



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ
ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ
«ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ, ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
ΜΕΓΑΛΟΥ ΟΓΚΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ»**

**Χωρική και χρονική ανάλυση της σχετικής υγρασίας στην περιοχή
της Ευρώπης με χρήση λογισμικού**

Μπανούσης Ευθύμιος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Υπεύθυνος
κ. Διονύσης Βαβουγιός**

Λαμία, 2020

«Υπεύθυνη Δήλωση μη λογοκλοπής και ανάληψης προσωπικής ευθύνης»

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, και γνωρίζοντας τις συνέπειες της λογοκλοπής, δηλώνω υπεύθυνα και ενυπογράφως ότι η παρούσα εργασία με τίτλο «Χωρική και χρονική ανάλυση της σχετικής υγρασίας στην περιοχή της Ευρώπης με χρήση λογισμικού» αποτελεί προϊόν αυστηρά προσωπικής εργασίας και όλες οι πηγές από τις οποίες χρησιμοποίησα δεδομένα, ιδέες, φράσεις, προτάσεις ή λέξεις, είτε επακριβώς (όπως υπάρχουν στο πρωτότυπο ή μεταφρασμένες) είτε με παράφραση, έχουν δηλωθεί κατάλληλα και ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο ΔΗΛΩΝ

Ημερομηνία

Υπογραφή

**Χωρική και χρονική ανάλυση της σχετικής υγρασίας στην περιοχή
της Ευρώπης με χρήση λογισμικού**

Μπανούσης Ευθύμιος

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής: [Βαβουγιός Διονύσιος](#)
(Επιβλέπων)

Δεύτερος Εξεταστής: [Σταμούλης Γεώργιος](#)

Τρίτος Εξεταστής: [Δημητρίου Γεώργιος](#)

Ευχαριστίες

Θα επιθυμούσα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον υπεύθυνο της παρούσης μεταπτυχιακής εργασίας, καθηγητή κ. Βαβουγιό Διονύσιο και στον Αρχιμανδρίτη πάτερ Δωρόθεο Ευάγγελο Αγγέλη για την συνεχή και πλήρη βοήθεια και τη στήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω τα μέλη της επιτροπής μου για την υπομονή και την υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνάς μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στο προσωπικό του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, όπου βρήκα ένα οικείο περιβάλλον από σπουδαίους ερευνητές και πρόθυμους να προσφέρουν τις επιστημονικές τους γνώσεις.

Περίληψη

Ο καιρός και το κλίμα είναι δύο έννοιες, οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά κόρων στην καθημερινότητα όλων των ανθρώπων και που επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη ζωή όλων. Οι έννοιες αυτές ξεκαθαρίζονται με την επιστήμη της κλιματολογίας, η οποία χρονολογείται πριν ακόμα τον 7ο π.Χ. αιώνα και έχει τις ρίζες της στην αρχαία Ελλάδα. Τις τελευταίες δεκαετίες οι επιστήμονες συμφωνούν ότι υπάρχουν διαφοροποιήσεις στο παγκόσμιο κλίμα, πέραν του φυσιολογικού, λόγω ανθρώπινων παρεμβάσεων, με σημαντικότερες την αύξηση της θερμοκρασίας και του όγκου των θαλασσών, τη συρρίκνωση των πάγων, την αύξηση της οξύτητας των ωκεανών και τις αλλαγές στη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας. Σκοπός της παρούσας εργασίας, λοιπόν, αποτελεί η χωρική και χρονική ανάλυση της σχετικής υγρασίας στην περιοχή της Ευρώπης με βάση κλιματολογικά δεδομένα.

Τις τελευταίες δεκαετίες με την ανάπτυξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.) η ανάλυση κλιματολογικών δεδομένων και η εξαγωγή αποτελεσμάτων έχει γίνει σαφώς ευκολότερη. Οι βασικές διαδικασίες που πραγματοποιούνται κατά τη λειτουργία των GIS είναι η συλλογή, διατήρηση, αποθήκευση, ανάλυση, εξαγωγή και διάχυση χωρικών και μη δεδομένων. Τις περισσότερες φορές, το προϊόν ενός GIS είναι ένας χάρτης, μια οπτική αναπαράσταση ενός χωρικού φαινομένου και της πραγματικότητας. Τα GIS αποτελούνται από έξι δομικά μέρη: το υλικό, το λογισμικό, τα δεδομένα, τους ανθρώπους, το δίκτυο και τις διαδικασίες.

Η Ευρώπη έχει δεχτεί τις συνέπειες της κλιματική αλλαγής. Η αύξηση της θερμοκρασίας και των αερίων του θερμοκηπίου, ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για ακραία καιρικά φαινόμενα που πλήττουν όλη την Ευρωπαϊκή ήπειρο και μαζί και τη χώρα μας.

Η ανάλυση των δεδομένων σχετικής υγρασίας στην Ευρώπη για την περίοδο 1970-2018 έγινε με τη βοήθεια του RStudio. Για το σκοπό αυτό, κατασκευάστηκαν Ευρωπαϊκοί χάρτες μετρήσεων και έγινε παρεμβολή κατά Krige για κάθε ξεχωριστή περίπτωση που μελετήθηκε. Τέλος, έγινε προσπάθεια εξήγησης των αποτελεσμάτων.

Abstract

Weather and climate are two concepts that are used by most of the people in daily life and that both greatly affect the lives of all. These concepts are clarified by the science of climatology, which dates to the 7th century BC and has roots in ancient Greece. These days, scientists have agreed that there are variations in the global climate beyond normal, due to human interference, with more significant the increases in air temperature and sea volume, the shrinkage of ice, the increased ocean acidity and the changes in relative humidity of the atmosphere. The purpose of the present work is to analyze the spatial and temporal relative humidity in the region of Europe based on climatic data.

In the last few decades due to the development of the Geographic Information Systems (G.I.S.) the analysis of climatic data and the extraction of results has become much easier. The basic processes that are performed during the operation of a GIS are the collection, preservation, storage, analysis, extraction and diffusion of spatial and non-spatial data. Most of the time, the product of a GIS is a map, a visual representation of a spatial phenomenon and the reality. GIS consists of six components: hardware, software, data, people, network and procedures.

Europe has faced the consequences of climate change. The rise of mean temperature in the last decades, combined with the rise of the greenhouse gases are the ones to blame for the extreme weather conditions that have occurred throughout European and Greece along.

The relative humidity data in Europe over the period 1970-2018, have been analyzed with R Studio. For this reason, European maps of relative humidity measurements and Krige interpolation analysis have been made for each case studied, along with an attempt to explain the results.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	4
Περίληψη.....	5
Abstract	6
Κατάλογος Εικόνων.....	9
1. Κλιματολογικά Δεδομένα	11
1.1 Ιστορική Αναδρομή	11
1.2 Κλιματικό Σύστημα.....	14
1.3 Οι αλλαγές στο κλίμα	17
1.3.1 Αύξηση της θερμοκρασίας.....	18
1.3.2 Αύξηση της θερμοκρασίας και του όγκου των θαλασσών	19
1.3.3 Συρρίκνωση των παγετώνων.....	19
1.3.4 Αύξηση της οξύτητας των ωκεανών	20
1.4 Υγρασία της ατμόσφαιρας.....	20
1.5 Κατανομή κλίματος της Ελλάδας	25
1.5.1 Σχετική υγρασία στην Ελλάδα.....	27
2. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.)	28
2.1 Ορισμός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (G.I.S.).....	28
2.2 Ιστορική αναδρομή	29
2.3 Πορεία των GIS στην Ελλάδα	33
2.4 Γενικές Επισημάνσεις	34
2.5 Εφαρμογές των GIS	35
2.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των GIS	35
2.7 Δομικά μέρη ενός GIS.....	37
2.7.1 Μηχανικά μέρη (υλικό) - Hardware.....	38
2.7.2 Λογισμικό - Software	38
2.7.3 Δεδομένα - Data	39
2.7.4 Ανθρώπινο Δυναμικό - Χρήστες.....	42
2.7.5 Δίκτυο.....	42
2.7.6 Διαδικασίες	42
2.8 Βασικές λειτουργίες ενός GIS.....	42
2.8.1 Συλλογή, κωδικοποίηση και εισαγωγή δεδομένων	43
2.8.2 Αποθήκευση, διαχείριση και ανάκτηση δεδομένων	44
2.8.3 Επεξεργασία, ανάλυση και μοντελοποίηση δεδομένων	46

2.8.4 Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων.....	48
3. Επίδραση στον Ευρωπαϊκό χώρο	50
3.1. Παρατηρούμενη αλλαγή του κλίματος	50
3.1.1 Αύξηση της μέσης θερμοκρασίας.....	50
3.1.2 Αύξηση αερίων του θερμοκηπίου	52
4. Απεικόνιση δεδομένων υγρασίας στον Ευρωπαϊκό χώρο	54
4.1 Γλώσσα προγραμματισμού R και λογισμικό RStudio	55
4.2 Συλλογή δεδομένων σχετικής υγρασίας	57
4.2.1 Χαρτογράφηση σημειακών παρατηρήσεων – Χωρική κατανομή.....	58
4.2.2 Διαδικασία παρεμβολής Krige	63
4.3 Μελέτη μέγιστων τιμών σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018.....	67
4.3.1 Μετρήσεις του μήνα Δεκεμβρίου της περιόδου 1970-2018	70
4.4 Μετρήσεις ελάχιστων τιμών σχετική υγρασίας της περιόδου 1970-2018.....	73
4.4.1 Μετρήσεις του μήνα Ιουλίου της περιόδου 1970-2018.....	75
4.5 Μελέτη μέσου εποχιακού κύκλου της περιόδου 1970-2018	77
5. Συμπεράσματα.....	79
5.1. Δημιουργία βάσης κλιματολογικών δεδομένων	79
Παράρτημα.....	81
Βιβλιογραφία.....	84

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Απεικόνιση σχέσης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (πηγή: www.oceannews.com).....	22
Εικόνα 2: Προβλεπόμενες μεταβολές της σχετικής υγρασίας (πηγή: Ruosteenoja & Räisänen, 2013)	24
Εικόνα 3: Κατανομή κλίματος της Ελλάδας κατά Köppen (πηγή: Beck et al., 2018).....	27
Εικόνα 4: Ποσοστά μέσης σχετικής υγρασίας ανά μήνα, στην Ελλάδα (πηγή: weather&climate).....	28
Εικόνα 5: Τα έξι συστατικά μέρη που αποτελούν ένα GIS (Πηγή: ResearchGate).....	37
Εικόνα 6: Μηχανικά μέρη (hardware) ενός GIS (πηγή: ResearchGate).....	38
Εικόνα 7: Κατηγορίες χωρικών δεδομένων.....	40
Εικόνα 8: Επίπεδα πληροφορίας σε ένα GIS (πηγή: ResearchGate)	41
Εικόνα 9: Συστατικά μέρη ενός μοντέλου δεδομένων (πηγή: learn.canvas.net , Introduction to Geospatial Data Models).....	45
Εικόνα 10: Πίνακας εγγραφών (πηγή: ArcGIS Desktop)	45
Εικόνα 11: Αύξηση της μέσης θερμοκρασίας σε Ευρωπαϊκές πόλεις σε σχέση με τον προηγούμενο αιώνα (πηγή: Kayser-Bril, 2018)	51
Εικόνα 12: Παγκόσμια συγκέντρωση ατμοσφαιρικού CO ₂ (πηγή: NOA/ESRL 2018)	52
Εικόνα 13: Επίπεδα εκπομπών CO ₂ της EU-28 (πηγή: EUROSTAT).....	53
Εικόνα 14: Ηλεκτρονική σελίδα (ecad.eu) από την οποία αντλήσαμε τα δεδομένα μας.....	54
Εικόνα 15: Σύνδεσμος παρατηρήσεων σχετικής υγρασίας.....	55
Εικόνα 16: Επιφάνεια εργασίας RStudio.....	59
Εικόνα 17: Αρχείο csv με δεδομένα σχετικής υγρασίας	59
Εικόνα 18: Εύρος τιμών σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018 στον Ευρωπαϊκό χώρο	61
Εικόνα 19: Εύρος τιμών σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018 στον Ευρωπαϊκό χώρο με γεωγραφικό περίγραμμα.....	62
Εικόνα 20: Εύρος τιμών σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018 στον Ευρωπαϊκό χώρο με γεωγραφικό περίγραμμα και πλέγμα	62
Εικόνα 21: Διαγράμματα παρεμβολής κατά Krige	64
Εικόνα 22: Σχετική υγρασία μέσω παρεμβολής κατά Krige.....	65
Εικόνα 23: Παρεμβολή κατά Krige και εμφάνιση σταθμών μέτρησης (κύκλοι)	66
Εικόνα 24: Λανθασμένη παρατήρηση τιμών.....	66

Εικόνα 25: Μέγιστες τιμές σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018.....	67
Εικόνα 26: Διαγράμματα αποτελεσμάτων Kriging για τις μέγιστες τιμές σχετικής υγρασίας	68
Εικόνα 27: Διάγραμμα Krige για τη μέγιστη σχετική υγρασία της περιόδου 1970-2018.....	69
Εικόνα 28: Σχετική υγρασία κατά το μήνα Δεκέμβριο της περιόδου 1970-2018	70
Εικόνα 29: Αποτελέσματα παρεμβολής κατά Krige για το μήνα Δεκέμβριο της περιόδου 1970-2018.....	71
Εικόνα 30: Παρεμβολή κατά Krige με εμφάνιση ισοσταθμών καμπυλών για το μήνα Δεκέμβριο της περιόδου 1970-2018.....	72
Εικόνα 31: Ελάχιστες τιμές σχετικής υγρασίας κατά την περίοδο 1970-2018.....	73
Εικόνα 32: Διαγράμματα παρεμβολής κατά Krige ελάχιστων τιμών σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018.....	73
Εικόνα 33: Παρεμβολή κατά Krige για τις ελάχιστες τιμές σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018.....	74
Εικόνα 34: Μετρήσεις σχετικής υγρασίας κατά το μήνα Ιούλιο της περιόδου 1970-2018....	75
Εικόνα 35: Διαγράμματα παρεμβολής Krige για το μήνα Ιούλιο της περιόδου 1970-2018...	76
Εικόνα 36: Παρεμβολή κατά Krige για το μήνα Ιούλιο της περιόδου 1970-2018.....	76
Εικόνα 37: Μετρήσεις μέσου εποχιακού κύκλου σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018	77
Εικόνα 38: Διαγράμματα παρεμβολής Krige για το μέσο εποχιακό κύκλο σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018.....	78
Εικόνα 39: Παρεμβολή κατά Krige για το μέσο εποχιακό κύκλο σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018.....	78

1. Κλιματολογικά Δεδομένα

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Σκοπός της παρούσας εργασίας αποτελεί η χωρική και χρονική ανάλυση της σχετικής υγρασίας στην περιοχή της Ευρώπης, η οποία θα βασιστεί σε βάση κλιματολογικών δεδομένων. Η εργασία ξεκινάει με την εισαγωγή και τον ορισμό όρων θεμελιωδών για την μετεωρολογία και την κλιματολογία προκειμένου να γίνει δυνατή η καλύτερη κατανόηση της, ξεκινώντας από τα πρώτα δείγματα της εμφάνισης των επιστημών και φτάνοντας μέχρι και το σήμερα.

Η επιστήμη που μελετά την ατμόσφαιρα και τα φαινόμενα τα οποία δρουν εκεί ονομάζεται μετεωρολογία. Ο όρος αυτός συμπεριλαμβάνει τη φυσική, τη χημεία, τη δυναμική της ατμόσφαιρας, καθώς και τις άμεσες επιδράσεις της ατμόσφαιρας στην επιφάνεια της γης και γενικότερα στη ζωή. Ο σκοπός της μετεωρολογίας είναι η απόλυτη κατανόηση, η ακριβής πρόβλεψη και ο έλεγχος των ατμοσφαιρικών φαινομένων. Ο όρος μετεωρολογία προέρχεται από την αρχαία Ελληνική λέξη «μετέωρον», με την οποία χαρακτηριζόταν κάθε αντικείμενο που αιωρείται στην ατμόσφαιρα (Taub, 2003).

Οι άνδρες των προγόνων, ως αγρότες και κυνηγοί, εξαρτιούνταν σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες, κι έτσι αναγκάζονταν να παρατηρούν τα φαινόμενα της ατμόσφαιρας για «σημάδια» που θα μπορούσαν να προβλέψουν τον καιρό. Έτσι, μια συλλογή με «σημάδια του καιρού» αναπτύχθηκε και μεταβιβάστηκε από γενιά σε γενιά, σταδιακά με τη μορφή σύντομων και εύκολα αποθηκευμένων παροιμιών. Τα αρχεία δείχνουν ότι μέχρι το 3.500 π.Χ., η Αίγυπτος είχε ήδη μια θρησκεία βασισμένη σε ατμοσφαιρικά φαινόμενα, με διάφορες λατρείες και τελετουργίες, ειδικά για τη βροχή. Στη Βαβυλώνα, οι σφηνοειδείς εγγραφές σε πήλινες πλάκες δείχνουν μια πολύ διαφορετική και περίπλοκη πνευματική κοινωνία, με μετεωρολογικά αρχεία που συνδέονται με αστρονομικά γεγονότα, τα οποία θεμελίωσαν την αστρομετεωρολογία, μια ευρέως διαδεδομένη πρακτική στην Ευρώπη (Neves *et al.*, 2017).

Παρόλα αυτά, οι Έλληνες ήταν οι πρώτοι, που από τον 5^ο αιώνα π.Χ. δημιούργησαν αρχεία μετεωρολογικών παρατηρήσεων, τα οποία ήταν γνωστά με τον όρο «παραπήγματα» και στα οποία συμπεριλαμβάνονται ημερολόγια του Ιπποκράτη, του Ησίοδου, του Αδαμάντιου και άλλων. Οι πρώτες γνωστές μετεωρολογικές παρατηρήσεις φαίνεται να εμφανίζονται τον 7^ο αιώνα π.Χ., όταν ο Θαλής ο Μιλήσιος, ο οποίος θεωρείται ένας από τους «επτά σοφούς της αρχαιότητας», ξεκίνησε να αναζητά μια σχέση μεταξύ των ατμοσφαιρικών φαινομένων και των ουράνιων σωμάτων, να κάνει σκέψεις για την ισημερία και το ηλιοστάσιο και να διεξάγει μελέτες σχετικά με τη βροχή. Οι μελέτες του βασιζόνταν σε μεγάλο βαθμό στην κληρονομιά των Βαβυλωνίων.

Ιστορικά δεδομένα δείχνουν ότι ο Αναξίμανδρος ήταν ο πρώτος που θεωρούσε τον άνεμο ως «ροή αέρα», κάτι που είναι πολύ κοντά στον τρέχοντα επιστημονικό ορισμό, και το οποίο δεν έγινε εύκολα αποδεκτό από πολλούς από πολλούς μελετητές τους επόμενους αιώνες. Ο Θεόφραστος, ο οποίος έγραψε το «De Signis Tempestatum» και το «De Ventis» για τους ανέμους εμπίπτει σε αυτήν την κατηγορία. Μπορεί κανείς να συσχετίσει την πρακτική της πρόβλεψης του καιρού από τους εμπειρικούς κανόνες με αυτά τα έργα, στα οποία υπάρχουν ογδόντα σημάδια για τη βροχή, σαράντα πέντε για τον άνεμο, πενήντα για τις καταιγίδες, είκοσι τέσσερα για καλές καιρικές συνθήκες και επτά σημάδια για καιρικές συνθήκες για περιόδους περίπου ενός χρόνου.

Η πρώτη, όμως, συστηματική μελέτη επί των μετεωρολογικών φαινομένων προέρχεται από τον Αριστοτέλη και για το λόγο αυτό θεωρείται πατέρας της επιστήμης της μετεωρολογίας. Το έργο του ονομαζόταν «Μετεωρολογικά», γράφτηκε περίπου το 340 π.Χ. και μεταξύ των θεμάτων που πραγματεύεται περιλαμβάνονται ο σχηματισμός της βροχής, τα σύννεφα και η ομίχλη, το χαλάζι, οι άνεμοι, οι κλιματικές αλλαγές, οι βροντές, οι κεραυνοί και οι τυφώνες. Ένας μεγάλος αριθμός προβλέψεων για τον καιρό σε αυτό το έργο προέρχεται από τα αιγυπτιακά έργα, ενώ άλλες πληροφορίες που έχουν να κάνουν με την ονοματολογία και την ταξινόμηση των ανέμων έχουν Βαβυλωνιακή προέλευση. Το σύστημα που καθιέρωσε ο Αριστοτέλης παρέμεινε για δύο χιλιετίες ως πρότυπο επιστημονικών κειμένων και ουσιαστικά όλα τα βιβλία στην Ευρώπη που ασχολήθηκαν με την ατμόσφαιρα μέχρι την αρχή του 17^{ου} αιώνα βασιζόνταν στις

εκτιμήσεις του Αριστοτέλη (Farrand, 2010). Κατά τη διάρκεια των Μεσαιωνικών χρόνων από το 400 π.Χ. έως το 1100 μ.Χ. η δραστηριότητα της επιστημονικής κοινότητας υποβλήθηκε σε σειρά θρησκευτικών περιορισμών (Middleton & Frisinger, 2006).

Οι απόψεις του Αριστοτέλη εξακολουθούσαν να γίνονται πλήρως αποδεκτές μέχρι και την εποχή της Αναγέννησης. Το πρώτο βήμα για την εξέλιξη της Μετεωρολογίας κατά την εποχή αυτή πραγματοποιήθηκε με την ανακάλυψη δύο οργάνων, του βαρομέτρου από τον Τορικήλι (E. Torricelli) το 1643, και του θερμομέτρου από τον Γαλιλαίο (G. Galilei) το 1593, καθώς και άλλων οργάνων, όπως το βροχόμετρο, το υγρόμετρο και το ανεμόμετρο. Με τις παρατηρήσεις που συγκεντρώνονταν από τα όργανα αυτά, έγιναν προσπάθειες για να εξηγηθούν ορισμένα καιρικά φαινόμενα, χρησιμοποιώντας επιστημονικό πειραματισμό και τους φυσικούς νόμους που αναπτύσσονταν εκείνη την εποχή (Galicchio, 2017).

Καθώς αναπτύχθηκαν περισσότερα και καλύτερα όργανα κατά τη δεκαετία του 1800, η επιστήμη της μετεωρολογίας προχώρησε. Σημαντικό σταθμό στην εξέλιξη της μετεωρολογίας αποτέλεσε η χάραξη των πρώτων χαρτών καιρού, το 1820, από τον Μπράντες (H. Brandes). Η εφεύρεση του τηλέγραφου το 1843 επέτρεψε τη μετάδοση παρατηρήσεων ρουτίνας καιρού. Η κατανόηση των εννοιών της ροής του ανέμου και της κίνησης των καταιγίδων κατέστη σαφέστερη εκείνη την εποχή, και το 1869 σχεδιάστηκαν χάρτες καιρού με ισοβάρες (isobars- γραμμές ίσων πιέσεων). Από το 1855 και μετά, άρχισαν να ιδρύονται οι πρώτες Μετεωρολογικές υπηρεσίες ανά τον κόσμο με πρώτη την ίδρυση της Γαλλικής μετεωρολογικής υπηρεσίας, με έδρα το Αστεροσκοπείο του Παρισιού και διευθυντή τον Λεβεριέ (Jean Joseph Le Verrier). Το 1873 ιδρύθηκε ο διεθνής Μετεωρολογικός Οργανισμός, ο οποίος από το 1950 μετονομάστηκε σε «Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό» (W.M.O.), ενώ το έτος 1931 ιδρύεται η Μετεωρολογική Υπηρεσία της Ελλάδας (Zillman, 2009).

Μέσα από τη δεκαετία του 1940, οι καθημερινές παρατηρήσεις θερμοκρασίας, υγρασίας και πίεσης έδωσαν μια τρισδιάστατη εικόνα της ατμόσφαιρας. Η μετεωρολογία έλαβε ένα ακόμη βήμα μπροστά στη δεκαετία του 1950, όταν αναπτύχθηκαν υπολογιστές υψηλής ταχύτητας για την επίλυση των

μαθηματικών εξισώσεων που περιγράφουν τη συμπεριφορά της ατμόσφαιρας. Ταυτόχρονα, μια ομάδα επιστημόνων στο πανεπιστήμιο του Princeton στο New Jersey, ανέπτυξε αριθμητικά μέσα για την πρόβλεψη του καιρού. Σήμερα, οι υπολογιστές κάνουν παρατηρήσεις, σχεδιάζουν γραμμές στους χάρτες και προβλέπουν την κατάσταση της ατμόσφαιρας σε κάποια επιθυμητή στιγμή στο μέλλον. Μετά τον Β Παγκόσμιο Πόλεμο, πολλά στρατιωτικά ραντάρ έγιναν διαθέσιμα και μετατράπηκαν σε εργαλεία μέτρησης βροχοπτώσεων. Στα μέσα της δεκαετίας του 1990, αυτά τα συμβατικά ραντάρ αντικαταστάθηκαν από πιο εξελιγμένα ραντάρ Doppler, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να «κοιτάζουν» μέσα σε μια δυνατή καταιγίδα και να αποκαλύψουν τους ανέμους και τον καιρό. Το 1960, εκτοξεύτηκε ο πρώτος δορυφόρος για τον καιρό, Τιγος Ι. Οι επόμενοι δορυφόροι παρείχαν ένα ευρύ φάσμα χρήσιμων πληροφοριών, όπως ημερήσιες και νυχτερινές εικόνες σύννεφων και καταιγίδων. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 και στον εικοστό πρώτο αιώνα, αναπτύχθηκαν ακόμα πιο εξελιγμένοι δορυφόροι για να προμηθεύσουν τους υπολογιστές με ένα πολύ μεγαλύτερο δίκτυο δεδομένων, ώστε να είναι διαθέσιμες στο μέλλον ακριβέστερες προβλέψεις (Neves *et al.*, 2017).

1.2 Κλιματικό Σύστημα

Ο όρος «καιρός» ακούγεται στην καθημερινότητα όλων των ανθρώπων και μάλιστα η ζωή όλων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από αυτόν. Ο καιρός, λοιπόν, αποτελεί ένα συνδυασμό ατμοσφαιρικών φαινομένων, τα οποία εμφανίζονται σε δεδομένη χρονική στιγμή σε ένα τόπο. Οι καιρικές συνθήκες στην επιφάνεια της γης σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, μπορεί να εμφανίζουν τεράστια ποικιλία. Για παράδειγμα, μπορεί σε μια περιοχή ο καιρός να είναι ηλιόλουστος, ενώ στη δίπλα περιοχή να είναι συννεφιασμένος, ενώ ταυτόχρονα αυτές οι εναλλαγές μπορούν να παρουσιαστούν διαδοχικά στον ίδιο τόπο. Ουσιαστικά δηλαδή, ο καιρός αντιπροσωπεύει την από μέρα σε μέρα κατάσταση της ατμόσφαιρας και αναφέρεται σε μεταβολές μικρής διάρκειας στις συνθήκες της θερμότητας, της υγρασίας και του αέρα. Τα καιρικά φαινόμενα συμβαίνουν κυρίως λόγω των διαδικασιών που συμβαίνουν για να εξομαλυνθεί η διαφορά της πίεσης του αέρα,

της θερμοκρασίας και της υγρασίας μεταξύ του ενός τόπου και του άλλου. Οι διαφορές αυτές προκύπτουν κυρίως λόγω της διαφορετικής γωνίας που προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία στα διάφορα σημεία της γης, η οποία εξαρτάται βασικά από το γεωγραφικό πλάτος.

Από την άλλη μεριά, το κλίμα αποτελεί τον μέσο όρο των καιρικών καταστάσεων που επικρατούν σε μια ορισμένη περιοχή για μεγάλη χρονική περίοδο. Η κατάσταση αυτή, προκύπτει από την παρατήρηση και την καταγραφή του καιρού ενός τόπου για πάνω από 30 χρόνια. Το κλίμα μιας περιοχής, και γενικότερα της Γης, δεν μένει σταθερό και είναι ανεξάρτητο από οποιαδήποτε στιγμιαία κατάσταση (Κοπελιάδης, 2013). Η επιστήμη, η οποία ασχολείται με την μελέτη του κλίματος ονομάζεται κλιματολογία και σκοπός της είναι να βρει, να ερμηνεύσει και να καρπωθεί, προς όφελος του ανθρώπου, την κανονική συμπεριφορά των ατμοσφαιρικών φαινομένων, να περιγράψει και να ερμηνεύσει τη φύση του κλίματος και τις διαφορές του από περιοχή σε περιοχή, και να ανακαλύψει τον τρόπο με τον οποίο σχετίζεται το κλίμα με τα υπόλοιπα στοιχεία του περιβάλλοντος και με τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Το παγκόσμιο κλίμα είναι αποτέλεσμα της πολύπλοκης αλληλεπίδρασης πολλών παραγόντων, όπως είναι η ηλιοφάνεια, η απόσταση από θάλασσες ή λίμνες, το υψόμετρο, το γεωγραφικό πλάτος κ.λπ. Κυρίως, όμως, επηρεάζεται από την ενέργεια που δέχεται η Γη από τον ήλιο, αλλά και από ροές ενέργειας που λαμβάνουν χώρα εντός του κλιματικού συστήματος (Metz, B. *et al.*, 2007). Το κλιματικό σύστημα είναι ένα περίπλοκο σύστημα που αποτελείται από την ατμόσφαιρα, την επιφάνεια του εδάφους (λιθόσφαιρα), το χιόνι και τους πάγους (κρυόσφαιρα), τους ωκεανούς και άλλους μικροοργανισμούς του νερού (υδρόσφαιρα) και τους ζωντανούς οργανισμούς (βιόσφαιρα) (Nemegow, 1984).

Η Γη περιβάλλεται από ένα αέριο μίγμα που αποτελείται κυρίως από άζωτο και οξυγόνο, την ατμόσφαιρα. Η ατμόσφαιρα συμμετέχει στις κινήσεις της Γης και αποτελεί μέρος αυτής, εκτείνεται από την επιφάνεια της Γης μέχρι 90 – 100km ύψος, έχει σταθερή χημική αναλογία και αποτελείται:

- ✓ από τον ξηρό «καθαρό» ατμοσφαιρικά αέρα
- ✓ από τους υδρατμούς
- ✓ από τα ατμοσφαιρικά αιωρήματα

Ο ξηρός ατμοσφαιρικός αέρας αποτελείται από τα σταθερά συστατικά της ατμόσφαιρας (N_2 , O_2 , Ar) και τα μεταβλητά συστατικά, όπως το O_3 , το CO_2 , το CH_4 , το H_2O κ.λπ. Τα αέρια N_2 (78,1%), O_2 (20,9%), Ar (0,9%) και CO_2 (0,03%) αποτελούν το 99,98 % του ατμοσφαιρικού αέρα και κατά όγκο και κατά βάρος, ενώ υπόλοιπα βρίσκονται σε πολύ μικρές ποσότητες (Charlson, 1992).

Η υδρόσφαιρα είναι η συνολική μάζα του νερού που βρίσκεται πάνω στην και κάτω από την επιφάνεια της Γης (Massel, 1996). Παρά το γεγονός ότι υπάρχει πάνω από 4 δισεκατομμύρια χρόνια, η υδρόσφαιρα συνεχίζει να αλλάζει συνεχώς σε μέγεθος. Αυτό οφείλεται στη δημιουργία νέας θαλάσσιας επιφάνειας και στην μετακίνηση των ηπείρων, αναδιατάσσοντας έτσι τη στεριά και τους ωκεανούς. Εκτιμάται ότι υπάρχουν 1.386 εκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα νερού στη Γη. Αυτό περιλαμβάνει το νερό σε υγρή και παγωμένη μορφή σε υπόγεια ύδατα, ωκεανούς, λίμνες και ρέματα. Το αλμυρό νερό αντιπροσωπεύει το 97,5% αυτού του ποσού, ενώ το γλυκό νερό αποτελεί μόνο το 2,5%. Από αυτό το γλυκό νερό, το 68,9% είναι υπό μορφή πάγου και μόνιμου χιονιού στην Αρκτική, στην Ανταρκτική και στα παγόβουνα, το 30,8% βρίσκεται στα υπόγεια ύδατα και μόνο το 0,3% του γλυκού νερού στη Γη βρίσκεται σε εύκολα προσβάσιμες λίμνες, δεξαμενές και ποτάμια. Η συνεχόμενη μεταφορά και κυκλοφορία των υδάτων μέσω του υδρολογικού κύκλου αποτελεί σημαντικό παράγοντα ρύθμισης του κλίματος (Toropova *et al.*, 2010).

