό 56%, γεγονός που σημαίνει ότι οι περιοχές εμφανίζουν τρωτότητα στην ξηρασία, αλλά και στην ερημοποίηση.
- Τα συστήματα στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές της Ελλάδος (Κυκλάδες) είναι πιο ευάλωτα και η υπερβολική χρήση των πόρων οδηγεί στην υποβάθμιση και την καταστροφή τους.
- Οι αγροτικές περιοχές είναι περισσότερο τρωτές στην ξηρασία. Ειδικά ο θεσσαλικός κάμπος συγκεντρώνει τα περισσότερα προβλήματα.
- Σε υψηλή τρωτότητα ερημοποίησης κατατάσσονται όλα τα νησιά του Αιγαίου, περιοχές της Ανατολικής Πελοποννήσου, της Στερεάς Ελλάδας και της Εύβοιας, τμήματα της Θεσσαλίας, της Μακεδονίας και της Θράκης, καθώς και το Κεντρικό και Νοτιο-Ανατολικό τμήμα της Κρήτης.

Η εφαρμογή του SWDI στον ελλαδικό χώρο για το διάστημα μεταξύ 10/1983 και το 09/1996 εμφάνισε τα εξής:

- Η υποβάθμιση στους υδατικούς πόρους είναι μεγαλύτερη σε σχέση αυτής στους εδαφικούς.
- Η υποβάθμιση αυτή εμφανίζεται κυρίως στις περιοχές με την μεγαλύτερη αγροτική δραστηριότητα. Συγκεκριμένα, η αυξημένη χρήση των υδατικών πόρων λόγω άρδευσης επιτείνει την υποβάθμιση σύμφωνα με τον υπο-δείκτη της Ζήτησης.

- Η λήψη μέτρων από την πολιτεία στις περιοχές με αυξημένη ζήτηση λόγω άρδευσης είναι επιβεβλημένη. Προτείνεται η αλλαγή καλλιεργειών ή η επιλογή ποικιλιών λιγότερο υδροβόρων.
- Οι ελλείψεις σε υποδομές, όπως έργα ταμίευσης, μεταφοράς, διανομής, βιολογικοί καθαρισμοί, διαχείρισης απορριμμάτων υποβαθμίζουν τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους.

## 8.2. ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑΣ

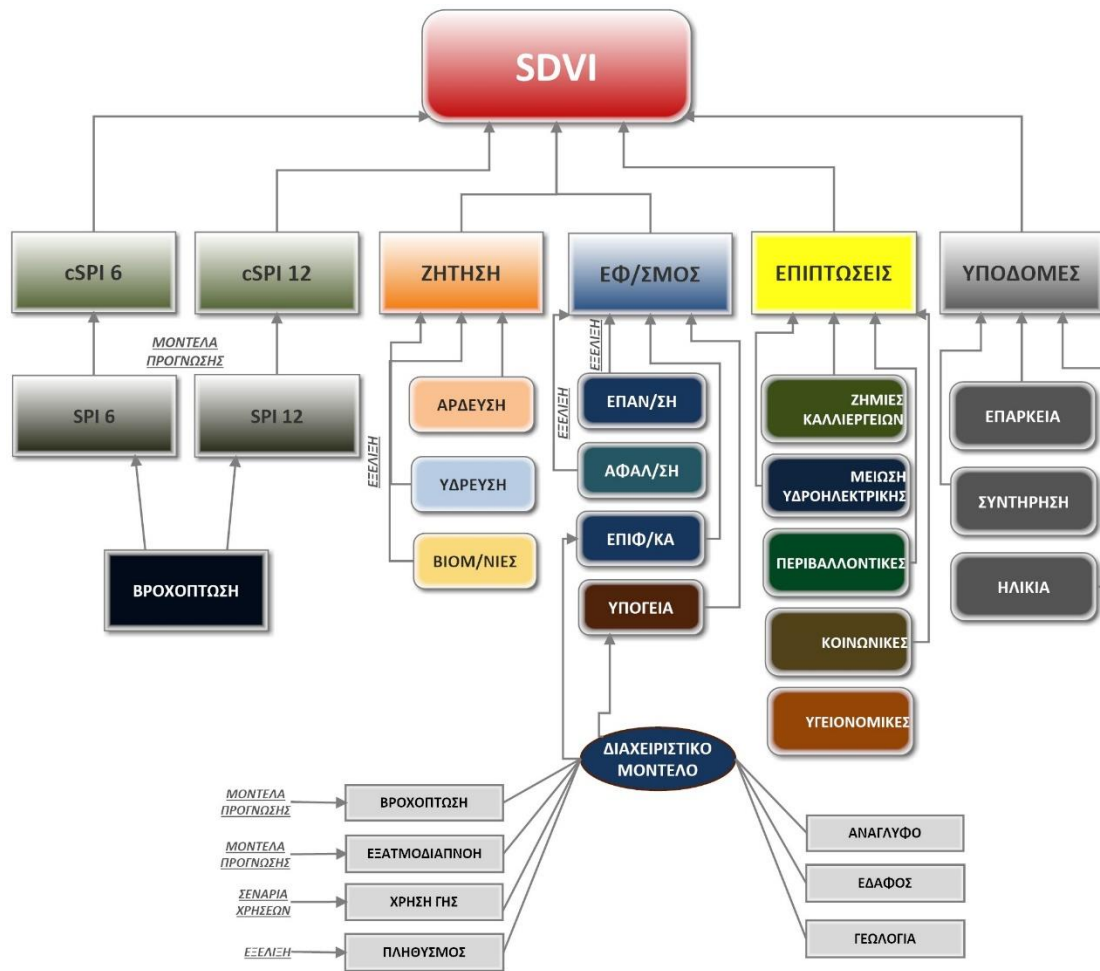
Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία αποσκοπεί στην εύρεση της κατάλληλης προσέγγισης για την εφαρμογή των αρχών της ΟΔΥΠ -στην αντιμετώπιση των ζητημάτων σε τοπικό ή διεθνές επίπεδο. Με βάση τα εξαγόμενα αποτελέσματα μπορεί να διατυπωθούν μερικά θέματα για μελλοντική έρευνα στον συγκεκριμένο τομέα, όπως:

- Συγκέντρωση περισσότερων δεδομένων με σκοπό την εκτίμηση ορισμένων παραμέτρων με περισσότερη ακρίβεια. Για παράδειγμα, οι ανάγκες των καλλιεργειών εκτιμήθηκαν σύμφωνα με τη μέθοδο των Hargreaves and Samani, 1985. Αντ' αυτού προτείνεται ο υπολογισμός με τη χρήση της μεθόδου FAO56-PM, αλλά και της Corais, εφόσον υπάρχουν τα αντίστοιχα δεδομένα.
- Ύπαρξη δεδομένων υδατικού εφοδιασμού και ζήτησης. Τα δεδομένα αυτά, που είναι εξαιρετικά, αλλά σπάνια σε όλη την περιοχή της Νότιο-Ανατολικής Ευρώπης, θα έδιναν πιθανόν καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τις εκτιμήσεις των μοντέλων.
- Διερεύνηση της περιόδου εφαρμογής των σύνθετων δεικτών, αλλά και της περιοχής μελέτης (όλη η περιοχή της Μεσογείου, Βορειο-Δυτική Ευρώπη κ.λπ.).
- Σύγκριση των αποτελεσμάτων με άλλες διαφορετικές μεθοδολογίες και μοντέλα.
- Ανάπτυξη ενός δείκτη που να ενσωματώνει και άλλους κλιματικούς παράγοντες πλην των βροχοπτώσεων (π.χ. εξατμισοδιαπνοή, θερμοκρασία, κ.λπ.). Ο συνδυασμός τους σε ένα δείκτη θα ήταν ιδιαίτερα ενδιαφέρον.
- Ο δείκτης SWDI, ως ποσοτικός δείκτης για τους φυσικούς πόρους και την εξέλιξή τους, δεν συμπεριλαμβάνει συνιστώσα σχετικά με την ποιότητα του ύδατος. Θα ήταν, λοιπόν, εξίσου ενδιαφέρον να αναπτυχθεί ένας δείκτης που να εκφράζει και παραμέτρους ποιότητας. Σε αυτή την περίπτωση, όμως, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη σύνθεσή του ούτως ώστε να μην είναι εξαιρετικά πολύπλοκος.

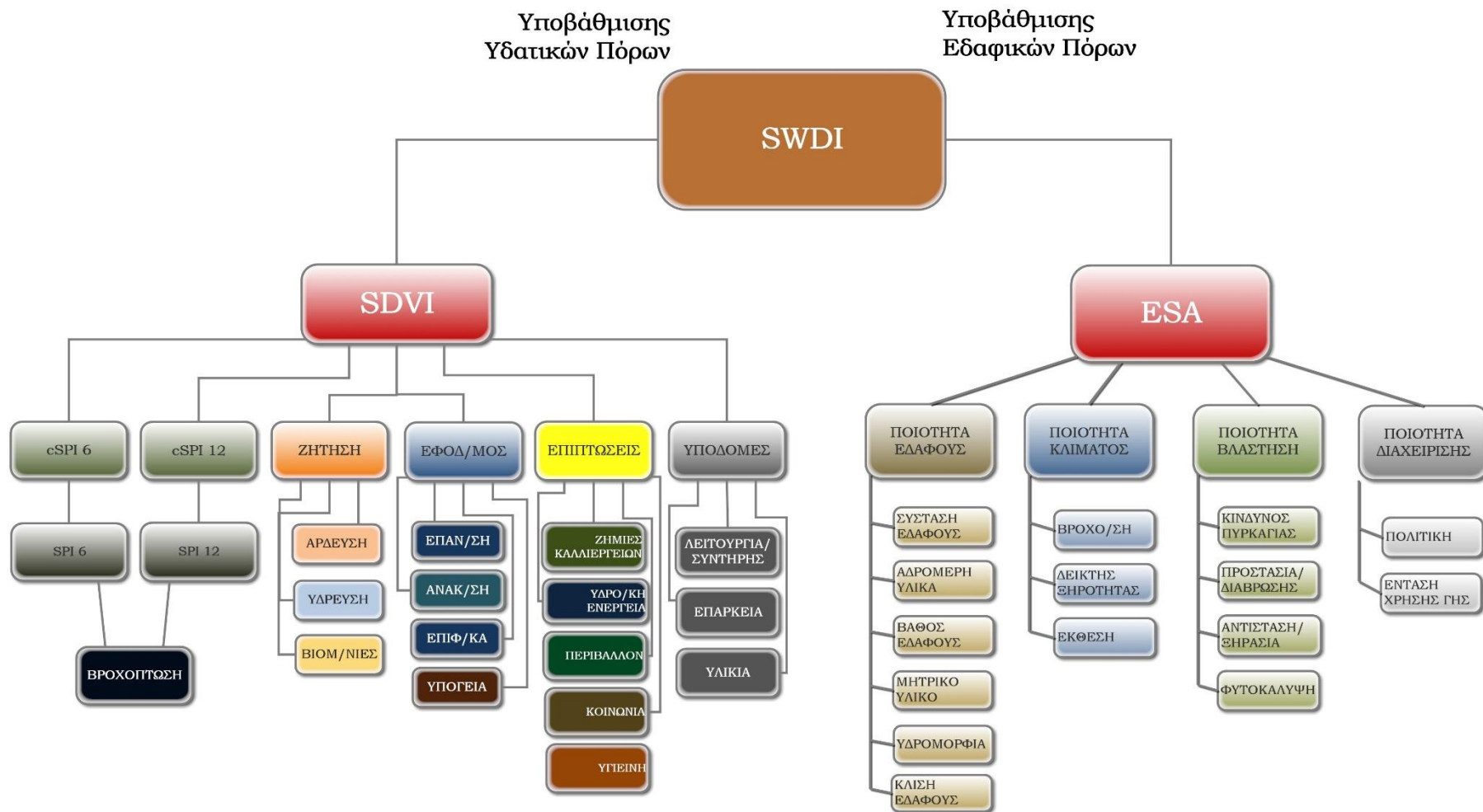
- Τέλος, θα ήταν πολύ χρήσιμη η δημιουργία σχεδίων αντιμετώπισης ξηρασιών ανά νομό ή περιφέρεια παράλληλα με τα υπάρχοντα σχέδια διαχείρισης υδατικών πόρων, σύμφωνα και με τα αποτελέσματα των δεικτών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup>: ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Για την αντιμετώπιση των φαινομένων ξηρασίας, η ανάπτυξη στρατηγικής και ενός Σχεδίου Αντιμετώπισης (Master Plan) των φαινομένων αυτών συστήνεται ως ένα αποτελεσματικό μέσο για τη βελτίωση της ικανότητας αξιολόγησης και ανταπόκρισης των κρατικών μηχανισμών. Οι στόχοι της πολιτικής δείχνουν τον σκοπό στους λήπτες των αποφάσεων για την αξιολόγηση, το μετριασμό, και τα προγράμματα αντιμετώπισης των επιπτώσεων. Οι στόχοι ενός Σχεδίου Αντιμετώπισης είναι πιο συγκεκριμένοι και προσανατολισμένοι για δράση. Η ομοφωνία μεταξύ του κράτους, των κρατικών υπηρεσιών και των ομάδων ιδιωτικών και δημόσιων συμφερόντων είναι επίσης ένα σημαντικό μέρος της διαδικασίας. Ο σύνθετος δείκτης SDVI μπορεί να βοηθήσει στην έγκαιρη αναγνώριση μιας ξηρασίας και, συνεπώς, στην επίτευξη αυτού του στόχου. Επίσης, σε συνδυασμό με μοντέλα πρόγνωσης μπορεί να πραγματοποιηθεί με επιτυχία μια βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη του φαινομένου και των επιπτώσεων του προκειμένου οι λαμβάνοντες τις αποφάσεις να είναι σε θέση να προετοιμαστούν καλύτερα μειώνοντας ή και ελαχιστοποιώντας τις επιπτώσεις και τον χρόνο αντίδρασης σε αυτές (Εικόνα 9. 1 και Εικόνα 9. 2). Σημαντικός αρωγός προς αυτήν την κατεύθυνση είναι η προώθηση και ενσωμάτωση του προληπτικού σχεδιασμού.



Εικόνα 9. 1. Προτεινόμενη διάταξη SDVI για την παρακολούθηση μια περιοχής όσον αφορά την τρωτότητα στην ξηρασία.



Εικόνα 9. 2. Προτεινόμενη διάταξη των δεικτών για την παρακολούθηση μια περιοχής όσον αφορά τις αναφερόμενες διαδικασίες.



Η πρώτη φάση είναι η ανάπτυξη στρατηγικής, η προετοιμασία δηλαδή διάφορων μέτρων πριν από την εμφάνιση ξηρασίας που θα στοχεύει στο να καταστήσει τους χρήστες νερού ανθεκτικότερους στην ανεπάρκεια του πόρου σε σύγκριση με τις τρέχουσες πρακτικές και αντιλήψεις. Αυτή η αντιμετώπιση θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Όλες οι εμπειρίες των προηγούμενων περιπτώσεων ξηρασίας, που περιλαμβάνουν το τεχνολογικά, οικονομικά και κοινωνικά πλαίσιο κάθε προηγούμενης ξηρασίας, θα πρέπει να διερευνηθούν καλά. Εξίσου σημαντικός είναι ο προσδιορισμός και η εφαρμογή της κατάλληλης γνώσης στις μελλοντικές επιπτώσεις ξηρασίας.
- Ορθή εξαγωγή συμπερασμάτων από τις τεχνολογικές, οικονομικές και κοινωνικές συνθήκες για το άμεσο μέλλον, το οποίο έχει μια λογική πιθανότητας εμφάνισης ξηρασίας.
- Αξιολόγηση και κατάλληλη/ ορθή προσαρμογή των αποτελεσμάτων των διαθέσιμων μέτρων κατά της ξηρασίας, υπό μορφή απωλειών ξηρασίας, καθώς και του κόστους εφαρμογής των διάφορων μέτρων σε αυτές.

Η εφαρμογή των δεικτών θα οδηγήσει σε καταλληλότερη στρατηγική προληπτικής αντιμετώπισης των φαινομένων ξηρασίας. Βέβαια δεν πρέπει να παραλείπεται το γεγονός ότι η κατανάλωση του αρδευτικού νερού είναι περίπου 85% στην Ελλάδα. Για αυτό, πριν την εφαρμογή κατάλληλων στρατηγικών αντιμετώπισης, προτείνεται η επανεξέταση των παρακάτω μέτρων για τις αγροτικές περιοχές:

- Συντήρηση αρδευτικών και στραγγιστικών δικτύων για τον περιορισμό των απωλειών νερού κατά τη μεταφορά και διανομή του.
- Συνεχής εκπαίδευση των αγροτών για τη χρησιμοποίηση αποτελεσματικών μεθόδων άρδευσης.
- Κατασκευή αναβαθμών εντός ποταμών ή χειμάρρων για τη συγκράτηση, αποθήκευση και μεταφορά αρδευτικού νερού, λαμβάνοντας υπόψη την περιβαλλοντική παροχή.
- Κατασκευή εξωποτάμιων λιμνοδεξαμενών και των συναφών μικρών εγγειοβελτιωτικών έργων για τις διάφορες χρήσεις (αρδευτική, τουριστική, αστική και βιομηχανική) κυρίως στις νησιώτικες περιοχές.
- Μελέτη βιωσιμότητας για νέες και υφιστάμενες γεωτρήσεις.
- Καταγραφή, αξιολόγηση και σύνδεση όλων των διαθέσιμων πόρων μιας περιοχής

- Στελέχωση των υπηρεσιών, οργανισμών και επιχειρήσεων του δημοσίου και ιδιωτικού τομέα, με καλά καταρτισμένους επιστήμονες.
- Μελέτη και υπολογισμός του υδατικού δυναμικού ανά λεκάνη και ανά υδατικό διαμέρισμα.
- Εκτίμηση και παρακολούθηση σε ημερήσια κλίμακα των αποθεμάτων των μεγάλων υπόγειων υδάτων.
- Αξιοποίηση των επιφανειακών υδάτων με τη δημιουργία εγγειοβελτιωτικών έργων.
- Εκπόνηση περιβαλλοντικών μελετών των εγγειοβελτιωτικών έργων για την εκτίμηση των επιπτώσεών τους στο φυσικό περιβάλλον.
- Εφαρμογή τεχνολογιών και μεθόδων άρδευσης για εξοικονόμηση νερού και περιορισμό της ρύπανσης.
- Αναδιάρθρωση των καλλιεργειών σε εθνικό επίπεδο και με τρόπο που θα εξασφαλίζει στους αγρότες την πώληση των προϊόντων τους.
- Εκσυγχρονισμός των παλαιών αρδευτικών και στραγγιστικών δικτύων για την οικονομικότερη και αποδοτικότερη χρησιμοποίηση του νερού.

Σε κάθε περιβαλλοντικό πρόβλημα αντιστοιχούν κάποιες καλές πρακτικές, τις οποίες ο άνθρωπος μπορεί να εφαρμόσει για να το ανατρέψει. Προς αυτήν κατεύθυνση, προτείνονται παρακάτω συγκεκριμένα μέτρα πρόληψης και αντιμετώπισης του προβλήματος στη γεωργία, την κτηνοτροφία και τα δάση.

**Γεωργία:** Στον τομέα της γεωργίας προτείνονται μέτρα, τα οποία προσβλέπουν στην αποκατάσταση και την πρόληψη του διαβρωμένου εδάφους, την αναστροφή της εξάντλησης των διαθέσιμων υδάτινων πόρων και της δευτερογενούς αλάτωσης των εδαφών. Με δεδομένο ότι το 69% των υδάτινων πόρων χρησιμοποιείται από τον τομέα της γεωργίας, γίνεται αποδεδειγμένα υπεράντληση των υπόγειων υδροφορέων, με αποτέλεσμα να διεισδύει θαλάσσιο νερό στους υπόγειους υδροφορείς και να υποβαθμίζεται η ποιότητα του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση. Για να αποφευχθούν τα παραπάνω προβλήματα, πρέπει να εφαρμόζεται ο κώδικας γεωργικής πρακτικής και πολιτικής, όπως ορίζεται από το Πρόγραμμα Αγροτικής Ανάπτυξης, τη Δασική Πολιτική και την Πολιτική για την Βιώσιμη Ανάπτυξη. Στις σωστές γεωργικές πρακτικές συμπεριλαμβάνονται και αντιδιαβρωτικά μέτρα. Αντιδιαβρωτικά μέτρα θεωρούνται αυτά, τα οποία σχετίζονται με την κατασκευή φραγμάτων, ώστε να περιοριστεί η ροή των ποταμών με ανεπιθύμητα υλικά που προκαλούν διάβρωση στις παράκτιες περιοχές, η παροχή κινήτρων στους κατοίκους αγροτικών περιοχών

ώστε να μην εγκαταλείπουν τις γεωργικές εκτάσεις, η χρήση συρμάτινου πλέγματος για να κατακρατείται το έδαφος και να μη γίνονται κατολισθήσεις, η αναδάσωση γεωργικής και μη γεωργικής γης σε περίπτωση πυρκαγιάς και η κατασκευή αναβαθμίδων για αποκατάσταση του καμένου εδάφους. Επιπλέον, μέτρα που σχετίζονται με τη διάβρωση του εδάφους είναι και η χορήγηση επιδοτήσεων, ώστε να εφαρμόζεται η αγρανάπαυση περιοχών που απειλούνται, καθώς και οι επιδοτήσεις για σιτοκαλλιέργειες, οι οποίες δεν απαιτούν μεγάλες ποσότητες νερού. Είναι σημαντικό, επίσης, να μειωθούν οι απώλειες νερού και να καλυφθεί η επιφάνεια του εδάφους με φυτικά υπολείμματα, πέτρες και χημικά βελτιωτικά, ώστε να απορροφηθούν θρεπτικά συστατικά. Σχετικά με την εξάντληση των υδάτινων πόρων, το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων έχει θέσει, στο πλαίσιο της Υδατικής Πολιτικής του, μέτρα και στόχους για την εξισορρόπηση του εφοδιασμού (υδάτινοι πόροι) και της ζήτησης (ανάγκες για χρήση σε διάφορους τομείς), και για τη διασφάλιση καλής ποιότητας πόσιμου νερού. Επιπρόσθετα, κομβικής σημασίας είναι να δοθούν κίνητρα ενθάρρυνσης για την ανάπτυξη βελτιωμένων συστημάτων άρδευσης σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές, καθώς να περιοριστούν οι αδειοδοτήσεις νέων γεωτρήσεων, ώστε να γίνεται περισσότεροι και καλύτεροι έλεγχοι των ποσοτήτων νερού που αντλούνται. Προτείνονται, τέλος, αυστηρότερα μέτρα που σχετίζονται με τον περιορισμό των χρήσεων γης, οι οποίοι επιβαρύνουν σε μεγάλο βαθμό το έδαφος (όπως λ.χ. είναι τα γήπεδα γκολφ που απαιτούν μεγάλες ποσότητες νερού).

**Κτηνοτροφία:** Στον τομέα της κτηνοτροφίας προτείνονται μέτρα για την προστασία των εδαφών από την αλόγιστη βόσκηση και τεχνικά μέτρα για την κτηνοτροφία. Ένα από τα μέτρα για την προστασία των εδαφών είναι η διεξαγωγή ερευνών και μελετών για να καθοριστεί ο αριθμός των ζώων, η συχνότητα και η διάρκεια της βόσκησης που μπορεί να δεχτεί προκειμένου να μπορεί μια περιοχή να ανταποκριθεί χωρίς να υποβαθμίζεται το οικοσύστημά της. Επίσης, να οριστούν αγροφύλακες που θα ελέγχουν την παράνομη ελεύθερη βόσκηση, ενώ οι παρανομούντες θα διώκονται ποινικά. Για την αποφυγή της ανεξέλεγκτης ελεύθερης βόσκησης, να ενισχυθούν οι αγρότες στον τομέα παραγωγής ζωοτροφών και να επιδοτηθούν τα σιτηρά, κάτι το οποίο θα ενισχύσει και την ανταγωνιστικότητα της ελληνικής οικονομίας. Επιπλέον μέτρο για την αποφυγή της ερημοποίησης του εδάφους από την υπερβόσκηση αποτελεί η δυνατότητα ανάπτυξης εναλλακτικών πηγών ζωοτροφών, οι οποίες θα μειώσουν την πίεση που ασκείται στους βοσκότοπους και θα αυξήσουν παράλληλα την παραγωγικότητα των ζώων.

**Προστασία Δασών:** Για την προστασία των υφιστάμενων φυσικών οικοσυστημάτων προτείνεται:

- Αύξηση της έκτασης των κρατικών και ιδιωτικών δασών και μείωση της αλόγιστης χρήσης τους για ξυλεία και βόσκηση.
- Προστασία των δασών από πυρκαγιές και αναδάσωση των καμένων περιοχών.
- Αύξηση της ενημέρωσης και του ελέγχου των αγροτών, των τουριστών και των επισκεπτών για την πρόληψη πυρκαγιών.
- Αυστηρότερος έλεγχος και μέτρα για τη βόσκηση σε δάση υψηλής αξίας.
- Διαμόρφωση υποδομών για προληπτική προστασία από πυρκαγιές, όπως δασικών δρόμων, αντιπυρικών λωρίδων και υδατοδεξαμενών σε ιδιωτικές εκτάσεις.
- Πρόγραμμα δάσωσης γυμνών περιοχών και αποκατάσταση δασικής βλάστησης, ειδικά σε διαταραγμένους χώρους.

**Συνοψίζοντας θα ήταν χρήσιμο και επιτακτικό να υιοθετηθούν οι σύνθετοι δείκτες, όπως ο SDVI για την ξηρασία και ο SWDI για τους υδατικούς και τους εδαφικούς πόρους,** ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προώθηση συγκεκριμένων και έγκαιρων ενεργειών από τους αρμόδιους φορείς. Επιπροσθέτως, θα πρέπει να αναπτυχθεί ένα σύστημα πρόβλεψης και παρακολούθησης της ξηρασίας, το οποίο θα μπορεί να προειδοποιεί και να ανιχνεύει την έναρξη, ένταση και λήξη του φαινομένου. Ο SDVI μπορεί να λειτουργήσει ως εργαλείο παρακολούθησης για την ανίχνευσης της πρόωρης εμφάνισης της ξηρασίας, αλλά και την αναγνώριση των τρωτών περιοχών.

Αυτό που θα πρέπει να προβλέπεται είναι μια σταδιακή ή συγχρονισμένη προσέγγιση, καθώς επιδεινώνονται οι συνθήκες υδατικού εφοδιασμού και καθίσταται επιτακτική η ανάγκη ανάληψης πιο αυστηρών ενεργειών. Λαμβάνοντας υπόψη αυτήν την προσέγγιση, πρέπει να καθιερωθούν κατώτατα όρια, έτσι ώστε όταν αυτά ξεπερνιούνται, να προωθούνται συγκεκριμένες ενέργειες από την Πολιτεία. Ιδιαίτερα χρήσιμος και αποτελεσματικός θα ήταν ο καθορισμός των σχεδίων Αντιμετώπισης των Ξηρασιών ανά υδατικό διαμέρισμα. Ιστορικά, το ενδιαφέρον για την επόμενη ξηρασία εξασθενεί γρήγορα όταν οι βροχές επιστρέψουν. Οι ξηρασίες των τελευταίων δεκαετιών (1989-1990, 1992-1993, 2000 και του 2007-2008) δίδαξαν πολύτιμα μαθήματα για την ανάγκη για σχεδιασμό σε εθνικό επίπεδο. Υπάρχουν δύο οδοί, ο ένας είναι η επιστροφή στις παλιές νοοτροπίες, περιμένοντας τις βροχές να επιλύσουν τα μικρά ή μεγάλα προβλήματα, και ο άλλος είναι η δημιουργία σχεδίων και δράσεων, για τον μετριασμό και την αντιμετώπιση αυτών των φαινομένων. Επιλέγοντας τη δεύτερη και πολυπλοκότερη οδό επιτυγχάνεται τελικά η μείωση της τρωτότητας στην ξηρασία.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AAFC, 2005. Lessons Learned from the Canadian Drought Years 2001 and 2002 (policy). Agriculture and Agri-Food Canada; Government of Canada.
- Abrahams, A.D., Parsons, A.J., Wainwright, J., 1995. Effects of vegetation change on interrill runoff and erosion, Walnut Gulch, southern Arizona. *Geomorphology* 13, 37–48. doi:10.1016/0169-555X(95)00027-3
- Adger, N.W., 1999. Social Vulnerability to Climate Change and Extremes in Coastal Vietnam. *World Dev.* 27, 249–269. doi:10.1016/S0305-750X(98)00136-3
- Adger, W.N., 2006. Vulnerability. *Glob. Environ. Change* 16, 268–281.
- Adger, W.N., Kelly, P.M., 1999. Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change* 4, 253–266.
- Alcamo, J., FLÖRKE, M., MÄRKER, M., 2007. Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. *Hydrol. Sci. J.* 52, 247–275. doi:10.1623/hysj.52.2.247
- Alexander, G.G., Allan, J.D., 2007. Ecological Success in Stream Restoration: Case Studies from the Midwestern United States. *Environ. Manage.* 40, 245–255. doi:10.1007/s00267-006-0064-6
- Alexandris, S., Kerkides, P., Liakatas, A., 2006. Daily reference evapotranspiration estimates by the “Copais” approach. *Agric. Water Manag.* 82, 371–386.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. FAO Irrigation and drainage paper No. 56. Rome Food Agric. Organ. U. N. 56, 97–156.
- Angelsen, A., Kaimowitz, D., 2001. *Agricultural Technologies and Tropical Deforestation*. CABI.
- Antonov, M., 2014. US Government To Pay Navajo Nation Record Settlement [WWW Document]. URL <http://www.wbur.org/hereandnow/2014/09/25/record-navajo-settlement> (accessed 1.24.17).
- Arnell, N.W., 2004. Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. *Glob. Environ. Change, Climate Change* 14, 31–52. doi:10.1016/j.gloenvcha.2003.10.006
- Arnell, N.W., 1999. Climate change and global water resources. *Glob. Environ. Change* 9, Supplement 1, S31–S49. doi:10.1016/S0959-3780(99)00017-5
- Arnold, J.G., Allen, P.M., Bernhardt, G., 1993. A comprehensive surface-groundwater flow model. *J. Hydrol.* 142, 47–69. doi:10.1016/0022-1694(93)90004-5

- Asner, G.P., Green, R. O., 2001. Imaging spectroscopy measures desertification in United States and Argentina. *Eos Trans. Am. Geophys. Union* 82, 601–606. doi:10.1029/01EO00346
- Aubréville, A. (André), 1949. *Climats, forêts et désertification de l’Afrique tropicale*.
- Aven, T., 2011. On Some Recent Definitions and Analysis Frameworks for Risk, Vulnerability, and Resilience: On Some Recent Definitions and Analysis Frameworks. *Risk Anal.* 31, 515–522. doi:10.1111/j.1539-6924.2010.01528.x
- Baer, R., Lehmann, A., 2012. Integrated water resource sustainability and vulnerability assessment., D5.8. *EnviroGRIDS\_deliverable*.
- Barraqué, B., Formiga Johnsson, R.M., Nogueira de Paiva Britto, A.L., 2008a. The development of water services and their interaction with water resources in European and Brazilian cities. *Hydrol Earth Syst Sci* 12, 1153–1164. doi:10.5194/hess-12-1153-2008
- Barraqué, B., Formiga Johnsson, R.M., Nogueira de Paiva Britto, A.L., 2008b. The development of water services and their interaction with water resources in European and Brazilian cities. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 12, 1153–1164. doi:10.5194/hess-12-1153-2008
- Barriendos, M., 1997. Climatic variations in the Iberian Peninsula during the late Maunder Minimum (AD 1675-1715): an analysis of data from rogation ceremonies. *The Holocene* 7, 105–111. doi:10.1177/095968369700700110
- Barrow, C., 2006. *Environmental Management for Sustainable Development*. Routledge.
- Barrow, C.J., 2005. *Environmental Management and Development*. Psychology Press.
- Bartley, R., Roth, C.H., Ludwig, J., McJannet, D., Liedloff, A., Corfield, J., Hawdon, A., Abbott, B., 2006. Runoff and erosion from Australia’s tropical semi-arid rangelands: influence of ground cover for differing space and time scales. *Hydrol. Process.* 20, 3317–3333. doi:10.1002/hyp.6334
- Bekins, B., Rittmann, B.E., MacDonald, J.A., 2001. Natural attenuation strategy for groundwater cleanup focuses on demonstrating cause and effect. *Eos Trans. Am. Geophys. Union* 82, 53–53. doi:10.1029/01EO00028
- Berkes, F., Folke, C., Colding, J., 2000. *Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*. Cambridge University Press.
- Bishop, B., 1970. *Public participation in planning: a multi-media course (No. IWR Report)*. US Army Engineers Institute for Water Resources, Fort Belvoir, VA.
- Biswas, A.K., 2004. Integrated Water Resources Management: A Reassessment. *Water Int.* 29, 248–256. doi:10.1080/02508060408691775

- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., Wisner, B., 2014. *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. Routledge.
- Bohle, H.G., Downing, T.E., Watts, M.J., 1994. Climate change and social vulnerability. *Glob. Environ. Change* 4, 37–48. doi:10.1016/0959-3780(94)90020-5
- Bond, N.R., Lake, P.S., Arthington, A.H., 2008. The impacts of drought on freshwater ecosystems: an Australian perspective. *Hydrobiologia* 600, 3–16. doi:10.1007/s10750-008-9326-z
- Bordi, I., Fraedrich, K., Petitta, M., Sutera, A., 2006. Large-Scale Assessment of Drought Variability Based on NCEP/NCAR and ERA-40 Re-Analyses. *Water Resour. Manag.* 20, 899–915. doi:10.1007/s11269-005-9013-z
- Borken, W., Davidson, E.A., Savage, K., Sundquist, E.T., Steudler, P., 2006. Effect of summer throughfall exclusion, summer drought, and winter snow cover on methane fluxes in a temperate forest soil. *Soil Biol. Biochem.* 38, 1388–1395. doi:10.1016/j.soilbio.2005.10.011
- Born, S.M., Sonzogni, W.C., 1995. Integrated environmental management: strengthening the conceptualization. *Environ. Manage.* 19, 167–181. doi:10.1007/BF02471988
- Bradford, R.B., 2000. Drought Events in Europe, in: Vogt, J.V., Somma, F. (Eds.), *Drought and Drought Mitigation in Europe, Advances in Natural and Technological Hazards Research*. Springer Netherlands, pp. 7–20.
- Brightsmith, D.J., Muñoz-Najar, R.A., 2004. Avian Geophagy and Soil Characteristics in Southeastern Peru. *BIOTROPICA* 36, 534. doi:10.1646/1602
- Brooks, N., Adger, W.N., 2003. Country level risk measures of climate-related natural disasters and implications for adaptation to climate change. Tyndall Centre for Climate Change Research Norwich.
- Brooks, N., Neil Adger, W., Mick Kelly, P., 2005. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Glob. Environ. Change* 15, 151–163. doi:10.1016/j.gloenvcha.2004.12.006
- Burton, I., Huq, S., Lim, B., Pilifosova, O., Schipper, E.L., 2002. From impacts assessment to adaptation priorities: the shaping of adaptation policy. *Clim. Policy* 2, 145–159. doi:10.3763/cpol.2002.0217
- Cai, X., McKinney, D.C., Rosegrant, M.W., 2003. Sustainability analysis for irrigation water management in the Aral Sea region. *Agric. Syst.* 76, 1043–1066. doi:10.1016/S0308-521X(02)00028-8

- Cancelliere, A., Mauro, G.D., Bonaccorso, B., Rossi, G., 2007. Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index. *Water Resour. Manag.* 21, 801–819. doi:10.1007/s11269-006-9062-y
- Carbone, M., Mancuso, A., Piro, P., 2014. Identification of Desertification Risk with Environmentally Sensitive Areas: Application to an Area in Southern Italy [WWW Document]. . URL <http://sgem.org/sgemlib/spip.php?article4387> (accessed 11.27.16).
- Carpenter, S.R., Caraco, N.F., Correll, D.L., Howarth, R.W., Sharpley, A.N., Smith, V.H., 1998. Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen. *Ecol. Appl.* 8, 559–568. doi:10.1890/1051-0761(1998)008[0559:NPOSWW]2.0.CO;2
- Cawley, M.E., 1994. Desertification: Measuring population decline in rural Ireland. *J. Rural Stud.* 10, 395–407. doi:10.1016/0743-0167(94)90049-3
- Changnon, S.A., Easterling, W.E., 1989. MEASURING DROUGHT IMPACTS: THE ILLINOIS CASE. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 25, 27–42. doi:10.1111/j.1752-1688.1989.tb05663.x
- Cheng, J., Tao, J., 2010. Fuzzy Comprehensive Evaluation of Drought Vulnerability Based on the Analytic Hierarchy Process. *Agric. Agric. Sci. Procedia* 1, 126–135. doi:10.1016/j.aaspro.2010.09.015
- Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., Aubinet, M., Buchmann, N., Bernhofer, C., Carrara, A., Chevallier, F., Noblet, N.D., Friend, A.D., Friedlingstein, P., Grünwald, T., Heinesch, B., Keronen, P., Knohl, A., Krinner, G., Loustau, D., Manca, G., Matteucci, G., Miglietta, F., Ourcival, J.M., Papale, D., Pilegaard, K., Rambal, S., Seufert, G., Soussana, J.F., Sanz, M.J., Schulze, E.D., Vesala, T., Valentini, R., 2005. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *ResearchGate* 437, 529–33. doi:10.1038/nature03972
- Condon, R.W., 1978. Land tenure and desertification in Australia's arid lands, with particular reference to western New South Wales. *Search* 9, 261–264.
- Cordery, I., McCall, M., 2000. A model for forecasting drought from teleconnections. *Water Resour. Res.* 36, 763–768. doi:10.1029/1999WR900318
- Cross, J.A., 2001. Megacities and small towns: different perspectives on hazard vulnerability. *Environ. Hazards* 3, 63–80. doi:10.3763/ehaz.2001.0307
- Cushman, R.M., 1985. Review of Ecological Effects of Rapidly Varying Flows Downstream from Hydroelectric Facilities. *North Am. J. Fish. Manag.* 5, 330–339. doi:10.1577/1548-8659(1985)5<330:ROEEOR>2.0.CO;2



- Danfeng, S., Dawson, R., Baoguo, L., 2006. Agricultural causes of desertification risk in Minqin, China. *J. Environ. Manage.* 79, 348–356. doi:10.1016/j.jenvman.2005.08.004
- Darkoh, M.B., 2003. Regional perspectives on agriculture and biodiversity in the drylands of Africa. *J. Arid Environ.* 54, 261–279. doi:10.1006/jare.2002.1089
- De Crespigny, R., 1971. *China; the land and its people.* Nelson.
- de Vries, F.T., Liiri, M.E., Bjørnlund, L., Bowker, M.A., Christensen, S., Setälä, H.M., Bardgett, R.D., 2012. Land use alters the resistance and resilience of soil food webs to drought. *Nat. Clim. Change* 2, 276–280. doi:10.1038/nclimate1368
- DMCSEE, 2012. Summary of the result of the DMCSEE Project, co-financed by the South East Europe transnational Cooperation programme. Drought Management Centre for South-East Europe - DMCSEE, Slovenia.
- Dodd, J. L., 1994. Desertification and degradation in Sub-Saharan Africa—The role of livestock. *Bioscience* 44(1), 28–34.
- D’Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K.F., Ravi, S., Runyan, C.W., 2013. Global desertification: Drivers and feedbacks. *Adv. Water Resour.*, 35th Year Anniversary Issue 51, 326–344. doi:10.1016/j.advwatres.2012.01.013
- Downing, T.E., Butterfield, R., Cohen, S., Huq, S., Moss, R., Rahman, A., Sokona, Y., Stephen, L., 2001. Vulnerability indices: climate change impacts and adaptation. *UNEP Policy Ser.* UNEP Nairobi.
- Downing, T.E., Moss, S., Pahl-Wostl, C., 2000. Understanding Climate Policy Using Participatory Agent-Based Social Simulation, in: Moss, S., Davidsson, P. (Eds.), *Multi-Agent-Based Simulation.* Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 198–213.
- Downing, T.E., Patwardhan, A., 2003. *Vulnerability Assessment for Climate Adaptation, Adaptation Policy Framework: A Guide for Policies to Facilitate Adaptation to Climate Change.* UNDP N. Y.
- Dracup, J.A., Lee, K.S., Paulson, E.G., 1980. On the definition of droughts. *Water Resour. Res.* 16, 297–302. doi:10.1029/WR016i002p00297
- Dregne, H.E., 1986. Desertification of Arid Lands, in: El-Baz, F., Hassan, M.H.A. (Eds.), *Physics of Desertification.* Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 4–34.
- Dungumaro, E.W., Madulu, N.F., 2003. Public participation in integrated water resources management: the case of Tanzania. *Phys. Chem. Earth Parts ABC* 28, 1009–1014. doi:10.1016/j.pce.2003.08.042
- Dyson, T., 1996. *Population and Food: Global Trends and Future Prospects.* Routledge.

- EEA, 2012. Water resources in Europe in the context of vulnerability — European Environment Agency (Publication).
- EEA, 1995. Europe's Environment - The Dobris Assessment. Chapter 05: Inland Waters. State of Environment report No 1/1995. European Environmental Agency, Copenhagen.
- Eleftheriadou, E., Mylopoulos, Y., 2008. Game Theoretical Approach to Conflict Resolution in Transboundary Water Resources Management. *J. Water Resour. Plan. Manag.* 134, 466–473. doi:10.1061/(ASCE)0733-9496(2008)134:5(466)
- El-Kholy, O., 2012. *The World Environment 1972–1992: Two decades of challenge.* Springer Science & Business Media.
- Eriyagama, N., V., S., N., G., 2009. IWMI Research Report - 133 :: IWMI. *Int. Water Manag. Inst. IWMI.*
- FAO, 2007. *The State of Food and Agriculture.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Fara, K., 2001. How Natural Are “Natural Disasters”? Vulnerability to Drought of Communal Farmers in Southern Namibia. *Risk Manage.* 3, 47–63. doi:10.1057/palgrave.rm.8240093
- Fensholt, R., Langanke, T., Rasmussen, K., Reenberg, A., Prince, S.D., Tucker, C., Scholes, R.J., Le, Q.B., Bondeau, A., Eastman, R., Epstein, H., Gaughan, A.E., Hellden, U., Mbow, C., Olsson, L., Paruelo, J., Schweitzer, C., Seaquist, J., Wessels, K., 2012. Greenness in semi-arid areas across the globe 1981–2007 — an Earth Observing Satellite based analysis of trends and drivers. *Remote Sens. Environ.* 121, 144–158. doi:10.1016/j.rse.2012.01.017
- Fischhendler, I., 2004. Legal and institutional adaptation to climate uncertainty: a study of international rivers. *Water Policy* 6, 281–302.
- Freeze, R.A., Witherspoon, P.A., 1967. Theoretical analysis of regional groundwater flow: 2. Effect of water-table configuration and subsurface permeability variation. *Water Resour. Res.* 3, 623–634. doi:10.1029/WR003i002p00623
- Frere, M., Popov, G.F., 1979. *Agrometeorological crop monitoring and forecasting.* FAO.
- Gamvroula, D., Alexakis, D., Stamatis, G., 2013. Diagnosis of groundwater quality and assessment of contamination sources in the Megara basin (Attica, Greece). *Arab. J. Geosci.* 6, 2367–2381. doi:10.1007/s12517-012-0533-6
- Ganoulis, J., Duckstein, L., Literathy, P., Bogardi, Istvan, 2013. *Transboundary Water Resources Management: Institutional and Engineering Approaches.* Springer Science & Business Media.

- G. Wilkinson, B.G. Dale, 1999. Integrated management systems: an examination of the concept and theory. *TQM Mag.* 11, 95–104. doi:10.1108/09544789910257280
- Geist, H., 2005. *The causes and progression of desertification*. Gower Publishing, Ltd.
- Gibbs, W.J., Maher, J.V., 1967. Rainfall deciles as drought indicators. *Bur. Meteorol. Bull* 48 Commonw. Aust. Melb. Aust.
- Gikas, P., Tchobanoglous, G., 2009. The role of satellite and decentralized strategies in water resources management. *J. Environ. Manage.* 90, 144–152. doi:10.1016/j.jenvman.2007.08.016
- Giordano, M., 2009. Global Groundwater? Issues and Solutions. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 34, 153–178. doi:10.1146/annurev.enviro.030308.100251
- Gleick, P.H., 2000. A Look at Twenty-first Century Water Resources Development. *Water Int.* 25, 127–138. doi:10.1080/02508060008686804
- Gorse, J.E., Steeds, D.R., 1987. *Desertification in the Sahelian and Sudanian zones of West Africa*. World Bank Tech. Pap.
- Goudriaan, J., Unsworth, M.H., 1990. Implications of Increasing Carbon Dioxide and Climate Change for Agricultural Productivity and Water Resources. *Impact Carbon Dioxide Trace Gases Clim. Change Glob. Agric. aspecialpubli*, 111–130. doi:10.2134/asaspecpub53.c8
- Goyal, R.K., 2004. Sensitivity of evapotranspiration to global warming: a case study of arid zone of Rajasthan (India). *Agric. Water Manag.* 69, 1–11. doi:10.1016/j.agwat.2004.03.014
- Gray, R., Walters, D., Bebbington, J., Thompson, I., 1995. The Greening of Enterprise: An Exploration of the (NON) Role of Environmental Accounting and Environmental Accountants in Organizational Change. *Crit. Perspect. Account.* 6, 211–239. doi:10.1006/cpac.1995.1021
- Grigg, N.S., 2014. The 2011–2012 drought in the United States: new lessons from a record event. *Int. J. Water Resour. Dev.* 30, 183–199. doi:10.1080/07900627.2013.847710
- Grigg, N.S., 2008. Integrated water resources management: balancing views and improving practice. *Water Int.* 33, 279–292. doi:10.1080/02508060802272820
- Grigg, N.S., 1999. Integrated Water Resources Management Who Should Lead, Who Should Pay?1. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.* 35, 527–534. doi:10.1111/j.1752-1688.1999.tb03609.x
- Grigg, N.S., 1997. Systemic Analysis of Urban Water Supply and Growth Management. *J. Urban Plan. Dev.* 123, 23–33. doi:10.1061/(ASCE)0733-9488(1997)123:2(23)

- Grigg, N.S., 1996. Water Resources Management, in: Water Encyclopedia. John Wiley & Sons, Inc.
- Grigg, N.S., Vlachos, E.C., 1993. Drought and Water-Supply Management: Roles and Responsibilities. *J. Water Resour. Plan. Manag.* 119, 531–541. doi:10.1061/(ASCE)0733-9496(1993)119:5(531)
- Grigg, N. S., Vlachos, E. C., 1990. Drought Water Management. International School for Water Resources, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA.
- Grimble, R., Wellard, K., 1997. Stakeholder methodologies in natural resource management: a review of principles, contexts, experiences and opportunities. *Agric. Syst., Socio-economic Methods in Renewable Natural Resources Research* 55, 173–193. doi:10.1016/S0308-521X(97)00006-1
- Groffman, P.M., Baron, J.S., Blett, T., Gold, A.J., Goodman, I., Gunderson, L.H., Levinson, B.M., Palmer, M.A., Paerl, H.W., Peterson, G.D., Poff, N.L., Rejeski, D.W., Reynolds, J.F., Turner, M.G., Weathers, K.C., Wiens, J., 2006. Ecological Thresholds: The Key to Successful Environmental Management or an Important Concept with No Practical Application? *Ecosystems* 9, 1–13. doi:10.1007/s10021-003-0142-z
- GWP, 2005. Global Water Partnership Annual Report [WWW Document]. URL [https://issuu.com/gwp-publ/docs/gwp\\_in\\_action\\_-\\_annual\\_report\\_2005?reader3=1](https://issuu.com/gwp-publ/docs/gwp_in_action_-_annual_report_2005?reader3=1) (accessed 11.28.16).
- GWP, 2004. Global Water Partnership Annual Report [WWW Document]. *issuu*. URL [https://issuu.com/gwp-publ/docs/gwp\\_in\\_action\\_-\\_annual\\_report\\_2003?reader3=1](https://issuu.com/gwp-publ/docs/gwp_in_action_-_annual_report_2003?reader3=1) (accessed 11.28.16).
- GWP, 2003. Global Water Partnership Annual Report [WWW Document]. URL [https://issuu.com/gwp-publ/docs/gwp\\_in\\_action\\_-\\_annual\\_report\\_2003?reader3=1](https://issuu.com/gwp-publ/docs/gwp_in_action_-_annual_report_2003?reader3=1) (accessed 11.28.16).
- GWP, 2000. Global Water Partnership Annual Report [WWW Document]. URL <https://ieg.worldbankgroup.org/Data/reports/gwp.pdf> (accessed 11.29.16).
- Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1985. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Appl. Eng. Agric.* 1, 96–99. doi:10.13031/2013.26773
- Helldén, U., Tottrup, C., 2008. Regional desertification: A global synthesis. *Glob. Planet. Change, Climate Change and Desertification* 64, 169–176. doi:10.1016/j.gloplacha.2008.10.006

- Herbertson and Tate, 2001. TD73 - Tools for water use and demand Management in South Africa\_2001.pdf [WWW Document]. URL [http://www.the-eis.com/data/literature/Tools%20for%20water%20use%20and%20demand%20Management%20in%20South%20Africa\\_2001.pdf](http://www.the-eis.com/data/literature/Tools%20for%20water%20use%20and%20demand%20Management%20in%20South%20Africa_2001.pdf) (accessed 11.27.16).
- Hessel, R., Reed, M.S., Geeson, N., Ritsema, C.J., van Lynden, G., Karavitis, C.A., Schwilch, G., Jetten, V., Burger, P., van der Werff ten Bosch, M.J., Verzandvoort, S., van den Elsen, E., Witsenburg, K., 2014. From Framework to Action: The DESIRE Approach to Combat Desertification. *Environ. Manage.* 54, 935–950. doi:10.1007/s00267-014-0346-3
- Hessel, R., Verzandvoort, S., 2012. Desire for Greener Land. Options for Sustainable Land Management in Drylands. Bern, Switzerland, and Wageningen, The Netherlands: University of Bern - CDE, Alterra - Wageningen UR, ISRIC - World Soil Information and CTA - Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation.
- Hirsch, R.M., Slack, J.R., Smith, R.A., 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resour. Res.* 18, 107–121. doi:10.1029/WR018i001p00107
- Hoffman, M.T., 2009. Water Scarcity, Land Degradation and Desertification in the Mediterranean Region: Environmental and Security Aspects. *Afr. J. Range Forage Sci.* 26, 193–194. doi:10.2989/AJRF.2009.26.3.11.956
- Horridge, M., Madden, J., Wittwer, G., 2005. The impact of the 2002–2003 drought on Australia. *J. Policy Model.* 27, 285–308. doi:10.1016/j.jpolmod.2005.01.008
- Hsu, N.-S., Cheng, K.-W., 2002. Network Flow Optimization Model for Basin-Scale Water Supply Planning. *J. Water Resour. Plan. Manag.* 128, 102–112. doi:10.1061/(ASCE)0733-9496(2002)128:2(102)
- ICWE, 1992. International Conference on Water and the Environment, Dublin Statement and report of the conference. International Conference on Water and the Environment.
- Iglesias, C.A., Garrote, L., Cancelliere, A., Cubillo, F., Wilhite, D.A., 2009. Coping with Drought Risk in Agriculture and Water Supply Systems: Drought Management and Policy Development in the Mediterranean. Springer Science & Business Media.
- IPCC, 2014. Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects, Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Jacobsen, T., Adams, R.M., 1958. Salt and silt in ancient Mesopotamian agriculture. *Science* 128, 1251–1258.
- Jarvis, A., Reuter, H.I., Nelson, A., Guevara, E., 2008. Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT).

- Jiang, L., Islam, S., 2001. Estimation of surface evaporation map over Southern Great Plains using remote sensing data. *Water Resour. Res.* 37, 329–340. doi:10.1029/2000WR900255
- Jon Premosch, 2014. 12 Astonishing Aerial Photos Of Brazil's Worst Drought In 80 Years [WWW Document]. BuzzFeed. URL <http://www.buzzfeed.com/jonpremosch/astonishing-ariel-photos-of-brazil-worst-drought-in-80-ye> (accessed 1.24.17).
- Jones, R., Boer, R., 2003. Assessing current climate risks adaptation policy framework: a guide for policies to facilitate adaptation to climate change. UNDP Rev. See [Httpwww Undp Orgccapf-Outl. Htm](http://www.undp.org/ccapf-Outl.Htm).
- Kairis, O., Karavitis, C., Kounalaki, A., Salvati, L., Kosmas, C., 2013. The effect of land management practices on soil erosion and land desertification in an olive grove. *Soil Use Manag.* 29, 597–606. doi:10.1111/sum.12074
- Kairis, O., Kosmas, C., Karavitis, C., Ritsema, C., Salvati, L., Acikalin, S., Alcalá, M., Alfama, P., Atlhopheng, J., Barrera, J., Belgacem, A., Solé-Benet, A., Brito, J., Chaker, M., Chanda, R., Coelho, C., Darkoh, M., Diamantis, I., Ermolaeva, O., Fassouli, V., Fei, W., Feng, J., Fernandez, F., Ferreira, A., Gokceoglu, C., Gonzalez, D., Gungor, H., Hessel, R., Juying, J., Khatteli, H., Khitrov, N., Kounalaki, A., Laouina, A., Lollino, P., Lopes, M., Magole, L., Medina, L., Mendoza, M., Morais, P., Mulale, K., Ocakoglu, F., Ouessar, M., Ovalle, C., Perez, C., Perkins, J., Pliakas, F., Polemio, M., Pozo, A., Prat, C., Qinke, Y., Ramos, A., Ramos, J., Riquelme, J., Romanenkov, V., Rui, L., Santaloia, F., Sebego, R., Sghaier, M., Silva, N., Sizemskaya, M., Soares, J., Sonmez, H., Taamallah, H., Tezcan, L., Torri, D., Ungaro, F., Valente, S., Vente, J. de, Zagal, E., Zeiliger, A., Zhonging, W., Ziogas, A., 2014. Evaluation and Selection of Indicators for Land Degradation and Desertification Monitoring: Types of Degradation, Causes, and Implications for Management. *Environ. Manage.* 54, 971–982. doi:10.1007/s00267-013-0110-0
- Kajanus, M., Leskinen, P., Kurttila, M., Kangas, J., 2012. Making use of MCDS methods in SWOT analysis—Lessons learnt in strategic natural resources management. *For. Policy Econ.* 20, 1–9. doi:10.1016/j.forpol.2012.03.005
- Kalabokidis, K., Kallos, G., Karavitis, C., Caballero, D., Tettelaar, P., Llorens, J., Vasilakos, C., 2005. Automated fire and flood hazard protection system, in: *Proceedings of the 5th International Workshop on Remote Sensing and GIS Applications to Forest Fire Management: Fire Effects Assessment*. Universidad de Zaragoza, Spain. pp. 167–172.

- Kalabokidis, K.D., Karavitis, C., Vasilakos, C., 2004. Automated fire and flood danger assessment system, in: Proceedings of the International Workshop on Forest Fires in the Wildland-Urban Interface and Rural Areas in Europe. pp. 143–153.
- Kalogeropoulos, K., Chalkias, C., 2013. Modelling the impacts of climate change on surface runoff in small Mediterranean catchments: empirical evidence from Greece: Modelling the impacts of climate change on surface runoff. *Water Environ. J.* 27, 505–513. doi:10.1111/j.1747-6593.2012.00369.x
- Kalogeropoulos, K., Stathopoulos, N., Psarogiannis, A., Pentheris, D., Tsiakos, C., Karagiannopoulou, A., Krikigianni, E., Karymbalis, E., Chalkias, C., 2016. A GIS-based method for flood risk assessment, in: EGU General Assembly Conference Abstracts. p. 12788.
- Kampragou, E., Lekkas, D.F., Assimacopoulos, D., 2011. Water demand management: implementation principles and indicative case studies. *Water Environ. J.* 25, 466–476. doi:10.1111/j.1747-6593.2010.00240.x
- Kampragou, E., Lekkas, D.F., Assimacopoulos, D., 2010. Water demand management: implementation principles and indicative case studies. *Water Environ. J.* 25, 466–476. doi:10.1111/j.1747-6593.2010.00240.x
- Kang, I.S., Park, J.I., Singh, V.P., 1998. Effect of urbanization on runoff characteristics of the On-Cheon Stream watershed in Pusan, Korea. *Hydrol. Process.* 12, 351–363. doi:10.1002/(SICI)1099-1085(199802)12:2<351::AID-HYP569>3.0.CO;2-O
- Karavitis, C., 1992. Drought Management Strategies for Urban Water Supplies: The Case of Metropolitan Athens (Ph.D. Dissertation). Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Co., USA.
- Karavitis, C.A., 1999. Decision Support Systems for Drought Management Strategies in Metropolitan Athens. *Water Int.* 24, 10–21. doi:10.1080/02508069908692129
- Karavitis, C.A., 1998. Drought and urban water supplies: the case of metropolitan Athens. *Water Policy* 1, 505–524. doi:10.1016/S1366-7017(99)00009-4
- Karavitis, C.A., 1996. Regional Water Transfers and Drought Management Strategies, in: Ganoulis, J., Duckstein, L., Literathy, P., Bogardi, I. (Eds.), *Transboundary Water Resources Management*, Nato ASI Series. Springer Berlin Heidelberg, pp. 451–457.
- Karavitis, C.A., Alexandris, S., Tsemelis, D.E., Athanasopoulos, G., 2011. Application of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Greece. *Water* 3, 787–805. doi:10.3390/w3030787

- Karavitis, C.A., Alexandris, S.G., Fassouli, V.P., Stamatakos, D.V., Vasilakou, C.G., Tsesmelis, D.E., Skondras, N.A., Gregoric, G., 2013. Assessing drought vulnerability under alternative water demand deficit scenarios in South-Eastern Europe, in: 8th International Conference of EWRA “Water Resources Management in an Interdisciplinary and Changing Context”, 26th–29th June. Presented at the European Water Resources Association, Porto, Portugal.
- Karavitis, C.A., Chortaria, C., Alexandris, S., Vasilakou, C.G., Tsesmelis, D.E., 2012. Development of the standardised precipitation index for Greece. *Urban Water J.* 9, 401–417. doi:10.1080/1573062X.2012.690431
- Karavitis, C.A., Kerkides, P., 2002. Estimation of the Water Resources Potential in the Island System of the Aegean Archipelago, Greece. *Water Int.* 27, 243–254. doi:10.1080/02508060208686998
- Karavitis, C.A., Tsesmelis, D.E., Skondras, N.A., Stamatakos, D., Alexandris, S., Fassouli, V., Vasilakou, C.G., Oikonomou, P.D., Gregorič, G., Grigg, N.S., Vlachos, E.C., 2014. Linking drought characteristics to impacts on a spatial and temporal scale. *Water Policy* 16, 1172–1197. doi:10.2166/wp.2014.205
- Karavitis, C.A., Vasilakou, C.G., Tsesmelis, D.E., Oikonomou, P.D., Skondras, N.A., Stamatakos, D., Fassouli, V., Alexandris, S., 2015. Short-term drought forecasting combining stochastic and geo-statistical approaches. *EWRA Eur. Water* 49, 43–63.
- Kassas, M., 1995. Desertification: a general review. *J. Arid Environ.* 30, 115–128. doi:10.1016/S0140-1963(05)80063-1
- Kessler, W.B., Salwasser, H., Cartwright, C.W., Caplan, J.A., 1992. New Perspectives for Sustainable Natural Resources Management. *Ecol. Appl.* 2, 221–225. doi:10.2307/1941856
- Kim, T.-W., Valdés, J.B., 2003. Nonlinear Model for Drought Forecasting Based on a Conjunction of Wavelet Transforms and Neural Networks. *J. Hydrol. Eng.* 8, 319–328. doi:10.1061/(ASCE)1084-0699(2003)8:6(319)
- Kogan, F.N., 1997. Global Drought Watch from Space. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 78, 621–636. doi:10.1175/1520-0477(1997)078<0621:GDWFS>2.0.CO;2
- Konikow, L.F., Kendy, E., 2005. Groundwater depletion: A global problem. *Hydrogeol. J.* 13, 317–320. doi:10.1007/s10040-004-0411-8
- Kosmas, C., Danalatos, N., Cammeraat, L.H., Chabart, M., Diamantopoulos, J., Farand, R., Gutierrez, L., Jacob, A., Marques, H., Martinez-Fernandez, J., Mizara, A., Moustakas, N., Nicolau, J.M., Oliveros, C., Pinna, G., Puddu, R., Puigdefabregas, J., Roxo, M.,



- Simao, A., Stamou, G., Tomasi, N., Usai, D., Vacca, A., 1997. The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions. *CATENA* 29, 45–59. doi:10.1016/S0341-8162(96)00062-8
- Kosmas, C., Kairis, O., Karavitis, C., Ritsema, C., Salvati, L., Acikalin, S., Alcalá, M., Alfama, P., Athlopheng, J., Barrera, J., Belgacem, A., Solé-Benet, A., Brito, J., Chaker, M., Chanda, R., Coelho, C., Darkoh, M., Diamantis, I., Ermolaeva, O., Fassouli, V., Fei, W., Feng, J., Fernandez, F., Ferreira, A., Gokceoglu, C., Gonzalez, D., Gungor, H., Hessel, R., Juying, J., Khatteli, H., Khitrov, N., Kounalaki, A., Laouina, A., Lollino, P., Lopes, M., Magole, L., Medina, L., Mendoza, M., Morais, P., Mulale, K., Ocakoglu, F., Ouessar, M., Ovalle, C., Perez, C., Perkins, J., Pliakas, F., Polemio, M., Pozo, A., Prat, C., Qinke, Y., Ramos, A., Ramos, J., Riquelme, J., Romanenkov, V., Rui, L., Santaloia, F., Sebeogo, R., Sghaier, M., Silva, N., Sizemskaya, M., Soares, J., Sonmez, H., Taamallah, H., Tezcan, L., Torri, D., Ungaro, F., Valente, S., Vente, J. de, Zagal, E., Zeiliger, A., Zhonging, W., Ziogas, A., 2014. Evaluation and Selection of Indicators for Land Degradation and Desertification Monitoring: Methodological Approach. *Environ. Manage.* 54, 951–970. doi:10.1007/s00267-013-0109-6
- Kosmas, C., Kirkby, M., Geeson, N., 1999. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification (Medalus project). European Commission.
- Kosmas, C., Tsara, M., Moustakas, N., Kosma, D., Yassoglou, N., 2006. ENVIRONMENTALLY SENSITIVE AREAS AND INDICATORS OF DESERTIFICATION, in: Kepner, W.G., Rubio, J.L., Mouat, D.A., Pedrazzini, F. (Eds.), *Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 525–547.
- Kosmas, C.S., Danalatos, N.G., 1994. Climate Change, Desertification and the Mediterranean Region, in: Rounsevell, M.D.A., Loveland, P.J. (Eds.), *Soil Responses to Climate Change*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 25–38.
- Kosmas, C.S., Danalatos, N.G., Moustakas, N., Tsatiris, B., Kallianou, C., Yassoglou, N., 1993. The impacts of parent material and landscape position on drought and biomass production of wheat under semi-arid conditions. *Soil Technol.* 6, 337–349. doi:10.1016/0933-3630(93)90024-9
- Lambin, E.F., Helmut J. Geist, Lepers, E., 2003. Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 28, 205–241. doi:10.1146/annurev.energy.28.050302.105459

- Lansey, K.E., El-Shorbagy, W., Ahmed, I., Araujo, J., Haan, C.T., 2001. Calibration Assessment and Data Collection for Water Distribution Networks. *J. Hydraul. Eng.* 127, 270–279. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(2001)127:4(270)
- Leopold, C., 2008. Uluru/Ayers Rock.
- Loucks, D.P., van Beek, E., Stedinger, J.R., Dijkman, J.P.M., Villars, M.T., 2005. *Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models and Applications*. Paris : UNESCO.
- Loukas, A., Mylopoulos, N., Vasiliades, L., 2007. A Modeling System for the Evaluation of Water Resources Management Strategies in Thessaly, Greece. *Water Resour. Manag.* 21, 1673–1702. doi:10.1007/s11269-006-9120-5
- Ludwig, J.A., Tongway, D.J., 1995. Desertification in Australia: An eye to grass roots and landscapes. *Environ. Monit. Assess.* 37, 231–237. doi:10.1007/BF00546891
- Mabbutt, J., 1978. Desertification of Australia in its global context. Search.
- Madole, R.F., 1994. Stratigraphic evidence of desertification in the west-central Great Plains within the past 1000 yr. *Geology* 22, 483. doi:10.1130/0091-7613(1994)022<0483:SEODIT>2.3.CO;2
- Maharani, Y.N., Lee, S., Ki, S.J., 2016. Social vulnerability at a local level around the Merapi volcano. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 20, 63–77. doi:10.1016/j.ijdrr.2016.10.012
- Maia, R., Schumann, A.H., 2007. DSS Application to the Development of Water Management Strategies in Ribeiras do Algarve River Basin. *Water Resour. Manag.* 21, 897–907. doi:10.1007/s11269-006-9106-3
- Maia, R., Silva, C., 2009. DSS application at a river basin scale, taking into account water resources exploitation risks and associated costs: The Algarve Region. *Desalination* 237, 81–91. doi:10.1016/j.desal.2007.12.024
- Manoli, E., Assimacopoulos, D., Karavitis, C.A., 2004. Water supply management approaches using US on the island of Rhodes, Greece. *Desalination* 161, 179–189. doi:10.1016/S0011-9164(04)90053-7
- Marshall, N.A., Tobin, R.C., Marshall, P.A., Gooch, M., Hobday, A.J., 2013. Social Vulnerability of Marine Resource Users to Extreme Weather Events. *Ecosystems* 16, 797–809. doi:10.1007/s10021-013-9651-6
- Masoero, A., 2016. Brazil – 24 Dead After Floods and Landslides in São Paulo [WWW Document]. FloodList. URL <http://floodlist.com/america/brazil-24-dead-after-floods-and-landslides-in-sao-paulo> (accessed 1.24.17).

