



# **ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ** TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**“Χρήση μεθόδων χωρικής παρεμβολής σε περιβάλλον GIS για την αποτύπωση , κρίσιμων για την γεωργική παραγωγή , κλιματικών παραμέτρων στο νησί της Κρήτης”**

**Γεώργιος Καρανίκας**

**ΕΞΕΤΑΣΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

1. Τσουχλαράκη Ανδρονίκη
2. Στυλιανός Ροζάκης
3. Κουργιαλάς Νεκτάριος

“Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.”

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το κλίμα και τα μετεωρολογικά φαινόμενα είναι έντονα συνδεδεμένα με την κοινωνική και οικονομική ζωή ενός τόπου. Ένας από τους βασικούς πυλώνες της οικονομίας της Κρήτης είναι ο πρωτογενής τομέας καθώς βλέπουμε να παράγονται τουλάχιστον 90.000 τόνοι ελαιόλαδου το χρόνο και να εξάγεται το μεγαλύτερο μέρος αυτού στην υπόλοιπη χώρα και ολόκληρο τον κόσμο. Η ανάπτυξη και η διατήρηση του συγκεκριμένου τομέα είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις κλιματολογικές συνθήκες, όπως για παράδειγμα τα φαινόμενα ξηρασίας, που αφήνουν έντονο αποτύπωμα στην παραγωγή ελαιόλαδου του νησιού, ενώ ταυτόχρονα πλήττονται σημαντικά και οι αμπελώνες, αλλά και πολλά είδη καλλιεργειών. Καταλαβαίνουμε, ότι είναι πολύ σημαντικό να βρούμε μεθόδους και μοντέλα για να αποτυπώνουμε χωροχρονικά σε χάρτες τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής, καθώς με αυτό τον τρόπο θα μπορεί να γίνεται πιο αποδοτική έρευνα από τον εκάστοτε κλάδο, έτσι ώστε να μπορεί να γίνεται πρόβλεψη και ανάπτυξη μεθόδων για την προστασία και αναβάθμιση της γεωργικής παραγωγής.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η χωροχρονική αποτύπωση κρίσιμων κλιματικών δεδομένων για την γεωργική παραγωγή της Κρήτης. Η πληροφορία που καταγράφεται από τους μετεωρολογικούς σταθμούς, ιδιαίτερα στο νησί της Κρήτης, είναι αρκετά περιορισμένη καθώς είναι διαθέσιμη από σταθμούς σταθερούς αλλά ταυτόχρονα πολύ διασκορπισμένους. Ένας βασικός στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι να συγκρίνει και να καθορίσει την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου χωρικής παρεμβολής για την βέλτιστη χωρική αναπαράσταση μετεωρολογικών μεταβλητών σε περιβάλλον GIS.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι γεωστατικές μέθοδοι Ordinary Kriging, Simple Kriging, Disjunctive Kriging και Co-Kriging. Οι ατμοσφαιρικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν είναι: η μέση ετήσια θερμοκρασία, η ελάχιστη ετήσια θερμοκρασία, η μέγιστη ετήσια θερμοκρασία, το μέσο ετήσιο ύψος βροχής και η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμων. Τα παραπάνω κλιματικά δεδομένα προέρχονται από ένα διάστημα 3 ετών και συγκεκριμένα τα έτη 2017, 2018 και 2019. Επιπροσθέτως, χρησιμοποιήθηκε και μια δευτερεύουσα μεταβλητή, το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους της Ελλάδας (DEM). Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έγινε με την βοήθεια της μεθόδου cross-validation.

Τέλος, παρατίθενται χάρτες που παρουσιάζουν την κατανομή των χρήσεων γης για το νησί της Κρήτης στους οποίους έχουμε απομονώσει τις περιοχές που δύναται να επηρεαστούν από τις ακραίες τιμές της ελάχιστης ετήσιας θερμοκρασίας, της μέγιστης ετήσιας θερμοκρασίας και του μέσου ύψους βροχής, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν παράδειγμα και να βοηθήσουν τους κλάδους πρωτογενούς τομέα να παρατηρήσουν τις γεωργικές εκτάσεις που πλήττονται από το εκάστοτε φαινόμενο.

**Λέξεις κλειδιά:** κλιματικά δεδομένα, χωρική παρεμβολή, GIS, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ), Ordinary Kriging, Simple Kriging, Disjunctive Kriging, Co-Kriging, cross-validation, χάρτες χρήσεων γης

## **ABSTRACT**

Climate and meteorological phenomena are strongly linked to the social and economic life of a place. One of the main pillars of Crete's economy is the primary economic sector as we see at least 90,000 tones of olive oil produced per year and most of it exported to the rest of the country and the world. The development and maintenance of this sector is inextricably linked to climatic conditions, such as drought phenomena, for example, which leave a strong imprint on the island's olive oil production, while at the same time vineyards and many types of crops are also severely affected. We understand that it is very important to find methods and models to map the climatic data of the region spatio-temporally, as this will allow for more efficient research to be carried out by the sector in question, so that methods for the protection and improvement of agricultural production can be predicted and developed.

The aim of this study is the spatio-temporal mapping of the climatic data that are critical for the agricultural production of Crete. The information recorded by meteorological stations, especially on the island of Crete, is rather limited as it is available from stations that are fixed but at the same time very dispersed. A main objective of this thesis is to compare and determine the choice of an appropriate spatial interpolation model for the optimal spatial representation of meteorological variables in GIS environment.

The geostatistical methods used in this thesis are ordinary kriging, simple kriging, disjunctive kriging and co-kriging. The atmospheric parameters used are: mean annual temperature, minimum annual temperature, maximum annual temperature, mean annual rainfall and mean annual wind speed. The above climatic data come from a 3-year period, 2017, 2018 and 2019. In addition, a secondary variable, the Digital Elevation Model of Greece (DEM), was used. The results were evaluated using the cross-validation method.

Finally, we present maps showing the distribution of land use for the island of Crete, in which we have isolated the areas that may be affected by the extreme values of minimum annual temperature, maximum annual temperature and average rainfall, which can be used as an example and help primary sectors to observe the agricultural areas affected by the phenomenon in question.

**Keywords:** climate data, spatial interpolation, GIS, Geographic Information Systems, Ordinary Kriging, Simple Kriging, Disjunctive Kriging, Co-Kriging, cross-validation, maps showing the distribution of land use

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιθυμώ να ευχαριστήσω την καθηγήτριά μου, κα. Ανδρονίκη Τσουχλαράκη για την εμπιστοσύνη και την βοήθειά της που μου έδειξε κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κουργιαλά Νεκτάριο για την πολύτιμη βοήθεια και συνεργασία που μου προσέφερε στην υλοποίηση της εργασίας αλλά και στην κατανόηση του προγράμματος GIS.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής η οποία απαρτίζεται από τους καθηγητές κα. Ανδρονίκη Τσουχλαράκη, τον κ. Νεκτάριο Κουργιαλά και κ. Στυλιανό Ροζάκη για την προθυμία τους να συμμετέχουν στην εξέταση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, θέλω να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου και τους φίλους μου για την τεράστια υποστήριξη τους.

## Περιεχόμενα

ABSTRACT .....	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	5
Περιεχόμενα .....	6
Περιεχόμενα Εικόνων .....	8
Περιεχόμενα Πινάκων.....	8
Περιεχόμενα Χαρτών .....	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	10
1. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ .....	11
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	11
1.2 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ .....	12
1.3 Λαϊκή Μετεωρολογία.....	13
1.4 Υδρολογικός κύκλος .....	14
1.5 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ .....	15
1.6 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ.....	16
1.7 ΑΝΕΜΟΣ .....	16
2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (Γ.Σ.Π) .....	17
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΓΣΠ .....	17
2.2 Η ιστορία και εξέλιξη των ΓΣΠ ως σήμερα .....	17
2.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ.....	18
2.4 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα ΓΣΠ .....	20
2.5 Συστατικά μέρη ΓΣΠ .....	20
2.6 Δεδομένα.....	22
3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	25
3.1 ΚΡΗΤΗ .....	25
3.2 ΧΛΩΡΙΔΑ.....	26
3.3 Πανίδα .....	27
3.4 Κλίμα .....	28
4. ΜΕΘΟΔΟΙ .....	28
4.1 Γεωστατική μέθοδος Kriging .....	28
4.2 Ordinary Kriging.....	30
4.3 Simple Kriging .....	31
4.4 Disjunctive Kriging .....	31
4.5 Co – Kriging.....	31

4.6	Ημι-Βαριόγραμμα.....	32
4.7	Cross Validation .....	36
4.8	Αξιολόγηση προβλέψεων.....	37
4.9	Συλλογή δεδομένων.....	38
4.10	Επιλογή μοντέλου .....	43
5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	53
5.1	Χωρική παρεμβολή για μέση θερμοκρασία .....	53
5.2	Χωρική παρεμβολή για ελάχιστη θερμοκρασία .....	56
5.3	Χωρική παρεμβολή για Μέγιστη Θερμοκρασία.....	60
5.4	Χωρική παρεμβολή για ύψος βροχής.....	65
5.5	Χωρική παρεμβολή για μέση ταχύτητα ανέμου. ....	69
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	71
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	74
	Ξενόγλωσση βιβλιογραφία .....	74
	Ελληνική βιβλιογραφία .....	74
	Ιστοσελίδες.....	75

## Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1 Ο υδρολογικός κύκλος.....	14
Εικόνα 2 Δόμηση του υπολογιστικού συστήματος.....	21
Εικόνα 3 Υλικά ενός ΓΣΠ .....	21
Εικόνα 4 Χωρικά δεδομένα .....	23
Εικόνα 5 Παρουσίαση δεδομένων σε μορφή διανύσματος και σε μορφή πλέγματος.....	24
Εικόνα 6 Παράδειγμα μη χωρικών δεδομένων για γραμμικά δεδομένα [Μανιάτης, 1996].....	24
Εικόνα 7 Κατανομή της έκτασης της Περιφέρειας Κρήτης κατά βασικές κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης.....	26
Εικόνα 8 Ordinary Kriging .....	30
Εικόνα 9 Πειραματικό ημιβαριόγραμμα .....	34
Εικόνα 10 Gaussian model .....	35
Εικόνα 11 Σφαιρικό μοντέλο.....	35
Εικόνα 12 Εκθετικό μοντέλο.....	36
Εικόνα 13 Παράρτημα χάρτη χρήσεων γης .....	58
Εικόνα 14 Παράρτημα χάρτη χρήσεων γης .....	63
Εικόνα 15: Παραρτημά για χάρτη χρήσεων γης .....	68

## Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ .....	40
Πίνακας 2: Average Temperature 2018.....	43
Πίνακας 3: ΔΕΙΚΤΕΣ ΜΕΘΟΔΩΝ CROSS-VALIDATION .....	46

## Περιεχόμενα Χαρτών

Χάρτης 1: Μετεωρολογικοί Σταθμοί.....	41
Χάρτης 2: Χάρτης υψομέτρων.....	41
Χάρτης 3: Μέση Θερμοκρασία 2017 .....	54
Χάρτης 4: Μέση Θερμοκρασία 2018 .....	54
Χάρτης 5: Μέση θερμοκρασία 201 .....	55
Χάρτης 6: Ελάχιστη Θερμοκρασία 2017.....	57
Χάρτης 7: Ελάχιστη Θερμοκρασία 2018.....	57
Χάρτης 8: Ελάχιστη Θερμοκρασία 2019.....	58
Χάρτης 9: Οι χρήσεις γης για τις περιοχές με θερμοκρασίες κάτω των 0°C για το έτος 2017.....	59
Χάρτης 10: Οι χρήσεις γης για τις περιοχές με θερμοκρασίες κάτω των 0 °C για το έτος 2018 .....	59
Χάρτης 11: Οι χρήσεις γης για τις περιοχές με θερμοκρασίες κάτω των 0°C για το έτος 2019 .....	60
Χάρτης 12: Μέγιστη Θερμοκρασία 2017 .....	62
Χάρτης 13: Μέγιστη Θερμοκρασία 2018 .....	62



Χάρτης 14: Μέγιστη Θερμοκρασία 2019 .....	63
Χάρτης 15: Οι χρήσεις γης για τις περιοχές με θερμοκρασίες άνω των 40 °C για το έτος 2017 .....	64
Χάρτης 16: Οι χρήσεις γης για τις περιοχές με θερμοκρασίες άνω των 40 °C για το έτος 2018 .....	64
Χάρτης 17: Μέσο Ύψος Βροχής 2017.....	66
Χάρτης 18: Μέσο Ύψος Βροχής 2018.....	66
Χάρτης 19: Μέσο Ύψος Βροχής 2019.....	67
Χάρτης 20: Οι χρήσεις γης για τις περιοχές με ετήσιο ύψος βροχής κάτω από 300 mm για το έτος 2017 .....	68
Χάρτης 21: Οι χρήσεις γης για τις περιοχές με ετήσιο ύψος βροχής κάτω από 300 mm για το έτος 2018.....	68
Χάρτης 22: Μέση Ταχύτητα Ανέμου 2017 .....	69
Χάρτης 23: Ταχύτητα Ανέμου 2018.....	70
Χάρτης 24: Μέση ταχύτητα Ανέμου 2019 .....	70

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εν λόγω διπλωματική εργασία στοχεύει στην χωροχρονική αποτύπωση κρίσιμων κλιματικών δεδομένων για την γεωργική παραγωγή της Κρήτης, το οποίο είναι κάτι που δεν υπάρχει στην βιβλιογραφία, εφαρμοσμένο για το νησί της Κρήτης με τα ξεχωριστά χαρακτηριστικά του. Όπως γνωρίζουμε, το νησί της Κρήτης βασίζεται οικονομικά και κοινωνικά σε πολύ μεγάλο βαθμό στην γεωργική του παραγωγή, τα καιρικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα κάθε χρόνο είναι σημαντικός παράγοντας για την ποσότητα και την ποιότητα της γεωργικής παραγωγής. Είναι σημαντικό για την βιβλιογραφία και την ερευνα πάνω σε αυτό τον τομέα, να ελεγχθούν και να δοκιμαστούν μέθοδοι που θα μας επιτρέπουν με το μικρότερο δυνατό σφάλμα να αποτυπώνουμε σε χάρτες όλες τις κρίσιμες κλιματικές παραμέτρους, ιδιαίτερα για τόπους όπως η Κρήτη, που οι μετεωρολογικοί σταθμοί είναι αρκετά διασκορπισμένοι, ενώ οι γεωργικές εκτάσεις καλύπτουν πολύ μεγάλο κομμάτι της έκτασης του νησιού.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν εξήχθησαν από τα έτη 2017, 2018 και 2019. Η επιλογή των συγκεκριμένων ετών έγινε διότι μετά την καταγραφή και τη μελέτη δεδομένων από το έτος 2006, παρατηρήθηκε ότι ήταν 3 συναπτά έτη που είχαν έντονη παραλακτικότητα, όσον αναφορά τα κλιματικά τους χαρακτηριστικά. Το 2017 μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα κανονικό έτος, το 2018 ως ένα ξηρό έτος, ενώ το 2019 ως ένα υγρό έτος. Ο χαρακτηρισμός των ετών προέκυψε από το μέσο αθροιστικό ετήσιο ύψος βροχής για κάθε ένα από τα τρία έτη, καθώς στην πεδινή ζώνη του νησιού δηλαδή σε υψόμετρα μέχρι 200m έχουμε έναν ενδεικτικό μέσο αθροιστικό ετήσιο ύψος βροχής για το 2017 περίπου 500 mm, για το 2018 περίπου 350 mm και για το 2019 περίπου 900mm. Οι κλιματικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι εξής: Μέση ετήσια θερμοκρασία, Ελάχιστη ετήσια θερμοκρασία, Μέγιστη ετήσια θερμοκρασία, μέσο ετήσιο ύψος βροχής και Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου. Η δημιουργία των χαρτών έγινε με τη χρήση λογισμικού Geographic Information Systems και πιο συγκεκριμένα με το πρόγραμμα ArcGIS. Για την αποτύπωση των δεδομένων μελετήσαμε και χρησιμοποιήσαμε τις γεωστατικές μεθόδους Ordinary Kriging, Simple Kriging, Disjunctive Kriging. Ταυτόχρονα εφαρμόσαμε και όλες τις παραπάνω μεθόδους χρησιμοποιώντας και μια δεύτερη μεταβλητή το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους της Ελλάδας (DEM).

Η διάρθρωση της παρούσας εργασίας έχει ως εξής: στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα μετεωρολογικά φαινόμενα και κάποια βασικά στοιχεία για την επιστήμη της μετεωρολογίας, στο δεύτερο γίνεται μια εκτενής περιγραφή των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (Γ.Σ.Π), στο τρίτο περιγράφεται η μελετώμενη περιοχή, στο τέταρτο γίνεται περιγραφή των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς επίσης και ο τρόπος επιλογής του κατάλληλου μοντέλου ανάλογα την κλιματική παράμετρο και τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι χάρτες που δημιουργήθηκαν με το πρόγραμμα ArcGIS .

## 1. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μετεωρολογία είναι μια επιστήμη που ανήκει στον κλάδο των θετικών επιστημών η οποία ασχολείται με τα διάφορα φαινόμενα που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα και ερευνά την διαδικασία με την οποία δημιουργούνται και εξελίσσονται στο χρόνο και στον τόπο. Ασχολείται με την συστηματική μελέτη της ατμοσφαιρικής πίεσης, της θερμοκρασίας, της υγρασίας, των ανέμων, της νέφωσης και των διάφορων κατακρημνισμάτων και παράλληλα ερευνά τις αιτίες που προκαλούν τις μεταβολές αυτές έτσι ώστε να κάνει και την πρόβλεψη του καιρού. [1]

Ο όρος μετεωρολογία προέρχεται από την αρχαία Ελληνική λέξη "**μετέωρον**" , με την οποία χαρακτηριζόταν κάθε αντικείμενο που αιωρείται στην ατμόσφαιρα , όπως τα σύννεφα, οι σταγόνες βροχής , το χαλάζι κλπ.

Η μετεωρολογία είναι ένα σημαντικό πεδίο σπουδών που έχει πολυάριθμες πρακτικές εφαρμογές. Ακολουθούν πέντε λόγοι για τους οποίους η μετεωρολογία είναι σημαντική:

1. Πρόβλεψη καιρού: Η μετεωρολογία διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην πρόγνωση του καιρού, η οποία βοηθά τους ανθρώπους να προετοιμαστούν και να μετριάσουν τις επιπτώσεις των σοβαρών καιρικών φαινομένων όπως οι τυφώνες, οι ανεμοστρόβιλοι και οι πλημμύρες. Οι ακριβείς μετεωρολογικές προβλέψεις επιτρέπουν σε άτομα και οργανισμούς να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα για να προστατεύσουν τον εαυτό τους, την περιουσία τους και τις κοινότητές τους.
2. Κλιματική Αλλαγή: Η μετεωρολογία είναι απαραίτητη για την κατανόηση της κλιματικής αλλαγής, συμπεριλαμβανομένου του τρόπου με τον οποίο οι ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζουν το περιβάλλον της Γης. Οι μετεωρολόγοι μελετούν τις αλλαγές στη θερμοκρασία, τις βροχοπτώσεις και τα καιρικά μοτίβα με την πάροδο του χρόνου για να κατανοήσουν καλύτερα πώς αλλάζει το κλίμα και πώς μπορεί να επηρεάσει τον πλανήτη στο μέλλον.
3. Γεωργία: Η μετεωρολογία είναι σημαντική στη γεωργία καθώς βοηθά τους αγρότες να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τη φύτευση, τη συγκομιδή και την άρδευση. Οι αγρότες βασίζονται στα δεδομένα του καιρού για να καθορίσουν τον βέλτιστο χρόνο για τη φύτευση και τη συγκομιδή των καλλιεργειών, καθώς και το πόσο νερό θα χρησιμοποιηθεί για άρδευση.
4. Αεροπορία: Η μετεωρολογία διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην ασφάλεια των αερομεταφορών. Οι μετεωρολόγοι παρέχουν στους πιλότους και στους ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας πληροφορίες σχετικά με τις καιρικές συνθήκες, όπως αναταράξεις, παγετούς και καταιγίδες. Αυτές οι πληροφορίες βοηθούν τους πιλότους να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τις διαδρομές και τα δρομολόγια πτήσεων, διασφαλίζοντας την ασφάλεια των επιβατών και του φορτίου.

5. Παραγωγή Ενέργειας: Η μετεωρολογία είναι επίσης σημαντική στην παραγωγή ενέργειας, ιδιαίτερα της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας. Οι μετεωρολόγοι χρησιμοποιούν δεδομένα καιρού για να προβλέψουν την παραγωγή αιολικής και ηλιακής ενέργειας, η οποία βοηθά τις εταιρείες ενέργειας να βελτιστοποιήσουν τις λειτουργίες τους και να μειώσουν το κόστος.

## 1.2 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ

Η ιστορία της μετεωρολογίας μπορεί να βρεθεί στους αρχαίους πολιτισμούς που παρατηρούσαν και κατέγραφαν τα καιρικά μοτίβα και τις φυσικές καταστροφές. Μία από τις παλαιότερες καταγεγραμμένες καιρικές παρατηρήσεις μπορεί να βρεθεί στην αρχαία Μεσοποταμία, όπου οι αγρότες κρατούσαν αρχεία βροχοπτώσεων και πλημμυρών σε πήλινες πλάκες. Στην αρχαία Ελλάδα, ο Αριστοτέλης έγραψε μια πραγματεία για τη μετεωρολογία, η οποία περιλάμβανε παρατηρήσεις νεφών, ανέμου και θερμοκρασίας. Κατά τον Μεσαίωνα, Άραβες μελετητές συνέβαλαν σημαντικά στον τομέα της μετεωρολογίας, συμπεριλαμβανομένης της εφεύρεσης του αστρολάβου, μιας συσκευής που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του υψομέτρου και τον προσδιορισμό της ώρας της ημέρας με βάση τη θέση του ήλιου και των αστεριών. Οι Κινέζοι έκαναν επίσης προόδους στη μετεωρολογία, εφευρίσκοντας όργανα όπως ο ανεμοδείκτης και το ανεμόμετρο για τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου.

Κατά τη διάρκεια της Αναγέννησης, ο Galileo Galilei και οι σύγχρονοί του άρχισαν να κάνουν πιο ακριβείς παρατηρήσεις της ατμόσφαιρας χρησιμοποιώντας τηλεσκόπια και βαρόμετρα. Τον 17ο και 18ο αιώνα, οι Ευρωπαίοι επιστήμονες άρχισαν να χρησιμοποιούν την επιστημονική μέθοδο για να μελετούν τα καιρικά μοτίβα και τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα. Το πρώτο μετεωρολογικό δίκτυο ιδρύθηκε στην Ευρώπη στα μέσα του 18ου αιώνα και μετεωρολογικά όργανα όπως το θερμόμετρο, το βαρόμετρο και το υγρόμετρο άρχισαν να χρησιμοποιούνται ευρέως.

Τον 19ο αιώνα, η μετεωρολογία έγινε αναγνωρισμένος επιστημονικός κλάδος και ο πρώτος διεθνής μετεωρολογικός οργανισμός ιδρύθηκε το 1873. Η εφεύρεση του τηλέγραφου και η ανάπτυξη μοντέλων πρόγνωσης καιρού στα τέλη του 19ου και στις αρχές του 20ου αιώνα επέτρεψαν ακριβέστερες προβλέψεις του καιρού.

Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, η μετεωρολογία έγινε κρίσιμη για τις στρατιωτικές επιχειρήσεις και η πρόοδος στην τεχνολογία ραντάρ και αεροσκαφών επέτρεψε πιο λεπτομερείς παρατηρήσεις της ατμόσφαιρας. Στη μεταπολεμική εποχή, η ανάπτυξη δορυφόρων και μοντέλων υπολογιστών έφερε επανάσταση στον τομέα της μετεωρολογίας, επιτρέποντας στους μετεωρολόγους να κάνουν όλο και πιο ακριβείς καιρικές προβλέψεις.

Σήμερα, η μετεωρολογία συνεχίζει να προοδεύει με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών όπως οι υπέρ-υπολογιστές, οι προηγμένοι αισθητήρες και τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV) για τη συλλογή δεδομένων για την ατμόσφαιρα. Η μελέτη της κλιματικής αλλαγής έχει γίνει

επίσης ένας ολοένα και πιο σημαντικός τομέας έρευνας στη μετεωρολογία, καθώς οι επιστήμονες εργάζονται για να κατανοήσουν τις περίπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ατμόσφαιρας της Γης, των ωκεανών και των επιφανειών της γης. [1], [2]

### 1.3 Λαϊκή Μετεωρολογία

Η μεγάλη πείρα που αποκτά σταδιακά ο λαός πάνω την εναλλαγή και την ποικιλία των μετεωρολογικών φαινομένων, οδηγεί κάποιους σε ορισμένες γενικεύσεις, οι οποίες περνάνε από γενιά σε γενιά με σχετικά γνωμικά και παροιμίες. Αν και συνήθως τοπικού ενδιαφέροντος οι λαϊκές αυτές μετεωρολογικές γνώσεις είτε έχουν προγνωστικό χαρακτήρα είτε απλώς διαπιστώνουν τις μετεωρολογικές συνθήκες οι οποίες επικρατούν κατά τις διάφορες εποχές και τη σχέση τους με την αποτελεσματικότητα των γεωργικών εργασιών. Οι γνώσεις αυτές άλλοτε είναι δυνατόν να εξηγηθούν επιστημονικά και άλλοτε πάλι όχι.