Η κρυόσφαιρα αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι του παγκόσμιου κλιματικού συστήματος με σημαντικούς δεσμούς και ανατροφοδοτήσεις που παράγονται μέσω της επιρροής της στις επιφανειακές πηγές ενέργειας, στην υγρασία, στα σύννεφα, στις βροχοπτώσεις, στην ατμοσφαιρική και ωκεάνια κυκλοφορία. Μέσω αυτών των διαδικασιών ανάδρασης, η κρυόσφαιρα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο παγκόσμιο κλίμα και στην αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών. Τέλος, οι έμβιοι οργανισμοί πάνω στη Γη καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό την απελευθέρωση και τη λήψη διάφορων αερίων στην και από την ατμόσφαιρα αντίστοιχα, μέσω θεμελιωδών διαδικασιών, όπως για παράδειγμα η φωτοσύνθεση, καθιστώντας έτσι τη βιόσφαιρα ζωτικής σημασίας όσον αφορά την αλλαγή του κλίματος (Bamber & Payne, 2018).

1.3 Οι αλλαγές στο κλίμα

Το κλίμα της Γης πάντα άλλαζε και πάντα θα αλλάζει. Οι δορυφόροι σε τροχιά γύρω από τη Γη, καθώς και άλλες τεχνολογικές εξελίξεις επέτρεψαν στους επιστήμονες να δουν τη «μεγάλη εικόνα», συλλέγοντας πολλά διαφορετικά είδη πληροφοριών για τον πλανήτη μας και το κλίμα του σε παγκόσμια κλίμακα. Αυτό το σύνολο δεδομένων, που συλλέγονται εδώ και πολλά χρόνια, αποκαλύπτει ένα κλίμα το οποίο μεταβάλλεται συνεχώς, έχει αλλάξει στο παρελθόν και θα συνεχίσει να αλλάζει και στο μέλλον (Ahrrens, 2009).

Όταν κοιτάζουμε το κλίμα της Γης ως σύνολο, βρίσκουμε αρκετές διακυμάνσεις στις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Ο πλανήτης μας είναι 4.543 δισεκατομμυρίων ετών και έχει περάσει από πολλές κλιματικές αλλαγές, πολύ πριν εμφανιστούν οι άνθρωποι σε αυτόν. Η Γη εισέρχεται σε περιόδους υψηλών θερμοκρασιών και σε περιόδους χαμηλών θερμοκρασιών, σε συνδυασμό με τις παγετωνικές και τις μεσοπαγετωνικές περιόδους. Αυτές οι αλλαγές προκαλούνται από τις παραλλαγές του ηλιακού φωτός, της ηλιακής ενέργειας, της ηφαιστειακής δραστηριότητας και των αλλαγών στην τροχιά της Γης. Η περίοδος κατά την οποία συνέβη η τελευταία εποχή των παγετώνων είναι γνωστή ως η εποχή του Πλειστόκαινου, κατά την οποία οι άνθρωποι εξελίχθηκαν και μπορούσαν να βρεθούν σχεδόν σε όλο τον πλανήτη μέχρι το τέλος της περιόδου αυτής, περίπου 11.700 χρόνια πριν. Η γη βρίσκεται σήμερα σε μια μεσοπαγετωνική περίοδο, την εποχή του Ολόκαινου, η οποία άρχισε πριν από 12.000-11.500 χρόνια στο τέλος της παλαιολιθικής εποχής των παγετώνων. Όταν η παλαιολιθική εποχή των παγετώνων τελείωσε, το κλίμα άλλαξε από το υπερβολικό κρύο σε πιο θερμό. Αυτή η αλλαγή έδωσε τη θέση της στα δάση και την εξαφάνιση των ζώων που είχαν προσαρμοσθεί στο κρύο, όπως οι μαμούθ. Οι άνθρωποι κατάφεραν να προσαρμοστούν στο θερμότερο κλίμα, συμπεριλαμβανομένης της αλλαγής της διατροφής και των γεωργικών τους συνηθειών. (Galliechio, 2016).

Βλέπουμε, λοιπόν, ότι το κλίμα στον πλανήτη μας δεν ήταν ποτέ σταθερό, ωστόσο, πρόσφατα έχει αποδειχτεί τις τελευταίες δεκαετίες, ότι υπάρχουν διαφοροποιήσεις πέραν του φυσιολογικού λόγω ανθρώπινων παρεμβάσεων. Οι εγκυρότερες δημοσιεύσεις για την κλιματική αλλαγή προέρχονται από τη

Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change -IPCC), η οποία ιδρύθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (World Meteorological Organization-WMO) και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (United Nations Environment Programme-UNEP). Η IPCC ιδρύθηκε με σκοπό να παρέχει στον κόσμο μια σαφή επιστημονική άποψη για την τρέχουσα γνώση όσον αφορά την κλιματική αλλαγή και τις πιθανές περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις της. Οι πιο πρόσφατες δημοσιεύσεις περιλαμβάνουν την Τέταρτη Έκθεση Αξιολόγησης (Fourth Assessment Report- AR4) για την κλιματική αλλαγή το 2007, την Copenhagen Diagnosis το 2005 και την AR5 το 2014 (IPCC, 2007).

Η κλιματική αλλαγή θεωρείται σήμερα αναμφίβολη από τους περισσότερους επιστήμονες (Maramathas & Gialamas, 2009). Οι μελλοντικές προβλέψεις που προκύπτουν, από διάφορες μελέτες που έχουν διεξαχθεί, δείχνουν ότι στη νοτιοανατολική Ευρώπη οι ετήσιες βροχοπτώσεις θα μειωθούν από 30-45% (Giorgi *et al.*, 2004) έως και 70% (Räisänen *et al.*, 2004), η έντασή τους θα αυξηθεί (Christensen & Christensen, 2003) και οι ξηρές περίοδοι θα αυξηθούν σε διάρκεια (Polemio & Casarano, 2004). Συνέπεια αυτών θα αποτελέσει η αύξηση της εποχικής ροής των ποταμών, με ορισμένους ποταμούς να χάνουν μέχρι και το 80% της ροής τους την περίοδο του καλοκαιριού (Maramathas & Gialamas, 2009). Από τη μελέτη της κλιματικής αλλαγής προκύπτουν ότι οι σημαντικότερες επιπτώσεις της είναι αυτές που αναφέρονται στη συνέχεια.

1.3.1 Αύξηση της θερμοκρασίας

Στις μέρες μας, ο άνθρωπος παρεμβαίνει στις φυσικές διαδικασίες που ελέγχουν το κλίμα, με την αυξανόμενη έκλυση των αερίων του θερμοκηπίου (π.χ. διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο κ.α.), τα οποία οδηγούν σε αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας και επιφέρουν μια επικίνδυνη κλιματική αλλαγή. Η μέση θερμοκρασία του αέρα στην επιφάνεια του πλανήτη ανέβηκε $0,74 \pm 0,18^{\circ}\text{C}$ τον 20ό αιώνα, ενώ προβλέπεται ότι η θερμοκρασία σε όλο τον πλανήτη ενδέχεται να αυξηθεί κατά 1,1 μέχρι $6,4^{\circ}\text{C}$ κατά τη διάρκεια του αιώνα που διανύουμε. Συγκεκριμένα, στη νότια Ευρώπη οι συνθήκες που ήδη επικρατούν, δηλαδή οι

υψηλές θερμοκρασίες και η ξηρασία, πρόκειται να επιδεινωθούν, μιας και οι διακυμάνσεις του κλίματος επηρεάζουν ιδιαίτερα την περιοχή αυτή. Η αύξηση της θερμοκρασίας πρόκειται με τη σειρά της να προκαλέσει αύξηση στη συχνότητα των πυρκαγιών και μείωση στην ποσότητα του διαθέσιμου νερού (Κοπελιάδης, 2013).

1.3.2 Αύξηση της θερμοκρασίας και του όγκου των θαλασσών

Άλλες μια συνέπεια της υπερθέρμανσης του πλανήτη είναι η άνοδος της στάθμης της θάλασσας καθώς οι παγετώνες υποχωρούν και οι ωκεανοί συνεχίζουν να αναπτύσσονται ενώ ταυτόχρονα θερμαίνονται. Κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα, η στάθμη της θάλασσας αυξήθηκε περίπου 15 εκατοστά, και τα σημερινά βελτιωμένα κλιματικά μοντέλα εκτιμούν ότι η στάθμη της θάλασσας θα αυξηθεί κατά 30 εκατοστά ή και περισσότερο μέχρι το τέλος του αιώνα που διανύουμε. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας εξαρτάται από το πόσο αυξάνεται η θερμοκρασία και από το πόσο γρήγορα λιώνουν οι πάγοι στη Γροιλανδία και την Ανταρκτική. Στην πραγματικότητα, πρόσφατα μοντέλα υποδεικνύουν ότι η στάθμη της θάλασσας μπορεί να αυξηθεί περισσότερο από 100 εκατοστά μέχρι το έτος 2100, καθώς ο πάγος στη Γροιλανδία φαίνεται να λιώνει αρκετά γρήγορα. Η αύξηση των επιπέδων των ωκεανών θα μπορούσε να έχει επιζήμια επιρροή στα παράκτια οικοσυστήματα, καθώς και στις πυκνοκατοικιμένες, χαμηλού υψόμετρου, παραθαλάσσιες περιοχές. Επιπλέον, τα παράκτια αποθέματα υπογείων υδάτων ενδέχεται να μολυνθούν με θαλασσίνο νερό (υφαλμύρωση), καθώς επίσης και να υπάρξουν προβλήματα στις καλλιέργειες (Κατσαφάδος, Π. & Μαυροματίδης, Η., 2015).

1.3.3 Συρρίκνωση των παγετώνων

Η κλιματική αλλαγή είναι άμεσα συνδεδεμένη με την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και κατά συνέπεια το λιώσιμο των πάγων. Η άνοδος της θερμοκρασίας στη Γη επιφέρει το λιώσιμο των πάγων στους δύο πόλους της, καθώς και όπου υπάρχουν παγετώνες. Στο Βόρειο Πόλο, η περιοχή της θάλασσας που καλύπτεται από τον Αρκτικό πάγο έχει μικρύνει κατά 10% κατά τις τελευταίες

δεκαετίες και το πάχος του πάγου πάνω από το νερό έχει μειωθεί κατά 40%, ενώ παράλληλα, στην Ανταρκτική ο πάγος έχει καταστεί ασταθής. Χρήζει αναφοράς το γεγονός ότι για τα έτη 2003- 2008 στοιχεία δείχνουν ότι η μέση θερμοκρασία τήξης των πάγων στη Γροιλανδία ήταν 195 κυβικά χιλιόμετρα το χρόνο, ενώ για την Ανταρκτική τα έτη 2009- 2017 η συνολική μάζα πάγου που χάθηκε ανέρχεται στους 252 ± 26 γιγατόνους ανά χρονιά (Rignot *et al.*, 2019).

1.3.4 Αύξηση της οξύτητας των ωκεανών

Η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή και η όξυνση των ωκεανών είναι αποτέλεσμα της αύξησης των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), μιας και το θαλασσινό νερό απορροφά περίπου το 30% του CO₂ από την ατμόσφαιρα. Η αυξημένες συγκεντρώσεις του CO₂ καθώς και άλλων αερίων του θερμοκηπίου, μεταβάλλουν το κλίμα παγιδεύοντας τη θερμότητα που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης (Κατσαφάδος, Π. & Μαυροματίδης, Η., 2015).

1.4 Υγρασία της ατμόσφαιρας

Η υγρασία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ατμόσφαιρα. Ο όρος υγρασία, αναφέρεται στην αναλογία των υδρατμών στον ατμοσφαιρικό αέρα, οι οποίοι προέρχονται από την εξάτμιση υγρών επιφανειών, κυρίως της θάλασσας. Οι υδρατμοί, δηλαδή η αέρια κατάσταση του νερού, είναι γενικά άορατοι στο ανθρώπινο μάτι. Ο αέρας δεν μπορεί να περιέχει περισσότερο από ένα μέγιστο ποσό υγρασίας σε αέρια μορφή και όταν αυτός περιλαμβάνει την μέγιστη ποσότητα υδρατμών λέμε ότι βρίσκεται στο σημείο του κόρου και ονομάζεται κεκορεσμένος. Σε υψηλές θερμοκρασίες το σημείο κορεσμού είναι πολύ μεγαλύτερο απ' ότι στις χαμηλότερες. Όταν οι υδρατμοί ξεπεράσουν το σημείο κορεσμού τότε μεταβάλλεται η αέρια κατάσταση αυτών σε υγρή ή στερεή, δηλαδή προκαλείται συμπύκνωση τους, και απελευθερώνονται στην επιφάνεια της γης ως βροχή, χιόνι, χαλάζι ή άλλης μορφής κατακρημνίσματος.

Η υγρασία αποτελεί ένα σημαντικό δείκτη για πολλές τεχνικές και μετεωρολογικές διαδικασίες, όπως επίσης και για την υγεία και την άνεση των ανθρώπων στην καθημερινή ζωή. Είναι, λοιπόν, σημαντική η μέτρηση της υγρασίας παράλληλα με την μέτρηση της θερμοκρασίας για τον έλεγχο των συνθηκών που επικρατούν σε ένα χώρο. Δεδομένου ότι υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να εκφραστεί η ατμοσφαιρική περιεκτικότητα σε υδρατμούς, υπάρχουν πολλές έννοιες γύρω από τον όρο της υγρασίας, με κύριες την απόλυτη και τη σχετική υγρασία (Summer, 1960).

Απόλυτη υγρασία

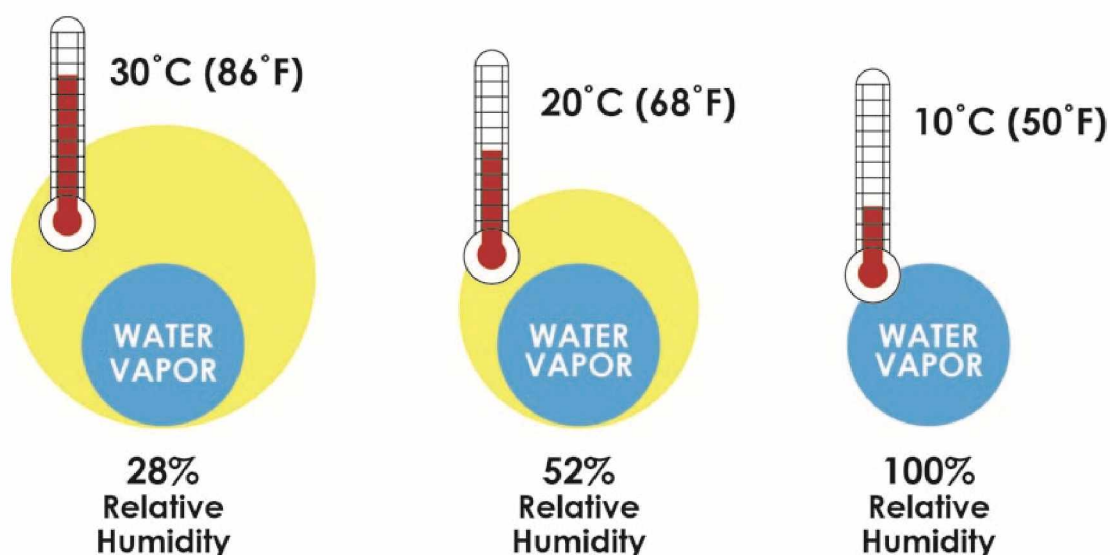
Η Απόλυτη Υγρασία (Absolute Humidity- AH) είναι η μάζα των υδρατμών σε γραμμάρια που περιέχεται σε ένα κυβικό μέτρο (m^3), χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η θερμοκρασία του αέρα. Η απόλυτη υγρασία στην ατμόσφαιρα κυμαίνεται από σχεδόν μηδέν έως περίπου 30 γραμμάρια ανά κυβικό μέτρο όταν ο αέρας είναι κορεσμένος στους 30 ° C. Η σχέση της απόλυτης υγρασίας εκφράζεται ως η μάζα των υδρατμών (m_{H_2O}), διαιρούμενη με τον όγκο του μείγματος αέρα και υδρατμών (V_{net}), και δίνεται από τον τύπο $AH = \frac{m_{H_2O}}{V_{net}}$. Για κάθε μια τιμή θερμοκρασίας του αέρα υπάρχει και μια αντίστοιχη μέγιστη τιμή απόλυτης υγρασίας (Dai, 2006).

Σχετική υγρασία

Η Σχετική Υγρασία (Relative Humidity – RH) αναφέρεται στη μέτρηση των υδρατμών που περιέχονται στον αέρα σε μια δεδομένη θερμοκρασία, και υπολογίζεται από το λόγο της στιγμιαίας περιεκτικότητας υδρατμών (p_{H_2O}) προς τη μέγιστη δυνατή περιεκτικότητα υδρατμών ($p^*_{H_2O}$) στην ίδια θερμοκρασία και πίεση ($RH = \frac{p_{H_2O}}{p^*_{H_2O}}$). Η σχετική υγρασία δίνεται σε ποσοστά επί τοις εκατό (%) και συνήθως μετριέται με όργανα, όπως τα υγρόμετρα, οι υγρογράφοι, καθώς και τα ψυχρόμετρα. Ο αέρας με 50% σχετική υγρασία περιέχει στην πραγματικότητα το ήμισυ της ποσότητας των υδρατμών που απαιτείται για κορεσμό, ο αέρας με 100% σχετική υγρασία λέγεται ότι είναι κορεσμένος επειδή είναι γεμάτος με υδρατμούς.

Ο αέρας με σχετική υγρασία μεγαλύτερη από 100% λέμε ότι είναι υπερκορεσμένος και έχουμε την εκδήλωση φαινομένων, όπως η ομίχλη.

Ιδιαίτερης σημασίας αποτελεί το γεγονός ότι όταν η θερμοκρασία του αέρα, που περιέχει ορισμένη ποσότητα υδρατμών, ελαττώνεται τότε η σχετική υγρασία του αυξάνει και αντίστροφα (Εικόνα 1). Η σχετική υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα μπορεί να μεταβληθεί είτε αλλάζοντας την περιεκτικότητα του αέρα σε υδρατμούς (π.χ. με την εξάτμιση νερού από την επιφάνεια της γης), είτε αλλάζοντας τη θερμοκρασία του αέρα (Oliver, 2005).



Εικόνα 1: Απεικόνιση σχέσης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (πηγή: www.oceannews.com)

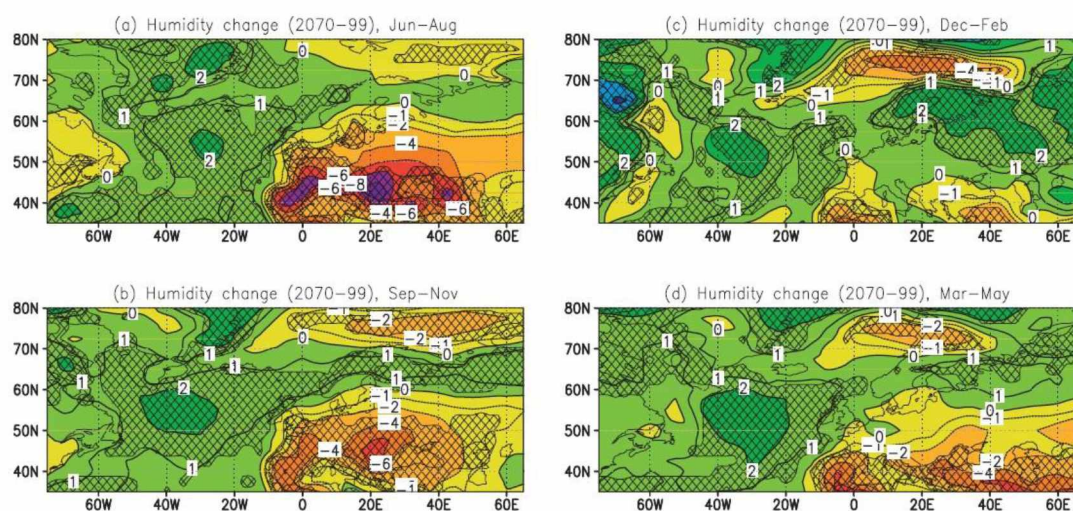
Μεταβολές της σχετικής υγρασίας

Είναι πλέον γνωστό ότι οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής είναι ραγδαίες σε παγκόσμιο επίπεδο. Ένα από τα αποτελέσματα αυτής είναι και οι μεταβολές στην σχετική υγρασία, με τις τελευταίες να έχουν σοβαρό αντίκτυπο στην καθημερινότητα των ανθρώπων και όχι μόνο. Η ποσότητα της σχετικής υγρασίας συμβάλλει στο ισοζύγιο επιφανειακής ενέργειας, ιδιαίτερα στις διαδικασίες της εξάτμισης, επηρεάζοντας έτσι την υδατική ισορροπία του εδάφους. Η έλλειψη νερού στο έδαφος αυξάνει τον κίνδυνο για εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι (Seneviratne *et al.*, 2006). Η διαθεσιμότητα νερού είναι απαραίτητη για

την ανάπτυξη των καλλιεργειών και της φυσικής βλάστησης, επηρεάζοντας επίσης την ικανότητα του εδάφους να αποθηκεύει άνθρακα (Thum *et al.*, 2011). Ο καιρός με ήλιο και χαμηλή υγρασία ευνοεί την καλλιέργεια δημητριακών, αλλά παρόμοιες καιρικές συνθήκες μπορεί να συνεπάγονται αυξημένο κίνδυνο δασικών πυρκαγιών (Kilpeläinen *et al.*, 2010). Παράλληλα, η ταυτόχρονη εμφάνιση υψηλής θερμοκρασίας και μεγάλης υγρασίας επηρεάζει αρνητικά την άνεση του ανθρώπου και οδηγεί σε υψηλότερη θνησιμότητα (Fischer & Schär, 2010). Οι ανομοιογενείς μεταβολές της σχετικής υγρασίας μπορεί να προκληθούν από την άνιση κατανομή της θερμότητας, για παράδειγμα από την ταχύτερη αύξηση της θερμοκρασίας στις ηπειρωτικές περιοχές σε σχέση με τους ωκεανούς, ενώ ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τη μελλοντική κατανομή της σχετικής υγρασίας είναι αλλαγές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία.

Στην ατμόσφαιρα που βρίσκεται πάνω από τους ωκεανούς, η σχετική υγρασία προβλέπεται να αυξηθεί κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας, ενώ αναμένεται μείωση σε μεγαλύτερα υψόμετρα (Richter & Xie, 2008). Αντίστροφα, η σχετική υγρασία στις ηπειρωτικές περιοχές αναμένεται να μειωθεί. Λόγω της βραδύτερης θέρμανσης των ωκεανών (Solomon, S. *et al.*, 2007), η ειδική υγρασία που μεταφέρεται από τους ωκεανούς στις ηπειρωτικές περιοχές αυξάνεται με βραδύτερο ρυθμό οδηγώντας έτσι σε μειωμένη υγρασία (Fasullo, 2010, Rowell & Jones, 2006). Στις ηπειρωτικές περιοχές, ειδικά το καλοκαίρι, οι μεταβολές στη σχετική υγρασία και την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μπορούν να ενισχυθούν (Rowell & Jones, 2006). Μείωση της σχετικής υγρασίας τείνει να περιορίζει το σχηματισμό χαμηλών και συμπαγών σύννεφων, επιτρέποντας μεγαλύτερη ακτινοβολία να διεισδύσει στην επιφάνεια. Η πιο έντονη ακτινοβολία ενισχύει περαιτέρω τη θέρμανση και μειώνει την υγρασία. Αυτή η διαδικασία ανατροφοδότησης είναι ένα κίνητρο για την ανάλυση των μελλοντικών αλλαγών στην ηλιακή ακτινοβολία και τη σχετική υγρασία συγχρόνως.—Κατά τη διάρκεια αυτού του αιώνα, η σχετική υγρασία της ελεύθερης ατμόσφαιρας προβλέπεται να αυξηθεί σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και στην τροπική κατώτερη τροπόσφαιρα και να μειωθεί στα υποτροπικά και να μειωθούν οι ελάχιστες διαστάσεις.

Όσον αφορά τις μεταβολές της σχετικής υγρασίας στην Ευρώπη (Εικόνα 2), αυτές φαίνεται να ποικίλουν ανάλογα με το τμήμα και την εποχή.



Εικόνα 2: Προβλεπόμενες μεταβολές της σχετικής υγρασίας (πηγή: Ruosteenoja & Räisänen, 2013)

Το καλοκαίρι, οι μεταβολές στην υγρασία είναι μικρές στη βόρεια Ευρώπη, ενώ στις εσωτερικές περιοχές της νότιας Ευρώπης, η υγρασία μειώνεται σημαντικά, σε ορισμένες περιπτώσεις κατά περισσότερο από 10%. Το χειμώνα, η σχετική υγρασία αναμένεται να αυξηθεί στη βορειοανατολική Ευρώπη κατά 2% -3%. Ακόμη και μια αύξηση αυτού του μεγέθους είναι αξιοσημείωτη καθώς ο αέρας είναι ήδη κοντά στο σημείο κορεσμού επί του παρόντος. Στις ενδιάμεσες εποχές, ειδικά το φθινόπωρο, το μοτίβο μοιάζει με αυτό του καλοκαιριού, αλλά το εύρος της απόκρισης είναι μικρότερο. Πάνω από το βόρειο Ατλαντικό, η σχετική υγρασία αυξάνεται ελαφρά σε όλες τις εποχές, με την αύξηση να είναι πιο διακριτή στις περιοχές που βρίσκονται στα νοτιοδυτικά της Ισλανδίας, καθώς η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από αμελητέα θέρμανση της επιφάνειας (Solomon, S. *et al.*, 2007).

Σε γενικές γραμμές, οι μεταβολές της σχετικής υγρασίας στην Ευρώπη θα είναι ως εξής: αύξηση της σχετικής υγρασίας στη βορειοανατολική Ευρώπη το χειμώνα και αξιοσημείωτη πτώση στο νότο το καλοκαίρι. Επιπλέον, πάνω από τον Ατλαντικό η σχετική υγρασία φαίνεται να αυξάνεται, αν και το εύρος της αλλαγής είναι μικρό, γενικά 1% -2% (Ruosteenoja & Räisänen, 2013).

1.5 Κατανομή κλίματος της Ελλάδας

Σχετικά με την κατανομή κλίματος της Ελλάδας αναφέρονται χαρακτηριστικά τα ακόλουθα. Τρεις είναι οι κύριοι παράγοντες που διαμορφώνουν το κλίμα μιας γεωγραφικής περιοχής (Γιαλαμάς):

- I. Το γεωγραφικό πλάτος
- II. Η αναλογία ξηράς/θάλασσας
- III. Το υψόμετρο

I. Γεωγραφικό πλάτος:

Η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ των γεωγραφικών πλατών 34ο και 42ο βόρεια. Εντοπίζεται επομένως στην Εύκρατη Ζώνη, η οποία ορίζεται μεταξύ 23:27' (Τροπικός του Καρκίνου) και 66:33' (αρκτικός κύκλος) βόρειο γεωγραφικό πλάτος. Η Εύκρατη Ζώνη μπορεί να διακριθεί σε δύο υποζώνες: *τη θερμή και τη ψυχρή εύκρατη ζώνη*. Η θερμή ορίζεται από τις παραλλήλους μεταξύ 23:27' Β και 45:00' Β, ενώ η ψυχρή μεταξύ 45:00' Β και 66:33' Β. Άρα, η χώρα μας βρίσκεται εξ ολοκλήρου εντός της θερμής εύκρατης ζώνης.

II. Αναλογία ξηράς/θάλασσας:

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με πλούσιο οριζόντιο και κάθετο διαμελισμό. Η έκτασή της ανέρχεται στα 132.000 χλμ², ενώ η συνολική επιφάνεια των θαλασσών ανέρχεται στα 300.000 χλμ². Συνολικά, η περιοχή του Ελληνικού χώρου προσεγγίζει τα 432.000 χλμ²). Είναι εμφανές πως τα 2/3 της χώρας καλύπτονται από θάλασσα.

III. Υψόμετρο:

Η Ελλάδα κατατάσσεται στις ορεινότερες χώρες της Ευρώπης. Το μέσο υψόμετρο της χώρας είναι 585 μέτρα, ενώ η υψομετρική διαφορά από την επιφάνεια της θάλασσας, έως και το υψηλότερο σημείο (κορυφή Ολύμπου) ανέρχεται στα 2.918 μέτρα. Το ιδιαίτερο ανάγλυφο της Ελλάδας επηρεάζει ουσιαστικά και τη θερμοκρασία της. Σε σταθερή ατμόσφαιρα, η θερμοκρασία του αέρα υποχωρεί κατά 6°C ανά 1.000 μέτρα ύψος.

Σε συνδυασμό, οι 3 παραπάνω παράγοντες διαμορφώνουν το κλίμα της χώρας μας το οποίο διαφέρει σημαντικά από περιοχή σε περιοχή. Οι κυριότερες παράμετροι που υπολογίζονται για τη μελέτη του κλίματος μια περιοχής είναι η θερμοκρασία και ο υετός. Ως **κλίμα** ορίζεται «ο μέσος όρος του συνόλου των μετεωρολογικών παραμέτρων που προκύπτει από μια παρατήρηση τουλάχιστον 30 ετών». Οι δύο πιο συνηθισμένες χρονικές περίοδοι που χρησιμοποιούνται για τέτοιες κλιματικές μελέτες είναι ή η 30ετία 1961 – 1990 ή η 30ετία 1971 – 2000.

Σύμφωνα με την κατάταξη Köppen–Geiger το Θαλάσσιο κλίμα συμβολίζεται από το λατινικό γράμμα C, ενώ το Ηπειρωτικό με το γράμμα D. Έτσι:

Κλίμα C: Μέση θερμοκρασία ψυχρότερου μήνα: $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $<18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Μέση θερμοκρασία θερμότερου μήνα: $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Κλίμα D: Μέση θερμοκρασία ψυχρότερου μήνα: $<0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Μέση θερμοκρασία θερμότερου μήνα: $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Στην Ελλάδα, οι μέσες θερμοκρασίες του ψυχρότερου μήνα κυμαίνονται μεταξύ $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, άρα συμπεραίνουμε πως επικρατεί το Θαλάσσιο κλίμα. Το Ηπειρωτικό, έχει αρκετά μικρότερη εξάπλωση και συναντάται σε μεγάλα υψόμετρα, σε περιοχές της κεντρικής και βόρειας χώρας.

Η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από εύκρατο μεσογειακό κλίμα με ήπιους υγρούς χειμώνες και θερμά ξηρά καλοκαίρια. Στον χάρτη της Εικόνας μπορούμε να διακρίνουμε την κατά Köppen κατανομή του κλίματος της χώρας μας (Beck *et al.*, 2018).