- McKee, Doesken, N.J., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Presented at the 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, USA, pp. 179–184.
- Meadows, M.E., Hoffman, T.M., 2003. Land degradation and climate change in South Africa. *Geogr. J.* 169, 168–177. doi:10.1111/1475-4959.04982
- Mei Xie, 2006. Integrated Water Resources Management (IWRM) – Introduction to Principles and Practices, World Bank Institute (WBI) [WWW Document]. URL <http://www.pacificwater.org/userfiles/file/IWRM/Toolboxes/introduction%20to%20iwrn/IWRM%20Introduction.pdf> (accessed 11.27.16).
- Molden, D., Sakthivadivel, R., 1999. Water Accounting to Assess Use and Productivity of Water. *Int. J. Water Resour. Dev.* 15, 55–71. doi:10.1080/07900629948934
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Liew, M.W.V., Bingner, R.L., R. D. Harmel, T. L. Veith, 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Trans. ASABE* 50, 885–900. doi:10.13031/2013.23153
- Mylopoulos, Y., Kolokytha, E., Kampragou, E., Vagiona, D., 2008. A Combined Methodology for Transboundary River Basin Management in Europe. Application in The Nestos–Mesta Catchment Area. *Water Resour. Manag.* 22, 1101–1112. doi:10.1007/s11269-007-9214-8
- Namias, J., 1983. Some Causes of United States Drought. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 22, 30–39. doi:10.1175/1520-0450(1983)022<0030:SCOUSD>2.0.CO;2
- NASA, n.d. The Water Cycle | Precipitation Education [WWW Document]. URL <https://pmm.nasa.gov/education/water-cycle> (accessed 11.27.16).
- National Drought Mitigation Center, 1998. The Hydroillogical Cycle [WWW Document]. URL <http://drought.unl.edu/Planning/HydroillogicalCycle.aspx> (accessed 1.24.17).
- Ndungu, C.K., Bhardwaj, S.K., Sharma, D.P., Sharma, R., Gupta, R.K., Sharma, B., 2015. Vulnerability Assessment of Rural Communities to Environmental Changes in Mid-Hills of Himachal Pradesh in India.
- Nelson, R., 1990. Dryland management: the “desertification” problem. World Bank Tech. Pap.
- Nicholls, R., Hoozemans, F., Marchand, M., 1999. Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analyses. *Glob. Environ. Change* 9, S69–S87. doi:10.1016/S0959-3780(99)00019-9
- Nilsson, U., Luoranen, J., Kolström, T., Örländer, G., Puttonen, P., 2010. Reforestation with planting in northern Europe. *Scand. J. For. Res.* 25, 283–294. doi:10.1080/02827581.2010.498384

- NISDR, 2004. Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives - UNISDR. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR).
- NRCSS, 1998. Global Desertification Vulnerability Map | NRCS Soils [WWW Document]. URL [https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/use/?cid=nrcs142p2\\_054003](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/use/?cid=nrcs142p2_054003) (accessed 12.8.16).
- OECD, 2008. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. Organization for Economic Co-operation and Development.
- Ojima, D.S., Dirks, B.O.M., Glenn, E.P., Owensby, C.E., Scurlock, J.O., 1993. Assessment of C budget for grasslands and drylands of the world. *Water, Air, Soil Pollut.* 70, 95–109. doi:10.1007/BF01104990
- Oki, T., 2006. Global Hydrological Cycles and World Water Resources. *Science* 313, 1068–1072. doi:10.1126/science.1128845
- Oliveira, P.T.S., Leite, M.B., Mattos, T., Nearing, M.A., Scott, R.L., de Oliveira Xavier, R., da Silva Matos, D.M., Wendland, E., 2016. Groundwater recharge decrease with increased vegetation density in the Brazilian cerrado: Groundwater recharge in the Brazilian cerrado. *Ecohydrology*. doi:10.1002/eco.1759
- Olsson, L., 1993. On the Causes of Famine: Drought, Desertification and Market Failure in the Sudan. *Ambio* 22, 395–403.
- Olukayode Oladipo, E., 1985. A comparative performance analysis of three meteorological drought indices. *J. Climatol.* 5, 655–664. doi:10.1002/joc.3370050607
- Pahl-Wostl, C., Hare, M., 2004. Processes of social learning in integrated resources management. *J. Community Appl. Soc. Psychol.* 14, 193–206. doi:10.1002/casp.774
- Palmer, W.C., 1968. Keeping Track of Crop Moisture Conditions, Nationwide: The New Crop Moisture Index. *Weatherwise* 21, 156–161. doi:10.1080/00431672.1968.9932814
- Palmer, W.C., 1965. Meteorological drought. US Department of Commerce, Weather Bureau Washington, DC.
- Panagos, P., Van Liedekerke, M., Jones, A., Montanarella, L., 2012. European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements. *Land Use Policy* 29, 329–338. doi:10.1016/j.landusepol.2011.07.003
- Pearse, C.K., 1971. Grazing in the Middle East: Past, Present, and Future. *J. Range Manag.* 24, 13. doi:10.2307/3896057
- Pedro-Monzonís, M., Ferrer, J., Solera, A., Estrela, T., Paredes-Arquiola, J., 2015a. Key issues for determining the exploitable water resources in a Mediterranean river basin. *Sci. Total Environ.*, Towards a better understanding of the links between stressors, hazard

- assessment and ecosystem services under water scarcity 503–504, 319–328. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.07.042
- Pedro-Monzonís, M., Solera, A., Ferrer, J., Estrela, T., Paredes-Arquiola, J., 2015b. A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *J. Hydrol.* 527, 482–493. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.05.003
- Pereira, L.S., Oweis, T., Zairi, A., 2002. Irrigation management under water scarcity. *Agric. Water Manag.* 57, 175–206. doi:10.1016/S0378-3774(02)00075-6
- Petalas, C.P., Diamantis, I.B., 1999. Origin and distribution of saline groundwaters in the upper Miocene aquifer system, coastal Rhodope area, northeastern Greece. *Hydrogeol. J.* 7, 305–316. doi:10.1007/s100400050204
- Peterson, T.C., Easterling, D.R., Karl, T.R., Groisman, P., Nicholls, N., Plummer, N., Torok, S., Auer, I., Boehm, R., Gullett, D., Vincent, L., Heino, R., Tuomenvirta, H., Mestre, O., Szentimrey, T., Salinger, J., Førland, E.J., Hanssen-Bauer, I., Alexandersson, H., Jones, P., Parker, D., 1998. Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review. *Int. J. Climatol.* 18, 1493–1517. doi:10.1002/(SICI)1097-0088(19981115)18:13<1493::AID-JOC329>3.0.CO;2-T
- Petrasovits, I., 1990. General review on drought strategies., in: Proceedings 14th International Congress on Irrigation and Drainage, Rio de Janeiro, Brazil. International Commission on Irrigation and Drainage, pp. 1–11.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., Blair, R., 1995. Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. *Science* 267, 1117–1123. doi:10.1126/science.267.5201.1117
- Priscoli, J.D., 2013. Keynote Address: Clothing the IWRM Emperor by Using Collaborative Modeling for Decision Support. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.* 49, 609–613. doi:10.1111/jawr.12072
- Pritchett, L., Suryahadi, A., Sumarto, S., 2000. Quantifying Vulnerability to Poverty: A Proposed Measure, Applied to Indonesia. World Bank Publications.
- Rahman, K., Maringanti, C., Beniston, M., Widmer, F., Abbaspour, K., Lehmann, A., 2013. Streamflow Modeling in a Highly Managed Mountainous Glacier Watershed Using SWAT: The Upper Rhone River Watershed Case in Switzerland. *Water Resour. Manag.* 27, 323–339. doi:10.1007/s11269-012-0188-9
- Rapp, A., 1974. A REVIEW OF DESERTIZATION IN AFRICA—WATER, VEGETATION, AND MAN.

- Reynolds, J.F., Smith, D.M.S., Lambin, E.F., Turner, B.L., Mortimore, M., Batterbury, S.P.J., Downing, T.E., Dowlatabadi, H., Fernández, R.J., Herrick, J.E., Huber-Sannwald, E., Jiang, H., Leemans, R., Lynam, T., Maestre, F.T., Ayarza, M., Walker, B., 2007. Global Desertification: Building a Science for Dryland Development. *Science* 316, 847–851. doi:10.1126/science.1131634
- Rijsberman, F.R., 2006. Water scarcity: Fact or fiction? *Agric. Water Manag.*, Special Issue on Water Scarcity: Challenges and Opportunities for Crop Science Selected plenary and symposia papers from the theme “Crop Science Addressing Water Scarcity” presented at the Fourth International Crop Science Congress, Brisbane, Australia, 26 September to 1 October 2004 80, 5–22. doi:10.1016/j.agwat.2005.07.001
- Rogers, K., Woodroffe, C.D., 2016. Geomorphology as an indicator of the biophysical vulnerability of estuaries to coastal and flood hazards in a changing climate. *J. Coast. Conserv.* 20, 127–144. doi:10.1007/s11852-016-0424-1
- Rossi, G., 2009. European Union policy for improving drought preparedness and mitigation. *Water Int.* 34, 441–450. doi:10.1080/02508060903374418
- Rossi, G., 2003. Requisites for a Drought Watch System, in: Rossi, G., Cancelliere, A., Pereira, L.S., Oweis, T., Shatanawi, M., Zairi, A. (Eds.), *Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 147–157.
- Rossi, G., 2000. Drought Mitigation Measures: A Comprehensive Framework, in: Vogt, J.V., Somma, F. (Eds.), *Drought and Drought Mitigation in Europe, Advances in Natural and Technological Hazards Research*. Springer Netherlands, pp. 233–246.
- Rossi, G., Benedini, M., Tsakiris, G., Giakoumakis, S., 1992. On regional drought estimation and analysis. *Water Resour. Manag.* 6, 249–277. doi:10.1007/BF00872280
- R.w, K., D.l, J., K.j, H., 1977. Population, society and desertification. Presented at the United Nations Conference on Desertification. Nairobi (Kenya). 29 Aug 1977.
- Saiko, T.A., Zonn, I.S., 2000. Irrigation expansion and dynamics of desertification in the Circum-Aral region of Central Asia. *Appl. Geogr.* 20, 349–367.
- Salas, J.D., 1993. Analysis and modeling of hydrologic time series. *Handb. Hydrol.* 19, 1–72.
- Salas, J.D., 1986. State of the art of statistical techniques for describing drought characteristics. WARREDOC, International Seminar on Drought Analysis, Perugia, Italy.
- Salas, J.D., Fu, C., Cancelliere, A., Dustin, D., Bode, D., Pineda, A., Vincent, E., 2005. Characterizing the Severity and Risk of Drought in the Poudre River, Colorado. *J. Water Resour. Plan. Manag.* 131, 383–393. doi:10.1061/(ASCE)0733-9496(2005)131:5(383)

- Salvati, L., 2010. Economic Causes and Consequences of Land Degradation and Desertification Risk in Southern Europe: Integrating Micro-Macro Approaches into a Geographical Perspective. *Int. J. Ecol. Econ. Stat.* 18, 20–63.
- Salvati, L., Zitti, M., Ceccarelli, T., Perini, L., 2009. Developing a Synthetic Index of Land Vulnerability to Drought and Desertification. *Geogr. Res.* 47, 280–291. doi:10.1111/j.1745-5871.2009.00590.x
- Sartor, J.D., Boyd, G.B., Agardy, F.J., 1974. Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants. *J. Water Pollut. Control Fed.* 46, 458–467.
- Sastri, A.S.R.A.S., 1993. Agricultural Drought Management Strategies to Alleviate Impacts: Examples from the Arid and Subhumid Regions of the Indian Subcontinent, in: Wilhite, D.A. (Ed.), *Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies*. Springer US, Boston, MA, pp. 65–86.
- Schlesinger, W.H., Reynolds, J.F., Cunningham, G.L., Huenneke, L.F., Jarrell, W.M., Virginia, R.A., Whitford, W.G., 1990. Biological feedbacks in global desertification. *Science* 247, 1043–1048.
- Shafer, B.A., Dezman, L.E., 1982. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas, in: *Proceedings of the Western Snow Conference*. Colorado State University Fort Collins, CO, pp. 164–175.
- Sharma, S.K., Vairavamoorthy, K., 2009. Urban water demand management: prospects and challenges for the developing countries. *Water Environ. J.* 23, 210–218. doi:10.1111/j.1747-6593.2008.00134.x
- Sheridan, D., 1981. Desertification of the United States. *Desertification U. S.*
- Simonovic, S.P., 2002. World water dynamics: global modeling of water resources. *J. Environ. Manage.* 66, 249–267. doi:10.1006/jema.2002.0585
- Singh, S.P., 1998. Chronic disturbance, a principal cause of environmental degradation in developing countries. *Environ. Conserv.* 25, 1–2.
- Sivakumar, M.V.K., Wilhite, D.A., 2002. Drought preparedness and drought management, in: *Drought Mitigation and Prevention of Land Desertification (Proc. Intern. Conf., Bled, Slovenia)*, UNESCO and Slov. Nat. Com. ICID, Ljubljana, CD-ROM, Paper.
- Smakhtin, V., Hughes, D., 2007. Automated estimation and analyses of meteorological drought characteristics from monthly rainfall data. *Environ. Model. Softw.* 22, 880–890. doi:10.1016/j.envsoft.2006.05.013

- Smith, R.T., 1979. The Development and Role of Sunken Field Agriculture on the Peruvian Coast. *Geogr. J.* 145, 387. doi:10.2307/633209
- Soulis, K., Dercas, N., 2007. Development of a GIS-based Spatially Distributed Continuous Hydrological Model and its First Application. *Water Int.* 32, 177–192. doi:10.1080/02508060708691974
- Soulis, K.X., Dercas, N., 2010. AgroHydroLogos: development and testing of a spatially distributed agro-hydrological model on the basis of ArcGIS. (Thesis). International Environmental Modelling and Software Society.
- Soulis, K.X., Manolakos, D., Anagnostopoulos, J., Papantonis, D., 2016. Development of a geo-information system embedding a spatially distributed hydrological model for the preliminary assessment of the hydropower potential of historical hydro sites in poorly gauged areas. *Renew. Energy* 92, 222–232. doi:10.1016/j.renene.2016.02.013
- Spulber, N., Sabbaghi, A., 1998. Water Reuse and Recycling, in: *Economics of Water Resources: From Regulation to Privatization*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 143–167.
- Squires, J., 2013. *Gender in Political Theory*. John Wiley & Sons.
- Stålnacke, P., Gooch, G.D., 2010. Integrated Water Resources Management. *Irrig. Drain. Syst.* 24, 155–159. doi:10.1007/s10795-010-9106-6
- Stathatou, P.-μ., Kampragou, E., Grigoropoulou, H., Assimacopoulos, D., Karavitis, C., Porto, M.F.A., Gironás, J., Vanegas, M., Reyna, S., 2015. Vulnerability of water systems: a comprehensive framework for its assessment and identification of adaptation strategies. *Desalination Water Treat.* 57, 2243–2255. doi:10.1080/19443994.2015.1012341
- Stebbing, E.P., 1938. The advance of the desert. *Geogr. J.* 91, 356–359.
- Stebbing, E.P., 1937. The Threat of the Sahara. *J. R. Afr. Soc.* 36, 3–35.
- Stebbing, E.P., 1935. The Encroaching Sahara: The Threat to the West African Colonies. *Geogr. J.* 85, 506. doi:10.2307/1785870
- Stephenson, D., 2012. *Water Supply Management*. Springer Science & Business Media.
- Stern, D.I., Common, M.S., Barbier, E.B., 1996. Economic growth and environmental degradation: The environmental Kuznets curve and sustainable development. *World Dev.* 24, 1151–1160. doi:10.1016/0305-750X(96)00032-0
- Stockton, C.W., Boggess, W.R., 1979. *Geohydrological Implications of Climate Change on Water Resource Development*.
- Stone, R., 2010. Severe Drought Puts Spotlight on Chinese Dams. *Science* 327, 1311–1311. doi:10.1126/science.327.5971.1311



- Sun, T., Ferreira, V., He, X., Andam-Akorful, S., 2016. Water Availability of São Francisco River Basin Based on a Space-Borne Geodetic Sensor. *Water* 8, 213. doi:10.3390/w8050213
- Taff, G.N., Müller, D., Kuemmerle, T., Ozdeneral, E., Walsh, S.J., 2009. Reforestation in Central and Eastern Europe After the Breakdown of Socialism, in: Nagendra, H., Southworth, J. (Eds.), *Reforesting Landscapes*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 121–147.
- Tallaksen, L.M., Lanen, H.A.J. van, 2004. *Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Elsevier.
- Tilman, D., Downing, J.A., 1996. Biodiversity and Stability in Grasslands, in: *Ecosystem Management*. Springer New York, pp. 3–7.
- Tolba, M.K., 1986. Desertification in Africa. *Land Use Policy* 3, 260–268. doi:10.1016/0264-8377(86)90023-2
- Torres, L., Abraham, E.M., Rubio, C., Barbero-Sierra, C., Ruiz-Pérez, M., 2015. Desertification Research in Argentina. *Land Degrad. Dev.* 26, 433–440. doi:10.1002/ldr.2392
- Toupet, C., 1992. *The Sahel*. The Sahel.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H., 2007. Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resour. Manag.* 21, 821–833. doi:10.1007/s11269-006-9105-4
- Tullos, D.D., Foster-Moore, E., Magee, D., Tilt, B., Wolf, A.T., Schmitt, E., Gassert, F., Kibler, K., 2013. Biophysical, Socioeconomic, and Geopolitical Vulnerabilities to Hydropower Development on the Nu River, China. doi:10.5751/ES-05465-180316
- Tyree, M.T., Kolb, K.J., Rood, S.B., Patiño, S., 1994. Vulnerability to drought-induced cavitation of riparian cottonwoods in Alberta: a possible factor in the decline of the ecosystem? *Tree Physiol.* 14, 455–466. doi:10.1093/treephys/14.5.455
- UN Secretariat, 1977. *Desertification: An overview*, In *Desertification: Its Causes and Consequences*. New York, Pergamon Press. of the Conference on Desertification.
- UNEP, 1992. *Rio Declaration - Rio Declaration on Environment and Development - United Nations Environment Programme (UNEP)* [WWW Document]. URL <http://www.unep.org/documents.multilingual/default.asp?documentid=78&articleid=1163> (accessed 11.27.16).
- USGS, n.d. *Where is Earth's water?* USGS Water-Science School [WWW Document]. URL <http://water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html> (accessed 11.27.16).
- van Dijk, A.I.J.M., Beck, H.E., Crosbie, R.S., de Jeu, R.A.M., Liu, Y.Y., Podger, G.M., Timbal, B., Viney, N.R., 2013. *The Millennium Drought in southeast Australia (2001–2009)*:

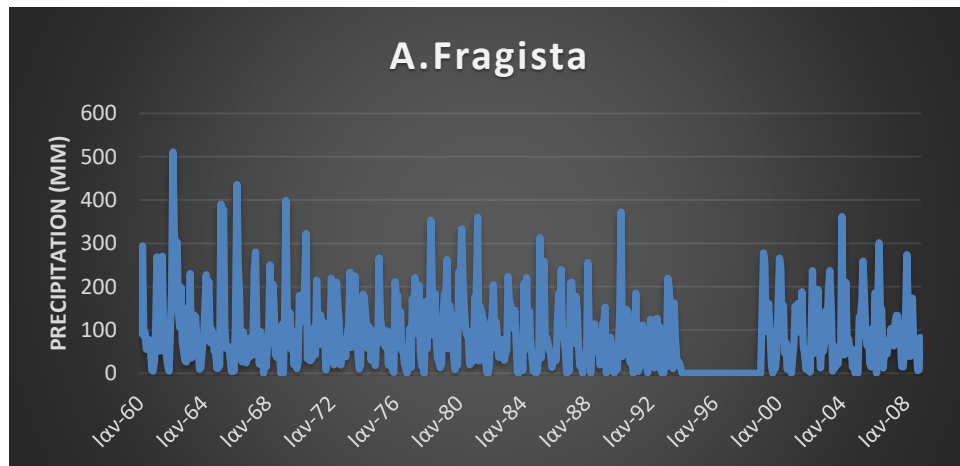
- Natural and human causes and implications for water resources, ecosystems, economy, and society. *Water Resour. Res.* 49, 1040–1057. doi:10.1002/wrcr.20123
- Vangelis, H., Tigkas, D., Tsakiris, G., 2013. The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation. *J. Arid Environ.* 88, 130–140. doi:10.1016/j.jaridenv.2012.07.020
- Verón, S.R., Paruelo, J.M., Oesterheld, M., 2006. Assessing desertification. *J. Arid Environ.* 66, 751–763. doi:10.1016/j.jaridenv.2006.01.021
- Veron, S.R., Paruelo, J.M., Oesterheld, M., 2006. Assessing desertification. *J. Arid Environ.* 66, 751–763.
- Vlachos, E., 1990. Prologue: water peace and conflict management. *Water Int.* 15, 185–188.
- Vlachos, E., Braga, B., 2001. The challenge of urban water management, in: *Frontiers in Urban Water Management: Deadlock or Hope*. IWA Publishing, London, pp. 1–36.
- Vlachos, E., James, L.D., 1983. Drought impacts. *Coping Droughts Water Resour. Publ.* Littleton CO 44–73.
- Vlachos, E.C., 1982. Drought Management Interfaces. Presented at the Annual ASCE Conference, ASCE, Las Vegas, Nevada, USA, p. 15.
- Vörösmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J., Lammers, R.B., 2000. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. *Science* 289, 284–288. doi:10.1126/science.289.5477.284
- Wade Miller, G., 2006. Integrated concepts in water reuse: managing global water needs. *Desalination* 187, 65–75. doi:10.1016/j.desal.2005.04.068
- Watson, R.T., Albritton, D.L., III, I.P. on C.C.W.G., 2001. *Climate Change 2001: Synthesis Report: Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Weghorst, K., 1996. *The Reclamation Drought Index: Guidelines and Practical Applications*. Presented at the North American Water and Environment Congress & Destructive Water, ASCE, pp. 637–642.
- White, R.E., 2013. *Principles and Practice of Soil Science: The Soil as a Natural Resource*. John Wiley & Sons.
- Whitford, W.G., 1997. Desertification and animal biodiversity in the desert grasslands of North America. *J. Arid Environ.* 37, 709–720. doi:10.1006/jare.1997.0313
- Wikipedia, 2014. Σαχέλ. Βικιπαίδεια.
- Wilhite, D.A., 2005. *Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues*. CRC Press.

- Wilhite, D.A., Glantz, M.H., 1985. Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water Int.* 10, 111–120. doi:10.1080/02508068508686328
- Wilhite, D.A., Svoboda, M.D., Hayes, M.J., 2007. Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resour. Manag.* 21, 763–774. doi:10.1007/s11269-006-9076-5
- William C Clark, Robert Corell, Roger Kaspersen, James J. McCarthy, David Cash, Stewart J. Cohen, Paul Desanker, Nancy M. Dickson, Paul Epstein, David H. Guston, Michael Hall, Carlo Jaeger, Anthony Janetos, Neil Leary, Marc A. Levy, 2000. Assessing Vulnerability to Global Environmental Risks. *Environ. Nat. Resour. Program Belfer Cent. Sci. Int. Aff. Harv. Kennedy Sch.*
- Williams, B.K., 2011. Adaptive management of natural resources—framework and issues. *J. Environ. Manage., Adaptive management for Natural Resources* 92, 1346–1353. doi:10.1016/j.jenvman.2010.10.041
- Wolf, S., Hinkel, J., Hallier, M., Bisaro, A., Lincke, D., Ionescu, C., Klein, R.J.T., 2013. Clarifying vulnerability definitions and assessments using formalisation. *Int. J. Clim. Change Strateg. Manag.* 5, 54–70. doi:10.1108/17568691311299363
- WWAP, 2009. The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World. Paris: The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. World Water Assessment Programme.
- Yang, X., Zhang, K., Jia, B., Ci, L., 2005. Desertification assessment in China: An overview. *J. Arid Environ.* 63, 517–531. doi:10.1016/j.jaridenv.2005.03.032
- Yassoglou, N., Kosmas, C., Moustakas, N., 1997. The red soils, their origin, properties, use and management in Greece. *CATENA* 28, 261–278. doi:10.1016/S0341-8162(96)00042-2
- Yassoglou, N., 1996. Greece. Soil mapping and soil databases. In: *Soil Databases to Support Sustainable Development*. C. Le Bas and M. Jamagne (eds.) European Soil Bureau Research Report No. 2, p.57-60. EUR 16371 EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Yevjevich, V., Cunha, L. da, Vlachos, E., 1983. Coping with droughts. *Water Resources Publications*.
- Yevjevich, V.M., 1967. An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. *Hydrol. Pap. Colo. State Univ.* No 23.
- Zeng, N., 2003. Drought in the Sahel. *Science* 302, 999–1000. doi:10.1126/science.1090849

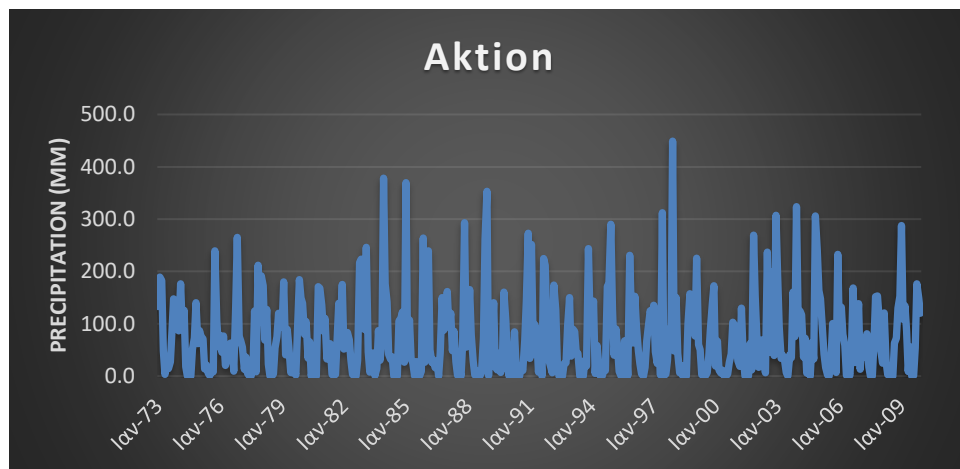
- Zhang, X.Y., Gong, S.L., Zhao, T.L., Arimoto, R., Wang, Y.Q., Zhou, Z.J., 2003. Sources of Asian dust and role of climate change versus desertification in Asian dust emission. *Geophys. Res. Lett.* 30, 2272. doi:10.1029/2003GL018206
- Βασιλάκου, Κ., 2010. Στατιστική ανάλυση μετεωρολογικών δεδομένων. Εκτίμηση βροχόπτωσης και ξηρασίας. Τμήμα Στατιστική & Αναλογιστικά Χρηματοοικονομικά Μαθηματικά, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σάμος.
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, Το κλίμα της Ελλάδας, <http://www.emy.gr>
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013α. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Πελοποννήσου (GR01). Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013β. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου (GR02). Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013γ. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (GR04). Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013δ. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου (GR05). Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013ε. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (GR06). Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013φ. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (GR07). Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013ζ. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας (GR08). Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013η. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Δυτικής Μακεδονίας (GR09). Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013ι. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Κεντρικής Μακεδονίας (GR10). Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013κ. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Θράκης (GR12). Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013λ. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Πελοποννήσου (GR03). Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013Ι. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης (GR13). Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013m. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου (GR14). Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013n. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Μακεδονίας (GR11). Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
- Καραβίτης, Χ., 2005. Σημειώσεις για το μάθημα Διαχείριση Υδατικών πόρων.
- Καραβίτης, Χ.Α., Αλεξανδρής, Σ.Α., Κερκίδης, Π., Κοσμάς, Κ., Οικονόμου, Π., Παπαδημητρίου, Ν., Τσεσμελής, Δ.Ε., Φασούλη, Β., Χορταριά, Χ., 2008. Τεχνική υποστήριξη της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων για την κατάρτιση των στρατηγικών διαχείρισης λειψυδριών και ενός βραχυπροθέσμου σχεδίου αντιμετώπισης κίνδυνου λειψυδρίας. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Καραβίτης, Χ.Α., Τσεσμελής, Δ.Ε., Σκόνδρας, Ν.Α., Οικονόμου, Π., Σταματάκος, Δ., Βασιλάκου, Κ., Γκώτσης, Ι., Φασούλη, Β., Αλεξανδρής, Σ., 2015. Εφαρμογή του Δείκτη Κανονικοποιημένων Κατακρημισμάτων (Standardized Precipitation Index - SPI) για την Ανάλυση της Ξηρασίας του 1989-1990 με την Βοήθεια των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (ΓΠΣ). Presented at the 1ο Συνέδριο Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων και Χωρικής Ανάλυσης στη Γεωργία και στο Περιβάλλον, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Σκόνδρας, Ν., 2015. Λήψη αποφάσεων στη διαχείριση υδατικών πόρων: ανάπτυξη σύνθετου δείκτη αξιολόγησης των κοινωνικών - περιβαλλοντικών συστημάτων ως προς τις συνθήκες αντοχής και τρωτότητας στην έλλειψη ύδατος και την υδατοπόνηση (Ph.D. Dissertation). Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Σούλης, Κ., 2009. Ανάπτυξη Υδρολογικού Μοντέλου με τη Χρήση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων. (Ph.D. Dissertation). Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Κατεύθυνση Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Τσεσμελής, Δ., 2010. Εφαρμογή του SPI στον Ελλαδικό χώρο για την ολοκληρωμένη διαχείριση των λειψυδριών. (M.Sc.). Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Κατεύθυνση Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

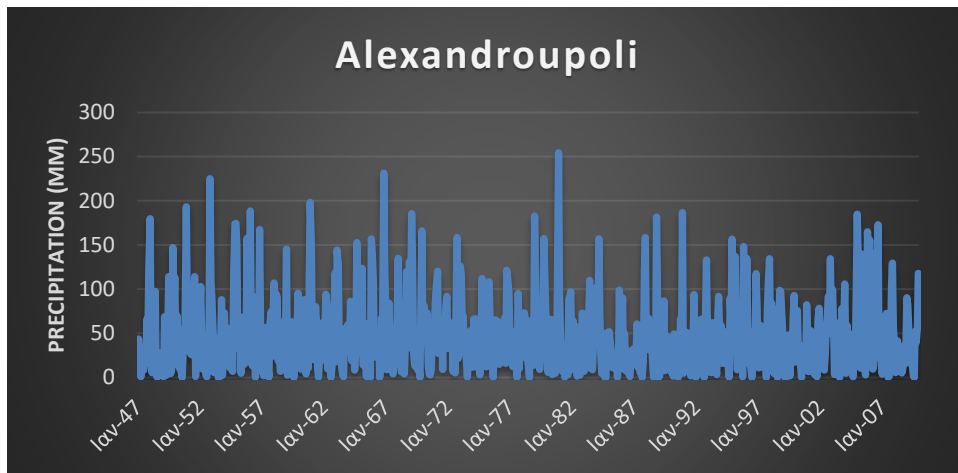
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ – SDVI<sub>ew</sub>



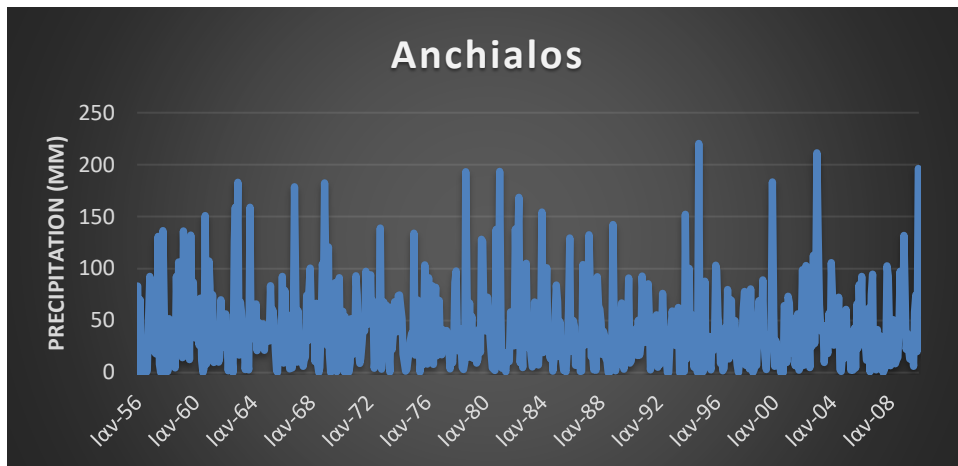
Διάγραμμα Ι. 1. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Α.Φραγκίστα.



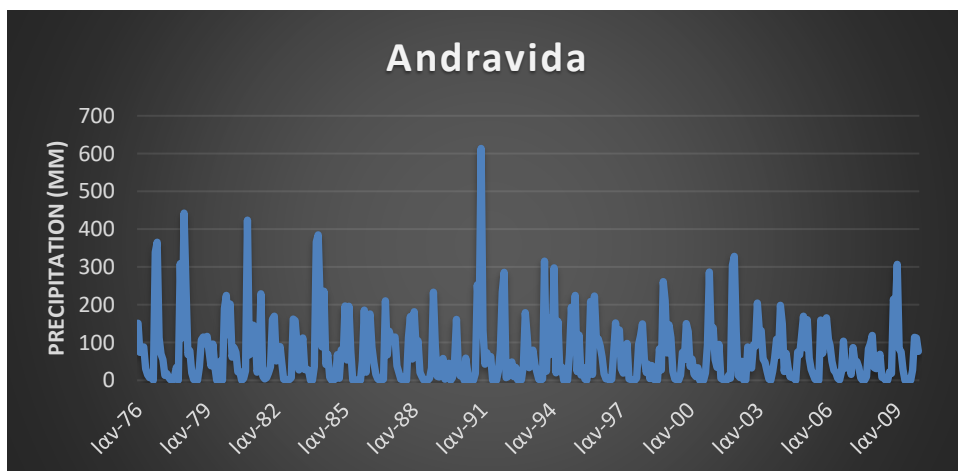
Διάγραμμα Ι. 2. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Ακτίου.



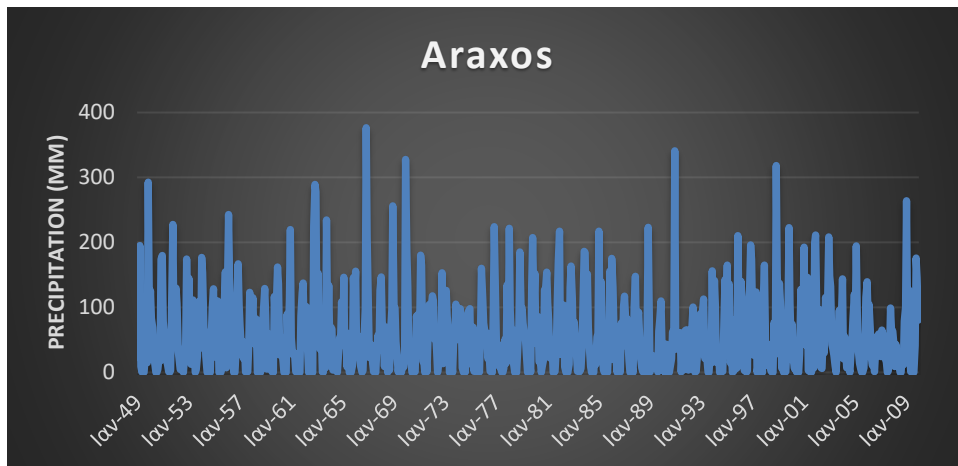
Διάγραμμα Ι. 3. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Αλεξανδρούπολης.



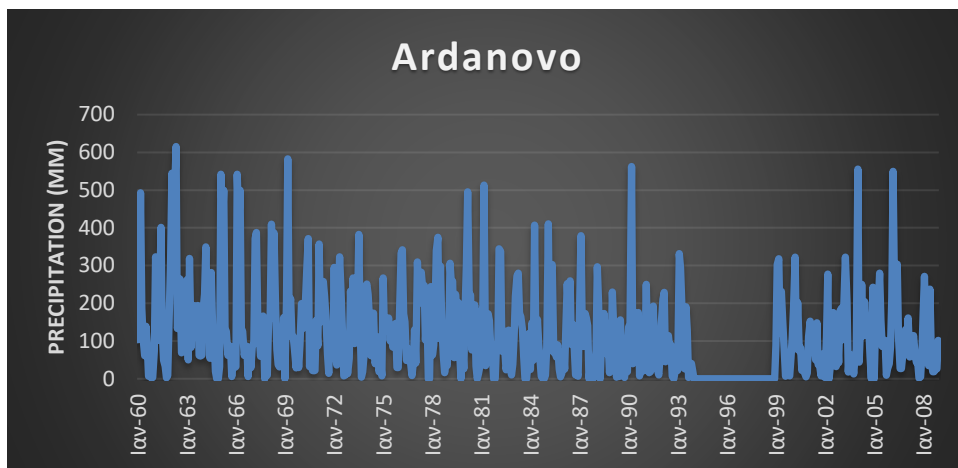
Διάγραμμα Ι. 4. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Αγκιάλου.



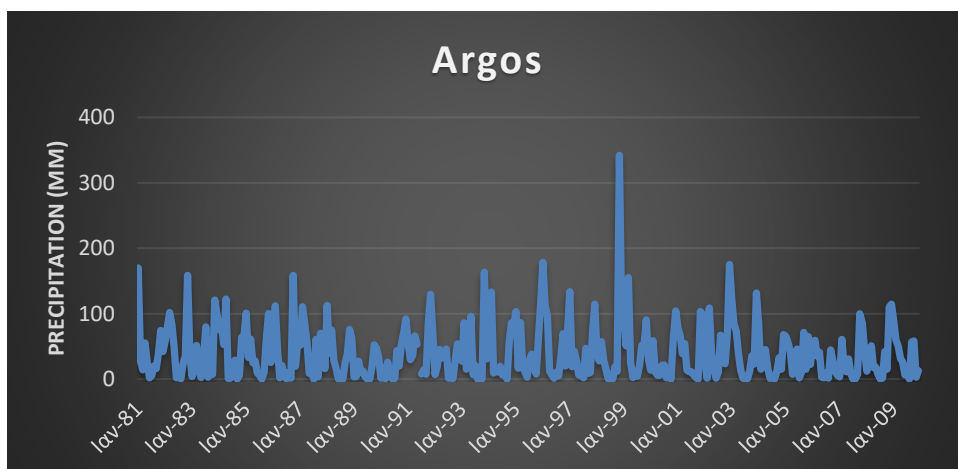
Διάγραμμα Ι. 5. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Ανδραβίδας.



Διάγραμμα Ι. 6. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Άραξου.

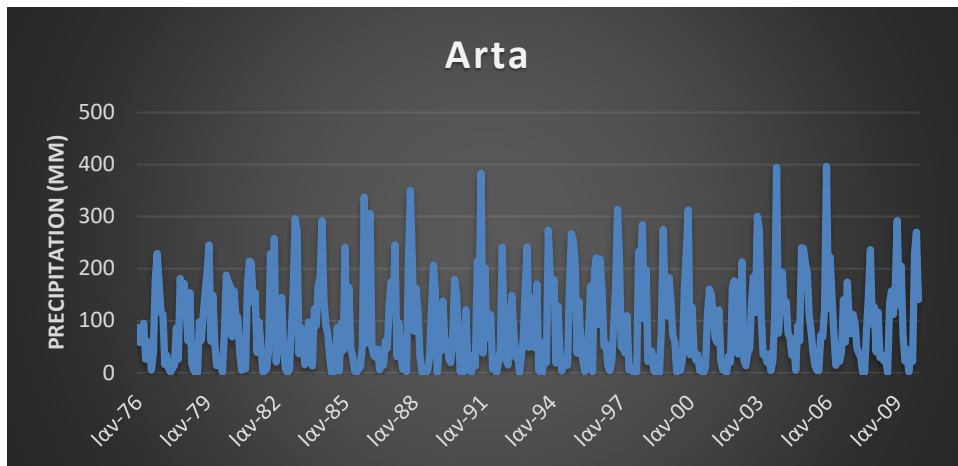


Διάγραμμα Ι. 7. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Αρδάναβου.

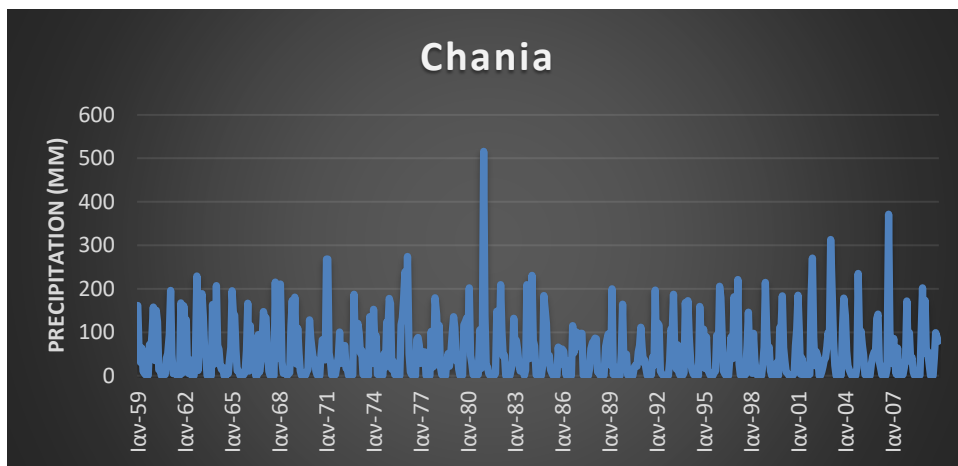


Διάγραμμα Ι. 8. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Άργους.

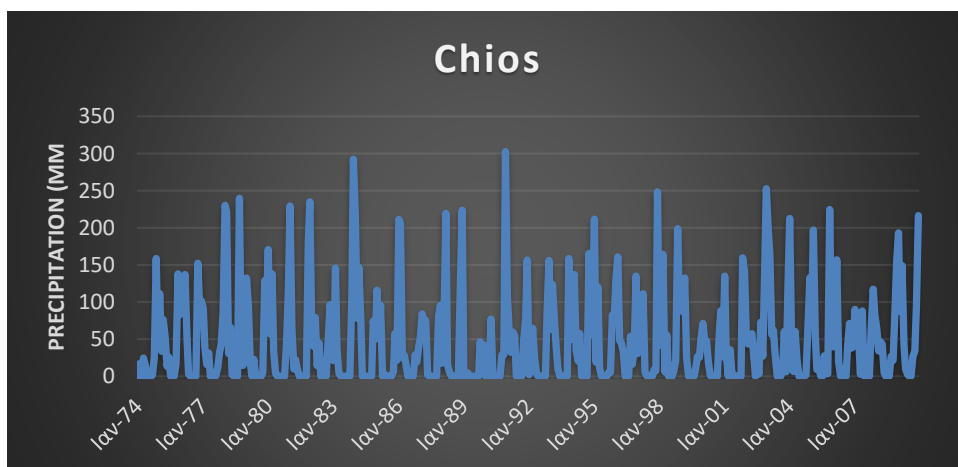




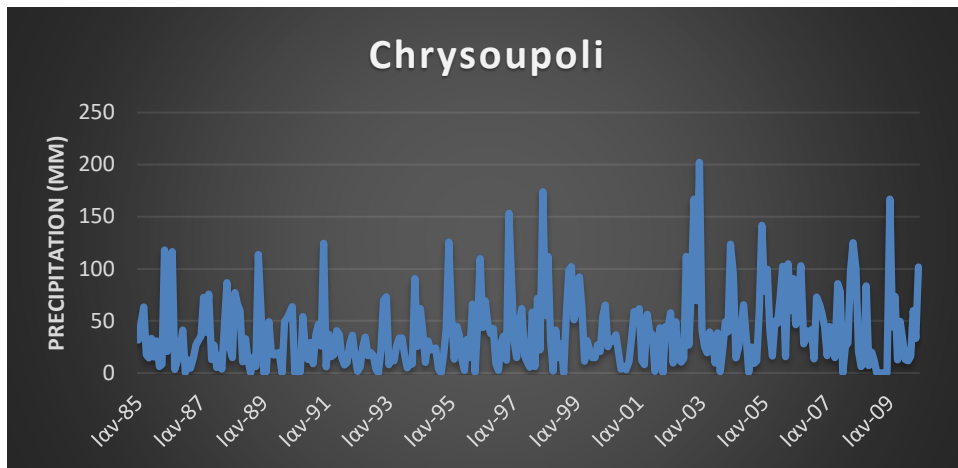
Διάγραμμα Ι. 9. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Άρτας.



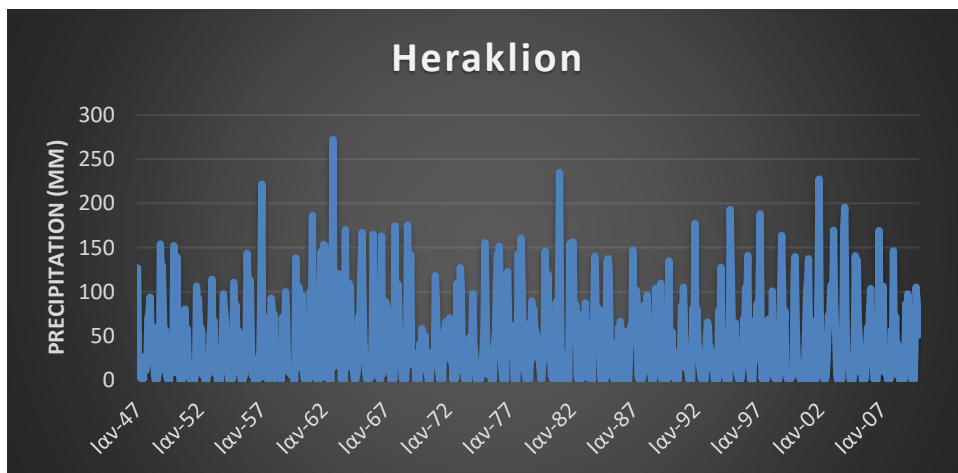
Διάγραμμα Ι. 10. Βροχόπτωση για τον σταθμό των Χανίων.



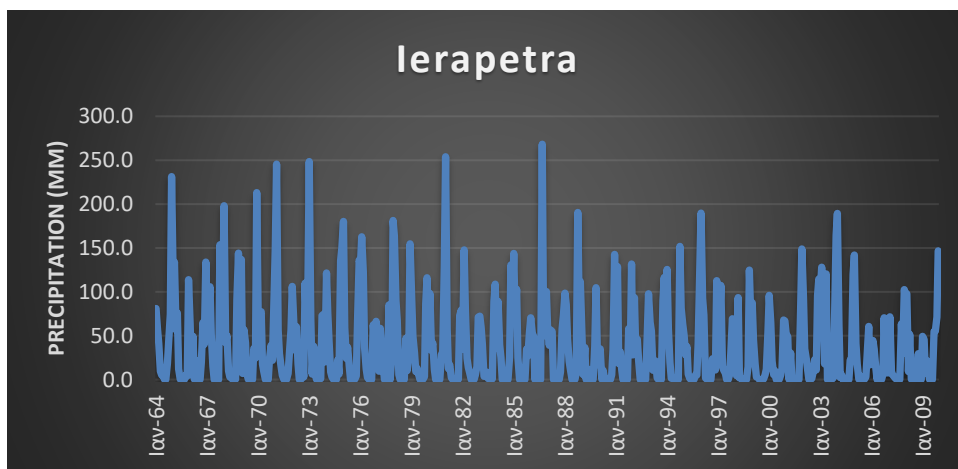
Διάγραμμα Ι. 11. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Χίου.



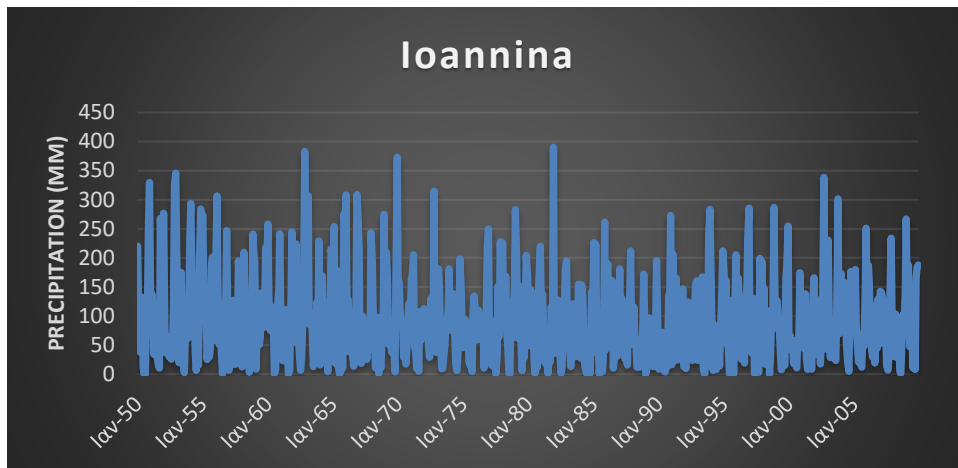
Διάγραμμα Ι. 12. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Χρυσούπολης.



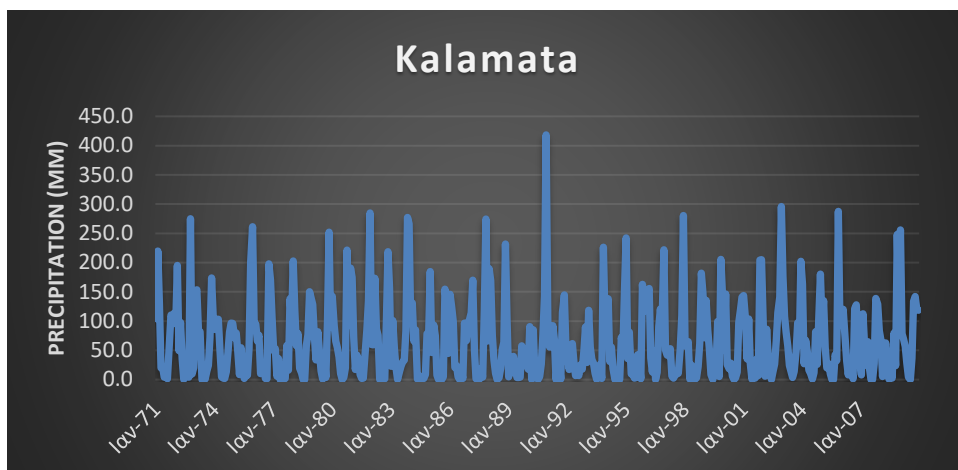
Διάγραμμα Ι. 13. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Ηρακλείου.



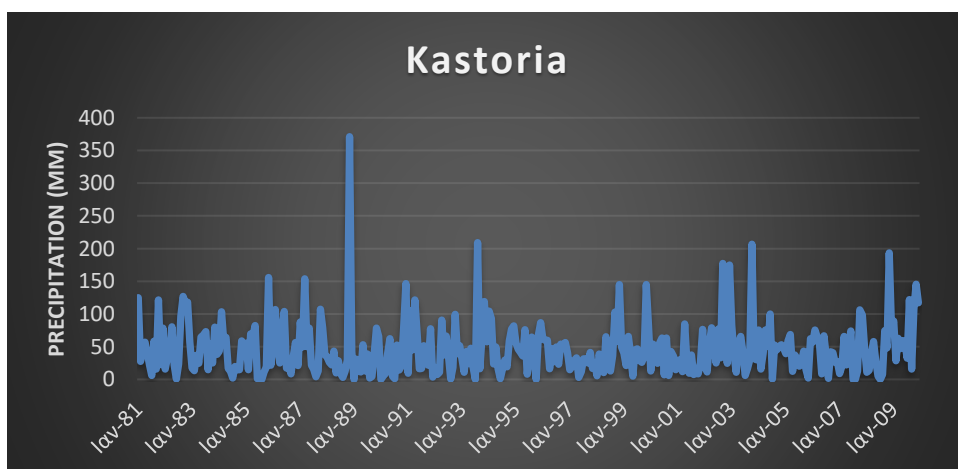
Διάγραμμα Ι. 14. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Ιεράπετρας.



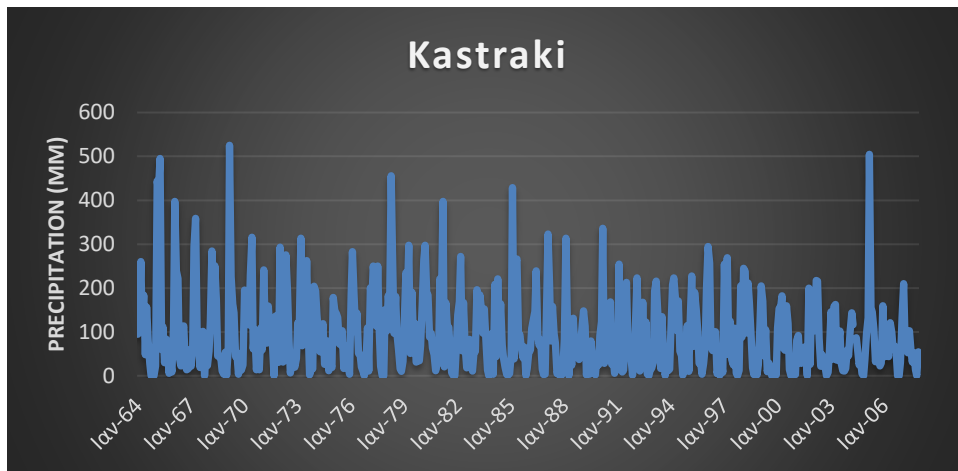
Διάγραμμα Ι. 15. Βροχόπτωση για τον σταθμό των Ιωαννίνων.



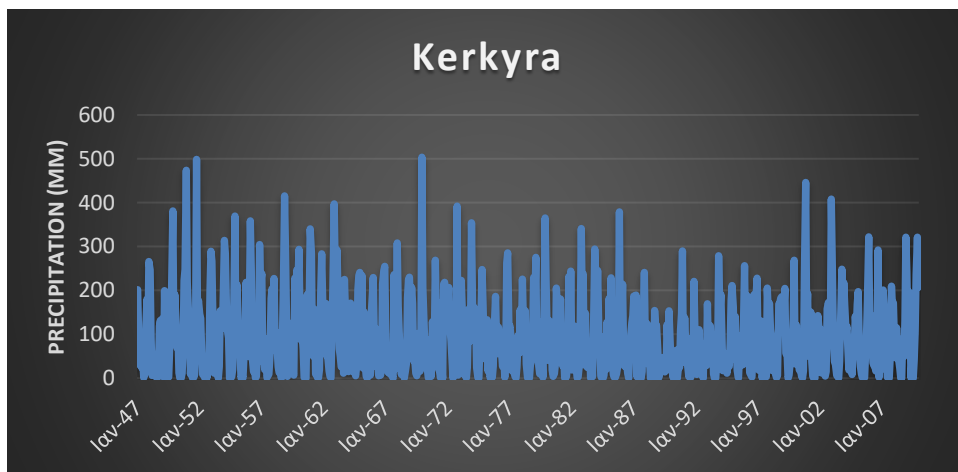
Διάγραμμα Ι. 16. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Καλαμάτας.



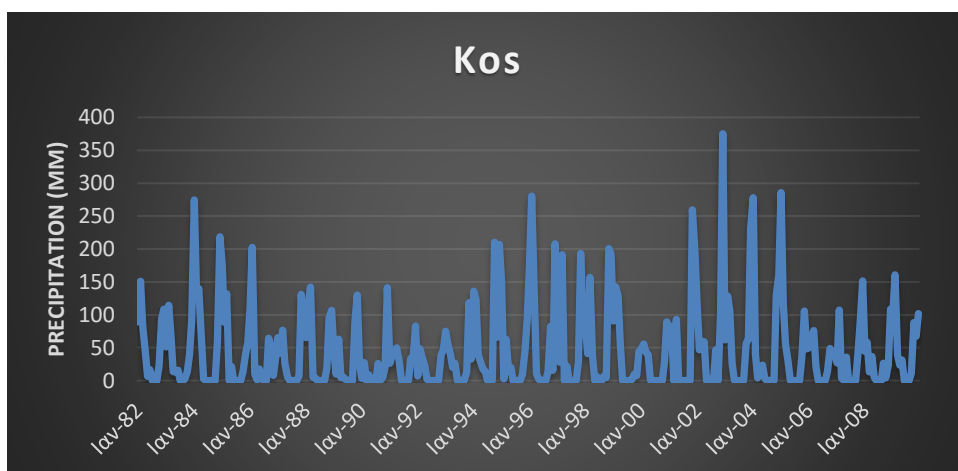
Διάγραμμα Ι. 17. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Καστοριάς.



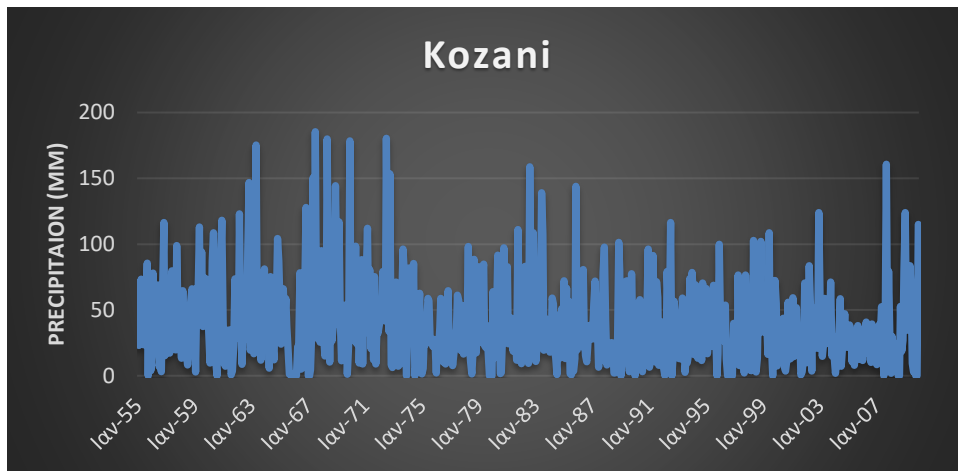
Διάγραμμα Ι. 18. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Καστρακίου.



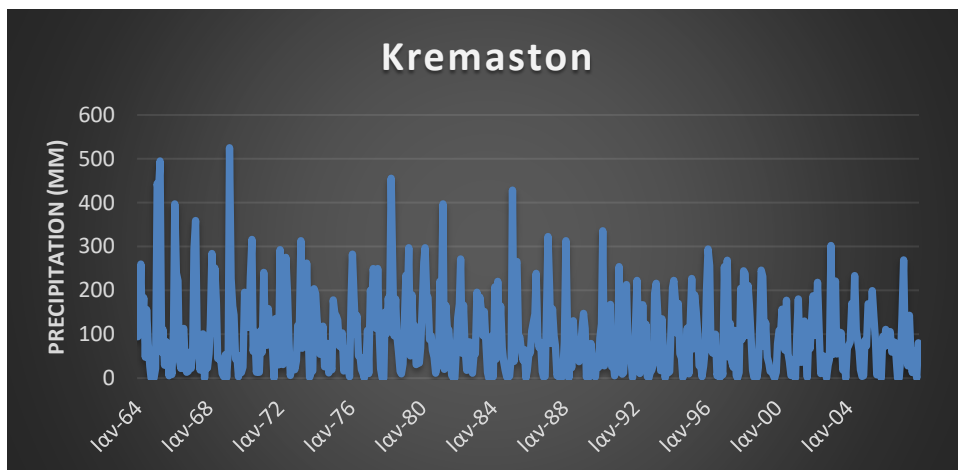
Διάγραμμα Ι. 19. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Κέρκυρας.



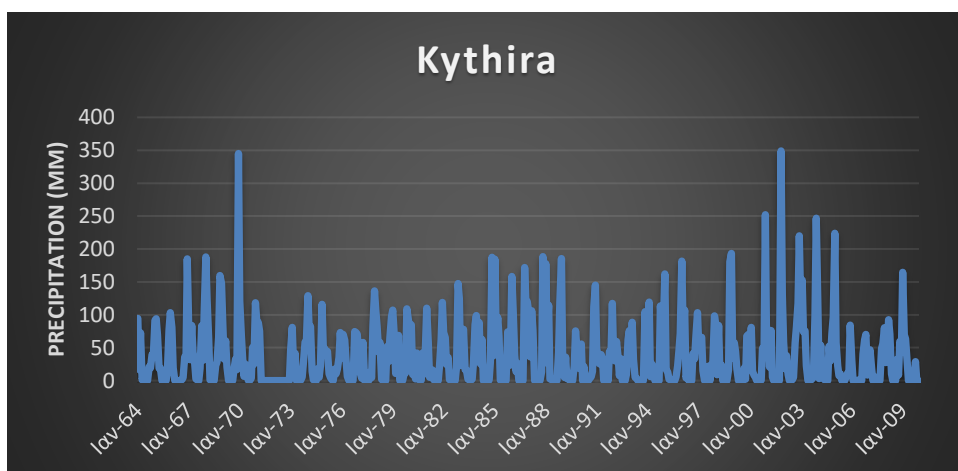
Διάγραμμα Ι. 20. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Κω.



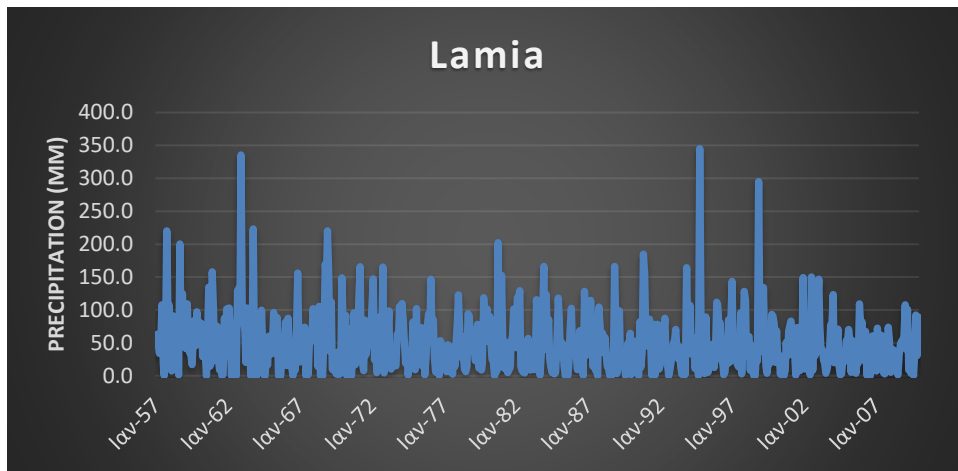
Διάγραμμα Ι. 21. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Κοζάνης.



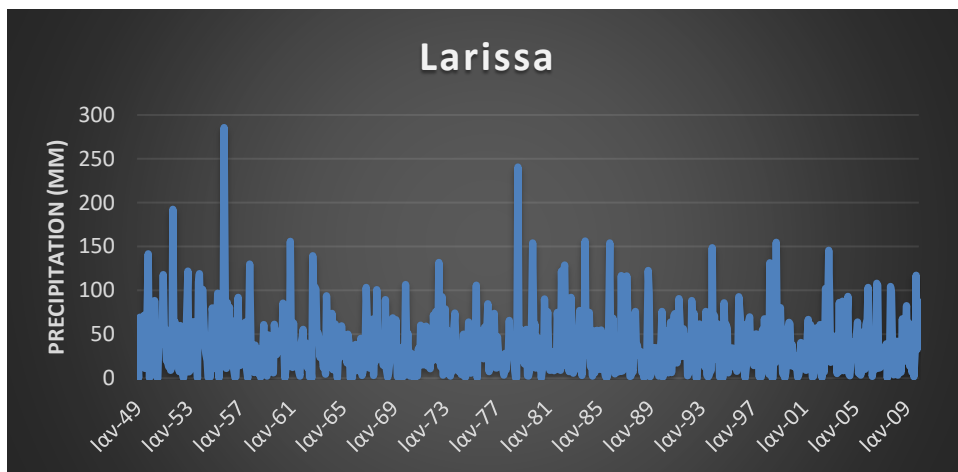
Διάγραμμα Ι. 22. Βροχόπτωση για τον σταθμό των Κρεμαστών.



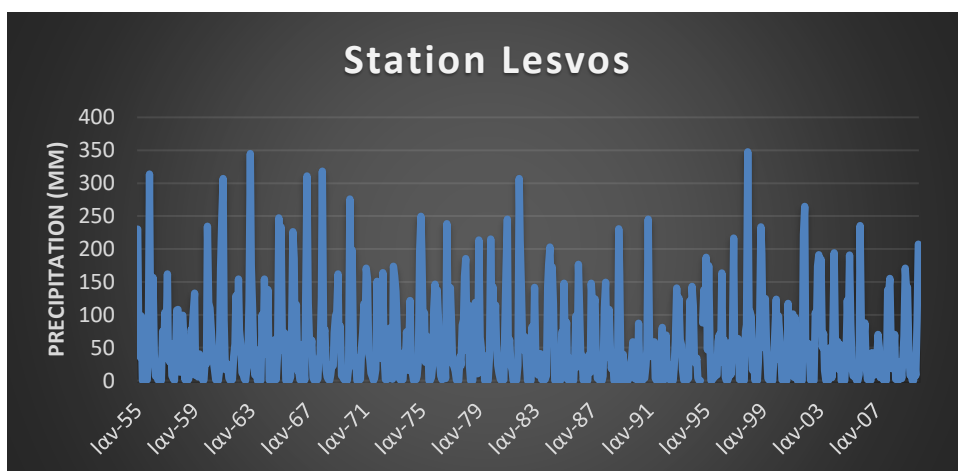
Διάγραμμα Ι. 23. Βροχόπτωση για τον σταθμό των Κυθήρων.



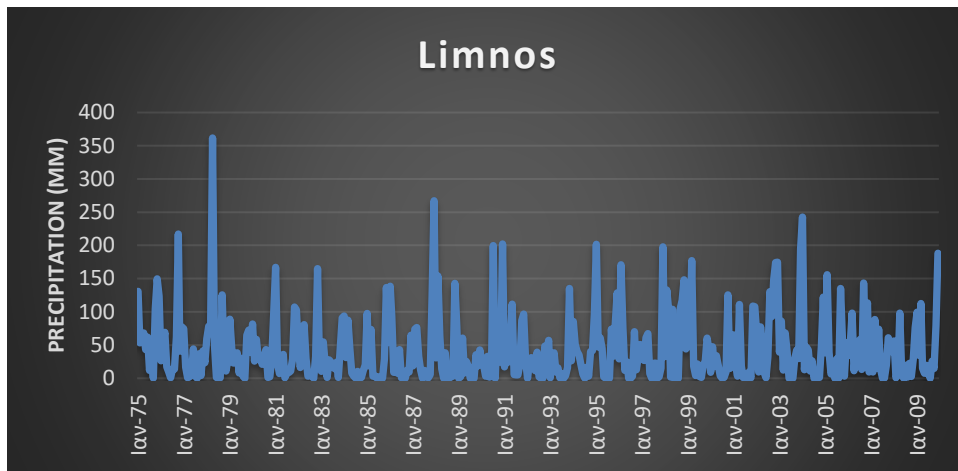
Διάγραμμα Ι. 24. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Λαμίας.



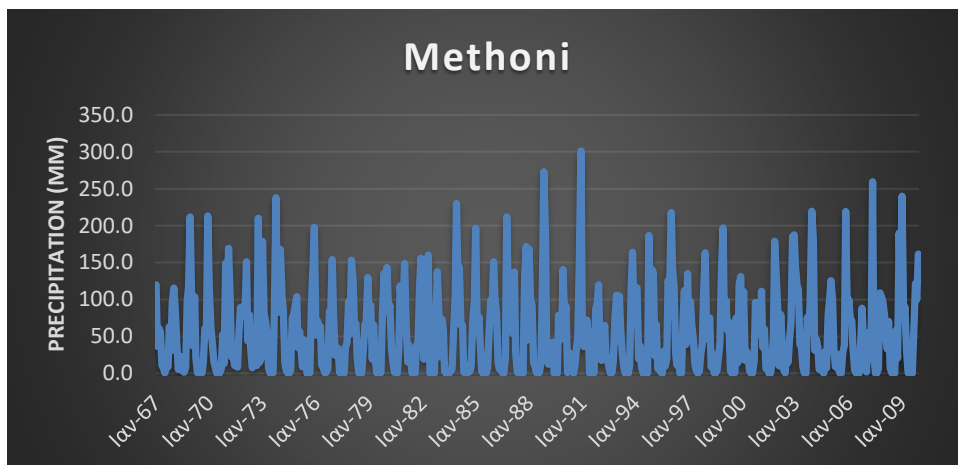
Διάγραμμα Ι. 25. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Λάρισας.



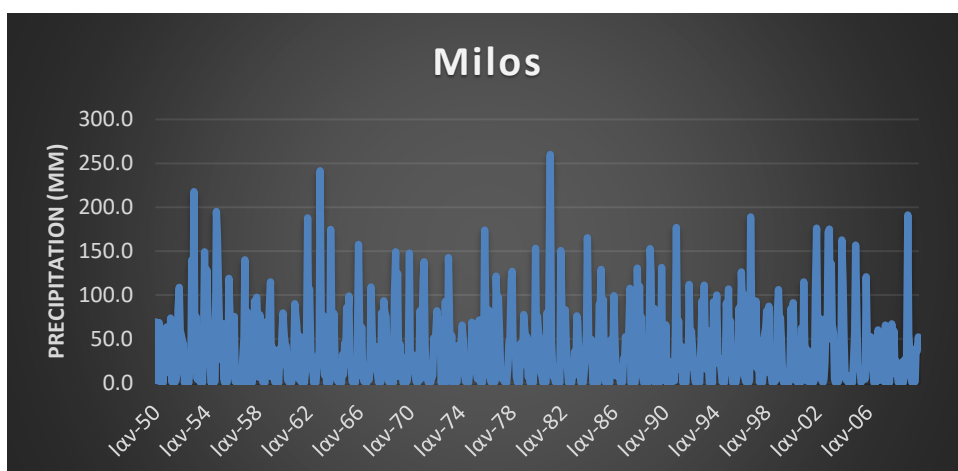
Διάγραμμα Ι. 26. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Λέσβου.



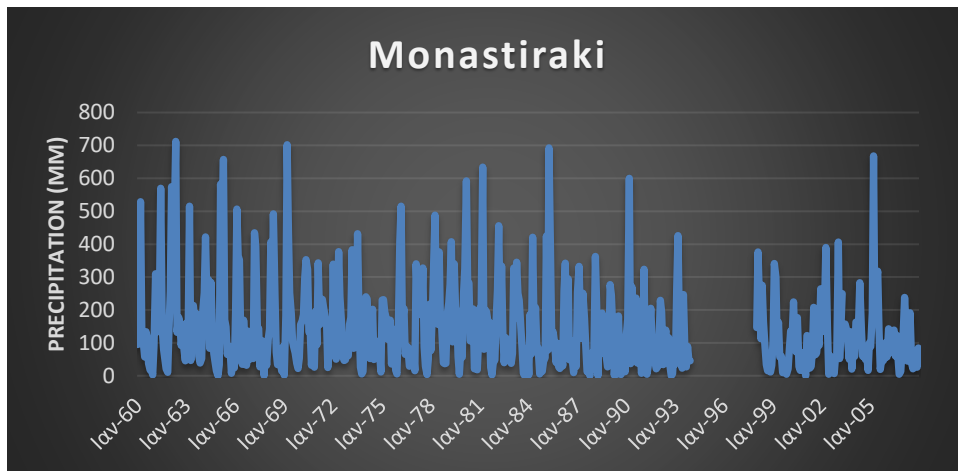
Διάγραμμα Ι. 27. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Λήμνου.



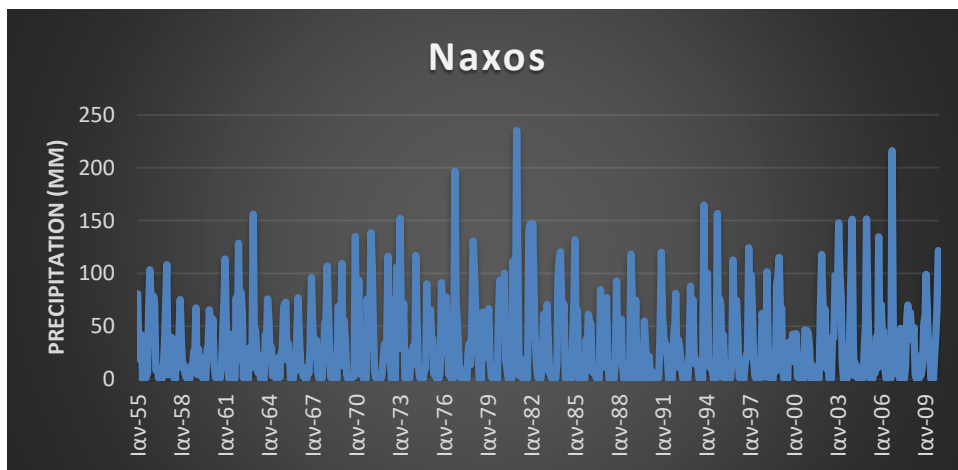
Διάγραμμα Ι. 28. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Μεθώνης.



