

**ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Χρήση του λογισμικού ArcGIS για τη μελέτη της χωρικής  
κατανομής των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα**

**Εμμανουήλ Α. Αξυπόλυτος (Α.Μ.: 32499)  
Σπυρίδων Π. Μουρελάτος (Α.Μ.: 32502)**

**Εισηγητής: Αθανάσιος Γ. Παλιατσός, Καθηγητής**

**ΑΘΗΝΑ  
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2015**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Χρήση του λογισμικού ArcGIS για τη μελέτη της χωρικής κατανομής των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα.**

**Εμμανουήλ Α. Αξυπόλυτος**

**A.M. 32499**

**Σπυρίδων Π. Μουρελάτος**

**A.M. 32502**

**Εισηγητής:**

**Εισηγητής: Αθανάσιος Γ. Παλιατσός, Καθηγητής**

**Εξεταστική Επιτροπή:**

**Αθανάσιος Γ. Παλιατσός, Καθηγητής**

**Κωνσταντίνος Β. Κουκουλέτσος, Καθηγητής**

**Παναγιώτης Ηρ. Γιαννακόπουλος, Καθηγητής**

**Ημερομηνία εξέτασης:**

**08/01/2016**



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θέλουμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μας Αθανάσιο Γ. Παλιατσό τη συμβολή του, τόσο στις διορθώσεις, όσο και στις κατευθύνσεις του κειμένου αλλά και για την υπομονή του στην μακροχρόνια διαδικασία συγγραφής της Πτυχιακής μας εργασίας καθώς και την κα Ιωάννα Λαρίσση που μας παρείχε το ArcGIS και τις πρώτες κατευθύνσεις πάνω στη χρήση του.

Ακόμα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας για την υποστήριξη που μας έδωσαν όλα αυτά τα χρόνια καθώς και τον Σταύρο Ρούμελη για την πολύτιμη συμβολή του πάνω στη χρήση του συγκεκριμένου λογισμικού, καθώς και στις πληροφορίες που μας παρείχε πάνω στη χωρική παρεμβολή.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με τη μελέτη της χωρικής κατανομής της βροχόπτωσης στον Ελλαδικό χώρο, με την χρήση του Γεωπληροφοριακού Συστήματος Δεδομένων ArcGIS. Με χρήση του ArcGIS έγινε οπτικοποίηση των μέσων ετήσιων τιμών ύψους βροχής 50 ετών, 1951-2000, από 21σταθμούς σχεδόν ομοιόμορφα κατανεμημένους στην Ελληνική επικράτεια. Πέρα από την απεικόνιση της χωρικής κατανομής, έγιναν υπολογισμοί των εμφανιζόμενων τάσεων με στατιστικές μεθόδους που παρέχει το ArcGIS. Επίσης, έγινε περιγραφή των βασικών διαδικασιών για εισαγωγή δεδομένων και την απεικόνισή τους πάνω σε ένα σύστημα συντεταγμένων.

## ABSTRACT

In this study, the spatial distribution of the precipitation trend in Greece during a 50-year, 1951-2000, is presented. Twenty-three precipitation time series from stations evenly distributed over Greece are studied. In almost all of them, a decreasing precipitation trend is observed. The decreasing precipitation trend is greater in the northwest part of Greece, where the higher precipitation amounts occur. The geographical distribution covering the rates of the precipitation change all over Greece is presented through the use of ArcGIS geographical information system. The results of this analysis are determined mainly by the corresponding statistically significant decreasing precipitation trend during the cold period of the year, when on the average, the 80% of the annual precipitation amounts occur.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Εφαρμογές Γεωπληροφορικής

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Χωρική παρεμβολή, Κλιματολογία, βροχοπτώσεις, Γεωπληροφορικά Συστήματα Δεδομένων, ArcGIS





## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	5
ABSTRACT .....	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	7
ΣΧΗΜΑΤΑ .....	9
ΠΙΝΑΚΕΣ .....	11
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	15
1. ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ .....	15
1.1 Ο καιρός και το κλίμα.....	15
1.3 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα ή υετός.....	24
1.3.2 Χιόνι.....	31
1.3.3 Χαλάζι.....	32
1.3.4 Χιονοχάλαζα .....	33
1.4 Επίδραση της βροχής στη διαμόρφωση του κλίματος.....	33
1.5 Το κλίμα της Ελλάδας και οι εποχιακές κλιματικές αλλαγές.....	46
1.5.1 Κύριοι κλιματικοί παράγοντες .....	47
1.5.2 Κλιματικά στοιχεία.....	50
2. ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (GIS) .....	55
2.1 Εισαγωγή στα γεωπληροφοριακά συστήματα δεδομένων.....	55
2.2 Τι είναι ένα γεωπληροφοριακό σύστημα δεδομένων; .....	56
2.3 Που χρησιμεύει ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών.....	61
2.6 Βάση της εξέλιξης του λογισμικού GIS .....	64
2.7 Ανάπτυξη στη Βόρεια Αμερική .....	66
2.8 Το Εργαστήριο Computer Graphics Του Harvard.....	68
2.9 Γεωπληροφοριακό Σύστημα Δεδομένων του Καναδά.....	70
2.10 Ο εμπορικός τομέας – Το παράδειγμα του ESRI .....	71
2.11 Λογισμικό ArcGIS – Δομή Λογισμικού .....	72
2.12 Τα εργαλεία ArcToolbox-ArcCatalog-ArcMap .....	73
3. ΧΩΡΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ.....	75
3.1 Εισαγωγή στις χωρικές παρεμβολές.....	75
3.3 Δημιουργία Χάρτη Επιφάνειας Πρόβλεψης με Kriging.....	77
3.4 Βαριογραφία .....	78
3.5 Προσαρμογή μοντέλου σε εμπειρικό ημιβαριόγραμμα .....	79
3.6 Μοντέλα ημιβαριογράμματος.....	80
3.7 Κατανόηση Ημιβαριογράμματος .....	83
3.8 Εμβέλεια και Κατώφλι .....	83
3.9 Μη χωρικός θόρυβος (Nugget).....	84
B. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....	85
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	85
1.1 Περιγραφή λογισμικού και συστημάτων που χρησιμοποιήθηκαν.....	85
2 ArcGIS ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ .....	87
2.1 Τα πρώτα βήματα στο ArcGIS .....	87
2.2 Δεδομένα προς εισαγωγή.....	112
2.3 Εισαγωγή των μετρήσεων. ....	113
2.4 Γεωπληροφοριακή απεικόνιση των δεδομένων .....	125
3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	145

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	147
Διεθνής.....	147
Ελληνική.....	150

## ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1. Ο υδρολογικός κύκλος. ....	26
Σχήμα 2. Παγκόσμια κατανομή της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης. ....	35
Σχήμα 3. Μέση ετήσια βροχόπτωση, εξατμισοδιαπνοή και δυναμική εξατμισοδιαπνοή..	38
Σχήμα 4. Μεταβατικές κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα. ....	49
Σχήμα 5. Υψομετρικές κλιματικές ζώνες του μεσογειακού κλίματος. ....	50
Σχήμα 6. Ζεύγη σημείων προς υπολογισμό. ....	78
Σχήμα 7. Εμπειρικό ημιβαριόγραμμα. ....	79
Σχήμα 8. Κυκλική συνάρτηση εμπειρικού ημιβαριογράμματος. ....	80
Σχήμα 9. Σφαιρική συνάρτηση εμπειρικού ημιβαριογράμματος. ....	81
Σχήμα 10. Εκθετική συνάρτηση εμπειρικού ημιβαριογράμματος. ....	81
Σχήμα 11. Gaussian συνάρτηση εμπειρικού ημιβαριογράμματος. ....	81
Σχήμα 12. Γραμμική συνάρτηση εμπειρικού ημιβαριογράμματος. ....	82
Σχήμα 13. Το σφαιρικό μοντέλο εφαρμοσμένο σε εμπειρικό ημιβαριόγραμμα. ....	82
Σχήμα 14. Το εκθετικό μοντέλο εφαρμοσμένο σε εμπειρικό ημιβαριόγραμμα. ....	83
Σχήμα 15. Η πρώτη οθόνη Arc Catalog. ....	87
Σχήμα 16. Σύνδεση με τον φάκελο εργασίας. ....	88
Σχήμα 17. Ο φάκελος εργασίας στο Arc Catalog. ....	89
Σχήμα 18. Shape file όπως αυτό εμφανίζεται μέσα από το Arc Catalog. ....	90
Σχήμα 19. Προεπισκόπηση του shape file. ....	90
Σχήμα 20. Περιγραφή του shape file μέσα από το Arc Catalog. ....	91
Σχήμα 21. Προεπισκόπησης shape file που περιέχει πίνακα. ....	92
Σχήμα 22. Η αρχική οθόνη του Arc Map. ....	93
Σχήμα 23. Άνοιγμα αρχείου χάρτη από υπάρχον αρχείο. ....	94
Σχήμα 24. Εισαγωγή δεδομένων σε νέο αρχείο χάρτη. ....	94
Σχήμα 25. Παράθυρο αναζήτησης των συνδεδεμένων αρχείων εργασίας. ....	95
Σχήμα 26. Επιλογή του προ εισαγωγή αρχείου layer. ....	95
Σχήμα 27. Απεικόνιση της ακτογραμμής της Ελλάδας. ....	96
Σχήμα 28. Απεικόνιση όλων των layers. ....	97
Σχήμα 29. Αλλαγή των εμφανιζόμενων layers. ....	97
Σχήμα 30. Αλλαγή των εμφανιζόμενων layers. ....	98
Σχήμα 31. Παράθυρο επιλογής συμβόλου που θα περιγράψει σημειακές οντότητες. ....	99
Σχήμα 32. Παράθυρο επιλογής συμβόλου που θα περιγράψει γραμμικές οντότητες. ....	100
Σχήμα 33. Παράθυρο επιλογής συμβόλου που θα περιγράψει οντότητες επιφάνειας. ....	101
Σχήμα 34. Αλλαγή σειράς των layers που κρύβει δεδομένα. ....	102
Σχήμα 35. Αλλαγή σειράς των layers που μας επιτρέπει πληρέστερη πληροφόρηση. ..	102
Σχήμα 36. Μενού επιλογής σελιδοδεικτών και αποθήκευσης. ....	103
Σχήμα 37. Παράθυρο αποθήκευσης νέου σελιδοδείκτη. ....	104
Σχήμα 38. Παράθυρο διαχείρισης σελιδοδεικτών. ....	105
Σχήμα 39. Εργαλείο αναγνώρισης οντοτήτων. ....	106
Σχήμα 40. Παράθυρο αποτελεσμάτων από την αναγνώριση οντοτήτων-αντικειμένων. .	107
Σχήμα 41. Παράθυρο αποτελεσμάτων από την αναγνώριση οντοτήτων-αντικειμένων. .	107
Σχήμα 42. Παράθυρο αποτελεσμάτων από αναγνώριση πολλαπλών οντοτήτων. ....	108
Σχήμα 43. Παράθυρο αποτελεσμάτων από αναγνώριση πολλαπλών οντοτήτων. ....	109
Σχήμα 44. Παράθυρο αποτελεσμάτων από αναγνώριση πολλαπλών οντοτήτων. ....	110
Σχήμα 45. Παράθυρο αποτελεσμάτων από αναγνώριση πολλαπλών οντοτήτων. ....	111
Σχήμα 46. Νέος φάκελος εργασίας. ....	113

Σχήμα 47. Εισαγωγή νέου Shapefile.....	114
Σχήμα 48. Ιδιότητες νέου Shapefile.....	115
Σχήμα 49. Νέο Shapefile με το ζητούμενο σύστημα συντεταγμένων.....	116
Σχήμα 50. Νέο Group Layer και εισαγωγή δεδομένων.....	117
Σχήμα 51. Ιδιότητες Group Layer.....	117
Σχήμα 52. Εισαγωγή δεδομένων στο Group Layer.....	118
Σχήμα 53. Έναρξη επεξεργασίας νέου Layer.....	118
Σχήμα 54. Εργαλείο Point στο toolbar του editor.....	119
Σχήμα 55. Το Edit tool του Edit toolbar.....	120
Σχήμα 56. Μετακίνηση σημείου μετά από δεξί κλικ σε αυτό.....	120
Σχήμα 57. Επιλογή μορφής εισαγωγής συντεταγμένων.....	121
Σχήμα 58. Άνοιγμα πίνακα δεδομένων του shapefile.....	122
Σχήμα 59. Εισαγωγή νέου πεδίου στον πίνακα δεδομένων.....	122
Σχήμα 60. Επιλογή τύπου πεδίου.....	123
Σχήμα 61. Πίνακας δεδομένων στη βάση του ArcGIS.....	123
Σχήμα 62. Εξαγωγή αποτελεσμάτων σε γράφημα.....	124
Σχήμα 63. Geostatistical Analyst Toolbar.....	125
Σχήμα 64. Πρώτο βήμα του Geostatistical Analyst Wizard: Επιλογή μεθόδου και δεδομένων.....	126
Σχήμα 65. Δεύτερο βήμα Geostatistical Analyst Wizard: επιλογή τύπου μεθόδου Kriging.....	127
Σχήμα 66. Τρίτο βήμα Geostatistical Analyst Wizard: παραμετροποίηση μοντέλου ημιβαριογράμματος.....	127
Σχήμα 67. Τέταρτο βήμα Geostatistical Analyst Wizard: ρυθμίσεις για τον τύπο του παραγόμενου ημιβαριογράμματος.....	128
Σχήμα 68. Πέμπτο βήμα Geostatistical Analyst Wizard: Ρύθμιση της επιρροής των γειτονικών σταθμών στο παραγόμενο αποτέλεσμα.....	129
Σχήμα 69. Έκτο βήμα Geostatistical Analyst Wizard: Διασταυρωμένη επικύρωση (Cross Validation).....	129
Σχήμα 70. Ολοκλήρωση του Geostatistical Analyst Wizard: Εξαγωγή report.....	130
Σχήμα 71. Επεξεργασία μεγέθους παραγόμενου layer.....	131
Σχήμα 72. Αποτέλεσμα μεθόδου Kriging με κάλυψη όλου του Ελλαδικού χώρου.....	131
Σχήμα 73. Επιλογή χρωματικής διαβάθμισης για το παραχθέν πλέγμα.....	132
Σχήμα 74. Απλή μέθοδος Kriging με επιλογή μπλε χρωματισμού για την μέση ετήσια βροχόπτωση.....	133
Σχήμα 75. Αποτέλεσμα παραχθέν με συνήθη μέθοδο Kriging για τη μέση ετήσια βροχόπτωση.....	134
Σχήμα 76. Όμοιο με Σχήμα 75 με εφαρμογή της καθολικής Kriging.....	135
Σχήμα 77. Όμοιο με Σχήμα 75 με εφαρμογή της Indicator Kriging.....	136
Σχήμα 78. Όμοιο με Σχήμα 75 με εφαρμογή της Probability Kriging.....	137
Σχήμα 79. Όμοιο με Σχήμα 75 με εφαρμογή της διαζευκτική (disjunctive) Kriging.....	138
Σχήμα 80. Αποτέλεσμα παραχθέν με συνήθη μέθοδο Kriging για τον ετήσιο ρυθμό μεταβολής της βροχόπτωσης.....	140
Σχήμα 81. Όμοιο με Σχήμα 80 με εφαρμογή της απλής μεθόδου Kriging.....	141
Σχήμα 82. Όμοιο με Σχήμα 80 με εφαρμογή της καθολικής μεθόδου Kriging.....	142
Σχήμα 83. Όμοιο με Σχήμα 80 με εφαρμογή της διαζευκτικής μεθόδου Kriging.....	143

## **ΠΙΝΑΚΕΣ**

Πίνακας 1. Οι χρησιμοποιούμενοι βροχομετρικοί σταθμοί για την περίοδο 1951-2000..... 112



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από την πρώτη στιγμή της ζωής μας, ερχόμαστε σε επαφή με διάφορα περιβάλλοντα. Αυτό μπορεί να είναι οικονομικό, κοινωνικό, εργασιακό και άλλα, αλλά πάνω απ' όλα είναι το φυσικό. Το φυσικό περιβάλλον είναι αυτό που μας επιτρέπει να ζούμε και να δραστηριοποιούμαστε, να αναπτυσσόμαστε, να δημιουργούμε και να καταστρέφουμε. Αυτό μας δίνει όλα όσα χρειαζόμαστε για να παράγουμε ή να αντλούμε και δημιουργεί τις συνθήκες για να επιβιώνουμε. Αυτές οι συνθήκες είναι αυτό που ονομάζουμε κλίμα. Το κλίμα είναι αυτό που επέτρεψε στην ζωή να αναπτυχθεί πάνω στη Γη και να την διατηρήσει, γι' αυτό το λόγο είναι πολύ σημαντικό να υπάρχουν έρευνες γύρω από το κλίμα και τις κλιματικές αλλαγές για να προλάβουμε την όποια επίπτωση στον άνθρωπο και την βιωσιμότητά του. Σε αυτό τον σκοπό δε θα μπορούσε να λείπει η νέα τεχνολογία και τεχνογνωσία. Νέα όργανα μετρήσεων και αισθητήρες με μεγαλύτερη ακρίβεια, προγράμματα εφαρμογής στατιστικών μοντέλων για παρατήρηση ή πρόβλεψη και άλλα ψηφιακά εργαλεία έχουν γίνει αχώριστοι σύμβουλοι των ερευνητών.

Ένα από αυτά είναι και τα Γεωπληροφοριακά Συστήματα Δεδομένων (ΓΣΔ) που μπορούν να απεικονίσουν γραφικά, πάνω σε χάρτες, πληθώρα δεδομένων με όποιο τρόπο και ομαδοποίηση επιθυμεί ο χρήστης για την ευκολότερη εξαγωγή συμπερασμάτων ή εφαρμογή στατιστικών αναλύσεων. Από την πιο απλή χρήση, όπως στις εφαρμογές πλοήγησης (για παράδειγμα το google maps) οι οποίες περιέχουν δεδομένα πέρα από την απλή απεικόνιση ενός χάρτη, μέχρι το πλήρως παραμετροποιήσιμο ArcGIS, τα ΓΣΔ αναλαμβάνουν ενεργό ρόλο στην έρευνα και σιγά-σιγά στην καθημερινή ζωή.

Σε αυτή την Πτυχιακή Εργασία έγινε μελέτη της χωρικής κατανομής του ύψους βροχής στην Ελλάδα, σε διάφορες χρονικές βάσεις, όπως π.χ. του ετήσιου ύψους βροχής και του ύψους βροχής στη διάρκεια της βροχερής περιόδου του έτους. Η μελέτη βασίστηκε στη χρήση του λογισμικού ArcGIS.





## **A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

### **1. ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

#### **1.1 Ο καιρός και το κλίμα**

Η μελέτη του πλανήτη μας γίνεται μέσα από τέσσερις μεγάλες ενότητες, δηλαδή τέσσερις μεγάλες κατηγορίες οι οποίες περιλαμβάνουν τη στερεά μορφή της γης, που την ονομάζουμε λιθόσφαιρα, την υγρή που είναι γνωστή σαν υδρόσφαιρα, την αέρια, δηλαδή την ατμόσφαιρα και το σύνολο των ζωντανών οργανισμών, τη βιόσφαιρα.

Μολονότι το ενδιαφέρον για μελέτη του καιρού και του κλίματος συγκεντρώνεται στη συμπεριφορά των αερίων, δεν είναι δυνατό να αγνοηθούν και οι επιδράσεις των άλλων «σφαιρών», γιατί μεταξύ τους υφίστανται συνεχείς αλληλεπιδράσεις, με συνέπεια τη δημιουργία ενός αλληλένδετου περιβάλλοντος όπου κανένα από τα συστατικά του δεν μπορεί να γίνει απόλυτα αντιληπτό αν δεν γίνεται ταυτόχρονη αναφορά και στα άλλα στοιχεία των «σφαιρών» (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1984).

Η Μετεωρολογία και η Κλιματολογία είναι αδερφές επιστήμες, που γνώρισαν μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία 100 χρόνια περίπου. Η *μετεωρολογία* είναι η επιστήμη η οποία εξετάζει τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα υπεράνω μιας περιοχής σε ορισμένη χρονική στιγμή ή βραχεία χρονική περίοδο, με την βοήθεια καθημερινών παρατηρήσεων από ένα μεγάλο αριθμό μετεωρολογικών σταθμών διανεμημένων κατάλληλα στην επιφάνεια και καθ' ύψος της υπόψη περιοχής (Κανδήλης 1988). Σήμερα η Μετεωρολογία αναγνωρίζεται σαν ατμοσφαιρική επιστήμη με την ευρεία της έννοια. Ο ορισμός αυτός περικλείει τη φυσική, τη χημεία και τη δυναμική της ατμόσφαιρας, όπως επίσης και τις άμεσες επιδράσεις των δυναμικών αιτιών πάνω στην επιφάνεια της γης και γενικότερα στη ζωή. Οι σκοποί της είναι: η απόλυτη κατανόηση, η ακριβής πρόβλεψη και ο έλεγχος των ατμοσφαιρικών φαινομένων. Είναι επομένως ένα από τα πλέον σύνθετα πεδία τόσο των φυσικών όσο και των εφαρμοσμένων επιστημών (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1984).

Η *Κλιματολογία* είναι η επιστήμη η οποία εξετάζει τα κλιματικά δεδομένα μιας περιοχής, δηλαδή τις μακροχρόνιες παρατηρήσεις μετεωρολογικών στοιχείων 30 και πλέον ετών. Μέσα από αυτές τις παρατηρήσεις μπορεί να βγάλει

συμπεράσματα για το πώς αναμένεται ότι θα εξελιχθεί ο καιρός στο προσεχές ή και το απώτερο μέλλον στην υπό εξέταση περιοχή (Κανδήλης 1988).

Καιρός είναι το όνομα το οποίο δίνεται σε ένα συνδυασμό ατμοσφαιρικών φαινομένων τα οποία εμφανίζονται οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή σε έναν τόπο. Η κατανομή του καιρού πάνω στην επιφάνεια της Γης σε κάποια χρονική στιγμή μπορεί να δώσει μια μεγάλη ποικιλία καιρικών καταστάσεων και συνεπώς έχει πάρα πολύ μεγάλη γεωγραφική σημασία. Ο καιρός μπορεί να είναι ηλιόλουστος σε ένα τμήμα της γης, βροχερός στο γειτονικό τμήμα, θυελλώδης στο επόμενο, στη συνέχεια πάλι ηλιόλουστος κ.ο.κ. Μπορεί, όμως, όλες αυτές τις ποικιλίες να τις παρουσιάσει διαδοχικά στον ίδιο τόπο από τη μια χρονική στιγμή στην άλλη. Τέτοιες ατελείωτες ποικιλίες καιρού έχουν περιγραφεί, από πολύ παλιά χρόνια, οι ταξιδιώτες και οι συγγραφείς αλλά η επιστημονική ερμηνεία της γεωγραφικής κατανομής του καιρού είναι πρόσφατη (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1984). Ο καιρός στην πράξη αντιπροσωπεύει, συνήθως, την από μέρα σε μέρα κατάσταση της ατμόσφαιρας και αναφέρεται σε μεταβολές βραχείας διάρκειας στις συνθήκες της θερμότητας, της υγρασίας και της κίνησης του αέρα. Ο καιρός προκαλείται κατά κύριο λόγο από τις διεργασίες που συντελούν στην εξισορρόπηση των διαφορών που εμφανίζονται από την άνιση κατανομή της ηλιακής ενέργειας πάνω στην επιφάνεια του πλανήτη (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1984).

Οι διεργασίες της ανταλλαγής της ενέργειας και μάζας μεταξύ της Γης και της ατμόσφαιρας μέσα σε μια μεγάλη χρονική περίοδο έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία συνθηκών οι οποίες καθορίζουν αυτό που ονομάζουμε κλίμα. Το κλίμα είναι κάτι πολύ παραπάνω από το μέσο όρο (το μέσο καιρό). Είναι το σύνολο των ατμοσφαιρικών συνθηκών οι οποίες περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία, την υγρασία και την κίνηση του αέρα μέσα σε μεγάλες χρονικές περιόδους. Ακόμη μελετώνται οι περιπτώσεις των ακραίων καταστάσεων, οι τάσεις της μεταβολής των κλιματικών παραμέτρων, οι πιθανότητες εξαιρετικών γεγονότων κ.λπ. Το κλίμα είναι ανεξάρτητο από οποιαδήποτε στιγμιαία κατάσταση (καιρό). Το κλίμα αποτελεί πολύ σπουδαίο στοιχείο του φυσικού περιβάλλοντος για το ανθρώπινο γένος, γιατί αν και ο άνθρωπος θεωρεί τον εαυτό του δημιουργήμα της ξηράς, στην πραγματικότητα ζει και κινείται στον πυθμένα ενός πολύ βαθύ ωκεανού ο οποίος αποτελείται από ατμοσφαιρικό αέρα που ως γνωστό περιβάλλει ολόκληρη τη Γη. Επομένως θα πρέπει να γνωρίζει πάρα πολύ καλά τη συμπεριφορά του ωκεανού αυτού (Μπαλαφούτης και Μαχαίρας 1985).

## 1.2 Τα νέφη και η ομίχλη

Έχει υπολογιστεί ότι το 97.5% του πλανητικού νερού υπάρχει στους ωκεανούς, ενώ ακόμη ένα 2% αποτελεί τους πάγους και τα χιόνια της αρκτικής και της ανταρκτικής. Επομένως, ένα πολύ μικρό ποσοστό είναι διαθέσιμο για να διατηρήσει τη ζωή στον πλανήτη. Η μικρή αυτή ποσότητα ανακυκλώνεται συνεχώς μεταξύ των ωκεανών, των ηπείρων και της ατμόσφαιρας με τους μηχανισμούς της εξατμισοδιαπνοής, της συμπύκνωσης και της βροχόπτωσης. Η ανακύκλωση αυτή του νερού στη φύση ονομάζεται υδρολογικός κύκλος (Σχήμα 1). Όπως είναι γνωστό, ένας όγκος αέρα είναι κορεσμένος από υδρατμούς όταν η σχετική του υγρασία είναι ίση με 100%. Στο σημείο αυτό υπάρχει συμπύκνωση η οποία εκδηλώνεται με την εμφάνιση νεφών όπου το νερό δεν είναι πλέον στην αέρια κατάσταση αλλά στην υγρή με τη μορφή μικρών σταγόνων, ή στη στερεά με τη μορφή παγοκρυστάλλων που αιωρούνται. Για να εμφανιστεί βροχή θα πρέπει οι υδροσταγόνες ή τα παγοκρυστάλλια να έχουν τέτοιες διαστάσεις που τα ανοδικά ρεύματα δεν μπορούν πλέον να αντισταθμίσουν τη βαρύτητα (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1997).

Δεν θα μπορούσαμε να μελετήσουμε τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα δίχως να κάνουμε αναφορά στα νέφη και την ομίχλη, μιας και έχουν πρωταρχικό ρόλο στην δημιουργία του υετού.

Κάθε δημιουργία νεφών προϋποθέτει μια ψύξη του αέρα ικανή να προκαλέσει τη συμπύκνωση των υδρατμών. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί μηχανισμοί που προκαλούν την ψύξη του αέρα, ο καθένας με την δική του διαφορετική σπουδαιότητα. Επιγραμματικά:

α) **Η μίξη** δυο όγκων υγρού αέρα αλλά ακόρεστων, με διαφορετική θερμοκρασία καταλήγει μερικές φορές σε συμπύκνωση. Ο μηχανισμός αυτός δεν είναι μόνος του πολύ δραστικός και δεν μπορεί να δημιουργήσει έντονη νέφωση, γιατί οι μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας εκφράζονται απαραίτητα από μεγάλες διαφορές πυκνότητας του αέρα, ικανές να δημιουργήσουν έντονες αναταράξεις.

β) **Η ψύξη λόγω επαφής** που είναι σπουδαιότερη γιατί μπορεί να λάβει χώρα σε μεγάλη έκταση αλλά αφορά πολύ λεπτά στρώματα αέρα. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η ψύξη λόγω επαφής δεν πραγματοποιείται πάντα κοντά στην επιφάνεια, αλλά μπορεί να λάβει χώρα καθ' ύψος, ιδιαίτερα στη στάθμη μιας αναστροφής θερμοκρασίας. Σ' αυτήν την περίπτωση η ψύξη εκδηλώνεται από ένα στρώμα νέφους μικρού πάχους.

γ) **Η ψύξη λόγω ανοδικών κινήσεων και εκτόνωση** αποτελεί τον κυριότερο μηχανισμό. Καθώς πρόκειται για όγκους αέρα πάρα πολύ μεγάλους όπου η συμπύκνωση γίνεται σε μεγάλο πάχος, ο μηχανισμός αυτός είναι υπεύθυνος για τις συμπυκνώσεις μεγάλης κλίμακας και επομένως για τις άφθονες βροχές (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1984).

Τα αίτια των ανοδικών κινήσεων είναι πολυάριθμα, και ελέγχουν την κατανομή των βροχών κατά τόπο και χρόνο, επάνω σ' όλη την επιφάνεια του πλανήτη. Διακρίνονται στους εξής τύπους:

1. *Ελεύθερη μεταφορά.* Οι ανοδικές κινήσεις μπορούν να είναι είτε θερμικής προέλευσης όταν προκαλούνται από μια αστάθεια του αέρα λόγω της έντονης θέρμανσης στα κατώτερα στρώματα, είτε θερμοδυναμικής προέλευσης όταν καθ' ύψος υπάρχει ψυχρός αέρας που αυξάνει την αστάθεια και δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες.
2. *Εξαναγκασμένη ανοδική κίνηση λόγω μεταβολής της τραχύτητας του εδάφους.* Οι ανοδικές κινήσεις αυτού του τύπου παρουσιάζονται κυρίως πλησίον των ακτών, όταν αέρια μάζα κινείται από τη θάλασσα προς την ξηρά. Επειδή όμως η επιφάνεια του εδάφους παρουσιάζει μεγαλύτερη τραχύτητα σε σχέση με εκείνη των υδάτων, η οριζόντια κίνηση της αέριας μάζας θα παρουσιάζει τυρβώδη ροή με αποτέλεσμα τη μεταβολή της οριζόντιας ταχύτητας καθ' ύψος. Αποτέλεσμα της μεταβολής της οριζόντιας ταχύτητας καθ' ύψος είναι η εξαναγκασμένη ανοδική κίνηση. Το αντίθετο παρατηρείται όταν η αέρια μάζα κινείται από την ξηρά προς τη θάλασσα όπου έχουμε εξαναγκασμένη καθοδική κίνηση.
3. *Ορογραφικές ανοδικές κινήσεις.* Και η ορογραφική ανοδική κίνηση χαρακτηρίζεται σαν εξαναγκασμένη με τη διαφορά ότι έχει πολύ μεγαλύτερη σπουδαιότητα για τη συμπύκνωση και τη δημιουργία βροχών απ' ό,τι ο προηγούμενος τύπος.
4. *Ανοδικές κινήσεις λόγω σύγκλισης αέριων μαζών.* Η σύγκλιση των αέριων μαζών λαμβάνει χώρα στις υφέσεις, οι οποίες είναι κέντρα χαμηλών πιέσεων. Επειδή η σύγκλιση συσσωρεύει αέρα στο κέντρο της ύφεσης δημιουργούνται ανοδικές κινήσεις με ταυτόχρονη περιστροφή του αέρα αντίθετα με τους δείκτες του ρολογιού για το βόρειο ημισφαίριο. Κλασσικό παράδειγμα αποτελούν οι τροπικοί κυκλώνες.

5. *Μετωπικές ανοδικές κινήσεις*. Είναι αυτές που δημιουργούνται κατά μήκος των μετωπικών συστημάτων (επιφάνεια ασυνέχειας). Η ένταση τους εξαρτάται από τις διαφορές των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων των αέριων μαζών που σχηματίζουν την επιφάνεια ασυνέχειας. Οι δυο τελευταίοι τύποι ανοδικών κινήσεων, που στα μέσα και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη συνήθως συνυπάρχουν, μπορούν να χαρακτηριστούν ότι είναι καθαρά δυναμικής προέλευσης.

Εκτός από τις διεργασίες ψύξης του αέρα, για να σχηματιστούν σταγονίδια στην ατμόσφαιρα θα πρέπει να υπάρχουν μέσα σ' αυτήν υγροσκοπικά σωματίδια σε λεπτό διαμερισμό, γύρω από τα οποία θα συμπυκνωθούν οι υδρατμοί και θα σχηματίσουν υδροσταγονίδια. Τέτοια σωματίδια είναι τα περισσότερα από τα ατμοσφαιρικά αιωρήματα (NaCO, SO<sub>2</sub>, σκόνη κ.λπ.). Τα σωματίδια αυτά ονομάζονται πυρήνες συμπύκνωσης (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1984).

#### Συμπυκνώσεις μικρής κλίμακας – ομίχλες.

Η δρόσος σχηματίζεται με ψύξη λόγω ακτινοβολίας όταν επικρατεί κατά τη νύχτα ανέφελος ουρανός, και όταν ο αέρας που βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος ψυχόμενος πλησιάζει το σημείο δρόσου. Ακόμη θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο άνεμος σε ύψος 2m πάνω από το έδαφος θα πρέπει να έχει ταχύτητα μικρότερη από 10km/h. Η δρόσος σχηματίζεται κυρίως πάνω στα φύλλα των φυτών και της χλόης. Στις υγρές περιοχές η σημασία της δεν είναι ουσιαστική αντίθετα, στις ξηρές περιοχές αποκτά πάρα πολύ μεγάλη σημασία για τη γεωργία.

Η πάχνη σχηματίζεται με τον ίδιο μηχανισμό που σχηματίζεται και η δρόσος με τη διάφορα ότι στην περίπτωση αυτή η θερμοκρασία του σημείου δρόσου βρίσκεται κάτω από το σημείο πήξης του νερού. Τότε οι υδρατμοί κατά τη συμπύκνωση τους παίρνουν κατευθείαν τη στέρεα μορφή του νερού και σχηματίζουν ένα λευκό στρώμα που ονομάζουμε πάχνη. Η ομίχλη έχει οπωσδήποτε μικρότερη κλιματολογική σημασία από τα νέφη και τη βροχή, αλλά παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Αποτελεί αρνητικό στοιχείο στις συγκοινωνίες αλλά η παρουσία της είναι δυνατό να αποτρέψει τις επικίνδυνες πάχνες της άνοιξης ή του φθινοπώρου στα μέσα γεωγραφικά πλάτη (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1997).

Ανάλογα με τον τρόπο που σχηματίζονται διακρίνονται σε διάφορους

τύπους οι οποίοι γενικά προκαλούνται με το μηχανισμό της εξάτμισης ή με το μηχανισμό της ψύξης. Επιγραμματικά αναφέρουμε τους τύπους ομίχλης:

- 1) *Ομίχλη ακτινοβολίας ή ομίχλη εδάφους*. Σχηματίζεται σε στάσιμο αέρα πάνω από το έδαφος που συνεχώς ψύχεται λόγω ακτινοβολίας (συνήθως νυχτερινής) (Ζαμπάκας 1981) και σχεδόν πάντοτε συνοδεύεται από αναστροφή της θερμοκρασίας του αέρα. Πάνω από τις μεγάλες πόλεις σχηματίζονται συχνά, γιατί εκεί, οι βιομηχανικές και οικιακές καύσεις δημιουργούν αφθονία υγροσκοπικών σωματιδίων που διευκολύνουν τη συμπύκνωση (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1984).
- 2) *Ομίχλες οριζόντιας μεταφοράς*. Σχηματίζονται όταν θερμός και υγρός αέρας μεταφέρεται πάνω από ψυχρές επιφάνειες. Π.χ. στις περιοχές των ψυχρών θαλάσσιων ρευμάτων (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1984). Σε αυτές ανήκουν συνήθως εκείνες που δημιουργούνται πάνω από χιονοσκεπείς και παγωμένες εκτάσεις (Ζαμπάκας 1981).
- 3) *Ομίχλες ανάμιξης*. Όταν η ανάμιξη ψυχρού και υγρού αέρα γίνει κοντά στο έδαφος και υπάρξει συμπύκνωση, τότε σχηματίζονται ομίχλες (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1984).
- 4) *Μετωπικές ομίχλες*. Σχηματίζονται στις μετωπικές διαταραχές όταν εξατμίζονται οι σταγόνες τις βροχής, που σχηματίζονται στην θερμή αέρια μάζα, καθώς διέρχονται μέσα από την υποκείμενη ψυχρή (Ζαμπάκας 1981 [45]) Στα μετωπικά συστήματα η ξερή και ψυχρή αέρια μάζα βρίσκεται πάντα κάτω από τη θερμή και υγρή. Η συμπύκνωση όπως ήδη είπαμε συμβαίνει από την ανύψωση του θερμού υγρού αέρα. Όταν λοιπόν οι βροχοσταγόνες που προέρχονται από τα σύννεφα βρεθούν μέσα στον ψυχρό αέρα ένα μέρος αυτών εξατμίζεται. Η εξάτμιση των βροχοσταγόνων προκαλεί ψύξη και κορεσμό στο στρώμα του ψυχρού αέρα με αποτέλεσμα το σχηματισμό της λεγόμενης μετωπικής ομίχλης ή ομίχλης βροχής (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1984).
- 5) *Ομίχλη αρκτικού καπνού ή θαλάσσιος ατμός*. Σχηματίζεται όταν πολύ ψυχρός αέρας κινηθεί πάνω από μια θερμότερη υδάτινη επιφάνεια. Ο αέρας γίνεται κορεσμένος από την εξάτμιση που προκαλείται και σχηματίζει ομίχλη (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1984). Ονομάζονται και αναστροφής λόγω της θερμοκρασιακής αναστροφής που παρατηρείται (Ζαμπάκας 1981).

### Τα νέφη.

Τα νέφη αποτελούν ορατά αθροίσματα υδροσταγονιδίων ή παγοκρυσταλλίων ή και μείγμα και των δυο αυτών συστατικών. Τα νέφη σχηματίζονται εφόσον υπάρχουν άφθονοι υδρατμοί στον αέρα και φυσικά μηχανισμός ατμοσφαιρικής αστάθειας και αδιαβατικής ψύξης. Αν η ανύψωση του αέρα είναι πολύ ισχυρή τα νέφη που σχηματίζονται παρουσιάζουν κατακόρυφη ανάπτυξη και γενικά μια χαώδη μορφή. Αντίθετα, αυτά που σχηματίζονται από ομαλή ανύψωση παρουσιάζουν μια διάταξη σε μορφή στρωμάτων. Ο παγκόσμιος οργανισμός μετεωρολογίας για λόγους καθαρά πρακτικούς ταξινόμησε τα νέφη σε δέκα θεμελιώδεις τύπους. Η εξωτερική μορφή και η δομή των νεφών προσφέρονται σαν ένα κριτήριο για την αναγνώριση κάθε τύπου. Οι τύποι αυτοί των νεφών σύμφωνα με το ύψος που βρίσκεται η βάση τους και με το σχήμα τους διακρίνονται σε τέσσερις οικογένειες: υψηλά, μέσα, κατώτερα και νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1997).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα νέφη ταξινομημένα σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό και όπως έχουν καταγραφεί από τους Μαχαίρα και Μπαλαφούτη (1985).

I. **Ανώτερα νέφη.** Τα νέφη αυτά έχουν μέσο ελάχιστο ύψος 6km και φτάνουν μέχρι την τροπόσφαιρα. Επειδή βρίσκονται σε μια αρκετά ψυχρή περιοχή της ατμόσφαιρας, αποτελούνται από παγοκρυστάλλους και όχι από υδροσταγονίδια. Τα νέφη αυτά δεν προκαλούν ποτέ υετό. Στην ομάδα αυτή ανήκουν τρία είδη νεφών:

#### **1. Cirrus (θύσσανοι - Ci)**

Είναι τα ψηλότερα απ' όλα τα νέφη. Είναι πολύ λεπτά και προκαλούν πολύ μικρή εξασθένηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο ήλιος είναι ορατός μέσα από αυτά, είναι δηλαδή διαφανή με χρώμα λευκό και η υφή τους είναι ινώδης. Αποτελούνται από παγοκρυστάλλια. Πολλές φορές παρατηρείται το οπτικό φαινόμενο της άλω.

#### **2. Cirrocumulus (θυσσανοσωρείτες - Cc)**

Αυτά βρίσκονται κάπως χαμηλότερα από τα cirrus και συνίστανται από διακριτές ομάδες ή γραμμές λευκών νιφάδων ή λεπτών σφαιριδίων πάγου. Δεν δημιουργούν σκιά στο έδαφος, είναι από τους πιο σπάνιους τύπους νεφών και καλύπτουν αρκετό τμήμα του ουρανού.

### 3. **Cirrostratus (θυσσανοστρώματα - Cs)**

Είναι ένας λεπτός λευκός πέπλος από cirrus (παγοκρυστάλλια) που συχνά καλύπτει ολόκληρο τον ουρανό ή ένα τεράστιο τμήμα αυτού. Πολλές φορές ο πέπλος αυτός είναι διάχυτος και δίνει στον ουράνιο θόλο μια γαλακτώδη όψη. Ένα κοινό οπτικό φαινόμενο που παρατηρείται στα νέφη αυτά είναι η άλως γύρω από τον ήλιο, τη σελήνη, η οποία δημιουργείται από τη διάθλαση του ηλιακού φωτός από τα παγοκρυστάλλια του νέφους. Μερικές φορές τα νέφη αυτά είναι τόσο λεπτά που ανιχνεύονται μόνο με την παρουσία της άλως. Η ύπαρξη της άλως δείχνει την προσέγγιση νεφικού συστήματος και αποτελεί έτσι σημάδι επικείμενης κακοκαιρίας.

II. **Μέσα νέφη.** Τα νέφη αυτά έχουν ελάχιστο ύψος 2km και μέσο μέγιστο 6km. Τα νέφη αυτά προκαλούν υετό. Στην ομάδα αυτή ανήκουν δύο είδη νεφών:

#### 4. **Altostratus (υψισωρείτες - Ac)**

Σχηματίζουν στρώματα νεφών διατεταγμένα σε παράλληλες σειρές. Κάθε σειρά αποτελείται είτε από συνεχείς νεφικές ταινίες, είτε από ελλειπτικά-σφαιρικά νέφη, μεταξύ των οποίων εμφανίζονται ζώνες ανέφελου ουρανού. Μεμονωμένα altostratus παρουσιάζονται συχνά με μορφή ελλειπτική ή φακοειδή (lenticularis) χωρίς μεγάλη κατακόρυφη διάσταση. Σε μερικές περιπτώσεις τα altostratus παρουσιάζουν πυργοειδή κατακόρυφη ανάπτυξη (castelatus) και δείχνουν έτσι την παρουσία αστάθειας στην ατμόσφαιρα.

#### 5. **Altostratus (υμιστρώματα - As)**

Τα νέφη αυτά σχηματίζουν ένα συνεχές νεφικό στρώμα, χωρίς να διακρίνεται μια κάποια συγκεκριμένη δομή. Μερικές φορές ο ήλιος ή η σελήνη φαίνονται μέσα από αυτά σαν ένας ασθενής φωτεινός δίσκος. Τα altostratus και τα altostratus συνίστανται είτε από παγοκρυστάλλους, είτε από σταγονίδια ή και από τα δυο. Η διάθλαση του φωτός από τα νέφη αυτά δημιουργεί ένα φωτεινό -χρωματιστό δακτύλιο γύρω από τον ήλιο ή τη σελήνη που ονομάζεται στέμμα.

III. **Κατώτερα νέφη.** Τα νέφη αυτά ενδεχομένως να ξεκινούν από την επιφάνεια του εδάφους. Το μέγιστο ύψος τους φτάνει περίπου στα 2.5km. Τα νέφη αυτά προκαλούν υετό και στην ομάδα αυτή ανήκουν τρία είδη νεφών:

#### 6. **Stratus (στρώματα - St)**

Συνήθως περιέχουν μεγάλες ποσότητες υγρασίας και μπορεί να είναι πολύ πυκνά



ώστε να αποκρύπτουν τον ήλιο και τη σελήνη. Παρουσιάζουν μια ομοιομορφία σ' όλη τους την έκταση και έχουν ένα μονότονο σκοτεινό γκρι χρώμα. Τα νέφη που παρατηρούνται μετά τη χειμερινή περίοδο στις πλαγιές των βουνών είναι τμήματα από stratus. Αυτά μερικές φορές δίνουν βροχή με τη μορφή ψεκάδων.

#### 7. **Stratocumulus (στρωματοσωρείτες - Sc)**

Τα νέφη αυτά έχουν τη μορφή σφαιρικών ή κυλινδρικών μαζών με γκρίζο ή υπόλευκο χρώμα. Αποτελούνται κυρίως από υδροσταγόνες ή παγοκρυστάλλους. Ο καιρός που συνοδεύει τα νέφη αυτά είναι ασθενής βροχή ή χιόνι.

#### 8. **Nibostratus (στρωματομελανίες - Ns)**

Χαμηλά νέφη με σκοτεινό φαιό χρώμα, χωρίς μορφές και συνήθως καλύπτουν ολόκληρο τον ουράνιο θόλο. Τα νέφη αυτά έχουν μεγάλο πάχος και αποτελούνται από υδροσταγόνες, παγοκρυστάλλους και νιφάδες χιονιού. Είναι τα πιο βροχοφόρα νέφη και η βροχή ή το χιόνι που προέρχεται από αυτά έχουν μικρή ένταση αλλά μεγάλη διάρκεια.

IV. Νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης έχουν μέσο κατώτερο ύψος 500m περίπου και ανώτερο πολλές φορές πάνω 5km. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν δύο είδη νεφών:

#### 9. **Cumulus (σωρείτες - Cu)**

Αυτά συνήθως σχηματίζονται κατά τη θερμή περίοδο, όταν θερμαίνεται ισχυρά το έδαφος από τις ηλιακές ακτίνες και συντελεί έτσι στην εμφάνιση κατακόρυφων κινήσεων στην ατμόσφαιρα. Τα νέφη αυτά είναι λευκά, πυκνά, με θολωτή κορυφή και σχεδόν επίπεδη οριζόντια βάση. Οι σωρείτες γενικά αρχίζουν να σχηματίζονται κατά τις πρωινές ώρες αυξάνουν κατά τη διάρκεια της ημέρας παράλληλα με την αύξηση της θερμοκρασίας. Νέφη του τύπου αυτού με μικρή κατακόρυφη ανάπτυξη που οι βάσεις τους βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο συνήθως συνδέονται με καλό καιρό. Οι σωρείτες είναι δυνατόν να δημιουργούνται και με αίθριο καιρό, όταν οι ανοδικές κινήσεις του αέρα είναι ισχυρές. Τα ογκώδη σωρειτόμορφα νέφη της κατηγορίας αυτής μπορεί να συνοδεύονται από βροχές ή χαλάζι.

#### 10. **Cumulonimbus (σωρειτομελανίες - Cb)**

Αυτά παρουσιάζουν μεγάλο όγκο και μεγάλη κατακόρυφη ανάπτυξη, με αποτέλεσμα η κορυφή τους μπορεί να φτάσει μέχρι την τροπόπαυση. Στα ύψη αυτά η κορυφή του νέφους εξαπλώνεται κατά τη διεύθυνση πνοής του αέρα και σχηματίζει ένα χαρακτηριστικό άκμονα από νέφη cirrus. Είναι τα πλέον ογκώδη νέφη και τα πλέον επικίνδυνα από πλευράς καιρικής κατάστασης. Τα νέφη αυτά

δημιουργούν τις πολύ βαριές βροχοπτώσεις, χαλαζοπτώσεις ή χιονοπτώσεις και συχνά συνοδεύονται από βροντές και αστραπές (καταιγιδοφόρα νέφη). Χαρακτηριστικό των καταιγιδοφόρων νεφών είναι οι ηλεκτρικές εκκενώσεις καθώς και οι βίαιες ανοδικές και καθοδικές κινήσεις στο εσωτερικό τους.

Από τη μικρή αυτή περιγραφή είναι φανερό ότι οι διάφοροι τύποι νεφών είναι στενά συνδεδεμένοι με διάφορους τύπους καιρού. Η στενή σχέση μεταξύ των νεφών, των αέριων μαζών, της περιεκτικότητας σε υγρασία και των κινήσεων του αέρα κάνει τα νέφη πολύτιμη πηγή πληροφορίας για τον καιρό (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1984). Εκτός από τη θεμελιώδη αυτή κατάταξη των τύπων, υπάρχουν επιπλέον είδη και ποικιλίες που διαφέρουν στη μορφή, στην πυκνότητα, σε χρώμα, στα οπτικά φαινόμενα κ.λπ.

### **1.3 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα ή υετός**

Το ένα μέρος του υδρολογικού κύκλου (Σχήμα 1) αντιπροσωπεύεται από τον *υετό*, δηλαδή από το νερό που, είτε με την υγρή είτε με τη στερεή μορφή, μπορεί να πέσει από τα σύννεφα στην γη. Φυσικά η ομίχλη, η δρόσος και η πάχνη συνεισφέρουν στη μετακίνηση των υδρατμών από την ατμόσφαιρα στη γη, αλλά δεν αποτελούν μορφές υετού. Όλοι οι τύποι του υετού ανεξάρτητα από την κατάσταση που βρίσκονται λέγονται υδρομετέωρα. Αυτά στο σύνολό τους υπερβαίνουν τα πενήντα, αλλά τα πιο κοινά είναι η βροχή, το χιόνι, οι ψεκάδες, το χιονόνερο κ.λπ.

Είναι φανερό ότι η βροχόπτωση προϋποθέτει την παρουσία νεφών, η παρουσία όμως των νεφών στον ουρανό δεν συνοδεύεται πάντα από βροχόπτωση. Οι υδροσταγόνες δημιουργούνται μέσα στα νέφη με τη συνένωση πολλών υδροσταγονιδίων ή και παγοκρυστάλλων. Αν οι σταγόνες αυτές ή οι παγοκρύσταλλοι κατά την κάθοδό τους περνούν από ατμοσφαιρικά στρώματα, που τις διατηρούν σε υγρή φάση ή της τήκουν, και φθάνουν στο έδαφος πριν εξατμιστούν, δημιουργείται βροχή. Για να αναλυθεί ένα νέφος σε βροχή θα πρέπει να είναι ενεργοί ένας ή περισσότεροι από τους ακόλουθους παράγοντες (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1997):

1. Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ γειτονικών στοιχείων του νέφους.
2. Συνύπαρξη των τριών φάσεων του νερού στο νέφος.
3. Σχετικές ή αναταρακτικές κινήσεις.

4. Ανομοιόμορφο ηλεκτρικό φορτίο (ή ηλεκτρική ουδετερότητα) στα στοιχεία του νέφους.

Όλες αυτές οι συνθήκες συνεισφέρουν στο σχηματισμό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Οι επικρατέστερες απόψεις είναι η διαδικασία της συνένωσης συνένωσης και η θεωρία Bergeron – Findeisen. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη πυρήνων συμπύκνωσης όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως (υδρόφιλα σωματίδια όπως μόρια NaCl, NaCO, SO<sub>2</sub>, σκόνη κ.λπ.) (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1997).

Η θεωρία των Bergeron – Findeisen (1933), της οποίας ορισμένα χαρακτηριστικά είχαν προταθεί από τον A. Wegener (1911), ερμηνεύει τη δημιουργία των κατακρημνισμάτων από μικτό νέφος, που αποτελείται από παγοκρύσταλλους και υδροσταγονίδια. Βάσει της θεωρίας αυτής αποτελεί το γεγονός, ότι μερική τάση ισορροπίας των υδρατμών σε σχέση με πάγο είναι μικρότερη από την αντίστοιχη σε σχέση με το νερό στην ίδια αρνητική θερμοκρασία. Προϋποθέτει συνεπώς την ύπαρξη υδροσταγονιδίων σε υπέρτηξη στο νέφος, φαινόμενο συνηθισμένο σε σωρειρόμορφα νέφη μέσων πλατών (νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης). Σε ένα τέτοιο μικτό νέφος οι παγοκρύσταλλοι κερδίζουν μάζα ενώ τα υδροσταγονίδια χάνουν. Όταν το βάρος των παγοκρυστάλλων αυξηθεί αρκετά, τότε αρχίζουν να πέφτουν σαν χιόνι και υφίστανται τροποποιήσεις με συνένωση, εξάχνωση και τήξη (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1997).



Σχήμα 1. Ο υδρολογικός κύκλος (<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html>).

Εκτός από τις γνωστές μορφές υετού (βροχή, χιόνι και χαλάζι) που θα αναλυθούν στη συνέχεια θα πρέπει να αναφερθούν και οι παρακάτω μορφές (Ζαμπάκας 1981):

α) *Οι ψεκάδες*. Είναι πολυάριθμες μικρές σταγόνες νερού με διάμετρο μικρότερη των 0.05mm. Πέφτουν προς την γη με πολύ μικρή ταχύτητα ή αιωρούνται μέσα στον ελαφρά κινούμενο αέρα. Προέρχονται από νέφη stratus.

β) *Ο ομιχλοκρύσταλλος*. Σχηματίζεται από την γρήγορη πήξη υδροσταγονιδίων ομίχλης ή νέφους σε υπέρτηξη όταν έρθουν σε επαφή με ψυχρή επιφάνεια που έχει θερμοκρασίες των  $-10^{\circ}\text{C}$  περίπου.

γ) *Ο υαλόπαγος*. Σχηματίζεται όταν βροχή σε υπέρτηξη έρθει σε επαφή με επιφάνειες εδάφους που έχουν αρνητικές θερμοκρασίες. Ο υαλόπαγος είναι ένα στρώμα πάγου διαφανές, λείο και ομοιογενές.

### 1.3.1 Βροχή

Αποτελεί την πιο κοινή μορφή υετού και αποτελείται από σταγόνες που βρίσκονται σε υγρή κατάσταση. Οι σταγόνες της βροχής στην αρχή, μέσα ή κάτω από το σύννεφο, μπορεί να έχουν τη μορφή χιονιού το οποίο στη συνέχεια λιώνει καθώς περνάει μέσα από θερμότερα στρώματα, ή μπορεί να έχουν σχηματιστεί κατευθείαν στην υγρή τους μορφή. Το μέγεθος της σταγόνας της βροχής που φτάνει στο έδαφος ποικίλει εξαρτώμενο από την εξάτμιση που μπορεί να προκληθεί κατά τη διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα, ή από την αντίσταση τριβής που παρουσιάζει ο αέρας. Έτσι πολλές φορές η βροχή εξατμίζεται πριν φτάσει στο έδαφος δημιουργώντας σκοτεινές κατακόρυφες ταινίες που εμφανίζονται κάτω από τα σύννεφα. Άλλες φορές, όταν υπάρχει στην ατμόσφαιρα καθοδικό ρεύμα, οι σταγόνες που φτάνουν στη Γη έχουν μεγάλο μέγεθος. Τέτοιες σταγόνες παρατηρούνται κατά τη διάρκεια των καταιγίδων (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1997).

Ανάλογα με το μέγεθος των σταγόνων και τον τρόπο πτώσης, ή βροχή φέρει διάφορες ονομασίες, όπως όμβρος (shower, από νέφη ανοδικών κινήσεων με απότομη έναρξη και λήξη και απότομες μεταβολές στην ένταση, ψιχάλα (drizzle, πολύ μικρές και πολυάριθμες υδροσταγόνες, που αιωρούνται και ακολουθούν τα αέρια ρεύματα), κ.λπ (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1985).

Οι βροχές διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο που προκαλείται η συμπύκνωση των υδρατμών λόγω ψύξης:

α) *Βροχές κατακόρυφης μεταφοράς ή αστάθειας (convective)*. Αυτό το είδος προκαλείται γενικά από τη θέρμανση και την ανύψωση αερίων μαζών. Συνδέεται με νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης (Cu, Cb) και ανάλογα με το βαθμό που είναι ανεπτυγμένα στο χώρο τα νέφη αυτά μπορεί ο σχηματισμός τους να οφείλεται (Ζαμπάκας 1981):

1. Στην ισχυρή θέρμανση της επιφάνειας της ξηράς με συνέπεια την αραίωση του παρα-εδάφιου αέρα και την ανύψωση του προς τα μεγαλύτερα ύψη (θερμική αστάθεια). Είναι δυνατό η κίνηση του αέρα προς τα επάνω να διευκολύνεται από τις χαμηλές θερμοκρασίες που μπορεί να επικρατούν στην ανώτερη ατμόσφαιρα (θερμοδυναμική αστάθεια). Όπως είπαμε, οι βροχές αυτού του τύπου είναι πάρα πολύ συχνές στην Ισημερινή ζώνη. Στα μέσα γεωγραφικά πλάτη παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές.

2. Κατά τη διέλευση ψυχρού υγρού ασταθή αέρα πάνω από θερμή επιφάνεια αναπτύσσονται ανοδικές κινήσεις λόγω θέρμανσης εκ των κάτω, ανύψωση και δημιουργία νεφών. Το φαινόμενο αυτό είναι συχνό στα μέσα γεωγραφικά πλάτη κατά την παρουσία ψυχρού μετώπου.
3. Στους κυκλώνες των τροπικών η ισχυρή δύνη δημιουργεί νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης με την έντονη μεταφορά αέρα από την επιφάνεια στα μεγάλα ύψη. Ο υετός αυτού του τύπου προκαλεί ισχυρές βροχοπτώσεις ή χαλαζοπτώσεις.

β) *Ορογραφικός υετός* . Στη βιβλιογραφία συχνά αναφέρονται και ως βροχές ανάγλυφου ή ορογραφικής εκτόνωσης. Προκαλείται όταν ο αέρας ανυψώνεται και ψύχεται λόγω της παρουσίας ορογραφικών εμποδίων. Τα βουνά δεν έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν άμεσα βροχόπτωση από κάθε αέριο ρεύμα που αναρριχάται πάνω σ' αυτά. Η δράση της ορογραφίας καθορίζεται από τη διάταξη και το μέγεθος των οροσειρών και συνήθως μπορεί να ενεργοποιήσει μια κατά συνθήκη ή δυναμική αστάθεια γιατί εξαναγκάζει τον αέρα να πάρει μια αρχική κίνηση προς τα πάνω. Οι βροχές αυτές πέφτουν στην προσήνεμη πλευρά της οροσειράς (ομβροπλευρά) και η βροχόπτωση αυξάνει με το ύψος μέχρι τα 2km, περίπου. Πάνω από το ύψος αυτό ελαττώνεται, λόγω πτώχευσης της αέριας μάζας σε υδρατμούς. Στην υπήνεμη πλευρά (όμβροσκιά) ο ουρανός γίνεται αίθριος, λόγω των καθοδικών κινήσεων. Αναφερόμενοι στην Ελληνική περιοχή, χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι ορογραφικές ανυψώσεις κατά μήκος των ακτών της Ανατολικής Ελλάδας (Όλυμπος - Πήλιο - Όρη Εύβοιας). Πραγματικά, όταν κατά τη διάρκεια της χειμερινής κυρίως περιόδου οι ΒΑ άνεμοι, ηπειρωτικής προέλευσης αναγκάζονται να υπερπηδήσουν τους αναφερόμενους ορεινούς όγκους, δεν δημιουργούνται σε καμιά περίπτωση βροχές, όταν η ατμόσφαιρα παρουσιάζει ευστάθεια. Είναι δυνατό να δημιουργηθούν μόνο νέφη μικρού όμως πάχους. Αντίθετα, όταν η ατμόσφαιρα παρουσιάζει μια κατά συνθήκη αστάθεια, η ορογραφική ανύψωση δημιουργεί νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης και έντονες βροχές σ' όλο το μήκος της προσήνεμης πλευράς.