Τα σύμβολα του χάρτη της Εικόνας 3 και τα ποσοστά εμφάνισης τους στον ελλαδικό χώρο μπορούν να επεξηγηθούν ως εξής (Peel, Finlayson, & McMahon, 2007):

- ✓ Csa: “Θαλάσσιο κλίμα με διακριτό ξηρό και πολύ θερμό θέρος” 56 %
- ✓ Cfa: “Θαλάσσιο αξηρικό κλίμα με πολύ θερμό θέρος” 13 %
- ✓ Cfb: “Θαλάσσιο αξηρικό κλίμα με θερμό θέρος” 10 %
- ✓ Csb: “Θαλάσσιο κλίμα με διακριτό ξηρό και θερμό θέρος” 9 %
- ✓ Dfb: “Ηπειρωτικό αξηρικό κλίμα με θερμό θέρος” 6 %

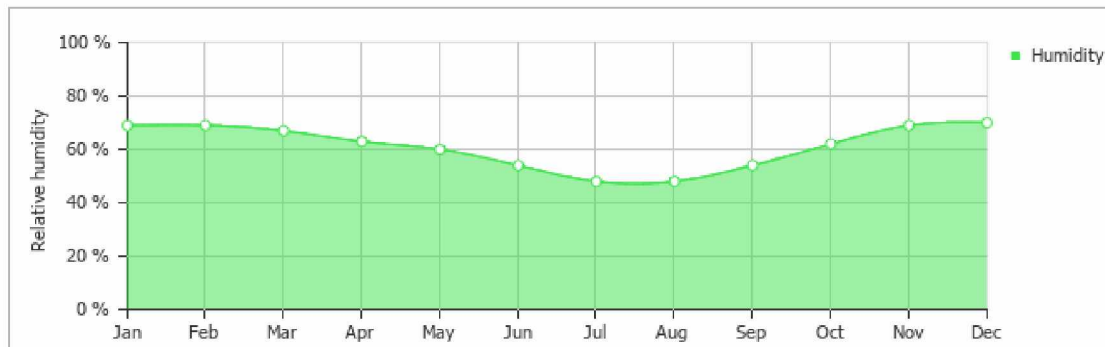
- ✓ Dsb: “Ηπειρωτικό κλίμα με διακριτό ξηρό και θερμό θέρος” 3 %
- ✓ Dfc: “Ηπειρωτικό αξηρικό κλίμα με δροσερό θέρος” 2 %
- ✓ Dsc: “Ηπειρωτικό κλίμα με διακριτό ξηρό και δροσερό θέρος” 1 %
- ✓ ET: Τούνδρας ή υψηλών ορών <1 %



Εικόνα 3 :Κατανομή κλίματος της Ελλάδας κατά Köppen (πηγή:Beck et al., 2018)

1.5.1 Σχετική υγρασία στην Ελλάδα

Τα ποσοστά της μέσης σχετικής υγρασίας δε φαίνεται να ξεπερνούν το 70% όπως διακρίνεται και στην Εικόνα 4. Την υψηλότερη υγρασία εμφανίζουν οι χειμερινοί μήνες, ενώ τη χαμηλότερη οι καλοκαιρινοί. Αυτό είναι και λογικό, μιας και οι θερμοκρασία είναι περισσότερο αυξημένη κατά τη θερινή περίοδο με αποτέλεσμα να μειώνεται και η σχετική υγρασία.



Εικόνα 4: Ποσοστά μέσης σχετικής υγρασίας ανά μήνα, στην Ελλάδα (πηγή: weather&climate)

2. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.)

2.1 Ορισμός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (G.I.S.)

Πολλοί ορισμοί του GIS έχουν προταθεί με την πάροδο των χρόνων σε διάφορους τομείς και κλάδους. Παρόλα αυτά, δεν έχει διατυπωθεί ένας κοινά αποδεκτός ορισμός για το τι είναι αυτά. Όλοι οι ορισμοί των GIS αναγνωρίζουν ότι τα χωρικά δεδομένα είναι μοναδικά, διότι η γεωγραφική θέση αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό διαφόρων δραστηριοτήτων, πολιτικών, στρατηγικών και σχεδίων (Maguire, 1991). Για το λόγο αυτό, όλοι οι ορισμοί που έχουν διατυπωθεί προσπαθούν να φανερώσουν το υψηλό επίπεδο τεχνολογίας που κρύβουν αλλά και την τεράστια ποικιλία εφαρμογών τους. Με το πέρασμα των ετών έχουν διατυπωθεί διάφοροι ορισμοί για τα GIS και μερικοί από αυτούς δίνονται στη συνέχεια (Longley *et al.*, 2015).

Ένας από τους ορισμούς που έχουν διατυπωθεί είναι ο εξής: «Ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι ένα δυναμικό εργαλείο συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάκτησης, μετασχηματισμού και απεικόνισης χωρικών δεδομένων, σχετικών με φαινόμενα που απαντούν ή εξελίσσονται στον πραγματικό κόσμο» (Burrough, 1992, Goodchild, 1992). Μια σημαντική πλευρά των GIS τονίζει ο παρακάτω ορισμός: «Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι χρήσιμα εργαλεία, τα οποία βοηθούν όλους τους ανθρώπους, από επιστήμονες μέχρι και

πολίτες, να λύνουν σύνθετα και όχι πάντα απολύτως δομημένα γεωγραφικά προβλήματα» (Longley *et al.*, 2015). Ο ορισμός αυτός αναφέρεται στη δυνατότητα των GIS για τη λήψη αποφάσεων σε γεωγραφικά θέματα, μιας και η επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων με σκοπό τη διαχείριση σύγχρονων προβλημάτων δεν μπορεί να γίνει με τις κλασικές προσεγγίσεις.

Ένας από τους πιο ολοκληρωμένους ορισμούς που έχει δοθεί για τα GIS είναι από την Παγκόσμια Ομοσπονδία Γεωμετρών: «Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι ένα εργαλείο για λήψη αποφάσεων νομικής, διοικητικής και οικονομικής υφής και ένα όργανο για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη, το οποίο αποτελείται από μία Βάση Δεδομένων που περιέχει για μία έκταση στοιχεία προσδιορισμένα στο χώρο και τα οποία σχετίζονται με τη γη, και από διαδικασίες και τεχνικές για τη συστηματική συλλογή, ενημέρωση, επεξεργασία και διανομή των στοιχείων. Η βάση ενός GIS είναι ένα ενιαίο σύστημα γεωγραφικής αναφοράς, το οποίο επίσης διευκολύνει τη σύνδεση των στοιχείων μεταξύ τους καθώς και με άλλα συστήματα που περιέχουν στοιχεία για τη γη» (Harvey, 2009).

Αναλυτικότερα, οι βασικές διαδικασίες που συγκροτούν τα GIS και πραγματοποιούνται κατά την λειτουργία τους είναι η συλλογή, διατήρηση, αποθήκευση, ανάλυση, εξαγωγή και διάχυση χωρικών και μη δεδομένων. Θα πρέπει να υπογραμμιστεί το γεγονός ότι ένα σύστημα GIS είναι μια ολοκληρωμένη τεχνολογία και όχι απλώς ένα λογισμικό χαρτογράφησης, μιας και είναι απαραίτητο για την ανάλυση και μελέτη του χώρου, καθώς και για τη λήψη αποφάσεων που αφορούν τη γη, το περιβάλλον και τον άνθρωπο.

2.2 Ιστορική αναδρομή

Η καθημερινή αναγκαιότητα για την αντιμετώπιση προβλημάτων που αφορούν το χώρο αποτελεί μία από τις βασικές πτυχές της ανθρώπινης κοινωνίας. Τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) εξελίχθηκαν ως μέσο συγκέντρωσης και ανάλυσης διαφόρων χωρικών δεδομένων. Αυτά τα συστήματα, εξελίχθηκαν με την πάροδο πολλών αιώνων χαρτογραφίας και τη συλλογή χιλιάδων καταγραφών. Οι αρχαιότεροι γνωστοί χάρτες χρονολογούνται κατά τη διάρκεια της

βασιλείας του Ραμσή II της Αιγύπτου (1292-1225 π.Χ.), ήταν σχεδιασμένοι πάνω σε περγαμινές και απεικόνιζαν τα ορυχεία χρυσού στους Κόπτες. Μεταγενέστερα, οι Έλληνες απέκτησαν χαρτογραφικές δεξιότητες και συνέταξαν περισσότερο ρεαλιστικούς χάρτες. Ο Έλληνας μαθηματικός, αστρονόμος και γεωγράφος Ερατοσθένης (~276-194 π.Χ.) ήταν αυτός που έθεσε τα θεμέλια της επιστημονικής χαρτογραφίας, δηλαδή της επιστήμης, τέχνης και τεχνολογίας για την κατασκευή, χρήση και μελέτη χαρτών. Κατά το Μεσαίωνα, οι Άραβες ήταν οι κύριοι χαρτογράφοι, κατασκευάζοντας μέχρι και χάρτη ολόκληρου του κόσμου το 1154. Την ίδια περίοδο, η ευρωπαϊκή χαρτογραφία εκφυλίστηκε σε μεγάλο βαθμό, λόγω της πτώσης της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας.

Μέχρι τον δέκατο ένατο αιώνα, οι γεωγραφικές πληροφορίες έβρισκαν χρήση, ως επί το πλείστον, στο εμπόριο και στην εξερεύνηση ξηράς και θάλασσας, στη συλλογή φόρων και τις στρατιωτικές επιχειρήσεις. Η ανάγκη, όμως, για κατασκευή νέων και εξελιγμένων υποδομών, όπως π.χ. δρόμοι, απαιτούσε τη διάθεση των γεωγραφικών πληροφοριών και πέρα από τις παραπάνω δραστηριότητες, κάνοντας τους θεματικούς χάρτες ολοένα και πιο συνηθισμένους. Το 1838, η ιρλανδική κυβέρνηση συνέταξε μια σειρά χαρτών για χρήση από τους μηχανικούς σιδηρόδρομων, οι οποίοι μπορούν να θεωρηθούν ως το πρώτο εγχειρίδιο GIS. Ο συνδυασμός των εξελίξεων στην τεχνολογία του υλικού μέρους των υπολογιστών και της θεωρητικής γεωγραφίας- χαρτογράφησης, οδήγησαν στην ανάπτυξη του GIS στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Το πρώτο GIS, με τους σημερινούς ορισμούς, ήταν το Καναδικό Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (CGIS), σχεδιασμένο στα μέσα της δεκαετίας του 1960 (Longley *et al.*, 2015). Το CGIS αναπτύχθηκε από τον Roger Tomlinson, ο οποίος θεωρείται «πατέρας των GIS», και τους συναδέλφους του με σκοπό την απογραφή γης στον Καναδά και για τη δημιουργία και ανάλυση πληροφοριών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη σχεδίων διαχείρισης γης. Το έργο αυτό πρωτοστάτησε στην τεχνολογία και εισήγαγε τον όρο GIS (“ESRI Canada,” 2014). Το 1926 έχουμε την ίδρυση του οργανισμού URISA (Urban and Regional Planning Information System Association) από τον Edgar Horwood, ο οποίος εξελίσσει διάφορα προγράμματα για τον υπολογιστή (Longley *et al.*, 2015). Το εργαστήριο Computer Graphics and Spatial

Analysis του πανεπιστημίου του Χάρβαρντ θεμελίωσε την ανάπτυξη του συστήματος SYMAP στα μέσα της δεκαετίας του 1960. Το SYMAP εξελίχθηκε σε μια «οικογένεια» σχετικών συστημάτων, όπως το CALFORM (τέλη της δεκαετίας του 1960), το SYMVU (τέλη της δεκαετίας του 1960), το GRID (τέλη της δεκαετίας του 1960), το POLYVRT (αρχές της δεκαετίας του 1970) και το ODYSSEY (μέσα της δεκαετίας του 1970). Η ταχεία ανάπτυξη των υπολογιστών οδήγησε σε μια ραγδαία επιτάχυνση στη χρήση των GIS. Στη δεκαετία του 1970 και του 1980, διάφορα συστήματα εξελίχθηκαν για να αντικαταστήσουν τους χειρωνακτικούς χαρτογραφικούς υπολογισμούς. Τα GIS άρχισαν πραγματικά να απογειώνονται στις αρχές της δεκαετίας του 1980, όταν η τιμή του υλικού μέρος (hardware) είχε μειωθεί σε σημαντικό επίπεδο. Η βιομηχανία των GIS συνέχισε να αναπτύσσεται, τα μηχανικά μέρη συνέχισαν να μειώνονται σε τιμές και να αυξάνονται σε ισχύ και η βιομηχανία λογισμικών GIS συνεχίζει να αυξάνεται από τότε. Μετά τις αλλαγές στην τεχνολογία των υπολογιστών, σημειώθηκαν σημαντικές αλλαγές στη βιομηχανία GIS στα τέλη της δεκαετίας του '80. Η βιομηχανία έκανε μια μετάβαση από συστήματα υπολογιστών που λειτουργούσαν με γραμμή εντολών σε λογισμικό σχεδιασμένο, έτσι ώστε να είναι φιλικό προς το χρήστη (graphical user interfaces- GUI) στην επιφάνεια εργασίας (Malczewski, 2004).

Παρόλο που μερικές από τις σημαντικότερες εμπορικές εταιρείες λογισμικού GIS έχουν δημιουργηθεί στα τέλη της δεκαετίας του 1960, πολλά εμπορικά συστήματα GIS δεν αναπτύχθηκαν μέχρι τη δεκαετία του 1980, καθώς η χρήση των GIS γινόταν κυρίως από κυβερνητικούς και στρατιωτικούς φορείς. Τα πιο αξιοσημείωτα παραδείγματα είναι το Ινστιτούτο Έρευνας Περιβάλλοντος (ESRI) και η Intergraph Corporation, τα οποία ιδρύονται το 1969. Την ίδια χρονιά, ο αρχιτέκτονας Ian L. McHarg του Πανεπιστημίου της Pennsylvania, εκδίδει το βιβλίο "Design with Nature", το πρώτο βιβλίο που πραγματεύεται το σχεδιασμό και τη μελέτη των ανθρωπίνων κοινοτήτων. Η δεκαετία του 1970 ξεκινά με την εκτόξευση του πρώτου μεγάλου δορυφόρου τηλεπισκόπησης Landsat, γνωστός και με το όνομα ERTS-1. Στον ακαδημαϊκό τομέα, πραγματοποιήθηκε το Σεπτέμβριο του 1974 στο Reston το συνέδριο AutoCarto, το πρώτο από μια σειρά ερευνητικών συνεδριών. Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 διακινείται το ARC/ INFO 1.0 από την

ESRI, το πρώτο GIS που κυκλοφόρησε σε εμπορική μορφή. Ακολούθησε ο σχεδιασμός μιας σειράς άλλων εταιρειών GIS, όπως οι εταιρίες MapInfo και Caliper. Ορόσημο της δεκαετίας αυτής αποτελεί η λειτουργία του συστήματος Global Positioning System- GPS, που φτάνει σε πλήρη λειτουργία με τη χρήση 24 δορυφόρων, αποτελώντας τεχνολογία αιχμής σε τομείς, όπου απαιτείται ακρίβεια στον εντοπισμό θέσης. Στον ακαδημαϊκό τομέα, δημοσιεύεται το βιβλίο του Peter A. Borrough «Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment» και εκδίδεται για πρώτη φορά το περιοδικό «The International Journal of Geographical Information Systems» (Malczewski, 2004).

Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1980, η χρήση των GIS παρέμεινε μια εξειδικευμένη δραστηριότητα που αφορούσε κυρίως επαγγελματίες. Η δεκαετία του 1990 που ακολούθησε άλλαξε τα δεδομένα, με αποτέλεσμα το GIS να θεωρείται τώρα ως μια «μαζική» εφαρμογή λογισμικού, με στόχο την ευκολία και τη φιλικότητα προς το χρήστη, καθώς και τη μείωση του κόστους. Η τεχνολογική πρόοδος συνοδεύτηκε από έκρηξη ψηφιακών δεδομένων, τα οποία είναι διαθέσιμα σε ιδιωτικούς και δημόσιους οργανισμούς. Το Διαδίκτυο είναι ίσως η πιο σημαντική τεχνολογία που επηρεάζει την εξάπλωση των GIS και τη διάθεση των δεδομένων. Όλοι οι μεγάλοι προμηθευτές GIS αναπτύσσουν διαδικασίες για την πρόσβαση μέσω διαδικτύου σε δεδομένα και μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί με το λογισμικό τους, όπως για παράδειγμα η ESRI και η Intergraph. Τα λογισμικά GIS χρησιμοποιούνται, πλέον, τόσο στη δημόσια διοίκηση όσο και σε ιδιωτικές επιχειρήσεις για χωροταξικό και αναπτυξιακό σχεδιασμό, σε γεωγραφικές και τοπογραφικές εφαρμογές και σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος (Kerski, 2003).

Η είσοδος στο 2000, σηματοδοτεί μια πληθώρα εξελίξεων σε τομείς, όπως η αποθήκευση δεδομένων (data warehousing), η διάθεση μέσω Internet, η ασύρματη τεχνολογία, οι καινοτομίες στον προγραμματισμό (π.χ. γλώσσα Java), το διαδικτυακό GIS (Web GIS), η δημιουργία πανίσχυρων προγραμμάτων για προσωπικούς Η/Υ, οι διαθέσιμες πηγές δεδομένων στο Internet, η μείωση κόστους του GIS με δυνατότητες GPS κ.α. Πλέον, οι χρήστες των λογισμικών GIS ανά τον κόσμο ξεπερνούν το 1.000.000 και η αγορά GIS ξεπερνάει παγκοσμίως το ποσό των

7 δισεκατομμυρίων δολαρίων (Zerger & Smith, 2003). Η αλματώδης ανάπτυξη και διάδοση των «έξυπνων» κινητών τηλεφώνων (smartphones) καθώς και των υπηρεσιών cloud έδωσε τη δυνατότητα εξάπλωσης των GIS σε όλες τις φορητές ή μη συσκευές, καθώς και στο ευρύ κοινό, με επακόλουθο τη συνεχή προσπάθεια αναβάθμισης τους λόγω της ολοένα και μεγαλύτερης ζήτησής τους (Waters, 2018).

2.3 Πορεία των GIS στην Ελλάδα

Το πρώτο GIS που εγκαταστάθηκε στην Ελλάδα ήταν από ένα δημόσιο φορέα, τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ), γύρω στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Μετέπειτα, ακολούθησε η εγκατάσταση GIS και από άλλες δημόσιες υπηρεσίες όπως είναι το ΥΠΕΧΩΔΕ, ο Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογράφησης της Ελλάδας κ.α., καθώς και από πανεπιστήμια όπως το Α.Π.Θ., το Ε.Μ.Π κ.τ.λ. Δεν ήταν μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1980, όπου και άρχισαν να ιδρύονται ιδιωτικές εταιρείες και γραφεία που είχαν ως αντικείμενο την υποστήριξη και την παροχή υπηρεσιών σε χρήστες των GIS.

Παράλληλα, από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 κάνουν την εμφάνιση τους Μη Κυβερνητικοί Οργανισμοί (Μ.Κ.Ο.), οι οποίοι έχουν ως στόχο την ευαισθητοποίηση και την πρόσκληση για ενεργή συμμετοχή των πολιτών όσον αφορά την προστασία και τη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος. Καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει η εισαγωγή των GIS ως βασικό εργαλείο ανάλυσης των προβλημάτων που αφορούν το περιβάλλον, καθώς και ως μέσω υποστήριξης, λήψης αποφάσεων και μέτρων διαχείρισης. Παραδείγματα τέτοιων Μ.Κ.Ο. αποτελούν η WWF, ο Αρκτούρος και πολλοί άλλοι.

Το έτος 1992 το Ελληνικό Δημόσιο κατά τη διάρκεια της εκπόνησης μιας Ειδικής Χωροταξικής Μελέτης, κρίνει ζωτικής σημασίας τη συνεργασία με εξειδικευμένους επιστήμονες που χειρίζονται τα συστήματα GIS. Παράλληλα, την ίδια χρονιά, η Γ.Υ.Σ.. ανακοινώνει ότι θα είναι πλέον διαθέσιμα ψηφιακά δεδομένα στο κατάλληλο format, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει εισαγωγή τους σε συστήματα GIS. Αργότερα, το 1995, ο Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογράφησης της

Ελλάδας ξεκινά την υλοποίηση του Εθνικού Κτηματολογίου, όπου βασική προϋπόθεση για την επιτυχία του αποτελεί η ανάπτυξη ενός συστήματος GIS. Ένα χρόνο αργότερα, το 1996, ξεκινά η ανάπτυξη ενός GIS που θα εξυπηρετεί τις ανάγκες του Οργανισμού Αποχέτευσης της Θεσσαλονίκης.

Με το πέρασμα των χρόνων, ολοένα και περισσότερα ερευνητικά προγράμματα λαμβάνουν χώρα στην Ελλάδα, κυρίως από ΑΕΙ, με τη συγχρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση αυξάνοντας, έτσι, τις γνώσεις και την εμπειρία στους Έλληνες ερευνητές και ανοίγοντας το δρόμο για νέες μελέτες (Δούκας Γ. & Υφαντής Γ., 2005).

2.4 Γενικές Επισημάνσεις

Η ιστορία και η εξέλιξη των GIS θα μπορούσε να συγκεντρωθεί σε 5 κύριες περιόδους (Malczewski, 2004):

- ✓ Την περίοδο μεταξύ του 18ου αιώνα έως και τα τέλη του 19ου αιώνα, όπου δεν χρησιμοποιούνταν υπολογιστές, στην οποία υπάρχει ένας βασικός χάρτης και γίνεται η χρήση υπέρθεσης επιφανειών πάνω αυτόν, ώστε να γίνουν φανερές κινήσεις στρατευμάτων, πληθυσμών, αλλαγές ροής ποταμών, στοιχεία γεωλογίας κ.α.
- ✓ Την περίοδο από αρχές της δεκαετίας του 1950 έως τις αρχές του 1970, όπου έγιναν οι πρώτες προσπάθειες εφαρμογής των GIS. Πρωταρχικό ρόλο έπαιξαν κάποιοι πρωτοπόροι επιστήμονες, ωστόσο ο μειωμένος αριθμός εισαγωγής δεδομένων είχε ως αποτέλεσμα την ύπαρξη αρκετών προβλημάτων στη λειτουργικότητά τους.
- ✓ Την περίοδο από τις αρχές του 1970 έως τις αρχές του 1980, η οποία αποτελεί την περίοδο πρώτης μεγάλης ανάπτυξης με την ενεργό συμμετοχή δημοσίων και ερευνητικών οργανισμών.
- ✓ Την περίοδο από τις αρχές του 1980 έως τις αρχές του 1990, όπου αναπτυχθήκαν οι σχεσιακές βάσεις δεδομένων, καθώς και η εμπορευματοποίηση των GIS.
- ✓ Την περίοδο από τις αρχές του 1990 έως και σήμερα, όπου έγινε εφικτή η χρήση των GIS σχεδόν από κάθε χρήστη Η/Υ, αυξήθηκαν οι δυνατότητες των

ίδιων των συστημάτων, μεσολάβησε η ανακάλυψη του Internet και η διάθεση εφαρμογών GIS, ενώ ο τρόπος χρήσης τους έγινε περισσότερο φιλικός προς τους χρήστες.

2.5 Εφαρμογές των GIS

Στις μέρες μας, η χρήση των GIS εφαρμόζεται σε πληθώρα επιστημονικών και όχι μόνο δραστηριοτήτων, που αφορούν την επεξεργασία χωρικής και γεωγραφικής πληροφορίας. Ενδεικτικά μπορούν να αναφερθούν οι ακόλουθες βασικές κατηγορίες εφαρμογών:

- ✓ πολεοδομικός και χωροταξικός σχεδιασμός καταγραφή, προστασία και διαχείριση ιδιωτικής, δημόσιας και δημοτικής ακίνητης περιουσίας
- ✓ δίκτυα Κοινής Ωφέλειας
- ✓ παρακολούθηση και προστασία περιβάλλοντος
- ✓ σχεδιασμός και προγραμματισμός χρήσεων γης
- ✓ κυκλοφοριακές και συγκοινωνιακές μελέτες
- ✓ αγροτική ανάπτυξη και αναδιάρθρωση

Γίνεται, λοιπόν, φανερή η σημασία και η εξάπλωση που έχουν αποκτήσει τα GIS σήμερα, καθιστώντας τη μελέτη και εφαρμογή αυτών ξεχωριστή (Tomlinson, 2013).

2.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των GIS

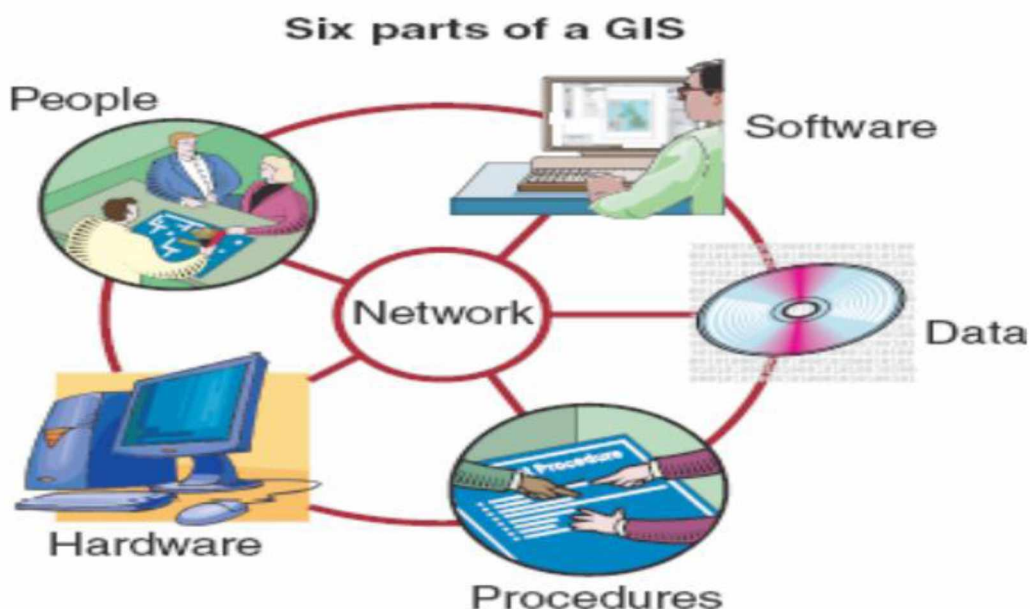
Τα GIS χαρακτηρίζονται από πολλά πλεονεκτήματα. Το βασικό πλεονέκτημα από αυτά, έχει να κάνει με τα δεδομένα τα οποία επεξεργάζονται τα λογισμικά GIS. Συγκεκριμένα, τα GIS παρέχουν τη δυνατότητα επεξεργασίας τόσο χωρικών όσο και μη χωρικών δεδομένων, καθώς και δεδομένων που σχετίζονται μεταξύ τους. Τα δεδομένα που επεξεργάζονται βρίσκονται, επιπλέον, σε ψηφιακή μορφή, πράγμα το οποίο συνεπάγεται μικρότερο μέγεθος και ευκολία στη διαχείριση. Άλλα πλεονεκτήματα που εμφανίζουν τα GIS αφορούν τις μεθόδους ανάλυσης που αυτά υλοποιούν. Αρχικά, είναι εφικτές αναλύσεις πιο οικονομικές και πιο

αποτελεσματικές, σε σχέση με τις κλασικές προσεγγίσεις που γίνονταν με το χέρι, πιο αντικειμενικές και αυτοματοποιημένες. Παράλληλα, τα GIS υποστηρίζουν επεξεργασίες διαφόρων μορφών, όπως για παράδειγμα μετρήσεις, μετατροπές, χαρτογραφικές επικαλύψεις και πολλές άλλες, ενώ υπάρχει και η δυνατότητα εισαγωγής της διάστασης του χρόνου, μιας και τα δεδομένα είναι συνήθως δυναμικά και αλλάζουν συνεχώς μέσα στο χρόνο (Ασάρας *et al.*, 2011). Όσον αφορά τις διάφορες μορφές εξαγόμενων αποτελεσμάτων (π.χ. χάρτης), αυτές προκύπτουν με μεγάλη ταχύτητα, αποτελούνται από μεμονωμένα ή σύνθετα θέματα και σε οποιαδήποτε κλίμακα (Κουτσόπουλος, 2005).

Πέραν όμως των πολλών πλεονεκτημάτων, τα GIS έχουν και κάποια μειονεκτήματα. Ένα από αυτά, αποτελεί το γεγονός ότι για να καταφέρει κάποιος να τα χρησιμοποιήσει θα πρέπει πρώτα να έχει εκπαιδευτεί πάνω σε αυτά, κάτι που προϋποθέτει χρόνο και κάποιες φορές και χρήματα. Ένα ακόμα μειονέκτημα των GIS αποτελεί το υψηλό κόστος αγοράς των δεδομένων, μιας και μόνο ορισμένος αριθμός δεδομένων διατίθεται ελεύθερα στο διαδίκτυο. Επιπλέον, ενδέχεται να υπάρχουν προβλήματα μετατροπής των δεδομένων, μιας και αυτά θα πρέπει να βρίσκονται στην κατάλληλη μορφή ώστε να μπορέσουν να εισαχθούν στο λογισμικό. Τέλος, το κόστος αγοράς του λογισμικού και της τεχνικής υποστήριξης αποτελεί ακόμα ένα μειονέκτημα, αν και κάτι τέτοιο ισχύει στην περίπτωση των εμπορικών και όχι των ελεύθερων λογισμικών (Dangermond, 2009).

2.7 Δομικά μέρη ενός GIS

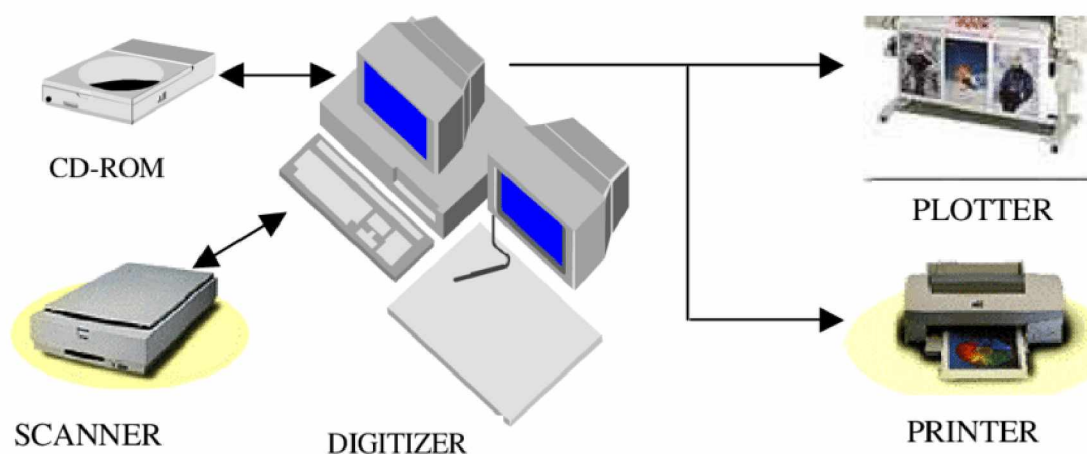
Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία και τους Maguire (Maguire, 1991) «ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι μια οργανωμένη συλλογή μηχανικών υπολογιστικών συστημάτων (*hardware*), λογισμικών συστημάτων (*software*), χωρικών δεδομένων (*data*) και ανθρώπινου δυναμικού». Όπως αναφέρεται λοιπόν στον παραπάνω ορισμό, ένα GIS αποτελείται από τέσσερα βασικά στοιχεία: το υλικό, το λογισμικό, τα δεδομένα και τους ανθρώπους. Ωστόσο, ένας πιο ολοκληρωμένος ορισμός ενός GIS περιλαμβάνει ακόμα δύο συστατικά μέρη: το δίκτυο και τις διαδικασίες. Όταν αυτά τα έξι στοιχεία λειτουργούν μαζί δίνουν ένα σύστημα με πολλές δυνατότητες (Εικόνα 5). Παρακάτω, θα εξεταστούν το καθένα από τα έξι μέρη ενός GIS ξεχωριστά.



