ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ Σ.Γ.Π ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ

Πτυχιακή εργασία του Μήτρου Ανδρέα

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΧΑΛΚΙΑΣ.Χ Επιβλέπων Καθηγητής
ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ. Δ
ΛΑΖΑΡΙΔΗ.Κ

Αθήνα, 22 Φεβρουρίου 2005

ΠΤΥ
ΜΗΤ

14112
10290
ПТУ ИНТ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....1

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....3

ABSTRACT

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ηλιακή Ακτινοβολία , Αρχές – Έννοιες

1.1 Γενικά 4

1.2 Ηλιακή Ακτινοβολία και Ενέργεια 6

1.3 Το φαινόμενο της Ηλιακής Έκθεσης 10

1.3.1 Η Αλληλεπίδραση της Ηλιακής ακτινοβολίας με το περιβάλλον.....10

1.4 Τεχνολογία και περιβαλλοντικά προβλήματα.....13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Αρχιτεκτονική Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και Παραμετροποίηση

2.1 Γενικά.....15

2.2 Αρχιτεκτονική ΣΓΠ.....18

2.2.1 Αρχιτεκτονική λογισμικού.....18

2.2.2 Αρχιτεκτονική συστήματος.....24

2.3 Υφιστάμενα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών.....25

2.3.1 Επιλογή λογισμικού για ανάλυση του φαινομένου 28

2.4 Παραμετροποίηση.....29

2.4.1 Παραδείγματα Εργαλείων ανάπτυξης εφαρμογών ΣΓΠ.....31

2.5 Το Μοντέλο COM 33

2.6 COM αρχιτεκτονική σε γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών(ArcObjects).....37

2.6.1 Η αρχιτεκτονική του ArcCatalog.....37

2.6.2 Η αρχιτεκτονική του ArcMap.....39

2.6.3 Γεωβάση (Geodatabase).....42

2.6.4 Το μοντέλο δεδομένων του ψηφιδωτού (Raster).....43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ – ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ

3.1 Γενικά.....44
3.2 Μεθοδολογίες συλλογής υψομετρικών δεδομένων και προεπεξεργασία.....45
3.2.1 Υψομετρία, μέθοδοι, αρχές.....45
3.3 Επεξεργασία – Δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους.....47
3.4 Παραγόμενα και Αξιοποίηση Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους.....51
3.5 Υπολογισμός κλίσης και έκθεσης της επιφανείας.....51
3.6 Σκίαση Ανάγλυφου.....53
3.7 Χωρικά Μοντέλα περιγραφής της ηλιακής έκθεσης.....55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Χωροχρονική Μοντελοποίης, Βασικές Αρχές – Τεχνικές

4.1 Γενικά - Μοντελοποίηση.....58
4.1.1 Μοντέλα.....59
4.2 Ο ρόλος του χρόνου στη γεωγραφία.....64
4.2.1 Χρόνος και GIS.....65
4.2.2 Χωροχρονική Μοντελοποίηση.....66
4.2.3 Υλοποίηση ενός χωροχρονικού μοντέλου στο περιβάλλον ενός GIS.....67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Μεθοδολογία ανάπτυξης της εφαρμογής

5.1 Ορισμός του προβλήματος.....71
5.1.1 Ήλιος.....71
5.1.2 Τοπογραφία 75
5.1.3 Κλιματολογικά – Ατμοσφαιρικά Στοιχεία 80

5.1.4 Γεωλογία – Εδαφοκάλυψη....83
5.2 Κατασκευή του μοντέλου....84
5.3 Μεταφορά του μοντέλου στον Η/Υ....86
5.3.1 Εννοιολογική Μοντελοποίηση....87
5.3.2 Λογικός Σχεδιασμός....91
5.3.3 Κατασκευή του προγράμματος....98

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Εφαρμογή στον Ελληνικό Χώρο
6.1 Γενικά....107
6.2 Μεθοδολογία....108

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ....122

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τον τίτλο << Μελέτη του ηλιασμού με τη χρήση ΣΓΠ>> εκπονήθηκε από τον φοιτητή του τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου Αθηνών, Μήτρου Ανδρέα. Ο χώρος που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή της ήταν οι εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και Τηλεπισκόπισης του τμήματος.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε, από άποψη υλικού ήταν ένας σταθμός εργασίας (workstation) με επεξεργαστή Intel Pentium 4 με χρονισμό στα 3 GHerz και κύρια μνήμη χωρητικότητας 1.024 Mbytes. Από την πλευρά λογισμικού, το λειτουργικό σύστημα πού χρησιμοποιήθηκε ήταν Microsoft Windows XP Professional, ενώ το λογισμικό ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν η πλατφόρμα ArcGIS 9.0 της ESRI και η πλατφόρμα ανάπτυξης εφαρμογών της Visual Basic.

Η εκπόνηση αυτής της εργασίας θα ήταν εξαιρετικά δύσκολη χωρίς την βοήθεια επιστημόνων που μελετούν αρκετά χρόνια το θέμα της ηλιακής έκθεσης των οποίων η εμπειρία ήταν εξαιρετικά πολύτιμη για την εξέλιξη και πορεία της εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω λοιπόν, τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Χρίστο Χαλκιά για την υποστήριξη του, τον κ. Βασίλειο Ψυλόγλου του οποίου το ερευνητικό έργο και το πρόγραμμα **sunae** αποτέλεσαν σημαντικά στοιχεία για την εργασία, την Marathon Data Systems, επίσημη αντιπρόσωπο της ESRI στην Ελλάδα, για την παραχώρηση λογισμικού (ArcGIS 9) και βιβλιογραφικών αναφορών σχετικά με την αρχιτεκτονική του λογισμικού, με τη βοήθεια του οποίου αναπτύχθηκε το σύστημα προσομοίωσης του φαινομένου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση της δυνατότητας που παρέχουν τα σύγχρονα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (ΣΓΠ) στη μοντελοποίηση φαινομένων και στην επίλυση προβλημάτων του πραγματικού κόσμου. Η παρουσίαση εξειδικεύεται στη μελέτη ενός συγκεκριμένου φαινομένου, της ηλιακής έκθεσης, μέσα από την ανάλυση του οποίου θα γίνει εύκολα κατανοητή η σημασία των λειτουργιών που παρέχει ένα ΣΓΠ αλλά και η σημασία της παραμετροποίησης του ως ένα σημαντικό παράγοντα για την μοντελοποίηση πολύπλοκων και σύνθετων φαινομένων.

Επίσης, γίνεται μια προσπάθεια ανάπτυξης ενός συστήματος προσομοίωσης του φαινομένου, στο περιβάλλον ενός εμπορικού πακέτου ΣΓΠ βάση των δυνατοτήτων που παρέχει αυτό και τελικά το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται για την μελέτη του φαινομένου της ηλιακής έκθεσης σε μια περιοχή του ελληνικού χώρου.
Αναλυτικότερα λοιπόν, η εργασία διαρθρώνεται σε επτά συνολικά κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο η σημασία της ηλιακής ενέργειας και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελούν το κύριο θέμα συζήτησης. Ακόμα προσεγγίζεται συνοπτικά και με μία περιβαλλοντική σκοπιά το θέμα της ηλιακής έκθεσης (η.ε). Επίσης εξετάζονται οι προοπτικές της εφαρμογής της τεχνολογίας των ΣΓΠ στην επίλυση περιβαλλοντικών προβλημάτων και γίνεται μια πρώτη αποτίμηση σχετικά με την μέχρι τώρα συνεισφορά της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία επισκόπηση της τεχνολογίας και της αρχιτεκτονικής των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών. Ιστορικές αναδρομές και περιγραφές διαφόρων τύπων και αρχιτεκτονικών GIS μονοπωλούν τη θεματολογία αυτού του κεφαλαίου. Επίσης γίνεται μία εισαγωγή για τις δυνατότητες παραμετροποίησης στα σύγχρονα πακέτα GIS.

Το τρίτο αναφέρεται στα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (υπόβαθρο της μελέτης), στις δομές που τα υποστηρίζουν, τους τρόπους δημιουργίας τους, και τις μεθόδους συλλογής πρωτογενών στοιχείων. Επίσης αναφέρεται στην διαχείριση αυτών των μοντέλων και γίνεται μία εισαγωγή για τα χωρικά μοντέλα της ηλιακής έκθεσης.

Ακολουθεί αναφορά στην μοντελοποίηση, με έμφαση στην μοντελοποίηση χωροχρονικών φαινομένων, ενώ παρουσιάζονται και τα διάφορα στάδια για την παραγωγή ενός ολοκληρωμένου μοντέλου.

Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί την περιγραφή της ανάπτυξης του προγράμματος προσομοίωσης εφαρμόζοντας στοιχεία και αρχές που αναφέρονταν στα προηγούμενα κεφάλαια

Το έκτο κεφάλαιο αποτελεί την εφαρμογή του προγράμματος για μία συγκεκριμένη περιοχή του ελληνικού χώρου, το νησί της Τήνου.

Τέλος παρουσιάζονται τα τελικά σχόλια για την εργασία και την αξία της στην γενικότερη αντιμετώπιση ανάλογων φαινομένων.

Abstract

This study has as purpose the presentation of GIS capabilities in modelling real world phenomena and problems. This presentation focus on a specific phenomenon or problem called insolation. Through insolation's analysis, GIS functions and customisation capabilities will rise and show the importance of their use in modelling complex phenomena.

In addition, an effort is being carried so as to develop a simulation system, in the environment of a commercial GIS package so as to study insolation for a greek region.

More specific this study is structured in seven chapters :

In the first chapter the importance of solar energy and other renewable natural resources is being discussed. Moreover insolation is approached by an environmental point of view. In addition the perspectives of the application of GIS technology in modeling environmental problems and an estimation of their contribution so far are being examined.

In the second chapter there is an analysis of GIS technology and architecture. Historical throwbacks and description of various GIS types and architectures consist this chapter. In addition an introduction is done about customization of commercial GIS packages.

The third chapter refers to Digital Terrain Models (DTM), their structure, methods for their creation, and method for data collection. Moreover a reference about their management and their relationship with solar radiation models is being done

The following chapter analyzes modelling, emphasizing in spatiotemporal modelling.

In the fifth chapter details about the simulation system's development are being described, implementing issues and data referenced at previous chapters.

The sixth chapter comprise an application of the simulation system on a greek region

Finally the last chapter is the concluding remarks of the study. Moreover some improvements not only in technical parameters but also in the model are proposed.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
ΓΕΝΙΚΕΣ -ΑΡΧΕΣ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

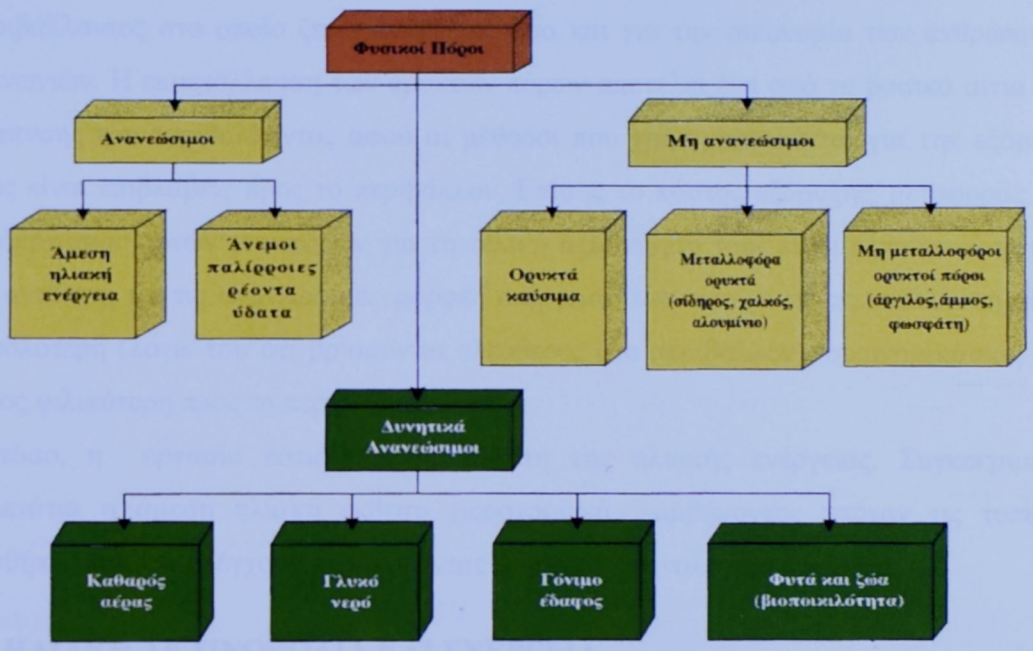
Ο άνθρωπος από την πρώτη στιγμή της εμφάνισης του στη γη, χρειάστηκε για την επιβίωση του να καταναλώσει και να αξιοποιήσει τους πόρους που του προσέφερε το φυσικό του περιβάλλον, όπως ο αέρας, ο ήλιος, το νερό, το γόνιμο έδαφος, η χλωρίδα που συνιστούν ένα υποσύνολο των φυσικών πόρων. Φυσικός πόρος λοιπόν καλείται *οτιδήποτε παίρνουμε από το περιβάλλον για να ανταποκριθούμε στις ανάγκες και τις επιθυμίες μας. (G.Tyler Mille.,JR,1996).*

Ένας σημαντικός διαχωρισμός στους φυσικούς πόρους, είναι αυτός που γίνεται ανάλογα με τη ποσότητα στην οποία βρίσκονται, σε δύο κατηγορίες: τους *ανανεώσιμους* και τους *μη ανανεώσιμους* φυσικούς πόρους *(G.Tyler Millel.JR,1996).* Οι φυσικοί πόροι που βρίσκονται σε σταθερές ποσότητες στο φλοιό της γης και θεωρητικά μπορεί να εξαντληθούν ονομάζονται μη ανανεώσιμοι ή εξαντλήσιμοι φυσικοί πόροι. Αντίθετα οι φυσικοί πόροι που βρίσκονται σε ανεξάντλητες, σύμφωνα με την ανθρώπινη κλίμακα ποσότητες, ονομάζονται ανανεώσιμοι φυσικοί πόροι *(G.Tyler Miller,JR,1996).*

Με την πάροδο του χρόνου, όμως και την εξέλιξη της τεχνολογίας νέοι φυσικοί πόροι ανακαλύφθηκαν όπως τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο), κάποια μεταλλοφόρα (σίδηρος, χαλκός, αλουμίνιο) και μη μεταλλοφόρα ορυκτά (άργιλος, άμμος, φωσφάτη) οι οποίοι συνέβαλλαν στην επαρκή κάλυψη ακόμα και των πιο σύνθετων αναγκών του ανθρώπου όπως μετακίνηση, θέρμανση, κατασκευές κ.α.

Ωστόσο οι ραγδαίες δημογραφικές αλλαγές (αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού), οι εξελίξεις στον παραγωγικό τομέα (μεγάλος αριθμός βιομηχανιών και εντατικοποίηση της παραγωγής) και τα επακόλουθα τους (αστικοποίηση, ρύπανση κ.α) έφεραν στην επιφάνεια το πρόβλημα της ανεπάρκειας των φυσικών πόρων. Οι ανάγκες ενός συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού, οι παραγωγικές απαιτήσεις προκειμένου να καλυφθούν αυτές οι ανάγκες οδήγησαν στην αλόγιστη χρήση των φυσικών πόρων με αποτέλεσμα τη σταδιακή μείωση και εξασθένιση τους. Το ενδιαφέρον επομένως, στράφηκε στην εκμετάλλευση πόρων που βρίσκονται σε ανεξάντλητες ποσότητες, τους αποκαλούμενους ανανεώσιμους φυσικούς πόρους.

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



Σχήμα 1: Ανανεώσιμοι και μη φυσικοί πόροι *(G.Tyler Mille.,JR,1996).*

Στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 1) επιχειρείται μια κατηγοριοποίηση των φυσικών πόρων σε ανανεώσιμους και μη φυσικούς πόρους. Στους ανανεώσιμους φυσικούς πόρους κατατάσσονται η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια καθώς και το νερό. Αντίθετα στους μη ανανεώσιμους πόρους κατατάσσονται τα ορυκτά καύσιμα, τα μεταλλοφόρα και μη ορυκτά. Οι δυνητικά ανανεώσιμοι πόροι αποτελούν μια επιμέρους κατηγορία η οποία αποτελείται από πόρους που έχουν την ιδιότητα να ανανεώνονται γρήγορα (μερικές ώρες ή λίγες δεκαετίες) με τη βοήθεια κάποιων φυσικών διαδικασιών. Ο αέρας, το πόσιμο νερό, οι βοσκότοποι, τα υπόγεια νερά καθώς και η βιοποικιλότητα είναι μερικοί από τους πόρους που ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία.

Η σπουδαιότητα των ανανεώσιμων φυσικών πόρων και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι εξαιρετικά μεγάλη τόσο για την διατήρηση της υψηλής ποιότητας του περιβάλλοντος στο οποίο ζει ο άνθρωπος όσο και για την οικονομία των ανθρώπινων κοινωνιών. Η εκμετάλλευση των ορυκτών πόρων αποτελεί ένα από τα βασικά αίτια της ρύπανσης του περιβάλλοντος αφού οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εξόρυξη τους είναι επιβλαβείς προς το περιβάλλον. Επίσης το κόστος εξόρυξης, μεταφοράς και επεξεργασίας αυτών των πόρων για τη τελική αξιοποίηση τους είναι εξαιρετικά υψηλό σε αντίθεση με τις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας των οποίων η εκμετάλλευση είναι ευκολότερη (λόγω του ότι βρίσκονται ελεύθερες στο περιβάλλον), οικονομικότερη και τέλος φιλικότερη προς το περιβάλλον.