Κάποια χαρακτηριστικά σημεία που ανίχνευε ο λαός είναι: ουρανός καλυμμένος με νέφη, τα οποία κοινώς καλούνται «πρόβαρα» σημαίνει κακοκαιρία, τα νέφη που στην ανατολή του Ηλίου κατευθύνονται προς τα δυτικά την χρονική περίοδο που ο ήλιος ανέρχεται πάνω από τον ορίζοντα, σηματοδοτούν ωραία μέρα, ένας Ήλιος λευκός και χωρίς έντονη λάμψη σημαίνει βροχή, όταν η ατμόσφαιρα είναι ζεστή και υγρή σημαίνει βροχή, ουρανός με ερυθρό χρώμα πριν την ανατολή του Ήλιου, το οποίο εξαφανίζεται μόλις ο Ήλιος ανατείλει, είναι σημείο βροχής και πολλά άλλα παρόμοια παραδείγματα. Η παρατήρηση των ζώων και της συμπεριφοράς τους εξάγουν προγνώσεις όταν τα θαλάσσια πτηνά εγκαταλείπουν από το πρωί τις φωλιές τους στα βράχια των ακτών και πετούν μακριά στο πέλαγος είναι σημείο καλού καιρού και μέτριου ανέμου, ενώ όταν αντίθετα μένουν κοντά στην ακτή ή πετάνε προς τη ξηρά είναι σημείο κακοκαιρίας. Επίσης χαρακτηριστικό είναι ότι και οι ίδιοι οι άνθρωποι όπως οι ρευματοπαθείς ή αυτοί που έχουν κάποιο παλιό σπάσιμο αισθάνονται πόνους ή αδιαθεσία όταν έρχεται κακοκαιρία.

Τέλος, ένα άλλο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό πέρα από τις προγνώσεις είναι ότι ο λαός έχει δημιουργήσει πολλές παροιμίες που αναφέρονται στον καιρό όπως : “Ο Φλεβάρης κι’ αν φλεβίσει καλοκαίρι θα μυρίσει”, “Αύγουστος άβροχος, μούστος άμετρος” και πολλές ακόμα [3]

## 1.4 Υδρολογικός κύκλος

Υδρολογικός κύκλος ονομάζεται η σειρά διαδικασιών με τις οποίες το νερό κυκλοφορεί στη φύση μεταξύ θάλασσας και ατμόσφαιρας και ξηράς και θάλασσας, όπως μπορούμε να δούμε και στο παρακάτω σχήμα, κατά τις οποίες δεν συναντάται μόνο σε υγρή μορφή αλλά και σε όλες τις πιθανές καταστάσεις, δηλαδή υγρό, αέριο (υδρατμός), στερεό (χαλάζι, χιόνι).

Στην πραγματικότητα ο υδρολογικός κύκλος δεν έχει κανονισμένη σειρά που εμφανίζεται το νερό, αλλά σαν αφετηρία θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε την ατμόσφαιρα στην οποία το νερό συγκεντρώνεται με μορφή υδρατμών.



Εικόνα 1 Ο υδρολογικός κύκλος

Ένα μεγάλο κομμάτι που φτάνει στην επιφάνεια της γης συγκρατείται από τη βλάστηση, εξατμίζεται ή διαπνέεται από τα φυτά. Στη συνέχεια, ένα μέρος του νερού διηθείται στο έδαφος και το υπολειπόμενο απορρέει προς ρέματα, τα οποία καταλήγουν θάλασσες και λίμνες.

Βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιφανειακή απορροή είναι οι εξής:

1. Κλιματικοί (υγρασία, άνεμοι, ένταση βροχοπτώσεων, θερμοκρασία)



2. Γεωμορφολογικοί (κλίση λεκάνης απορροής, υδρογραφική πυκνότητα)
3. Λιθολογικοί (είδος πετρωμάτων)
4. Είδη φυτοκάλυψης

Στην διάρκεια αυτή ένα ποσοστό νερού εξατμίζεται. Το μέρος του νερού που διηθείται αποθηκεύεται σαν υπόγειο νερό, όπου συχνά το βλέπουμε στην επιφάνεια της γης σε χαμηλότερα σημεία και μετά καταλήγει επιφανειακά ή υπόγεια. Τέλος το νερό της θάλασσας πηγαίνει στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισης για να κλείσει ο υδρολογικός κύκλος. Η διαδικασία αυτή είναι αρκετά περίπλοκη και περιέχει πολλούς μικρούς κύκλους μέσα στον υδρολογικό κύκλο.

Έτσι βλέπουμε το νερό να:

- Εξατμίζεται και να ανεβαίνει κατακόρυφα, σε μορφή υδρατμών, στην ατμόσφαιρα, αλλά ταυτόχρονα και οριζόντια εξαιτίας των ανέμων.
- Διαπνέεται από τα δέντρα και την βλάστηση
- Συμπυκνώνεται στην ατμόσφαιρα, δημιουργώντας σύννεφα
- Κατακρημνίζεται από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της γης σαν βροχή, χιόνι, χαλάζι
- Κατακρατείται από τα δέντρα και τη βλάστηση
- Διηθείται στο έδαφος
- Επαναφορτίζει τους ταμιευτήρες υπόγειου νερού
- Απορρέει επιφανειακά , έτσι σχηματίζει τα ρέματα και τα ποτάμια που με τη σειρά τους καταλήγουν στη θάλασσα
- Απορρέει υπόγεια, μέσω των πόρων και των ρωγμών των γεωλογικών σχηματισμών.

[4]

## 1.5 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Θερμοκρασία ονομάζουμε το φυσικό μέγεθος που μετρά την ενέργεια κίνησης ή ταλάντωσης της ύλης σε επίπεδο ατόμων. Ουσιαστικά είναι ο δείκτης που προσδιορίζει την θερμική κατάσταση των σωμάτων. Η θερμοκρασία είναι μια πολύ βασική παράμετρος που επηρεάζει τις ζωές μας σε πολλούς τομείς όπως ο καιρός, η υγεία ακόμα και την σωστή λειτουργία διάφορων συσκευών. Η θερμοκρασία μετριέται συνήθως χρησιμοποιώντας ένα θερμόμετρο, το οποίο είναι μια συσκευή που ανιχνεύει τη διαστολή ή τη συστολή μιας ουσίας ως απόκριση στις αλλαγές της θερμοκρασίας. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη ουσία για το σκοπό αυτό είναι ο υδράργυρος, αλλά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν αλκοόλ, ψηφιακοί αισθητήρες και άλλα υλικά. Μία από τις πιο σημαντικές επιπτώσεις της θερμοκρασίας είναι η επίδρασή της στον καιρό. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας είναι υπεύθυνες για πολλά από τα καιρικά μοτίβα που παρατηρούμε, όπως τα κρύα μέτωπα, τα κύματα καύσωνα και οι καταιγίδες. Η θερμοκρασία παίζει επίσης καθοριστικό ρόλο στον κύκλο του νερού, καθώς καθορίζει εάν το νερό εξατμίζεται ή συμπυκνώνεται σε σύννεφα. Θερμοκρασία ατμόσφαιρας ονομάζεται η θερμοκρασία που έχει ο ατμοσφαιρικός αέρας πάνω από μια περιοχή. Είναι ένα κρίσιμο κλιματικό στοιχείο και ίσως η σημαντικότερη παράμετρος. [5]

Η θερμοκρασία για μια συγκεκριμένη περιοχή δίνεται με τις παρακάτω παραμέτρους:

- Μέγιστη θερμοκρασία

- Ελάχιστη θερμοκρασία
- Μέση ημερήσια θερμοκρασία
- Μέση μηνιαία θερμοκρασία
- Μέση ετήσια θερμοκρασία

## 1.6 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ

Η βροχόπτωση, γνωστή και ως κατακρήμνιση, είναι η διαδικασία με την οποία οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα συμπυκνώνονται σε υγρή ή στερεή μορφή και πέφτουν στην επιφάνεια της Γης. Η βροχόπτωση μπορεί να πάρει τη μορφή βροχής, χιονιού, χιονόνερου ή χαλαζιού, ανάλογα με τη θερμοκρασία και την υγρασία της ατμόσφαιρας. Η βροχόπτωση μετριέται σε χιλιοστά ή ίντσες ανά μονάδα χρόνου, όπως ανά ημέρα, ανά μήνα ή ανά έτος. Το πάχος του στρώματος αυτού σε χιλιοστά ή ίντσες, μας δείχνει ποσοτικά τη βροχή που έπεσε σε ορισμένο χρονικό διάστημα. Η ποσότητα και η συχνότητα των βροχοπτώσεων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, ο άνεμος και η τοπογραφία της περιοχής. Γενικά, οι περιοχές κοντά στον ισημερινό δέχονται περισσότερες βροχοπτώσεις από τις περιοχές κοντά στους πόλους, λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών και επιπέδων υγρασίας. Οι ορεινές περιοχές τείνουν επίσης να δέχονται περισσότερες βροχοπτώσεις από τις επίπεδες περιοχές, καθώς τα βουνά προκαλούν την άνοδο και την ψύξη του αέρα, οδηγώντας σε συμπύκνωση και βροχόπτωση. [6]

Με βάση το παρατηρούμενο ύψος οι μετεωρολόγοι χαρακτηρίζουν την ένταση της βροχής και την ορίζουν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Ασθενής:  $< 2 \text{ mm / h}$
- Μέτρια:  $2 - 6 \text{ mm / h}$
- Ισχυρή:  $> 6 \text{ mm / h}$
- Βίαιη:  $> 50 \text{ mm / h}$

## 1.7 ΑΝΕΜΟΣ

Ο άνεμος είναι ένα φυσικό φαινόμενο που προκαλείται από την ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της Γης από τον ήλιο. Καθώς ο ήλιος θερμαίνει την επιφάνεια της Γης, ορισμένες περιοχές θερμαίνονται πιο γρήγορα από άλλες, δημιουργώντας διαφορές στη θερμοκρασία και την πίεση του αέρα. Αυτές οι διαφορές θερμοκρασίας και πίεσης προκαλούν τη μετακίνηση του αέρα από περιοχές υψηλής πίεσης σε περιοχές χαμηλής πίεσης, δημιουργώντας άνεμο.

Η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας όργανα όπως τα ανεμόμετρα, ενώ η κατεύθυνση του ανέμου μετριέται με ανεμοδείκτες και την ορίζουμε σε σχέση με το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο επίσης να καταγράφεται η ύπαρξη ριπών ανέμου, η ύπαρξη στροβιλισμού και αναταράξεων όπως επίσης και το επίπεδο της τύρβης του ανέμου.



Οι ταχύτητες του ανέμου μπορεί να ποικίλλουν ευρέως ανάλογα με την τοποθεσία και την ώρα της ημέρας. Για παράδειγμα, οι παράκτιες περιοχές τείνουν να έχουν ισχυρότερους και πιο σταθερούς ανέμους από τις εσωτερικές περιοχές λόγω των διαφορών θερμοκρασίας μεταξύ ξηράς και θάλασσας. [7]

## **2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (Γ.Σ.Π)**

### **2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΓΣΠ**

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) – Geographical Information Systems (G.I.S.) είναι μια πρωτοποριακή τεχνολογία, που δέχεται ραγδαία ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες. Η πληθώρα επιλογών, δυνατοτήτων και στοιχείων που τα προσδιορίζουν καθιστά πολύ δύσκολο να τους δοθεί ένας και μόνο αυστηρός ορισμός. Ένας ολοκληρωμένος και σύγχρονος ορισμός που συμπεριλαμβάνει όλες τις πτυχές ενός ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ θα μπορούσε να είναι: Το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών, το οποίο είναι και παγκοσμίως γνωστό ως Geographic Information Systems G.I.S, είναι ένα σύστημα διαχείρισης χωρικών δεδομένων, spatial data, και συσχετισμένων ιδιοτήτων. Θα μπορούσαμε να τα χαρακτηρίσουμε ως ένα εργαλείο ανάλυσης και διαχείρισης δεδομένων σχετικά με την τοποθεσία τους και τι χαρακτηριστικά έχουν, με σκοπό να είναι δυνατή η επίλυση των προβλημάτων που έχουν παρουσιαστεί. Ακόμα θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι συστήματα που βασίζονται σε έναν υπολογιστικό εξοπλισμό ο οποίος χαρτογραφεί και αναλύει αντικείμενα που υπάρχουν στην επιφάνεια της γης (και όχι μόνο) καθώς επίσης και γεγονότα που λαμβάνουν χώρα σε μια δεδομένη χρονική στιγμή στον γεωγραφικό χώρο. Τα ΓΣΠ είναι σχεδιασμένα για να διαχειρίζονται και να επεξεργάζονται τον τεράστιο φόρτο χωρικών δεδομένων που είναι αποθηκευμένος, έτσι ώστε να επιλύονται προβλήματα απλής φύσεως μέχρι την ακριβή ανάλυση σε πολύπλοκους συνδυασμούς.

Τα ΓΣΠ χρησιμοποιούν δεδομένα που έχουν γεωγραφική αναφορά αλλά και μη χωρικά δεδομένα και ταυτόχρονα μπορούν να υποστηρίξουν την χωρική ανάλυση

Ευρύτερα τα ΓΣΠ είναι το σύνολο διαδικασιών, λογισμικού και υλικού όπου με την σωστή χρήση μπορεί να πραγματοποιήσει συλλογή, ανάλυση, διαχείριση, μοντελοποίηση αλλά και παρουσίαση δεδομένων με χωρική αναφορά. Ενώ παράλληλα είναι σημαντικό εργαλείο για την υποστήριξη αποφάσεων στην επίλυση διαφόρων προβλημάτων διαχείρισης και σχεδιασμού. [8]

### **2.2 Η ιστορία και εξέλιξη των ΓΣΠ ως σήμερα**

Τα ΓΣΠ κατά τη διάρκεια των τελευταίων 6 δεκαετιών έχουν γνωρίσει μια αξιοσημείωτη εξέλιξη. Οι πυλώνες των ΓΣΠ, σε ό,τι αναφορά το πληροφορικό τους κομμάτι, τέθηκαν την δεκαετία 1950-1960 όπου δημιουργήθηκαν λογισμικά και τεχνικές αυτοματοποιημένης χαρτογραφίας. Το πανεπιστήμιο του Harvard και συγκεκριμένα το εργαστήριο χωρικής ανάλυσης και

γραφικών υπολογιστή ήταν το πρώτο μέρος ανάπτυξης ενιαίων συστημάτων ΓΣΠ, τις δεκαετίες 1960-1970, και την ίδια περίοδο ξεκινούν οι πρώτες εταιρείες κατασκευής λογισμικού και παροχής υπηρεσιών στο κομμάτι των ΓΣΠ.

Το 1963 δημιουργήθηκε το πρώτο μηχανογραφημένο ΓΣΠ στον κόσμο από την προσπάθεια του Roger Tomlinson για την εκκίνηση, το σχεδιασμό και την ανάπτυξη του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών του Καναδά. Η κυβέρνηση του Καναδά είχε ορίσει υπεύθυνο τον Tomlinson να αναπτύξει ένα ευρετήριο με τους φυσικούς πόρους του Καναδά, με την χρήση υπολογιστών για την ομαδοποίηση των δεδομένων από όλες τις επαρχίες. Έτσι ο Tomlinson ανέπτυξε το σχέδιο για αυτοματοποιημένο υπολογισμό για την επεξεργασία και αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων.

Το 1969 ένα μέλος του εργαστηρίου του Harvard, ο Jack Dangermond, ίδρυσε την εταιρία “Environmental Systems Research Institute, Inc. ESRI. Η εταιρεία αρχικά άρχισε να εφαρμόζει χαρτογράφηση με υπολογιστές και χωρική ανάλυση για να βοηθήσει τους διαχειριστές των φυσικών πόρων και τους υπεύθυνους για τον σχεδιασμό της αξιοποίησης της γης. Η ESRI ξεκίνησε να δημιουργεί αρκετές από τις μεθόδους χαρτογράφησης και χωρικής ανάλυσης που χρησιμοποιούμε και σήμερα. Ενώ αποτελεί ως τις μέρες μας μια από τις κύριες πηγές δημιουργίας και διάθεσης λογισμικού ΓΣΠ.

Από το 2000 και μετά γίνεται αλματώδης ανάπτυξη των λογισμικών ΓΣΠ και βλέπουμε χιλιάδες ινστιτούτα, οργανισμούς, εταιρίες κλπ. Να δημιουργούν και να μοιράζονται χιλιάδες χάρτες καθημερινά. [9]

## 2.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Στο σήμερα η χρήση και η ανάπτυξη των ΓΣΠ τα έχει αναδείξει σε μια απ’ τις πιο αποτελεσματικές τεχνολογίες. Οι πρωτοποριακές δυνατότητες που σου δίνουν για την καταγραφή και επεξεργασία δεδομένων, την διαχείριση και ανάκτηση τους, την χωρική ανάλυση των μετρήσεων, την οπτικοποίηση και γραφική απεικόνιση, κατάφεραν την τόσο μεγάλη εξάπλωση των εφαρμογών τους σε ποικίλους κλάδους. Πάρα πολλές υπηρεσίες, επιστήμες αλλά και οργανισμοί χρησιμοποιούν τις πλούσιες δυνατότητες που σου προσφέρουν τα ΓΣΠ. Τα ΓΣΠ μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε υπάρχει η μεταβλητή της γεωγραφικής πληροφορίας, οπότε καταλαβαίνουμε ότι το περιβάλλον εφαρμογής τους είναι τεράστιο. [9]

Είναι πολύ σημαντικό ότι τα ΓΣΠ έχουν την δυνατότητα να απαντάνε σε μια μεγάλη ποικιλία βασικών ερωτημάτων σε σχέση με τον χώρο. Μερικά βασικά ερωτήματα στα οποία μπορούν να απαντήσουν τα ΓΣΠ είναι τα εξής: [9]

- Τι βρίσκεται
- Που βρίσκεται
- Πως και ποια δεδομένα σχετίζονται
- Πόσο έχουν διαφοροποιηθεί και αλλάξει
- Μοντελοποίηση του χώρου

## Καταγραφή και επεξεργασία δεδομένων

Ίσως η πιο βασική λειτουργία ενός ΓΣΠ είναι η καταγραφή, η επεξεργασία και τέλος η παροχή οπτικής αναπαράστασης των δεδομένων. Το μεγαλύτερο μέρος πληροφοριών και δεδομένων που επεξεργαζόμαστε έχει άμεσα ή έμμεσα χωρικές πληροφορίες, έτσι τα ΓΣΠ είναι ένας τρόπος να αποθηκευτούν αυτά τα δεδομένα και στη συνέχεια να γίνει η οπτική αναπαράστασή τους σε χαρτογραφημένη μορφή. Ένα παράδειγμα θα μπορούσε να είναι η ψηφιοποίηση ενός αναλογικού χάρτη.

## ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Αποτελείται από τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση αποστάσεων μεταξύ γεωγραφικών οντοτήτων, για την μέτρηση μηκών και εμβαδών.

## ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ

Μας δίνει την δυνατότητα να δημιουργήσουμε χάρτες.

[9]

Ενδεικτικά πεδία εφαρμογής των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών
Τεχνικά έργα και κατασκευές
Πολεοδομικοί σχεδιασμοί
Αξιολόγηση και ανάπτυξη υποδομών
Στρατιωτικός σχεδιασμός
Διαχείριση φυσικών καταστροφών
Ανάπτυξη δεδομένων GIS
Χωροχρονικές αποτυπώσεις μετεωρολογικών φαινομένων
Αξιολόγηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων
Πληθυσμιακές και δημογραφικές μελέτες
Αρχαιολογία
Χαρτογραφία για ποικίλες μελέτες
Δασολογικές εφαρμογές
Εφαρμογές ανάλυσης αγοράς
Εφαρμογές στις γέω-επιστήμες

Εφαρμογές στην εγκληματολογία
Στατιστική ανάλυση
Διαχείριση πόρων
Οικολογία

[9]

## 2.4 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα ΓΣΠ

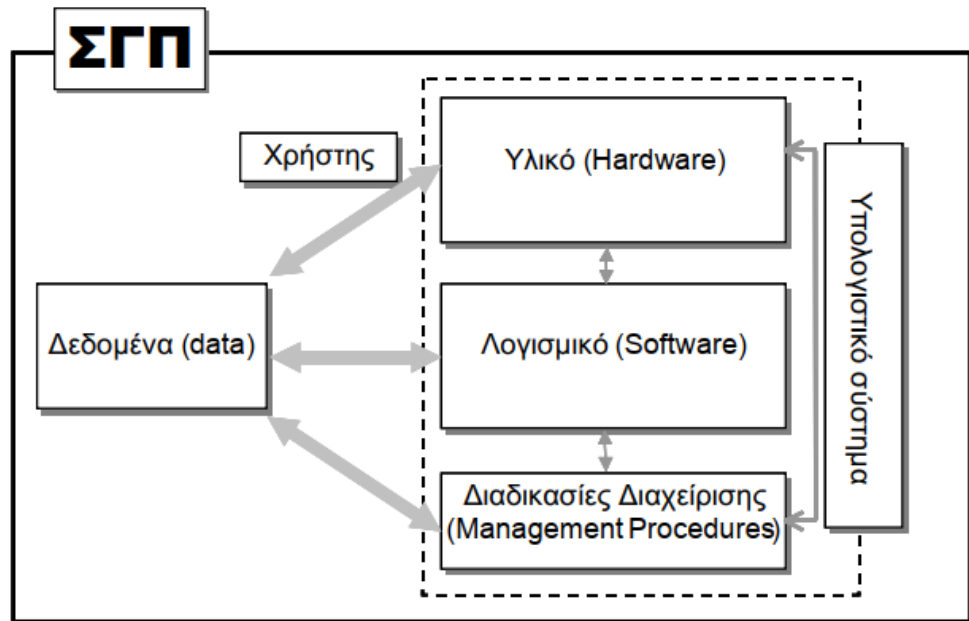
Τα λογισμικά GIS έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους και υπερτερούν απέναντι σε αυτές στους περισσότερους τομείς.

- Μεγάλη ταχύτητα επεξεργασίας
- Γρήγορη και οικονομική η δημιουργία χαρτών
- Συλλογή και αξιοποίηση πληροφοριών από διαφορετικές πηγές
- Δυνατότητα διαχείρισης μεγάλων ποσοτήτων χωρικών πληροφοριών
- Ακριβής και γρήγορος εντοπισμός χωρικών στοιχείων
- Ευκολία στην ανάκτηση, πρόσθεση και αλλαγή των δεδομένων
- Ποικιλία τρόπων στην μοντελοποίηση και ανάλυση
- Μειώνεται η χρήση του χαρτιού και έτσι η μεγαλύτερη μερίδα της πληροφορίας είναι αποθηκευμένη ψηφιακά
- Ευκολία διάχυσης δεδομένων
- Δίνεται η δυνατότητα να διαχωρίζονται οι πληροφορίες σε επίπεδα και να συνδυάζονται με άλλα επίπεδα
- Ποικιλία στις δυνατότητες παρουσίασης
- Παρέχουν την δυνατότητα στους χρήστες να ανταλλάσσουν, να ενημερώνουν και να διανέμουν την πληροφορία πολύ εύκολα και άμεσα

[9]

## 2.5 Συστατικά μέρη ΓΣΠ

Ένα ΓΣΠ αποτελείται από κάποια βασικά δομικά στοιχεία. Αρχικά είναι ο ίδιος ο χρήστης, ο οποίος είναι ο καταλυτικός παράγοντας για την σωστή και αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος. Στη συνέχεια είναι το υπολογιστικό σύστημα και τα δεδομένα.



Εικόνα 2 Δόμηση του υπολογιστικού συστήματος

Το υπολογιστικό σύστημα δομείται από τρία μέρη το υλικό, το λογισμικό και διαδικασίες διαχείρισης. [9]

Το **υλικό** ενός ΓΣΠ περιλαμβάνει την κεντρική μονάδα του υπολογιστή και τις μονάδες εισόδου, εξόδου και αποθήκευσης δεδομένων. Σε κάποιες περιπτώσεις οι οποίες επηρεάζονται από το μέγεθος των χαρτών, μπορεί να χρησιμοποιηθούν σαρωτές και σχεδιογράφοι μεγέθους A0+, έτσι ώστε να σαρωθούν και εκτυπωθούν οι χάρτες.



Εικόνα 3 Υλικά ενός ΓΣΠ

Υπάρχουν κάποια βασικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχει ένα υπολογιστικό σύστημα.

- Δυνατό επεξεργαστή
- Ισχυρή κάρτα γραφικών
- Μια οθόνη υψηλής ανάλυσης
- Περιφερειακά όπως σαρωτές και εκτυπωτές
- Σκληρούς δίσκους
- Αξιόπιστη και δυνατή σύνδεση στο διαδίκτυο

Το **λογισμικό** ενός ΓΣΠ απαρτίζεται από τα παρακάτω γενικά τμήματα:

- Τμήμα εισαγωγής των δεδομένων
- Τμήμα αποθήκευσης και διαχείρισης
- Τμήμα παραγωγής και παρουσίασης
- Τμήμα επικοινωνίας συστήματος με τον χρήστη

Στο τμήμα εισαγωγής δεδομένων γίνεται η μετατροπή των αναλογικών χαρτών, των δεδομένων κλπ., σε μορφή που να μπορεί να τα επεξεργαστεί ένα ΓΣΠ.