Εικόνα 5: Τα έξι συστατικά μέρη που αποτελούν ένα GIS (Πηγή: ResearchGate)

2.7.1 Μηχανικά μέρη (υλικό) - Hardware

Το υλικό αποτελεί τον υπολογιστή στον οποίο λειτουργεί ένα GIS. Σήμερα, τα GIS «τρέχουν» σε ένα ευρύ φάσμα υπολογιστών, από κεντρικούς υπολογιστές (desktops) και επιτραπέζιους υπολογιστές (laptops) σε tablets και smartphones που χρησιμοποιούνται αυτόνομα ή σε δίκτυα, παρέχοντας τη δυνατότητα χρήσης ενός GIS οπουδήποτε υπάρχει ασύρματο δίκτυο (Καϊμάρης & Καρανικόλας, 2014). Πέραν, όμως, από τον κεντρικό υπολογιστή, στο υλικό περιλαμβάνονται και όλες οι συσκευές που ο χρήστης αλληλεπιδρά άμεσα κατά τη διεξαγωγή λειτουργιών στην εκτέλεση ενός GIS, όπως οι μονάδες επεξεργασίας όπου εκτελούνται τα προγράμματα, οι μονάδες αποθήκευσης όπου στεγάζονται τα προγράμματα και τα δεδομένα και οι περιφερειακές μονάδες που χρησιμοποιούνται για την είσοδο (π.χ. σαρωτές) και την έξοδο (π.χ. οθόνες, εκτυπωτές, σχεδιαστές) των δεδομένων (Εικόνα 6). Οι δυνατότητες του υλικού επηρεάζουν την ταχύτητα επεξεργασίας, την ευκολία χρήσης και τους τύπους διαθέσιμης εξόδου (Longley *et al.*, 2015).



Εικόνα 6: Μηχανικά μέρη (hardware) ενός GIS (πηγή: ResearchGate)

2.7.2 Λογισμικό - Software

Το λογισμικό ενός GIS περιλαμβάνει τα προγράμματα και τις διαδικασίες όπου παρέχουν τις λειτουργίες και τα εργαλεία που απαιτούνται για την αποθήκευση, την ανάλυση και την προβολή των γεωγραφικών δεδομένων (Longley *et al.*, 2015). Βασικά στοιχεία ενός λογισμικού είναι:

- Ένα σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (database management system- DBMS)
- Εργαλεία εισαγωγής και διαχείρισης γεωγραφικών δεδομένων
- Εργαλεία που υποστηρίζουν γεωγραφικά ερωτήματα, ανάλυση και οπτικοποίηση
- Γραφικό περιβάλλον εργασίας (graphical user interface- GUI) για εύκολη πρόσβαση σε εργαλεία

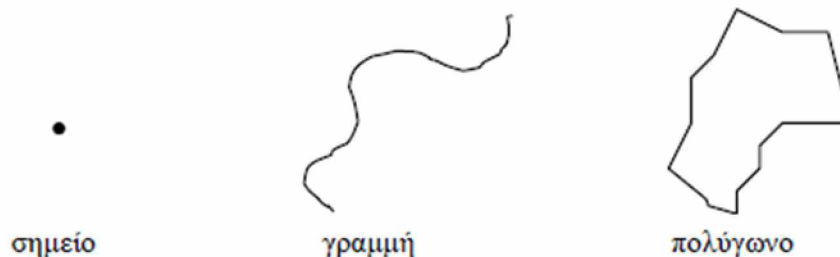
Τα διάφορα λογισμικά πακέτα μπορούν να διατίθενται είτε ελεύθερα στην αγορά είτε από εταιρίες ανάπτυξης λογισμικών πακέτων έναντι κόστους (Καϊμάρης & Καρανικόλας, 2014).

2.7.3 Δεδομένα - Data

Ίσως το πιο σημαντικό στοιχείο των GIS είναι τα δεδομένα, μιας και η κατά κύριο λόγο λειτουργία τους είναι η συλλογή και διαχείριση τους. Η ικανότητα των GIS να χειρίζονται και να επεξεργάζονται γεωγραφικά δεδομένα διακρίνει τα GIS από άλλα συστήματα πληροφοριών. Η συλλογή των δεδομένων αποτελεί μια δύσκολη διαδικασία, καθώς αυτή παίρνει συνήθως πολύ χρόνο, ωστόσο είναι δυνατή και η αγορά τους από κάποιο πάροχο εμπορικών δεδομένων. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές πηγές γεωγραφικών δεδομένων και πολλές διαθέσιμες μέθοδοι για την εισαγωγή τους σε ένα GIS, όπως η ψηφιοποίηση και η σάρωση χαρτών, τα δεδομένα εικόνας, η άμεση εισαγωγή δεδομένων μέσω GPS και η μεταφορά δεδομένων από υπάρχουσες πηγές (Maguire, 1991). Τα δεδομένα εισάγονται σε ψηφιακή μορφή σε ένα σύστημα GIS και διακρίνονται σε χωρικά (spatial data), όπου η βασική πληροφορία είναι η θέση τους στο χώρο με βάση κάποιο σύστημα αναφοράς, και σε περιγραφικά (attribute data), τα οποία παραχωρούν τις ιδιότητες των χωρικών δεδομένων (Στεφανάκης, 2003). Τα χωρικά δεδομένα διακρίνονται περαιτέρω στα διανυσματικά (vector) και στα ψηφιδωτά (raster) δεδομένα.

Οι οντότητες, όσων αφορά τα διανυσματικά δεδομένα, αντιπροσωπεύονται από καθορισμένες συντεταγμένες. Ένα σημείο αποτελεί ένα ζευγάρι

συντεταγμένων, δηλαδή, τα σημεία σε έναν χάρτη αποθηκεύονται στον υπολογιστή με τις ακριβείς τους συντεταγμένες. Τα σημεία μπορούν να συνδεθούν για να σχηματίσουν γραμμές ή αλυσίδες. Έτσι, μια γραμμή αντιπροσωπεύεται από έναν αριθμό συντεταγμένων κατά μήκος της. Οι αλυσίδες μπορούν να συνδεθούν πίσω στο σημείο εκκίνησης και να δημιουργήσουν πολύγωνα ή περιοχές. Ένα πολύγωνο αντιπροσωπεύεται ως σύνολο συντεταγμένων στις γωνίες του (Εικόνα 7). Για παράδειγμα, ένα σημείο που αντιπροσωπεύει ένα χωριό ή μια πόλη μπορεί να έχει μια καταχώρηση στη βάση δεδομένων για το όνομα, το μέγεθος, τις υπηρεσίες κλπ. Μια γραμμή, που αντιπροσωπεύει έναν δρόμο, μπορεί να έχει μια καταχώρηση στη βάση δεδομένων για τον αριθμό του δρόμου ή το κυκλοφοριακό. Ένα πολύγωνο που αντιπροσωπεύει μια διοικητική μονάδα μπορεί να έχει καταχωρήσεις στη βάση δεδομένων για τα διάφορα κοινωνικοοικονομικά, περιβαλλοντικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά (Fotheringham *et al.* , 2000).



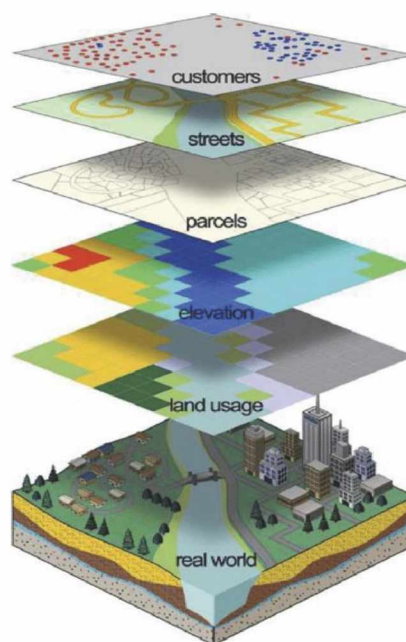
Εικόνα 7: Κατηγορίες χωρικών δεδομένων

Τα μη χωρικά ή περιγραφικά δεδομένα (attributes) είναι ποιοτικά ή ποσοτικά και περιγράφουν τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες ή τιμές των χωρικών δεδομένων στα οποία ανήκουν. Η εισαγωγή όλων αυτών των δεδομένων σε ένα σύστημα GIS επιτυγχάνεται με τη βοήθεια αριθμών, λέξεων, συμβόλων κ.τ.λ.

Ένα GIS οργανώνει και αποθηκεύει πληροφορίες για τον κόσμο ως μια συλλογή θεματικών στρωμάτων (information layers) που μπορούν να συνδεθούν γεωγραφικά. Κάθε στρώμα περιέχει στοιχεία που έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά, όπως δρόμους ή πόλεις που βρίσκονται εντός της ίδιας γεωγραφικής έκτασης. Συνήθως, στην αρχή τοποθετούνται τα σημειακά επίπεδα πληροφορίας, στη συνέχεια τα γραμμικά, τα επιφανειακά και τέλος τα ψηφιδωτά (Εικόνα 8). Αυτή η απλή αλλά εξαιρετικά ισχυρή και ευέλικτη ιδέα έχει αποδειχθεί ανεκτίμητη για την

επίλυση πολλών προβλημάτων, όπως την παρακολούθηση των οχημάτων παράδοσης.

Τα γεωγραφικά δεδομένα κατανέμονται στο χώρο και μεταβάλλονται στο χρόνο, είτε τόσο αργά, όπου και η μεταβολή δε λαμβάνεται υπ' όψιν, είτε πολύ γρήγορα, αποτελώντας έτσι σημαντική διάσταση των δεδομένων (Gold, 2006). Τα δεδομένα αυτά συχνά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: (1) στα φυσικά αντικείμενα (π.χ. σπίτια), (2) στις διοικητικές μονάδες (π.χ. ιδιοκτησίες, νομοί) και (3) στα γεωγραφικά φαινόμενα (π.χ. θερμοκρασία) (Maguire, 1991). Τα βασικά χαρακτηριστικά που περιγράφουν τις γεωγραφικές οντότητες σε ένα σύστημα είναι τα εξής (Rudnicki, 2003):



Εικόνα8: Επίπεδα πληροφορίας σε ένα GIS (πηγή: ResearchGate)

- ✓ *Ταυτότητα*: Παρέχει ένα μέσο αναφοράς στις γεωγραφικές οντότητες.
- ✓ *Χωρικά δεδομένα*: Περιγράφουν τα χωρικά χαρακτηριστικά των γεωγραφικών οντοτήτων.
- ✓ *Θεματικά δεδομένα*: Περιγράφουν τα μη-χωρικά χαρακτηριστικά των γεωγραφικών οντοτήτων.
- ✓ *Χρονικά δεδομένα*: Περιγράφουν τα χρονικά χαρακτηριστικά των γεωγραφικών οντοτήτων.
- ✓ *Ποιότητα δεδομένων*: Αποτελεί ένα μέτρο της ποιότητας των δεδομένων που συλλέγονται.
- ✓ *Δεδομένα πολυμέσων*: Αποτελούνται από ήχο, εικόνες, ή/και δεδομένα video, τα οποία συνοδεύουν τις γεωγραφικές οντότητες.

2.7.4 Ανθρώπινο Δυναμικό - Χρήστες

Τα συστήματα GIS έχουν περιορισμένη αξία χωρίς τους ανθρώπους που τα διαχειρίζονται και αναπτύσσουν σχέδια για την εφαρμογή του. Οι χρήστες του GIS κυμαίνονται από ειδικούς τεχνικούς που σχεδιάζουν και συντηρούν το σύστημα, σε εκείνους που το χρησιμοποιούν για να βοηθήσουν στην καθημερινή τους εργασία. Βασική προϋπόθεση είναι η συνεχής εκπαίδευση και ενημέρωση του ανθρώπινου δυναμικού μιας και η ανάπτυξη στον τομέα των GIS είναι ραγδαία και αδιάληπτη (Παππάς, 1998).

2.7.5 Δίκτυο

Αναφέρεται τόσο στο δίκτυο του υπολογιστή, όσο και στο διαδίκτυο. Το δίκτυο επιτρέπει την ταχεία επικοινωνία και την ανταλλαγή ψηφιακών πληροφοριών και έχει αποδειχθεί πολύ δημοφιλές ως όχημα για την παροχή εφαρμογών GIS. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα της πρόσβασης, προβολής και επεξεργασίας των GIS μέσω απομακρυσμένης σύνδεσης.

2.7.6 Διαδικασίες

Η ανάλυση GIS απαιτεί καλά καθορισμένες και συνεπείς μεθόδους για την παραγωγή σωστών και αναπαραγωγίμων αποτελεσμάτων. Οι διαδικασίες περιλαμβάνουν τη συλλογή δεδομένων, την εισαγωγή, την αποθήκευση, καθώς και την επεξεργασία τους. Περιλαμβάνουν, επίσης, τον έλεγχο κάλυψης των αναγκών και διατήρησης της ποιότητας των αποτελεσμάτων σε υψηλό επίπεδο (Longley *et al.*, 2015).

2.8 Βασικές λειτουργίες ενός GIS

Κατά τη διαδικασία της ανάλυσης που πραγματοποιείται από ένα λογισμικό GIS, τα δεδομένα μετατρέπονται σε πληροφορία, έτσι ώστε να υλοποιηθεί ο

απώτερος στόχος που είναι, συνήθως, η λύση ενός προβλήματος. Η όλη διαδικασία λαμβάνει χώρα μέσα από τέσσερις φάσεις: τη συλλογή/είσοδο των δεδομένων, την αποθήκευση και την ανάκτηση τους, την ανάλυση και την έξοδο.

2.8.1 Συλλογή, κωδικοποίηση και εισαγωγή δεδομένων

Οι μέθοδοι με τις οποίες γίνεται η συλλογή των δεδομένων που θα εισαχθούν σε ένα σύστημα GIS είναι ποικίλες. Υπάρχουν δυο βασικές πηγές από τις οποίες μπορούν να συλλεχθούν τα δεδομένα: οι πρωτογενείς πηγές δεδομένων, όπου τα δεδομένα συλλέγονται σε ψηφιακή μορφή, αποκλειστικά για χρήση από τα GIS, και οι δευτερογενείς πηγές δεδομένων, όπου τα δεδομένα συλλέγονται είτε από ψηφιακές είτε από αναλογικές βάσεις δεδομένων που είχαν κατασκευαστεί για άλλο σκοπό και τα οποία μετατρέπονται στη συνέχεια σε μορφή τέτοια, ώστε να μπορούν να επεξεργαστούν από τα συστήματα GIS. Βασικό κομμάτι της συλλογής των δεδομένων αποτελεί η αξιολόγηση τους, ώστε να επιλεγούν τα κατάλληλα.

Οι μέθοδοι εισαγωγής δεδομένων αφορούν διαδικασίες που δημιουργούν ψηφιακά χωρικά δεδομένα. Με άλλα λόγια, αναφέρεται σε διάφορους μηχανισμούς στους οποίους δημιουργείται ψηφιακή αναπαράσταση χωρικών δεδομένων όπως δρόμοι, κτίρια, χώροι στάθμευσης κ.α. Η ψηφιοποίηση αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία, κατά την οποία χαρακτηριστικά ενός χάρτη αποτυπώνονται σε έναν πίνακα ψηφιοποίησης. Η ψηφιακή αναπαράσταση αυτών των χωρικών δεδομένων αποθηκεύεται έπειτα σε μια βάση δεδομένων GIS (Κουτσόπουλος, 2005).

Τα βασικά στάδια που ακολουθούνται κατά τη διαδικασία συλλογής και εισαγωγής δεδομένων σε ένα σύστημα GIS είναι τα εξής:

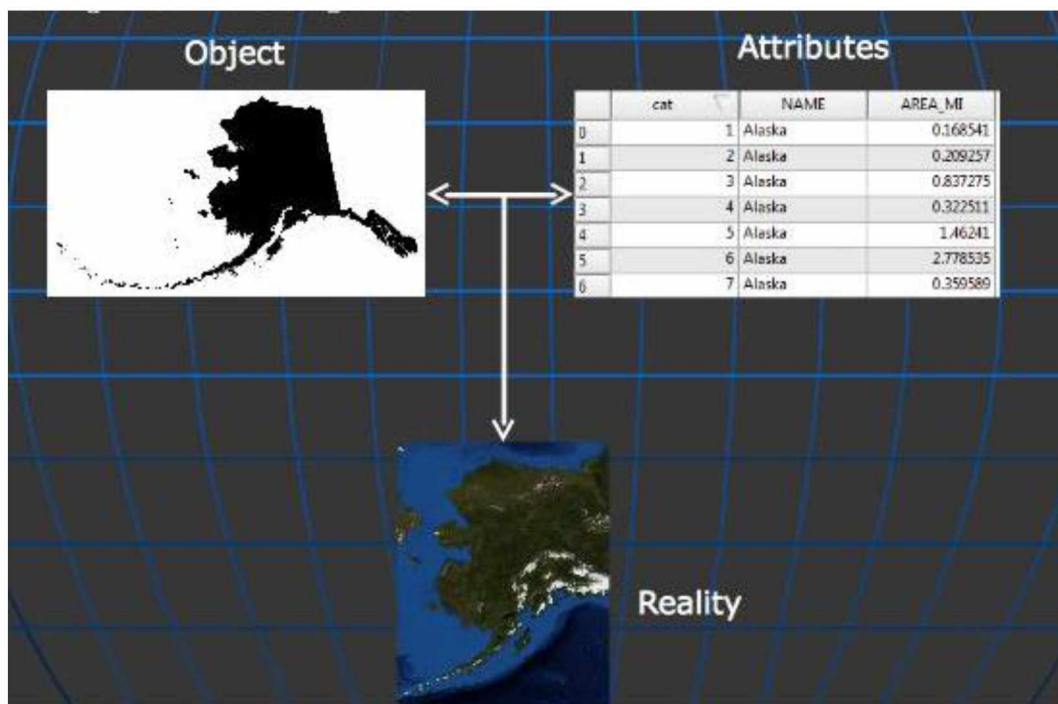
- ✓ *Σχεδιασμός*: καθορισμός απαιτήσεων των χρηστών, συγκέντρωση πηγών, ανάπτυξη σχεδίου.
- ✓ *Προετοιμασία*: λήψη δεδομένων, αναδιαμόρφωση χαρτών κακής ποιότητας, επεξεργασία σαρωμένων εικόνων χάρτη, αφαίρεση «θορύβου», δημιουργία

κατάλληλων συστημάτων υλικού και λογισμικού GIS για την αποδοχή δεδομένων.

- ✓ *Ψηφιοποίηση και μεταφορά δεδομένων:* τα στάδια στα οποία θα δαπανηθεί το μεγαλύτερο μέρος της προσπάθειας.
- ✓ *Επεξεργασία:* τεχνικές για τη βελτίωση και την επικύρωση δεδομένων, καθώς και για εντοπισμό σφαλμάτων και τη βελτίωση της ποιότητας.
- ✓ *Αξιολόγηση:* η διαδικασία προσδιορισμού επιτυχιών και αποτυχιών της διαδικασίας.

2.8.2 Αποθήκευση, διαχείριση και ανάκτηση δεδομένων

Η αποθήκευση και διαχείριση των δεδομένων γίνεται με τη χρήση Συστημάτων Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (DataBase Management Systems-DBMS) (Τσολάκης, 2013) και μοντέλων δεδομένων (geospatial data model), τα οποία έχουν ως στόχο την οργάνωση και την απεικόνιση των δεδομένων σε μια απλοποιημένη αναπαράσταση της πραγματικότητας (Μανιάτης, 1993). Προκειμένου να καταστεί δυνατή η περιγραφή της πραγματικότητας, έχει γίνει κοινά αποδεκτό ότι αυτή απαρτίζεται από ένα σύνολο διακριτών μονάδων, οι οποίες ταυτόχρονα βρίσκονται σε συσχέτιση μεταξύ τους, που ονομάζονται οντότητες (π.χ. κτίρια, σπίτια, δρόμοι). Ένα μοντέλο δεδομένων αποτελείται από το αντικείμενο (object) και τον πίνακα (attribute) (Dangermond, 2009, Donaldson, 2001, Gold, 2006). Τα δύο αυτά στοιχεία μαζί αποτελούν μια απλοποιημένη αναπαράσταση της πραγματικότητας, με το πρώτο να αναπαριστά τη γεωμετρία του χωρικού φαινομένου, ενώ ο δεύτερος περιέχει τις περιγραφικές πληροφορίες ή τα χαρακτηριστικά αυτού (Εικόνα9).



Εικόνα9: Συστατικά μέρη ενός μοντέλου δεδομένων (πηγή: learn.canvas.net, Introduction to Geospatial Data Models)

Ο πιο συνηθισμένη μορφή που αποθηκεύονται τα δεδομένα είναι ένας πίνακας εγγραφών (Εικόνα 10), στον οποίο οι γραμμές αντιστοιχούν στις οντότητες και οι στήλες στα περιγραφικά χαρακτηριστικά κάθε οντότητας (Μανιάτης 1993).

FID	Parcel ID	Zoning	Address	Zip Code	State	Tax Region
0	8618306030	Residential	7228 STREAMSIDE DR	80525	CO	2101
1	9824125001	Residential	7605 S. COLINTY RD 13	80527	CO	2019
2	8618306004	Residential	7318 SILVER MOON LN	80525	CO	2101
3	8618306026	Residential	7319 SILVER MOON LN	80525	CO	2101
4	8618406075	Residential	1855 STREAMSIDE DR	80525	CO	2100
5	8618306052	Residential	1300 STREAMSIDE CT	80525	CO	2101
6	8618306032	Residential	7312 STREAMSIDE DR	80525	CO	2101
7	8618310073	Residential	1608 GREENSTONE TR	80525	CO	2100
8	8618306015	Residential	1401 WHITE PEAK CT	80525	CO	2101
9	8618306014	Residential	7507 GREENSTONE TR	80525	CO	2101
10	8618306042	Residential	7514 OLD HILL CT	80525	CO	2101
11	8618306043	Residential	7515 OLD HILL CT	80525	CO	2101
12	8618306062	Residential	7119 SILVER MOON LN	80525	CO	2101
13	8618306064	Residential	7513 SILVER MOON LN	80524	CO	2100

Εικόνα10: Πίνακας εγγραφών (πηγή: ArcGIS Desktop)

Οι πίνακες εγγραφών, χαρακτηρίζονται από της ευελιξία τους, μιας και είναι εφικτός ο συνδυασμός πολλών στοιχείων, η αναζητήσή και η προσθαφαίρεσή τους,

με αποτέλεσμα ο πίνακας να ενημερώνεται αυτόματα σε περίπτωση που εισαχθεί, διαγραφεί ή αλλάξει κάποιο από τα δεδομένα του.

Η ανάκτηση των δεδομένων για μια οντότητα μπορεί να γίνει απλά με την επιλογή των συγκεκριμένων δεδομένων. Στην περίπτωση που γίνει επιλογή περισσότερων οντοτήτων, το GIS μπορεί να επεξεργαστεί τις αντίστοιχες γραμμές της βάσης δεδομένων και να εξάγει πληροφορίες από το συνδυασμό αυτών.

2.8.3 Επεξεργασία, ανάλυση και μοντελοποίηση δεδομένων

Μια από τις κύριες λειτουργίες των GIS είναι η επίλυση προβλημάτων και η λήψη αποφάσεων. Επομένως, γίνεται αντιληπτό ότι στον πυρήνα των συστημάτων GIS βρίσκεται η χωρική ανάλυση, καθώς αυτή περιλαμβάνει όλες τις λειτουργίες, τις μεθόδους και τους χειρισμούς που εφαρμόζονται στα γεωγραφικά δεδομένα (Goodchild, 1992). Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την επεξεργασία των δεδομένων με αποτέλεσμα τη μεταβολή τους, τη δημιουργία νέων δεδομένων ή τη διατύπωση πορισμάτων (Στεφανάκης, 2003). Οι βασικές τεχνικές ανάλυσης που υπάρχουν είναι οι εξής: η επιλογή, η ανάλυση εγγύτητας, οι λειτουργίες επικάλυψης, η διάσπαση-ενοποίηση και οι λειτουργίες πίνακα.

1. *Επιλογή (selection)*

Αποτελεί μια βασική μέθοδο ανάλυσης δεδομένων και μια από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες. Κατά τη λειτουργία αυτή εντοπίζονται αντικείμενα που ικανοποιούν ορισμένα κριτήρια. Αφού ο χρήστης θέσει μια προϋπόθεση, καθορίζοντας έτσι ένα ποιοτικό ή ποσοτικό χαρακτηριστικό, το σύστημα επιλέγει από τη βάση δεδομένων τα στοιχεία που περιέχουν το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό.

2. *Ανάλυση Εγγύτητας*

Οι αναλύσεις εγγύτητας εστιάζουν στη θέση και στην απόσταση. Οι πιο γνωστές αναλύσεις εγγύτητας είναι η λειτουργία ζώνης, τα διαγράμματα Voronoi, η εγγύτητα και η απόσταση από σημείο.

Λειτουργία ζώνης (buffering): Για κάθε αντικείμενο που υπάρχει στη βάση δεδομένων δημιουργείται ένα νέο πολύγωνο που περιέχει τις περιοχές που απέχουν συγκεκριμένη απόσταση από το αρχικό αντικείμενο (Longley *et al.*, 2015).

Διαγράμματα Voronoi: Δημιουργούνται γύρω από ένα σύνολο σημείων με σκοπό η περιοχή μέσα σε κάθε πολύγωνο να είναι η πλησιέστερη στο σημείο που περιέχει, σε σχέση με κάθε άλλο σημείο (χρησιμοποιούνται για τη διαφοροποίηση μιας επιφάνειας σε υποπεριοχές).

Εγγύτητα: Είναι εφικτή η αναζήτηση του πλησιέστερου σημείου ή γραμμής από ένα άλλο σημείο και ο υπολογισμός της μεταξύ τους απόστασης, όταν τα σημεία βρίσκονται σε διαφορετικά θεματικά επίπεδα.

Απόσταση από σημείο: Υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ σημείων που βρίσκονται είτε στο ίδιο είτε σε διαφορετικό θεματικό επίπεδο.

3. Λειτουργίες Επικάλυψης (*overlay operations*)

Άλλη μια λειτουργία ανάλυσης είναι αυτή της επικάλυψης θεματικών πεδίων, η οποία περιλαμβάνει είτε την επικάλυψη μεταξύ πολυγώνων, είτε την επικάλυψη ανάμεσα σε πολύγωνα και σημεία ή γραμμές (Τσολάκης, 2013).

Επικάλυψη πολυγώνων: Προσδιορισμός της επικάλυψης δυο πολυγώνων και υπολογισμός του εμβαδού της επικάλυψης.

Επικάλυψη σημείων ή γραμμών με πολύγωνα: Χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί αν ένα σημείο ή γραμμή βρίσκεται μέσα ή έξω από ένα πολύγωνο

4. Διάσπαση – ενοποίηση πολυγώνων (*dissolve operations*)

Γίνεται απαλοιφή των ορίων μεταξύ πολυγώνων που μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά (Υφαντής & Σαββαΐδης, 2004).

5. Λειτουργίες πίνακα (*table operations*)

Αποτελεί μια σημαντική λειτουργία ανάλυσης, με την οποία ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να συνδυάζει διαφορετικούς πίνακες εγγραφών.

Πέραν, όμως, από τις πέντε βασικές λειτουργίες ανάλυσης υπάρχουν και άλλες που δεν τροποποιούν τα δεδομένα ή δεν παράγουν νέα. Χαρακτηριστικό

παράδειγμα αποτελούν οι μετρήσεις, οι οποίες είναι απλές αριθμητικές τιμές που περιγράφουν τα γεωγραφικά δεδομένα, όπως το μήκος, το εμβαδόν, η περίμετρος κ.α.

2.8.4 Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων

Καθοριστικής σημασίας φαίνεται ότι αποτελεί και το βήμα της εξαγωγής και παρουσίασης των δεδομένων, μιας και διαδραματίζει βασικό ρόλο στη μετάδοση της παραγόμενης πληροφορίας. Σε ένα GIS, οι πληροφορίες μπορούν να οπτικοποιηθούν σε τρεις βασικές μορφές: στους πίνακες, τις μαθηματικές συναρτήσεις και τους μέσους όρους, στα ιστογράμματα και τα γραφήματα και τέλος στους χάρτες. Όλοι οι αναφερόμενοι τρόποι εξόδου της πληροφορίας είναι ιδιαίτερα σημαντικοί και χρήσιμοι, ωστόσο ο χάρτης θεωρείται αποτελεσματικότερο μέσο μετάδοσης (Κουτσόπουλος, 2005).

Τα GIS δίνουν την δυνατότητα απεικόνισης όλων των στοιχείων που διαθέτουν σε έναν χάρτη, στον οποίο ο χρήστης μπορεί να διαμορφώσει όλα τα υπόλοιπα στοιχεία του, όπως π.χ. την κλίμακα, το υπόμνημα, τον προσανατολισμό, το συμβολισμό κ.λπ. (Καρανικόλας, 2007). Τα αποτελέσματα των διαφόρων αναλύσεων μπορούν να αποτυπωθούν είτε σε αναλογικό, είτε σε ψηφιακό χάρτη. Οι αναλογικοί χάρτες μπορούν να εκτυπωθούν μέσω συσκευών εξόδου, όπως εκτυπωτές ή σχεδιαστές, ενώ οι ψηφιακοί χάρτες θα είναι είτε στατικοί είτε διαδραστικοί.

Ο αναλογικός χάρτης είναι ένας χάρτης που κατά κύριο λόγο είναι σχεδιασμένος σε χαρτί και έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως η εύκολη μεταφορά, το χαμηλό κόστος παραγωγής και ότι η ανάγνωσή του δεν απαιτεί κάποιον εξοπλισμό. Παρόλα αυτά, αυτός ότι δεν μπορεί να ενημερωθεί, δεν μπορεί να περιέχει δυναμικά δεδομένα που αλλάζουν στη διάρκεια του χρόνου και είναι κατασκευασμένος σε κλίμακα, χαρακτηριστικά που αποτελούν σημαντικά μειονεκτήματα αυτής της μορφής χάρτη. Ο ψηφιακός χάρτης, από την άλλη, αποθηκεύεται στον υπολογιστή και μπορεί να διαβαστεί σε μια συσκευή εξόδου, όπως η οθόνη ενός υπολογιστή, ενός tablet ή κινητού. Επιπλέον, αυτός

ενημερώνεται εύκολα, μπορεί να υποστηρίξει κίνηση και η κλίμακα του μπορεί να αλλάξει. Μειονεκτήματα του ψηφιακού χάρτη είναι ότι χρειάζεται εξοπλισμό σε υλικό (hardware) και λογισμικό (software) για να διαβαστεί. Οι ψηφιακοί χάρτες μπορεί να είναι είτε στατικοί (static) είτε διαδραστικοί (dynamic).

Στατικοί χάρτες: Ένας χάρτης που έχει κατασκευαστεί σε ένα GIS μπορεί να αποδοθεί σε μορφή εικόνας (GIF, JPEG, PNG) ή σε μορφή PDF. Τα PDF (Portable Document Format) είναι ένας τύπος αρχείου που εκτός από εικόνες, υποστηρίζει και την απεικόνιση δεδομένων με γραμμική μορφή (Τζελέπης, Κρασανάκης, Νάκος 2014). Οι χάρτες που αποθηκεύονται σε αυτές τις μορφές είναι στατικοί, δηλαδή δεν μπορούν να υποστούν επεξεργασία.

Διαδραστικοί χάρτες: Οι χάρτες που δημιουργούνται από ένα σύστημα GIS μπορούν να περαστούν σε ψηφιακές πλατφόρμες με τη χρήση του διαδικτύου (Web-based GIS). Η χρήση του διαδικτύου για τη διάδοση των χαρτών ίσως αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα επιτεύγματα της χαρτογραφίας (Van Elzakker, 2014). Η διάδοση των χαρτών είναι πλέον πιο οικονομική, όπως επίσης και οι ενημερώσεις των δεδομένων τους, ενώ ακόμα έχει αυξηθεί η ποικιλία όσων αφορά το περιεχόμενο τους. Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο κερδίζουν έδαφος οι διαδραστικοί χάρτες, οι οποίοι επιτρέπουν στο χρήστη να αλληλοεπιδράσει μαζί τους (Νάκος & Κρασανάκης 2013).