Η ορογραφία είναι επίσης σε θέση να επιβραδύνει την κίνηση ενός υφειακού συστήματος και να αυξήσει την κυκλωνική βροχή ή ακόμη να προκαλέσει σύγκλιση και ανοδική κίνηση του αέρα καθώς αυτός κινείται μέσα από τις κοιλάδες (π.χ. οι κυκλογενέσεις της δυτικής Μεσογείου - Κόλπος της Γένουας).

Η ορογραφία είναι επομένως σημαντικός παράγων για την αύξηση των ποσών του υετού στις προσήνεμες πλευρές των βουνών, προκαλώντας έτσι μια ανακατανομή στη βροχή μιας περιοχής. Γενικά τα μεγαλύτερα ύψη βροχής παρατηρούνται πάνω στις ορεινές περιοχές με μια γενική τάση να αυξάνονται σε σχέση με το υψόμετρο φυσικά μέχρι ένα ορισμένο ύψος, πάνω από το οποίο οι βροχές ελαττώνονται τόσο σε ένταση όσο και σε συχνότητα. Στην Ισημερινή περιοχή έχει βρεθεί ότι το ύψος αυτό κυμαίνεται ανάμεσα στα 1400 και 2000m. Στα μέσα γεωγραφικά πλάτη και συγκεκριμένα για τις Άλπεις βρέθηκε ότι ανάλογα με την εποχή κυμαίνεται από 2000 μέχρι 3500m.

Είναι ευνόητο ότι, τα ποσά βροχής είναι μεγαλύτερα αν ο κύριος άξονας μιας οροσειράς είναι κάθετος προς την κίνηση των υγρών ανέμων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα για τον Ελλαδικό χώρο αποτελεί η οροσειρά της Πίνδου που στις δυτικές κλιθείς δέχεται μεγάλα ύψη βροχής γιατί παρεμβάλλεται εγκάρσια στην κίνηση των υγρών δυτικών και ΝΔ ανέμων. Στις ανατολικές κλιθείς της Πίνδου τα ποσά βροχής ελαττώνονται σημαντικά, δηλαδή, έχουμε ένα κλασσικό παράδειγμα *βροχοσκιάς* (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1984).

γ) *Μετωπικός ή κυκλωνικός υετός*. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται και ως υφειακές βροχές. Στον τύπο αυτό ο ουσιώδης μηχανισμός είναι η ανύψωση του αέρα μετά από σύγκλιση οριζόντια κινουμένων αερίων ρευμάτων σε μια περιοχή χαμηλής πίεσης. Στις υφέσεις που δρουν έξω από τους Τροπικούς ο υετός δημιουργείται με αναρρίχηση του θερμού και αραιού αέρα πάνω από την ψυχρή μάζα. Στις πολικές περιοχές υπάρχει συνδυασμένη δράση σύγκλισης αερίων ρευμάτων και ταυτόχρονης κατακόρυφης κίνησης αστάθειας. Τέλος, στην Ισημερινή ζώνη, η σύγκλιση των αληγών ανέμων των δύο ημισφαιρίων, με τα ίδια χαρακτηριστικά θερμοκρασίας, έχει σαν αποτέλεσμα την ενίσχυση των ανοδικών κινήσεων της ελεύθερης κατακόρυφης μεταφοράς (corrective) (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1984).

Οι βροχές εκτός από την κατηγοριοποίηση ανάλογα με την συμπύκνωσή τους, εξετάζονται και σε σχέση με τη χρονική τους πορεία εντός 24ώρου (ημερήσια πορεία) ή εντός του έτους (ετήσια πορεία).

α) *Η ημερήσια πορεία της βροχής* διακρίνεται σε τρεις τύπους: Το θαλάσσιο, τον ηπειρωτικό και τον πολύπλοκο (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης 1984).

1. Ο θαλάσσιος τύπος, πού σημειώνεται σε τόπους θαλάσσιας επιρροής, παρουσιάζει ένα μέγιστο κατά τις νυχτερινές ή πρώτες πρωινές ώρες, πού

οφείλεται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία του αέρα αμέσως πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας δεν κατέρχεται πολύ κατά τη νύχτα, λόγω επαφής με τη θερμότερη υποκείμενη υδάτινη επιφάνεια. Τα αμέσως υπερκείμενα στρώματα ψύχονται περισσότερο λόγω ακτινοβολίας. Η νυχτερινή αυτή αστάθεια ενισχύει τις μετωπικές βροχές πάνω από τη θάλασσα, ή και τις δημιουργεί μόνη της, αν είναι ισχυρή.

2. Ο ηπειρωτικός τύπος παρουσιάζει το μέγιστο κατά τις απογευματινές ώρες, λόγω υπερθέρμανσης του υποκείμενου εδάφους.

3. Ο πολύπλοκος τύπος παρουσιάζει διάφορες αποκλίσεις ή συνδυασμούς των δύο τύπων που προαναφέρθηκαν. Μερικοί τόποι μπορεί να εμφανίζουν και τα δύο μέγιστα στις ώρες τους, ή χρονικά μετατοπισμένα, ενώ άλλοι να εμφανίζουν θαλάσσιο τύπο το χειμώνα και ηπειρωτικό το καλοκαίρι.

β) *Η ετήσια πορεία της βροχής* ή βροχομετρικό σύστημα (Β.Σ.) μιας περιοχής αποτελεί θεμελιώδες κλιματικό στοιχείο, όπως και η ίδια η βροχόπτωση. Μεταξύ των πολλών τύπων των βροχομετρικών συστημάτων της Γης διακρίνονται μερικοί με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά:

1. Το ηπειρωτικό Β.Σ., στο εσωτερικό των ηπείρων, με θερινές βροχές και χειμερινή ξηρασία.

2. Το θαλάσσιο Β.Σ., πάνω από τους ωκεανούς, με μέγιστο βροχών το φθινόπωρο και το χειμώνα. Αυτές τις εποχές οι υπερθαλάσσιες αέριες μάζες είναι θερμότερες και πλουσιότερες σε υδρατμούς από το

3. Το μουσωνικό Β.Σ., στις περιοχές με μουσωνικό κλίμα με άφθονες θερινές βροχές.

4. Το ισημερινό Β.Σ., μεταξύ των παραλλήλων των  $10^{\circ}$  Β και Ν περίπου του ισημερινού, με δύο μέγιστα βροχής κατά τις Ισημερίες (21 Μαρτίου και 23 Σεπτεμβρίου περίπου). Βορειότερα και νοτιότερα της ζώνης αυτής το Β.Σ. γίνεται τροπικό.

5. Το τροπικό Β.Σ., με ένα μέγιστο βροχής κατά το θέρος κάθε ημισφαιρίου, όταν ο Ήλιος φθάνει στο ζενίθ του τόπου ή λίγο αργότερα, και ελάχιστο κατά το χειμώνα.

6. Το υποτροπικό ή μεσογειακό Β.Σ., στις περιοχές με Μεσογειακό κλίμα, με χειμερινό μέγιστο και θερινό ελάχιστο βροχών. Έπικρατεί γενικά στα προς τούς πόλους όρια των ζωνών υψηλών πιέσεων (ξηρασίας) των υποτροπικών περιοχών ( $25^{\circ}$ - $30^{\circ}$ ).



### 1.3.2 Χιόνι

Τα στερεά ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα είναι ή χιών (το χιόνι), ή χάλαζα (το χαλάζι) και η χιονοχάλαζα. Για θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T < 0^{\circ}\text{C}$  και μέσα στην πρώτη αρνητική δεκάδα περίπου, το συχνότερο από αυτά είναι το χιόνι. Το χιόνι πέφτει στη γη με τη γνωστή μορφή των νιφάδων και αποτελείται από λευκούς αδιαφανείς παγοκρυστάλλους (μικροσκοπικές ωραίες κρυσταλλικές μορφές, συνήθως εξαγωνικές) με διάμετρο μέχρι και 3mm. Αυτοί συνενώνονται συνήθως, λόγω των υγρών τους επιφανειών και δημιουργούν τις νιφάδες χιονιού. Η διάμετρος των νιφάδων, οι οποίες αποτελούνται από σμήνη κρυστάλλων ή κρυσταλλικών θραυσμάτων, μπορεί να φθάσει τα 5 έως 10cm. Με άκρα νηνεμία παρατηρήθηκαν νιφάδες με διάμετρο μέχρι και 25cm. Για να φτάσει το χιόνι μέχρι την επιφάνεια του εδάφους θα πρέπει το επίπεδο παγοποίησης (δηλαδή θερμοκρασία  $0^{\circ}\text{C}$  και μικρότερες) να βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και συνήθως κάτω από τα 300m ύψος. Έτσι οι συσσωματώσεις των παγοκρυστάλλων δεν προλαβαίνουν να λιώσουν πριν φτάσουν στο έδαφος. Αν υπάρχει μερική τήξη των νιφάδων και στο έδαφος φτάνει ταυτόχρονα χιόνι και βροχή, το υδρομετέωρο αυτό λέγεται χιονόνερο ή χιονόλυτος. Αν πάλι υπάρχει ολική τήξη των νιφάδων (καθώς διέρχεται από ατμοσφαιρικό στρώμα με  $T > 0^{\circ}\text{C}$ ), τότε φτάνει στο έδαφος με την μορφή λεπτής και ψυχρής βροχής. Το χιόνι μετρείται με το ύψος του χιονοστρώματος ή με το ισοδύναμό του σε βροχή (Ζαμπάκας 1981).

Αν ή θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από  $-10^{\circ}\text{C}$  περίπου (βόρεια πλάτη ή υψηλά όρη), δεν σχηματίζονται νιφάδες με συγκόλληση και οι μικροί και ξηροί παγοκρύσταλλοι του χιονιού σηκώνονται και μεταφέρονται από τον άνεμο σε υπήνεμες περιοχές και χαράδρες (Ζαμπάκας 1981).

Μεγάλη κλιματική σημασία παρουσιάζει για έναν τόπο η χιονοκάλυψη (μεγάλη λευκαύγεια, δημιουργία αναστροφών θερμοκρασίας, προστασία σπόρων και φύτρων από ισχυρούς παγετούς κ.λπ.) και η διάρκειά της, όπως και η ημερομηνία της πρώτης και τελευταίας χιονόπτωσης. Μετακίνηση επίσης της γραμμής των «αιωνίων χιόνων» (σε ορεινές ή πολικές περιοχές) σημαίνει αξιόλογη κλιματική μεταβολή. Η ημερήσια και ετήσια πορεία του φαινομένου εξαρτάται από τις αντίστοιχες πορείες της θερμοκρασίας του αέρα σε συνδυασμό με τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (Ζαμπάκας 1981).

Χαρακτηριστικό της γεωγραφικής διανομής είναι ότι το φαινόμενο του χιονιού είναι συνηθέστερο, η χιονοκάλυψη να εμφανίζει μεγαλύτερη διάρκεια και το ύψος του χιονοστρώματος (που εξαρτάται από την πυκνότητα του χιονιού κάθε φορά) μεγαλύτερο, όσον απομακρυνόμαστε από τον ισημερινό προς τους πόλους και από την επιφάνεια της θάλασσας προς την ενδοχώρα και αυξάνει το ύψος (Ζαμπάκας 1981).

Στις ορεινές περιοχές του κόσμου και ιδιαίτερα των μέσων πλατών, το χιόνι αποτελεί βασικά υπερυψωμένες αποθήκες νερού. Έτσι, αποδίδεται εκμεταλλεύσιμο νερό κατά πολλούς τρόπους, με την έναρξη της θερμής περιόδου. Για το λόγο αυτό, απαιτείται μελετημένη εκμετάλλευση της υδατικής απορροής, λόγω της τήξης του χιονιού. Σε κλιματικές περιοχές που εναλλάσσονται συχνά και απότομα ψυχρές χιονοφόρες αέριες μάζες με θερμές βροχοφόρες, ο κίνδυνος μεγάλων πλημμυρών είναι αυξημένος. Το χιόνι λιώνει γρήγορα με την πτώση θερμής βροχής και αυξάνει απότομα και σε ποσότητα η επιφανειακή απορροή. Σε τέτοιες περιοχές η αντιπλημμυρική προστασία είναι αναγκαία (Ζαμπάκας 1981).

### 1.3.3 Χαλάζι

Δημιουργείται όταν επικρατούν βίαια κατακόρυφα ρεύματα αέρα όπως ακριβώς συμβαίνει με τα νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης και κατά κανόνα στα cumulonimbus (Cb). Σε τέτοιες περιπτώσεις τα ισχυρά ρεύματα μεταφέρουν τις βροχοσταγόνες διαδοχικά πάνω και κάτω από το επίπεδο παγοποίησης. Η συνεχής αυτή ανοδική και καθοδική κίνηση δημιουργεί στον χαλαζόκοκκο ομόκεντρα στρώματα (φλοιούς) πάγου διαφορετικής υφής. Οι επιφανειακές αυτές προσθήκες πηξουν σε άλλες περιοχές και αν η θερμοκρασία είναι πολύ μικρότερη των 0°C (παρατηρείται στις ανώτερες περιοχές των νεφών), ο φλοιός είναι διαφανής, αλλιώς είναι λευκός. Υπάρχει πιθανότητα όμως, η πρόσφυση και η στερεοποίηση μικρών υδροσταγονιδίων να οδηγεί σε λευκό στρώμα, ενώ μεγαλύτερων σε διαφανές. Έτσι, οι χαλαζόκοκκοι ή χαλαζόλιθοι αποτελούνται από φλοιούς, σαν τα κρεμμύδια. Οι χαλαζόκοκκοι ποικίλουν σε μέγεθος αλλά και σε σχήμα. Συνήθως είναι μικροί (0.4cm), σε μέγεθος φουντουκιού (1-2cm), αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις έχει πέσει χαλάζι βάρους περίπου ενός κιλού και διαμέτρου μέχρι και 20cm, ενώ το σχήμα τους μπορεί να είναι σφαιρικό, κωνικό ή ανώμαλο (Ζαμπάκας 1981).

Το χαλάζι χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή και μελέτη, λόγω των καταστροφών που προκαλεί γενικά στην οικονομία. Η χαλαζόπτωση είναι φαινόμενο μικρής έντασης με αυστηρά τοπικό χαρακτήρα και παρακολουθεί την κίνηση του καταιγιδοφόρου νέφους (Ζαμπάκας 1981).

Ως προς τη γεωγραφική κατανομή του φαινομένου, από τον τρόπο της δημιουργίας του, αναμένεται να παρουσιάζει μέγιστη συχνότητα στις ισημερινές περιοχές και ελάχιστη στους πόλους. Τη μέγιστη όμως συχνότητα εμφανίζει στα μέσα πλάτη, γιατί στις ισημερινές περιοχές το χαλάζι λιώνει καθώς εγκαταλείπει το νέφος και δεν προλαβαίνει να φθάσει στο έδαφος (Ζαμπάκας 1981).

#### **1.3.4 Χιονοχάλαζα**

Η χιονοχάλαζα ή μαλακό χαλάζι αποτελείται από λευκούς χιονώδεις και αδιαφανείς κόκκους διαμέτρου από 2 μέχρι 5mm περίπου. Αναπηδούν όταν πέφτουν στην επιφάνεια, συνθλίβονται μάλιστα και θρυμματίζονται εύκολα, σε αντίθεση με τούς μικρότερους αδιαφανείς κόκκους του χιονιού, που είναι το στερεό ισοδύναμο των ψεκάδων. Το μαλακό χαλάζι σχηματίζεται με συσσώρευση υδροσταγονιδίων σε υπέρτηξη γύρω από έναν παγοκρύσταλλο και πέφτει με τη μορφή όμβρου πριν ή μαζί με το χιόνι, όταν κυρίως η επιφανειακή θερμοκρασία του αέρα είναι λίγο κάτω από το μηδέν (Ζαμπάκας 1981).

#### **1.4 Επίδραση της βροχής στη διαμόρφωση του κλίματος**

Μελετώντας τους ερευνητές που θεμελίωσαν τον τρόπο διαίρεσης των κλιματικών ζωνών βλέπουμε ότι, εκτός από την θερμοκρασία, βασικό κριτήριο στη διαμόρφωση του κλίματος παίζει και η βροχόπτωση. Το ύψος βροχής, η περιοδικότητα, η συχνότητα καθώς και η ένταση των φαινομένων σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία μας δίνουν τα κύρια χαρακτηριστικά για να κατηγοριοποιήσουμε το κλίμα. Από τον παγκόσμιο βροχομετρικό χάρτη (Σχήμα 2α) (Ζαμπάκας 1981) διαπιστώνεται η παγκόσμια κατανομή της βροχόπτωσης σε ετήσια βάση και σε σύγκριση με το Σχήμα 2β όπου παρουσιάζεται η μεταβλητότητα ανάμεσα στις ξηρές και υγρές εποχές, γίνονται κατανοητά τα χαρακτηριστικά κάθε κλίματος. Στα δύο αυτά σχήματα παρατηρούμε ότι οι βροχές στις περιοχές μέγιστων βροχοπτώσεων των πλατών 55-60° Β και Ν ενισχύονται από την έντονη υφειακή δραστηριότητα. Αντίθετα, οι δύο ζώνες υψηλών πιέσεων

(25°-30° Β και Ν) των υποτροπικών περιοχών και οι δύο πολικές, είναι ζώνες ελάχιστων βροχών, λόγω καθοδικών κινήσεων (Ζαμπάκας 1981).

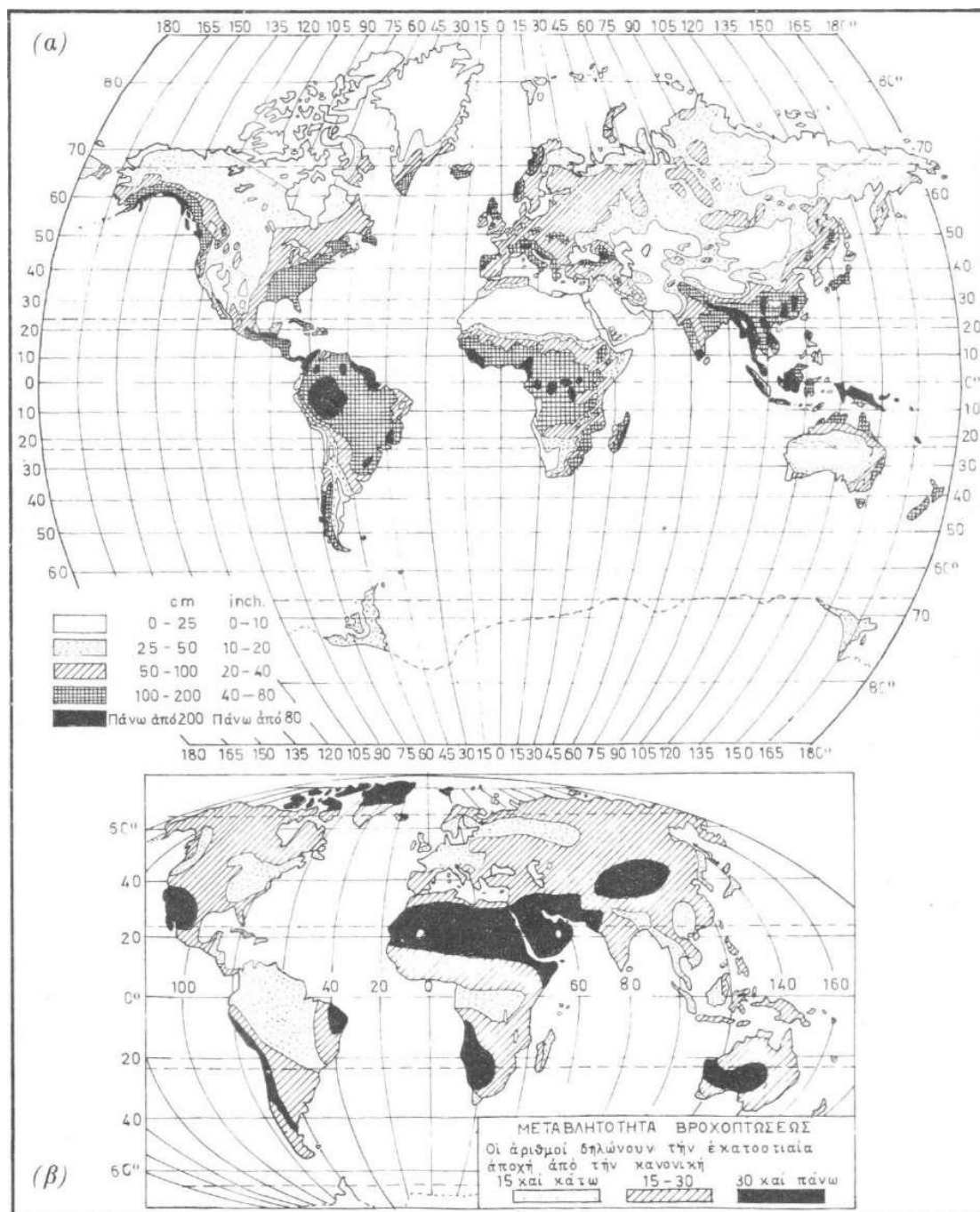
Οι πολικές μάλιστα περιοχές στερούνται και υδρατμών, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που δεν ευνοούν την εξάτμιση. Αυτές οι ζώνες της βροχής μετατοπίζονται προς τον πόλο κατά τη θερινή περίοδο και προς τον ισημερινό κατά το χειμώνα κάθε ημισφαιρίου, με αποτέλεσμα τη δημιουργία και άλλων ενδιάμεσων ζωνών. Παρά το πλήθος των λοιπών παραγόντων, οι βασικές ζώνες παραμένουν σε αρκετό βαθμό διακρινόμενες στο βροχομετρικό χάρτη του κόσμου.

Η διανομή ξηρών και θαλασσών επηρεάζει το κλίμα εξίσου σημαντικά διαμέσου των βροχοπτώσεων. Στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος, πάνω στους ωκεανούς πέφτει περισσότερη βροχή, παρά πάνω στις ηπείρους. Εξαίρεση αποτελεί η ζώνη μεταξύ 0° και 10° Ν. Η βροχή συνεπώς στο νότιο ημισφαίριο λόγω λιγότερης ξηράς θα έπρεπε να είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στο βόρειο. Υπερτερεί όμως ελάχιστα, γιατί η βροχερή ζώνη των Ισημερινών νηνεμιών βρίσκεται στα βόρεια του ισημερινού.

Εξετάζοντας τα χαρακτηριστικά των κύριων τύπων κλίματος μπορούμε να δούμε επιγραμματικά το βαθμό επίδρασης της βροχόπτωσης σε αυτά (Ζαμπάκας 1981). Ειδικότερα:

- Βροχερό Τροπικό

Επικρατεί στην ισημερινή ζώνη και κατά μήκος των τροπικών πεδινών ακτών. Πίσω από τις ακτές υπάρχουν συνήθως ορεινές εκτάσεις και γι' αυτό το λόγο η βροχή αυξάνεται (ορογραφικός υετός). Η ετήσια βροχόπτωση υπερβαίνει τα 1500mm σε αυτές τις περιοχές και η ισοκατανομή της παρουσιάζει τόσο μικρές μεταβολές από μήνα σε μήνα, που δεν διακρίνονται εποχές και το κλίμα είναι μονότονο. Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά αυτού του τύπου κλίματος είναι οι βροχές ανάγλυφου και οι έντονες διαφορές στη βροχόπτωση ανάμεσα ομβροπλευράς και ομβροσκιάς.



Σχήμα 2. Παγκόσμια κατανομή της μέσης ετήσιας βροχοπτώσεως (α) και της μεταβλητότητάς της (β) (Ζαμπάκας 1981).

Επίσης, οι πολύ θερμές αέριες μάζες, που καθορίζουν αυτό τον τύπο κλίματος, καθώς και η έντονη ηλιακή ακτινοβολία κατά την διάρκεια της ημέρας αποτελούν ιδανικές συνθήκες για τη δημιουργία απογευματινών καταιγίδων, που διαρκούν λίγο, με ηλιόλουστο καιρό πριν και μετά (Ζαμπάκας 1981).

- Μουσωνικό Τροπικό

Αυτός ο τύπος κλίματος οφείλεται στους μουσσώνες. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι το τυπικό αυτό μουσσωνικό κλίμα δεν απαντάται σε όλους τους τόπους που επηρεάζονται από μουσσωνικούς ανέμους. Ο χειμώνας και η άνοιξη αποτελούν περιόδους μεγάλης ξηρασίας, αλλά το έδαφος διατηρεί αρκετή υγρασία, λόγω των πολλών θερινών βροχών. Ο χειμώνας είναι ψυχρός και προς το δεύτερο μισό της άνοιξης αρχίζει η θερμή περίοδος, που συνδυάζεται με την εισβολή των βροχερών θερινών μουσσώνων. Οι βροχερές αυτές εισβολές καθορίζουν και το θερμοκρασιακό μέγιστο, ακριβώς πριν το ξέσπασμά τους (Μάιο-Ιούνιο) και σπανιότερα παρουσιάζεται και ένα δεύτερο αργότερα (Σεπτέμβριος). Έτσι, γίνεται αντιληπτό ότι η βροχερή περίοδος είναι η θερινή και ίσως μέρος του φθινοπώρου και το ετήσιο ύψος βροχής ξεπερνά τα 2m, όμως με μεγάλες διαφορές από έτος σε έτος. Έχουν παρατηρηθεί και ετήσια ύψη βροχής μεγαλύτερα από 15m σε περιοχές όπως η Ινδία, όπου πίσω από τις ακτές εκτείνονται ορεινοί όγκοι (Ζαμπάκας 1981).

- Υγρό – Ξηρό Τροπικό

Σαν κύριο χαρακτηριστικό σε αυτόν τον τύπο κλίματος είναι μια διακεκριμένη ξηρή περίοδος, από 2 έως 4 μήνες, συνήθως η χειμερινή. Η ετήσια βροχόπτωση παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα από έτος σε έτος και είναι μικρότερη από την αντίστοιχη βροχερών και μεγαλύτερη από των ημίξηρων τροπικών κλιμάτων, κυμαινόμενη μεταξύ 1 και 1.5m. Αυτός ο τύπος θεωρείται μεταβατικός τύπος κλίματος, μεταξύ βροχερών τροπικών και μουσσωνικών τροπικών από την μία και ανάμεσα ξηρών και ημίξηρων τροπικών από την άλλη (Ζαμπάκας 1981).

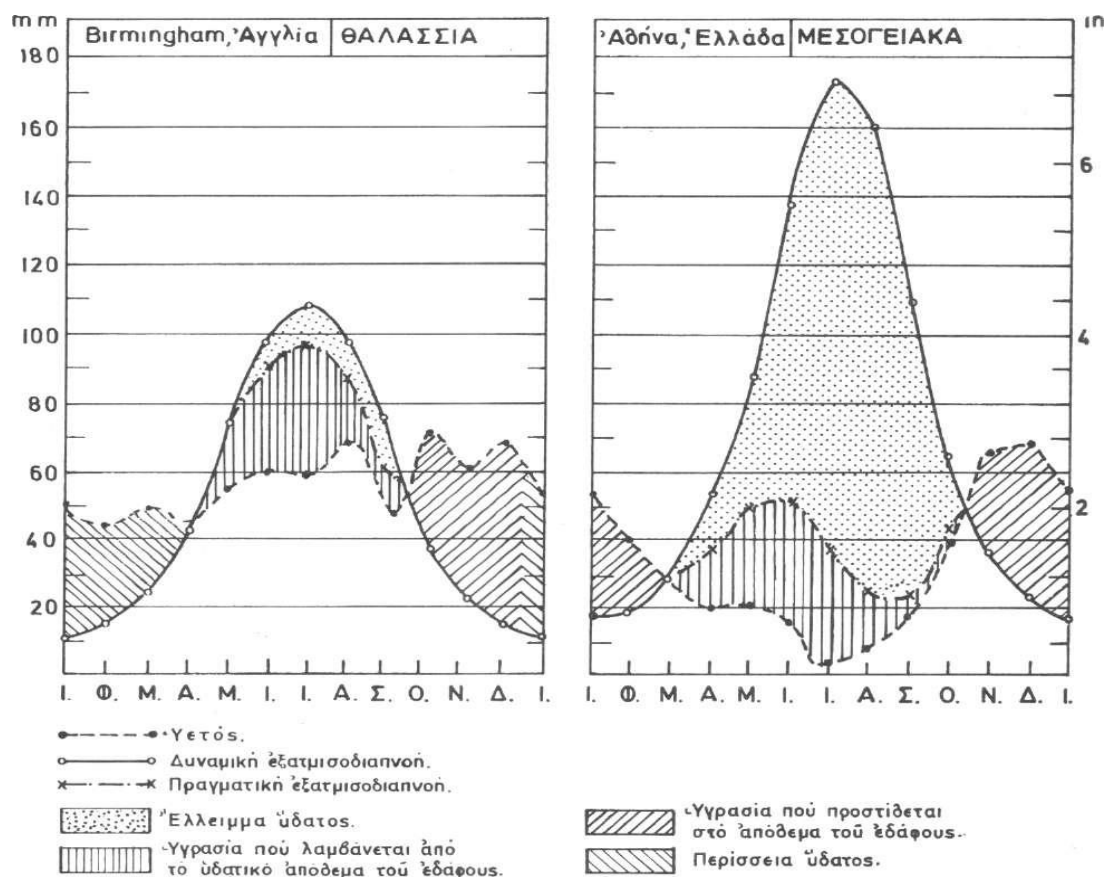
- Ερημικά ή στεππώδη

Τα ερημικά κλίματα περιλαμβάνουν τα τροπικά ξηρά και ημίξηρα κλίματα όπως και τα ξηρά και ημίξηρα μέσων πλατών και θεωρούνται σαν ποικιλίες του ηπειρωτικού κλίματος. Σε αυτές τις περιοχές η νέφωση και η βροχή είναι σπάνιο φαινόμενο και πολλές φορές το ετήσιο ύψος βροχής μπορεί να κατέρχεται κάτω από τα 100mm. Οι βροχές δεν κατανέμονται κατά κάποιο κανονικό τρόπο στη διάρκεια του έτους και προέρχονται κυρίως από καταιγίδες που συνήθως υπερβαίνουν πολύ σύντομα την απορροφητική ικανότητα του γυμνού εδάφους με αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλης απορροής (Ζαμπάκας 1981).

- Ξηρού Θέρους Υποτροπικά ή Μεσογειακά

Το κύριο χαρακτηριστικό του κλίματος αυτού είναι το ξηρό και θερμό καλοκαίρι και ο ήπιος βροχερός χειμώνας. Αρκετές φορές ο χειμώνας, ολόκληρος ή κατά περιόδους, είναι δριμύς, κυρίως στις μεταβατικές κλιματικά περιοχές προς τα πολικά σύνορα των μεσογειακών κλιμάτων, όπου σημειώνονται συχνά ψυχρές εισβολές. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται από 350 μέχρι 900mm, ανάλογα με την ποικιλία και τις ιδιομορφίες τις εκάστοτε τοποθεσίας. (π.χ. Αθήνα 400mm, San Francisco (California) 528mm περίπου) Πολλές φορές η ετήσια βροχόπτωση είναι πολύ μεγαλύτερη στις ποικιλίες (ιδιαίτερα στις ορεινές) του μεσογειακού κλίματος, χωρίς να βλάπτεται η θερινή ξηρασία. Στην Ελλάδα π.χ., η οποία κατατάσσεται στο μεσογειακό τύπο κλίματος, η βροχόπτωση ξεπερνάει σε κάποιες περιοχές και τα 2000mm. Ακόμα και στους ορεινούς όγκους της Κρήτης, η βροχόπτωση υπερβαίνει τα 1800mm. Το γεγονός αυτό τονίζει και τη σχετικότητα και δυσκολία των κλιματικών ταξινομήσεων, οι οποίες ακόμα αποτελούν ένα ανοιχτό για έρευνα πρόβλημα. Η θερινή βροχόπτωση είναι μηδαμινή ή ανεπαρκής, με μορφή διασκορπισμένων διαβατικών όμβρων που προκαλούν ταχείες απορροές. Έτσι κατά το θέρος το έδαφος ξηραίνεται και παρουσιάζει έλλειμμα υδατικού περιεχομένου, όπως φαίνεται για την Αθήνα στο Σχήμα 3, σε σύγκριση με το σταθμό του Birmingham (Αγγλία), που ανήκει στο θαλάσσιο κλίμα των μέσων πλατών (Δυτικές ακτές ηπείρων) (Ζαμπάκας 1981).

Το ύψος βροχής γενικά αυξάνει από τα ισημερινά άκρα των κλιμάτων αυτών (που είναι σαν τα ημίξηρα) προς τα πολικά άκρα που συνορεύουν με τα θαλάσσια κλίματα. Οι χειμερινές βροχοπτώσεις τροφοδοτούνται με υδρατμούς από αέριες μάζες τροπικής και πολικής προέλευσης με το μηχανισμό των υφέσεων, που διέρχονται κατά κανόνα βορειότερα. Τα μέτωπα των υφέσεων αυτών σαρώνουν με την «ουρά» τους τα μεσογειακά κλίματα και συνεπώς δίνουν λίγες μετωπικές βροχές. Αν η ύφεση περάσει πάνω από περιοχές μεσογειακού κλίματος, προκαλεί βροχοπτώσεις όμοιες με εκείνες των θαλασσιών κλιμάτων των βορειότερων δυτικών ακτών των ηπείρων, αλλά με τη βροχή συγκεντρωμένη σε λιγότερες βροχερές ημέρες. Η βροχόπτωση και η χιονόπτωση αυξάνουν με το υψόμετρο και μάλιστα μέχρι του βαθμού που ορισμένες ορεινές περιοχές μπορούν κατάλληλα να ταξινομηθούν στα ορεινά κλίματα μετά από κάποιο υψόμετρο (Ζαμπάκας 1981).



Σχήμα 3. Μέση ετήσια βροχόπτωση, εξατμισοδιαπνοή και δυναμική εξατμισοδιαπνοή για θαλάσσιο (Birmingham) και μεσογειακό (Αθήνα) κλίμα (Ζαμπάκας 1981).

- Υγρά Υποτροπικά

Επικρατούν στα ίδια γεωγραφικά πλάτη με τα Μεσογειακά, αλλά στις ανατολικές πλευρές των ηπείρων. Το ετήσιο ύψος βροχής είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο των Μεσογειακών, αλλά μόλις επαρκές κατά το θέρος ή ίσως και ανεπαρκές για τις θερινές ανάγκες της εξατμισοδιαπνοής. Η βροχόπτωση κατανέμεται σχεδόν ομοιόμορφα σε όλη τη διάρκεια του έτους και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται μεταξύ 750 και 1650mm ενώ τα μηνιαία από 75 ως 155mm. Οι μικρότερες τιμές παρουσιάζονται στις γειτονικές με τα ημίξηρα κλίματα περιοχές και οι μεγαλύτερες στις ορεινές περιοχές και στα τροπικά τους σύνορα. Δευτερεύουσες επιδράσεις, ενώ δεν είναι επαρκείς για την αλλαγή του κλιματικού τύπου, μπορούν να τροποποιήσουν την κατανομή της βροχής. Έτσι, χειμερινή υφειακή δραστηριότητα μπορεί σε μια περιοχή να αυξήσει τη βροχόπτωση, ενώ μουσωνική χειμερινή επίδραση σε μια άλλη να την ελαττώσει. Οι θερινές βροχοπτώσεις προέρχονται κυρίως από καταιγίδες αερίων μαζών και, κατά το τέλος του θέρους και τις αρχές του φθινοπώρου, ενισχύονται και από τους



τροπικούς κυκλώνες ή τα υπολείμματά τους που φθάνουν μέχρι εκεί. Προς τα πολικά τους όρια συμβαίνουν και θερινές υφειακές βροχές, καθώς και βροχές μετωπικών καταιγίδων. Κατά το χειμώνα οι βροχές είναι κυρίως μετωπικές και υφειακές, ασθενέστερες των αντιστοίχων Μεσογειακών κλιμάτων, αλλά με πολλές βροχερές μέρες. Επίσης, κατά το χειμώνα συμβαίνουν συχνά ομίχλες και η συχνότητα της χιονόπτωσης αυξάνει με το υψόμετρο (Ζαμπάκας 1981).

- Υγρά Ηπειρωτικά

Επικρατούν στις κεντρικές περιοχές των μεγάλων ηπείρων του βόρειου ημισφαιρίου. Γενικά τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι τα μεγάλα ετήσια θερμοκρασιακά εύρη και το διακεκριμένο θερινό μέγιστο βροχοπτώσεων κατακόρυφης μεταφοράς. Το θερινό μέγιστο των βροχών είναι συνδυασμός της υπερθέρμανσης του εδάφους και κυρίως των θερινών εισβολών θερμών και υγρών τροπικών αερίων μαζών. Οι μεγάλες αυτές κλιματικές εκτάσεις μελετώνται επιτυχέστερα σαν δύο διακεκριμένες κατηγορίες κλιμάτων: Τα νότια θερμού θέρους ηπειρωτικά υγρά κλίματα και τα βόρεια δροσερού θέρους ηπειρωτικά υγρά κλίματα (Ζαμπάκας 1981).

- α. Θερμού θέρους ηπειρωτικά υγρά κλίματα:

Η βροχόπτωση σε αυτόν τον τύπο κλίματος ελαττώνεται με την αύξηση του πλάτους και της απόστασης από τα παράλια προς το εσωτερικό των ηπείρων. Η μέση ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται από 500 μέχρι 1250mm περίπου στους διάφορους σταθμούς, Ξηρή περίοδος δεν υπάρχει. Το μέγιστο της ετήσιας πορείας της βροχόπτωσης εμφανίζεται συνήθως την άνοιξη ή στις αρχές του καλοκαιριού. Οι καταιγίδες συνεχίζονται σε όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού, αλλά οπωσδήποτε με μικρότερη συχνότητα, επειδή η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ εδάφους και των ανωτέρων αερίων στρωμάτων, επομένως και αστάθεια, ελαττώνεται. Τα χειμερινά (λιγότερα) ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα είναι συνήθως μετωπικά και ένα μέρος αυτών είναι χιόνι που συνήθως αυξάνει με το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο. Η ομίχλη, το χιονόνερο και η μικρή ηλιοφάνεια αποτελούν επίσης χειμερινά γνωρίσματα των περιοχών αυτών. Μερικά ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτού του τύπου κλίματος είναι:

1. Κατά το φθινόπωρο και μετά τη διέλευση μερικών υφέσεων, αποκαθίσταται πάλι ο καλός καιρός με ηλιόλουστες μέρες. Το φθινοπωρινό, αυτό σύντομο καλοκαιράκι εμφανίζεται τον Οκτώβριο ή τον Νοέμβριο και στις ΗΠΑ ονομάζεται

«Indian Summer».

2. Οι μεγάλες θερμοκρασιακές αντιθέσεις μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα είναι ένα ακόμα χαρακτηριστικό. Έχουν σημειωθεί θερμοκρασιακές μεταβολές μεγαλύτερες των 15°C.

3. Κατά την άνοιξη, πριν αποκατασταθεί η θερινή καλοκαιρία, εμφανίζονται όψιμοι παγετοί και χιονοθύελλες (Ζαμπάκας 1981).

#### β. Δροσερού θέρους ηπειρωτικά υγρά κλίματα:

Το κλίμα αυτό επικρατεί σε αμέσως βορειότερες περιοχές από το προηγούμενο. Ο καιρός ελέγχεται βασικά από πολική προέλευσης αέριες μάζες και κατά το καλοκαίρι σημειώνονται εισβολές τροπικών αέριων μαζών. Επειδή οι πολικής προέλευσης μάζες είναι ξηρές, η μέση ετήσια βροχόπτωση στους περισσότερους σταθμούς είναι μικρότερη εκείνης των νότιων ηπειρωτικών κλιμάτων και κυμαίνεται μεταξύ 370 και 630mm, περίπου. Οι θερινές διελεύσεις μετώπων είναι συχνότερες και οι θερινές καταιγίδες αραιότερες σε σχέση με τα ηπειρωτικά θερμού θέρους κλίματα. Το θερινό μέγιστο βροχόπτωσης μετατοπίζεται προς το φθινόπωρο, όσο πιο ανατολικά εξετάζουμε, δηλαδή προς τις ανατολικές ακτές της Β. Αμερικής, της Ασίας και της Ιαπωνίας. Οι συχνότερες χειμερινές χιονοπτώσεις και η μεγαλύτερη σε επιφάνεια και διάρκεια χιονοκάλυψη συντελούν στην διατήρηση των χαμηλών θερμοκρασιών των πολικών αέριων μαζών που κινούνται προς τον νότο.

Τέλος, για τα υγρά ηπειρωτικά κλίματα πρέπει να σημειώσουμε ότι πολλές φορές συναντάμε και ένα τρίτο τύπο, τα τροποποιημένα υγρά ηπειρωτικά κλίματα. Σαν κλίματα με την ονομασία αυτή περιγράφονται κλίματα θερμού ή δροσερού θέρους τα οποία συναντάμε στις ανατολικές ακτές των ηπείρων. Επειδή επηρεάζονται από τους γειτονικούς ωκεανούς παρουσιάζουν μετρίτερα θερμοκρασιακά ακρότατα, ιδιαίτερα τον χειμώνα, και μικρότερα θερμοκρασιακά εύρη. Η βροχόπτωση είναι μεγαλύτερη και παρουσιάζει μικρότερες διαφορές από μήνα σε μήνα (Ζαμπάκας 1981).

- Θαλάσσια ή ωκεάνια (τύπου δυτικών ακτών των ηπείρων)

Επικρατούν σε ορισμένα νησιά και κυρίως σε αυτά τα οποία βρίσκονται στις δυτικές πλευρές των ηπείρων. Το κλίμα αυτού του τύπου οφείλεται κυρίως στους θαλάσσιους δυτικούς και πλούσιους σε υδρατμούς ανέμους, που πνέουν συνεχώς στις περιοχές αυτές. Σημειώνεται πλούσια χειμερινή βροχόπτωση, ενώ η θερινή

εξαμυσοδιαπνοή είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη βροχόπτωση. Η βροχόπτωση, στα όρια αυτών των κλιμάτων με τα Μεσογειακά, έχει ακόμα τα χαρακτηριστικά των βροχών του μεσογειακού κλίματος, δηλαδή είναι σχετικά μικρή με την θερινή ξηρασία. Με την αύξηση του απόλυτου πλάτους, αυξάνεται βροχή και εξαφανίζεται το θερινό ελάχιστο. Χαρακτηριστικά γνωρίσματα του κλίματος αυτού του τύπου είναι η αξιοπιστία της βροχόπτωσης, ο μεγάλος ετήσιος αριθμός ημερών βροχής, οι μακρές σειρές διαδοχικών ημερών βροχής, ο νεφοσκεπής γκρίζος ουρανός, οι πολλές ψιχάλες και οι ελαφρές βροχές. Η χειμερινή ηλιοφάνεια είναι σχεδόν ανύπαρκτη και περιζήτητο φαινόμενο και το χιόνι δεν παραμένει για πολύ, εκτός αν πρόκειται για ψυχρή εισβολή πολικού αέρα ή για ορεινές περιοχές. Οι καταιγίδες είναι σπάνιες (λιγότερες από 10 ετησίως), σε σύγκριση με τις καταιγίδες των Μεσογειακών και ηπειρωτικών κλιμάτων και αυξάνονται με το υψόμετρο. Μερικές περιοχές παρουσιάζουν και μεγάλη θερινή ηλιοφάνεια (Ζαμπάκας 1981).

- Κλίμα Τάιγκα

Ο όρος τάιγκα είναι Ρωσικής προέλευσης και αναφέρεται στην υπαρκτική συνεχή δασική ζώνη κωνοφόρων που εκτείνεται στα βόρεια άκρα της Ευρώπης, Ασίας και Αμερικής, νότια της τούντρας. Το κλίμα σε αυτές τις περιοχές ελέγχεται σε όλο σχεδόν το έτος από ψυχρές πολικές αέριες μάζες, που έχουν μάλιστα πηγές αυτές τις περιοχές. Είναι ψυχρό και ξηρό κλίμα με ευσταθείς αέριες μάζες, λίγες βροχοπτώσεις και μεγάλα θερμοκρασιακά εύρη. Ο κλιματικός αυτός τύπος δεν περιορίζεται στις δασώδεις περιοχές-πηγές των πολικών αερίων μαζών αλλά εκτείνεται προς το νότο και περισσότερο μάλιστα στα ανατολικά μέρη των ηπείρων. Η βροχόπτωση παρουσιάζει μέσες ετήσιες τιμές μικρότερες από 500mm περίπου με σαφές θερινό μέγιστο, εκτός από τις παραλιακές εκτάσεις που δέχονται περισσότερες βροχοπτώσεις χωρίς σαφές μέγιστο. Η μικρή αυτή βροχόπτωση δεν καλύπτει τις ανάγκες της θερινής εξαμυσοδιαπνοής και στις λίγες καλλιεργήσιμες εκτάσεις πολλές φορές χρειάζονται και άρδευση. Τα χειμερινά χιόνια κρατούν για μήνες ενώ ομίχλες χιονοσκεπούς εδάφους είναι συχνό φαινόμενο κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Ζαμπάκας 1981).

- Κλίμα Τούντρας

Άδενδρες πεδινές περιοχές προς τις πολικές πλευρές του δασών ονομάζονται τούντρας. Τον όρο τούντρα τον έχουν δανειστεί και τα κλίματα που επικρατούν

εκεί, τα οποία οφείλονται στο μεγάλο απόλυτο γεωγραφικό πλάτος. Πολλές φορές συναντάμε βλάστηση τύπου τούντρας και σε πολύ ορεινές περιοχές, πάνω από το όριο ανάπτυξης των δέντρων (π.χ. τα ορεινότερα των Άλπεων) και ονομάζεται αλπική ή ορεινή τούντρα. Τα αντίστοιχα κλίματα όμως, οφείλονται στο μεγάλο υψόμετρο και κατατάσσονται στα ορεινά. Το κλίμα της τούντρας διαμορφώνεται κυρίως από πολικές και αρκτικές αέριες μάζες. Η θαλάσσια επίδραση είναι μηδαμινή κατά τη χειμερινή περίοδο και αυξάνεται προς το καλοκαίρι σε βαθμό που μερικοί Κλιματολόγοι διακρίνουν και μια υποδιαίρεση θαλάσσιου πολικού κλίματος. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στην τούντρα κυμαίνεται από 200 μέχρι 400mm και προέρχεται από θερινές υφέσεις. Στις βόρειες εσχατιές του Ατλαντικού, λόγω της θαλάσσιας θερμικής επιρροής που προαναφέρθηκε, η βροχόπτωση είναι σαφώς μεγαλύτερη. Το χιόνι είναι συχνό και περισσότερο από εκείνο στα κλίματα της τσίγκα. Το βάθος του χιονιού κυμαίνεται από 50 μέχρι 150cm και δύσκολα μετριέται, διότι είναι λεπτόκοκκο και παρασύρεται εύκολα από τον άνεμο, με αποτέλεσμα να καλύπτει χαράδρες ή υπήνεμες εκτάσεις ενώ αφήνει μεγάλες εκτάσεις βαλλόμενες από άνεμο ακάλυπτες. Μέγιστα υφesiακής δραστηριότητας παρατηρούνται κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο (Ζαμπάκας 1981).

- Πολικό κλίμα

Ο πολικός τύπος κλίματος επικρατεί στην Ανταρκτική, στη Γροιλανδία και στο μόνιμα παγωμένο Αρκτικό ωκεανό. Όλοι οι μήνες έχουν μέση θερμοκρασία μικρότερη των 0°C και επικρατεί μόνιμη παγοκάλυψη. Σε αυτά τα κλίματα παρατηρούνται οι χαμηλότερες θερμοκρασίες και δημιουργούνται οι πολικές και οι αρκτικές αέριες μάζες. Συστηματικές παρατηρήσεις βροχοπτώσεων δεν υπάρχουν. Οι κυκλωνικές διαταραχές που εισχωρούν στις περιοχές προκαλούν ισχυρούς ανέμους και χιονοπτώσεις. Το ύψος του ετήσιου χιονιού φαίνεται να είναι μικρό και εκτιμάται από 5cm στα εσωτερικά, μέχρι 50cm στις παραλιακές περιοχές (Ζαμπάκας 1981).

- Ορεινό κλίμα

Το υψόμετρο, σαν κλιματικός παράγοντας, διαφοροποιεί το κλίμα σε πολύ μικρή οριζόντια απόσταση. Σε κάθε τύπο κλίματος μπορεί να διαμορφωθεί και ορεινό κλίμα. Έτσι ορεινά κλίματα σε πολικές περιοχές θα παρουσιάσουν απλώς εντονότερα τα πολικά χαρακτηριστικά, λόγω υψομέτρου. Οι ορεινές περιοχές επίσης στην κεντρική Σαχάρα θα παρουσιάσουν μια ορεινή ποικιλία του τροπικού

ερημικού ξηρού κλίματος. Κάθε ορεινή περιοχή που ανήκει, μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο μελέτης ορεινού τύπου κλίματος για αξιοποίηση και εκμετάλλευση. Στην Ελλάδα π.χ. υπάρχουν ορεινές εκτάσεις με ορεινά μικροκλίματα που εντάσσονται στην κλιματική ποικιλία που διακρίνει τη χώρα. Διαμορφωτικοί παράγοντες για το ορεινό κλίμα είναι το υψόμετρο, το γεωγραφικό ανάγλυφο και οι οροσειρές-φραγμοί. Έτσι παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το υψόμετρο, τόσο ελαττώνεται η θερμοκρασία και η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε οξυγόνο, αλλά αυξάνονται οι εντάσεις των ανέμων. Το ορεινό μικροκλίμα διαμορφώνεται και ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο εκτίθεται τα διάφορα τμήματα των επιφανειών του εδάφους στις ηλιακές ακτίνες και με τον τρόπο που διαμορφώνεται το γενικό ρεύμα του πνέοντος ανέμου. Διαφορετική διαμόρφωση κλιτύων σημαίνει και διαφορετικό μικροκλίμα. Εκτός του υψόμετρου και του γεωγραφικού ανάγλυφου, οι οροσειρές που φράσσουν τις ευσταθείς αέριες μάζες, ψυχρές κατά κύριο λόγο αλλά και θερμές, από το να εισέλθουν και να επηρεάσουν τις κλιματικά υπήνεμες περιοχές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η οροσειρά της Πίνδου που φράσσει και προστατεύει από ψυχρές αέριες μάζες τα ΝΔ παράλια της Ελλάδας. Επίσης, λόγω του ορογραφικού υετού παρατηρούμε αυξημένες βροχοπτώσεις, χιονοπτώσεις και δημιουργία πάγων, με αποτέλεσμα να διευκολύνεται η απορρόφηση νερού από το έδαφος και να επηρεάζεται η αποστράγγιση και να δημιουργούνται πηγές υδάτων στα κατώτερα εδάφη. Παρόλα αυτά τα επίπεδα των υψών βροχής δεν μπορούν να καθοριστούν επακριβώς και για το βροχομετρικό σύστημα δεν υπάρχει πρότυπο ορεινού κλίματος. Μπορούμε να πούμε ότι είναι ίδια, όπως στο κλίμα της περιοχής που βρίσκεται ο ορεινός όγκος, τροποποιημένα μόνο από τον ορογραφικό υετό. Κατά κανόνα εξαρτώνται από το φορτίο των υδρατμών, από τον προσανατολισμό της οροσειράς σχετικά με τη διεύθυνση του πνέοντος ανέμου και από το υψόμετρο του σταθμού. Μέχρι ένα ορισμένο ύψος (περί τα 2 με 3km), το ύψος της βροχής αυξάνει και έπειτα ελαττώνεται, γιατί το υετίσιμο νερό έχει εξαντληθεί. Οι χιονοπτώσεις, η χρονική διάρκεια παραμονής του χιονιού και η χιονοκάλυψη αυξάνουν με το υψόμετρο. Το υψόμετρο της γραμμής των αιωνίων χιόνων ή πάγων καθορίζεται από τη θερμοκρασία, από τα στοιχεία των χιονοπτώσεων, από την κλίση του εδάφους και από την έκθεση στις ηλιακές ακτίνες. Προφανώς το υψόμετρο της γραμμής των αιωνίων χιόνων εξαρτάται και από το γεωγραφικό πλάτος που εξετάζεται, δηλαδή όσο πλησιάζουμε προς τους πόλους, τόσο έχουμε ελάττωση του υψόμετρου αυτού μέχρι να γίνει μηδέν στις

πολικές περιοχές. Κινούμενοι δε προς τον ισημερινό δεν θα βρούμε το μέγιστο υψόμετρο της γραμμής αυτής αλλά στα τροπικά και ημίξηρα κλίματα. Στην υπήνεμες πλευρές με τις λιγότερες νεφώσεις, τους «λίβες» και τον αίθριο ουρανό, τα χιόνια λιώνουν και η γραμμή μετατοπίζεται υψηλότερα σε σχέση με την αντίστοιχη των προσήνεμων κλιτύων. Τέλος, πολύ συχνό φαινόμενο είναι οι ομίχλες που είναι συχνότερες σε σχέση με τις πεδινές περιοχές (Ζαμπάκας 1981).

- Αστικός τύπος κλίματος

Η σύγχρονη μεγαλούπολη αποτελεί πηγή μιας ειδικής αέριας μάζας μικρών διαστάσεων (αιθαλομίχλη). Η μάζα αυτή, σε συνδυασμό με τα δομικά στοιχεία της πόλης, διαμορφώνει το μικροκλίμα της υπόψη πόλης. Επηρεάζει το κλίμα σε αρκετή απόσταση από τα όρια της αστικής περιοχής. Η κάθε πόλη έχει τη δικιά της ομοιομορφία, άρα και το δικό της μικροκλίμα. Όμως, όλες οι μεγαλουπόλεις έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά τα οποία ορίζονται πάντα σχετικά με τα χαρακτηριστικά του γενικού κλίματος της περιοχής. Το μικροκλίμα μιας πόλης επηρεάζεται από αρκετούς παράγοντες, όπως η διαφοροποίηση των επιφανειών, του σχήματος της επιφάνειας του εδάφους, των πηγών θερμότητας και υγρασίας και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Εξετάζοντας αυτά τα μικροκλίματα μπορούμε να παρατηρήσουμε ελάττωση της ηλιακής ακτινοβολίας, αύξηση των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων, μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα μεγαλύτερη από αυτή του γενικότερου κλίματος, μέση ταχύτητα ανέμου έως και 30% μικρότερη, σχετική υγρασία μικρότερη κατά 2% το χειμώνα και κατά 8% το καλοκαίρι, χειμερινές ομίχλες κατά 100% περισσότερες και θερινές κατά 30%, νεφοκάλυψη και βροχόπτωση 5% με 10% μεγαλύτερη, ενώ τα ποσοστά χαλαζιού είναι ακόμα πιο αυξημένα. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι το τοπογραφικό ανάγλυφο του εδάφους της πόλης συντελεί στη δημιουργία κλειστών λεκανών που δεν αερίζονται. Η άπνοια και ο ανέφελος ουρανός συντελούν στη δημιουργία του φαινομένου της θερμοκρασιακής αναστροφής κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, η οποία στη συνέχεια εμποδίζει τη διάχυση και αραίωση των εκλυόμενων αέριων ρύπων. Αν αυτή η κατάσταση διαρκέσει πάνω από 2 ημέρες μπορεί να γίνει επιβλαβής ή και θανατηφόρος. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι του Los Angeles που εμφανίζονται φωτοχημικές αιθαλομίχλες από το 1940 λόγω της μορφολογίας της πόλης, η αιθαλομίχλη του Λονδίνου του 1952 διάρκειας 5 ημερών που έγινε αιτία για 4000 θανάτους. Η κατάσταση αυτή τερματίζεται με δυνατούς ξηρούς ανέμους

που θα προκαλέσουν διάχυση και αραίωση των αέριων ρύπων, ή με βροχοπτώσεις που θα αποπλύνουν την ατμόσφαιρα και θα οδηγήσουν τα αιωρούμενα μικροσωματίδια στο έδαφος (Ζαμπάκας 1981).

- Τύπος κλίματος δάσους

Η δημιουργία ή όχι του μικροκλίματος αυτού εξαρτάται από το γενικό τύπο κλίματος που επικρατεί και από την καλή ή κακή επίδρασή του στον άνθρωπο. Οι κλιματικές συνθήκες επηρεάζουν την ανάπτυξη των διαφόρων ειδών δάσους, που με τη σειρά τους τροποποιούν τις γενικές κλιματικές συνθήκες σε ορισμένη έκταση και δημιουργούν το μικροκλίμα του δάσους. Το δάσος και γενικότερα η φυτοκάλυψη είναι ένα από τα λίγα όπλα στα χέρια του ανθρώπου για ζωτικές μικρο-τροποποιήσεις των κλιμάτων. Με τα άλση π.χ. είναι δυνατόν να εξουδετερωθούν σε ικανοποιητικό βαθμό οι δυσμενείς συνθήκες του αστικού μικροκλίματος. Το κύριο κλίμα του δάσους διαμορφώνεται κάτω από τις φυλλωσιές των δέντρων και στις άδενδρες περιοχές μέσα στο δάσος. Επηρεάζει τις γειτονικές περιοχές και σε μικρό ύψος τα από πάνω αέρια στρώματα, ιδιαίτερα όμως τις περιοχές προς τις οποίες πνέει συχνότερα άνεμος. Ανάλογα με την πυκνότητα του δάσους, καθορίζεται και ο βαθμός επίδρασης αυτού του κλιματικού τύπου. Τα βροχόμετρα που τοποθετούνται στα ξέφωτα των δασών μετρούν ελάχιστα μεγαλύτερη βροχόπτωση που μπορεί να οφείλεται στην ακριβέστερη μέτρηση λόγω προστασίας από τον άνεμο. Η βροχόπτωση όμως που δέχεται το έδαφος του δάσους είναι σαφώς μικρότερη και εξαρτάται από την πυκνότητα του φυλλώματος που αποκόπτει μέρος της βροχής, κλάσμα του οποίου επιστρέφει σαν υδρατμός στην ατμόσφαιρα με τη διαδικασία της εξάτμισης. Είναι φανερό ότι ακόμη και μια ελαφρά και σύντομη ψιχάλα ή βροχή επιστρέφει σχεδόν όλη σαν υδρατμός στην ατμόσφαιρα από το φύλλωμα των δέντρων, ενώ είναι μηδαμινό το αντίστοιχο ποσοστό μιας ισχυρής βροχής που συνδυάζεται από ισχυρό άνεμο. Τα κωνοφόρα δάση αποκόπτουν μεγαλύτερο ποσοστό βροχής και χιονιού απ' ό,τι τα πλατύφυλλα και πολύ περισσότερο από τα φυλλοβόλα. Το χιόνι κρατιέται στα πυκνά φυλλώματα, από όπου προκαλείται εξάχνωση ή τήξη και εξατμίζεται ευκολότερα και ταχύτερα κατά τη διαδρομή του προς το έδαφος. Την πτώση του προς το έδαφος διευκολύνει ο ισχυρός άνεμος. Επίσης, όταν λιώνει κατέρχεται από τον κορμό ή πέφτει με μορφή σταγόνων από τα φύλλα και τα κλαδιά. Αν επομένως κλαδευτούν τα δέντρα και αραιώσει το φύλλωμα, αυξάνει η υγρασία του

εδάφους και η απορροή. Αντίθετα, με την αναδάσωση ελαττώνεται η απορροή σε μια λεκάνη. Το χιόνι παραμένει περισσότερο ομαλά στο δάσος, λόγω της μικρότερης ταχύτητας του ανέμου. Στα άκρα όμως του δάσους, και ιδιαίτερα στα υπήνεμα, παρασύρεται και συσσωρεύεται χιόνι, που ωφελεί τοπικά τις καλλιέργειες καθώς τροφοδοτεί το έδαφος με υγρασία για αρκετό χρονικό διάστημα. Η ταχύτητα του ανέμου ανακόπτεται από τα δέντρα και είναι πολύ μικρή μέσα στο δάσος, ενώ η σχετική υγρασία είναι ιδιαίτερα αυξημένη μέσα στο δάσος συγκρινόμενη με την αντίστοιχη εκτός αυτού. Τέλος, το δάσος όχι μόνο δημιουργεί μικροκλίμα με τοπική τροποποίηση του μακροκλίματος, αλλά αποτελεί και δείκτη του ευρύτερου κλίματος που επικρατεί στην περιοχή. Τα δάση ευνοούνται από τα υγρά κλίματα, συνεπώς αποτελούν δείκτη τροπικού ή γενικά υγρού κλίματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα δέντρα είναι τα βροχόμετρα και τα υγρασιόμετρα της φύσης μιας και το πάχος του ετήσιου δακτυλίου ανάπτυξης ενός δένδρου αποτελεί μέτρο των βροχοπτώσεων και της υδρομετρικής κατάστασης του εδάφους του αντίστοιχου έτους. Σειρές μικρού πάχους αποτελούν ένδειξη ξηρής περιόδου ισάριθμων ετών που κατά κανόνα παρουσιάζουν και υψηλές θερμοκρασίες, ενώ αντίθετα μεγάλα πάχη υποδηλώνουν υγρές και δροσερές συνθήκες (Ζαμπάκας 1981).