Στο τμήμα διαχείρισης και αποθήκευσης δεδομένων γίνεται το τελευταίο στάδιο μετατροπής της ψηφιακής πληροφορίας σε μορφή που να μπορεί να γίνει η επεξεργασία της από το λογισμικό του ΓΣΠ.

Το τμήμα παραγωγής και παρουσίασης είναι υπεύθυνο για την απεικόνιση των δεδομένων αλλά και για την απεικόνιση και παρουσίασης των χαρτών.

Στο τελευταίο τμήμα όπου μέσω ενός περιβάλλοντος εντολών , λαμβάνει χώρα η αλληλεπίδραση του χρήστη με το σύστημα.

[9]

## 2.6 Δεδομένα

Τα δεδομένα είναι το κυρίαρχο μέρος ενός ΓΣΠ. Αν θέλαμε να τους δώσουμε ένα γενικό ορισμό αυτός θα ήταν “τα γεωγραφικά δεδομένα αποτελούν το σύνολο των καταγραφών και των μετρήσεων που έχουν σχέση στοιχεία και φαινόμενα στο χώρο”. Απαρτίζουν το σύνολο από χωρικά και μη-χωρικά στοιχεία για την περιοχή μελέτης. [9]

Χωρικά δεδομένα σχετίζονται με την θέση τους στο χώρο σε σχέση με ένα σύστημα συντεταγμένων. Η αναπαράσταση των χωρικών δεδομένων μπορεί να γίνει με δύο μορφές, με την μορφή διανύσματος (vector), ή με την μορφή πλέγματος ή κανάβου (raster).

Οι διανυσματικές μορφές κάνουν την προβολή των γεωγραφικών οντοτήτων ως σημεία, γραμμές ή κλειστές πολυγωνικές γραμμές. Για να μπορεί κάποιο αντικείμενο να εισέλθει στο GIS θα πρέπει αρχικά να καθοριστούν κάποιες παράμετροι όπως η φύση του (γραμμή), η θέση του στο χώρο μέσω συντεταγμένων, τα σημεία αλλαγής κατεύθυνσης της γραμμής και όλα τα σημεία που το αποτελούν. Ένα θετικό στοιχείο που έχει αυτή η μορφή είναι ότι απαιτεί λίγο αποθηκευτικό χώρο και είναι αρκετά απλή η ανάκτηση, η επεξεργασία και ο εντοπισμός των δεδομένων.

- Σημεία: Παρουσιάζουν μια μοναδική χωρική τοποθεσία.
- Γραμμές: Αποτελούνται από μια ομάδα ενωμένων συντεταγμένων και παρουσιάζουν ένα γραμμικό σχήμα ενός χαρακτηριστικού.
- Κλειστές πολυγωνικές γραμμές: Είναι κλειστές ομοιογενείς περιοχές.

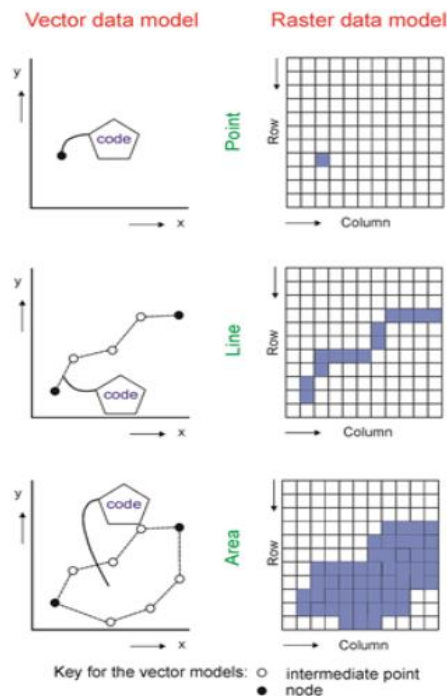
[10]



Εικόνα 4 Χωρικά δεδομένα

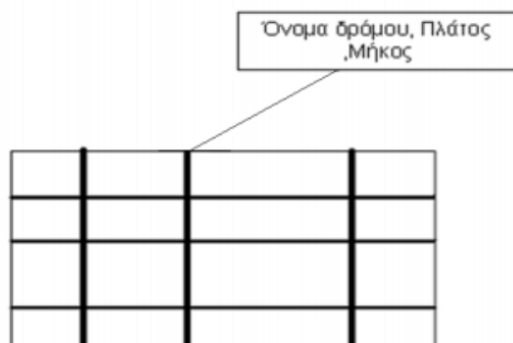
Τα χωρικά δεδομένα όταν μετατρέπονται σε ψηφιακή μορφή έχουν την δυνατότητα να αποκτήσουν μία από τις μορφές, οι οποίες είναι, η μορφή πλέγματος (raster) και η μορφή διανύσματος (vector).

- Η μορφή πλέγματος ή κανάβου προβάλλει τις γεωγραφικές οντότητες ως ένα πλέγμα ψηφίδων και αποθηκεύονται οι τιμές οι οποίες μπορεί να είναι μετρήσεις, αριθμοί ή κωδικοί. Πρακτικά στη μορφή αυτή η περιοχή διαιρείται σε όμοια τετράγωνα και ο εντοπισμός του σημείου γίνεται από μια γραμμή και μια στήλη του κανάβου. Τα δεδομένα σε μορφή raster μπορούν να έχουν χρήση για διακριτές οντότητες αλλά και για συνεχείς. Η κύρια χρήση του γίνεται κυρίως για να απεικονίσουν συνεχείς μεταβλητές όπως είναι τιμές βροχόπτωσης, θερμοκρασίας κ.λπ. [11]
- Η μορφή διανύσματος (vector) έχει σαν βασική μονάδα το διάνυσμα και είναι ιδανική όταν τα χωρικά δεδομένα μπορούν να οριστούν με την χρήση γραμμών και σε περιπτώσεις που απαιτείται ο εντοπισμός των αντικειμένων στο χώρο. Αυτή η μορφή έχει σαν πλεονέκτημα ότι απαιτείται λιγότερος χώρος στον υπολογιστή και ταυτόχρονα μπορούμε μεμονωμένα να ανακτήσουμε, να επεξεργαστούμε και να εντοπίσουμε δεδομένα. [11]



Εικόνα 5 Παρουσίαση δεδομένων σε μορφή διανύσματος και σε μορφή πλέγματος

Μη χωρικά δεδομένα τα οποία μπορούν επίσης να χαρακτηριστούν και ως ποιοτικά, περιγραφικά και θεματικά δεδομένα, και έχουν σκοπό να περιγράψουν τις ιδιότητες των γεωγραφικών δεδομένων. Η περιγραφή αυτών των δεδομένων μπορεί να γίνει με κωδικούς, σύμβολα, χρώματα ή και με πιο πολύπλοκους τρόπους όπως λίστες ή αναφορές. Για παράδειγμα, ένα γεωγραφικό δεδομένο που αναπαριστά ένα δρόμο είναι το όνομα του ή το πλάτος του ή το μήκος του κ.τ.λ. Αυτά τα δεδομένα είναι αποθηκευμένα σε κάποια βάση δεδομένων διαφορετική από το γραφικό κομμάτι του χάρτη. [10]



Εικόνα 6 Παράδειγμα μη χωρικών δεδομένων για γραμμικά δεδομένα [Μανιάτης, 1996]



### 3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

#### 3.1 ΚΡΗΤΗ

Η Κρήτη αποτελεί το πιο μεγάλο και πολυπληθέστερο νησί της Ελλάδας και καθίσταται το 5<sup>ο</sup> μεγαλύτερο νησί της Μεσογείου. Χωρίζεται σε τέσσερις νομούς τα Χανιά, το Ρέθυμνο, το Ηράκλειο και τον νομό Λασιθίου. Η πρωτεύουσα και ταυτόχρονα μεγαλύτερη πόλη είναι το Ηράκλειο. Έχει πληθυσμό 617.360 (απογραφή 2021) κατοίκους σύμφωνα με την τελευταία απογραφή και μια έκταση 8.303 km<sup>2</sup> και αποτελεί το 6.3% της συνολικής επιφάνειας της χώρας. Βρίσκεται 160 χιλιόμετρα νότια της ηπειρωτικής χώρας και βρέχεται στη βόρεια μεριά από το Κρητικό πέλαγος, στην νότια μεριά από το Λιβυκό πέλαγος, στην δυτική πλευρά από το Μυρτώο πέλαγος και στην ανατολική πλευρά από το Καρπάθιο. Έχει οκτώ μεγάλους κόλπους (Κίσσαμου, Χανίων, Αλμυρού, Ηρακλείου, Μαλίων, Μιραμπέλλου, Σητείας και Μεσσαράς) και η ακτογραμμή της εκτείνεται για 1046 km.

Η Κρήτη μπορεί να θεωρηθεί αρκετά ορεινός τόπος καθώς απαρτίζεται από τρεις οροσειρές, τον Ψηλορείτη με υψόμετρο 2456 μέτρα, τα Λευκά όρη με υψόμετρο 2454 μέτρα και τη Δίκτη στα 2148 μέτρα. Οι ορεινές εκτάσεις αποτελούν το 49% της περιφέρειας, οι ημιορεινές το 12% και οι πεδινές το 39%. Οι οροσειρές αυτές στέκονται πάνω από ένα πλούσιο αριθμό οροπεδίων, όπως το οροπέδιο του Λασιθίου, ο Ομαλός και η Νίδα, καθώς και από διάφορες κοιλάδες, συμπεριλαμβανομένης της κοιλάδας του Αμαρίου. Τα βουνά φιλοξενούν πολλά σπήλαια όπως ο Γουργούθακας, το Δικταίο και το Ιδαίο. Ένα βασικό χαρακτηριστικό της Κρήτης είναι τα φαράγγια το φαράγγι της Σαμαριάς, το φαράγγι του Ίμβρου και το Κουρταλιώτικο φαράγγι είναι μερικά μόνο παραδείγματα από τα πολυάριθμα φαράγγια ή στενές κοιλάδες με απότομα βραχώδη τοιχώματα που βρίσκονται ανάμεσα σε λόφους ή βουνά.

Πιο συγκεκριμένα, οι γεωργικές περιοχές (αρόσιμη γη, μόνιμες καλλιέργειες, βοσκοτόπια κλπ.), δάση και ημιφυσικές εκτάσεις αποτελούν το κύριο μέρος της Κρήτης, παράλληλα βλέπουμε πολύ περιορισμένη έκταση στις τεχνητές περιοχές όπως είναι η αστική οικοδόμηση και οι βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες. Αυτά τα στοιχεία μπορούμε να τα δούμε και στο διάγραμμα παρά κάτω. [12]



Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, Προαπογραφικά στοιχεία της Απογραφής Γεωργίας-Κτηνοτροφίας 1999-2000).  
Επεξεργασία στοιχείων INEMY

Εικόνα 7 Κατανομή της έκτασης της Περιφέρειας Κρήτης κατά βασικές κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης

Η περιφέρεια της Κρήτης συμβάλει 3.7% στο ακαθάριστο προϊόν της χώρας. Από αυτό το μισό ΑΕΠ της Κρήτης προέρχεται από τον τουρισμό δηλαδή από τον τριτογενή τομέα. Ενώ το υπόλοιπο κομμάτι αντιστοιχεί στον πρωτογενή με 33% και στον δευτερογενή τομέα με 14%.

Η κτηνοτροφία και η γεωργία ήταν οι κύριες μορφές απασχόλησης του πληθυσμού του νησιού μέχρι περίπου τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Αυτή η εικόνα πλέον έχει αλλάξει σε μεγάλο βαθμό καθώς ένα πολύ μεγάλο κομμάτι του πληθυσμού εργάζεται στον τριτογενή τομέα δηλαδή στην παροχή υπηρεσιών. Το νησί της Κρήτης είναι στις μέρες μας ένα από τα πιο σημαντικά τουριστικά μέρη της χώρας αλλά και της Ευρώπης. Σύμφωνα με έρευνα η Κρήτη αντιπροσωπεύει το 16% των ξενοδοχειακών μονάδων της χώρας και το 22% των δωματίων. Συνολικά υπάρχουν 1.638 ξενοδοχειακές μονάδες, 97.525 δωμάτια και 190.714 κλίνες.

- Πρωτογενής τομέας: Αποτελεί τον τομέα της γεωργίας και της κτηνοτροφίας και απασχολείται σε αυτόν το 33% του εργατικού δυναμικού. Το ελαιόλαδο, τα εσπεριδοειδή και τα τυροκομικά είναι τα κύρια εξαγόμενα προϊόντα της Κρήτης.
- Δευτερογενής τομέας: Αποτελεί τον τομέα που απαρτίζεται από βιομηχανίες και βιοτεχνίες και απασχολείται σε αυτόν το 14% του ενεργά οικονομικού πληθυσμού.
- Τριτογενής τομέας: Αποτελεί τον τομέα της παροχής υπηρεσιών και αντιπροσωπεύει το 53% του συνόλου των απασχολούμενων στην Κρήτη

### 3.2 ΧΛΩΡΙΔΑ

Η χλωρίδα που συναντάται στο νησί της Κρήτης είναι από τις πιο πλούσιες και σημαντικές στην Ευρώπη με μια αξιοσημείωτη ποικιλομορφία ζωντανών οργανισμών. Παρ' ότι απομακρυσμένη από την ηπειρωτική χώρα βρίσκεται σε αυτή ένας πολύ μεγάλος αριθμός διαφορετικών ειδών χλωρίδας. Η Κρήτη βάση ερευνών, εκτός της Σικελίας, συγκεντρώνει το μεγαλύτερο αριθμό

από φυτά σε σχέση με τα υπόλοιπα νησιά της Μεσογείου. Στην Κρήτη μέχρι σήμερα έχουν καταγραφεί περίπου 1700 είδη φυτών, με τα 180 από αυτά να αποτελούν ενδημικά φυτά. Είναι πολύ σημαντικό να αναφέρουμε σε απομονωμένες περιοχές του νησιού, όπως τα Λευκά όρη, υπάρχουν διάφορα στενοενδημικά είδη και υποείδη φυτών, τα οποία είναι φυτά που συναντώνται μόνο στη συγκεκριμένη περιοχή. Λόγω της γεωγραφικής της θέσης μπορούμε να συναντήσουμε στοιχεία και από την Βορειοαφρικάνικη χλωρίδα και όλα αυτά συντελούν στο ότι η Ελλάδα αναλογικά με το μέγεθός της να περιέχει από τις πιο ποικιλόμορφες πανίδες της Ευρώπης με περισσότερα από 6000 είδη φυτών.

Στην Κρήτη μπορούμε να συναντήσουμε 53 περιοχές που έχουν προταθεί στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος NATURA 2000 ως περιοχές για ειδική προστασία που αυτό αντιστοιχεί στο 30% της Κρήτης.

Η κρητική χλωρίδα παρά την ανθρώπινη παρέμβαση, διαμορφώνεται και προσαρμόζεται, επιβιώνοντας από την υπερδραστηριότητα. Για παράδειγμα, υπάρχουν ενδημικά φυτά με αγκάθια έτσι ώστε να μην γίνονται αντικείμενο βόσκησης ή με άσχημη γεύση για να μην καταναλώνονται.

Στην Κρήτη οι επονομαζόμενες δασικές εκτάσεις είναι ελάχιστες αλλά ταυτόχρονα εντοπίζονται μερικοί από τους σπανιότερους οικοτόπους στην Ευρώπη με χαρακτηριστικό παράδειγμα τους φοίνικες του Θεόφραστου. Από τα δασικά είδη, αυτά που πλειοψηφούν στο νησί είναι το πεύκο και το κυπαρίσσι, τα οποία είναι κωνοφόρα είδη με μεγάλη προσαρμοστικότητα στα ακραία περιβάλλοντα. Επίσης μπορούμε να συναντήσουμε και τον σφένδαμο και την αμπελισιά, που είναι από τα σπανιότερα δέντρα στον κόσμο, το οποίο συναντάται σχεδόν αποκλειστικά στα Λευκά Όρη σε μικρούς πληθυσμούς.

Τα πιο χαρακτηριστικά είδη χλωρίδας της Κρήτης είναι τα αρωματικά φυτά και βότανα, όπως το θυμάρι, το φασκόμηλο, η μαλοτήρα και το δίκταμο, αλλά και το δέντρο της ελιάς. [13],[14]

### 3.3 Πανίδα

Η πανίδα του νησιού αποτυπώνει έντονη διαφορετικότητα από τις άλλες ηπειρωτικές περιοχές της Ευρώπης, της Ασίας και της Αφρικής καθώς είναι σχετικά απομακρυσμένη και απομονωμένη. Πολύ χαρακτηριστική είναι η ορνιθοπανίδα της Κρήτης καθώς θεωρείται από τις πιο ποικιλόμορφες και πλούσιες της Ευρώπης διότι απαρτίζεται από περίπου 350 είδη πτηνών. Στα κρητικά βουνά υπάρχει ο μεγαλύτερος νησιώτικος πληθυσμός από γύπες στον κόσμο.

Μερικά σημαντικά προβλήματα σε πολλά μέρη της Κρήτης είναι η αλόγιστη εκμετάλλευση των οικοσυστημάτων από τον άνθρωπο, η σημαντική υποβάθμιση της φυτικής βλάστησης, η παράνομη θήρευση και η εκτεταμένη τουριστική ανάπτυξη των περιοχών. Όλα αυτά έχουν οδηγήσει στον περιορισμό του αριθμού των ζώων στις ανώτερες τάξεις, πτηνά και θηλαστικά.

Στο νησί της Κρήτης δεν συναντάμε μεγάλα θηλαστικά και άγρια σαρκοβόρα ζώα. Στα Λευκά Όρη ζει ο κρητικός αίγαγρος ο οποίος είναι ενδημικό θηλαστικό μοναδικό στον κόσμο. Ο κρητικός σκαντζόχοιρος είναι επίσης μοναδικός στον πλανήτη, ενώ κάποια άλλα ενδιαφέροντα

και σπάνια θηλαστικά είναι το Κρητικό κουνάβι, ο Κρητικός ασβός και η Κρητική αγριόγατα. Τέλος, όπως καταλαβαίνουμε οι οικοκλιματικές συνθήκες του νησιού είναι κατάλληλες για να υπάρξει ανάπτυξη και διατήρηση της πλούσιας πανίδας. [15]

### 3.4 Κλίμα

Το κλίμα στο νησί της Κρήτης μπορεί να χαρακτηριστεί ως εύκρατο μεσογειακό και είναι από τα πιο ήπια κλίματα της Ευρώπης. Παρουσιάζει θερμά και ξηρά καλοκαίρια και ήπιους, υγρούς χειμώνες. Όμως, καθώς υπάρχει έντονη ποικιλία στην μορφολογία, συναντάμε αρκετές διαφορές από τα δυτική μεριά στην ανατολική και από τα πεδινά στα ορεινά.

Η πεδινές περιοχές χαρακτηρίζονται από μικρά ύψη βροχής, έναν ήπιο χειμώνα και μια ξηρή περίοδο. Τους καλοκαιρινούς μήνες, εξαιτίας της θάλασσας και των ανέμων είναι σε ένα βαθμό δροσερό. Στην πεδινή ζώνη, δεν παρατηρείτε σχεδόν ποτέ παγετός και δεν βλέπουμε συχνά θερμοκρασίες κάτω από 0 βαθμούς κελσίου.

Η άνοιξη παρατηρείτε αρκετά σύντομη και ξεκινάει τέλη Μαρτίου και διαρκεί συνήθως έως τον Μάιο. Το καλοκαίρι ξεκινάει τον Ιούνιο και έχει διάρκεια μέχρι το τέλος του Σεπτεμβρίου και είναι αρκετά ξηρό καθώς συναντάμε τα μικρότερα επίπεδα υγρασίας, την συγκεκριμένη εποχή παρατηρούμε μελέμια και ελάχιστες έως μηδενικές βροχοπτώσεις. Το φθινόπωρο ξεκινάει τον Οκτώβριο και φτάνει στο τέλος του αρχές Δεκεμβρίου και είναι ο μήνας που συναντάμε έντονη βροχόπτωση. Ο χειμώνας παρουσιάζεται αρκετά ήπιος και υγρός, με αρκετά μεγάλα ύψη βροχής και μεγάλα επίπεδα υγρασίας που τα συναντάμε κυρίως στην δυτική Κρήτη, ενώ οι χιονοπτώσεις είναι σπάνιες στα πεδινά κομμάτια αλλά τις συναντάμε κάθε χρόνο στα ορεινά τμήματα του νησιού.

Το σύνολο των περιοχών της Κρήτης έχουν αρκετή ηλιοφάνεια καθ' όλη την διάρκεια του έτους, με τις πιο πυκνές νεφώσεις να τις συναντάμε τον μήνα του Ιανουαρίου.

## 4. ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα παρουσιάσουμε χάρτες με τις κρίσιμες ατμοσφαιρικές παραμέτρους, οι οποίες είναι η θερμοκρασία, η ταχύτητα του ανέμου και η βροχή, για την γεωργική παραγωγή. Για την δημιουργία των συγκεκριμένων χαρτών θα χρησιμοποιήσουμε την γεωστατική μέθοδο kriging και θα μελετήσουμε, ποιο είδος kriging είναι το πιο ακριβές και με το λιγότερο σφάλμα για την κάθε παράμετρο.

### 4.1 Γεωστατική μέθοδος Kriging

Μία από τις πιο διαδεδομένες γεωστατικές μεθόδους είναι η μέθοδος kriging, η οποία συμπεριλαμβάνει μία οικογένεια γενικευμένων αλγορίθμων για ελάχιστα τετράγωνα. Αυτή η μέθοδος δημιουργήθηκε την δεκαετία του 50 από έναν μηχανικό ορυχείων ονομάτι Krige το 1951 και είχε ως στόχο την πρόγνωση της περιεκτικότητας που έχει μια περιοχή εξόρυξης σε μεταλλεύματα, χρησιμοποιώντας μεμονωμένες μετρήσεις περιεκτικότητας σε συγκεκριμένα σημεία. Ο χαρακτηρισμός της μεθόδου ως Kriging έγινε από τον Matheron το 1962. Το Kriging

έχει την δυνατότητα χρησιμοποιηθεί σε ονομαστικές αλλά και σε συνεχείς μεταβλητές, οπότε καθιστάτε ως το πλέον κατάλληλο για να κάνει εκτιμήσεις μεταξύ δυαδικών μεταβλητών. [16]

Η kriging έχει διαφορά από τις κλασικές μεθόδους, διότι μπορεί να δώσει και εκτιμήσεις διαφορετικού μεγέθους από τις τιμές των δειγμάτων, που να είναι μικρότερες ή μεγαλύτερες. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους που μπορούν να κάνουν εκτιμήσεις μόνο στο εύρος του των τιμών της δειγματοληψίας. Μία άλλη διαφορά είναι ότι οι παραδοσιακές τεχνικές κάνουν χρήση της Ευκλείδειας γεωμετρίας έτσι ώστε να γίνει ο υπολογισμός για τα βάρη των διαθέσιμων δειγμάτων, ενώ το Kriging χρησιμοποιεί την απόσταση αλλά και τη γεωμετρία μεταξύ των δειγμάτων. Τέλος, αντιθέτως με τις κλασικές μεθόδους το Kriging προσπαθεί να φέρει στο ελάχιστον την διακύμανση του αναμενόμενου σφάλματος. Σφάλμα ορίζεται η διαφορά της πραγματικής και τις εκτιμώμενης τιμής. [17]

Η kriging είναι μια γεωστατική μέθοδος και χρησιμοποιεί στάθμιση, δηλαδή εφαρμόζει την παραδοχή ότι τα πράγματα που είναι κοντά το ένα στο άλλο είναι περισσότερο όμοια από εκείνα που έχουν μεγαλύτερη απόσταση. Η μέθοδος εξαρτάται από τις χωρικές και στατιστικές σχέσεις για τον υπολογισμό της επιφάνειας. Πιο αναλυτικά, η Kriging ανήκει στην οικογένεια των γραμμικών ελαχίστων τετραγώνων αλγόριθμων εκτίμησης. Μας δείχνει πόσο πυκνά είναι κατανομημένα τα γνωστά σημεία, παρέχοντας ταυτόχρονα εκτίμηση σφάλματος, διάστημα εμπιστοσύνης και βαθμό χωρικής αυτό-συσχέτισης για κάθε άγνωστο σημείο. Είναι μια μέθοδος εκτίμησης με απόδοση βαρών βάσει της απόστασης, η οποία εκμεταλλεύεται τα χωρικά χαρακτηριστικά της τοπικής δομής μέσω του βάριο-γράμματος (Johnston et al. 2003). Η μέθοδος Kriging προσάπτει βάρη στις τιμές των γνωστών σημείων για την πρόβλεψη τιμών στα άγνωστα σημεία, τα βάρη στηρίζονται σε δύο συνθήκες, στην απόσταση γνωστού σημείου και σημείου πρόβλεψης, και στη συνολική χωρική διάταξη μεταξύ των γνωστών σημείων. Το Kriging συμπερασματικά είναι μια μέθοδος χωρικής παρεμβολής στην οποία γίνεται στάθμιση των γειτονικών τιμών έτσι ώστε να βρεθεί μια στατιστική τιμή σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις. [17]