Ωστόσο, η εργασία εστιάζει στην μελέτη της ηλιακής ενέργειας. Συγκεκριμένα μελετάται η άμεση ηλιακή έκθεση χωροχρονικά, λαμβάνοντας υπόψιν τις τοπικές συνθήκες που την ελέγχουν, αξιοποιώντας σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία

1.2 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η έννοια ενέργεια αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος να αποδώσει στο περιβάλλον του έμμεσα ή άμεσα έργο. Διακρίνεται σε διάφορες μορφές όπως κινητική, δυναμική, θερμική, ηλεκτρική, χημική, πυρηνική, ηλιακή ενέργεια. Κάθε μια από αυτές τις μορφές είτε δημιουργείται από την αξιοποίηση κάποιων ενεργειακών πόρων (φυσικών) που παρέχει το φυσικό περιβάλλον είτε από την μετατροπή μιας μορφής ενέργειας σε μια άλλη. Όσον αφορά στους ενεργειακούς πόρους, οι κυριότεροι είναι: οι ορυκτοί πόροι (πετρέλαιο, φυσικό αέριο), η βιομάζα καθώς και ένα σύνολο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως είναι ο ήλιος, το νερό και ο άνεμος.

Ό ήλιος αποτελεί ίσως τη σημαντικότερη πηγή ενέργειας αφού η ενέργεια που μεταφέρεται με την ηλιακή ακτινοβολία στην γη, αποτελεί το 99% της ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση της γης και όλων των κτιρίων *(Henry and Heinke 1986)*. Επίσης αποτελεί το δημιουργό άλλων ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων όπως του ανέμου, της ροής των υδάτων, της βιομάζας.

Η ηλιακή ακτινοβολία δημιουργείται από την ενέργεια που εκλύεται μετά από την θερμοπυρηνική σύντηξη κατά τη μεταβολή του υδρογόνου σε ήλιο. Στην συνέχεια

διαχέεται στο διάστημα με ταχύτητα $3*10^{8}$ m/sec όπου και φθάνει στη γη μετά από κάποιο χρονικό διάστημα.

Η ηλιακή ακτινοβολία που παράγεται από τις διάφορες πυρηνικές αντιδράσεις στο εσωτερικό του ηλίου είναι μιας μορφής ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία αποτελείται από επιμέρους τμήματα που ονομάζονται φασματικές ζώνες (Πίνακας 1) και καθορίζονται από το μήκος κύματος σε αυτές τις περιοχές. Οι φασματικές ζώνες λοιπόν που συνθέτουν την ηλιακή ακτινοβολία είναι εκείνες του ορατού, του υπέρυθρου του υπεριώδους, των μικροκυμάτων των ραδιοκυμάτων, των ακτινών χ και των ακτινών γάμα. Η ακτινοβολία αυτή ωστόσο μεταφέρει ενέργεια η οποία μεταδίδεται στο περιβάλλον και μεταφράζεται σε θερμότητα.

Φασματική Ζώνη	Μήκος Κύματος
Ακτίνες Γάμα	**<0,03 nm**
Ακτίνες Χ	**0,03 nm – 300 nm**
Υπεριώδης Ακτινοβολία	**0,30 μm - 0,38 μm**
Ορατό	**0,38 μm – 0,72 μm**
Εγγύς Υπέρυθρο	**0,72 μm - 1,30 μm**
Μέσο Υπέρυθρο	**1,30 μm - 3 μm**
Άπω Υπέρυθρο	**7 μm - 15 μm**
Μικροκύματα	**0,3 cm – 30 cm**
Ραδιοφωνικά Κύματα	**>= 30 cm**

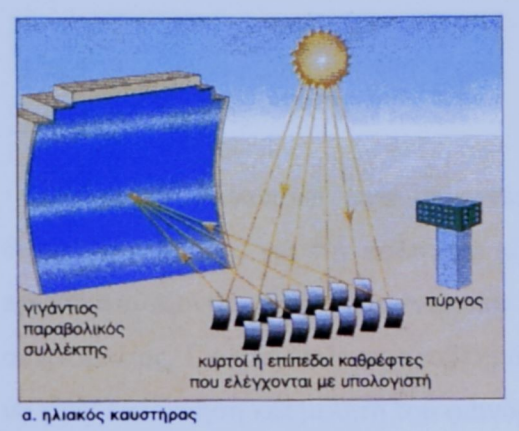
Πίνακας.1 : Οι φασματικές ζώνες της ηλιακής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
(Μερτίκας.Σ, 1999)

Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί ζωτικής σημασίας παράγοντα για τις διάφορες βιολογικές και φυσικοχημικές διαδικασίες του πλανήτη μας. Στα γήινα και υδατικά οικοσυστήματα ο ήλιος αποτελεί τη κινητήρια δύναμη για μια σειρά από διαδικασίες (π χ φωτοσύνθεση) που απαιτούν τη κατανάλωση ενέργειας για την διεκπεραίωση τους.

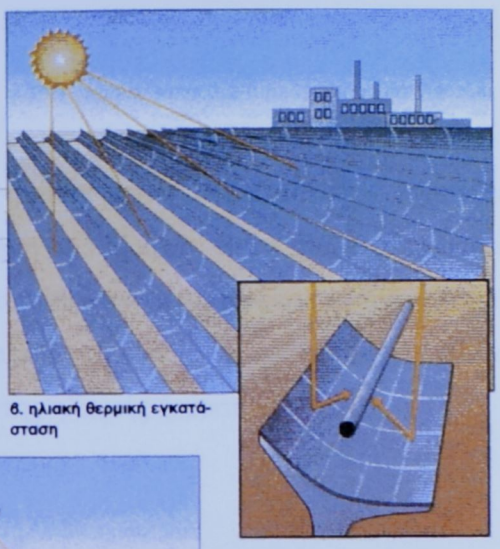
Η ηλιακή ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από το ότι είναι μία ανεξάντλητη πηγή, καθαρή μορφή ενέργειας αφού δεν περιέχει ουσίες που μπορούν να μολύνουν το

περιβάλλον. Αποτελεί μια ανανεώσιμή πηγή ενέργειας η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί αν εκμεταλλευθεί κατάλληλα είτε για την παραγωγή θέρμανσης είτε για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

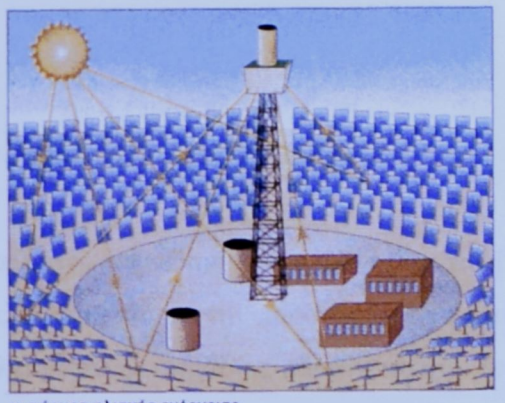
Η εκμετάλλευση και αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας γίνεται με τη βοήθεια διάφορων τεχνολογιών, προκειμένου να παραχθεί θερμότητα και ηλεκτρισμός. Μερικές από αυτές είναι τα παθητικά συστήματα θέρμανσης τα οποία συλλαμβάνουν άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία με τη βοήθεια κατάλληλων διατάξεων, τα ενεργητικά συστήματα ηλιακής θέρμανσης τα οποία απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία και στη συνέχεια με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα που βρίσκεται εντός μίας αντλίας στέλνεται η ποσότητα του νερού που επιθυμείται στον ενεργειακό συλλέκτη και στη συνέχεια διοχετεύεται για χρήση στον εσωτερικό χώρο. Ακόμα τα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία συντίθεται από ηλιακά κύτταρα τα οποία συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και είναι δυνατό να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Πρόκειται λοιπόν για συστήματα από τα οποία μπορεί να παραχθεί θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας.



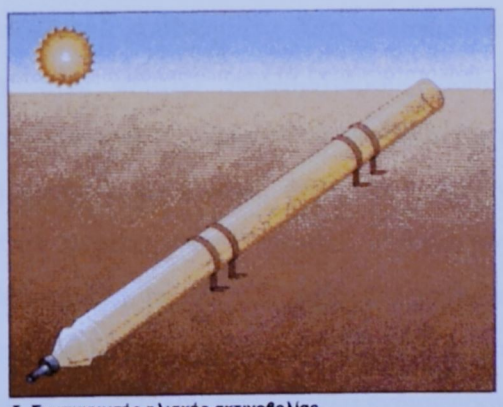
α. ηλιακός καυστήρας



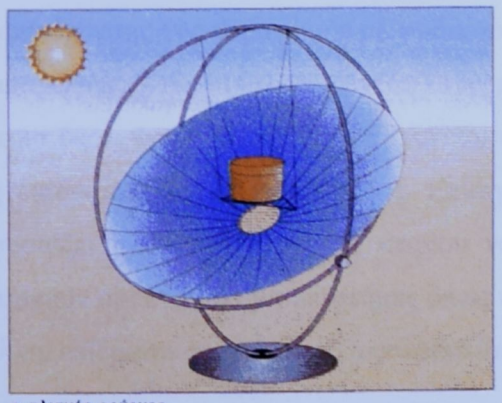
β. ηλιακή θερμική εγκατάσταση



γ. πύργος ηλιακής ενέργειας



δ. Συμπυκνωτής ηλιακής ακτινοβολίας



ε. ηλιακός φούρνος

Εικόνα 1 : Διατάξεις για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας *(G.Tyler Miller,JR,1996).*

Ωστόσο υπάρχουν συστήματα τα οποία συλλέγουν μεγάλες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας με τη βοήθεια ηλιοστατών. Για τα συστήματα αυτά επειδή απαιτείται μεγάλος αριθμός διατάξεων χρειάζονται μεγάλες και επίπεδες εκτάσεις για την ανάπτυξη τους.

Από τα παραπάνω είναι εμφανές ότι η ανθρώπινη κοινωνία έχει αναπτύξει διάφορες μεθόδους για την καλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας, οι οποίες προσανατολίζονται στην συγκέντρωση όσο το δυνατό μεγαλύτερου ποσού ηλιακής ακτινοβολίας. Για την επίλυση προβλημάτων αυτού του τύπου, θα πρέπει μεταξύ άλλων να γίνει κατανόηση και μελέτη του φαινομένου της ηλιακής έκθεσης.

1.3 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

Ηλιακή έκθεση καλείται το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια περιοχή από την αλληλεπίδραση της με την προσπίπτουσα σε αυτή ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή έκθεση αποτελεί μεγάλης σημασίας παράγοντα για μεγάλο πλήθος εφαρμογών στις οποίες η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας θα μπορούσε να επιφέρει λύσεις σε αρκετά προβλήματα. Στη γεωργία η ανάγκη επιτάχυνσης της παραγωγής με φυσικούς τρόπους απαιτεί γρηγορότερους ρυθμούς παραγωγής χλωροφύλλης. Αυτό λοιπόν, προϋποθέτει η καλλιέργεια να βρίσκεται σε τέτοια θέση ώστε να δέχεται μεγάλα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας ώστε να επιταχύνεται η διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Επίσης στην αρχιτεκτονική, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η δυνατότητα ενός κτιρίου να θερμαίνεται με φυσικό τρόπο (ηλιακό φως). Υπάρχουν αρκετές ακόμα επιστήμες όπως η περιβαλλοντολογία, η δασολογία κ.α όπου η αλληλεπίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας με το περιβάλλον έχει μεγάλο ενδιαφέρον

1.3.1 Η ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία διαπεράσει την ατμόσφαιρα και προσπέσει σε μία επιφάνεια τότε ένα μέρος της ανακλάται και το υπόλοιπο απορροφάται. Το ποσοστό της ακτινοβολίας που ανακλάται ή απορροφάται εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι η γεωμετρία επιφάνειας, η υφή, οι φυσικοχημικές ιδιότητες της επιφάνειας καθώς και πολλές άλλες παράμετροι που θα αναλυθούν παρακάτω.

Ανάκλαση καλείται το φαινόμενο της αλλαγής της διεύθυνσης μίας ακτίνας φωτός, όταν αυτή προσπέσει σε μία επιφάνεια Η ανάκλαση εξαρτάται από την τραχύτητα της επιφανείας σε σχέση με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Αν η επιφάνεια είναι ομαλή (σχεδόν λεία) τότε παρατηρείται το φαινόμενο της κατοπτρικής ανάκλασης κατά το οποίο επιστρέφεται όλο ή το μεγαλύτερο μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε μία διεύθυνση. Αντίθετα αν η επιφάνεια είναι τραχεία τότε μπορεί να προκληθεί διάχυση της ακτινοβολίας. Κατά τη διάχυση η ακτινοβολία διαχέεται ισότροπα προς όλες τις διευθύνσεις ***Απορρόφηση*** καλείται το φαινόμενο της πρόσληψης ενέργειας από μία επιφάνεια και είναι φανερό ότι εξαρτάται από τους ίδιους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται και η ανάκλαση αφού είναι η ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που απομένει μετά την ανάκλαση της. Επίσης η απορρόφηση εκτός από την τραχύτητα εξαρτάται και από τις φυσικοχημικές ιδιότητες της επιφανείας και από τη φύση της ακτινοβολίας.

Η ηλιακή ακτινοβολία που αλληλεπιδρά με το γήινο περιβάλλον μπορεί να είναι άμεση, σκεδαζόμενη ή ανακλώμενη. **Άμεση** ακτινοβολία είναι η ακτινοβολία που φθάνει απευθείας στο έδαφος, χωρίς να συναντήσει κάποιο εμπόδιο προηγουμένως. **Σκεδαζόμενη** είναι η ακτινοβολία που προκύπτει από μετά από την αλληλεπίδραση της με άλλα σώματα, τα οποία προκαλούν σκέδαση ενώ **ανακλώμενη** είναι η ακτινοβολία που προκύπτει από την ανάκλαση της άμεσης ακτινοβολίας μετά την αλληλεπίδραση της με άλλες επιφάνειες. Ανάλογα λοιπόν με τον τύπο της ακτινοβολίας, διαφοροποιείται και το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που μεταφέρει.

Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι η ακτινοβολία που δέχεται μία επιφάνεια μπορεί να είτε άμεση, είτε σκεδαζόμενη, είτε ανακλώμενη ή συνδυασμός και των τριών μορφών της ακτινοβολίας. Το ποσοστό συμμετοχής κάθε μίας από τις παραπάνω μορφές εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που αναλύονται διεξοδικά στο κεφάλαιο 3. Ωστόσο αξίζει να παραταθούν εδώ κάποιες βασικές έννοιες.

Η γεωμετρία λοιπόν της επιφανείας, η θέση του ηλίου και η σχετική τους θέση αποτελούν τις βασικές παραμέτρους, σε γενικές γραμμές, που επηρεάζουν την ηλιακή ενέργεια που προσλαμβάνει μια επιφάνεια του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα η ηλιακή έκθεση εξαρτάται από την γωνία πρόσπτωσης που σχηματίζεται μεταξύ του διανύσματος

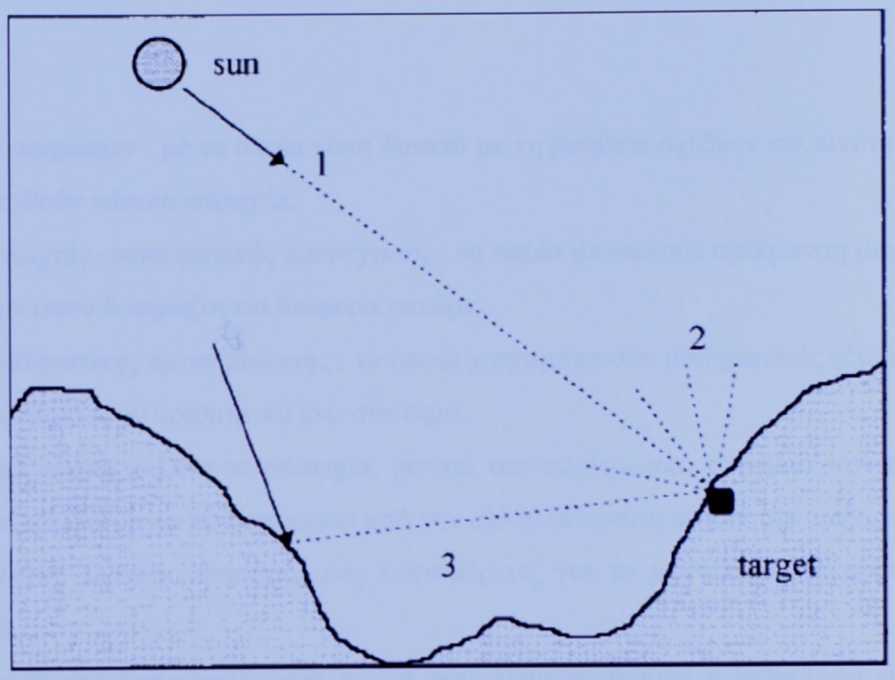
της ηλιακής ακτίνας και του κανονικού διανύσματος[1] που προσδιορίζονται από την θέση του ηλίου και γεωμετρία της επιφανείας αντίστοιχα.

Όλα τα παραπάνω ισχύουν σε ένα θεωρητικό κόσμο χωρίς φυσικά εμπόδια. Αν το πρόβλημα μεταφερθεί στο φυσικό περιβάλλον τότε θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες όπως το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής που μελετάται, τα φυσικά εμπόδια όπου σε συνδυασμό με την θέση του ηλίου μπορεί να προκαλούν σκίαση της επιφανείας (μερική ή ολική). Τέτοια εμπόδια μπορεί να είναι είτε άλλες επιφάνειες είτε πυκνή βλάστηση που εμποδίζουν τις ηλιακές ακτίνες.

Είναι φανερό λοιπόν ότι η ηλιακή έκθεση είναι ένα δυναμικό φαινόμενο που μεταβάλλεται στο χρόνο και στο χώρο καθώς δεν εξαρτάται μόνο από τη θέση του ηλίου αλλά και από τους παράγοντες που επηρεάζουν την γεωμετρία της επιφάνειας που στη περίπτωση του χώρου είναι κάποιες μορφολογικές παράμετροι που θα αναλυθούν εκτενέστερα σε άλλο κεφάλαιο.

Το φαινόμενο της ηλιακής έκθεσης είναι ένα σύνθετο φαινόμενο το οποίο είναι αρκετά δύσκολο να μελετηθεί. Ωστόσο οι τεχνολογικές εξελίξεις μπορούν να συνεισφέρουν στην μελέτη του, αφού απλοποιούν τους υπολογισμούς και παρέχουν τη δυνατότητα της ανάλυσης και συνδυαστικής μελέτης των παραγόντων που ελέγχουν το φαινόμενο.