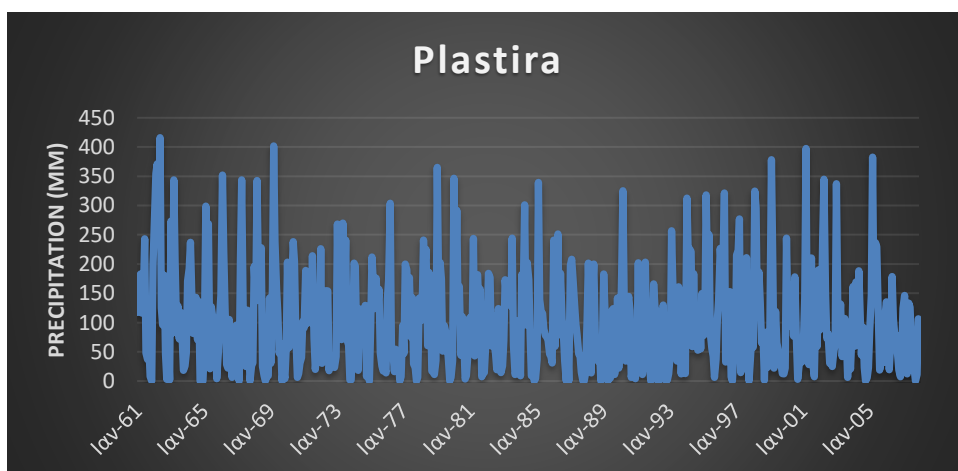
Διάγραμμα Ι. 29. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Μήλου.



Διάγραμμα Ι. 30. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Μοναστηρακίου.

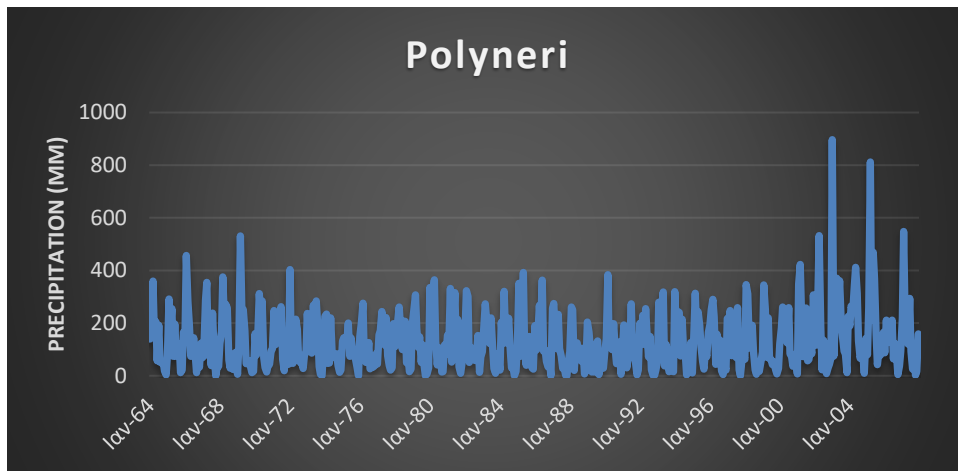


Διάγραμμα Ι. 31. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Νάξου.

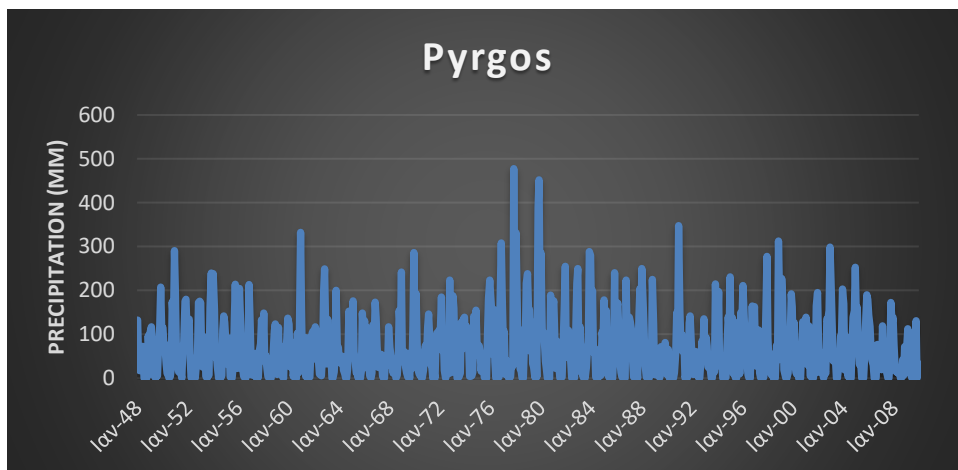


Διάγραμμα Ι. 32. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Πλαστήρα.

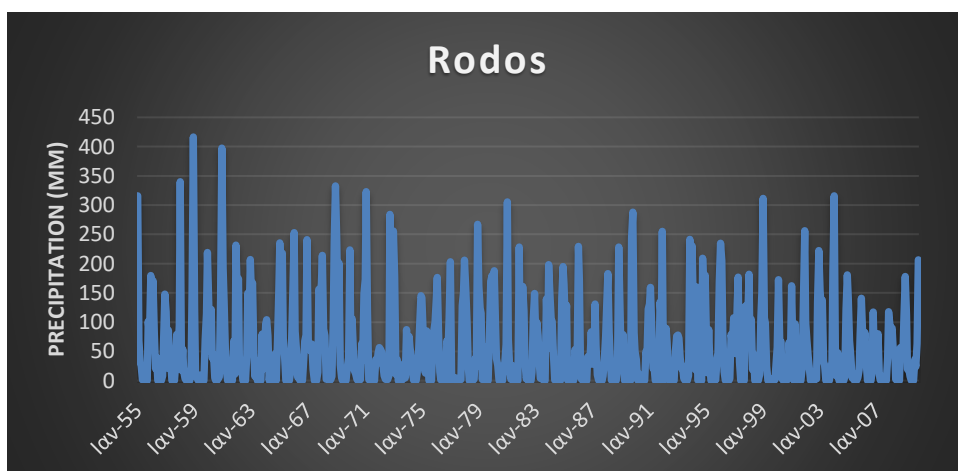




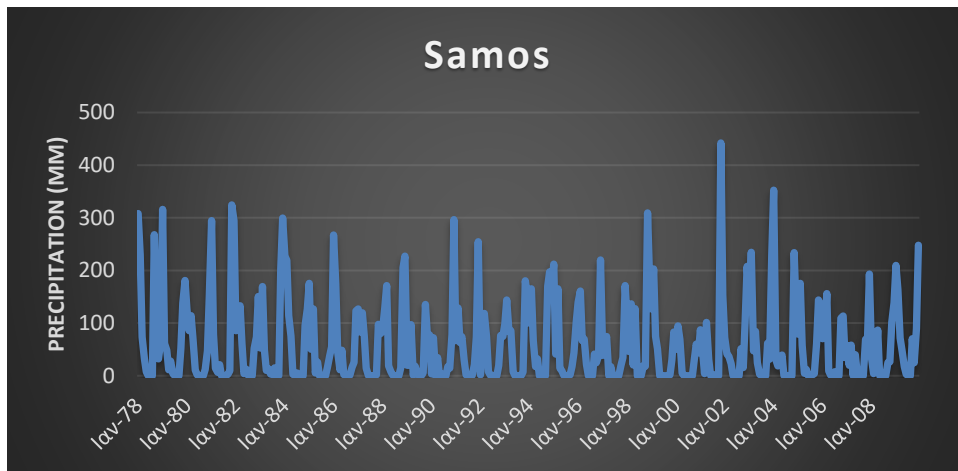
Διάγραμμα Ι. 33. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Πολυνερίου.



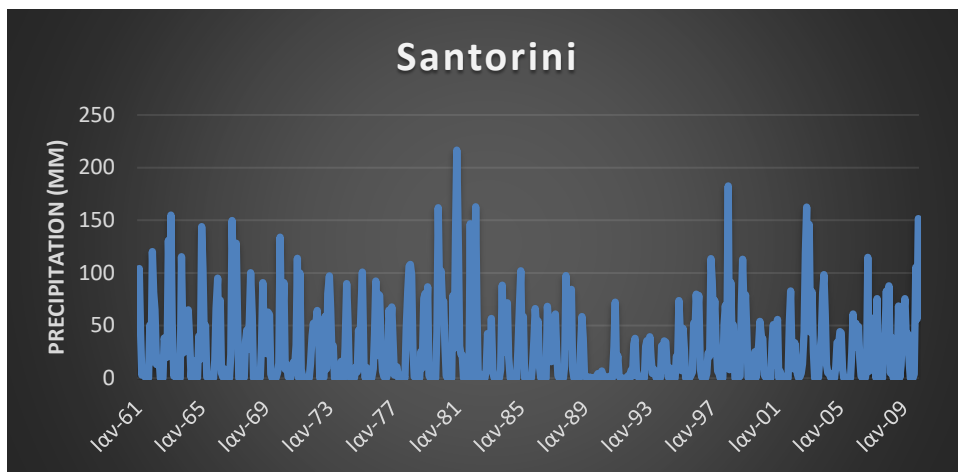
Διάγραμμα Ι. 34. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Πύργου.



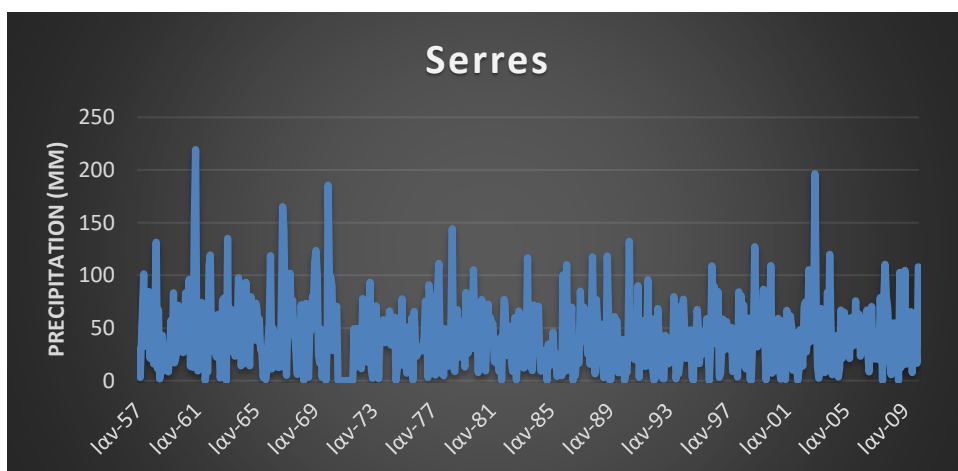
Διάγραμμα Ι. 35. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Ρόδου.



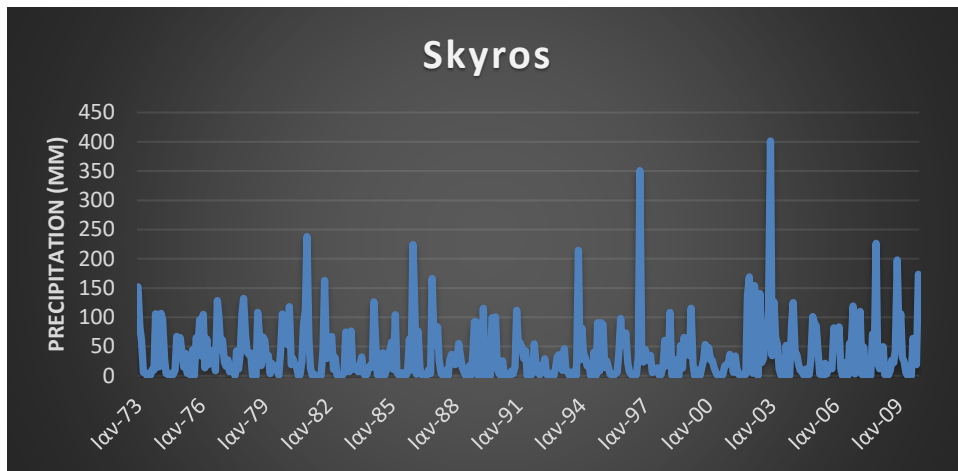
Διάγραμμα Ι. 36. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Σάμου.



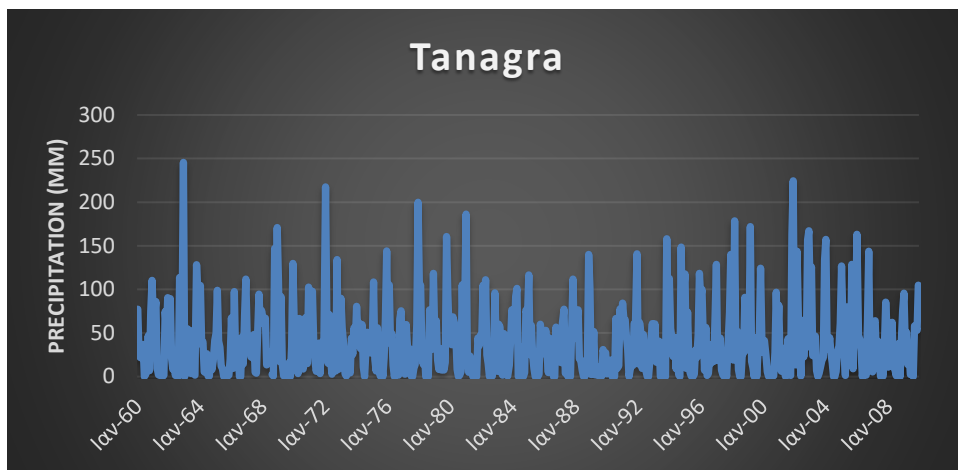
Διάγραμμα Ι. 37. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Σαντορίνης.



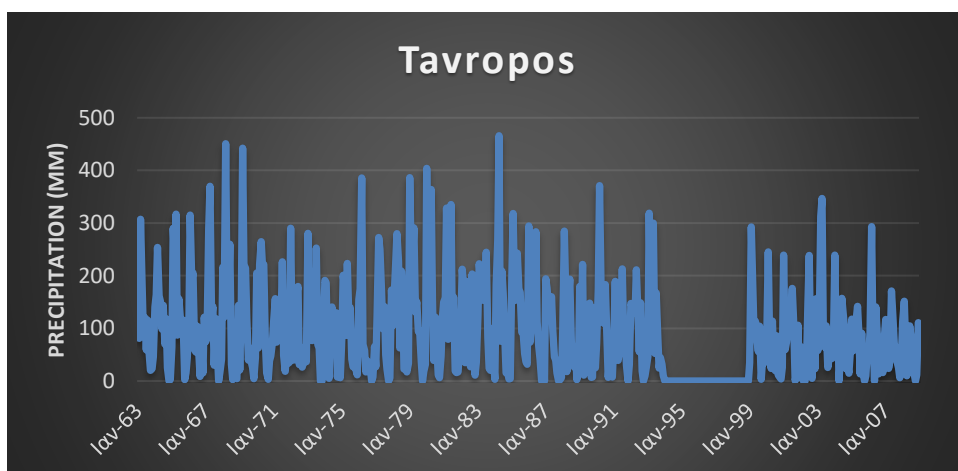
Διάγραμμα Ι. 38. Βροχόπτωση για τον σταθμό των Σερρών.



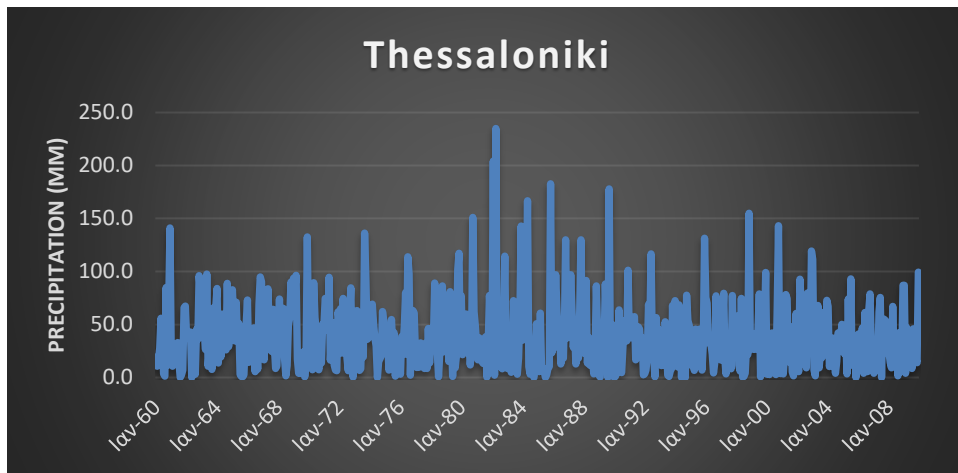
Διάγραμμα Ι. 39. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Σκύρου.



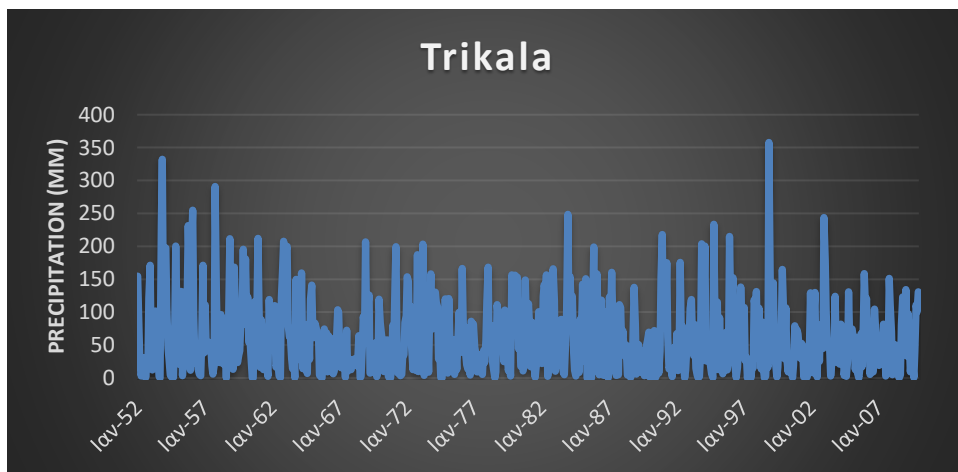
Διάγραμμα Ι. 40. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Τανάγρας.



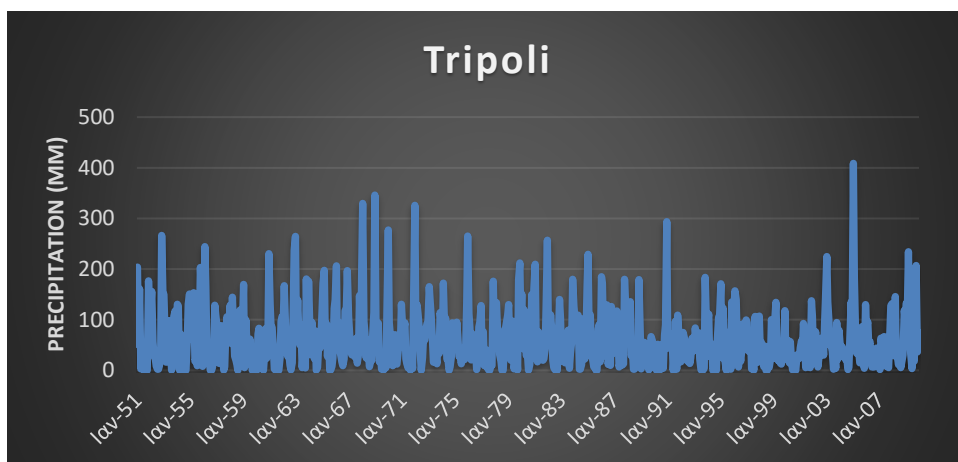
Διάγραμμα Ι. 41. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Ταυρωπού.



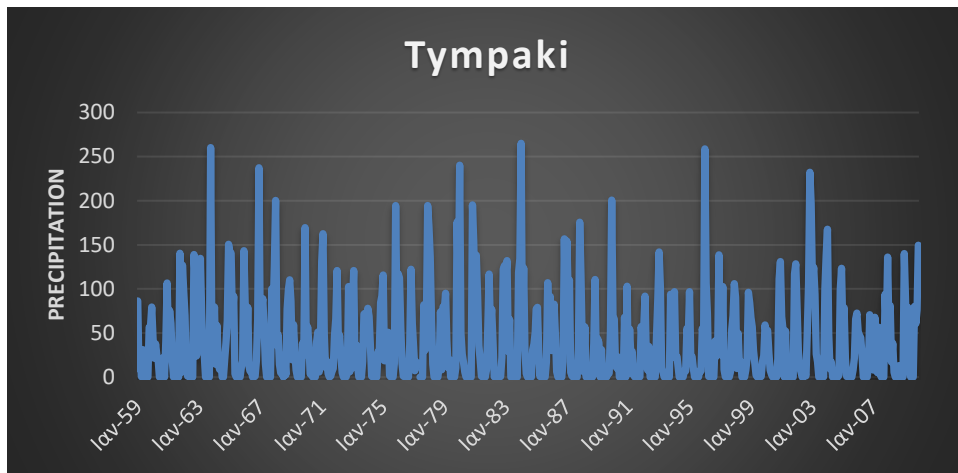
Διάγραμμα Ι. 42. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Θεσσαλονίκης.



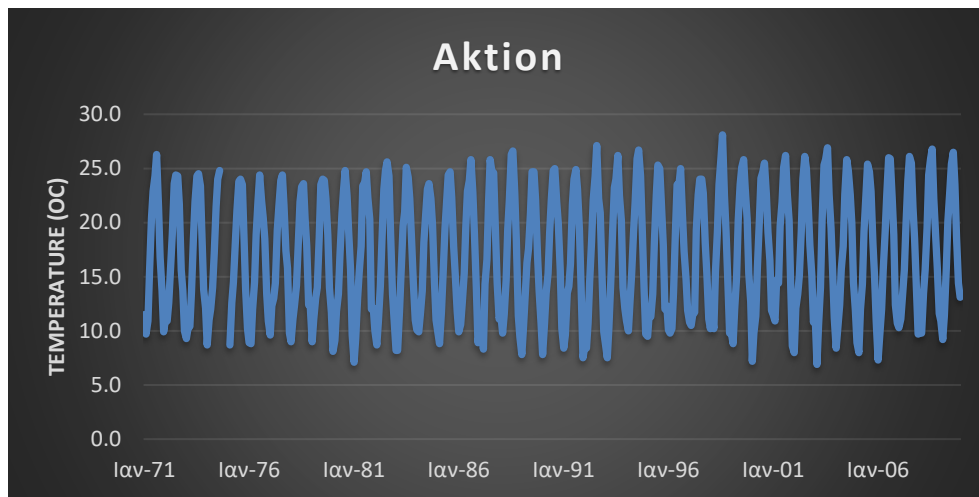
Διάγραμμα Ι. 43. Βροχόπτωση για τον σταθμό των Τρικάλων.



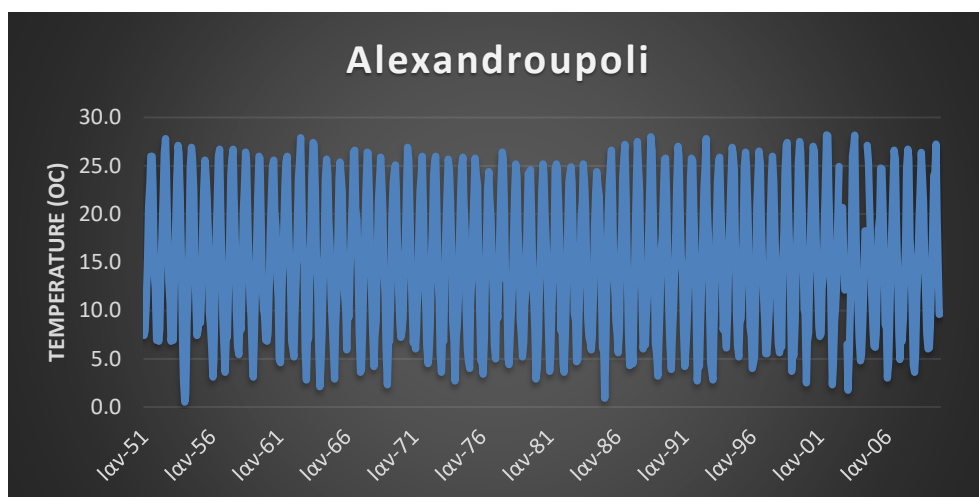
Διάγραμμα Ι. 44. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Τρίπολης.



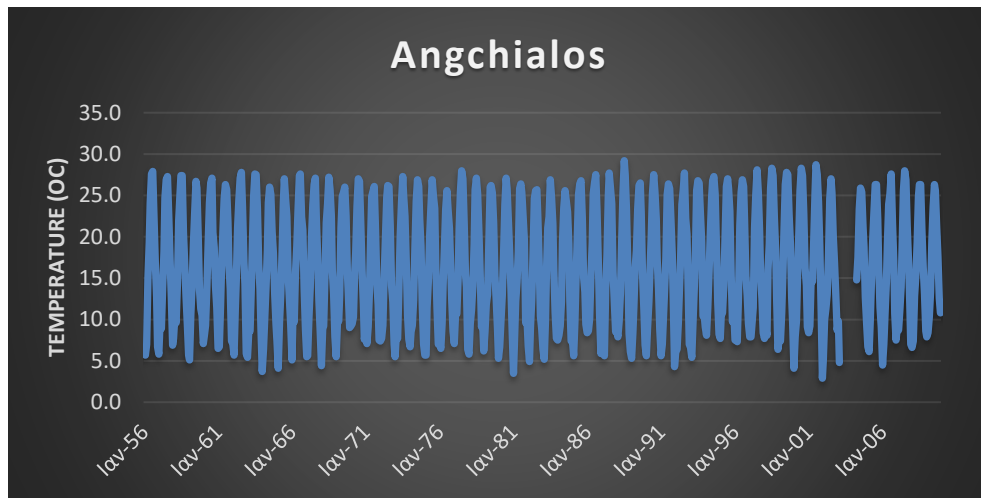
Διάγραμμα Ι. 45. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Τυμπάκιου.



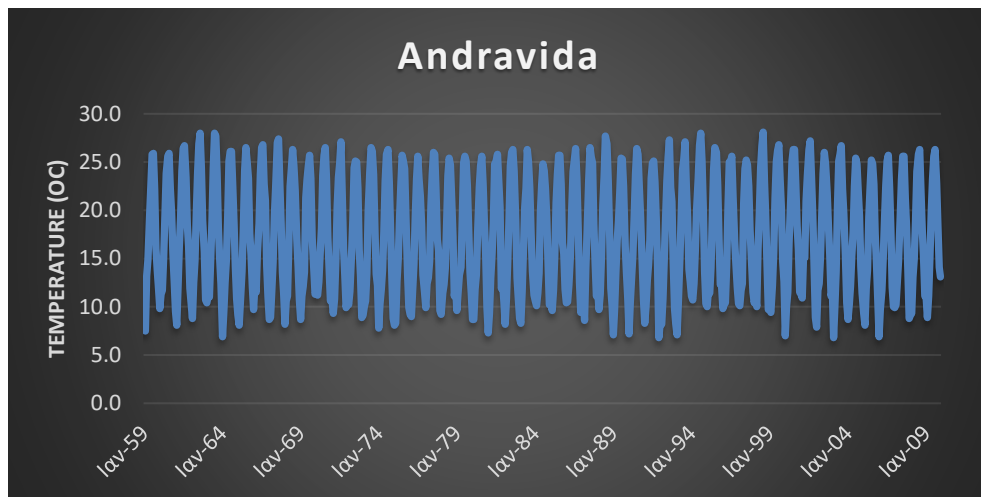
Διάγραμμα Ι. 46. Θερμοκρασία για τον σταθμό του Ακτίου.



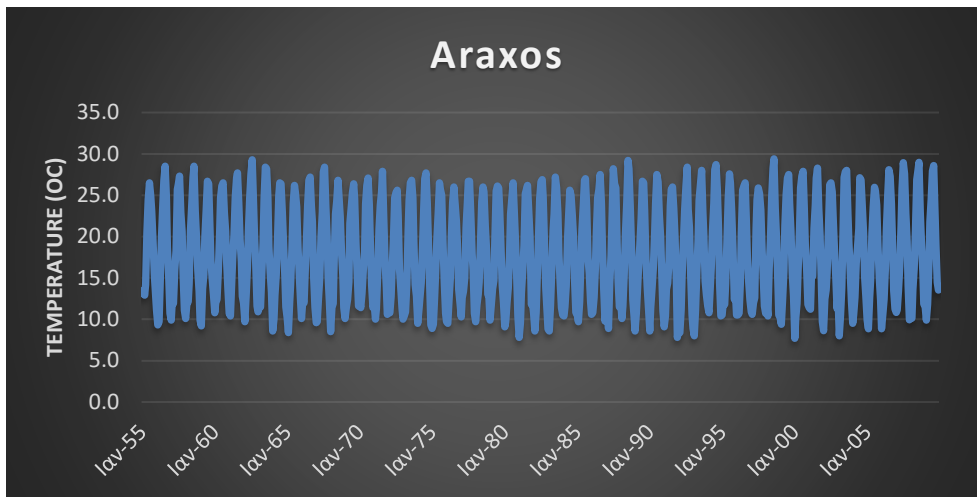
Διάγραμμα Ι. 47. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Αλεξανδρούπολης.



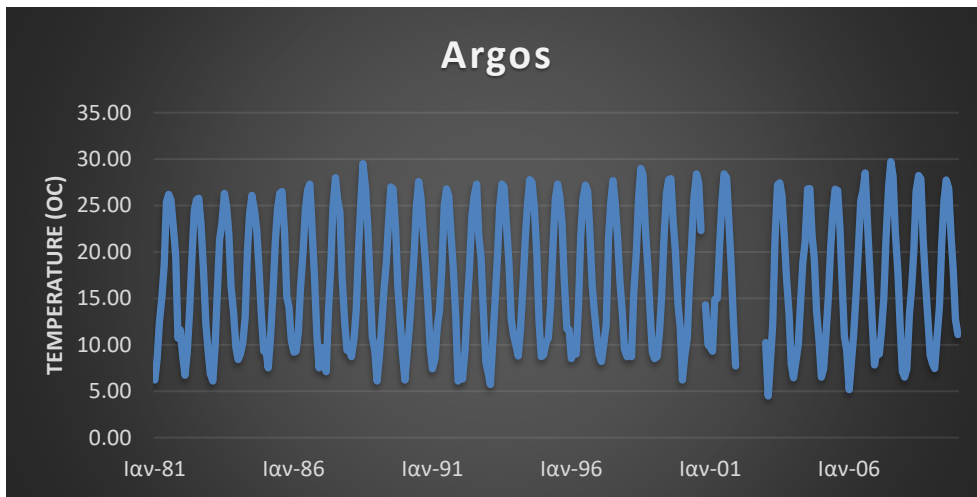
Διάγραμμα Ι. 48. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Αγκιάλου.



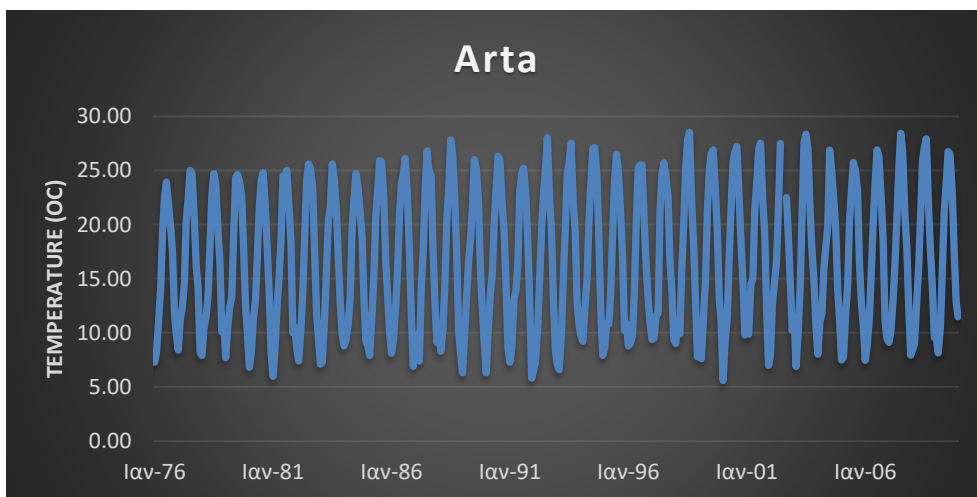
Διάγραμμα Ι. 49. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Ανδραβίδας.



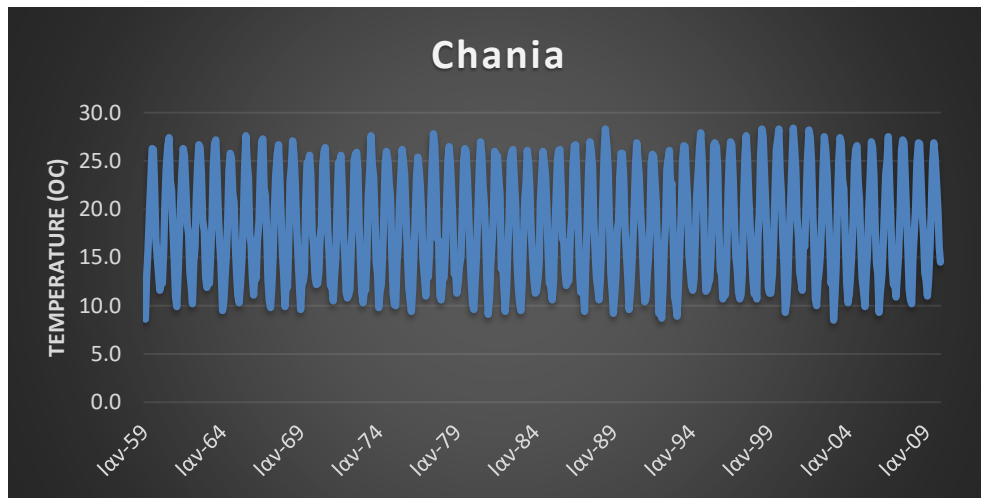
Διάγραμμα Ι. 50. Θερμοκρασία για τον σταθμό του Άραξου.



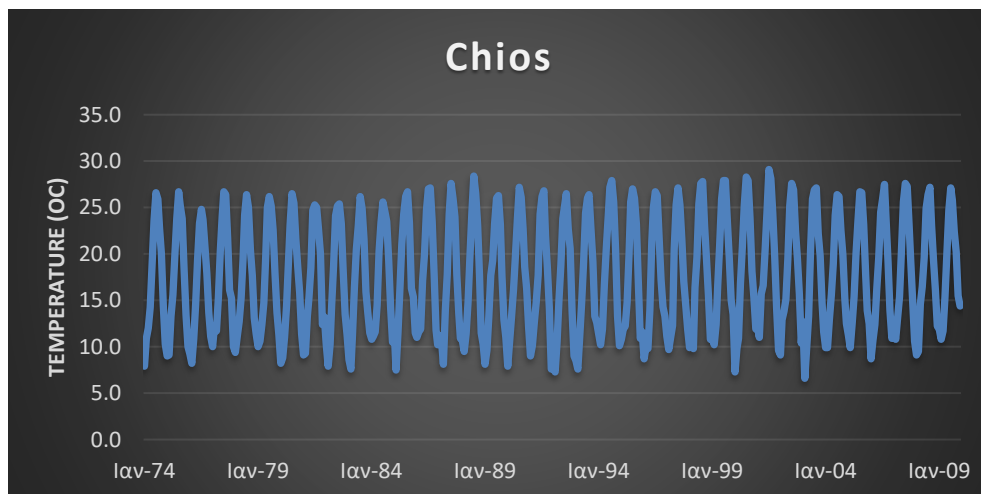
Διάγραμμα Ι. 51. Θερμοκρασία για τον σταθμό του Άργους.



Διάγραμμα Ι. 52. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Άρτας.

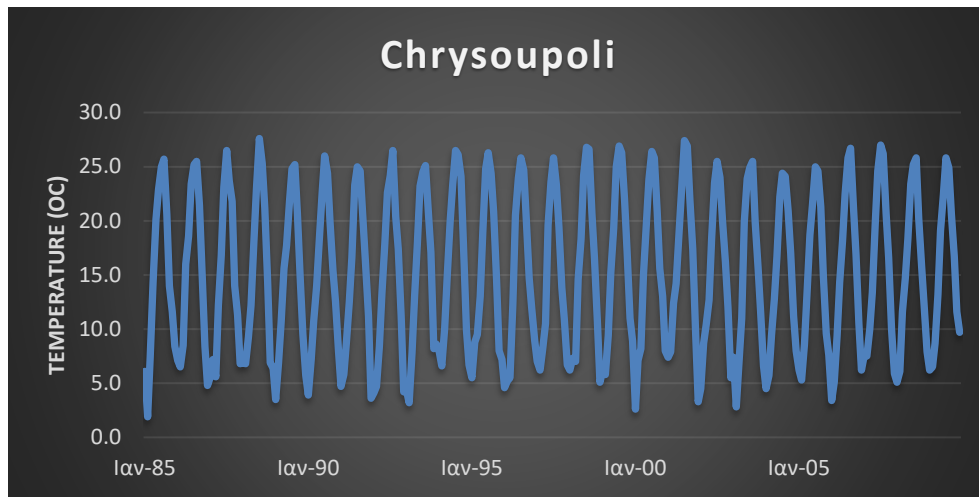


Διάγραμμα Ι. 53. Θερμοκρασία για τον σταθμό των Χανίων.

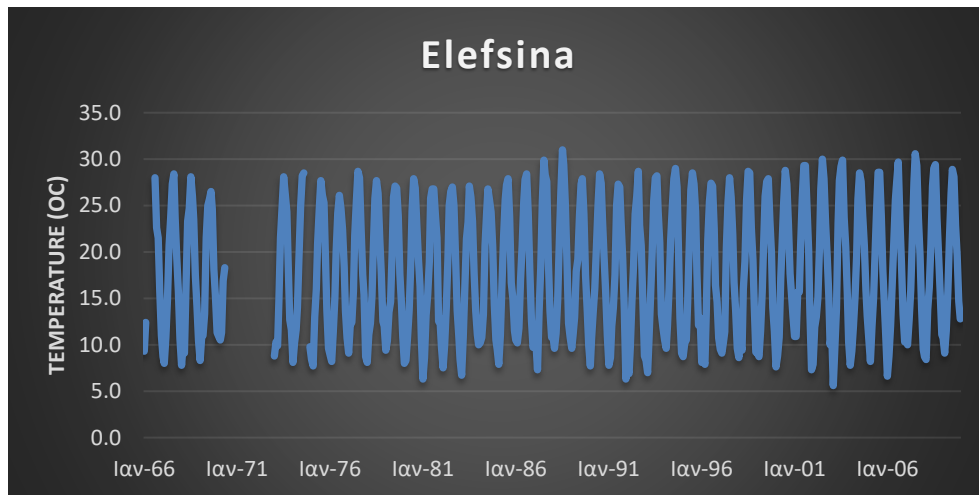


Διάγραμμα Ι. 54. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Χίου.

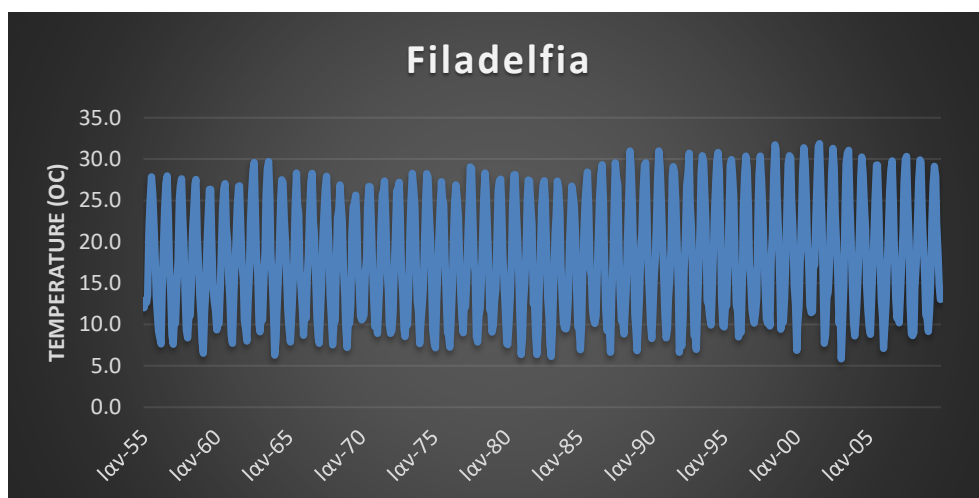




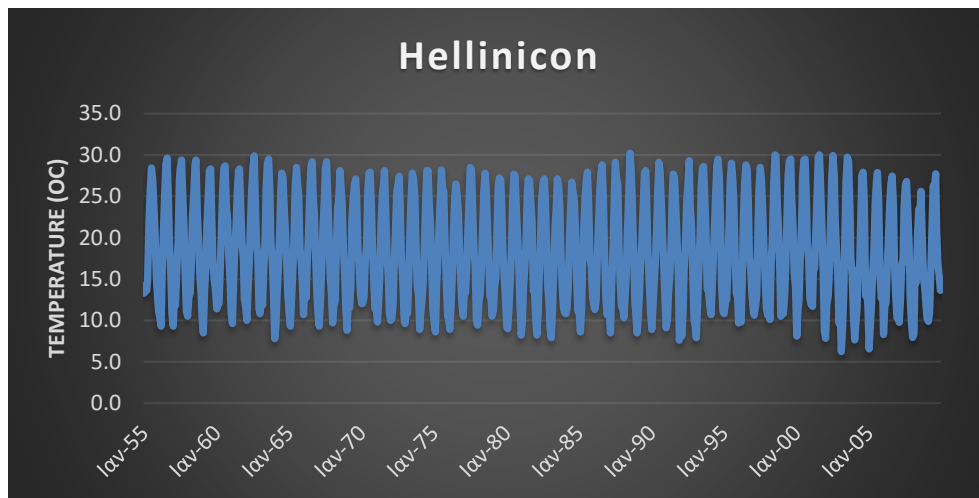
Διάγραμμα Ι. 55. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Χρυσούπολης.



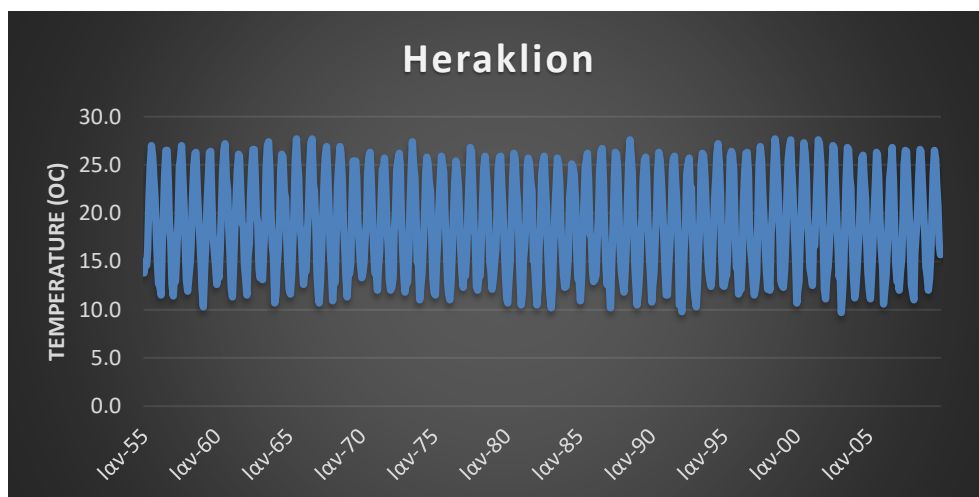
Διάγραμμα Ι. 56. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Ελευσίνας.



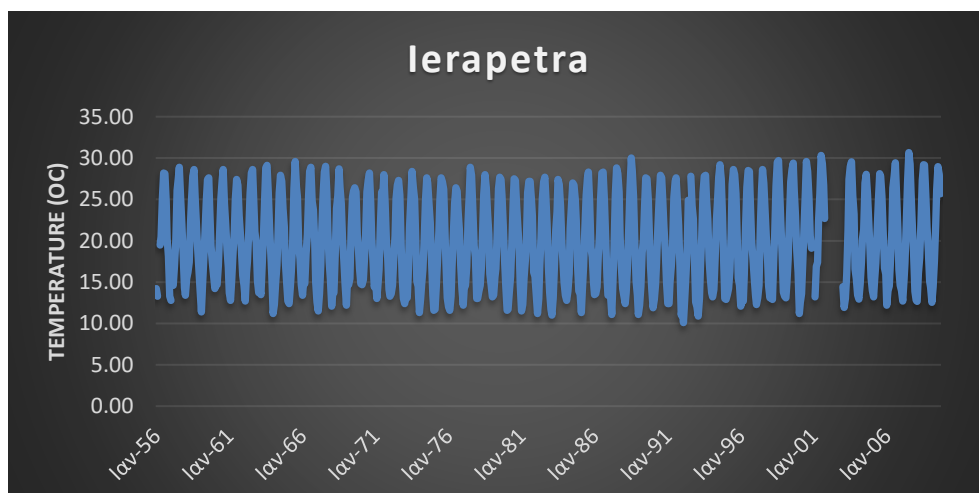
Διάγραμμα Ι. 57. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Φιλαδέλφειας.



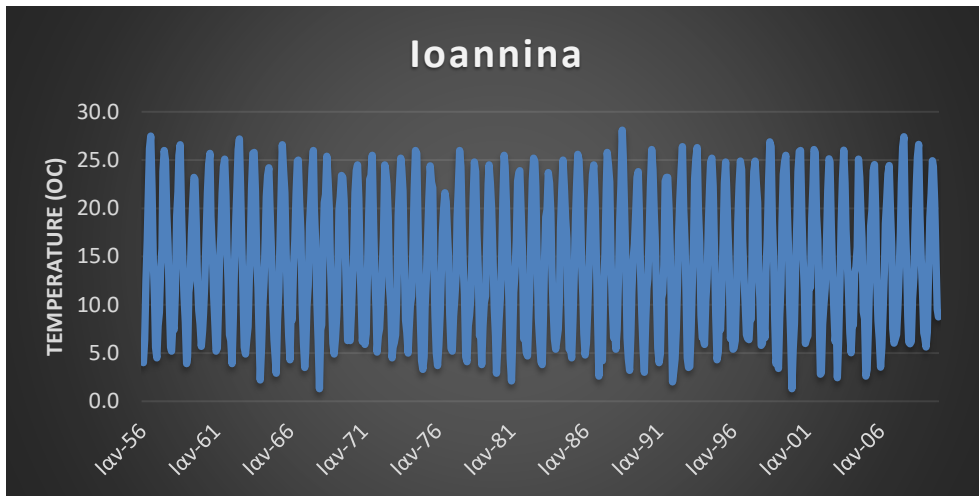
Διάγραμμα Ι. 58. Θερμοκρασία για τον σταθμό του Ελευσίνας.



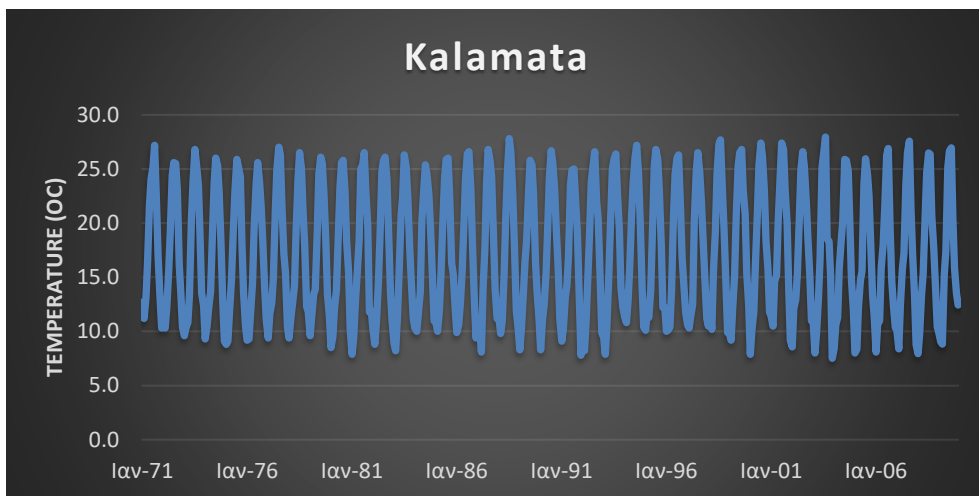
Διάγραμμα Ι. 59. Θερμοκρασία για τον σταθμό του Ηρακλείου.



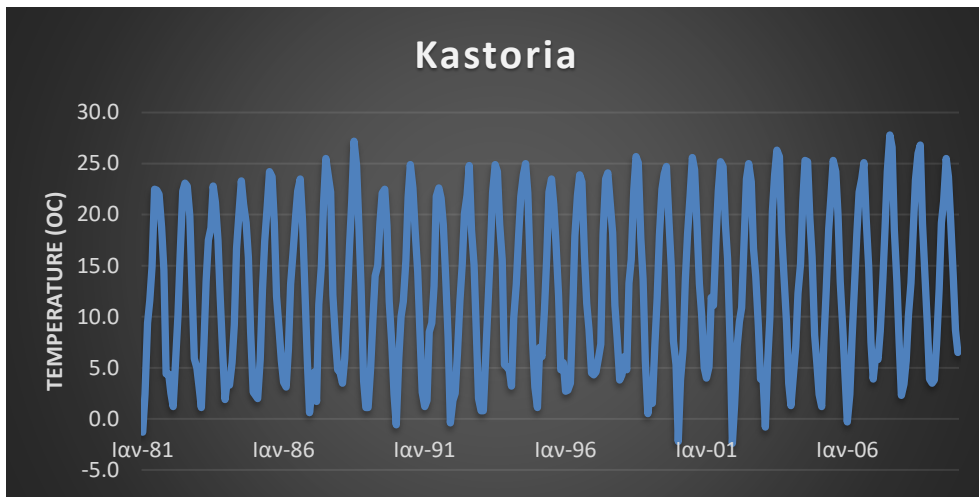
Διάγραμμα Ι. 60. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Ιεράπετρας.



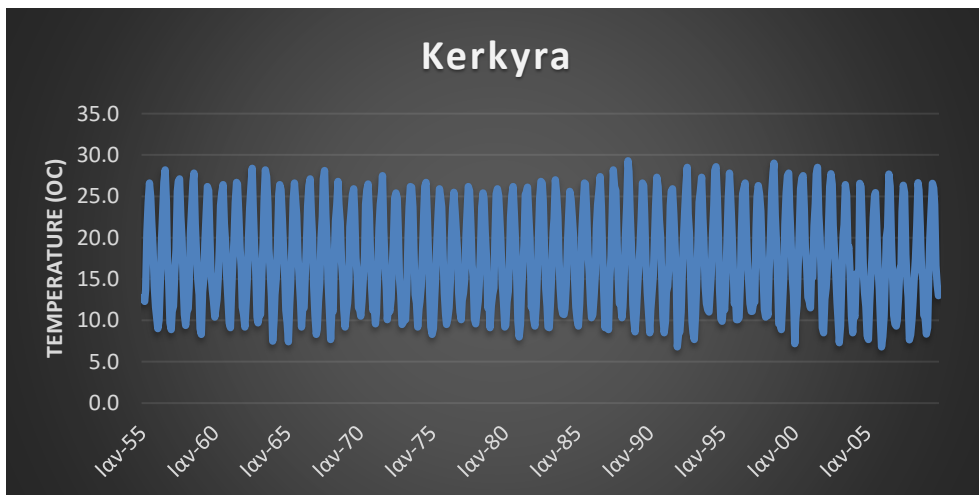
Διάγραμμα Ι. 61. Θερμοκρασία για τον σταθμό των Ιωαννίνων.



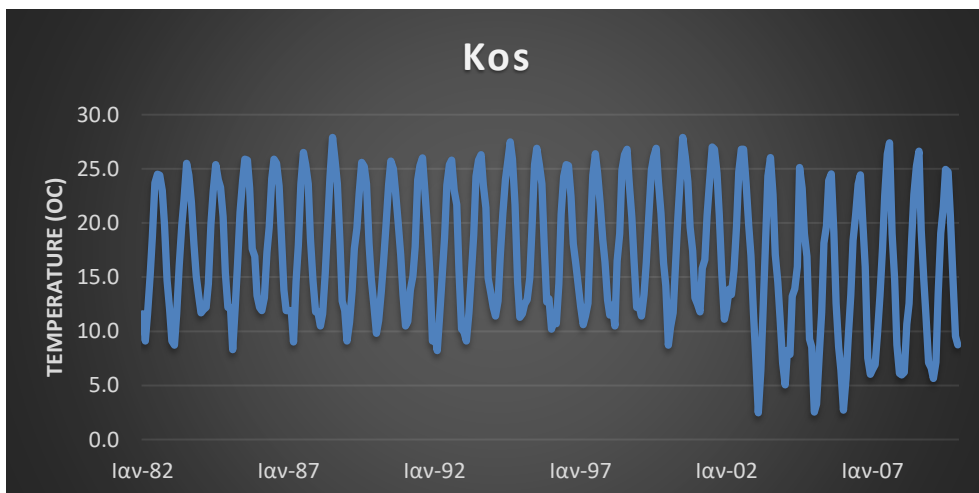
Διάγραμμα Ι. 62. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Καλαμάτας.



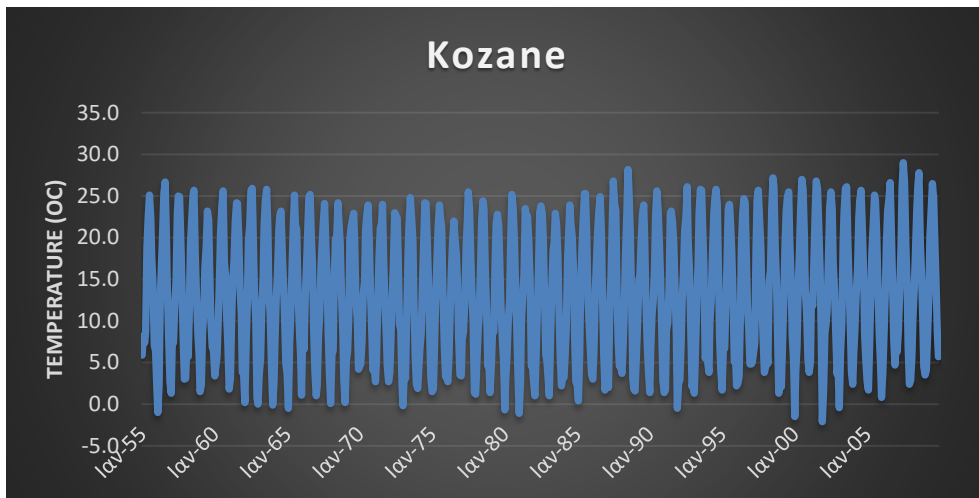
Διάγραμμα Ι. 63. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Καστοριάς.



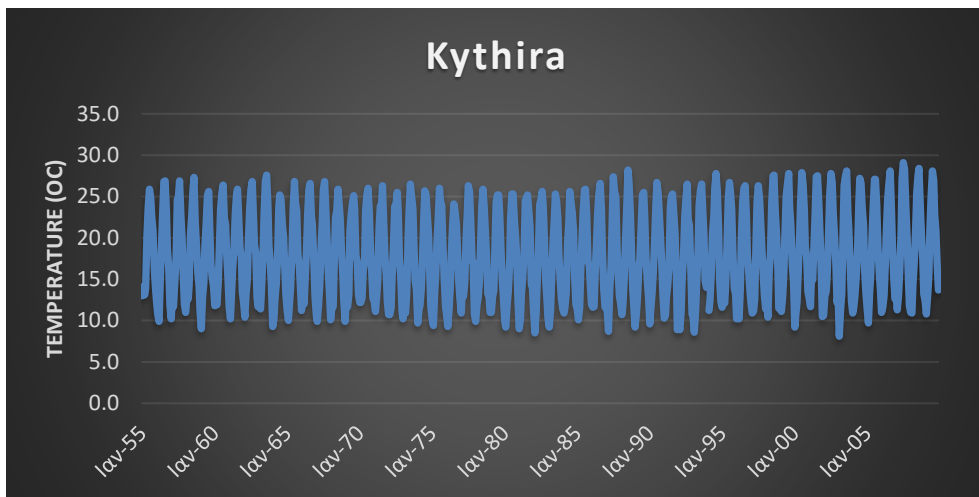
Διάγραμμα Ι. 64. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Κέρκυρας.



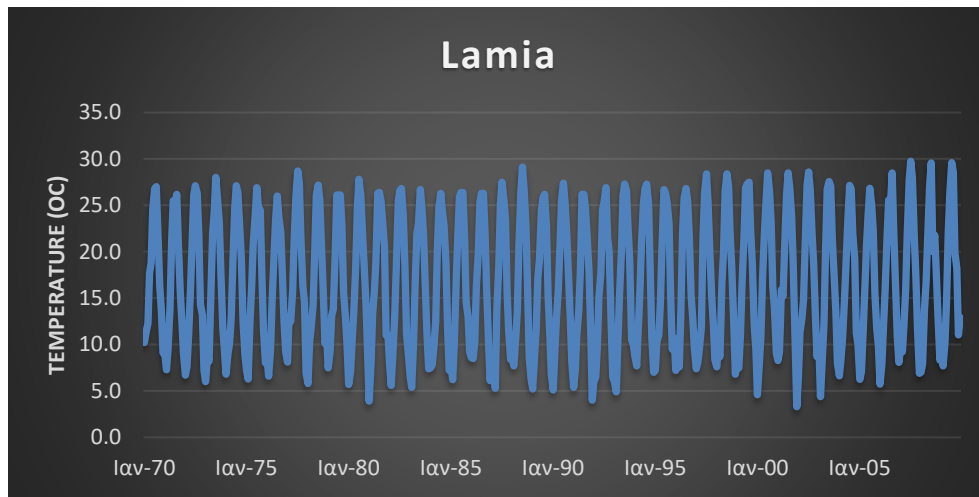
Διάγραμμα Ι. 65. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Κω.



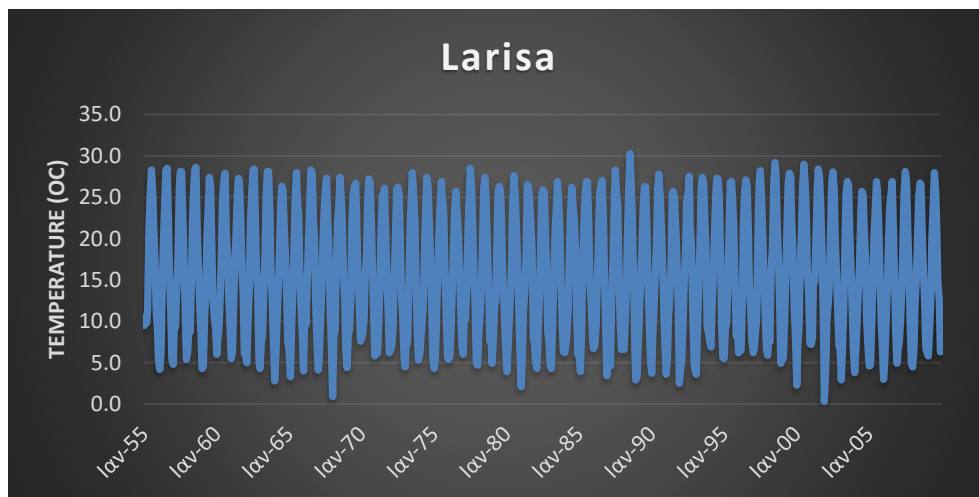
Διάγραμμα Ι. 66. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Κοζάνης.



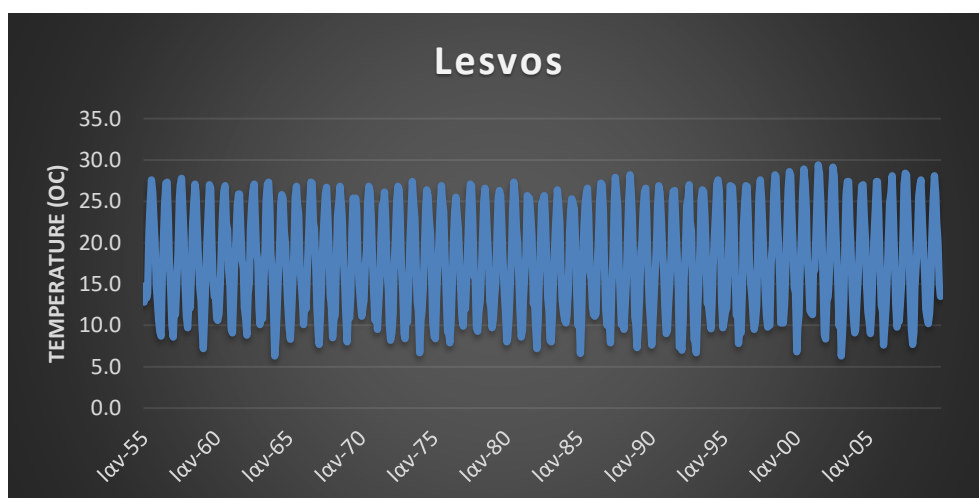
Διάγραμμα Ι. 67. Θερμοκρασία για τον σταθμό των Κυθήρων.



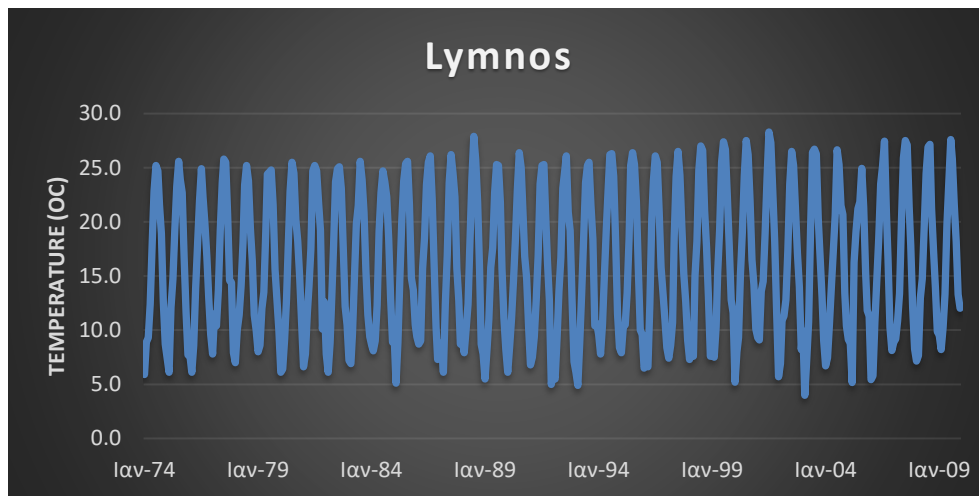
Διάγραμμα Ι. 68. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Λαμίας.



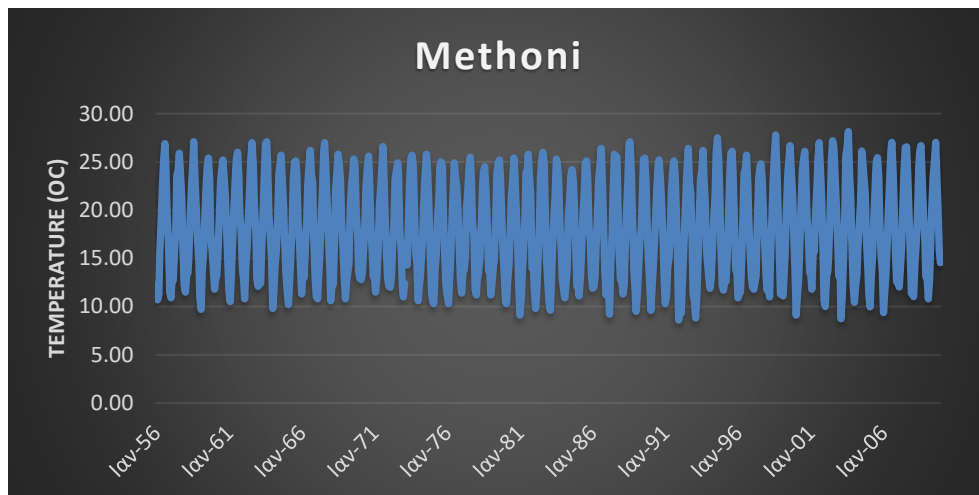
Διάγραμμα Ι. 69. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Λάρισας.



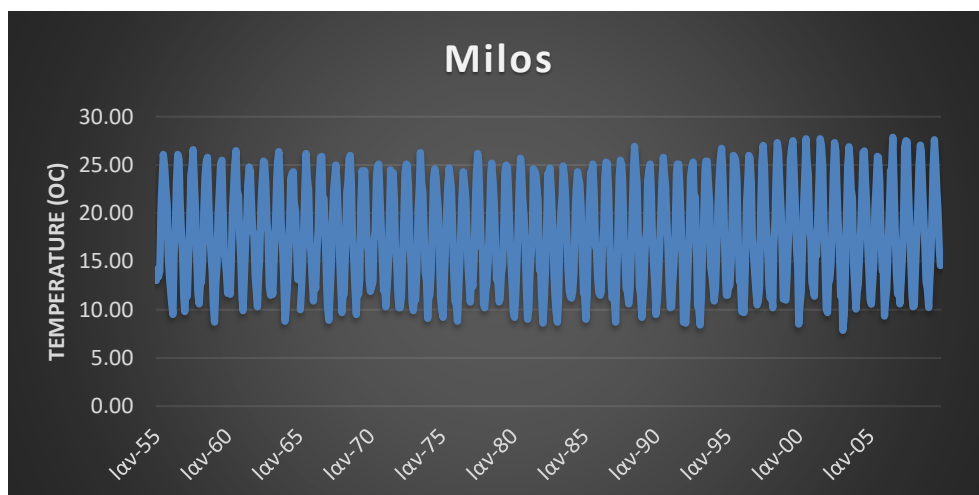
Διάγραμμα Ι.25. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Λέσβου.



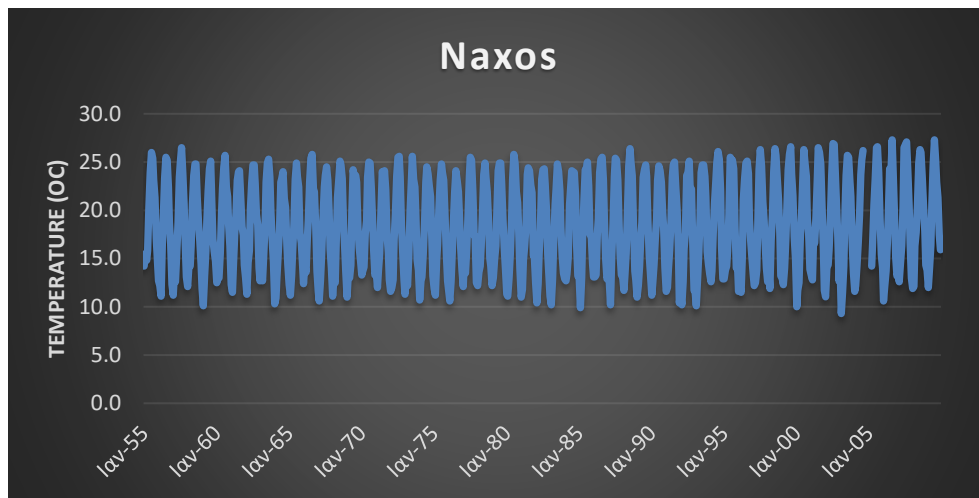
Διάγραμμα Ι. 70. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Λήμνου.



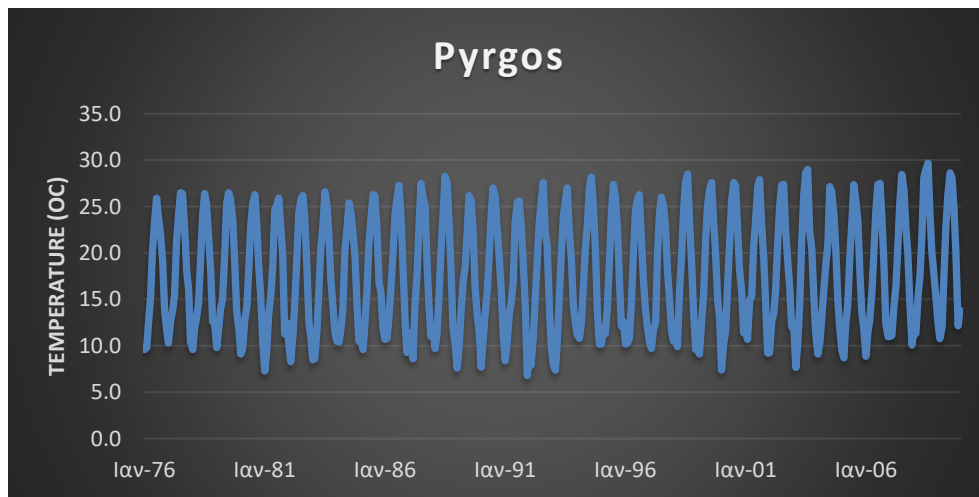
Διάγραμμα Ι. 71. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Μεθώνης.



Διάγραμμα Ι. 72. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Μήλου.

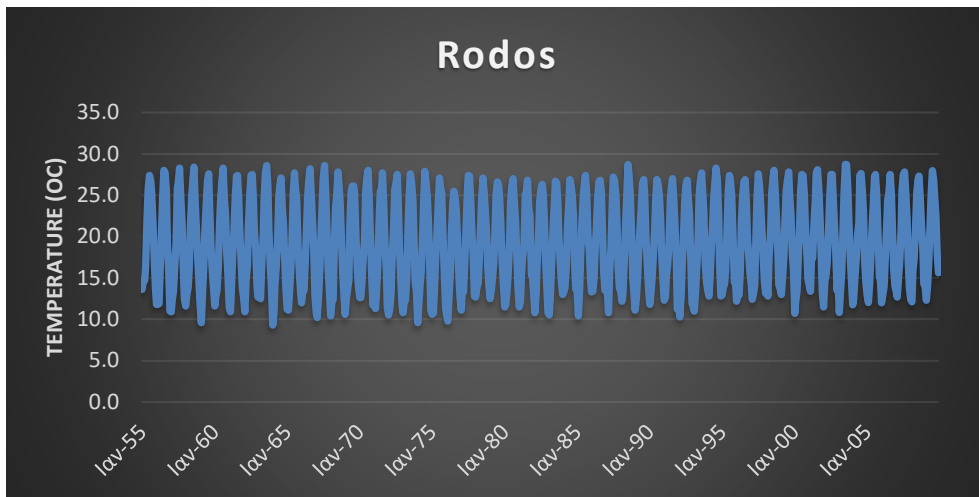


Διάγραμμα Ι. 73. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Νάξου.