Το πλεονέκτημα της τεχνικής Kriging σε σχέση με τις άλλες μεθόδους χωρικής παρεμβολής είναι ότι έχει την δυνατότητα σε σημεία που υπάρχει συσσώρευση δεδομένων, να αποφεύγει την μεροληπτική εκτίμηση και να παρέχει ένα σημαντικό μέτρο για την ακρίβεια των προβλέψεων για την επιφάνεια που υπολογίστηκε. Η διαδικασία περιέχει τον υπολογισμό κάποιου βέλτιστου συνδυασμού σταθμικών συντελεστών, δηλαδή τα βάρη, για όλες τις γνωστές τιμές με τρόπο ώστε το άθροισμα των γινομένων να δίνει αμερόληπτη εκτίμηση της προσδιορίζουσας τιμής, ενώ ταυτόχρονα η προσδιοριζόμενη διακύμανση να είναι η ελάχιστη που γίνεται. Το kriging έχει τη βάση του στη θεωρία της περιφερειακής διακύμανσης, στην οποία γίνεται η υπόθεση ότι η χωρική μεταβολή των δεδομένων όταν δέχεται μοντελοποίηση είναι ομοιογενής σε ολόκληρη την επιφάνεια, ουσιαστικά το ίδιο μοτίβο μεταβολής βρίσκεται σε όλες τις θέσεις της επιφάνειας. [18] [19]

### **Διάφορα είδη Kriging**

- Ordinary Kriging
- Simple kriging
- Universal Kriging

- Co Kriging
- Indicator Kriging
- Disjunctive Kriging

## 4.2 Ordinary Kriging

Η μέθοδος ordinary kriging είναι η πιο σύνηθες χρησιμοποιούμενη μέθοδος. Είναι μια διαδικασία χωρικής παρεμβολής στην οποία καταφέρνουμε να έχουμε μια αμερόληπτη και βέλτιστη εκτίμηση των τιμών στις θέσεις που συλλέχθηκαν δείγματα, κάνοντας χρήση του αρχικού συνόλου των τιμών αλλά και βοηθούμενη από τα δεδομένα που μας παρουσιάζει το βαριόγραμμα. (6) Σαν μέθοδος βασίζεται στο ημι-βαριόγραμμα για να γίνει η πρόβλεψη της τιμής που έχει μια μεταβλητή σε ένα τυχαίο σημείο, αλλά δεν είναι γνωστή η μέση τιμή των δειγμάτων. Η μέση τιμή κατά κανόνα είναι σταθερή στην περιοχή εκτίμησης. Για να χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο ordinary kriging πρέπει το δείγμα να ακολουθεί κανονική κατανομή και ταυτόχρονα εξαιτίας της συνθήκης αμεροληψίας το άθροισμα των σταθμικών συντελεστών (weights) που παρεμβαίνουν στην εξίσωση παρεμβολής είναι ίσο με την μονάδα.[20]

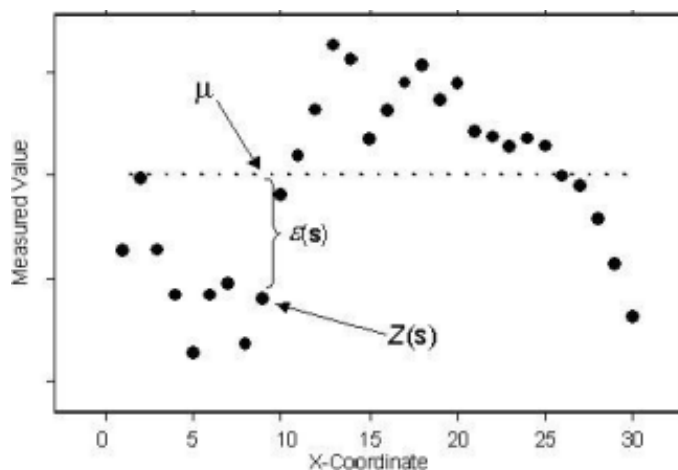
$$Z(s) = \mu + \varepsilon(s)$$

Όπου:  $\mu$ : ο μέσος όρος

$Z(s)$ : η τυχαία συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά της εσωτερικής σταθερότητας

$\varepsilon(s)$ : τα τυχαία σφάλματα με χωρική εξάρτηση

$s$ : τοποθεσία  $(x, y)$



Εικόνα 8 Ordinary Kriging

$$Z(S_o) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

Όπου:  $Z(S_o)$  : η προβλεπόμενη τιμή της μεταβλητής

$\lambda_i$  : οι σταθμισμένοι συντελεστές του Kriging

$z_i(s_i)$  : οι μετρηθείσες τιμές της μεταβλητής

Τα βάρη  $\lambda_i$  υπολογίζονται ελαχιστοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και βασίζονται στο ημι-βαριόγραμμα, την απόσταση από τη θέση πρόβλεψης και από τις χωρικές σχέσεις ανάμεσα στις μετρούμενες τιμές γύρω από τη θέση πρόβλεψης. Επίσης ένα ακόμα χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης μεθόδου Kriging είναι ότι τα βάρη  $\lambda_i$  έχουν άθροισμα ίσο με ένα ( $\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$ ), αυτό συμβαίνει για να εξασφαλιστεί η αμεροληψία. Είναι προφανές ότι όταν γίνονται υποθέσεις για ποικίλες τοποθεσίες κάποιες από τις προβλέψεις θα είναι υπερεκτιμημένες και υποεκτιμημένες για αυτό κατά μέσο όρο η διαφορά που θα έχει η πρόβλεψη και η πραγματική τιμή θα πρέπει να ισούται με μηδέν. [21]

### 4.3 Simple Kriging

Η συγκεκριμένη βασίζεται στο μοντέλο:  $Z(s) = \mu + \varepsilon(s)$

Το μοντέλο βασίζεται στην υπόθεση πως η μέση τιμή των δειγμάτων ( $\mu$ ) είναι σταθερό και γνωστό για το σύνολο της περιοχής

### 4.4 Disjunctive Kriging

Η μέθοδος Disjunctive Kriging είναι μια τεχνική γεωστατικής παρεμβολής. Είναι μια μορφή προσομοίωσης που λαμβάνει υπόψη τόσο τις ντετερμινιστικές όσο και τις στοχαστικές πληροφορίες. Είναι μια μορφή μη γραμμικού kriging, η οποία προφανώς προσφέρει μια βελτίωση σε σχέση με τις γραμμικές μορφές kriging και επίσης δεν απαιτεί τη γνώση του παράγοντα  $n+1$  για την κατανομή των πιθανοτήτων, ο οποίος απαιτείται σε παρόμοιες μεθόδους. Η πρώτη φορά που προτάθηκε ήταν από τον Matheron (1976) ως μια απλοποιημένη εναλλακτική, στην οποία η κατανομή  $n+1$  των μεταβλητών είναι γνωστή. Οι υπολογισμοί που απαιτούνται είναι ουσιαστικά οι ίδιοι με το απλό kriging και γίνεται χρήση του πολυωνύμου Hermite. [22]

Το μοντέλο της συγκεκριμένης μεθόδου είναι:  $f(Z(s)) = \mu_1 + \varepsilon(s)$  [21]

### 4.5 Co – Kriging

Η μέθοδος cokriging χρησιμοποιεί τη θεωρία των περιφερειακών μεταβλητών όταν έχουμε δύο ή παραπάνω μεταβλητές που οι τιμές αυτών παρουσιάζουν μια χωρική εξάρτηση, έτσι με αυτή τη μέθοδο αξιοποιείται η αρχή της καλύτερης εκτίμησης. Ουσιαστικά το cokriging είναι μια επέκταση της μεθόδου kriging. Αξιοποιεί τις πληροφορίες από πολλούς τύπους μεταβλητών, δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιήσει δευτερεύουσες μεταβλητές που έχουν σχέση με την κύρια μεταβλητή με αποτέλεσμα την καλύτερη δυνατή εκτίμηση της πρόβλεψης. [19] [23]

Στη συγκεκριμένη μέθοδο υπάρχει η δυνατότητα να πραγματοποιηθούν εκτιμήσεις για την χωρική μεταβολή τιμών μιας ιδιότητας για την οποία έχουμε χαμηλό αριθμό δεδομένων με αποτέλεσμα οι εκτιμήσεις που θα γίνουν να είναι στατιστικά αποδεκτές, διότι ταυτόχρονα χρησιμοποιείται η χωρική μεταβολή κάποιας συ-μεταβλητής, η οποία συσχετίζεται στατιστικά με την κύρια μεταβλητή, η οποία παρέχει επαρκή δεδομένα. Αυτή η μέθοδος έχει αξία μόνο όταν οι τιμές των δύο διαφορετικών μεταβλητών έχουν αποσπαστεί από διάφορα σημεία που δεν είναι ίδια μεταξύ τους. Αν αυτό δεν ισχύει, τότε οι εκτιμήσεις που θα γίνουν με την μέθοδο cokriging θα είναι ίδιες με αυτές της μεθόδου Kriging. [16] [20]

Στην δικιά μας περίπτωση θα χρησιμοποιηθούν οι τιμές της εδαφικής ιδιότητας στα σημεία που έχουμε δεδομένα αλλά και η τοπογραφική ιδιότητα.

#### 4.6 Ημι-Βαριόγραμμα

Το ημι-βαριόγραμμα αποτελεί το βασικό εργαλείο για την μέθοδο Kriging, βασίζεται στην ιδέα ότι τα κοντινότερα σημεία τείνουν να είναι περισσότερο όμοια σε σχέση με τα πιο μακρινά. Είναι η γραφική παράσταση της ημι-μεταβλητότητας  $\gamma(h)$  ως προς την απόσταση  $h$ , ουσιαστικά μας δίνει πληροφορίες για το πώς σχετίζονται οι τιμές μιας τυχαίας συνάρτησης σε σχέση με τις αποστάσεις τους στο χώρο. Χρησιμοποιείται στη μέθοδο kriging για να δημιουργήσει μια πρόβλεψη της αναμενόμενης διαφοράς στις τιμές μεταξύ ζευγών με παρόμοιο προσανατολισμό και να ορίσει τα βάρη που ορίζουν τη συμβολή του κάθε σημείου στην εκτίμηση των νέων τιμών στα μέρη που δεν υπάρχουν δεδομένα. Με το ημι-βαριόγραμμα τα βάρη δίνονται για σημεία που έχουν κοντινή κατεύθυνση και απόσταση. Ένα ημι-βαριόγραμμα κάνει αυτές τις προβλέψεις και τις στηρίζει από το επίπεδο της χωρικής αυτοσυσχέτισης που σημαίνει την εξάρτηση μεταξύ των τιμών των δεδομένων του δείγματος οι οποίες μειώνονται όσο η απόσταση μεταξύ των παρατηρήσεων αυξάνεται. [24]

Η εξίσωση για τον υπολογισμό του ημιβαριογράμματος ( $r$ ) είναι η εξής:

$$r = \frac{1}{2} N \sum_{i=1}^N [z(xi + d) - z(xi)]^2$$

$d$ : η απόσταση μεταξύ δύο δειγμάτων.

Ένα ημι-βαριόγραμμα απεικονίζει τη σχέση ανάμεσα στη μισή μέση τετραγωνική διαφορά των τιμών του συνόλου του δείγματος και την απόσταση που υπάρχει μεταξύ τους. [24]

Η ημιμεταβλητότητα ορίζεται από τα δεδομένα ως εξής:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z(xi) - Z(xi + h)]^2$$

$n$ : Ο συνολικός αριθμός ζευγαριών των σημείων της δειγματοληψίας χωρισμένα μεταξύ τους από απόσταση  $h$ . [20]



Όταν κάνουμε χρήση των γεωστατικών μεθόδων παρεμβολής ή πρώτη κίνηση που πρέπει να κάνουμε είναι να δημιουργήσουμε ένα βαριόγραμμα για τα σημεία που έχουμε τιμές. Το πειραματικό βαριόγραμμα είναι διάγραμμα που αντιστοιχίζει τη διακύμανση που υπάρχει μεταξύ των τιμών για ζευγάρια σημείων που έχουν μια συγκεκριμένη απόσταση. Το θεωρητικό βαριόγραμμα είναι μαθηματική συνάρτηση που κάνει μοντελοποίηση τη μεταβολή της διακύμανσης εν συνάρτησι της απόστασης. Το συν-βαριόγραμμα υπολογίζεται για να δώσει την συσχέτιση δύο διαφορετικών μεταβλητών στο χώρο. [25]

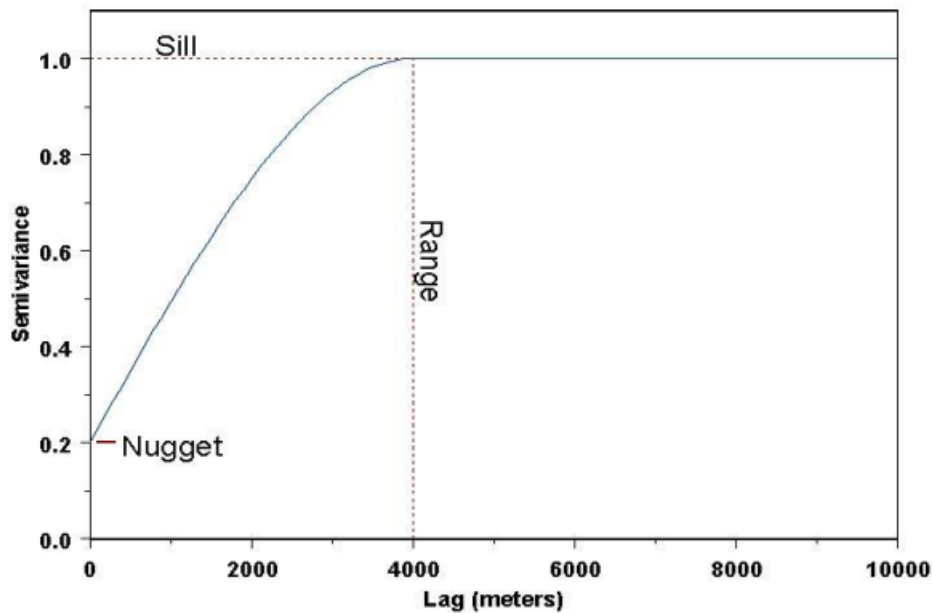
Τα κύρια χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν τα προσαρμοζόμενα θεωρητικά μοντέλα είναι:

Το **όριο sill** το οποίο θεωρητικά είναι ίσο με την αυξομείωση της ποσότητας των δειγμάτων σε μεγάλες αποστάσεις διαχωρισμού. Το ύψος όπου φτάνει το ημι-βαριόγραμμα μόλις σταθεροποιηθεί. Απαρτίζεται από δύο μέρη, μια ασυνέχεια στην αρχή των αξόνων, το *nugget effect* και το *partial sill*, αν προστεθούν μαζί δίνουν το *sill*.

**Τη ζώνη επιρροής και εύρος (range)** που είναι η απόσταση όπου καταλήγει να συμβεί η μεγαλύτερη τιμή της αυξομείωσης. Τα σημεία που απέχουν μεγαλύτερη απόσταση από το εύρος ονομάζονται χωρικά ανεξάρτητα διότι η εκτιμώμενη ημιμεταβλητότητα των διαφορών θα είναι αμετάβλητη σε σχέση με την απόσταση του διαχωρισμού του δείγματος. Δηλαδή πιο απλουστευμένα εάν η απόσταση μεταξύ μιας επισκέψιμης θέσης από ένα σημείο είναι μεγαλύτερη από το εύρος, το δεδομένο αδυνατεί να συνεισφέρει χρήσιμα στην χωρική παρεμβολή καθώς βρίσκεται αρκετά μακριά. [20]

**Η παράμετρος nugget** η οποία είναι η χωρική διακύμανση που προκαλείται από το συστηματικό λάθος της μέτρησης και της δειγματοληψία ή και σε άλλες διαφορετικές αιτίες. Σε θεωρητικά πλαίσια η τιμή της ημιμεταβλητότητας στην αρχή των αξόνων θα πρέπει να είναι ίση με το μηδέν, σε αρκετές περιπτώσεις όμως έχει αρκετή διαφορά από το μηδέν και τότε ονομάζεται *nugget*. [25]

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε ένα πειραματικό ημι-βαριόγραμμα όπου παρουσιάζονται σχηματικά τα βασικά χαρακτηριστικά που αναλύσαμε παραπάνω.



Εικόνα 9 Πειραματικό ημιβαριόγραμμα

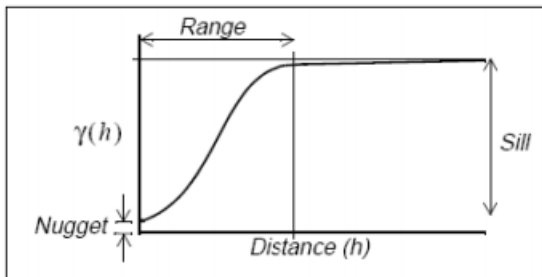
### Βασικά μοντέλα βαριογράμματος

1. Κυκλικό
2. Σφαιρικό
3. Εκθετικό
4. Gaussian
5. Γραμμικό

Ανάλογα με το μοντέλο που θα επιλέξουμε επηρεάζεται η πρόβλεψη των αγνώστων τιμών. Το πόσο σημαντική θα είναι η επιρροή των κοντινότερων γειτόνων εξαρτάται από το πόσο απότομη θα είναι η καμπύλη στην αρχή των αξόνων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, μια αρκετά έντονη καμπύλη στην αρχή των αξόνων να παράγει μια λιγότερο λεία επιφάνεια. [26]

#### 1. Μοντέλο Gaussian

Το συγκεκριμένο μοντέλο αντιπροσωπεύει πολύ ομαλά μεταβαλλόμενες ιδιότητες, αλλά υπάρχει ο κίνδυνος αν χρησιμοποιηθεί χωρίς nugget να μας υπάρξουν αριθμητικές αστάθειες στη διαδικασία kriging.



Εικόνα 10 Gaussian model

[26]

## 2. Σφαιρικό μοντέλο

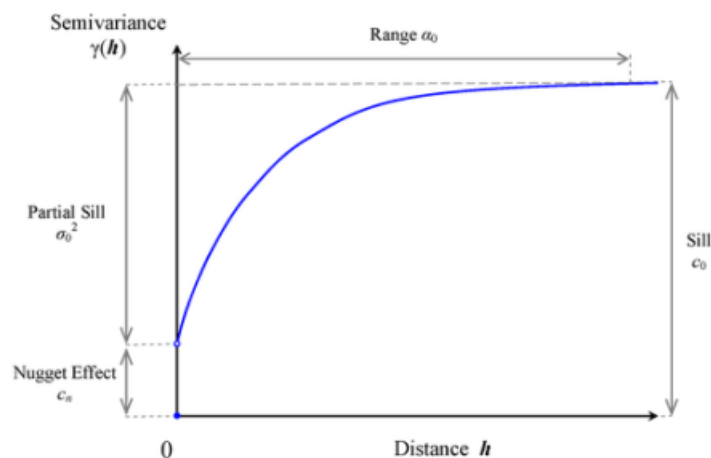
Αυτό το μοντέλο παρουσιάζει μια σταδιακή μείωση της χωρικής συσχέτισης μέχρι μια απόσταση όπου πριν από αυτή η αυτοσυσχέτιση είναι μηδενική. Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι από τα μοντέλα που χρησιμοποιείται αρκετά συχνά. Η συνάρτηση του μοντέλου:

$$g(h) = \left[ c \times \left( 1.5 \left( \frac{h}{a} \right) - 0.5 \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right) \right], \text{ για } h \geq a$$

$h$ : απόσταση μεταξύ δύο θέσεων

$a$ : το εύρος range

$c$ : το όριο sill



Εικόνα 11 Σφαιρικό μοντέλο

[26]

### 3. Εκθετικό μοντέλο

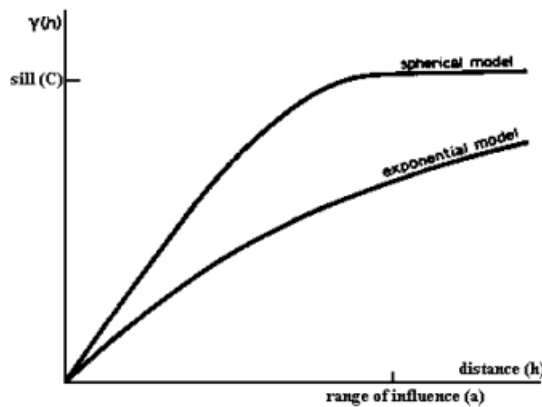
Το εκθετικό μοντέλο είναι και αυτό ένα από τα συνηθέστερα. Χρησιμοποιείται όταν η χωρική συσχέτιση μειώνεται εκθετικά με την αύξηση της απόστασης. Η συνάρτηση του μοντέλου είναι η εξής:

$$g(h) = c \times \left[ 1 - \exp\left(\frac{-3h}{a}\right) \right], \text{ για } h \geq a$$

h: απόσταση μεταξύ δύο θέσεων

a: το εύρος range

c: το όριο sill



Εικόνα 12 Εκθετικό μοντέλο

[26]

### 4.7 Cross Validation

Προκειμένου να προσδιοριστεί ο βαθμός ακρίβειας που έχουν οι παράμετροι του ημιβαριογράμματος και η γειτονιά αναζήτησης για την πρόβλεψη των άγνωστων θέσεων, χρησιμοποιούμε το Geostatistical Analyst tool για να εφαρμόσουμε cross-validation. Η μέθοδος αυτή απομακρύνει ένα σημείο από το δείγμα και τα υπόλοιπα n-1 χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν το σημείο που αφαιρέθηκε, στη συνέχεια αυτής της διαδικασίας συγκρίνεται η αρχικά μετρούμενη τιμή με την τιμή που προβλέφθηκε. Η διαδικασία του Cross Validation είναι μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους για την αξιολόγηση ακρίβειας της χωρικής παρεμβολής.

Η Cressie N. (1993) περιγράφει την μέθοδο της πολλαπλής επικύρωσης ως την διαγραφή τμημάτων των δεδομένων και παρεμβολή χρησιμοποιώντας το υπόλοιπο σύνολο δεδομένων. Από την επανάληψη της διαδικασίας της πολλαπλής επικύρωσης για πολλά διαγραφόμενα υποσύνολα αξιολογείται και η μεταβλητότητα του σφάλματος πρόβλεψης. [27]

Η μέθοδος cross-validation χρησιμοποιείται για να μπορέσουμε να επιλέξουμε μεταξύ διαφορετικών μεθόδων εκτίμησης έτσι ώστε το μοντέλο να παρέχει τις καλύτερες προβλέψεις για τις παρεμβαλλόμενες τιμές.

#### 4.8 Αξιολόγηση προβλέψεων

Από την εφαρμογή της μεθόδου cross validation μας δίνονται οι τιμές σφαλμάτων που εκτιμούν την ακρίβεια του εκάστοτε μοντέλου. Οι δείκτες αυτή είναι:

- **Mean error:** Μέσο σφάλμα πρόβλεψη, δηλαδή ο μέσος όρος της διαφοράς μεταξύ της μετρούμενης και της προβλεπόμενης τιμής. Η τιμή θα πρέπει να είναι όσο πιο κοντά στο 0.

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i - o_i$$

- **Mean standardized error:** Τυποποιημένο μέσο σφάλμα πρόβλεψης, δηλαδή ο μέσος όρος των τυποποιημένων σφαλμάτων. Η τιμή θα πρέπει να είναι όσο πιο κοντά γίνεται στο 0.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2$$

- **Root mean square standardized error:** Τυποποιημένη μέση τετραγωνική ρίζα σφάλματος πρόβλεψης. Αυτή η τιμή θα πρέπει να είναι κοντά στο ένα αν τα τυπικά σφάλματα πρόβλεψης είναι έγκυρα. Αν η τιμή είναι μεγαλύτερη από το ένα τότε η μεταβλητότητα της πρόβλεψης είναι υποεκτιμημένη. Σε περίπτωση που είναι μικρότερη από το ένα τότε η μεταβλητότητα της πρόβλεψης είναι υπερεκτιμημένη.

$$RMSSE = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_{si} - o_{si})^2 \right]^{1/2}$$

- **Root mean square error:** Μέση τετραγωνική ρίζα σφάλματος πρόβλεψης. Μας δείχνει πόσο καλά το μοντέλο προβλέπει τις μετρούμενες τιμές. Όσο μικρότερο είναι το σφάλμα αυτό, τόσο καλύτερο.

$$RMSE = [\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2]^{1/2}$$

- **Average standard error:** Μέσο τυποποιημένο σφάλμα. Η τιμή θα πρέπει να είναι όσο πιο μικρή γίνεται.

$$ASE = [\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n})^2]^{1/2}$$

Όπου:

- n: ο αριθμός των δειγμάτων
- 0: μετρούμενη τιμή
- p: προβλεπόμενη τιμή
- 0<sub>s</sub>: τυποποιημένη μετρούμενη τιμή
- p<sub>s</sub>: τυποποιημένη προβλεπόμενη τιμή
- s: τυπική απόκλιση από τα εκτιμώμενα σφάλματα

Το Mean Error πρέπει να είναι κοντά στο μηδέν και το RMSE να είναι όσο πιο μικρό γίνεται έτσι ώστε οι προβλέψεις να είναι αμερόληπτες και κοντά στις πραγματικές τιμές. Ο δείκτης ASE αξιολογεί την μεταβλητότητα των προβλέψεων από τις μετρημένες τιμές. Αυτό σημαίνει ότι αυτός ο δείκτης θα πρέπει να είναι σχεδόν ίδιος με τον RMSE έτσι ώστε να ξέρουμε ότι η μεταβλητότητα των προβλέψεων είναι σωστή. Στην περίπτωση που η τιμή του RMSE είναι μεγαλύτερη, τότε οι τιμές θεωρούνται υπερεκτιμημένες. Ενώ, αν η τιμή είναι μικρότερη, οι τιμές θεωρούνται υποεκτιμημένες. Οι τιμή του RMSSE πρέπει να είναι όσο πιο κοντά στο ένα και του SME όσο το δυνατόν μικρότερη. [26]

#### 4.9 Συλλογή δεδομένων

Τα ατμοσφαιρικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας πάρθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY) και συγκεκριμένα από την ιστοσελίδα meteo search. Οι διαθέσιμοι μετεωρολογικοί σταθμοί του γεωγραφικού διαμερίσματος της Κρήτης την περίοδο 2017-2019 που παρείχαν όλα τα ατμοσφαιρικά δεδομένα που θέλουμε να μελετήσουμε είναι 41. Όπως παρατηρούμε στον *χάρτη 1*, ο καταμερισμός των σταθμών στο νομό Ηρακλείου και Λασιθίου είναι αρκετά

περιορισμένος, το γεγονός αυτό δύναται να επηρεάσει αρνητικά τα αποτελέσματά των μεθόδων kriging που θα χρησιμοποιήσουμε για την χωρική παρεμβολή των μεταβλητών μας.