[1] Το διάνυσμα που είναι κάθετο στο κέντρο μιας επιφάνειας



Σχήμα 2: Η αλληλεπίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας με μία ορεινή περιοχή (1) Άμεση ηλιακή ακτινοβολία (2) Σκεδαζόμένη (3) Ανακλώμενη. *(Kumar.L, Skidmore.A, Knowles.E, 1996)*

1. 4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Με τη πάροδο του χρόνου η γνώση και η τεχνολογία σημείωσαν πολύ σημαντική εξέλιξη. Το γεγονός αυτό ωφέλησε τη μελέτη περιβαλλοντικών προβλημάτων τα οποία ήταν πολύπλοκο να μελετηθούν με τη προγενέστερη γνώση και τεχνολογία. Η μοντελοποίηση αποτελεί πλέον το κυριότερο εργαλείο για την ανάλυση και την μελέτη διαφόρων περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Σε γενικές γραμμές ένα μοντέλο αποτελεί τη προσομοίωση ενός συστήματος που αποτελείται από διάφορα μέρη και λειτουργίες που απορρέουν από την αλληλεπίδραση των επιμέρους μερών. Σε αυτό το σύστημα εισάγονται κάποιες παράμετροι και το μοντέλο απεικονίζει πως θα μεταβληθεί η κατάσταση του συστήματος. Για την προσομοίωση ενός συστήματος έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα, μερικά από τα οποία αναφέρονται παρακάτω:

Μοντέλα νοητικής προσέγγισης: για να αντιληφθούν το κόσμο

Μοντέλα αντίληψης: τα οποία χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη γενική σχέση μεταξύ των συστατικών ενός συστήματος.

Μοντέλα γραφημάτων : με τα οποία είναι δυνατό με τη βοήθεια σχεδίων και εικόνων να αναπαρασταθούν κάποια στοιχεία.

Μοντέλα ανοιχτής αντικειμενικής προσέγγισης : τα οποία αποτελούν σμίκρυνση μεγάλων συστημάτων όπου δοκιμάζονται διάφορα σενάρια.

Μοντέλα μαθηματικής προσομοίωσης : τα οποία χρησιμοποιούν μαθηματικές εξισώσεις για να προςομοιάσουν αριθμητικά ένα σύστημα.

Στη συγκεκριμένη μελέτη το σύστημα, γενικά, αποτελείται από τον ήλιο, την περιοχή μελέτης και η λειτουργία που απορρέει από την αλληλεπίδραση αυτών των μερών είναι η ηλιακή έκθεση. Ωστόσο περισσότερες λεπτομέρειες για το μοντέλο αναφέρονται στο κεφάλαιο 3

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας στο τομέα των πληροφοριακών συστημάτων είχε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία χρήσιμων εργαλείων για την ανάλυση φαινομένων και προβλημάτων που συμβαίνουν στο χώρο. Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία. Όλα τα μοντέλα που περιγράφηκαν παραπάνω είναι δυνατό να αναπαρασταθούν στο περιβάλλον ενός GIS και με τη βοήθεια των λειτουργιών και των δυνατοτήτων επέκτασης που διαθέτει να μοντελοποιηθούν με μεγάλη ακρίβεια διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα.

Για να μπορέσει όμως κάποιος να κατανοήσει κατά πόσο είναι δυνατό και με ποιο τρόπο να μοντελοποιηθεί ένα περιβαλλοντικό φαινόμενο, θα πρέπει να εξετάσει τις δυνατότητες ενός GIS και να κατανοήσει την αρχιτεκτονική και τη λογική του συστήματος

Για αυτό το λόγο το επόμενο κεφάλαιο της εργασίας αφιερώνεται στη περιγραφή ενός GIS, των δυνατοτήτων του και της αρχιτεκτονικής του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤ.
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η έννοια Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) είναι πολυσύνθετη και πολυδιάστατη. Έχουν δοθεί κατά καιρούς αρκετοί ορισμοί για την έννοια ενός ΣΓΠ, εξετάζοντας το από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Σύμφωνα με αυτούς, λοιπόν ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών είναι :

ένα σύνολο αυτοματοποιημένων λειτουργιών που παρέχει τη δυνατότητα σε επαγγελματίες χρήστες την αποθήκευση, ανάκτηση, διαχείριση και οπτικοποίηση γεωγραφικών δεδομένων. (Ozemoy, Smith, Sicherman 1981)

ένα σύστημα βάσης δεδομένων στο οποίο τα περισσότερα δεδομένα είναι χωρικά κωδικοποιημένα και στα οποία εφαρμόζεται ένα σύνολο λειτουργιών προκειμένου προκειμένου να απαντηθούν ερωτήματα που αφορούν χωρικές οντότητες της βάσης (Smith et al.1987)

οποιοδήποτε σύνολο αυτοματοποιημένων διαδικασιών για την αποθήκευση και διαχείριση γεω-αναφερόμενων δεδομένων (Aronof 1989)

ένα υπολογιστικό σύστημα σχεδιασμένο για να υποστηρίξει τη συλλογή, διαχείριση, επεξεργασία, ανάλυση, μοντελοποίηση και απεικόνιση δεδομένων που αναφέρονται στο χώρο και μεταβάλλονται στο χρόνο (*Ε.Στεφανάκης,2003).*

Από τους παραπάνω ορισμούς αντικατοπτρίζεται ότι τα ΣΓΠ αντιμετωπίζονται α) ως ένα σύνολο εργαλείων β) ως ένα σύστημα βάσης δεδομένων και γ) ως ένας οργανισμός, έννοια που αναφέρεται στην δικτύωση ιδρυμάτων και ανθρώπων για την διαχείριση χωρικών δεδομένων (Burrrough.P, McDonnel.R, 1998)

Τα ΣΓΠ αποτελούν κατηγορία πληροφοριακών συστημάτων τα οποία υπακούουν στις γενικότερες αρχές που διέπουν ένα πληροφοριακό σύστημα με το επιπλέον χαρακτηριστικό της χωρικής διάστασης, αφού τα δεδομένα που κυρίως επεξεργάζονται αναφέρονται στο χώρο.

Παρόλο που αρχικός σκοπός της ανάπτυξης τούς ήταν η χαρτογραφική παραγωγή με αποτέλεσμα, οι δυνατότητες τους να περιορίζονται στην διαχείριση της γραφικής πληροφορίας (CAD συστήματα), με την πάροδο του χρόνου και κυρίως κατά τις δεκαετίες '70, '80 δημιουργήθηκε η ανάγκη ανάπτυξης ΣΓΠ σε γραφικό περιβάλλον, ενώ ταυτόχρονα άρχισαν να εμπλουτίζονται με νέες λειτουργίες που επέτρεπαν την

ανάλυση χωρικών φαινομένων. Επίσης διευρύνθηκε η χρήση τους σε μια μεγάλη ποικιλία τομέων. Ενδεικτικά αναφέρονται μερικοί (*Ι.Μανιάτης,1996*)

-Πολεοδομικός και Χωροταξικός σχεδιασμός

-Κτηματολόγιο

-Δίκτυα Κοινής Ωφελείας

-Παρακολούθηση και προστασία του Περιβάλλοντος

-Σχεδιασμός και προγραμματισμός χρήσεων Γης

-Κυκλοφοριακές και συγκοινωνιακές μελέτες

-Αγροτική ανάπτυξη και αναδιάρθρωση

Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι τα ΣΓΠ βρίσκουν εφαρμογή σε διάφορα πεδία εφαρμογών όπως εκείνα της διαχείρισης του φυσικού περιβάλλοντος, των κοινωνικοοικονομικών, τεχνικών θεμάτων καθώς και τοπογραφικών/γεωγραφικών ζητημάτων

Όσο αφορά τη δομή και την αρχιτεκτονική ενός ΣΓΠ, πρόκειται για σύστημα που συντίθεται από επιμέρους τμήματα τα οποία συνεργάζονται μεταξύ τους αλλά ταυτόχρονα είναι και ανεξάρτητα.

Τα ΣΓΠ έχουν τρία συστατικά μέρη (α) το υλικό (β) το λογισμικό, και (γ) τα δεδομένα. (Aronof, 1989)

Το υλικό αποτελείται από την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) του υπολογιστή, τους φυσικούς χώρους αποθήκευσης στους οποίους αποθηκεύονται τα αρχεία και τα δεδομένα που χρησιμοποιεί το τμήμα του λογισμικού καθώς και τις περιφερειακές συσκευές που χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή δεδομένων (ψηφιοποιητές, σαρωτές) και παρουσίαση των παραγόμενων (εκτυπωτές, οθόνες).

Το λογισμικό αποτελείται από τρία τμήματα : το λειτουργικό σύστημα, τα ειδικά προγράμματα εφαρμογής και το λογισμικό εφαρμογής.

Το λειτουργικό σύστημα αποτελεί το υπόβαθρο για την λειτουργία των υπόλοιπων δύο τμημάτων του λογισμικού. Τα ειδικά προγράμματα διευκολύνουν τη λειτουργία του συστήματος αφού λειτουργούν εσωτερικά του συστήματος προκειμένου να εξυπηρετηθούν διάφορες εντολές. Αυτά τα προγράμματα μπορεί να είναι

μεταγλωττιστές, διαχειριστές αρχείων, οδηγοί για την επικοινωνία με τις περιφερειακές μονάδες.

Το λογισμικό εφαρμογής συντίθεται από δύο μέρη : τον πυρήνα ο οποίος παρέχει τη δυνατότητα απεικόνισης, διαχείρισης και ανάλυσης των δεδομένων (π χ Arc Map της ESRI) και β) το λογισμικό ειδικών εφαρμογών με τις οποίες είναι δυνατή η εκτέλεση εξειδικευμένων λειτουργιών όπως είναι η παραγωγή ψηφιακών μοντέλων εδάφους, ανάλυση ορατότητας, διάφορες στατιστικές λειτουργίες (πχ. Spatial, 3D Analyst). Εκτός αυτών, όμως σε αυτά τα ειδικά προγράμματα κατατάσσονται και οι διαπροσωπείες (interface) ή διεπαφές χρηστών οι οποίες συνίστανται από φιλικές προς το χρήστη διεπαφές που επιτρέπουν τη κλήση συναρτήσεων για την εκτέλεση διαφόρων λειτουργιών, καθώς και τα περιβάλλοντα παραμετροποίησης είτε με μακροεντολές είτε με κάποια γλώσσα προγραμματισμού (C, Visual Basic)

Το τρίτο και τελευταίο μέρος ενός ΣΓΠ είναι τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε αυτό. Τα δεδομένα αυτά έχουν πολλές διαστάσεις οι οποίες και τα περιγράφουν. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται και αξιοποιούνται εντός ενός ΣΓΠ, τα οποία κατατάσσονται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες :

Α) Τα φυσικά αντικείμενα, οντότητες ανθρωπογενούς ή φυσικής προελεύσεως που παρατηρούνται στο χώρο όπως πχ ένα βουνό, μία λίμνη, ένας δρόμος, ένα σπίτι.

Β) Τα γεωγραφικά φαινόμενα τα οποία αναφέρονται σε δυναμικά φαινόμενα που μεταβάλλονται από τόπο σε τόπο και μερικές φορές και στο χρόνο. Παραδείγματα τέτοιων φαινομένων είναι η θερμοκρασία, η υγρασίας, η ηλιακή έκθεση, η κατανομή των σεισμικών επίκεντρων.

Γ) Διοικητικές μονάδες που η ύπαρξη τους οφείλεται σε νομοθεσίες και διατάξεις του εκάστοτε κυβερνητικού φορέα. Τέτοιες οντότητες είναι τα διοικητικά σύνορα μίας περιοχής, βιομηχανικές ζώνες κ.α

Τέλος κάθε οντότητα εκ των τριών κατηγοριών περιγράφεται από τέσσερις διαστάσεις.

- Η ταυτότητα που προσδιορίζει μονοσήμαντα μία γεωγραφική οντότητα. Κωδικοί ή συνδυασμοί άλλων γνωρισμάτων που είναι μοναδικοί για κάθε οντότητα αποτελούν τη ταυτότητα μίας γεωγραφικής οντότητας

- Η θεματική διάσταση η οποία συνίσταται από ένα σύνολο γνωρισμάτων που περιγράφουν τη κατάσταση ενός γεωγραφικού αντικειμένου.
- Η χωρική διάσταση αφορά τα χωρικά χαρακτηριστικά των γεωγραφικών οντοτήτων καθώς και τις χωρικές σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους.
- Η χρονική διάσταση η οποία και μελετάται στη παρούσα εργασία. Τα χαρακτηριστικά των οντοτήτων που περιγράφονται από τις τρεις παραπάνω διαστάσεις μεταβάλλονται με τη πάροδο του χρόνου με αποτέλεσμα να προκύπτει η ανάγκη για την εξέταση της εξέλιξης τους στο χρόνο αλλά και των χρονικών τους σχέσεων.

2.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΓΠ

Με τον όρο αρχιτεκτονική εννοούμε την δομή ή διάρθρωση ενός πληροφοριακού συστήματος σε επιμέρους τμήματα.

Η αρχιτεκτονική ενός ΣΓΠ είναι δυνατό να εξεταστεί από δύο οπτικές γωνίες :

Α) Από την άποψη των υλικών τμημάτων που το συνιστούν ή αλλιώς αρχιτεκτονική συστήματος

Β) Από την άποψη των λειτουργιών, των υπηρεσιών και των δεδομένων του συστήματος ή αλλιώς αρχιτεκτονική πληροφορίας.

2.2.1 Αρχιτεκτονική Λογισμικού

Ωστόσο οι παραπάνω αρχιτεκτονικές είναι αλληλένδετες και η μία συμπληρώνει την άλλη.

Μια γενική διάρθρωση ενός ΣΓΠ, περιγράφεται από τέσσερα τμήματα α) τη διεπαφή του χρήστη β) το διαχειριστή των δεδομένων γ) τον αναλυτή τον δεδομένων και τη βάση δεδομένων. Αυτή η απλή αρχιτεκτονική υλοποιείται με διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με την τεχνολογία που υιοθετείται.

- Διεπαφή του χρήστη

Με τον όρο διεπαφή εννοούμε το γραφικό περιβάλλον μέσω του οποίου ο χρήστης επικοινωνεί με το σύστημα. Αυτή η επικοινωνία επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης κάποιων δομών διεπαφής όπως

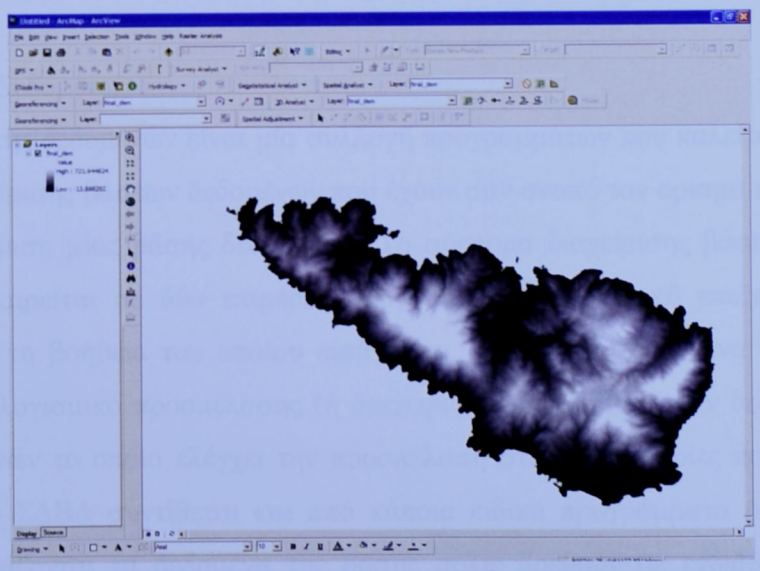
- Μενού : Ομάδες εντολών ή άλλων μενού που συνήθως εννοιολογικά είναι συγγενείς

-Κουμπιά εντολών (command buttons) : Εκτελούν scripts ή κάποια διαδικασία με το πάτημα τους

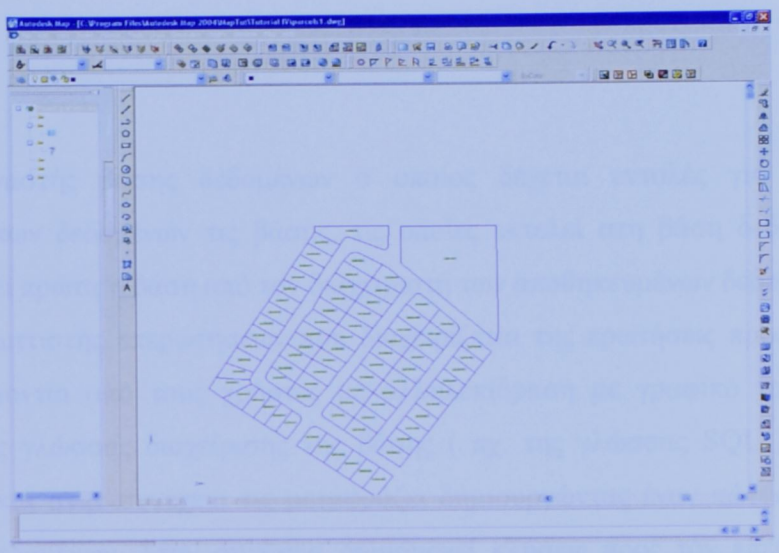
- Combo Box : Επιτρέπουν την επιλογή ενός στοιχείου από ένα προκαθορισμένο σύνολο

-Text-Edit Box : Επιτρέπουν στον χρήστη να εισάγει δεδομένα χρησιμοποιώντας το πληκτρολόγιο. άλλα controls (buttons, combo box) που διευκολύνουν την επικοινωνία χρήστη-συστήματος.

-Forms : Είναι φορείς όλων των προαναφερθέντων δομών.



Σχήμα 3 Το γραφικό περιβάλλον ενός ΣΓΠ



Σχήμα 4 Το γραφικό περιβάλλον του Autodesk Map

Από τα παραπάνω σχήματα φαίνεται ότι εκτός των χαρακτηριστικών που παρέχει η διεπαφή μίας κλασσικής εφαρμογής, η διεπαφή ενός ΣΓΠ παρέχει ένα επιπλέον control για την οπτικοποίηση των γεωγραφικών δεδομένων που καλείται Map Control.