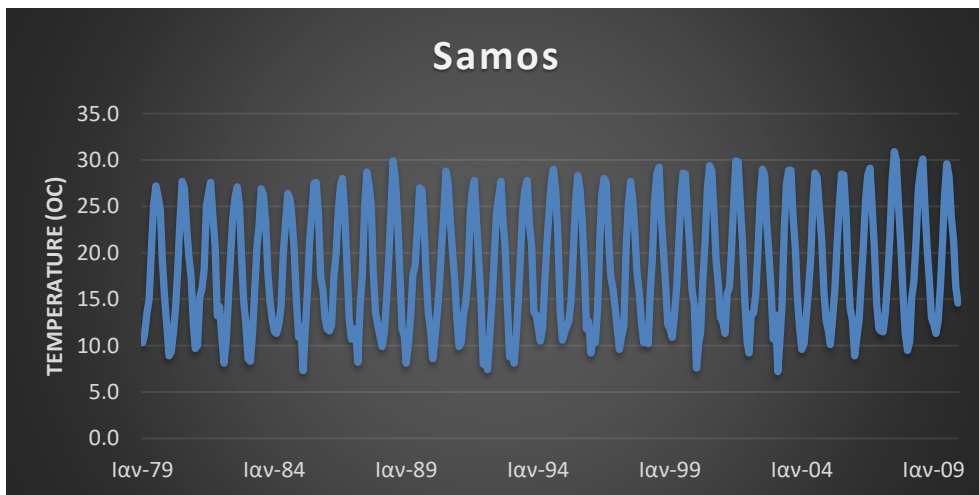


Διάγραμμα Ι. 74. Θερμοκρασία για τον σταθμό του Πύργου.

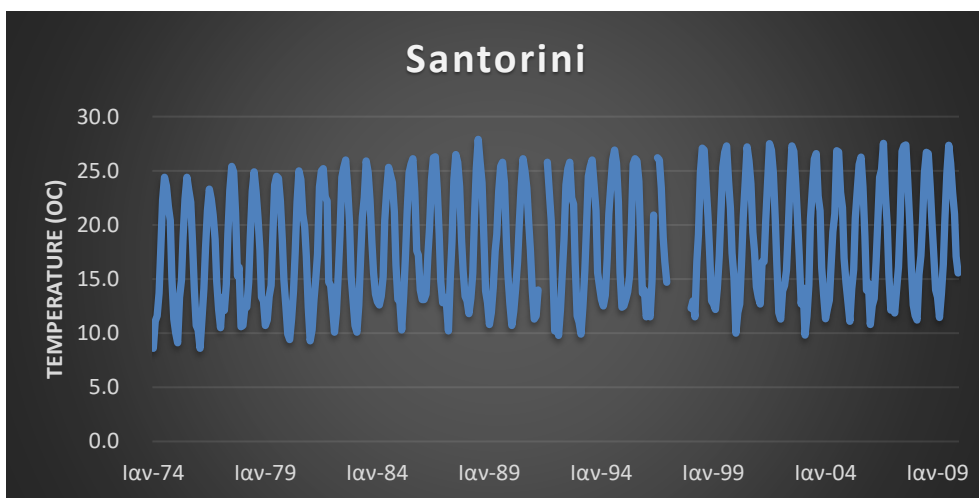




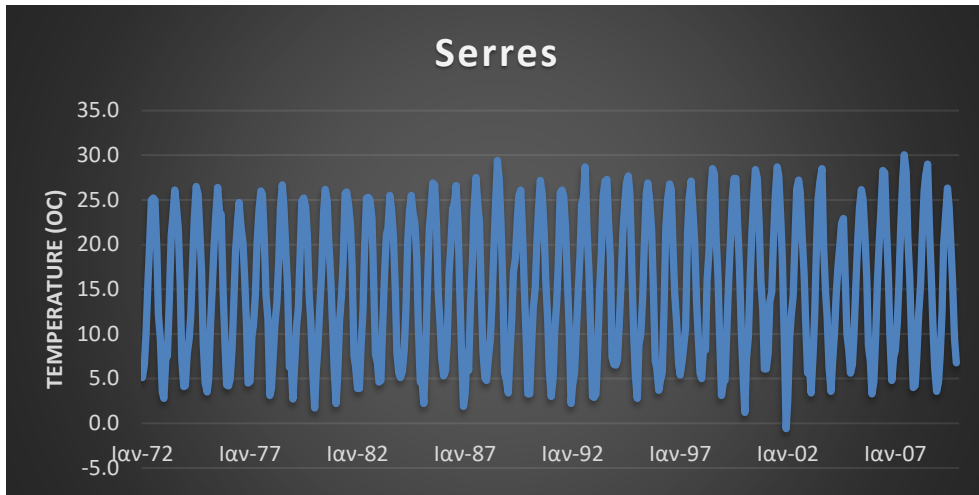
Διάγραμμα Ι. 75. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Ρόδου.



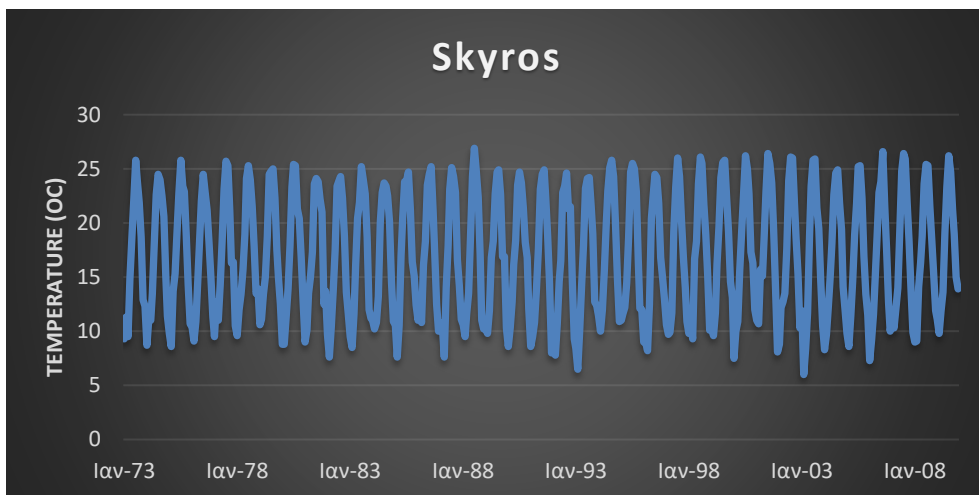
Διάγραμμα Ι. 76. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Σάμου.



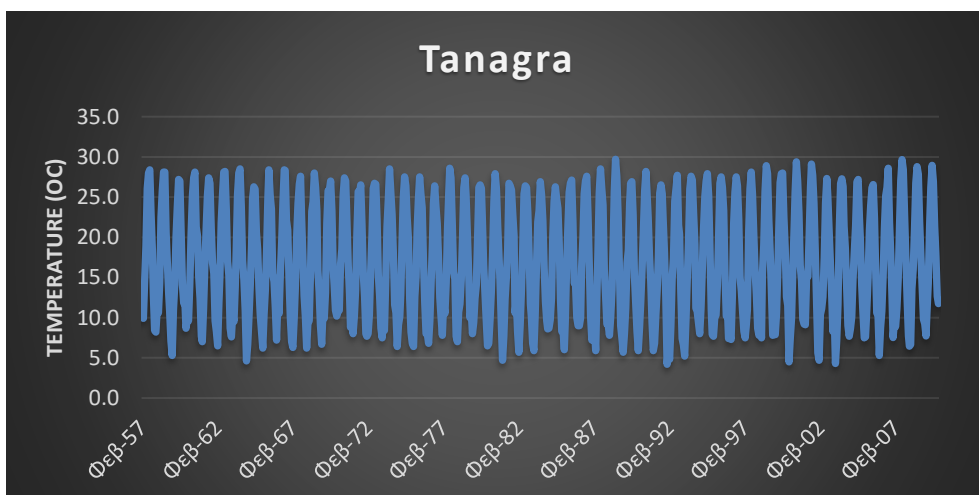
Διάγραμμα Ι. 77. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Σαντορίνης.



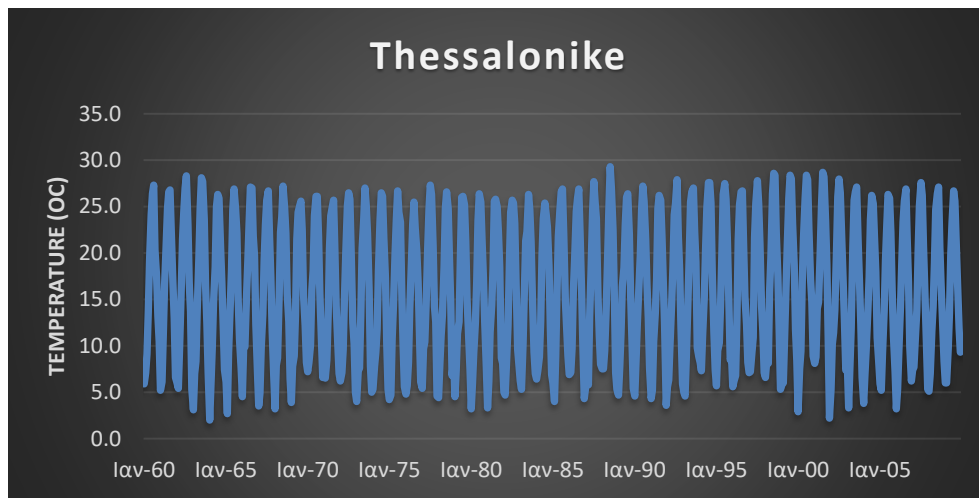
Διάγραμμα Ι. 78. Θερμοκρασία για τον σταθμό των Σερρών.



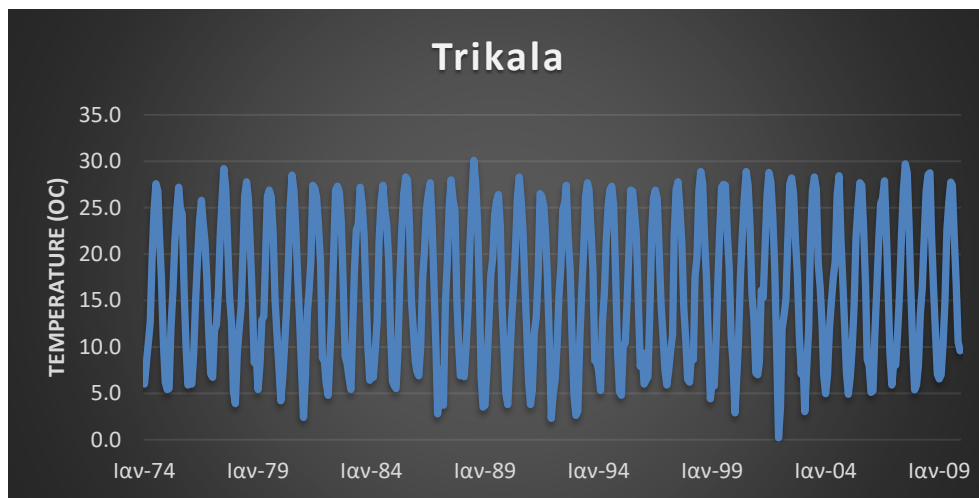
Διάγραμμα Ι. 79. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Σκύρου.



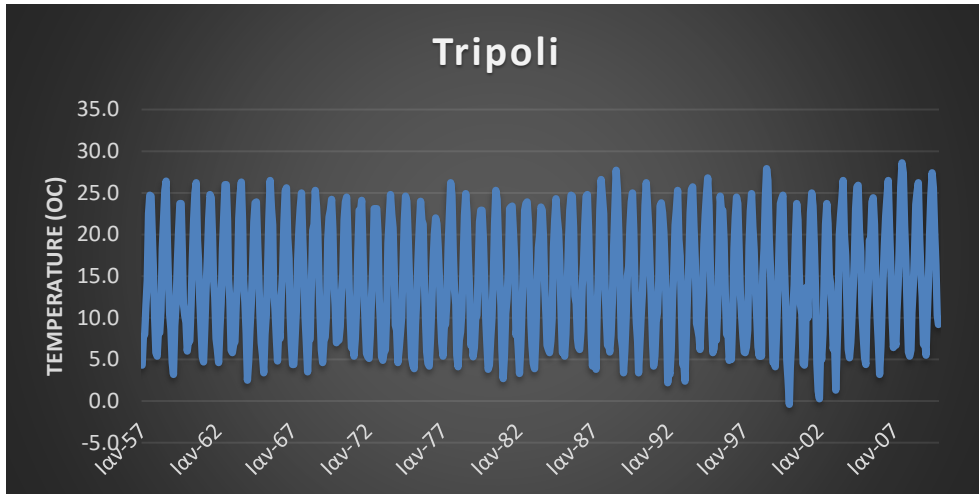
Διάγραμμα Ι. 80. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Τανάγρας.



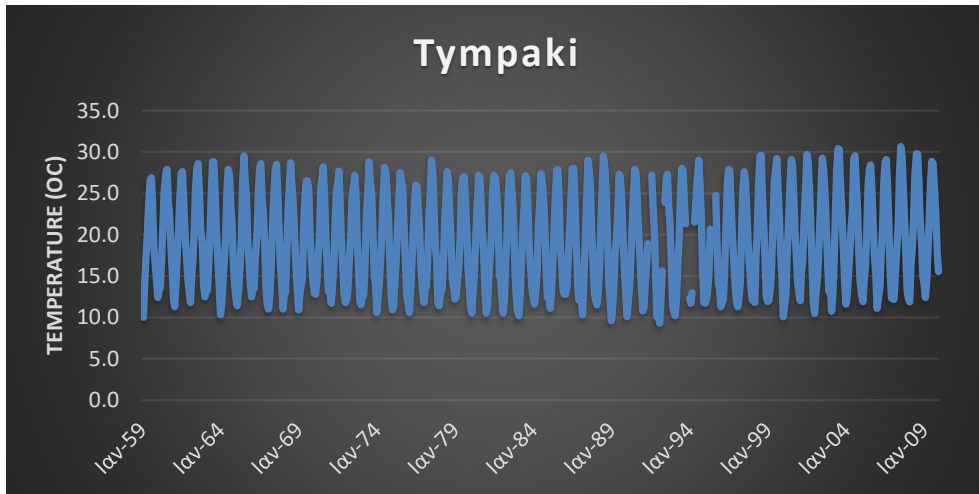
Διάγραμμα Ι. 81. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Θεσσαλονίκης.



Διάγραμμα Ι. 82. Θερμοκρασία για τον σταθμό των Τρικάλων.



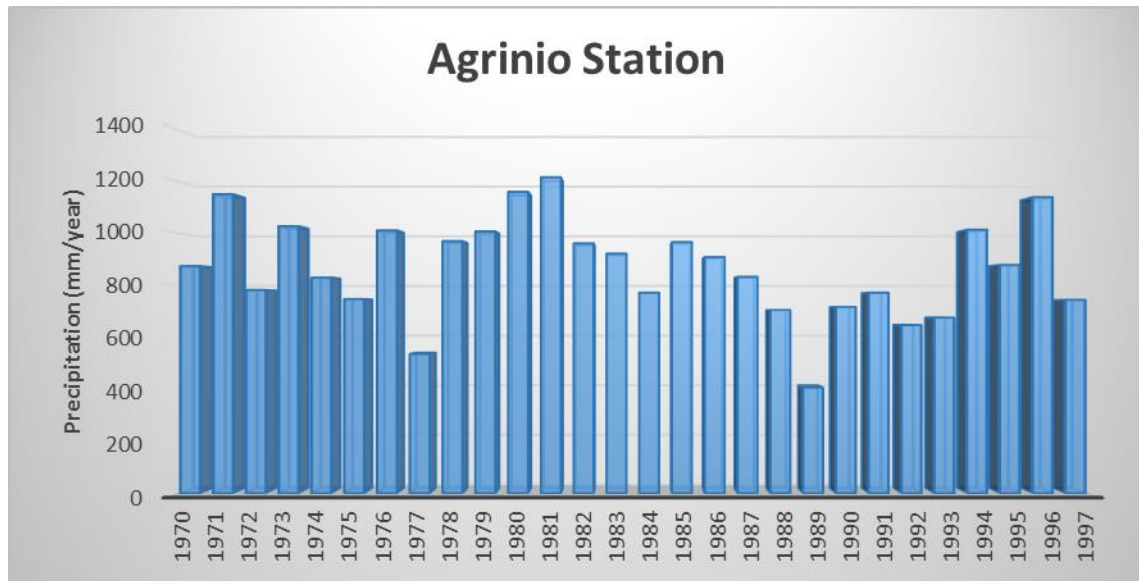
Διάγραμμα Ι. 83. Θερμοκρασία για τον σταθμό της Τρίπολης.



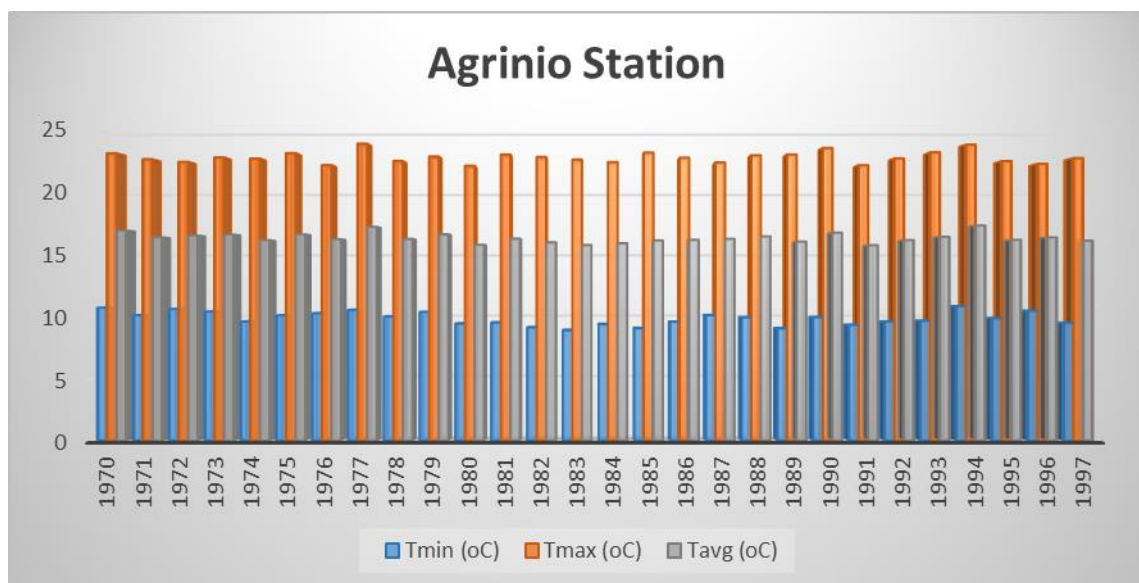
Διάγραμμα Ι. 84. Θερμοκρασία για τον σταθμό του Τυμπακίου.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II:

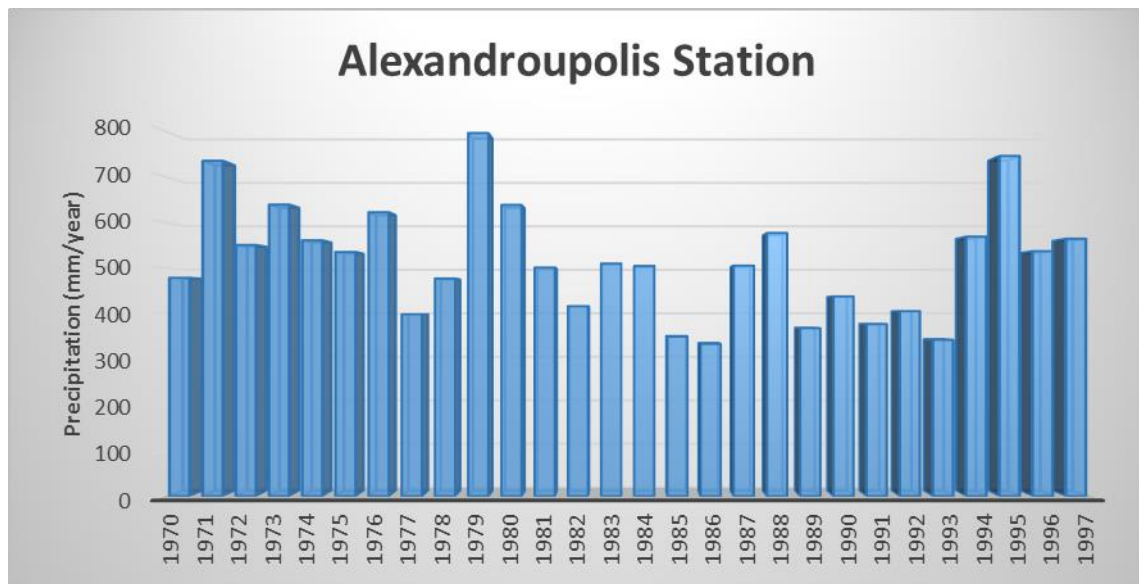
### ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΧΩΡΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ



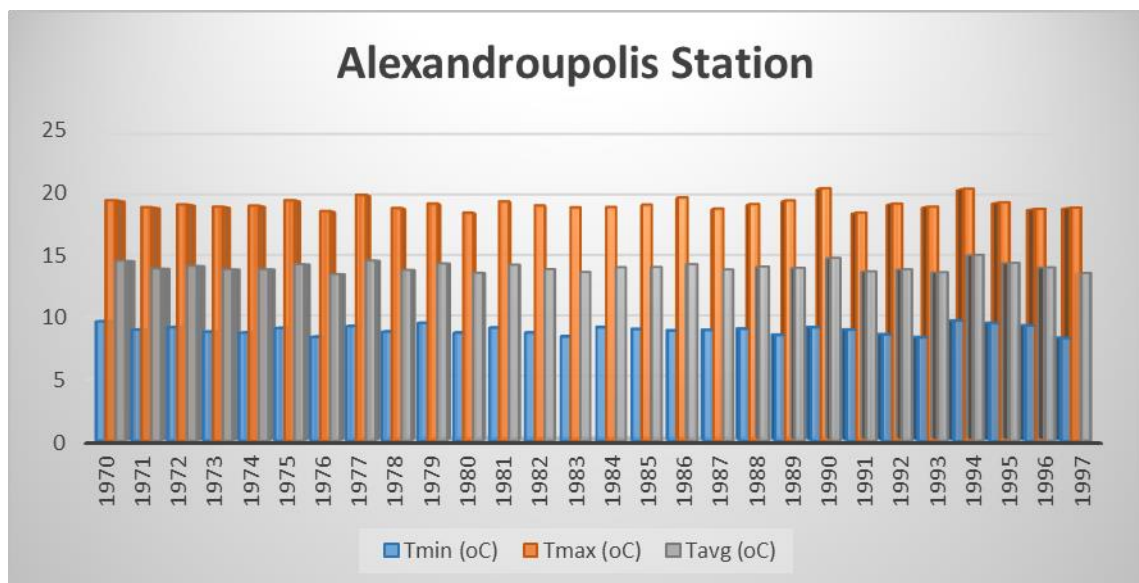
Διάγραμμα II. 1. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό του Αγρινίου (1970 – 1997).



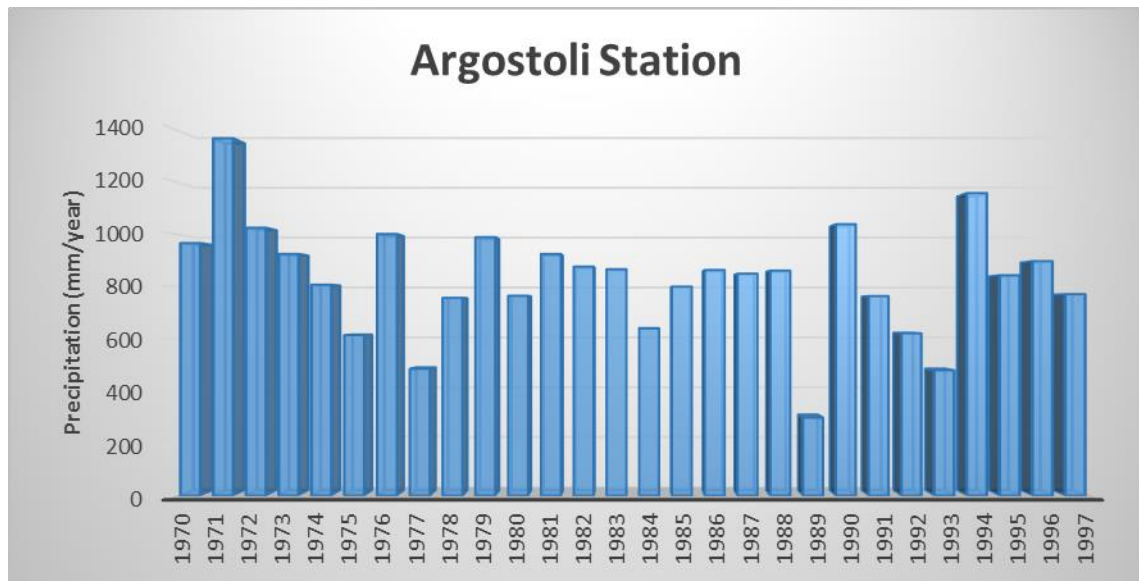
Διάγραμμα II. 2. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό του Αγρινίου (1970 – 1997).



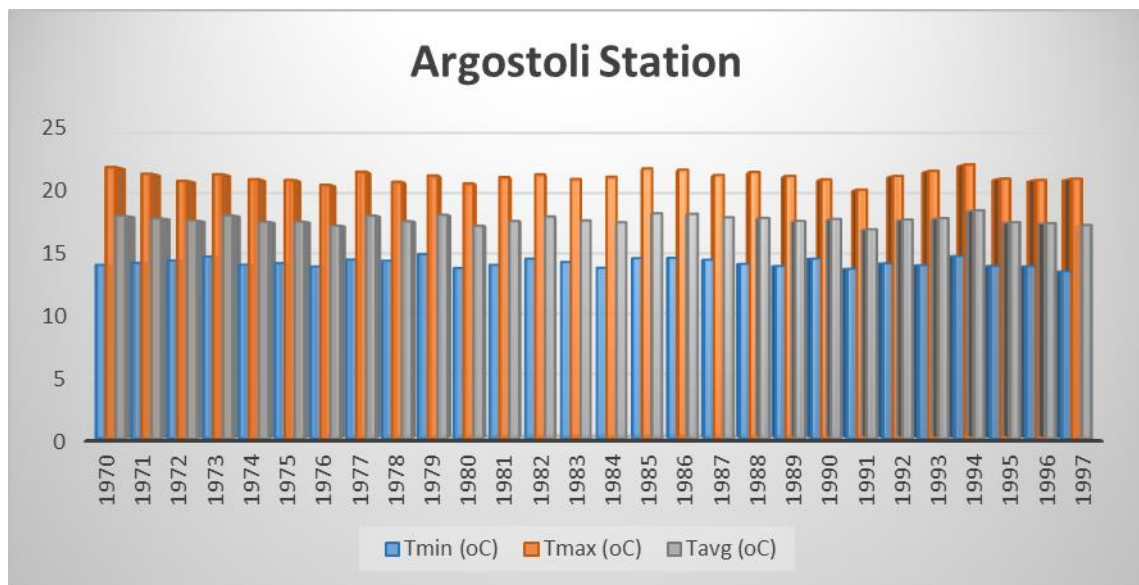
Διάγραμμα II. 3. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Αλεξανδρούπολης (1970 – 1997).



Διάγραμμα II. 4. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Αλεξανδρούπολης (1970 – 1997).

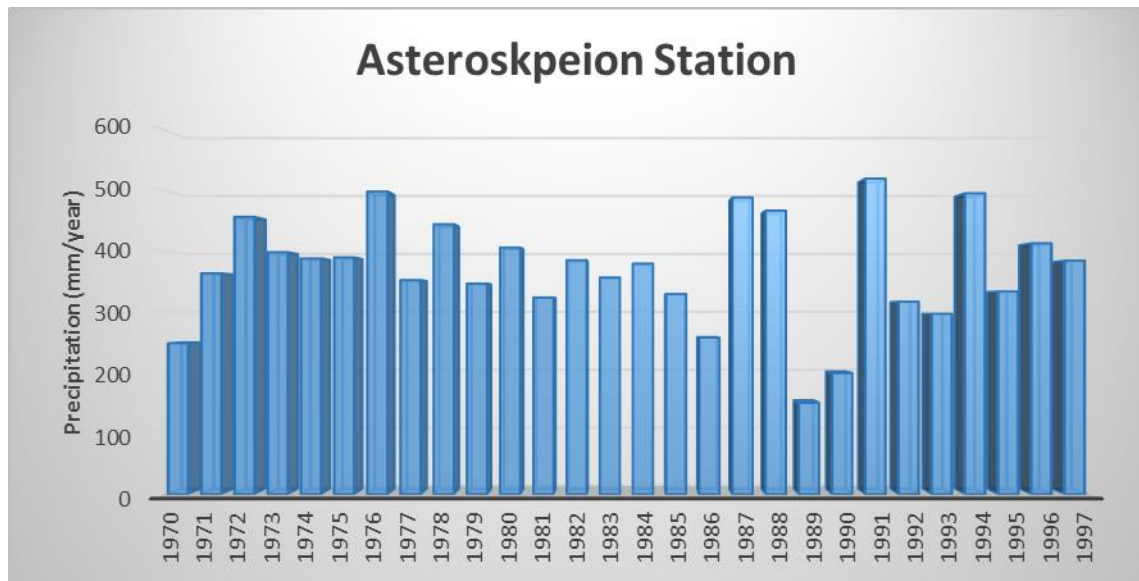


Διάγραμμα II. 5. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό του Αργοστολίου (1970 – 1997).

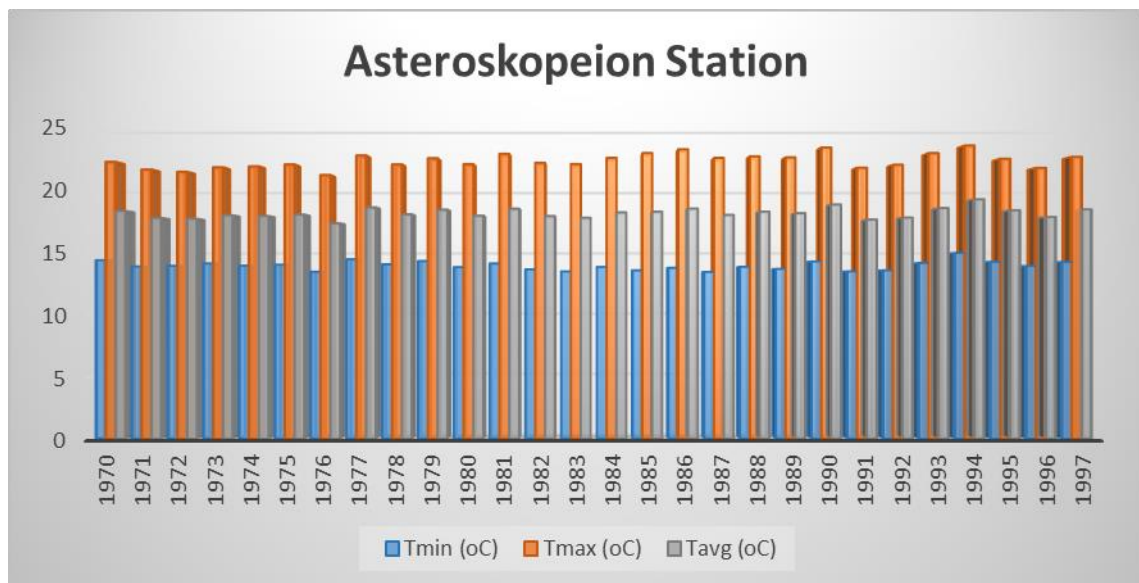


Διάγραμμα II. 6. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό του Αργοστολίου (1970 – 1997).



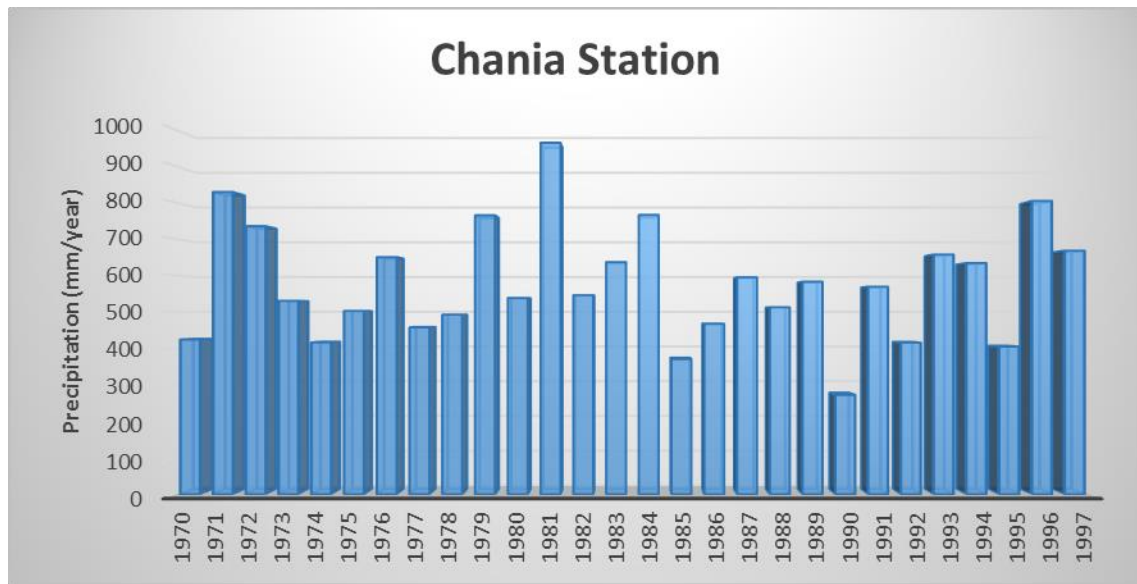


Διάγραμμα II. 7. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό του Αστεροσκοπείου (1970 – 1997).

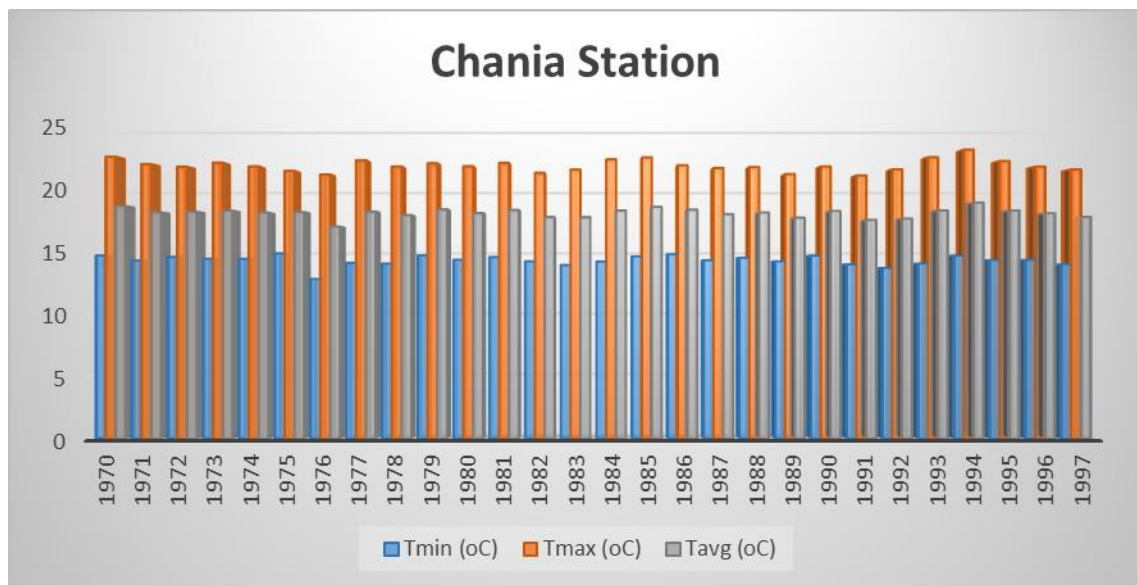


Διάγραμμα II. 8. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό του Αστεροσκοπείου (1970 – 1997).

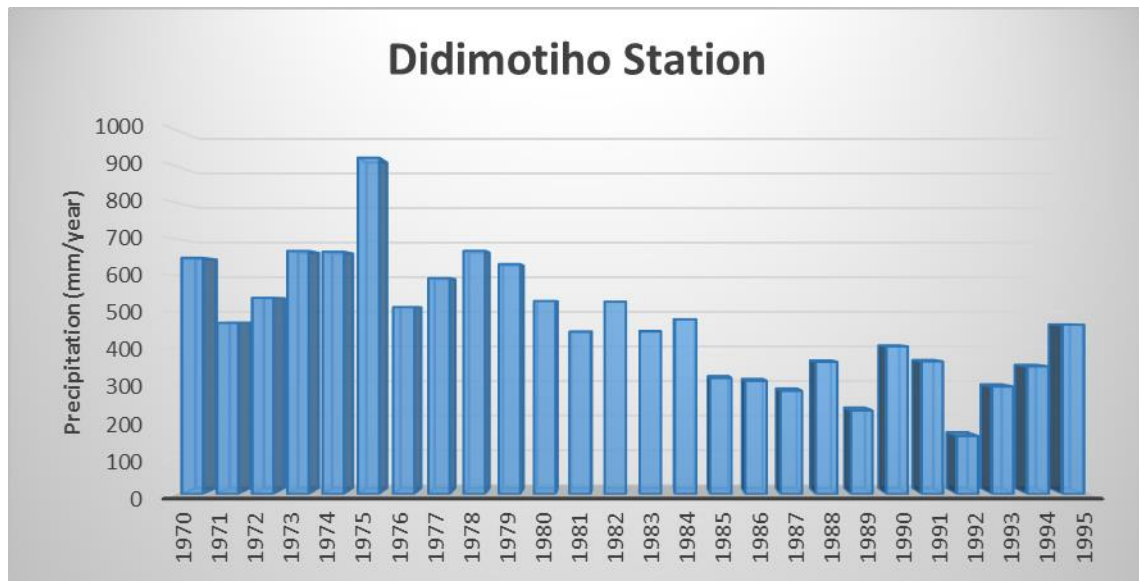




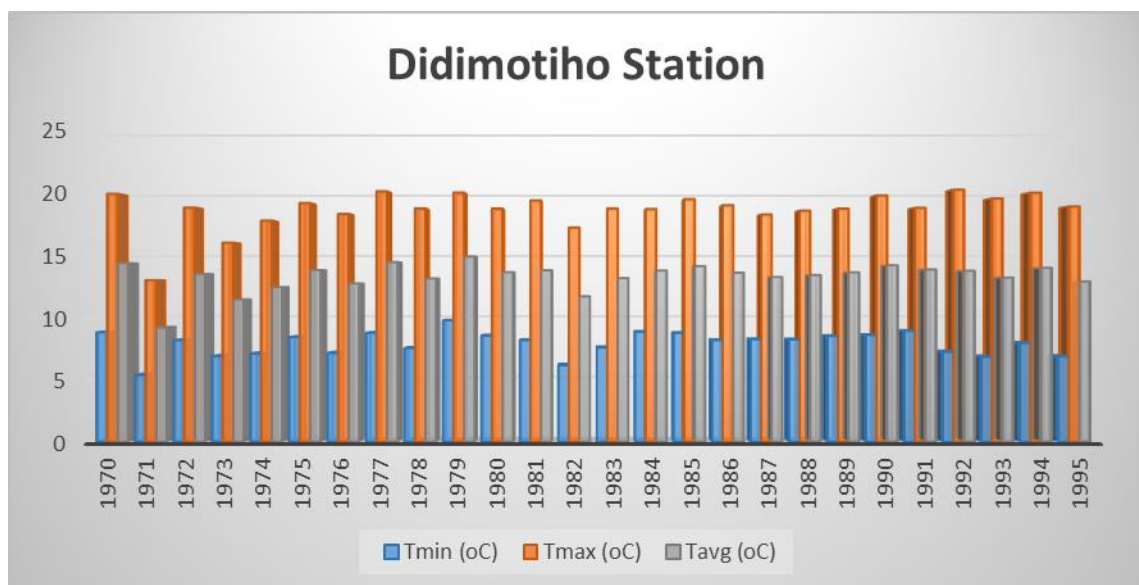
Διάγραμμα II. 9. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό των Χανίων (1970 – 1997).



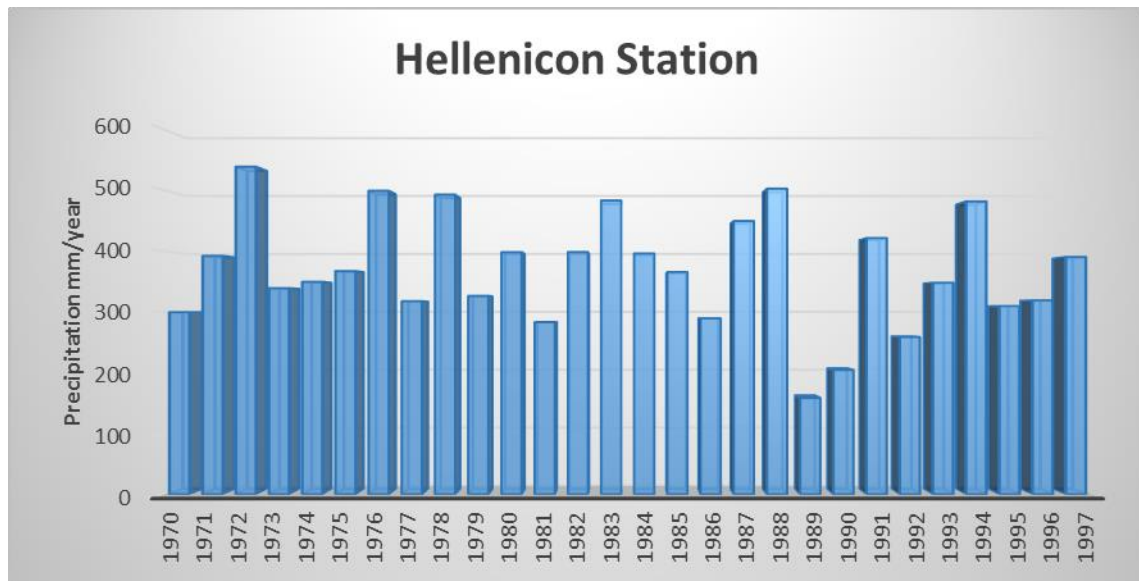
Διάγραμμα II. 10. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό του Αστεροσκοπείου (1970 – 1997).



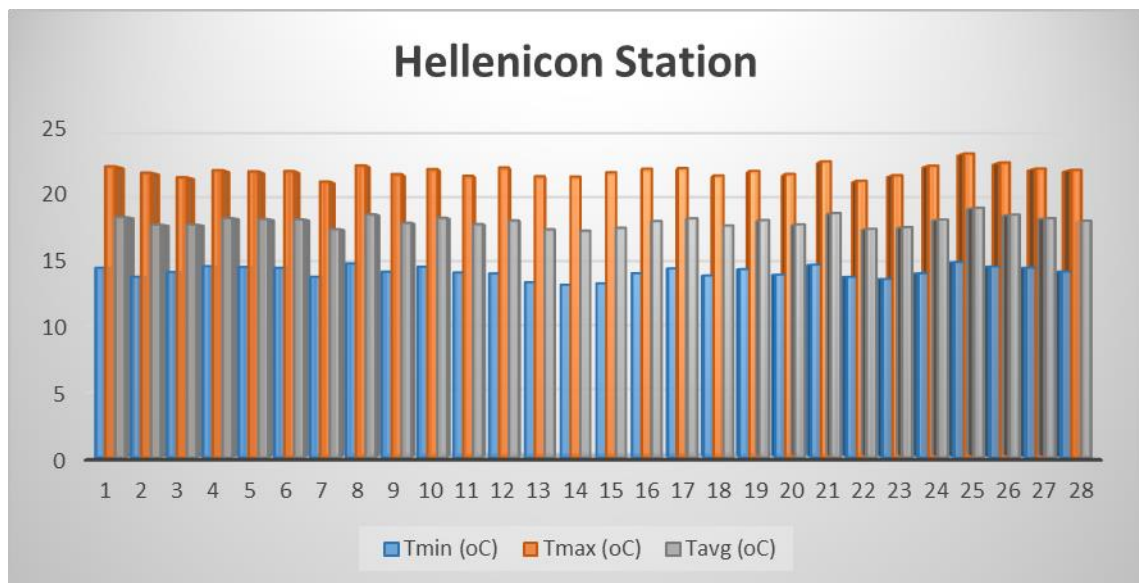
Διάγραμμα II. 11. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό του Διδυμοτείχου (1970 – 1995).



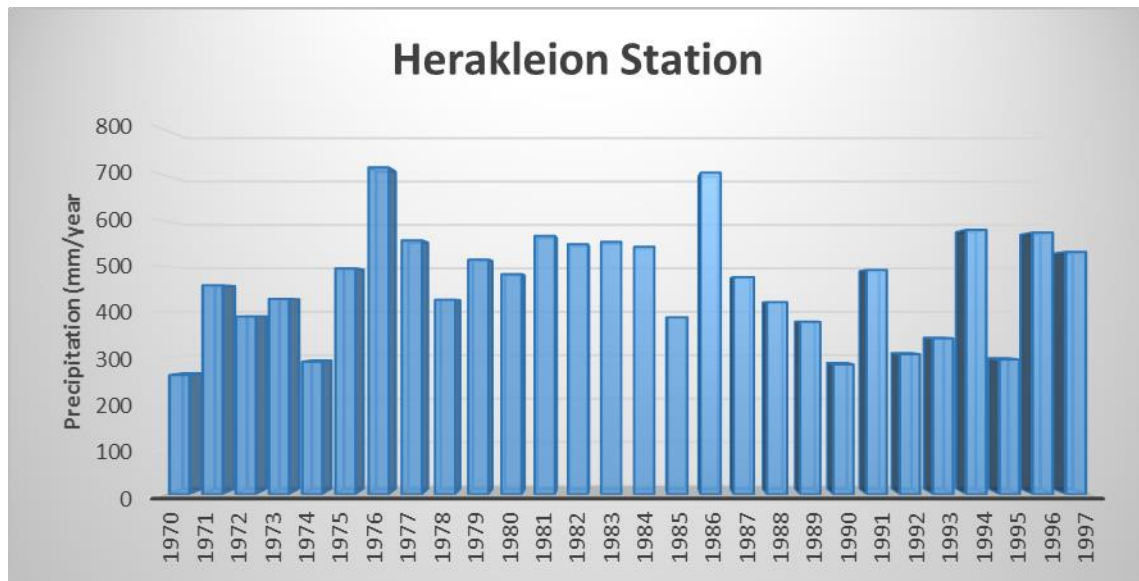
Διάγραμμα II. 12. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό του Διδυμοτείχου (1970 – 1995).



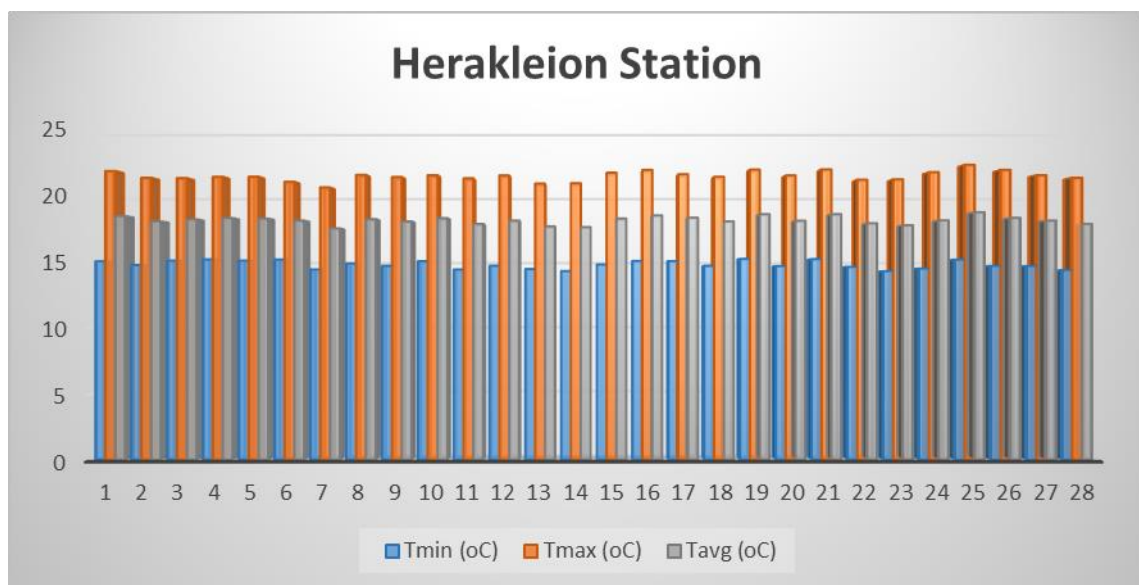
Διάγραμμα II. 13. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό του Ελληνικού (1970 – 1997).



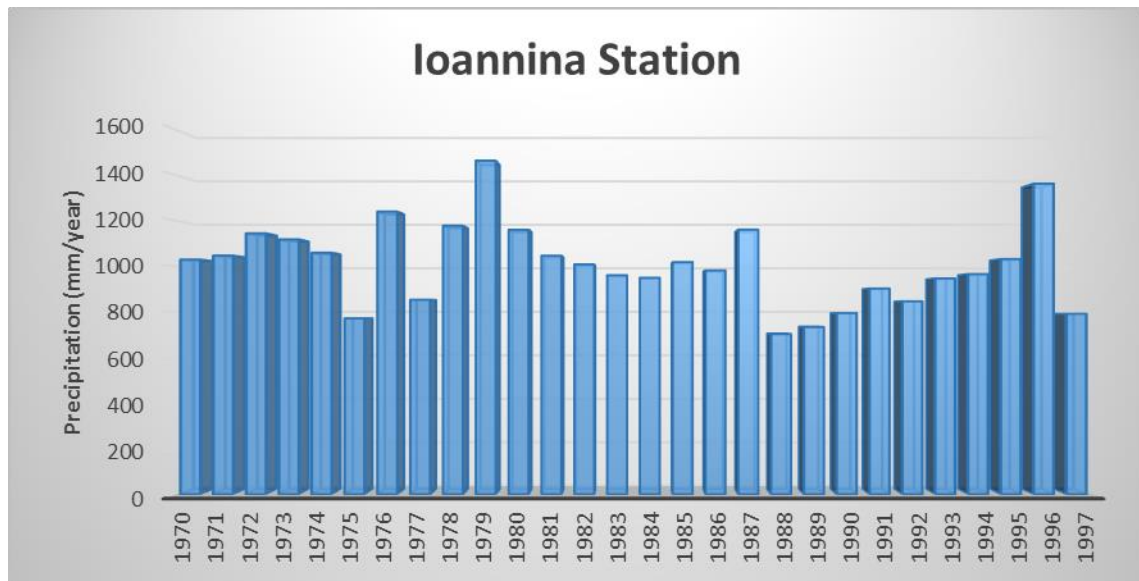
Διάγραμμα II. 14. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό του Ελληνικού (1970 – 1997).



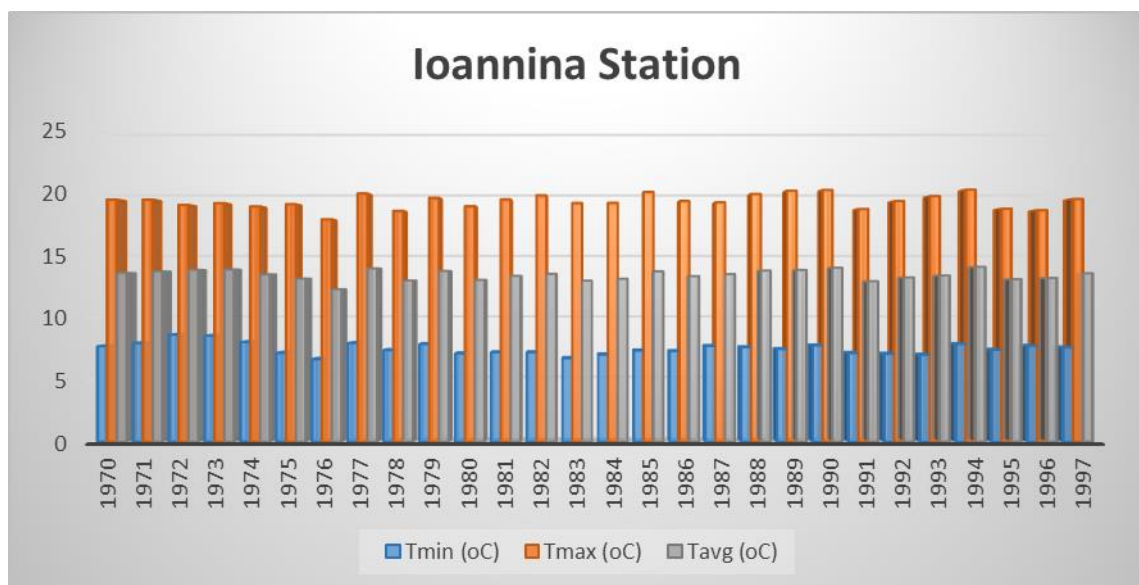
Διάγραμμα II. 15. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό του Ηρακλείου (1970 – 1997).



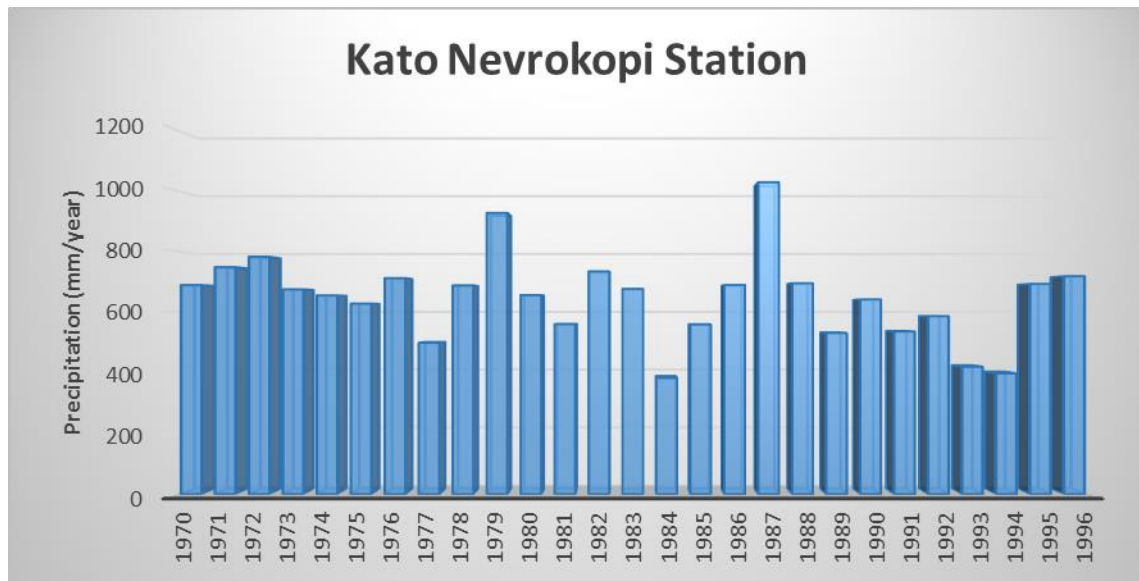
Διάγραμμα II. 16. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό του Ηρακλείου (1970 – 1997).



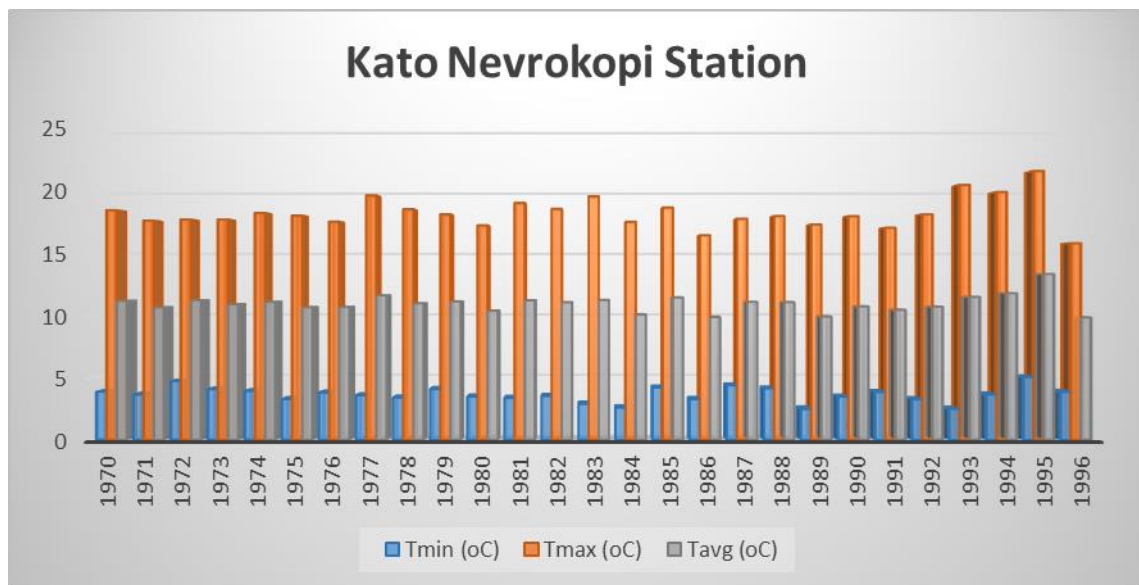
Διάγραμμα II. 17. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό των Ιωαννίνων (1970 – 1997).



Διάγραμμα II. 18. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό των Ιωαννίνων (1970 – 1997).

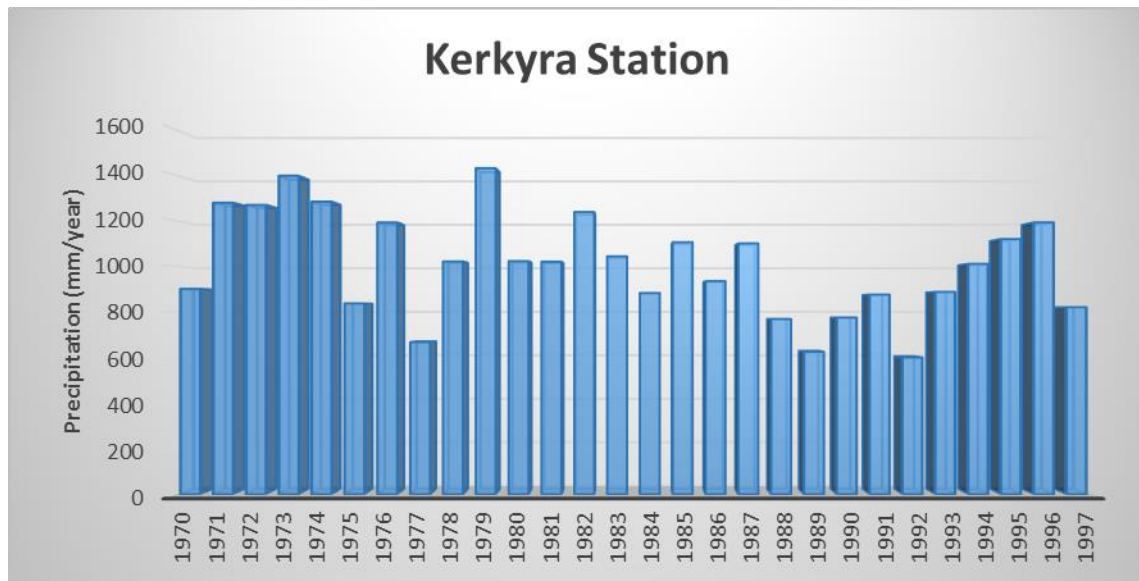


Διάγραμμα II. 19. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό του Κάτω Νευροκοπίου (1970 – 1996).

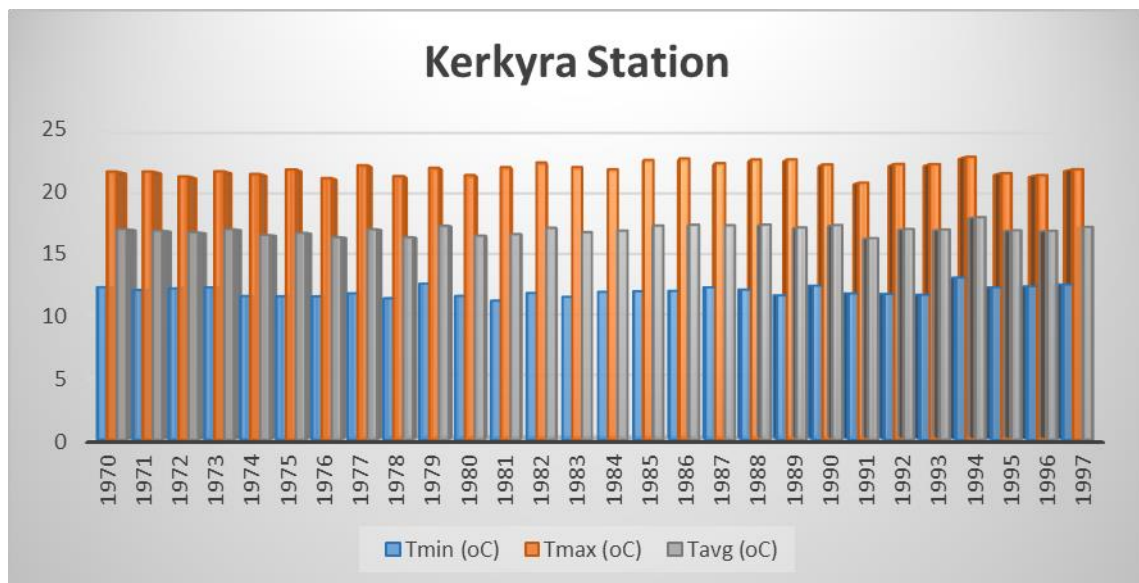


Διάγραμμα II. 20. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό του Κάτω Νευροκοπίου (1970 – 1996).

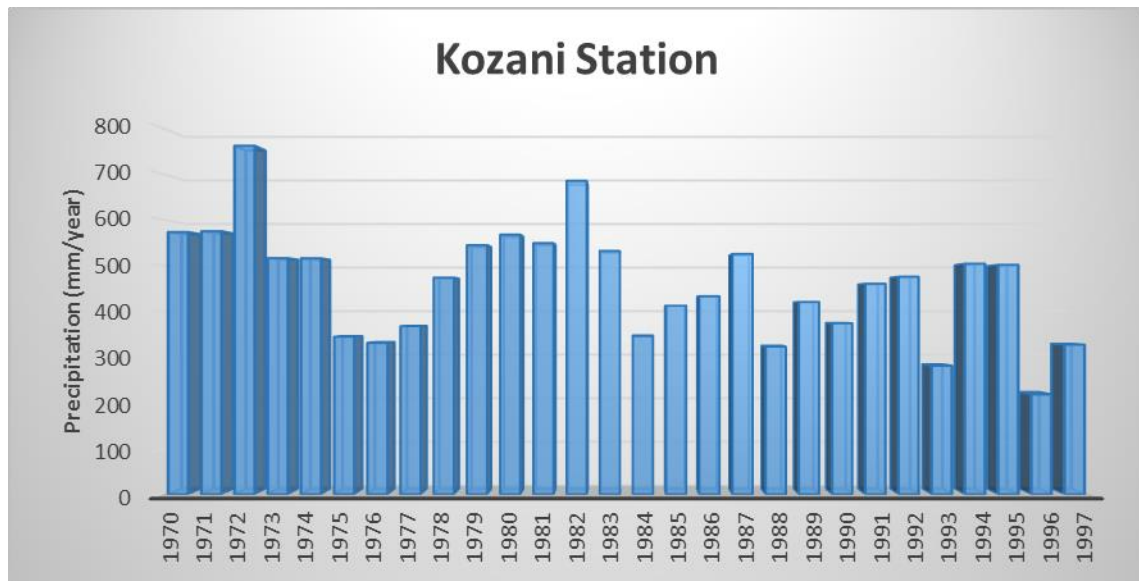




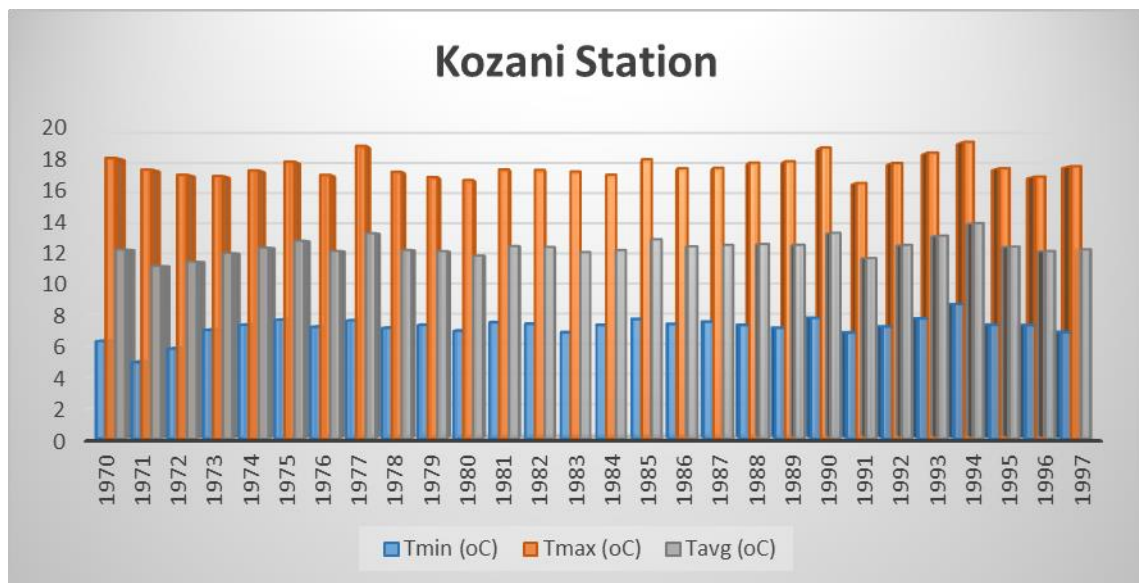
Διάγραμμα II. 21. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Κέρκυρας (1970 – 1997).



Διάγραμμα II. 22. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Κέρκυρας (1970 – 1996).

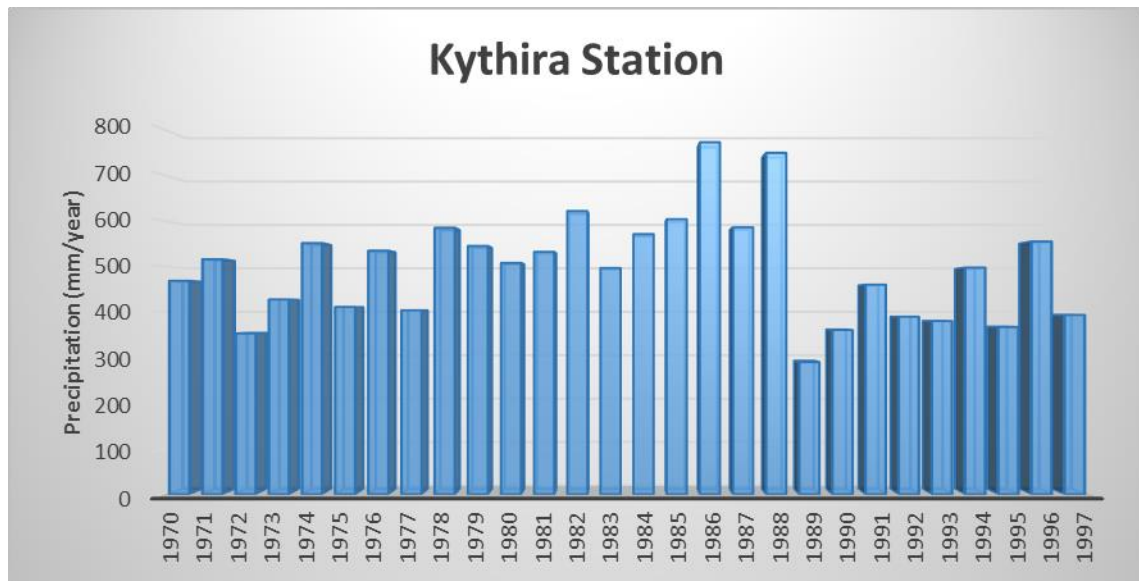


Διάγραμμα II. 23. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Κοζάνης (1970 – 1997).

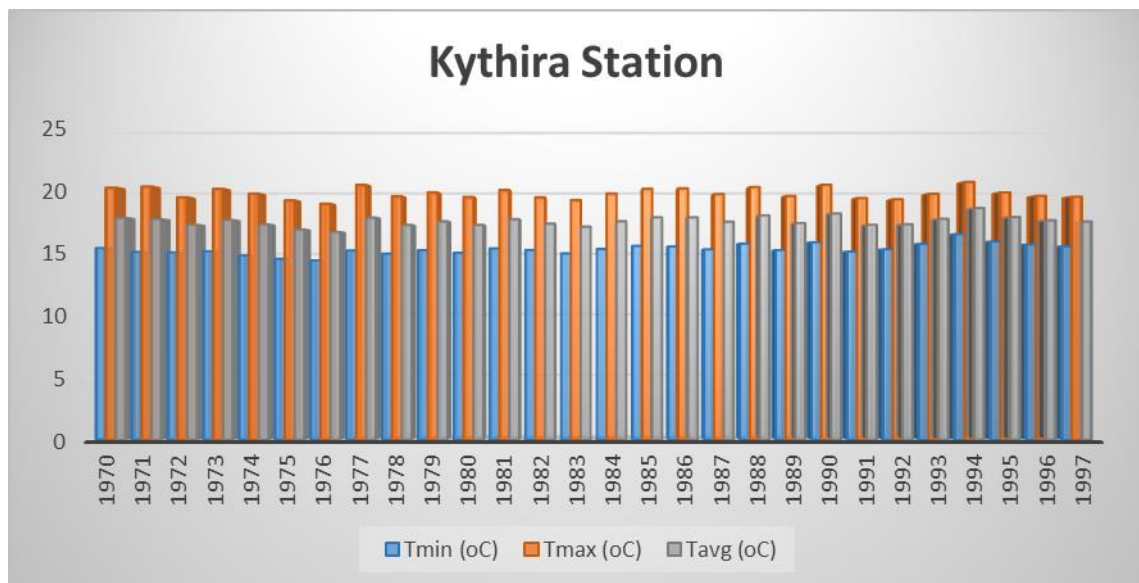


Διάγραμμα II. 24. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Κοζάνης (1970 – 1996).