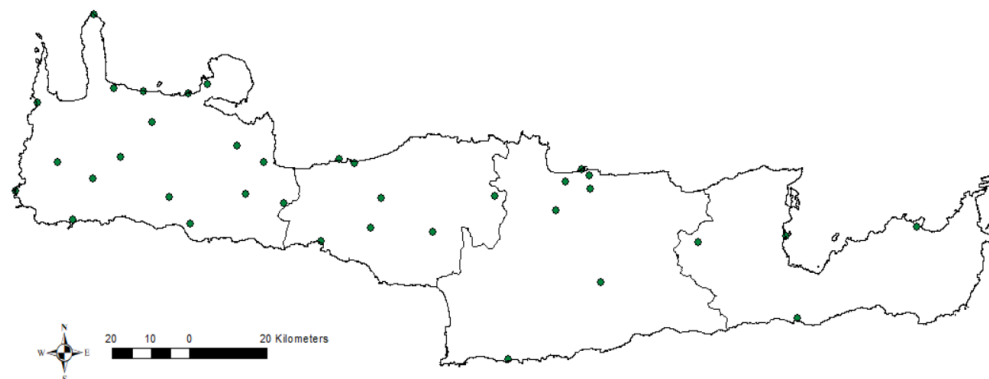
ΣΤΑΘΜΟΣ	LATITUDE	LONGITUDE	PERIOD
ΑΣΗ ΓΩΝΙΑ ΧΑΝΙΩΝ	35.27320° N	24.28620° E	2017-2019
ΦΑΛΑΣΑΡΝΑ ΧΑΝΙΩΝ	35.49241° N	23.58203° E	2017-2019
ΕΛΟΣ ΧΑΝΩΝ	35.36406° N	23.63852° E	2017-2019
ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΑ	35.23750° N	23.68459° E	2017-2019
ΖΥΜΒΡΑΓΟΥ ΧΑΝΙΩΝ	35.43767° N	23.75643° E	2017-2019
ΚΑΚΟΠΕΤΡΟΣ ΧΑΝΙΩΝ	35.41369° N	23.75588° E	2017-2019
ΚΑΝΔΑΝΟΣ	35.32787° N	23.74063° E	2017-2019
ΚΟΛΥΜΠΑΡΙ	35.52483° N	23.79876° E	2017-2019
ΣΕΜΠΡΩΝΑΣ ΧΑΝΙΩΝ	35.37425° N	23.82138° E	2017-2019
ΠΛΑΤΑΝΙΑΣ ΧΑΝΙΩΝ	35.51737° N	23.88501° E	2017-2019
ΑΛΙΚΙΑΝΟΣ	35.45158° N	23.90993° E	2017-2019
ΧΑΝΙΑ	35.53337° N	24.06835° E	2017-2019
ΧΑΝΙΑ ΚΕΝΤΡΟ	35.51303° N	24.01480° E	2017-2019
ΘΕΡΙΣΟ	35.40765° N	23.98246° E	2017-2019
ΣΑΜΑΡΙΑ ΦΑΡΑΓΓΙ	35.28800° N	23.95860° E	2017-2019
ΣΦΑΚΙΑ	35.23022° N	24.01790° E	2017-2019
ΚΑΜΠΟΙ ΚΕΡΑΜΙΩΝ	35.41768° N	24.06983° E	2017-2019
ΑΓΙΟΙ ΠΑΝΤΕΣ ΧΑΝΙΩΝ	35.39882° N	24.15297° E	2017-2019
ΒΡΥΣΕΣ ΧΑΝΙΑ	35.36430° N	24.22960° E	2017-2019
ΑΣΚΥΦΟΥ ΧΑΝΙΩΝ	35.29339° N	24.17655° E	2017-2019
ΡΕΘΥΜΝΟ	35.36903° N	24.44468° E	2017-2019

ΡΕΘΥΜΝΟ ΠΟΛΗ	35.36120° N	24.48904° E	2017-2019
ΦΡΑΓΜΑ ΠΟΤΑΜΩΝ	35.28365° N	24.56517° E	2017-2019
ΣΠΗΛΙ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	35.21880° N	24.53540° E	2017-2019
ΠΛΑΚΙΑΣ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	35.19081° N	24.39387° E	2017-2019
ΦΟΥΡΦΟΥΡΑΣ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	35.21035° N	24.71070° E	2017-2019
ΑΝΩΓΕΙΑ	35.28672° N	24.88942° E	2017-2019
ΓΟΡΤΥΝΑ ΜΕΣΣΑΡΑΣ	35.06299° N	24.93873° E	2017-2019
ΠΛΩΡΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	35.01212° N	24.93828° E	2017-2019
ΛΕΝΤΑΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	34.93053° N	24.92500° E	2017-2019
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΔΥΤΙΚΑ	35.31584° N	25.09271° E	2017-2019
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΛΙΜΑΝΙ	35.34336° N	25.13757° E	2017-2019
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	35.32839° N	25.16048° E	2017-2019
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	35.30075° N	25.16378° E	2017-2019
ΣΤΑΥΡΑΚΙΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	35.25341° N	25.06273° E	2017-2019
ΠΕΖΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	35.20744° N	25.19609° E	2017-2019
ΠΥΡΑΘΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	35.09595° N	25.18977° E	2017-2019
ΤΖΕΡΜΑΔΩΝ	35.18010° N	25.46800° E	2017-2019
ΠΟΤΑΜΟΙ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	35.20932° N	25.53040° E	2017-2019
ΝΕΑΠΟΛΗ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	35.25683° N	25.60622° E	2017-2019
ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	35.19140° N	25.72090° E	2017-2019
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	35.01019° N	25.74899° E	2017-2019
ΣΗΤΕΙΑ	35.20500° N	26.09500° E	2017-2019
ΜΟΝΗ ΤΟΠΛΟΥ	35.21890° N	26.21698° E	2017-2019

Πίνακας 1: ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ



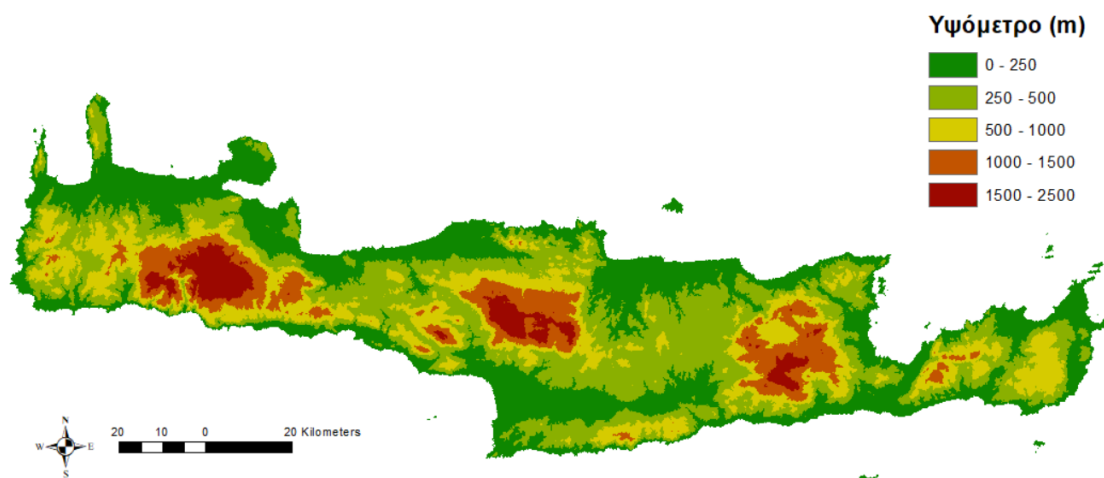
#### ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ



Χάρτης 1: Μετεωρολογικοί Σταθμοί

Στον παραπάνω χάρτη που βλέπουμε, τα γεωγραφικά όρια πάρθηκαν από την ιστοσελίδα Geodata.gov.gr σε μορφή γραμμικού διανυσματικού πεδίου shapefile.

Επίσης χρησιμοποιήθηκε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) το οποίο μας δείχνει τις υψομετρικές διαφορές του εδάφους.



Χάρτης 2: Χάρτης υψομέτρων

Προκειμένου να διασφαλιστεί η εγκυρότητα των δεδομένων, ώστε να ληφθούν ασφαλή συμπεράσματα για την εκπόνηση της εργασίας η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής.

Αρχικά, σαν πρώτο βήμα για την εκπόνηση της εργασίας πραγματοποιήθηκε η συλλογή των μετεωρολογικών δεδομένων από την ιστοσελίδα του meteo.gr. Συγκεκριμένα λήφθηκαν υπόψη δεδομένα που αποτελούνται από μέσες μηνιαίες τιμές για τα έτη 2017,2028 και 2019. Τα ατμοσφαιρικά δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε ήταν τα εξής:

- Μέγιστη ετήσια θερμοκρασία
- Ελάχιστη ετήσια θερμοκρασία
- Μέγιστη ετήσια θερμοκρασία
- Μέση ετήσια βροχόπτωση
- Μέση ένταση ανέμων

Τα δεδομένα αυτά τοποθετήθηκαν και οργανώθηκαν σε πίνακες Excel. Έτσι με την σωστή τους αρχειοθέτηση καθίσταται δυνατή η εισχώρησή τους στο πρόγραμμα GIS και η παραγωγή ενός σημειακού διανυσματικού πεδίου shapefile στο οποίο αποτυπώνονται ταυτόχρονα οι μετεωρολογικοί σταθμοί στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Κρήτης.

2018 - AVERAGE TEMPERATURE														
Column	ΣΤΑΘΜΟΣ	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡΤ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
1	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	12.5	13.9	16.7	18.5	22.1	25	27.3	26.4	24.2	19.6	17.5	13.2	19.74166667
2	ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΑ	13.7	14.4	16	19.3	22.4	28.7	28.7	28.5	25.8	21.6	18.7	14.5	21.025
3	ΧΑΝΙΑ	12.1	13.1	16.4	18.2	21.8	25.5	27.4	26.8	23.8	19.3	16.4	12.6	19.45
4	ΒΡΥΣΣΕΣ ΧΑΝΙΑ	9.5	11.6	14.8	16	20.8	23.7	26.2	25.4	22.1	17.7	15.5	11	17.85833333
5	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΛΙΜΑΝΙ	13.4	14.4	17	18.2	21.8	24.8	27.1	26.9	24.6	20.7	18.3	14.1	20.10833333
6	ΡΕΘΥΜΝΟ	13	14	16.6	17.7	21.6	24.8	27	26.6	24.2	20.2	17.7	13.7	19.75833333
7	ΣΠΗΛΙ ΡΕΘΥΜΝΟ	9.9	11.2	14	16.8	20	22.9	25.8	24.4	21.7	17.3	14.7	10.3	17.41666667
8	ΑΝΩΓΕΙΑ	7	8.9	12.8	15.9	18.3	20.9	23.4	21.4	18.9	15.2	12.2	7.3	15.18333333
9	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	13.5	14.8	16	18.9	22.3	24.8	28.4	28	25	21.3	18.8	14.2	20.5
10	ΜΕΤΑΞΟΧΩΡΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	10.2	11.5	14	18.1	21.3	23.9	26.9	25.4	22.6	18.4	15.2	10.5	18.16666667
11	ΣΑΜΑΡΙΑ ΔΡΥΜΟΣ	4.8	5.9	9.5	13.2	15.7	17.5	20.6	18.8	16.1	13	9.3	4.8	12.43333333
12	ΤΖΕΡΜΑΔΩΝ	6	8.5	11.7	13.1	16.7	18.9	20.8	19.7	17.4	13.5	11.2	6.8	13.69166667
13	ΦΡΑΓΜΑ ΠΟΤΑΜΩΝ	10.5	12.2	15.2	16.5	20.5	23.6	25.9	24.8	22.2	18.2	15.6	11.1	18.025
14	ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	13.3	14.8	17.2	19.3	23.2	26.3	29.3	28	26	21.3	18.4	13.8	20.90833333
15	ΜΟΙΡΕΣ	11.5	12.8	15	18.7	22.6	25	28.3	27.6	24.7	20.1	17	11.9	19.6
16	ΧΑΝΙΑ ΚΕΝΤΡΟ ΠΟΛΗΣ	12.2	13.1	16.6	17.3	21.2	24.7	26.6	26	23.5	18.7	16.1	12.6	19.05
17	ΣΗΤΕΙΑ	13.2	14.4	16.7	18.7	22.5	25.2	27.5	27.1	25	20.9	18.3	14	20.29166667
18	ΦΑΛΑΣΑΡΝΑ	13.9	14.8	17.8	19.3	22.4	25.4	27.3	28.1	25.5	21.4	18.7	14.7	20.775
19	ΦΟΥΡΦΟΥΡΑΣ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	9.8	11.2	14	17.5	20.3	22.9	25.9	24	21.7	17.4	14.7	10.3	17.475
20	ΛΕΝΤΑΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	14.4	15.3	16.8	19.9	23.1	25.1	28.1	28.3	25.9	21.8	18.8	14.4	20.99166667
21	ΑΛΙΚΙΑΝΟΣ	11.3	12.4	16.4	17.2	21	24.3	26.4	25.2	22.6	18.2	16	12.2	18.6
22	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΔΥΤΙΚΑ	12.5	13.8	16.6	18.2	22	24.9	27.4	26.8	24.3	20.2	17.5	13.2	19.78333333
23	ΣΑΜΑΡΙΑ ΦΑΡΑΓΓΙ	8.7	10.2	13.5	17.2	20.4	23.1	26.5	26.6	22.7	17	14.3	10.6	17.56666667
24	ΠΛΑΚΙΑΣ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	13.8	14.6	16	19.3	22.2	24.9	28.3	28.1	25.5	21.2	18.6	14.4	20.575
25	ΣΦΑΚΙΑ	7.8	8.7	11.2	15.9	19.1	20.6	23.7	22.1	19.8	15.6	12.9	8.5	15.49166667
26	ΑΣΚΥΦΟΥ ΧΑΝΙΩΝ	6.9	8.5	11.2	14.6	18.7	20.4	23.3	22.6	18.3	14.7	12.2	7.3	14.89166667
27	ΒΑΓΙΟΝΙΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	11	12	14.3	18.2	21.7	24.2	27.3	27	23.4	19.2	16.4	11.3	18.83333333
28	ΕΛΟΣ ΧΑΝΙΩΝ	9.3	10.6	13.5	16.8	19.3	22.1	24.7	22.9	20.9	17	13.9	9.8	16.73333333
29	ΑΓΙΟΙ ΠΑΝΤΕΣ ΧΑΝΙΩΝ	9.5	11.3	14.8	16.1	20.7	24	26	25.2	21.9	17.2	14.8	10.6	17.675
30	ΠΛΑΤΑΝΙΑΣ ΧΑΝΙΩΝ	12.5	13.2	16.7	17.3	21	24.6	26.7	26	23.7	19.3	17	13.2	19.26666667
31	ΠΥΡΑΘΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	10.5	11.7	14	18	21	23.8	26.3	25.2	22.7	18.6	15.6	10.8	18.18333333
32	ΣΕΜΠΡΩΝΑΣ ΧΑΝΙΩΝ	8.4	9.8	13.3	15.8	18.6	21.5	24	22.4	19.6	15.8	13.1	9	15.94166667
33	ΣΤΑΥΡΑΚΙΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	11.3	12.6	15.6	18.2	21.6	24.4	27	26.2	23.3	19.1	16.1	11.8	18.93333333
34	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	12.2	13.4	16.2	17.4	21.7	24.5	26.6	26.4	24	19.9	17.5	12.9	19.39166667
35	ΚΑΝΤΑΝΟΣ	9.1	10.6	13.5	16.7	19.8	22.5	25.1	24.3	21	16.6	13.8	9.9	16.90833333
36	ΚΟΛΥΜΠΑΡΙ	12.3	13	16.4	16.9	20.7	24.1	26.3	25.4	23.3	19.3	17	13	18.975
37	ΑΣΗ ΓΩΝΙΑ ΧΑΝΙΩΝ	10.6	11.8	14.8	17.6	20.8	23.6	25.7	24.5	22	17.8	15	10.8	17.91666667
38	ΡΕΘΥΜΝΟ ΠΟΛΗ	13	14.2	17.1	17.8	21.8	25	27.3	26.8	24.3	20.1	17.7	13.7	19.9
39	ΓΟΡΤΥΝΑ ΜΕΣΣΑΡΑΣ			14.7	19	22.6	24.8	28.1	27.4	24.3	19.6	16.7	11.5	20.87
40	ΠΕΖΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ				15.9	19.8	22.6	24.8	23.5	21.2	17.9	14.5	10.3	18.94444444
41	ΣΤΑΛΟΣ											17.2	13.4	15.3

Πίνακας 2: Average Temperature 2018

#### 4.10 Επιλογή μοντέλου

Όπως αναφέραμε και στο υπό-κεφάλαιο 4.8 (Αξιολόγηση προβλέψεων) , κάναμε χρήση της μεθόδου cross validation, η οποία μας δίνει τις τιμές των σφαλμάτων που εκτιμούν την ακρίβεια του κάθε μοντέλου. Με αυτό τον τρόπο καταλήξαμε στην επιλογή του βέλτιστου μοντέλου για την κάθε περίπτωση.

Σε αυτό το υπό-κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα της στατιστικής μεθοδολογίας cross validation, ξεχωριστά για όλες τις ατμοσφαιρικές παραμέτρους.

	Mean Error (µg/l)	RMSE (µg/l)	Average Standard Error (µg/l)	Mean Error standardized	RMSE Standardized
<b>AVG TEMP</b>					
<b>Kriging</b>					
Ordinary	-0.081	1.88	1.73	-0.036	<b>0.992</b>
Simple	0.016	1.86	1.75	-0.003	1.034
Disjunctive	-0.014	0.97	1.90	-0.010	0.972
<b>Co-kriging</b>					
Ordinary	-0.009	0.81	0.82	-0.007	1.022
Simple	0.0009	0.81	0.79	<b>0.001</b>	1.024
Disjunctive	0.0009	0.82	0.79	<b>0.001</b>	1.024
Indicator	0.023	0.37	0.44	0.036	0.884

MAXIMUM TEMPERATURE					
<b>Kriging</b>					
Ordinary	-0.049	2.13	2.06	-0.017	1.026
Simple	-0.039	2.07	2.08	<b>-0.001</b>	1.003
Disjunctive	-0.027	2.08	2.08	-0.012	<b>1.001</b>
<b>Co-kriging</b>					
Ordinary	-0.062	1.90	2.36	-0.021	0.806
Simple	-0.015	1.92	1.95	-0.006	0.988
Disjunctive	0.003	1.93	1.92	0.002	1.004
Indicator	0.006	0.57	0.56	0.008	1.024
MINIMUM TEMPERATURE					
<b>Kriging</b>					
Ordinary	-0.087	3.28	3.28	-0.023	<b>0.998</b>
Simple	-0.001	3.1	3.1	<b>0.001</b>	0.984
Disjunctive	-0.0012	3.1	3.1	-0.012	1.004
<b>Co-kriging</b>					
Ordinary	-0.06	2.42	2.88	-0.017	0.847
Simple	-0.05	2.26	2.16	-0.023	1.048
Disjunctive	0.05	2.26	2.16	0.023	1.048
Indicator	-0.001	0.43	0.42	-0.002	1.046

AVERAGE WIND SPEED					
<b>Kriging-0.16</b>					
Ordinary	-0.085	3.06	3.19	-0.022	0.965
Simple	-0.12	3.04	3.08	-0.039	0.988
Disjunctive	-0.12	3.04	3.07	-0.039	0.991
<b>Co-kriging</b>					
Ordinary	-0.042	2.92	3.17	-0.011	0.923
Simple	0.00008	2.75	2.77	0.0008	0.985
Disjunctive	0.00008	2.75	2.77	<b>0.0004</b>	<b>0.995</b>
Indicator	0.0097	0.44	0.44	-0.024	1.015

RAIN					
<b>Kriging</b>					
Ordinary	-0.15	314.92	296.4	<b>-0.004</b>	<b>1.017</b>
Simple	22.45	272.33	284.75	0.069	0.959
Disjunctive	23.48	273.26	278.69	0.077	0.980
<b>Co-kriging</b>					
Ordinary	2.921	233.87	277.31	0.01	0.850
Simple	20.132	243.23	292.59	0.098	0.770
Disjunctive	20.077	250.26	247.34	0.071	1.019
Indicator	-0.013	0.393	0.44	-0.017	0.911

Όπως βλέπουμε παραπάνω μέσω τις μεθόδου cross validation υπολογίζουμε διάφορους δείκτες. Είναι αλήθεια ότι η επιλογή ,ενός μόνου δείκτη από τους πέντε, για να αξιολογήσουμε την απόδοση του εκάστοτε μοντέλου είναι πολύ πιθανό να μας οδηγήσει σε μεροληπτικά αποτελέσματα. Ωστόσο, οι πιο αντιπροσωπευτικοί δείκτες, βάση της βιβλιογραφίας, είναι αυτοί που έχουν τυποποιηθεί, δηλαδή το τυποποιημένο σφάλμα πρόβλεψης (Mean error standardized) και η τυποποιημένη μέση τετραγωνική ρίζα σφάλματος πρόβλεψης (RMSE standardized), έτσι ώστε να γίνει η αφαίρεση της εξάρτησης από τις μονάδες στις οποίες μετράμε την εκάστοτε μεταβλητή. [22]

Στον παραπάνω πίνακα είναι μαυρισμένες οι βέλτιστες τιμές.

Η μεθοδολογία που ακολουθήσαμε για να βγάλουμε τις τιμές των διάφορων δεικτών και να καταλήξουμε στο βέλτιστο μοντέλο ήταν η εξής:

Για κάθε σύνολο τιμών ακολουθήσαμε μια διαδικασία όπου το lag size προσαρμοζόταν σταδιακά και μετά ελεγχόταν από την μέθοδο cross-validation για να καταλήξουμε στο βέλτιστο. Ταυτόχρονα, προσαρμόζαμε και την τιμή nugget για να έχουμε τα βέλτιστα αποτελέσματα, καθώς επίσης χρησιμοποιήσαμε 10 neighbors . Τέλος, την βέλτιστη μέθοδο την επιλέξαμε βάση της τιμής RMSE standardized και Mean error standardized.

Παρακάτω παρατίθενται οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τούς δείκτες cross validation.