### **1.5 Το κλίμα της Ελλάδας και οι εποχιακές κλιματικές αλλαγές**

Η Ελλάδα αποτελεί το νοτιότερο άκρο της Βαλκανικής Χερσονήσου και εισχωρεί μέσα στη λεκάνη της ανατολικής Μεσογείου. Βρίσκεται στην βόρεια εύκρατη ζώνη της Γης και έχει Μεσογειακό τύπο κλίματος. Καθώς όμως παρουσιάζει εντονότατο οριζόντιο διαμελισμό με μήκος ελληνικών ακτών μεγαλύτερο από 15000km , και κατακόρυφο με σχηματισμούς οροσειρών και απομονωμένων βουνών με υψόμετρα που φθάνουν μέχρι τα 2917m, το μικροκλίμα παρουσιάζει ουσιώδεις διαφοροποιήσεις (Ζαμπάκας 1981). Δηλαδή, δεν παρουσιάζει κλιματική ενότητα. Πολλοί ερευνητές έχουν επισημάνει τη μεγάλη ποικιλία μικροκλιμάτων που εμφανίζονται στη χώρα μας και που αποδίδεται περιληπτικά με τη έκφραση του Δημητρίου Αιγινήτη: "Πόσαι χώραι και πόσα κλίματα συνεπικνωθήσαν εντός της μικράς ταύτης γωνίας της Γης" (Αιγινήτης 1908).



### 1.5.1 Κύριοι κλιματικοί παράγοντες

Σε γενικές γραμμές ο Μεσογειακός τύπος κλίματος μπορεί να διαιρεθεί σε ψυχρή και βροχερή εποχή, τη χειμερινή (Οκτώβριος - Μάρτιος) καθώς και σε θερμή και άνομβρη, τη θερινή (Απρίλιος – Σεπτέμβριος). Η άνοιξη και το φθινόπωρο είναι ενδιάμεσες εποχές με χαρακτηριστικά άλλοτε χειμερινά και άλλοτε θερινά (Κανδήλης 1988) και οι μήνες Οκτώβριος και Απρίλιος μπορούν να χαρακτηρισθούν ως μεταβατικοί μήνες. Μεταξύ Σεπτεμβρίου και Οκτωβρίου σημειώνεται σημαντική πτώση της θερμοκρασίας και αρχίζουν οι πρώτες ψυχρές εισβολές σε συνδυασμό με την εμφάνιση του πρώτου χιονιού στα ορεινά. Ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος είναι οι ψυχρότεροι και πιο χιονοβόλοι μήνες, κατά κύριο λόγο. Τα ψυχρά χιονοφόρα κύματα συνεχίζονται μέχρι το Μάρτιο και καμιά φορά μέχρι τις αρχές Απριλίου. Από τον Απρίλιο η θερμοκρασία ανέρχεται μέχρι τους θερμότερους μήνες, Ιούλιο και Αύγουστο, που κατά κανόνα έχουν και τα πιο σταθερά βαρομετρικά συστήματα (Ζαμπάκας 1981).

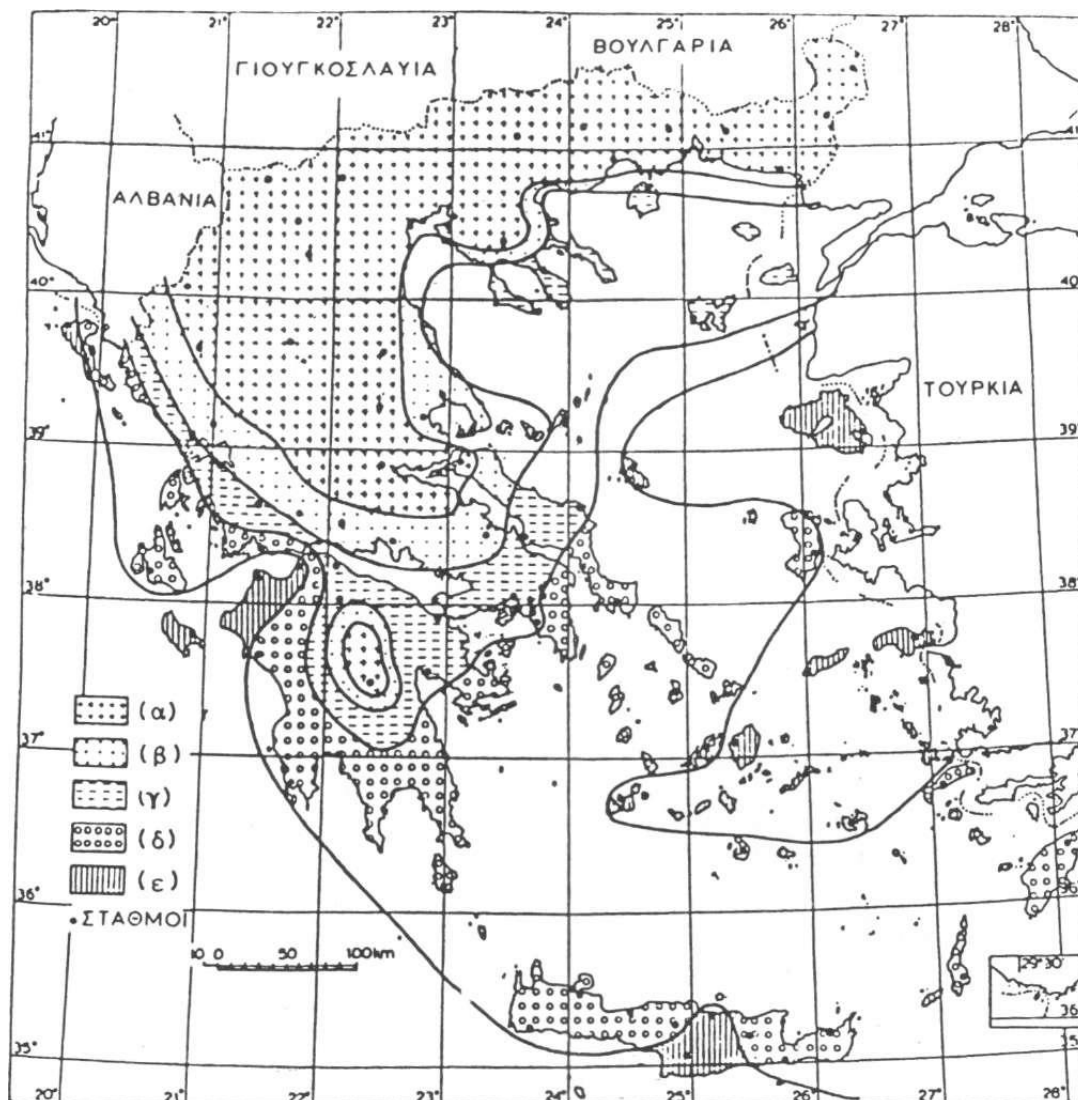
Σε όλες τις κλιματικές ταξινομήσεις η Ελλάδα κατατάσσεται στο μεσογειακό τύπο κλίματος. Στην ταξινόμηση κατά Korpen οι περισσότεροι ελληνικοί σταθμοί χαρακτηρίζονται ως μεσογειακού κλιματικού τύπου (Csa), ενώ οι υπόλοιποι βρίσκονται στους πλησιέστερους τύπους (ηπειρωτικά, υγρά υποτροπικά και θαλάσσια) (Καρράς 1973). Επίσης και ο Critchfield κατατάσσει την Ελλάδα στο μεσογειακό τύπο κλίματος.

Επίσης, το κλίμα της Ελλάδας αρχίζει από ηπειρωτικό μεσογειακό στα βόρεια διαμερίσματα της χώρας και εξελίσσεται νοτιότερα σε υποτροπικό μεσογειακό, ενώ σε πολλά νησιά χαρακτηρίζεται ως θαλάσσιο μεσογειακό. Οι ορεινές περιοχές εμφανίζουν από εύκρατο μεσογειακό κλίμα στα χαμηλά υψόμετρα μέχρι ψυχρό μεσογειακό, υπο-αλπικό και αλπικό στα μεγάλα υψόμετρα (Papadakis 1975).

Χαρακτηριστική είναι η αύξηση της ηπειρωτικότητας του κλίματος καθώς προχωρούμε από τα νότια προς τα βόρεια της χώρας, και από τα παράλια προς το εσωτερικό. Η βροχόπτωση κατά τη θερινή περίοδο εντοπίζεται κυρίως στα ηπειρωτικά τμήματα της χώρας και οφείλεται κατά κύριο λόγο στις κατακόρυφες ανοδικές κινήσεις λόγω υπερθέρμανσης του εδάφους και κατά συνέπεια των παρα-εδάφινων στρωμάτων του αέρα, μηχανισμός που προκαλεί τον αυξημένο αριθμό ημερών καταιγίδας που εμφανίζεται το θέρος στους ηπειρωτικούς

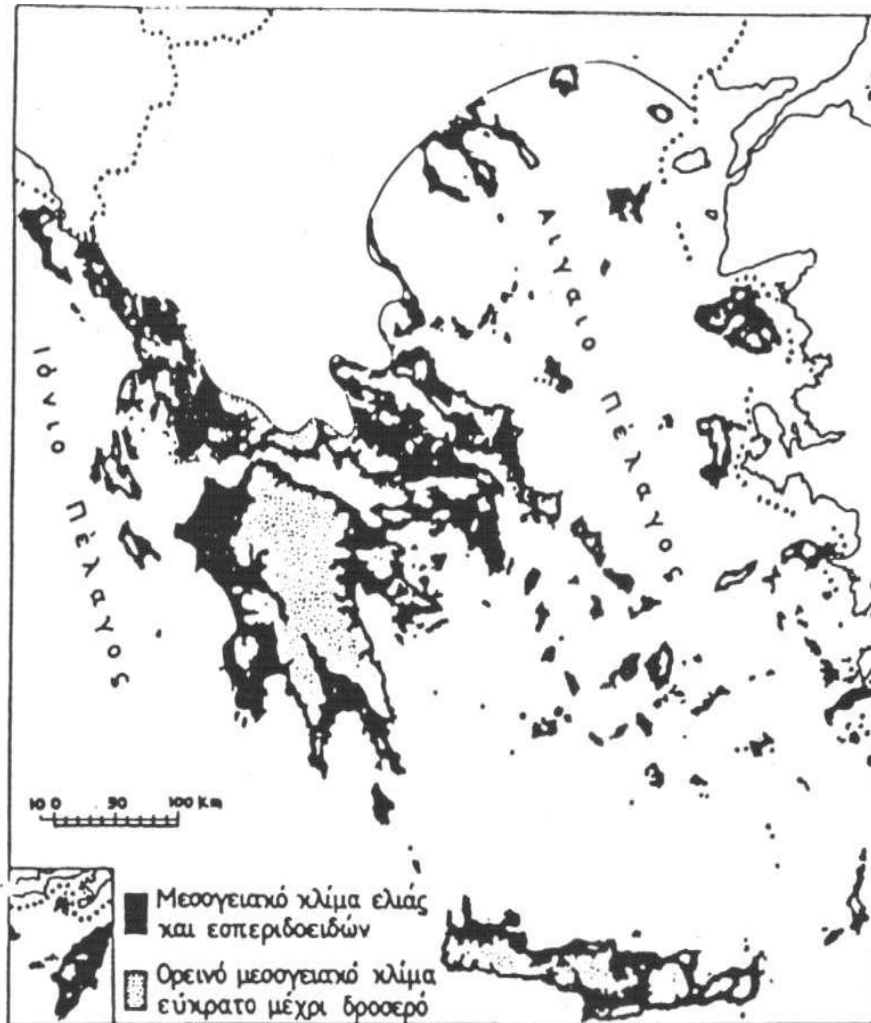
σταθμούς (Dikaiakos 1982). Αντίθετα, στους παραθαλάσσιους σταθμούς μεγαλύτερος είναι ο αριθμός ημερών χειμερινών καταιγίδων. Γενικά, η θερινή ξηρασία στα υπόψη κλίματα οφείλεται στο γεγονός ότι η περιοχή καθ' ύψος καλύπτεται από τα ανατολικά κράσπεδα των υποτροπικών αντικυκλώνων (Κανδήλης 1988). Τη χαρακτηριστική αυτή αύξηση της αλλαγής του κλίματος μπορούμε να την δούμε μέσα από έναν καθορισμό μεταβατικών ζωνών του μεσογειακού κλίματος διαφορετικής ηπειρωτικότητας, από τον αριθμό θερινών και χειμερινών ημερών καταιγίδας (Σχήμα 4).

Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό η κλιματική υποδιαίρεση της Ελλάδας επιβεβαιώνεται και από τους φυτικούς δείκτες της ελιάς και των εσπεριδοειδών που ευδοκιμούν στις τρεις νοτιότερες ζώνες και σε υψόμετρο χαμηλότερο από 400m (ΕΣΥΕ 1964) (Σχήμα 5).



Σχήμα 4. Μεταβατικές κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα: (α) Ηπειρωτική μεσογειακή θερμού θέρους, όχι τόσο ξηρού όσο η γνήσια μεσογειακή, (β) μεταβατική ζώνη που αποκλίνει περισσότερο προς την ηπειρωτική μεσογειακή παρά προς την γνήσια μεσογειακή, (γ) κύρια μεταβατική ζώνη μεταξύ ηπειρωτικών και γνήσιων μεσογειακών κλιμάτων, (δ) γνήσια μεσογειακή με ατμοσφαιρική ευστάθεια και (ε) γνήσια μεσογειακή με μεγαλύτερη ατμοσφαιρική ευστάθεια (Κοτίνη – Ζαμπάκα 1984)

Οι κύριοι κλιματικοί παράγοντες που διαμορφώνουν το κλίμα της Ελλάδας είναι το γεωγραφικό ανάγλυφο, η ηλιακή ακτινοβολία, η γενική κυκλοφορία στην περιοχή, οι αέριες μάζες και ο συνδυασμός γεωγραφικού ανάγλυφου και τοπικών ανέμων (Ζαμπάκας 1981).



Σχήμα 5. Υψομετρικές κλιματικές ζώνες του μεσογειακού κλίματος της ελιάς και των εσπεριδοειδών (υψόμετρο < 400m), καθώς και της υψηλότερης περιοχής εντός της ζώνης αυτής (Κοτίνη - Ζαμπάκα 1983).

### 1.5.2 Κλιματικά στοιχεία.

Τα κυριότερα κλιματικά στοιχεία είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, η θερμοκρασία αέρα, η σχετική υγρασία, η ηλιοφάνεια, η ατμοσφαιρική πίεση και ο άνεμος.

#### α) Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Όλα τα υδατώδη ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι, χαλάζι, δρόσος και πάχνη) απαντώνται στην Ελληνική επικράτεια ανάλογα με την ατμοσφαιρική κατάσταση.

Το Μεσογειακό κλίμα όπως είναι γνωστό χαρακτηρίζεται από έλλειψη βροχοπτώσεων κατά τη θερμή περίοδο του έτους. Στην Ελλάδα, ιδιαίτερα στις

ανατολικές και νότιες περιοχές της που βρίσκονται στα βόρεια κράσπεδα ημιορημικών κλιματικών περιοχών, το πρόβλημα καθίσταται οξύτερο εξ αιτίας των μεγάλων διακυμάνσεων των βροχοπτώσεων. Πρόσφατα, λόγω του μεγάλου ενδιαφέροντος και της οξύτητας του προβλήματος και λόγω της αβεβαιότητας ως προς τις επιπτώσεις που θα έχει στο καθεστώς της βροχής η εντατικοποίηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, έχουν γίνει πολλές αξιόλογες μελέτες αναφερόμενες στις τάσεις και διακυμάνσεις των βροχοπτώσεων στην Ευρώπη και στον χώρο της Μεσογείου και των Βαλκανίων (Melice and Wendler 1984, Neuber and Schonwiese 1984, Schonwiese and Birrong 1990, Repapis et al. 1993, Sahsamanoğlu et al. 1994, Steinberger and Gazit-Yaari 1996). Στην Ελλάδα έχει διαπιστωθεί τάση μείωσης των βροχοπτώσεων μετά την δεκαετία του 1920 (Amanatidis et al. 1992).

Η μελέτη των μακρών χρονοσειρών της βροχής τόσο για την πόλη της Αθήνας από τα τέλη του 19ου αιώνα (Repapis 1986, Katsoulis and Kambezidis 1989, Paliatsos et al. 2005) όσο και για ορισμένους άλλους σταθμούς από τις αρχές του 20ου αιώνα (Repapis 1986, Flocas et al. 1990, Mahairas and Kolyva-Mahaira 1990, Amanatidis et al. 1992, Nastos 1993, Metaxas et al. 1999) δεν μας επιτρέπει να εξάγουμε το συμπέρασμα για στατιστικά σημαντική τάση μείωσης των βροχοπτώσεων στον Ελληνικό χώρο τα τελευταία 100 χρόνια. Μελέτες όμως δεδομένων βροχής για μεγάλο αριθμό σταθμών στην Ελλάδα που καλύπτουν τη χρονική περίοδο 1951-1990, κατά την οποία τα δεδομένα είναι σχετικώς ομογενή, έδειξαν ότι οι βροχοπτώσεις στον Ελληνικό χώρο κατά την προαναφερθείσα 40-ετία, εμφανίζουν τάση μείωσης που σε ορισμένες περιοχές είναι στατιστικά σημαντική (Amanatidis et al. 1992, 1997). Σε γενικές γραμμές η πορεία των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα παρουσιάζει ένα ελάχιστο στα τέλη του 19ου αιώνα, ενώ στη συνέχεια εμφανίζει μια ανοδική τάση κατά τις πρώτες δύο-τρεις δεκαετίες του 20ου αιώνα. Μετά από αυτή την άνοδο ακολουθεί μια περίοδος με μικρότερες διακυμάνσεις που καταλήγει, στη διάρκεια της δεκαετίας 1981-1990, σε μια τάση μείωσης των βροχοπτώσεων.

Η τάση μείωσης των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα, που από τα διαθέσιμα δεδομένα φαίνεται να εξαπλώνεται στη χερσόνησο των Βαλκανίων και να εκτείνεται μέχρι την Κύπρο και το Ισραήλ (Amanatidis et al. 1992, Sahsamanoğlu et al. 1994, Steinberger and Gazit-Yaari 1996), είναι δυνατόν να αποδοθεί στις μεταβολές της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην ευρύτερη περιοχή. Για την νότια

Ευρώπη (Kozuchowski and Marcniak 1988) και για την περιοχή των Βαλκανίων (Maheras and Kolyva-Mahera 1990) έχει δειχθεί ότι η βροχή σχετίζεται αρνητικά με υψηλό ζωνικό δείκτη και θετικά με μεσημβρινό δείκτη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Για την περιοχή της Μεσογείου έγινε υπολογισμός του στροβιλισμού, από μακροχρόνια δεδομένα πίεσης στην επιφάνεια του εδάφους (Bartzokas and Metaxas 1990) και η ανάλυση των τιμών έδειξε ότι από τη δεκαετία του 1920 εμφανίζεται αύξηση της ροής κυκλοφορίας από βόρειες διευθύνσεις στην ανατολική Μεσόγειο και από νότιες διευθύνσεις στη δυτική Μεσόγειο. Αυτή η τάση της δημιουργίας αντικυκλωνικής κυκλοφορίας στην περιοχή της κεντρικής Μεσογείου ενδεχομένως να ερμηνεύει τις παρατηρούμενες πτωτικές τάσεις των βροχοπτώσεων στον ελλαδικό χώρο.

### β) Η θερμοκρασία αέρα

Οι θερμοκρασιακές αντιθέσεις των αερίων μαζών που επικρατούν στην χώρα είναι μεγάλες, ανεξάρτητα από την επίδραση των εποχών και του ανάγλυφου, αντιθέσεις τις οποίες τις βρίσκουμε σε λίγα μέρη της Γης. Ο γεωγραφικός παράγοντας παίζει βασικό ρόλο στην επικρατούσα κατάσταση, με τις στενές περιοχές του Ιονίου να προστατεύονται από τις ψυχρές εισβολές λόγω των ορεινών όγκων της Πίνδου και τις ακτές του Αιγαίου να προστατεύονται από την Ροδόπη αν και ασθενέστερα. Κατά τη θερμή εποχή αυτές οι διαφορές εξομαλύνονται λόγω του Μεσογειακού κλίματος όπως ομαλές διακυμάνσεις παρουσιάζουν και οι θερμοκρασίες των θαλασσών λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας του νερού (Ζαμπάκας 1981).

Κατά τη χειμερινή περίοδο η τάση της θερμοκρασίας είναι να ελαττώνεται με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους και από τα παράλια προς το εσωτερικό. Κατά τη θερινή περίοδο, ενώ θα περιμέναμε την αύξηση της θερμοκρασίας από τα παράλια προς το εσωτερικό, το ανάγλυφο συντελεί στο να συμβαίνει η αντίστροφη πορεία. Η ενδοετήσια μεταβολή της θερμοκρασίας είναι απλή και παρουσιάζει θερμοκρασιακό μέγιστο το καλοκαίρι και ελάχιστο το χειμώνα (Ζαμπάκας 1981).

### γ) Σχετική υγρασία

Η μέση ετήσια τιμή της σχετικής υγρασίας κυμαίνεται από 65% μέχρι 75%. Το μέγιστο της ενδοετήσιας μεταβολής της εμφανίζεται το χειμώνα και το ελάχιστο το καλοκαίρι, όπως και της νέφωσης σε αντίθεση με τη θερμοκρασία του αέρα.

Αντίθετα, στις πολύ ορεινές περιοχές η προαναφερθείσα ενδοετήσια μεταβολή της τείνει να αναστραφεί.

#### δ) Ηλιοφάνεια

Σύμφωνα με σχετικές μελέτες υπάρχουν διαφορές μεταξύ μετρούμενων και εκτιμώμενων ωρών ηλιοφάνειας. Γενικά, υπάρχει αρκετά καλή σχέση μεταξύ των εκτιμώμενων και παρατηρούμενων τιμών ηλιοφάνειας στον Ελλαδικό χώρο. Η ενδοετήσια μεταβολή της ηλιοφάνειας είναι απλή με μέγιστο τον Ιούλιο και ελάχιστο τον Ιανουάριο ή το Δεκέμβριο. Η χωρική κατανομή των ετήσιων και εποχιακών τιμών ηλιοφάνειας παρουσιάζει ελάχιστες τιμές στις εσωτερικές ορεινές περιοχές της ελληνικής περιφέρειας (Δυτική Μακεδονία, Ήπειρος, Στερεά Ελλάδα), αυξάνοντας σταδιακά προς τις ακτές του Ιονίου και του Αιγαίου, καθώς και από βορρά προς νότο. Οι υψηλότερες τιμές ηλιοφάνειας καταγράφονται στα νοτιοανατολικά νησιά του Αιγαίου και πάνω από τις νότιες ακτές της Κρήτης, ακολουθεί η Αττική (περιοχή της Αθήνας) και οι γύρω παράκτιες περιοχές, τα νησιά του ανατολικού Αιγαίου και οι νοτιοδυτικές παράκτιες και νησιωτικές περιοχές του Ιονίου Πελάγους (Matzarakis and Katsoulis 2006).

#### ε) Ατμοσφαιρική πίεση

Η ετήσια πορεία της ατμοσφαιρικής πίεσης έχει ηπειρωτικό χαρακτήρα σε ολόκληρη την χώρα, γεγονός που οφείλεται στις τρεις μεγάλες ηπείρους που περιβάλλουν την περιοχή της Μεσογείου θάλασσας και συντηρούν τα ηπειρωτικά θερινά βαρομετρικά χαμηλά συστήματα. Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, τις τιμές των πιέσεων ελέγχουν οι υψηλές πιέσεις που επικρατούν σε όλη την Ευρασία και το βαρομετρικό χαμηλό νοτιοανατολικά της Κύπρου, ενώ κατά το θέρος τον έλεγχο ανακτά ο συνδυασμός των επεκτάσεων του αντικυκλώνα των Αζόρων πάνω από την Ευρώπη και του θερμικού χαμηλού των Ινδιών πάνω από τα Ιρανικά οροπέδια (Ζαμπάκας 1981).

#### στ) Άνεμος

Όπως είναι γνωστό άνεμος ονομάζεται κάθε οριζόντια μετακίνηση μάζας ατμοσφαιρικού αέρα. Ο άνεμος είναι αποτέλεσμα των διαφορετικών πιέσεων που επικρατούν από τόπο σε τόπο. Ο άνεμος προσδιορίζεται από δύο στοιχεία, τη διεύθυνση και την ένταση, δηλαδή την ταχύτητα με την οποία κινείται η αέρια μάζα. Ως διεύθυνση ορίζεται το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος. Η

γενική κυκλοφορία των αερίων μαζών, το γεωγραφικό ανάγλυφο του τόπου και οι τοπικοί άνεμοι, παίζουν τον κύριο ρόλο στον καθορισμό της τοπικής διεύθυνσης του ανέμου. Στον Ελλαδικό χώρο, η έντασή του ανέμου κυμαίνεται συνήθως από 0 μέχρι 5 Beaufort και σπάνια υπερβαίνει τα 8, τιμή έντασης που συναντάται σε ανοιχτά σημεία του Αιγαίου και του Ιονίου (Ζαμπάκας 1981).



## 2. ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (GIS)

### 2.1 Εισαγωγή στα γεωπληροφοριακά συστήματα δεδομένων

Το περιεχόμενο ενός χάρτη αναπαριστά τον κόσμο και τις εμπειρίες μας από αυτόν. Η χρήση του γίνεται για την εύρεση τοποθεσιών, την οργάνωση μιας διαδρομής, τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό μιας περιοχής, την εποπτεία ανάπτυξης της χλωρίδας και πανίδας κατά τόπους στον πλανήτη, καθώς επίσης και για την κάλυψη ενός εύρους άλλων αναγκών που έχουμε σχετικά με μία τοποθεσία.

Στη σύγχρονη εποχή όλα τα είδη χαρτών υφίστανται σε ψηφιακή μορφή στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, και πλέον ο καθένας έχει τη δυνατότητα να κάνει οποιοδήποτε είδους έρευνα σε αυτούς τους χάρτες, να βρει αντικείμενα και διαδρομές ή να σχεδιάσει σχετικές ενέργειες. Ένα υπολογιστικό σύστημα που μας δίνει τη δυνατότητα να αποθηκεύσουμε και να προσπελάσουμε τέτοιου είδους γεωγραφικά δεδομένα ονομάζεται γεωπληροφοριακό σύστημα δεδομένων (Geographic Information System – GIS).

Για να αναγνωρίσουμε πόσο σημαντικό είναι το εργαλείο αυτό, ακολουθούν ορισμένα παραδείγματα για το πως η χρήση του χάρτη σε συνδυασμό με τη χρήση ενός υπολογιστή συνδυάζονται πλέον για τη λήψη καλύτερων αποφάσεων σε συντομότερο χρονικό διάστημα.

**Για ιδιοκτήτες επιχειρήσεων:** ο ιδιοκτήτης μιας επιχείρησης παιχνιδιών μπορεί να κάνει γεωγραφική μελέτη για το χτίσιμο ενός καινούριου καταστήματος με τη χρήση ενός GIS ώστε να επιλέξει την ιδεατή περιοχή, εκεί που θα υπάρχει ζήτηση (κοντά σε κατοικίες οικογενειών με παιδιά).

**Για πολεοδόμους:** η χρήση GIS βοηθά στην λήψη αποφάσεων για την εκμετάλλευση ενός οικοπέδου ή συνόλου οικοπέδων παραθέτοντας αποθηκευμένα χαρακτηριστικά για την περιοχή αυτή και αντιστοιχίζοντάς τα με πληροφορίες για ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις ή χρήσεις αντίστοιχων χώρων.

**Για διανομείς εμπορευμάτων – προμηθευτές:** η ταχύτερη και αποδοτικότερη τροφοδότηση καταστημάτων και πρατηρίων με τη χρήση των ήδη υπάρχοντων δικτύων μεταφοράς προϋποθέτει εκτενή μελέτη λαμβάνοντας υπ' όψιν πολλαπλές μεταβλητές. Τέτοιου είδους μελέτη απαιτεί πολύ χρόνο για να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας συμβατικές μεθόδους. Η χρήση GIS κάνει τη διαδικασία αυτή ευκολότερη συνυπολογίζοντας ταυτόχρονα τέτοιες μεταβλητές που προκύπτουν από ήδη αποθηκευμένες πληροφορίες, όπως για παράδειγμα τις

χιλιομετρικές αποστάσεις που καλύπτονται σε διαφορετικό χρόνο ανάλογα με την ώρα της ημέρας (DeMers 2009).

## **2.2 Τι είναι ένα γεωπληροφοριακό σύστημα δεδομένων;**

Ένα γεωπληροφοριακό σύστημα δεδομένων είναι ένα υπολογιστικό σύστημα που επιτρέπει στο διαχειριστή του να χρησιμοποιεί εργαλεία και τεχνικές που χρησιμοποιούν οι γεωγράφοι, και ακόμα περισσότερα. Χρησιμοποιώντας λογισμικό GIS είναι δυνατή η αποθήκευση χαρτών και γεωγραφικών δεδομένων σε υπολογιστή για τη μετέπειτα επεξεργασία και ανάλυσή τους (όπως για παράδειγμα υπολογισμός μιας διαδρομής ή η εύρεση γεωγραφικών χαρακτηριστικών) με σκοπό την παραγωγή ενός αποτελέσματος (εξαγωγή νέου χάρτη ο οποίος περιέχει τα επεξεργασμένα στοιχεία).

Στη συνέχεια παρατίθεται ένα σύνολο ενεργειών που είναι δυνατές με τη χρήση λογισμικού GIS:

- Επιλεκτική ανάκτηση κομματιών δεδομένων από έναν ή περισσότερους χάρτες.
- Υπολογισμός, ομαδοποίηση, απομόνωση και ποσοτικοποίηση χαρακτηριστικών και των προτύπων τους στο τοπίο του χάρτη.
- Μέτρηση μηκών, αποστάσεων, υψομέτρων, όγκων των χαρακτηριστικών.
- Επικάλυψη ενός χάρτη σε άλλον για άμεση σύγκριση χαρακτηριστικών από το νέο παραγόμενο χάρτη.
- Προβολή, υπολογισμός αγνώστων τιμών με τη μέθοδο της παρεμβολής, αποκοπή, σύγκριση, διασταύρωση και γενίκευση για τις επιφάνειες όλων των ειδών.
- Καταγραφή κινήσεων και αλλαγών σε κάποια περιοχή, καθώς και πρόβλεψη μελλοντικών αλλαγών με στόχο την εκμετάλλευσή τους.
- Εύρεση της συντομότερης ή μικρότερης σε απόσταση διαδρομής, προσδιορισμός πιθανών πελατών και εντοπισμός επιχειρήσεων.
- Εκτέλεση διαφόρων αναλύσεων τοπογραφικών χαρακτηριστικών, όπως ανάλυση της κίνησης υγρών στο υπέδαφος και στην επιφάνεια, υπολογισμός συγκέντρωσης υγρών σε σημεία χαμηλού υψομέτρου, προεπισκόπηση οπτικού πεδίου μιας περιοχής από ένα συγκεκριμένο

σημείο και άλλες αναλύσεις.

Όπως αποδεικνύεται παραπάνω, το GIS είναι ένα ισχυρό και πολυδιάστατο εργαλείο, του οποίου το λογισμικό κατατάσσεται στα πολυπλοκότερα που δημιουργήθηκαν ποτέ. Αυτή η πολυπλοκότητα οφείλεται στην εξομοίωση τεχνικών και μεθόδων τις οποίες δημιούργησαν, χρησιμοποίησαν και τελειοποίησαν γεωγράφοι και λοιποί σχετικοί επαγγελματίες για την ανάλυση χαρτών και σχετικών δεδομένων εδώ και 2.5 χιλιετίες. Βέβαια, λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας και της παραγωγής συστημάτων που είναι ακόμα ταχύτερα και περισσότερο αποδοτικά, νέες τεχνικές προστίθενται συνεχώς καθιστώντας το λογισμικό GIS ένα συνεχώς αναπτυσσόμενο λογισμικό, το οποίο έχει τη δύναμη να επηρεάσει τον τρόπο που λαμβάνονται αποφάσεις σε όλο τον κόσμο (DeMers 2009).

Το λογισμικό GIS έχει τρία βασικά συστατικά μέρη τα οποία βρίσκονται σε συνεχή ισορροπία και αλληλεξάρτηση. Τα τρία αυτά μέρη είναι το λογισμικό ή οι αλγόριθμοι (software), τα διαθέσιμα (recourse ware) και τα μηχανήματα (hardware). Πρέπει να σημειωθεί ότι η καταιγιστική πρόοδος που παρατηρείται κυρίως στα δύο πρώτα συστατικά μέρη ενός GIS, καθιστά κάθε συζήτηση για συγκεκριμένα υπολογιστικά συστήματα ή λογισμικά χωρίς νόημα.

Λογισμικό – Αλγόριθμοι: Αλγόριθμοι υπάρχουν πολλοί και ποικίλοι σε ένα λογισμικό GIS και μπορούν όμως να κατηγοριοποιηθούν σε πέντε βασικές ομάδες (Burrough and McDonnell 1998), οι οποίες είναι:

- Λογισμικό Εισαγωγής και Επαλήθευσης Στοιχείων, που καλύπτει τις ανάγκες μετασχηματισμού των στοιχείων από την αρχική τους μορφή (χάρτες, τηλεσκοπικά προϊόντα κλπ.) σε αναγνωρίσιμη μορφή.
- Λογισμικό Αποθήκευσης και Διαχείρισης Στοιχείων, που αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο δομούνται και οργανώνονται τα χωρικά και μη χωρικά στοιχεία
- Λογισμικό Μετασχηματισμού Στοιχείων, που στοχεύουν αφενός στον συντονισμό των στοιχείων (απομάκρυνση λαθών, επικαιροποίηση, συμβατικοποίηση κ.λπ.) κυρίως όμως στην ανάλυσή τους.
- Λογισμικό Παρουσίασης, που εστιάζεται στη παρουσίαση στοιχείων και αποτελεσμάτων των αναλυτικών διαδικασιών.
- Λογισμικό αναζητήσεων, που βοηθούν τον χρήστη να επικοινωνεί με τον

Η/Υ αναζητώντας λύσεις μέσα από μια σειρά ερωτήσεων (queries). Στις πέντε παραπάνω ομάδες των Burrough and McDonnell (1998) πρέπει να προστεθεί και μια έκτη ομάδα, αναγκαία για κάλυψη των αναγκών για εμπειρικές εφαρμογές, που ουσιαστικά αναφέρονται στην ανάλυση χώρου. Συγκεκριμένα μια ολοκληρωμένη χωρική προσέγγιση, της οποίας αναπόσπαστο τμήμα είναι ένα GIS, οφείλει να παρέχει τη δυνατότητα για διαδικασίες ανάλυσης χώρου (Κουτσόπουλος 2005).

Διαθέσιμα: Το λογισμικό αυτό καθαυτό, αποτελεί μόνο ένα μέρος ενός μεγαλύτερου συστήματος. Το ολοκληρωμένο σύστημα GIS είναι περισσότερο από απλά το άθροισμα των επιμέρους στοιχείων του καθώς αποτελείται από έναν αριθμό άλλων στοιχείων εκτός του υλικού που απαιτείται για τη χρήση του και του λογισμικού του. Τα βασικά μέρη που δημιουργούν το λογισμικό GIS είναι τα εξής:

- Δεδομένα και πληροφορίες.
- Υπολογιστές, τεχνολογία εισόδου – εξόδου, και λογισμικό ηλεκτρονικών υπολογιστών.
- Γεωγραφικές και λοιπές σχετικές έννοιες που οδηγούν την ανάλυση.
- Ανθρώπινο δυναμικό, όπως χρήστες, διαχειριστές, σύμβουλοι, κατασκευαστές.
- Θεσμοί και οργανισμοί μέσα από τους οποίους υφίσταται το GIS.

Τα project είναι ο κινητήριος μοχλός πίσω από τα προϊόντα και την ανάλυση του λογισμικού GIS, ενώ τα δεδομένα παρέχουν την «καύσιμη ύλη». Δίχως την ύπαρξη έγκαιρων και με ακρίβεια δεδομένων, το λογισμικό δε μπορεί να βοηθήσει ουσιαστικά στη λήψη αποφάσεων. Αν και τα δεδομένα αυτά χωρίζονται σε πολλές κατηγορίες, μπορούν γενικά να ομαδοποιηθούν σε δύο βασικές κατηγορίες: τα πρωτεύοντα και τα δευτερεύοντα.

Τα πρωτεύοντα δεδομένα συλλέγονται κατά κύριο λόγο από τον αναλυτή για ένα συγκεκριμένο project. Αυτά τα δεδομένα είναι συνήθως και τα πιο χρήσιμα καθώς περισυλλέγονται με γνώμονα τους συγκεκριμένους στόχους που έχει ο αναλυτής.

Τα δευτερεύοντα δεδομένα παρέχονται από τρίτους για διάφορες άλλες εργασίες ή συλλέγονται από απομακρυσμένους αισθητήρες με αυτοματοποιημένο τρόπο (DeMers 2009).

Ο σημαντικότερος παράγοντας από όλους αυτούς, όμως, είναι το

εξειδικευμένο ανθρώπινο δυναμικό, που θα αξιολογήσει τη διαθέσιμη πληροφορία, θα αποφασίσει το μέγεθος, το είδος και τον τρόπο συλλογής και καταχώρησης. Είναι επίσης κρίσιμο το σημείο, κατά το οποίο πρέπει να ληφθεί η απόφαση, σχετικά με το ποια από τα διατιθέμενα εργαλεία και σύμφωνα με ποια αναλυτική μεθοδολογία θα χρησιμοποιηθούν (Κουτσόπουλος 2005).

Για την εισαγωγή των δεδομένων σε ένα λογισμικό GIS ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- Προσδιορισμός του χώρου και του τρόπου με τον οποίο γίνεται η λήψη/δειγματοληψία των δεδομένων. Αυτό σχετίζεται με την απόφαση του αναλυτή για το αν μπορεί να χρησιμοποιήσει ήδη υπάρχοντα δεδομένα και χάρτες, να μεταφράσει πληροφορίες από εναέριες φωτογραφίες, να μελετήσει μετρήσεις από GPS, ή να χρησιμοποιήσει δορυφορικές φωτογραφίες της Γης.
- Συλλογή / δειγματοληψία δεδομένων άμεσα ή έμμεσα με τη χρήση αισθητήρων. Αυτή η διαδικασία εξαρτάται από την επιλογή των δεδομένων. Το εύρος εισόδων επιφέρει και πολλές πιθανές ερωτήσεις σχετικά με την τοποθεσία, την κλίμακα, τα όργανα και το χρόνο. Μία καλή μεθοδολογία για τη λήψη δεδομένων σε συνδυασμό με ποιοτικά και ακριβή όργανα λήψης μετρήσεων, μπορεί να ανεβάσει την ποιότητα της παραγόμενης ανάλυσης που εκτελείται με το λογισμικό GIS.
- Μετατροπή των δεδομένων σε μορφή αναγνωρίσιμη από τον υπολογιστή καθώς μόνο η κτήση τους δεν αρκεί, αν το λογισμικό GIS δεν είναι σε θέση να τα εισάγει στον υπολογιστή για ανάλυση. Σε περίπτωση που τα δεδομένα δεν είναι στην κατάλληλη μορφή, η καθαυτή μεταφορά τους στον υπολογιστή παίζει κρίσιμο ρόλο στη λειτουργία του λογισμικού GIS, τόσο όσον αφορά τα χρήματα, όσο και το χρόνο που χρειάζεται. Αυτή η μεταφορά απαιτεί μετατροπή των δεδομένων από αναλογικά σε ψηφιακά και εισαγωγή περαιτέρω πληροφοριών όπως άξονες και συντεταγμένες σε φωτογραφίες χαρτών.

Μηχανικά μέρη: Ακόμα ένας τομέας που χρήζει αναφοράς είναι η υπολογιστική ισχύς που απαιτείται για μια ανάλυση ενός λογισμικού GIS. Οι επιδόσεις του ηλεκτρονικού υπολογιστή στον οποίο εκτελείται η εφαρμογή του λογισμικού είναι μόνο ένα μέρος του συνολικού υλικού και λογισμικού που χρειάζεται στον αναλυτή για την επίτευξη των στόχων του.

Τα μηχανικά μέρη ενός GIS είναι η κεντρική μονάδα, τα περιφερειακά και το τερματικό. Η κεντρική μονάδα, τα κύρια χαρακτηριστικά της οποίας είναι το λειτουργικό σύστημα, η μνήμη και η ταχύτητα, είναι η καρδιά του συστήματος και εξυπηρετεί όλες τις υπολογιστικές διαδικασίες. Τα περιφερειακά διαφοροποιούνται σε περιφερειακά εισόδου, που επιτρέπουν την είσοδο των στοιχείων, σε περιφερειακά εξόδου που συμμετέχουν στην παρουσίαση των στοιχείων και περιφερειακά διαχείρισης που βοηθούν στην αποθήκευση και διαχείριση των στοιχείων. Τέλος το τερματικό αποτελεί το μέσο με το οποίο ο χρήστης ελέγχει τον υπολογιστή και τα περιφερειακά (Κουτσόπουλος 2005).

Πιο αναλυτικά, το υλικό χωρίζεται στις παρακάτω κατηγορίες:

Συσκευές συλλογής δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων καθετήρων εδάφους, συσκευών GPS, αναλογικών και ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών, συσκευών ηχογράφησης και τηλεμετρίας. Πολλές από αυτές τις συσκευές αποθηκεύουν δεδομένα σε ξεχωριστές μορφές χρησιμοποιώντας λογισμικά ειδικά κατασκευασμένα για αυτές. Η ανάγκη συμβατότητας αυτών των μορφών με το λογισμικό GIS έχει οδηγήσει πολλούς κατασκευαστές να προγραμματίζουν τέτοιες συσκευές ώστε να μπορούν να παρέχουν δεδομένα συμβατά με το συγκεκριμένο λογισμικό.

Συσκευές εισόδου, συμπεριλαμβανομένων των ίδιων των υπολογιστών. Τέτοιες συσκευές χρησιμεύουν για την καταγραφή γραμμών ή τη συλλογή σημείων σε εικόνες απευθείας από την οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Τα είδη αυτών των συσκευών ποικίλουν, όπως μη-αυτόματοι ψηφιοποιητές (ουσιαστικά, μεγάλου μεγέθους mouse pad με ενσωματωμένους αισθητήρες θέσης και υπερευαίσθητα ποντίκια) ή σαρωτές, από απλούς επίπεδους έως μεγάλους, τύπου τυμπάνου, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή μεγάλων χαρτών. Όλες αυτές οι συσκευές έχουν το δικό τους λογισμικό το οποίο «μεταφράζεται» από το λογισμικό GIS.

Συσκευές αποθήκευσης δεδομένων και λογισμικό ανάλυσης (ουσιαστικά ο ίδιος ηλεκτρονικός υπολογιστής που διαχειρίζεται ένα λογισμικό GIS παρέχει επίσης αποθηκευτικό χώρο καθώς επίσης και λοιπές εφαρμογές που επιτρέπουν την ανάλυση χαρτογραφικών δεδομένων).

Συσκευές εξόδου, στις οποίες συμπεριλαμβάνεται φυσικά η οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή (κάθε οθόνη με τα δικά της χαρακτηριστικά όπως ανάλυση και αριθμός pixels), εκτυπωτές διαφόρων ειδών και plotter. Όπως είναι

λογικό, συσκευές όπως η οθόνη βοηθούν στην επίβλεψη των δεδομένων και την προεπισκόπηση κατά τη διαδικασία της ανάλυσης, ενώ άλλες είναι πιο χρήσιμες στην τελική έκβαση και παραγωγή του αποτελέσματος.

Το λογισμικό που παρέχεται με την αγορά των συσκευών εισόδου και εξόδου είναι συνήθως σχεδιασμένο ειδικά για τις συσκευές αυτές. Αντιθέτως, με το λογισμικό GIS ο χρήστης έχει τη δύναμη της επιλογής σχετικά με το τι είδους λογισμικό πρόκειται να χρησιμοποιήσει (από το πιο απλό πρόγραμμα GIS έως το πιο σύνθετο, προοριζόμενο για πληθώρα λειτουργιών και παραγωγή μαζικών αποτελεσμάτων) (DeMers 2009).

Μέχρι πριν μερικά χρόνια, τα μεγάλα υπολογιστικά συστήματα (mainframes) επικρατούσαν στην αγορά των λογισμικών GIS. Σήμερα τα περισσότερα λογισμικά GIS λειτουργούν σε επιτραπέζιους και φορητούς υπολογιστές, σε σχεδόν οποιοδήποτε λειτουργικό σύστημα και με σχετικά μικρές απαιτήσεις, ενώ ταυτόχρονα εισάγουν την φιλοσοφία cloud και παρέχουν στους χρήστες online επεξεργασία χαρτών και δεδομένων χωρίς την ανάγκη εγκατάστασης λογισμικού. Με αυτό τον τρόπο αποδεσμεύεται το μηχανικό μέρος του χρήστη από την ανάγκη της διαθεσιμότητας πόρων συστήματος.

Αν θέλαμε, λοιπόν, να απαντήσουμε στο ερώτημα τι είναι ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών, θα μπορούσε να διατυπωθεί ο εξής ορισμός: Είναι μια οργανωμένη συλλογή μηχανικών υπολογιστικών συστημάτων, λογισμικού συστημάτων, χωρικών δεδομένων και ανθρώπινου δυναμικού, με σκοπό τη συλλογή, καταχώρηση, ενημέρωση, διαχείριση, ανάλυση και απόδοση, κάθε μορφής πληροφορίας που αφορά στο γεωγραφικό περιβάλλον (Κουτσόπουλος 2005).

### **2.3 Που χρησιμεύει ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών**

Ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι κάτι περισσότερο από ένα απλό εργαλείο γεωγραφικής ανάλυσης. Είναι επίσης εργαλείο αναπαράστασης και παρουσίασης. Η εμφάνιση των προκαταρκτικών αποτελεσμάτων στην οθόνη δίνει περισσότερες ιδέες σχετικά με την παραγωγή του τελικού αποτελέσματος και την παρουσίασή του με σχέδια και κινούμενες εικόνες ή εμφάνιση μέσω συγκεκριμένων προοπτικών έτσι ώστε τα δεδομένα να μπορούν να εξεταστούν πιο διεξοδικά. Παρακάτω, ακολουθούν ορισμένα σενάρια χρησιμοποίησής του

στην καθημερινότητα του σήμερα:

- Ένας επιστήμονας που ασχολείται με τη μελέτη περιβαλλοντικών παραμέτρων, μπορεί να απεικονίσει π.χ. τη βλάστηση μιας περιοχής πάνω σε ένα τρισδιάστατο τοπογραφικό χάρτη ώστε να παρουσιάσει και να μελετήσει τη συσχέτιση βλάστησης και υψομέτρου.
- Ένας μεσίτης ακινήτων μπορεί να παρουσιάσει σε ένα χάρτη τις πιθανές επιλογές αγοράς κατοικίας χρησιμοποιώντας κριτήρια όπως η τιμή, η τοποθεσία, το κλίμα κ. ά. Στη συνέχεια, μετά την επιλογή κάποιας οικίας ενός αγοραστή, ο μεσίτης έχει τη δυνατότητα να εμφανίσει σχετικές πληροφορίες με τη μορφή κειμένου, φωτογραφιών ή ακόμη να κάνει μια ψηφιακή ξενάγηση στο χώρο για να βοηθήσει τον αγοραστή στην απόφασή του.
- Ένας πολιτικός μηχανικός μπορεί να παρουσιάσει τον τρόπο με τον οποίο αναπτύσσεται ένας οικισμός, ή μια πόλη σε σχετικό συμβούλιο, χρησιμοποιώντας μια σειρά από χάρτες συνενωμένους σε ένα φιλμ μικρής διάρκειας.
- Ένας εξωτερικός συνεργάτης μιας εταιρίας θέλει να παρουσιάσει στον επόπτη του αεροφωτογραφίες της περιοχής στην οποία εδρεύει και δραστηριοποιείται η εταιρία. Χρησιμοποιεί την εφαρμογή GIS του φορητού υπολογιστή του για να στείλει τις εικόνες απευθείας στην φορητή συσκευή του επόπτη για την άμεση λήψη αποφάσεων.
- Γενικά, το λογισμικό GIS προσφέρει αμέτρητες δυνατότητες οι οποίες εξακολουθούν να επεκτείνονται παράλληλα με τη ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας.

#### **2.4 Ο ανθρώπινος παράγοντας**

Το λογισμικό GIS πωλείται για να χρησιμοποιηθεί από άτομα που παίρνουν αποφάσεις και επηρεάζουν τους συνανθρώπους τους. Τα άτομα αυτά μπορεί να ασχολούνται σε επιχειρήσεις, στις ένοπλες δυνάμεις, στον εκπαιδευτικό τομέα, σε μη κερδοσκοπικές οργανώσεις, σε υγειονομικές υπηρεσίες και σε εκατοντάδες άλλα είδη υπηρεσιών ή οργανώσεων. Το συγκεκριμένο λογισμικό τους επιτρέπει να κάνουν τη δουλειά τους αποτελεσματικά. Επίσης, λόγω της υψηλού επιπέδου τεχνολογίας στην οποία είναι βασισμένο, αλλάζει τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν οι οργανισμοί που το χρησιμοποιούν.



Οι επιχειρήσεις και οι οργανισμοί που χρησιμοποιούν το λογισμικό αυτό λειτουργούν αποτελεσματικότερα όταν προσαρμόζονται στις τεχνολογίες του. Η πλειονότητα των αποτυχιών στην ένταξη και χρήση του συγκεκριμένου λογισμικού ευθύνεται είτε στον κακό σχεδιασμό, είτε στην παντελή έλλειψή του. Αυτού του είδους τα προβλήματα καλείται να αντιμετωπίσει μια συνεχώς αυξανόμενη κοινότητα ειδικών (system designers) που βοηθούν στην επιτυχημένη εισαγωγή και χρήση του λογισμικού στις πρακτικές εταιριών και οργανισμών (DeMers 2009).

## 2.5 Διαχρονική εξέλιξη των GIS

Γεωπληροφορικά συστήματα δεδομένων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή χρησιμοποιούνται από τα τέλη της δεκαετίας του 1960, ενώ οι χειρόγραφοι προκάτοχοί τους υπήρχαν ακόμα και έναν αιώνα νωρίτερα. Η ιστορική αναδρομή στη νηπιακή ηλικία του λογισμικού GIS είναι αρκετά δύσκολη δεδομένης της ελάχιστης καταγεγραμμένης ιστορίας πάνω στον τομέα αυτό. Είναι δεδομένο ότι η μεγαλύτερη ενασχόληση με αυτόν τον τομέα έγινε στη Βόρεια Αμερική. Σημαντικό ρόλο έπαιξαν οργανισμοί όπως το Υπουργείο Απογραφών των Ηνωμένων Πολιτειών, το Υπουργείο Γεωλογίας, το Εργαστήριο Σχεδιασμού με Υπολογιστές του Πανεπιστημίου του Harvard και η Μονάδα Πειραματικής Χαρτογράφησης.

Συμπερασματικά, υπάρχουν αρκετά στάδια στην εξέλιξη του λογισμικού GIS τα οποία επικαλύπτονται χρονικά και έχουν υλοποιηθεί σε διαφορετικά μέρη στον κόσμο. Το πρώτο στάδιο ή αλλιώς η «εποχή πρωτοπορίας» εκτείνεται από τις αρχές του 1960 έως το 1975. Η δεύτερη φάση ξεκινά από το 1973 έως τις αρχές της δεκαετίας του 1980 όπου τα διεθνή πρακτορεία άρχισαν την προώθηση και διεξαγωγή πειραμάτων σε τακτική βάση. Η διεξαγωγή των ίδιων πειραμάτων και πρακτικών από παραπάνω από έναν οργανισμούς ήταν σύνηθες φαινόμενο και συνεχίστηκε ανεμπόδιστα. Η τρίτη φάση, από το 1982 έως και τα τέλη της δεκαετίας του 1980 έχει κυρίαρχο χαρακτηριστικό την εμπορική κυριαρχία. Η τέταρτη φάση (στην οποία βρισκόμαστε έως και σήμερα) χαρακτηρίζεται από την επικέντρωση στο χρήστη η οποία διευκολύνεται από τον ανταγωνισμό μεταξύ των κατασκευαστών, την τυποποίηση σε ανοικτά συστήματα που βρίσκεται ακόμα σε εμβρυακό στάδιο, καθώς και τη συνεχώς αυξανόμενη ομοφωνία των χρηστών σχετικά με τη λειτουργία και την παρουσίαση του λογισμικού GIS από τον τελικό χρήστη (Coppock and Rhind 1991).

## 2.6 Βάση της εξέλιξης του λογισμικού GIS

Είναι ξεκάθαρο ότι υπήρξαν πολλές πρωτοβουλίες για την ανάπτυξη του λογισμικού GIS οι οποίες συνήθως προέκυπταν ανεξάρτητα και συχνά αγνοώντας τη συνύπαρξή τους. Οι πρωτοβουλίες αυτές ασχολούντο με διαφορετικές όψεις του τομέα και βασίζονταν στα (πολλές φορές ανόμοια) ενδιαφέροντα ορισμένων προσωπικοτήτων. Στην πραγματικότητα δεν υπήρξε ποτέ αυστηρή λογική στην πρόοδο της εξέλιξης του συγκεκριμένου λογισμικού, αλλά περισσότερο ένα κράμα αποτυχιών, αναβολών, διαφοροποιήσεων και επιτυχιών. Αναπόφευκτα λοιπόν υπάρχουν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις αποτυχίες παρά τις επιτυχίες, οι οποίες ήταν πολυάριθμες και συχνά πήγαζαν από τις εσφαλμένες συμβουλές, την άγνοια, την έλλειψη πληροφοριών και τον εγωισμό των ατόμων που ασχολήθηκαν (Dangermond and Smith 1988). Είναι επίσης φανερό ότι, ορισμένοι άνθρωποι αλλά και θεσμοί έπαιξαν καθοριστικό ρόλο λειτουργώντας ως πηγές εξειδίκευσης και παραδειγματισμού. Εφόσον λοιπόν αυτές οι συνεισφορές είναι καταγεγραμμένες με περισσότερες λεπτομέρειες συγκριτικά με τη γενική εξελικτική διαδικασία, μπορούν να αναπτυχθούν ενδελεχώς.

Ειδικότερα η συνεισφορά του Howard Fisher (Εργαστήριο Computer Graphics του Harvard – LCG), του Roger Tomlinson (Γεωπληροφοριακό Σύστημα Δεδομένων του Καναδά – CGIS), του Jack Dangermond (Ινστιτούτο Έρευνας Περιβαλλοντολογικών Συστημάτων – ESRI) στη Βόρεια Αμερική και του David P. Bickmore (Μονάδα Πειραματικής Χαρτογράφησης – ECU) στο Ηνωμένο Βασίλειο. Αρκετοί ακόμα έπαιξαν σημαντικό ρόλο όπως μεταξύ άλλων οι Tobler (1959), Nordbeck (1962), Cook (1966), Hagerstrand (1967), Diello et al. (1968) και Boyle (Rhind 1988). Οι παραπάνω χαρακτηρίζουν τα ενδιαφέροντα, το χαρακτήρα και τις δεσμεύσεις εκείνων που εργάστηκαν την εποχή που ανθούσε το λογισμικό GIS από τα τέλη της δεκαετίας του 1950 έως τα τέλη της δεκαετίας του 1970.

Τα κίνητρα για την ανάπτυξη του λογισμικού GIS και των επιμέρους κλάδων του ποικίλλουν: από την ακαδημαϊκή περιέργεια και πρόκληση όταν εμφανιζόταν η ευκαιρία χρήσης νέων πηγών δεδομένων και τεχνικών, τη θέληση και προσπάθεια για μεγαλύτερη ταχύτητα και αποδοτικότητα κατά τη διεξαγωγή υπολογισμών με χρήση δεδομένων που αναφέρονταν σε χώρο, έως και την αντίληψη και τελικώς αποδοχή πως τέτοιου είδους επιθυμητές ενέργειες και υπολογισμοί δεν είχαν εναλλακτικό τρόπο να επιτευχθούν. Το τελευταίο ήταν αναμφίβολα ένα ισχυρό

κίνητρο με δύο σημαντικές εξελίξεις. Το Σύστημα Αυτόματης Χαρτογράφησης του Oxford και το Γεωπληροφοριακό Σύστημα Δεδομένων του Καναδά. Η έκδοση του Γεωγραφικού Άτλαντα της Μεγάλης Βρετανίας και Βορείου Ιρλανδίας (Bickmore and Shaw 1963) και η σφοδρή κριτική που δέχθηκε καθώς θεωρήθηκε απαρχαιωμένη και δύσχρηστη ήταν αυτή που έπεισε τον Bickmore το 1958 ότι μόνο ένας υπολογιστής μπορούσε να παρέχει έναν οικονομικώς αποδοτικό μηχανισμό για τον έλεγχο, την επεξεργασία και την κατάταξη δεδομένων, τη μοντελοποίηση καταστάσεων και τη διεξαγωγή γραφικών αναπαραστάσεων σε οθόνη.

Ομοίως, η αδυναμία ανάλυσης χαρτών της Ανατολικής Αφρικής με αποδεκτό χρηματικό κόστος οδήγησε αρχικά τον Tomlinson (1987) να εξετάσει την ψηφιακή προσέγγιση στο πρόβλημα. Ένας υπολογισμός που έγινε το 1965 ανέδειξε ότι χρειαζόνταν 8 εκατομμύρια καναδικά δολάρια (στο καθεστώς τιμών της τότε εποχής) καθώς και 556 εργαζόμενοι ως τεχνικοί για διάρκεια τριών ετών ώστε να επικαλυφθούν οι χάρτες κλίμακας 1:50.000 για την απογραφή εδάφους του Καναδά. Αυτή η μη αποδεκτή σε ποσότητα χρήση πόρων έδωσε το κίνητρο για την ανάπτυξη μιας πιο αυτοματοποιημένης προσέγγισης.