3.Επίδραση στον Ευρωπαϊκό χώρο

Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας σε όλη την Ευρώπη είναι ένα αποδεδειγμένο φαινόμενο όπως έχει καταγραφεί από τη μελέτη “Climate change, impacts and vulnerability in Europe” (Hans-Martin *et al.*, 2012). Άμεση απόρροια της κλιματικής αλλαγής αποτελούν τα ακραία καιρικά φαινόμενα της τελευταίας δεκαετίας. Έντονοι καύσωνες, καταστροφικές πυρκαγιές, αλλά, και μεγάλες πλημμύρες έχουν προκαλέσει πολλούς θανάτους, ζημιές ανυπολόγιστης αξίας και καταστροφή του οικοσυστήματος.

Είναι φανερό πως μια άμεση απόφαση για την από κοινού αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής ήταν αναγκαία (Medhaug, Stolpe, Fischer, & Knutti, 2017). Για το λόγο αυτό, στις 22 Απριλίου του 2016 στο Παρίσι, υπογράφηκε από όλες εκτός από τρεις χώρες παγκοσμίως η συμφωνία για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Στόχος της συμφωνίας αυτής είναι ο περιορισμός της αύξησης της θερμοκρασίας της Γης σε λιγότερο από 2 βαθμούς Κελσίου μέχρι το 2100, μέσω της μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 20% (UNFCC, 2015).

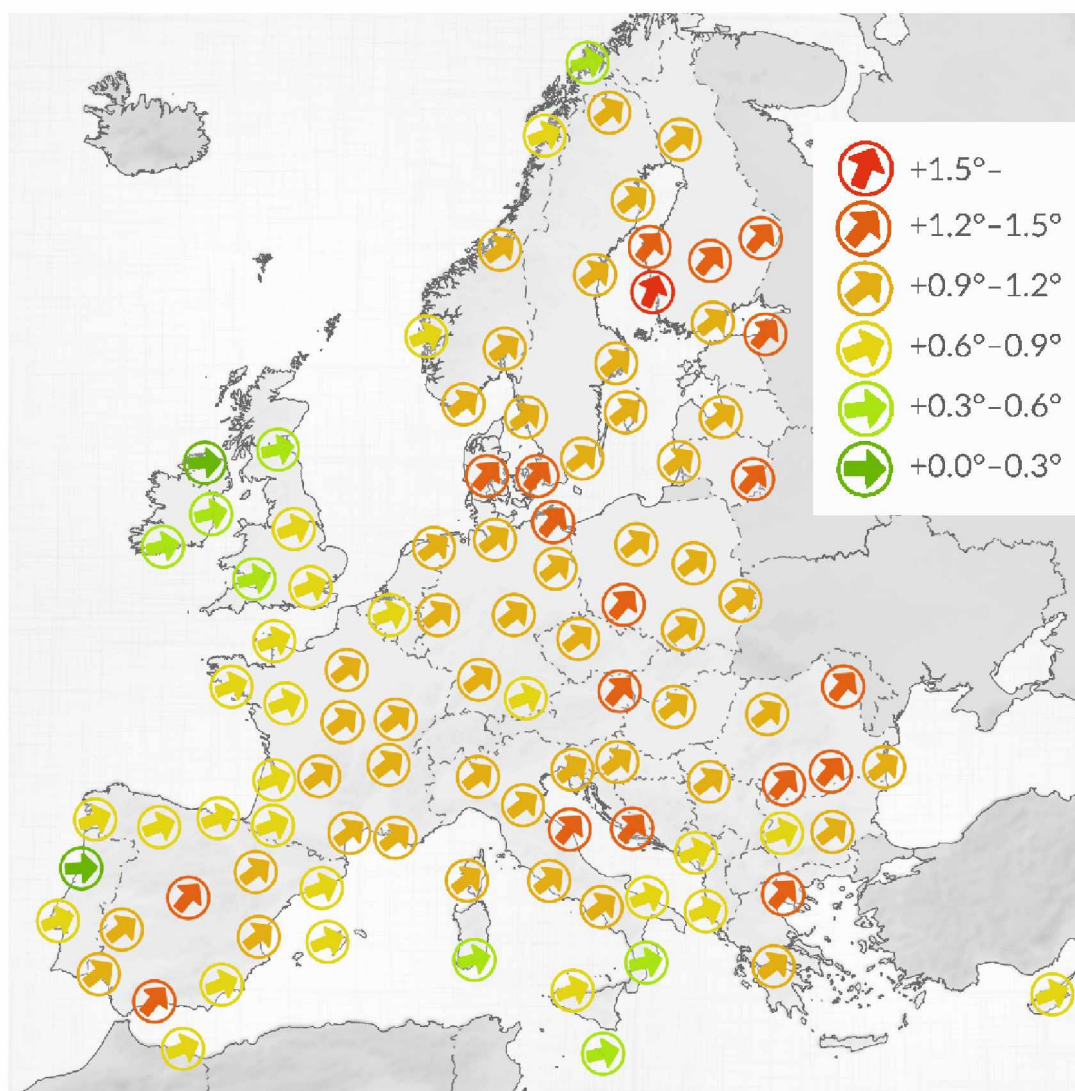
3.1. Παρατηρούμενη αλλαγή του κλίματος

3.1.1 Αύξηση της μέσης θερμοκρασίας

Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας στην Ευρώπη τη δεκαετία 2006-2016 κατά 1,1 °C σε σχέση με την προ-Βιομηχανική περίοδο, την καθιστά την πιο θερμή όλων των εποχών (Suarez-Gutierrez, Li, Muller A., & Marotzke, 2018). Το 2003 η Ευρωπαϊκή ήπειρος ήρθε αντιμέτωπη με το πιο ζεστό καλοκαίρι των τελευταίων 500 ετών. Για την Ελλάδα, το θερμότερο καλοκαίρι από το 1891 ήταν αυτό του 2007, το οποίο προκάλεσε καταστροφικές πυρκαγιές που έπληξαν τη χώρα. Επίσης, στη Γαλλία το 2011 η θερμότερη και ξηρότερη άνοιξη από το 1880, επέφερε καταστροφές στις καλλιέργειες καταστρέφοντας έως και το 12% αυτών. Τέλος, και η Αγγλία ήρθε αντιμέτωπη με τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής, μιας και το 2000 καταγράφηκαν τα υψηλότερα ποσοστά υγρασίας από το 1766, γεγονός που

επέφερε καταστροφές πολλών δισεκατομμυρίων λιρών. Εννέα από τα δώδεκα θερμότερα έτη που κατεγράφησαν από το 1850, συνέβησαν μεταξύ 1998 και 2009, ενώ το 2007 ήταν το θερμότερο έτος, με περίπου 1,5 °C αύξηση της μέσης θερμοκρασίας σε σχέση με τη προ-βιομηχανική περίοδο. Επίσης και το έτος 2009 έχει καταγραφεί ως το τρίτο πιο θερμό έτος στην ιστορία, με αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά 1,3 °C από την προ-βιομηχανική περίοδο. Τέλος, ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης, υπολογίζεται σε 0,10 °C με 0,24 °C ανά δεκαετία (Van Oldenborgh *et al.*, 2009).

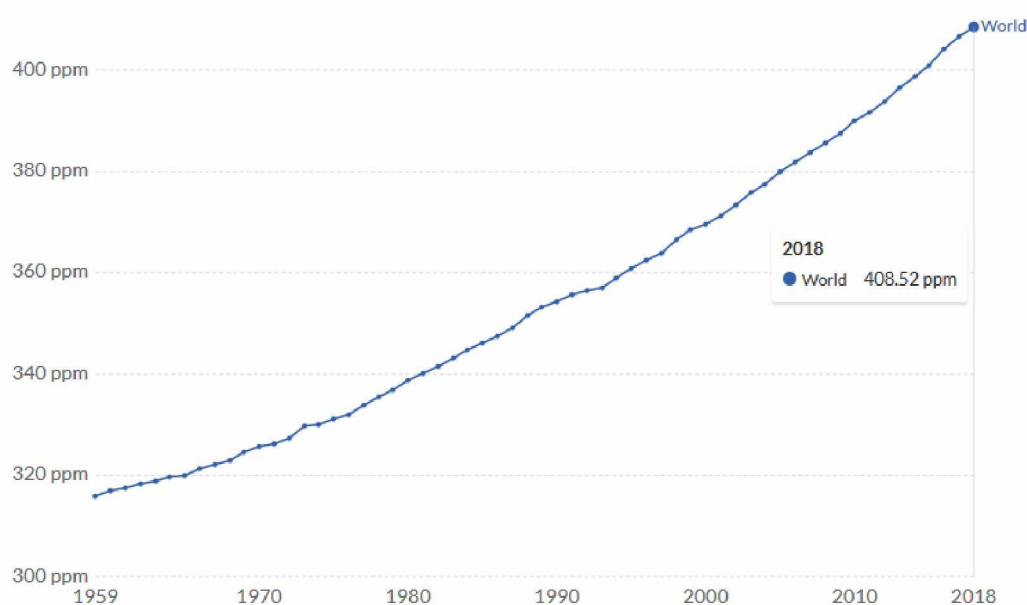
Γεωγραφικά, μεγάλη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας έχει παρατηρηθεί στην Ιβηρική χερσόνησο, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 11, αλλά και στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη και στις ορεινές περιοχές (Haylock *et al.*, 2008)



Εικόνα 11: Αύξηση της μέσης θερμοκρασίας σε Ευρωπαϊκές πόλεις σε σχέση με τον προηγούμενο αιώνα (πηγή: Kayser-Bril, 2018)

3.1.2 Αύξηση αερίων του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι η διαδικασία κατά την οποία η ακτινοβολία θερμαίνει την επιφάνεια της γης, λόγω συσσώρευσης αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Η ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια, οφείλεται κατά ένα μεγάλο βαθμό σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Hans-Martin *et al.*, 2012). Κυριότερος παράγοντας αύξησης του, είναι η αύξηση των ποσοστών του διοξειδίου του άνθρακα, αλλά και άλλων αερίων όπως το μεθάνιο και το μονοξείδιο του αζώτου.



Εικόνα 12: Παγκόσμια συγκέντρωση ατμοσφαιρικού CO₂ (πηγή: NOAA/ESRL 2018)

Σύμφωνα με την Εικόνα 12, είναι φανερή η παγκόσμια αύξηση των επιπέδων CO₂ της ατμόσφαιρας. Η αύξηση κατά 90.07 ppm από το 1959 μπορεί να αποδοθεί στους εξής παράγοντες (European Environmental Agency):

- Ενέργεια καυσίμων
- Βιομηχανική δραστηριότητα
- Γεωργία
- Διαχείριση αποβλήτων

Η αύξηση αυτή συνδέεται άμεσα με την αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας. Είναι φανερό, λοιπόν πως η μείωση των επιπέδων εκπομπών CO₂

είναι επιτακτική ανάγκη για την αποφυγή και της θερμοκρασιακής αύξησης. Ήδη, το 2017 παρατηρήθηκε μείωση των επιπέδων στις χώρες της Ευρωπαϊκής ένωσης (Εικόνα 13). Το ποσοστό μείωσης έφτασε το 22% σε σχέση με το 1990 (EUROSTAT).



Εικόνα 13: Επίπεδα εκπομπών CO₂ της EU-28 (πηγή: EUROSTAT)

4. Απεικόνιση δεδομένων υγρασίας στον Ευρωπαϊκό χώρο

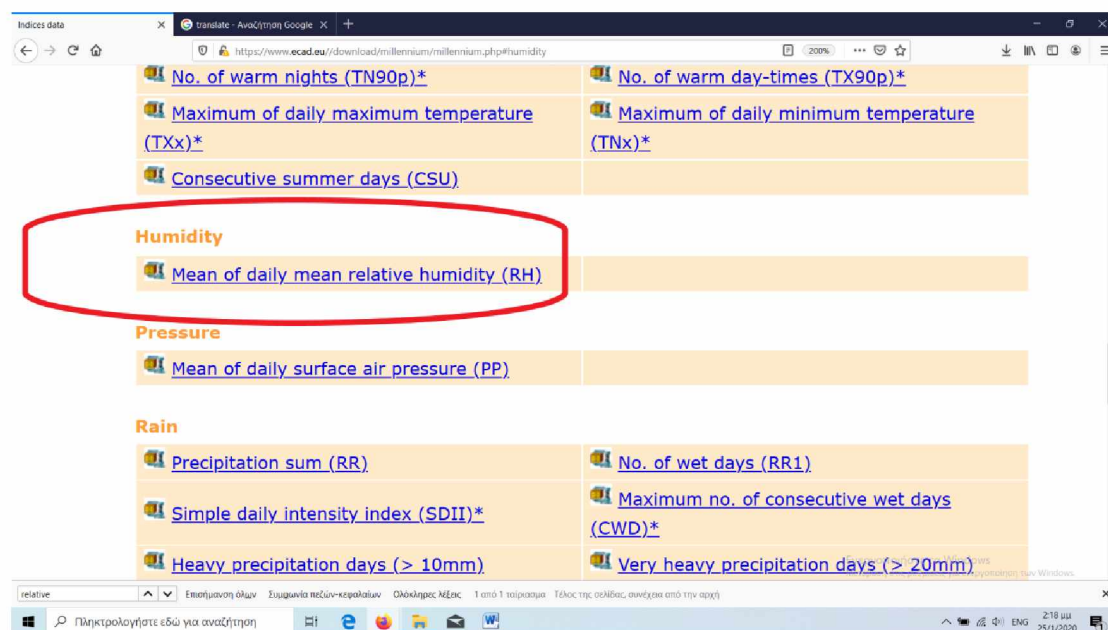
Στον παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η απεικόνιση των δεδομένων υγρασίας που συλλέχθηκαν από το διαδικτυακό τόπο www.ecad.eu με τη χρήση του προγραμματιστικού περιβάλλοντος RStudio. Αρχικά, θα παρουσιαστεί συνοπτικά το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί και η μεθοδολογία, ενώ στη συνέχεια θα παρατεθούν τα εξαγόμενα διαγράμματα τα οποία και θα σχολιάζονται.

Παρακάτω παρατίθενται οι Εικόνες 14 και 15 που παρουσιάζουν τις πηγές από τις οποίες αντλήσαμε τα δεδομένα μας:



Εικόνα 14: Ηλεκτρονική σελίδα ([ecad.eu](https://www.ecad.eu)) από την οποία αντλήσαμε τα δεδομένα μας

Επιλέγοντας την καρτέλα Daily data πήραμε τις παρατηρήσεις από το αρχείο που φαίνεται κυκλωμένο στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 15: Σύνδεσμος παρατηρήσεων σχετικής υγρασίας

4.1 Γλώσσα προγραμματισμού R και λογισμικό RStudio

Η R αποτελεί μία γλώσσα προγραμματισμού ανοιχτού κώδικα που παρέχει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον εργασίας για τη διαχείριση, επεξεργασία και απεικόνιση δεδομένων. Έχει πολλές ομοιότητες με το περιβάλλον της S, η οποία δημιουργήθηκε στα εργαστήρια Bell. Διαθέτει διάφορες ενσωματωμένες βιβλιοθήκες που διευκολύνουν τη διαδικασία της στατιστικής ανάλυσης. Κάποια από τα εργαλεία που διαθέτει είναι:

- Η δημιουργία τυχαίων δειγμάτων
- Η διαχείριση συνεχών και διακριτών μεταβλητών
- Τα στατιστικά τεστ και οι έλεγχοι υποθέσεων
- Η δημιουργία γραφημάτων

Αποτελεί ένα GNU λογισμικό, δηλαδή δίνεται η δυνατότητα βελτίωσης του πηγαίου κώδικα από τον κάθε χρήστη. Αυτός είναι και ο λόγος που έχουν γίνει αρκετές και σημαντικές βελτιώσεις από τότε που εμφανίστηκε.

Η R έχει σχεδιαστεί γύρω από μια γλώσσα προγραμματισμού και επιτρέπει στους χρήστες να προσθέσουν επιπλέον λειτουργικές δυνατότητες, όπως

προαναφέρθηκε. Για εργασίες μεγάλου υπολογιστικού φόρτου δίνεται η δυνατότητα διασύνδεσης με κομμάτια κώδικα C, C++ και FORTRAN. Οι έμπειροι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να διαχειρίζονται τα αντικείμενα της R μέσω προγραμματισμού σε γλώσσα C.

Η R project παρότι δεν ανήκει στη στενή οικογένεια των GIS παρέχει εν τούτοις τη δυνατότητα για απεικόνιση, χαρτογράφηση και μοντελοποίηση γεωγραφικών δεδομένων.

Σε γενικές γραμμές, η R είναι μια καλά ανεπτυγμένη γλώσσα προγραμματισμού που εστιάζει στην απλότητα και την αποτελεσματικότητα. Πολλοί χρήστες τη θεωρούν ένα σύστημα στατιστικής ανάλυσης. Ωστόσο, η R συνιστά περισσότερο ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον δυνατοτήτων που μπορεί να επεκταθεί με τη προσάρτηση διάφορων πακέτων. Κάποια από αυτά τα πακέτα είναι ήδη ενσωματωμένα στο περιβάλλον, ενώ άλλα είναι διαθέσιμα προς εγκατάσταση από την οικογένεια διαδικτυακών τόπων CRAN. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία πακέτων που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και αναγκών.

Το RStudio αποτελεί το IDE (Integrated Development Environment) περιβάλλον της R, το οποίο και θα χρησιμοποιηθεί για τους σκοπούς της εργασίας, επειδή συνιστά τον πλέον φιλικό προς τον χρήστη τρόπο αξιοποίησης των δυνατοτήτων της R.

Το πρόγραμμα ανοίγει με διπλό κλικ στο εικονίδιο RStudio. Η κεντρική οθόνη του προγράμματος φαίνεται στην Εικόνα . Τα βασικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνει είναι το πεδίο Console, το οποίο είναι το παράθυρο εντολών και παρουσιάζει την πρόσφατη ιστορία των εντολών που έχουν δοθεί, αλλά και την δυνατότητα εισαγωγής νέας εντολής, το πεδίο Environment, στο οποίο εμφανίζονται όλες οι μεταβλητές και τα δεδομένα που έχουν παραχθεί κατά τη διάρκεια της εργασίας του χρήστη, το πεδίο History που περιλαμβάνει την αλληλουχία εντολών που έχουν εκτελεστεί και το κάτω δεξιά παράθυρο στο οποίο ο χρήστης μπορεί να δει το φάκελο στον οποίο εργάζεται και τα αρχεία που περιλαμβάνει (work directory), να προσθέσει μέσω του user interface (χωρίς εντολή) διάφορα πακέτα (packages) των οποίων τις βιβλιοθήκες μπορεί να ενεργοποιήσει στην εργασία του με ένα απλό

τσεκάρισμα, να απεικονίσει διάφορα διαγράμματα, γραφήματα ή οποιοδήποτε γραφικό αποτέλεσμα προκύψει από την εργασία του, καθώς και να αναζητήσει βοήθεια (help) για κάποιο πρόβλημα που συνάντησε.

Ο χρήστης μπορεί να τερματίσει την εργασία του όποτε επιθυμεί και το λογισμικό προβλέπει να τον ρωτήσει αν θέλει να αποθηκεύσει την πρόοδο της. Αυτό είναι ένα ιδιαίτερα χρήσιμο στοιχείο του προγράμματος, καθώς ο χρήστης μπορεί να επανέλθει στο στάδιο στο οποίο σταμάτησε την εργασία του την τελευταία φορά δίχως να πρέπει να κάνει κάποιες από τις ενέργειες αρχικοποίησης της.

Το λογισμικό μπορεί να επιτελέσει πολλές λειτουργίες, από τις πλέον απλές, όπως αριθμητικές πράξεις με συνήθεις τελεστές στην προγραμματιστική λογική, μέχρι λίγο πιο σύνθετες, όπως να εκτελέσει ενσωματωμένες συναρτήσεις που αυτοματοποιούν πιο σύνθετες αριθμητικές πράξεις, για παράδειγμα την τετραγωνική ρίζα (εντολή `sqrt()`), αλλά και πολύ πιο σύνθετες, οι οποίες συνήθως απαιτούν την χρήση – φόρτωση – αξιοποίηση πακέτων και βιβλιοθηκών.

4.2 Συλλογή δεδομένων σχετικής υγρασίας

Οι μετρήσεις που αξιοποιήθηκαν προς ανάλυση στην παρούσα εργασία αφορούν την σχετική υγρασία στον Κεντρικό Ευρωπαϊκό χώρο για τα έτη 1970 – 2018. Οι σταθμοί από τους οποίους συλλέχθηκαν οι μετρήσεις βρίσκονται κατά κύριο λόγο στην Κεντρική Ευρώπη σε ύψη, γεωγραφικά μήκη και πλάτη που ποικίλουν. Οι μετρήσεις λαμβάνονται ως ο μέσος όρος σχετικής υγρασίας που μετρήθηκε ανά μήνα σε κάθε σταθμό. Για τους υπολογισμούς και την αρχειοθέτηση των μετρήσεων αξιοποιήθηκαν τα εργαλεία του Microsoft Excel. Αυτοί οι υπολογισμοί αφορούν την κατηγοριοποίηση των δεδομένων στις εξής κατηγορίες (που αποτελούν και τις στήλες δεδομένων του αρχείου excel):

- Γεωγραφικό μήκος (Longitude)
- Γεωγραφικό πλάτος (Latitude)
- Ύψος (Altitude)

- Στήλες που περιέχουν τη μέση τιμή υγρασίας για κάθε μήνα του χρόνου
- Τη μέγιστη τιμή υγρασίας κάθε σταθμού (Max)
- Την ελάχιστη τιμή υγρασίας κάθε σταθμού (Min)
- Τη διαφορά μέγιστης και ελάχιστης τιμής υγρασίας (Amplitude)
- Ο μήνας στον οποίο παρατηρήθηκε η μέγιστη τιμή (Month of Max)
- Ο μήνας στον οποίο παρατηρήθηκε η ελάχιστη τιμή (Month of Min)

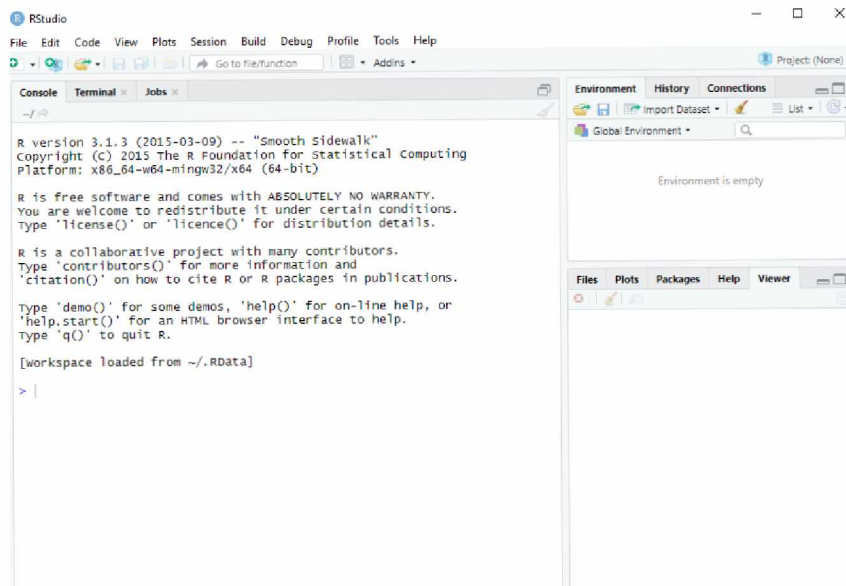
Τα παραπάνω δεδομένα εξήχθησαν από ένα ευρύτερο δίκτυο καταγραφής υγρασίας που εκτείνεται από την Ευρώπη ως την Ασία και την Αφρική. Ελήφθησαν σε μορφή txt, στην οποία τα παρέχει ο εγκεκριμένος δικτυακός τόπος www.ecad.eu, όπου συγκεκριμένα μεταβήκαμε στην καρτέλα με την ονομασία “daily data” και εξάγουμε τα συγκεντρωτικά δεδομένα ([Download predefined sets of aggregated indices data \(ASCII\)](#)) που αφορούν την σχετική υγρασία. Τα αρχεία περιείχαν τα στοιχεία που αφορούσαν τις συντεταγμένες κάθε σταθμού, το ύψος και τις τιμές υγρασίας μηνιαία.

Μέσω της διαδικασίας μεταφοράς των δεδομένων που περιέχονταν στα παραπάνω txt αρχεία στα φύλλα εργασιών του excel συλλέχθηκαν τα απαιτούμενα στοιχεία για τη διεξαγωγή της ανάλυσης. Αρκετά σημαντικό πρόβλημα προέκυψε κατά τη διάρκεια αναζήτησης δεδομένων σε πολλούς σταθμούς, καθώς αρκετοί ήταν αυτοί που δεν έδιναν αποτελέσματα για το διάστημα που μας ενδιέφερε. Γι’ αυτό και η ανάλυση περιορίστηκε στην Κεντρική Ευρώπη, όπου οι σταθμοί έδιναν τις καλύτερες δυνατές μετρήσεις για το χρονικό διάστημα αναφοράς, ώστε να καταστεί δυνατή η εξαγωγή ασφαλών και ορθών συμπερασμάτων.

4.2.1 Χαρτογράφηση σημειακών παρατηρήσεων – Χωρική κατανομή

Η ερευνητική διαδικασία και η καταγραφή των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε μέσω του R Studio. Αφού έχει γίνει εγκατάσταση του προγράμματος στον υπολογιστή που θα αναλυθούν τα αποτελέσματα, ανοίγει η

εφαρμογή από τον χρήστη οπότε και παρατηρείται η παρακάτω επιφάνεια εργασίας (Εικόνα 16):



Εικόνα 16: Επιφάνεια εργασίας RStudio

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται μια μετατροπή του αρχείου Excel με τις μετρήσεις σχετικής υγρασίας, σε αρχείο .csv ώστε να μπορέσει να διαβαστεί από το R Studio. Ενδεικτικά, παρατηρείται το παρακάτω αρχείο (Εικόνα 17):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Latitude	Longitude	Altitude	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Max	Min	Amplitude	Month of	Month of	Min
2	44.83	-0.69	47	8634.75	8146.94	7554.625	7189.31	7345.17	7219.46	7266.23	7225.94	7577.13	8249.81	8598.17	8723.54	8723.54	7166.23	1557.9125	12	7	7
3	46.86	1.74	158	8774.35	8415.44	7760.8542	7441.81	7587.87	7281.44	6826.88	6854.8	7496.5	8336.96	8778.63	8893.56	8893.56	6626.88	2066.685	12	8	8
4	48.82	2.88	75	8226.27	7774.92	7182.2708	6649.25	6850.1	6738.98	6638.29	6757.56	7349	8037.02	8301.77	8296.44	8301.77	6638.29	1668.479167	12	7	7
5	52.46	18.3	51	8462.1	8062.71	7452.7708	6742.75	6626.88	6814.6	6873.4	7120.23	7807.35	8242.6	8547.13	8616.67	8616.67	6626.88	1989.791667	12	5	5
6	53.04	8.79	4	8711.02	8395.65	7965.8542	7357.23	7143.6	7340.17	7417.85	7527.96	8075.63	8464	8759.67	8827.38	8827.38	7143.6	1688.770833	12	5	5
7	50.04	8.99	112	8373.42	7892.75	7240.4167	6595.17	6722.58	6667.9	6612.27	6794.27	7530.31	8242.31	8528.25	8538.69	8538.69	6595.17	1948.520833	12	7	7
8	54	9.99	11	8624.15	8316.79	7864.7708	7268.83	7059.25	7239.29	7335.63	7498.71	8008.48	8349.48	8660.44	8753.21	8753.21	7059.25	1693.958333	12	5	5
9	50.92	11.98	155	7875.88	7639.35	7177.45	6717.58	6727.56	6822.63	6749.63	6994.46	7539.4	7872.92	8020.25	8027.46	8027.46	6717.58	1309.875	12	5	5
10	49.03	8.36	112	8440.31	7962.09	7340.3542	6827.71	6942.33	6902.63	6793.4	7039.33	7656.25	8382.5	8551.4	8563.6	8563.6	6793.4	1770.208333	12	5	5
11	48.16	11.54	515	8204.42	7879.27	7381.3393	6807.9	6799.54	6886.31	6804.35	7050.65	7655.52	8077.92	8362.75	8302.71	8362.75	6799.54	1553.208333	12	5	5
12	52.96	4.74	4	8810.96	8656.66	8456.4043	8091.4	7987.52	7979.13	8058.27	7994.08	8143.73	8380.6	8603.83	8786.48	8810.96	7979.13	831.8333333	12	8	8
13	52.92	4.78	1	8810.96	8656.66	8456.4043	8091.4	7987.52	7979.13	8058.27	7994.08	8143.73	8380.6	8603.83	8786.48	8810.96	7979.13	831.8333333	12	8	8
14	52.09	5.17	2	8755.54	8426.94	8028.1489	7548.17	7413.6	7584.6	7713.02	7881.48	8333.31	8607.46	8845.9	8865.19	8865.19	7413.6	1451.583333	12	5	5
15	53.21	6.55	2	9045.42	8791.68	8414.0638	7931.06	7832.1	7990.48	8157.88	8211.31	8576.06	8838.27	9101.35	9170.23	9170.23	7832.1	1388.125	12	5	5
16	53.12	6.58	5	9045.42	8791.68	8414.0638	7931.06	7832.1	7990.48	8157.88	8211.31	8576.06	8838.27	9101.35	9170.23	9170.23	7832.1	1388.125	12	5	5
17	51.44	3.99	8	8697.9	8498.26	8288.8511	7781.21	7724.6	7785.21	7812.08	7777.77	7999.54	8305.9	8577.79	8723.65	8723.65	7724.6	999.0416667	1	5	5
18	50.9	3.76	114	8715.92	8386.64	7927.4468	7410.48	7336.13	7447.88	7490.04	7594.42	8072.27	8494.19	8787.42	8864.79	8864.79	7336.13	1526.666667	12	5	5
19	40.41	-3.67	667	7321.22	6664.48	5786.875	5746.15	5537.44	4738.9	3989.69	4239	5122.58	6573.21	7199.94	7492.56	7492.56	3989.69	3505.875	12	7	7
20	47.53	7.58	316	8463.04	7737.71	7085.3623	6638.4	7123.33	7062.1	6975.71	7278.48	7768.79	8217.56	8271.15	8261.29	8271.15	6638.4	1432.75	11	4	4
21	46.25	6.13	420	8164.94	7664.75	6991.3333	6676.92	6929.65	6748	6513.19	6818.02	7433.27	8037.44	8105.27	8197.27	8197.27	6676.92	1684.083333	1	7	7
22	46.2	6.13	420	8164.94	7664.75	6991.3333	6676.92	6929.65	6748	6513.19	6818.02	7433.27	8037.44	8105.27	8197.27	8197.27	6676.92	1684.083333	1	7	7
23	46	8.9	273	7198.77	6815.42	6437.7708	6008.42	7057.54	6993.83	6700.65	7043.98	7416.49	7786.33	7948.5	7137.44	7786.33	6437.77	1348.5625	10	3	3
24	47.25	9.35	2502	6914.58	7059.17	7601.4167	8175.83	8389.33	8574.9	8444.94	8247.27	7852.69	7076.04	7114	6898.75	8574.9	6898.75	1676.145833	6	12	12
25	47.38	8.56	555	8359.42	7910.92	7224.9583	6921.54	7097.33	7163.71	7139.79	7472.42	7950.63	8347.67	8403.73	8458.27	8458.27	6921.54	1516.739167	12	4	4
26	52.2	14.12	98	8737.31	8358.02	7707.75	6957.02	6765.08	6919.19	6888.63	6971.31	7678.69	8293.13	8757.71	8875.85	8875.85	6765.08	2110.770833	12	5	5
27	54.09	13.4	2	8669.06	8437.89	8043.2252	7615.42	7512.67	7537.81	7597.65	7687.46	8065.19	8416.69	8686	8765.73	8765.73	7512.67	1253.0625	12	5	5
28	53.12	13.75	227	8301.06	8055.39	7527.7292	6976.11	6874.56	6951.1	6872.38	6947.49	7603.35	7975.92	8377.11	8428.52	8428.52	6976.11	1556.145833	12	7	7
29	52.12	5.27	14	8730.71	8400.66	8007.5319	7481	7336.79	7475.94	7596.96	7741.5	8220.4	8545.88	8853.73	8975	8975	7336.79	1538.208333	12	5	5
30	50.13	1.83	69	8840.15	8579.99	8298.9375	7919.88	8054.58	8162.71	8130.38	8040.06	8323.6	8648.88	8889.81	8941.15	8941.15	7919.88	1021.270833	12	4	4
31	47.26	5.08	219	8817.73	8270.04	7502.7917	7080.29	7391.1	7111.29	6785.67	6980.29	7611.46	8472.31	8809.5	8931.88	8931.88	7080.29	2345.208333	12	7	7
32	47.24	5.98	807	8597.4	8100.31	7397.1875	7116.65	7447.27	7371.02	7295.13	7486.23	8036.19	8534.81	8673.92	8715.04	8715.04	7116.65	1598.958333	12	4	4
33	46.59	0.3141	123	8706.35	8279.67	7700.4583	7335.27	7472.88	7203.38	6980.58	7076.25	7581.65	8314.25	8721.06	8815.64	8815.64	6980.58	1835.04965	12	7	7
34	45.78	3.14	331	7909.48	7450.19	6870.4792	6798.46	7062.81	6971.33	6690.44	6813.42	7205.31	7677.08	7907	8016.56	8016.56	6690.44	1326.125	12	7	7

Εικόνα 17: Αρχείο csv με δεδομένα σχετικής υγρασίας

Αφού υπάρχει το αρχείο με τα δεδομένα υγρασίας έτοιμο για χρήση, χρησιμοποιείται η R Studio και αρχίζει η διαδικασία ανάλυσης των μετρήσεων. Αρχικά, γίνεται η ανάκληση των βιβλιοθηκών fields και clim.pact που χρησιμοποιεί τις βιβλιοθήκες ncf και akima.


```
R version 3.1.3 (2015-03-09) -- "Smooth Sidewalk"
Copyright (C) 2015 The R Foundation for Statistical Computing
Platform: x86_64-w64-mingw32/x64 (64-bit)
```

```
R is free software and comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
You are welcome to redistribute it under certain conditions.
Type 'license()' or 'licence()' for distribution details.
```

```
R is a collaborative project with many contributors.
Type 'contributors()' for more information and
'citation()' on how to cite R or R packages in publications.
```

```
Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or
'help.start()' for an HTML browser interface to help.
Type 'q()' to quit R.
```

```
> library(fields)
```

```
Loading required package: spam
Loading required package: grid
Spam version 1.3-0 (2015-10-24) is loaded.
Type 'help(spam)' or 'demo(spam)' for a short introduction
and overview of this package.
Help for individual functions is also obtained by adding the
suffix '.spam' to the function name, e.g. 'help(cho1.spam)'.
```

```
Attaching package: 'spam'
```

```
The following objects are masked from 'package:base':
```

```
backsolve, forwardsolve
```

```
Loading required package: maps
```

```
# maps v3.1: updated 'world': all lakes moved to separate new #
# 'lakes' database. Type '?world' or 'news(package="maps")'. #
```

```
> library(clim.pact)
```

```
Loading required package: ncdf
Loading required package: akima
```

```
Attaching package: 'clim.pact'
```

```
The following object is masked from 'package:maps':
```

```
Map
```

Μετά την εγκατάσταση και ανάκληση των βιβλιοθηκών εκτελούμε την παρακάτω εντολή ώστε να εισάγουμε στην R το αρχείο των δεδομένων μας.

```
> data<-read.csv(file.choose(), header=T, sep=";", dec=".",
stringsAsFactors = FALSE)
```

Επίσης, με την επόμενη εντολή εισάγουμε δεδομένα του amplitude που διατηρούμε σε ένα δεύτερο αντίστοιχο csv αρχείο.

```
> amp<-read.csv2("Amp.csv", header=T, sep=";", dec=".",")
```

Έπειτα, αποθηκεύουμε στη μεταβλητή loc τα δεδομένα των 2 πρώτων στηλών του αρχείου, δηλαδή τα longitude και latitude.