-Διαχειριστής Δεδομένων

Ο διαχειριστής δεδομένων είναι μία συλλογή προγραμμάτων που καλείται αλλιώς και σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων που έχουν σαν σκοπό τον ορισμό τη κατασκευή και την διαχείριση μίας βάσης δεδομένων. Το σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων (ΣΔΒΔ) υποδιαιρείται σε δύο επιμέρους λογισμικά, το λογισμικό επεξεργασίας των δεδομένων με τη βοήθεια του οποίου εισάγονται ή εξάγονται δεδομένα από τη βάση καθώς και το λογισμικό προσπέλασης (ή διαχειριστής αποθηκευμένων δεδομένων) της βάσης δεδομένων το οποίο ελέγχει την προσπέλαση στις πληροφορίες που βρίσκονται στο δίσκο. Το ΣΔΒΔ συντίθεται και από κάποια ειδικά προγράμματα εφαρμογών τα οποία επεξεργάζονται τα δεδομένα της βάσης μόλις βρεθούν σε ενδιάμεσες μνήμες. Μερικά από αυτά περιγράφονται παρακάτω.

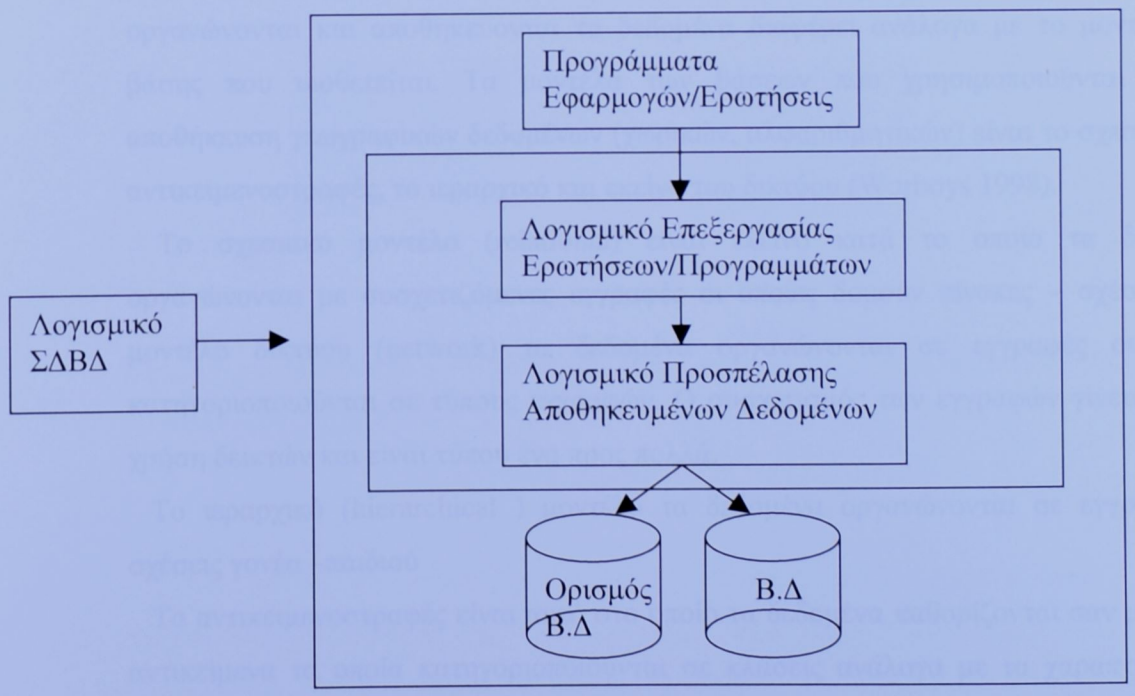
Ο μεταγλωττιστής της γλώσσας ορισμού των δεδομένων[2] το οποίο επεξεργάζεται τους ορισμούς των σχημάτων και στη συνέχεια τους αποθηκεύει στον κατάλογο του ΣΔΒΔ οποίος περιέχει πληροφορίες σχετικά με τους τύπους των δεδομένων που αποθηκεύονται στη βάση με τη βοήθεια του διαχειριστή των αποθηκευμένων δεδομένων.

[2] Η γλώσσα ορισμού των δεδομένων είναι η γλώσα που χρησιμοποιείται για τον ορισμό του εννοιολογικού και λογικού σχήματος της βάσης

Ο επεξεργαστής βάσης δεδομένων ο οποίος δέχεται εντολές για ανάκτηση ή ενημέρωση των δεδομένων τις βάσης, τις οποίες εκτελεί στη βάση δεδομένων αφού προσπελαστεί πρώτα η βάση από τον διαχειριστή των αποθηκευμένων δεδομένων.

Ο μεταγλωττιστής επερωτήσεων που διαχειρίζεται της ερωτήσεις προς τη βάση, οι οποίες εισάγονται από τους χρήστες με αλληλεπίδραση με γραφικό τρόπο ή με τη βοήθεια μιας γλώσσας διαχείρισης της βάσης (πχ. της γλώσσας SQL), αναλύοντας συντακτικά και στην συνέχεια τις μεταφράζει δημιουργώντας έναν κώδικα πρόσβασης στη βάση δεδομένων. Στην συνέχεια δημιουργεί κλήσεις προς τον επεξεργαστή των δεδομένων για την εκτέλεση του κώδικα.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα των βάσεων δεδομένων, με την ανάπτυξη των σχεσιακών και αντικειμενοστραφών μοντέλων δεδομένων είχε σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη και των αντίστοιχων ΣΔΒΔ.



Σχήμα 3 : Αρχιτεκτονική συστήματος βάσης δεδομένων (*Elmasri.R, Navanthe.S.B, 2000*)

-Αναλυτής των Δεδομένων

Ο αναλυτής των δεδομένων εκτελεί αναλυτικές λειτουργίες στα δεδομένα της βάσης (Worboys, 1988, Στεφανάκης, 2003). Ο αναλυτής δεδομένων λοιπόν είναι μια συλλογή από ρουτίνες οι οποίες χρησιμοποιώντας τα δεδομένα της βάσης εκτελούν κάποιες χωρικές λειτουργίες ανάλυσης. Για παράδειγμα στο λογισμικό ArcGIS συνίσταται από πάρα πολλές αναλυτικές λειτουργίες που εκτελούνται από αναλυτές των δεδομένων όπως είναι ο Geoprocessing Wizard, τα εργαλεία της γεωαναφοράς και πολλά άλλα.

-Η Βάση Δεδομένων

Η βάση δεδομένων ενός ΣΓΠ, είναι ο χώρος στον οποίο αποθηκεύονται και οργανώνονται χωρικά και αλφαριθμητικά δεδομένα. Ωστόσο ο τρόπος με τον οποίο οργανώνονται και αποθηκεύονται τα δεδομένα διαφέρει ανάλογα με το μοντέλο της βάσης που υιοθετείται. Τα μοντέλα των βάσεων που χρησιμοποιούνται για τη αποθήκευση γεωγραφικών δεδομένων (χωρικών, αλφαριθμητικών) είναι το σχεσιακό, το αντικειμενοστραφές, το ιεραρχικό και εκείνο του δικτύου (Worboys 1998).

Το σχεσιακό μοντέλο (relational) είναι εκείνο κατά το οποίο τα δεδομένα οργανώνονται με συσχετιζόμενες εγγραφές οι οποίες δομούν πίνακες – σχέσεις. Στο μοντέλο δικτύου (network) τα δεδομένα οργανώνονται σε εγγραφές οι οποίες κατηγοριοποιούνται σε τύπους εγγραφών. Ο συσχετισμός των εγγραφών γίνεται με τη χρήση δεικτών και είναι τύπου ένα προς πολλά.

Το ιεραρχικό (hierarchical) μοντέλο τα δεδομένα οργανώνονται σε εγγραφές με σχέσεις γονέα –παιδιού

Το αντικειμενοστραφές είναι αυτό στο οποίο τα δεδομένα καθορίζονται σαν μοναδικά αντικείμενα τα οποία κατηγοριοποιούνται σε κλάσεις ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους. Με την αντικειμενοστραφή προσέγγιση κάθε οντότητα αναπαρίσταται με τη μορφή αντικειμένου το οποίο έχει ένα μοναδικό κωδικό ο οποίος το προσδιορίζει. Επίσης τα αντικείμενα περιγράφονται από ένα σύνολο γνωρισμάτων που αποτελούν τη κατάσταση του αντικειμένου. Εκτός των γνωρισμάτων τα αντικείμενα ενσωματώνουν και κάποιες μεθόδους με τη βοήθεια των οποίων εκτελούνται διάφορες πράξεις

Παρατηρείται λοιπόν ότι κοινό χαρακτηριστικό των δύο πρώτων μοντέλων είναι ότι δομούνται από σύνολα εγγραφών. Κάθε μία από αυτές τις εγγραφές αναπαριστά μία γεωγραφική οντότητα του φυσικού κόσμου

Τα χωρικά δεδομένα που αποθηκεύονται στη βάση ενός ΣΓΠ στη φυσική τους μορφή μπορεί να είναι είτε με τη μορφή διανυσμάτων (vector) είτε τη μορφή ψηφιδωτού (raster) ενώ τα αλφαριθμητικά είναι μια συλλογή από συμβολοσειρές και αριθμούς.

Όταν τα χωρικά δεδομένα ακολουθούν τη διανυσματική δομή τότε αναπαρίστανται με σημεία γραμμές και πολύγωνα. Αντίθετα αν τα χωρικά δεδομένα χρησιμοποιούν τη δομή του ψηφιδωτού τότε κάθε χωρική μονάδα απεικονίζεται με τη βοήθεια μίας ψηφίδας

(α) (β)

Σχήμα 4 Αναπαράσταση γεωγραφικών δεδομένων α) με το διανυσματικό μοντέλο β) με το ψηφιδωτό (ESRI)

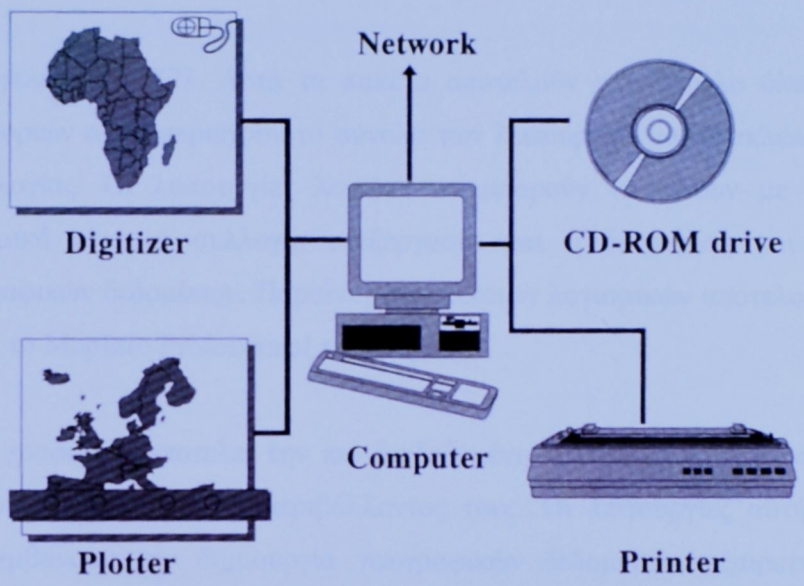
Όσο αφορά την υλοποίηση μίας βάσης ενός ΣΓΠ, έχουν προταθεί αρκετές αρχιτεκτονικές. Διακρίνονται στην υβριδική, την ενοποιημένη (integrated) και την κατανεμημένη αρχιτεκτονική (Worboys. M, 2000).

Στην υβριδική αρχιτεκτονική, τα χωρικά δεδομένα αποθηκεύονται και οργανώνονται σε ξεχωριστό χώρο από εκείνο των μη χωρικών. Συνήθως τα χωρικά δεδομένα δομούνται σε ένα σύστημα αρχείων του λειτουργικού συστήματος, ενώ τα αλφαριθμητικά σε μία σχεσιακή βάση δεδομένων. Η σύνδεση μεταξύ των χωρικών και αλφαριθμητικών δεδομένων γίνεται με τη βοήθεια δεικτών (pointers) που συνδέουν κάθε εγγραφή ενός από τα αρχεία των χωρικών δεδομένων με μία πλειάδα ενός πίνακα της σχεσιακής βάσης

Στην ενοποιημένη προσέγγιση τα χωρικά βρίσκονται στον ίδιο χώρο με τα μη χωρικά. Στην σχεσιακή προσέγγιση του μοντέλου, όλα τα δεδομένα βρίσκονται συγκεντρωμένα σε δομές πινάκων- σχέσεων. Στην αντικειμενοστραφή προσέγγιση του μοντέλου όλα τα δεδομένα αποτελούν αντικείμενα που οργανώνονται σε κλάσεις, οι οποίες αναπαριστούν και περιγράφουν οντότητες του πραγματικού κόσμου.

2.2.2 Αρχιτεκτονική Συστήματος

Από την άποψη άποψη του υλικού (hardware), ένα ΣΓΠ περιγράφεται από την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU), την οποία αποτελούν ο επεξεργαστής και η κεντρική μνήμη (RAM), το λειτουργικό σύστημα (UNIX και Windows), τα μαγνητικά μέσα, τις περιφερειακές συσκευές που χρησιμοποιούνται τόσο για την είσοδο δεδομένων(πχ ψηφιοποιητές, σαρωτές, GPS) όσο και για την έξοδο (εκτυπωτές, plotters) τον τερματικό σταθμό που αποτελεί το μέσο με το οποίο ο χρήστης ελέγχει τον υπολογιστή και τις περιφερειακές συσκευές. Την κεντρική μνήμη στην οποία φορτώνονται προσωρινά τα δεδομένα και τα προγράμματα που θα χρησιμοποιηθούν μια δεδομένη στιγμή. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην χωρητικότητα της κεντρικής μνήμης η οποία επηρεάζει την απόδοση του συστήματος αφού πρέπει να είναι αρκετή ώστε να επιτυγχάνεται η σωστή και γρήγορη λειτουργία των προγραμμάτων και η αποτελεσματική διαχείριση των δεδομένων τους.



Σχήμα 5 : Αρχιτεκτονική Συστήματος (Burrough.P, McDonnel.R, 1998)

2.3 Υφιστάμενα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών

Τα συστήματα πληροφοριών που είναι προσανατολισμένα στο χώρο έχουν ευρεία διάδοση στους κλάδους των γεωεπιστημών (γεωγράφων, γεωλόγων, γεωπόνων κ.α) καθώς και σε άλλους κλάδους (τοπογράφοι, χωροτάκτες κ.α) και επιστημόνων που θέλουν να δώσουν τη χωρική διάσταση στην ερευνά τους. Ωστόσο τα εμπορικά πακέτα ΣΓΠ που κυκλοφορούν στην αγορά καλύπτουν ορισμένες μόνο ανάγκες των χρηστών με αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις οργανισμών αλλά και μεμονωμένων χρηστών να επιδιώκεται βελτίωση των υφιστάμενων δυνατοτήτων αυτών των συστημάτων και εμπλουτισμό τους με νέες. Έτσι τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών ανάλογα με τις χρήσεις και το σκοπό που εξυπηρετούν διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες : επαγγελματικά πακέτα που αναφέρονται σε ειδικούς επιστήμονες εξοικειωμένους με την χωρική ανάλυση και πληροφορία, τα ΣΓΠ γραφείου, τα φορητά ΣΓΠ, τα ΣΓΠ που βασίζονται στην Component-Based τεχνολογία, στα πακέτα που περιορίζονται στην απλή οπτικοποίηση των γεωγραφικών δεδομένων και τέλος στα τελευταίας τεχνολογίας λογισμικά που επιτρέπουν την ανάλυση και ανταλλαγή γεωγραφικής πληροφορίας μέσω του διαδικτύου.

Ακολουθεί συνοπτική αναφορά για τις γενικές λειτουργίες που παρέχουν τα λογισμικά κάθε κατηγορίας (Longley et al, 2001).

-Επαγγελματικά ΣΓΠ. Αυτά τα πακέτα αποτελούν υπερσύνολο όλων των υπόλοιπων κατηγοριών αφού περιέχουν το σύνολο των λειτουργιών αντανακλώντας την αιχμή της τεχνολογίας. Οι λειτουργίες λοιπόν που μπορούν να γίνουν με αυτού του τύπου λογισμικά είναι η συλλογή, επεξεργασία και η διαχείριση και χωρική ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων. Παραδείγματα τέτοιων λογισμικών αποτελούν το Arc Info της ESRI, το MapInfo Professional της MapInfo.

-ΣΓΠ γραφείου. Αποτελεί την πιο διαδεδομένη κατηγορία ΣΓΠ λογισμικών λόγω του φιλικού προς το χρήστη περιβάλλοντος τους. Οι λειτουργίες αυτής της κατηγορίας περιλαμβάνουν την δημιουργία γεωγραφικών δεδομένων, εξαιρετικά εργαλεία που διευκολύνουν την χαρτογραφική διαδικασία, παραγωγή αναφορών και διαγραμμάτων.

Η αρχιτεκτονική αυτών λογισμικών συνήθως ακολουθεί εκείνη των Microsoft Windows εξασφαλίζοντας την διαδραστικότητα και ενδοεπικοινωνία των συστατικών μερών του. Επίσης το γραφικό περιβάλλον ακολουθεί πάλι τη δομή των Windows εξασφαλίζοντας την επικοινωνία του χρήστη με το σύστημα μέσω φορμών, μενού, κουμπιών κ.α. Αποτελούν κλασσικό παράδειγμα της αρχιτεκτονικής τριών βαθμίδων, *three- tier,* (γραφικό περιβάλλον, εργαλεία, βάση δεδομένων). Παραδείγματα τέτοιων λογισμικών είναι το Arc View της ESRI το GeoMedia της Intergraph, το AutoCAD map της Autodesk, το Geomatica της PCI καθώς και αρκετά άλλα.