Βέβαια, ήταν η έλευση του ηλεκτρονικού υπολογιστή και η βαθμιαία πτώση του κόστους υπολογιστικής ισχύος ανά εξαιτία σε βάθος 30 χρόνων που έκανε βιώσιμη τη λύση της ψηφιακής προσέγγισης των παραπάνω προβλημάτων. Η πρώτη προσπάθεια αυτοματοποίησης στην παραγωγή χαρτών ήταν η προετοιμασία του Άτλαντα της Βρετανικής Χλωρίδας, η οποία έκανε χρήση ενός ειδικά διαμορφωμένου υπολογιστή διάτρητων καρτών για την παραγωγή χαρτών σε ήδη εκτυπωμένο χαρτί από κάρτες οι οποίες περιείχαν τυπωμένες τις ήδη καταγεγραμμένες πληροφορίες (Perring and Walters 1962). Αν και η διαδικασία αυτή δεν επαναλήφθηκε και δύο χρόνια αργότερα, το 1964, ο Perring αναγνώρισε πως η ανάλυση ογκώδους πληροφορίας μπορούσε πολύ ευκολότερα να γίνει από έναν υπολογιστή, αυτός ήταν ο προπομπός για την ευρεία εξάπλωση του τομέα της χαρτογράφησης με τη χρήση γραμμικού εκτυπωτή. Είναι ενδιαφέρον πως ο Perring ήταν βοτανολόγος, δίχως εκπαίδευση στη χαρτογράφηση, στον οποίο ανατέθηκε το έργο της παροχής 2000 χαρτών από δεδομένα τα οποία ήταν καταγεγραμμένα σε διάτρητες κάρτες.

Η πρωτοβουλία του αναδεικνύει επίσης το επαναλαμβανόμενο γεγονός σε διάφορες μετέπειτα εργασίες, όπου η εφαρμογή της τεχνολογίας πήγαζε από την

επείγουσα ανάγκη των χρηστών να χρησιμοποιήσουν την καλύτερη δυνατή υπάρχουσα τεχνολογία – ανεξαρτήτως των περιορισμών της – παρά να περιμένουν την «ιδανική λύση». Αυτό συνέβη και λίγα χρόνια αργότερα, το 1967, όταν μία εργασία του Bertin στο Παρίσι ενέπλεκε τη χρήση ειδικά διαμορφωμένων γραφομηχανών της IBM οι οποίες ήταν συνδεδεμένες με οδηγούς διάτρητων καρτών για να παράγουν αναλογικούς συμβολικούς χάρτες (Corrock and Rhind 1991).

## **2.7 Ανάπτυξη στη Βόρεια Αμερική**

Οι πιο σημαντικές εξελίξεις στις εφαρμογές του λογισμικού GIS και τις σχετικές τεχνολογίες έγιναν στη Βόρεια Αμερική. Ο Tomlinson (1985) εκτίμησε πως υπήρχαν περισσότερα από 1000 συστήματα στη Βόρεια Αμερική, αριθμός που αντιπροσώπευε μεγάλο ποσοστό του συνολικού πλήθους συστημάτων σε όλο τον κόσμο. Το ποσοστό αυτό στη συνέχεια αντιπροσώπευε επίσης τα συστήματα της Μεγάλης Βρετανίας, των υπολοίπων κρατών της Ευρώπης καθώς και άλλων ανεπτυγμένων κρατών του κόσμου. Ήταν μόλις στα τέλη της δεκαετίας του 1980 όπου προέκυψαν σημαντικές εξελίξεις σε υπό ανάπτυξη χώρες, συνήθως με τη βοήθεια και την επιχορήγηση ανεπτυγμένων κρατών.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1960, μεγάλα υπολογιστικά συστήματα έγιναν ευρέως διαδεδομένα στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Το 1964 η IBM παρουσίασε τον υπολογιστή 360/65, με υπολογιστική ισχύ 400 φορές μεγαλύτερη και μνήμη 32 φορές μεγαλύτερη από τον προκάτοχό του, τον IBM 1401 (Tomlinson 1985). Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιήθηκαν πρωτίστως για διαφορετικούς σκοπούς: τις καθημερινές διαχειριστικές εργασίες και διαχείριση δεδομένων σε επιχειρήσεις και κρατικούς μηχανισμούς (όπως μισθοδοσίες και απογραφή αποθηκών), καθώς και σε επιστημονικές εφαρμογές που περιείχαν εκτενείς υπολογισμούς, στον τομέα της Χημείας, των Μαθηματικών και της Φυσικής. Αναπόφευκτα προέκυψαν πολλές συζητήσεις στα υπουργεία και τις κρατικές υπηρεσίες σχετικά με την προοπτική εφαρμογής της νέας αυτής τεχνολογίας για τη διαχείριση αριθμητικών δεδομένων, ειδικότερα σε κλάδους όπου τα δεδομένα αυτά ήταν ήδη σε μορφή αναγνώσιμη από μηχανές, όπως στις απογραφές όπου η χρήση της τεχνολογίας διάτρητων καρτών ήταν ήδη ευρέως διαδεδομένη. Το 1965 το Υπουργείο Προϋπολογισμών των Ηνωμένων Πολιτειών

συνέταξε μια καταγραφή αυτοματοποιημένης επεξεργασίας δεδομένων της Ομοσπονδιακής Κυβέρνησης, στην οποία σημείωσε τη σημαντική χρήση των υπολογιστών για το χειρισμό δεδομένων σχετικών με τη χρήση της γης και των τίτλων ιδιοκτησίας της (Cook and Kennedy 1966). Τον επόμενο χρόνο, σε συνέδριο σχετικό με ένα σύστημα περιεκτικής και ενοποιημένης πληροφορίας για τη γη, στο Πανεπιστήμιο του Cincinnati, προωθήθηκε η άποψη πως ένα τέτοιο σύστημα πρέπει να είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να εκμεταλλεύεται το μέγιστο όφελος από τον εξοπλισμό που παρέχεται για την επεξεργασία των ηλεκτρονικών δεδομένων (Cook 1966). Στο συνέδριο αυτό έγινε γνωστό πως η περιοχή της Columbia διέθετε ήδη μια βάση δεδομένων πληροφοριών στην οποία μπορούσε να ανατρέξει, να εφαρμόσει ενημερώσεις και να την ανακτήσει κατά το δοκούν και πως το προάστιο Nassau της Νέας Υόρκης θα ήταν το πρώτο που θα παρείχε πλήρως αυτοματοποιημένη πρόσβαση σε τίτλους ιδιοκτησίας γης.

Η αυξανόμενη διαθεσιμότητα ηλεκτρονικών υπολογιστών στα πανεπιστήμια ήταν αναμφίβολα βασικός παράγοντας προόδου στην «ποσοτική» επανάσταση του τομέα της ακαδημαϊκής γεωγραφίας στις αρχές του 1960 (James and Martin 1978, Hudson 1979), ιδιαίτερα στο πεδίο της χωρικής ανάλυσης, όρος αυτός άρχισε να χρησιμοποιείται γενικά από τα τέλη της δεκαετίας του 1960 (Berry and Marble 1968), με έμφαση στη στατιστική επεξεργασία των γεωγραφικών δεδομένων και στη γραφική αναπαράσταση. Ωστόσο, οι εφαρμογές αυτές είχαν ελάχιστη σχέση με την ηλεκτρονική χαρτογράφηση παρά τις προοπτικές τους για το χειρισμό γεωγραφικών δεδομένων, κυρίως λόγω της στατιστικής μεθοδολογίας η οποία ήταν κατά ένα μεγάλο μέρος «μη-χωρική». Μόλις στα μέσα της δεκαετίας του '80 υπήρξαν οι πρώτες επιτυχίες στην προσπάθεια ανάπτυξης στενής σύνδεσης μεταξύ χωρικών στατιστικών και γεωγραφικών απεικονίσεων.

Οι υπολογιστές της δεκαετίας του '60 γενικώς δεν διέθεταν αρκετή ισχύ για απεικόνιση γραφικών, χρησιμοποιούνταν συνήθως σε περιβάλλον γραμμής εντολών και ήταν αρκετά ακριβοί με βάση τα σημερινά δεδομένα. Παρόλα αυτά, ο Tobler το 1959 (Η.Π.Α.) και ο Nordbeck το 1962 (Σουηδία) είχαν αναγνωρίσει πολύ νωρίς τις δυνατότητες αυτοματοποίησης της χαρτογραφίας. Πράγματι, υπήρξαν εξελίξεις στην αυτοματοποιημένη χαρτογραφία σε αρκετά εθνικά πρακτορεία που ασχολούνταν με τη χαρτογράφηση και σε στρατιωτικά ιδρύματα που είχαν την οικονομική άνεση να διαθέτουν εξοπλισμό ο οποίος ήταν απαγορευτικής αξίας για τους υπολοίπους.

Το Εθνικό Ωκεανογραφικό Κέντρο των Ηνωμένων Πολιτειών δημιουργούσε διαγράμματα σε ένα σχεδιαστή Gerber (Gerber plotter) για να παράγει «σχηματικά πεδία» και μήτρες τιμών βάθους. Επίσης, οργανισμοί όπως το Αεροναυτικό Κέντρο Πληροφοριών στο St. Louis (Aeronautical Charting and Information Center), το Κέντρο Εναέριας Ανάπτυξης στη Ρώμη (Rome Air Development Center) και η CIA (Central Intelligence Agency), ήταν ενεργοί στο πεδίο αυτό (Diello et al. 1968, Tomlinson 1972) .

Μια εντελώς διαφορετική προσέγγιση στην αυτοματοποίηση της χαρτογραφίας υιοθετήθηκε, κυρίως, από τα πανεπιστήμια με τη χρήση απλών εκτυπωτών γραμμών ως συσκευών χαρτογράφησης. Αν και το σχέδιο που παρήγαγαν τέτοιου είδους εκτυπωτές ήταν από επιστημονικής πλευράς πρόχειρο, ο σκοπός ήταν η γρήγορη και οικονομική παραγωγή χαρτών με τους οποίους θα γινόταν απλή ανάλυση δεδομένων με συσχέτισμό διαφορετικών παραμέτρων. Σε αυτό τον τομέα δραστηριοποιήθηκε και ο Howard Fisher, του οποίου η συνεισφορά ήταν σημαντική χρησιμοποιώντας αυτή την προσέγγιση που βρήκε άμεση εφαρμογή στην πολεοδομία και σε μικρότερο βαθμό στη διαχείριση πόρων (Corrock and Rhind 1991).

## **2.8 Το Εργαστήριο Computer Graphics Του Harvard**

Ο Howard Fisher δεν ήταν χαρτογράφος αλλά εκπαιδευμένος και ενεργεία αρχιτέκτονας. Ξεκίνησε να κατασκευάζει ένα σύστημα χαρτογράφησης με χρήση υπολογιστή το 1963 ενώ βρισκόταν στο North West Technical Institute (Schmidt and Zafft 1975). Όταν συνταξιοδοτήθηκε, έλαβε χορηγία από το ίδρυμα του Ford για να συνεχίσει την εργασία του πάνω στο σύστημα αυτό. Μετά από ανεπιτυχείς προσεγγίσεις στα Πανεπιστήμια του Chicago και του Northwest (τα οποία ήταν υπέρ των μη-χωρικών εφαρμογών ανάλυσης γεωγραφικών δεδομένων), κατάφερε τελικά να ιδρύσει το Εργαστήριο Computer Graphics το 1965 στη Σχολή Σχεδίου του Πανεπιστημίου από την οποία είχε και ο ίδιος αποφοιτήσει (ο πλήρης τίτλος του εργαστηρίου ήταν Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis). Στη συνέχεια οργάνωσε μια ομάδα από προγραμματιστές για να δημιουργήσει ένα πακέτο λογισμικού χαρτογράφησης με το όνομα SYMAP, το οποίο χρησιμοποιούσε εκτυπωτές γραμμής και μπορούσε να παράγει χάρτες isoline, choroplex και proximal. Το λογισμικό SYMAP έγινε

ιδιαίτερα δημοφιλές λόγω της ευκολίας χρήσης του για τα δεδομένα της τότε εποχής και, εκτός των πολλών πειρατικών αντιγράφων, αποκτήθηκε από περισσότερα από 500 ινστιτούτα (Schmidt and Zafft 1975, Chrisman 1988). Τα μισά από αυτά ήταν Πανεπιστήμια, με τα υπόλοιπα να μοιράζονται εξίσου σε Υπουργεία και ιδιωτικές εταιρίες. Το SYMAP εξαπλώθηκε από την Αμερική στην Ευρώπη και τελικά και στον υπόλοιπο κόσμο, με το εγχειρίδιο χρήσης του να μεταφράζεται σε αρκετές γλώσσες, συμπεριλαμβανομένων και των ιαπωνικών. Λίγο μετά το SYMAP δημιουργήθηκε και το CALFORM, ένα αντίστοιχο λογισμικό που δημιουργούσε χάρτες υψηλότερης ποιότητας χρησιμοποιώντας plotter, το οποίο όμως δεν βρήκε αντίστοιχη ανταπόκριση από το κοινό. Από την άλλη, το SYMAP έγινε το πρώτο ευρέως διανεμημένο πακέτο λογισμικού για το χειρισμό γεωγραφικών δεδομένων εισάγοντας μεγάλο αριθμό χρηστών στον τομέα της χαρτογράφησης με υπολογιστή. Ήταν ο πρόδρομος και πιθανώς και ο πρόγονος ενός μεγάλου αριθμού μετέπειτα εφαρμογών που χρησιμοποιούσαν εκτυπωτή γραμμής.

Μετά τη λήξη της επιχορήγησης από το ινστιτούτο Ford, κύρια οικονομική πηγή του Εργαστηρίου έγιναν οι υπογεγραμμένες συμβάσεις για τη χρήση του SYMAP καθώς επίσης το εισόδημα που παραγόταν από την πώληση των χαρτογραφικών λογισμικών. Μέσω του Εργαστηρίου οργανώθηκε ένα υψηλής σημασίας Συμπόσιο στις Δομές Τοπογραφικών Δεδομένων το 1977 και εν συνεχεία πολλές θεματικές εβδομάδες αφιερωμένες στο θέμα αυτό (από το 1978 έως το 1981). Οι θεματικές εβδομάδες κατά καιρούς προσέλκυσαν αρκετούς χρήστες οι οποίοι χρησιμοποιώντας το ταλέντο τους συνέβαλαν στην ανάπτυξη της χαρτογράφησης μέσω υπολογιστή και συνεπώς στην ανάπτυξη των λογισμικών GIS. Ορισμένοι από αυτούς ήταν αυτοί που βοήθησαν στο σχεδιασμό και την κατασκευή του ODYSSEY, το οποίο για πολλούς θεωρείται το πρωτότυπο του σύγχρονου λογισμικού GIS (Chrisman 1988).

Το μέλλον του ODYSSEY χαρακτηρίζεται από πολλές ανεπιτυχείς προσπάθειες συνένωσης του Εργαστηρίου με εμπορικές επιχειρήσεις και την αποχώρηση σημαντικού προσωπικού από το Harvard. Κατά συνέπεια ο αριθμός των επιστημόνων που εργάζονταν εκεί μειωνόταν τόσο ώστε το Εργαστήριο να κλείσει τελικά στα τέλη της δεκαετίας του 1980 (Corrock and Rhind 1991).

## 2.9 Γεωπληροφοριακό Σύστημα Δεδομένων του Καναδά

Την ίδια περίπου εποχή στην οποία ο Fisher ανέπτυξε τις ιδέες του στο Harvard, Tomlinson (Tomlinson 1988) ασχολήθηκε με τη δημιουργία του πιθανώς πρώτου αληθινού GIS – και σίγουρα του πρώτου που έλαβε την ονομασία «GIS». Ο ίδιος μπορεί να θεωρηθεί ως ο πατέρας του λογισμικού GIS, καταφέροντας να πείσει την κυβέρνηση του Καναδά πως η δημιουργία του CGIS το 1966 (Canada Geographic Information System - CGIS) ήταν σημαντική επένδυση για το μέλλον. Η ιστορία του CGIS, όμως, αρχίζει νωρίτερα το 1960 όταν ο εργαζόταν σε μια εταιρία εναέριας έρευνας με την ονομασία Spartan Air Services η οποία είχε αναλάβει έργο σε μια δασική έκταση στην ανατολική Αφρική. Το έργο ήταν η ανάλυση όλων των διαθέσιμων χαρτών και η αναγνώριση διαθέσιμων περιοχών για κατασκευή νέων φυτειών και ενός μύλου. Η εκτίμηση του κόστους για να επιτευχθεί αυτό «χειροκίνητα» ήταν τόσο υψηλή που το έργο απορρίφθηκε από την εταιρία. Ο Tomlinson υποστήριξε ότι τέτοιου είδους αναλύσεις μπορούν να γίνουν με τη βοήθεια υπολογιστή και του δόθηκε η ευκαιρία να αναπτύξει μια ψηφιακή μεθοδολογία. Αρχικά καμία εταιρία υπολογιστών – από αυτές που προσέγγισε – δεν έδειξε ενδιαφέρον, αν και μια τυχαία συνάντηση οδήγησε στην έκφραση ενδιαφέροντος από την IBM, η οποία είχε ήδη εμπλακεί στο συγκεκριμένο τομέα με την ψηφιοποίηση αεροφωτογραφιών.

Τυχαία ήταν επίσης η συνάντηση του Tomlinson με τον Lee Pratt, Υπουργού Γεωργίας του Καναδά, όταν βρέθηκε να κάθεται δίπλα του σε μία πτήση εσωτερικού. Ο Pratt του είπε πως το Υπουργείο σχεδίαζε ένα Κατάλογο Εδάφους του Καναδά (Canada Land Inventory – CLI) ο οποίος ενέπλεκε τη δημιουργία αρκετών χαρτών για την κάλυψη όλης της έκτασης του Καναδά. Η ανάλυση των χαρτών αυτών θα βοηθούσε στη γεωργική αποκατάσταση των περιθωριοποιημένων (λόγω πολιτισμού) αγροκτημάτων. Ο Tomlinson, εκφράζοντας για άλλη μια φορά την πεποίθησή του πως τέτοιου είδους αναλύσεις είναι οικονομικότερες και γρηγορότερες με τη χρήση ενός συστήματος βασισμένου σε υπολογιστή, εξέπληξε τον Pratt, του οποίου η υποστήριξη ήταν ζωτικής σημασίας για τη μελλοντική ανάπτυξη του συστήματος αυτού. Η εταιρία Spartan Air Services επιβραβεύτηκε με ένα συμβόλαιο από το Υπουργείο Γεωργίας του Καναδά ώστε να μελετήσει κατά πόσο είναι εφικτή η χρήση υπολογιστικού συστήματος για τη χαρτογράφηση του CLI. Με τη βοήθεια ειδικευμένων τεχνικών



της IBM, ο Tomlinson συνέταξε μια έκθεση η οποία έγινε δεκτή από το Υπουργείο και στη συνέχεια προσλήφθηκε να διευθύνει την δημιουργία του συστήματος μέσω της Διεύθυνσης για τη Γεωργική Αποκατάσταση και Ανάπτυξη του Καναδά (Canadian Agricultural Rehabilitation and Development Administration – ARDA).

Η ενασχόληση μεγάλου αριθμού εργαζόμενων της ARDA και της IBM για το σύστημα αυτό οδήγησε σε σημαντικές για το μέλλον του GIS εξελίξεις, όπως τη δημιουργία του σαρωτή τυμπάνου (drum scanner) για την άμεση ψηφιοποίηση χαρτών (βασισμένου σε ήδη υπάρχουσα εμπειρία της IBM λόγω ενασχόλησής της με την ψηφιοποίηση αεροφωτογραφιών) και τη δημιουργία ευρετηρίου δεδομένων Morton το 1966 (Morton data indexing Scheme). Ο σαρωτής τυμπάνου μαζί με ψηφιοποιημένους πίνακες δεδομένων αποτελούσαν την είσοδο του συστήματος, τότε βασισμένου σε έναν κεντρικό υπολογιστή IBM 360/65. Η έξοδος του συστήματος ήταν ένας εκτυπωτής γραμμών για αριθμητικά αποτελέσματα ή ένας βαρύς plotter τύπου Gerber για γραφικές απεικονίσεις.

Ο Tomlinson έφυγε από το πρόγραμμα του CGIS το 1969, περίοδο κατά την οποία είχε ήδη αποχωρήσει από το Υπουργείο Γεωργίας του Καναδά και ο Pratt. Οι πολλαπλές δυνατότητες του προγράμματος είχαν ήδη γίνει γνωστές αν και η τελική μορφή του συστήματος διαμορφώθηκε το 1971 οπότε και απλοποιήθηκε αφού αναγνωρίστηκε. Στην εποχή μας, το σύστημα αυτό διαθέτει αρχείο 10.000 χαρτών που χωρίζονται σε περισσότερα από 100 θέματα (Corrock and Rhind 1991).

## **2.10 Ο εμπορικός τομέας – Το παράδειγμα του ESRI**

Παράλληλα με την – τελικά αποτυχημένη – ανάπτυξη του συστήματος ODYSSEY από το Εργαστήριο του Harvard, ιδρύθηκε το 1969 το Ινστιτούτο Έρευνας Περιβαλλοντικών Συστημάτων (Environmental Systems Research Institute – ESRI) από τον J. Dangermond, έναν αρχιτέκτονα ο οποίος πήγε στο Harvard το 1968 για την ολοκλήρωση του πτυχίου Master του και στη συνέχεια επέστρεψε στην California. Το ESRI δεν ήταν, βέβαια, το μοναδικό στον τομέα του. Οι Intergraph, ComputerVision και Synercom ήταν ήδη ορισμένοι από τους μεγαλύτερους ανταγωνιστές τη δεκαετία του 1970 και οι περισσότεροι, εκτός του ESRI, προέρχονταν από τον κλάδο του CAD/CAM.

Το ESRI ξεκίνησε ως ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός και

δραστηριοποιήθηκε συμβουλευτικά στον τομέα του περιβάλλοντος, αν και από το 1970 τα διαφημιστικά φυλλάδιά του προέβαλαν επαγγελματικού επιπέδου παρεχόμενες υπηρεσίες σχεδίασης με Η/Υ (Dangermond and Smith 1988 [12]). Λίγα χρόνια μετά την ίδρυσή του ήταν φανερό ότι το ESRI δεν θα είχε επιτυχία ως μη κερδοσκοπικός οργανισμός οπότε και μετατράπηκε σε επικερδή επιχείρηση. Έτσι, από τα μέσα του 1970 προωθούσε τις ικανότητές του στο λογισμικό GIS έως ότου το 1980 παρείχε ένα ολοκληρωμένο λογισμικό GIS στον τελικό χρήστη το οποίο γνώρισε μεγάλη επιτυχία. Σημαντικός παράγοντας ήταν η ικανότητα του συστήματος ARC/INFO να λειτουργεί σε περισσότερες από μια πλατφόρμες, από προσωπικούς υπολογιστές έως μεγάλα κεντρικά συστήματα (Corrock and Rhind 1991).

## 2.11 Λογισμικό ArcGIS – Δομή Λογισμικού

Το ArcGIS for Desktop είναι διαθέσιμο σε διαφορετικά επίπεδα με αυξανόμενη λειτουργικότητα.

ArcReader (freeware άδεια, εφαρμογή προεπισκόπησης): Η βασική εφαρμογή προεπισκόπησης δεδομένων που έχουν δημιουργηθεί και επεξεργαστεί με τη χρήση του ArcGIS Publisher. Επίσης το ArcReader παρέχει στο χρήστη ορισμένα βασικά εργαλεία για εκτύπωση και «ερωτήσεις» σε βάσεις χωρικών δεδομένων.

ArcGIS for Desktop Basic: γνωστό και με την ονομασία ArcView. Παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα προεπισκόπησης και επεξεργασίας «επίπεδων» αρχείων (flat file → μορφή που περιέχει μια βάση δεδομένων σε ένα μεμονωμένο αρχείο). Επίσης παρέχει τη δυνατότητα προεπισκόπησης δεδομένων αποθηκευμένων σε RDBMS (Relational Database Management System) στα οποία αποκτά πρόσβαση μέσω του ArcSDE.

ArcGIS for Desktop Standard: γνωστό επίσης ως ArcEditor. Λογισμικό μέσου επιπέδου σχεδιασμένο για προχωρημένη επεξεργασία χωρικών δεδομένων τα οποία είναι διαμορφωμένα σύμφωνα με τα πρότυπα ESRI. Παρέχει εργαλεία για τη δημιουργία χαρτών και χωρικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται στα GIS.

ArcGIS for Desktop Advanced: γνωστό και ως ArcInfo. Επιτρέπει στο χρήστη το μέγιστο δυνατό έλεγχο σε όλους τους τομείς δημιουργίας δεδομένων,

μοντελοποίησης, ανάλυσης και εμφάνισης χαρτών.

ArcGIS Explorer – ArcGIS Engine: εφαρμογή προεπισκόπησης GIS που λειτουργεί ως client του ArcGIS Server, ArcIMS, ArcWeb Services και Web Map Service (WMS).

ArcGIS Online: δωρεάν web εφαρμογή που επιτρέπει το διαμοιρασμό και διανομή γεωγραφικών πληροφοριών μεταξύ των χρηστών της κοινότητας GIS καθώς επίσης και δεδομένων δημοσιευμένων από την ESRI. (ESRI 2011)

## **2.12 Τα εργαλεία ArcToolbox-ArcCatalog-ArcMap**

Το ArcGIS for Desktop αποτελείται από διάφορες ενσωματωμένες εφαρμογές συμπεριλαμβανομένων των ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox και ArcGlobe.

Το ArcCatalog είναι η εφαρμογή διαχείρισης η οποία χρησιμοποιείται για την περιήγηση σε σύνολα δεδομένων και αρχείων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, σε βάση δεδομένων η από άλλες πηγές. Επιπλέον της δυνατότητας εμφάνισης δεδομένων που είναι διαθέσιμα, με το ArcCatalog οι χρήστες μπορούν να εμφανίσουν τα δεδομένα αυτά πάνω σε χάρτη.

Το ArcMap είναι η εφαρμογή που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία, επεξεργασία και εμφάνιση χωρικών δεδομένων (geospatial data) και για τη δημιουργία χαρτών.

Το ArcToolbox παρέχει τη δυνατότητα μετατροπής δεδομένων καθώς και ανάλυσης με τα ενσωματωμένα του εργαλεία. Επίσης, δίνει τη δυνατότητα προγραμματισμού εκτέλεσης επαναλαμβανόμενων εργασιών (ESRI 2011). Αξίζει να σημειωθεί ότι το ArcToolbox έρχεται σε δύο εκδόσεις. Η πρώτη έκδοση είναι η πλήρης που περιλαμβάνεται στο ArcInfo (ArcGIS for Desktop Advanced) και περιλαμβάνει πάνω από 150 εργαλεία, ενώ η δεύτερη, που αναφέρεται και ως έκδοση του ArcView (ArcGIS for Desktop Basic), περιλαμβάνει πολύ λιγότερα εργαλεία.

Παρακάτω ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των βασικών αρχείων που υποστηρίζει το ArcGIS:

- Αρχεία τύπου Shapefile
- Αρχεία τύπου Coverage
- Αρχεία τύπου CAD (dwg, dxf)

- Αρχεία τύπου DFB
- Ψηφιδωτά αρχεία
- Εικόνες (Images)
- Αρχεία τύπου TIN
- Αρχεία τύπου Layer
- Αρχεία τύπου DAT

Πέραν των τύπων αυτών, χρησιμοποιούνται και αρχεία δεδομένων τα οποία εμπεριέχονται σε μεγάλες βάσεις δεδομένων σε δίκτυα υπολογιστών και τα οποία είναι προσπελάσιμα μέσω του ArcSDE.

Επίσης υπάρχουν και δεδομένα τα οποία είναι διαθέσιμα μέσω διαδικτύου και καθίστανται προσπελάσιμα μέσω του ArcIMS, ενός επιπλέον εργαλείου που μας επιτρέπει να διαχειριζόμαστε χωρικά δεδομένα μέσω διαδικτύου.

Το ArcGIS επικοινωνεί αμφίδρομα με διάφορα άλλα πακέτα λογισμικού, τα οποία ομοίως επεξεργάζονται χωρική πληροφορία όπως τα AutoCad, ERDAS, Idrisi και άλλα (Τσουχλαράκη και Αχιλλέως 2010).

### 3. ΧΩΡΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ

#### 3.1 Εισαγωγή στις χωρικές παρεμβολές

Η παρεμβολή στον χώρο αποτελεί ένα σημαντικό αντικείμενο στη χαρτογραφία και σε όσους τομείς της επιστήμης είναι αναγκαία η εκτίμηση της μορφής που έχει στο χώρο η επιφάνεια των τιμών μιας μεταβλητής που μετρήθηκε μόνο σε ορισμένα σημεία, η εξομάλυνσή της και, αν είναι δυνατόν, η έκφρασή της από μια μαθηματική σχέση των χωρικών συντεταγμένων. Το τελικό αποτέλεσμα της χωρικής παρεμβολής για μια μεταβλητή είναι η παραγωγή ενός χάρτου με ισοϋέτιες καμπύλες, για την περίπτωση των υψών βροχής, όπως στην περίπτωση μας. Όταν πρόκειται για μετρήσεις στη φύση, τα σημεία των μετρήσεων δεν ακολουθούν γενικά κανονική διάταξη στο χώρο, αλλά εντοπίζονται σε θέσεις ή περιοχές που για διάφορους λόγους προτιμήθηκαν (Βαφειάδης 2008). Γι αυτό τον λόγο, καθίσταται αδύνατη η εξαγωγή συμπερασμάτων για τα ύψη της βροχόπτωσης στις περιοχές γύρω από το κάθε σημείο λήψης δεδομένων. Κατά συνέπεια θα πρέπει να υπολογίζουμε το πιθανό ύψος βροχής, για κάθε σημείο ανάμεσα σε δύο σταθμούς, χρησιμοποιώντας παρεμβολή στον χώρο.

Οι μέθοδοι παρεμβολής χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Αυτές των γεωμετρικών μεθόδων και των γεωστατιστικών. Οι μέθοδοι της πρώτης κατηγορίας (γεωμετρικές μέθοδοι) χρησιμοποιούνται κυρίως στον υπολογισμό των ισοϋψών καμπυλών και της γεωμορφολογίας του εδάφους, όπως η μέθοδος των πολυγώνων Thiessen (Fiedler 2003) και η μέθοδος σταθμισμένου μέσου αντιστρόφου απόστασης (IDW), οι οποίες αναφέρονται και ως ντετερμινιστικές μέθοδοι. Αν και χρησιμοποιούνται στη Μετεωρολογία οι τιμές των ζωνών που αναπτύσσονται δεν έχουν τις διαβαθμίσεις που χρειάζονται για τον υπολογισμό και την απεικόνιση ισοϋέτιων καμπυλών. Η δεύτερη κατηγορία μεθόδων παρεμβολής αποτελείται από γεωστατιστικές μεθόδους βασιζόμενες σε μεθόδους στατιστικής που συμπεριλαμβάνουν αυτοσυσχέτιση - δηλαδή τη στατιστική σχέση μεταξύ των σημείων των μετρήσεων. Έτσι, οι γεωστατιστικές τεχνικές παρέχουν, εκτός από τη δυνατότητα παραγωγής εκτιμώμενης επιφάνειας, και κάποιο μέτρο βεβαιότητας ή ακρίβειας των προβλέψεων. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούνται εκτενέστερα στη Μετεωρολογία με τη μέθοδο Kriging να είναι μια από τις πιο γνωστές.

### 3.2 Η μέθοδος Kriging

Η μέθοδος Kriging είναι μια προηγμένη γεωστατιστική διαδικασία που παράγει μια εκτιμώμενη επιφάνεια από μια ομάδα διασκορπισμένων σημείων με τιμές Z. Υποθέτει πως η απόσταση ή η κατεύθυνση μεταξύ των σημείων των δειγμάτων αντανακλά μια χωρική συσχέτιση η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επεξήγηση των παρεκκλίσεων στην επιφάνεια (Oliver 1990).

Υπάρχουν δύο είδη μεθόδων Kriging: συνήθης και καθολική. Η συνήθης Kriging είναι η πιο γενική και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος, καθώς και η προεπιλεγμένη. Υποθέτει ότι η μέση σταθερά είναι άγνωστη, υπόθεση η οποία είναι λογική εκτός εάν υπάρχει επιστημονικός αιτιολόγηση για την απόρριψή της. Η καθολική Kriging υποθέτει ότι υπάρχει μια επιτακτική τάση στα δεδομένα (όπως για παράδειγμα ένας επικρατών άνεμος) και μπορεί να μοντελοποιηθεί με μια ντετερμινιστική συνάρτηση – ένα πολυώνυμο.

Αυτό το πολυώνυμο αφαιρείται από τα αρχικά (πρωτότυπα) σημεία μέτρησης, και η αυτοσυσχέτιση μοντελοποιείται από τα τυχαία σφάλματα. Αφού το μοντέλο τοποθετηθεί στα τυχαία σφάλματα και προτού γίνει πρόβλεψη, το πολυώνυμο προστίθεται πίσω στις προβλέψεις για να παραχθούν αποτελέσματα που έχουν νόημα. Η καθολική Kriging πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο όταν είναι γνωστό ότι υπάρχει μια τάση στα δεδομένα και μπορεί να δοθεί μια επιστημονική εξήγηση για να την περιγράψει (Oliver 1990).

Η Kriging βασίζεται στη θεωρία μεταβλητότητας ανά περιοχή η οποία υποθέτει ότι η χωρική μεταβλητότητα του φαινομένου που εκπροσωπείται από τις τιμές z είναι στατιστικά ομοιογενής σε όλη την έκταση της επιφάνειας (για παράδειγμα, το ίδιο πρότυπο μεταβλητότητας μπορεί να παρατηρηθεί σε όλες τις περιοχές της επιφάνειας). Αυτή η υπόθεση χωρικής ομοιογένειας είναι θεμελιώδης για τη θεωρία μεταβλητότητας ανά περιοχή (ESRI 2011).

Η μέθοδος Kriging είναι παρόμοια με την IDW στο ότι σταθμίζει τις περιβάλλουσες τιμές μετρήσεων για να καταλήξει σε πρόβλεψη για μια περιοχή δίχως μετρήσεις. Η γενική φόρμουλα και για τους δυο παρεμβολείς διαμορφώνεται ως ένα σταθμισμένο άθροισμα των δεδομένων:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

όπου:

$Z(s_i)$  = η υπολογισμένη τιμή στην  $i$ -οστή περιοχή

$\lambda_i$  = ένα άγνωστο στάθμισμα για την υπολογισμένη τιμή στην  $i$ -οστή περιοχή

$s_0$  = η περιοχή πρόβλεψης

$N$  = το πλήθος των υπολογισμένων τιμών

Στην IDW το βάρος  $\lambda_i$  βασίζεται μόνο στην απόσταση από την περιοχή πρόβλεψης. Από την άλλη, με τη μέθοδο Kriging οι σταθμισμένες τιμές βασίζονται στην απόσταση μεταξύ των υπολογισμένων σημείων και της περιοχής πρόβλεψης όπως επίσης της καθολικής χωρικής διεύθυνσης των υπολογισμένων σημείων. Για να χρησιμοποιηθεί η χωρική κατανομή των σταθμισμάτων, θα πρέπει πρώτα να ποσοτικοποιηθεί η χωρική αυτοσυσχέτιση. Έτσι, στη συνήθη μέθοδο Kriging, το στάθμισμα  $\lambda_i$  εξαρτάται από ένα μοντέλο προσαρμοσμένο στα σημεία μετρήσεων, την απόσταση της περιοχής πρόβλεψης και τους χωρικούς συσχετισμούς ανάμεσα στα σημεία μετρήσεων της περιοχής πρόβλεψης (ESRI 2011). Στη συνέχεια θα αναφερθεί πως η φόρμουλα της συνήθους μεθόδου Kriging χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός κανάβου προβλέψεων καθώς επίσης ενός κανάβου ακρίβειας των προβλέψεων.

### 3.3 Δημιουργία Χάρτη Επιφάνειας Πρόβλεψης με Kriging

Για να γίνει μια πρόβλεψη με τη μέθοδο παρεμβολής Kriging απαιτούνται δυο εργασίες, την εύρεση των κανόνων εξάρτησης και τις προβλέψεις. Για να πραγματοποιήσει αυτές τις δύο εργασίες η μέθοδος Kriging ακολουθεί μία διαδικασία δύο βημάτων:

1. Δημιουργεί συναρτήσεις μεταβλητότητας (ή βαριόγραμμα ή ημιβαριόγραμμα) και συνδιακύμανσης για να εκτιμήσει τη στατιστική εξάρτηση (που ονομάζεται χωρική αυτοσυσχέτιση) των τιμών που βασίζονται στο μοντέλο της αυτοσυσχέτισης.

2. Προβλέπει τις άγνωστες τιμές.

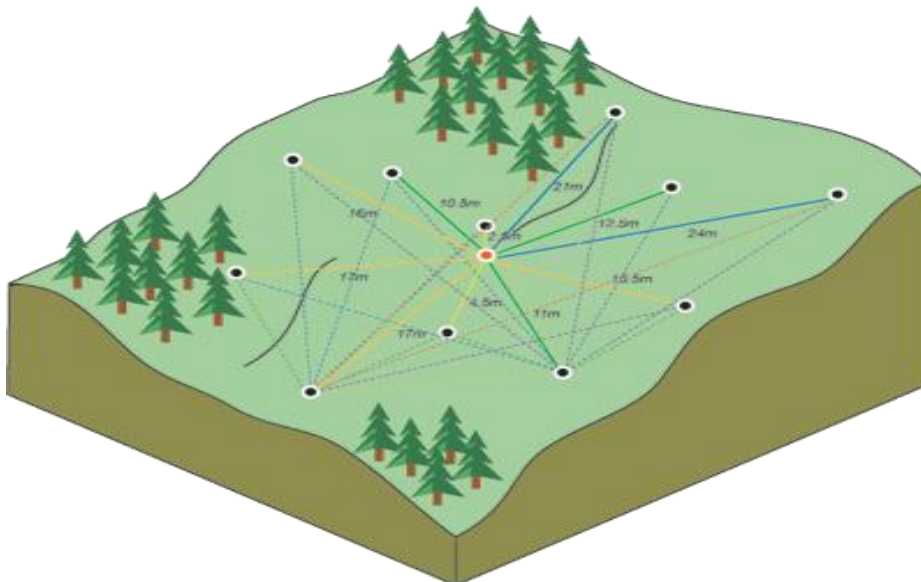
Λόγω αυτών των δυο βημάτων αναφέρεται ότι η μέθοδος Kriging χρησιμοποιεί τα δεδομένα δυο φορές: μια φορά για την εκτίμηση της χωρικής αυτοσυσχέτισης των δεδομένων και μια δεύτερη για την παραγωγή προβλέψεων.

### 3.4 Βαριογραφία

Η προσαρμογή ενός μοντέλου, ή αλλιώς «μοντελοποίηση», είναι επίσης γνωστή ως διαρθρωτική ανάλυση ή βαριογραφία. Στη χωρική μοντελοποίηση της διάρθρωσης των υπολογισμένων σημείων, η αρχή γίνεται με ένα γράφημα της εμπειρικής συνάρτησης ημιμεταβλητότητας ή ημιβαριόγραμμα, υπολογισμένο με την παρακάτω εξίσωση για όλα τα ζεύγη περιοχών απόστασης<sub>h</sub>:

$$\text{Ημιβαριόγραμμα (απόσταση}_h) = 0.5 * \text{average}\{(\text{τιμή}_i - \text{τιμή}_j)^2\}$$

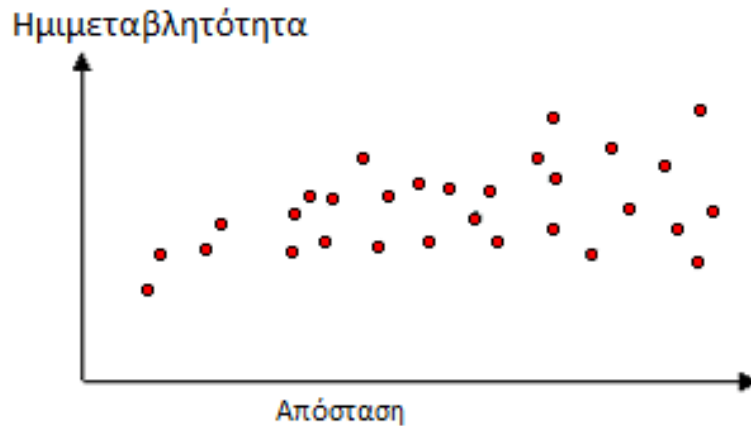
Η φόρμουλα περιλαμβάνει τον υπολογισμό του τετραγώνου της διαφοράς των τιμών των ζευγών της τοποθεσίας. Η παρακάτω εικόνα δείχνει το ζεύγος ενός σημείου (με κόκκινο) με όλες τις άλλες υπολογισμένες περιοχές. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται για κάθε ένα υπολογισμένο σημείο.



Σχήμα 6. Ζεύγη σημείων προς υπολογισμό. (ESRI 2011)

Συνήθως κάθε ζεύγος περιοχών έχει απόσταση που αποτελεί μοναδική τιμή, και συχνά υπάρχουν πολλά ζεύγη σημείων. Η άμεση σχεδίαση όλων των ζευγών είναι δύσχρηστη και προκαλεί δυσκολίες στη διαχείριση. Αντί για τη σχεδίαση κάθε ζεύγους ξεχωριστά, τα ζεύγη ομαδοποιούνται σε «ζεύγη αποστάσεων». Για παράδειγμα, υπολογισμός μέσου ημιβαριογράμματος για όλα τα ζεύγη σημείων απόστασης μεγαλύτερης των 40m αλλά μικρότερης των 50m. Το εμπειρικό ημιβαριόγραμμα είναι ένα γράφημα των μέσων τιμών της ημιμεταβλητότητας του άξονα ψ και της απόστασης στον άξονα χ.





Σχήμα 7. Εμπειρικό ημιβαριόγραμμα (ESRI 2011)

Η χωρική αυτοσυσχέτιση ποσοτικοποιεί μια βασική αρχή της γεωγραφίας: οντότητες που έχουν μικρή απόσταση είναι περισσότερο όμοιες από άλλες σε μεγαλύτερη απόσταση. Έτσι, ζεύγη περιοχών που έχουν μικρή απόσταση μεταξύ τους (προς την αριστερή πλευρά του άξονα  $x$  του γραφήματος) θα πρέπει να έχουν περισσότερο όμοιες τιμές (χαμηλά στον άξονα  $y$  του γραφήματος). Όσο τα ζεύγη σημείων έχουν μεγαλύτερες αποστάσεις (δεξιότερα του άξονα  $x$ ) θα πρέπει να είναι περισσότερο ανόμοια και να έχουν μεγαλύτερη διαφορά υψωμένη στο τετράγωνο (μετακινούμενοι επάνω στον άξονα  $y$ ).

### 3.5 Προσαρμογή μοντέλου σε εμπειρικό ημιβαριόγραμμα

Το επόμενο βήμα είναι η προσαρμογή του μοντέλου στα σημεία που σχηματίζουν το εμπειρικό ημιβαριόγραμμα. Η μοντελοποίηση του ημιβαριογράμματος είναι ένα σημαντικό σκαλοπάτι μεταξύ της χωρικής περιγραφής και της χωρικής πρόβλεψης. Η κύρια εφαρμογή της μεθόδου Kriging είναι η πρόβλεψη χαρακτηριστικών τιμών σε περιοχές δίχως δείγματα τιμών. Το εμπειρικό ημιβαριόγραμμα παρέχει πληροφορίες για τη χωρική αυτοσυσχέτιση δέσμης δεδομένων. Ωστόσο, δεν παρέχει πληροφορίες για όλες τις πιθανές διευθύνσεις και κατευθύνσεις. Για το λόγο αυτό καθώς επίσης για την εξασφάλιση ύπαρξης μόνο θετικών διακυμάνσεων στις προβλέψεις της μεθόδου Kriging, είναι αναγκαία η προσαρμογή μοντέλου (δηλαδή μια συνεχή συνάρτηση ή καμπύλη) στη συνάρτηση αυτή. Κατά μια αφηρημένη προσέγγιση η παραπάνω διαδικασία είναι αντίστοιχη της ανάλυσης παλινδρόμησης κατά την οποία μια συνεχόμενη

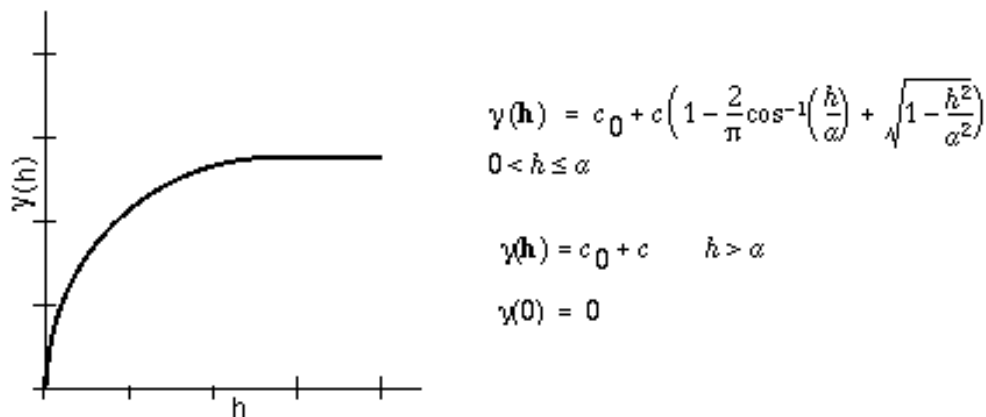
ευθεία ή καμπύλη προσαρμόζεται στα δεδομένα σημεία (McBratney and Webster 1986).

Για την προσαρμογή ενός μοντέλου στο εμπειρικό ημιβαριόγραμμα, επιλέγουμε μια συνάρτηση κατάλληλη για το μοντέλο (για παράδειγμα συνάρτηση σφαιρικού τύπου η οποία υψώνεται και σταθεροποιείται για αποστάσεις μεγαλύτερες από κάποια συγκεκριμένη διακύμανση). Αν και υπάρχουν παρεκκλίσεις των σημείων της συνάρτησης σε σχέση με το μοντέλο (κάποια σημεία είναι πάνω η κάτω από την καμπύλη του μοντέλου), το άθροισμα της απόστασης κάθε σημείου από τη γραμμή - για την ομάδα σημείων πάνω από τη γραμμή - και το αντίστοιχο άθροισμα για τα σημεία κάτω από τη γραμμή θα πρέπει να έχουν παρόμοιες τιμές (McBratney and Webster 1986).

### 3.6 Μοντέλα ημιβαριογράμματος

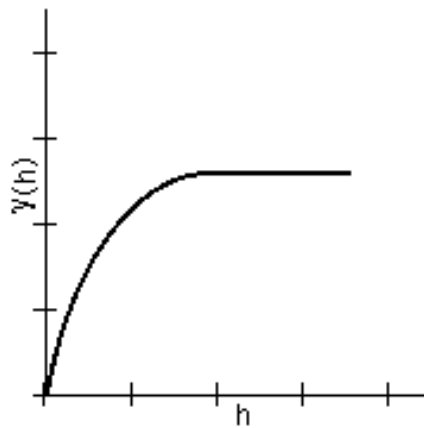
Το ArcGIS Spatial Analyst παρέχει τις παρακάτω συναρτήσεις για τη μοντελοποίηση του εμπειρικού ημιβαριογράμματος:

Κυκλικές



Σχήμα 8. Κυκλική συνάρτηση εμπειρικού ημιβαριογράμματος (ESRI 2011)

### Σφαιρικές



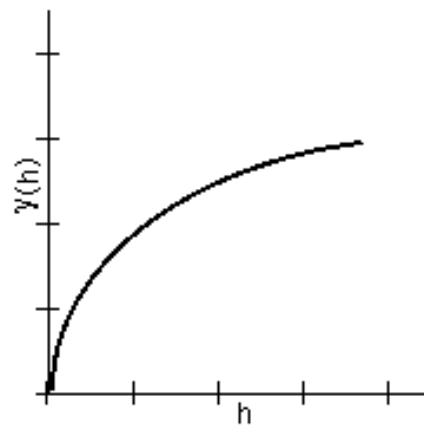
$$\gamma(\mathbf{h}) = c_0 + c \left( \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right) \quad 0 < h \leq a$$

$$\gamma(\mathbf{h}) = c_0 + c \quad h > a$$

$$\gamma(0) = 0$$

Σχήμα 9. Σφαιρική συνάρτηση εμπειρικού ημιβαριογράμματος (ESRI 2011)

### Εκθετικές

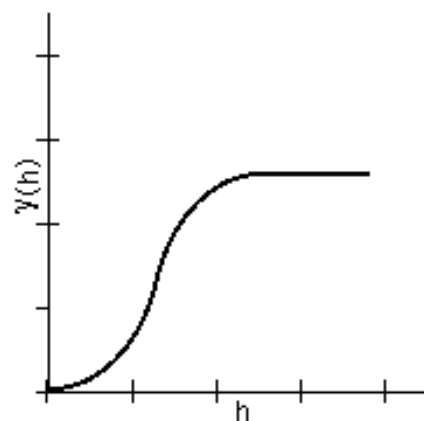


$$\gamma(\mathbf{h}) = c_0 + c \left( 1 - \exp\left(-\frac{h}{r}\right) \right) \quad h > 0$$

$$\gamma(0) = 0$$

Σχήμα 10. Εκθετική συνάρτηση εμπειρικού ημιβαριογράμματος. (ESRI 2011)

### Gaussian

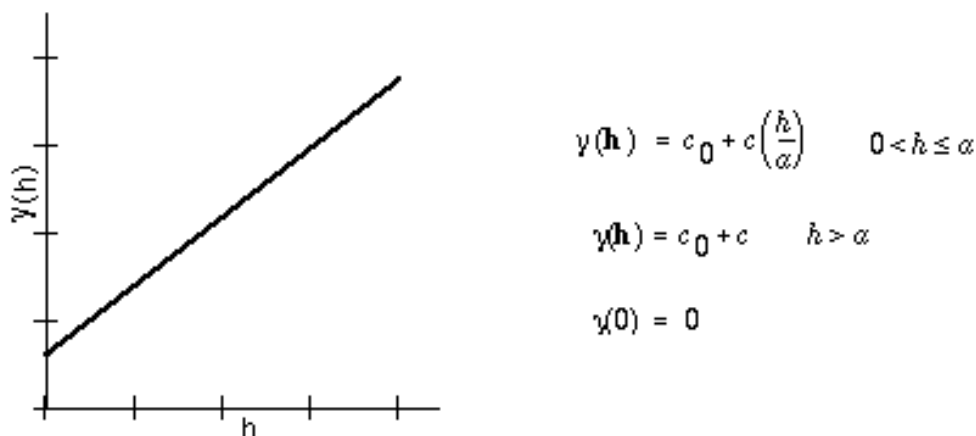


$$\gamma(\mathbf{h}) = c_0 + c \left( 1 - \exp\left(-\frac{h^2}{r^2}\right) \right) \quad h > 0$$

$$\gamma(0) = 0$$

Σχήμα 11. Gaussian συνάρτηση εμπειρικού ημιβαριογράμματος (ESRI 2011)

## Γραμμικές

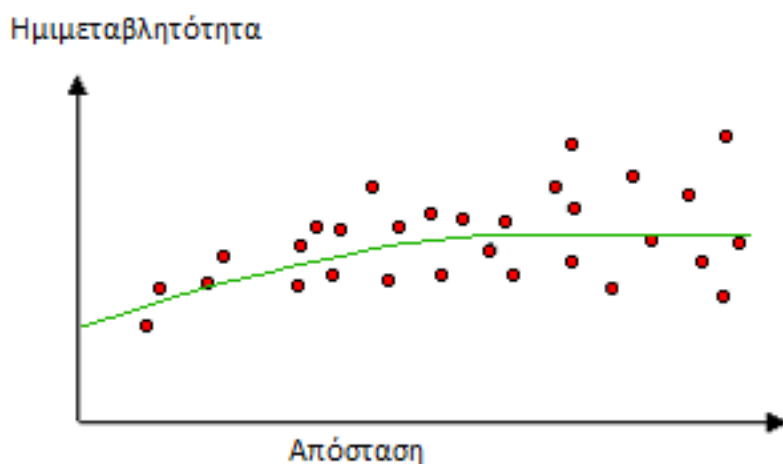


Σχήμα 12. Γραμμική συνάρτηση εμπειρικού ημιβαριογράμματος (ESRI 2011)

Τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζουν δύο συνήθη μοντέλα και ορίζουν τις διαφορές μεταξύ των συναρτήσεων:

- Παράδειγμα σφαιρικού μοντέλου

Το μοντέλο αυτό παρουσιάζει προοδευτική μείωση της χωρικής αυτοσυσχέτισης (και αύξηση της ημιμεταβλητότητας κατά ισοδυναμία) έως κάποιας ορισμένης απόστασης μετά την οποία η αυτοσυσχέτιση είναι μηδενική. Το σφαιρικό μοντέλο είναι ένα από τα πιο κοινώς χρησιμοποιούμενα μοντέλα.

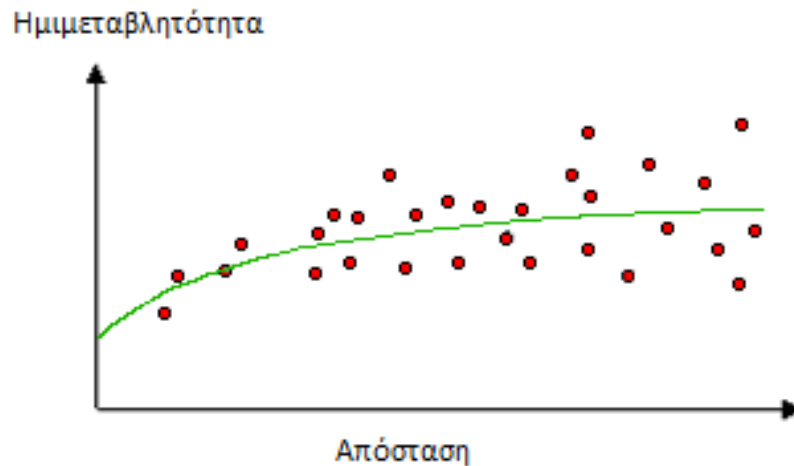


Σχήμα 13. Το σφαιρικό μοντέλο εφαρμοσμένο σε εμπειρικό ημιβαριόγραμμα (ESRI 2011)

- Παράδειγμα εκθετικού μοντέλου

Το μοντέλο αυτό εφαρμόζεται όταν η χωρική αυτοσυσχέτιση μειώνεται εκθετικά όσο αυξάνεται η απόσταση. Σε αυτή την εφαρμογή η αυτοσυσχέτιση παύει να υφίσταται μόνο όταν η απόσταση είναι άπειρη. Το εκθετικό μοντέλο είναι

επίσης πολύ κοινό στη χρησιμοποίησή του.



Σχήμα 14. Το εκθετικό μοντέλο εφαρμοσμένο σε εμπειρικό ημιβαριόγραμμα. (ESRI 2011)

Η απόφαση για το ποιο μοντέλο είναι καταλληλότερο βασίζεται στη χωρική αυτοσυσχέτιση των δεδομένων και την προγενέστερη γνώση του φαινομένου που θα αναλυθεί (McBratney and Webster 1986 )

### 3.7 Κατανόηση Ημιβαριογράμματος

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το ημιβαριόγραμμα απεικονίζει τη χωρική αυτοσυσχέτιση των υπολογισμένων σημείων-δειγμάτων. Λόγω της βασικής αρχής της γεωγραφίας για την ομοιότητα σημείων που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση, τα υπολογισμένα σημεία που βρίσκονται κοντά έχουν γενικά μικρότερες τετραγωνισμένες διαφορές από τα μακρύτερα σημεία. Αφού σχεδιάζεται κάθε ζεύγος σημείων (μετά την ομαδοποίηση), στη συνέχεια εφαρμόζεται σε αυτά ένα μοντέλο. Η εμβέλεια, το κατώφλι και ο μη χωρικός θόρυβος ή υπόλοιπου (nugget), χρησιμοποιούνται συχνά για την περιγραφή τέτοιων μοντέλων.

### 3.8 Εμβέλεια και Κατώφλι

Μελετώντας ένα ημιβαριόγραμμα, παρατηρείται ότι σε κάποια απόσταση το μοντέλο «ισοπεδώνεται/επιπεδοποιείται». Η απόσταση στην οποία το μοντέλο επιπεδοποιείται για πρώτη φορά ονομάζεται εμβέλεια. Περιοχές-δείγματα οι οποίες χωρίζονται από αποστάσεις μικρότερες της εμβέλειας αυτοσυσχετίζονται

χωρικά, σε αντίθεση με αποστάσεις μεγαλύτερες της εμβέλειας. Η τιμή του άξονα  $\psi$  στην οποία το ημιβαριόγραμμα φτάνει στην εμβέλεια αποκαλείται κατώφλι. Το μερικό κατώφλι είναι το αποτέλεσμα της διαφοράς κατωφλίου και μη χωρικού θορύβου (nugget) (ESRI 2011).

### **3.9 Μη χωρικός θόρυβος (Nugget)**

Θεωρητικά, σε μηδενική απόσταση το ημιβαριόγραμμα έχει τιμή μηδέν. Ωστόσο, σε μια απειροελάχιστα μικρή απόσταση η συνάρτηση συχνά παρουσιάζει το φαινόμενο μη χωρικού θορύβου ή υπολοίπου (nugget), το οποίο είναι ουσιαστικά μια τιμή διαφορετική του μηδενός. Εάν το μοντέλο της συνάρτησης τέμνει τον άξονα  $\psi$  στο 2, τότε ο μη χωρικός θόρυβος (nugget) έχει την τιμή 2. Το φαινόμενο του μη χωρικού θορύβου (nugget) αποδίδεται σε σφάλμα στις μετρήσεις ή σε χωρικές πηγές μεταβολών αποστάσεων μικρότερων του διαστήματος δειγματοληψίας (ή και στα δύο μαζί). Σφάλματα στις μετρήσεις προκύπτουν από τα σφάλματα που ενυπάρχουν στις συσκευές που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις. Επίσης, φυσικά φαινόμενα ποικίλλουν χωρικά σε ένα εύρος κλιμάκων. Έτσι, είναι σημαντική η κατανόηση των κλιμάκων χωρικής μεταβολής για την οποία ενδιαφερόμαστε πριν τη συλλογή των δεδομένων (ESRI 2011).

## **B. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

### **1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η πλατφόρμα ArcGIS Desktop στην οποία αναφερθήκαμε στο θεωρητικό μέρος, είναι το εργαλείο με το οποίο πραγματοποιήθηκε το πειραματικό μέρος. Η πλατφόρμα αυτή είναι ένα σύστημα το οποίο αποτελείται από τμήματα λογισμικού, τα οποία μπορούν να εγκατασταθούν σε έναν Η/Υ για να γίνεται χρήση από έναν χρήστη ή σε ένα δίκτυο Η/Υ, σταθμών εργασίας ή εξυπηρετητών. Οι χρήστες αναλόγως των αναγκών τους εγκαθιστούν συγκεκριμένα τμήματα του λογισμικού και έτσι δημιουργούν ένα πακέτο εργαλείων του ArcGIS προσαρμοσμένο στις ανάγκες τους.

#### **1.1 Περιγραφή λογισμικού και υπολογιστικών συστημάτων που χρησιμοποιήθηκαν**

Όπως αναφέρθηκε και στο Α μέρος, το ArcGIS είναι διαθέσιμο για Η/Υ, σε τρεις εκδόσεις: ArcView (ArcGIS for Desktop Basic), ArcEditor (ArcGIS for Desktop Standard) και ArcInfo (ArcGIS for Desktop Advanced), με διαφορές στις δυνατότητες που παρέχει η κάθε μία. Η έκδοση που επιλέξαμε είναι η ArcInfo (ArcGIS 10.2.1 for Desktop Advanced), η οποία παρέχει το σύνολο των διαθέσιμων εργαλείων, που προσφέρει το ArcGIS. Ο λόγος που επιλέξαμε την συγκεκριμένη έκδοση ήταν για να έχουμε μια πλήρη άποψη για τις λειτουργίες του ArcGIS.