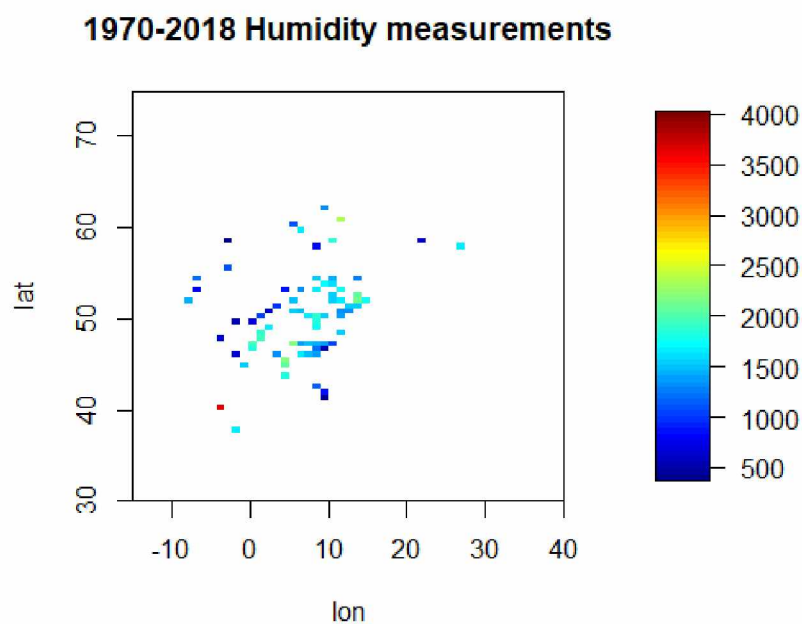
```
> loc<-data[,2:1]
```

Οι δύο παρακάτω εντολές εκτελούνται για να αποθηκευτούν τα απαραίτητα δεδομένα και να γίνει η απεικόνιση των δεδομένων υγρασίας.

```
> look<-as.image(amp,loc,na.rm=T)
```

```
> image.plot(look,xlab="lon",ylab="lat",xlim=c(-15,40),ylim=c(30,75),zlim=c(400,4000),main="1970-2018 Humidity Measurements")
```

Ορίζονται, λοιπόν, τα όρια που αφορούν το γεωγραφικό μήκος, το γεωγραφικό πλάτος και το εύρος των μετρήσεων που θα μελετηθούν. Επιπλέον, ορίζεται σαν τίτλος της απεικόνισης, ο τίτλος «1970-2018 Humidity Measurements». Με βάση την πραγματοποίηση των παραπάνω εντολών, προκύπτει η εξής πρώτη απεικόνιση (Εικόνα 18):



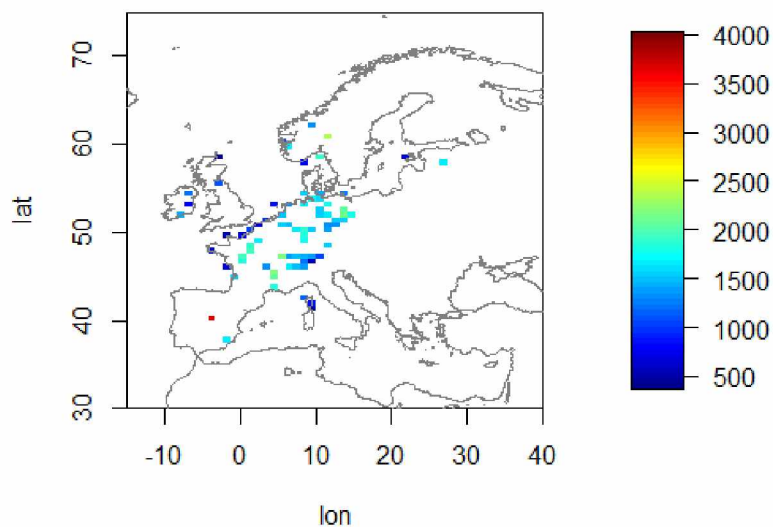
Εικόνα 18: Εύρος τιμών σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018 στον Ευρωπαϊκό χώρο

Αφού εμφανιστεί το πρώτο γράφημα στο παράθυρο της R Studio, συνεχίζουμε την διαδικασία, προσθέτοντας το γεωγραφικό περίγραμμα. Στην προκειμένη περίπτωση, γεωγραφικό περίγραμμα αποτελούν τα όρια της Ευρώπης καθώς σε αυτά αντιστοιχίζονται οι συντεταγμένες που ορίσαμε.

Το γεωγραφικό περίγραμμα (Εικόνα 19) προστίθεται με την εντολή:

```
> addLand()
```

1970-2018 Humidity measurements

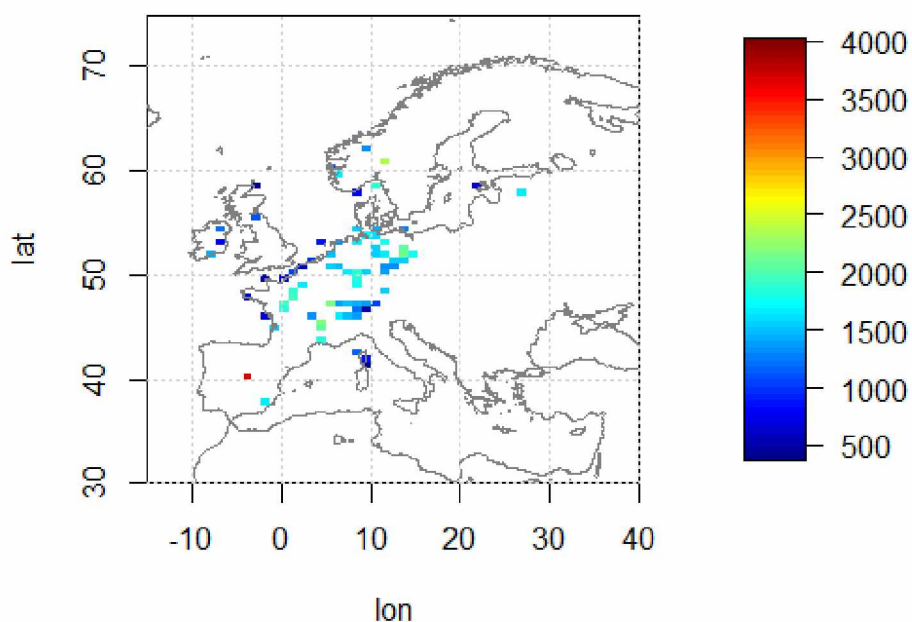


Εικόνα 19: Εύρος τιμών σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018 στον Ευρωπαϊκό χώρο με γεωγραφικό περίγραμμα

Επίσης, η προσθήκη πλέγματος (Εικόνα 20) γίνεται με την εντολή:

> grid()

1970-2018 Humidity Measurements



Εικόνα 20: Εύρος τιμών σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018 στον Ευρωπαϊκό χώρο με γεωγραφικό περίγραμμα και πλέγμα

4.2.2 Διαδικασία παρεμβολής Krig

Συνεχίζοντας την ερευνητική διαδικασία, πραγματοποιείται η διαδικασία παρεμβολής Krig. Μέσω αυτής της διαδικασίας, ο ερευνητής είναι σε θέση να γνωρίζει κατά πόσο το πεδίο παρεμβολής, αναπαριστά επιτυχώς τις παρατηρούμενες μετρήσεις, ελέγχοντας τον συντελεστή εξομάλυνσης λ . Για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία παρεμβολής κατά Krig, χρειάζεται να προστεθεί στην R Studio η παρακάτω εντολή:

```
> krig(loc, Y=amp)->out
```

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

```
Warning:  
Grid searches over lambda (nugget and sill variances) with minima at the endpoints:
```

```
(REML) Restricted maximum likelihood  
minimum at right endpoint lambda = 0.008331151  
(eff. df= 110.2 )
```

```
> summary(out)
```

```
CALL:  
Krig(x = loc, Y = amp)
```

```
Number of observations: 117  
Number of unique points: 116  
Number of parameters in the null space: 3  
Parameters for fixed spatial drift: 3  
Effective degrees of freedom: 110.2  
Residual degrees of freedom: 6.8  
MLE sigma: 1357  
GCV sigma: 588.9  
Pure error sigma: 0  
MLE rho: 221100000  
Scale passed for covariance (rho): <NA>  
Scale passed for nugget (sigma^2): <NA>  
Smoothing parameter lambda: 0.008331
```

```
Residual Summary:  
min 1st Q median 3rd Q max  
-264.1000 -7.7240 -3.2320 -0.4566 1463.0000
```

```
Covariance Model: stationary.cov  
Covariance function is  
Names of non-default covariance arguments:
```

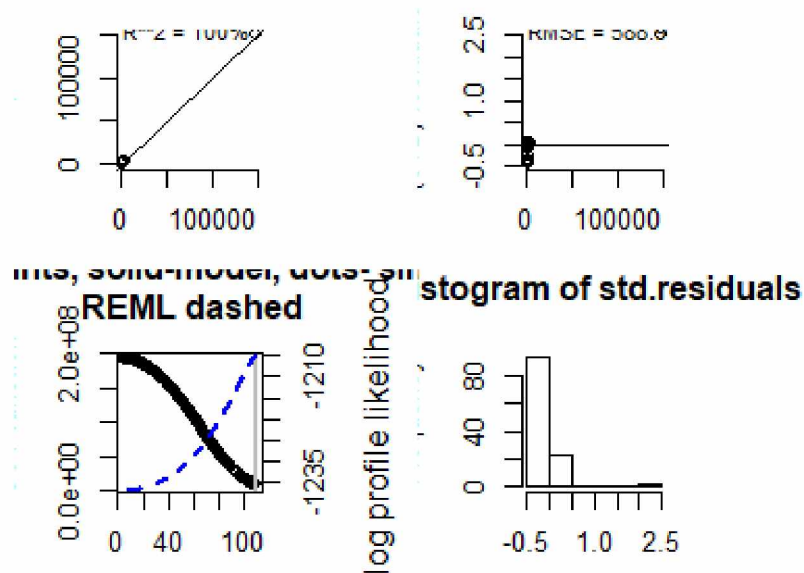
```
DETAILS ON SMOOTHING PARAMETER:  
Method used: REML Cost: 1  
lambda trA GCV GCV.one GCV.model shat  
8.331e-03 1.102e+02 8.131e+06 5.967e+06 8.131e+06 5.889e+02
```

```
Summary of all estimates found for lambda  
lambda trA GCV shat -lnLike Prof  
GCV 0.008331 110.2 8131186 588.9 1204  
GCV.model 0.008331 110.2 8131186 588.9 NA  
GCV.one 0.008331 110.2 5966503 588.9 NA  
RMSE NA NA NA NA NA  
pure error 0.008331 110.2 8131186 588.9 1204  
REML 0.008331 110.2 8131186 588.9 1204  
converge  
GCV NA  
GCV.model NA  
GCV.one NA  
RMSE NA  
pure error NA  
REML NA
```


Για την εμφάνιση των αποτελεσμάτων με τη μορφή διαγραμμάτων σε παράθυρο 2X2 χρησιμοποιούνται οι παρακάτω 2 εντολές:

```
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(out)
```

Τα διαγράμματα (Εικόνα 21) είναι τα εξής:



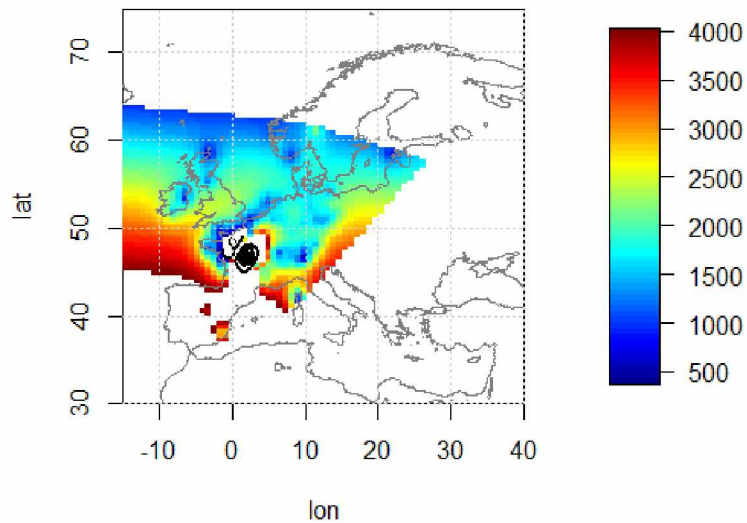
Εικόνα 21: Διαγράμματα παρεμβολής κατά Kriging

Από τα αποτελέσματα της παρεμβολής Kriging παρατηρούμε πως το πεδίο παρεμβολής αναπαριστά με επιτυχία τις παρατηρούμενες τιμές, μιας και η παράμετρος εξομάλυνσης λ εμφανίζει μικρή τιμή ($\lambda = 0.008331$), ενώ και ο συντελεστής συσχέτισης $MLE(\rho)$ έχει μεγάλη τιμή ($MLE(\rho) = 221100000$).

Θέλοντας να εμφανιστεί το μελετώμενο μέγεθος, δηλαδή η σχετική υγρασία (Εικόνα 22), δίνεται η παρακάτω εντολή:

```
> surface.krig(out,xlab="lon",ylab="lat",xlim=c(-15,40),
ylim=c(30,75),zlim=c(400,4000),main="1970-2018 Humidity Measurements")
```


1970-2018 Humidity Measurements

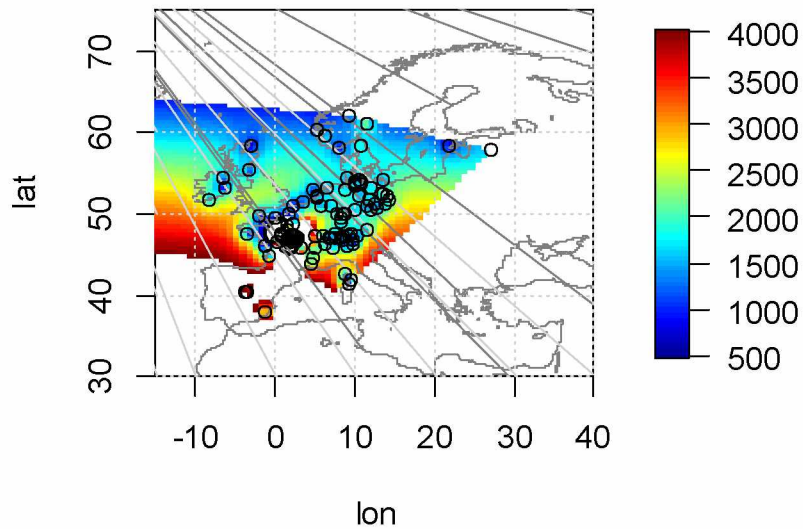


Εικόνα 22: Σχετική υγρασία μέσω παρεμβολής κατά Krigé

Μέσω της εντολής αυτής `predictSurface`, δίνεται η δυνατότητα στον ερευνητή να εμφανίσει έναν διαφορετικό τύπο βαριογράμματος με τις γεωγραφικές θέσεις των σταθμών μέτρησης πάνω στον χάρτη που παρουσιάζονται παρακάτω ως κύκλοι στο χάρτη (Εικόνα 23). Για αυτά, εφαρμόζονται οι παρακάτω εντολές:

```
> predictSurface(nx=117,ny=117,out)->look1  
> surface.Krig(out,xlab="lon",ylab="lat",xlim=c(-  
15,40),ylim=c(30,75),zlim=c(400,4000),main="1970-2018 Humidity by  
kriging")  
> points(loc)
```

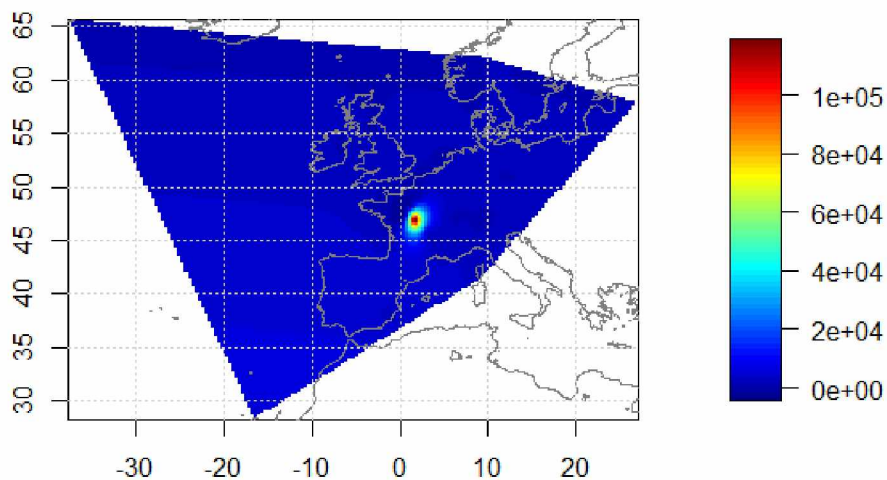
1970-2018 Humidity by kriging



Εικόνα 23: Παρεμβολή κατά Krige και εμφάνιση σταθμών μέτρησης (κύκλοι)

Με διαφορετική σύνταξη των εντολών, το διάγραμμα που θα έδινε το πρόγραμμα θα ήταν εντελώς διαφορετικό (Εικόνα 24), χωρίς ετικέτες στους άξονες και με ελεύθερη επιλογή στη χρωματική κλίμακα των τιμών παρεμβολής που είναι παραπλανητικό για σύγκριση με το πεδίο τιμών από παρατηρήσεις.

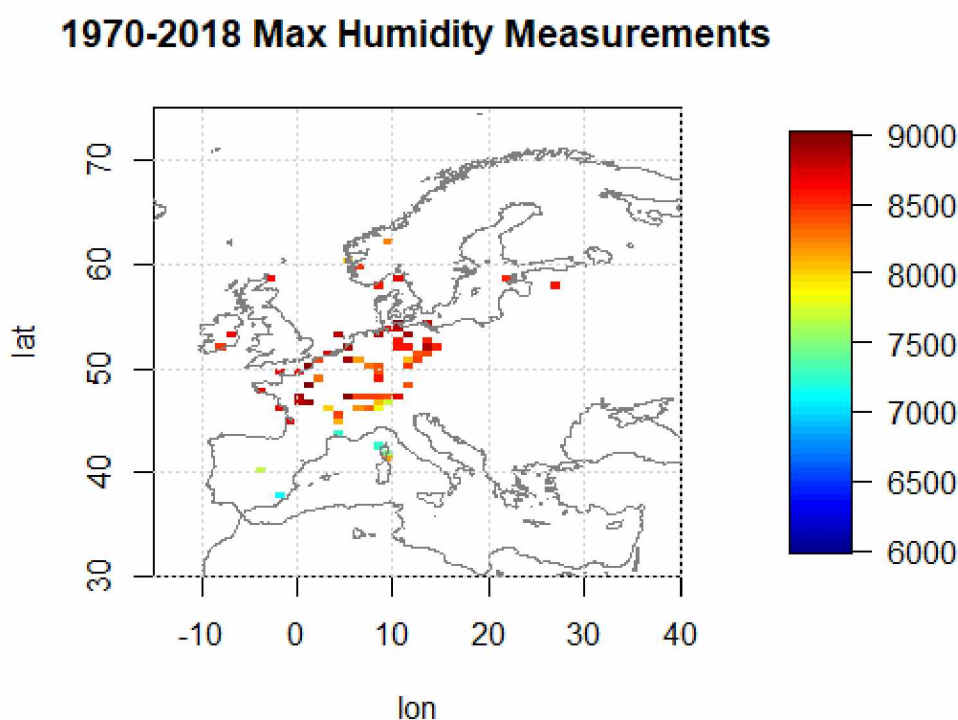
```
> predictSurface(nx=171,ny=171,out)->look1  
> image.plot(look1)
```



Εικόνα 24: Λανθασμένη παρατήρηση τιμών

4.3 Μελέτη μέγιστων τιμών σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018

Με τη χρήση του ίδιου προγράμματος και του ίδιου αρχείου δεδομένων, έγινε επεξεργασία των μέγιστων τιμών σχετικής υγρασίας στην περιοχή της Ευρώπης. Τα αποτελέσματα έχουν ως εξής (Εικόνα 25):



Εικόνα 25: Μέγιστες τιμές σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018

Παρατηρούμε πως οι μέγιστες τιμές είναι αρκετά υψηλές σχεδόν σε όλες τις περιοχές μελέτης, με εξαίρεση τις νοτιότερες. Συνεχίζοντας, εκτελούμε τη διαδικασία Kriging. Τα αποτελέσματα της είναι τα εξής (Εικόνα 26 και Εικόνα 27):

```
> summary(out3)
CALL:
Krig(x = loc, Y = max)

Number of Observations:      117
Number of unique points:     116
Number of parameters in the null space 3
Parameters for fixed spatial drift 3
Effective degrees of freedom: 110.2
Residual degrees of freedom:  6.8
MLE sigma                    35.36
GCV sigma                    21.23
Pure error sigma              0
MLE rho                      150100
Scale passed for covariance (rho) <NA>
Scale passed for nugget (sigma^2) <NA>
Smoothing parameter lambda    0.008331
```

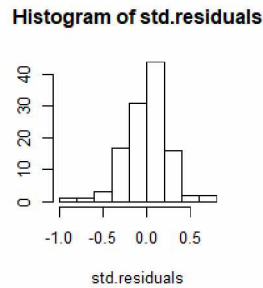
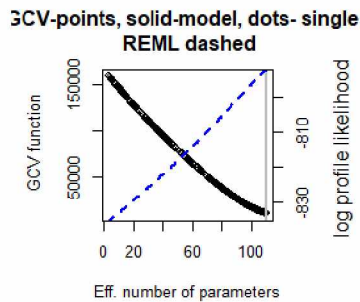
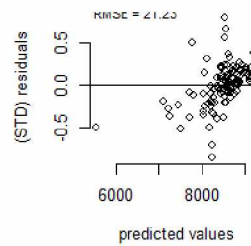
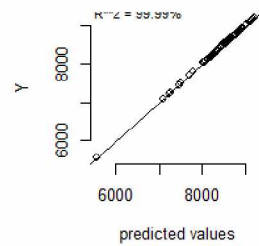
Residual Summary:
 min 1st Q median 3rd Q max
 -18.1100 -2.1890 0.4206 2.9170 16.6500

Covariance Model: stationary.cov
 Covariance function is
 Names of non-default covariance arguments:

DETAILS ON SMOOTHING PARAMETER:
 Method used: REML Cost: 1
 lambda tra GCV GCV.one GCV.model shat
 8.331e-03 1.102e+02 1.056e+04 7.752e+03 1.056e+04 2.123e+01

Summary of all estimates found for lambda

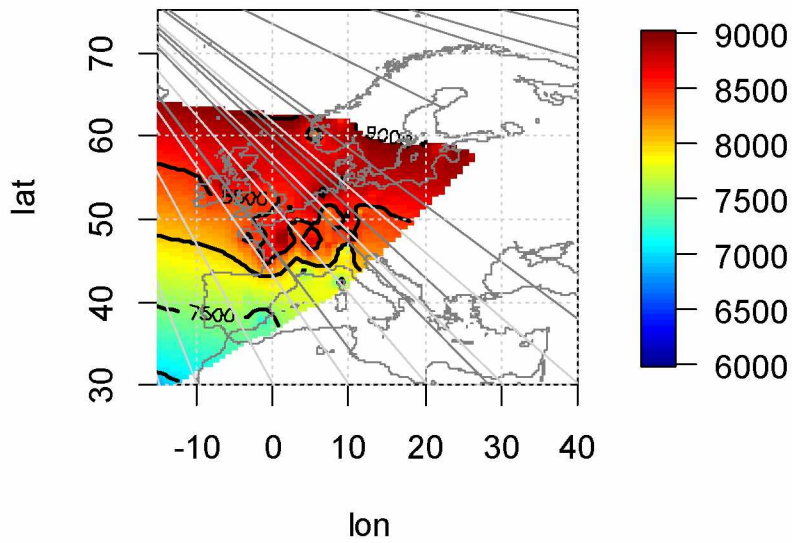
	lambda	tra	GCV	shat	-lnLike	Prof	converge
GCV	0.008331	110.2	10564	21.23	792.1	NA	NA
GCV.model	0.008331	110.2	10564	21.23	NA	NA	NA
GCV.one	0.008331	110.2	7752	21.23	NA	NA	NA
RMSE	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
pure error	0.008331	110.2	10564	21.23	792.1	NA	NA
REML	0.008331	110.2	10564	21.23	792.1	NA	NA



Εικόνα26: Διαγράμματα αποτελεσμάτων Kriging για τις μέγιστες τιμές σχετικής υγρασίας

Από τα αποτελέσματα της παρεμβολής Krige παρατηρούμε πως το πεδίο παρεμβολής αναπαριστά με επιτυχία τις παρατηρούμενες τιμές, μιας και η παράμετρος εξομάλυνσης λ εμφανίζει μικρή τιμή ($\lambda = 0.008331$), ενώ και ο συντελεστής συσχέτισης $MLE(\rho)$ έχει μεγάλη τιμή ($MLE(\rho) = 150100$).

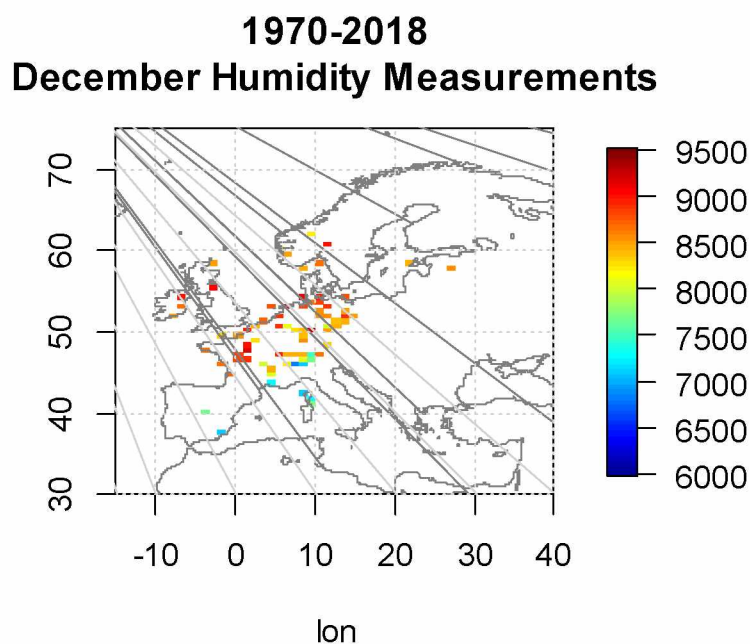
1970-2018 Max Humidity by kriging



Εικόνα 27: Διάγραμμα Krige για τη μέγιστη σχετική υγρασία της περιόδου 1970-2018

Στην Εικόνα 27, εμφανίζονται πέντε διακριτές περιοχές διαφορετικού χρώματος που ξεχωρίζουν μεταξύ τους και μέσω των ισοπληθών καμπυλών. Παρατηρούμε πως, καθώς το χρώμα αλλάζει από το Νότο προς το Βορρά, αυξάνεται και η μέγιστη σχετική υγρασία στις περιοχές αντίστοιχα. Από την παραπάνω μέθοδο, επιβεβαιώνουμε το γεγονός της ύπαρξης υψηλών μέγιστων στις βορειότερες περιοχές μελέτης.