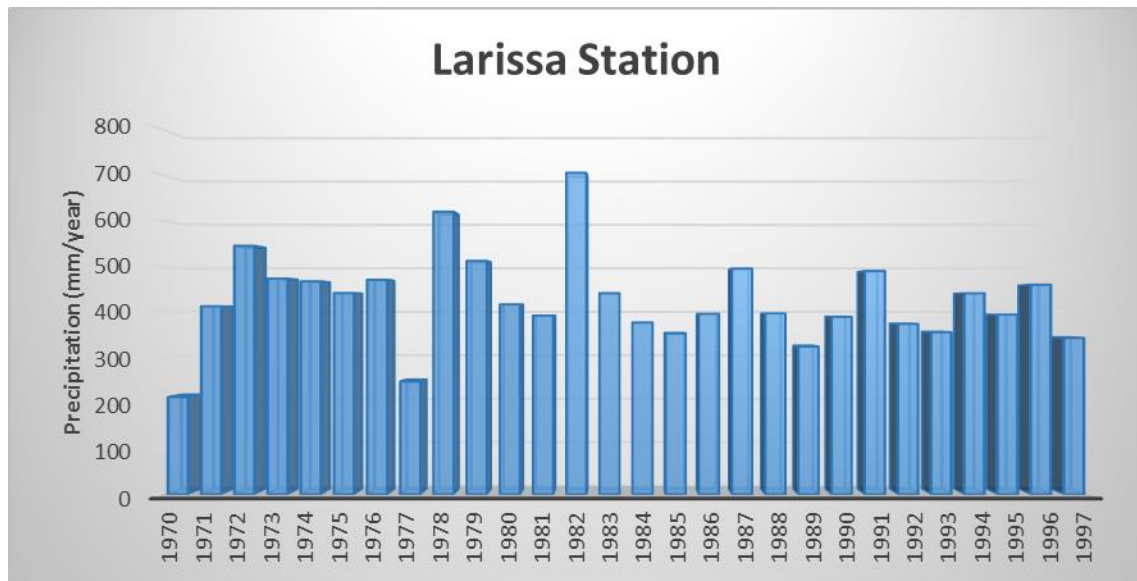




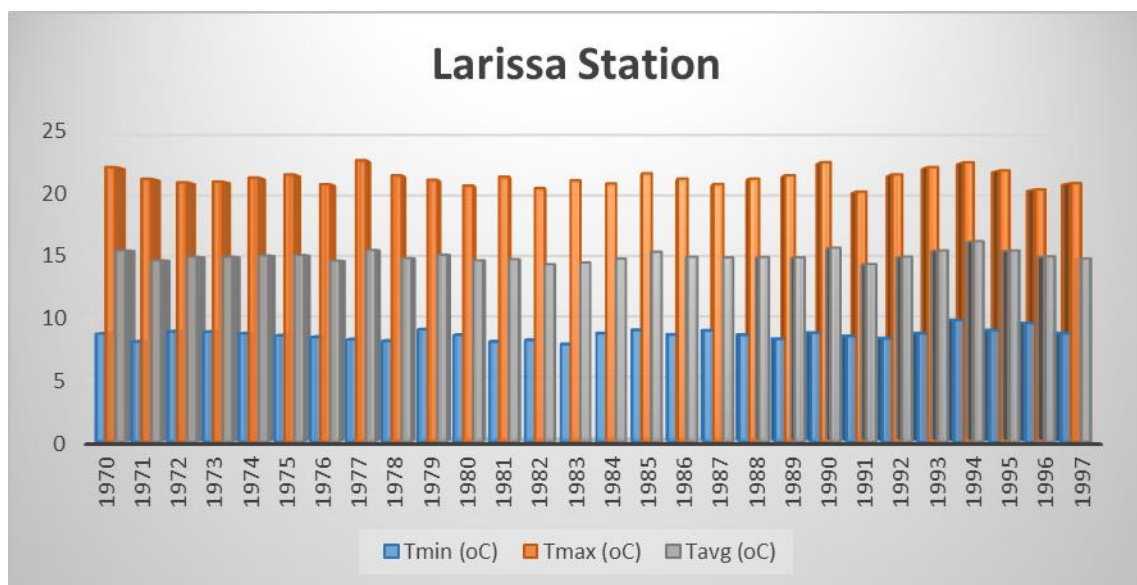
Διάγραμμα II. 25. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό των Κυθήρων (1970 – 1997).



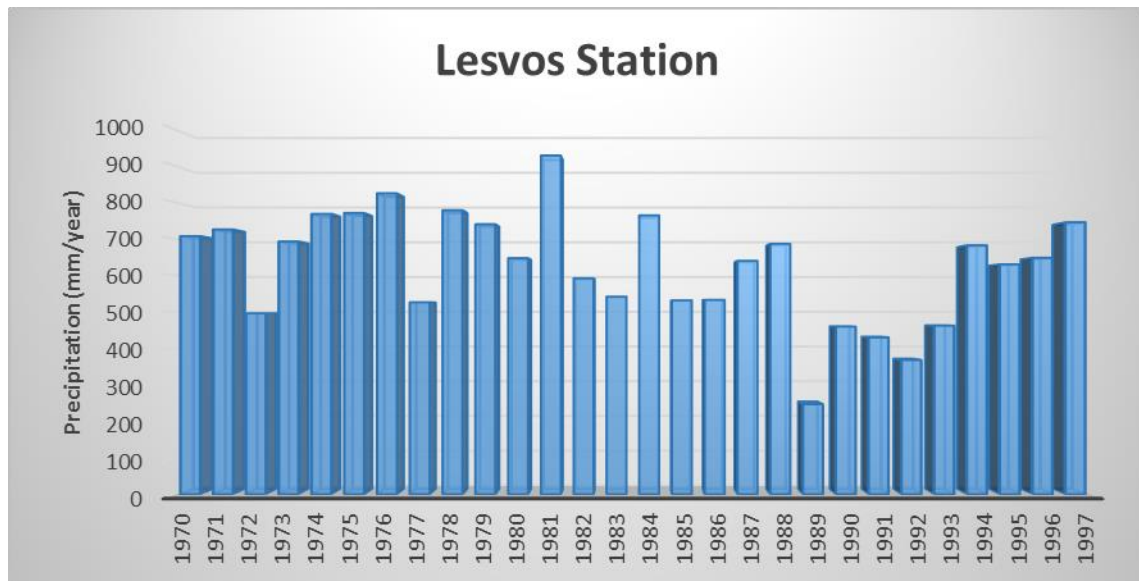
Διάγραμμα II. 26. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό των Κυθήρων (1970 – 1996).



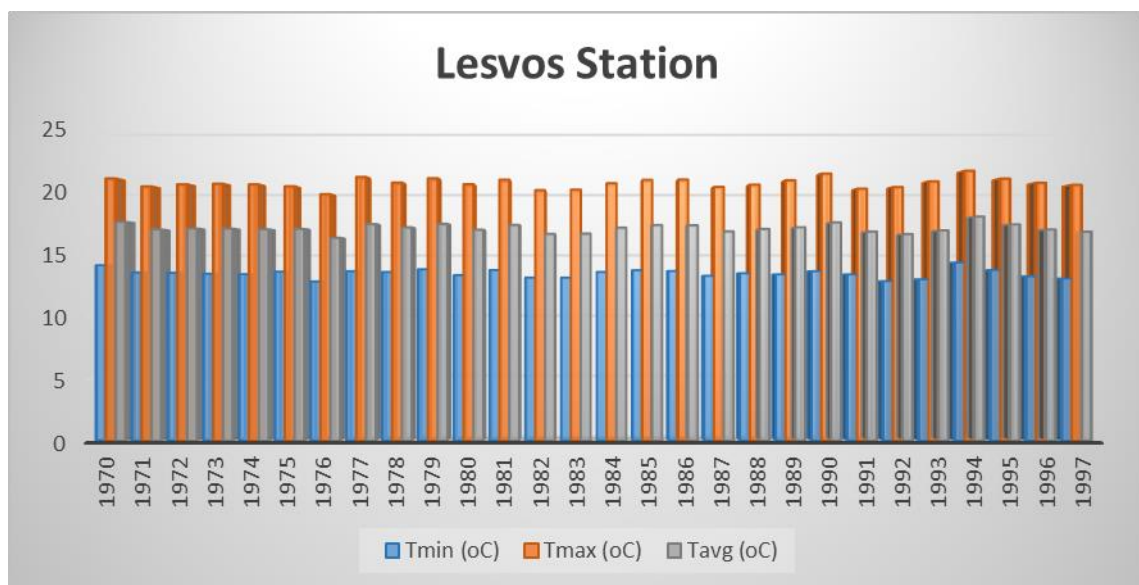
Διάγραμμα II. 27. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Λάρισας (1970 – 1997).



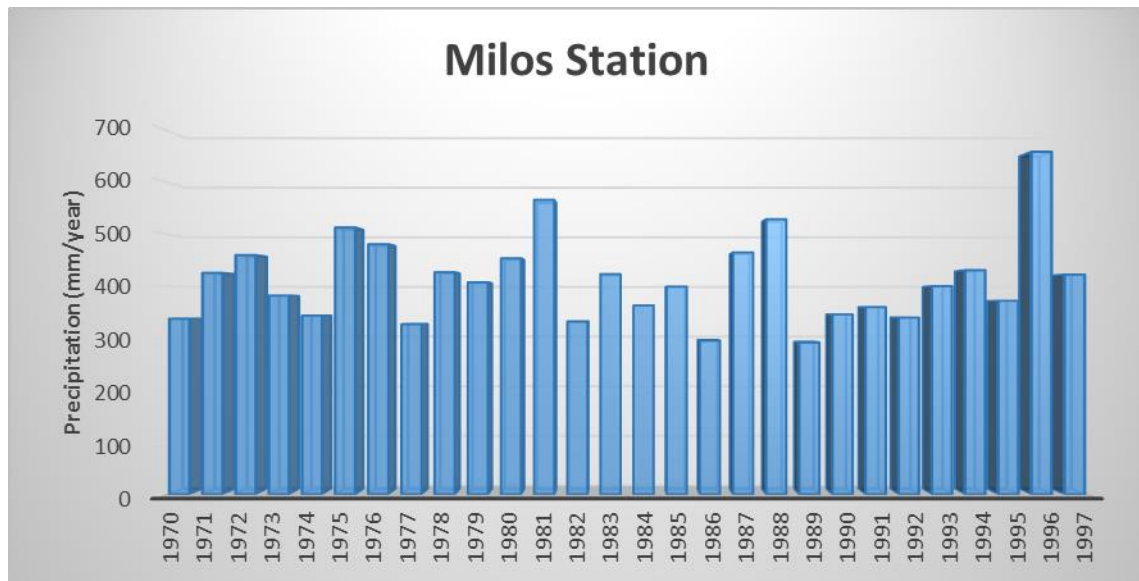
Διάγραμμα II. 28. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Λάρισας (1970 – 1996).



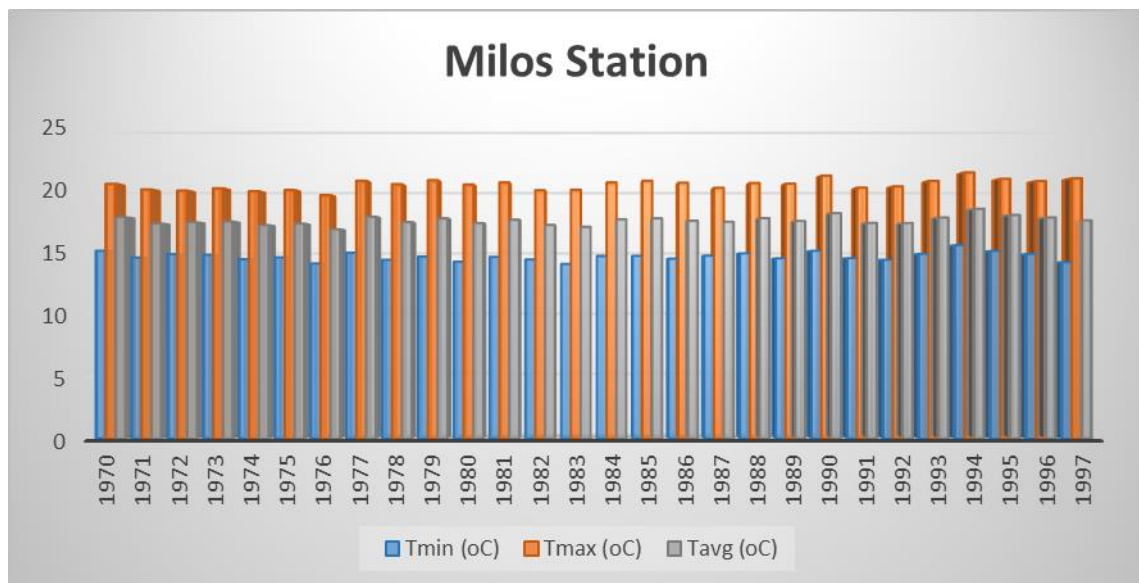
Διάγραμμα II. 29. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Λέσβου (1970 – 1997).



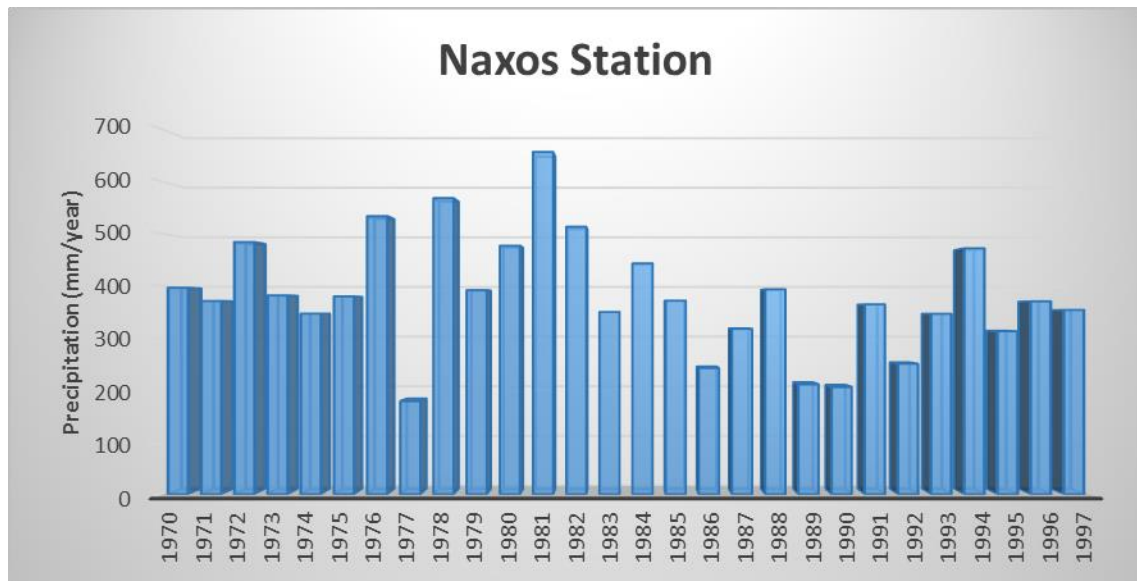
Διάγραμμα II. 30. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Λέσβου (1970 – 1996).



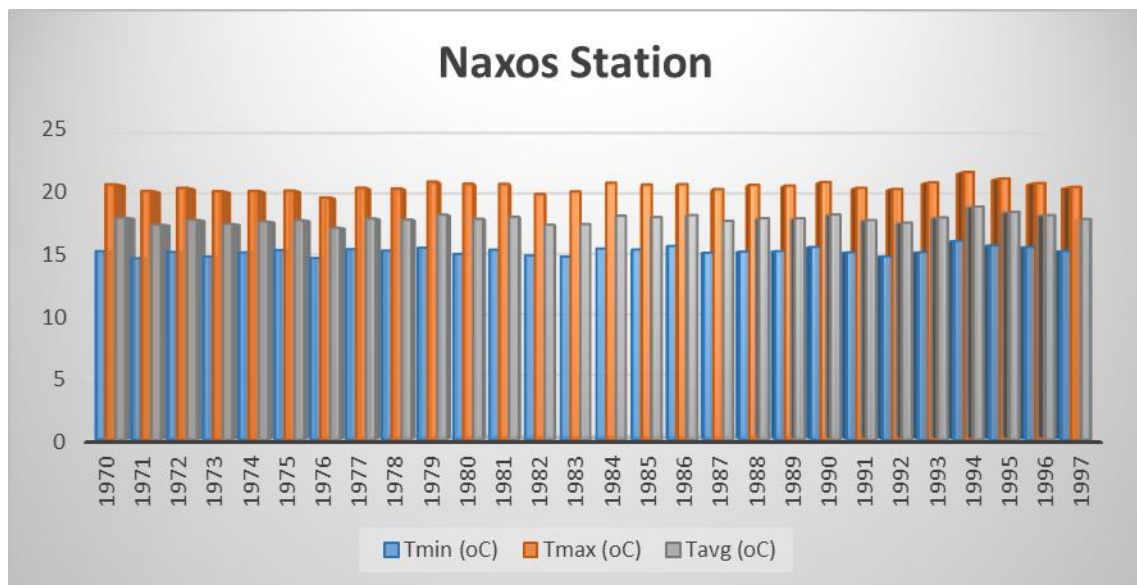
Διάγραμμα II. 31. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Μήλου (1970 – 1997).



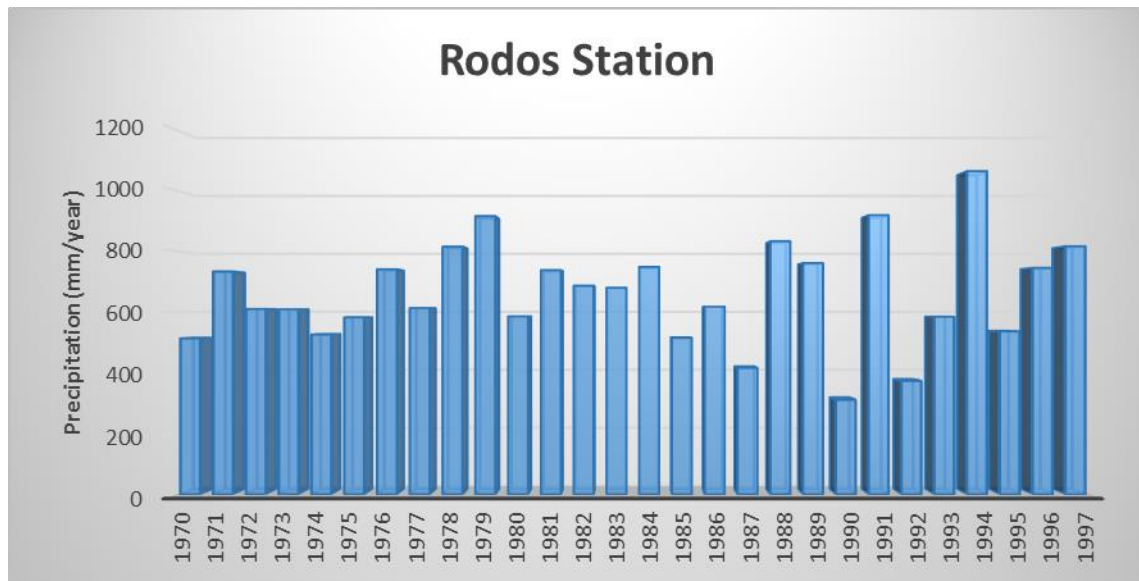
Διάγραμμα II. 32. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Μήλου (1970 – 1996).



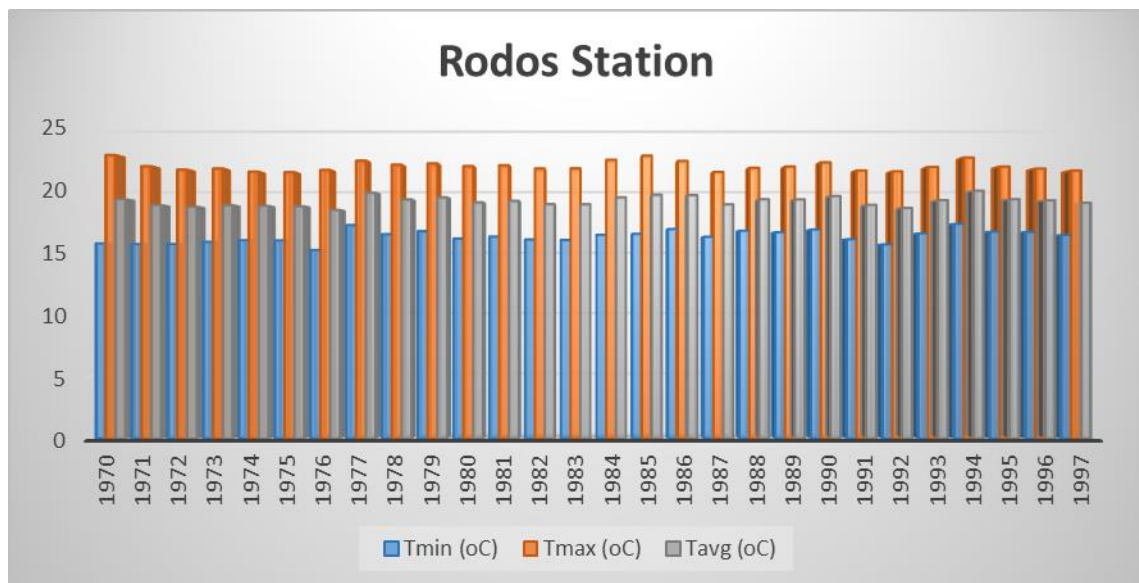
Διάγραμμα II. 33. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Νάξου (1970 – 1997).



Διάγραμμα II. 34. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Νάξου (1970 – 1996).

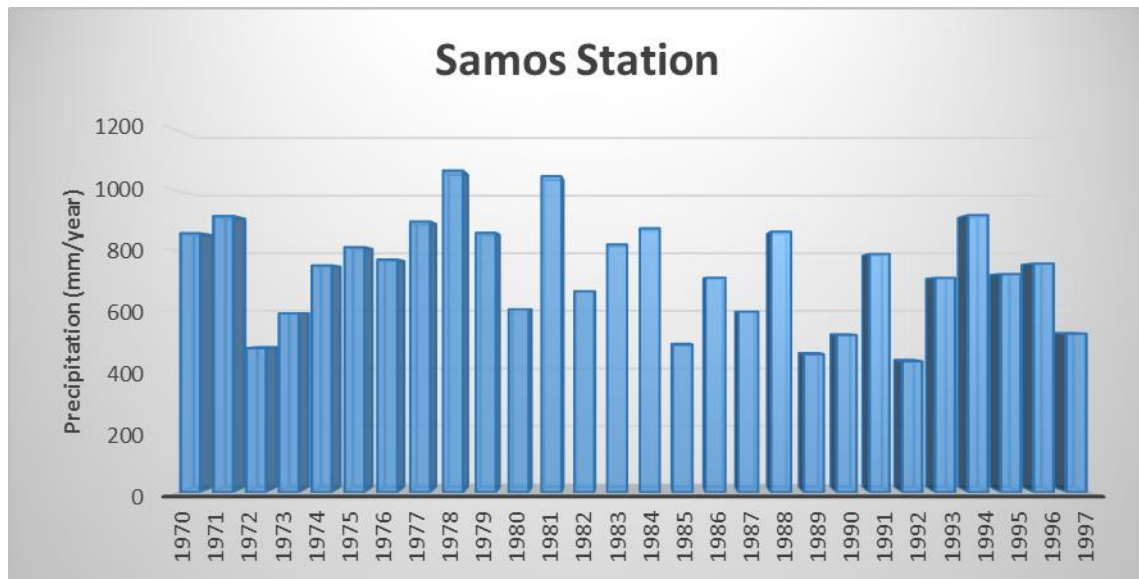


Διάγραμμα II. 35. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Ρόδου (1970 – 1997).

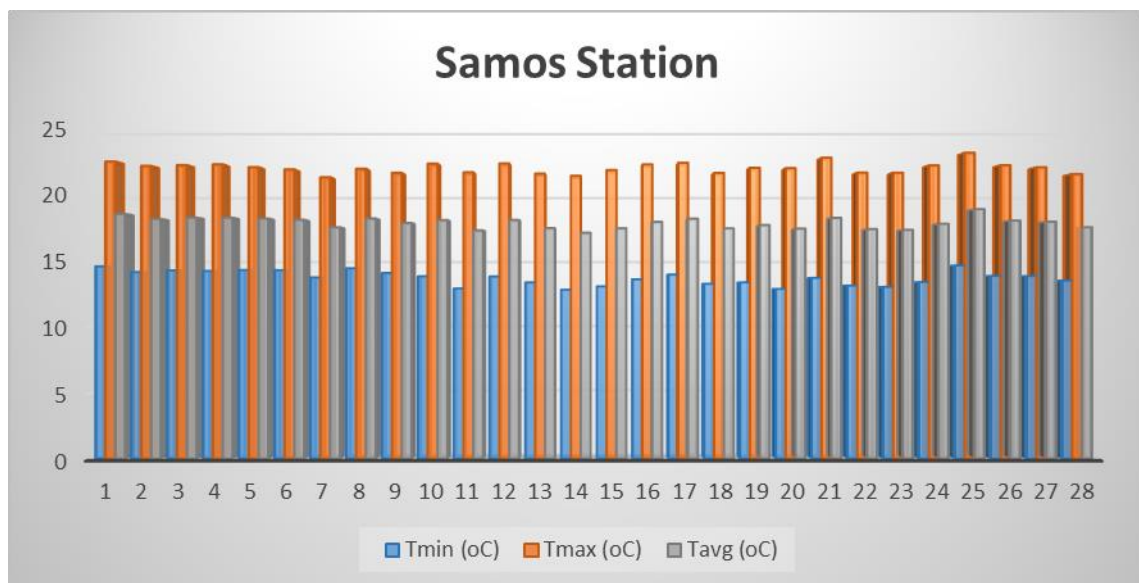


Διάγραμμα II. 36. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Ρόδου (1970 – 1996).

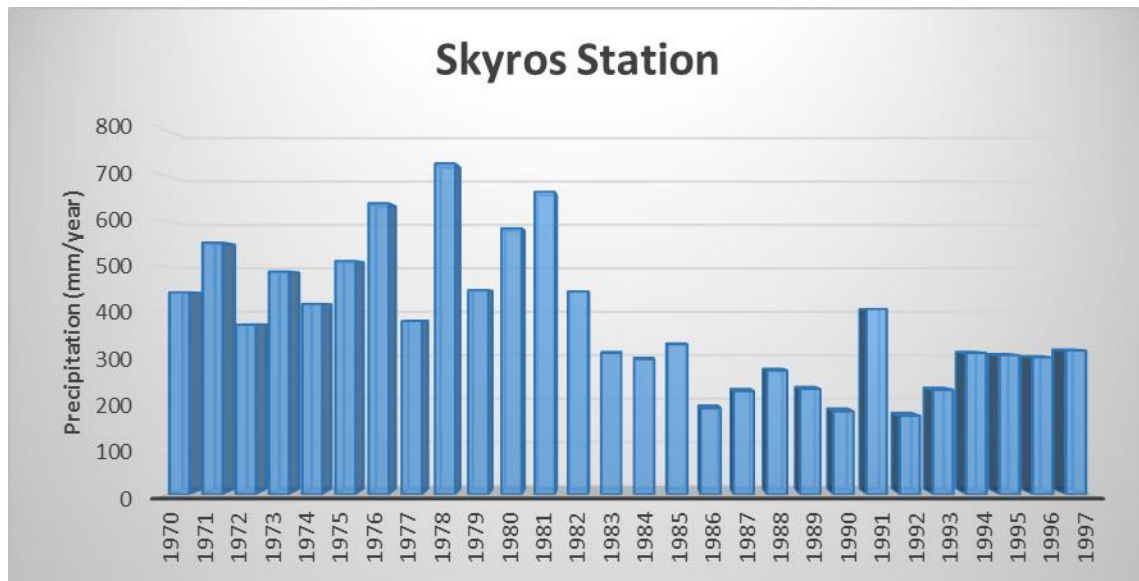




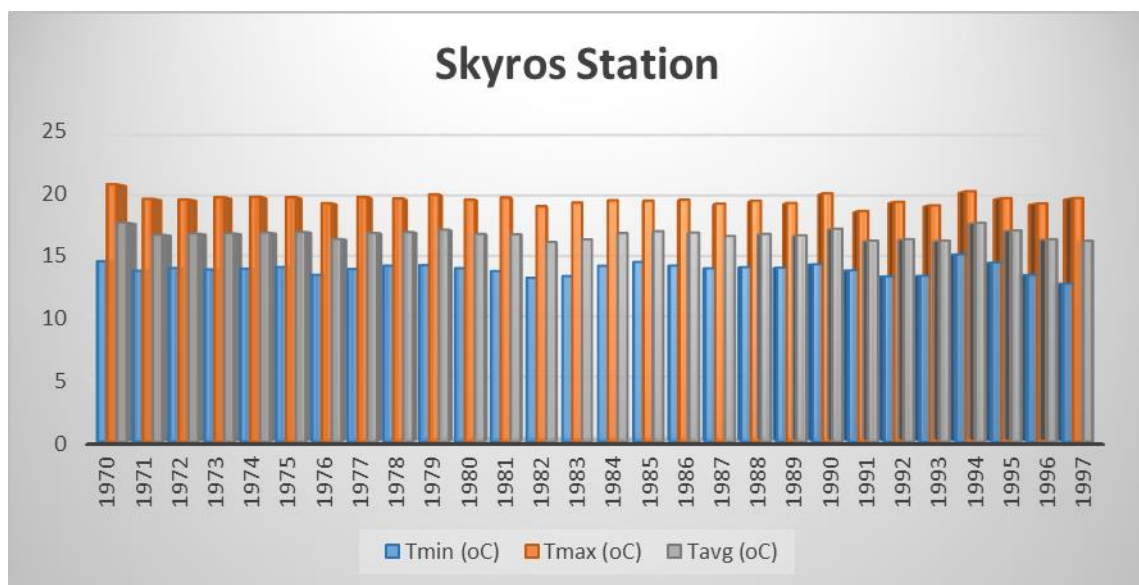
Διάγραμμα II. 37. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Σάμου (1970 – 1997).



Διάγραμμα II. 38. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Σάμου (1970 – 1996).

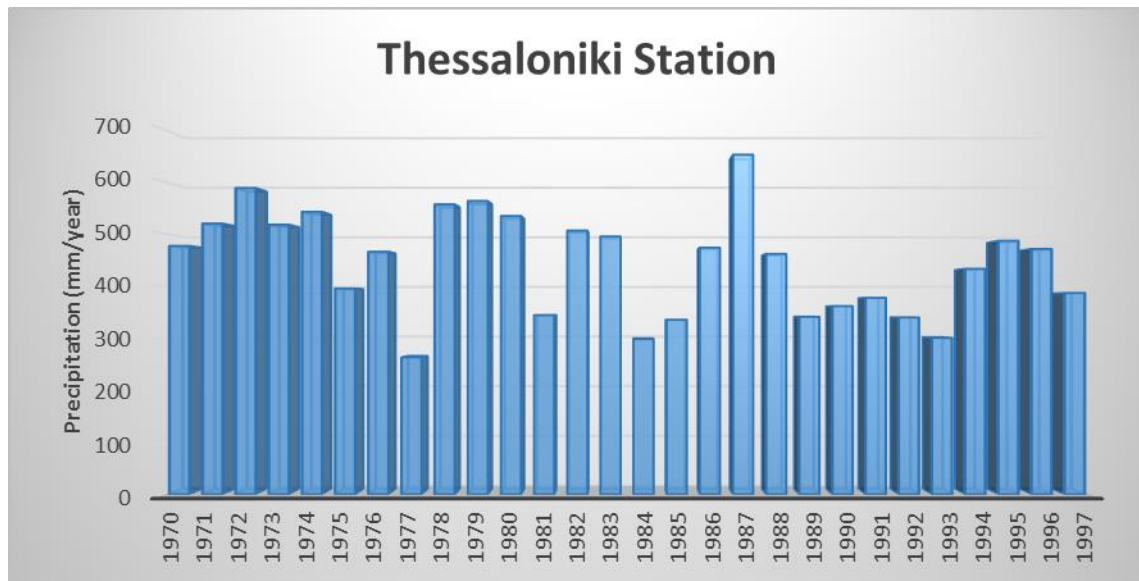


Διάγραμμα II. 39. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Σκύρου (1970 – 1997).

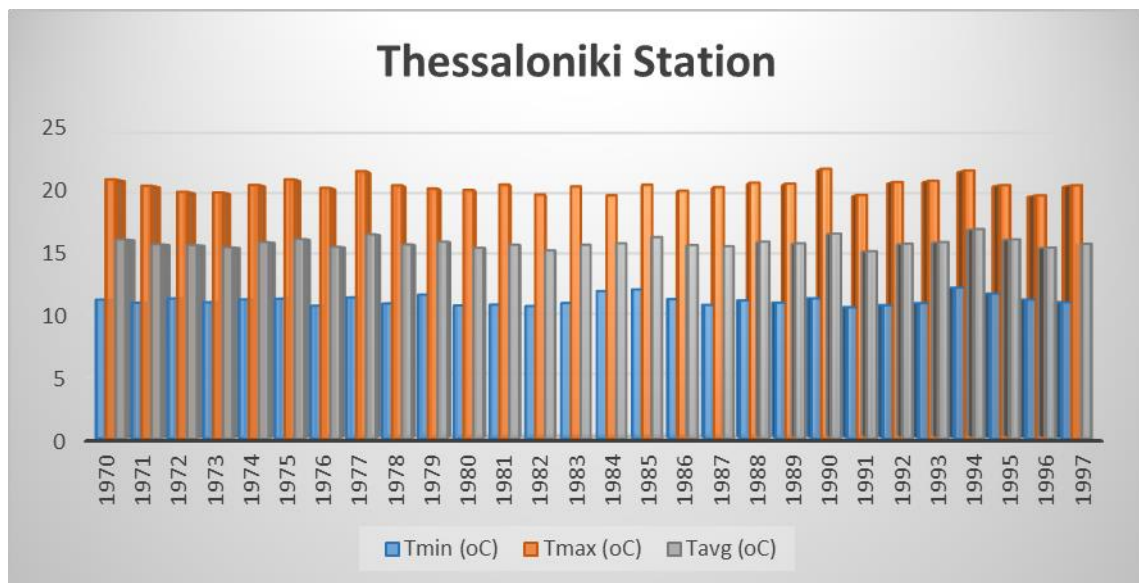


Διάγραμμα II. 40. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Σκύρου (1970 – 1996).

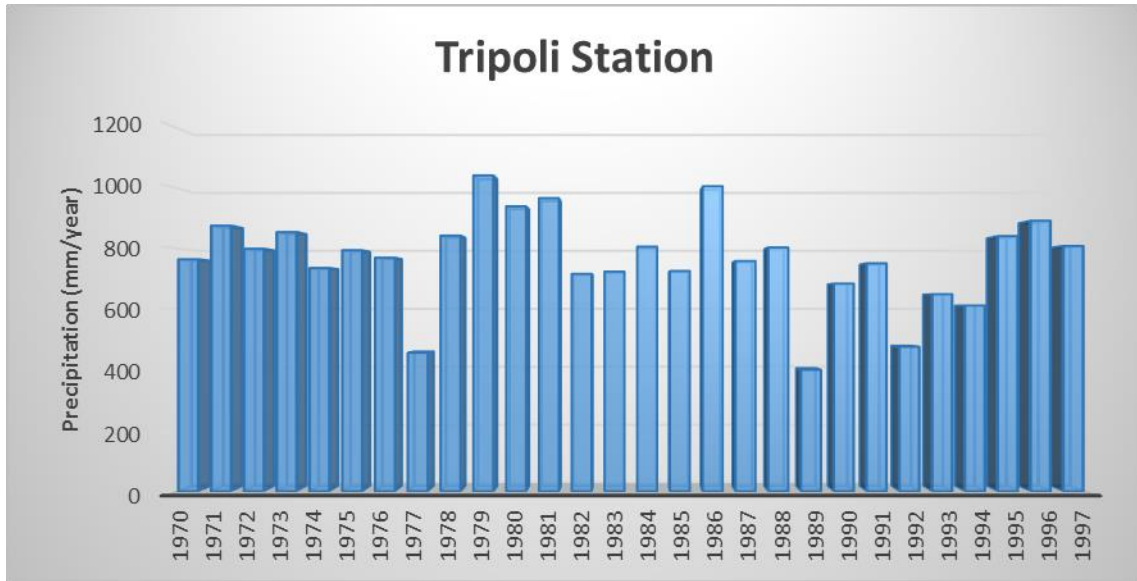




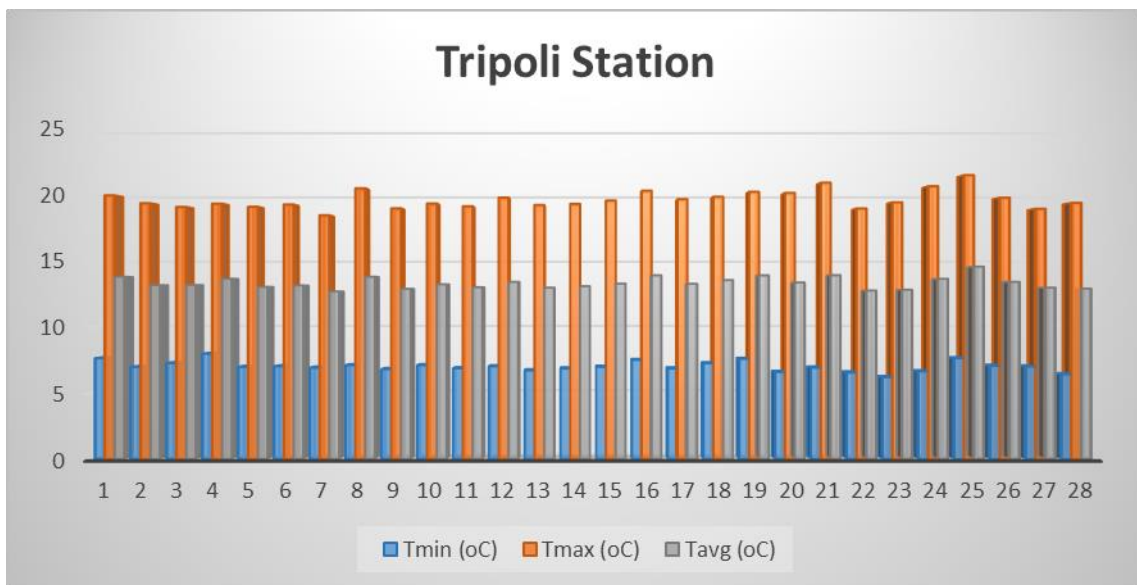
Διάγραμμα II. 41. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Θεσσαλονίκης (1970 – 1997).



Διάγραμμα II. 42. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Θεσσαλονίκης (1970 – 1996).



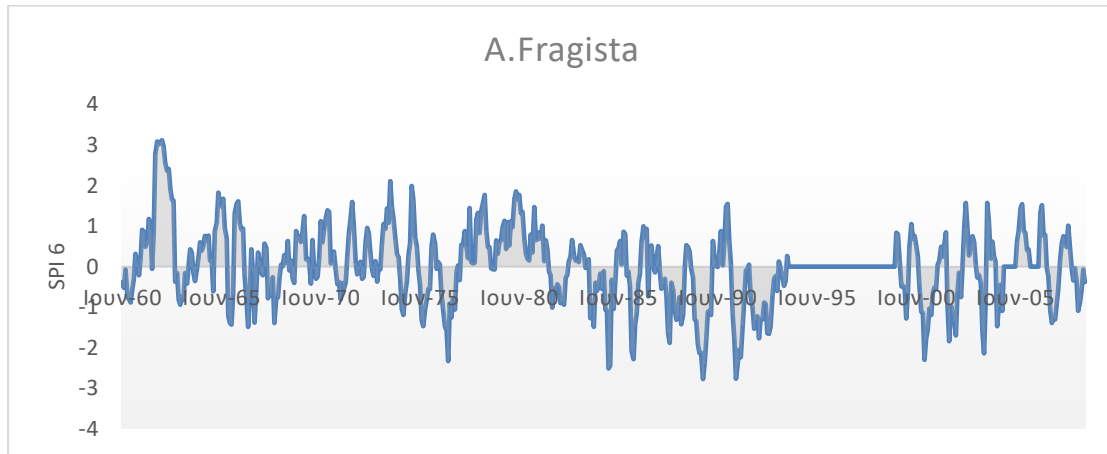
Διάγραμμα II. 43. Ετήσια βροχόπτωση για τον σταθμό της Τρίπολης (1970 – 1997).



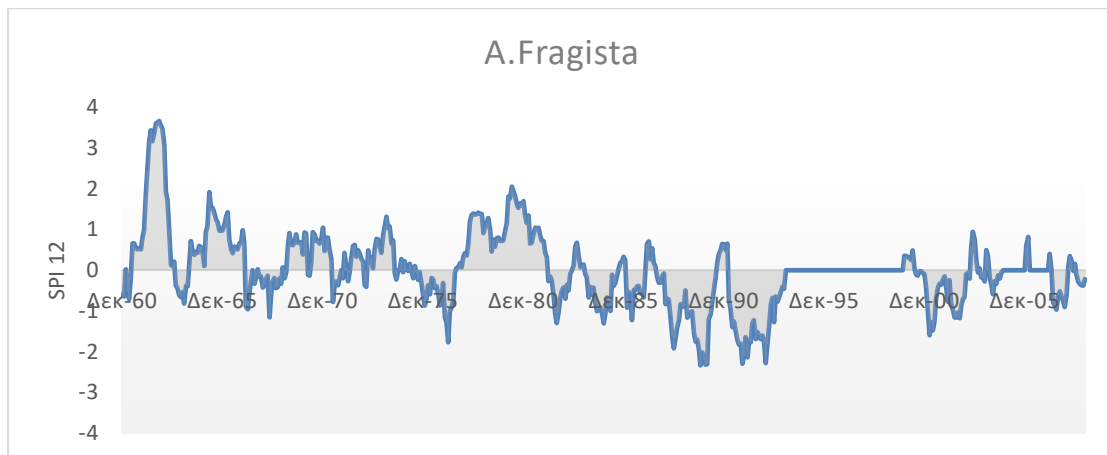
Διάγραμμα II. 44. Μέσος όρος μέσης ελάχιστης, μέσης μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Τρίπολης (1970 – 1996).

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ:

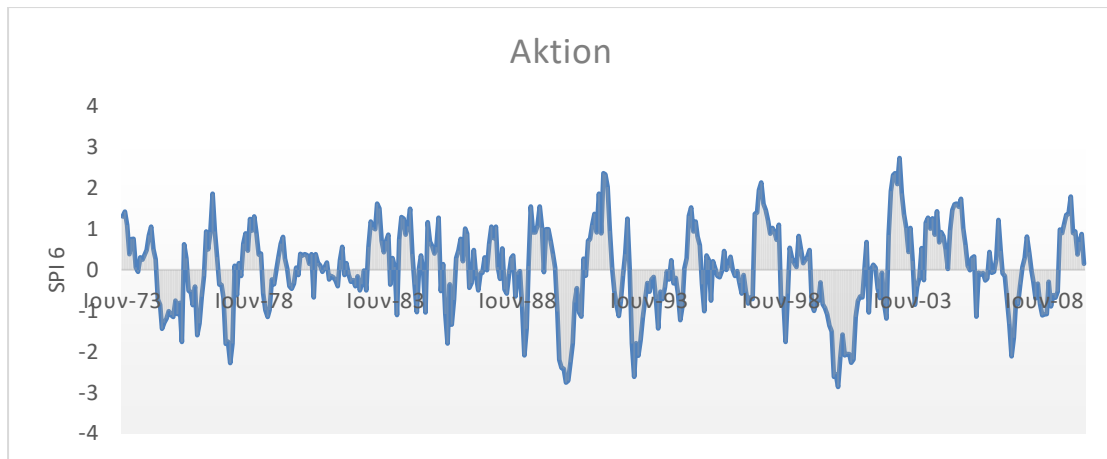
### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ SPI 6 & 12



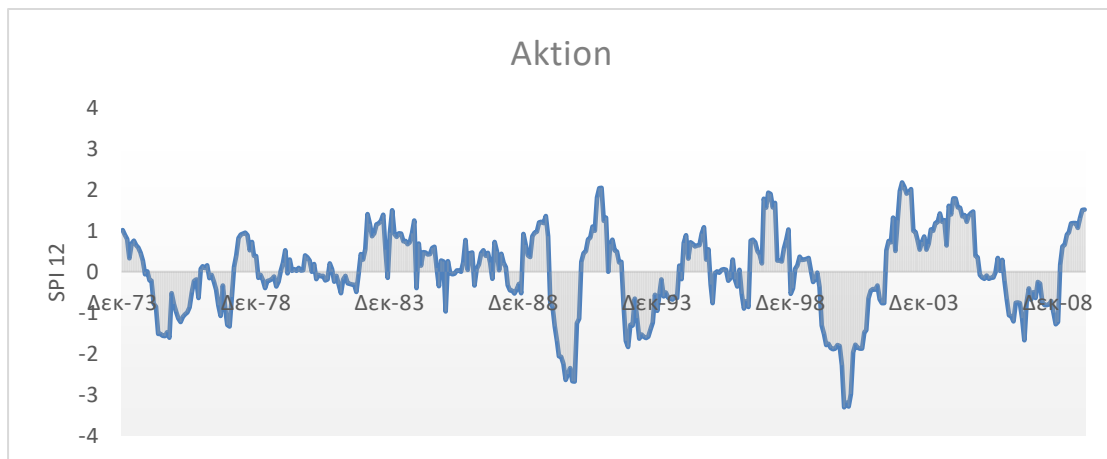
Διάγραμμα ΙΙΙ. 1. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Α. Φραγκίστα.



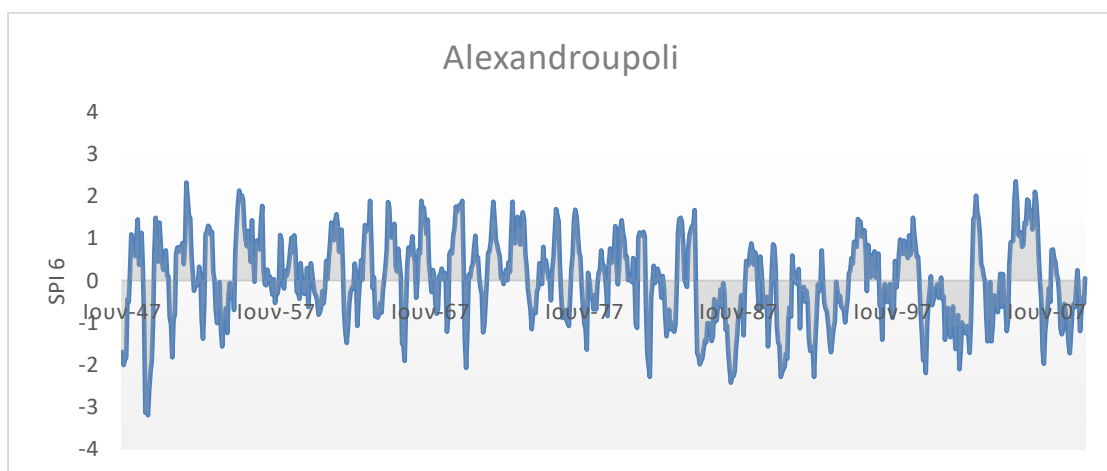
Διάγραμμα ΙΙΙ. 2. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Α. Φραγκίστα.



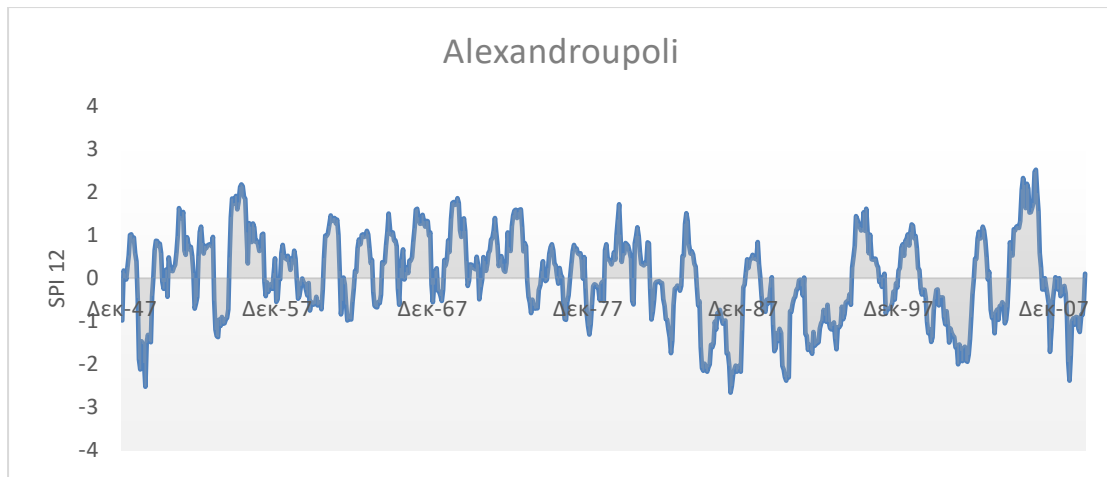
Διάγραμμα III. 3. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Ακτίου.



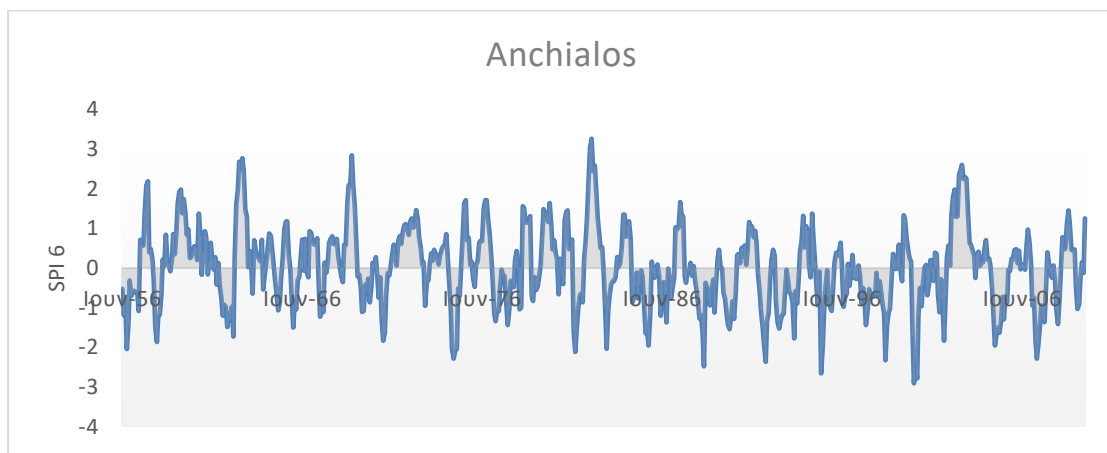
Διάγραμμα III. 4. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Ακτίου.



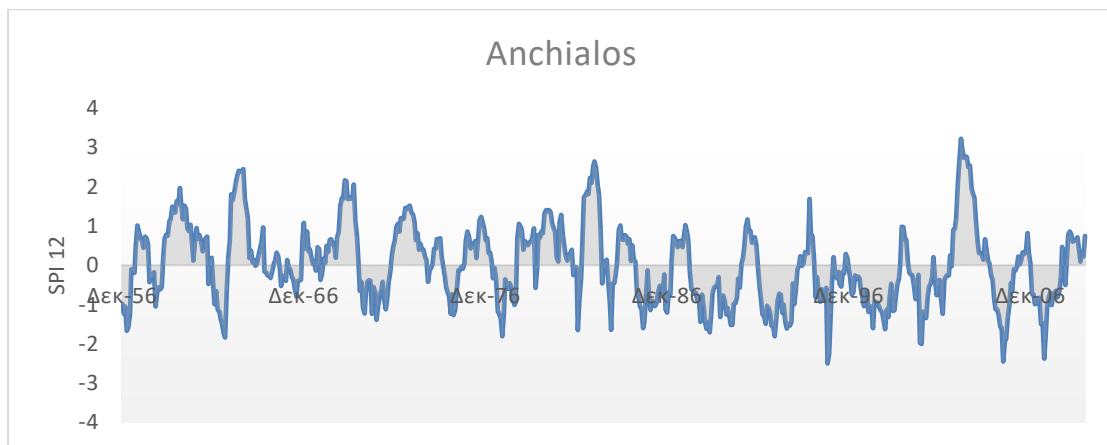
Διάγραμμα III. 5. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Αλεξανδρούπολης.



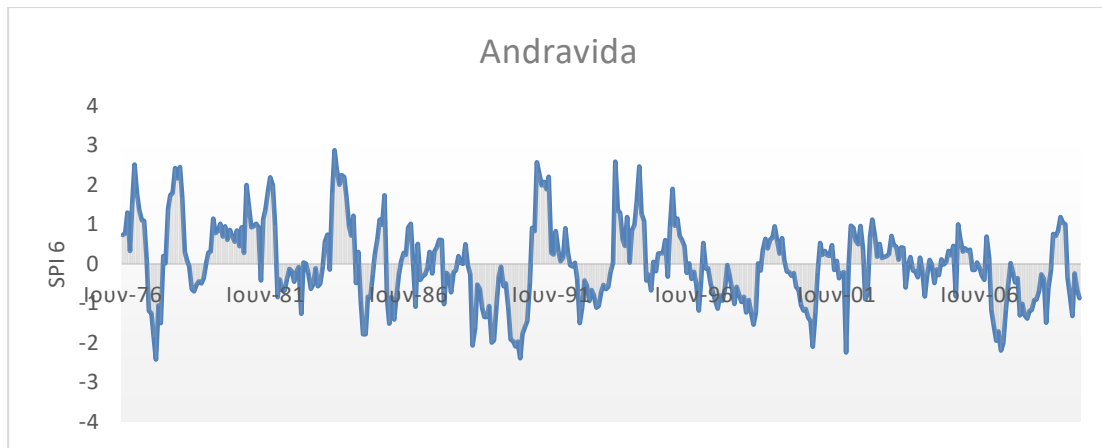
Διάγραμμα III. 6. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Αλεξανδρούπολης.



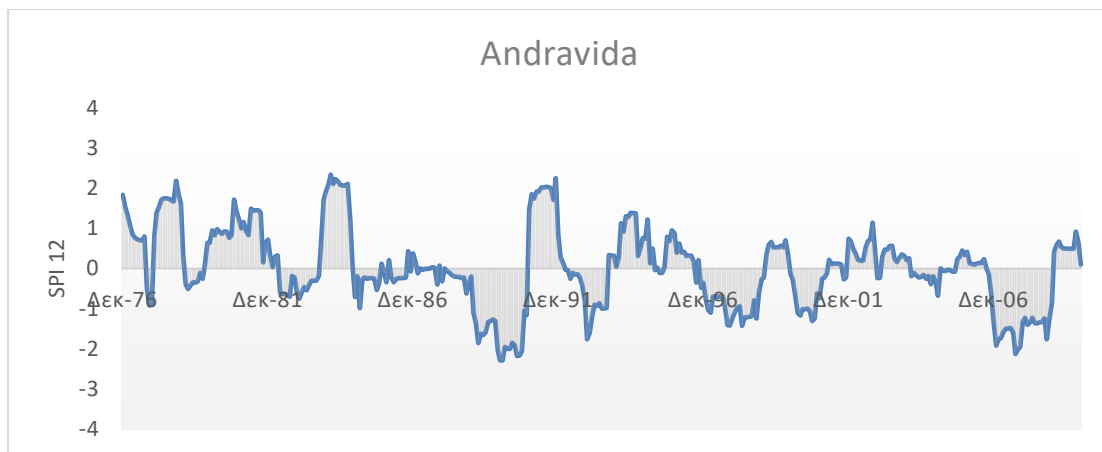
Διάγραμμα III. 7. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Αγκιάλου.



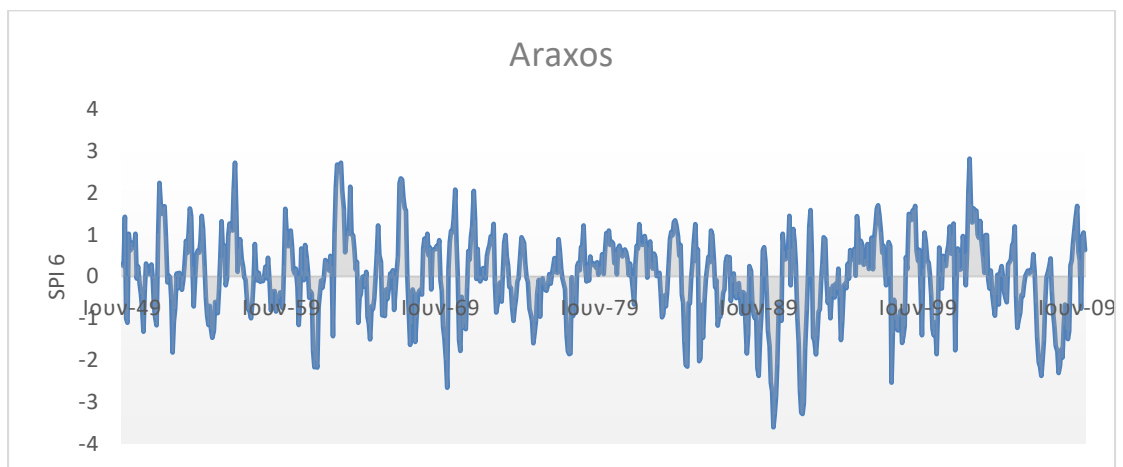
Διάγραμμα III. 8. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Αγκιάλου.



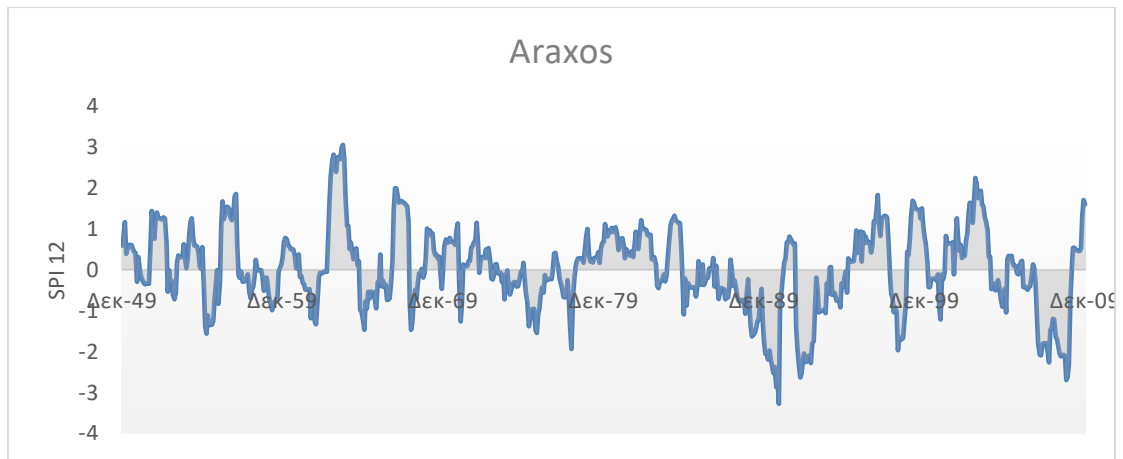
Διάγραμμα III. 9. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Αγκιάλου.



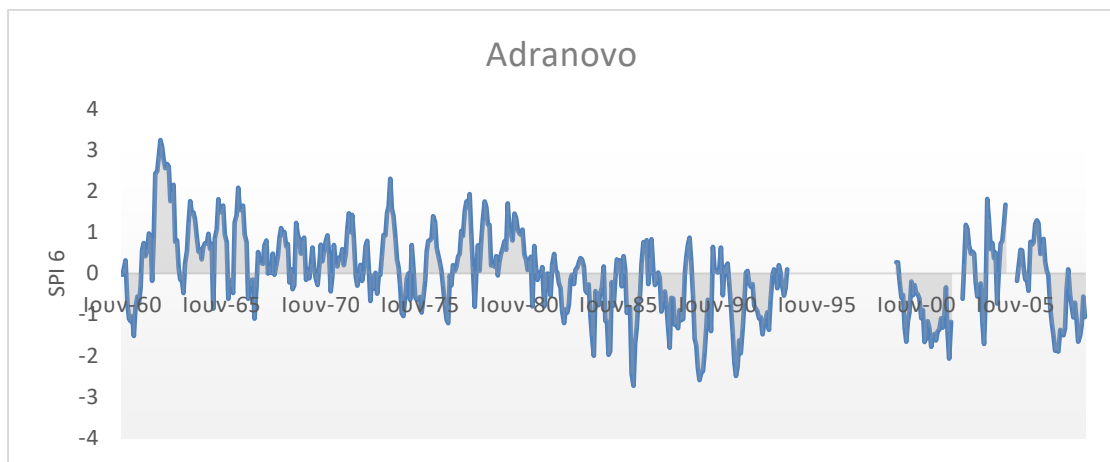
Διάγραμμα III. 10. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Αγκιάλου.



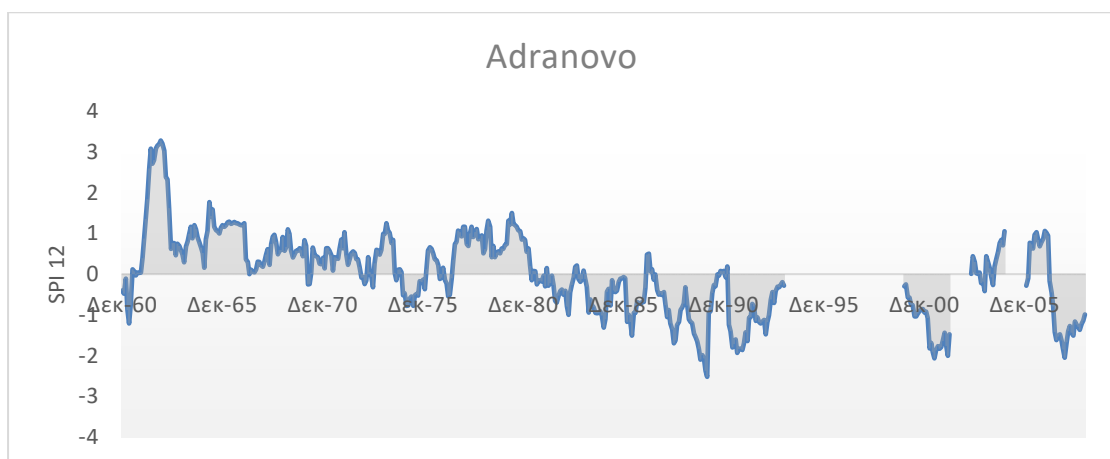
Διάγραμμα III. 11. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Άραξου.



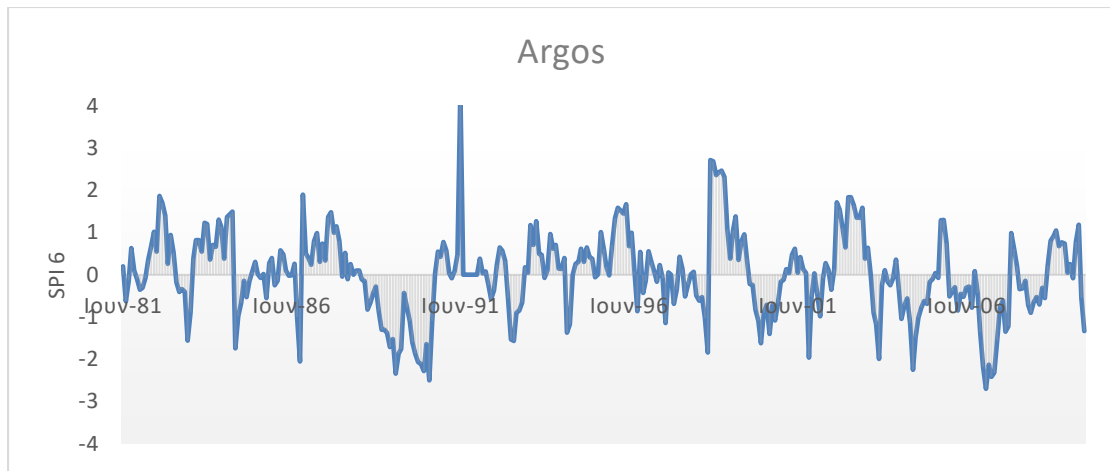
Διάγραμμα III. 12. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Άραξου.



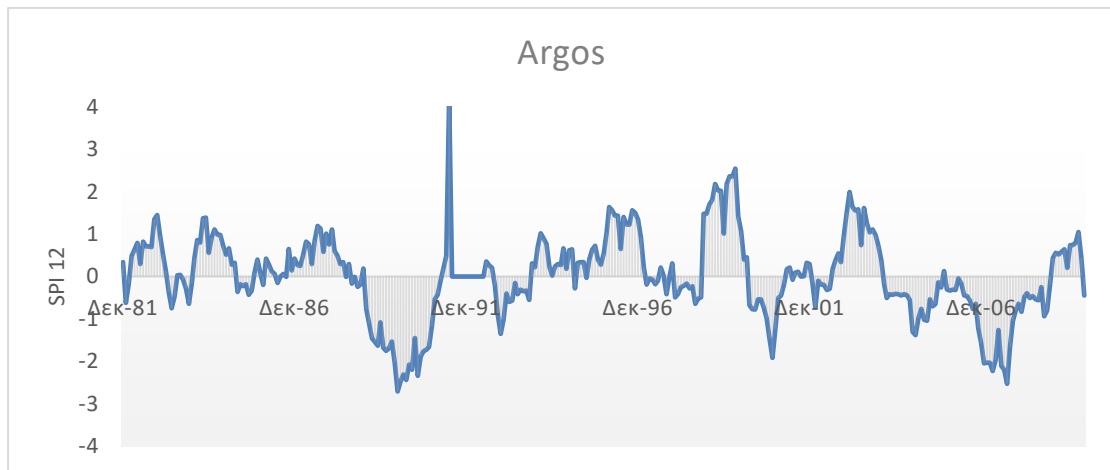
Διάγραμμα III. 13. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Αρδάνοβου.



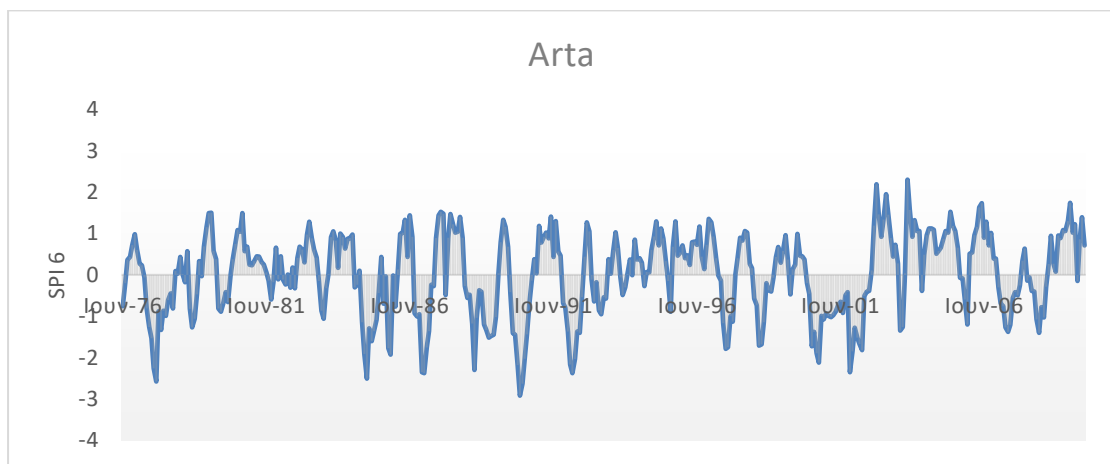
Διάγραμμα III. 14. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Αρδάνοβου.



Διάγραμμα III. 15. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Άργος.

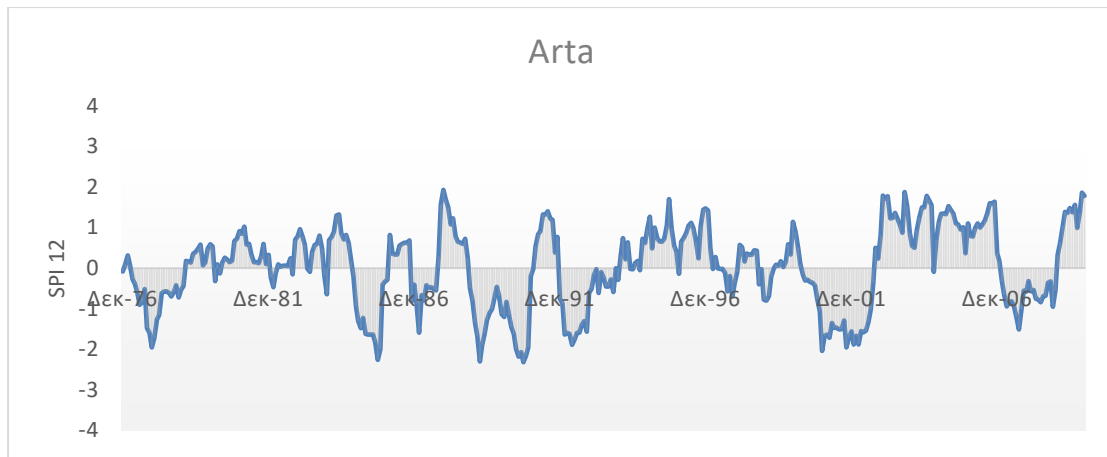


Διάγραμμα III. 16. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Άργος.