Το υπολογιστικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε είχε τις παρακάτω προδιαγραφές:

- Επεξεργαστής Intel Core2Duo P7550
- Μνήμη RAM 4GB DDR3 800MHz
- Δίσκος SanDisk X210 SSD 512GB
- Κάρτα Γραφικών ATi Mobility Radeon HD 4530 512MB GDDR3

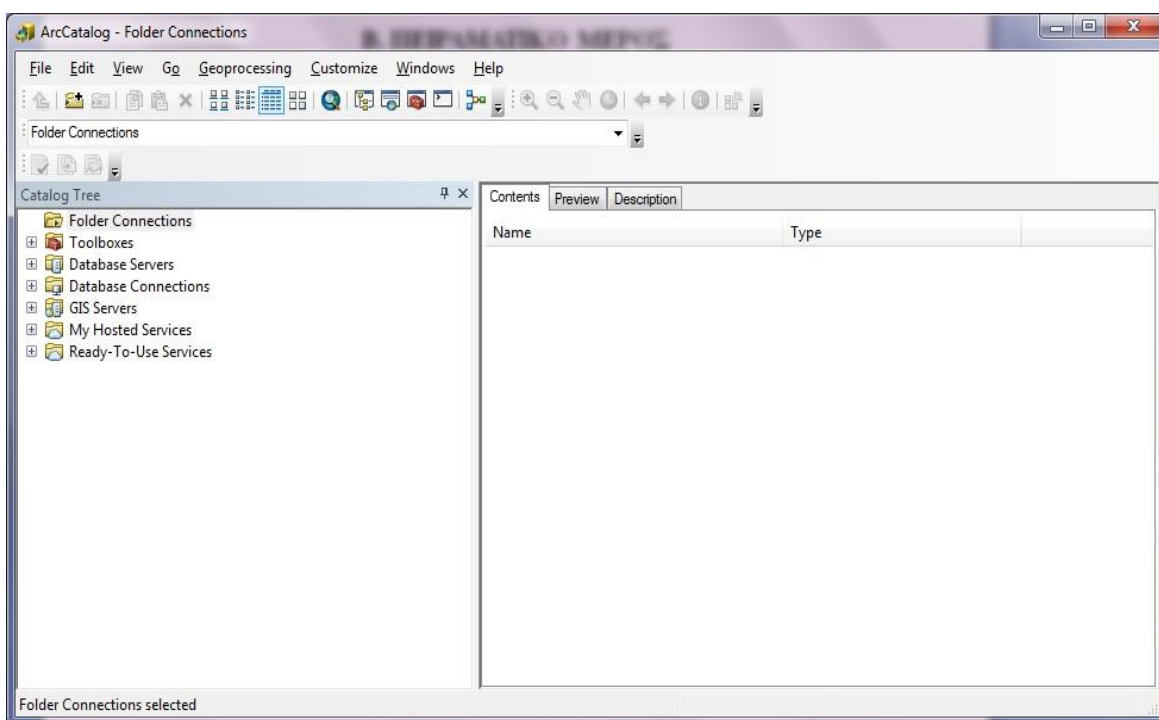




## 2 ArcGIS ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ

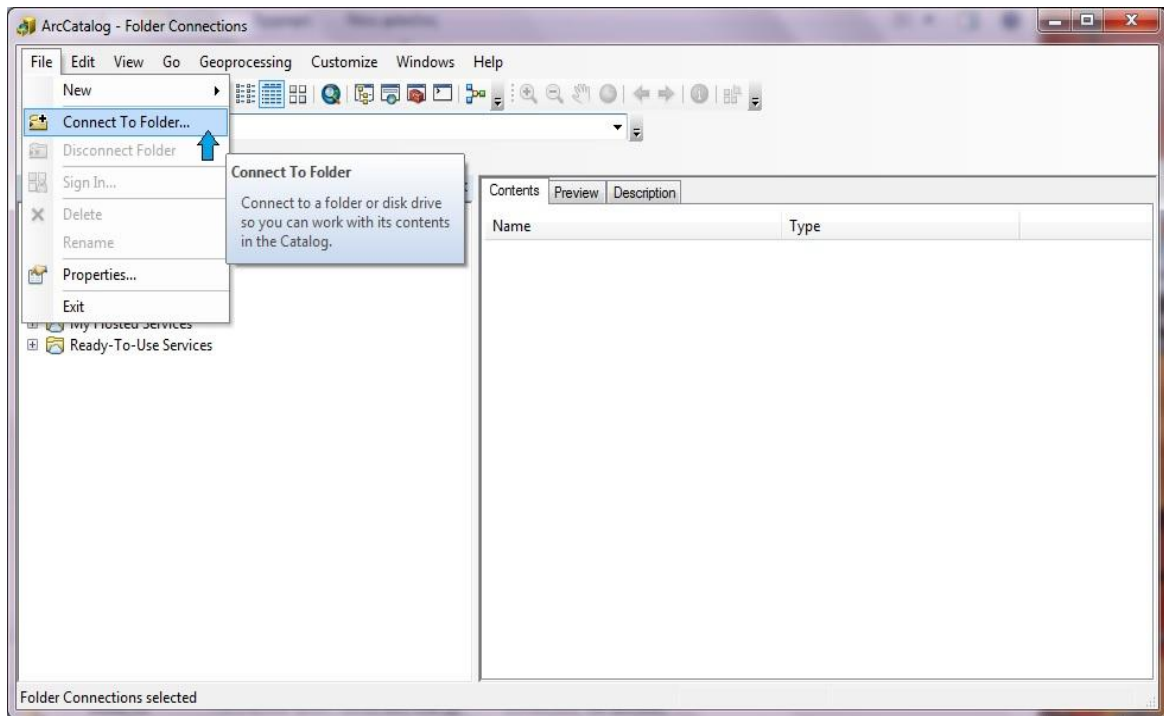
### 2.1 Τα πρώτα βήματα στο ArcGIS

Το βασικό πρόγραμμα επισκόπησης και διαχείρισης των αρχείων που θα χρησιμοποιηθούν είναι το ArcCatalog. Η εκτέλεση του προγράμματος αυτού γίνεται από συντόμευση στην επιφάνεια εργασίας ή μέσω του μενού “Εναρξη” ή του φακέλου εγκατάστασης της εφαρμογής, αναλόγως του λειτουργικού συστήματος και των επιλογών που έγιναν κατά την εγκατάσταση του ArcGIS. Η πρώτη οθόνη που εμφανίζεται είναι η ακόλουθη:



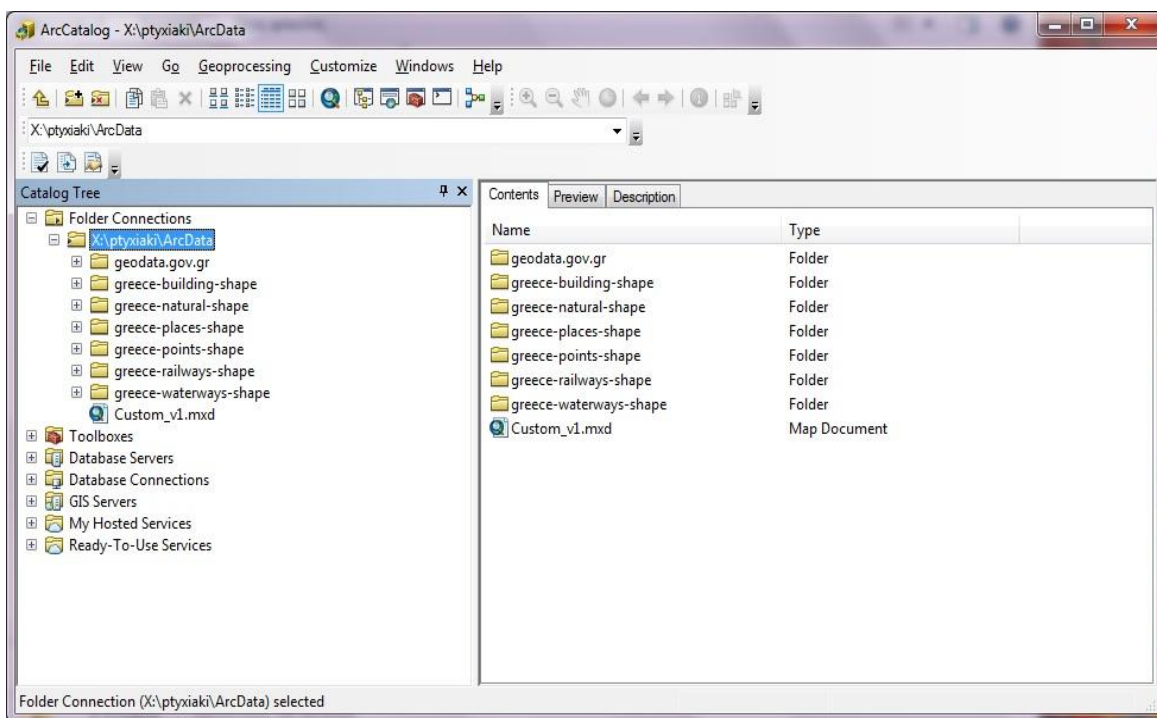
Σχήμα 15. Η πρώτη οθόνη Arc Catalog.

Την πρώτη φορά που θα γίνει η χρήση του προγράμματος θα χρειαστεί να εισαχθεί ο φάκελος εργασίας, ο οποίος θα περιέχει όλα τα απαραίτητα αρχεία. Αυτό μπορεί να γίνει είτε από την επιλογή connect to folder όπως φαίνεται παρακάτω ή από το αντίστοιχο εικονίδιο στο toolbar.



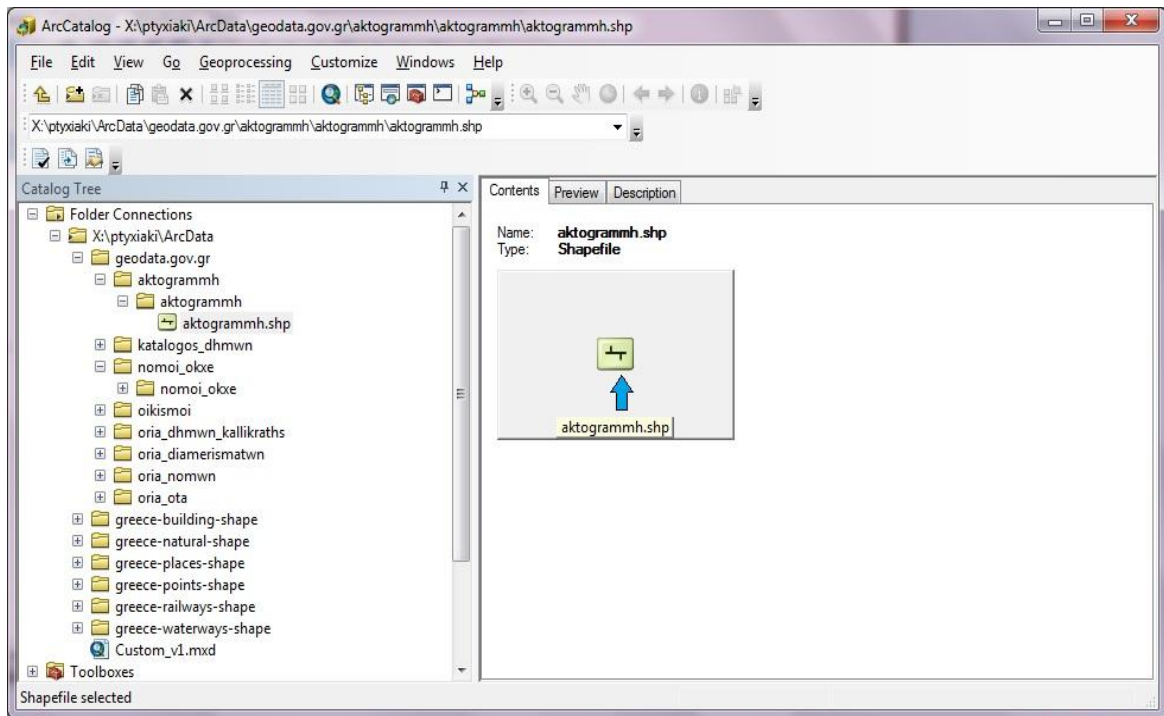
Σχήμα 16. Σύνδεση με τον φάκελο εργασίας.

Το παράθυρο που θα εμφανιστεί θα ζητήσει η διαδρομή του φακέλου που περιέχει τα αρχεία τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στην εργασία. Όταν εισαχθεί ο φάκελος, όλα τα αρχεία τα οποία αναγνωρίζει η εφαρμογή θα εμφανίζονται στην δεξιά περιοχή της οθόνης.



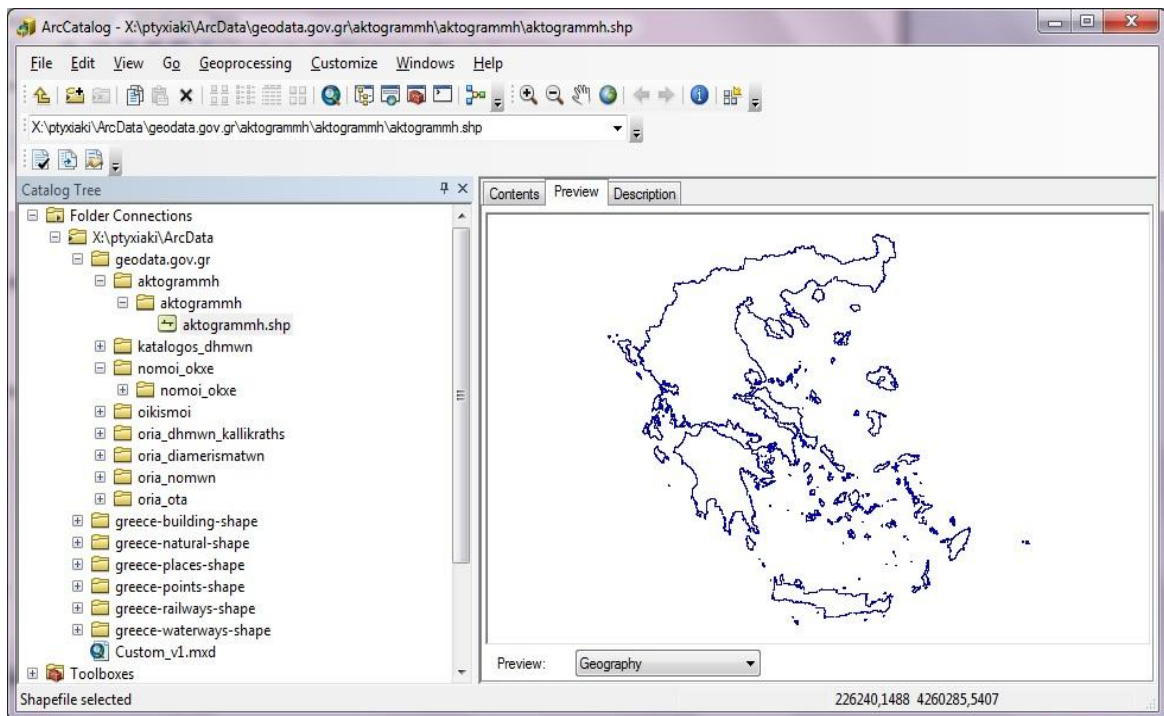
Σχήμα 17. Ο φάκελος εργασίας στο Arc Catalog.

Από την δεξιά περιοχή της οθόνης εκτός από τους εμπεριέχοντες φακέλους και αρχεία, εμφανίζεται μια προεπισκόπηση κάθε αρχείου. Όταν γίνεται προεπισκόπηση αρχείων τύπου Shapefile, στη πρώτο καρτέλα της οθόνης (Contents) εμφανίζεται ένα εικονίδιο που περιγράφει, τι μορφής είναι το εξεταζόμενο shape file. Ως παράδειγμα παρακάτω παρουσιάζεται ένα γραμμικό shape file (τα δεδομένα απεικονίζονται σε μορφή γραμμής.).



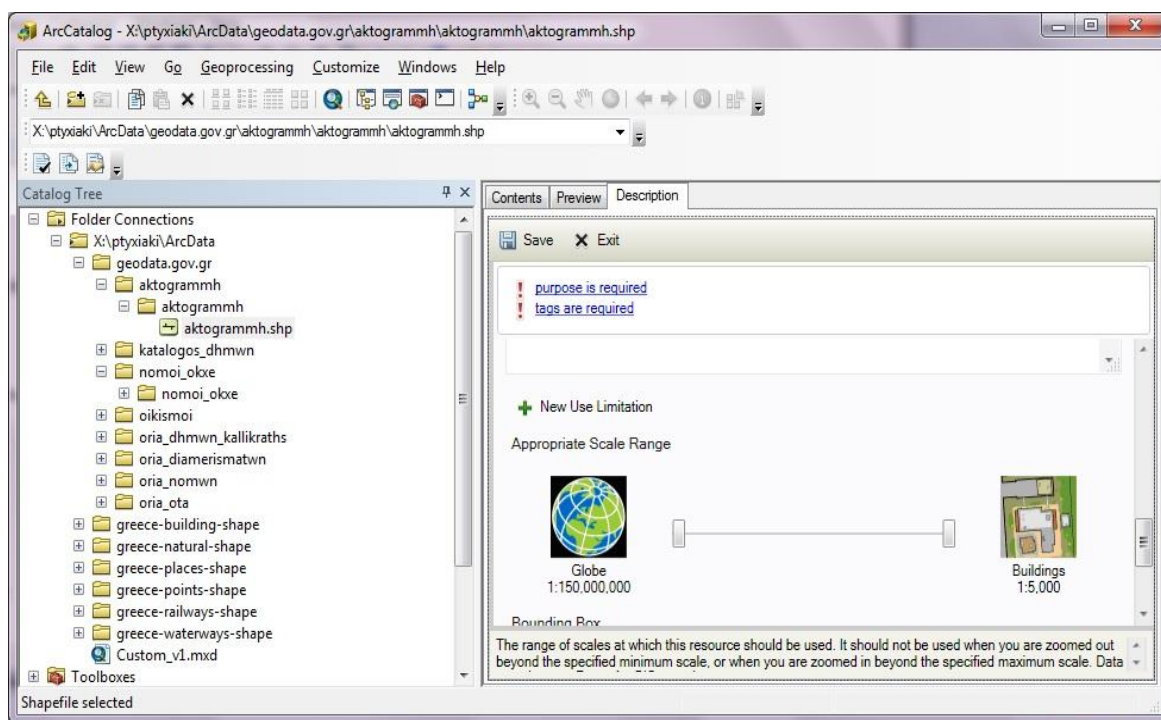
Σχήμα 18. Shape file όπως αυτό εμφανίζεται μέσα από το Arc Catalog.

Η δεύτερη καρτέλα (preview) είναι μια προεπισκόπηση του αρχείου, όπως αυτό θα εμφανιστεί όταν γίνει άνοιγμα. Ως παράδειγμα παρακάτω εμφανίζεται το ίδιο αρχείο όταν γίνεται η επιλογή της καρτέλας “Preview”.



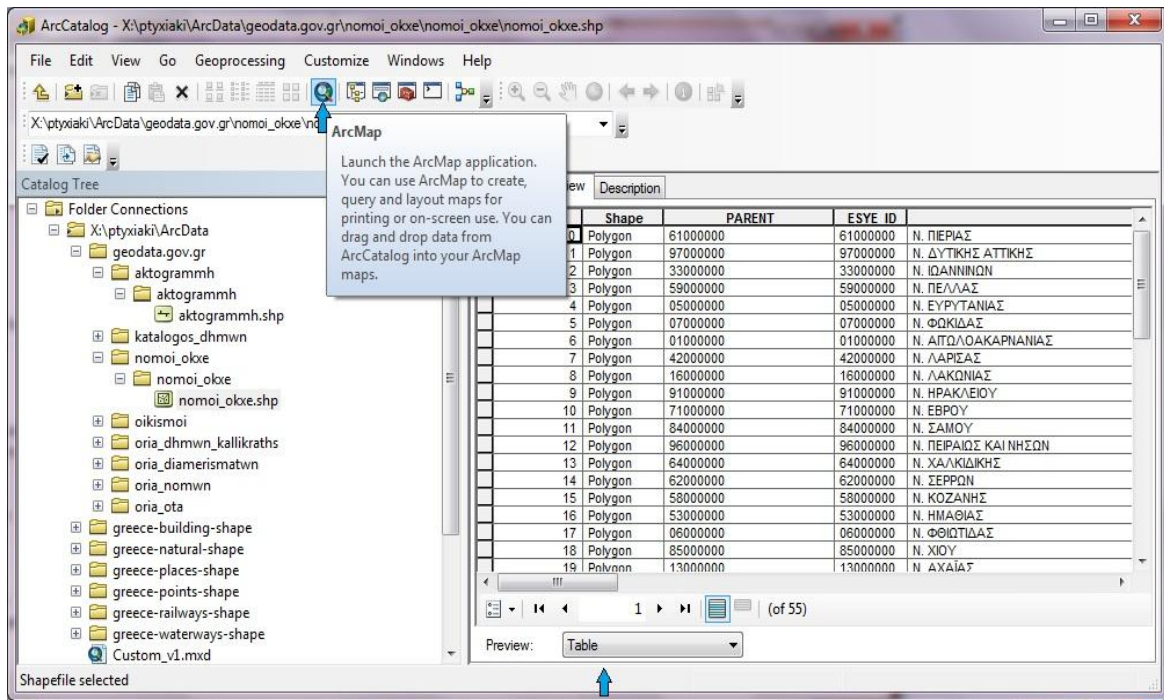
Σχήμα 19. Προεπισκόπηση του shape file.

Στην τρίτη καρτέλα (Description) εμφανίζονται λεπτομέρειες του αρχείου και μπορεί να εισαχθούν διάφορες πληροφορίες, όπως εικονίδιο προεπισκόπησης (thumbnail), περιγραφή, λέξεις κλειδιά, προτεινόμενη κλίμακα κτλ., πατώντας την επιλογή edit.



Σχήμα 20. Περιγραφή του shape file μέσα από το Arc Catalog.

Επιστρέφοντας στην δεύτερη καρτέλα “Preview”, μπορούμε να εμφανίσουμε τιμές πινάκων που βρίσκονται στο εκάστοτε αρχείο που διαχειριζόμαστε, επιλέγοντας “table” από τη λίστα επιλογών “Preview” στο κάτω μέρος της καρτέλας. Το επόμενο βήμα είναι η εκκίνηση της εφαρμογής ArcMap.

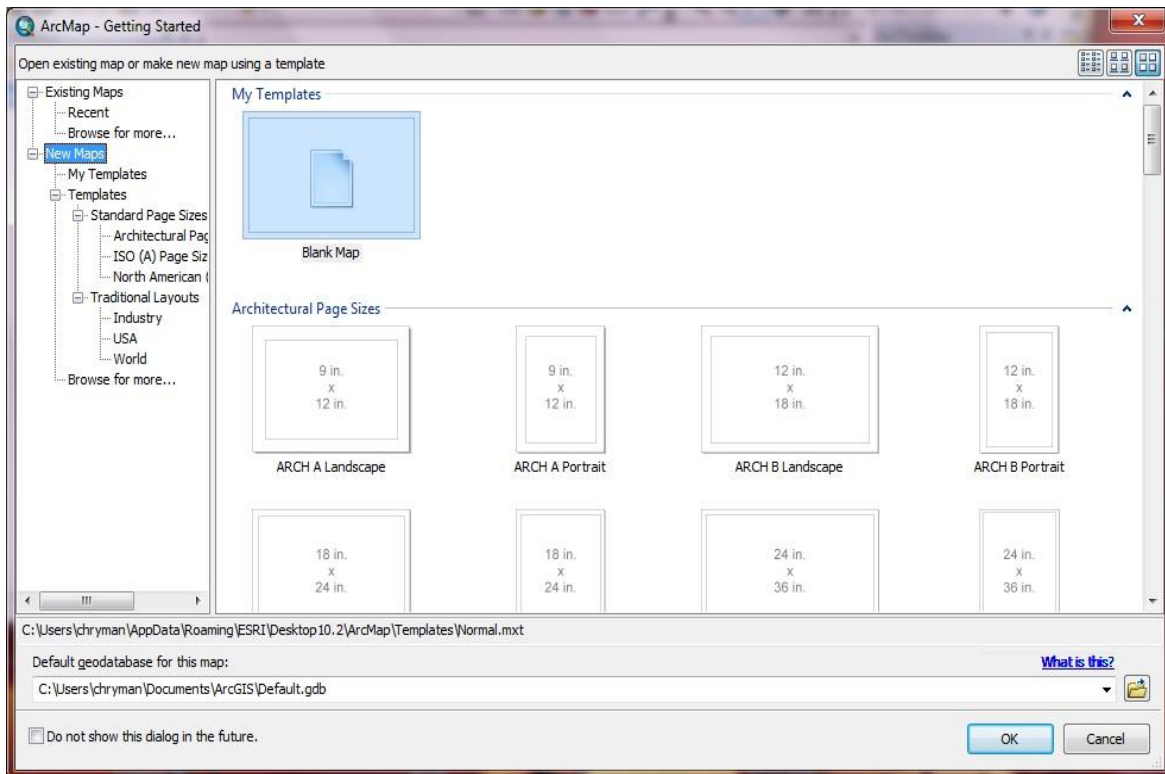


Σχήμα 21. Προεπισκόπησης shape file που περιέχει πίνακα.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί εύκολα μέσα από το περιβάλλον του ArcCatalog πατώντας το αντίστοιχο πλήκτρο στη γραμμή εργαλείων ή, εναλλακτικά, τρέχοντας τη συντόμευση που βρίσκεται στην επιφάνεια εργασίας ή στο μενού Έναρξης των Windows.

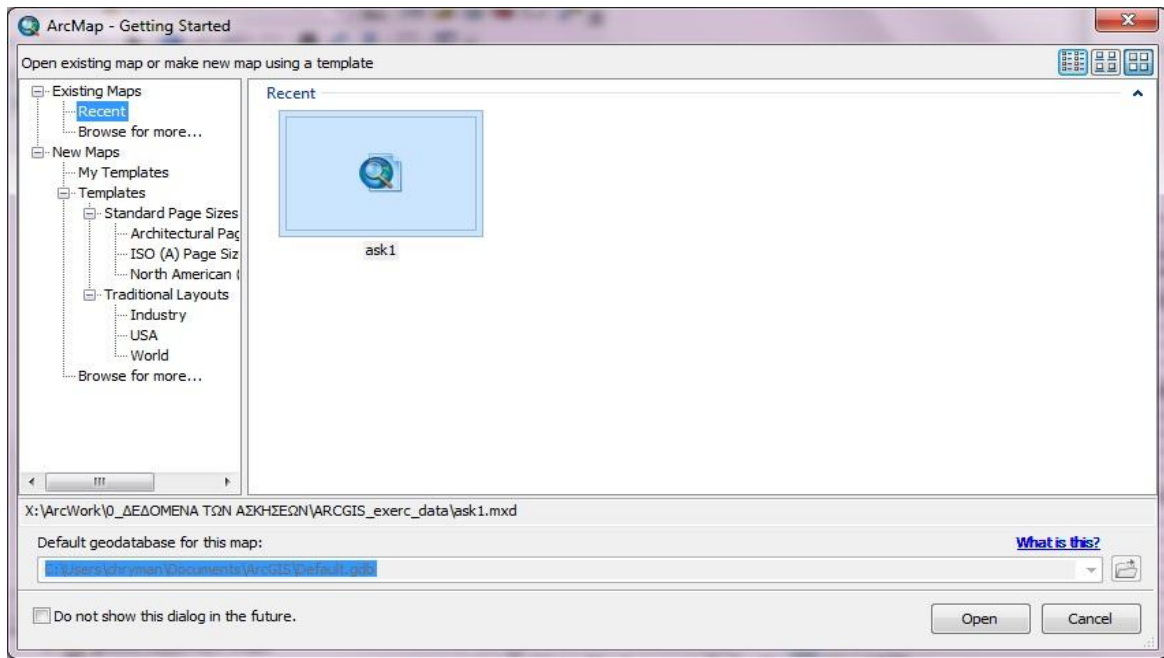
Η πρώτη οθόνη καλωσορίσματος του ArcMap περιλαμβάνει έτοιμα πρότυπα διαφόρων μεγεθών και στυλ εμφάνισης για το αρχιτεκτονικό σχέδιο του χάρτη που θα δημιουργηθεί, όπως επίσης και κάποιους έτοιμους χάρτες των ΗΠΑ, της Ευρώπης και άλλων ηπείρων, μαζί με σχετικό υπόμνημα. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας «προσωπικού» προτύπου, διαμορφωμένου σύμφωνα με τις προτιμήσεις του σχεδιαστή.





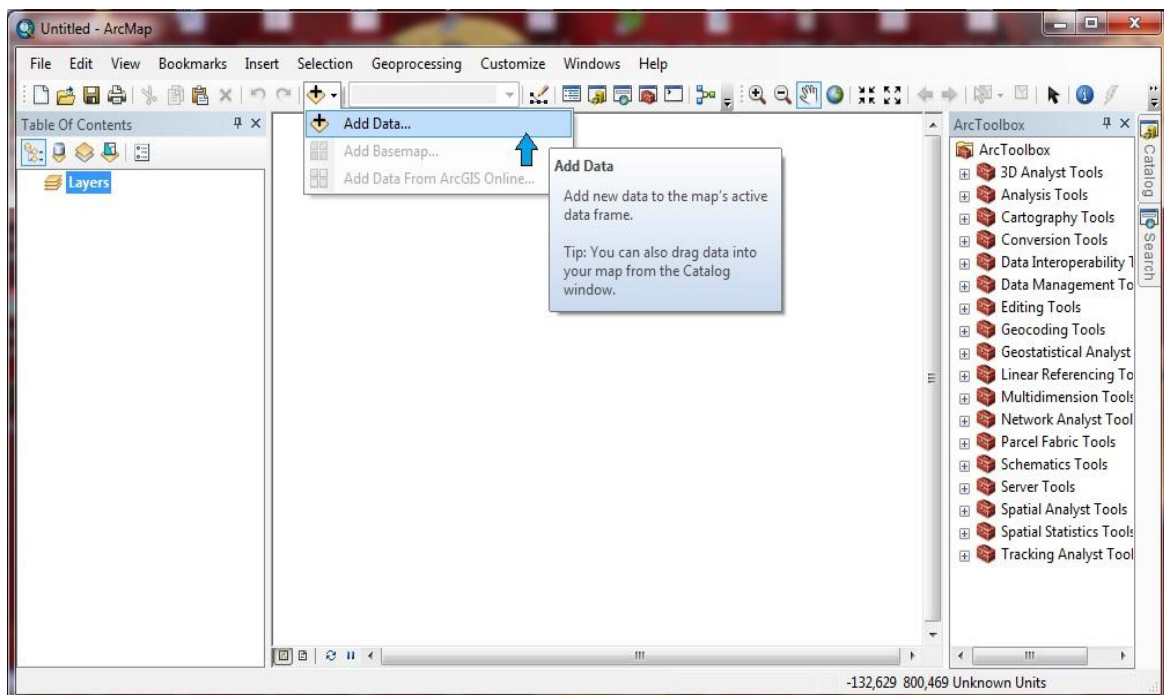
Σχήμα 22. Η αρχική οθόνη του Arc Map.

Σε περίπτωση που υπάρχει ήδη έτοιμος χάρτης από προηγούμενη χρήση, το ArcMap εμφανίζει επιλεγμένο το “Existing Maps → Recent” στο δενδροειδές μενού που βρίσκεται στην αριστερή πλευρά του παραθύρου. Γενικά, αναλόγως των επιλογών που γίνονται στο παραπάνω δενδροειδές μενού, εμφανίζονται και οι συσχετιζόμενες επιλογές στη δεξιά πλευρά του παραθύρου.



Σχήμα 23. Άνοιγμα αρχείου χάρτη από υπάρχον αρχείο.

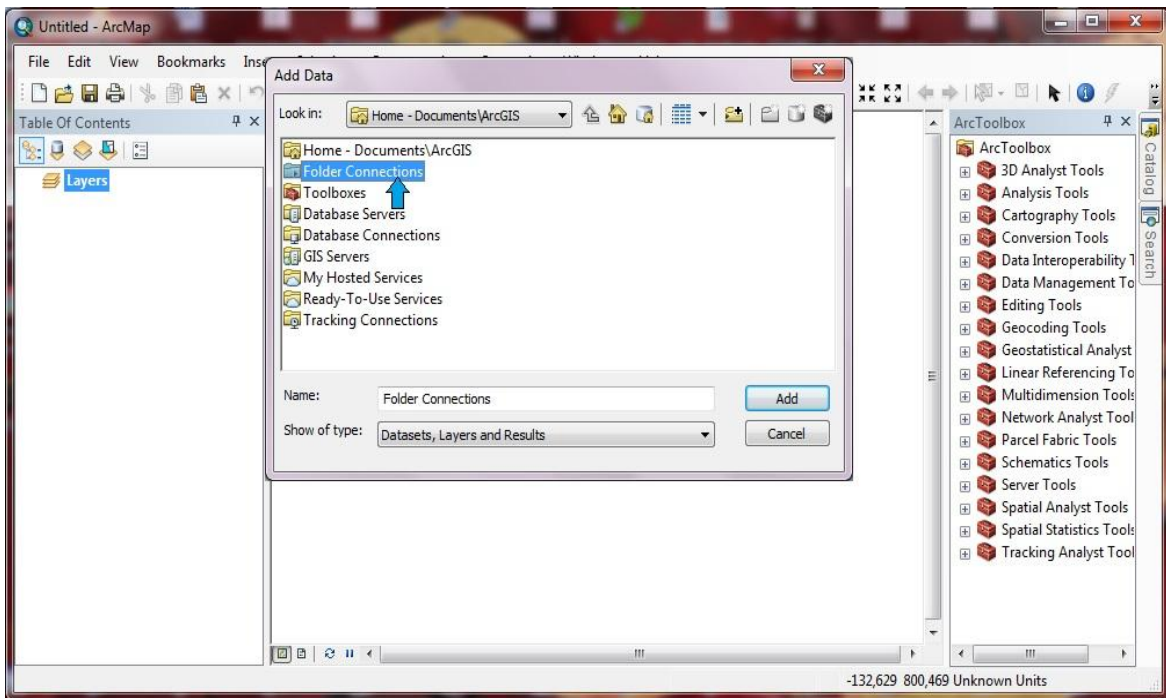
Επιλέγοντας “new map” το ArcMap εμφανίζει το παρακάτω περιβάλλον εργασίας.



Σχήμα 24. Εισαγωγή δεδομένων σε νέο αρχείο χάρτη.

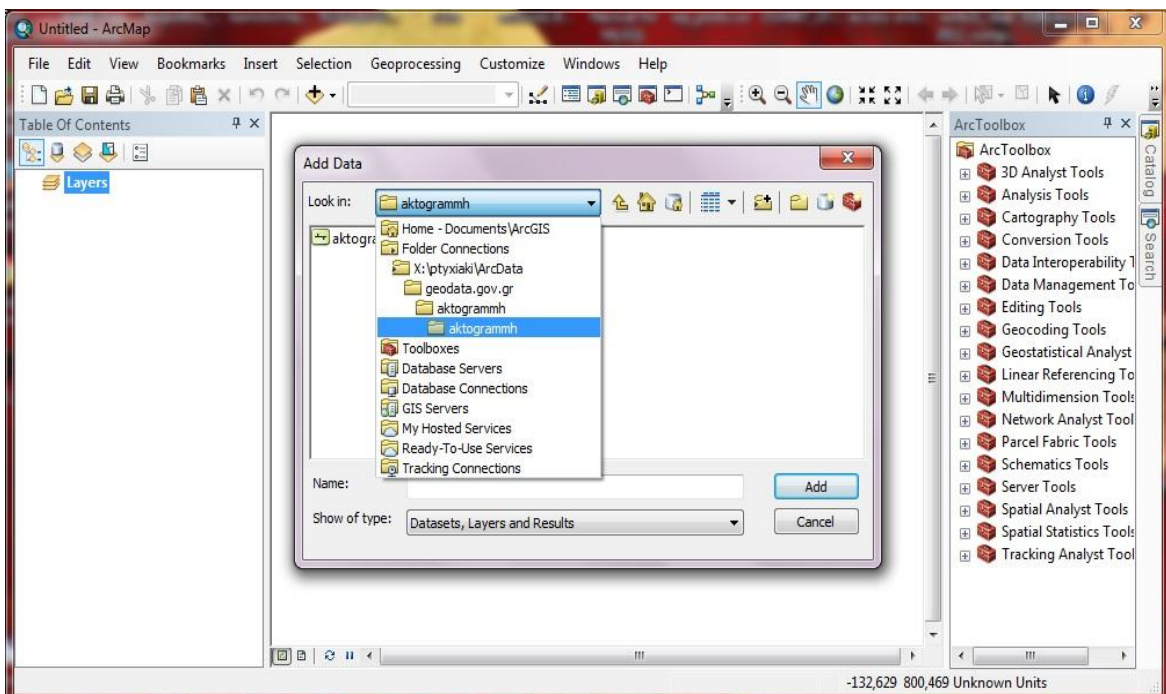
Το πρώτο βήμα είναι η εισαγωγή δεδομένων στην εφαρμογή μέσω του αντίστοιχου πλήκτρου που βρίσκεται στη γραμμή εργαλείων ή εναλλακτικά μέσω του μενού “File → Add data”.





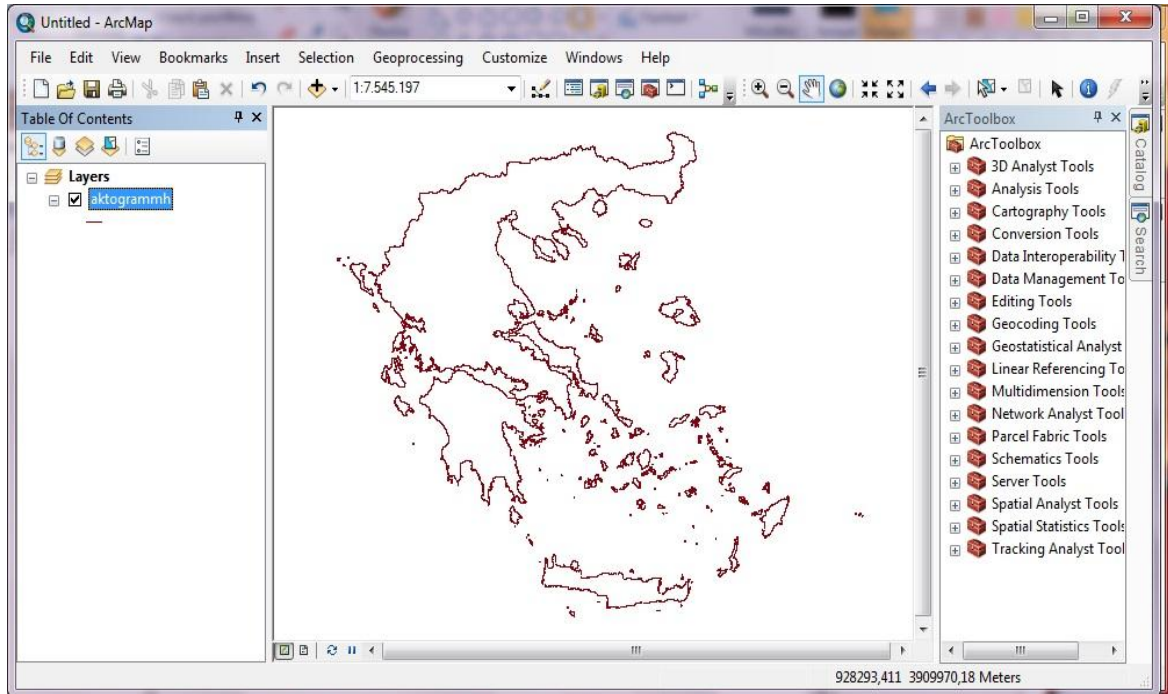
Σχήμα 25. Παράθυρο αναζήτησης των συνδεδεμένων αρχείων εργασίας.

Στο παράθυρο διαλόγου “Add data” επιλέγοντας “Folder Connections” βρίσκουμε το φάκελο εργασίας που δηλώσαμε προηγουμένως μέσω του ArcCatalog.



Σχήμα 26. Επιλογή του προ εισαγωγή αρχείου layer.

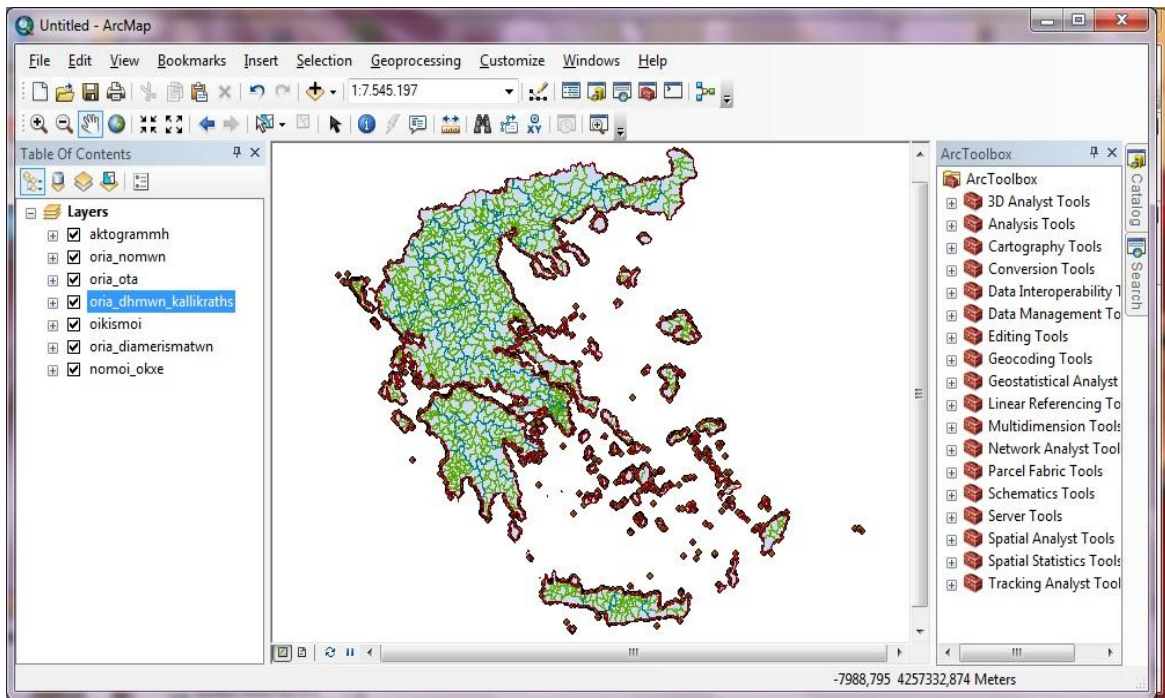
Στο παράδειγμά μας, επιλέγουμε την εισαγωγή της ακτογραμμής του ελλαδικού χώρου σύμφωνα με τα δεδομένα που παρέχει ο ιστότοπος geodata.gov.gr. Πατώντας το πλήκτρο “Add” προστίθεται η ακτογραμμή στο σχεδιαστικό περιβάλλον του ArcMap.



Σχήμα 27. Απεικόνιση της ακτογραμμής της Ελλάδας.

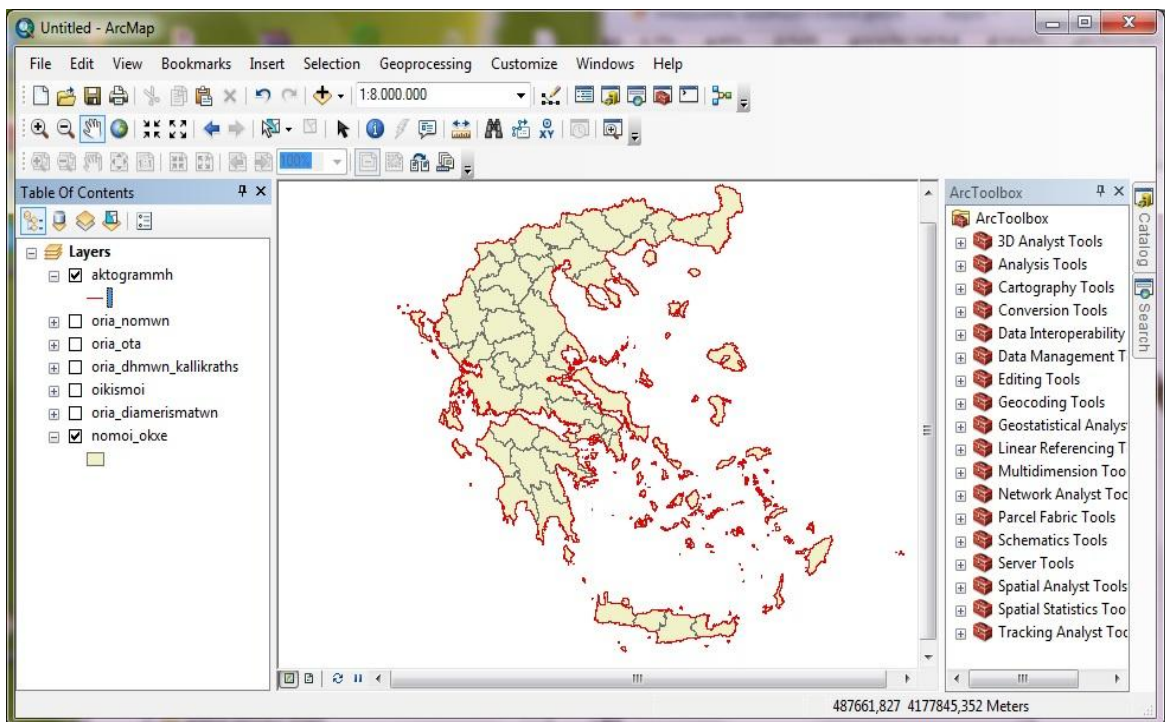
Στην αριστερή πλευρά εμφανίζεται ο πίνακας περιεχομένων (Table of contents) ο οποίος απεικονίζει ξεχωριστά καθένα από τα επίπεδα (layers) που προσθέτουμε με τον προηγούμενο τρόπο. Επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία για καθένα από τα επίπεδα με τα οποία θα εργαστούμε, καταλήγουμε στο παρακάτω αποτέλεσμα.

Χρήση του λογισμικού ArcGIS για τη μελέτη της χωρικής κατανομής των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα



Σχήμα 28. Απεικόνιση όλων των layers.

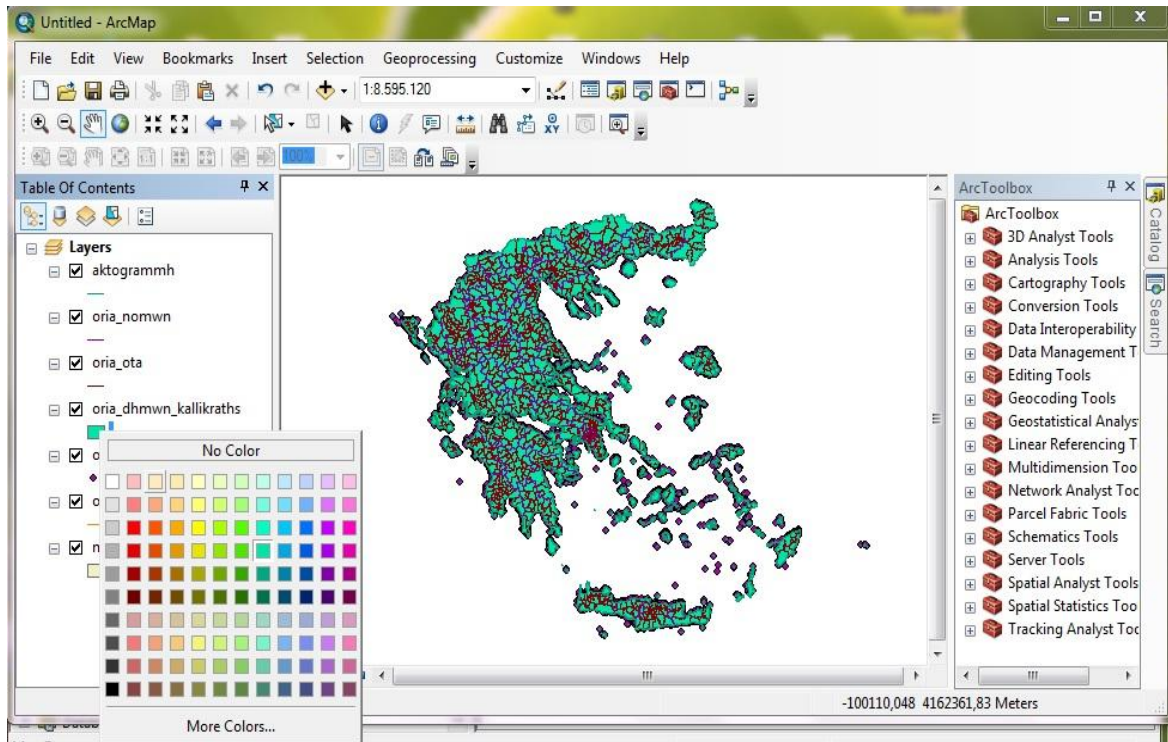
Κάθε επίπεδο έχει τη δυνατότητα να εμφανίζεται ή όχι δυναμικά, με τη χρήση του checkbox δίπλα από το όνομά του.



Σχήμα 29. Αλλαγή των εμφανιζόμενων layers.



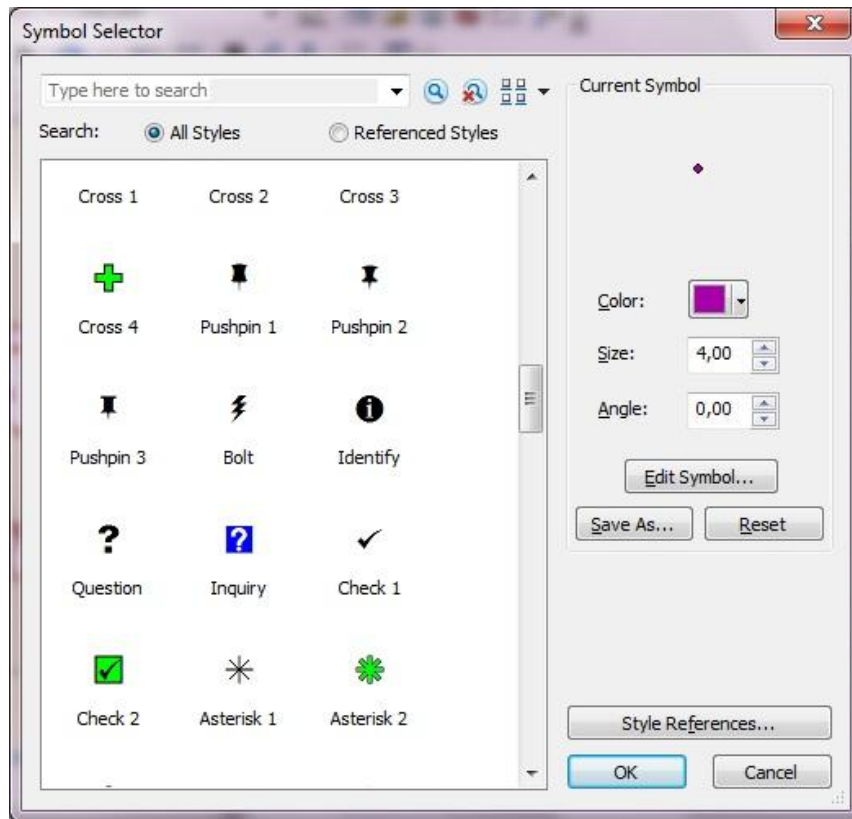
Πατώντας το πλήκτρο «+» εμφανίζεται το στυλ εμφάνισης του επιπέδου που μας ενδιαφέρει, το οποίο αποτελείται από το είδος συμβόλων που απεικονίζονται (σημειακά, γραμμικά ή επιφανειακά) καθώς και από το χρωματισμό τους.



Σχήμα 30. Αλλαγή των εμφανιζόμενων layers.

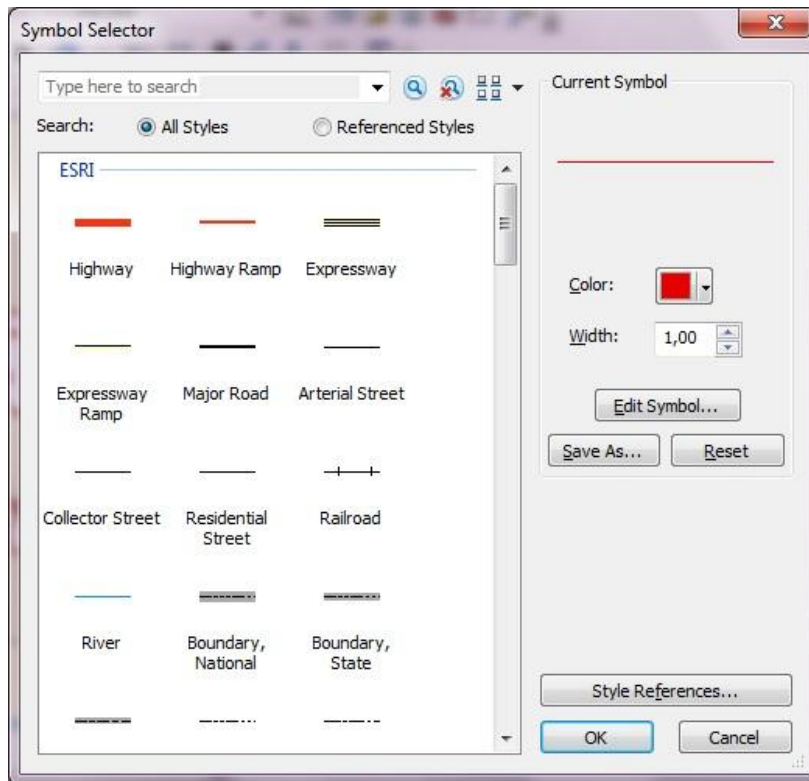
Η αλλαγή του χρωματισμού μπορεί να επιτευχθεί είτε με δεξί κλικ πάνω στο εκάστοτε επίπεδο, όπως εμφανίζεται παραπάνω, είτε με αριστερό κλικ μέσω του παραθύρου “Symbol Selector”, το οποίο, εκτός από χρώμα, μας δίνει την δυνατότητα αλλαγής στυλ εμφάνισης του επιπέδου, ανάλογα με τον τύπο του (σημειακό, γραμμικό ή επιφανειακό).

Αν πρόκειται για σημειακό επίπεδο ο “Symbol Selector” θα πάρει την παρακάτω μορφή:



Σχήμα 31. Παράθυρο επιλογής συμβόλου που θα περιγράψει σημειακές οντότητες.

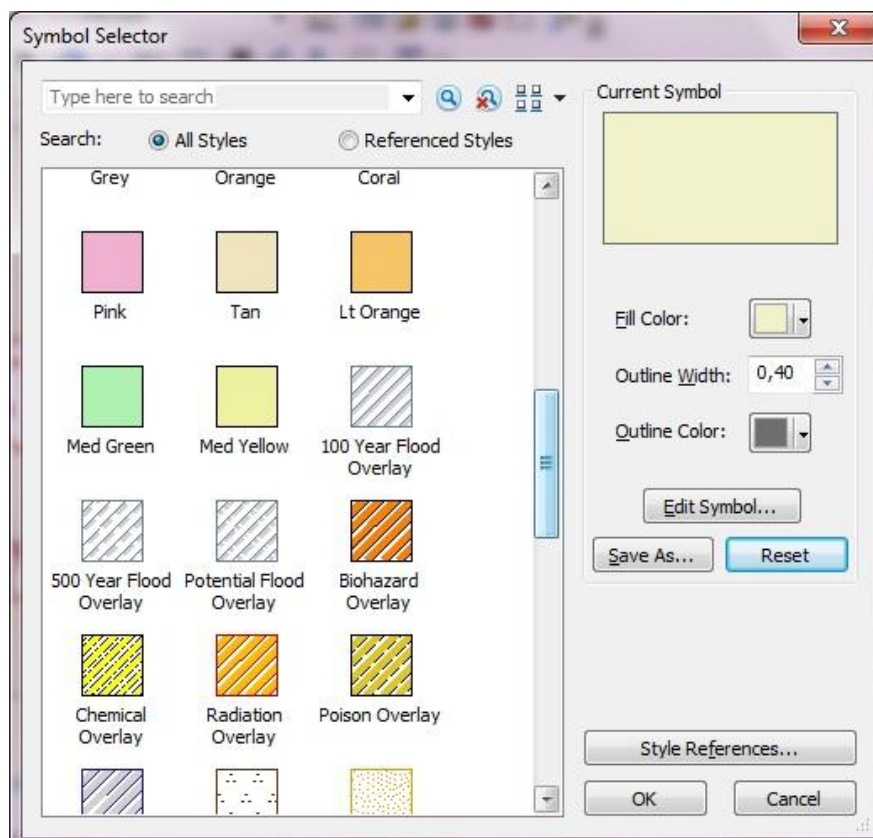
Αν πρόκειται για γραμμικό επίπεδο ο “Symbol Selector” θα πάρει την παρακάτω μορφή:



Σχήμα 32. Παράθυρο επιλογής συμβόλου που θα περιγράψει γραμμικές οντότητες.

Αν πρόκειται για επιφανειακό επίπεδο ο “Symbol Selector” θα πάρει τη μορφή του Σχήματος 33.

Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα μετακίνησης των επιπέδων στην ιεραρχία, ούτως ώστε να εμφανιστούν τα περισσότερα δυνατά δεδομένα με τον πιο χρηστικό τρόπο. Η ιεραρχία εμφάνισης του πίνακα περιεχομένων υπακούει στους κανόνες “top-to-bottom” εξασφαλίζοντας ότι το ανώτατο επίπεδο στη λίστα θα εμφανίζεται πάντα πάνω από τα υπόλοιπα.