4.3.1 Μετρήσεις του μήνα Δεκεμβρίου της περιόδου 1970-2018



Εικόνα 28: Σχετική υγρασία κατά το μήνα Δεκέμβριο της περιόδου 1970-2018

Οι τιμές του μήνα Δεκεμβρίου (Εικόνα 28) για όλες τις περιοχές μελέτης, προσεγγίζουν τις μέγιστες τιμές που μελετήθηκαν προηγουμένως. Το γεγονός αυτό είναι και αναμενόμενο, μιας και οι χαμηλές θερμοκρασίες του Δεκεμβρίου ευνοούν την ύπαρξη υψηλών ποσοστών σχετικής υγρασίας.

```
> krig(loc, Y=dec)->out4
Warning:
Grid searches over lambda (nugget and sill variances) with minima at the
endpoints:
(REML) Restricted maximum likelihood
minimum at right endpoint lambda = 0.008331151 (eff. df= 110.2 )

> summary(out4)
CALL:
Krig(x = loc, Y = dec)

Number of Observations:      117
Number of unique points:    116
Number of parameters in the null space 3
Parameters for fixed spatial drift 3
Effective degrees of freedom: 110.2
Residual degrees of freedom: 6.8
MLE sigma                    42.7
GCV sigma                    26.07
Pure error sigma              0
MLE rho                      218900
Scale passed for covariance (rho) <NA>
Scale passed for nugget (sigma^2) <NA>
Smoothing parameter lambda   0.008331

Residual Summary:
  min    1st Q   median    3rd Q    max
-33.6700 -1.8300  0.4455  3.2250  22.1200

Covariance Model: stationary.cov
```

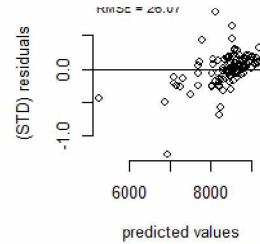
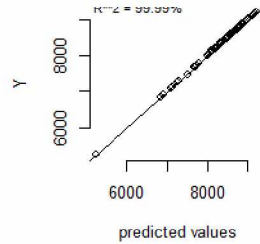
Covariance function is
Names of non-default covariance arguments:

DETAILS ON SMOOTHING PARAMETER:

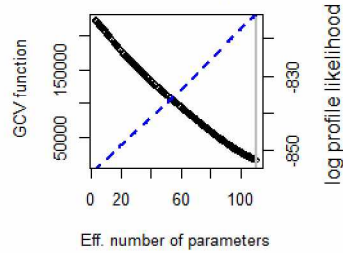
Method used: REML Cost: 1
lambda tra GCV GCV.one GCV.model shat
8.331e-03 1.102e+02 1.593e+04 1.169e+04 1.593e+04 2.607e+01

Summary of all estimates found for lambda

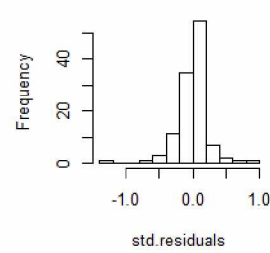
	lambda	tra	GCV	shat	-lnLike	Prof	converge
GCV	0.008331	110.2	15931	26.07	813.5	NA	NA
GCV.model	0.008331	110.2	15931	26.07	NA	NA	NA
GCV.one	0.008331	110.2	11690	26.07	NA	NA	NA
RMSE	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
pure error	0.008331	110.2	15931	26.07	813.5	NA	NA
REML	0.008331	110.2	15931	26.07	813.5	NA	NA



3CV-points, solid-model, dots- single
REML dashed



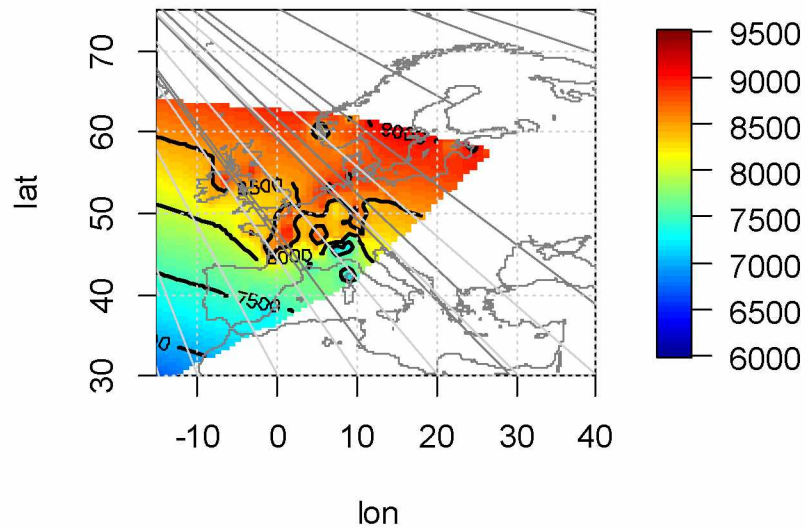
Histogram of std.residuals



Εικόνα 29: Αποτελέσματα παρεμβολής κατά Krige για το μήνα Δεκέμβριο της περιόδου 1970-2018

Από την Εικόνα 29 συμπεραίνουμε πως το πεδίο παρεμβολής αναπαριστά επιτυχώς τις παρατηρούμενες τιμές με $R^2=99.99\%$.

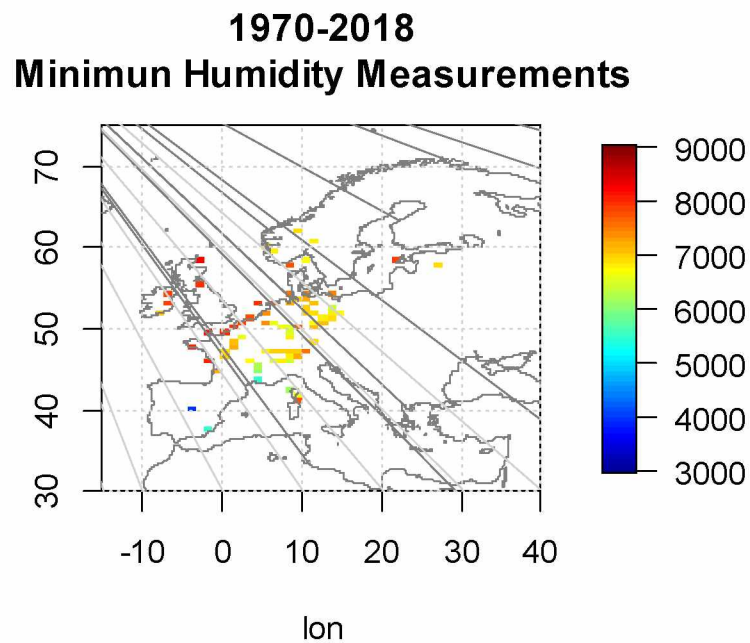
1970-2018 December Humidity by kriging



Εικόνα 30: Παρεμβολή κατά Krige με εμφάνιση ισοσταθμών καμπυλών για το μήνα Δεκέμβριο της περιόδου 1970-2018

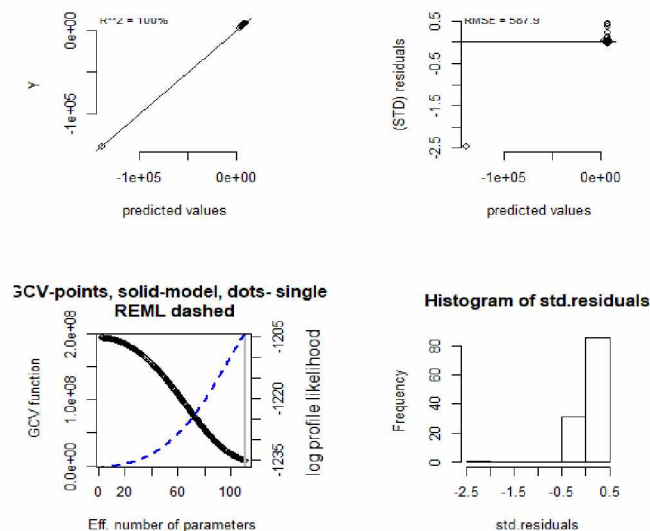
Και στην Εικόνα 30 παρατηρούμε αυξημένων τιμές σχετικής υγρασίας στις βορειότερες περιοχές μελέτης. Ιδιαιτερότητα εντοπίζεται σε περιοχές μελέτης εντός των γεωγραφικών ορίων της Γαλλίας, οι οποίες παρουσιάζουν αυξημένες τιμές σε σχέση με γειτονικές τους περιοχές.

4.4 Μετρήσεις ελάχιστων τιμών σχετική υγρασίας της περιόδου 1970-2018



Εικόνα31: Ελάχιστες τιμές σχετικής υγρασίας κατά την περίοδο 1970-2018

Παρατηρούμε πως οι ελάχιστες τιμές είναι αρκετά υψηλές στις βορειότερες περιοχές μελέτης και συγκεκριμένα σε παραθαλάσσιες περιοχές μέτρησης. Συνεχίζοντας, εκτελούμε τη διαδικασία Kriging. Τα αποτελέσματα της είναι τα εξής (Εικόνα 31 και Εικόνα 32):



Εικόνα 32: Διαγράμματα παρεμβολής κατά Krige ελάχιστων τιμών σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018

> `summary(outmin)`

CALL :

Krig(x = loc, Y = min)

Number of Observations: 117
Number of unique points: 116
Number of parameters in the null space: 3
Parameters for fixed spatial drift: 3
Effective degrees of freedom: 110.2
Residual degrees of freedom: 6.8
MLE sigma: 1354
GCV sigma: 587.9
Pure error sigma: 0
MLE rho: 220100000
Scale passed for covariance (rho): <NA>
Scale passed for nugget (sigma^2): <NA>
Smoothing parameter lambda: 0.008331

Residual Summary:

min	1st Q	median	3rd Q	max
-1459.0000	-0.3909	3.8320	9.1570	264.9000

Covariance Model: stationary.cov

Covariance function is

Names of non-default covariance arguments:

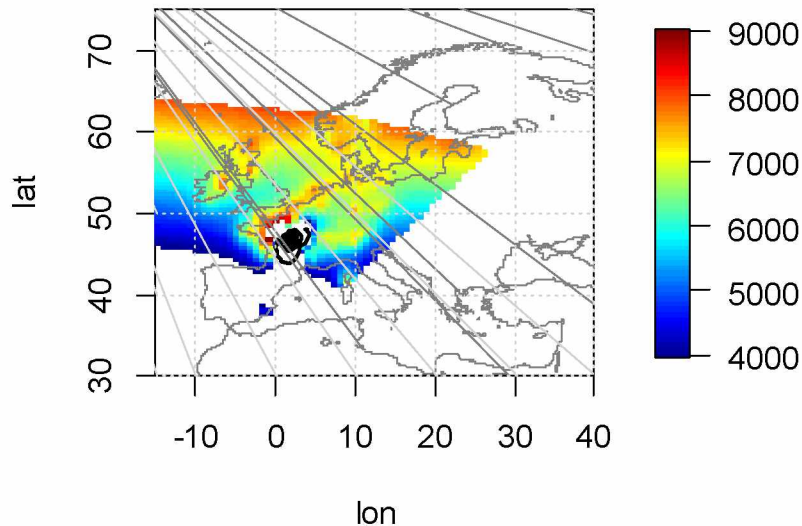
DETAILS ON SMOOTHING PARAMETER:

Method used:	REML	Cost:	1
lambda	trA	GCV	shat
8.331e-03	1.102e+02	8.105e+06	5.947e+06
8.105e+06	5.879e+02		

Summary of all estimates found for lambda

	lambda	trA	GCV	shat	-lnLike	Prof	converge
GCV	0.008331	110.2	8104854	587.9	1204	NA	NA
GCV.model	0.008331	110.2	8104854	587.9	NA	NA	NA
GCV.one	0.008331	110.2	5947181	587.9	NA	NA	NA
RMSE	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
pure error	0.008331	110.2	8104854	587.9	1204	NA	NA
REML	0.008331	110.2	8104854	587.9	1204	NA	NA

1970-2018 Minimum Humidity by kriging

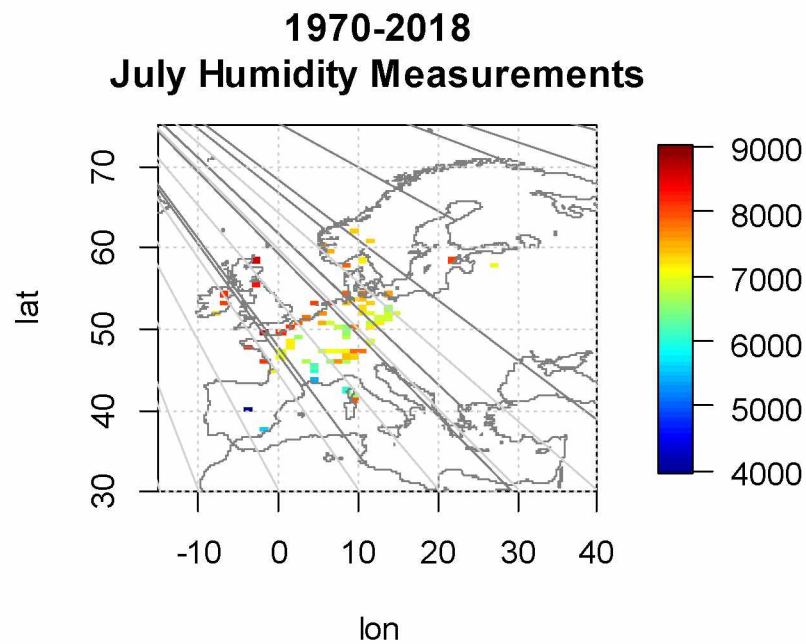


Εικόνα 33: Παρεμβολή κατά Krige για τις ελάχιστες τιμές σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018

Στην Εικόνα 33, παρατηρούμε πως, καθώς το χρώμα αλλάζει από το Νότο προς το Βορρά, αυξάνεται και η ελάχιστη σχετική υγρασία στις περιοχές αντίστοιχα. Από την παραπάνω μέθοδο, επιβεβαιώνουμε το γεγονός της ύπαρξης υψηλότερων

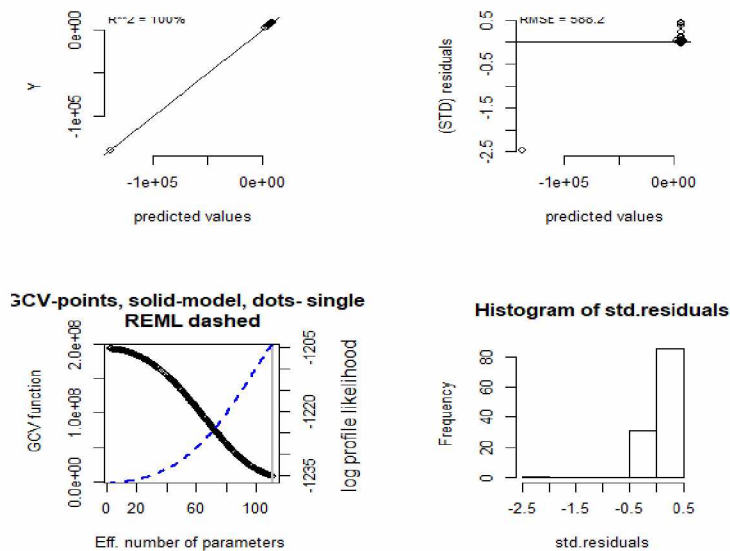
ελαχίστων στις βορειότερες περιοχές μελέτης πιθανώς λόγω και χαμηλότερων θερμοκρασιών στις περιοχές αυτές.

4.4.1 Μετρήσεις του μήνα Ιουλίου της περιόδου 1970-2018



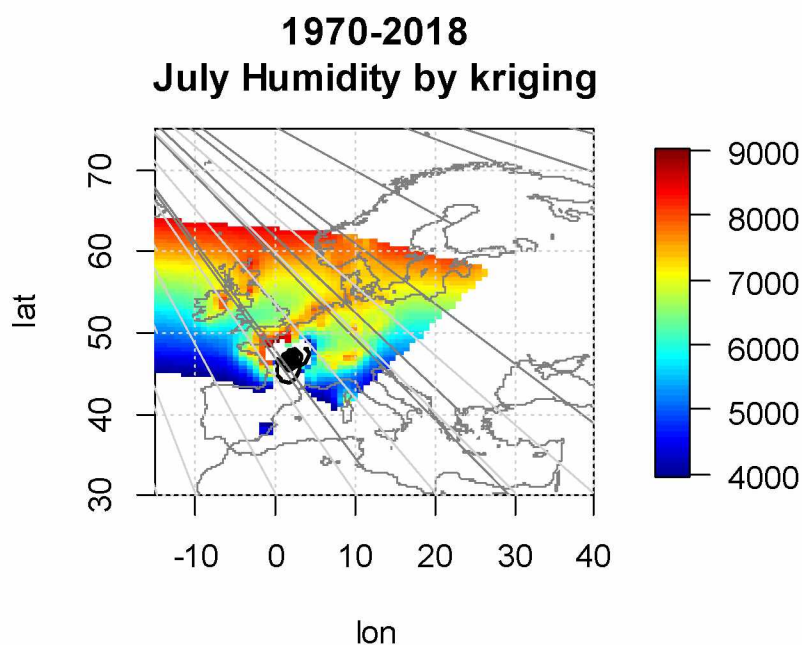
Εικόνα 34: Μετρήσεις σχετικής υγρασίας κατά το μήνα Ιούλιο της περιόδου 1970-2018

Αρχική παρατήρηση που κάνουμε βλέποντας τις τιμές του Ιουλίου (Εικόνα 34), είναι πως εμφανίζονται σαφώς μειωμένες οι τιμές της σχετικής υγρασίας σε όλες τις περιοχές μελέτης. Επίσης, οι τιμές πλησιάζουν αυτές των ελάχιστων τιμών που μελετήθηκαν προηγουμένως.



Εικόνα 35: Διαγράμματα παρεμβολής Kriging για το μήνα Ιούλιο της περιόδου 1970-2018

Από τα αποτελέσματα της παρεμβολής Kriging (Εικόνα 35) παρατηρούμε πως το πεδίο παρεμβολής αναπαριστά με επιτυχία τις παρατηρούμενες τιμές, μιας και η παράμετρος εξομάλυνσης λ εμφανίζει μικρή τιμή ($\lambda = 0.008331$), ο συντελεστής συσχέτισης $MLE(\rho)$ έχει μεγάλη τιμή ($MLE(\rho) = 220300000$) και το R^2 ισούται με 100%.



Εικόνα 36: Παρεμβολή κατά Kriging για το μήνα Ιούλιο της περιόδου 1970-2018

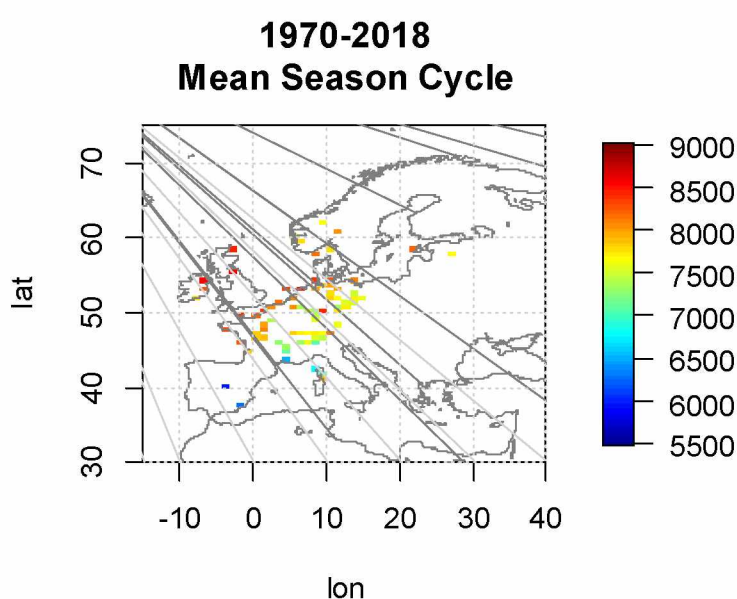
Στην Εικόνα 36 παρατηρούμε αυξημένων τιμές σχετικής υγρασίας στις βορειότερες περιοχές μελέτης. Περιοχές εντός των γεωγραφικών ορίων της Γαλλίας, παρουσιάζουν αυξημένες τιμές σε σχέση με γειτονικές τους περιοχές.

Η ιδιαιτερότητα αυτή στην Γαλλία μπορούμε να υποθέσουμε πως οφείλεται στη γεωγραφία της περιοχής. Η χώρα βρέχεται από τη Βόρεια θάλασσα στον Βορρά, τη Μάγνη στα Βορειοδυτικά και από τη μεσόγειο θάλασσα στα Νοτιοανατολικά. Επιπλέον, εντός των Γαλλικών συνόρων βρίσκονται οι Γαλλικές Άλπεις στα Νοτιοανατολικά, αλλά και άλλες οροσειρές όπως τα Πυρηναία, τα Ιούρα και τα Βόσγια. Χαρακτηρίζεται από ποικιλία κλιμάτων μιας και βρίσκεται σε ίση απόσταση από τον Βόρειο πόλο και τον Ισημερινό και έτσι δεν εμφανίζει ούτε τα μεγάλα ψύχη του Βορρά, ούτε τους μεσογειακούς καύσωνες.

4.5 Μελέτη μέσου εποχιακού κύκλου της περιόδου 1970-2018

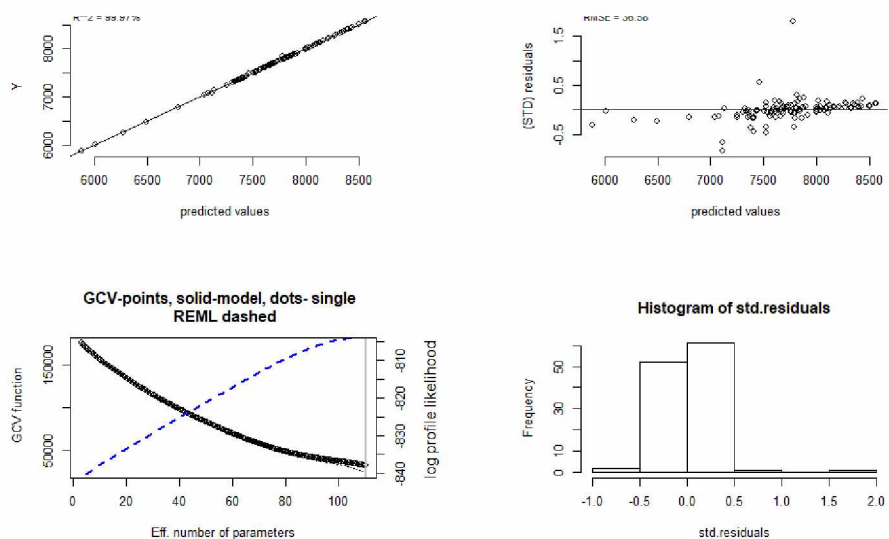
Στην προσπάθεια να γίνει μια ολοκληρωμένη διαδικασία μελέτης του ύψους της σχετικής υγρασίας, η διαδικασία επικεντρώθηκε και στην μελέτη του μέσου εποχιακού κύκλου σχετικής υγρασίας μέσω της χρήσης του ίδιου προγράμματος.

Εργαζόμενοι πάνω στο ίδιο αρχείο, θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα του μέσου εποχιακού κύκλου σχετικής υγρασίας κατά το διάστημα 1970-2018, όπως παρατηρούνται στα παρακάτω διαγράμματα:

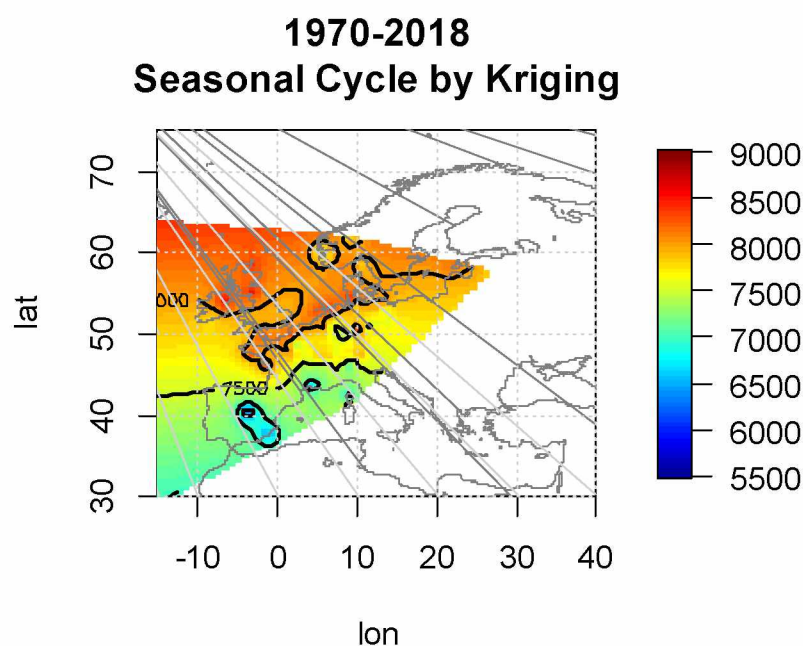


Εικόνα 37: Μετρήσεις μέσου εποχιακού κύκλου σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018

Παρατηρείται ότι έχουν χρησιμοποιηθεί σταθμοί, κυρίως στην Νοτιοανατολική Ευρώπη. Να σημειωθεί, ότι το ύψος σχετικής υγρασίας έχει ως μέγιστο τις περίπου 9000 μονάδες και ελάχιστο τις 5500.



Εικόνα 38: Διαγράμματα παρεμβολής Κρίγε για το μέσο εποχιακό κύκλο σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018



Εικόνα 39: Παρεμβολή κατά Κρίγε για το μέσο εποχιακό κύκλο σχετικής υγρασίας της περιόδου 1970-2018

5. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, στην παρούσα εργασία έγινε εκτεταμένη αναφορά στην κλιματική αλλαγή και αξιοποιήθηκαν δεδομένα σχετικής υγρασίας από όλη την Ευρώπη, για ανάλυση μέσω του R Studio. Το πρόγραμμα αυτό, μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο της εκπαιδευτικής διαδικασίας, μιας και δεν απαιτεί ιδιαίτερες προγραμματιστικές γνώσεις και διατίθεται δωρεάν προς χρήση.

Από την ανάλυση που έγινε σε δεδομένα σχετικής υγρασίας της δυτικής κατά κύριο λόγο Ευρώπης την περίοδο 1970-2018, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- ❖ Η μέση σχετική υγρασία διαφοροποιείται ανάλογα με το μήνα μέτρησης.
- ❖ Το εύρος των τιμών σχετικής υγρασίας παρατηρείται υψηλότερο στον Νότο απ' ότι βορειότερα στην περιοχή μετρήσεων.
- ❖ Οι μέγιστες τιμές σχετικής υγρασίας είναι υψηλότερες στον Βορρά απ' ότι στο Νότο.
- ❖ Οι ελάχιστες τιμές είναι επίσης υψηλότερες στον Βορρά.
- ❖ Ο μήνας με την υψηλότερη σχετική υγρασία στην πλειοψηφία των περιοχών μέτρησης είναι ο Δεκέμβριος και οι τιμές του πλησιάζουν τα μέσα μέγιστα.
- ❖ Ο μήνας με την χαμηλότερη σχετική υγρασία στην πλειοψηφία των περιοχών μέτρησης είναι ο Ιούλιος και οι τιμές του πλησιάζουν τα μέσα ελάχιστα.
- ❖ Υψηλότερα ποσοστά σχετικής υγρασία από το αναμενόμενο για τη γεωγραφική της θέση παρουσιάζουν οι μετρήσεις στην περιοχή της Γαλλίας. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί μέσω της γεωγραφίας και του κλίματος της χώρας.

5.1. Δημιουργία βάσης κλιματολογικών δεδομένων

Ιδιαίτερα χρήσιμη θα ήταν η ανάπτυξη μιας βάσης κλιματολογικών δεδομένων που θα περιλάμβανε μετρήσεις από όλες τις χώρες. Αυτά θα μπορούσαν έπειτα να αξιοποιηθούν για την χαρτογράφηση των καιρικών δεδομένων σε μεγάλη κλίμακα, αλλά και τη συγκριτική μελέτη των μεταβολών τους ανά τα χρόνια.

Με βάση τα δεδομένα της παρούσας εργασίας, θα μπορούσαν να γίνουν αντίστοιχες έρευνες κλιματολογικών δεδομένων, αλλά και δε δεύτερο επίπεδο θα μπορούσαν να μελετηθούν/προβλεφθούν φαινόμενα που σχετίζονται με τα δεδομένα αυτά. Έτσι:

- Μπορεί να μελετηθεί πως το μικροκλίμα μιας περιοχής μπορεί να αξιοποιηθεί καλύτερα για την ανάπτυξη της.
- Από τα δεδομένα σχετικής υγρασίας, μπορούν να προβλεφθούν περίοδοι μεγάλης ξηρασίας και πώς έπειτα αυτές θα αντιμετωπιστούν.
- Μπορούν να γίνουν μελέτες πρόβλεψης ακραίων φαινομένων που είναι απαραίτητες τόσο για την ενημέρωση και προστασία των πολιτών, όσο και την προσπάθεια αποφυγής τους όταν αυτό είναι δυνατό.
- Τέλος, θα μπορούσε να αξιοποιηθεί η γνώση πρόβλεψης καιρικών φαινομένων και ο μεγάλος όγκος δεδομένων που υπάρχει για την εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση των μαθητών, στα πλαίσια της εκπαιδευτικής διαδικασίας στα σχολεία.

Παράρτημα

Πίνακας 1: Συντεταγμένες σταθμών μέτρησης, μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές μέτρησης για κάθε σταθμό.