-Τα φορητά GIS (palmtop-ΣΓΠ) ή GIS πεδίου (field-GIS). Η διάδοση των υπολογιστών παλάμης επέτρεψε και την ανάπτυξη λογισμικών γεωγραφικών πληροφοριών που υλοποιούνται σε αυτούς. Οι δυνατότητες αυτών των λογισμικών είναι περιορισμένες τόσο όσο αφορά την οπτικοποίηση όσο και τις λειτουργίες που μπορούν να εφαρμοσθούν στα γεωγραφικά δεδομένα. Προφανώς το μεγαλύτερο πλεονέκτημα τούς είναι η χρήση τους στην έρευνα πεδίου λόγω της ευκολίας που παρέχει το μέγεθος τους στην μετακίνηση. Παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι το λογισμικό Arc Pad της ESRI.

-*Component –ΣΓΠ.* Τα λογισμικά αυτής της κατηγορίας επωφελώνται από την ανάπτυξη της component τεχνολογίας.

Τα λογισμικά αυτά στην ουσία είναι 'συναρμολογούμενα' διότι παρέχουν την δυνατότητα στο χρήστη να αναπτύξει διάφορες λειτουργίες που χρειάζεται με την βοήθεια κάποιων components. Πρόκειται λοιπόν για πλατφόρμες ανάπτυξης λειτουργιών τις οποίες λειτουργίες καθορίζει ο χρήστης. Τέτοιου είδους λογισμικά ή πλατφόρμες είναι τα Map Objects και τα Arc Objects.

-*GIS Viewer.* Πρόκειται για λογισμικά που περιορίζονται στις απλές λειτουργίες της οπτικοποίησης των γεωγραφικών δεδομένων. Τέτοιες λειτουργίες είναι Zoom In-Out, Table of Contents κ.α. Παράδειγμα μίας τέτοιας πλατφόρμας είναι ο Arc Explorer

-*Διαδικτυακό ΣΓΠ.* Πρόκειται για τη σύγχρονη τάση ΣΓΠ λογισμικών των οποίων η αρχιτεκτονική μπορεί να υλοποιηθεί είτε στον παγκόσμιο ιστό Internet είτε σε ένα τοπικό δίκτυο Intranet. Η αρχιτεκτονική που ακολουθούν είναι η εξής: η πρόσβαση στο λογισμικό γίνεται μέσω ενός application server. Στις server-side εφαρμογές ο χρήστης χρειάζεται να είναι εφοδιασμένος μόνο με έναν απλό πλοηγό ιστοσελίδων (web browser) ο οποίος χρησιμοποιείται για να απευθύνει ερωτήματα προς τον κεντρικό υπολογιστή (server) και για να εμφανίσει τα αποτελέσματα. Επίσης οι server-side εφαρμογές εξασφαλίζουν μμεγαλύτερη ασφάλεια για τα δεδομένα που διαχέονται μέσα από το διαδίκτυο, ενώ χαρακτηρίζονται από σημαντική ευκολία αναβάθμισης, συντήρησης και επέκτασής τους. Τα βασικά μειονεκτήματα των server-side εφαρμογών είναι ότι ο όγκος των δεδομένων που μεταφέρονται μέσω του διαδικτύου είναι πολύ μεγάλος ειδικά στις περιπτώσεις που τα μεταφερόμενα δεδομένα είναι υπό τη μορφή εικόνων, όπως αυτό συμβαίνει στις εφαρμογές ΣΓΠ, ενώ οι δυνατότητες κατασκευής πολύπλοκων διασυνδέσεων με τους χρήστες (user interfaces) είναι περιορισμένες. Στις client-side εφαρμογές ο όγκος των δεδομένων που μεταφέρονται μέσω του διαδικτύου είναι σχετικά μικρός, δεν καταναλώνουν πολλούς πόρους από τον κεντρικό υπολογιστή (server),ενώ είναι δυνατή η σχεδίαση εξελιγμένου γραφικού περιβάλλοντος διασύνδεσης με τον χρήστη (Graphical User Interface, GUI). Επειδή χρήση και η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται στον υπολογιστή του χρήστη δίνεται η δυνατότητα της απόδοσης των

αποτελεσμάτων σε διανυσματική μορφή και όχι σε μορφή εικόνας Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή καλύτερων ποιοτικά και μεγαλύτερης λεπτομέρειας χαρτογραφικών αποτελεσμάτων. Βασικά μειονεκτήματων client side λύσεων είναι ότι πλοηγός ιστοσελίδων (web browser) που χρησιμοποιεί ο χρήστης πρέπει να είναι εφοδιασμένος με επεκτάσεις (plug-ins) που του δίνουν τη δυνατότητα εκτέλεσης εφαρμογών όπως Java Applet, Active X, Shockwave Flash. Επίσης χαρακτηρίζονται από δυσκολότερη αναβάθμιση, συντήρηση και επέκταση της εφαρμογής, ενώ τέλος εμφανίζουν προβλήματα ασυμβατότητας με κάποιες πλατφόρμες ή λειτουργικά συστήματα. Η δημιουργία διαδικτυακών ΣΓΠ αποτελεί επιτακτική ανάγκη μεγάλων οργανισμών και εταιριών για λόγους κόστους αλλά και λόγους ευελιξίας. Παραδείγματα τέτοιων λογισμικών αποτελούν το Racism της ESRI, Map Guide της AutoDesk, MapXtreme.

Ωστόσο όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα εμπορικά πακέτα δεν καλύπτουν πλήρως τις εξειδικευμένες ανάγκες του χρήστη με αποτέλεσμα ο εκάστοτε χρήστης να καταφεύγει στην παραμετροποίηση του συστήματος τόσο στο γραφικό περιβάλλον όσο και στις λειτουργίες που παρέχει το σύστημα.

2.3.1 Επιλογή λογισμικού για την ανάλυση του φαινομένου της ηλιακής έκθεσης

Το λογισμικό που επιλέχθηκε για την μελέτη του φαινομένου ήταν ένα ευρείας διάδοσης λογισμικό ΣΓΠ, το ArcGIS της ESRI. Πρόκειται για ένα desktop GIS το οποίο από πλευρά αρχιτεκτονικής ακολουθεί τη δομή ενός component GIS με αποτέλεσμα οι λειτουργίες του να υλοποιούνται εσωτερικά από διαφορετικά τμήματα (components) τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους. Ωστόσο οι νεότερες εκδόσεις του δίνουν τη δυνατότητα μετασχηματισμού του λογισμικού και σε άλλες μορφές όπως πχ εκείνη ενός διαδυκτιακού GIS.

Η επιλογή της πλατφόρμας για την ανάλυση του φαινομένου έγινε κυρίως με κριτήριο την διάσταση (χωρική) του προβλήματος, ώστε να υποστηρίζεται από τις κατάλληλες δομές δεδομένων για την χωρική ανάλυση του φαινομένου. Η δυνατότητα παραμετροποίησης των υφιστάμενων λειτουργιών του και η ανάπτυξη νέων, βάσει του μοντέλου δεδομένων που υποστηρίζει αποτέλεσε ένα επιπλέον κριτήριο. Συνοψίζοντας

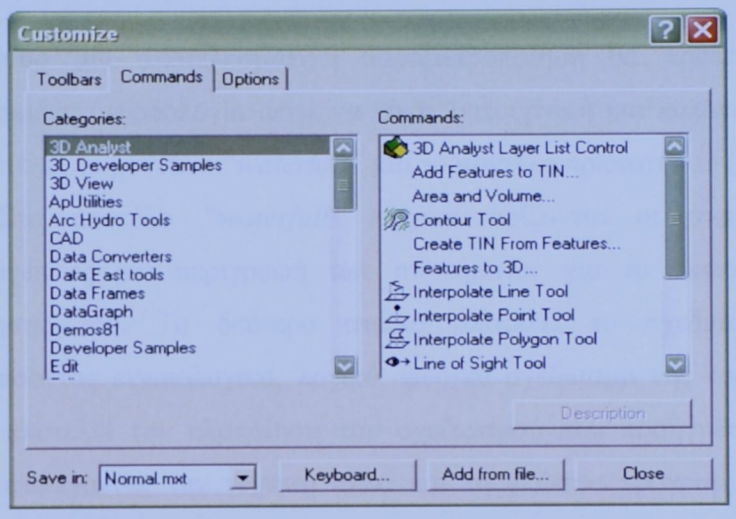
λοιπόν η χωρική διάσταση της πλατφόρμας και η δυνατότητα ανάπτυξης νέων χωρικών λειτουργιών αποτέλεσαν τα κριτήρια επιλογής.

Ωστόσο παρά το μεγάλο αριθμό λειτουργιών που παρείχε το λογισμικό, το μεγαλύτερο βάρος της μελέτης του φαινομένου της η.ε έπρεπε να δοθεί στην παραμετροποίηση της πλατφόρμας ώστε να προσαρμοσθεί στις ανάγκες του προβλήματος αφού έπρεπε να δημιουργηθούν κάποιες νέες λειτουργίες. Είναι σημαντικό λοιπόν να αναλυθούν οι δυνατότητες παραμετροποίησης που προσφέρει το σύστημα για να κατανοηθούν τα εργαλεία που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για αυτό το σκοπό.

2.4 Παραμετροποίηση

Ο όρος παραμετροποίηση (Customization) (ESRI) αναφέρεται στη διαδικασία προσαρμογής ενός υπάρχοντος συστήματος στις ανάγκες του χρήστη. Όσο αφορά τα ΣΓΠ, ο χρήστης μπορεί να κάνει αλλαγές και στα τρία επίπεδα της αρχιτεκτονικής τους.

Ξεκινώντας από το γραφικό περιβάλλον, η μορφή, η εμφάνιση αλλά και η λειτουργικότητα του είναι δυνατό να εμπλουτιστεί ή να μεταβληθεί. Νέα μενού, γραμμές εργαλείων, κουμπιά εντολών (command buttons) με νέες λειτουργίες είναι δυνατό να προστεθούν ενώ ακόμα η εμφάνιση του γραφικού περιβάλλοντος είναι δυνατό να παραμετροποιηθεί αλλάζοντας χρώματα, εικόνες κ.α. Τα εργαλεία για αυτού του επιπέδου την παραμετροποίηση είναι κάποια ειδικά περιβάλλοντα παραμετροποίησης που επιτρέπουν τη διαδραστική παραμετροποίηση. Οι αλλαγές οι οποίες γίνονται είναι δυνατό να αποθηκευθούν είτε σε ένα συγκεκριμένο αρχείο του λογισμικού (mxd για το ArcGIS) είτε σε ένα πρότυπο αρχείο οπότε και ο χρήστης κάθε φορά που θα κάνει εκκίνηση θα εμφανίζεται το παραμετροποιημένο περιβάλλον.



Εικόνα 2 : Περιβάλλον παραμετροποίησης του γραφικού περιβάλλοντος

Στο δεύτερο επίπεδο, εκείνο των λειτουργιών, είναι δυνατό να δημιουργηθούν νέες λειτουργίες ή να τροποποιηθούν ήδη υπάρχουσες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια προγραμματισμού. Τα σύγχρονα πακέτα ΣΓΠ έχουν ενσωματώσει το περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) εφαρμογών σε κάποια γλώσσα προγραμματισμού όπως Visual Basic, Java, Delphi, Visual C++. Επίσης υπάρχουν περιπτώσεις όπου κάποια λογισμικά ΣΓΠ χρησιμοποιούν μια γλώσσα προγραμματισμού απόλυτα προσανατολισμένη στην παραμετροποίηση του συγκεκριμένου λογισμικού. Τέτοια παραδείγματα αποτελούν οι γλώσσες Avenue, Map Basic, AML κ.α. Βέβαια αυτές οι γλώσσες έχουν το μειονέκτημα ότι δεν μπορούν να συνδεθούν με άλλες εφαρμογές με αποτέλεσμα να έχουν μειωμένη λειτουργικότητα. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα ανάπτυξης της εφαρμογής στην επίσημη πλατφόρμα της γλώσσας. Σε αυτήν την περίπτωση δημιουργούνται κάποια αρχεία DLL που λειτουργούν σαν servers αντικειμένων, τα οποία παρέχουν λειτουργικότητα σε άλλα προγράμματα (clients) από τα οποία μπορούν χρησιμοποιηθούν για να δημιουργηθούν οι λειτουργίες που επιθυμεί ο χρήστης.

Στο τρίτο επίπεδο, εκείνο της διαχείρισης της βάσης δεδομένων είναι δυνατό να παραμετροποιηθεί το σχήμα της υπάρχουσας βάσης δημιουργώντας νέα components ή νέες συσχετίσεις.

Ωστόσο μία αποτελεσματική παραμετροποίηση θα πρέπει να ακολουθεί μια συγκεκριμένη μεθοδολογία ώστε να είναι λειτουργική και κατανοητή. Έχουν προταθεί δύο μοντέλα, το μοντέλο *"waterfall"* και το μοντέλο πρωτοτύπου (Longley et al, 2001).

Στο μοντέλο *"waterfall"* αρχικά ορίζονται οι απαιτήσεις του χρήστη δημιουργώντας μια περιγραφή των συστήματος για το σκοπό του και το τρόπο υλοποίησης του. Το δεύτερο στάδιο αποτελεί το σχεδιασμό της εφαρμογής, αναπτύσσοντας εννοιολογικό, λογικό, φυσικό σχεδιασμό της εφαρμογής. Το επόμενο στάδιο αποτελεί την υλοποίηση του σχεδιασμού που προηγήθηκε στο προηγούμενο στάδιο επιλέγοντας την τεχνική αλλά και τη γλώσσα προγραμματισμού. Σε αυτό το στάδιο όσον αφορά τη τεχνική, προτιμώνται δύο τρόποι. Ο δομημένος προγραμματισμός και ο κατανεμημένος (modular) προγραμματισμός (με αντικειμενοστραφή λογική). Η γλώσσα που θα χρησιμοποιηθεί είναι άρρηκτα συνδεδεμένη και με τη τεχνική που θα ακολουθηθεί. Στο τελευταίο στάδιο του μοντέλου επικρατεί η δοκιμή και οι απαραίτητες διορθώσεις.

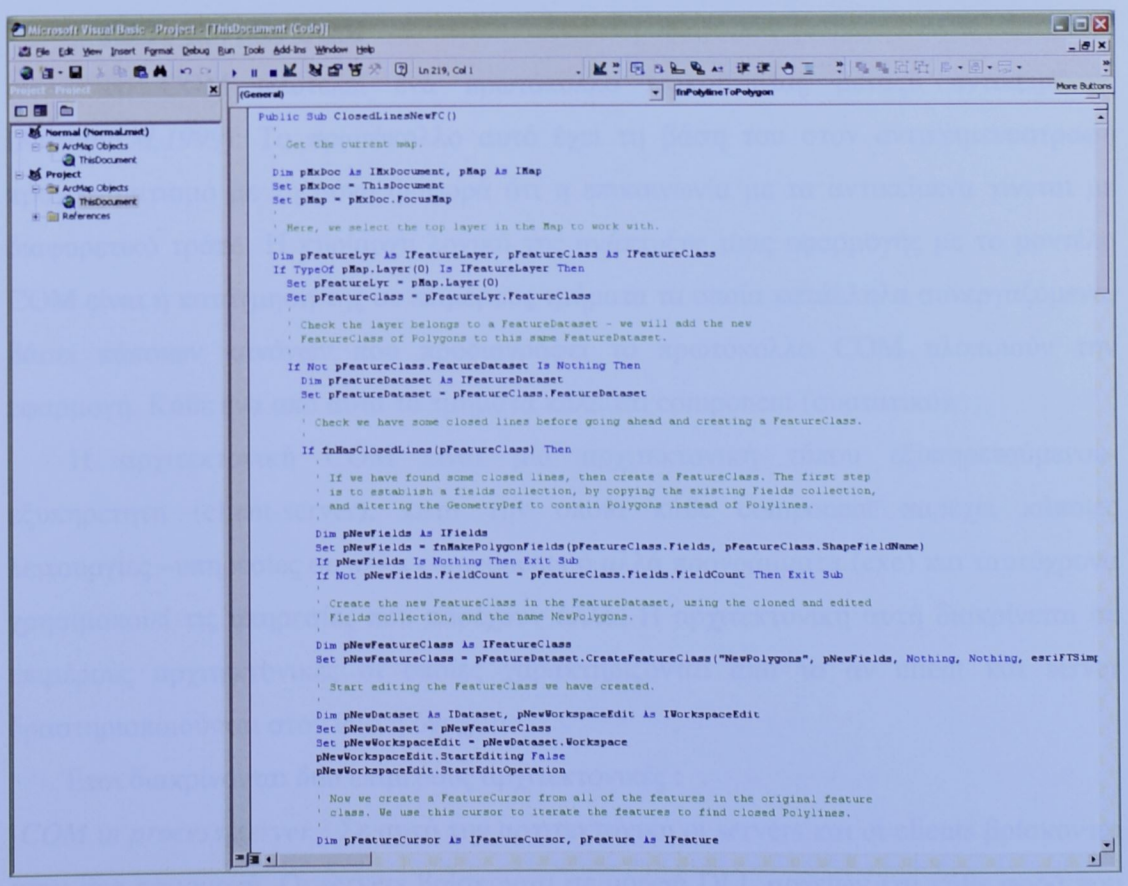
2.4.1 Παραδείγματα εργαλείων ανάπτυξης εφαρμογών ΣΓΠ

- Arc Info

Το Arc Info διαχωρίζεται στο Workstation και το Desktop. Αποτελεί ένα πλήρες ΣΓΠ λογισμικό το οποίο περιλαμβάνει πληθώρα λειτουργιών. Παρά το γεγονός αυτό παρέχει τη δυνατότητα παραμετροποίησης. Για την παραμετροποίηση του γραφικού περιβάλλοντος του ArcInfo Workstation παρέχονται διάλογοι που επιτρέπουν την εισαγωγή επιπρόσθετων control στις φόρμες του γραφικού περιβάλλοντος, αλλαγή χρωμάτων και σχημάτων. Επίσης η συγγραφή νέων προγραμμάτων γίνεται με τη βοήθεια επεξεργαστών κείμενο, με τους οποίους ο προγραμματιστής γράφει τις εφαρμογές του σε ArcMacroLanguage (AML) και το πρόγραμμα το εκτελεί χρησιμοποιώντας έναν AML μεταφραστή. Όσο αφορά την desktop έκδοση του λογισμικού οι δυνατότητες παραμετροποίησης είναι όμοιες με εκείνες που περιγράφονται παρακάτω για το λογισμικό ArcView

-ArcView

Το περιβάλλον παραμετροποίησης του Arc View μεταβλήθηκε με το χρόνο. Στις πρώτες εκδόσεις του 3.X χρησιμοποιούσε τη γλώσσα Avenue (βασισμένη στη C++) σαν εργαλείο δημιουργίας νέων εφαρμογών, δημιουργώντας μακροεντολές και scripts τα οποία διαχειρίζονταν από το Script Manager. Οι νέες λειτουργίες που δημιουργούνται ανατίθωνται σε συγκεκριμένα controls και ενεργοποιούνται μετά από συγκεκριμένα γεγονότα (πχ. Πάτημα ενός κουμπιού). Σε μεταγενέστερες εκδόσεις, όπως εκείνες της σειράς 8.X / 9.X ενσωματώθηκε το περιβάλλον της Visual Basic. Με αυτό το τρόπο διευρύνθηκαν οι δυνατότητες παραμετροποίησης αφού προσφέρονταν λειτουργίες οι οποίες δεν περιορίζονταν μόνο για ΣΓΠ χρήση αλλά επέτρεπαν τη χρησιμοποίηση ρουτίνων των Windows. Το περιβάλλον για τη παραμετροποίηση του Arc Info Desktop είναι ανάλογο με εκείνο του Arc View.