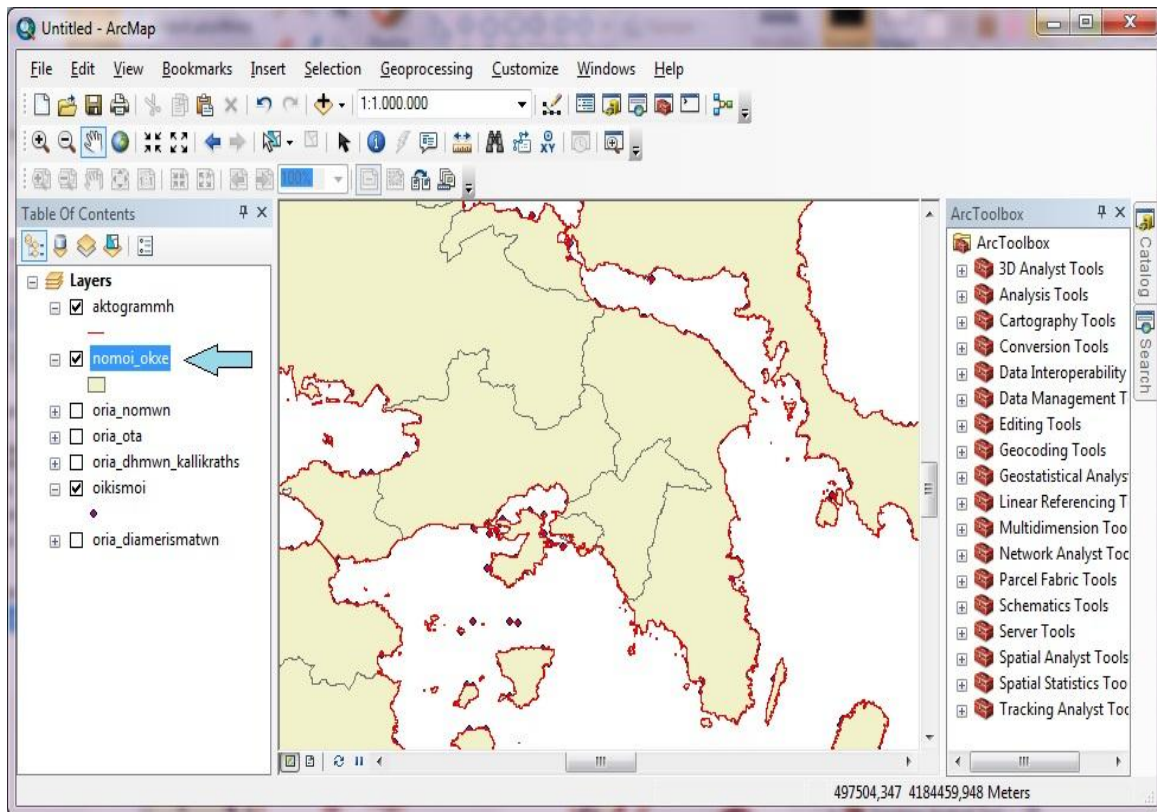


Σχήμα 33. Παράθυρο επιλογής συμβόλου που θα περιγράψει οντότητες επιφάνειας.

Μία βέλτιστη τακτική που προκύπτει από τους κανόνες ιεραρχικής εμφάνισης είναι η ταξινόμηση των επιπέδων σύμφωνα με το είδος των δεδομένων που απεικονίζουν. Πιο συγκεκριμένα, τα επιφανειακά επίπεδα τα οποία πρόκειται να καλύψουν το μεγαλύτερο μέρος της απεικόνισης πρέπει να βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα, επικαλυπτόμενα από γραμμικά επίπεδα, και, τέλος, τα σημειακά επίπεδα στην κορυφή. Η έννοια της «σωστής» και «λάθους» εμφάνισης δεν ισχύει στο συγκεκριμένο στάδιο. Αντιθέτως, είναι στην διακριτική ευχέρεια του σχεδιαστή να αλλάξει τη σειρά εμφάνισης σύμφωνα με τις προτιμήσεις του.

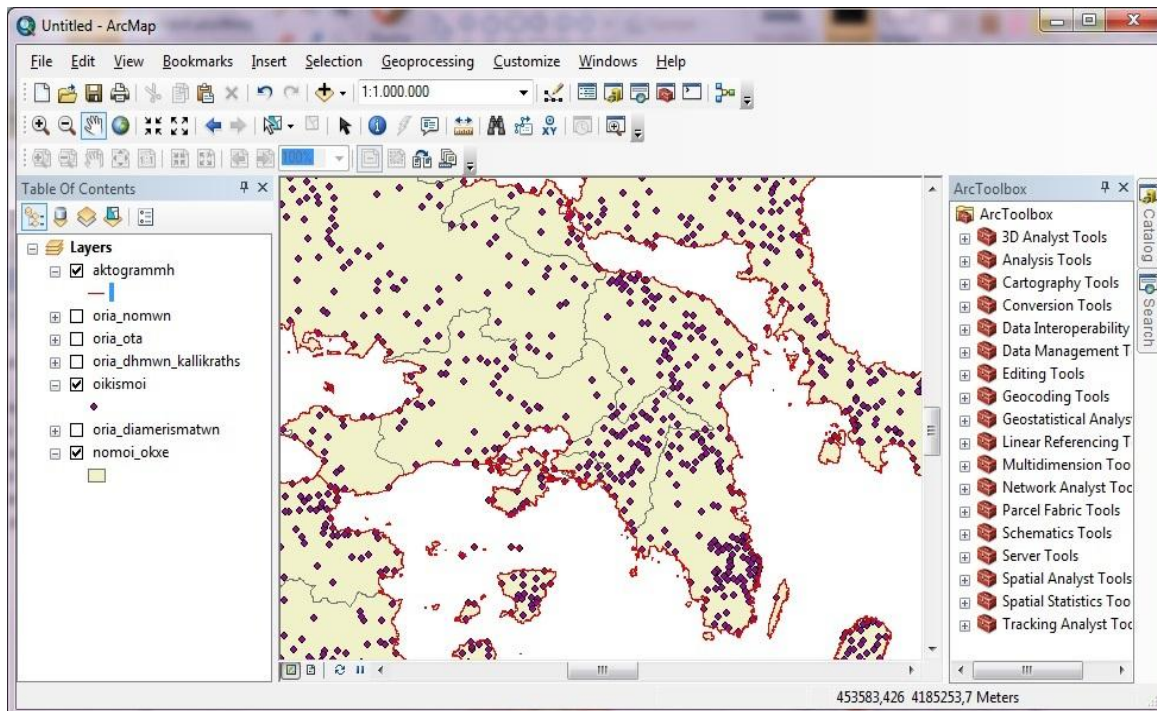
Για παράδειγμα στην εικόνα του Σχήματος 34, θα μετακινήσουμε το επιφανειακό επίπεδο των νομών πάνω από το σημειακό επίπεδο των οικισμών. Αυτή η ενέργεια θα επικαλύψει το επίπεδο των οικισμών κάτω από το επίπεδο των νομών.





Σχήμα 34. Αλλαγή σειράς των layers που κρύβει δεδομένα.

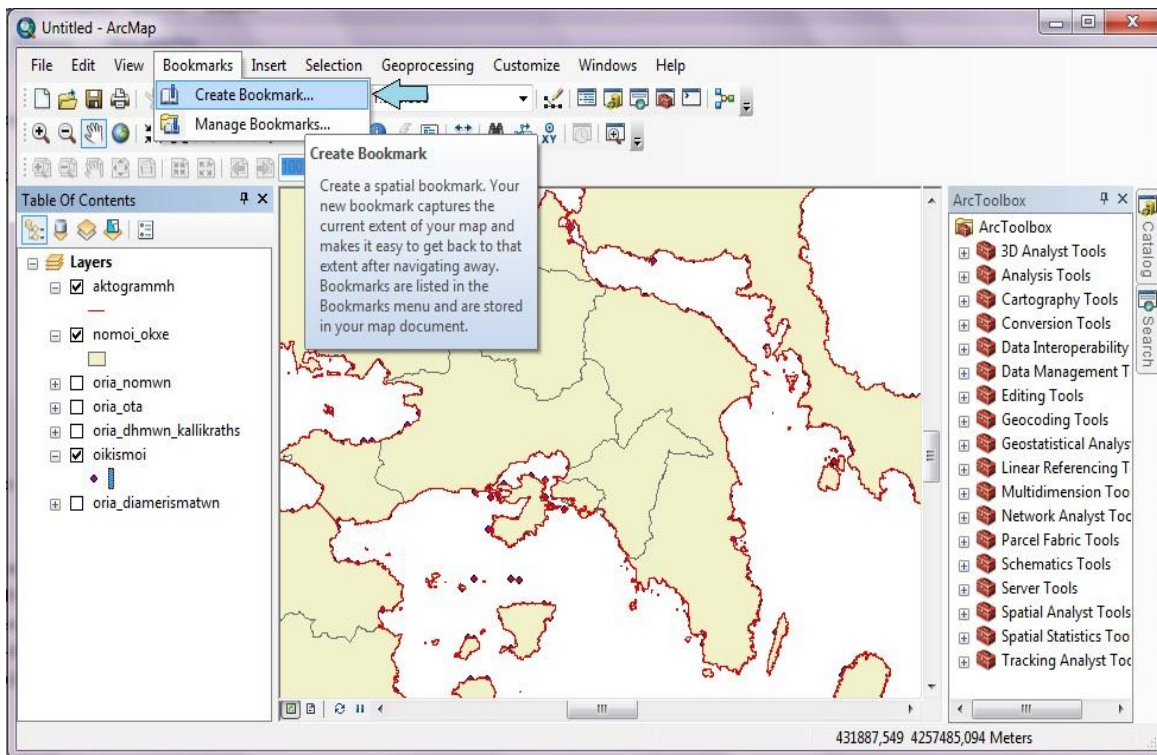
Στην εικόνα του Σχήματος 35 επαναφέρονται τα δεδομένα στη σειρά με την οποία θα εμφανίσουμε τη βέλτιστη δυνατή πληροφορία.



Σχήμα 35. Αλλαγή σειράς των επιπέδων (layers) που μας επιτρέπει πληρέστερη πληροφόρηση.

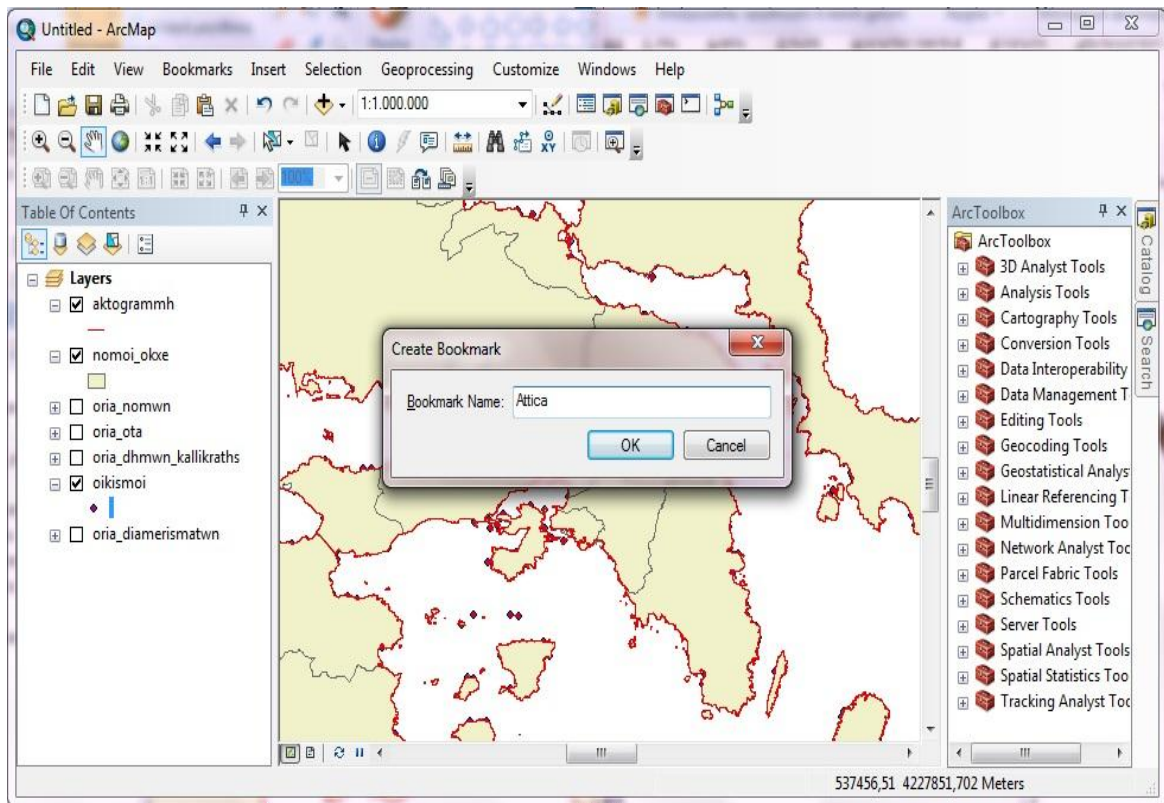


Μια επιλογή που μπορούμε να έχουμε για να αλλάζουμε γρήγορα κλίμακα και σημεία στο χάρτη είναι να προσθέσουμε σελιδοδείκτη από την επιλογή του menu: “Bookmarks”



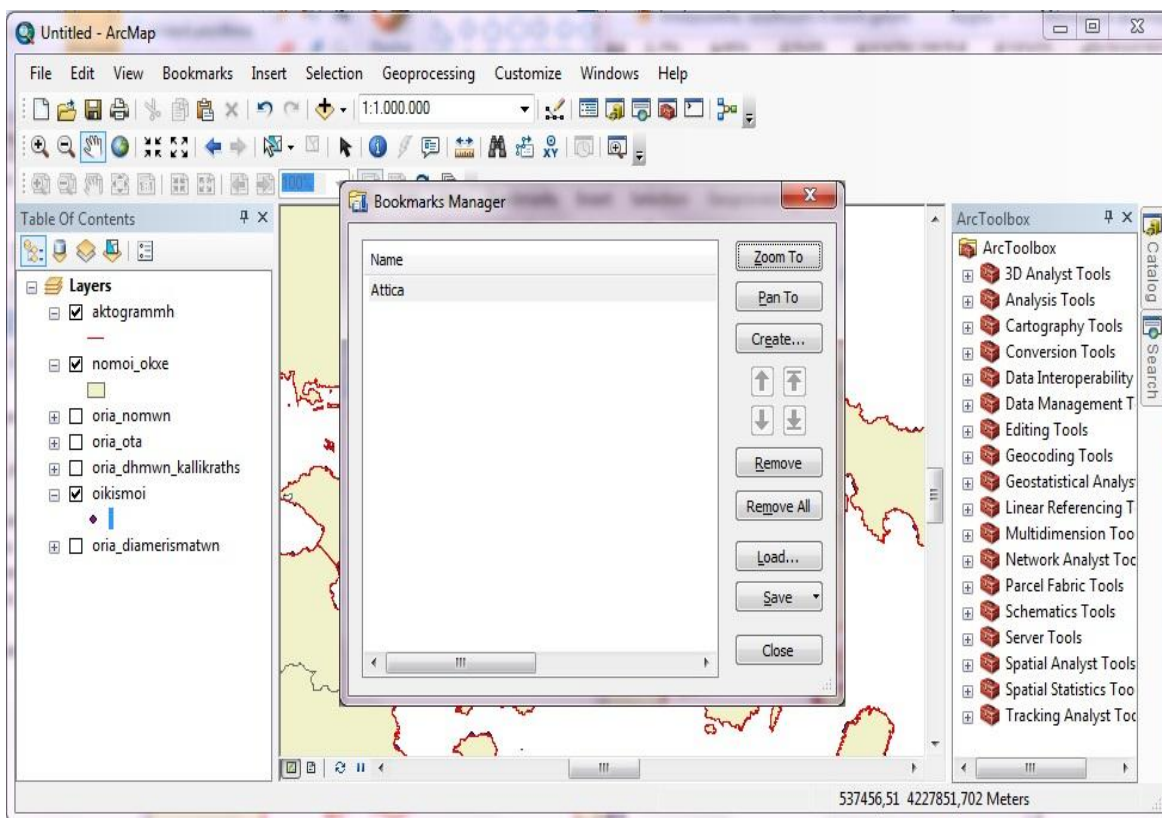
Σχήμα 36. Μενού επιλογής σελιδοδεικτών και αποθήκευσης.

Από το αναδυόμενο μενού επιλέγουμε “Create Bookmark” και στη συνέχεια, στο παράθυρο διαλόγου που θα εμφανιστεί, σημειώνουμε το επιθυμητό όνομα.



Σχήμα 37. Παράθυρο αποθήκευσης νέου σελιδοδείκτη.

Σε περίπτωση που έχουμε αρκετούς σελιδοδείκτες μπορούμε να τους διαχειριστούμε από την επιλογή “Bookmarks Manager” την οποία μπορούμε να βρούμε επίσης κάτω από το menu Bookmarks.



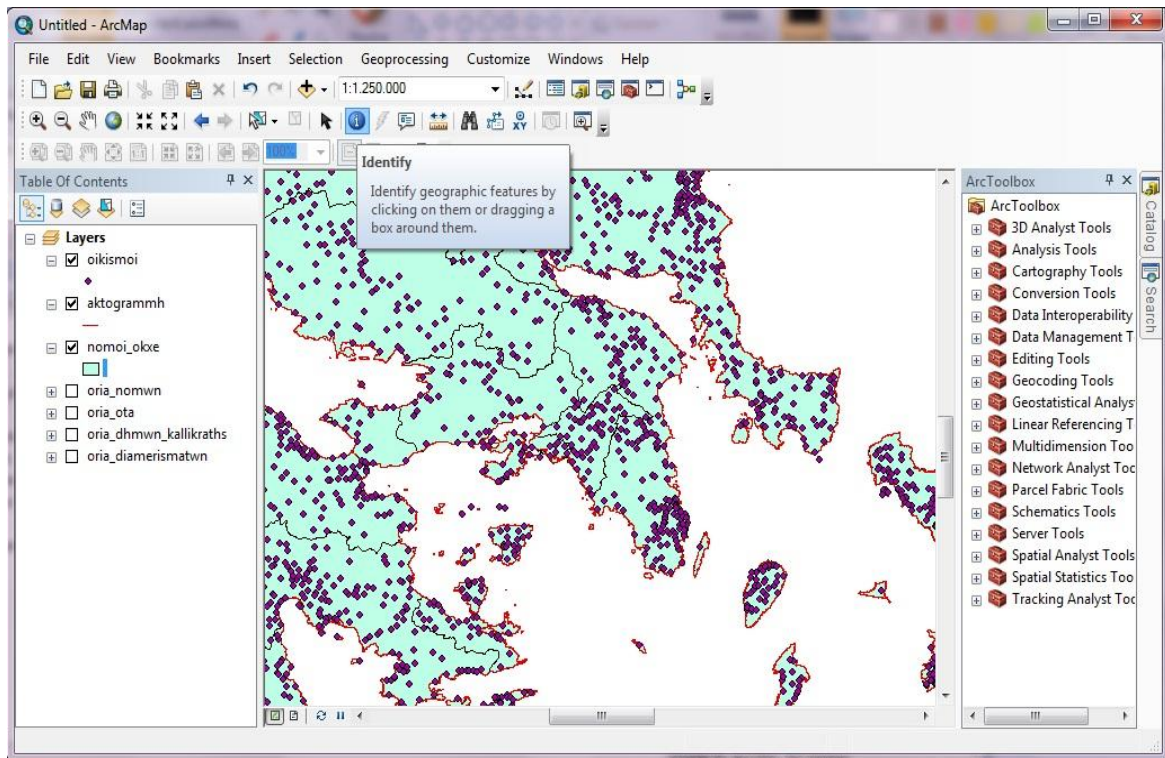
Σχήμα 38. Παράθυρο διαχείρισης σελιδοδεικτών.

Στο παράθυρο που εμφανίζεται υπάρχουν οι επιλογές:

- “Zoom To” η οποία θα μας παραπέμψει στο κομμάτι του χάρτη (σημείο και κλίμακα) το οποίο έχουμε αποθηκεύσει
- “Pan To” η οποία θα μας «δείξει» στιγμιαία το σημείο ο οποίο έχουμε ορίσει ως σελιδοδείκτη.
- Τα βέλη πάνω και κάτω, από τα οποία το πρώτο ζεύγος μετακινεί τον επιλεγμένο σελιδοδείκτη μια θέση πάνω η κάτω αντίστοιχα και το δεύτερο ζεύγος, μετακινεί στη αρχή ή το τέλος αντίστοιχα. Η σειρά των bookmarks παίζει ρόλο στην εμφάνισή τους κάτω από την επιλογή “Bookmarks” του κεντρικού menu.
- “Remove” και “Remove All” τα οποία θα διαγράψουν τον επιλεγμένο ή όλους τους σελιδοδείκτες, αντίστοιχα.
- “Load” σε περίπτωση που θέλουμε να εισάγουμε κάποιο αρχείο με σελιδοδείκτες το οποίο είχαμε δημιουργήσει προηγουμένως ή μας έχει δοθεί.
- “Save” για να αποθηκεύσουμε τους σελιδοδείκτες σε αρχείο για μελλοντική

αναφορά η παροχή σε άλλους χρήστες.

Ένα από τα πιο χρήσιμα εργαλεία που παρέχει το Arc Map είναι το “identify”.

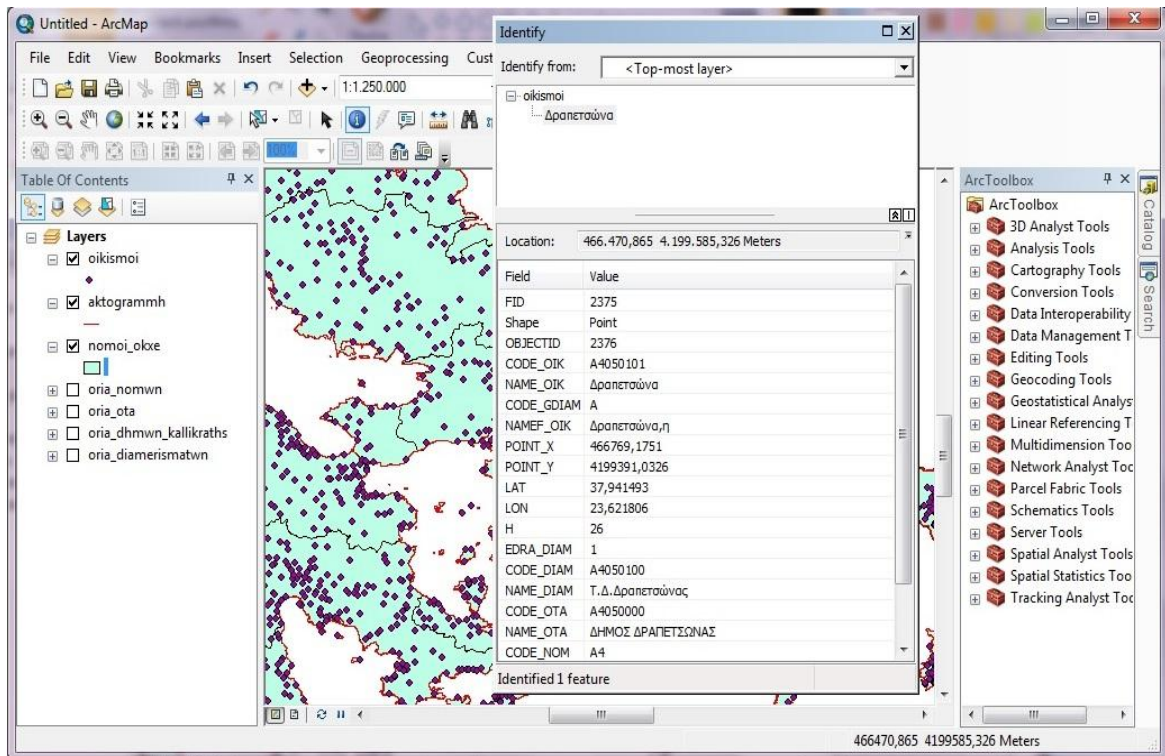


Σχήμα 39. Εργαλείο αναγνώρισης οντοτήτων.

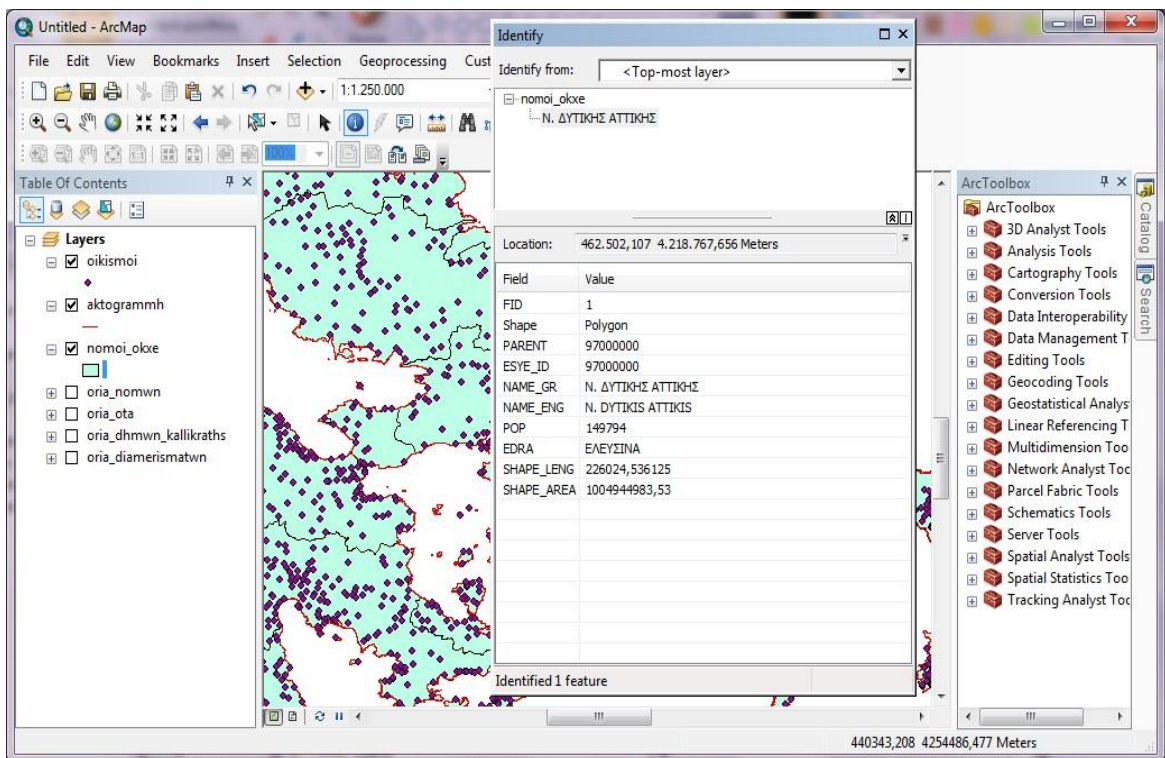
Με το identify μπορούν να πραγματοποιηθούν γρήγορες αναζητήσεις των δεδομένων που εμπεριέχουν τα διάφορα επίπεδα που υπάρχουν στον χάρτη, είτε αυτά είναι ορατά, είτε όχι. Οι αναζητήσεις μπορούν να γίνουν σε σημείο ή σε περιοχή, διαλέγοντας κομμάτι του χάρτη με τον επιλογέα που εμφανίζεται αφού επιλέξουμε το αντίστοιχο εικονίδιο. Κατά την επιλογή του σημείου ή της περιοχής που θέλουμε να εξάγουμε δεδομένα, εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο το οποίο δείχνει όλες τις πληροφορίες που υπάρχουν για την επιλογή.

Στο Σχήμα 40 βλέπουμε την επιλογή σημειακού αντικειμένου από σημειακό επίπεδο και τις πληροφορίες που παρέχονται, ενώ στο Σχήμα 41 εμφανίζονται οι πληροφορίες όταν στο σημείο που έχει επιλεγεί για αναγνώριση υπάρχει μόνο αντικείμενο από επιφανειακό επίπεδο.





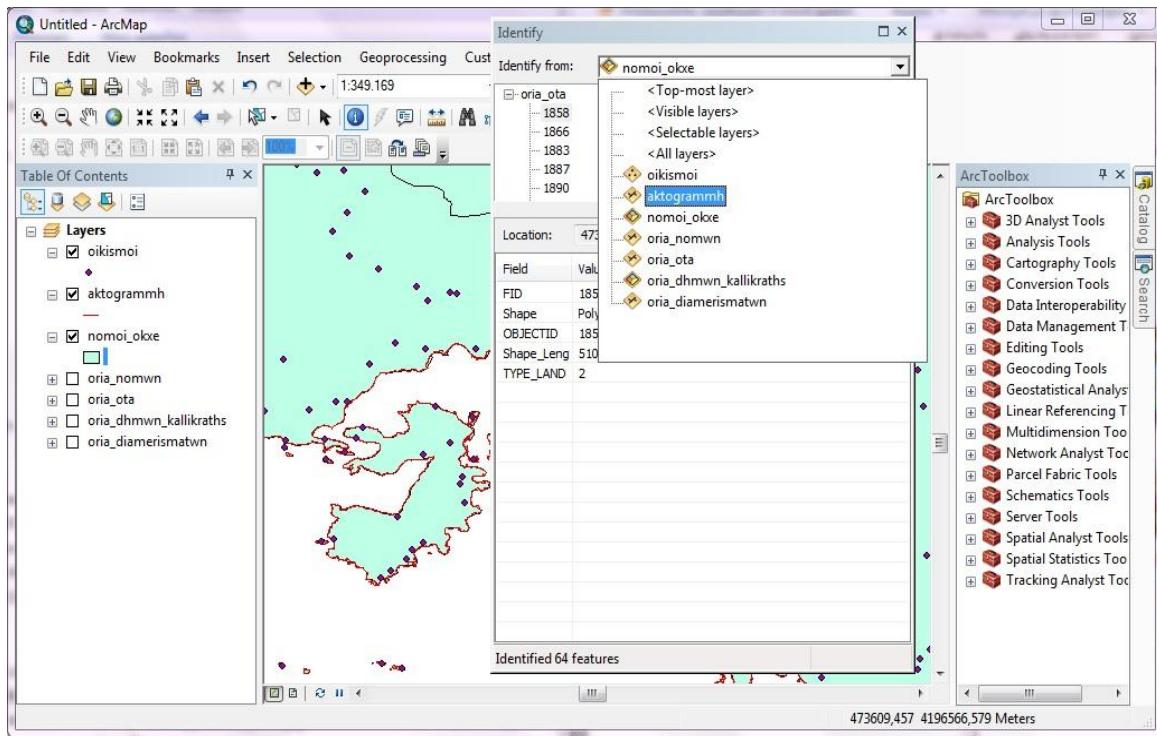
Σχήμα 40. Παράθυρο αποτελεσμάτων από την αναγνώριση οντοτήτων-αντικειμένων.



Σχήμα 41. Παράθυρο αποτελεσμάτων από την αναγνώριση οντοτήτων-αντικειμένων.

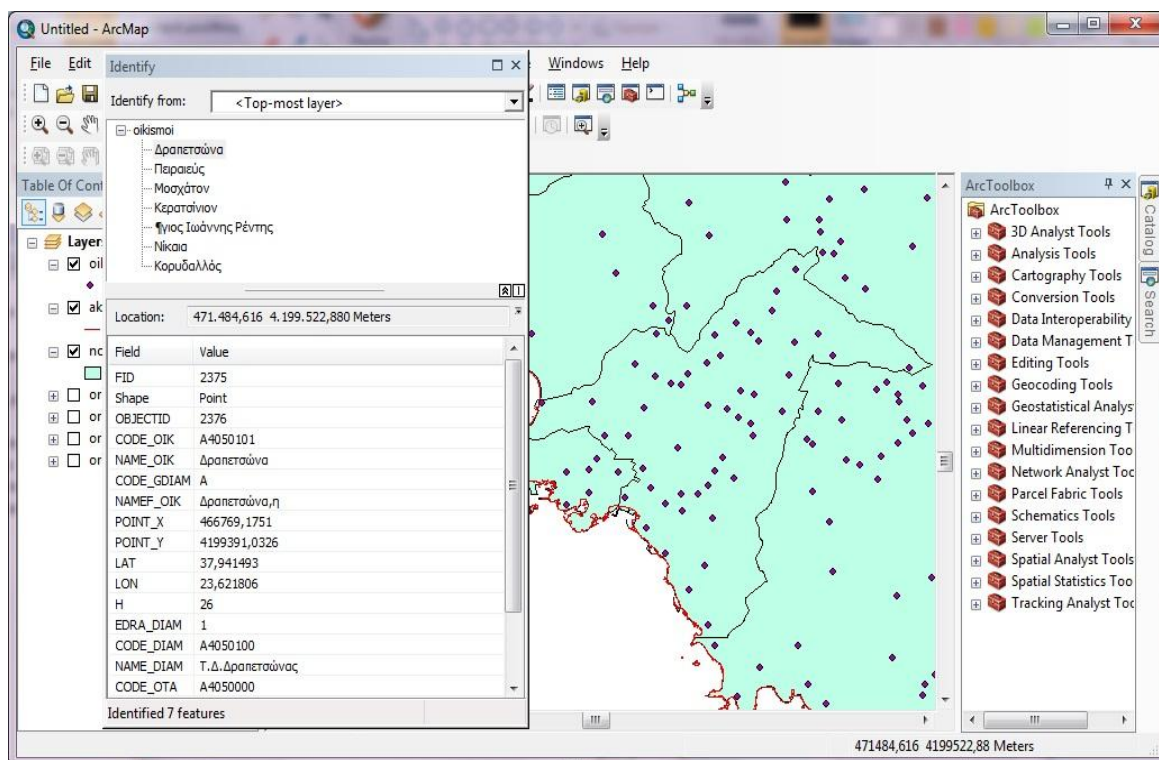
Στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότερα από ένα επίπεδα που παρέχουν πληροφορίες σε μια επιλεγμένη προς αναγνώριση περιοχή, υπάρχει η

δυνατότητα να ξεχωρίσουμε από ποια επίπεδα θα κρατήσουμε πληροφορίες.



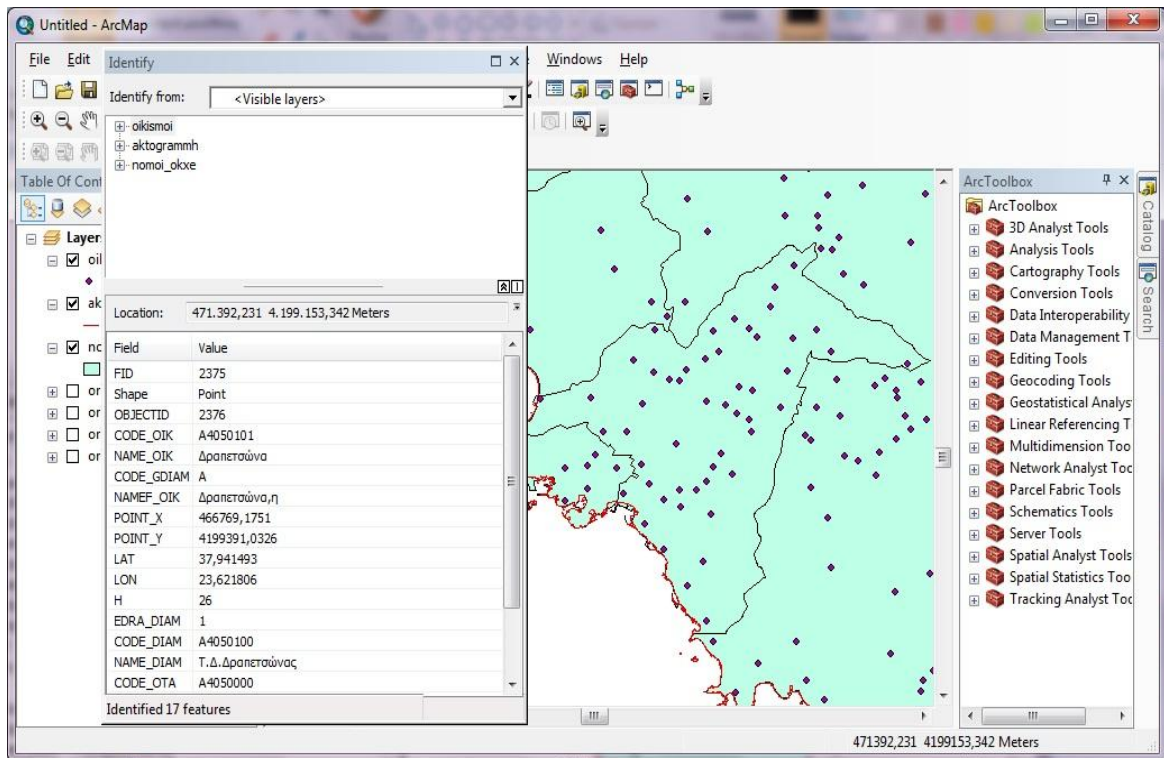
Σχήμα 42. Παράθυρο αποτελεσμάτων από αναγνώριση πολλαπλών οντοτήτων-αντικειμένων.

Όπως είδαμε στο Σχήμα 42 η λίστα επιλογών με όνομα “Identify from” δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει αν θα λάβει πληροφορία από το επίπεδο που βρίσκεται στη κορυφή (<Top-most layer>), τα ορατά επίπεδα (<Visible layers>), τα επιλέξιμα (<Selectable layers>), όλα τα επίπεδα που έχουμε εισάγει (<All layers>) και τέλος από κάποιο συγκεκριμένο.



Σχήμα 43. Παράθυρο αποτελεσμάτων από αναγνώριση πολλαπλών οντοτήτων-αντικειμένων.

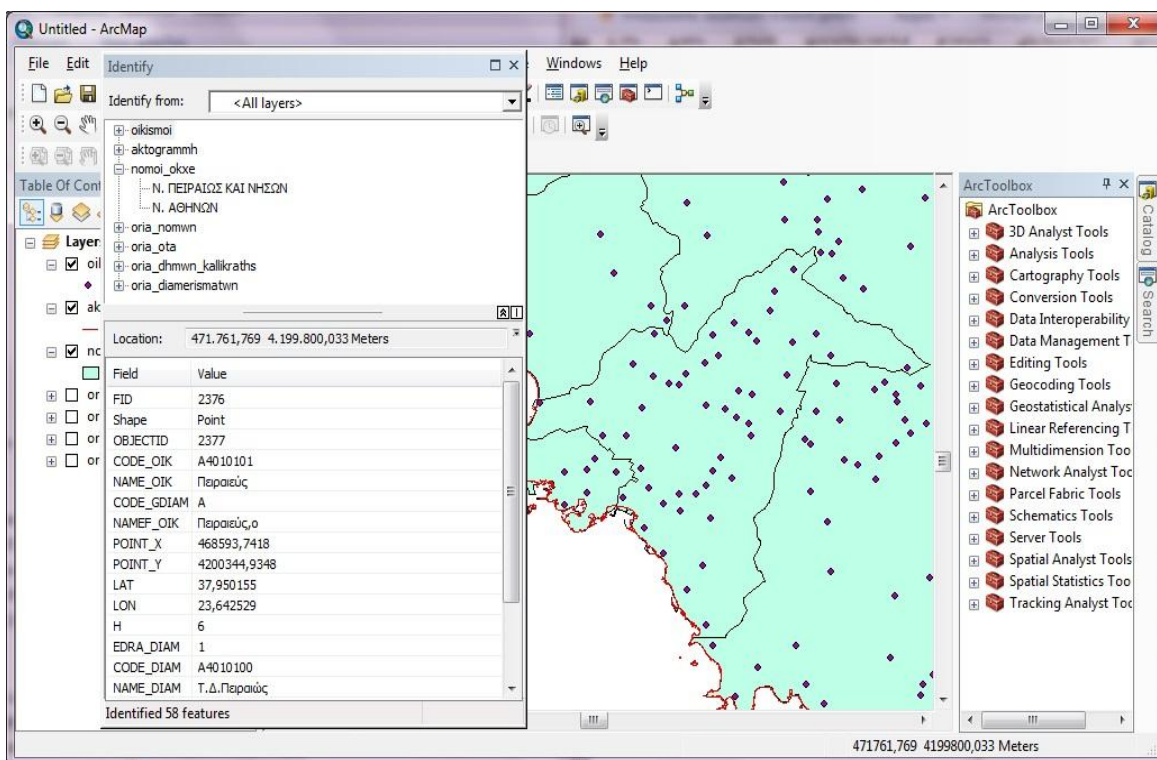
Για παράδειγμα, στο Σχήμα 43 βλέπουμε ότι έχει επιλεγεί το επίπεδο που βρίσκεται στην κορυφή (οικισμοί) και επιστρέφονται όλα τα δεδομένα που εμπεριέχονται στο εν λόγω επίπεδο. Για την ίδια περιοχή με το παραπάνω παράδειγμα, αν αλλαχθεί η επιλογή "Identify from:" και επιλεχθεί η αναζήτηση δεδομένων στα ορατά επίπεδα θα επιστραφούν τα αντικείμενα και δεδομένα των οικισμών, ακτογραμμής και νομών.



Σχήμα 44. Παράθυρο αποτελεσμάτων από αναγνώριση πολλαπλών οντοτήτων-αντικειμένων.

Επιλέγοντας το εκάστοτε αντικείμενο, στο κάτω μέρος του παραθύρου εμφανίζονται όλες οι πληροφορίες που παρέχονται για το αντικείμενο καθώς και η θέση του πάνω στον χάρτη.





Σχήμα 45. Παράθυρο αποτελεσμάτων από αναγνώριση πολλαπλών οντοτήτων-αντικειμένων.

Τέλος, με την επιλογή <All layers> εμφανίζονται όλα τα αντικείμενα με τις πληροφορίες τους, τα οποία εμπεριέχονται στην επιλεγμένη περιοχή, ανεξάρτητα από το αν έχουμε επιλέξει να εμφανίζεται ή όχι το επίπεδο στο οποίο εμπεριέχονται.

## 2.2 Δεδομένα προς εισαγωγή

Ο Πίνακας 1 αποτελεί τον πίνακα των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα μελέτη.

Πίνακας 1. Οι χρησιμοποιούμενοι βροχομετρικοί σταθμοί για την περίοδο 1951-2000.

α/α	Σταθμός	Γεωγ. Μηκ.	Γεωγ. Πλατ.	Ύψος (m)	MT <sup>2</sup> (mm)	b <sup>3</sup> (mm/έτος)	b* <sup>4</sup> (mm/έτος)
1	Αθήνα	23 <sup>0</sup> 58' E	37 <sup>0</sup> 58' N	107	386.6	-0.961	-0.572
2	Αλιάρτος	23 <sup>0</sup> 06' E	38 <sup>0</sup> 23' N	110	603.3	-5.689*	-4.232*
3	Κέρκυρα	19 <sup>0</sup> 55' E	39 <sup>0</sup> 37' N	4	1112.9	-9.299*	-9.506*
4	Ιωάννινα	20 <sup>0</sup> 51' E	39 <sup>0</sup> 40' N	484	1100.5	-9.210*	-7.857*
5	Άραξος	21 <sup>0</sup> 24' E	38 <sup>0</sup> 10' N	15	682.7	-1.641	-1.070
6	Τρίπολη	22 <sup>0</sup> 24' E	37 <sup>0</sup> 32' N	652	777.9	-4.980*	-4.164*
7	Κύθηρα	23 <sup>0</sup> 01' E	36 <sup>0</sup> 08' N	167	540.3	-2.628*	-2.451*
8	Τρίκαλα	21 <sup>0</sup> 46' E	39 <sup>0</sup> 33' N	110	735.8	-3.337*	-2.940*
9	Λάρισα	22 <sup>0</sup> 25' E	39 <sup>0</sup> 38' N	73	436.9	-1.929	-0.990
10	Θεσ/νίκη	22 <sup>0</sup> 58' E	40 <sup>0</sup> 38' N	40	454.1	-2.151*	-1.332
11	Αλ/πολη	25 <sup>0</sup> 53' E	40 <sup>0</sup> 51' N	3	545.7	-3.381*	-2.324*
12	Λήμνος	25 <sup>0</sup> 14' E	39 <sup>0</sup> 45' N	3	487.2	-1.923	-1.744
13	Μυτιλήνη	26 <sup>0</sup> 36' E	39 <sup>0</sup> 04' N	3	656.8	-3.529*	-2.623*
14	Μήλος	24 <sup>0</sup> 26' E	36 <sup>0</sup> 44' N	165	419.8	-1.047	-1.240
15	Κως	27 <sup>0</sup> 06' E	36 <sup>0</sup> 48' N	129	691.8	-7.783*	-6.620*
16	Ηράκλειο	25 <sup>0</sup> 11' E	35 <sup>0</sup> 20' N	39	470.0	-1.228	-0.863
17	Σητεία	26 <sup>0</sup> 06' E	35 <sup>0</sup> 12' N	115	486.8	-2.519*	-2.696*
18	Μεθώνη	21 <sup>0</sup> 42' E	36 <sup>0</sup> 50' N	52	708.6	-4.394*	-4.013*
19	Αγρίνιο	21 <sup>0</sup> 23' E	38 <sup>0</sup> 37' N	47	936.2	-4.590*	-3.867*
20	Κοζάνη	21 <sup>0</sup> 47' E	40 <sup>0</sup> 17' N	626	506.6	-4.937*	-2.604*
21	Σκύρος	24 <sup>0</sup> 33' E	38 <sup>0</sup> 54' N	18	437.6	-6.780*	-5.360*

(\*) : Στατιστικά σημαντική τάση, σε επίπεδο σημαντικότητας 95%

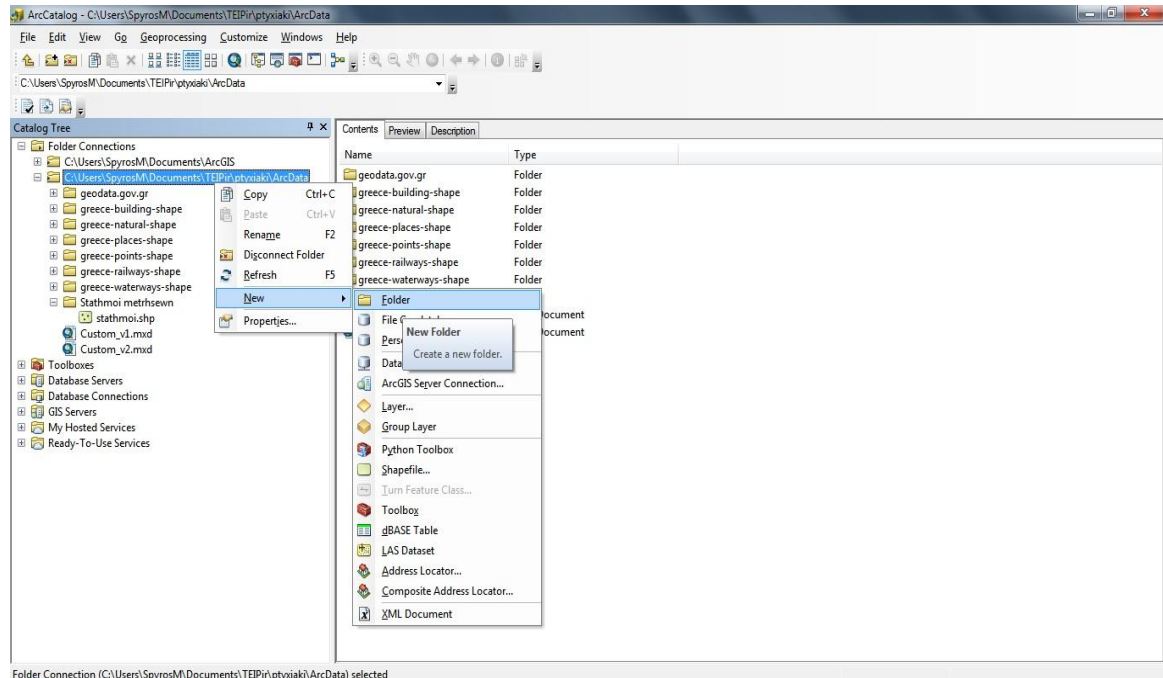
<sup>2</sup> MT : μέση ετήσια βροχόπτωση για την εξεταζόμενη χρονική περίοδο

<sup>3</sup> b\* : Ρυθμός μεταβολής της βροχόπτωσης κατά τη βροχερή περίοδο

<sup>4</sup> b : Ρυθμός μεταβολής της βροχόπτωσης κατά την χρονική περίοδο 1951-2000

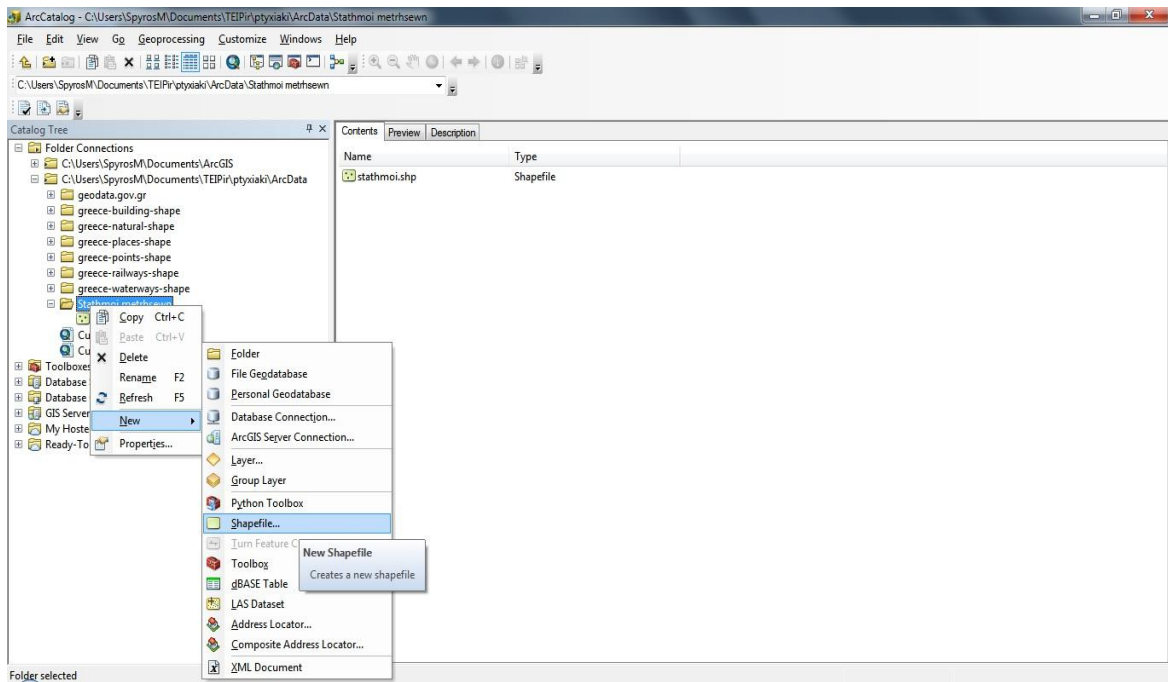
## 2.3 Εισαγωγή των μετρήσεων.

Το πρώτο βήμα για την εισαγωγή των τιμών του Πίνακα 1 στο ArcGIS είναι η δημιουργία ενός νέου φάκελου εργασίας, μέσα από το εργαλείο ArcCatalog όπως στο Σχήμα 46.



Σχήμα 46. Νέος φάκελος εργασίας.

Στον εν λόγω φάκελο θα δημιουργήσουμε ένα νέο shapefile το οποίο θα περιέχει τον πίνακα των δεδομένων μας, όπως επίσης τα νέο group layer και layers. Στο σχήμα 47 βλέπουμε το φάκελο που έχουμε ονομάσει “Stathmoi metrhsewn” και το νέο shapefile με όνομα “stathmoi.shp”.

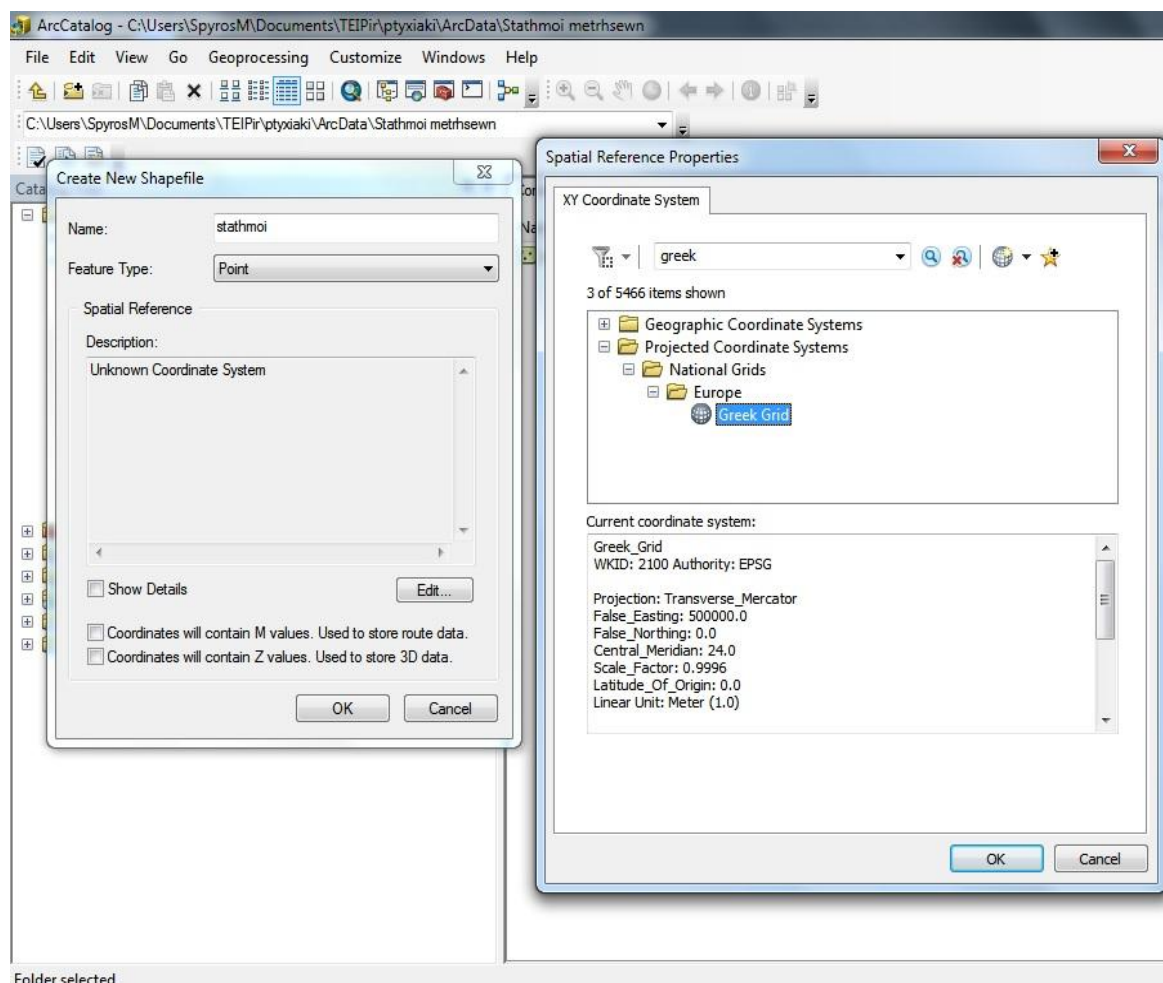


Σχήμα 47. Εισαγωγή νέου Shapefile.

Το πρώτο βήμα αφού δώσουμε όνομα στο Shapefile μας είναι να ορίσουμε το XY Coordinate System\* που θα χρησιμοποιεί.

---

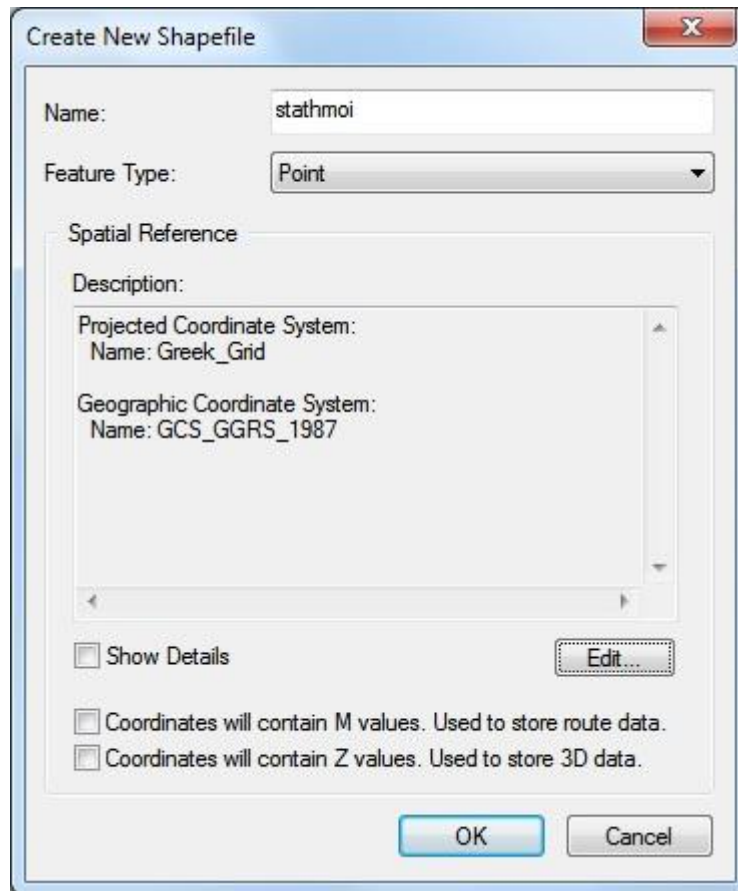
\* XY Coordinate System είναι το εργαλείο ορισμού του συστήματος συντεταγμένων που θα χρησιμοποιεί το Arc GIS για να τοποθετήσει το Shapefile με ένα δεδομένο τρόπο πάνω στο χάρτη.



Σχήμα 48. Ιδιότητες νέου Shapefile.

Αρχικά το νέο Shapefile δεν χρησιμοποιεί κάποιο γνωστό σύστημα συντεταγμένων, πόσο μάλλον το ίδιο σύστημα που χρησιμοποιούν τα υπόλοιπα Shapefiles που θα απεικονιστούν. Είναι προφανές ότι ο σκοπός μας είναι να έχουμε ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων που θα διέπει όλα τα Shapefiles, ούτως ώστε ο ορισμός ενός σημείου στον χάρτη να συμπίπτει σε όλα τα layers του χάρτη. Όπως μπορούμε να δούμε στο Σχήμα 48, αρχικά το σύστημα συντεταγμένων δεν αναγνωρίζεται από την εφαρμογή και παρουσιάζεται ως “Unknown Coordinate System” στο πεδίο Description της περιοχής Spatial Reference. Για να ορίσουμε το ζητούμενο σύστημα συντεταγμένων πρέπει να έχουμε ήδη σημειώσει σε ποιο είναι ορισμένα τα υπόλοιπα Shapefiles ώστε να βασιστούμε σε αυτό. Πατώντας το πλήκτρο «Edit...» που εμφανίζεται κάτω από το πεδίο Description ώστε να μας εμφανιστεί το παράθυρο στο οποίο θα γίνει η επιλογή. Στην προκειμένη περίπτωση ψάχνουμε το ελληνικό σύστημα “Greek Grid” βάζοντας στο φίλτρο τη λέξη κλειδί “greek” ή επιλέγοντας από την λίστα.

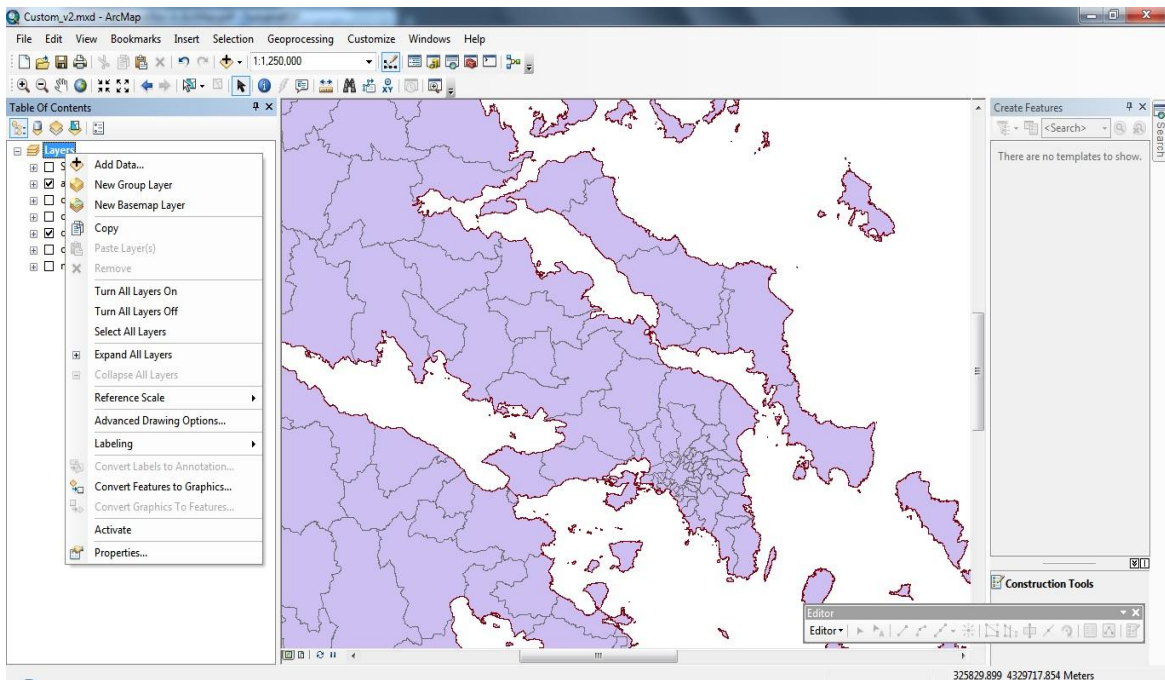
Αφού γίνει αυτή η επιλογή, στο πεδίο Description θα εμφανιστεί το σωστό σύστημα συντεταγμένων όπως βλέπουμε στο Σχήμα 49.