Τοποθεσία	Χώρα	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος	Υψόμετρο	Μέγιστα	Ελάχιστα	Μέσες τιμές
BORDEAUX-MERIGNAC	FRANCE	44,83	-0,69	47	8723,542	7166,229	7807,589
CHATEAUROUX DEOLS	FRANCE	46,86	1,74	158	8893,563	6826,878	7872,424
PARIS - MONTSOURIS	FRANCE	48,82	2,33	75	8301,771	6638,292	7395,99
BERLIN-DAHLEM	GERMANY	52,46	13,3	51	8616,667	6626,875	7614,099
BREMEN	GERMANY	53,04	8,79	4	8827,375	7143,604	7998,917
FRANKFURT	GERMANY	50,04	8,59	112	8538,688	6595,167	7478,194
HAMBURG FUHLBUETTEL	GERMANY	54	9,99	11	8753,208	7059,25	7914,918
JENA STERNWARTE	GERMANY	50,92	11,58	155	8027,458	6717,583	7345,196
FRANKFURT	GERMANY	49,03	8,36	112	8563,604	6793,396	7607,656
MUENCHEN	GERMANY	48,16	11,54	515	8352,75	6799,542	7507,972
DEN HELDER	NETHERLANDS	52,96	4,74	4	8810,958	7979,125	8330,755
DE KOOY	NETHERLANDS	52,92	4,78	1	8810,958	7979,125	8330,755
DE BILT	NETHERLANDS	52,09	5,17	2	8865,188	7413,604	8166,946
GRONINGEN	NETHERLANDS	53,21	6,55	2	9170,229	7832,104	8504,993
EELDE	NETHERLANDS	53,12	6,58	5	9170,229	7832,104	8504,993
VLISSINGEN	NETHERLANDS	51,44	3,59	8	8723,646	7724,604	8164,396
MAASTRICHT	NETHERLANDS	50,9	5,76	114	8864,792	7338,125	8038,3
MADRID - RETIRO	SPAIN	40,41	-3,67	667	7492,563	3986,688	5868,188
BASEL BINNINGEN	SWITZERLAND	47,53	7,58	316	8271,146	6838,396	7566,094
GENEVE COINTRIN	SWITZERLAND	46,25	6,13	420	8197,271	6513,188	7356,67
GENEVE OBSERVATOIRE	SWITZERLAND	46,2	6,15	405	8197,271	6513,188	7356,67
LUGANO	SWITZERLAND	46	8,9	273	7786,333	6437,771	7040,428
SAENTIS	SWITZERLAND	47,25	9,35	2502	8574,896	6898,75	7695,726
ZUERICH/FLUNTERN	SWITZERLAND	47,38	8,56	555	8438,271	6921,542	7700,865
LINDENBERG	GERMANY	52,2	14,12	98	8875,854	6765,083	7742,521
GREIFSWALD	GERMANY	54,09	13,4	2	8765,729	7512,667	8088,064
DRESDEN-KLOTZSCHE	GERMANY	51,12	13,75	227	8428,521	6872,375	7577,891
STAVOREN	NETHERLANDS	52,12	5,27	14	8875	7336,792	8105,507
ABBEVILLE	FRANCE	50,13	1,83	69	8941,146	7919,875	8402,009
DIJON-LONGVIC	FRANCE	47,26	5,08	219	8931,875	6785,667	7813,696
BESANCON	FRANCE	47,24	5,98	307	8715,042	7116,646	7897,595
POITIERS - BIARD	FRANCE	46,59	0,3141	123	8815,638	6980,583	7848,952
CLERMONT-FERRAND	FRANCE	45,78	3,14	331	8016,563	6690,438	7305,005
LYON-BRON	FRANCE	45,72	4,93	197	8427,688	6254,646	7328,964
CAP-DE-LA-HEVE	FRANCE	49,5	0,07	100	8632,792	7961,083	8224,649
CHARTRES	FRANCE	48,46	1,5	155	9019,479	7135,792	8020,818
ILE DE GROIX	FRANCE	47,65	-3,5	41	8674,146	8044,521	8351,663
MONTELMAR	FRANCE	44,58	4,73	73	8077,417	6026,208	7136,047
NIMES-COURBESSAC	FRANCE	43,85	4,4	59	7253,896	5450,104	6487,451

PTE DE LA HAGUE	FRANCE	49,72	-1,93	6	8643,229	8155,37	8370,774
ALTDORF	SWITZERLAND	46,88	8,61	438	8065,5	6850,125	7531,726
BERN/ZOLLIKOFEN	SWITZERLAND	46,98	7,46	552	8599,708	7106,167	7800,448
DAVOS	SWITZERLAND	46,81	9,85	1594	7693,146	7047,792	7400,691
COL DU GRAND ST-BERNARD	SWITZERLAND	45,86	7,16	2472	8343,875	6849,604	7603,422
LA CHAUX-DE-FONDS	SWITZERLAND	47,08	6,8	1018	8203,042	7469,104	7826,877
LUZERN	SWITZERLAND	47,03	8,3	454	8463,292	7088,125	7768,241
NEUCHATEL	SWITZERLAND	47	6,95	485	8347,354	6521,271	7368,964
SEGL-MARIA	SWITZERLAND	46,43	9,76	1804	7703,83	7280,319	7530,783
ST. GALLEN (ANETZ-STATIONS)	SWITZERLAND	47,43	9,4	775	8171,104	7147,938	7670,995
DUNKERQUE	FRANCE	51,05	2,33	11	8440,729	7821,875	8075,024
TOURS	FRANCE	47,44	0,72	108	8855	6926,896	7847,681
BERLIN-TEMPELHOF	GERMANY	52,46	13,4	48	8536,75	6416,396	7847,681
FRANKFURT/M-FLUGHAFEN	GERMANY	50,03	8,58	112	8481,875	6480,354	7385,752
RHEINSTETTEN	GERMANY	48,97	8,33	116	8583,583	6789,063	7629,622
MURCIA/ALCANTARILLA	SPAIN	37,95	-1,22	85	7092,313	5431,25	6264,469
MADRID/CUATROVIENTOS	SPAIN	40,37	-3,78	687	7793,958	3952,688	6011,627
MARNITZ	GERMANY	53,32	11,93	81	8877,17	7132,128	8005,9
OBERSTDORF	GERMANY	47,39	10,27	806	8658,896	7602,875	8103,632
BERLIN-TEGEL	GERMANY	52,56	13,31	36	8442,063	6283,354	7324,326
WASSERKUPPE	GERMANY	50,49	9,94	921	9202,292	7666,479	8445,813
OFFENBACH-WETTERPARK	GERMANY	50,08	8,78	119	8214,688	6435,681	7247,595
COTTBUS	GERMANY	51,77	14,31	69	8513,542	6739,021	7605,363
BAD DURKHEIM	GERMANY	49,47	8,19	107	8370,13	6568,426	7429,288
BAD DURKHEIM (SALINE)	GERMANY	49,46	8,18	115	8370,13	6568,426	7429,288
HAMBURG-BOTANISCHER GARTEN	GERMANY	53,56	9,98	14	8664,292	6886,396	7778,3
HAMBURG-NEUWIEDENTHAL	GERMANY	53,47	9,89	3	8663,458	6961,021	7837,106
HAMBURG-WANDSBEK	GERMANY	53,58	10,13	18	8818,917	7190,854	8027,531
HUSUM	GERMANY	54,47	9,05	3	9113,588	7574,118	8407,539
KLEINMACHNOW	GERMANY	52,405	13,23	42	8606,188	6743,042	7679,481
LEIPZIG-HOLZHAUSEN	GERMANY	51,31	12,4475	138	8381,854	6844,833	7567,679
KOLN-STAMMHEIM	GERMANY	50,99	6,97	43	8131,17	6618,044	7367,263
LORCH/RHEIN	GERMANY	50,03	7,82	100	8297,875	6666,417	7443,545
LUBECK	GERMANY	53,87	10,69	15	8816,917	7217,833	7997,752
LUBECK-BLANKENSEE	GERMANY	53,81	10,7	5	8816,917	7217,833	7997,752
LUBECK-WERFT	GERMANY	53,89	10,7	5	8811,542	7219,688	7998,602
MUNCHEN-BOGENHAUSEN	GERMANY	48,145	11,6	521	8352,75	6799,542	7507,972
MUNCHEN-BOTANISCHER GARTEN	GERMANY	48,16	11,5	515	8450,146	6932,771	7659,941
MUNCHEN	GERMANY	48,16	11,5	515	8450,146	6932,771	7659,941

OFFENBACH/M. (STADT)	GERMANY	50,09	8,75	110	8214,688	6435,979	7247,679
PLAUEN	GERMANY	50,48	12,13	386	8476,313	7120,417	7723,821
PLON (SEE)	GERMANY	54,16	10,4	24	8951,739	7521,5	8275,671
BERLIN-ALEXANDERPLATZ	GERMANY	52,52	13,41	37	8209,313	6037,063	7084,17
BERLIN-DAHLEM (LFAG)	GERMANY	52,45	13,3	55	8616,667	6626,875	7614,099
BERLIN-LICHTENRADE	GERMANY	52,4	13,41	47	8604,042	6506,854	7506,543
BERLIN-LICHTERFELDE (SUD)	GERMANY	52,41	13,3	43	8616,667	6626,875	7614,099
WUSTRUU-ZIETHENHORST	GERMANY	52,53	13,38	35	8221,271	6010,313	7091,476
BERLIN-TREPTOW	GERMANY	52,45	13,47	35	8536,75	6417,083	7403,939
EBERSWALDE	GERMANY	52,43	13,23	45	8606,188	6743,042	7679,481
BERNBURG/SAALE (NORD)	GERMANY	51,82	11,71	84	8559,875	6902,516	7662,554
BRAUNSCHWEIG-GLIESMARODE	GERMANY	52,27	10,56	83	8573,958	7041,417	7791,897
BRAUNSCHWEIG (T.H.)	GERMANY	52,27	10,53	75	8573,958	7041,417	7852,055
BRAUNSCHWEIG	GERMANY	52,29	10,44	81	8573,958	7041,417	7791,897
BREMERVORDE-NIEDEROCHTENHAUSEN	GERMANY	54,52	9,04	5	9113,588	7574,118	8407,539
CHEMNITZ	GERMANY	50,79	12,87	418	8435,354	7098	7711,998
PTE DE CHASSIRON	FRANCE	46,04	-1,41	11	8677,792	8055,271	8285,467
CAP PERTUSATO	FRANCE	41,37	9,17	107	8133,854	7715,833	7890,745
CALVI	FRANCE	42,52	8,79	57	7219,521	6101,167	6787,773
SOLENZARA	FRANCE	41,92	9,4	12	7453,304	6591,851	7076,637
CHATEAUDUN	FRANCE	48,06	1,37	126	9143,063	7175,521	8133,123
TOURS - MTSOUDUN	FRANCE	47,21	0,7	96	8855	6926,896	7847,681
GREIFSWALD-WIECK	GERMANY	54,1	13,45	0	8765,729	7512,667	8088,064
BAD-HEILIGENDAMM DOBERAN	GERMANY	53,54	9,97	3	8663,458	6961,021	7837,137
OKSOEY FYR	NORWAY	58,06	8,05	9	8579,306	7784,224	8139,503
BERGEN FLORIDA	NORWAY	60,38	5,33	12	8019,167	6931,735	7558,253
VORU	ESTONIA	57,84	27,01	82	8555,014	6901,406	7687,517
VILSANDI	ESTONIA	58,38	21,81	6	8513,762	7880,738	8209,043
ARMAGH	UNITED KINGDOM	54,35	-6,65	62	9032,718	7851,872	8565,013
ESKDALEMUIR	UNITED KINGDOM	55,31	-3,2	242	9034,021	7945,83	8565,787
WICK	UNITED KINGDOM	58,45	-3,083	36	8632,318	8208,545	8434,059
TASIILAQ	GREENLAND [DENMARK]	65,59	-37,6	50	8216,051	7587,487	7856,473
FOKSTUA	NORWAY	62,11	9,28	952	8253,468	6930,813	7655,142
CASEMENT AERODROME	IRELAND	53,3	-6,43	94	8669,711	7889,064	8277,132
SAUDA	NORWAY	59,64	6,36	5	8476,783	6806,479	7758,646
RENA - HAUGEDALEN	NORWAY	61,15	11,44	240	9111,556	6766,4	8036,095
ROCHES POINT	IRELAND	51,79	-8,24	43	8490,646	7043,067	7762,534
RYGGE	NORWAY	58,38	10,78	40	8666,833	6758,286	7791,532

Βιβλιογραφία

Ξένη βιβλιογραφία:

- Ahrens, C. D. (2009). *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment* (Ninth Edit). Brooks/Cole.
- Bamber, J. L., & Payne, A. J. (2018). *MASS BALANCE OF THE CRYOSPHERE: Observations and Modelling of Contemporary and Future Changes*. University of Sussex Library.
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future köppen-geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5(1), 180214. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Bennett, M., & Glasser, N. (2009). *Glacial Geology Ice Sheets and Landforms (2nd Edition)*. *Geology*.
- Burrough, P. A. (1992). Are GIS data structures too simple minded? *Computers and Geosciences*. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(92\)90068-3](https://doi.org/10.1016/0098-3004(92)90068-3)
- Charlson, R. J. (1992). The Atmosphere. *International Geophysics*. [https://doi.org/10.1016/S0074-6142\(08\)62693-5](https://doi.org/10.1016/S0074-6142(08)62693-5)
- Christensen, J. H., & Christensen, O. B. (2003). Severe summertime flooding in Europe. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/421805a>
- Dai, A. (2006). Recent climatology, variability, and trends in global surface humidity. *Journal of Climate*. <https://doi.org/10.1175/JCLI3816.1>
- Dangermond, J. (2009). What is a Geographic Information System(GIS)? In *Geographic Information Systems (GIS) and Mapping—Practices and Standards*. <https://doi.org/10.1520/stp24180s>
- Donaldson, D. P. (2001). With a Little Help from Our Friends: Implementing Geographic Information Systems (GIS) in K-12 Schools. *Social Education*.
- ESRI Canada. (2014). *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote*

- Sensing and Spatial Information Sciences.*
<https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-255-2014>
- Farrand, J. (2010). From Gods to Satellites. *Weatherwise.*
<https://doi.org/10.1080/00431672.1991.9927166>
- Fasullo, J. T. (2010). Robust land-ocean contrasts in energy and water cycle feedbacks. *Journal of Climate.* <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3451.1>
- Fischer, E. M., & Schär, C. (2010). Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nature Geoscience.*
<https://doi.org/10.1038/ngeo866>
- Fotheringham, A. S., Brundson, C., & Charlton, M. (2000). *Qualitative Geography. Perspectives on Spatial Data Analysis. The Sage handbook of qualitative geography.* <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2009.00642.x>
- Gallicchio, N. (2016). Climate Change. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-02559-2>
- Gallicchio, N. (2017). Inventions of weather instruments (1400-1800). In *Advances in Weather Forecasting.* <https://doi.org/10.1002/9781119136170.ch2>
- Giorgi, F., Bi, X., & Pal, J. (2004). Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. II: Climate change scenarios (2071-2100). *Climate Dynamics.* <https://doi.org/10.1007/s00382-004-0467-0>
- Gold, C. M. (2006). What is GIS and what is not? *Transactions in GIS.*
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2006.01009.x>
- Goodchild, M. F. (1992). Geographical Information-Science Tt - Geographical Information-Science. *International Journal of Geographical Information Systems TA - Goodchild, M. F.*
- Hans-Martin, F., Stéphane, Mikael, H., & Stefan, F. (2012). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012.*
- Harvey, F. (2009). *A Primer of GIS: Fundamental Geographic and Cartographic Concepts. The Professional Geographer.*
<https://doi.org/10.1080/00330120903103171>

- Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G., Klok, E. J., Jones, P. D., & New, M. (2008). A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *Journal of Geophysical Research*, 113(D20), D20119. <https://doi.org/10.1029/2008JD010201>
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007 Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>
- Kerski, J. J. (2003). The implementation and effectiveness of geographic information systems technology and methods in secondary education. *Journal of Geography*. <https://doi.org/10.1080/00221340308978534>
- Kilpeläinen, A., Kellomäki, S., Strandman, H., & Venäläinen, A. (2010). Climate change impacts on forest fire potential in boreal conditions in Finland. *Climatic Change*. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9788-7>
- Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D., & Rhind, D. (2015). *Geographic Information Science and Systems*. *Geographic Information Science and Systems*.
- Maguire, D. J. (1991). An overview and definition of GIS. In *Geographical Information Systems: Principles and Applications*.
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*, 62(1), 3–65. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002>
- Maramathas, A. I., & Gialamas, I. (2009). COASTAL KARST SPRINGS AND CLIMATE CHANGE. *Proceedings, Volume I*, 344–350.
- Massel, S. R. (1996). *Ocean Surface Waves: Their Physics and Prediction*. <https://doi.org/10.1142/2285>
- Medhaug, I., Stolpe, M. B., Fischer, E. M., & Knutti, R. (2017). Reconciling controversies about the ‘global warming hiatus.’ *Nature*, 545(7652), 41–47. <https://doi.org/10.1038/nature22315>
- Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., Dave, R., & Meyer, L. (2007). *Climate Change 2007:*

Mitigation. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Middleton, W. E. K., & Frisinger, H. H. (2006). The History of Meteorology to 1800. *Technology and Culture*. <https://doi.org/10.2307/3103387>

Nemerow, N. L. (1984). *The Biosphere: Problems and Solutions, Proceedings of the Miami International Symposium on the Biosphere. Studies in Environmental Science*. [https://doi.org/10.1016/S0166-1116\(08\)72128-9](https://doi.org/10.1016/S0166-1116(08)72128-9)

Neves, G., Gallardo, N., & Vecchia, F. (2017). A Short Critical History on the Development of Meteorology and Climatology. *Climate*, 5(1), 23. <https://doi.org/10.3390/cli5010023>

Oliver, J. E. (2005). Relative humidity. In *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. https://doi.org/10.1007/1-4020-3266-8_172

Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world Koppen-Geiger climate classification map. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633–1644.

Polemio, M., & Casarano, D. (2004). Rainfall and drought in southern Italy (1821-2001). *The Basis of Civilization - Water Science?*

Räisänen, J., Hansson, U., Ullerstig, A., Döscher, R., Graham, L. P., Jones, C., ... Willén, U. (2004). European climate in the late twenty-first century: Regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Climate Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/s00382-003-0365-x>

Richter, I., & Xie, S. P. (2008). Muted precipitation increase in global warming simulations: A surface evaporation perspective. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. <https://doi.org/10.1029/2008JD010561>

Rowell, D. P., & Jones, R. G. (2006). Causes and uncertainty of future summer drying over Europe. *Climate Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/s00382-006-0125-9>

Rudnicki, R. (2003). Fundamentals of spatial information systems. *Control*

Engineering Practice. [https://doi.org/10.1016/0967-0661\(95\)90048-9](https://doi.org/10.1016/0967-0661(95)90048-9)

- Ruosteenoja, K., & Räisänen, P. (2013). Seasonal changes in solar radiation and relative humidity in Europe in response to global warming. *Journal of Climate*, 26(8), 2467–2481. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00007.1>
- Seneviratne, S. I., Lüthi, D., Litschi, M., & Schär, C. (2006). Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/nature05095>
- Solomon, S., D., Qin, M., Manning, Z., Chen, M., Marquis, K. B., Averyt, M. T., ... Miller, H. L. (2007). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. D Qin M Manning Z Chen M Marquis K Averyt M Tignor and HL Miller New York Cambridge University Press Pp. <https://doi.org/10.1038/446727a>
- Suarez-Gutierrez, L., Li, C., Muller A., W., & Marotzke, J. (2018). Internal variability in European summer temperatures at 1.5 °C and 2 °C of global warming. *Environmental Research Letters*, 13.
- Summer, W. (1960). Humidity. *Anti-Corrosion Methods and Materials*. <https://doi.org/10.1108/eb019720>
- Taub, L. (2003). *Ancient Meteorology*. *Ancient Meteorology*. <https://doi.org/10.4324/9780203634288>
- Thum, T., Risnen, P., Sevanto, S., Tuomi, M., Reick, C., Vesala, T., ... Liski, J. (2011). Soil carbon model alternatives for ECHAM5/JSBACH climate model: Evaluation and impacts on global carbon cycle estimates. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(2), 1–15. <https://doi.org/10.1029/2010JG001612>
- Tomlinson, R. (2013). Thinking About GIS: Geographic Information System Planning for Managers. In *Thinking About GIS: Geographic Information System Planning for Managers*.
- Toropova, C., Meliane, I., Laffoley, D., Matthews, E., & Spalding, M. (2010). *Global Ocean Protection. Present Status, Future Possibilities*. Brest France Agence des

aires marines protégées Gland Switzerland Washington DC and New York USA IUCN WCPA Cambridge UK UNEPWCMC Arlington USA TNC Tokyo Japan UNU New York USA WCS 96pp. [https://doi.org/10.1016/s0887-6185\(00\)00050-5](https://doi.org/10.1016/s0887-6185(00)00050-5)

UNFCCC. (2015). Adoption of the Paris Agreement, 21932(December), 1–32. <https://doi.org/FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1>

Van Elzakker, C. P. J. M. (2014). Use and Users of Maps on the Web. *Cartographic Perspectives*. <https://doi.org/10.14714/cp37.808>

Van Oldenborgh, G. J., Drijfhout, S., Van Ulden, A., Haarsma, R., Sterl, A., Severijns, C., ... Dijkstra, H. (2009). Western Europe is warming much faster than expected. *Climate of the Past*, 5(1), 1–12. <https://doi.org/10.5194/cp-5-1-2009>

Waters, N. (2018). GIS: History. In *International Encyclopedia of Geography*. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0841.pub2>

Zerger, A., & Smith, D. I. (2003). Impediments to using GIS for real-time disaster decision support. *Computers, Environment and Urban Systems*. [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(01\)00021-7](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(01)00021-7)

Zillman, J. W. (2009). A history of climate activities. *WMO Bulletin*, 58(July), 141–150.

Ahrens, C. D. (2009). *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment* (Ninth Edit). Brooks/Cole.

Bamber, J. L., & Payne, A. J. (2018). *MASS BALANCE OF THE CRYOSPHERE: Observations and Modelling of Contemporary and Future Changes*. University of Sussex Library.

Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future köppen-geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5(1), 180214. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>

Bennett, M., & Glasser, N. (2009). *Glacial Geology Ice Sheets and Landforms (2nd Edition)*. *Geology*.

Burrough, P. A. (1992). Are GIS data structures too simple minded? *Computers and*

- Geosciences*. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(92\)90068-3](https://doi.org/10.1016/0098-3004(92)90068-3)
- Charlson, R. J. (1992). The Atmosphere. *International Geophysics*. [https://doi.org/10.1016/S0074-6142\(08\)62693-5](https://doi.org/10.1016/S0074-6142(08)62693-5)
- Christensen, J. H., & Christensen, O. B. (2003). Severe summertime flooding in Europe. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/421805a>
- Dai, A. (2006). Recent climatology, variability, and trends in global surface humidity. *Journal of Climate*. <https://doi.org/10.1175/JCLI3816.1>
- Dangermond, J. (2009). What is a Geographic Information System(GIS)? In *Geographic Information Systems (GIS) and Mapping—Practices and Standards*. <https://doi.org/10.1520/stp24180s>
- Donaldson, D. P. (2001). With a Little Help from Our Friends: Implementing Geographic Information Systems (GIS) in K-12 Schools. *Social Education*.
- ESRI Canada. (2014). *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-255-2014>
- Farrand, J. (2010). From Gods to Satellites. *Weatherwise*. <https://doi.org/10.1080/00431672.1991.9927166>
- Fasullo, J. T. (2010). Robust land-ocean contrasts in energy and water cycle feedbacks. *Journal of Climate*. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3451.1>
- Fischer, E. M., & Schär, C. (2010). Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nature Geoscience*. <https://doi.org/10.1038/ngeo866>
- Fotheringham, A. S., Brundson, C., & Charlton, M. (2000). *Qualitative Geography. Perspectives on Spatial Data Analysis. The Sage handbook of qualitative geography*. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2009.00642.x>
- Gallicchio, N. (2016). Climate Change. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-02559-2>
- Gallicchio, N. (2017). Inventions of weather instruments (1400-1800). In *Advances in*

Weather Forecasting. <https://doi.org/10.1002/9781119136170.ch2>

Giorgi, F., Bi, X., & Pal, J. (2004). Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. II: Climate change scenarios (2071-2100). *Climate Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/s00382-004-0467-0>

Gold, C. M. (2006). What is GIS and what is not? *Transactions in GIS*. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2006.01009.x>

Goodchild, M. F. (1992). Geographical Information-Science Tt - Geographical Information-Science. *International Journal of Geographical Information Systems TA - Goodchild, M. F.*

Hans-Martin, F., Stéphane, Mikael, H., & Stefan, F. (2012). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012*.

Harvey, F. (2009). *A Primer of GIS: Fundamental Geographic and Cartographic Concepts. The Professional Geographer*. <https://doi.org/10.1080/00330120903103171>

Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G., Klok, E. J., Jones, P. D., & New, M. (2008). A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *Journal of Geophysical Research*, 113(D20), D20119. <https://doi.org/10.1029/2008JD010201>

IPCC. (2007). *Climate Change 2007 Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>

Kerski, J. J. (2003). The implementation and effectiveness of geographic information systems technology and methods in secondary education. *Journal of Geography*. <https://doi.org/10.1080/00221340308978534>

Kilpeläinen, A., Kellomäki, S., Strandman, H., & Venäläinen, A. (2010). Climate change impacts on forest fire potential in boreal conditions in Finland. *Climatic Change*. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9788-7>

Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D., & Rhind, D. (2015). *Geographic Information*

- Maguire, D. J. (1991). An overview and definition of GIS. In *Geographical Information Systems: Principles and Applications*.
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*, 62(1), 3–65.
<https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002>
- Maramathas, A. I., & Gialamas, I. (2009). COASTAL KARST SPRINGS AND CLIMATE CHANGE. *Proceedings, Volume I*, 344–350.
- Massel, S. R. (1996). *Ocean Surface Waves: Their Physics and Prediction*.
<https://doi.org/10.1142/2285>
- Medhaug, I., Stolpe, M. B., Fischer, E. M., & Knutti, R. (2017). Reconciling controversies about the ‘global warming hiatus.’ *Nature*, 545(7652), 41–47.
<https://doi.org/10.1038/nature22315>
- Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., Dave, R., & Meyer, L. (2007). *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Middleton, W. E. K., & Frisinger, H. H. (2006). The History of Meteorology to 1800. *Technology and Culture*. <https://doi.org/10.2307/3103387>
- Nemerow, N. L. (1984). *The Biosphere: Problems and Solutions, Proceedings of the Miami International Symposium on the Biosphere. Studies in Environmental Science*. [https://doi.org/10.1016/S0166-1116\(08\)72128-9](https://doi.org/10.1016/S0166-1116(08)72128-9)
- Neves, G., Gallardo, N., & Vecchia, F. (2017). A Short Critical History on the Development of Meteorology and Climatology. *Climate*, 5(1), 23.
<https://doi.org/10.3390/cli5010023>
- Oliver, J. E. (2005). Relative humidity. In *Encyclopedia of Earth Sciences Series*.
https://doi.org/10.1007/1-4020-3266-8_172
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world Köppen-Geiger

- climate classification map. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633–1644.
- Polemio, M., & Casarano, D. (2004). Rainfall and drought in southern Italy (1821-2001). *The Basis of Civilization - Water Science?*
- Räisänen, J., Hansson, U., Ullerstig, A., Döscher, R., Graham, L. P., Jones, C., ... Willén, U. (2004). European climate in the late twenty-first century: Regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Climate Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/s00382-003-0365-x>
- Richter, I., & Xie, S. P. (2008). Muted precipitation increase in global warming simulations: A surface evaporation perspective. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. <https://doi.org/10.1029/2008JD010561>
- Rowell, D. P., & Jones, R. G. (2006). Causes and uncertainty of future summer drying over Europe. *Climate Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/s00382-006-0125-9>
- Rudnicki, R. (2003). Fundamentals of spatial information systems. *Control Engineering Practice*. [https://doi.org/10.1016/0967-0661\(95\)90048-9](https://doi.org/10.1016/0967-0661(95)90048-9)
- Ruosteenoja, K., & Räisänen, P. (2013). Seasonal changes in solar radiation and relative humidity in Europe in response to global warming. *Journal of Climate*, 26(8), 2467–2481. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00007.1>
- Seneviratne, S. I., Lüthi, D., Litschi, M., & Schär, C. (2006). Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/nature05095>
- Solomon, S., D., Qin, M., Manning, Z., Chen, M., Marquis, K. B., Averyt, M. T., ... Miller, H. L. (2007). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. *D Qin M Manning Z Chen M Marquis K Averyt M Tignor and HL Miller New York Cambridge University Press Pp*. <https://doi.org/10.1038/446727a>
- Suarez-Gutierrez, L., Li, C., Muller A., W., & Marotzke, J. (2018). Internal variability in European summer temperatures at 1.5 °C and 2 °C of global warming.

Environmental Research Letters, 13.

Summer, W. (1960). Humidity. *Anti-Corrosion Methods and Materials*.
<https://doi.org/10.1108/eb019720>

Taub, L. (2003). *Ancient Meteorology*. *Ancient Meteorology*.
<https://doi.org/10.4324/9780203634288>

Thum, T., Risnen, P., Sevanto, S., Tuomi, M., Reick, C., Vesala, T., ... Liski, J. (2011). Soil carbon model alternatives for ECHAM5/JSBACH climate model: Evaluation and impacts on global carbon cycle estimates. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(2), 1–15. <https://doi.org/10.1029/2010JG001612>

Tomlinson, R. (2013). Thinking About GIS: Geographic Information System Planning for Managers. In *Thinking About GIS: Geographic Information System Planning for Managers*.

Toropova, C., Meliane, I., Laffoley, D., Matthews, E., & Spalding, M. (2010). *Global Ocean Protection. Present Status, Future Possibilities*. Brest France Agence des aires marines protégées Gland Switzerland Washington DC and New York USA IUCN WCPA Cambridge UK UNEPWCMC Arlington USA TNC Tokyo Japan UNU New York USA WCS 96pp. [https://doi.org/10.1016/s0887-6185\(00\)00050-5](https://doi.org/10.1016/s0887-6185(00)00050-5)

UNFCCC. (2015). Adoption of the Paris Agreement, 21932(December), 1–32.
<https://doi.org/FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1>

Van Elzakker, C. P. J. M. (2014). Use and Users of Maps on the Web. *Cartographic Perspectives*. <https://doi.org/10.14714/cp37.808>

Van Oldenborgh, G. J., Drijfhout, S., Van Ulden, A., Haarsma, R., Sterl, A., Severijns, C., ... Dijkstra, H. (2009). Western Europe is warming much faster than expected. *Climate of the Past*, 5(1), 1–12. <https://doi.org/10.5194/cp-5-1-2009>

Waters, N. (2018). GIS: History. In *International Encyclopedia of Geography*.
<https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0841.pub2>

Zerger, A., & Smith, D. I. (2003). Impediments to using GIS for real-time disaster decision support. *Computers, Environment and Urban Systems*.

[https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(01\)00021-7](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(01)00021-7)

Zillman, J. W. (2009). A history of climate activities. *WMO Bulletin*, 58(July), 141–150.

Ελληνική βιβλιογραφία:

Αστάρας, Θ., Οικονομίδης, Δ., & Μουρατίδης, Α. (2011). Ψηφιακή χαρτογραφία και γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Δίσιγμα

Δούκας Γ. & Υφαντής Γ. (2005). Ιστορική εξέλιξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Επιστημονικό Συνέδριο «Η εξέλιξη των οργάνων, των μεθόδων και των συστημάτων μετρήσεων των επιστημών της αποτύπωσης στην Ελλάδα», 15 και 16 Απριλίου 2005, Θεσσαλονίκη.

Καϊμάρης, Δ., & Καρανικόλας, Ν. (2014). Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών - Θεωρητική προσέγγιση και εργαστηριακές ασκήσεις. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις ΖΗΤΗ

Καρανικόλας, Ν. (2007). Ελεύθερα λογισμικά GRASS και QGIS. Εγχειρίδια χρήσης. Σέρρες: Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας Τ.Ε.Ι. Σερρών

Κοπελιάδης, Γ. (2013). Κλιματική αλλαγή. National Geographic, Εγκυκλοπαίδεια του Περιβάλλοντος για νέους

Κατσαφάδος, Π., Μαυροματίδης, Η. (2015). Εισαγωγή στη φυσική της ατμόσφαιρας και την κλιματική αλλαγή. Εκδόσεις Κάλλιπος

Κουτσόπουλος, Κ. (2005), Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών και ανάλυση χώρου. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου

Μανιάτης Γ. (1993), Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Γης-Κτηματολογίου. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.

Μάχαιρας, Π. και Μπαλαφούτης Χρ.(1997). Γενική κλιματολογία με στοιχεία μετεωρολογίας. Αθήνα Β έκδοση.

Νάκος, Κ. & Κρασανάκης, Β. (2013). Κατανεμημένη διαδικτυακή χαρτογραφία και διαδικτυακές υπηρεσίες. Σεμινάριο Διαχείριση γεωπληροφοριών μέσω διαδικτύου-

Διαδικτυακή χαρτογραφία και χαρτογραφία με πολυμέσα

Παππάς, Β. (1998). Εισαγωγή στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Βόλος: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας

Στεφανάκης Ε. (2003). Βάσεις γεωγραφικών δεδομένων και συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Τζελέπης, Ν., Κρασανάκης, Β., Νάκος, Β. (2014). Αξιοποίηση ελεύθερου λογισμικού/ λογισμικού ανοικτού κώδικα (ΕΛ/ΛΑΚ) για τη δημιουργία διαδικτυακών χαρτών στην εκπαίδευση. 13ο Εθνικό Συνέδριο Χαρτογραφίας, Πάτρα 22-24 Οκτωβρίου 2014.

Τσολάκης, Δ.Ν. (2013). GIS: Εισαγωγή στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Συλλογή δεδομένων, πηγές και εισαγωγή τους σε GIS.

Υφαντής, Ι. & Σαββαΐδης, Π. (2004). GIS AutoCad MAP 2004- Πανεπιστημιακές Σημειώσεις. Θεσσαλονίκη, ΑΠΘ.