Εικόνα 3 : Περιβάλλον παραμετροποίησης του ArcGIS (VBA)

Για να επιτραπεί η παραμετροποίηση του συστήματος θα πρέπει το λογισμικό να είναι ανοιχτής αρχιτεκτονικής, δηλαδή να παρέχει προς τα έξω την όψη αλλά και την λειτουργικότητα του μοντέλου δεδομένων που χρησιμοποιεί δηλαδή να παρέχει εκτός από τη δυνατότητα χρήσης κάποιας γλώσσας για την παραμετροποίηση του και κάποια μέσα για την διαχείριση των επιμέρους τμημάτων που το συνιστούν. Ωστόσο το μοντέλο δεδομένων που χρησιμοποιεί προδιαγράφεται από κάποια τεχνολογία λογισμικού ή πρότυπο που χρησιμοποιείται για τη δόμηση της αρχιτεκτονικής του. Τα σύγχρονα ΣΓΠ ακολουθούν το πρότυπο της Microsoft, COM (Component Object Model). Με το COM μπορούν να δημιουργηθούν αυτόνομα κομμάτια κώδικα τα οποία θα επεκτείνουν την λειτουργικότητα του λογισμικού ενώ ταυτόχρονα θα μπορούν να κατανεμηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν και από άλλες εφαρμογές αρκεί να ακολουθούν το συγκεκριμένο πρότυπο.

2.3 Το μοντέλο COM

Το COM αποτελεί ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ αντικειμένων (*Kirtland.M,1999).* Το πρωτόκολλο αυτό έχει τη βάση του στον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό με τη μόνη διαφορά ότι η επικοινωνία με τα αντικείμενα γίνεται με διαφορετικό τρόπο. Η κυρίαρχη λογική της ανάπτυξης μιας εφαρμογής με το μοντέλο COM είναι η κατάτμηση της σε επιμέρους τμήματα τα οποία κατάλληλα συνεργαζόμενα, βάσει κάποιων κανόνων που προδιαγράφει το πρωτόκολλο COM υλοποιούν την εφαρμογή. Κάθε ένα από αυτά τα τμήματα καλείται component (συστατικό).

Η αρχιτεκτονική COM είναι μία αρχιτεκτονική τύπου εξυπηρετούμενου-εξυπηρετητή (client-server), κατά την οποία κάθε component παρέχει κάποιες λειτουργίες –υπηρεσίες σε άλλα components ή αλλά προγράμματα (exe) και ταυτόχρονα χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες που παρέχουν άλλα. Η αρχιτεκτονική αυτή διακρίνεται σε επιμέρους αρχιτεκτονικές οι οποίες χαρακτηρίζονται από το αν client και server δραστηριοποιούνται στον ίδιο ή όχι χώρο

Έτσι διακρίνονται δύο επιμέρους αρχιτεκτονικές :

-COM in process-server : Σε αυτή την αρχιτεκτονική οι servers και οι clients βρίσκονται στην ίδια εφαρμογή. Οι servers βρίσκονται σε μορφή DLL αρχείων και κάθε φορά που

ένας client καλεί λειτουργίες του server το αντίστοιχο DLL φορτώνεται στο χώρο του client.

-*COM out of process-server :* Σε αυτή τη κατηγορία servers και clients βρίσκονται σε διαφορετικές εφαρμογές και οι clients επικοινωνούν με αντικείμενα των server μέσω proxy objects που υπάρχουν και στους δύο χώρους.

Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι τα components είναι τμήματα λογισμικού που επικοινωνούν και συνεργάζονται. Βασικό στοιχείο για την επικοινωνία τους είναι τα *Interfaces.* Μία client εφαρμογή προκειμένου να χρησιμοποιήσει τις μεθόδους και τις ιδιότητες των αντικειμένων –COM χρησιμοποιεί ένα από τα πολλά interfaces του. Τα Interfaces ορισμό των ιδιοτήτων και των μεθόδων ενός αντικειμένου που μπορεί να χρησιμοποιήσει ο client του αντικειμένου. Ένα Interface λοιπόν δεν περιλαμβάνει κάποια υλοποίηση κώδικα παρά μόνο το σύνολο των γνωρισμάτων και των μεθόδων ενός αντικειμένου που είναι ορατά σε ένα client. Το αντικείμενο ωστόσο στο οποίο αναφέρεται το interface του οφείλει να περιέχει τμήμα κώδικα που θα υλοποιεί τις λειτουργίες που δηλώνονται στο Interface. Στην ουσία λοιπόν τα interfaces είναι δείκτες (pointers) τα οποία δείχνουν την διεύθυνση της μνήμης στην οποία είναι αποθηκευμένα τα γνωρίσματα και διαδικασίες ενός αντικειμένου. Για να μπορέσει μια client εφαρμογή να χρησιμοποιήσει ένα αντικείμενο θα πρέπει πρώτα δηλώσει μια μεταβλητή τύπου ίδιου με εκείνο του interface με το οποίο μπορεί να ανακτήσει τις συναρτήσεις και τα γνωρίσματα του αντικειμένου που επιθυμεί. Στη συνέχεια δημιουργείται ένα αντικείμενο και ανατίθεται η client μεταβλητή σε αυτό.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η ανάπτυξη εφαρμογών με βάση την αρχιτεκτονική COM βασίζεται στον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό με τη χρήση interfaces. Συνεπώς οι αρχές του αντικειμενοστραφούς βρίσκουν εφαρμογή και σε αυτήν την αρχιτεκτονική. Έτσι οι έννοιες των κλάσεων, του πολυμορφισμού και της κληρονομικότητας αποτελούν θεμελιώδεις έννοιες και για την αρχιτεκτονική COM. Θα ήταν σκόπιμο ίσως να αναλυθούν περισσότερο αυτές οι έννοιες για αποσαφήνιση της σημασίας τους στο πρότυπο που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη της εφαρμογής.

-*Κλάση.* Η κλάση περιγράφει τη δομή ενός συγκεκριμένου συνόλου αντικειμένων (ιδιότητες, μεθόδους). Αποτελεί την κατηγορία, στην οποία ανήκουν ένα πλήθος αντικειμένων. Οι ιδιότητες και μέθοδοι των αντικειμένων της ίδιας κλάσης είναι οι ίδιες.

Κάθε component ενσωματώνει ένα πλήθος κλάσεων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα κλάσης σε ένα ΣΓΠ είναι η feature class ο οποία αποτελεί την προδιαγραφή αντικειμένων της ίδιας γεωμετρίας και των ίδιων θεματικών χαρακτηριστικών. Παράδειγμα μίας τέτοιας κλάσης είναι η οντότητα των γεωτεμαχίων αφού τα αντικείμενα της κλάσης έχουν την ίδια γεωμετρία (πολύγωνα) και περιγράφονται από τα ίδια θεματικά χαρακτηριστικά. Πολλές φορές μία κλάση κατηγοριοποιείται σε περισσότερες υποκλάσεις (subclasses) οι οποίες αποτελούν εξειδίκευση της κλάσης από την οποία προέρχονται δημιουργώντας έτσι μια ιεραρχημένη δομή κατά την οποία για να χρησιμοποιήσει ένα πρόγραμμα ένα αντικείμενο υποκλάσης πρέπει να περάσει πρώτα από τα ανώτερου επιπέδου αντικείμενα στην ιεραρχία. Παράδειγμα υποκλάσεων σε ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών είναι οι κλάσεις polyline, polygon, point, multipoint που αποτελούν υποκλάσεις της κλάσης Geometry. Για να δημιουργηθεί ένα αντικείμενο μιας συγκεκριμένης κλάσης πρέπει να δημιουργηθεί πρώτα το αντικείμενο μιας κλάσης που είναι επιφορτισμένη με την δημιουργία αντικειμένων που δημιουργούν αντικείμενα άλλων κλάσεων. Κάθε φορά λοιπόν που μία client εφαρμογή καλεί τον server για ένα αντικείμενο τότε η class factory που δημιουργεί τέτοιου τύπου αντικείμενα ενεργοποιείται και δημιουργεί το αντικείμενο στο οποίο αποδίδεται και ένας μοναδικός κωδικός (συνήθως 128 bit) που καλείται GUID, ο οποίος είναι η ταυτότητα του.

Επίσης οι κλάσεις κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το τρόπο δημιουργίας τους. Διακρίνονται στις abstract classes, classes και co-classes.

Co-Classes καλούνται οι κλάσεις από τις οποίες μία client εφαρμογή μπορούν να δημιουργήσεί αντικείμενα μέσα από εφαρμογές με τη βοήθεια δεσμευμένων λέξεων (π.χ Visual Basic, *New)*

Classes. Καλούνται οι κλάσεις των οποίων τα αντικείμενα μπορούν να δημιουργηθούν μόνο μέσω κάποιων μεθόδων άλλων αντικειμένων.

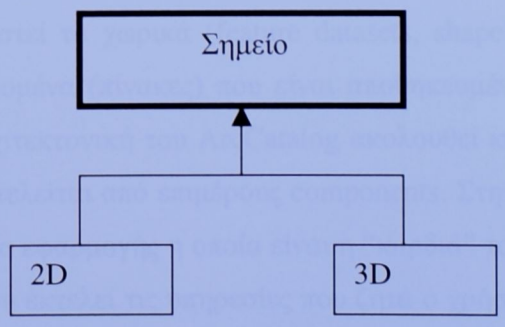
Abstract Classes: Αυτού του τύπου οι κλάσεις δεν μπορούν δημιουργήσουν από μόνες τους αντικείμενα απλά αποτελούν περιγραφικό στοιχείο για τις υποκλάσεις τους

-Πολυμορφισμός : Πολλές φορές διαφορετικά αντικείμενα υλοποιούν το ίδιο interface. Η υλοποίηση του ωστόσο είναι διαφορετική σε κάθε αντικείμενο. Επίσης διαφορετικοί clients μπορούν να αναφέρονται στον ίδιο interface. Το φαινόμενο αυτό καλείται πολυμορφισμός και είναι από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της αρχιτεκτονικής COM.

Μια απλή περίπτωση πολυμορφισμού, μπορούμε να θεωρήσουμε δύο αντικείμενα που αναπαριστούν σημεία στο χώρο, το ένα στον τρισδιάστατο και το άλλο στον δισδιάστατο. Αν υποτεθεί ότι υλοποιούν το ίδιο interface (πχ. ευθύγραμμο τμήμα) που εμπεριέχει μία μέθοδο που καλείται απόσταση τότε η υλοποίηση θα είναι διαφορετική για κάθε ένα αντικείμενο.

-*Κληρονομικότητα* :Διακρίνεται σε κληρονομικότητα υλοποίησης και κληρονομικότητα διεπαφής (implementation inheritance, interface inheritance). Κληρονομικότητα διεπαφής συμβαίνει όταν μια υποκλάση κληρονομεί των ορισμό των ιδιοτήτων και των μεθόδων της υπερκλάσης της (interface). Αυτού του είδους η κληρονομικότητα ανήκει στο μοντέλο COM. Αντίθετα απαντάται στον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό και σημαίνει ότι τα αντικείμενα μιας υποκλάση μπορούν να χρησιμοποιήσει απευθείας τις ιδιότητες και της μεθόδους αντικειμένων της υπερκλάσης τους. Αντίθετα κληρονομικότητα υλοποίησης αναφέρεται στον ίδιο τρόπο υλοποίησης των ιδιοτήτων και των μεθόδων της κλάσης –γονέα από τις κλάσεις παιδιά

Στο παράδειγμα του πολυμορφισμού που αναπτύχθηκε προηγουμένως θεωρήθηκε ένα αντικείμενο που αναπαριστά ένα σημείο του χώρου. Θα μπορούσαν λοιπόν να ορισθούν δύο υποκλάσεις αυτού του αντικειμένου, που αναφέρονται σε σημεία του δισδιάστατου και τρισδιάστατου χώρου αντίστοιχα. Στην πραγματικότητα αυτά τα αντικείμενα αποτελούν αντικείμενα της υπερκλάσης με την διαφορά ότι εξειδικεύονται ως προς το χώρο που βρίσκονται. Συνεπώς θα κληρονομούν τις ιδιότητες και τις μεθόδους της υπερκλάσης



Σχήμα 6. Αναπαράσταση της σχέσης κλάσης - υποκλάσεων

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

2.4 COM Αρχιτεκτονική σε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Arc Objects)

Πολλά σύγχρονα πακέτα λογισμικού της ESRI ακολουθούν μια αρχιτεκτονική παρόμοια με εκείνη των Windows, χρησιμοποιούν δηλαδή το COM μοντέλο. Έτσι και τα ArcObjects είναι component objects τα οποία περιγράφουν την εσωτερική δομή των δεδομένων και λειτουργιών ενός ΣΓΠ, όπως εκείνη του λογισμικού ArcGIS.

Θα ήταν ίσως χρήσιμο να αναλυθεί η αρχιτεκτονική του πακέτου ΣΓΠ που παρέχει η ESRI στο ArcGIS. Πρόκειται για ένα ΣΓΠ το οποίο ακολουθεί την three-tier αρχιτεκτονική. Αποτελείται δηλαδή από τρία τμήματα: το γραφικό περιβάλλον μέσω του οποίου ο χρήστης επικοινωνεί με το σύστημα, τις λειτουργίες και το σύστημα της βάσης δεδομένων.

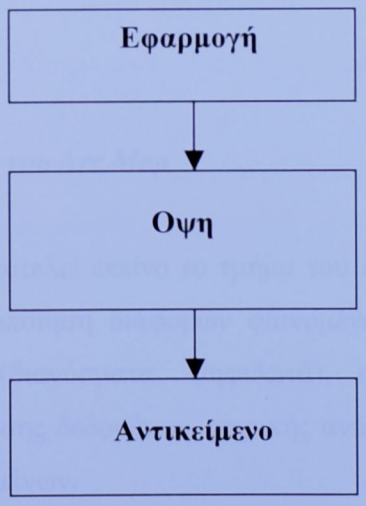
Η αρχιτεκτονική του ArcGIS συνίσταται από επιμέρους υποσυστήματα: Τα ArcMap, ArcCatalog, ArcToolBox αποτελούν υποσυστήματα του συγκεκριμένου ΣΓΠ μέσω των οποίων πραγματοποιούνται διάφορες λειτουργίες.