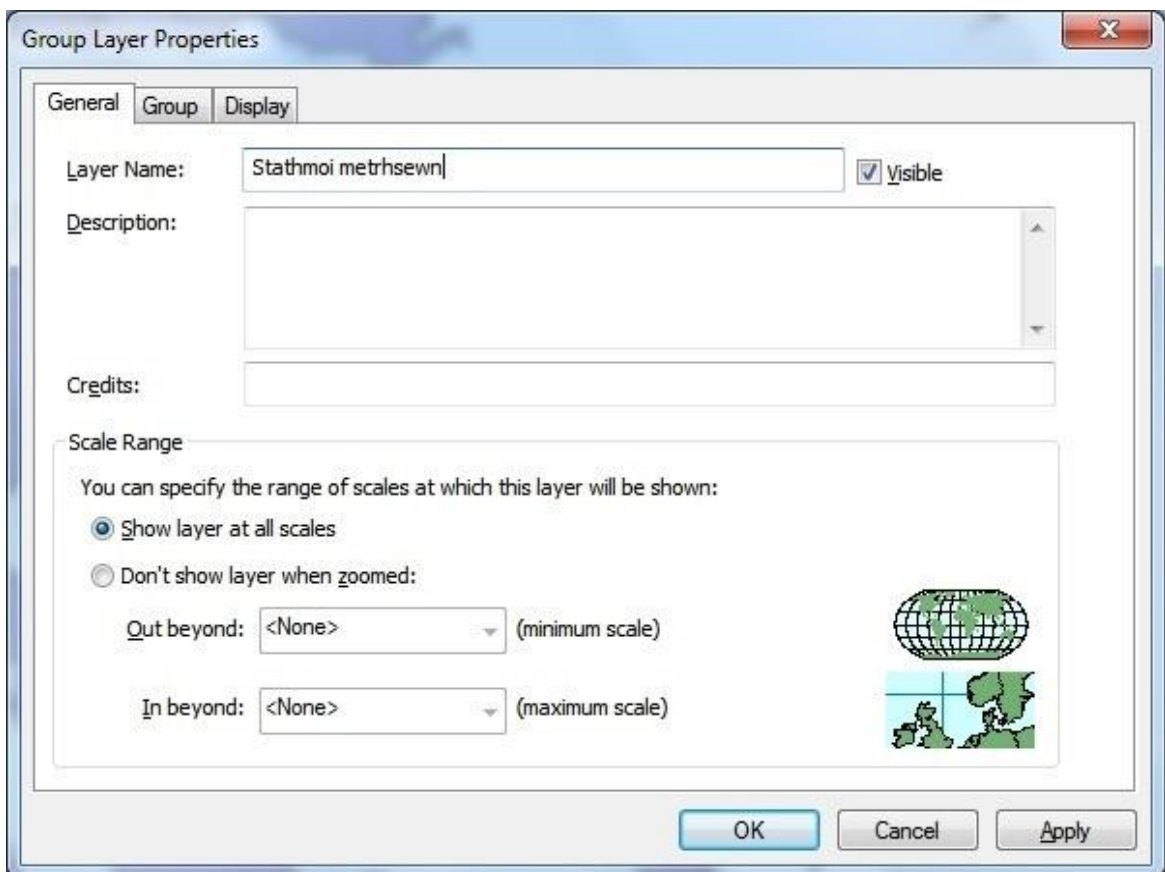
Σχήμα 49. Νέο Shapefile με το ζητούμενο σύστημα συντεταγμένων.

Το επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή των δεδομένων αφού δημιουργήσουμε ένα νέο Group Layer για να εισαχθεί το Shapefile που δημιουργήσαμε προηγουμένως.





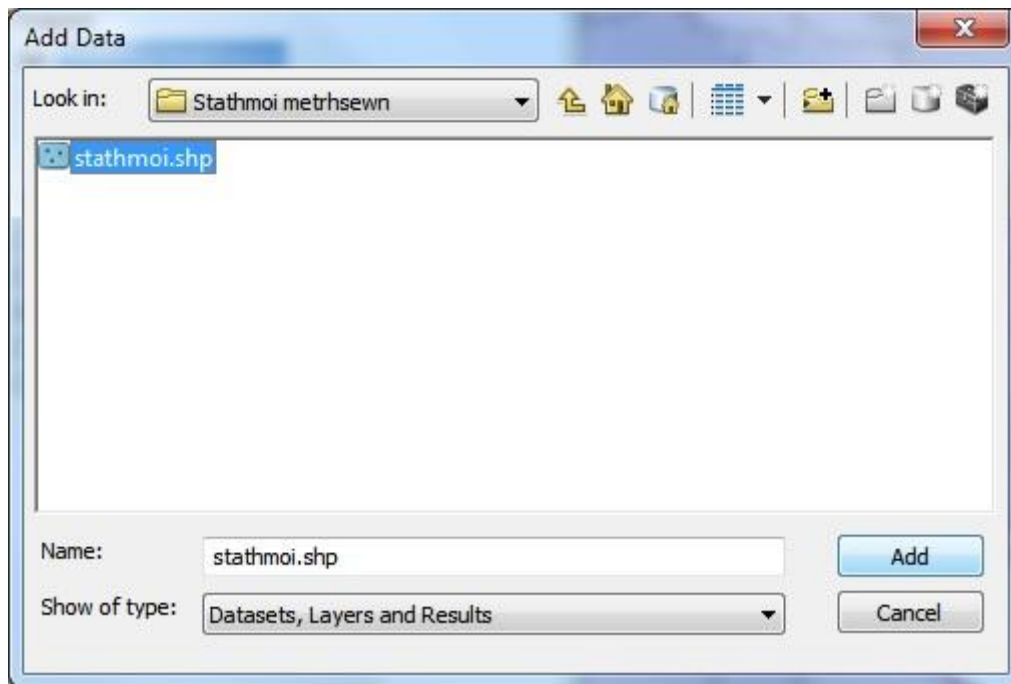
Σχήμα 50. Νέο Group Layer και εισαγωγή δεδομένων.



Σχήμα 51. Ιδιότητες Group Layer.

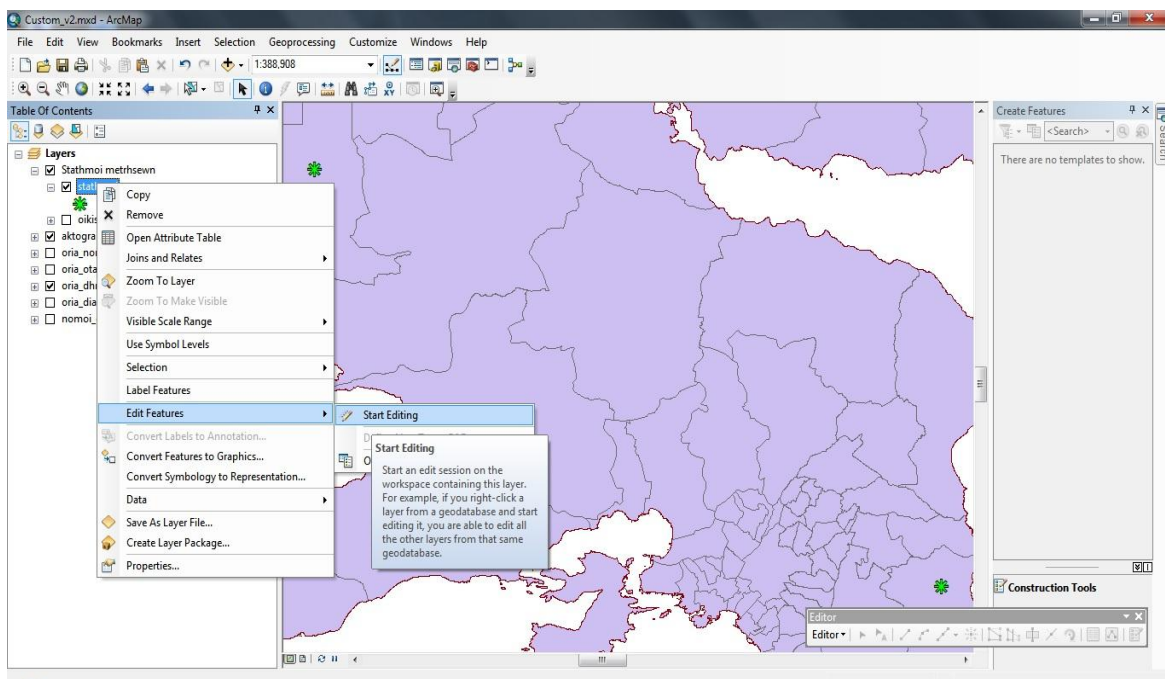
Αφού δημιουργήσουμε και επιλέξουμε το νέο μας Group Layer κάνουμε εκ νέου δεξί κλικ και επιλέγουμε "Add Data...". Στην οθόνη που θα μας εμφανιστεί

θα επιλέξουμε το Shapefile που δημιουργήσαμε προηγουμένως.



Σχήμα 52. Εισαγωγή δεδομένων στο Group Layer.

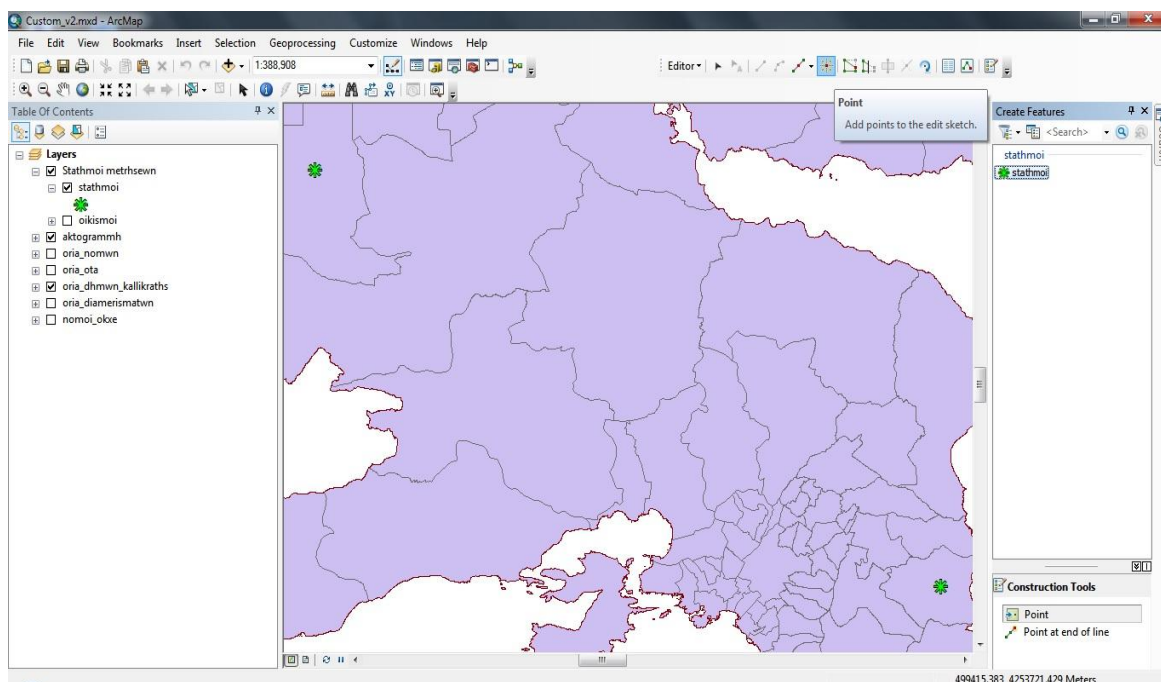
Για να ξεκινήσουμε να εισάγουμε τα δεδομένα, στο Shapefile θα πρέπει να επιλέξουμε με δεξί κλικ το Layer που έχει δημιουργηθεί από την εισαγωγή του Shapefile στο Group Layer. Από το αναδυόμενο μενού επιλέγουμε “Edit Features” → “Start Editing”.



Σχήμα 53. Έναρξη επεξεργασίας νέου Layer.

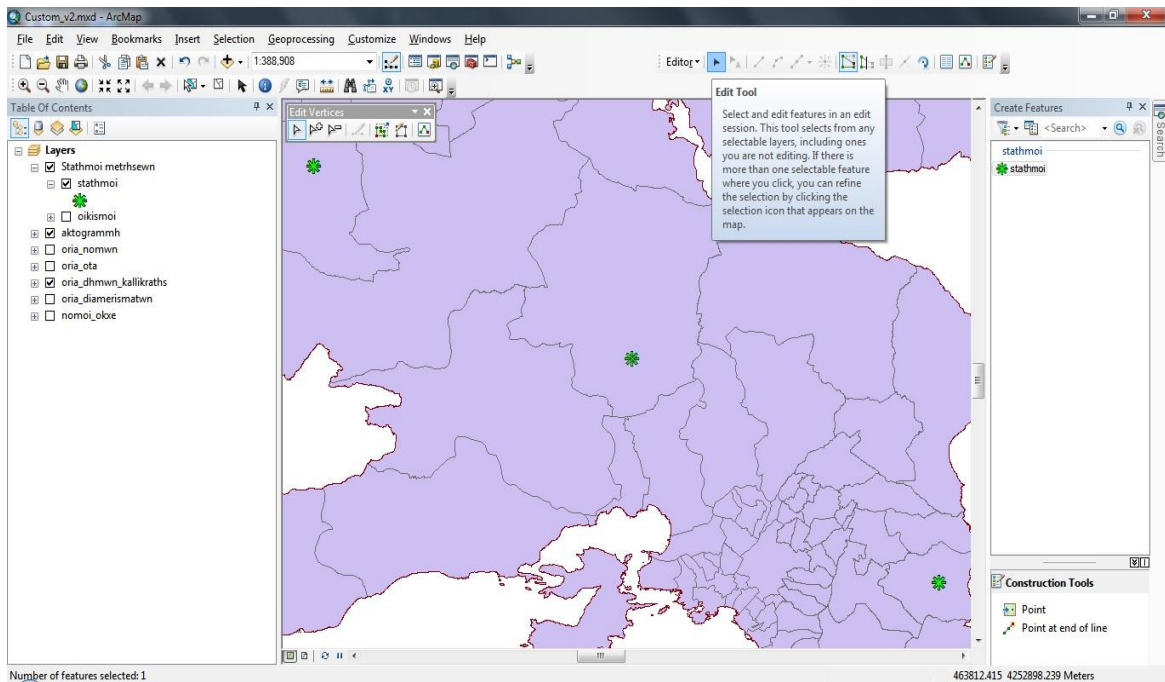


Με την επιλογή Start Editing θα εμφανιστεί ένα νέο toolbar στο οποίο θα υπάρχουν εργαλεία για την επεξεργασία των σημείων. Αρχικά θα εισαχθούν τα σημεία που αντιπροσωπεύουν τις θέσεις των σταθμών επάνω στο χάρτη. Κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Point” ενεργοποιούμε τη δυνατότητα εισαγωγής σημείου στο layer το οποίο επεξεργαζόμαστε με τη χρήση του «ποντικιού» (mouse).



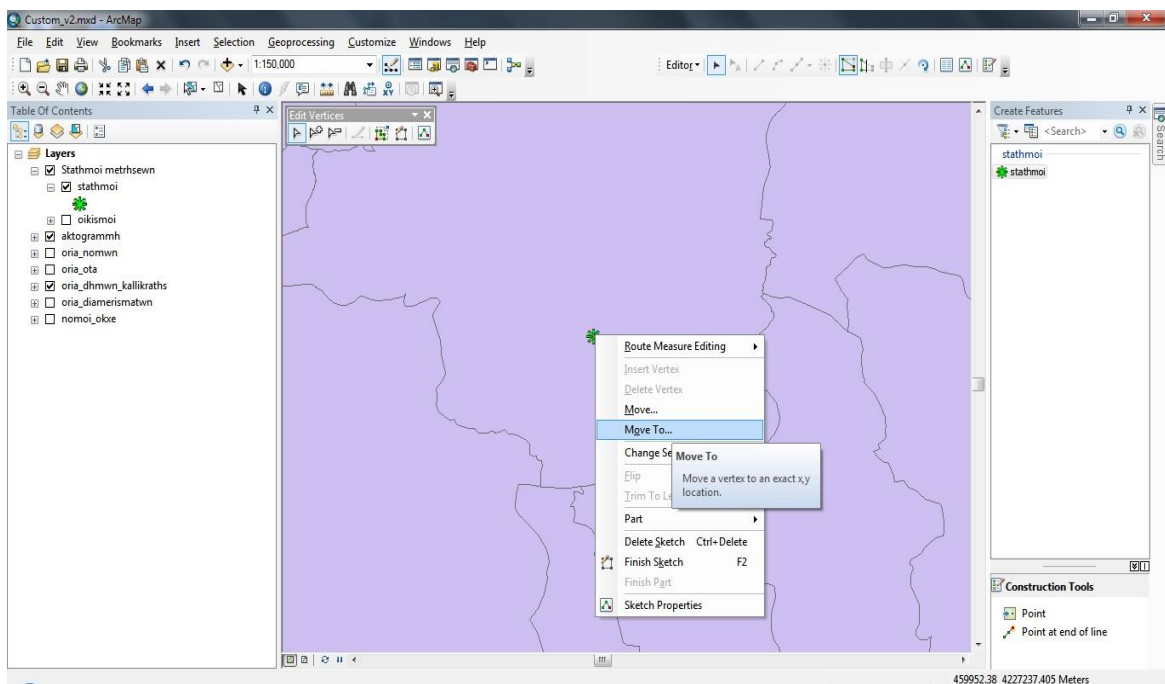
Σχήμα 54. Εργαλείο Point στο toolbar του editor.

Φυσικά, η εισαγωγή σημείου χειροκίνητα δεν έχει την απαιτούμενη ακρίβεια, γιατί εισάγουμε κατά προσέγγιση και στη συνέχεια επεξεργαζόμαστε το σημείο για να του ορίσουμε ακριβείς συντεταγμένες.



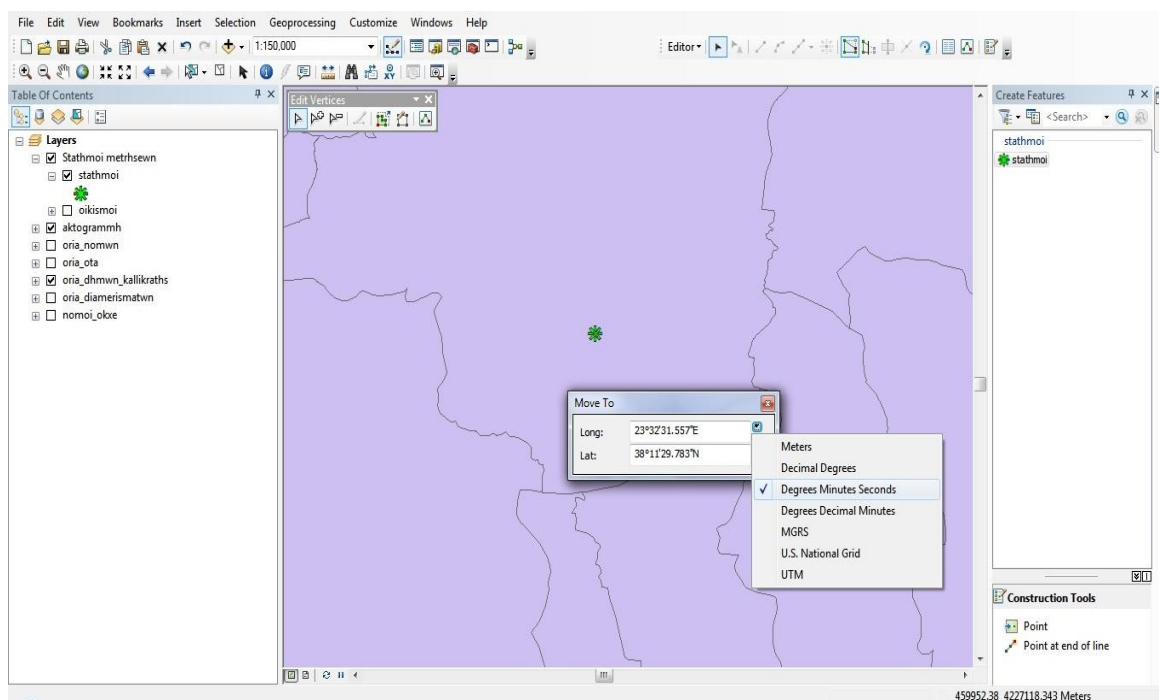
Σχήμα 55. Το Edit tool του Edit toolbar.

Αυτό επιτυγχάνεται επιλέγοντας το εργαλείο “Edit Tool” από το Edit Toolbar όπως φαίνεται στο Σχήμα 55, και στη συνέχεια κάνοντας δεξί κλικ στο σημείο που θέλουμε να μετακινήσουμε. Από το αναδυόμενο μενού επιλέγουμε “Move To ...” το οποίο θα μας εμφανίσει ένα νέο παράθυρο εισαγωγής συντεταγμένων για τη μετακίνηση του σημείου στην επιθυμητή θέση.



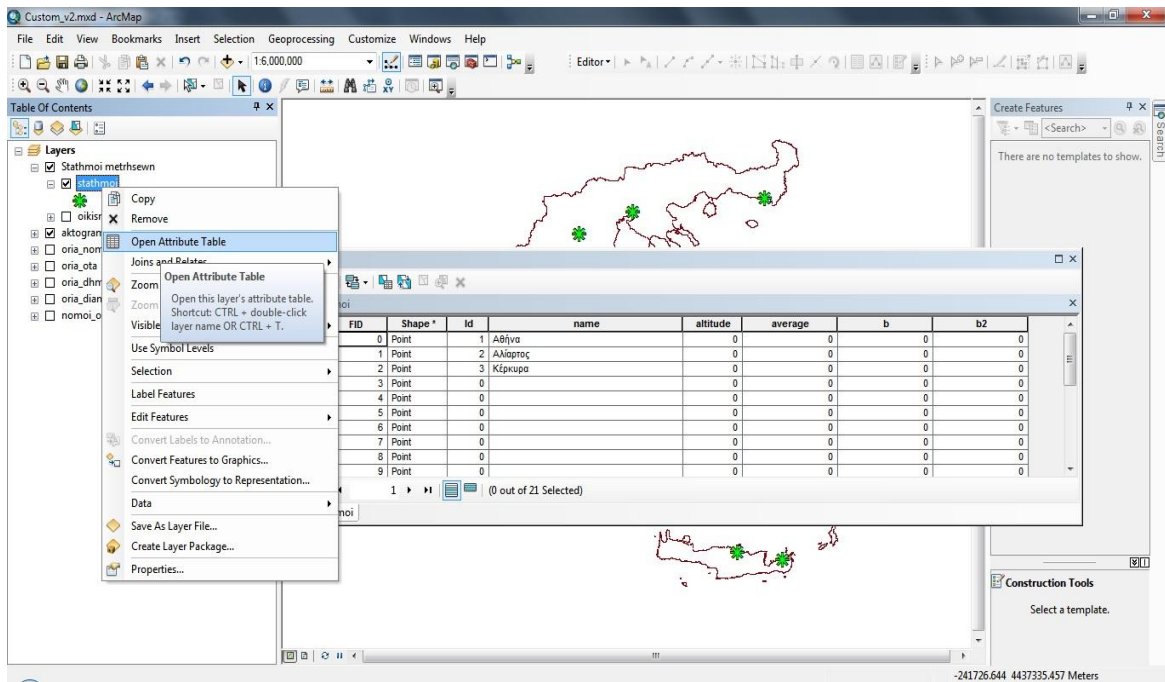
Σχήμα 56. Μετακίνηση σημείου μετά από δεξί κλικ σε αυτό.

Παρατηρούμε ότι κάνοντας κλικ στο βελάκι δεξιά των πεδίων μας δίνεται η δυνατότητα ορισμού της μορφής εισαγωγής των συντεταγμένων όπως φαίνεται στο Σχήμα 57.



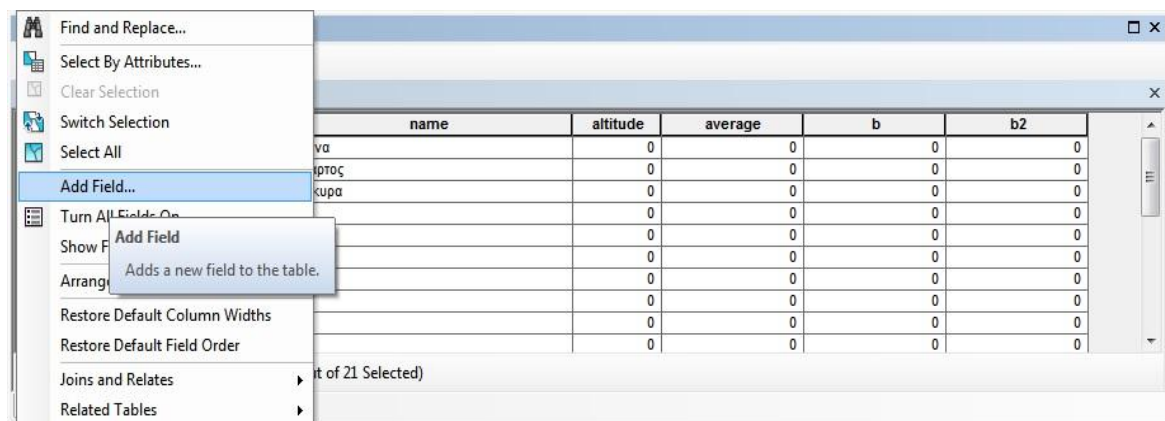
Σχήμα 57. Επιλογή μορφής εισαγωγής συντεταγμένων.

Σύμφωνα με τα δεδομένα του Πίνακα 1 οι συντεταγμένες των σταθμών έχουν τη μορφή «Μοίρες - Λεπτά - Δευτερόλεπτα» οπότε επιλέγουμε “Degrees Minutes Seconds” και εισάγουμε τις συντεταγμένες γεωγραφικού μήκους και γεωγραφικού πλάτους. Αφού επαναληφθεί η διαδικασία αυτή για τους 21 γνωστούς σταθμούς, μπορούν να εισαχθούν και τα υπόλοιπα δεδομένα του Πίνακα 1 για κάθε σταθμό. Για να δούμε και να επεξεργαστούμε τον πίνακα δεδομένων που υπάρχει μέσα στο Shapefile κάνουμε εκ νέου δεξί κλικ στο stathmoi.shp και επιλέγουμε “Open Attribute Table”.



Σχήμα 58. Άνοιγμα πίνακα δεδομένων του shapefile.

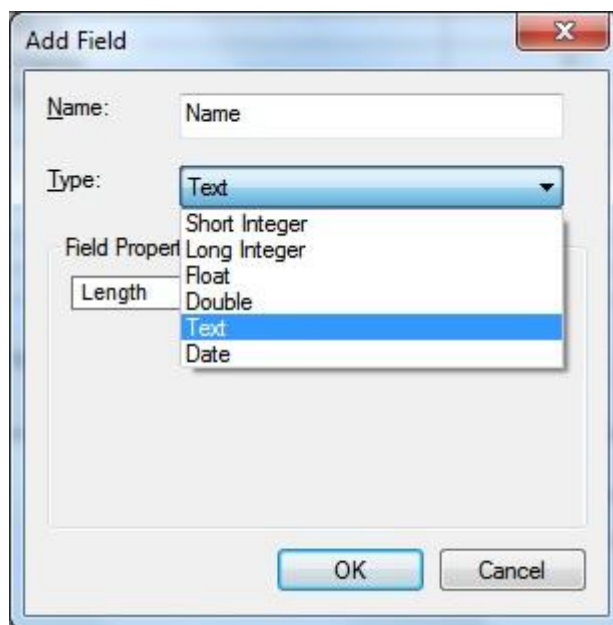
Πριν την εισαγωγή των δεδομένων θα πρέπει να δημιουργηθεί η δομή του πίνακα του Shapefile. Αυτό επιτυγχάνεται κάνοντας κλικ στο πλήκτρο του μενού του πίνακα και επιλέγοντας “Add Field...” από το αναδυόμενο μενού.



Σχήμα 59. Εισαγωγή νέου πεδίου στον πίνακα δεδομένων.

Στο νέο παράθυρο που εμφανίζεται ορίζουμε το όνομα του πεδίου και στον τύπο των τιμών επιλέγουμε τον κατάλληλο για το κάθε πεδίο. Αρχικά κάθε πίνακας έχει δύο πεδία, FID και Shape. Τα πεδία που προσθέτουμε εμείς είναι τα ακόλουθα (σύμφωνα με τον Πίνακα 1):

Σταθμός → name (Text)  
 Ύψος → altitude (Integer)  
 MT → average (Float)  
 b → b (Float)  
 b\* → b2 (Float)



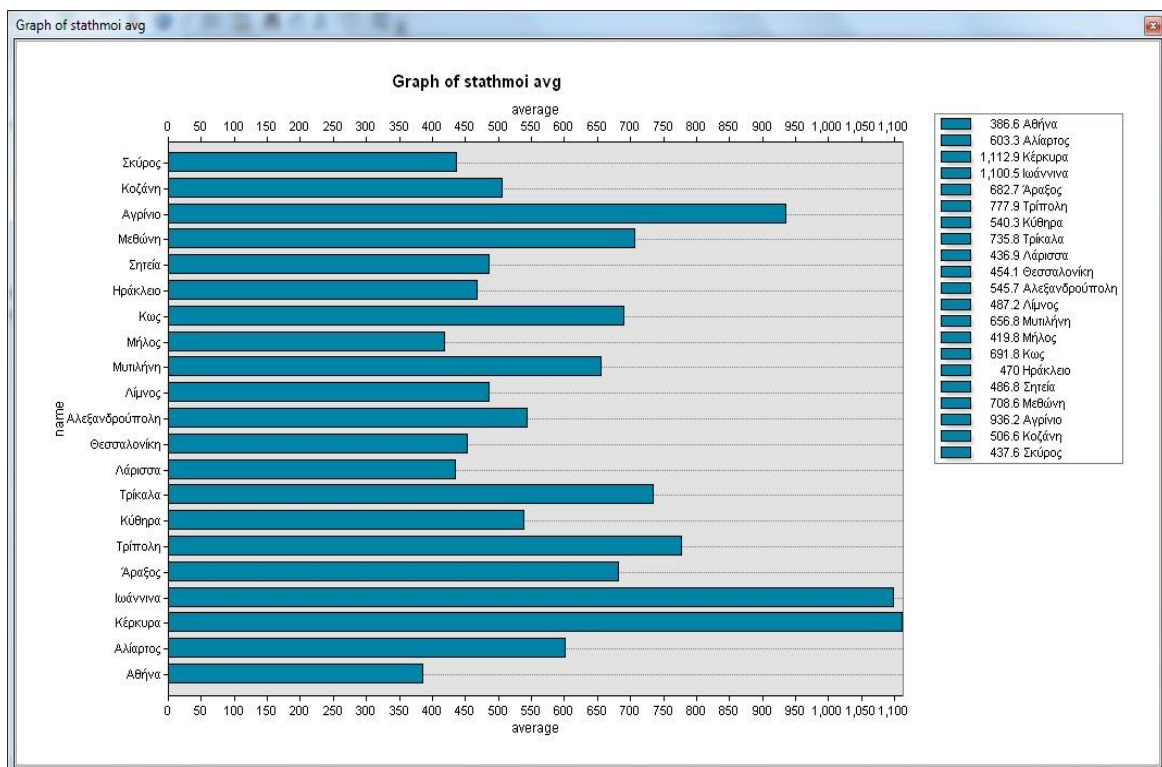
Σχήμα 60. Επιλογή τύπου πεδίου.

FID	Shape *	Id	name	altitude	average	b	b2
0	Point	1	Αθήνα	107	386.6	-0.961	-0.572
1	Point	2	Αλιάρτος	110	603.3	-5.689	-4.232
2	Point	3	Κέρκυρα	4	1112.9	-9.299	-9.506
3	Point	4	Κωσάννινα	484	1100.5	-9.21	-7.857
4	Point	5	Άραξος	15	682.7	-1.641	-1.07
5	Point	6	Τρίπολη	652	777.9	-4.98	-4.164
6	Point	7	Κύθηρα	167	540.3	-2.628	-2.451
7	Point	8	Τρίκαλα	110	735.8	-3.337	-2.94
8	Point	9	Λάρισα	73	436.9	-1.929	-0.99
9	Point	10	Θεσσαλονίκη	40	454.1	-2.151	-1.332
10	Point	11	Αλεξανδρούπολη	3	545.7	-3.381	-2.324
11	Point	12	Λίμνος	3	487.2	-1.923	-1.744
12	Point	13	Μυτιλήνη	3	656.8	-3.529	-2.623
13	Point	14	Μήλος	165	419.8	-1.047	-1.24
14	Point	15	Κως	129	691.8	-7.783	-6.62
15	Point	16	Ηράκλειο	39	470	-1.228	-0.863
16	Point	17	Σητεία	115	486.8	-2.519	-2.696
17	Point	18	Μεθώνη	52	708.6	-4.394	-4.013
18	Point	19	Αγρίνιο	47	936.2	-4.59	-3.867
19	Point	20	Κοζάνη	626	506.6	-4.937	-2.604
20	Point	21	Σκύρος	18	437.6	-6.78	-5.36

Σχήμα 61. Πίνακας δεδομένων στη βάση του ArcGIS.

Με την ολοκλήρωση του ορισμού των πεδίων, εισάγουμε τις τιμές για κάθε σταθμό. Η τελική μορφή του πίνακα θα είναι όπως εμφανίζεται στο Σχήμα 61.

Εάν επιθυμούμε να εξάγουμε γράφημα από τα δεδομένα του Πίνακα δεδομένων (Σχήμα 61), επιλέγουμε το πλήκτρο Graph από το παράθυρο του πίνακα και εμφανίζεται νέο παράθυρο όπως στο Σχήμα 62.



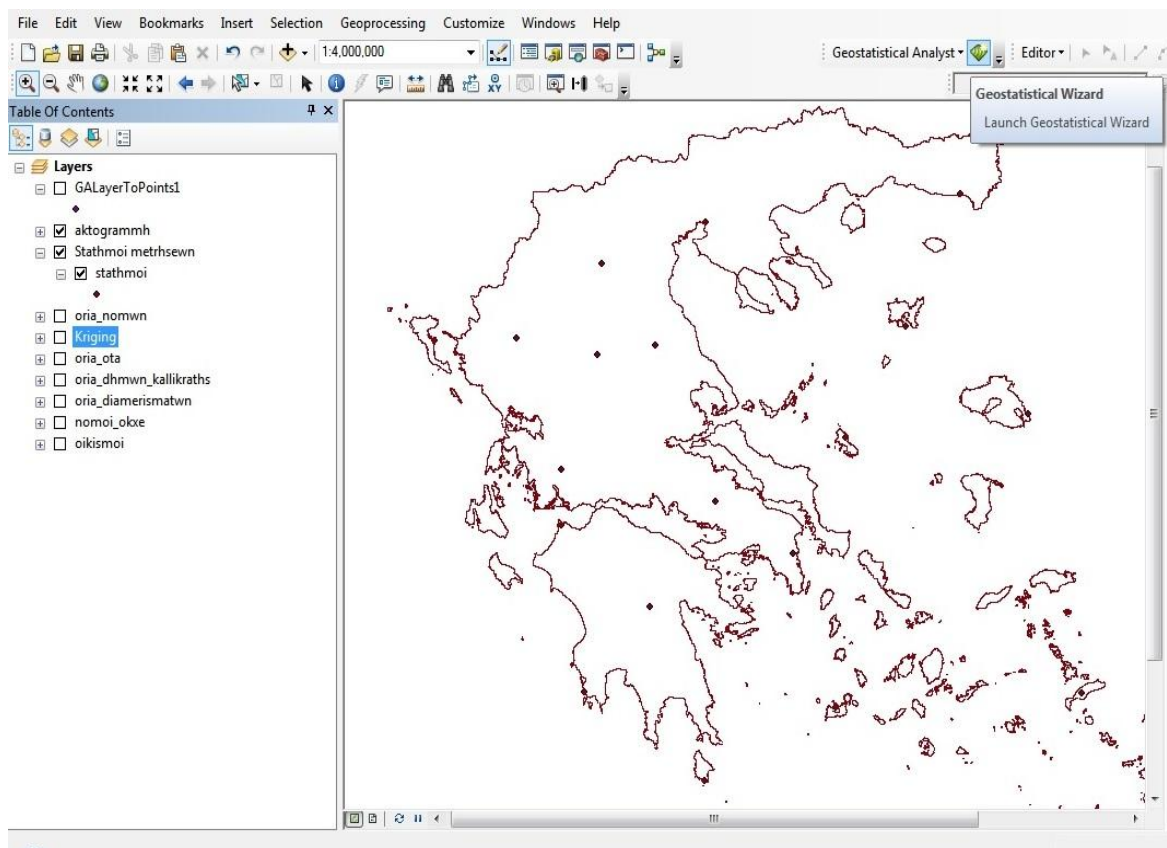
Σχήμα 62. Εξαγωγή αποτελεσμάτων σε γράφημα.



## 2.4 Γεωπληροφοριακή απεικόνιση των δεδομένων

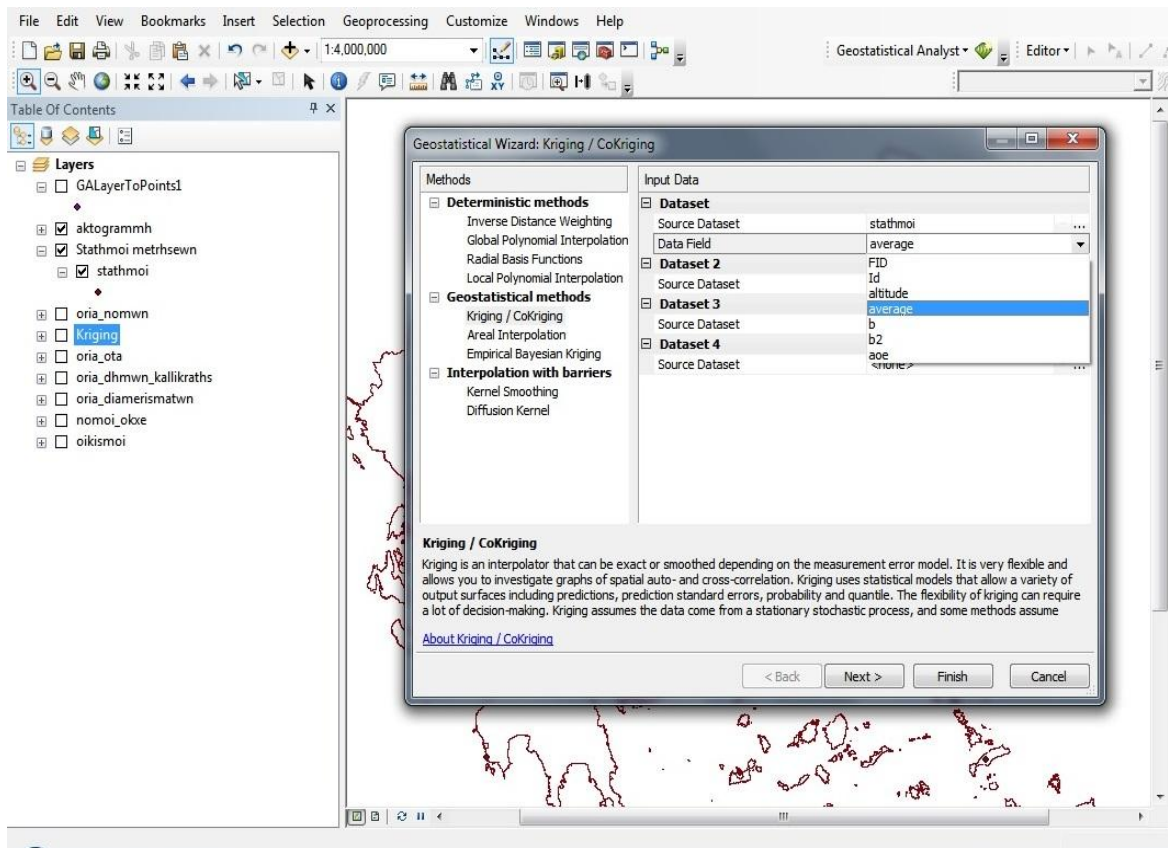
Προκειμένου να απεικονίσουμε τη διακύμανση του υετού σε όλο το εύρος του χάρτη της Ελλάδας θα εφαρμόσουμε χωρική παρεμβολή χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Kriging.

Στο ArcGIS πρέπει πρώτα να ενεργοποιήσουμε το extension που ονομάζεται “Geostatistical Analyst” επιλέγοντας από το μενού Customize → Extensions και στο αναδυόμενο παράθυρο επιλέγουμε το Geostatistical Analyst



Σχήμα 63. Geostatistical Analyst Toolbar.

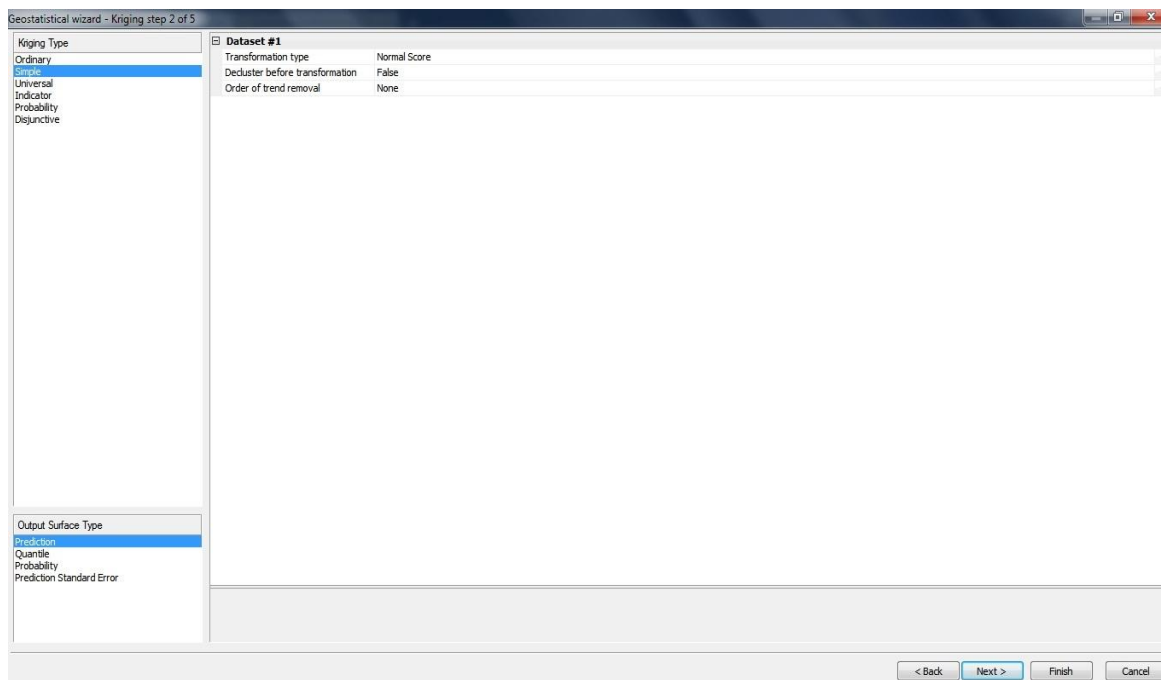
Κάνοντας δεξί κλικ στα Toolbars του ArcGIS έχουμε την επιλογή να εμφανίσουμε το Geostatistical Analyst Toolbar. Πατώντας το κουμπί Geostatistical Analyst Wizard εκκινούμε τον οδηγό που θα μας βοηθήσει να παράξουμε τις ζητούμενες πιθανές τιμές υετού για τα άγνωστα σημεία του πλέγματος (κανάβου).



Σχήμα 64. Πρώτο βήμα του Geostatistical Analyst Wizard: Επιλογή μεθόδου και δεδομένων.

Από το πρώτο βήμα του οδηγού επιλέγουμε στα αριστερά τη μέθοδο “Kriging/CoKriging”. Στα δεξιά κάτω από το Input Data ορίζουμε τον πίνακα και στο Data Field ορίζουμε το συγκεκριμένο πεδίο του πίνακα από το οποίο θα αντληθούν τα δεδομένα.





Σχήμα 65. Δεύτερο βήμα Geostatistical Analyst Wizard: επιλογή τύπου μεθόδου Kriging

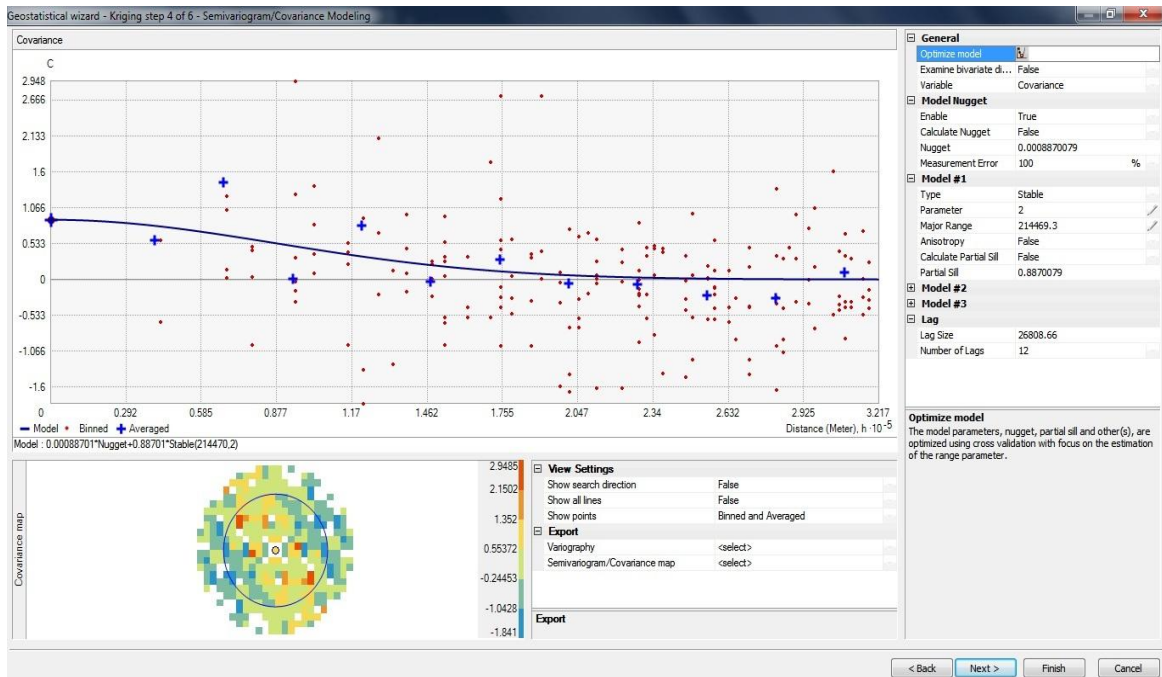
Στο επόμενο βήμα, Πατώντας Next, επιλέγουμε τον τύπο μεθόδου Kriging που θα εφαρμόσουμε καθώς και τον τύπο της παραγόμενης επιφάνειας.



Σχήμα 66. Τρίτο βήμα Geostatistical Analyst Wizard: παραμετροποίηση μοντέλου ημιβαριογράμματος.

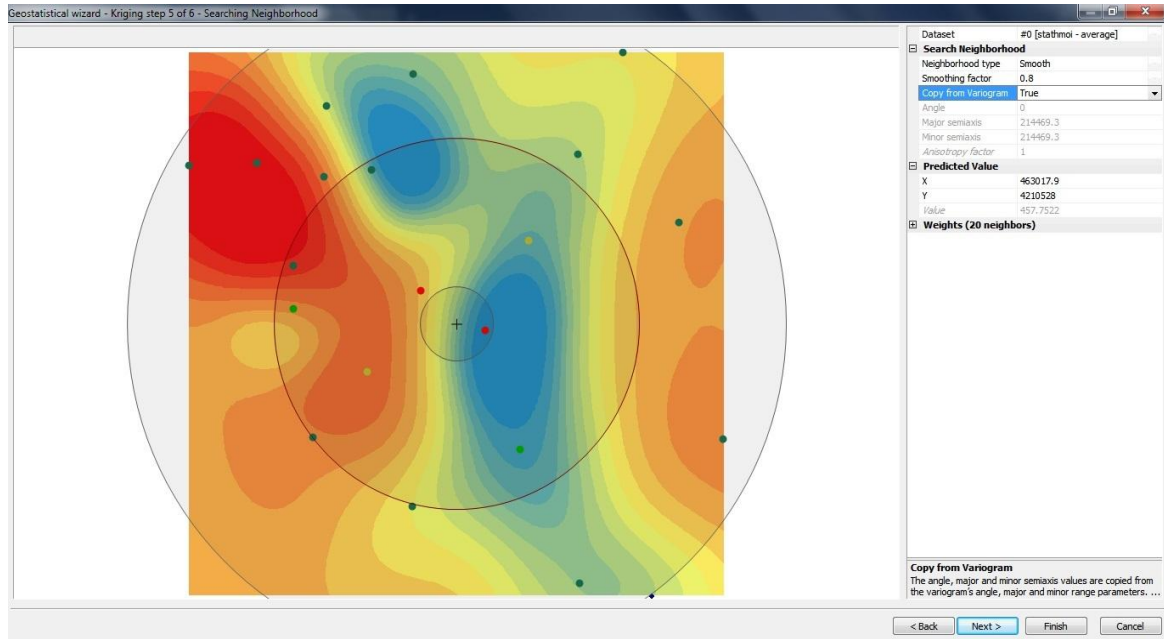
Πατώντας Next συνεχίζουμε στο τρίτο βήμα που καλούμαστε να ορίσουμε παραμέτρους για την μοντελοποίηση ώστε να παραχθεί το ημιβαριόγραμμα. Στα

δεξιά ορίζουμε τα ζεύγη των αποστάσεων στην επιλογή Number of bins. Εδώ θα δώσουμε τον αριθμό 12 ως ένα ικανοποιητικό πλήθος ζευγών για τις τιμές των μετρήσεων που ήδη γνωρίζουμε.



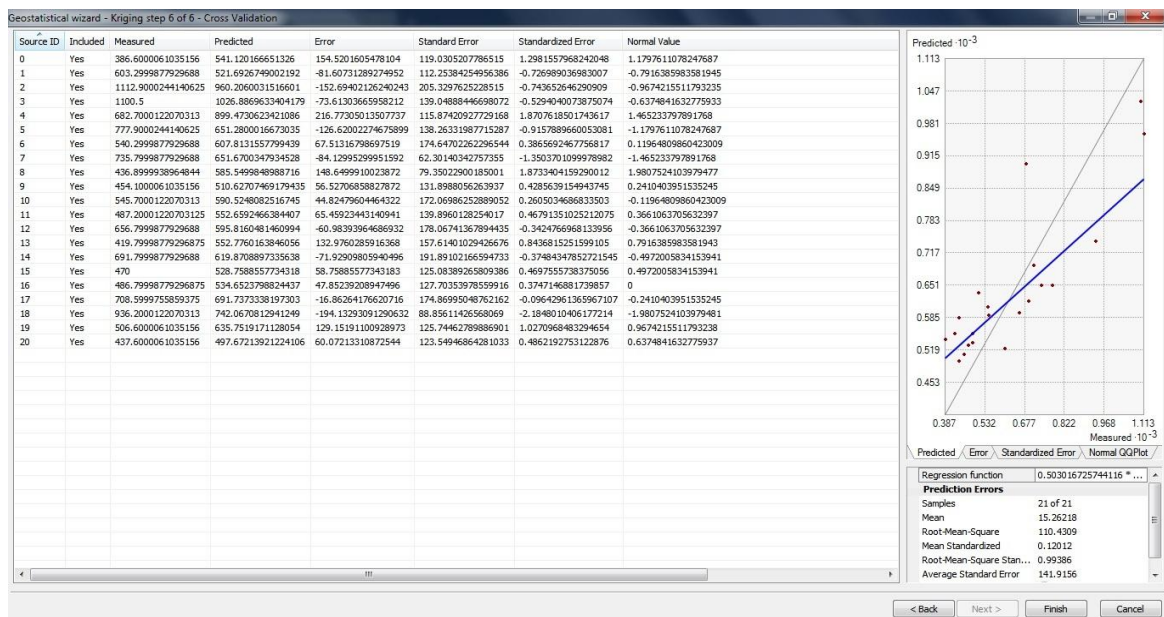
Σχήμα 67. Τέταρτο βήμα Geostatistical Analyst Wizard: ρυθμίσεις για τον τύπο του παραγόμενου ημιβαριογράμματος.

Στη συνέχεια πατώντας εκ νέου το Next ο οδηγός δίνει επιλογές για τον τύπο του παραγόμενου ημιβαριογράμματος καθώς και για τη μοντελοποίηση της συνδιακύμανσης.



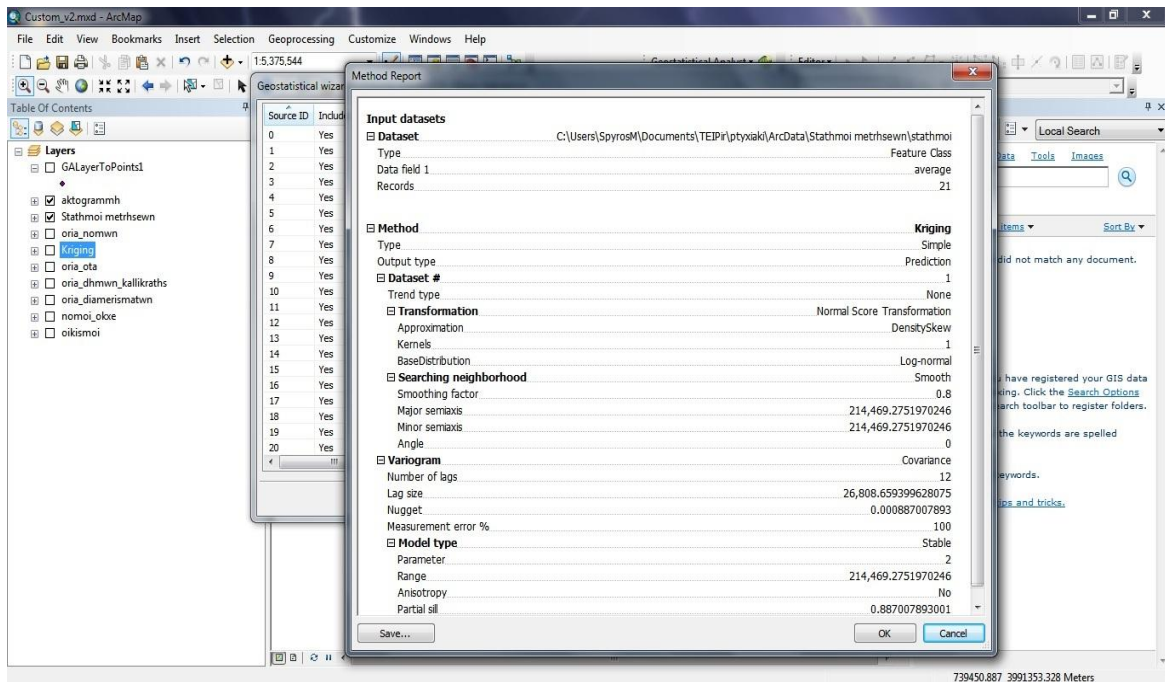
Σχήμα 68. Πέμπτο βήμα Geostatistical Analyst Wizard: Ρύθμιση της επιρροής των γειτονικών σταθμών στο παραγόμενο αποτέλεσμα.

Το επόμενο βήμα μας δίνει επιλογές για τη ρύθμιση της επιρροής των γειτονικών σταθμών και στο τελευταίο βήμα του οδηγού κάνουμε διασταυρωμένη επικύρωση (cross validation) ώστε να γνωρίζουμε πόσο επιτυχημένη θα είναι η πρόβλεψη για τα σημεία των οποίων δεν γνωρίζουμε τις τιμές, κάνοντας σύγκριση της δεδομένης με την εκτιμώμενη τιμή.



Σχήμα 69. Έκτο βήμα Geostatistical Analyst Wizard: Διασταυρωμένη επικύρωση (Cross Validation).

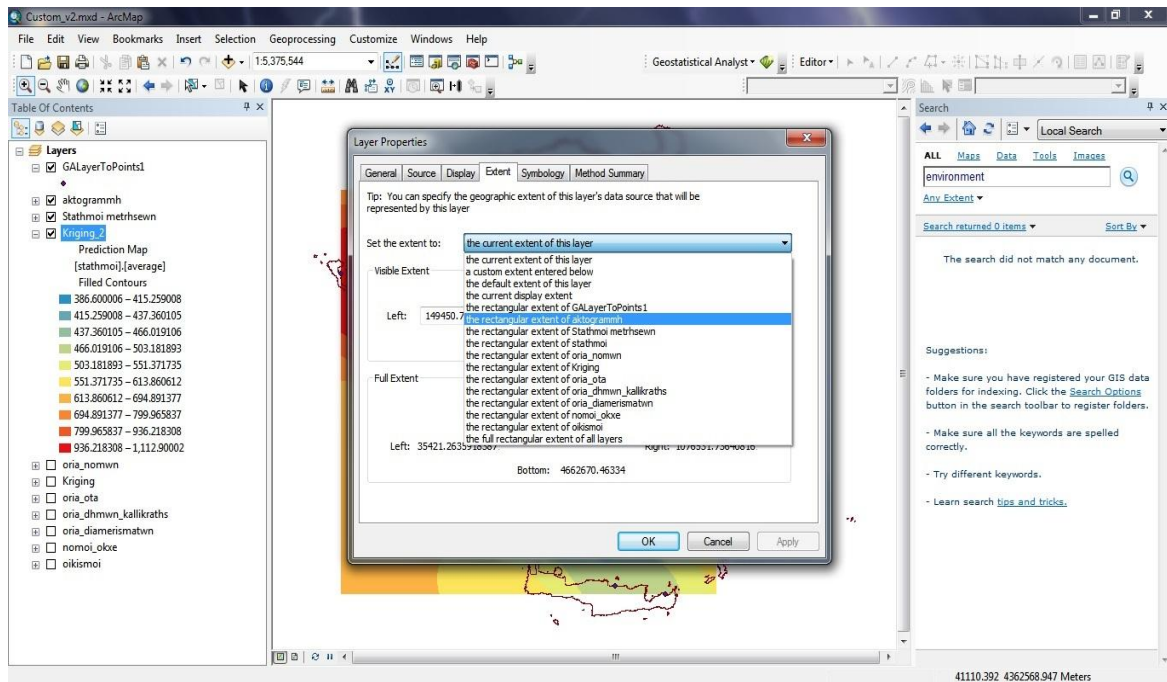
Πατώντας Finish λαμβάνουμε μια περιληπτική αναφορά όλων των βημάτων της μεθόδου που μόλις εφαρμόσαμε όπως μπορούμε να δούμε στο Σχήμα 70.