## **Max Temperature**

### **Ordinary Kriging**

- Δεν έγινε μετατροπή των δεδομένων
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 3
- Lag size: 1000

### **Simple Kriging**

- Δεν έγινε μετατροπή των δεδομένων
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0.778
- Lag size: 1912.3

### **Disjunctive Kriging**

- Δεν έγινε μετατροπή των δεδομένων
- Cross validation: Όχι
- Nugget: 2
- Lag size: 2229

## **Min Temperature**

### **Ordinary Kriging**

- Δεν έγινε μετατροπή των δεδομένων
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 1.5
- Lag size: 3000

### **Simple Kriging**

- Δεν έγινε μετατροπή των δεδομένων
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 8.6
- Lag size: 1912

### **Disjunctive Kriging**

- Μετατροπή δεδομένων: Normal Score
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0.85
- Lag size: 1912.3

## **Average Temperature**

### **Ordinary Kriging**

- Δεν έγινε μετατροπή των δεδομένων
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0.5
- Lag size: 3500

### **Simple Kriging**

- Δεν έγινε μετατροπή των δεδομένων
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0.5
- Lag size: 2100

### **Disjunctive Kriging**

- Δεν έγινε μετατροπή των δεδομένων
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0.65
- Lag size: 2100



## **Average Wind**

### **Ordinary Kriging**

- Μετατροπή δεδομένων: Box-cox
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 9.1
- Lag size: 12199.1

### **Simple Kriging**

- Μετατροπή δεδομένων: Box-cox
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 9
- Lag size: 12798.92

### **Disjunctive Kriging**

- Μετατροπή δεδομένων: Box-cox
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 8.93
- Lag size: 12798.92

## **Rain**

### **Ordinary Kriging**

- Μετατροπή δεδομένων: Log
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0.073
- Lag size: 8388

### **Simple Kriging**

- Μετατροπή δεδομένων: Log
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0
- Lag size: 4625

### **Disjunctive Kriging**

- Μετατροπή δεδομένων: Normal score
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0
- Lag size: 4715.37

## **Average temperature (co-kriging)**

### **Ordinary Kriging**

- Δεν έγινε μετατροπή των δεδομένων
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0.25
- Lag size: 3500

### **Simple Kriging**

- Δεν έγινε μετατροπή των δεδομένων
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0.3
- Lag size: 2100

### **Disjunctive Kriging**

- Δεν έγινε μετατροπή των δεδομένων
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0.3
- Lag size: 2100

## **Max temperature (co-kriging)**

### **Ordinary Kriging**

- Δεν έγινε μετατροπή των δεδομένων
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0
- Lag size: 11297

### **Simple Kriging**

- Δεν έγινε μετατροπή των δεδομένων
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 3.5
- Lag size: 1968

### **Disjunctive Kriging**

- Μετατροπή δεδομένων: Normal score
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0.5
- Lag size: 2000

## **Min temperature (co-kriging)**

### **Ordinary Kriging**

- Δεν έγινε μετατροπή των δεδομένων
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0
- Lag size: 1219.01

### **Simple Kriging**

- Μετατροπή δεδομένων: Normal score
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0.1
- Lag size: 1930.75

### **Disjunctive Kriging**

- Μετατροπή δεδομένων: Normal score
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0.1
- Lag size: 1930.75

## **Average wind speed (co-kriging)**

### **Ordinary Kriging**

- Δεν έγινε μετατροπή των δεδομένων
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 6
- Lag size: 2191

### **Simple Kriging**

- Μετατροπή δεδομένων: Normal score
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0
- Lag size: 2502

### **Disjunctive Kriging**

- Μετατροπή δεδομένων: Normal score
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0
- Lag size: 2502

## **Rain (co-kriging)**

### **Ordinary Kriging**

- Δεν έγινε μετατροπή των δεδομένων
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0
- Lag size: 7400

### **Simple Kriging**

- Μετατροπή δεδομένων: Normal score
- Cross validation: Ναι
- Nugget: 0
- Lag size: 7165

### **Disjunctive Kriging**

- Μετατροπή δεδομένων: Normal score
- Cross validation: Όχι
- Nugget: 0
- Lag size: 3150

## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 5.1 Χωρική παρεμβολή για μέση θερμοκρασία

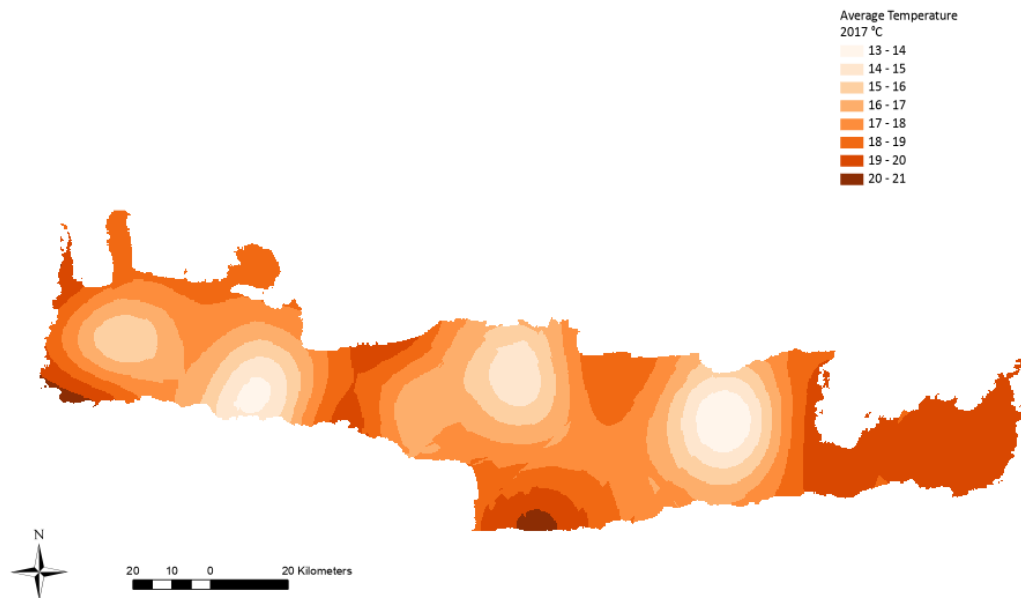
Παρατίθενται οι χάρτες χωρικής παρεμβολής της κατανομής της μέσης θερμοκρασίας για το νησί της Κρήτης, οι οποίοι δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας την μέθοδο Ordinary Kriging.

Ο λόγος που επιλέχθηκε η συγκεκριμένη μέθοδος έναντι των άλλων πέντε, αναλύεται στα υπό-κεφάλαια, 4.8 και 4.10.

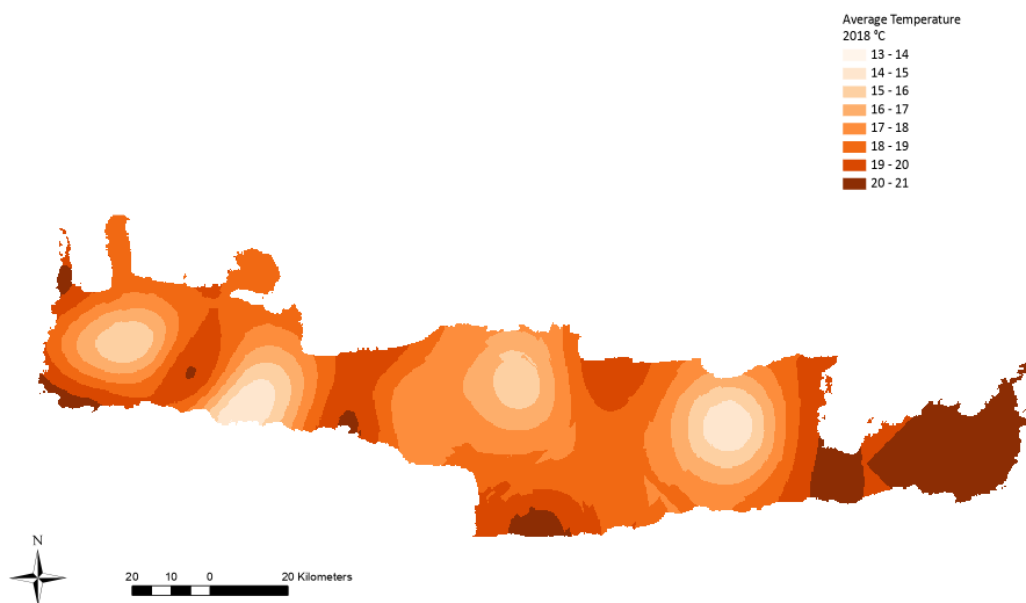
Όπως φαίνεται στον πίνακα, τα πιο ακριβή αποτελέσματα λαμβάνονται με την μέθοδο Ordinary Kriging, παρόλα αυτά στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων λήφθηκε υπόψιν και η δεύτερη μεταβλητή (αυτή των υψομετρικών διαφορών του εδάφους), με τις μεθόδους co-Simple Kriging και co-Disjunctive Kriging. Στην πρώτη έχουμε τον καλύτερο δείκτη RMSE standardized, ενώ στις άλλες δύο έχουμε τον καλύτερο δείκτη Mean Error standardized. Στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι δύσκολο να καταλήξουμε σε ποιο μοντέλο λειτουργεί καλύτερα. Καταλήγουμε ότι και τα τρία μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αρκετά καλή ακρίβεια. Για συντομία, θα παραθέσουμε τον χάρτη μόνο από το Ordinary Kriging.

Στον εν λόγω χάρτη, παρουσιάζεται η κατανομή των μέσων θερμοκρασιών στον νησί της Κρήτης για τα έτη 2017, 2018 και 2019. Από το υπόμνημα είναι φανερό ότι τα πιο σκούρα χρώματα αποτυπώνουν τις πιο θερμές θερμοκρασίες, ενώ τα πιο ανοιχτά χρώματα τις πιο ψυχρές.

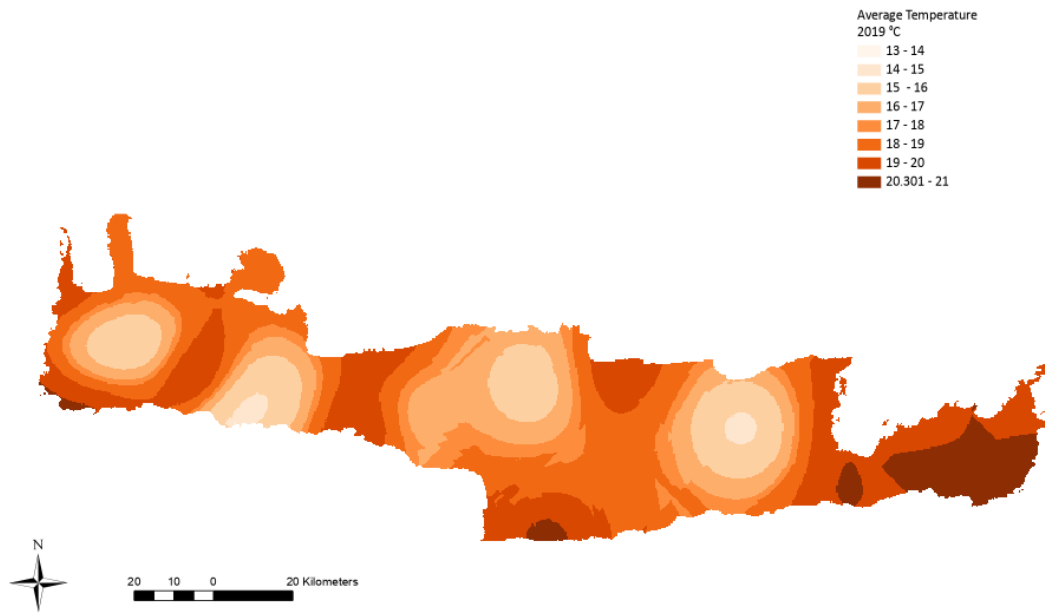
Μία πρωταρχική παρατήρηση είναι ότι μέσα στην εξεταζόμενη τριετία, η κατανομή της μέσης θερμοκρασίας παραμένει στο μεγαλύτερο βαθμό σταθερή με πολύ μικρές διαφοροποιήσεις. Συγκεκριμένα, οι θερμοκρασίες χωρίζονται σε 8 κλάσεις, ίσων αποστάσεων και κυμαίνονται από 13°C έως 20 °C. Όπως είναι λογικό οι χαμηλότερες θερμοκρασίες συναντώνται κατά κύριο λόγο στις ορεινές μάζες της Κρήτης και περίξ αυτών. Από την άλλη στις παράκτιες περιοχές επικρατούν πιο θερμές θερμοκρασίες. Τις υψηλότερες τιμές θερμοκρασιών κατά κύριο λόγο τις συναντάμε σε κομμάτια που βρίσκονται στο νότιο μέρος της Κρήτης, καθώς και σε ολόκληρο το κομμάτι της ανατολικής Κρήτης (συγκεκριμένα στο νομό Λασιθίου και Αγίου Νικολάου).



Χάρτης 3: Μέση Θερμοκρασία 2017



Χάρτης 4: Μέση Θερμοκρασία 2018



Χάρτης 5 Μέση θερμοκρασία 201

## 5.2 Χωρική παρεμβολή για ελάχιστη θερμοκρασία

Παρατίθενται οι χάρτες χωρικής παρεμβολής της κατανομής της ελάχιστης θερμοκρασίας για το νησί της Κρήτης, οι οποίοι δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας την μέθοδο Simple Kriging και Ordinary Kriging.

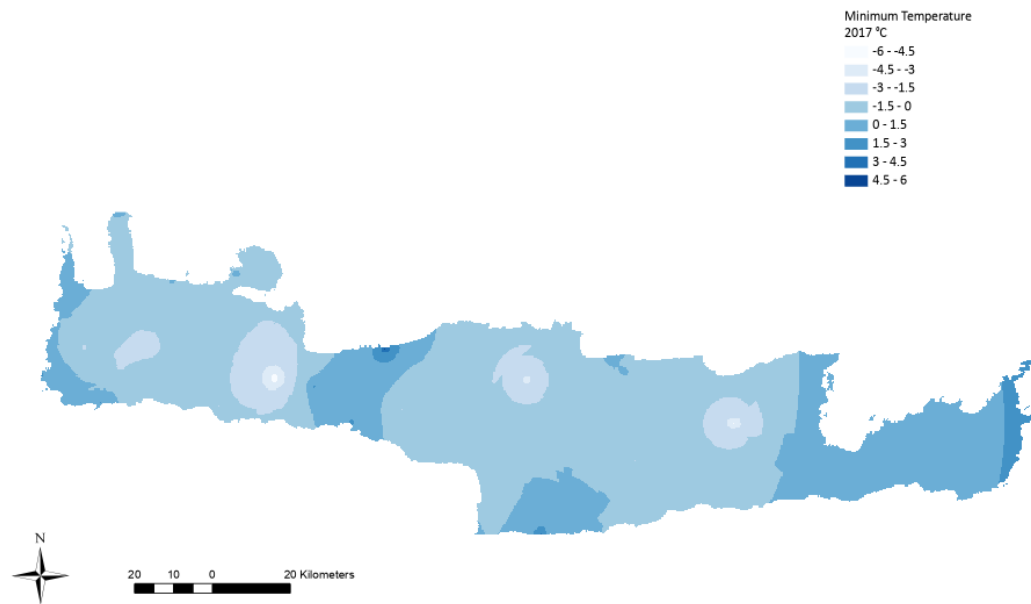
Ο λόγος που επιλέξαμε τις συγκεκριμένες μεθόδους έναντι των άλλων 5, αναλύεται στα υπό-κεφάλαια, 4.8 και 4.10. Όπως βλέπουμε στον πίνακα, τα πιο ακριβή αποτελέσματα τα παίρνουμε με τις μεθόδους Simple Kriging και Ordinary Kriging. Στην πρώτη έχουμε τον καλύτερο δείκτη RMSE standardized και Mean Error standardized, κάτι το οποίο συμβαίνει και στην δεύτερη μέθοδο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι δύσκολο να αποφασίσουμε σε ποιο μοντέλο λειτουργεί καλύτερα. Καταλήγουμε ότι και τα δύο μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αρκετά καλή ακρίβεια. Έτσι, για το έτος 2017 θα παραθέσουμε τον χάρτη που δημιουργήθηκε με την μέθοδο Ordinary Kriging και για τα άλλα δύο έτη τους χάρτες που δημιουργήθηκαν με την μέθοδο Simple Kriging.

Οι χάρτες που δημιουργήθηκαν μας παρουσιάζουν την κατανομή των ελάχιστων θερμοκρασιών στον νησί της Κρήτης για τα έτη 2017, 2018, 2019. Από το υπόμνημα παρατηρούμε ότι οι πιο ανοιχτές αποχρώσεις του μπλε αποτυπώνουν τις πιο χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ οι πιο σκούρες αποχρώσεις τις πιο υψηλές

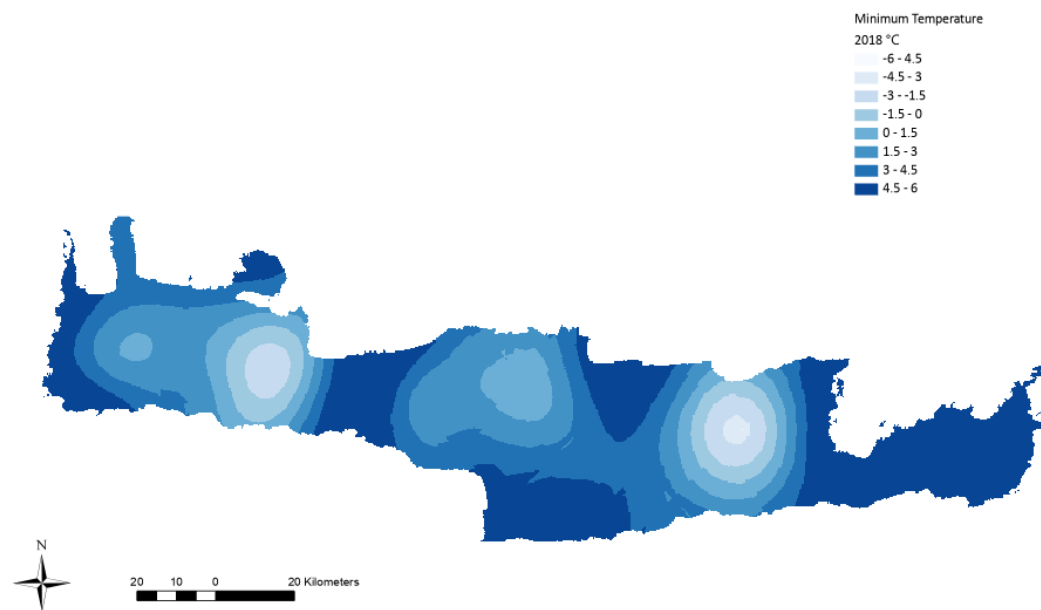
Μέσω της ανάλυσης των 3 χαρτών που δημιουργήσαμε, μπορούμε να δούμε ότι συγκεκριμένες περιοχές βιώνουν και τα τρία έτη τις χαμηλότερες θερμοκρασίες, ενώ σε άλλες επικρατούν θερμότερες συνθήκες. Οι θερμοκρασίες χωριστήκαν σε 8 κλάσεις ισαπέχουσες μεταξύ τους και κυμαίνονται από  $-6^{\circ}\text{C}$  έως  $6^{\circ}\text{C}$ . Στα τρία έτη, οι ψυχρότερες συνθήκες συναντώνται στις περιοχές κοντά στις τρεις κυριότερες οροσειρές, τα Λευκά Όρη, τον Ψηλορείτη και τη Δίκτη, οι οποίες απεικονίζονται με τις πιο σκούρες αποχρώσεις. Οι συγκεκριμένες περιοχές παρουσιάζουν ψυχρότερα κλίματα λόγω της μεγάλης υψομετρικής τους θέσης και της επαφής τους με τις πιο ψυχρές μάζες αέρα. Ταυτόχρονα, βλέπουμε ότι οι παράκτιες περιοχές παρουσιάζουν πιο ήπιες ελάχιστες θερμοκρασίες και απεικονίζονται με πιο σκούρες αποχρώσεις στον χάρτη.

Στη σύγκριση των τριών χαρτών είναι εμφανές ότι το έτος 2017 είναι αυτό με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Στον πρώτο χάρτη, παρατηρείται ξεκάθαρα μια ευρεία εξάπλωση των πιο ανοιχτών αποχρώσεων, κάτι που υποδεικνύει ότι ένα μεγάλο εύρος περιοχών παρουσιάζει ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες σε σχέση με τα άλλα δύο έτη. Εν αντιθέσει, το έτος 2018 παρουσιάζει τις πιο ήπιες ελάχιστες θερμοκρασίες με την εξάπλωση των πιο σκούρων αποχρώσεων να είναι πιο έντονη σε σχέση με τα άλλα δύο έτη.

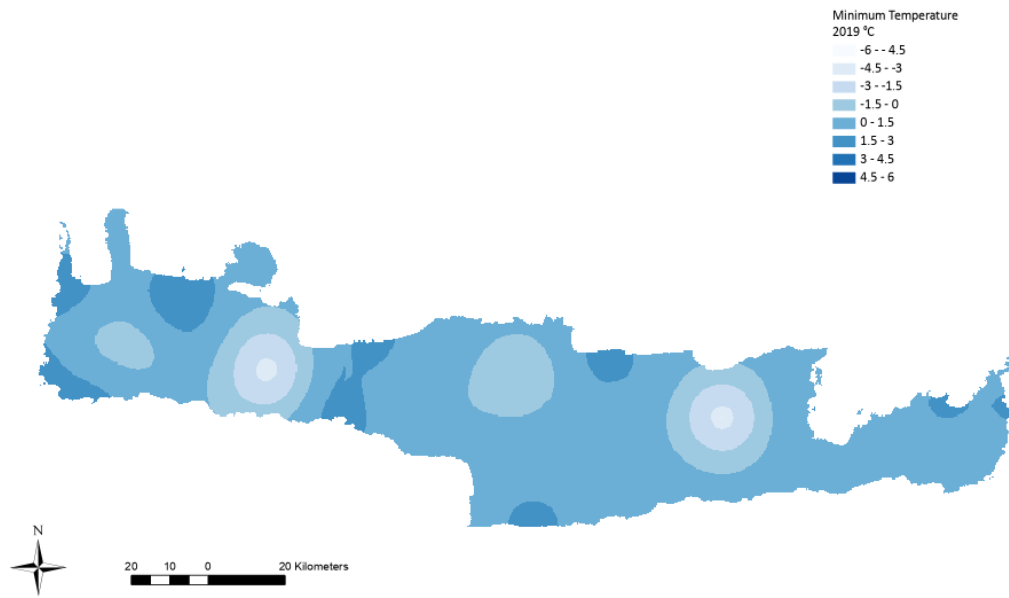




Χάρτης 6: Ελάχιστη Θερμοκρασία 2017

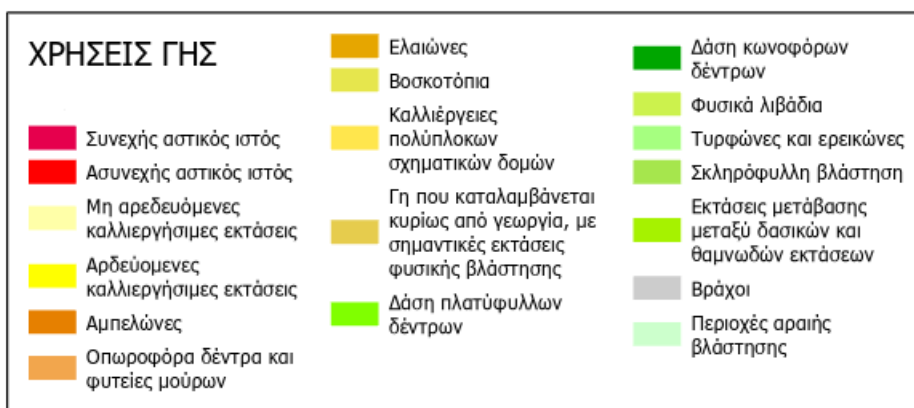


Χάρτης 7: Ελάχιστη Θερμοκρασία 2018

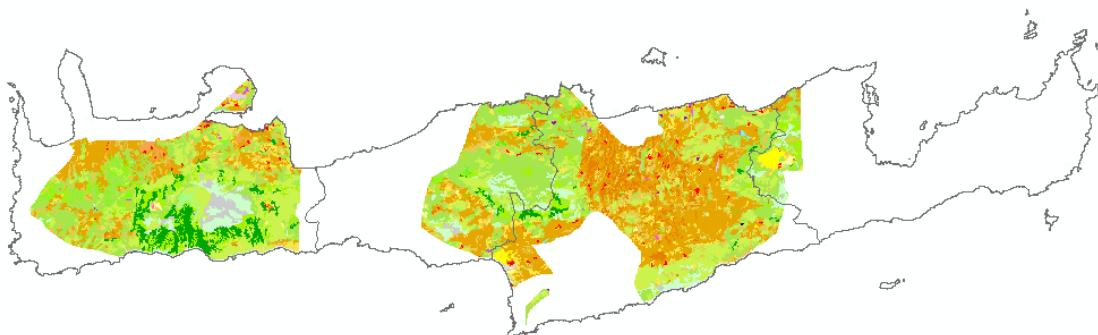


Χάρτης 8: Ελάχιστη Θερμοκρασία 2019

Στη συνέχεια παρατίθενται οι χάρτες χρήσεων γης στους οποίους έχουν απομονωθεί τα κομμάτια της Κρήτης που βιώνουν θερμοκρασίες κάτω από 0 °C και δύναται να υπάρχουν επιπτώσεις στη γεωργική παραγωγή.



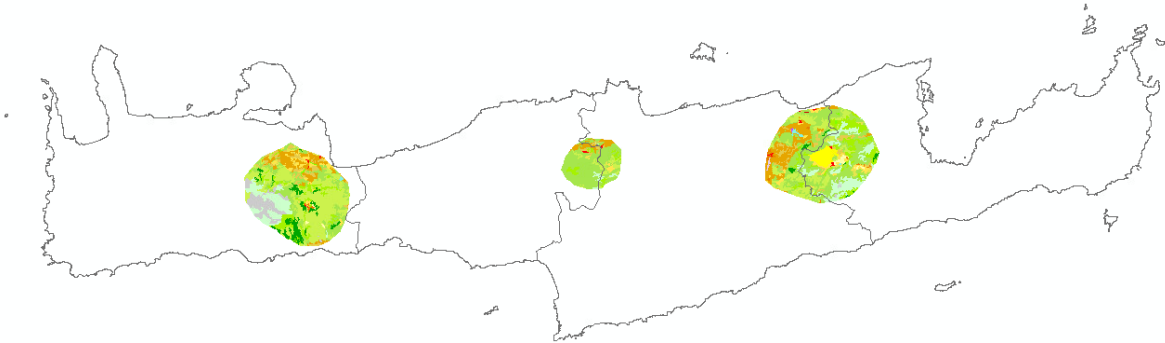
Εικόνα 13 Παράρτημα χάρτη χρήσεων γης



Χάρτης 9: Οι χρήσεις γης για τις περιοχές με θερμοκρασίες κάτω των 0°C για το έτος 2017



Χάρτης 10: Οι χρήσεις γης για τις περιοχές με θερμοκρασίες κάτω των 0 °C για το έτος 2018



Χάρτης 11: Οι χρήσεις γης για τις περιοχές με θερμοκρασίες κάτω των 0°C για το έτος 2019

### 5.3 Χωρική παρεμβολή για Μέγιστη Θερμοκρασία

Παρατίθενται οι χάρτες χωρικής παρεμβολής της κατανομής της μέγιστης θερμοκρασίας για το νησί της Κρήτης, οι οποίοι δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας την μέθοδο Disjunctive Kriging.