2.4.1 Η Αρχιτεκτονική του ArcCatalog

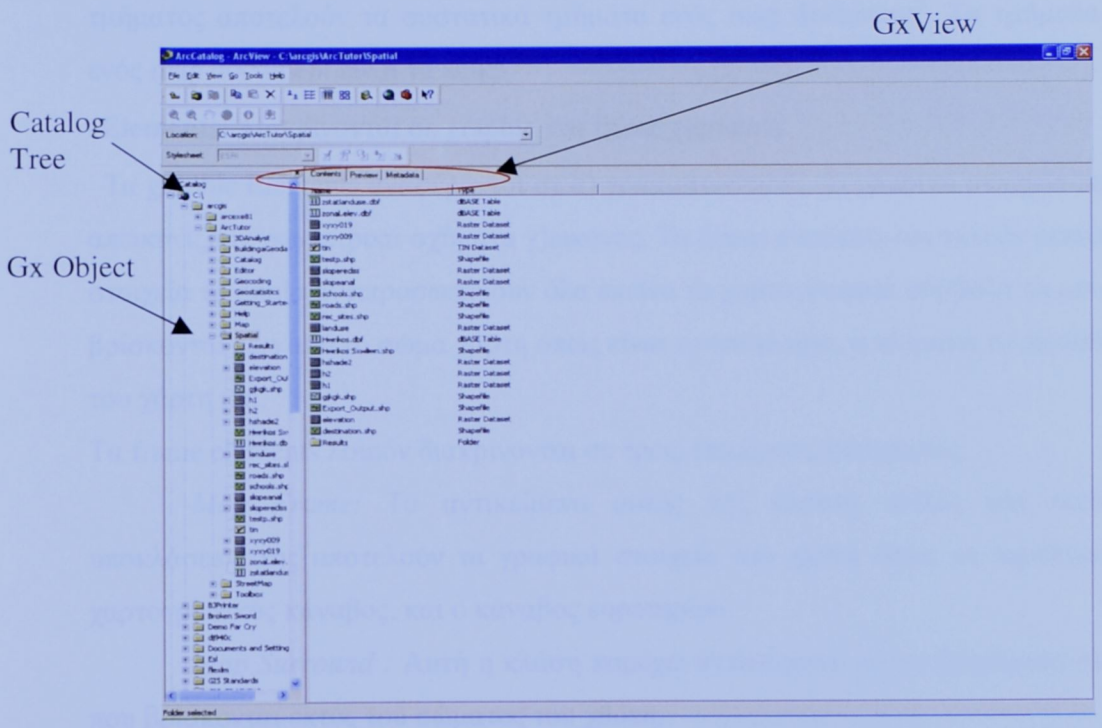
Το ArcCatalog είναι ένα υποσύστημα του ArcView, μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να διαχειριστεί τα χωρικά (feature datasets, shapefiles, rasters, coverages) και αλφαριθμητικά δεδομένα (πίνακες) που είναι αποθηκευμένα στη βάση δεδομένων του συστήματος. Η αρχιτεκτονική του ArcCatalog ακολουθεί και αυτή μια three-tier λογική όπου κάθε tier αποτελείται από επιμέρους components. Στην κορυφή της αρχιτεκτονικής βρίσκεται η βαθμίδα εφαρμογής η οποία είναι η "καρδιά" του ArcCatalog αφού αποτελεί εκείνο το τμήμα που εκτελεί τις υπηρεσίες που ζητά ο χρήστης μέσω των μενού και των άλλων κουμπιών του γραφικού περιβάλλοντος που παρέχει το γραφικό περιβάλλον. Το βασικότερο component αυτής της βαθμίδας είναι το *GxApplication* το οποίο αντιπροσωπεύει την ίδια την εφαρμογή του Arc Catalog και διαχειρίζεται τις επιμέρους

βαθμίδες. Πρόκειται λοιπόν για την βαθμίδα εφαρμογής (application tier). Στο δεύτερο επίπεδο της αρχιτεκτονικής είναι το view tier το οποίο αναλαμβάνει το τρόπο παρουσίασης των αποθηκευμένων δεδομένων στον χρήστη. Βασικό component αυτού του tier είναι είναι τα αντικείμενα της κλάσης GxView. Αυτή η κλάση εξειδικεύεται στις υποκλάσειςGxTreeView, GxContentsView,GxDocumentationView, GxGeographicView, GxTableView. Τα αντικείμενα κλάσης GxTreeView αναλαμβάνουν τη διαχείριση του catalog tree το οποίο αναπαριστά την οργάνωση των δεδομένων σε drives, φακέλους, αρχεία. Τα αντικείμενα του contents view διαχειρίζονται την επιμέρους οργάνωση των δεδομένων που βρίσκονται στο catalog tree, ενώ τα αντικείμενα GxDocumentationView χρησιμοποιούνται για την αναζήτηση συγκεκριμένων αρχείων. Τα αντικείμενα της κλάσης GxGeographicView διαχειρίζονται την οπτικοποίηση της χωρικής πληροφορίας

Στην βάση της αρχιτεκτονικής βρίσκεται το τρίτο tier τη καλούμενη βαθμίδα αντικειμένων στην οποία βρίσκονται τα δεδομένων (αρχεία, φάκελοι, drives) που διαχειρίζεται ο χρήστης μέσω του ArcCatalog, τα Gx Objects. Κάθε τι που εμφανίζεται στα Views του Arc Catalog αποτελεί και ένα GxObject .



Σχήμα 7 : Η Αρχιτεκτονική του υποσυστήματος Arc Catalog



Εικόνα 4 : Το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής του Arc Catalog

2.4.2 Η Αρχιτεκτονική του Arc Map

Το Arc Map αποτελεί εκείνο το τμήμα του Arc GIS με το οποίο είναι δυνατή η αναπαράσταση, οπτικοποίηση διάφορων φαινομένων του χώρου με τη βοήθεια των κατάλληλων δομών (διανύσματα, ψηφιδωτά), η εκτέλεση κάποιων λειτουργιών εισαγωγής και διαχείρισης δεδομένων, χωρικής ανάλυσης (στατιστικές λειτουργίες) και μοντελοποίησης φαινομένων.

Η αρχιτεκτονική του Arc Map αποτελείται από δύο επιμέρους τμήματα. Το πρώτο τμήμα αποτελείται από components τα οποία συνιστούν την υποδομή και τα λειτουργικά τμήματα του υποσυστήματος Arc Map ενώ τα components του δεύτερου

τμήματος αποτελούν τα συστατικά τμήματα ενός map document[3]. Τα τμήματα λοιπόν ενός map document είναι τα εξής:

-Elements: Διακρίνονται σε graphic και frame elements.

Τα graphic Elements αναφέρονται σε α) γραμματοσειρές, β) γραφικά στοιχεία που απεικονίζουν γεωμετρικά σχήματα γ)εικόνες. Τα frame elements αποτελούν εκείνα τα στοιχεία τα οποία αντιπροσωπεύουν όλα εκείνα τα χαρτογραφικά σύμβολα τα οποία βρίσκονται έξω από το σώμα χάρτη όπως είναι το υπόμνημα, η κλίμακα τα περιθώρια του χάρτη κ.α.

Τα frame elements λοιπόν διακρίνονται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες.

-Map Frame: Τα αντικείμενα αυτής της κλάσης καθώς και εκείνα των υποκλάσεων της αποτελούν τα γραφικά στοιχεία του χάρτη όπως το περιθώριο του,ο χαρτογραφικός κάναβος, και ο κάναβος ευρετηρίου.

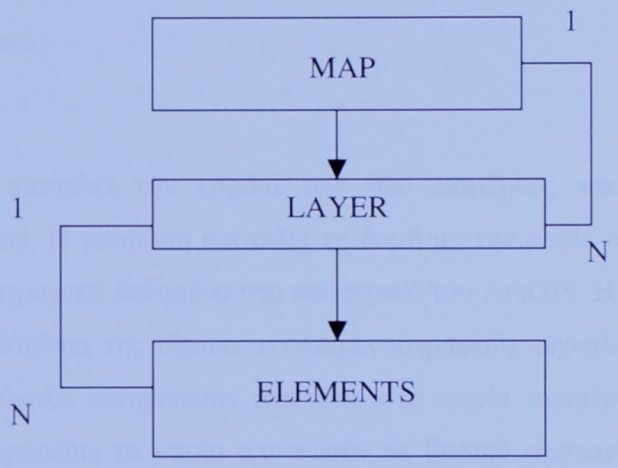
-Map Surround : Αυτή η κλάση παρέχει αντικείμενα για τη διαχείριση στοιχείων που βρίσκονται εκτός του σώματος του χάρτη.

-OLE Frame: Τα αντικείμενα αυτής της κλάσης παρέχουν τη χρηστικότητα της ενσωμάτωσης αρχείων από άλλες εφαρμογές στο αρχείο του χάρτη.

-Layers: Αποτελούν θεματικά επίπεδα τα οποία αναπαριστούν οντότητες του πραγματικού κόσμου. Επίσης κάθε layer συντίθεται από επιμέρους στοιχεία, graphic elements, τα οποία έχουν την ίδια γεωμετρία.

- Maps: Οι χάρτες αποτελούν σύνολα από layers. Συνεπώς κάθε χάρτης μπορεί να αποτελείται από layers γραμμικών, σημειακών, πολυγωνικών χαρακτηριστικών. Με άλλα λόγια το component map αποτελεί ένα data frame στην στήλη των layers του Arc Map

[3] Ο όρος Map Document αναφέρεται σε ένα αρχείο το οποίο συντίθεται απο μία ιεραρχίμενη δομή απο Maps,Layers και Elements .



Σχήμα 8 : Η Ιεραρχική Δομή και σχέση μεταξύ των συστατικών στοιχείων του Arc Map

Αντίθετα το πρώτο τμήμα συνιστούν components τα οποία αναλαμβάνουν την διαχείριση του γραφικού περιβάλλοντος της εφαρμογής, των λειτουργιών της (commands), καθώς και των επιμέρους τμημάτων του εκάστοτε Map Document.

Η κλάση που αναπαριστά την εφαρμογή Arc Map είναι η Application. Μέσω των αντικειμένων αυτής της κλάσης γίνεται η πρόσβαση στα αντικείμενα που βρίσκονται σε κατώτερα επίπεδα της ιεραρχίας όπως το MxDocument και άλλων αντικειμένων τα οποία διαχειρίζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιεί η εφαρμογή καθώς και ο τρόπος με τον οποίο αυτά παρουσιάζονται εντός της εφαρμογής.

Γεωβάση (Geotadabase)

Η Γεωβάση αποτελεί την καρδιά των δύο επιμέρους υποσυστημάτων που αναλύθηκαν παραπάνω. Η γεωβάση αποτελεί τη δομή με την οποία αποθηκεύονται και οργανώνονται τα γεωγραφικά δεδομένα στο εσωτερικό του ArcGIS. Η δομή αυτή λοιπόν έχει χτιστεί με την βοήθεια της σχεσιο-αντικειμενοστραφούς τεχνολογίας. Η γεωβάση δομείται από ένα σύνολο components ανάμεσα στα οποία αναπτύσσονται διάφορες συσχετίσεις. Τα components τα οποία αποτελούν τα βασικά συστατικά της γεωβάσης είναι τα εξής

-*Workspace*: Το component *Workspace* αποτελεί το χώρο στο οποίο είναι αποθηκευμένα και οργανωμένα τα γεωγραφικά δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούνται από το σύστημα. Ένα αντικείμενο λοιπόν του τύπου *Workspace* μπορεί να είναι είτε μία geodatabase στην οποία αποθηκεύονται σετ διανυσματικών και ψηφιδωτών δεδομένων στα οποία με τη σειρά τους αποθηκεύονται κλάσεις διανυσματικών αντικειμένων (feature classes) και αντικείμενα ψηφιδωτού (raster) αντίστοιχα, είτε ένας φάκελος των Windows στον οποίο αποθηκεύονται shapefiles, stand-alone feature classes ή raster datasets.

-*Dataset:* Το component dataset αποτελεί έναν επιπλέον χώρο αποθήκευσης (σε χαμηλότερο επίπεδο σε σχέση με τη γεωβάση) γεωγραφικών δεδομένων μέσα σε μία γεωβάση (geotabase) η εκτός. Διακρίνεται σε δύο επιμέρους components Geodataset και Tables αντίστοιχα. Ένα Geodataset είναι ένα dataset το οποία περιέχει γεωγραφικά δεδομένα και διακρίνεται σε feature dataset και raster dataset ενώ ένα Table αποτελεί μία συλλογή από εγγραφές οι οποίες περιέχουν αλφαριθμητικά δεδομένα.

-*Feature Class:* Κάθε *Feature Class* περιέχει χωρικά στοιχεία που έχουν την ίδια γεωμετρία. Αποτελεί δηλαδή την κλάση των αντικειμένων features

-*Object Class:*Αποτελεί την κλάση που περιγράφει κάθε έγγραφής ενός πίνακα.

-*Object:* Αναπαριστά ένα αντικείμενο τύπου object class δηλαδή μια εγγραφή σε ένα πίνακα

- Feature :Αναπαριστά ένα χωρικό στοιχείο object (πολύγωνο, γραμμή, σημείο) τύπου *Feature Class*

Το Μοντέλο δεδομένων του ψηφιδωτού (Raster)

Τα ψηφιδωτά ή αλλιώς Raster αποθηκεύονται σε διάφορα format στη βάση του ArcGIS. Τα format που υποστηρίζει το ArcGIS είναι το GRID (γίνεται εκτενής αναφορά στο κεφάλαιο «Αναπαράσταση...»), JPEG, TIFF καθώς επίσης και αλλά τα οποία μπορεί να ορίσει ο χρήστης. Το θεμελιώδες component του μοντέλου δεδομένων του ψηφιδωτού είναι το raster. Ένα raster μπορεί να αποτελείται από μία (grid) ή πολλές μπάντες χρωμάτων (TIFF κ.α). Τα βασικά components αυτού του μοντέλου είναι τα εξής :

-*Raster Dataset* : Αυτό το component αναπαριστά ένα υπάρχον dataset στο δίσκο ή σε μια geodatabase που βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο format. Μέσω αυτού του component επιτυγχάνεται η πρόσβαση σε ένα raster που είναι αποθηκευμένο κάπου.

-*Raster*: Το raster component τον ορθογώνιο πίνακα με τον οποίο αναπαρίστανται τα διάφορα χωρικά φαινόμενα.

-*RasterBand*: Αυτό το component επιτρέπει την ανάκτηση αλλά και την εισαγωγή των τιμών για κάποια raster καθώς επίσης και την εξαγωγή στατιστικών στοιχείων

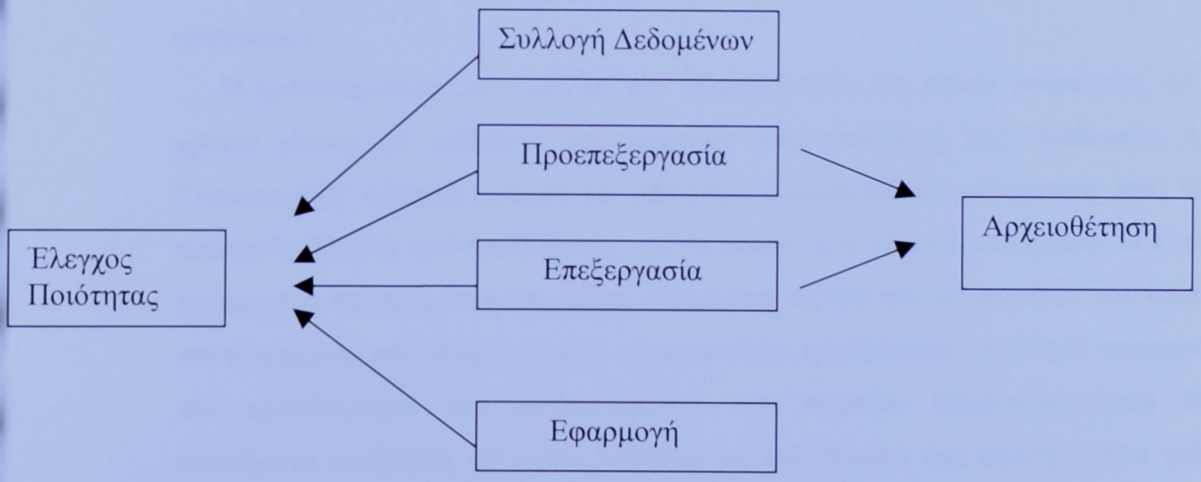
Τα components που περιγράφηκαν παραπάνω αποτελούν ταυτόχρονα και τα αντικείμενα μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η πρόσβαση στα raster που είναι αποθηκευμένα στο δίσκο. Επίσης υπάρχει ένα component το οποίο αποτελεί ένα συγκεκριμένο χώρο αποθήκευσης και οργάνωσης των raster στο δίσκο. Αυτό το component καλείται raster workspace. Επίσης και μέσω αυτού του αντικειμένου επιτυγχάνεται τόσο η πρόσβαση όσο και η δημιουργία raster.

Επίσης για την εμφάνιση ενός raster μαζί με άλλα δεδομένα στο Arc Map δημιουργείται ένα raster layer που επιτρέπει την οπτικοποίηση και τη διαχείριση του raster από το Arc Map και τις διάφορες λειτουργίες του. Το αντικείμενο τύπου raster αποτελεί μια πολύ σημαντική δομή αφού απεικονίζει συνεχή φαινόμενα του χώρου, γεγονός που επιτρέπει την χρησιμοποίηση του στις λειτουργίες ανάλυσης του φαινομένου της ηλιακής έκθεσης. Σε αυτό το σημείο λοιπόν εισέρχεται για πρώτη φορά η έννοια της αναπαράστασης του χώρου με τη μορφή επιφανειών. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί λοιπόν αναλύεται το θέμα της αναπαράστασης και διαχείρισης χωρικών φαινομένων με την βοήθεια επιφανειών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ

3.1 Γενικά

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά και αναλύονται τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους, οι δομές τους, οι διαδικασίες κατασκευής τους, τα παράγωγα της ανάλυσης ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους καθώς και οι τεχνικές συλλογής δεδομένων για την δημιουργία τους. Έτσι αυτό το κεφάλαιο διαρθρώνεται βάση της ροής εργασίας που ακολουθείται για την δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους και τελικά, την διαχείριση του. Η ροή εργασίας λοιπόν περιγράφεται από το παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 9 : Ροή εργασίας για την παραγωγή ενός Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους.
(Tempfli.K, Tuladhar.A.M, 1991)

Η συλλογή των δεδομένων αποτελεί το πρώτο στάδιο, κατά το οποίο συλλέγονται υψομετρικά δεδομένα με διάφορες τεχνικές. Στη συνέχεια ακολουθεί το στάδιο της προεπεξεργασίας όπου διορθώνονται τα συλλεχθέντα δεδομένα, ενώ η επεξεργασία αποτελεί το στάδιο της δημιουργίας της επιφανείας με τη βοήθεια κάποιων τεχνικών. Τέλος η εφαρμογή αποτελεί τη διαχείριση του DEM και την παραγωγή περαιτέρω πληροφορίας όπως πχ κλίσεις κ.α.

3.2 Μεθοδολογίες Συλλογής Υψομετρικών Δεδομένων και προεπεξεργασία των δεδομένων

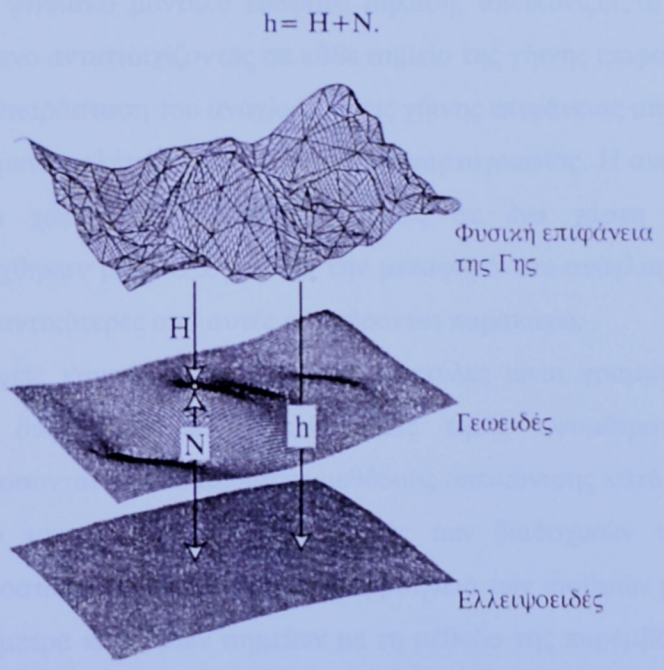
3.2.1 ΥΨΟΜΕΤΡΙΑ, ΜΕΘΟΔΟΙ - ΑΡΧΕΣ

Η περιγραφή της μορφής και του σχήματος της γήινης επιφάνειας αποτελεί για πολλά χρόνια αντικείμενο μελέτης αρκετών ερευνητών. Αρκετές μέθοδοι, συχνά αλληλοσυμπληρούμενες χρησιμοποιούνται για την μελέτη και αναπαράσταση του ανάγλυφου.