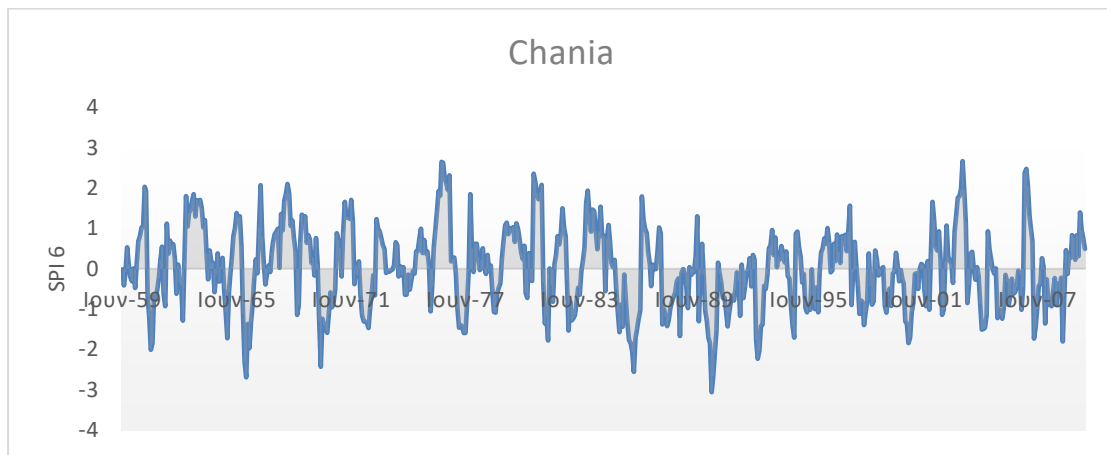


Διάγραμμα III. 17. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Άρτας.

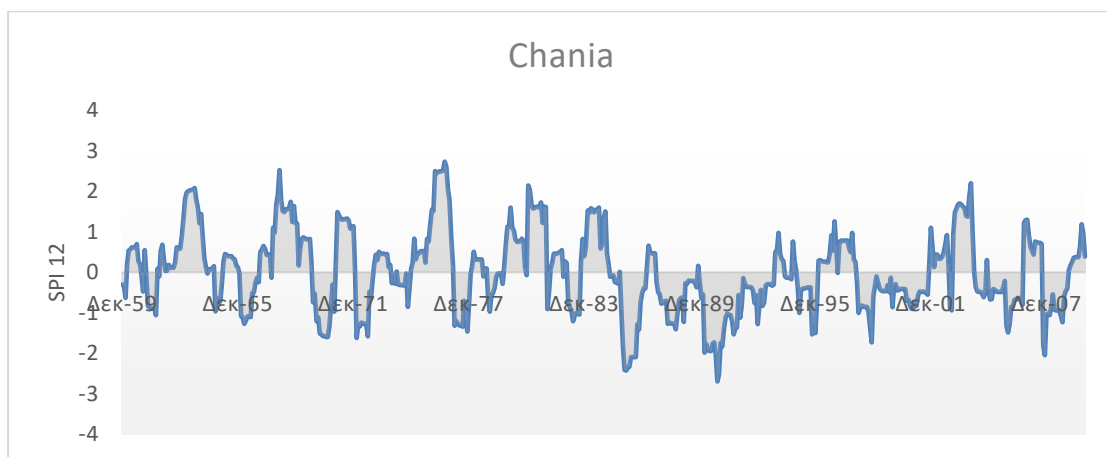




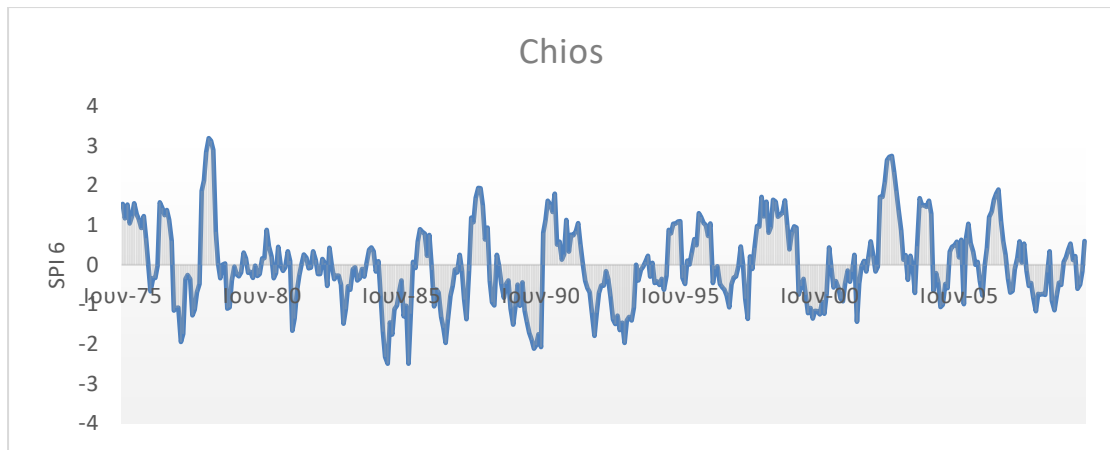
Διάγραμμα III. 18. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Άρτας.



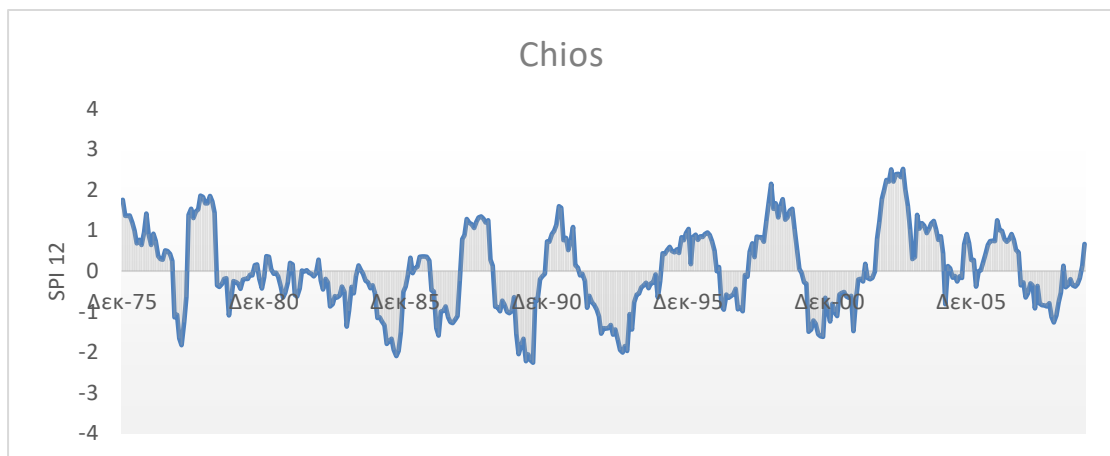
Διάγραμμα III. 19. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό των Χανίων.



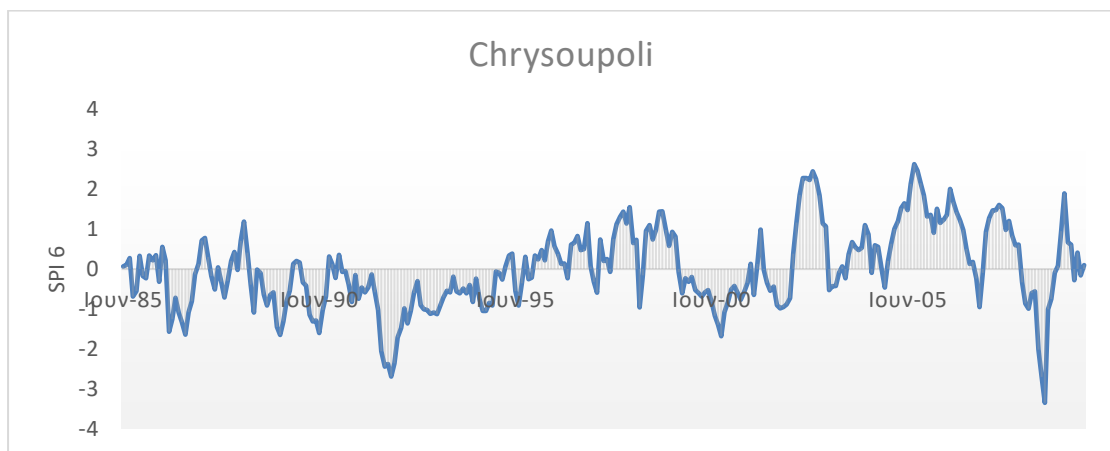
Διάγραμμα III. 20. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό των Χανίων.



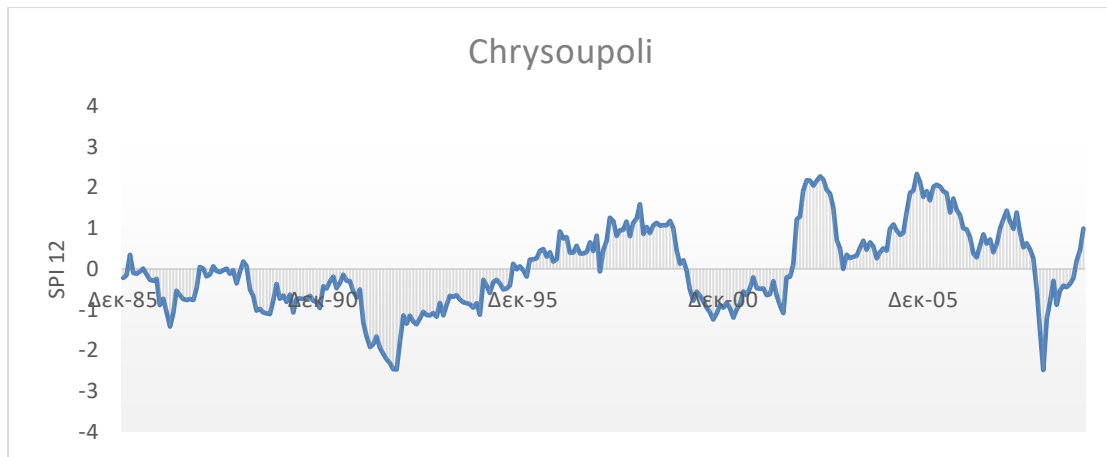
Διάγραμμα III. 21. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Χίου.



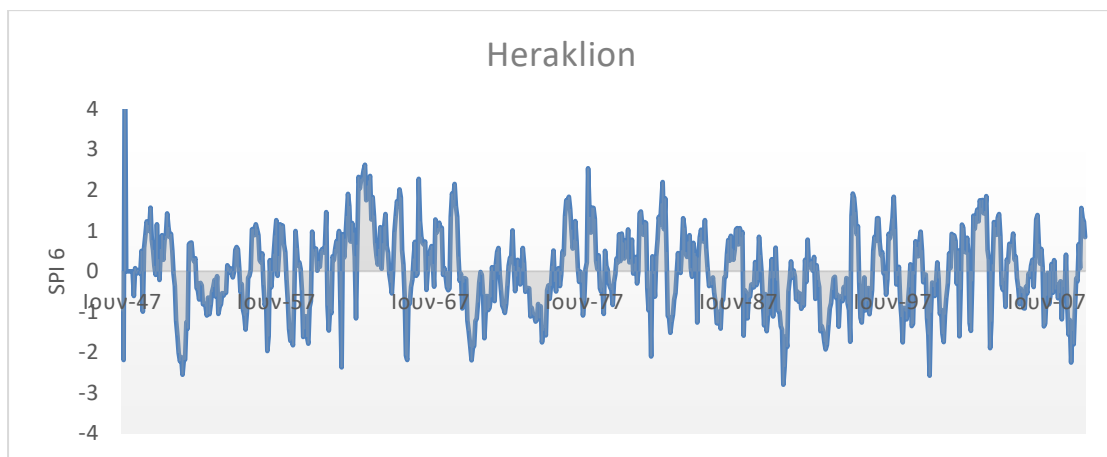
Διάγραμμα III. 22. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Χίου.



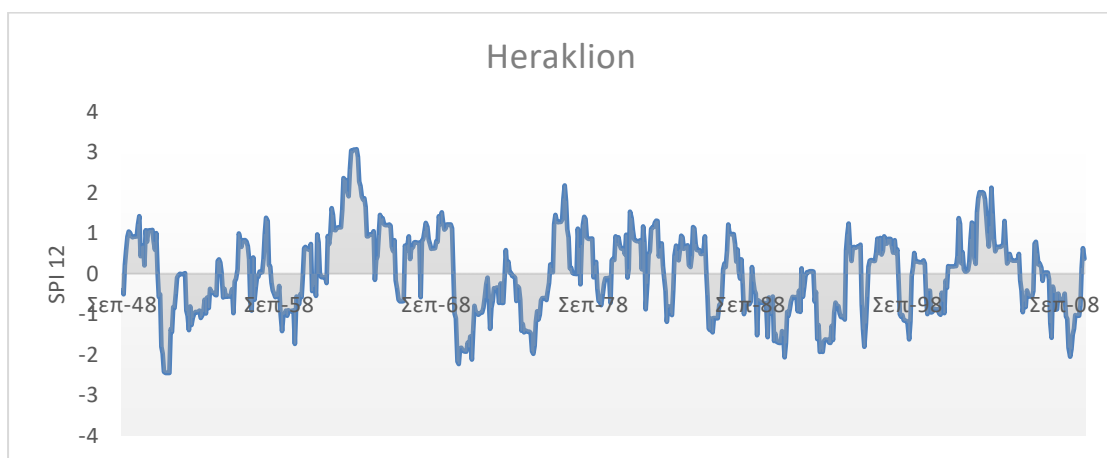
Διάγραμμα III. 23. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Χρυσούπολης.



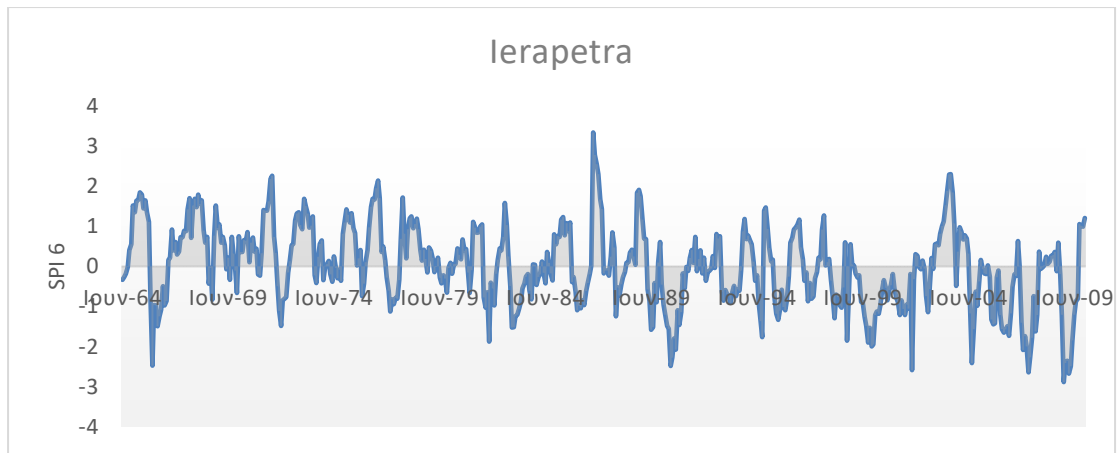
Διάγραμμα III. 24. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Χρυσούπολης.



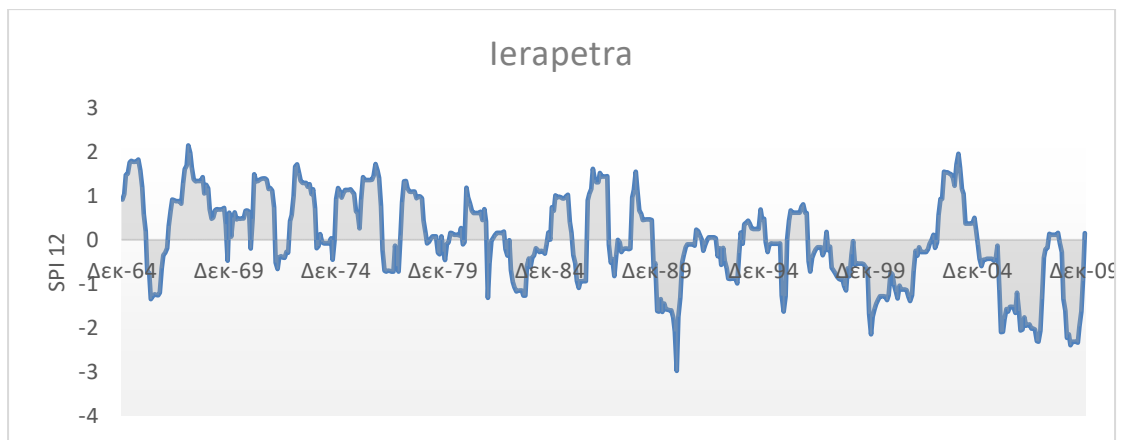
Διάγραμμα III. 25. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Ηρακλείου.



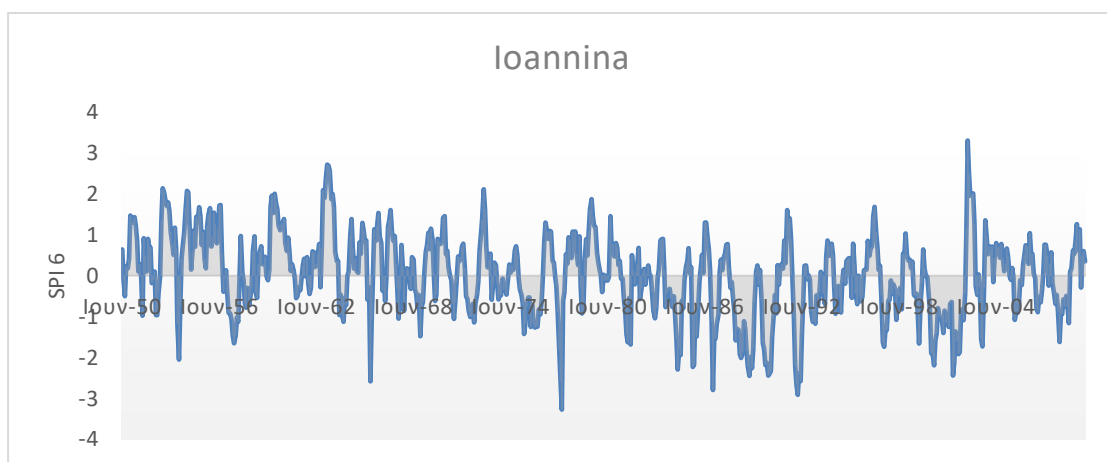
Διάγραμμα III. 26. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Ηρακλείου.



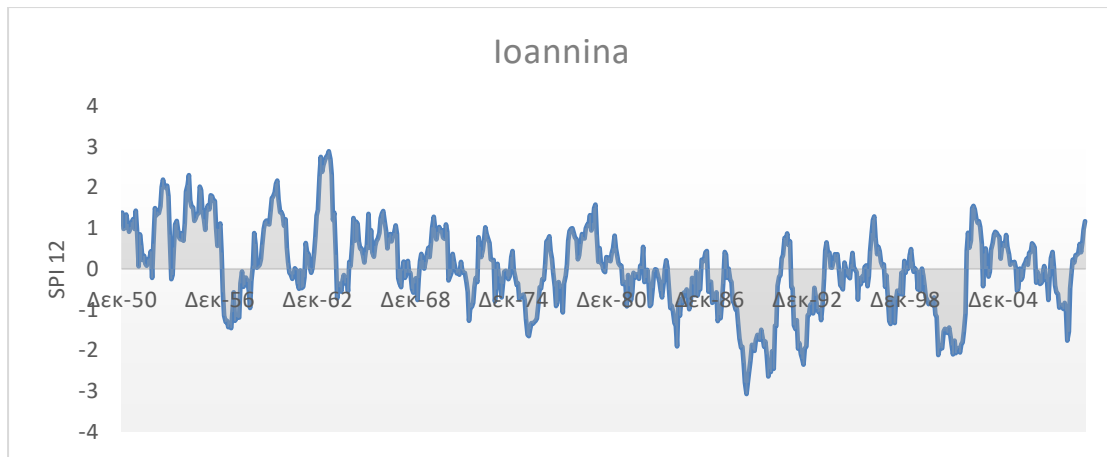
Διάγραμμα III. 27. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Ιεράπετρας.



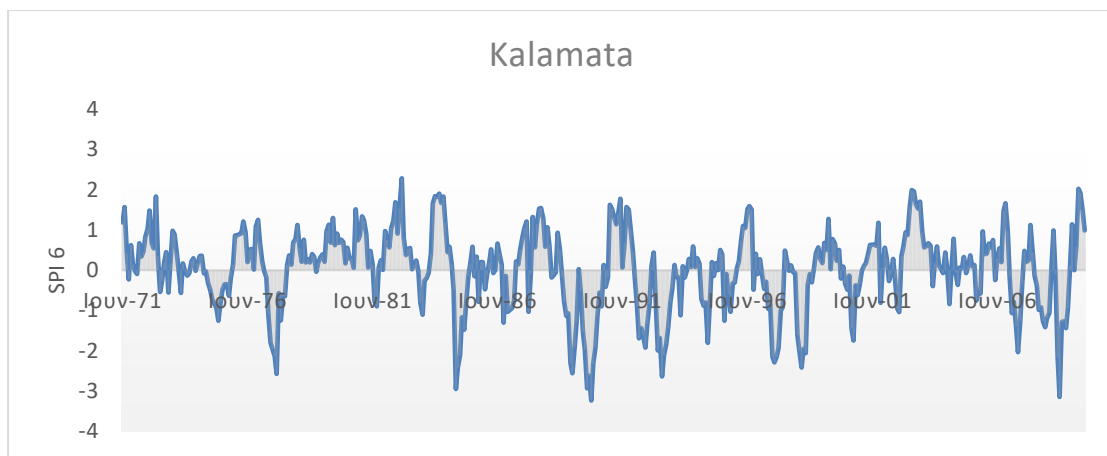
Διάγραμμα III. 28. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Ιεράπετρας.



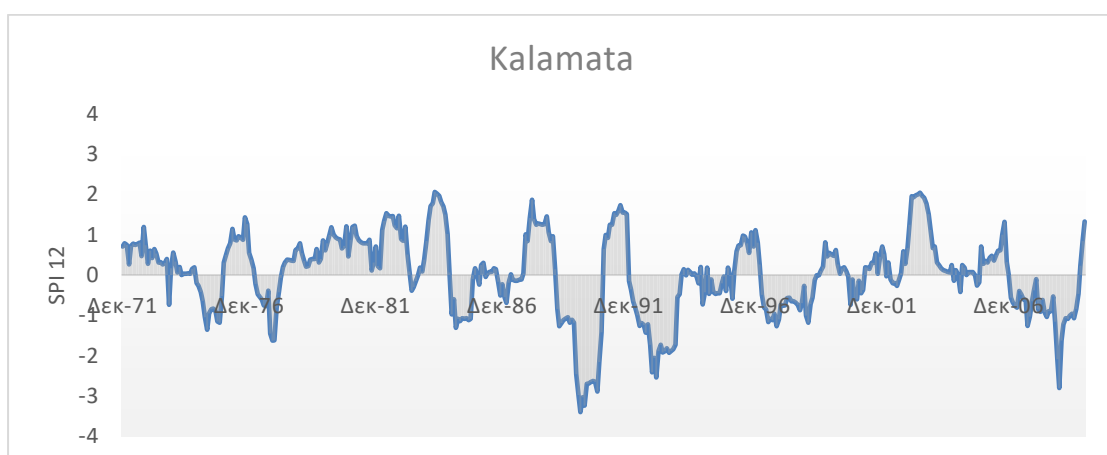
Διάγραμμα III. 29. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό των Ιωαννίνων.



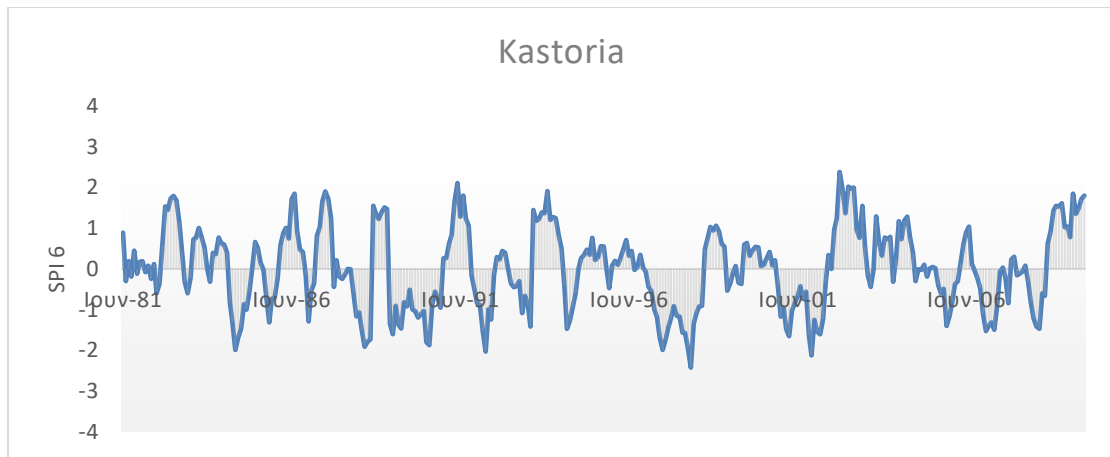
Διάγραμμα III. 30. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό των Ιωαννίνων.



Διάγραμμα III. 31. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Καλαμάτας.



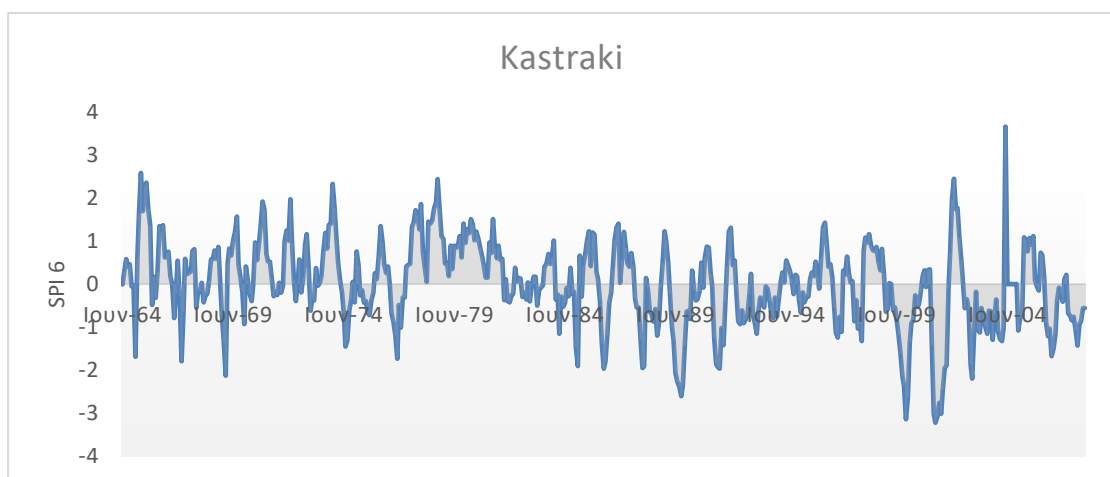
Διάγραμμα III. 32. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Καλαμάτας.



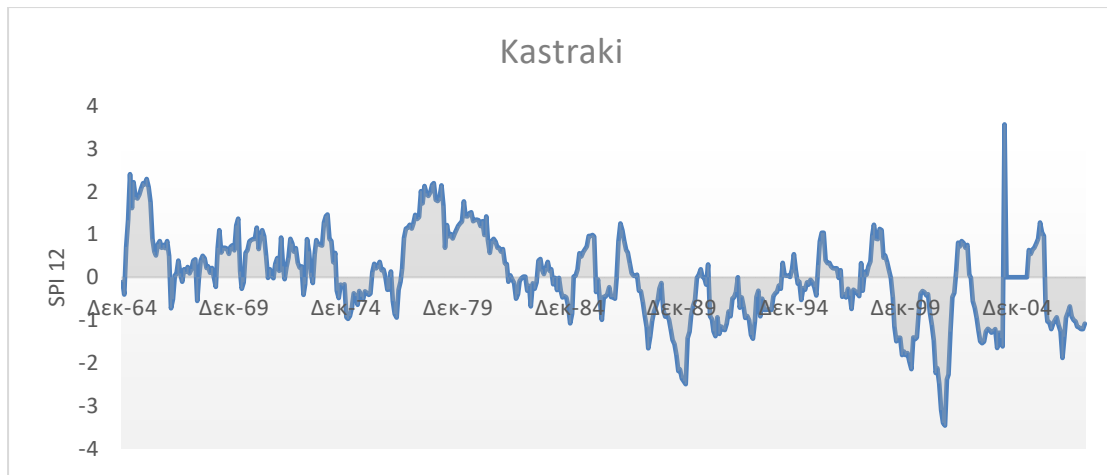
Διάγραμμα III. 33. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Καστοριάς.



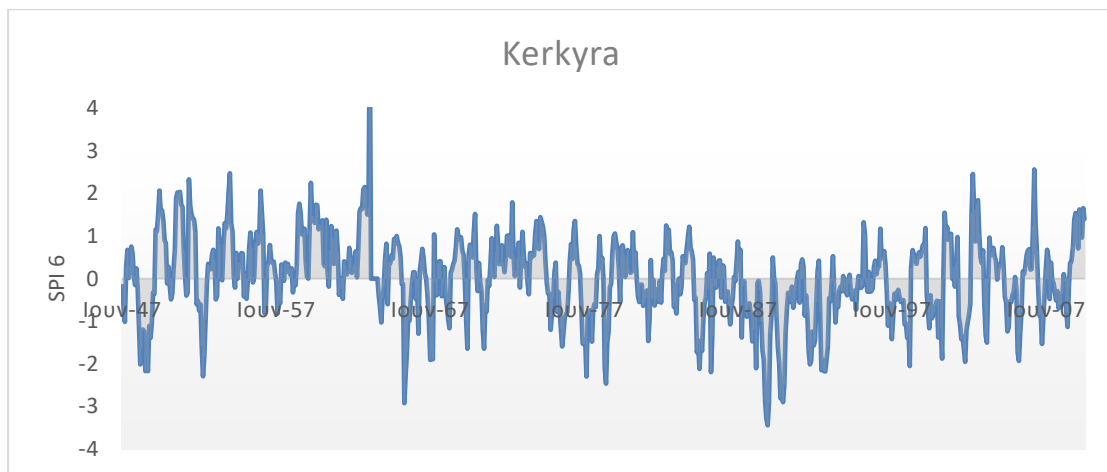
Διάγραμμα III. 34. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Καστοριάς.



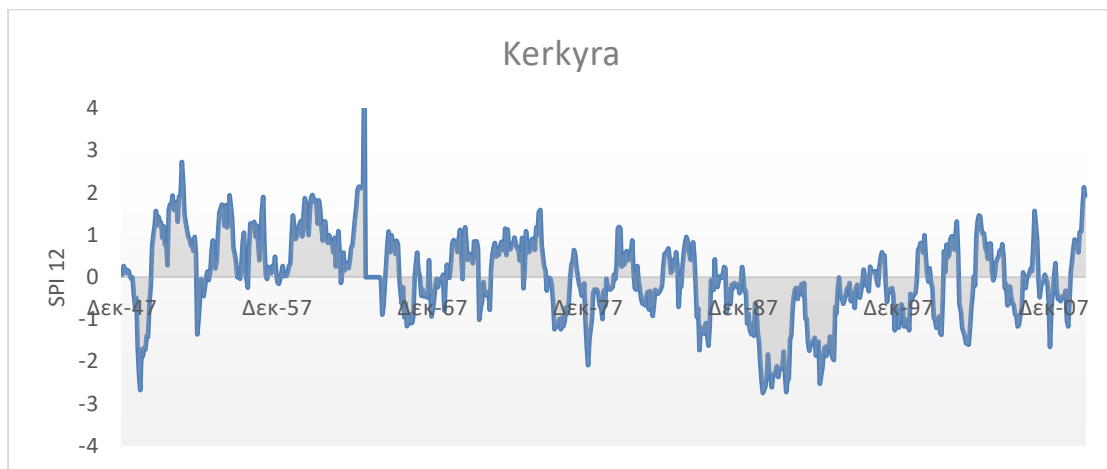
Διάγραμμα III. 35. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Καστρακίου.



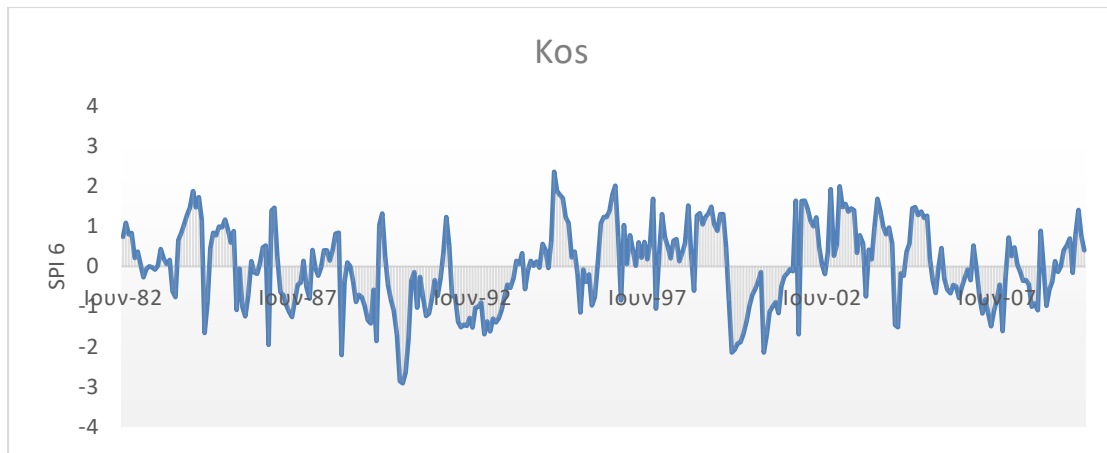
Διάγραμμα III. 36. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Καστρακίου.



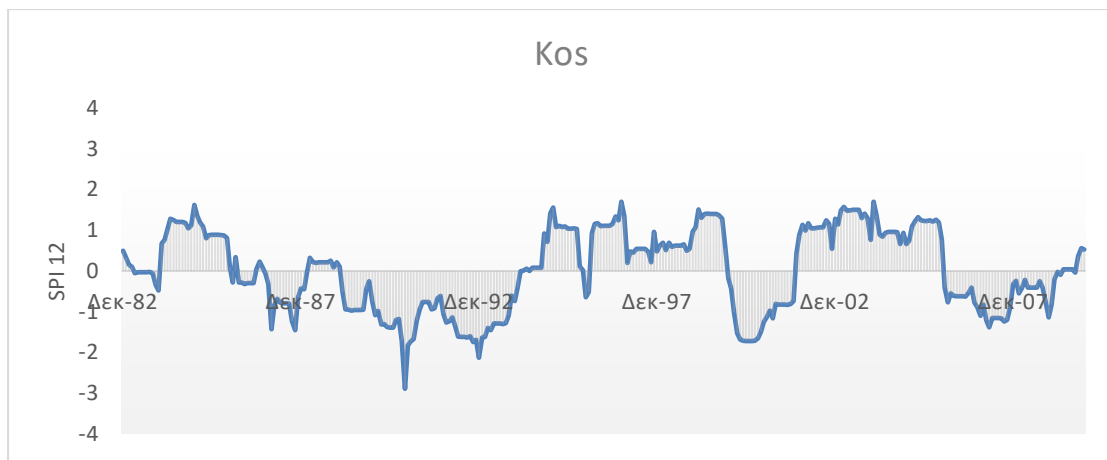
Διάγραμμα III. 37. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Κέρκυρας.



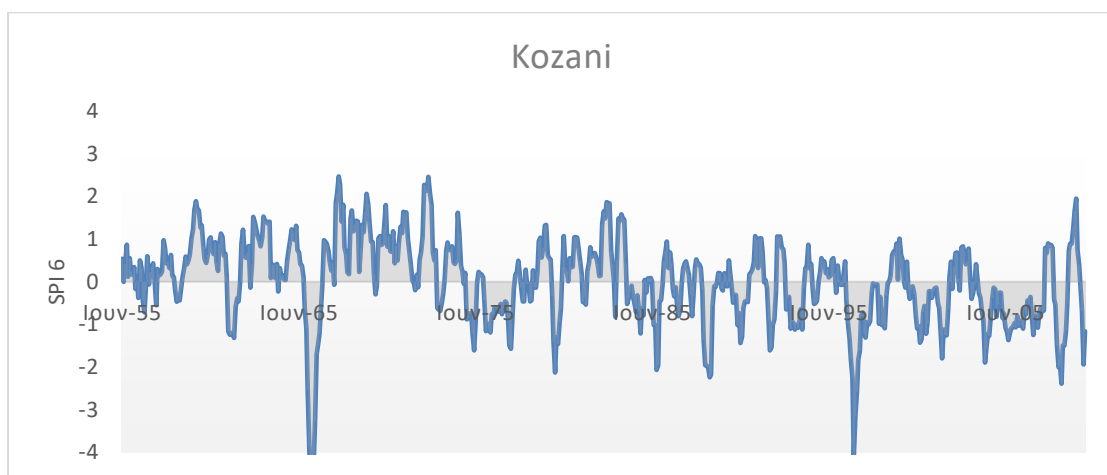
Διάγραμμα III. 38. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Κέρκυρας.



Διάγραμμα III. 39. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Κω.

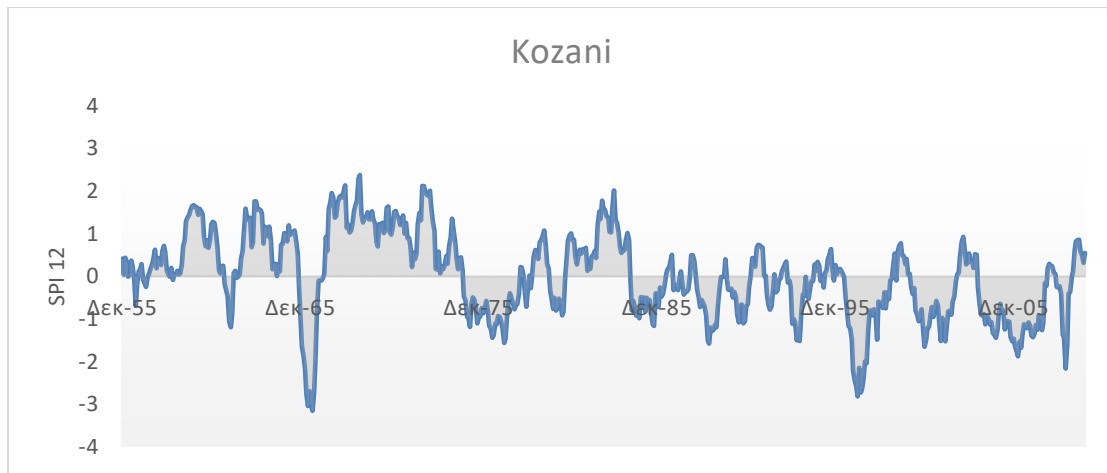


Διάγραμμα III. 40. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Κω.

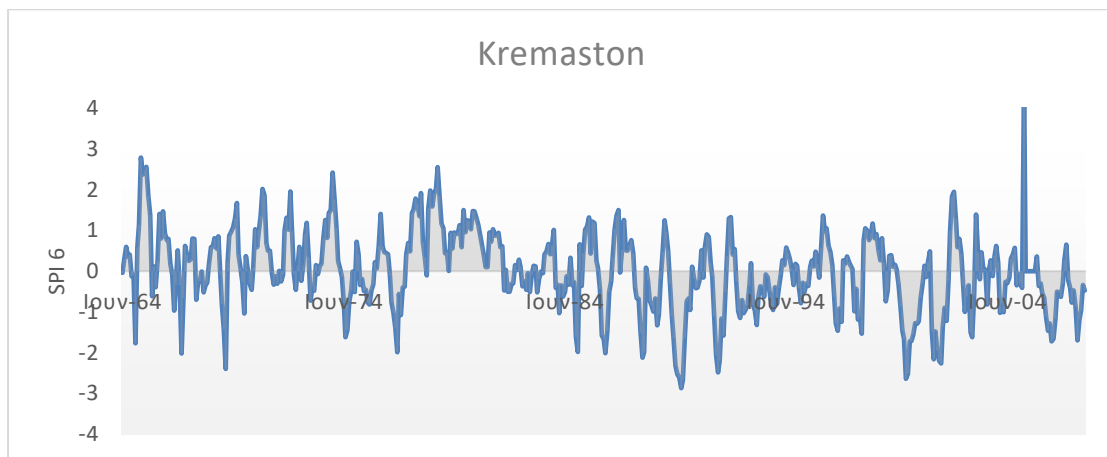


Διάγραμμα III. 41. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Κοζάνης.

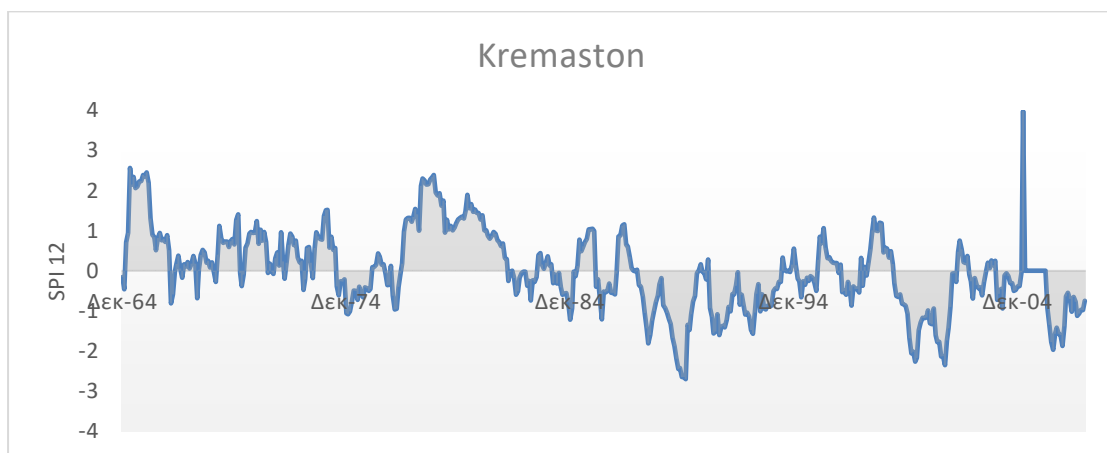




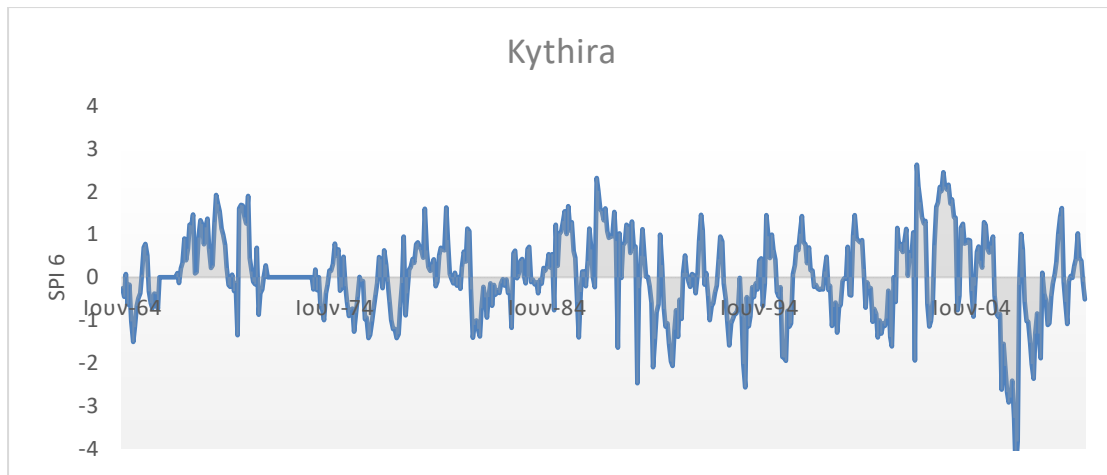
Διάγραμμα III. 42. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Κοζάνης.



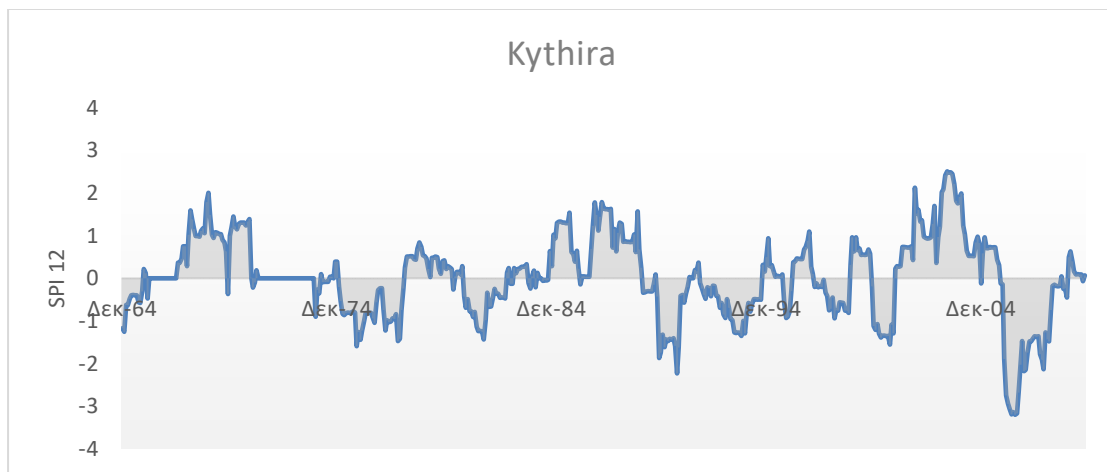
Διάγραμμα III. 43. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό των Κρεμαστών.



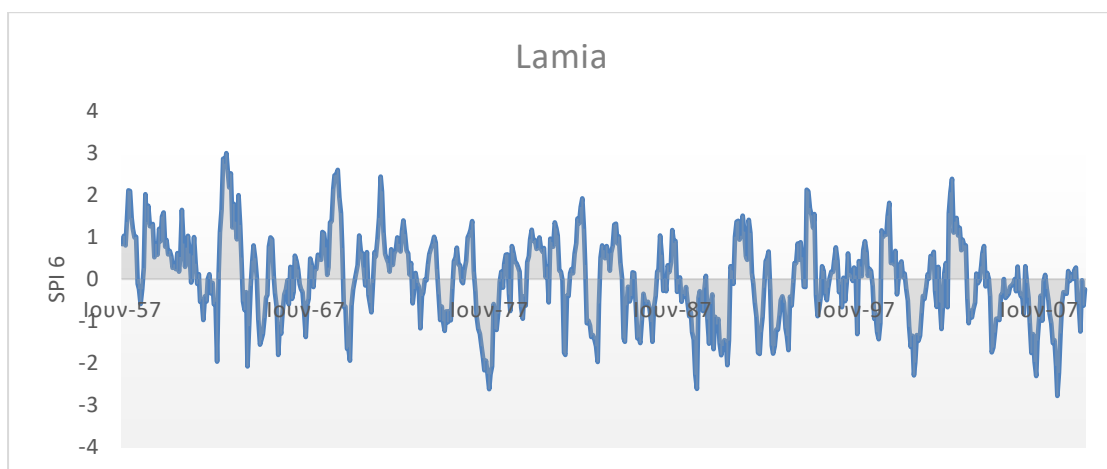
Διάγραμμα III. 44. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό των Κρεμαστών.



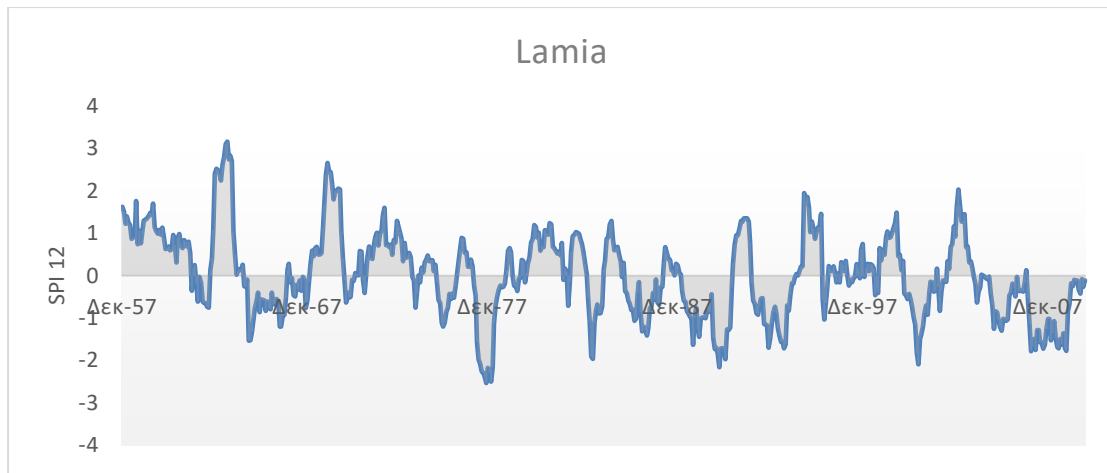
Διάγραμμα III. 45. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό των Κυθήρων.



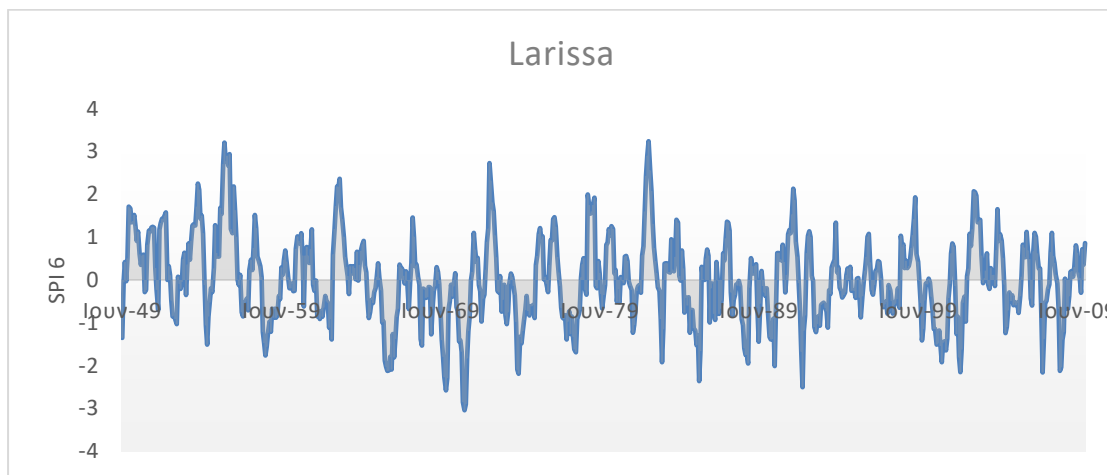
Διάγραμμα III. 46. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό των Κυθήρων.



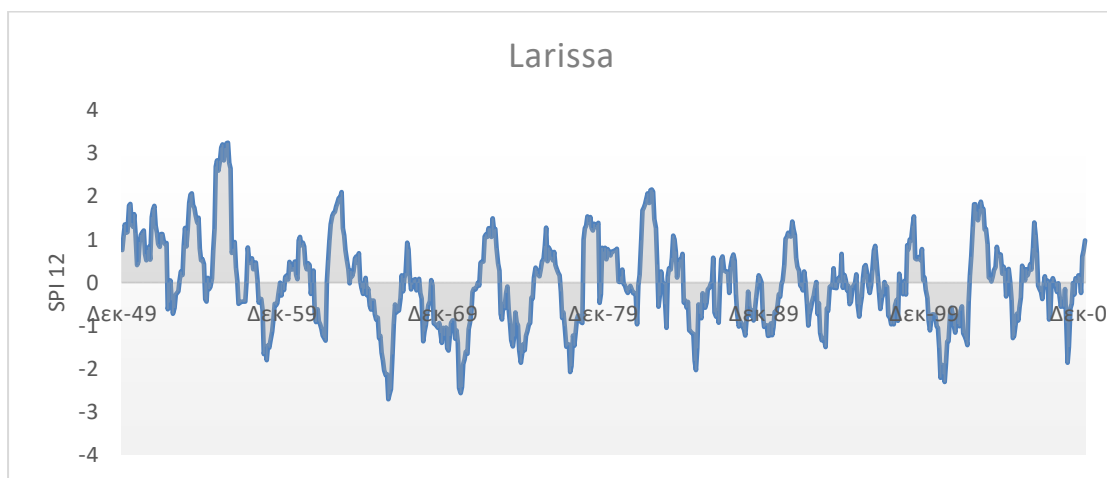
Διάγραμμα III. 47. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Λαμίας.



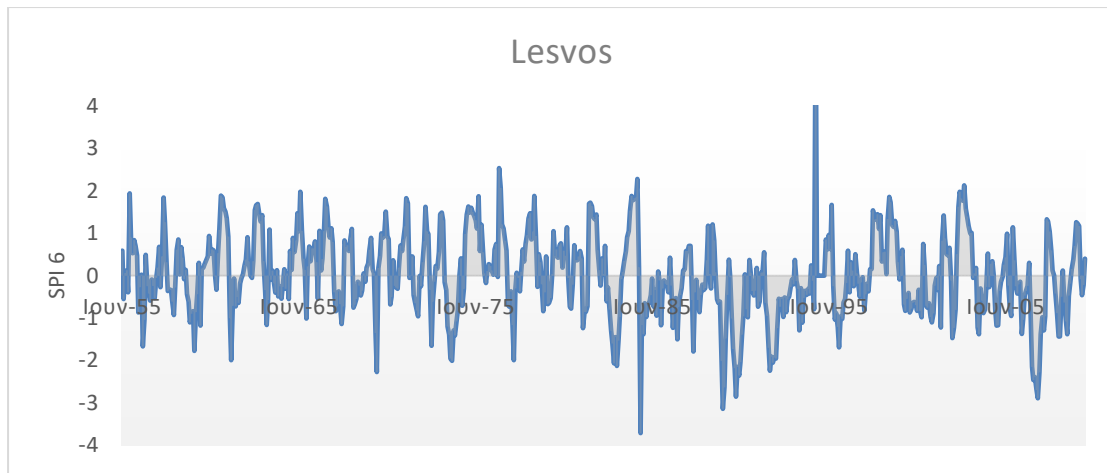
Διάγραμμα III. 48. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Λαμίας.



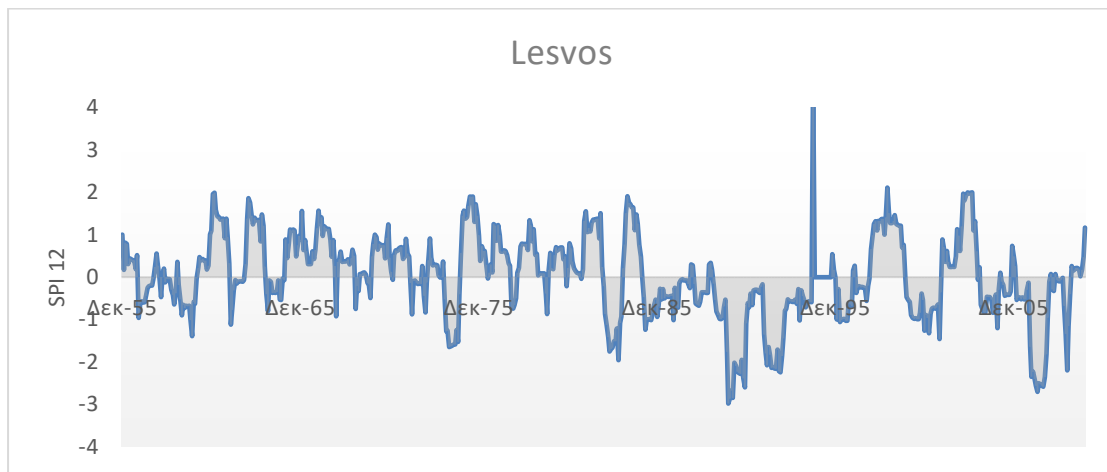
Διάγραμμα III. 49. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Λάρισας.



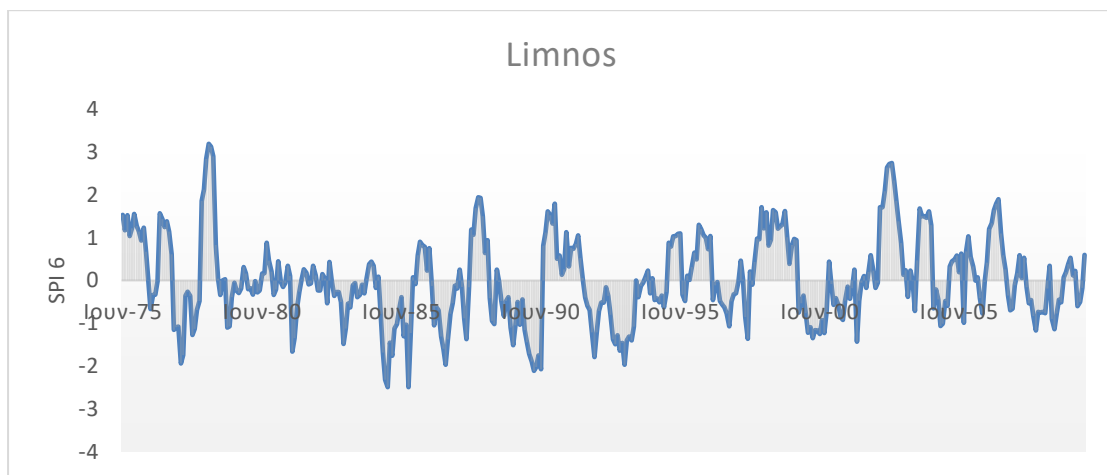
Διάγραμμα III. 50. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Λάρισας.



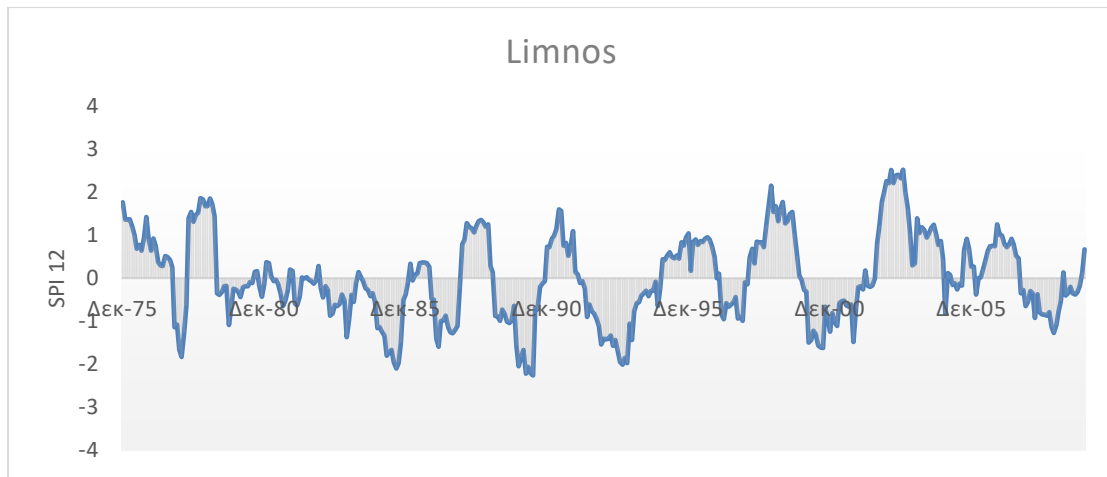
Διάγραμμα III. 51. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Λέσβου.



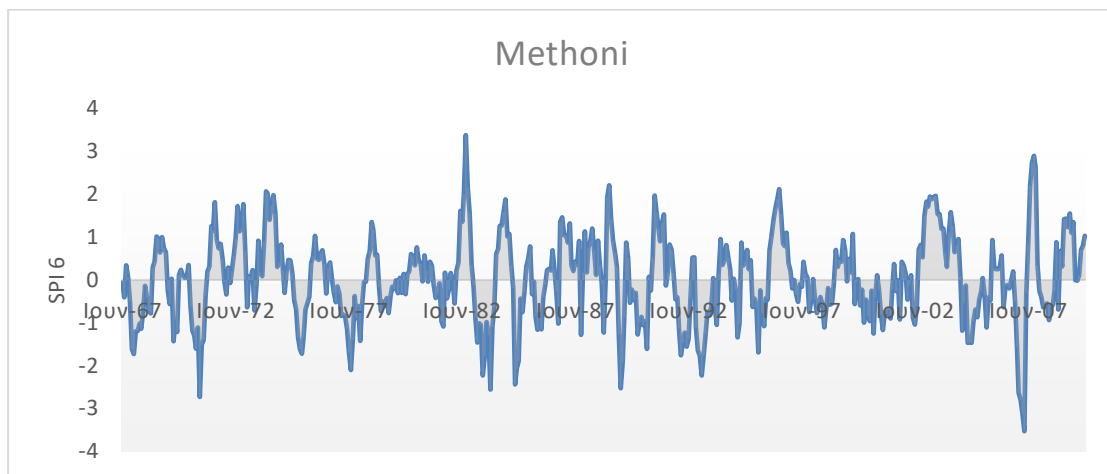
Διάγραμμα III. 52. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Λέσβου.



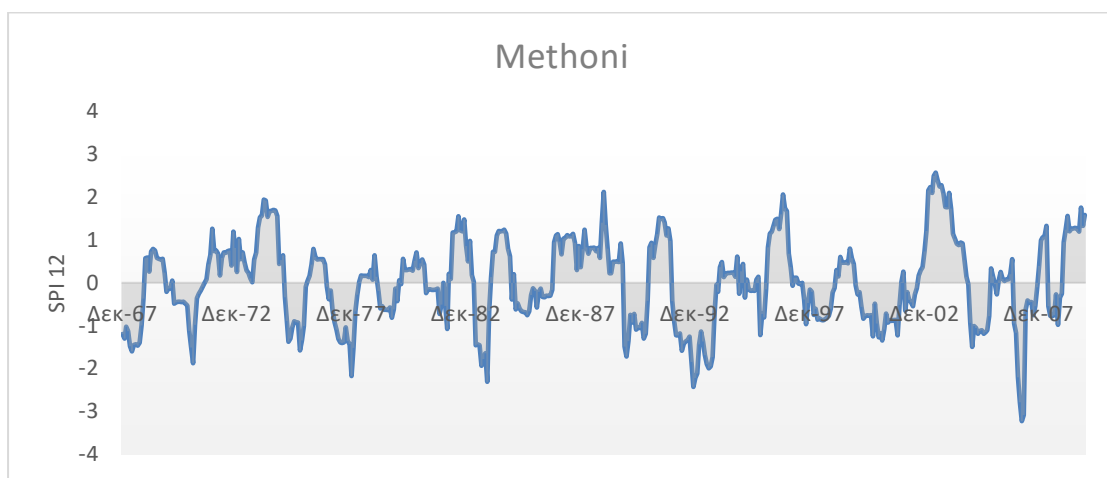
Διάγραμμα III. 53. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Λήμνου.



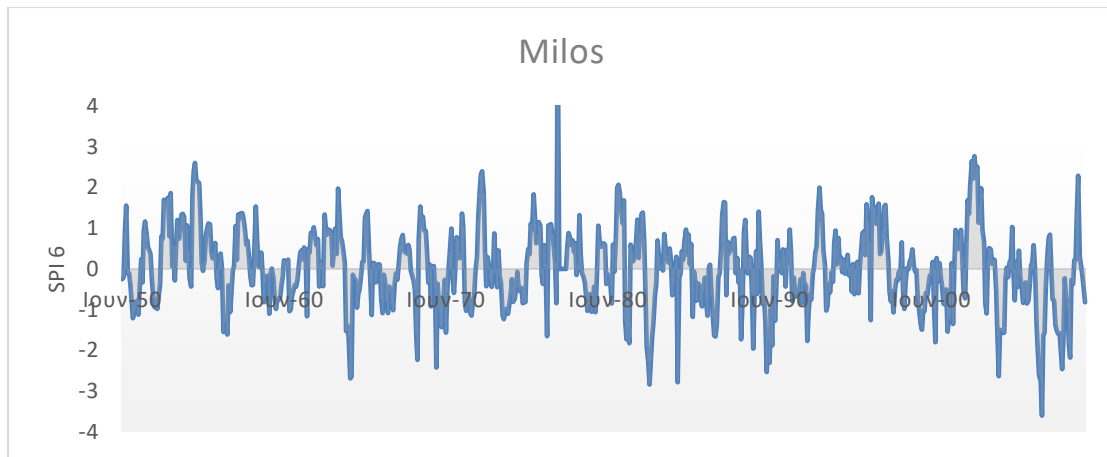
Διάγραμμα III. 54. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Λήμνου.



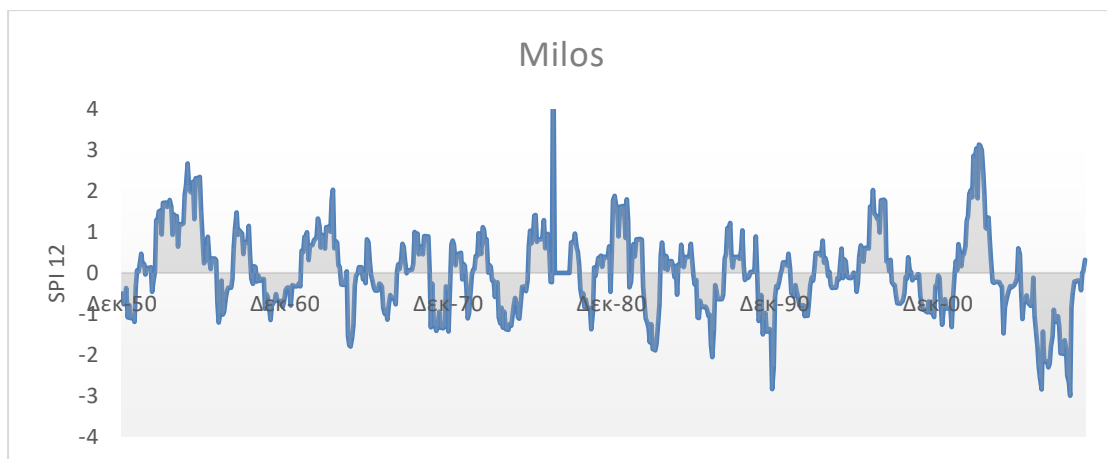
Διάγραμμα III. 55. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Μεθώνης.



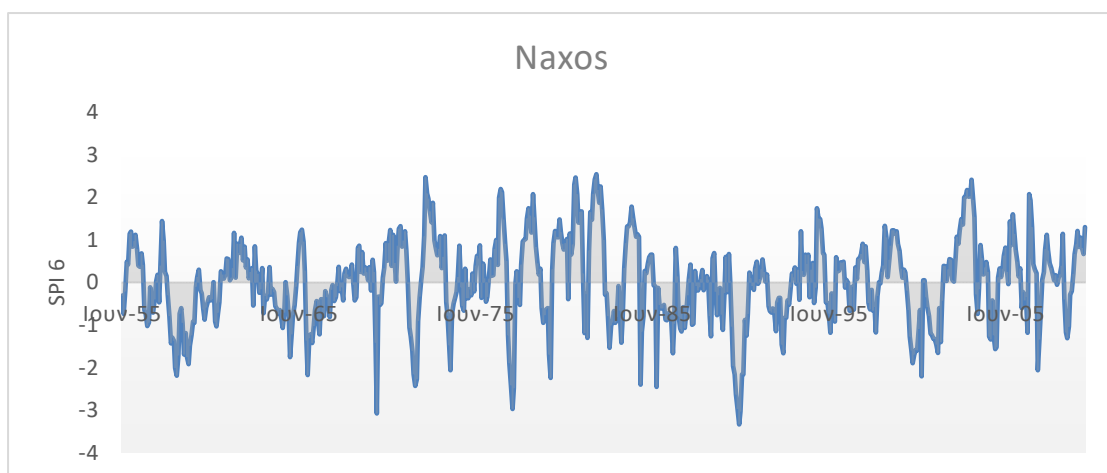
Διάγραμμα III. 56. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Μεθώνης.



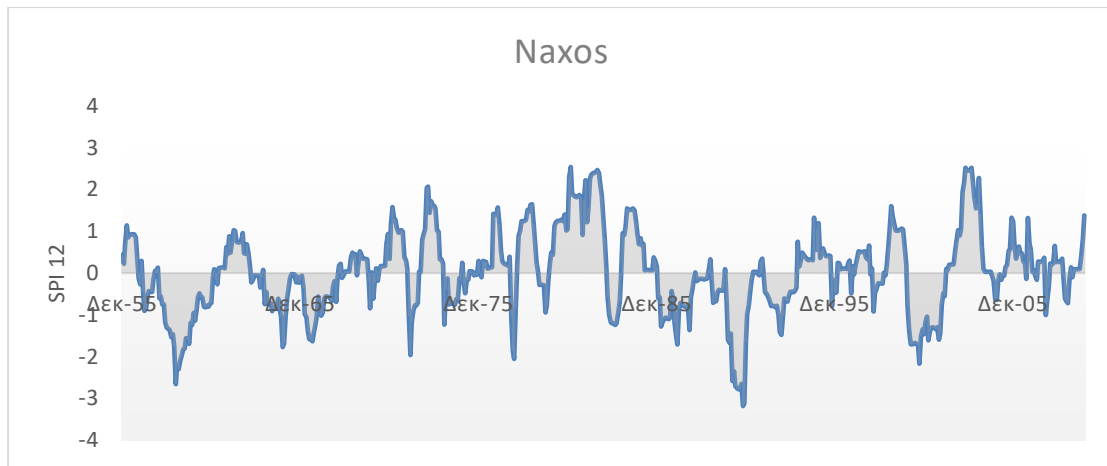
Διάγραμμα III. 57. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Μήλου.