Ο λόγος που επιλέξαμε την συγκεκριμένη μέθοδο έναντι των άλλων 5, αναλύεται στα υπό-κεφάλαια, 4.8 και 4.10. Όπως βλέπουμε στον πίνακα, τα πιο ακριβή αποτελέσματα τα παίρνουμε με την μεθόδους Disjunctive Kriging αλλά και με την μέθοδο Simple Kriging. Στην πρώτη έχουμε τον καλύτερο δείκτη RMSE standardized, ενώ στην άλλη έχουμε τον καλύτερο δείκτη Mean Error standardized. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν μπορούμε να καταλήξουμε σε ποιο μοντέλο λειτουργεί καλύτερα. Καταλήγουμε ότι και τα δύο μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αρκετά καλή ακρίβεια. Έτσι, για το έτος 2017 και 2019 θα παραθέσουμε τον χάρτη που δημιουργήθηκε με την μέθοδο Disjunctive Kriging και για το έτος 2018 τον χάρτη που δημιουργήσαμε με την μέθοδο Simple Kriging.

Οι χάρτες που δημιουργήθηκαν μας παρουσιάζουν την κατανομή των μέγιστων θερμοκρασιών στον νησί της Κρήτης για τα έτη 2017, 2018, 2019. Από το υπόμνημα μπορούμε να δούμε ότι οι πιο σκούρες αποχρώσεις αποτυπώνουν τις πιο θερμές θερμοκρασίες ενώ οι πιο ανοιχτές αποχρώσεις τις πιο ψυχρές.

Εξετάζοντας τους χάρτες για τα τρία διαδοχικά έτη που απεικονίζουν την μέγιστη θερμοκρασία της Κρήτης, μπορούμε να διακρίνουμε ότι υπάρχουν διαφορές αναμεσά τους. Αρχικά, οι θερμοκρασίες χωρίστηκαν σε 8 κλάσεις ισαπέχουσες μεταξύ τους και κυμαίνονται από 34°C έως 42°C. Το έτος 2017 βλέπουμε πως οι υψηλότερες θερμοκρασίες εντοπίζονται στο νοτιο-δυτικό και στο βόρειο κομμάτι του νομού Χανίων και σε ένα μικρό κομμάτι της ανατολικής Κρήτης. Το έτος 2018 βλέπουμε την δυτική πλευρά του Νομού Χανίων να έχει πιο χαμηλές

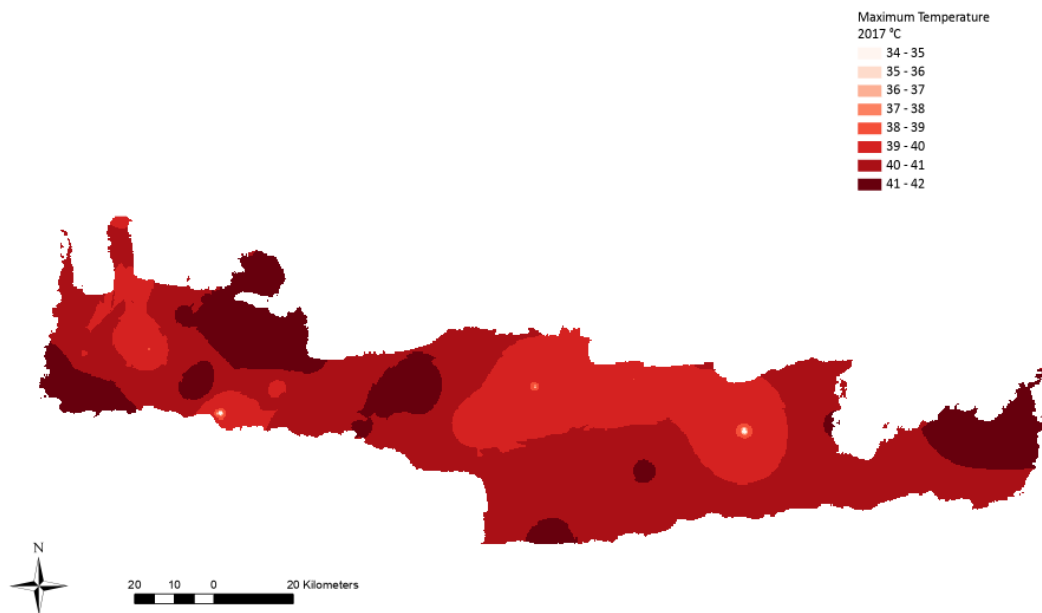
μέγιστες θερμοκρασίες. Το έτος 2019, μελετώντας τον χάρτη παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία σε πολύ λίγα σημεία ξεπέρασε τους 40 βαθμούς κελσίου.

Εξετάζοντας τον χάρτη με τις χρήσεις γής για το έτος 2017 βλέπουμε ότι το μεγαλύτερο κομμάτι της Κρήτης, που απαρτίζεται κυρίως από ελαιώνες και από γη που απαρτίζεται κυρίως από καλλιέργειες, αντιμετώπισε θερμοκρασίες ανω των 40 βαθμών κελσίου.

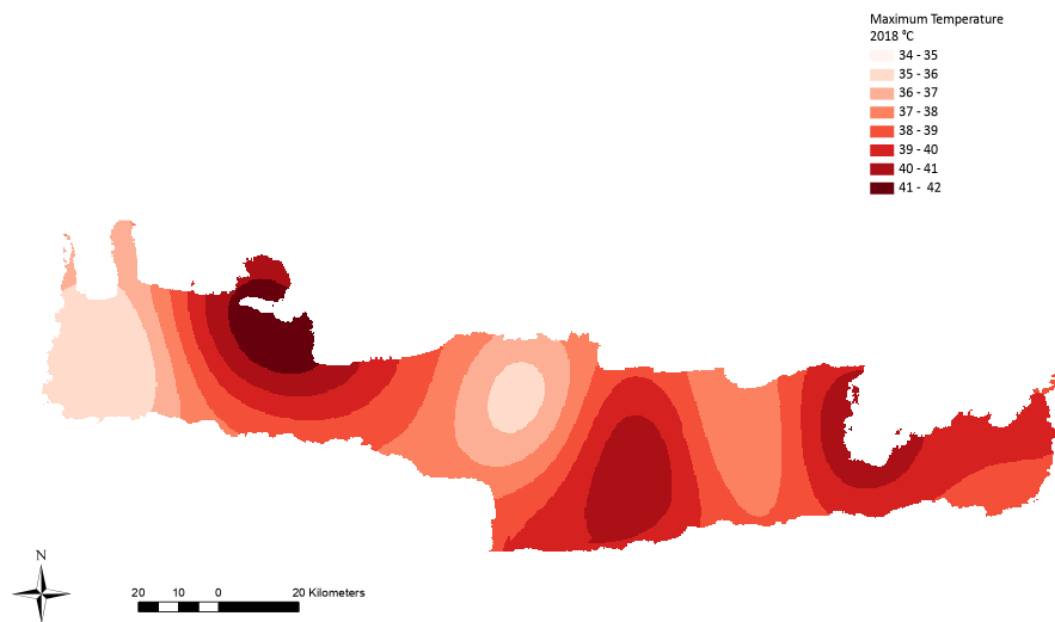
Οι μεγάλες περιόδους ζέστης μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στα ελαιόδεντρα και στις καλλιέργειες. Αρχικά, οι υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν τον ρυθμό εξάτμισης, οδηγώντας σε μεγάλη απώλεια νερού από το έδαφος και από τα φύλλα, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επηρεάζεται η συνολική υγεία των δέντρων και των φυτών και να μειώνεται η παραγωγικότητα τους, αλλά ταυτόχρονα λόγω της μεγάλης ανάγκης για άρδευση να δημιουργείται και πρόβλημα λειψινδρίας στο νησί τους μήνες που επικρατούν μεγάλες θερμοκρασίες. Ένα ακόμα πρόβλημα που δημιουργείται εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών είναι η πρόωρη πτώση των ελαιοκραπών, καθώς το άγχος που μπορεί να προκαλέσει η υπερβολική ζέστη διαταράσσει την διαδικασία αναπαραγωγής των καρπών και αυτό ωθεί το δέντρο να απορρίψει ανώριμους και αναπτυγμένους καρπούς. Τέλος, οι υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν την ποιότητα των προϊόντων των καλλιεργειών αλλά και του ελαιολάδου, καθώς παρατηρείται αλλοίωση στη γεύση, στο χρώμα αλλά και στις θρεπτικές ουσίες.

Μελετώντας τον χάρτη για το έτος 2018 βλέπουμε ότι το κομμάτι του Νομού Χανίων που έχει την πιο έντονη γεωργική δραστηριότητα, επικράτησαν αρκετά ευνοϊκές θερμοκρασίες, καθώς η θερμοκρασία δεν ξεπέρασε τους 35-37 βαθμούς κελσίου. Παράλληλα, παρατηρούμε ότι μεγάλο μέρος του νομού Ηρακλείου το οποίο απαρτίζεται από γεωργικές εκτάσεις συνεχίζει και αυτή τη χρονιά η θερμοκρασία να φτάνει πάνω από τους 40 βαθμούς κελσίου.

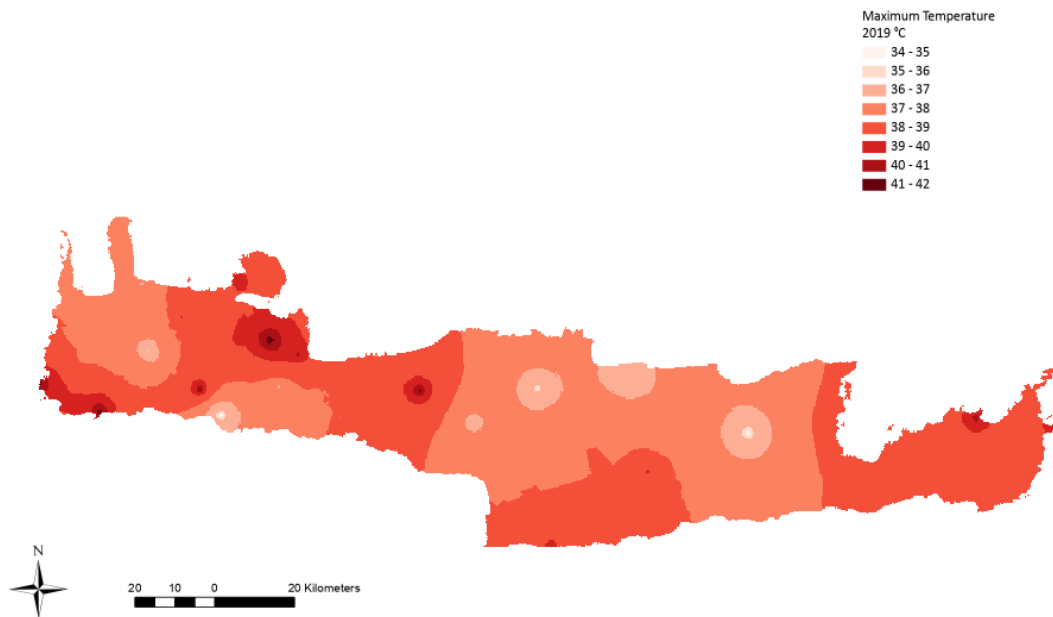
Τέλος, παρατηρώντας τον χάρτη με τις μέγιστες θερμοκρασίες για το έτος 2019 βλέπουμε ότι στο μεγαλύτερο μέρος της Κρήτης, επικράτησαν ευνοϊκές θερμοκρασίες καθώς σε πολύ λίγα μέρη η θερμοκρασία ξεπέρασε τους 39 βαθμούς κελσίου.



Χάρτης 12: Μέγιστη Θερμοκρασία 2017

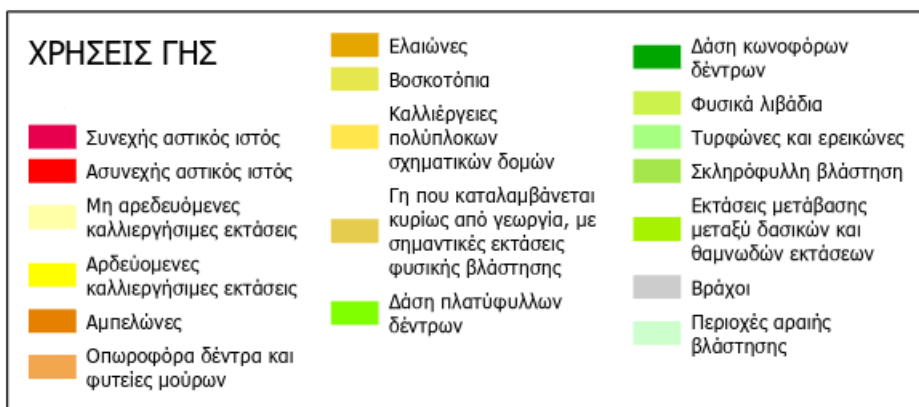


Χάρτης 13: Μέγιστη Θερμοκρασία 2018

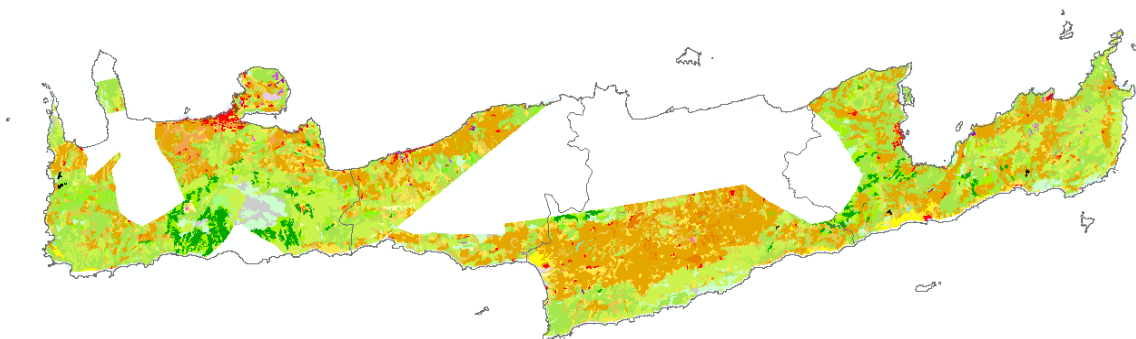


Χάρτης 14: Μέγιστη Θερμοκρασία 2019

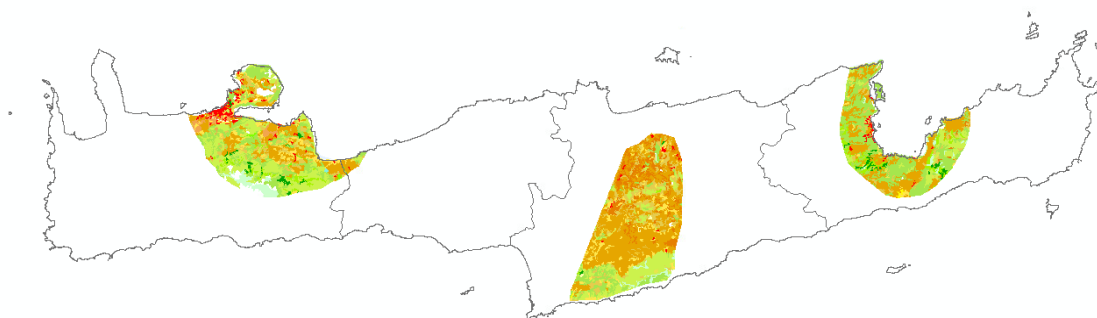
Στη συνέχεια παρατίθενται οι χάρτες χρήσεων γης στους οποίους έχουν απομονωθεί τα κομμάτια της Κρήτης που βιώνουν θερμοκρασίες πάνω από 40 °C και δύναται να υπάρχουν επιπτώσεις στη γεωργική παραγωγή.



Εικόνα 14 Παράρτημα χάρτη χρήσεων γης



Χάρτης 15: Οι χρήσεις γης για τις περιοχές με θερμοκρασίες άνω των 40 °C για το έτος 2017



Χάρτης 16: Οι χρήσεις γης για τις περιοχές με θερμοκρασίες άνω των 40 °C για το έτος 2018



## 5.4 Χωρική παρεμβολή για ύψος βροχής

Παρατίθενται οι χάρτες χωρικής παρεμβολής της κατανομής του ύψους βροχής για το νησί της Κρήτης, οι οποίοι δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας την μέθοδο Ordinary Kriging.

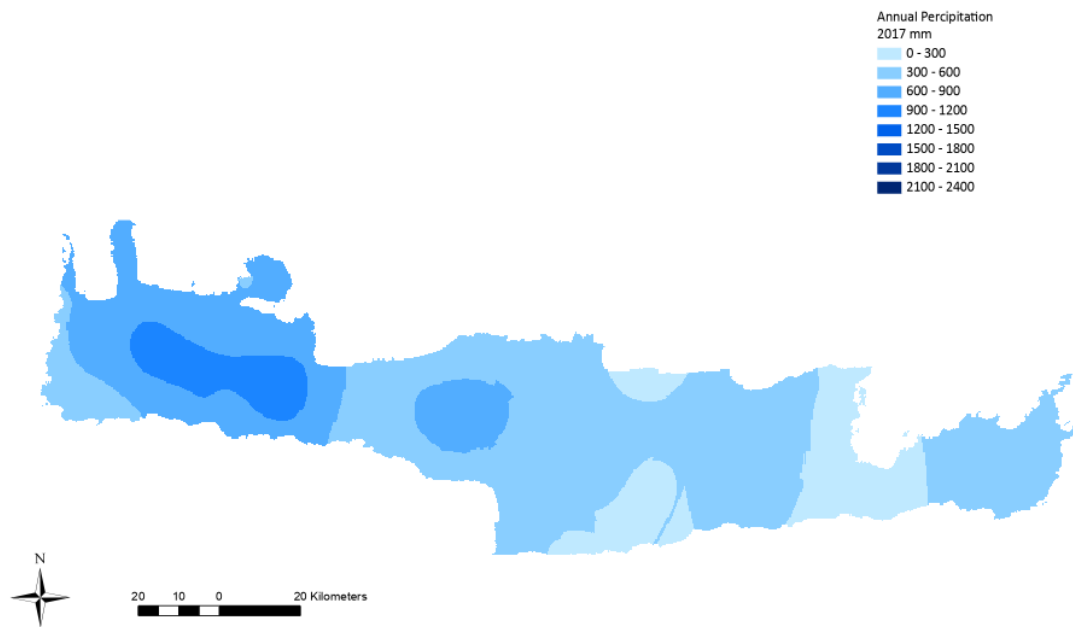
Ο λόγος που επιλέξαμε την συγκεκριμένη μέθοδο έναντι των άλλων 5, αναλύεται στα υπό-κεφάλαια, 4.8 και 4.10. Όπως βλέπουμε στον πίνακα, τα πιο ακριβή αποτελέσματα τα παίρνουμε με την μεθόδους Ordinary Kriging, διότι έχει τις καλύτερες τιμές και την τιμή RMSE standardized αλλά και για την τιμή Mean Error standardized.

Οι χάρτες που δημιουργήθηκαν μας παρουσιάζουν την κατανομή του ετήσιου ύψους βροχής στο νησί της Κρήτης για τα έτη 2017, 2018, 2019. Στο υπόμνημα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η κατανομή των τιμών χωρίζεται σε 8 κλάσεις, με ίσα διαστήματα με τις τιμές να κυμαίνονται από 0 mm έχω 2400 mm.

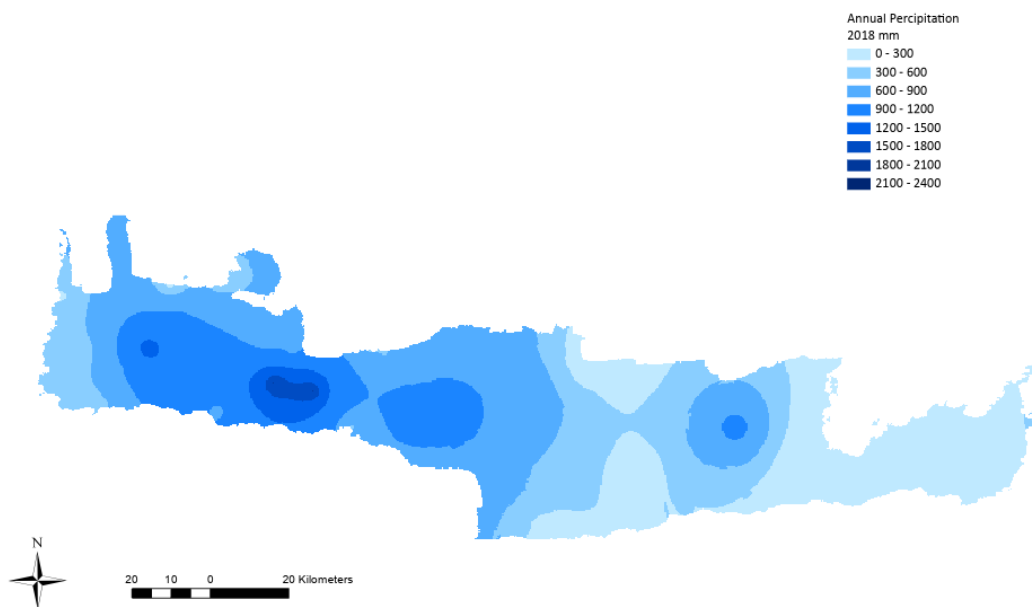
Αρχικά, το μεγαλύτερο ετήσιο ύψος βροχής και τα τρία συναπτά έτη το έχει η δυτική Κρήτη και συγκεκριμένα ο νομός Χανίων, με το έτος 2019 το ύψος βροχής να ξεπερνάει το 900 mm στο σύνολο των περιοχών των Χανίων και να φτάνει μέχρι και τα 2400 mm σε κάποιες ορεινές περιοχές.

Στη συνέχεια, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι το κομμάτι με τα χαμηλότερα ετήσια ύψη βροχής είναι το κομμάτι του Ηρακλείου και της ανατολικής Κρήτης ευρύτερα. Το έτος 2017 μπορούμε να το χαρακτηρίσουμε ως ένα κανονικό έτος καθώς βλέπουμε μικρή έκταση να δέχεται λιγότερα από 300mm, ενώ το 2018 ήταν ένα ιδιαίτερα άνυδρο έτος καθώς ένα μεγάλο κομμάτι του νησιού το ετήσιο ύψος βροχής τους δεν ξεπερνούσε τα 300 mm.

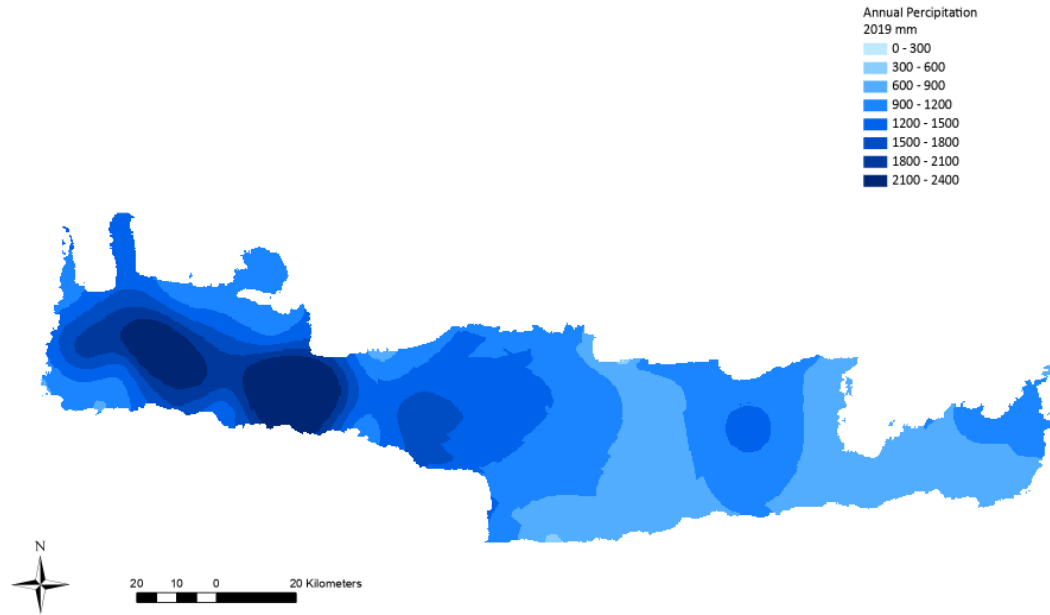
Τέλος, μελετώντας τους χάρτες για τρία διαδοχικά έτη είναι ξεκάθαρο ότι το 2019 είχαμε το πιο υγρό έτος καθώς όπως παρατηρούμε το ετήσιο ύψος βροχής δεν έπεσε πουθενά κάτω από τα 600 mm ετησίως, το έτος 2017 ως ένα κανονικό έτος καθώς στο μεγαλύτερο κομμάτι του χάρτη το ύψος βροχής ήταν περισσότερο από 300mm και το έτος 2018 να μπορεί να χαρακτηριστεί ξηρό καθώς μεγάλο κομμάτι του νομού Ηρακλείου και το σύνολο του νομού Λασιθίου και Αγίου Νικολάου το ετήσιο ύψος βροχής δεν ξεπέρασε τα 300mm.