Σχήμα 70. Ολοκλήρωση του Geostatistical Analyst Wizard: Εξαγωγή report.

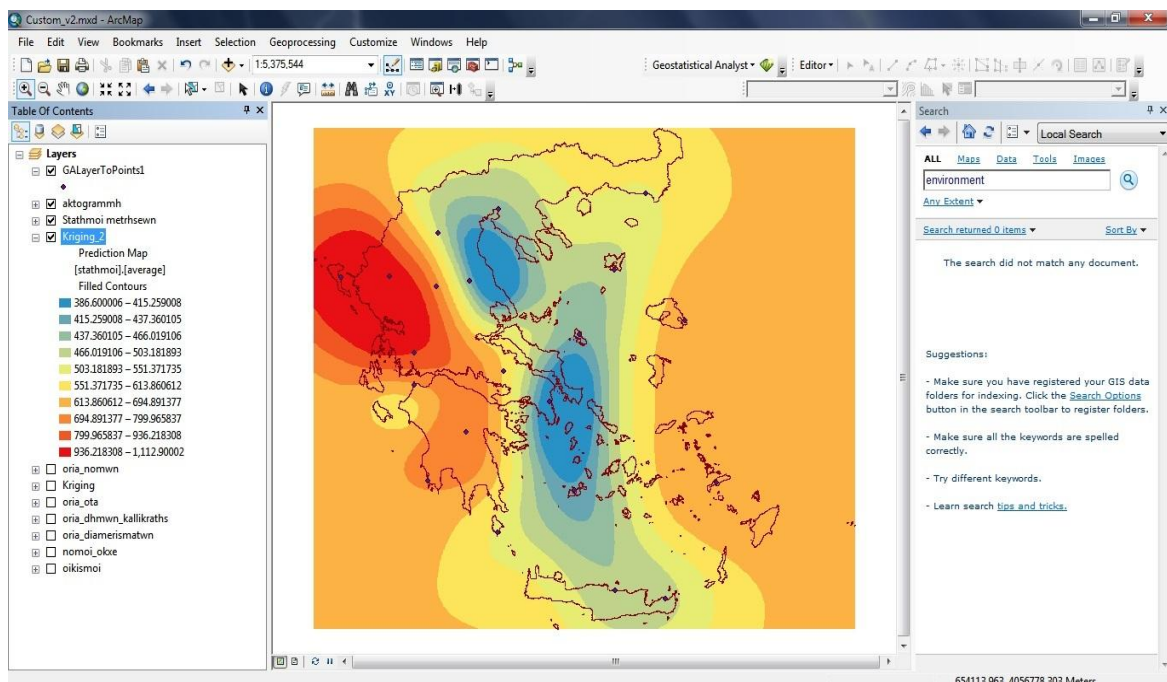
Ο wizard με την ολοκλήρωση του δημιουργεί ένα νέο layer το οποίο ονομάζει Kriging και είναι ουσιαστικά το πλέγμα (ο κάναβος) με τα ζητούμενα αποτελέσματα. Σε αυτό το παραγόμενο layer κάνοντας δεξί κλικ επιλέγουμε Properties για να επεξεργαστούμε τις ιδιότητές του όπως βλέπουμε στο Σχήμα 71.





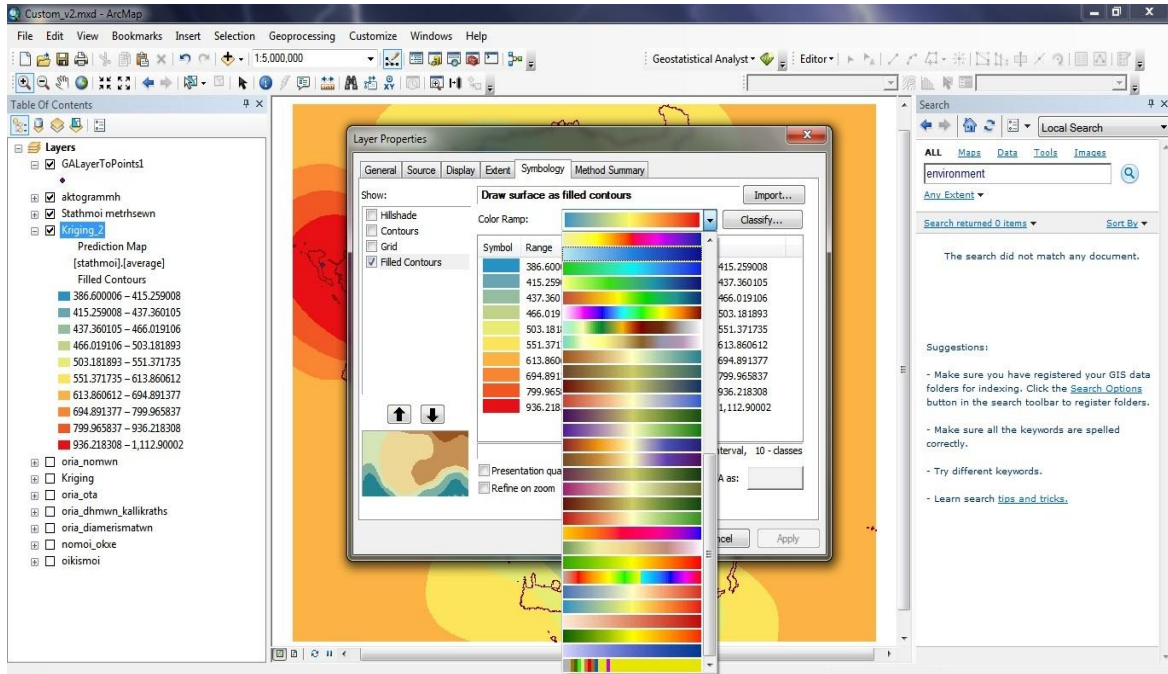
Σχήμα 71. Επεξεργασία μεγέθους παραγόμενου layer.

Σε αυτό το σημείο θέλουμε να επεκτείνουμε το μέγεθος του κανάβου ώστε να καλύπτει όλο τον ελλαδικό χώρο. Για να το επιτύχουμε αυτό επιλέγουμε την καρτέλα Extend και κάνοντας κλικ στη λίστα Set the extent to κάνουμε κλικ στο The rectangular extent of aktogrammi ώστε να γίνει η επέκταση του πλέγματος (κανάβου) σύμφωνα με το layer aktogrammi το οποίο ορίζει το σύνολο του ελλαδικού χώρου.



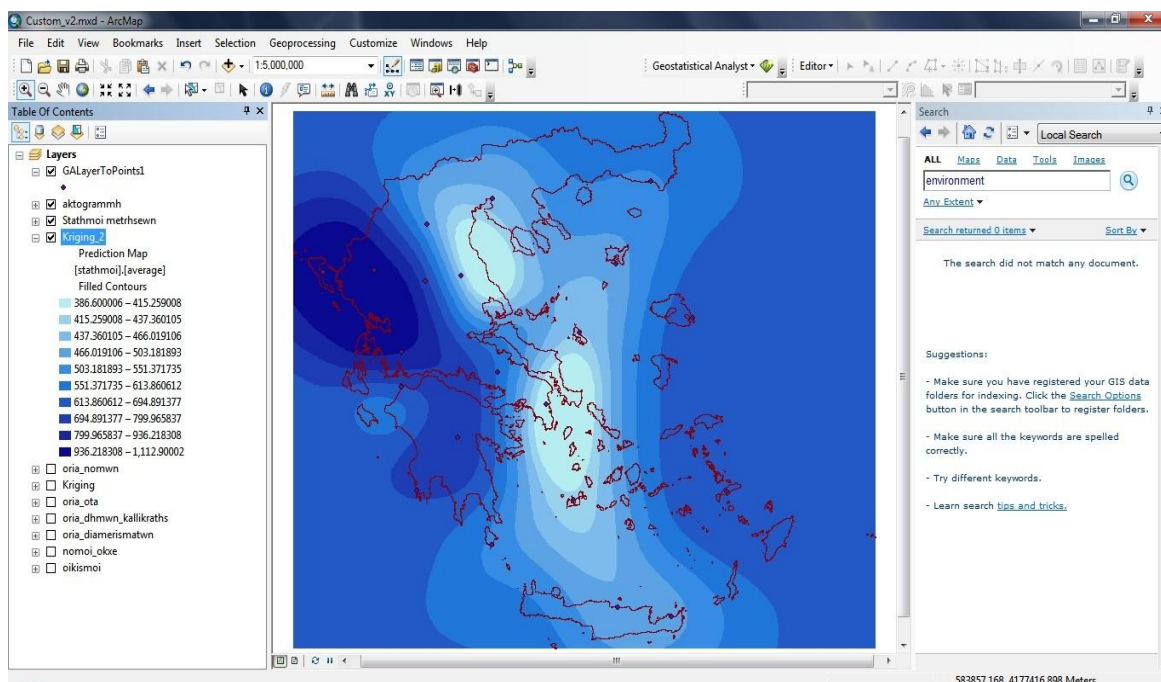
Σχήμα 72. Αποτέλεσμα μεθόδου Kriging με κάλυψη όλου του Ελλαδικού χώρου.

Στο Σχήμα 72 βλέπουμε το παραγόμενο αποτέλεσμα. Η χρωματική κωδικοποίηση του πλέγματος γίνεται αυτόματα ενώ μπορούμε να την επεξεργαστούμε από την καρτέλα Symbology του Layer Properties αλλάζοντας το Color Ramp.



Σχήμα 73. Επιλογή χρωματικής διαβάθμισης για το παραχθέν πλέγμα.

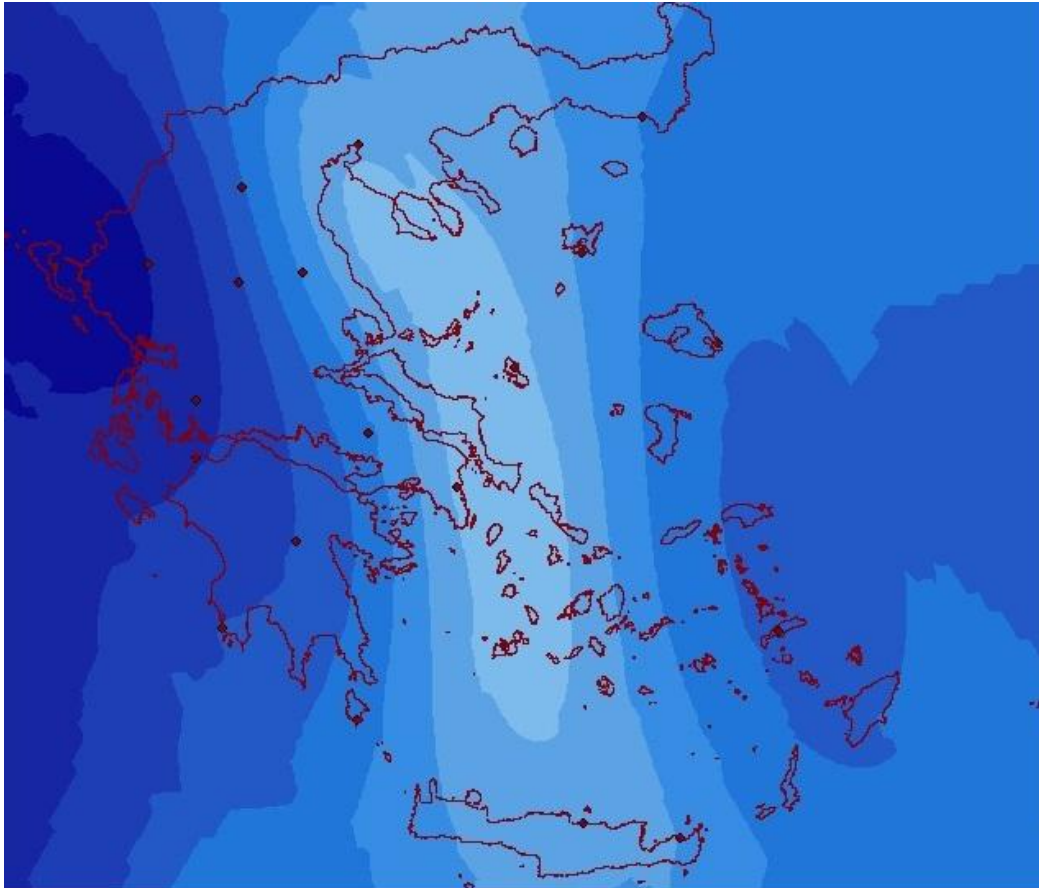
Εμείς επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε μια διαβάθμιση του μπλε σύμφωνα με την οποία οι σκούρες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες τιμές και κατά συνέπεια σε εντονότερο υετό, ενώ οι ανοιχτότερες αποχρώσεις σε ηπιότερο. Βλέπουμε το παραγόμενο αποτέλεσμα στο Σχήμα 74.



Σχήμα 74. Απλή μέθοδος Kriging με επιλογή μπλε χρωματισμού για την μέση ετήσια βροχόπτωση.

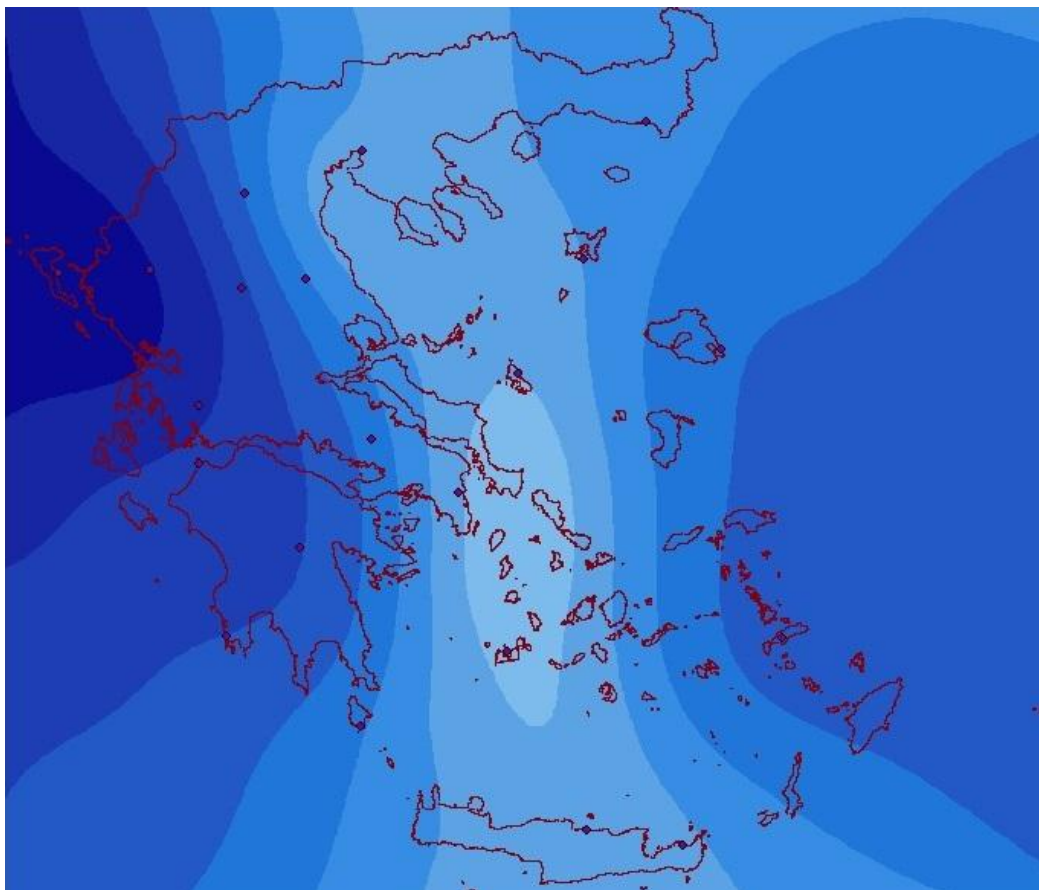
Τα ίδια βήματα επαναλαμβάνουμε για όλα τα είδη μεθόδων Kriging που θέλουμε να παράξουμε εκτός από την απλή που ήδη υπολογίσαμε. Το ArcGIS μας δίνει τη δυνατότητα να υπολογίσουμε τις γνωστές μεθόδους Kriging δηλαδή συνήθη και καθολική καθώς και ένα πλήθος επιπλέον ειδών όπως απλή (simple), indicator, probability και διαζευκτική (disjunctive). Την ίδια διαδικασία ακολουθούμε και για το ρυθμό μεταβολής της βροχόπτωσης.

Παραθέτουμε τα screenshots που έχουν παραχθεί μετά την εφαρμογή των παρακάτω τύπων της μεθόδου Kriging: συνήθης (ordinary), καθολική (universal), indicator, probability και διαζευκτική (disjunctive) κατά σειρά.

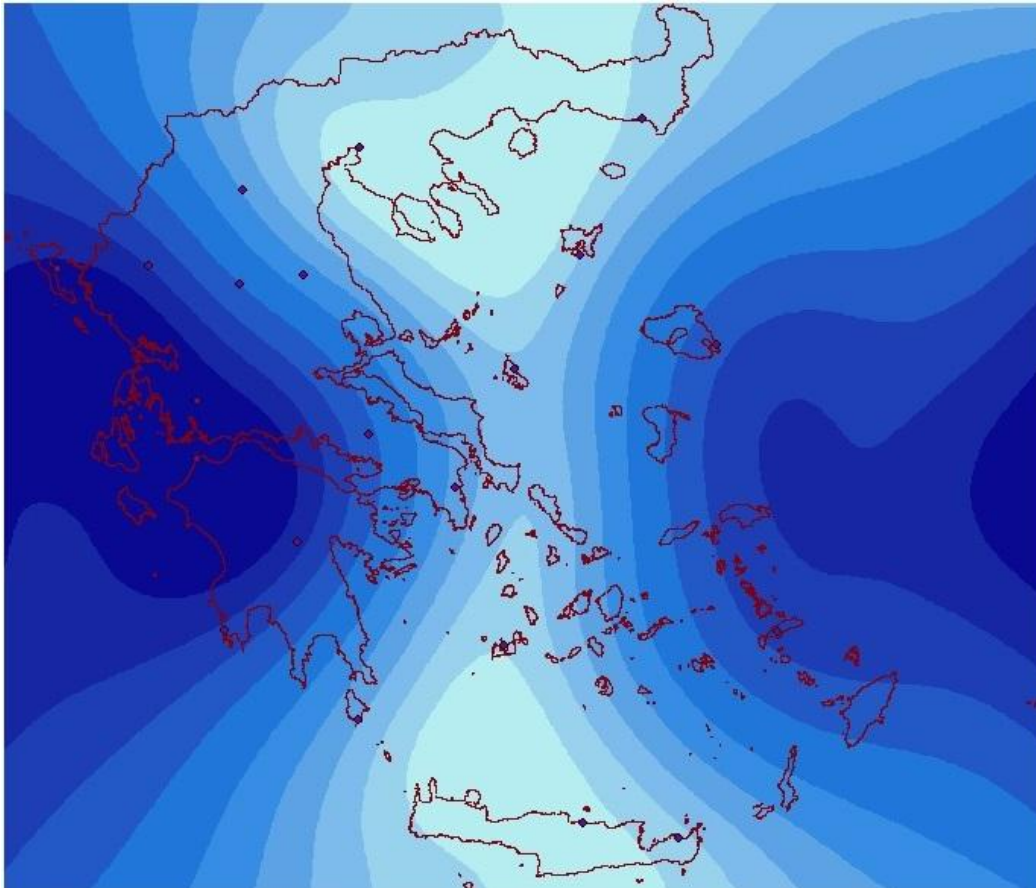


Σχήμα 75. Αποτέλεσμα παραχθέν με συνήθη μέθοδο Kriging για τη μέση ετήσια βροχόπτωση.

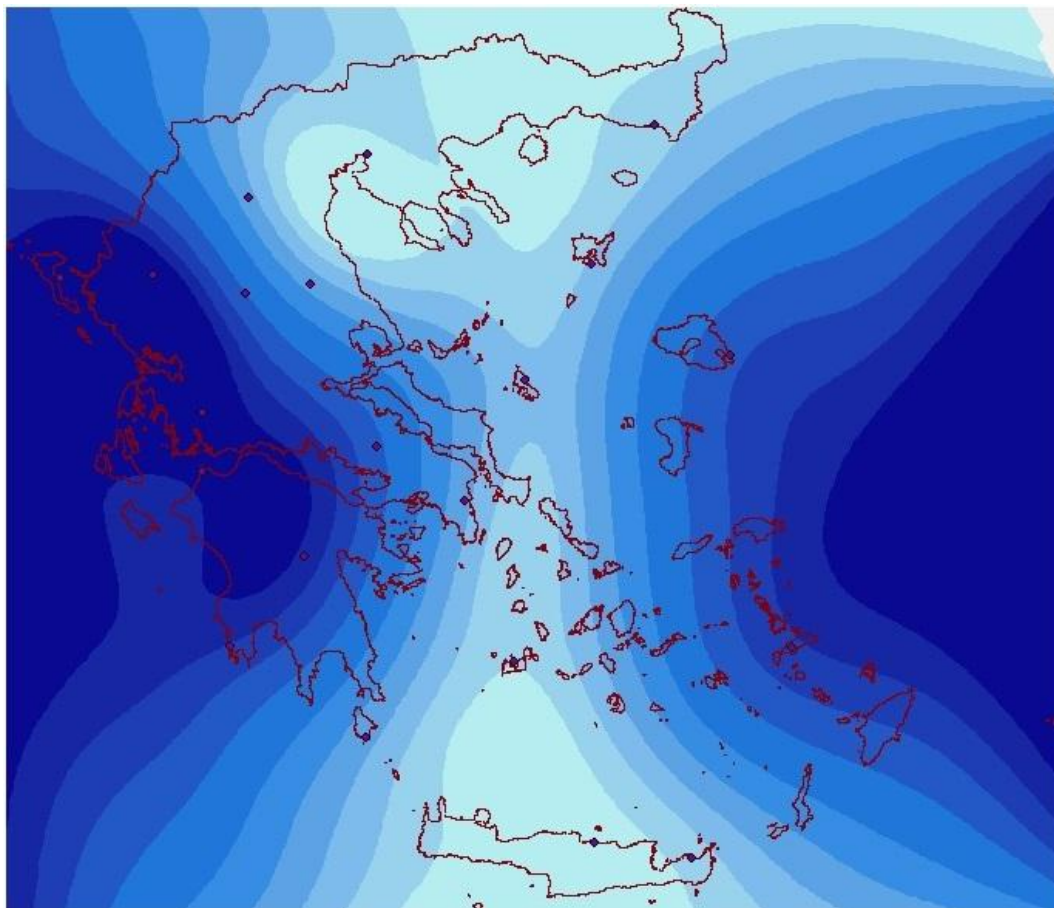




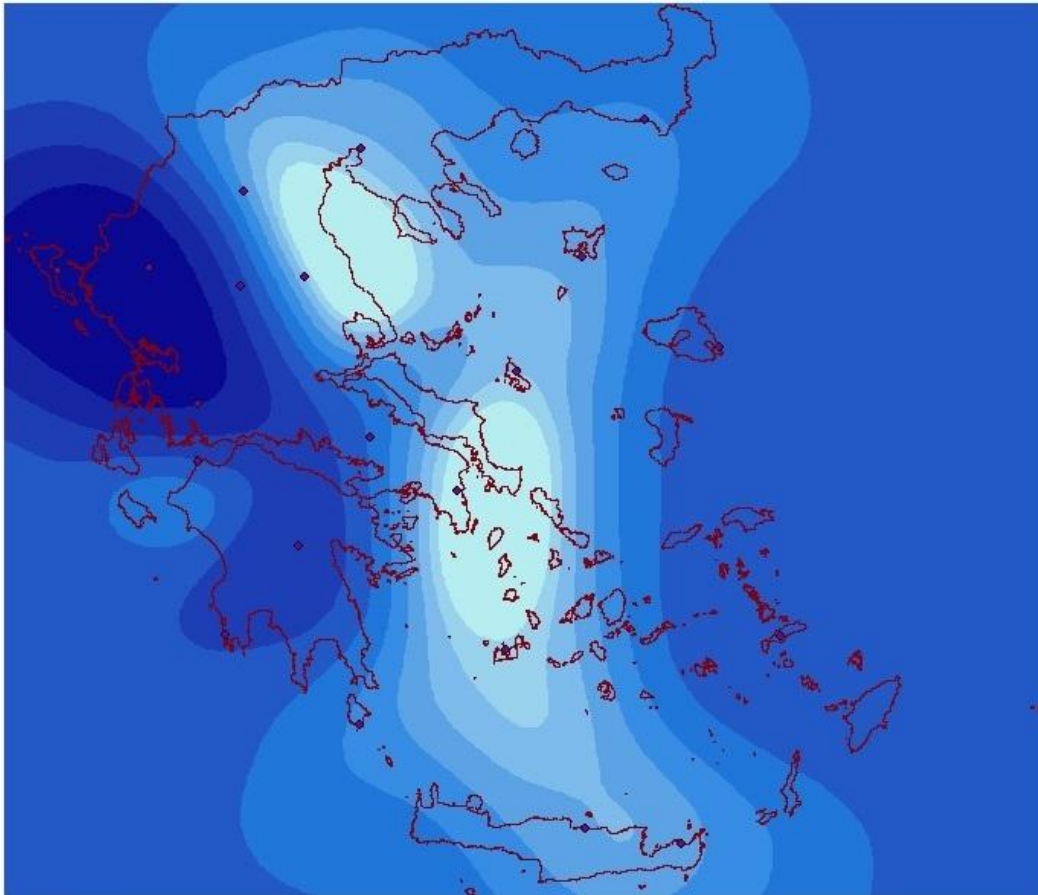
Σχήμα 76. Όμοιο με Σχήμα 75 με εφαρμογή της καθολικής Kriging.



Σχήμα 77. Όμοιο με Σχήμα 75 με εφαρμογή της Indicator Kriging.



Σχήμα 78. Όμοιο με Σχήμα 75 με εφαρμογή της καθολικής Probability Kriging.



Σχήμα 79. Όμοιο με Σχήμα 75 με εφαρμογή της διαζευκτική (disjunctive) Kriging.

Συγκρίνοντας τα παραπάνω σχήματα παρατηρούμε ότι τα σημεία σύγκλισης των μοντέλων, είναι τα σημεία στα οποία υπάρχουν σταθμοί σε κοντινές αποστάσεις με μικρό εύρος τιμών, όπως στην περιοχή της Θεσσαλίας και νοτιοδυτικής Μακεδονίας, άρα έχουμε και μεγαλύτερη ακρίβεια. Αντίθετα, μεγάλες διαφορές παρατηρούμε στην περιοχή του βορειοδυτικού Αιγαίου και της κεντρικής Μακεδονίας, της ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης της Κρήτης και των ανατολικών Κυκλάδων.

Πιο συγκεκριμένα η απλή Kriging χρησιμοποιεί γραμμικό ημιβαριόγραμμα και προϋποθέτει τόσο την κανονική κατανομή των μετρήσεων όσο και την γνώση του τοπικού μέσου σε κάθε συσχέτιση σημείων. Λόγω του ότι οι τιμές στη περιοχή που παρεμβάλλεται ανάμεσα σε δύο σημεία, επηρεάζονται από παράγοντες όπως το γεωμορφολογικό ανάγλυφο, το υψόμετρο και άλλα, δεν μπορούμε να παρέχουμε με ακρίβεια το τοπικό μέσο κάθε ζεύγους, με αποτέλεσμα να έχουμε φαινομενικά μεγάλη ακρίβεια στις ζώνες που έχουν δημιουργηθεί, μιας και το πρόγραμμα έθεσε μόνο του το τοπικό μέσο.

Η συνήθης μέθοδος Kriging, λειτουργεί όπως και η απλή χωρίς να απαιτεί την γνώση του τοπικού μέσου και μας έχει δώσει ένα αποτέλεσμα που σε ορισμένα σημεία δημιουργεί την εντύπωση υψηλής ακρίβειας, χωρίς αυτή να υπάρχει. Παρατηρούμε ότι σε πολλά σημεία δεν έχουμε ομαλή μετάβαση από το ένα χρωματικό επίπεδο στο άλλο με αποτέλεσμα να έχουν δημιουργηθεί «ανάγλυφες» ζώνες προβλέψεων.

Η καθολική μέθοδος Kriging, παρόλο που βασίζεται στο μοντέλο της συνήθους, διαφέρει το ημιβαριόγραμμα που εφαρμόζεται. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζει την συνάρτηση εκείνη που θα έχει τα μικρότερα σφάλματα, τα οποία στη συνέχεια αυτοσυσχετίζει – όπως και η συνήθης – δίνοντάς μας μια ποιο ομαλοποιημένη πρόβλεψη. Αυτό προϋποθέτει ότι οι μετρήσεις έχουν μικρό σφάλμα μέτρησης, το οποίο λόγο μέσων τιμών πολλών ετών, είναι σαφώς ελαχιστοποιημένο.

Στην Indicator Kriging, αν και η μέθοδος βασίζεται στη συνήθη, βλέπουμε ότι σε κάθε σταθμό, με εξαίρεση τους σταθμούς της Δυτικής Ελλάδος που έχουν πολύ κοντινές τιμές, έχει δημιουργήσει την δική του χρωματική κλιμάκωση στον χάρτη, απόρροια του τρόπου με τον οποίο σταθμίζει τα σημεία. Γίνεται αμέσως αντιληπτό ότι μια τέτοια μέθοδος δεν είναι χρήσιμη στην προκειμένη περίπτωση, μιας και τα δεδομένα μας χάνουν την ακρίβειά τους αν σταθμιστούν σε ισαπέχουσες τιμές καθώς το εύρος της επιρροής τους στην γύρω περιοχή γίνεται συγκεκριμένο.

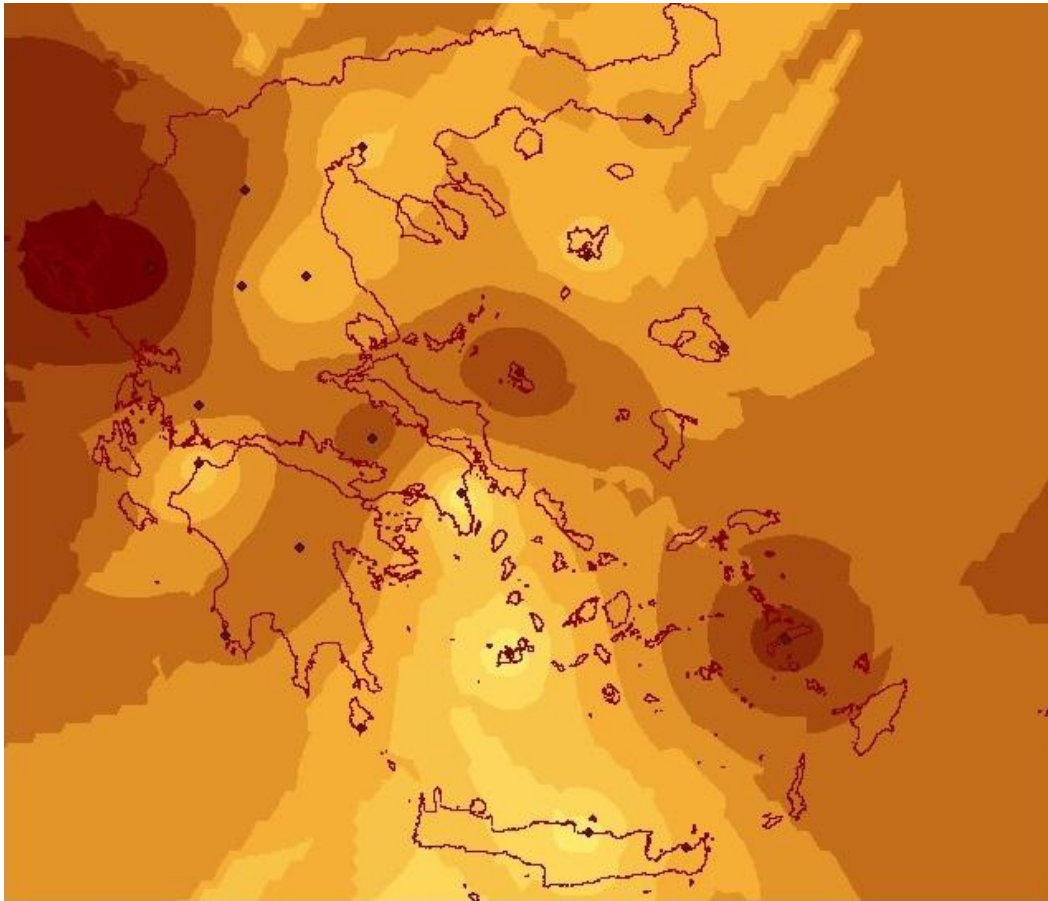
Η probability Kriging, εφαρμόζει ένα διαφορετικό μοντέλο πρόβλεψης σε σχέση με την συνήθη Kriging. Με βάση ένα κατώφλι, πραγματοποιείται μια κβαντοποίηση των τιμών (όπως και στην περίπτωση της Indicator) και στη συνέχεια γίνεται συσχέτιση των κβαντοποιημένων τιμών με τις πραγματικές για να βγει η πρόβλεψη. Όπως και στην Indicator, έτσι και στην probability οδηγούμαστε σε μεγαλύτερες τιμές σφάλματος.

Η διαζευκτική (disjunctive) Kriging είναι μια πιο σύνθετη συνήθης Kriging η μέθοδος της οποίας προσπαθεί να υπολογίσει την κάθε εκτίμηση, εισάγοντας την πιθανότητα η αληθινή τιμή να υπερβαίνει ή όχι ένα συγκεκριμένο κατώφλι, το οποίο δεν έχουμε στις μετρήσεις μας, άρα μας προκαλεί υψηλό σφάλμα.

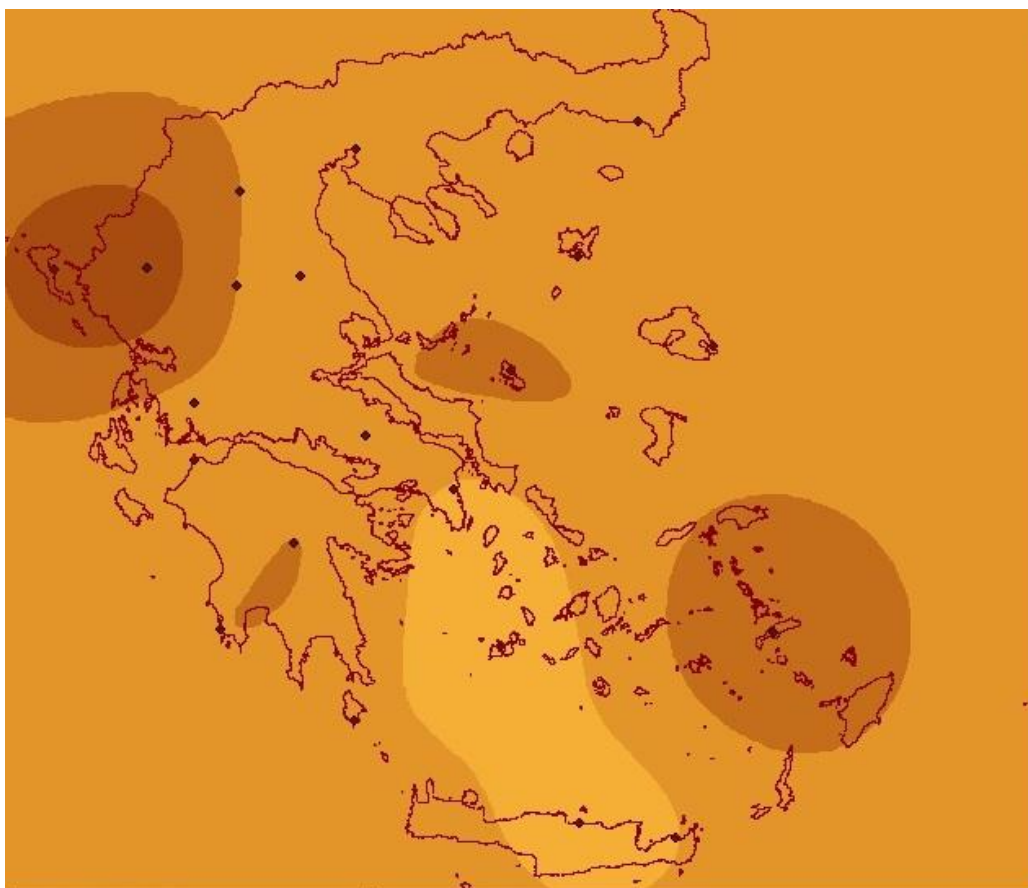
Καταλήγουμε στο ότι η καλύτερη μέθοδος για την περίπτωση των μέσων τιμών βροχοπτώσεων και αντίστοιχων μελετών είναι η καθολική (universal) Kriging.



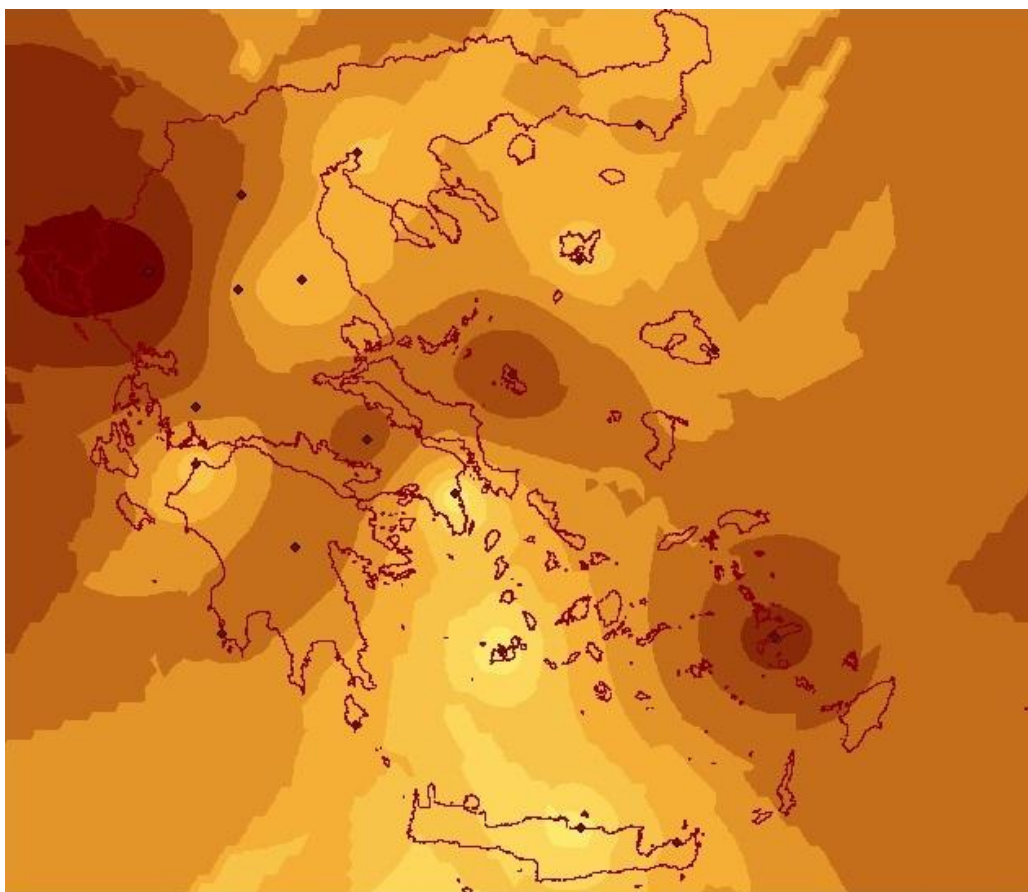
Για το ρυθμό μεταβολής της βροχόπτωσης επιλέξαμε ένα καφέ χρώμα, όπου τα πιο ανοιχτά χρώματα δείχνουν μικρή μεταβολή και τα πιο σκούρα μεγαλύτερη. Οι παραλλαγές της μεθόδου Kriging που εφαρμόστηκαν είναι οι εξής: συνήθης (ordinary), απλή (simple), καθολική (universal) και διαζευκτική (disjunctive).



Σχήμα 80. Αποτέλεσμα παραχθέν με συνήθη μέθοδο Kriging για τον ετήσιο ρυθμό μεταβολής της βροχόπτωσης.

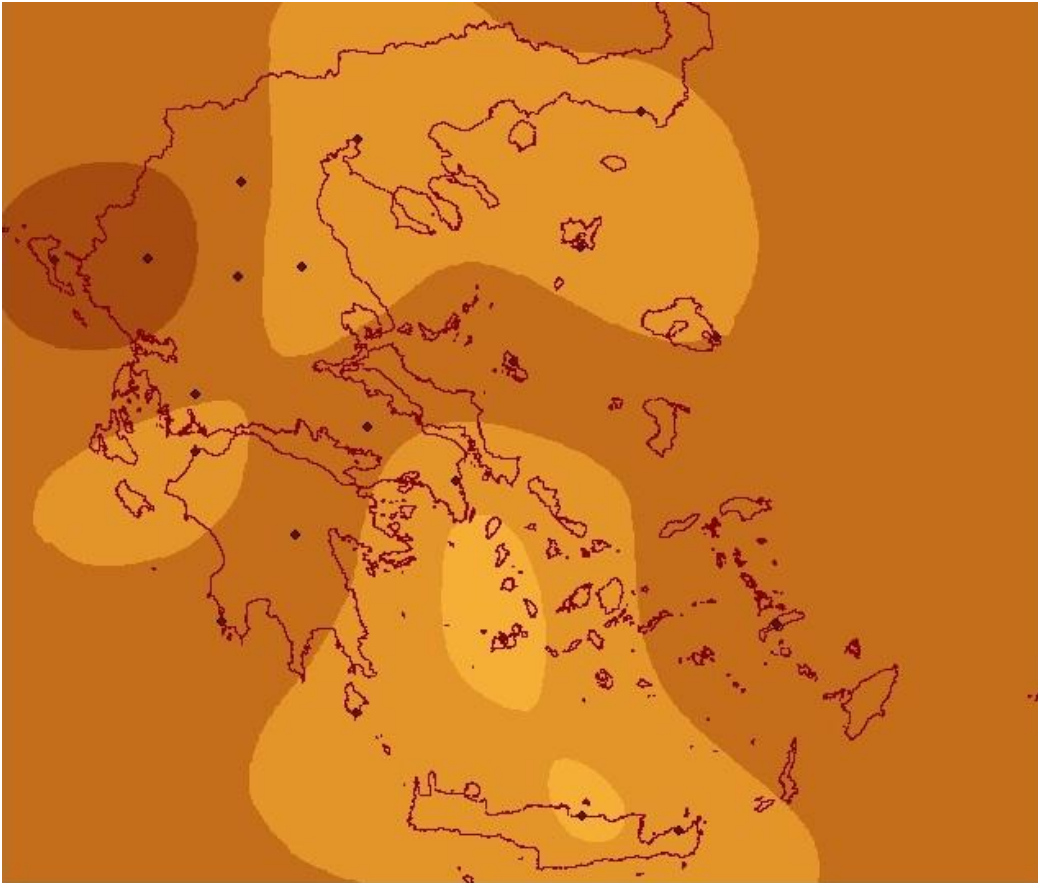


Σχήμα 81. Όμοιο με Σχήμα 80 με εφαρμογή της απλής μεθόδου Kriging.



Σχήμα 82. Όμοιο με Σχήμα 80 με εφαρμογή της καθολικής μεθόδου Kriging.





Σχήμα 83. Όμοιο με Σχήμα 80 με εφαρμογή της διαζευκτικής μεθόδου Kriging.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, οι μέθοδοι Indicator και probability Kriging, είναι μέθοδοι οι οποίες κβαντίζουν τα δεδομένα και κάνουν πρόβλεψη βάση δύο τιμών για κάθε ζεύγος τιμών. Για τον λόγο αυτό, στην περίπτωση του ρυθμού μεταβολής, είχαμε πολύ μεγάλα σφάλματα προβλέψεων και τις απορρίψαμε εξ αρχής.

Συγκρίνοντας τις υπόλοιπες βλέπουμε αρκετές διαφορές χωρίζοντας τις σε δύο ομάδες. Από την μία η συνήθης και η καθολική (η οποίες μας έδωσαν ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα) και από την άλλη η απλή και η διαζευκτική μας έχουν δώσει ένα αρκετά πιο απλοποιημένο αποτέλεσμα.

Το κοινό συμπέρασμα που μπορούμε να εξάγουμε είναι για την περιοχή της βορειοδυτικής Ελλάδας και του κεντρικού Αιγαίου και Κρήτης που σε όλες τις μεθόδους παρουσιάζονται σε πολύ κοντινές εκτιμήσεις. Θεωρούμε όμως ότι το καλύτερο αποτέλεσμα το παρουσιάζουν η συνήθης και η καθολική, μιας και συμφωνούν τα αποτελέσματά τους, αλλά και διότι παρατηρούμε ότι στις άλλες μεθόδους έχει γίνει διόρθωση των μετρημένων τιμών στους σταθμούς, που

σημαίνει μεγαλύτερο σφάλμα. Το επιπρόσθετο συμπέρασμα που αντλούμε από την εν λόγω πρόβλεψη είναι ότι σε ένα μικρό εύρος τιμών όπως αυτό που έχουμε θα χρειαζόμασταν μεγαλύτερο πλήθος σταθμών για να έχουμε μια πιο ασφαλή πρόβλεψη.

### 3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα Πτυχιακή χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης κατά τη χρονική περίοδο 1951-2000 καθώς και ο ρυθμός μεταβολής της βροχόπτωσης για την ίδια περίοδο, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Σκοπός της εργασίας αυτής δεν είναι μόνο η επιβεβαίωση των προβλέψεων της χωρικής παρεμβολής αλλά και η ανάδειξη της ευκολίας με την οποία μπορούμε να καταλήξουμε σε ασφαλή συμπεράσματα με τη μορφή απεικόνισης της υπό μελέτη περιοχής. Ο σκοπός αυτός ικανοποιείται μέσω της εκπλήρωσης του επιμέρους στόχου πρόβλεψης της μέσης τιμής βροχόπτωσης στα μη καταγεγραμμένα σημεία.

Παρατηρούμε πως όλες οι μέθοδοι Kriging που εφαρμόζουμε στις μέσες ετήσιες τιμές βροχόπτωσης για την εξεταζόμενη χρονική περίοδο καταλήγουν προσεγγιστικά στο συμπέρασμα ότι το γεωμορφολογικό ανάγλυφο της χώρας παίζει καθοριστικό ρόλο στην κατανομή της βροχόπτωσης. Όπως και στις ήδη υπάρχουσες θεωρητικές αναλύσεις, οι κινούμενοι από δυτικά προς τα ανατολικά κυκλώνες βρίσκουν τροχοπέδη στην οροσειρά της Πίνδου επιτρέποντας στις αντικυκλωνικές κινήσεις να κατευθυνθούν βορειοδυτικότερα περιορίζοντας έτσι τη βροχόπτωση στη νοτιοανατολική νησιωτική και ηπειρωτική χώρα.

Μελετώντας τους ρυθμούς μεταβολής της βροχόπτωσης της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου παρατηρούμε πτωτικές τάσεις στο σύνολο των σταθμών μετρήσεων. Ειδικότερα στους σταθμούς της νότιας Ελλάδας που χαρακτηρίζονται από μικρότερη μέση ετήσια βροχόπτωση έχουμε μικρότερους ρυθμούς μεταβολής. Επιπλέον, παρατηρούμε μεγάλη μείωση της βροχόπτωσης στις βορειοδυτικές ψυχρότερες περιοχές σε αντίθεση με τις δυτικές-νοτιοδυτικές οι οποίες εμφανίζουν μικρότερο ρυθμό μεταβολής. Επιβεβαιώνονται λοιπόν οι θεωρητικές αναλύσεις και προβλέψεις σύμφωνα με τις οποίες οι τάσεις στον ελλαδικό χώρο είναι πτωτικές κυρίως στις βορειοδυτικές και νοτιοανατολικές περιοχές.

Τα συμπεράσματα της μελέτης αυτής συμβάλουν θετικά στην ενίσχυση της άποψης ότι η χωρική παρεμβολή με τη μέθοδο Kriging παράγει αξιόπιστες προβλέψεις και στη μελέτη του υετού. Τα γεωπληροφοριακά συστήματα δεδομένων είναι το εργαλείο επίτευξης μειωμένου χρόνου εφαρμογής της χωρικής παρεμβολής και την επιτάχυνση της ασφαλούς εξαγωγής συμπερασμάτων.

Πιο συγκεκριμένα το ArcGIS με το ArcToolbox παρέχει αρκετές επιλογές ανάλυσης δεδομένων και διασταύρωσης των αποτελεσμάτων. Εκτός της χωρικής παρεμβολής και των όσων αναλύσαμε στην παρούσα Πτυχιακή, το ArcGIS μέσω της ακρίβειας που παρέχει στο χρήστη για την εισαγωγή των δεδομένων αλλά και την πληθώρα εργαλείων, καθίσταται ένα από τα πιο αξιόπιστα λογισμικά για ένα πολύ μεγάλο εύρος επιστημών και των μελετών.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Διεθνής**

- [1] Amanatidis, G.T., Repapis, C.C., Metaxas, D.A, Paliatsos, A.G. and Bartzis, J.C. (1992). Precipitation decreasing trends in Greece and Cyprus since the middle of our century. In: Global Climate Conference, Impact on Terrestrial Ecosystems, Bud Durkheim, Germany, 1992.
- [2] Amanatidis, G.T., Paliatsos, A.G., Repapis, C.C. and Bartzis, J.G. (1993). Decreasing precipitation trend at Marathon area, Greece. *International Journal of Climatology*, 13, 191-201.
- [3] Amanatidis, G.T., Repapis, C.C. and Paliatsos, A.G. (1997). Precipitation trends and periodicities in Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 6, 314-319.
- [4] Bartzokas, A. and Metaxas, D.A. (1990). Climatic fluctuation of temperature and air circulation in the Mediterranean. In: *Climate and Global Change*, edited by: Duplessy, J.G., Pons, A., and Fantechi, R. Commission of European Communities, EUR 13149, 279-297.
- [5] Berry, J.L. and Marble, D.F. (1968). *Spatial Analysis: a reader in statistical geography*. Prentice Hall, Englewood Cliffs New Jersey.
- [6] Bickmore, D.P. and Shaw, M.A. (1963). *Atlas of Great Britain and Northern Ireland*. Clarendon Press, Oxford.
- [7] Burrough, P.A. and McDonell, R. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, New York.
- [8] Chrisman, N. (1988). The risks of software innovation: a case study of the Harvard Lab. *The American Cartographer*, 15(3), 291-300.
- [9] Coppock, J.T. and Rhind, D.W. (1991). The History of GIS. In Maguire, D.J., Goodchild, M.F., and Rhind, D.W. (eds). *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, 1, 21-43.
- [10] Cook, R.N. (1966). The CULDATA system. In: Cook, R. N. and Kennedy, J. L. *Proceedings of a Tri-State Conference on a Comprehensive Unified Land Data System (CULDATA)*. College of Law, University of Cincinnati.
- [11] Cook, R.N. and Kennedy, J.L. (1966). *Proceedings of a Tri-State Conference on a Comprehensive Unified Land Data System (CULDATA)*. College of Law, University of Cincinnati.

- [12] Dangermond, J. and Smith, K.L. (1988). Geographic Information Systems and the revolution in cartography: the nature of the role played by a commercial organization. *The American Cartographer*, 15(3), 301-310.
- [13] DeMers, M.N. (2009). *GIS For Dummies*. Wiley Publishing (ISBN 978-0-470-23682-6).
- [14] Diello J., Kirk K., Callender, J. (1969). The development of an automatic cartographic system. *The Cartographic Journal*, 6(1), 9-17.
- [15] Dikaiakos, J.G., (1982). A theory and patterns of the seasonal distribution of the hailstorm phenomenon over Greece. *Proceedings of the 1st Hellenic-British Climatological Congress in Athens 5-11 Sept., 1980*. Hellenic Meteorological Society, Athens.
- [16] ESRI (2011). *How Kriging works*.
- [17] Fiedler, F. (2003). Simple, Practical Method for Determining Station Weights Using Thiessen Polygons and Isohyetal Maps. *Journal of Hydrologic Engineering* 8(4), 219–221.
- [18] Flocas, A.A., Bloutsos, A.A. and Giles, B.D. (1990). Trends and periodicities of rainfall over Greece. In: Brazdil, R., (ed), “Climatic Change in the Historical and the Instrumental Periods”, Masaryk University, Brno, Czech Republic, 1990, 298-305.
- [19] Hagerstrand, T. (1967). The computer and the geographer. *Transactions of the Institute of British Geographers* 42.
- [20] Hudson, J.C. (1979). Seventy-five years of American geography. *Annals of the Association of American Geographers* 69.
- [21] James, P.E. and Martin, G.J. (1978). *The Association of American Geographers: the first seventy-five years 1904-1979*. Association of American Geographers. Washington DC.
- [22] Katsoulis, B.D. and Kambezidis, H.D. (1989). Analysis of the long-term precipitation series at Athens, Greece. *Climatic Change*. 14, 263-290.
- [23] Kozuchowski, K. and Marciniak, K. (1988). Variability of mean monthly temperatures and semi-annual precipitation totals in Europe in relation to hemispheric circulation patterns. *Journal of Climate*. 8, 191-199.
- [24] Maheras, P. and Kolyva-Mahera, F. (1990). Temporal and spatial characteristics of annual precipitation over Balkans in the twentieth century. *Journal of Climatology*. 10, 495-504.

- [25] Matzarakis, A.P., Katsoulis, V.D. (2006). Sunshine duration hours over the Greek region. *Theoretical and Applied Climatology*, 83(1-4), 107-120.
- [26] McBratney, A.B., Webster R. (1986). Choosing Functions for Semi-variograms of Soil Properties and Fitting Them to Sampling Estimates. *Journal of Soil Science* 37: 617–639.
- [27] Melice, J.L. and Wendler, G. (1984). Precipitation statistics in Southern Tunisia - A contribution to the desertification problem in the Sahel zone. *Archives for Meteorology, Geophysics, and Bioclimatology, Ser. B.*, 33, 331-348.
- [28] Metaxas, D.A., Philandras, C.M., Nastos, P.T. and Repapis, C.C. (1999). Variability of precipitation pattern in Greece during the year. *Fresenius Environmental Bulletin*. 8, 1-6.
- [29] Nastos, P. (1993). Changements de la pluviosite en region Hellenique pendant la periode 1858-1992. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*. 6, 183-190.
- [30] Neuber, E., Schonwiese, C.D. and Birrong, W. (1984). Spektral-statistische charakteristika europaischer Neiderschlagsreihem 1874-1980. *Meteorol. Rdsch.* 38, 54-62.
- [31] Nordbeck, S. (1962). Location of areal data for computer processing. *Lund Studies in Geography, Series C, General, Mathematical and Regional Geography No. 2*, Lund University Sweden.
- [32] Oliver, M.A. (1990). Kriging: A Method of Interpolation for Geographical Information Systems. *International Journal of Geographic Information Systems*, 4, 313-332.
- [33] Paliatsos, A.G., Nastos, P.T., Tzavelas, G. and Panagiotakos, D.B. (2005). Characteristics of precipitation in urban Athens area, from 1891 to 2000. *Fresenius Environmental Bulletin*, 14(5) 422-428.
- [34] Papadakis, J., (1975). *Climates of the world and their potentialities*. Papadakis ed., Buenos Aires, Argentina.
- [35] Perring, F.H. and Walters, S.M. (1962). *Atlas of the British Flora*. Nelson, London.
- [36] Repapis, C.C. (1986). Temporal fluctuations of precipitation in Greece. *Rivista di Meteorologia Aeronautica*. XLVI, 1-2, 19-25.
- [37] Repapis, C.C., Amanatidis, G.T., Paliatsos, A.G., and Mantis, H.T. (1993).

- Coherence spatiale des precipitations en Grece. Publications de l' Association Internationale de Climatologie, 6, 333-340.
- [38] Rhind D. W. (1988). Personality as a factor in the development of a new discipline: the case of computer-assisted cartography. *The American Cartographer* 15(3), 277-289.
- [39] Sahsamanoğlu, H., Makrogiannis, T., Hatzianastasiou, N., Rammos, N. (1994). Long term change of precipitation over the Balkan Peninsula. In *Eastern Europe and Global Change*, Kassandra, Halkidiki, Greece, October 3-10, 1994, 111-124, A. Ghazi, P. Mathy and C. Zerefos (Eds).
- [40] Schmidt, A.H. and Zafft, W.A. (1975). Progress of the Harvard University Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis. In: Davis, J.C, McCullagh, M.J. (eds.). *Display and analysis of spatial data*. Wiley, London.
- [41] Schonwiese, C.D. and Birrong, W. (1990). European precipitation trend statistics 1851-1980 including multivariate assessments of the Anthropogenic CO<sub>2</sub> signal. *Zeitschrift für Meteorology*. 40, 92-98.
- [42] Steinberger, E.H. and Gazit-Yaari, N. (1996). Recent changes in the spatial distribution of annual precipitation in Israel. *Journal of Climate*. 9, 12, 3328-3336.
- [43] Tobler, W.R. (1959). Automation and cartography. *Geographical Review* 49.
- [44] Tomlinson, R.F. (1972). *Geographic Data Handling*. Commission on Geographical Data Sensing and Processing. International Geographical Union, Ottawa Canada.
- [45] Tomlinson, R.F. (1985). *Geographic Information Systems - the new frontier*. *The Operational Geographer*, 5, 31-36.
- [46] Tomlinson, R.F. (1987). Current and Potential Uses of Geographical Information System: The North American Experience. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1, 203-218.
- [47] Tomlinson, R.F. (1988). The impact of the transition from analogue to digital cartographic representation. *The American Cartographer*, 15(3), 249-262.

## Ελληνική

- [48] Αιγινίτης, Δ. (1908). *Αι μετεωρολογικάί περίοδοι και η σταθερότης του κλίματος της Ελλάδος*. Αθήνα.
- [49] Βαφειάδης, Μ. (2008). *Διαχείριση και ανάλυση περιβαλλοντικών δεδομένων*.



Θεσσαλονίκη.

- [50] Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος (ΕΣΥΕ) (1964). Οικονομικός και Κοινωνικός Άτλας της Ελλάδος. Αθήνα.
- [51] Ζαμπάκας, Ι.Δ. (1981). Γενική Κλιματολογία. Αθήνα.
- [52] Κανδήλης, Φ.Ι. (1988). Ο Υετός στην Στερεά Ελλάδα. Αθήνα.
- [53] Καρράς, Γ.Σ. (1973). Κλιματική Ταξινόμησης της Ελλάδος κατά Thornthwaite. Αθήνα.
- [54] Κοτίνη - Ζαμπάκα, Σ. Ι. (1983). Συμβολή στην κατά μήνα μελέτη του κλίματος της Ελλάδας. Θεσσαλονίκη.
- [55] Κουτσόπουλος, Κ. (2005). Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου. Αθήνα.
- [56] Μαχαίρας, Π. και Μπαλαφούτης, Χ. (1984). Γενική Κλιματολογία με Στοιχεία Μετεωρολογίας. Θεσσαλονίκη.
- [57] Μπαλαφούτης, Χ. και Μαχαίρας, Π. (1985). Μαθήματα Γενικής Κλιματολογίας με στοιχεία Βιοκλιματολογίας. Θεσσαλονίκη.
- [58] Τσουχλαράκη, Α., Αχιλλέως, Γ. (2010). Μαθαίνοντας τα GIS στην Πράξη – Το ArcGIS 9.3. Θεσσαλονίκη.