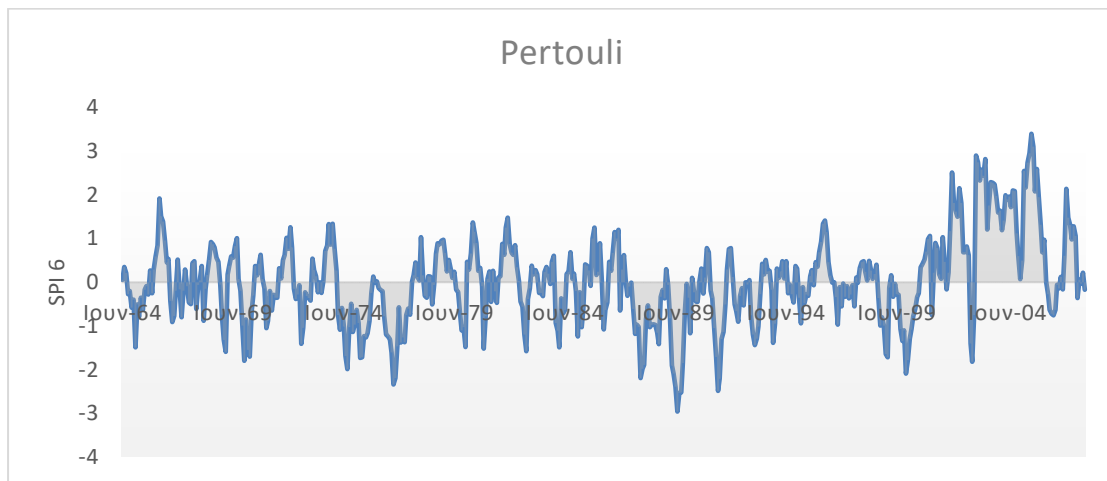
Διάγραμμα III. 58. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Μήλου.



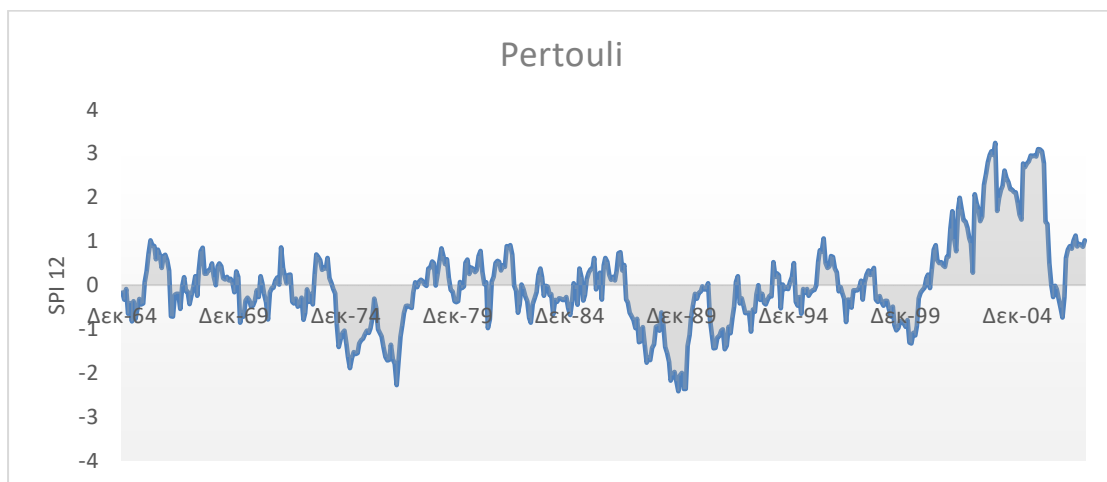
Διάγραμμα III. 59. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Νάξου.



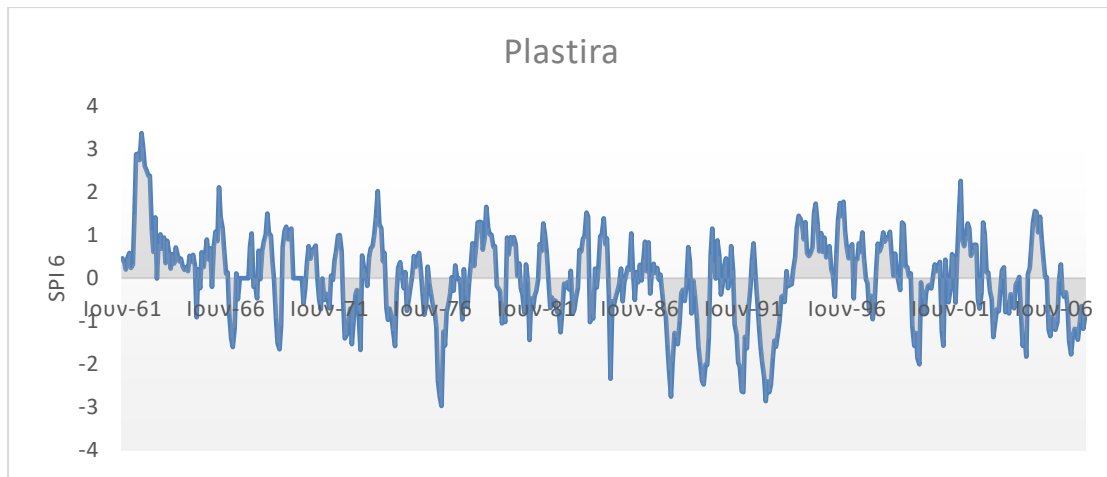
Διάγραμμα III. 60. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Νάξου.



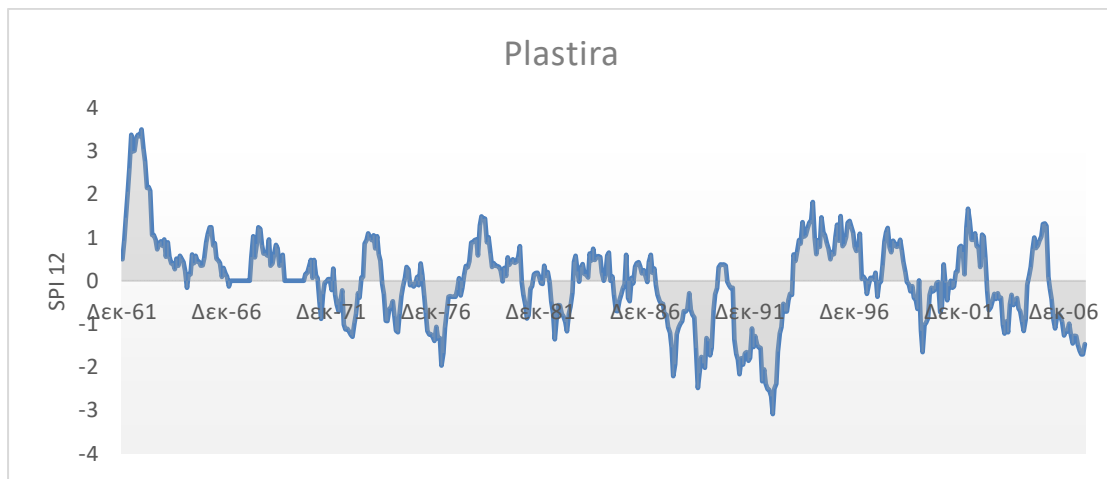
Διάγραμμα III. 61. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Περτουλίου.



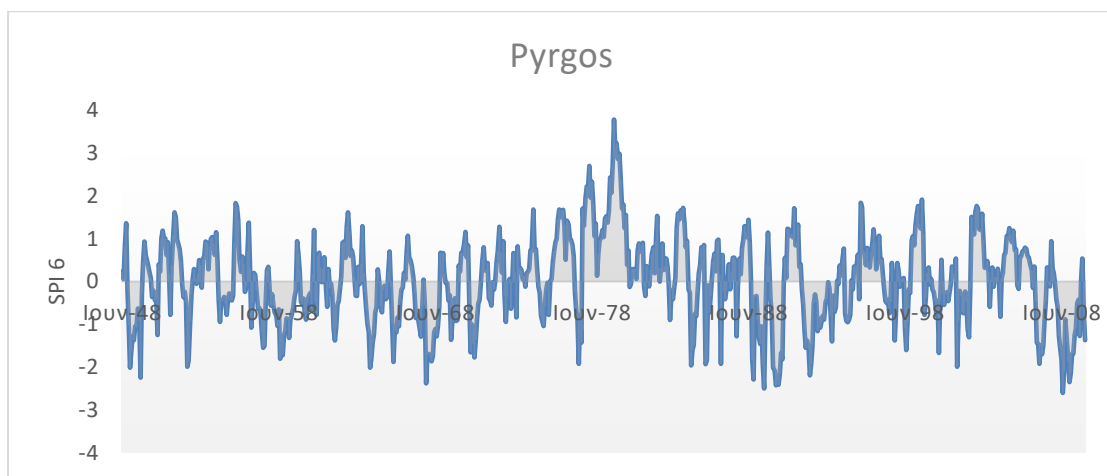
Διάγραμμα III. 62. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Περτουλίου.



Διάγραμμα III. 63. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Πλαστήρα.

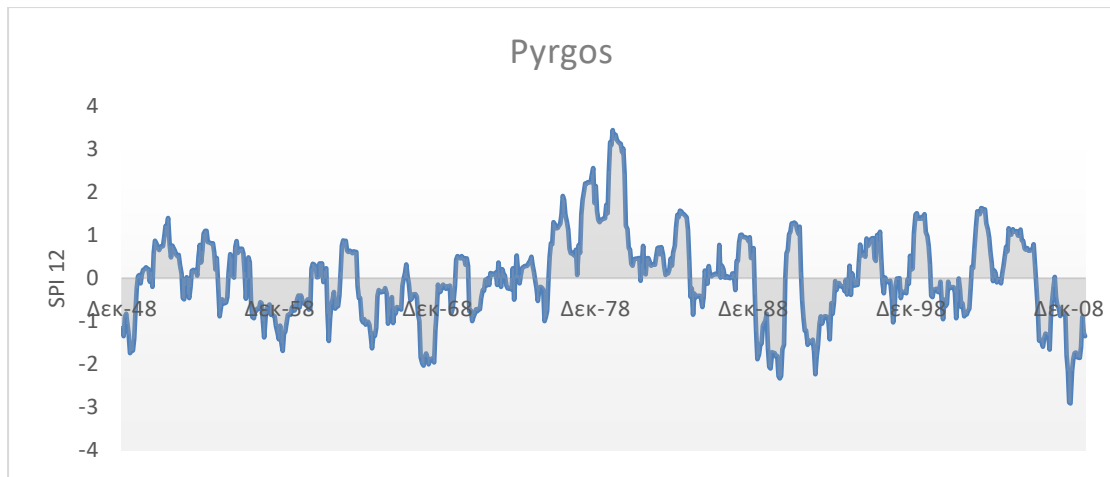


Διάγραμμα III. 64. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Πλαστήρα.

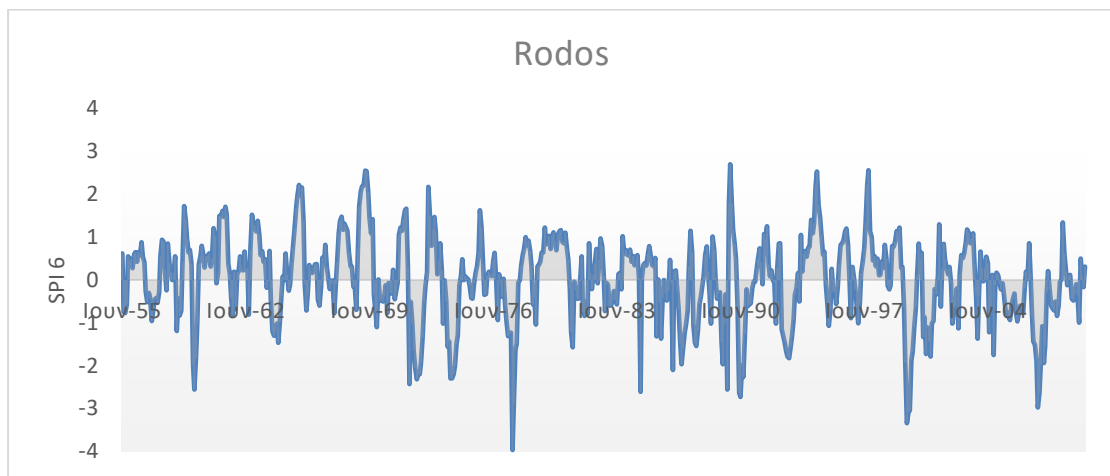


Διάγραμμα III. 65. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Πύργου.

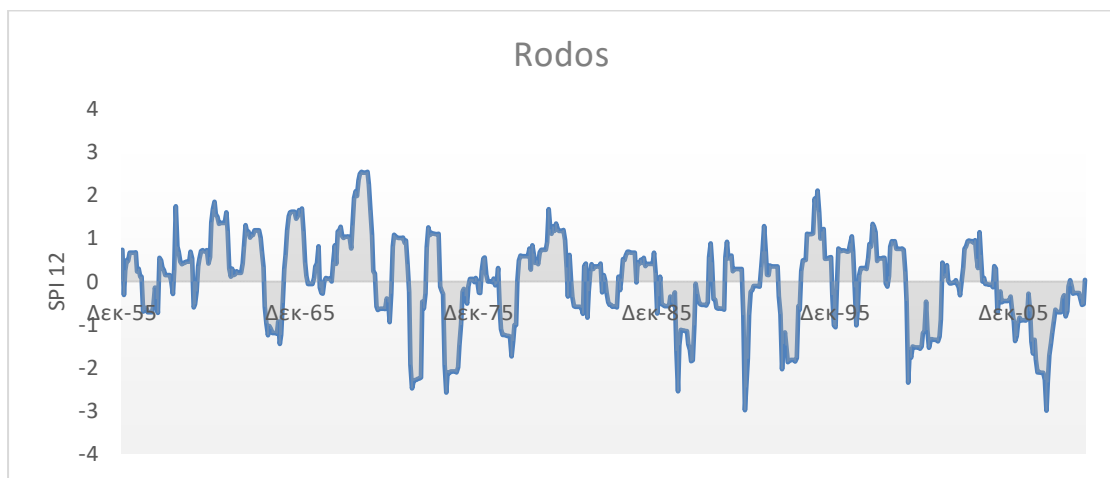




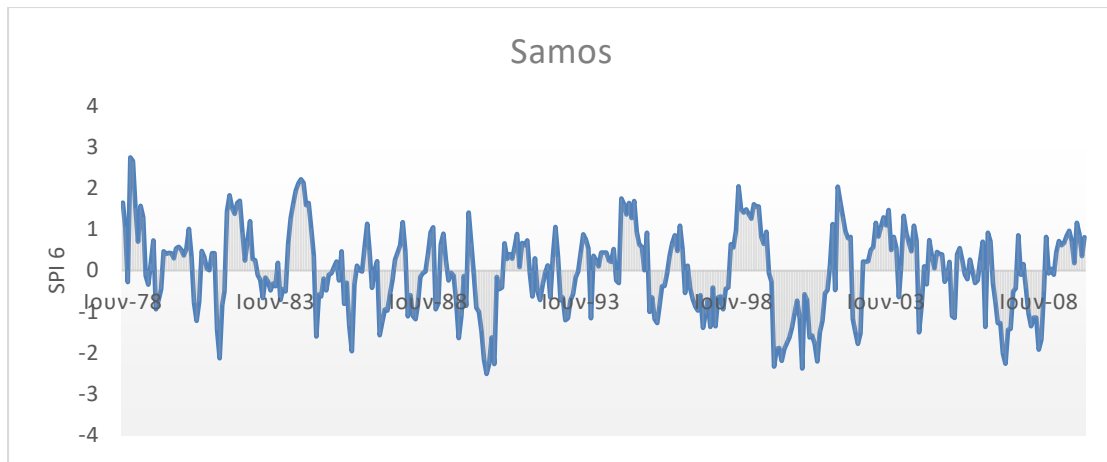
Διάγραμμα III. 66. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Πύργου.



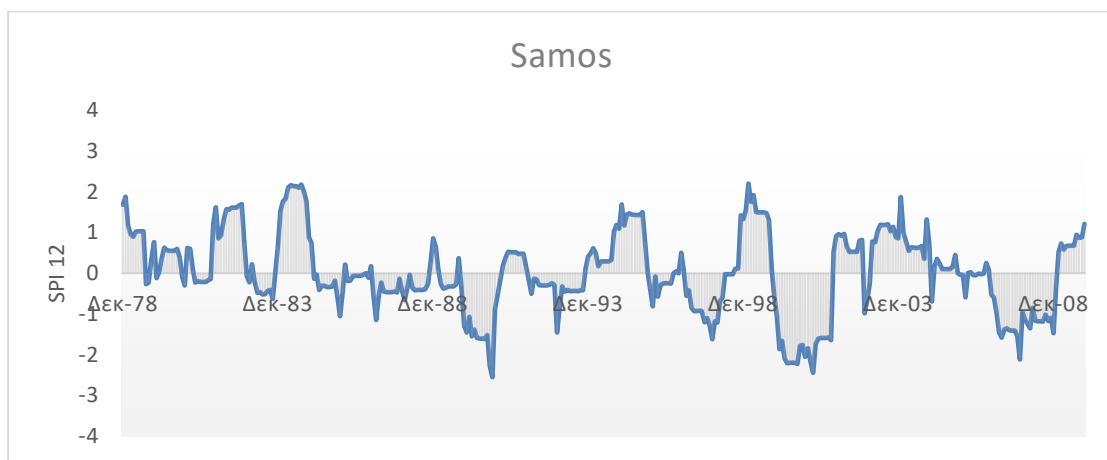
Διάγραμμα III. 67. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Ρόδου.



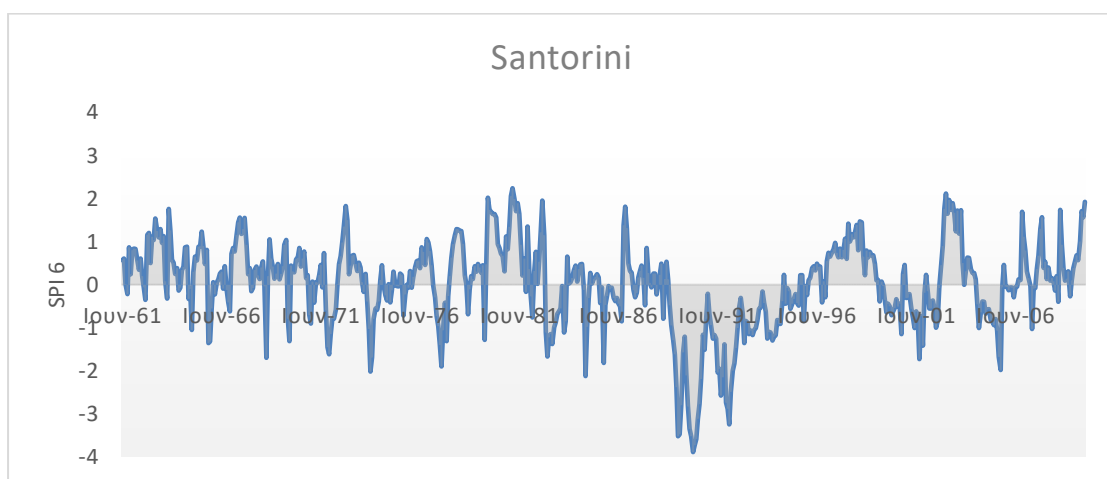
Διάγραμμα III. 68. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Ρόδου.



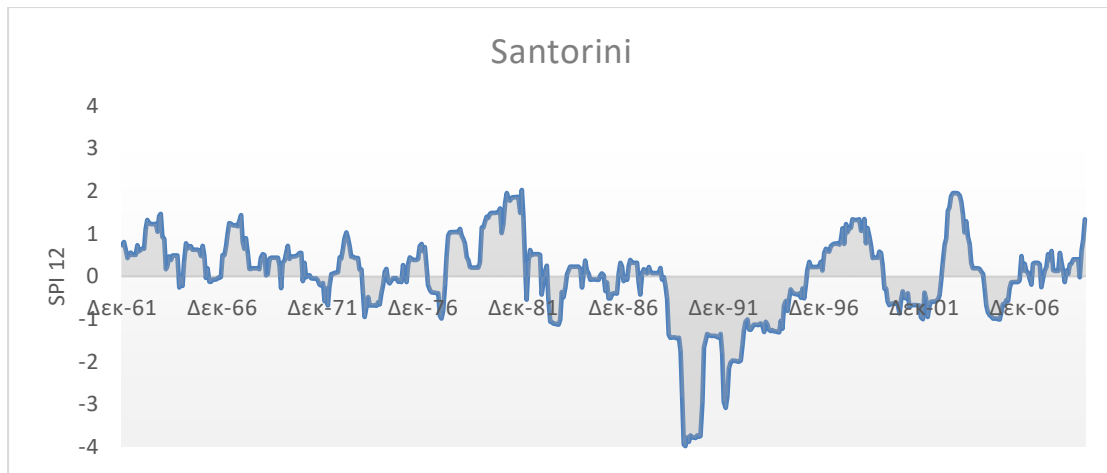
Διάγραμμα III. 69. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Σάμου.



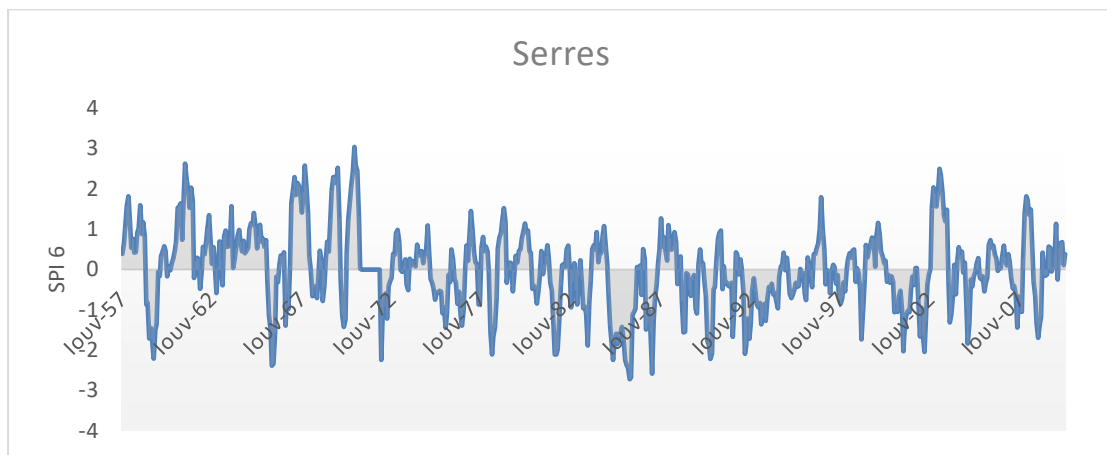
Διάγραμμα III. 70. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Σάμου.



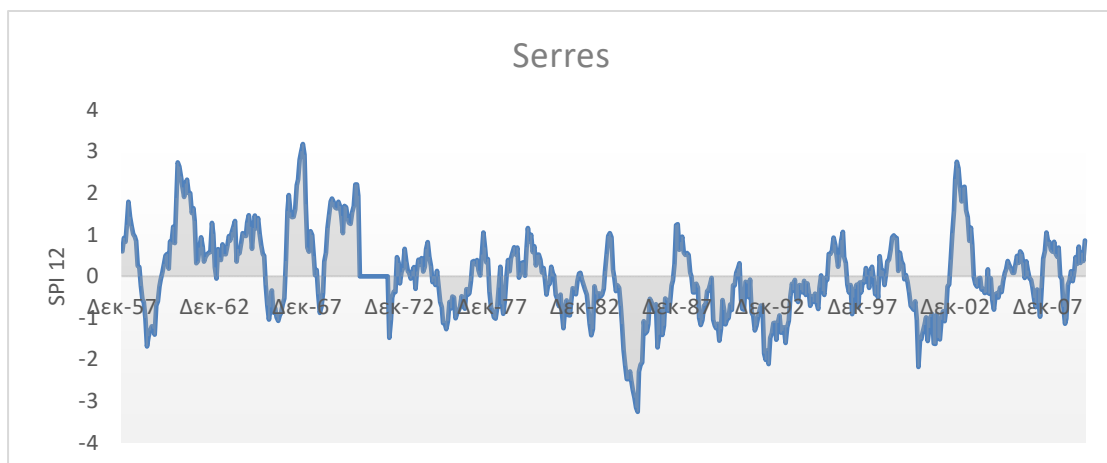
Διάγραμμα III. 71. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Σαντορίνης.



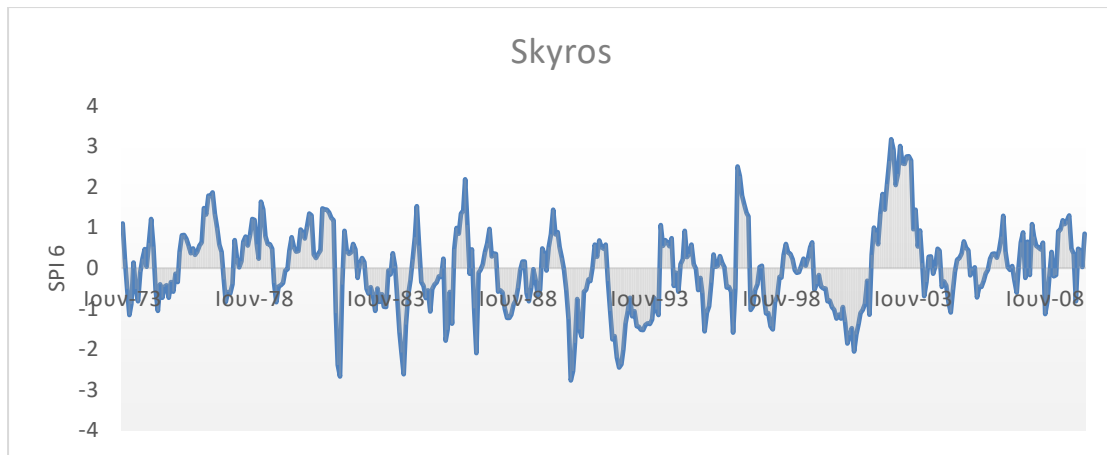
Διάγραμμα III. 72. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Σαντορίνης.



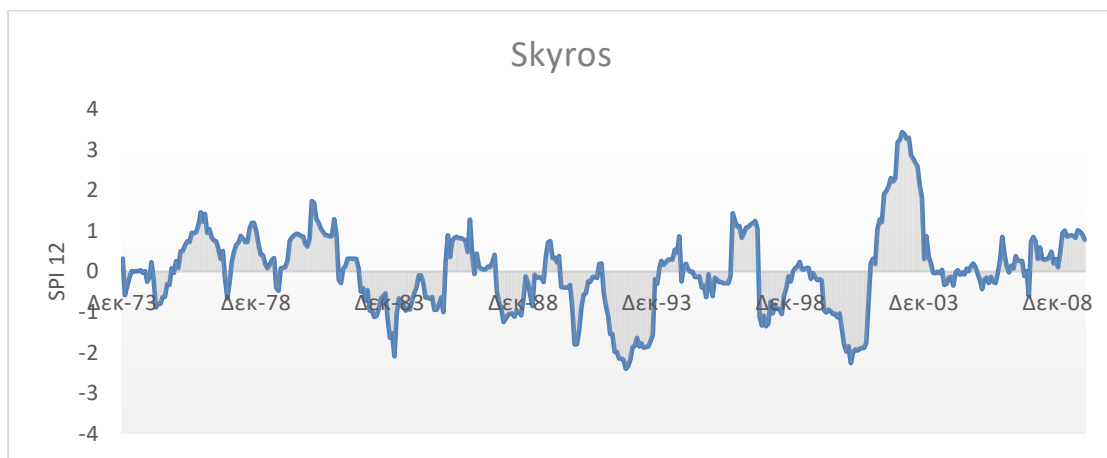
Διάγραμμα III. 73. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό των Σερρών.



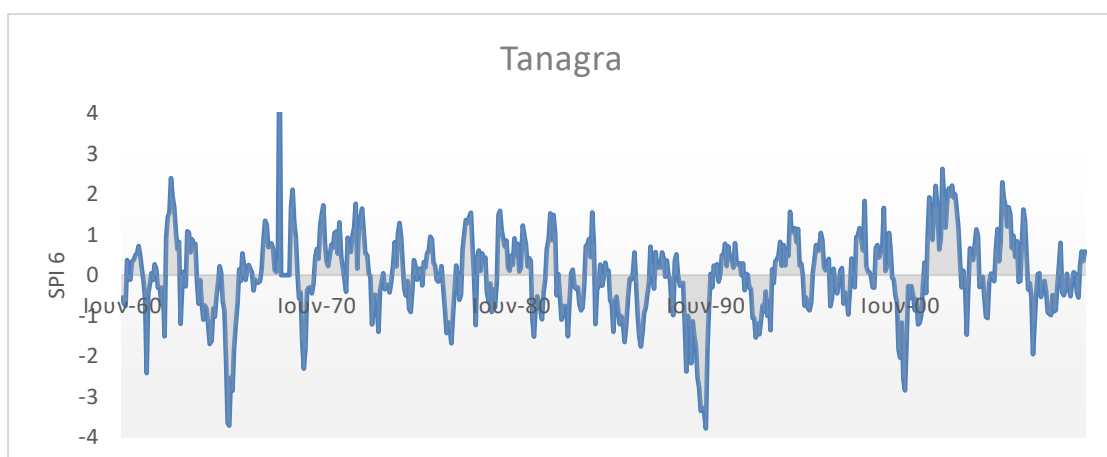
Διάγραμμα III. 74. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό των Σερρών.



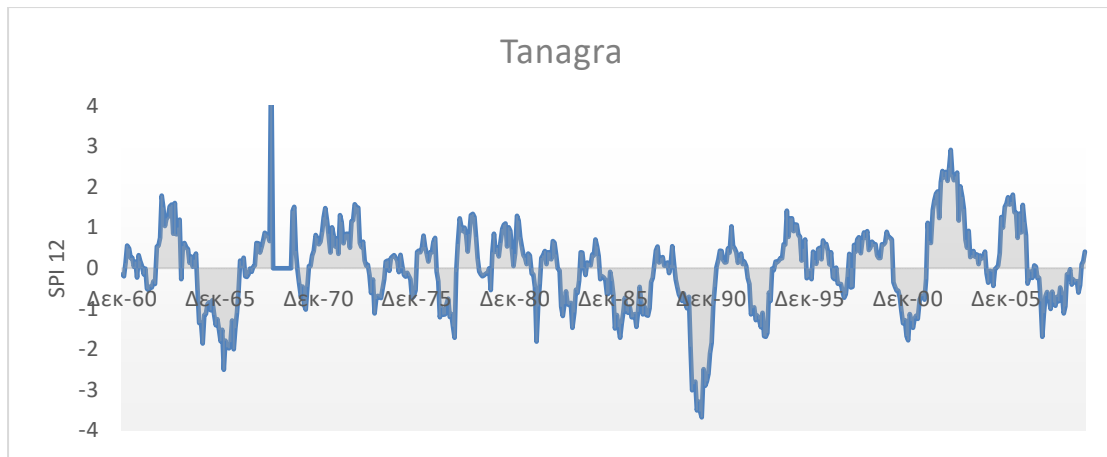
Διάγραμμα ΙΙΙ. 75. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Σκύρου.



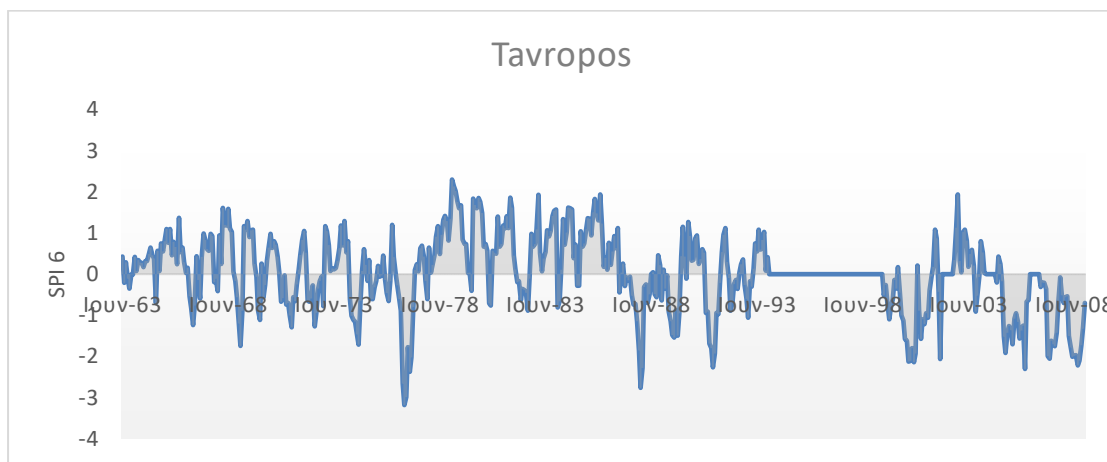
Διάγραμμα ΙΙΙ. 76. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Σκύρου.



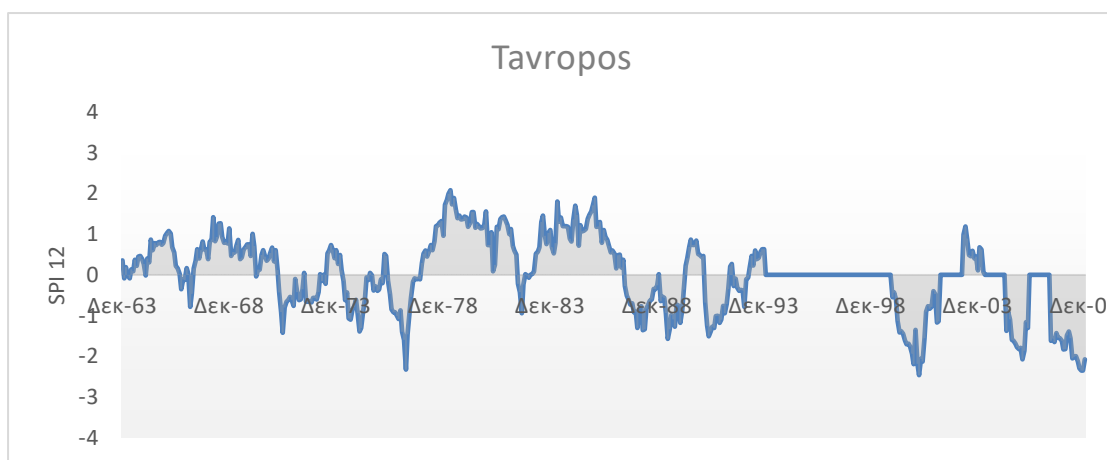
Διάγραμμα ΙΙΙ. 77. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Τανάγρας.



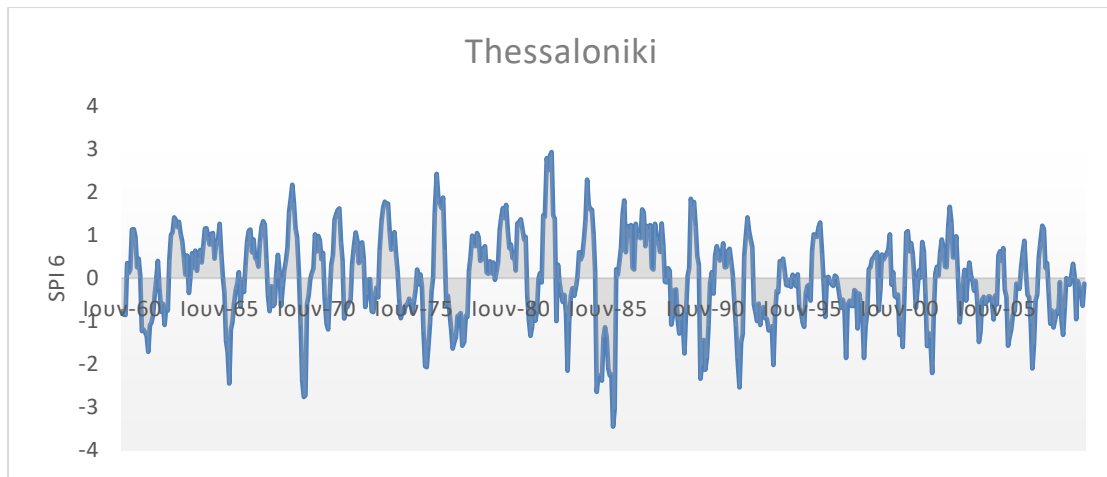
Διάγραμμα III. 78. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Τανάγρας.



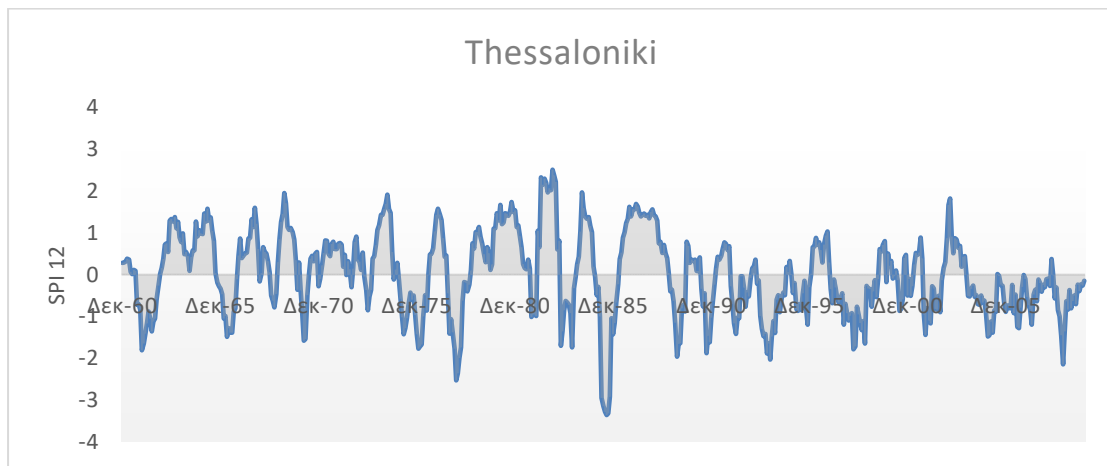
Διάγραμμα III. 79. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Ταυρωπού.



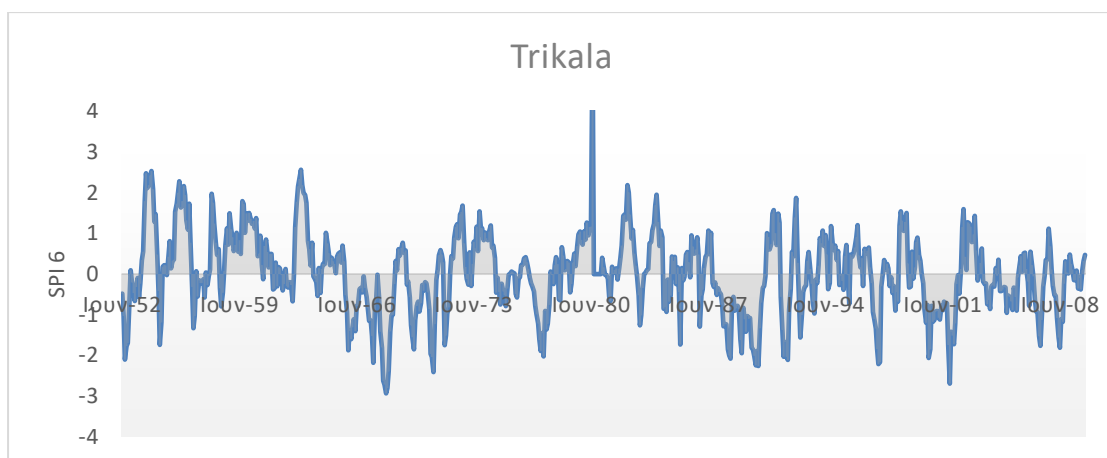
Διάγραμμα III. 80. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Ταυρωπού.



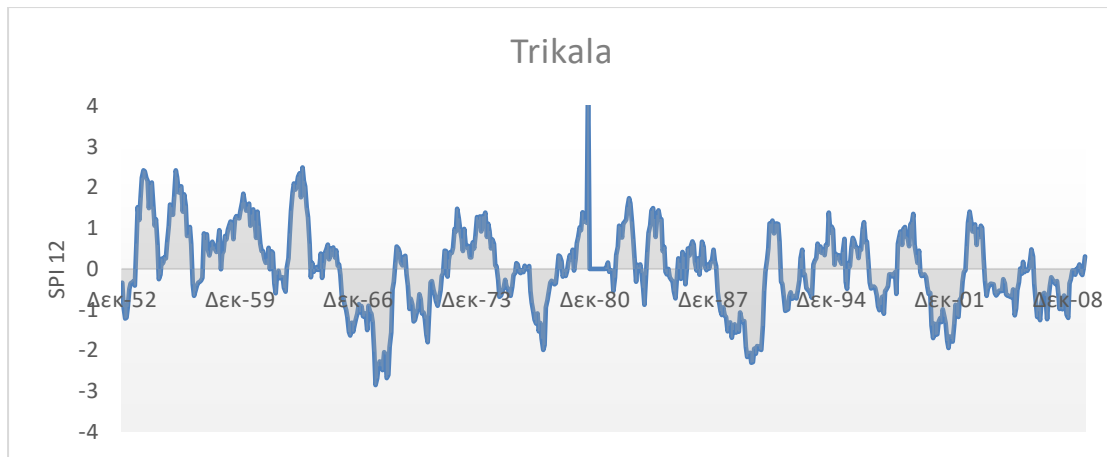
Διάγραμμα III. 81. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Θεσσαλονίκης.



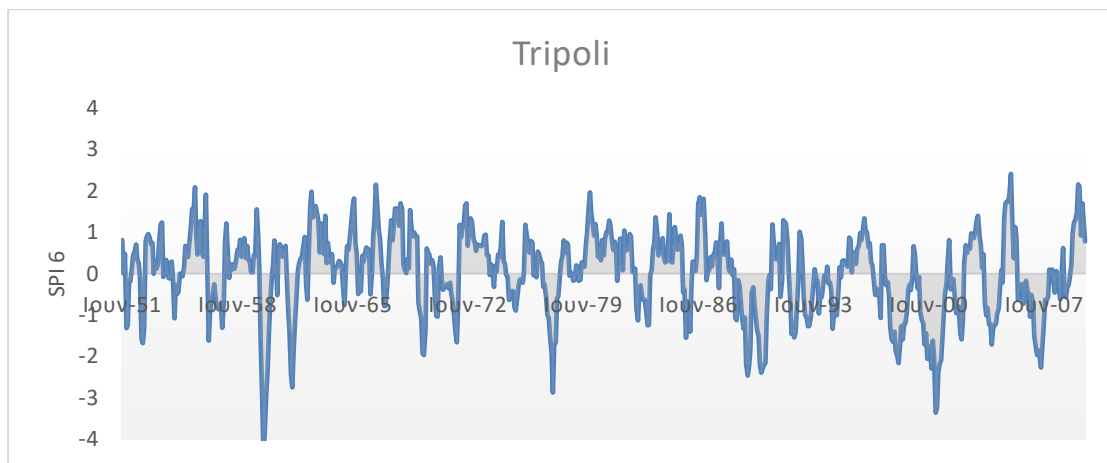
Διάγραμμα III. 82. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Θεσσαλονίκης.



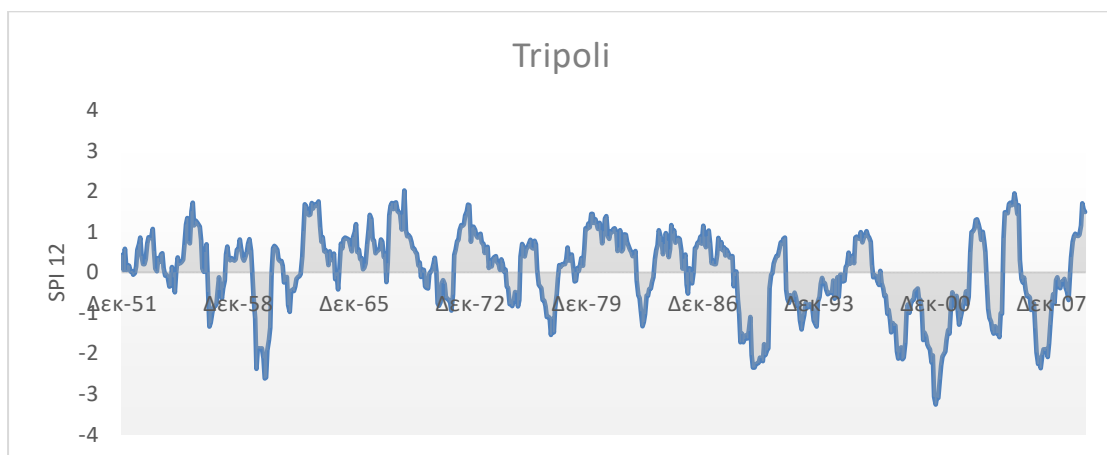
Διάγραμμα III. 83. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό των Τρικάλων.



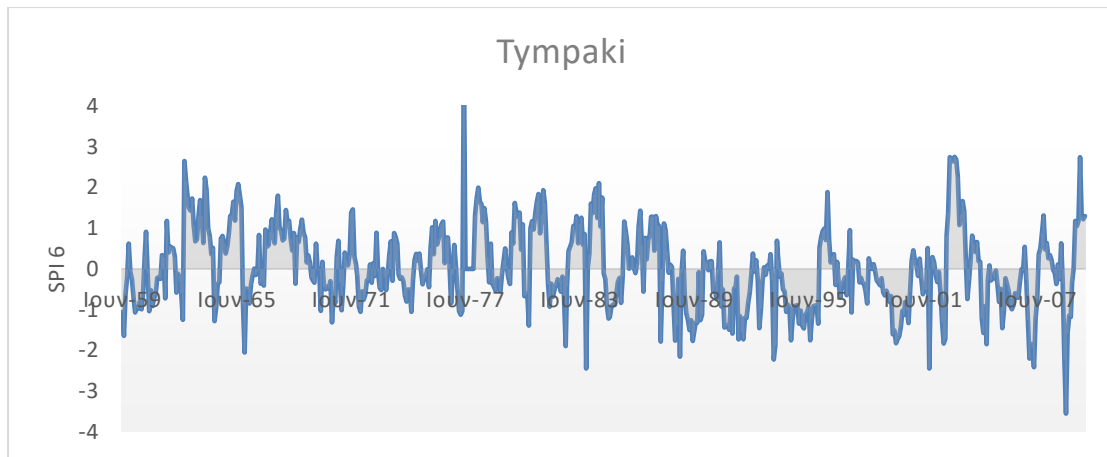
Διάγραμμα III. 84. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό των Τρικάλων.



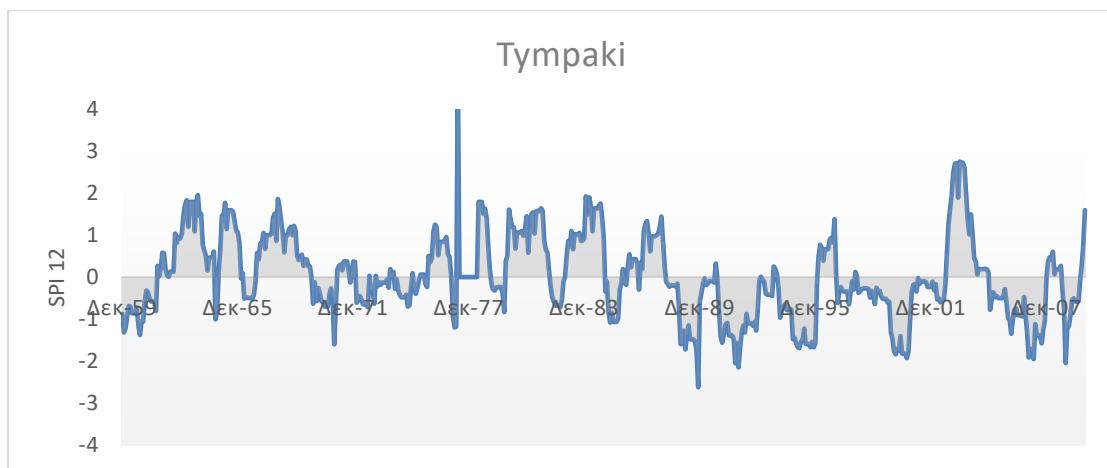
Διάγραμμα III. 85. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό της Τρίπολης.



Διάγραμμα III. 86. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Τρίπολης.



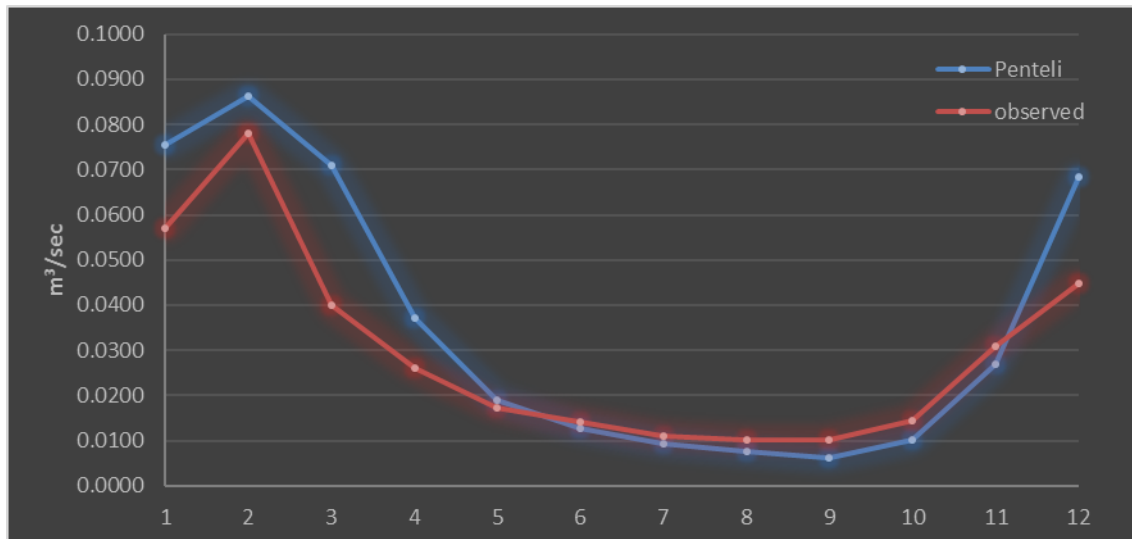
Διάγραμμα ΙΙΙ. 87. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι μηνών για τον σταθμό του Τυμπακίου.



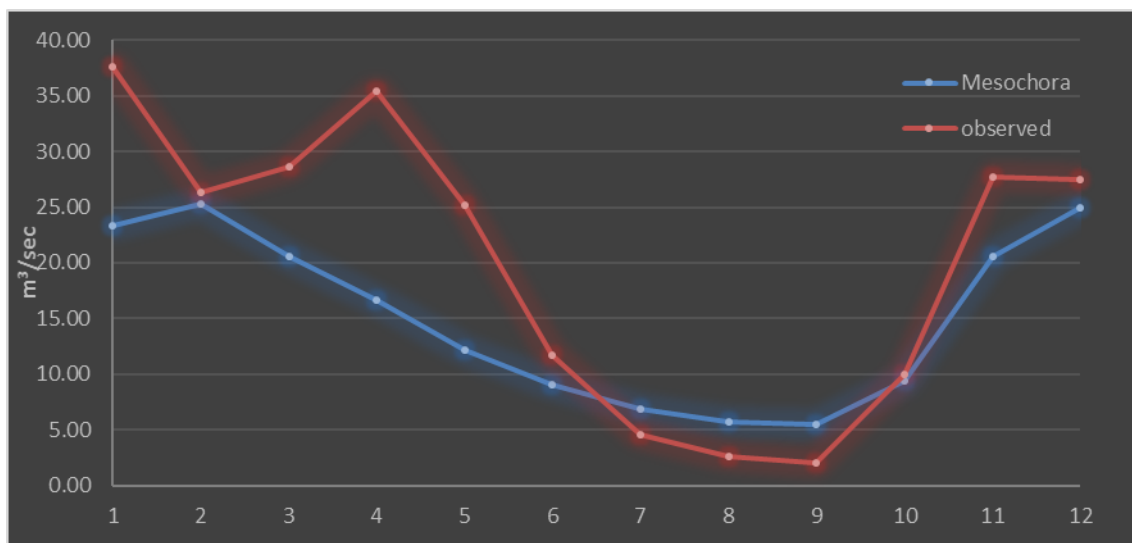
Διάγραμμα ΙΙΙ. 88. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Τυμπακίου.



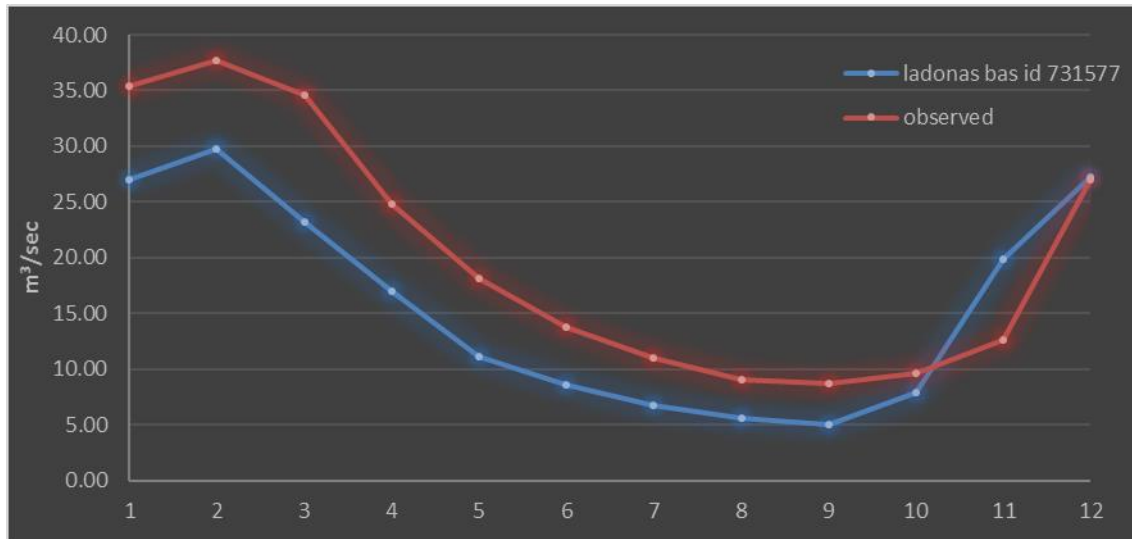
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΩΝ ΜΕ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΙΜΩΝ ΤΙΜΩΝ



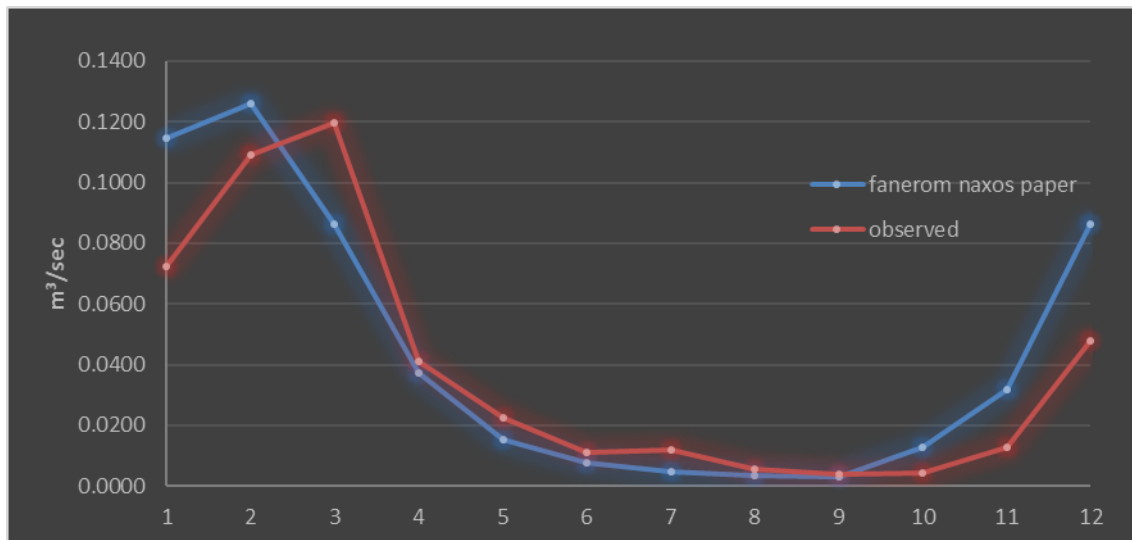
Διάγραμμα IV. 1. Σύγκριση σταθμού της Πεντέλης με τις εκτιμώμενες τιμές.



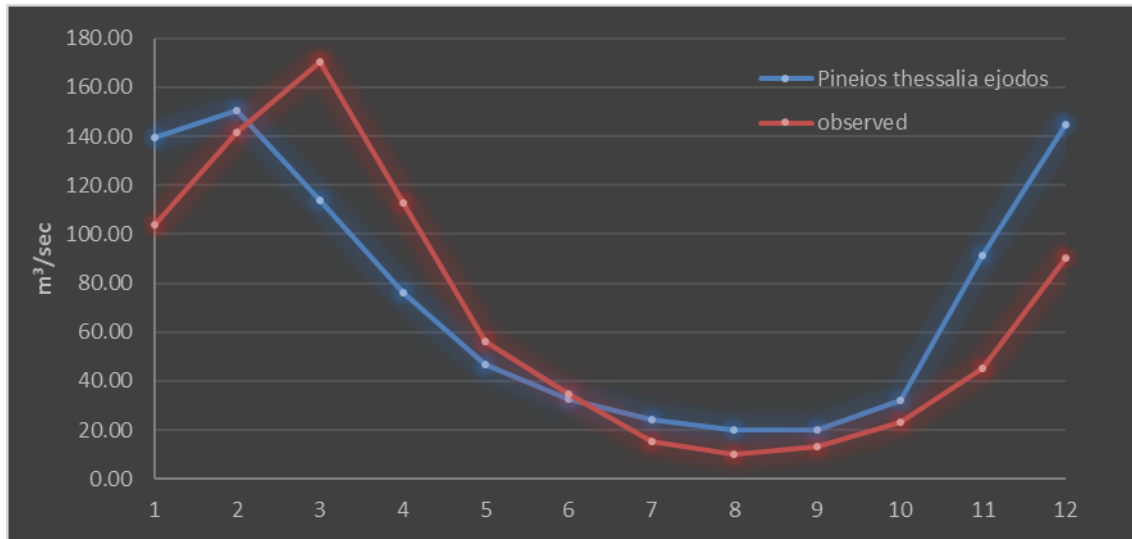
Διάγραμμα IV. 2. Σύγκριση σταθμού της Μεσοχώρας με τις εκτιμώμενες τιμές.



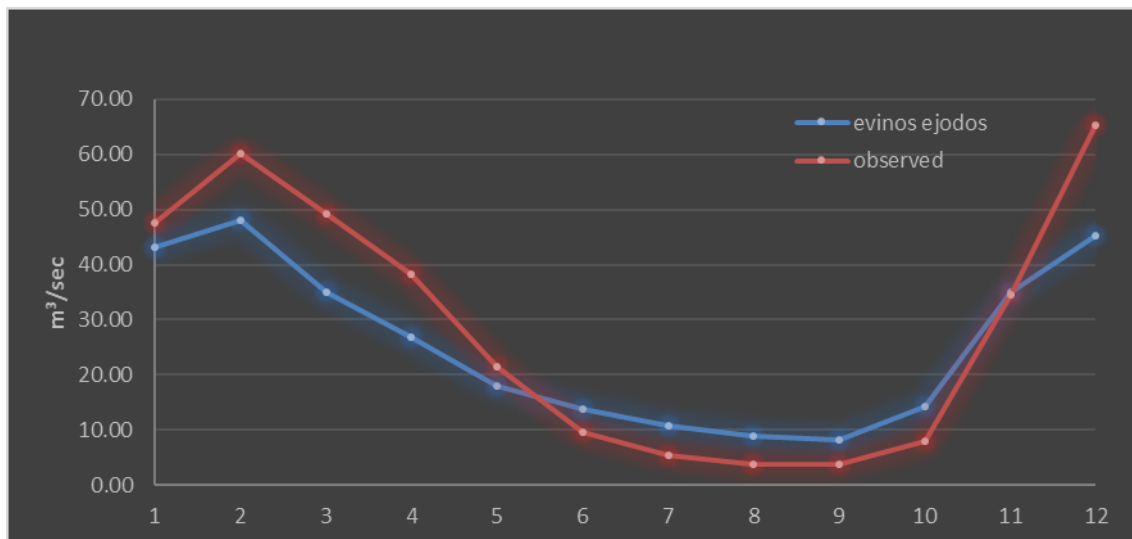
Διάγραμμα IV. 3. Σύγκριση σταθμού του Λάδωνα με τις εκτιμώμενες τιμές.



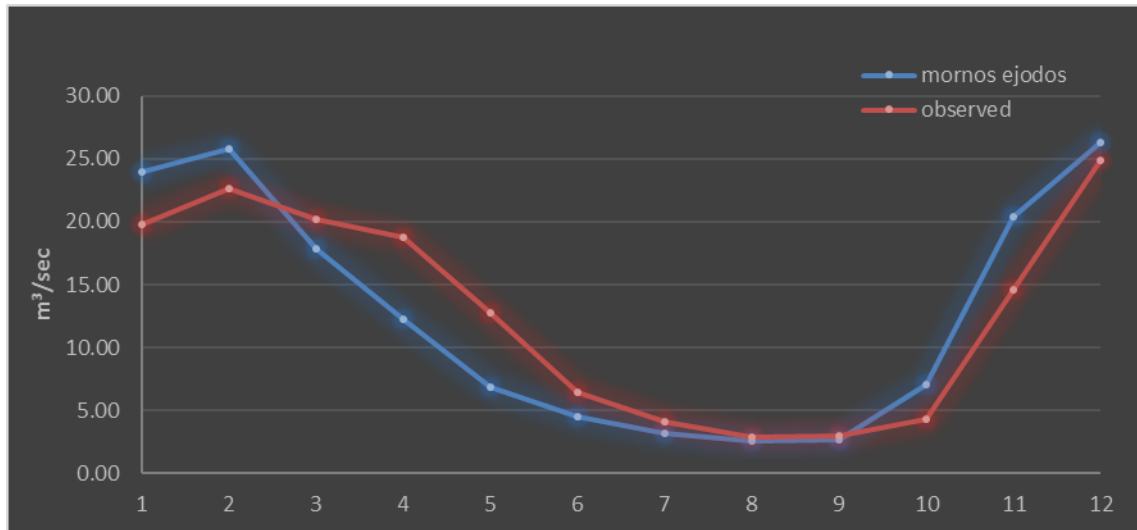
Διάγραμμα IV. 4. Σύγκριση σταθμού της Νάξου με τις εκτιμώμενες τιμές.



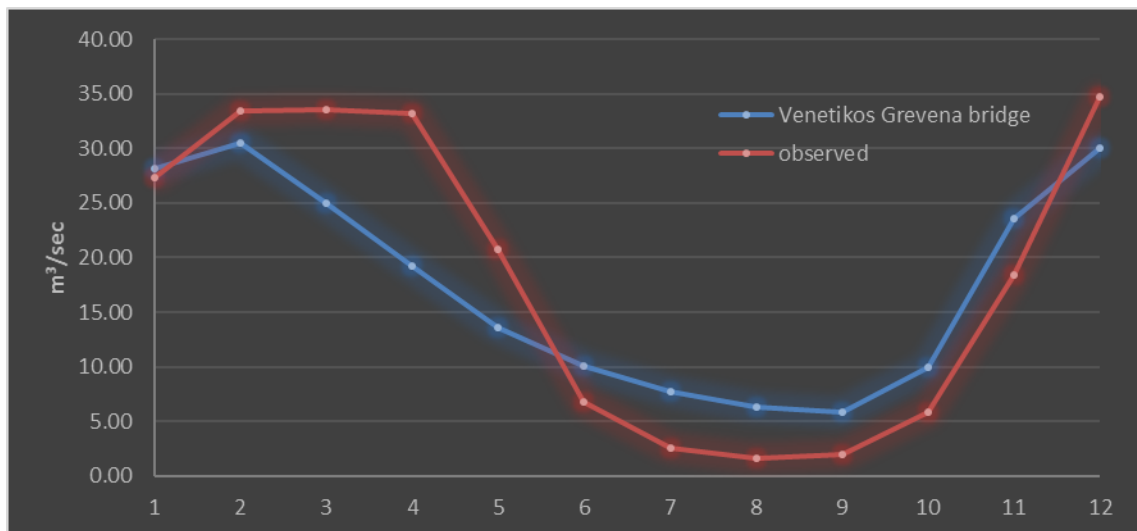
Διάγραμμα IV. 5. Σύγκριση σταθμού του Πηνειού με τις εκτιμώμενες τιμές.



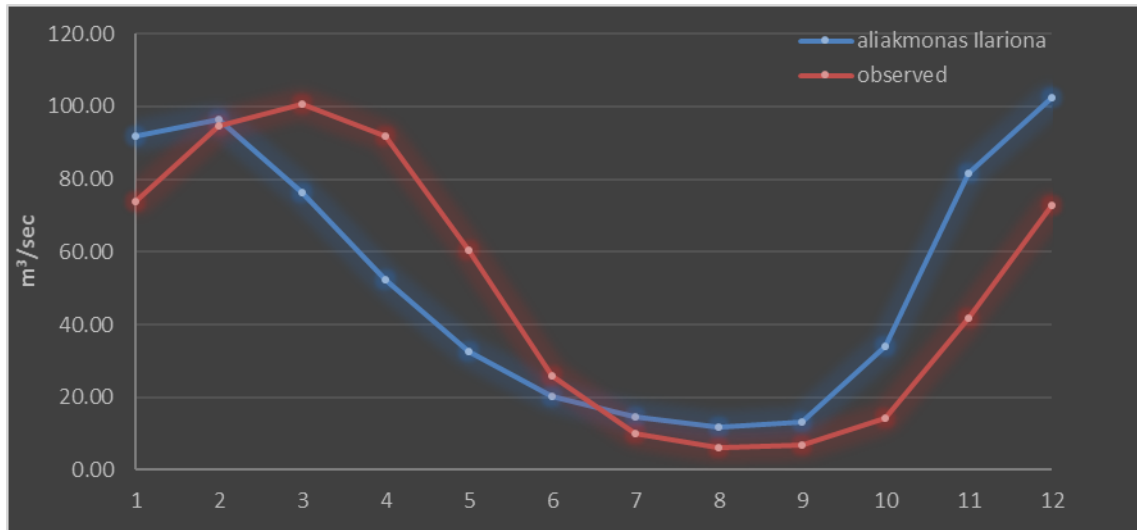
Διάγραμμα IV. 6. Σύγκριση σταθμού του Εύηνου με τις εκτιμώμενες τιμές.



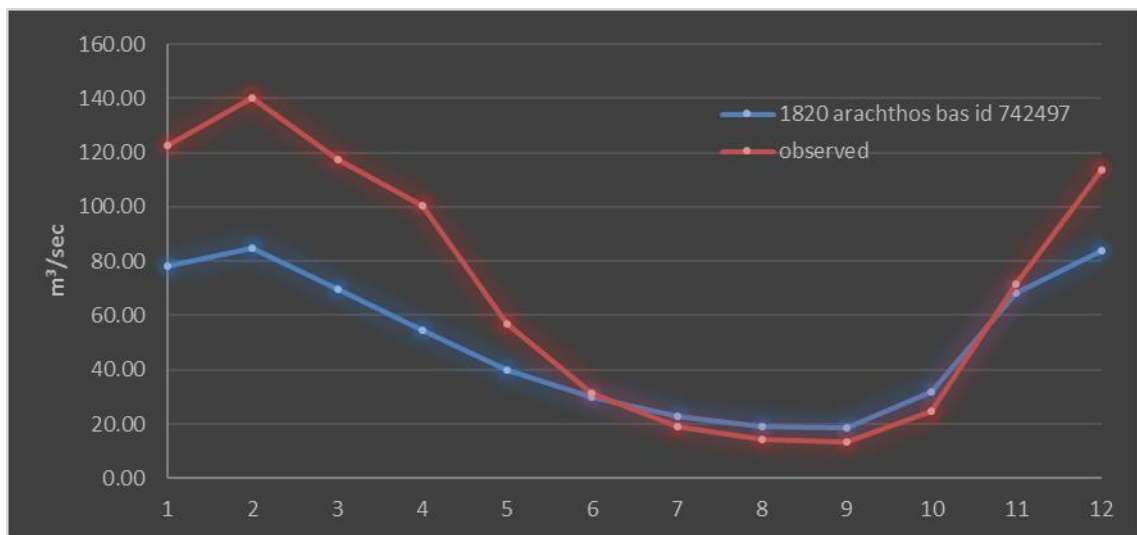
Διάγραμμα IV. 7. Σύγκριση σταθμού του Μόρνου με τις εκτιμώμενες τιμές.