Χάρτης 17: Μέσο Ύψος Βροχής 2017



Χάρτης 18: Μέσο Ύψος Βροχής 2018



Χάρτης 19: Μέσο Ύψος Βροχής 2019

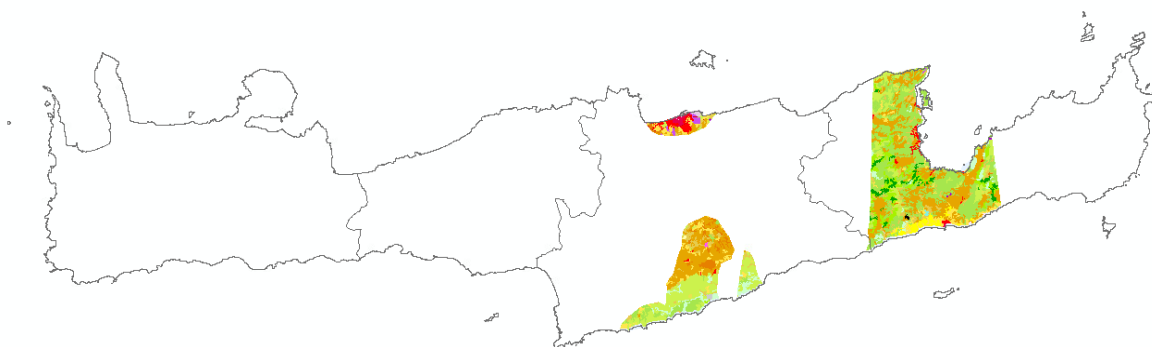
Στη συνέχεια παρατίθενται οι χάρτες χρήσεων γης και το υπόμνημα στους οποίους έχουν απομονωθεί τα κομμάτια της Κρήτης που βιώνουν περιόδους σχετικής ξηρασίας καθώς το ετήσιο ύψος βροχής βρίσκεται κάτω από τα 300 mm το χρόνο, κάτι που μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στη γεωργική παραγωγή των περιοχών αυτών.

Όπως εξηγήσαμε και παραπάνω μόνο τα έτη 2017 και 2018 είχαν μέση ετήσια βροχή κάτω από 300 mm. Μελετώντας το υπόμνημα βλέπουμε ότι οι συγκεκριμένες περιοχές έχουν πολύ έντονη την παρουσία του πρωτογενούς τομέα και κατά κύριο λόγο μεγάλη έκταση καλύπτεται από ελαιώνες.

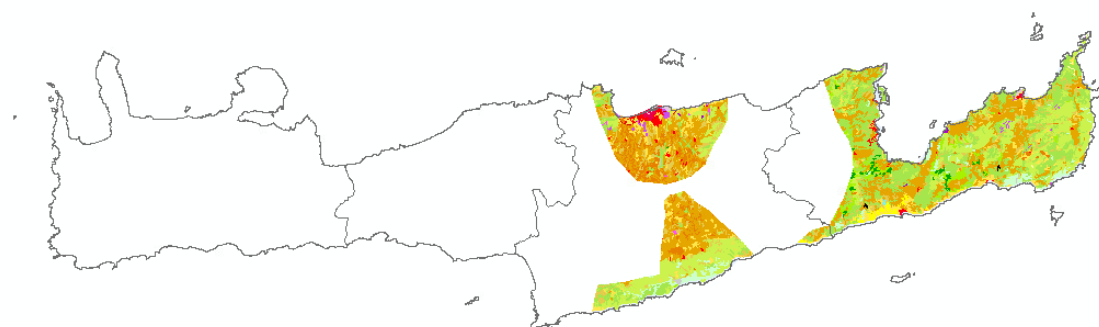
Η ανεπαρκής παροχή νερού, τα έτη που το ετήσιο ύψος βροχής είναι πολύ χαμηλό, μπορεί να εμποδίσει την ανάπτυξη και την εξέλιξη των ελαιόδεντρων. Είναι πιθανό η περιορισμένη βροχόπτωση νερού να οδηγήσει σε καχεκτική ανάπτυξη. Ταυτόχρονα, τα ελαιόδεντρα απαιτούν επαρκή ποσότητα νερού κατά τα κρίσιμα στάδια ανάπτυξης του καρπού, οπότε η μειωμένη βροχόπτωση μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη παραγωγή καρπού και μικρότερο μέγεθος ελιών, και παράλληλα να επηρεάσει την περιεκτικότητα λαδί με αποτέλεσμα την χαμηλότερη παραγωγή της ετήσιας σοδιάς.



Εικόνα 15: Παραρτημά για χάρτη χρήσεων γης



Χάρτης 20: Οι χρήσεις γης για τις περιοχές με ετήσιο ύψος βροχής κάτω από 300 mm για το έτος 2017



Χάρτης 21: Οι χρήσεις γης για τις περιοχές με ετήσιο ύψος βροχής κάτω από 300 mm για το έτος 2018

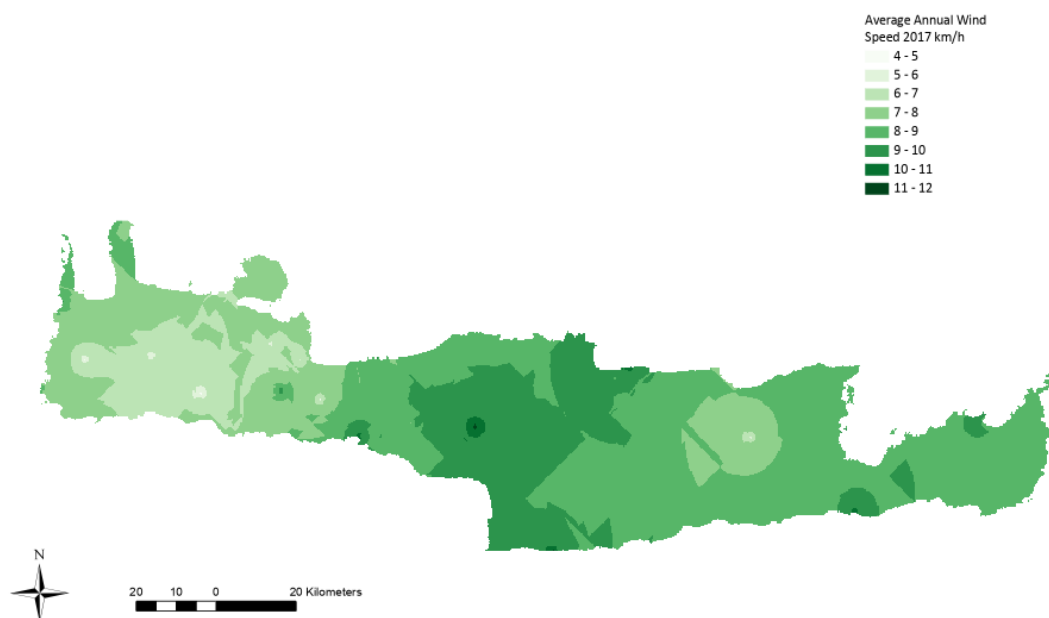
### 5.5 Χωρική παρεμβολή για μέση ταχύτητα ανέμου.

Παρατίθενται οι χάρτες χωρικής παρεμβολής της κατανομής της μέσης ταχύτητας ανέμου για το νησί της Κρήτης, οι οποίοι δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας την μέθοδο Co-Disjunctive Kriging.

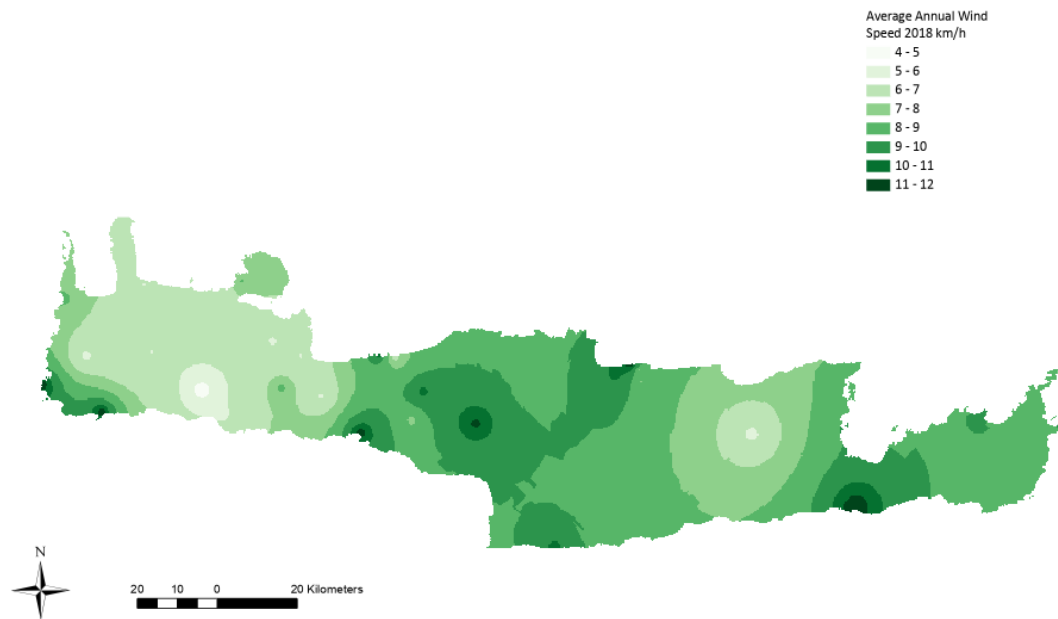
Ο λόγος που επιλέξαμε την συγκεκριμένη μέθοδο έναντι των άλλων 5, αναλύεται στα υπό-κεφάλαια, 4.8 και 4.10. Όπως βλέπουμε στον πίνακα, τα πιο ακριβή αποτελέσματα τα παίρνουμε με την μέθοδο Co-Disjunctive Kriging όταν λαμβάνουμε και την δεύτερη μεταβλητή υπόψιν (αυτή των υψομετρικών διαφορών του εδάφους), καθώς έχει την καλύτερη τιμή για τον δείκτη RMSE standardized.

Οι χάρτες που δημιουργήθηκαν μας παρουσιάζουν την κατανομή της μέσης ταχύτητας ανέμου στον νησί της Κρήτης για τα έτη 2017, 2018 και 2019. Στο υπόμνημα η διακύμανση των τιμών χωρίζεται και παρουσιάζεται σε 8 κλάσεις με ίσα διαστήματα.

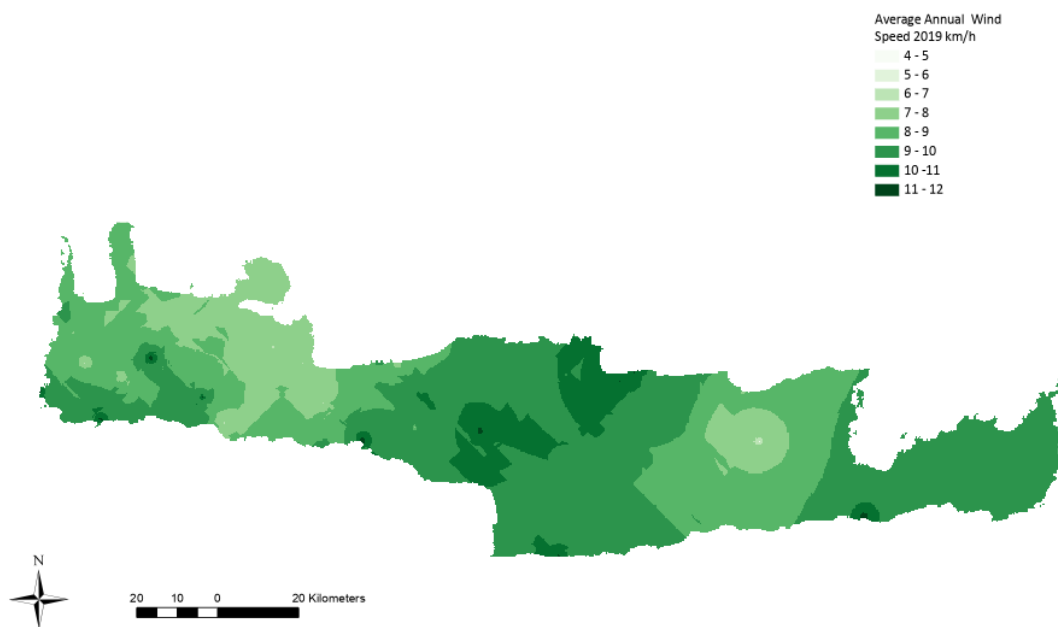
Αρχικά, παρατηρώντας τους τρεις χάρτες είναι αρκετά εμφανές ότι οι μέσες ταχύτητες ανέμου είναι παρόμοιες με πολύ μικρές διαφορές για τα τρία συναπτά έτη. Μελετώντας τους χάρτες μπορούμε να διακρίνουμε ότι τις μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου τις συναντάμε κατά κύριο λόγο στο νομό Ρεθύμνου και στην ανατολική Κρήτη, ενώ τις πιο χαμηλές στον νομό Χανίων.



Χάρτης 22: Μέση Ταχύτητα Ανέμου 2017



Χάρτης 23: Ταχύτητα Ανέμου 2018



Χάρτης 24: Μέση ταχύτητα Ανέμου 2019

## **6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε μια χωροχρονική αποτύπωση κρίσιμων κλιματικών δεδομένων για την γεωργική παραγωγή της Κρήτης. Καθώς η πληροφορία που καταγράφεται από τους μετεωρολογικούς σταθμούς στο νησί είναι αρκετά περιορισμένη, διότι είναι διαθέσιμη από σταθμούς σταθερούς αλλά ταυτόχρονα πολύ περιορισμένους, έπρεπε να γίνει σύγκριση του κατάλληλου μοντέλου χωρικής παρεμβολής, έτσι ώστε να υπάρξει η βέλτιστη χωρική αναπαράσταση των μετεωρολογικών μεταβλητών. Η σύγκριση έγινε μεταξύ τεσσάρων γεωστατικών μεθόδων : Ordinary Kriging, Simple Kriging, Disjunctive Kriging και Co-Kriging.

### **Μέση ετήσια θερμοκρασία**

Για την μέση ετήσια θερμοκρασία, βάση του πίνακα, συμπεραίνουμε ότι έχουμε τρεις γεωστατικές μεθόδους που είναι κατάλληλες για την χωρική αναπαράσταση. Η μέθοδος Ordinary Kriging μας δίνει τον καλύτερο δείκτη RMSE standardized, ενώ στις άλλες δύο περιπτώσεις (co-Simple Kriging και co-Disjunctive Kriging) που λάβαμε και δεύτερη μεταβλητή υπόψιν, αυτή των υψομετρικών διαφορών του εδάφους, μας έδωσαν καλύτερο δείκτη Mean Error standardized. Συμπεραίνουμε ότι και τα τρία μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αρκετά καλή ακρίβεια.

### **Ελάχιστη ετήσια θερμοκρασία**

Για την ελάχιστη ετήσια θερμοκρασία, βάση του πίνακα, συμπεραίνουμε ότι έχουμε δύο γεωστατικές μεθόδους που είναι κατάλληλες για την χωρική αναπαράσταση. Οι μέθοδοι Ordinary Kriging και Simple Kriging μας δίνουν τους καλύτερους δείκτες RMSE standardized και Mean Error standardized. Στη συγκεκριμένη περίπτωση και τα δύο μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αρκετά καλή ακρίβεια.

### **Μέγιστη ετήσια θερμοκρασία**

Για την μέση ετήσια θερμοκρασία, βάση του πίνακα, συμπεραίνουμε ότι έχουμε δύο γεωστατικές μεθόδους που είναι κατάλληλες για την χωρική αναπαράσταση. Η μέθοδος Disjunctive Kriging μας δίνει τον καλύτερο δείκτη RMSE standardized, ενώ η μέθοδος Simple Kriging μας δίνει τον καλύτερο δείκτη Mean Error standardized. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις δεν μπορούμε να πούμε ποιο μοντέλο λειτουργεί καλύτερα, με αποτέλεσμα να προτείνουμε και τα δύο.

## Μέσο ετήσιο ύψος βροχής

Για το μέσο ετήσιο ύψος βροχής, βάση του πίνακα, συμπεραίνουμε ότι η μέθοδος Ordinary Kriging μας δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα στους δείκτες RMSE standardized και Mean Error standardized, οπότε είναι αυτή που επιλέγουμε για την καλύτερη χωρική αναπαράσταση της συγκεκριμένης μεταβλητής.

## Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου

Για την μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου, βάση του πίνακα, καταλήγουμε ότι η μέθοδος Co-Disjunctive Kriging, δηλαδή λαμβάνοντας υπόψιν και την δεύτερη μεταβλητή που αφορά τις υψομετρικές διαφορές του εδάφους, μας δίνει την καλύτερη χωρική αναπαράσταση.

## Χάρτες χρήσεων γης

Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν χάρτες που περιέχουν τις χρήσεις γης για το νησί της Κρήτης, στους οποίους απομονώσαμε τις περιοχές που δύναται να υπάρχουν επιπτώσεις στη γεωργική παραγωγή.

Αρχικά, όσον αναφορά την κλιματική παράμετρο της ελάχιστης θερμοκρασίας, θεωρήσαμε ότι οι περιοχές που αντιμετωπίζουν τιμές θερμοκρασίας κάτω από  $-0^{\circ}\text{C}$ , είναι πολύ πιθανό η γεωργική τους παραγωγή να παρουσιάσει προβλήματα. Όπως βλέπουμε στον *χάρτη 9* το έτος 2017 το μεγαλύτερο κομμάτι της Κρήτης αντιμετώπισε θερμοκρασίες κάτω από  $0^{\circ}\text{C}$  με ένα μεγάλο μέρος αυτού να απαρτίζεται από γη που καταλαμβάνεται από γεωργικές εκτάσεις και ελαιώνες. Αντίθετα, τα έτη 2018 και 2019 παρατηρώντας τους *χάρτες 10 και 11* βλέπουμε ότι η Κρήτη βίωσε έναν πολύ πιο ήπιο χειμώνα καθώς οι περιοχές με θερμοκρασίες κάτω των  $0^{\circ}\text{C}$  είναι αισθητά λιγότερες σε σχέση με το 2017 και ταυτόχρονα δεν απαρτίζονται σε τόσο μεγάλο βαθμό από εκτάσεις που έχουν γεωργική χρήση αλλά κυρίως από δάση και φυσικά λιβάδια.

Παράλληλα, για την κλιματική παράμετρο της μέγιστης θερμοκρασίας, θεωρήσαμε ότι οι περιοχές που παρουσιάζουν τιμές θερμοκρασίας πάνω από  $40^{\circ}\text{C}$ , είναι πολύ πιθανό η γεωργική τους παραγωγή να παρουσιάσει προβλήματα. Όπως παρατηρούμε στην *χάρτη 15* το έτος 2017, οι περιοχές που αντιμετώπισαν τόσο υψηλές θερμοκρασίες καλύπτουν πολύ μεγάλες εκτάσεις και εντοπίζονται στο σύνολο του νησιού πέρα από μερικά μικρά κομμάτια των νομών χανίων, Ρεθύμνου και ηρακλείου και από το παράρτημα βλέπουμε ότι απαρτίζονται κυρίως από γεωργικές ζώνες και ελαιώνες. Στην συνέχεια, το έτος 2018 όπως παρατηρούμε στον *χάρτη 16* η Κρήτη αντιμετώπισε πολύ υψηλές θερμοκρασίες σε ένα αρκετά μεγάλο κομμάτι της και πιο συγκεκριμένα στο νομό του Ηρακλείου, οι εκτάσεις που βίωσαν θερμοκρασίες άνω των  $40^{\circ}\text{C}$  αποτελούνται κυρίως από γεωργικές μονάδες και ελαιώνες.

Τέλος, για την κλιματική παράμετρο του ετήσιου ύψους βροχής, υποθέσαμε ότι οι περιοχές που παρουσιάζουν ετήσια ύψη βροχής με τιμές κάτω από 300 mm, είναι πολύ πιθανό η γεωργική τους παραγωγή να παρουσιάσει προβλήματα και πτώση λόγω προβλημάτων λειψυδρίας. Όπως βλέπουμε στον *χάρτη 18*, το έτος 2018 είναι το πιο ξηρό από τα τρία έτη με το πρόβλημα να εντοπίζεται στο ανατολικό κομμάτι του νησιού. Από τον *χάρτη 21* παρατηρούμε ότι οι περιοχές που αντιμετώπισαν πρόβλημα λειψυδρίας, έχουν έντονη



γεωργική δραστηριότητα με τις εκτάσεις να μοιράζονται σε φυσικά λιβάδια, ελαιώνες και διαφόρων ειδών καλλιέργειες.

Η μεθοδολογία που παρουσιάστηκε και αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία αφορά την ετήσια χωροχρονική αποτύπωση κρίσιμων μετεωρολογικών παραμέτρων, οι οποίες επηρεάζουν την ανάπτυξη του πρωτογενούς τομέα της Κρήτης και πιο συγκεκριμένα πως αυτός διαμορφώνεται υπό διαφορετικές κλιματικές συνθήκες. Αυτό θα βοηθήσει ιδιαίτερα τις αγροτικές μονάδες να προβλέψουν και να σχεδιάσουν κατάλληλα την παραγωγή τους. Περαιτέρω έρευνα για την περιοχή μελέτης που εξετάσαμε θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί έτσι ώστε, για παράδειγμα, να δημιουργηθούν χάρτες χρησιμοποιώντας και άλλες μεθόδους, όπως η παρεμβολή *inverse distance weighted*. Ταυτόχρονα, θα μπορούσε να αλλάξει και ο τρόπος προσέγγισης της βέλτιστης μεθόδου *kriging*, δηλαδή να γίνει μια δικητηριακή μελέτη, λαμβάνοντας υπόψιν και τους δύο τυποποιημένους δείκτες, *RMSE standardized* και *Mean Error standardized*. Με τον τρόπο αυτό θα είχαμε επιπλέον συμπεράσματα για να καταλήξουμε με μεγαλύτερη ασφάλεια στην μέθοδο με το μικρότερο σφάλμα. Ταυτόχρονα, θα μπορούσε να γίνει και οικονομική έρευνα για τις περιοχές που απομονώσαμε στους χάρτες χρήσεων γης, για παράδειγμα, να διερευνηθεί ποιες ήταν οι οικονομικές επιπτώσεις στην ανατολική Κρήτη, το έτος 2018 που είχαμε έντονα φαινόμενα ξηρασίας σε ένα μεγάλο κομμάτι περιοχών.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ξενόγλωσση βιβλιογραφία**

- [1] National Weather Service. History of Meteorology, 2021
- [2] Fleming, J. R. Historical Perspectives on Climate Change. Oxford University Press, 2016
- [5] Meteorology for Mariners Met O. 593, - Her Majesty's Stationery Office, London, 1967
- [6] National Oceanic and Atmospheric Administration. (n.d.). The water cycle: precipitation.
- [17] Isaacs, E. and Srivastava, M.R. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York, 1989
- [19] ESRI (2010) Geostatistical Analyst Tutorial, ESRI Publications, USA.
- [20] Burrough & McDonnell, Principles of Geographical Information Systems, 1998
- [21] ESRI (2013) Geostatistical Analyst Tutorial, ESRI Publications, USA
- [23] Mc Bartney ,Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties,1983
- [24] Lam N. Spatial Interpolation Methods, 1983
- [26] ArcGIS Help 10.1, 2012
- [27] Cressien Noel. A. C. Statistics for Spatial Data, 1993

### **Ελληνική βιβλιογραφία**

- [3] Βίγλας Παναγιώτη ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ “ΜΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ”, 2007
- [7] Μπιζιώνης, Δ. Β., & Μπιζιώνης, Β. Δ. Ηλιακή και Αιολική Ενέργεια θεωρία και Εφαρμογές, 2015
- [8] Κούργιαλας & Καρατζάς, A modeling approach for agricultural water management in citrus orchards: Cost-effective irrigation scheduling and agrochemical transport simulation, 2015
- [9] Χρίστος Χαλκιάς, ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ, 2011
- [10] Μανιάτης, Αγροτική ανάπτυξη και αναδιάρθρωση, 1996

- [11] Τσουχλαράκη Α. & Αχιλλέως Γ. Μαθαίνοντας το GIS στην πράξη, 2011
- [15] Τσάκαλος Φ. Μελέτη εθνικών Δρυμών Ελλάδας, Χλωρίδα, Πανίδα και καθεστώς διαχείρισης
- [16] Γκριτζάπη Αικατερίνη Μεταπτυχιακή Διατριβή, Ανάπτυξη και χωρική Ανάλυση μετεωρολογικών Δεδομένων στον Ελλαδικό Χώρο, 2011
- [18] Καλύβα Δ. Μελέτη μεταβλητότητας εδαφολογικών ιδιοτήτων με τη βοήθεια της γεωστατικής στη περιοχή της Καρδίτσας, 1989
- [22] Ζωή Δόκου, Νεκτάριος Κούργιαλας, Γεώργιος Καραντζάς Assessing groundwater quality in Greece bases on spatial and temporal analysis , 2015
- [25] Δ. Καλύβας, Π. Δήμου, Γ. Βούλγαρης, 2013 Χωρική παρεμβολή εδαφικών ιδιοτήτων με χρήση γεωστατικής και ιδιοτήτων του τοπογραφικού ανάγλυφου, 2013

#### Ιστοσελίδες

- [4] <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/o-ydrologikos-kyklos-water-cycle-greek>
- [12] <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%81%CE%AE%CF%84%CE%B7>
- [13] <https://www.crete.tournet.gr/el/crete-guide/15-geography/17-Crete%20Fauna>
- [14] <https://www.botanical-park.com/el/biopoikilothta-krhths/>