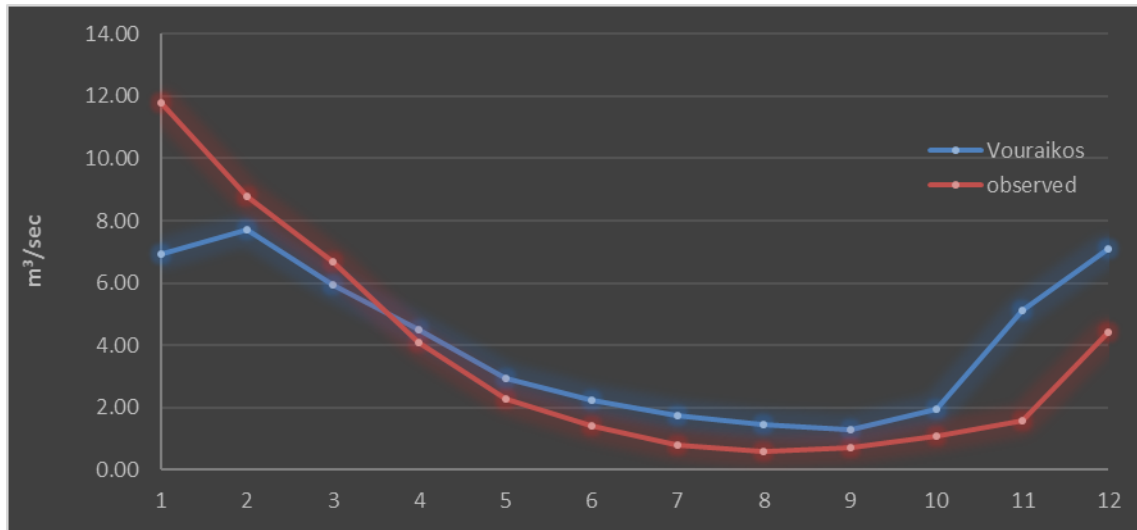
Διάγραμμα IV. 8. Σύγκριση σταθμού των Γρεβενών με τις εκτιμώμενες τιμές.



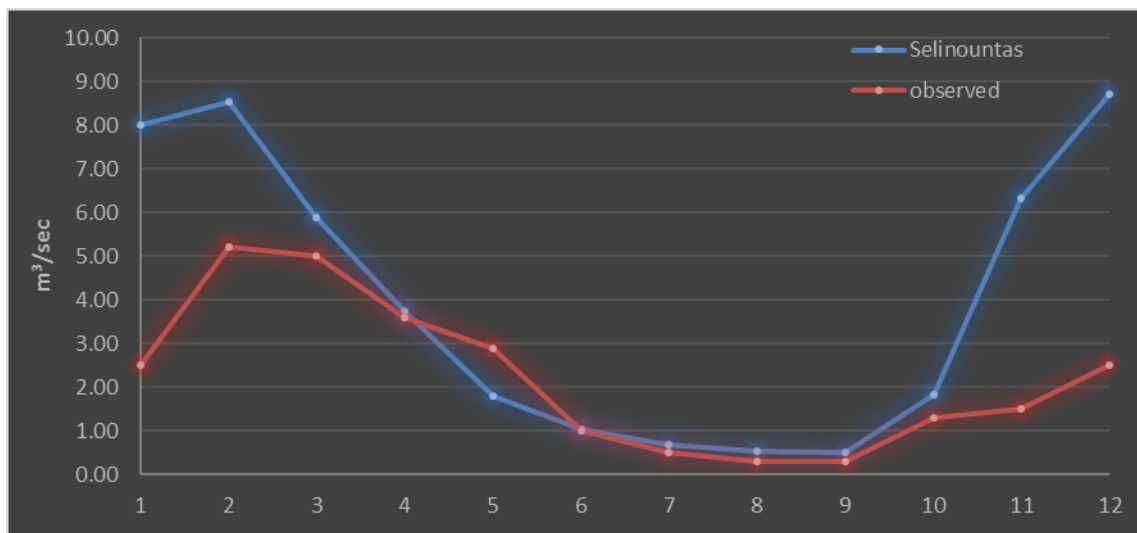
Διάγραμμα IV. 9. Σύγκριση σταθμού του Αλιάκμονα με τις εκτιμώμενες τιμές.



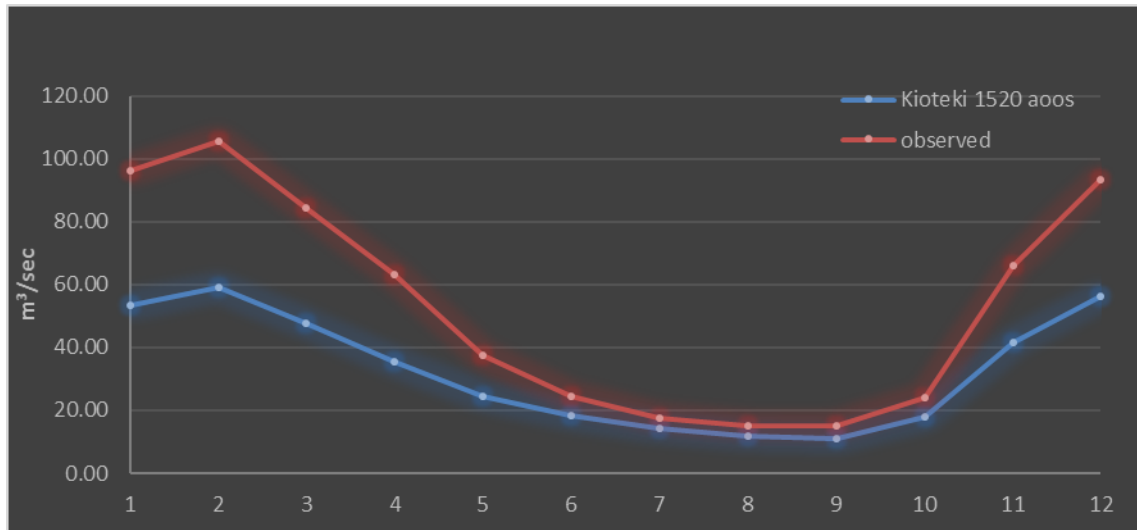
Διάγραμμα IV. 10. Σύγκριση σταθμού του Αράχθου με τις εκτιμώμενες τιμές.



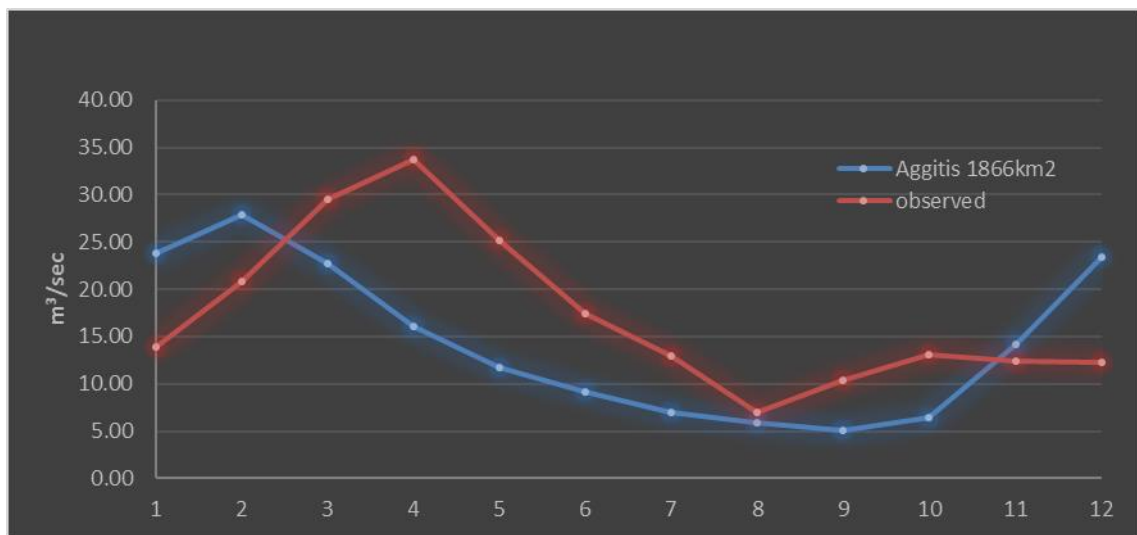
Διάγραμμα IV. 11. Σύγκριση σταθμού του Βουραϊκού με τις εκτιμώμενες τιμές.



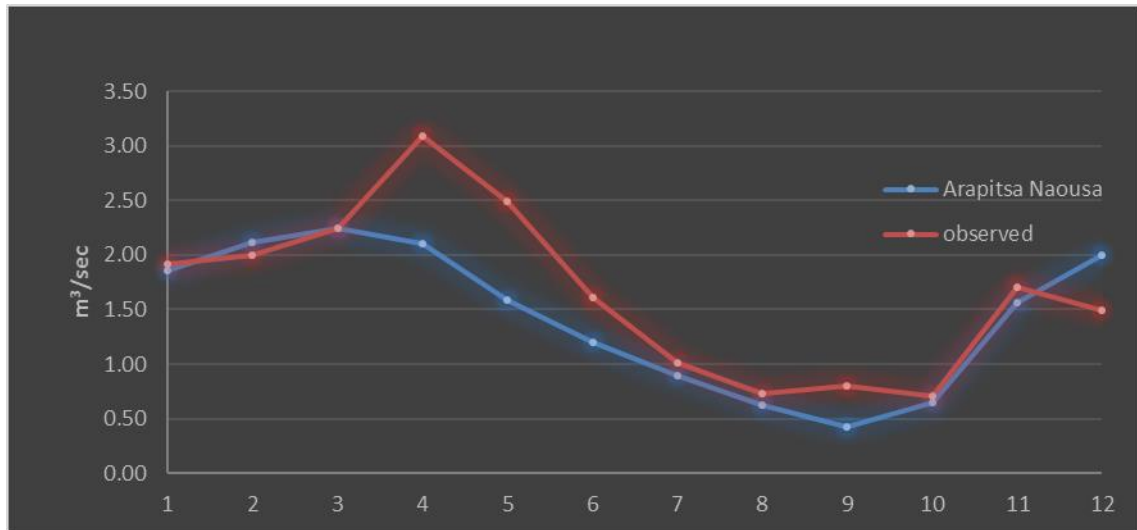
Διάγραμμα IV. 12. Σύγκριση σταθμού του Σελινούντα με τις εκτιμώμενες τιμές.



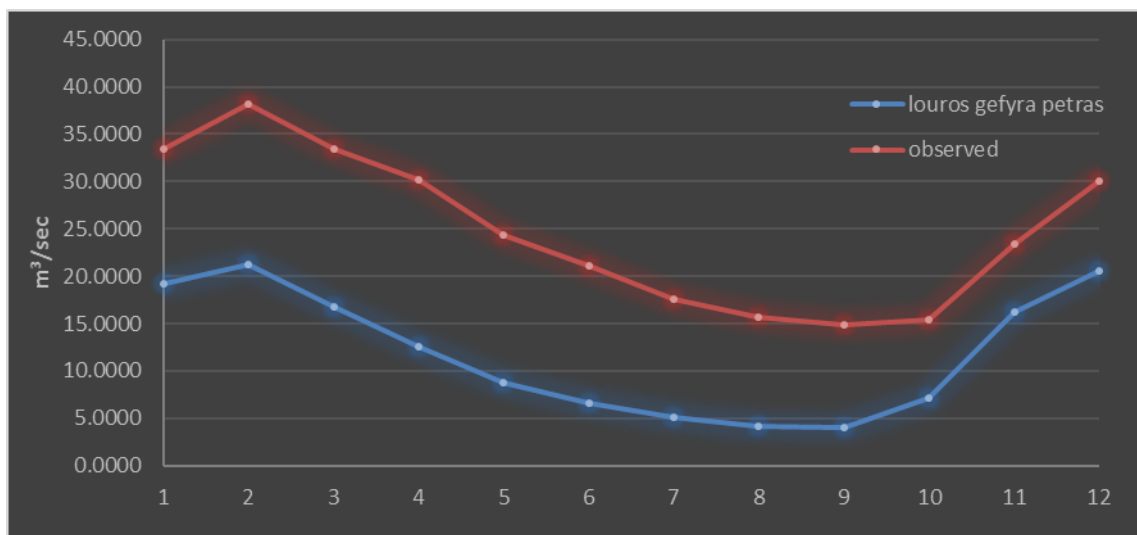
Διάγραμμα IV. 13. Σύγκριση σταθμού του Αωού με τις εκτιμώμενες τιμές.



Διάγραμμα IV. 14. Σύγκριση σταθμού του Αγγίτη με τις εκτιμώμενες τιμές.

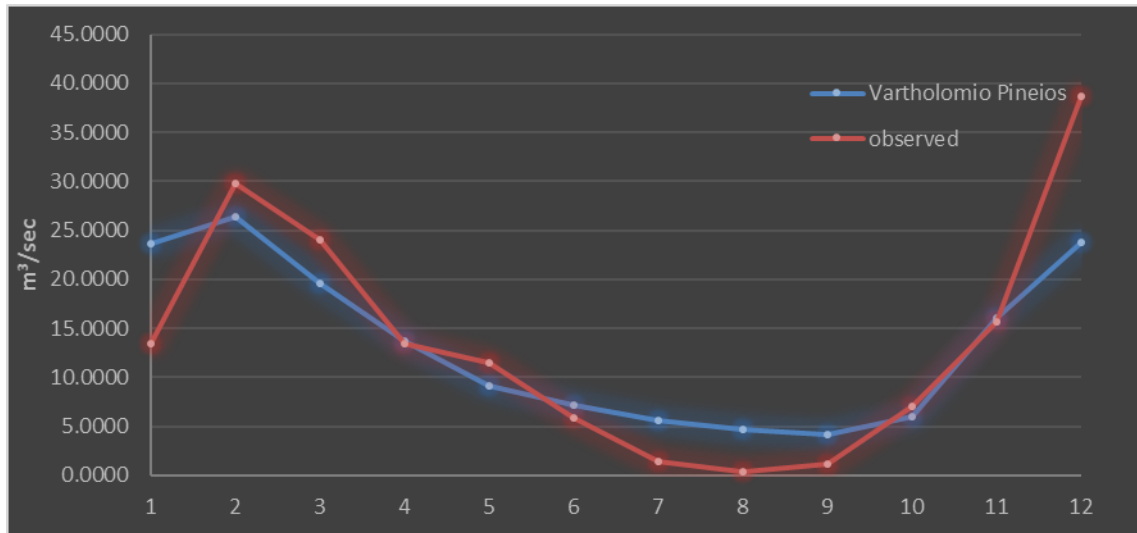


Διάγραμμα IV. 15. Σύγκριση σταθμού της Νάουσας με τις εκτιμώμενες τιμές.



Διάγραμμα IV. 16. Σύγκριση σταθμού του Λούρου με τις εκτιμώμενες τιμές.

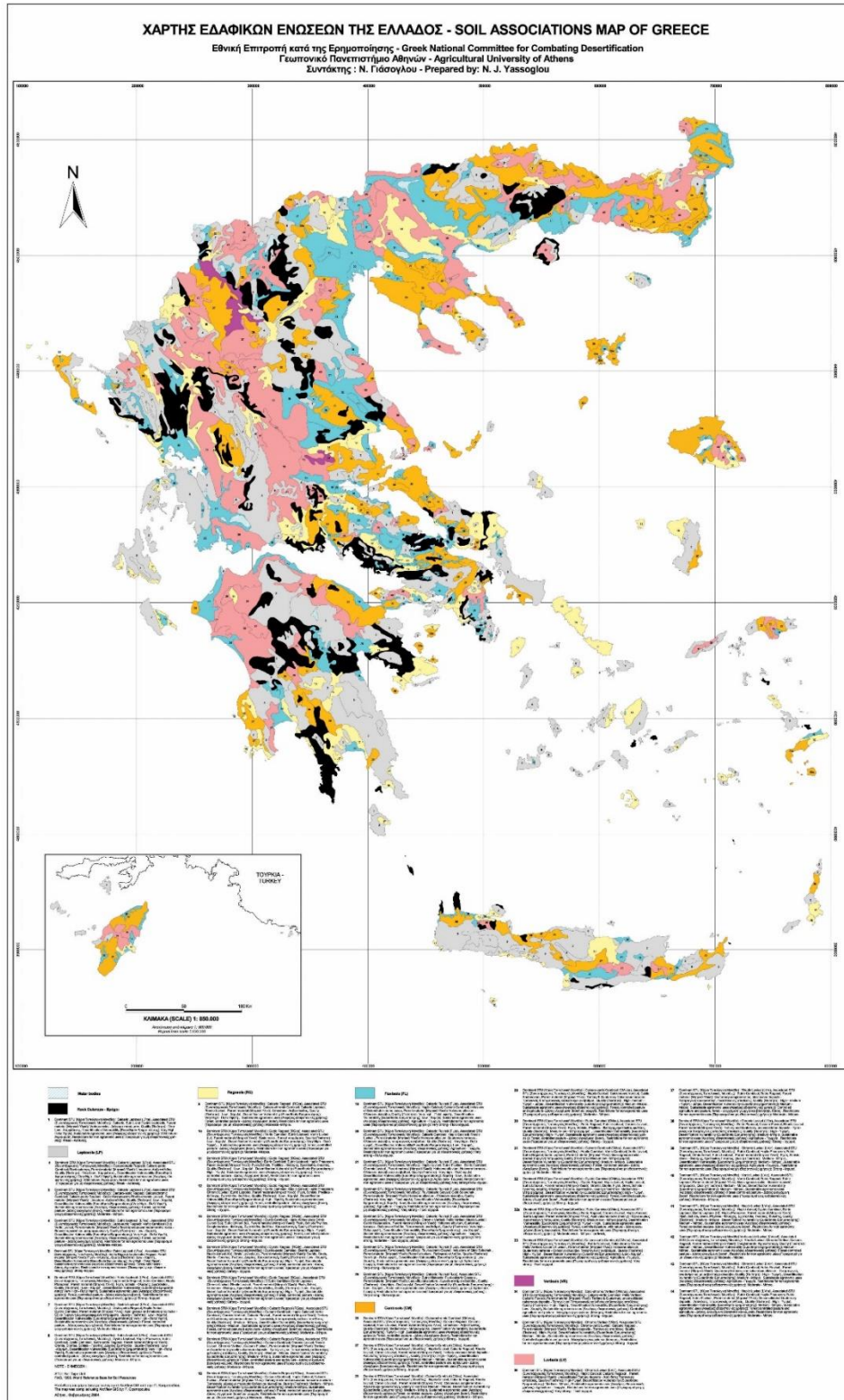




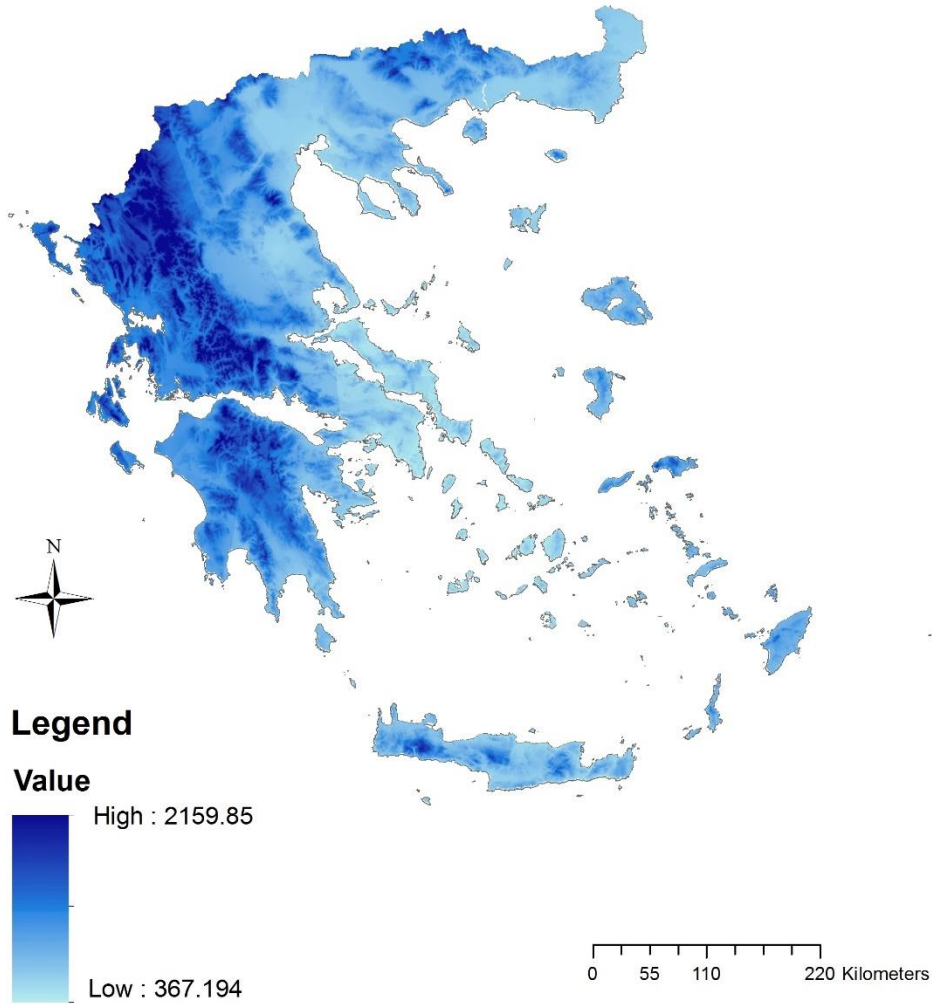
Διάγραμμα IV. 17. Σύγκριση σταθμού του Βαρθολομαίου με τις εκτιμώμενες τιμές.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI:

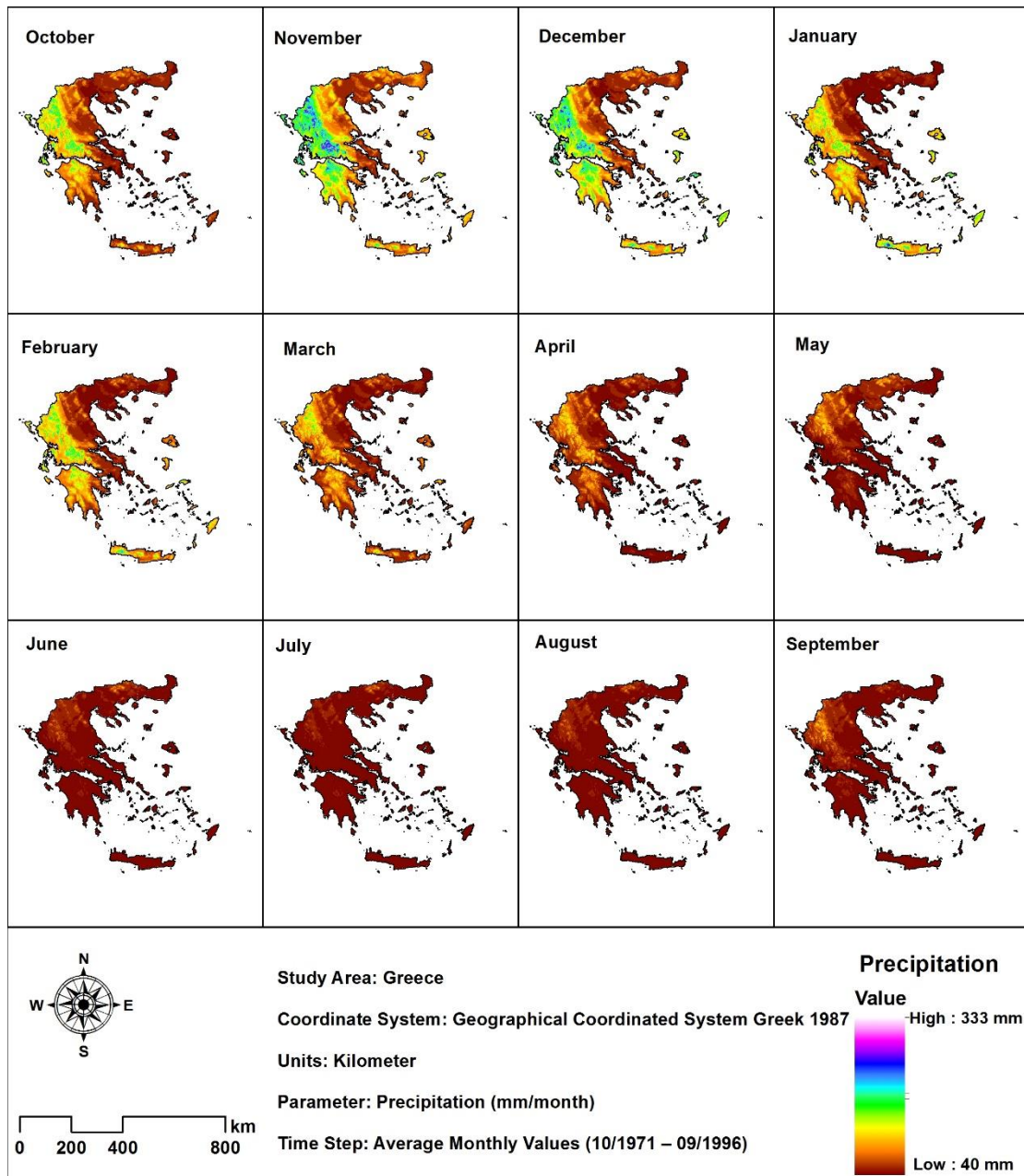
## ΧΩΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Εικόνα VI. 1. Εδαφολογικός χάρτης της Ελλάδας

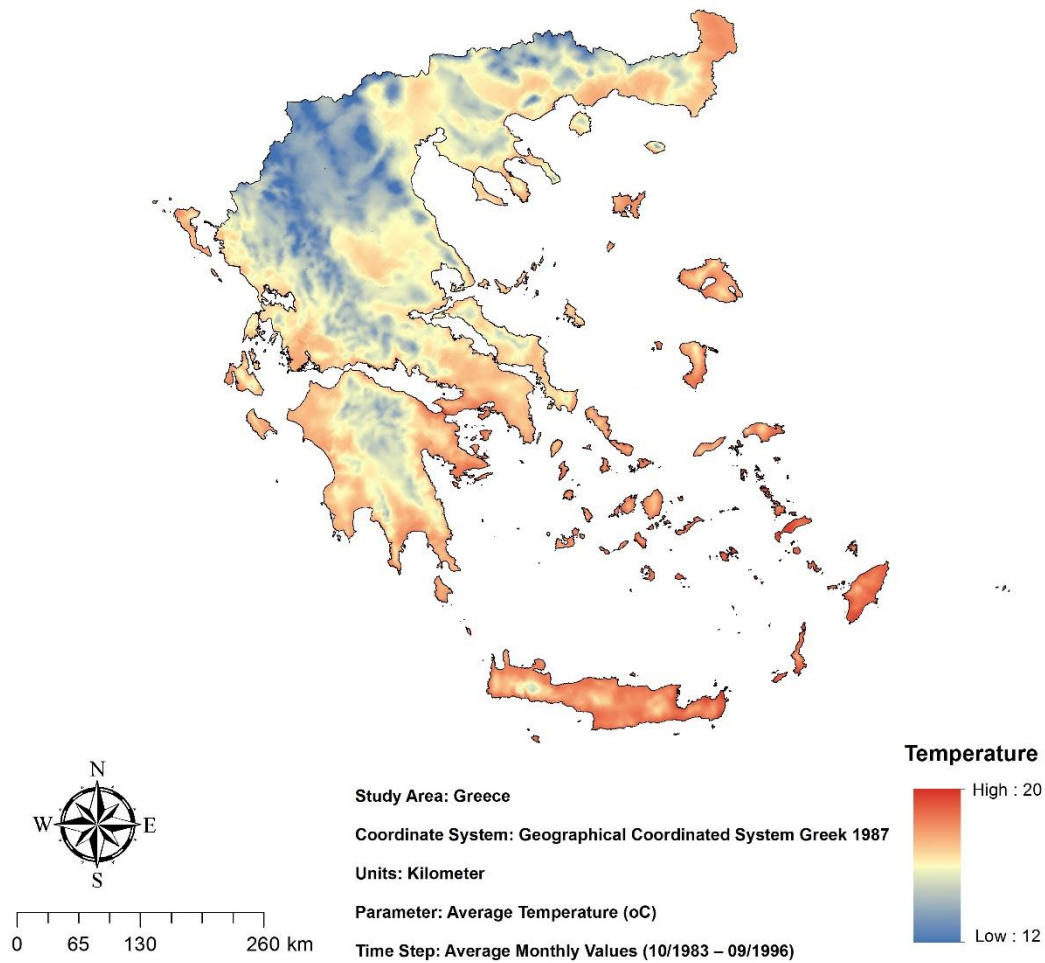


Εικόνα VI. 2. Μέσος όρος ετήσια βροχόπτωσης από το 10/1970 έως 09/1996.



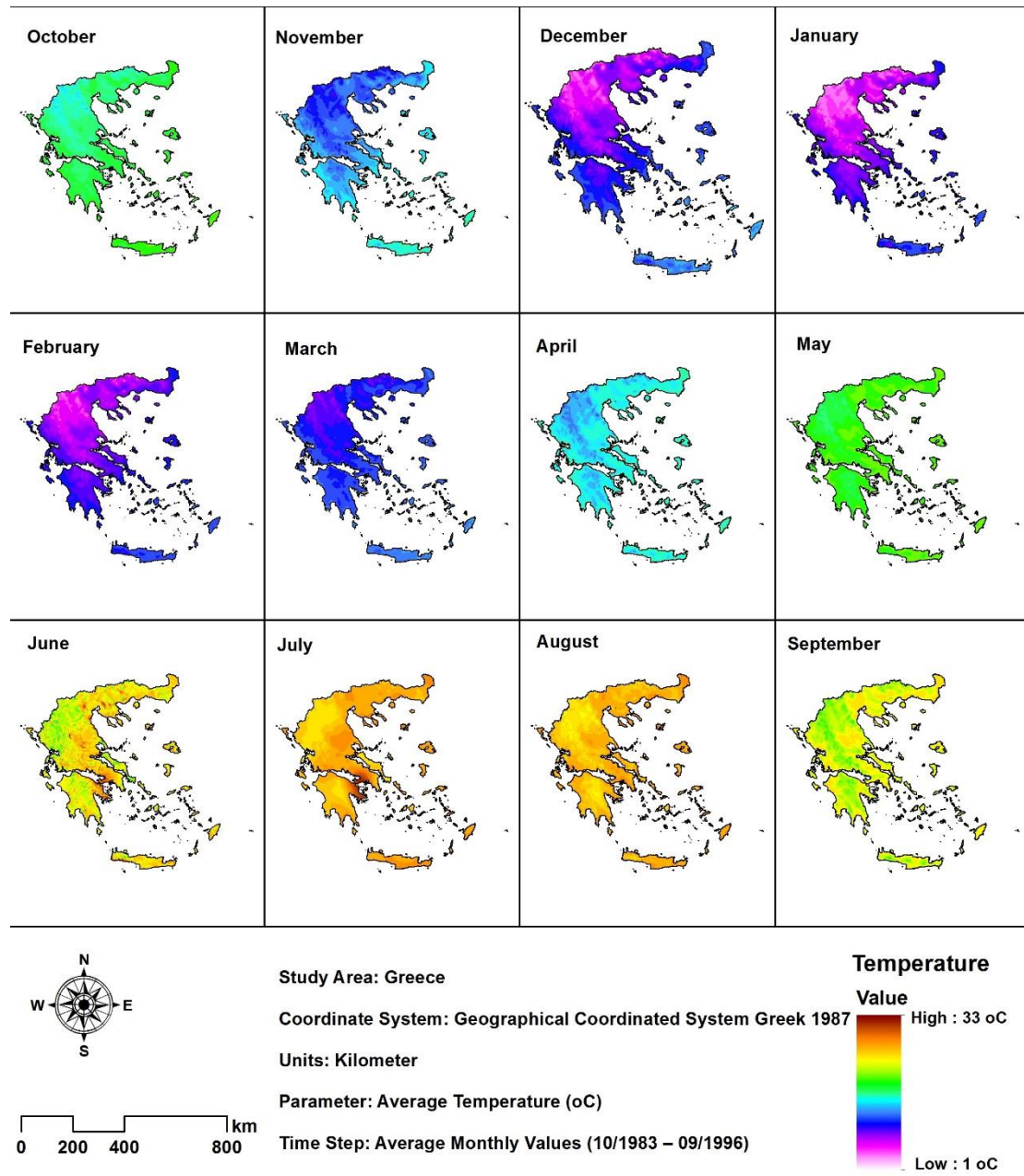
Εικόνα VI. 3. Μέσος όρος μηνιαίων τιμών της βροχόπτωσης από 10/1970 έως 09/1996.

### Average Mean Temperature



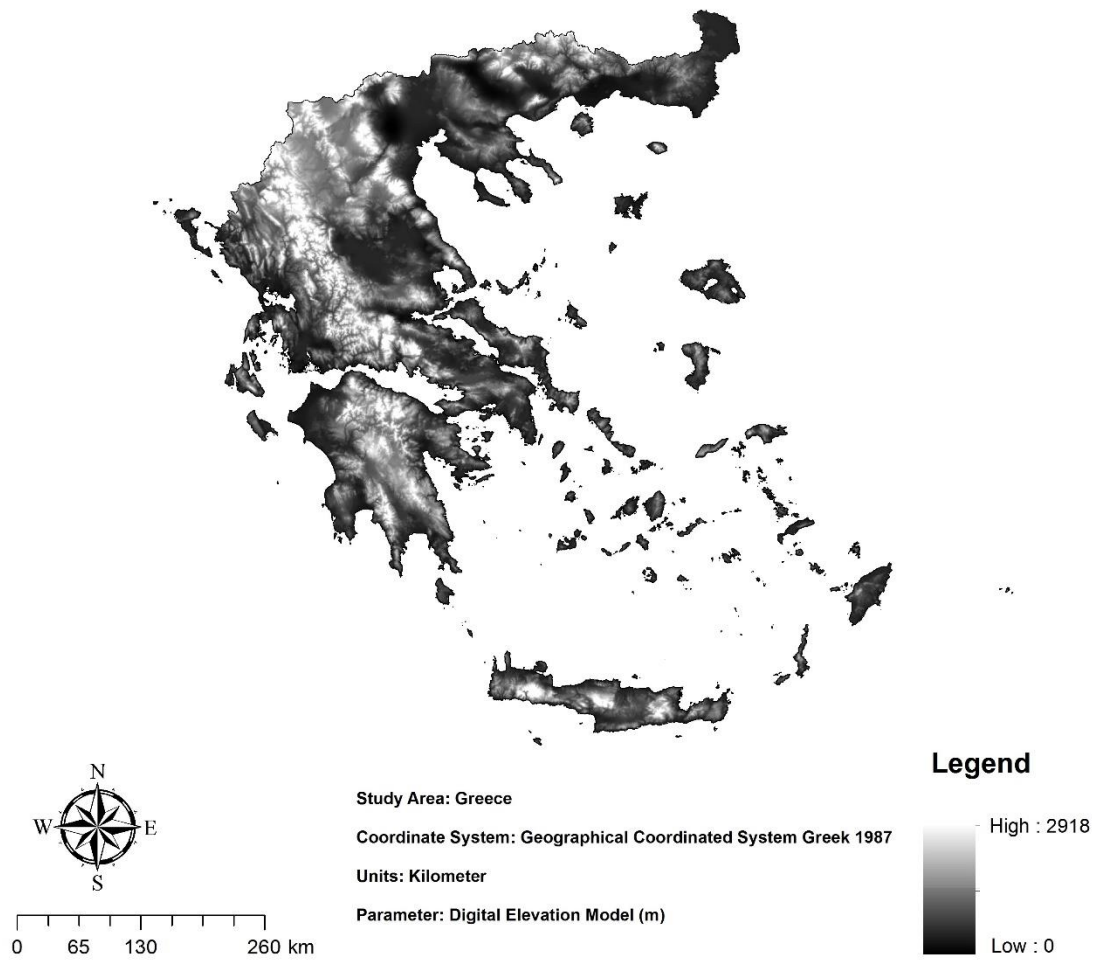
Εικόνα VI. 4. Μέσος όρος ετήσια μέσης θερμοκρασίας από το 10/1970 έως 09/1996.





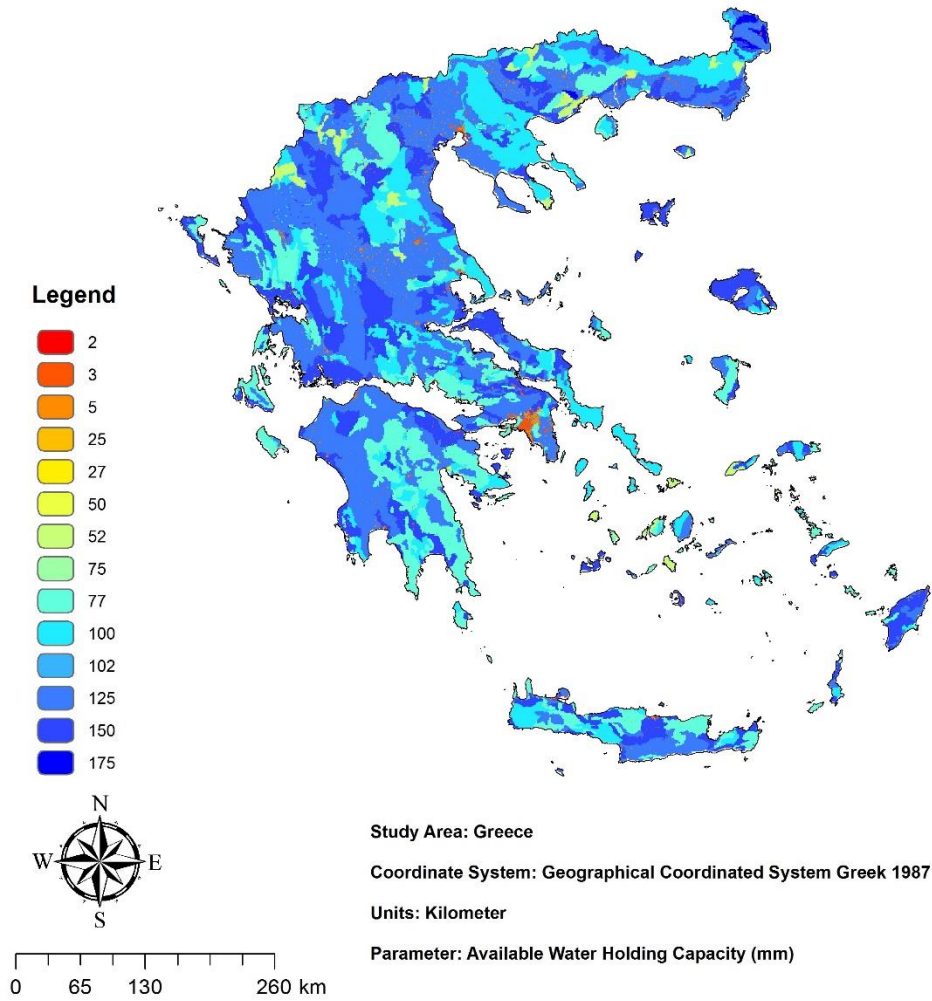
Εικόνα VI. 5. Μέσος όρος μηνιαίων τιμών της μέσης θερμοκρασίας από 10/1970 έως 09/1996.

## Digital Elevation Model



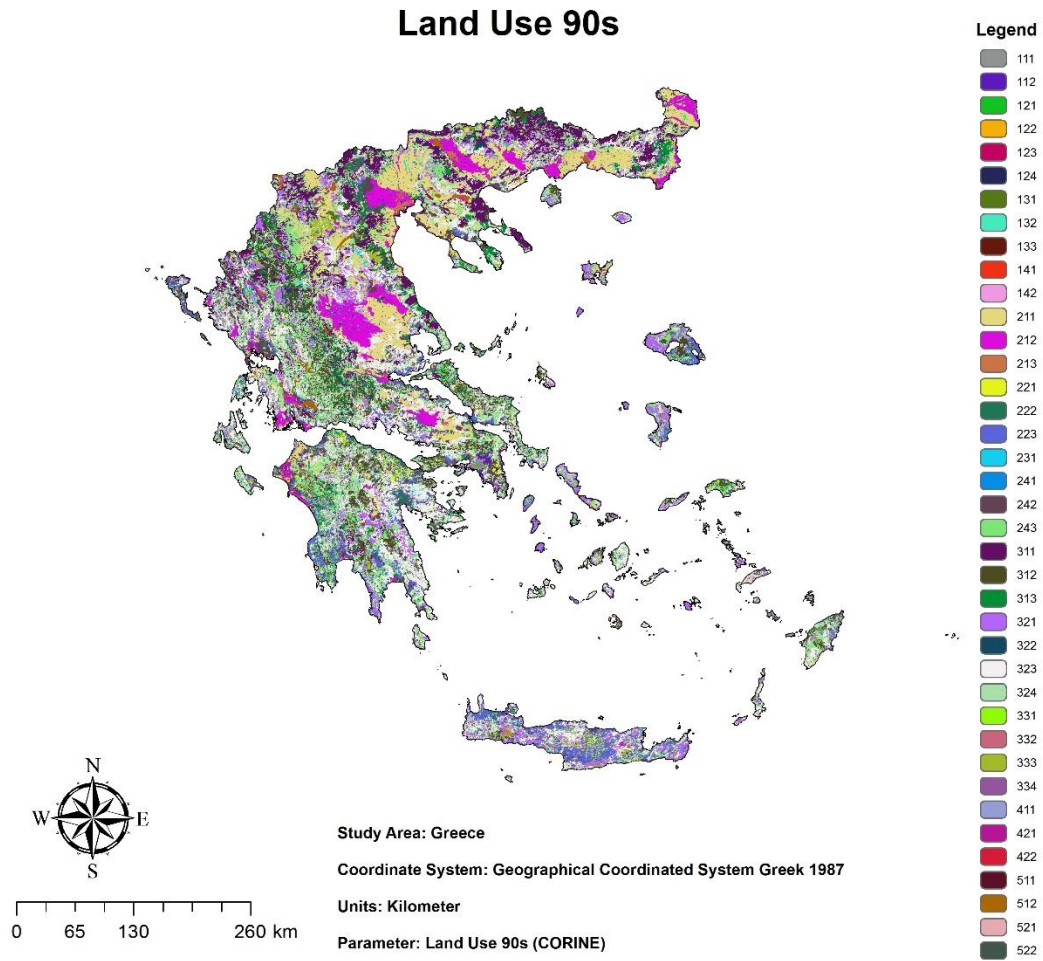
Εικόνα VI. 6. Ψηφιακό μοντέλου εδάφους.

## Available Water Holding Capacity

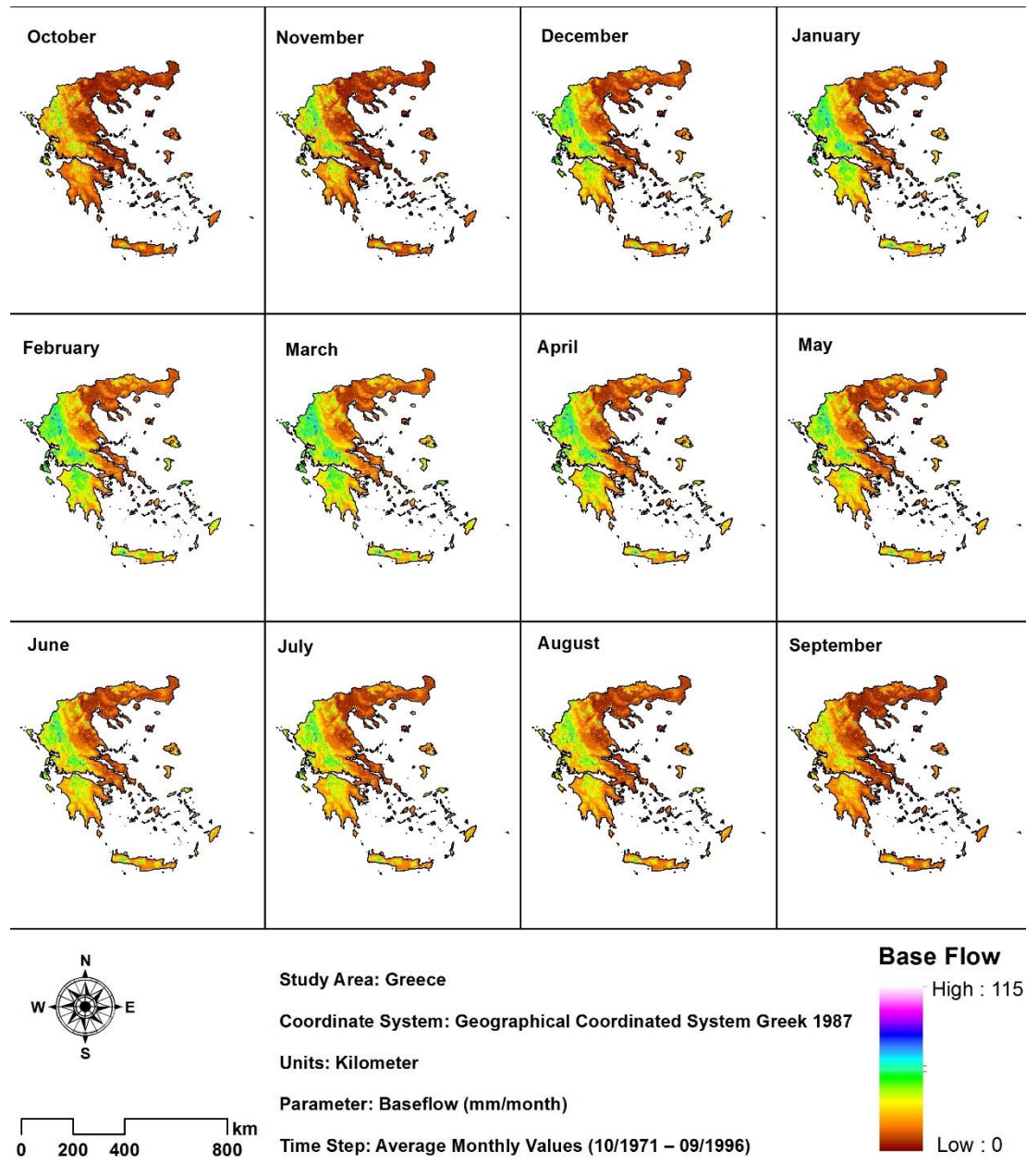


Εικόνα VI. 7. Χωρική αποτύπωση της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας στο έδαφος.

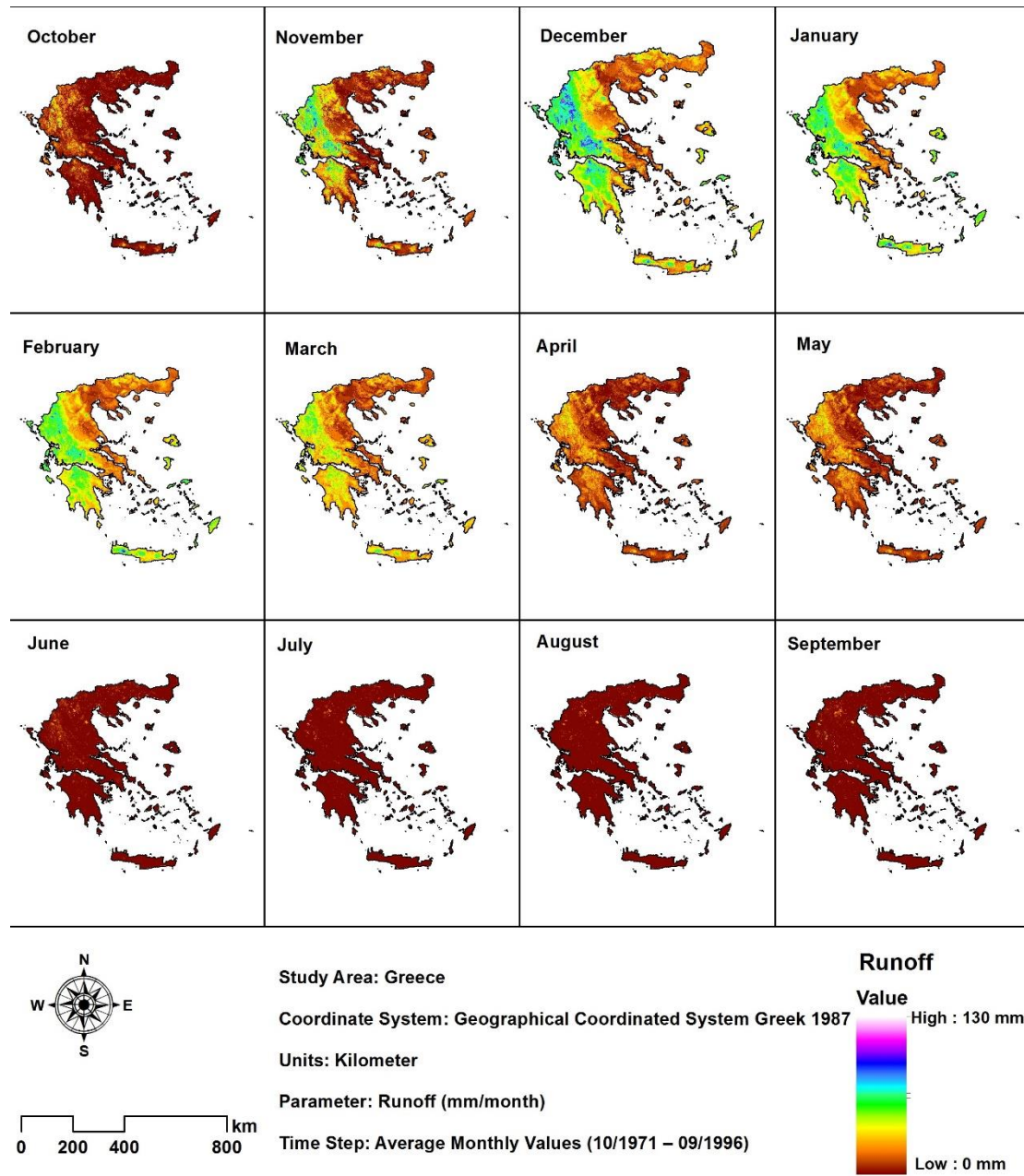




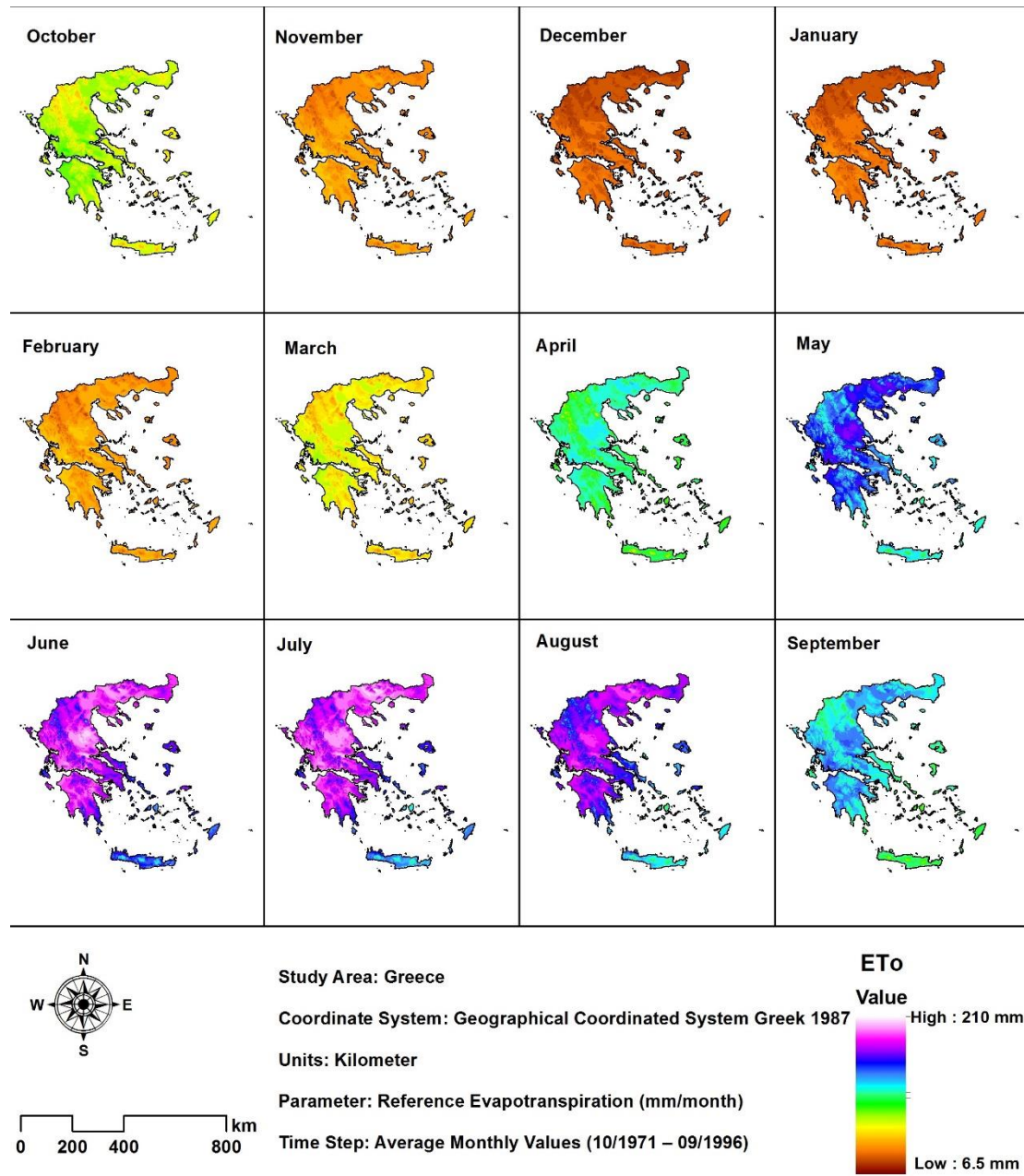
Εικόνα VI. 8. Χωρική αποτύπωση της χρήσης γης για τη δεκαετία του 90.



Εικόνα VI. 9. Μέσος όρος μηνιαίων τιμών της βασικής ροής από 10/1970 έως 09/1996.

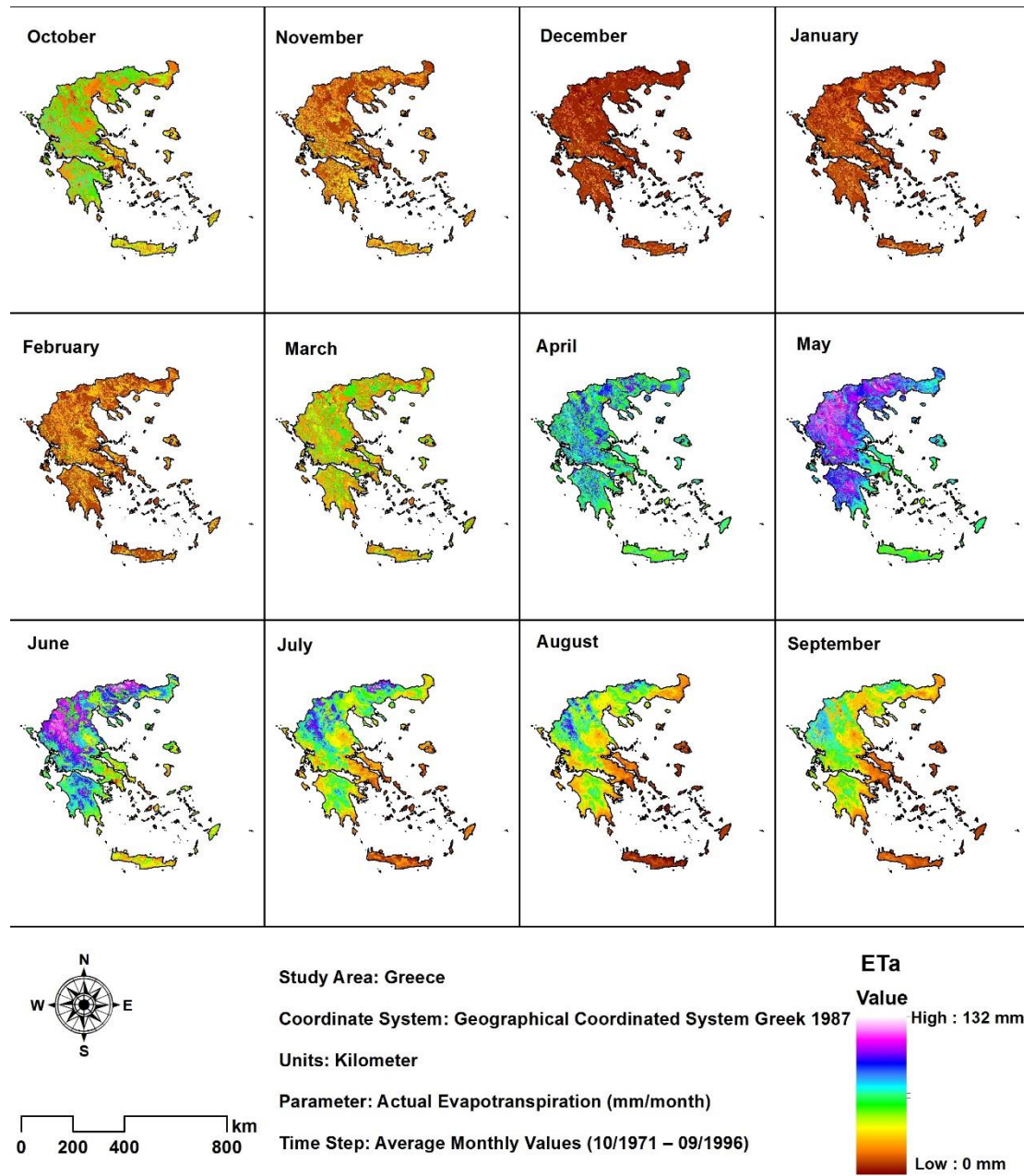


Εικόνα VI. 10. Μέσος όρος μηνιαίων τιμών της απορροής από 10/1970 έως 09/1996.

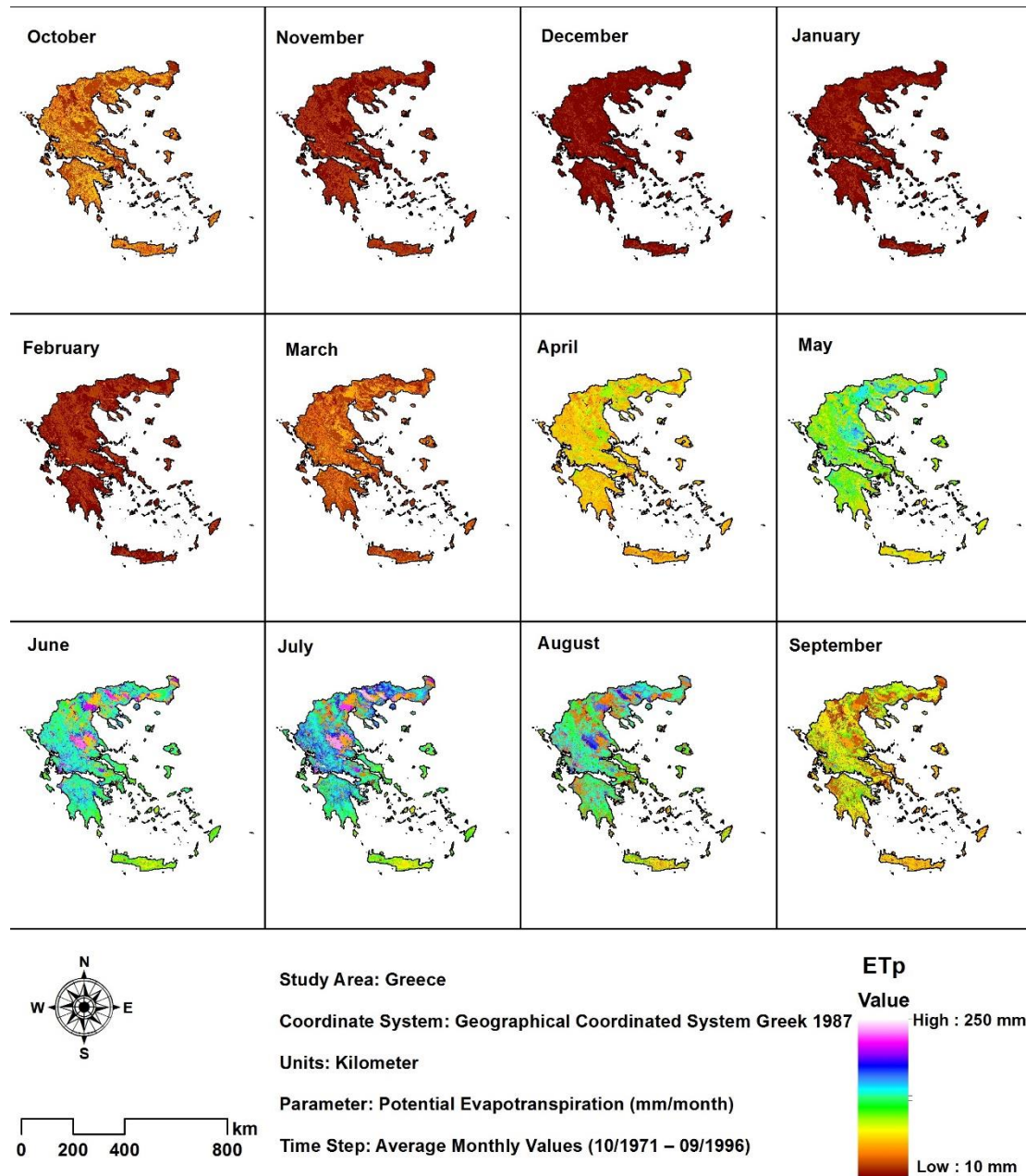


Εικόνα VI. 11. Μέσος όρος μηνιαίων τιμών της εξατμοδιαπνοής αναφοράς από 10/1970 έως 09/1996.

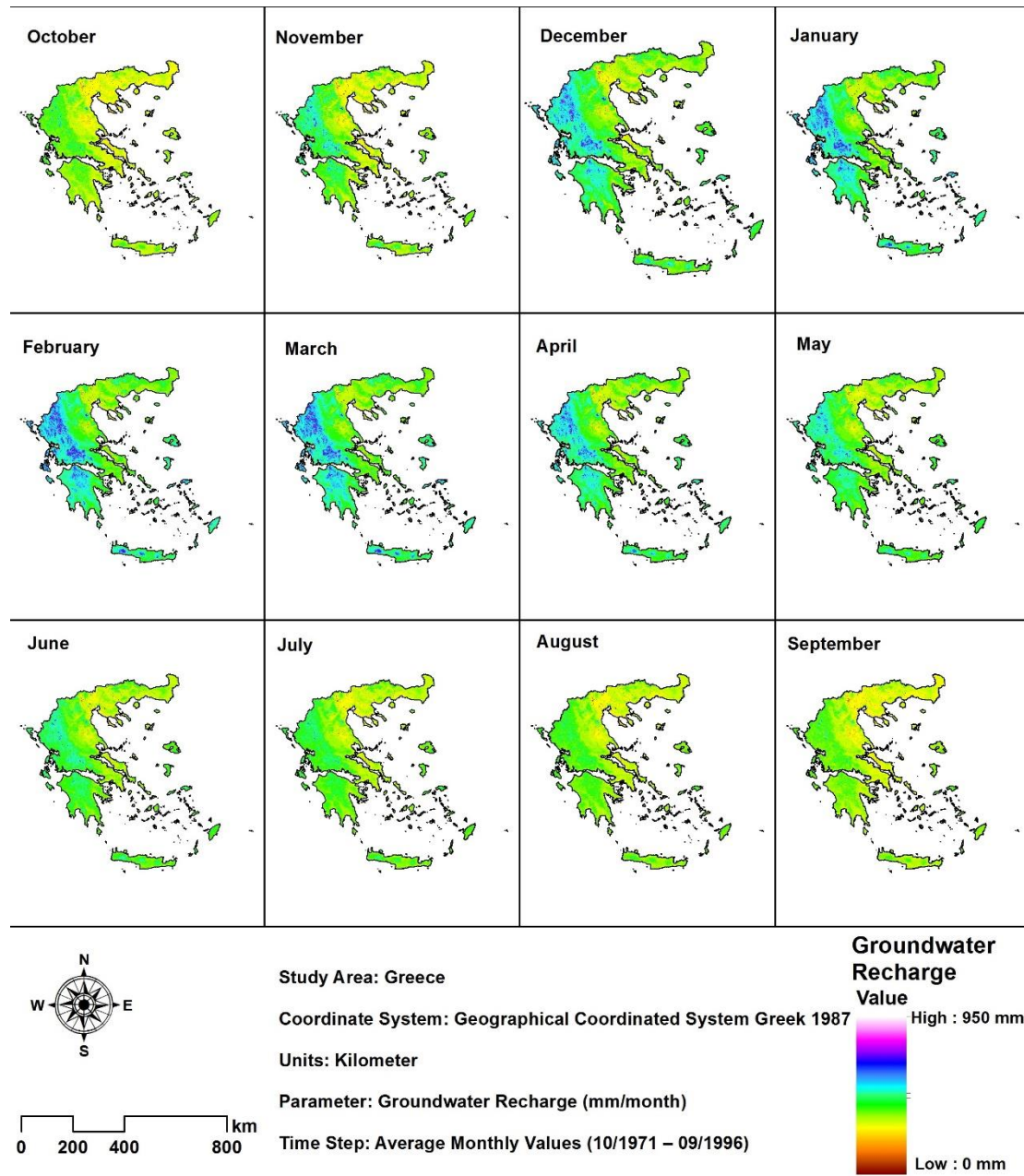




Εικόνα VI. 12. Μέσος όρος μηνιαίων τιμών της πραγματικής εξατμοδιαπνοής από 10/1970 έως 09/1996.



Εικόνα VI. 13. Μέσος όρος μηνιαίων τιμών της δυνητικής εξατμοδιαπνοής από 10/1970 έως 09/1996.



Εικόνα VI. 14. Μέσος όρος μηνιαίων τιμών της επαναπλήρωσης των υπόγειων υδάτων από 10/1970 έως 09/1996.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VII:

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΙΔΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΒΑΡΗ ΤΟΥ SDVI



Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών  
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής  
Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα

Ιδιότητα: \_\_\_\_\_  
 Ηλικία: \_\_\_\_\_  
 Επίπεδο Μόρφωσης: \_\_\_\_\_  
 Ημερομηνία: \_\_\_\_\_  
 Αριθμός Ερωτηματολογίου: \_\_\_\_\_

Το παρόν ερωτηματολόγιο έχει αντικείμενο τη δημιουργία βαρών του σύνθετου δείκτη SPI based Drought Vulnerability Index (SDVI) που απαρτίζεται από του υπό-δείκτες: cSPI6, cSPI12, Ζήτηση (Demand), Εφοδιασμός (Supply), Επιπτώσεις (Impacts) και Υποδομές στους Υδατικούς πόρους (Infrastructure). Παρακαλείσθε να απαντήσετε με ειλικρίνεια.

Υπό-δείκτης	Βάρος	Εύρος
<b>cSPI6</b>		0.000 – 1.000
<b>cSPI12</b>		
Βασίζονται στο δείκτη ξηρασίας SPI και αποτυπώνει την ένταση και τη διάρκεια της ξηρασίας		
<b>Ζήτηση - Demand</b>		
Βασίζεται στη ζήτηση και την τάση της (πχ αύξηση, μείωση)		
<b>Εφοδιασμός - Supply</b>		
Βασίζεται στον εφοδιασμό μια περιοχής κάλυψη των αναγκών ή μη (ελλείψεις)		
<b>Impacts</b>		
Βασίζεται βάση των επιπτώσεων της ξηρασίας στην κοινωνία (κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις)		
<b>Infrastructure</b>		
Βασίζεται στις υφιστάμενες υποδομές μιας περιοχής εξετάζοντας παράλληλα την ηλικία, συντήρηση κλπ.		
<b>Σύνολο</b>	1.000	

Σας ευχαριστούμε για τον πολύτιμο χρόνο σας...

Εικόνα VII. 1. Δομή ερωτηματολογίου για την δημιουργία των συντελεστών.



Πίνακας VII. 1.Αποτελέσματα και τελικά βάρη για την ΑΗΡ.

	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4
cSPI6	0.286	0.222	0.200	0.167
cSPI12	0.286	0.222	0.200	0.167
Supply	0.143	0.111	0.200	0.167
Demand	0.143	0.111	0.200	0.167
Impacts	0.071	0.111	0.100	0.167
Infrastructure	0.071	0.222	0.100	0.167
Total	1.000	1.000	1.000	1.000

	Expert 5	Expert 6	Expert 7	Expert 8
cSPI6	0.250	0.111	0.259	0.222
cSPI12	0.125	0.111	0.259	0.222
Supply	0.125	0.222	0.136	0.111
Demand	0.125	0.222	0.136	0.111
Impacts	0.250	0.222	0.136	0.222
Infrastructure	0.125	0.111	0.075	0.111
Total	1.000	1.000	1.000	1.000

	Expert 9	Expert 10	Expert 11	Expert 12
cSPI6	0.182	0.222	0.200	0.222
cSPI12	0.182	0.222	0.200	0.222
Supply	0.182	0.111	0.200	0.111
Demand	0.182	0.111	0.200	0.111
Impacts	0.182	0.222	0.100	0.222
Infrastructure	0.091	0.111	0.100	0.111

Total	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>
	Expert 13	Expert 14	Expert 15	<b>Τελικά Βάρη</b>
cSPI6	0.111	0.167	0.200	0.201
cSPI12	0.111	0.167	0.200	0.193
Supply	0.222	0.167	0.100	0.154
Demand	0.222	0.167	0.100	0.154
Impacts	0.222	0.167	0.200	0.173
Infrastructure	0.111	0.167	0.200	0.125
Total	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>