Η προσδιορισμός και η μελέτη των διακυμάνσεων της γήινης επιφάνειας για πολλά χρόνια γίνεται με μεθόδους που ανήκουν στις επιστήμες της Γεωδαισίας και της Τοπογραφίας. Αρκετοί ορισμοί και αξιώματα διατυπώθηκαν από αυτούς τους κλάδους και υιοθετήθηκαν από επιστήμονες για τη μελέτη του γήινου ανάγλυφου. Η Γεωδαισία προσεγγίζει τη περιγραφή της γήινης επιφάνειας ως ένα σύνολο σημείων των οποίων της συντεταγμένες υπολογίζει σε ένα συγκεκριμένο τρισδιάστατο σύστημα αναφοράς. Για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων των σημείων χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα αναφοράς τα οποία ανάλογα με την έκταση της περιοχής που μελετάται διακρίνονται σε παγκόσμια (πχ WGS 1984), περιφερειακά (πχ ED 50), εθνικά (ΕΓΣΑ ΄87) ή τοπικά. Βέβαια όλα αυτά τα συστήματα αναφοράς συνδέονται μεταξύ τους μέσω κάποιων συμβάσεων (μετάθεση αρχής των αξόνων, στροφή των αξόνων, αλλαγή κλίμακας). Ωστόσο η μέθοδος των συστημάτων αναφοράς είναι μια μαθηματική προσέγγιση. Η γήινη επιφάνεια όμως είναι δύσκολο να μοντελοποιηθεί μαθηματικά αφού δεν ακολουθεί μια συγκεκριμένη τάση. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε η έννοια του *γεωειδούς* το οποίο αποτελεί μία ισοδυναμική επιφάνεια η οποία προσεγγίζεται καλύτερα από τη μέση στάθμη της θάλασσας αν τα νερά των ωκεανών που θα εκτείνονταν κάτω από τις ηπείρους βρίσκονταν σε ηρεμία. Για την προσέγγιση του γεωειδούς χρησιμοποιούνται διάφορα ελλειψοειδή εκ περιστροφής, των οποίων οι διαστάσεις επιλέγονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι διαφορές από το γεωειδές να ελαχιστοποιούνται. Το υψόμετρο ενός σημείου ορίζεται ως η κατακόρυφη απόσταση του από μια επιφάνεια αναφοράς. Ανάλογα λοιπόν από την επιφάνεια αναφοράς προκύπτουν και αντίστοιχα

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

υψόμετρα όπως το ορθομετρικό υψόμετρο που είναι η απόσταση ενός σημείου της γήινης επιφάνειας από την επιφάνεια του γεωειδούς, το γεωμετρικό υψόμετρο το οποίο είναι η απόσταση του από το ελλειψοειδές και το υψόμετρο του γεωειδούς που είναι η αποχή του γεωειδούς από το ελλειψοειδές. Όλα αυτά συνδέονται
με τη σχέση h= H+N (σχήμα.10) Συνεπώς είναι προφανές ότι η έννοια του υψομέτρου είναι σχετική και ότι η τιμή του είναι διαφορετική ανάλογα με την επιφάνεια αναφοράς.



Σχήμα 10 Σχέση γεωδαιτικών επιφανειών αναφοράς (Μπαντέλλας.Α, Σαββαΐδης.Π, Υφαντής.Ι, Δούκας.Ι, 1999)

Η συλλογή πρωτογενών υψομετρικών δεδομένων αποτελεί το πρώτο στάδιο για την μοντελοποίηση της γήινης επιφάνειας. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είτε βασίζονται σε κλασικές μεθόδους είτε στη σύγχρονη τεχνολογία. Οι μέθοδοι αυτές είναι λοιπόν :

Α)Δεδομένα κλασικών τοπογραφικών μεθόδων (γεωμετρικές χωροσταθμήσεις, τριγωνομετρική υψομετρία)

Β) Δεδομένα τηλεπισκόπισης (αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες) σύμφωνα με τις οποίες μπορούν να μετρηθούν οι τρισδιάστατες συντεταγμένες ενός σημείου μετρώντας τις φωτογραφικές συντεταγμένες των εικόνων τους σε ένα στερεοζεύγος φωτογραφιών

Γ) Ψηφιακά δεδομένα, θεματικά επίπεδα ενός GIS (ισοϋψείς, αρχεία υψομέτρων)

3.3 Επεξεργασία – Δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους

Ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ) είναι ψηφιακή αναπαράσταση της συνεχούς μεταβολής του ανάγλυφου στο χώρο.

Ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους δηλαδή, απεικονίζει το ανάγλυφο ως ένα συνεχές φαινόμενο αντιστοιχίζοντας σε κάθε σημείο της γήινης επιφανείας μια τιμή υψομέτρου.

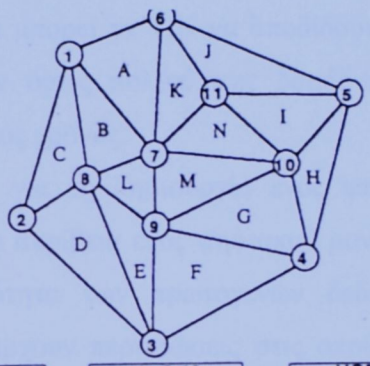
Η αναπαράσταση του ανάγλυφου της γήινης επιφάνειας αποτελεί για πολλά χρόνια αντικείμενο μελέτης της επιστήμης της χαρτογραφίας. Η αναπαράσταση του ανάγλυφου σε ένα χώρο δύο διαστάσεων, όπως σε ένα χάρτη αποτελεί πρόβλημα. Έτσι αναπτύχθηκαν μεθοδολογίες για την μεταφορά του ανάγλυφου στον δισδιάστατο χώρο. Οι σημαντικότερες από αυτές αναφέρονται παρακάτω.

- Ισοϋψείς καμπύλες. Οι ισοϋψείς καμπύλες είναι γραμμές (κλειστές ή ανοικτές) οι οποίες διέρχονται από σημεία ίδιας τιμής υψομέτρου. Οι ισοϋψείς καμπύλες κατατάσσονται στις ισαριθμικές μεθόδους απεικόνισης κατά την οποία σχεδιάζονται στο επίπεδο τουχάρτη οι ορθές προβολές των διαδοχικών τομών του εδάφους με τις ισοχωροσταθμικές επιφάνειες. Με τη βοήθεια των ισοϋψών μπορούν να προσδιοριστούν, τα υψόμετρα και άλλων σημείων με τη μέθοδο της παρεμβολής μεταξύ των διαδοχικών ισοϋψών καμπύλων. Επίσης η διάταξη των ισοϋψών βοηθά την οπτική αναπαράσταση της μορφολογίας του ανάγλυφου. Η δημιουργία των ισοϋψών, από πρωτογενείς πληροφορίες στο περιβάλλον ενός GIS γίνεται με την ψηφιοποίηση των ισοϋψών ενός αναλογικού ή ψηφιακού χάρτη από ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους
- Η χρωματική απεικόνιση, η οποία χρησιμοποιεί τη διαβάθμιση της φωτεινότητας ενός χρώματος για να απεικονίσει τις μορφές τους εδάφους μεταξύ δύο ισοϋψών

Ωστόσο ενώ η μέθοδος των ισοϋψών είναι ιδανική για την αναπαράσταση του ανάγλυφου δεν ενδείκνυται για ποσοτική ανάλυση. Αυτή η ανάγκη έφερε στην επιφάνεια νέα μοντέλα για την περιγραφή του ανάγλυφου, τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (ΨΜΕ) Οι κυριότερες δομές δεδομένων που χρησιμοποιούνται για τα ΨΜΕ είναι τα ακανόνιστα

δίκτυα τριγώνων (TIN) και τα σημειακά μοντέλα που αναπαρίστανται με πίνακες υψομέτρου (grids).

TIN Με ένα TIN η γήινη επιφάνεια προσεγγίζεται με τη βοήθεια τριγώνων, τα οποία σχεδιάζονται με τη μέθοδο Delaunay, με την οποία δημιουργούνται τρίγωνα με τη μικρότερη περίμετρο και τις μικρότερες γωνίες. Τα τρίγωνα διαφέρουν στο μέγεθος τους, το οποίο εξαρτάται από την πολυπλοκότητα του ανάγλυφου που αναπαριστούν. Τα στοιχεία που συνθέτουν ένα TIN είναι οι κόμβοι, οι κορυφές των τριγώνων δηλαδή, οι οποίες δημιουργούνται από τα δεδομένα εισαγωγής και στις οποίες καταγράφονται οι τιμές του υψομέτρου. Οι πλευρές των τριγώνων, που συνδέουν δύο διαδοχικούς κόμβους και τα τρίγωνα τα οποία περιγράφουν ένα τμήμα της επιφάνειας. Για κάθε τρίγωνο ενός TIN αποθηκεύεται και τοπολογική πληροφορία στη οποία καταγράφονται ο αριθμός αναγνώρισης του, οι αριθμοί αναγνώρισης των γειτονικών τριγώνων, οι τρεις κορυφές του, οι τρισδιάστατες συντ/νες των κόμβων το, ο τύπος της πλευράς του καθώς και πληροφορίες που αναφέρονται στη χωρική αναφορά του (σύστημα αναφοράς, κλίμακα κ.α)



X–Y COORDINATES	
node#	coordinates
1	x1, y1
2	x2, y2
3	x3, y3
:	
11	x11, y11

Z COORDINATES	
node#	z_value
1	z1
2	z2
3	z3
:	
11	z11

EDGES	
Δ	adjacent Δ
A	B,K
B	A,C,L
C	B,D
D	C,E
E	D,F,L
F	E,G
G	F,H,M
H	G,I
I	H,J,N
J	I,K
K	A,J,N
L	B,E,M
M	G,L,N
N	I,K,M

NODES	
Δ	node #
A	1,6,7
B	1,7,8
C	1,2,8
D	2,3,8
E	3,8,9
F	3,4,9
G	4,9,10
H	4,5,10
I	5,10,11
J	5,6,11
K	6,7,11
L	7,8,9
M	7,9,10
N	7,10,11

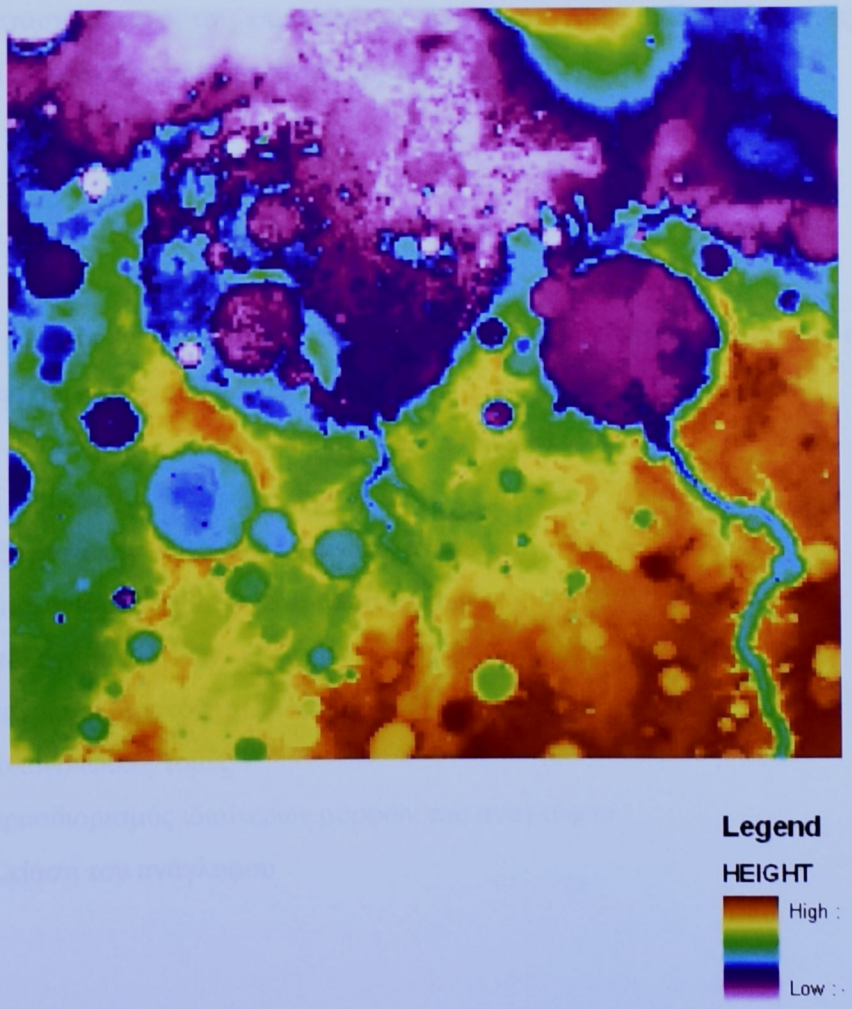
Σχήμα 11 : Η τοπολογική δομή ενός TIN

Σημειακό Μοντέλο Κανάβου Σε αυτά τα μοντέλα η επιφάνεια αναπαριστάται με ένα σταθερής χωρικής ανάλυσης κάναβο σημείων στα οποία αντιστοιχίζεται κάποια τιμή υψομέτρου. Επίσης η τιμή ενός υψομέτρου μπορεί να αντιστοιχισθεί σε ένα σημείο του μοντέλου (κέντρο βάρους) ή σε μία στοιχειώδη επιφάνεια. Κατά τη δομή αποθήκευσης αυτών των μοντέλων ανατίθενται κωδικοί αναγνώρισης των σημείων, οι συντεταγμένες X,Y του αρχικού σημείου αναφοράς σε πραγματικές μονάδες, απόσταση μεταξύ των σημείων σε πραγματικές μονάδες, ο αριθμός των σημείων και ο πίνακας με τις τιμές των υψομέτρων για κάθε σημείο

Το μοντέλου κανάβου υπερτερεί σε σχέση με το μοντέλο TIN ως προς το γεγονός ότι η δομή αποθήκευσης (πίνακες) ακολουθεί τη γενική δομή αποθήκευσης των Η/Υ με αποτέλεσμα την εύκολη διαχείριση του κατά την διάρκεια ποσοτικών αναλύσεων. Από

την άλλη πλευρά βέβαια μπορεί τα TIN να αποδίδουν καλύτερατα χαρακτηριστικά του εδάφους, χρησιμοποιούν όμως πολύπλοκες δομές αποθήκευσης με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο υπολογιστικός χρόνος.

Οι πηγές δεδομένων για τη δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους είναι ποικίλες. Η ποιότητα και ακρίβεια ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους εξαρτάται από την ακρίβεια και την ποιότητα των πρωτογενών δεδομένων (Νόμος μετάδοσης των σφαλμάτων).Επίσης υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες μία πηγή δεν επαρκεί για την δημιουργία ενός DEM με μεγάλη ακρίβεια. Πολλές φορές λοιπόν παρατηρείται συνδυασμός διαφορετικών πηγών δεδομένων για τη παραγωγή ενός DEM.



Εικόνα 5. Ψηφιακό Μοντέλο εδάφους κρατήρα του πλανήτη Άρη (ESRI)

Για την δημιουργία ενός σημειακού μοντέλου καναβου χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές παρεμβολής[4] οι οποίες διακρίνονται σε δύο γενικές κατηγορίες α) τις γενικευμένες και β) τις τοπικές ντετερμινιστικές (Burrough.P, McDonnel,R, 1998). Οι πρώτες χρησιμοποιούν κάποιες επιφάνειες τάσης (πολυώνυμα συνήθως μεγάλου βαθμού), οι οποίες έχουν προέλθει από παλινδρόμηση, για να προβλέψουν τις τιμές σε κάποια σημεία. Αντίθετα οι δεύτερες προβλέπουν τις τιμή σε ένα σημείο σύμφωνα με τη χωρική συσχέτιση και την εγγύτητα του με άλλα σημεία. Παράδειγμα αυτής της κατηγορίας αποτελεί η μέθοδος Inverse Distant Weighting κατά την οποία υπολογίζεται με βάρη η μέση τιμή του φαινομένου στα γειτονικά σημεία ενώ όσο πιο μικρή είναι η απόσταση μεταξύ του σημείου της άγνωστης τιμής και εκείνου της γνωστής τόσο μεγαλύτερο βάρος δίνεται στο δεύτερο

3.4 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ DEM

Η χρήση ενός DEM δεν περιορίζεται μόνο στην αναπαράσταση του αναγλύφου αλλά και σε μία πληθώρα λειτουργιών ανάλυσης. Μερικές απο αυτές είναι :

Α) ο υπολογισμός τιμών υψομέτρου με παρεμβολή

Β) η δημιουργία ισουψών καμπυλών

Γ) εξαγωγή κλίσεων και προσανατολισμού

Δ) υπολογισμός εμβαδών και αποστάσεων

Ε)υπολογισμός όγκων

ΣΤ) ανάλυση ορατότητας

Ζ) τοπογραφικές τομές

Η) προσδιορισμός ιδιαίτερων μορφών του αναγλύφου

Θ) Σκίαση του ανάγλυφου

[4] Η διαδικασία πρόβλεψης τιμών ενός φαινομένου σε άγνωστα σημεία, απο δείγμα σημείων με γνωστές τιμές μεσώ στατιστικών μεθόδων

Για την μοντελοποίηση της ηλιακής έκθεσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ψηφιακά μοντέλα εδάφους αφού αυτά και τα παραγόμενα (κλίση, έκθεση) τους θα μπορούσαν να περιγράψουν το τρόπο που συμπεριφέρεται μία επιφάνεια του εδάφους στην η.ε ανάλογα με τη κλίση και την έκθεση της.

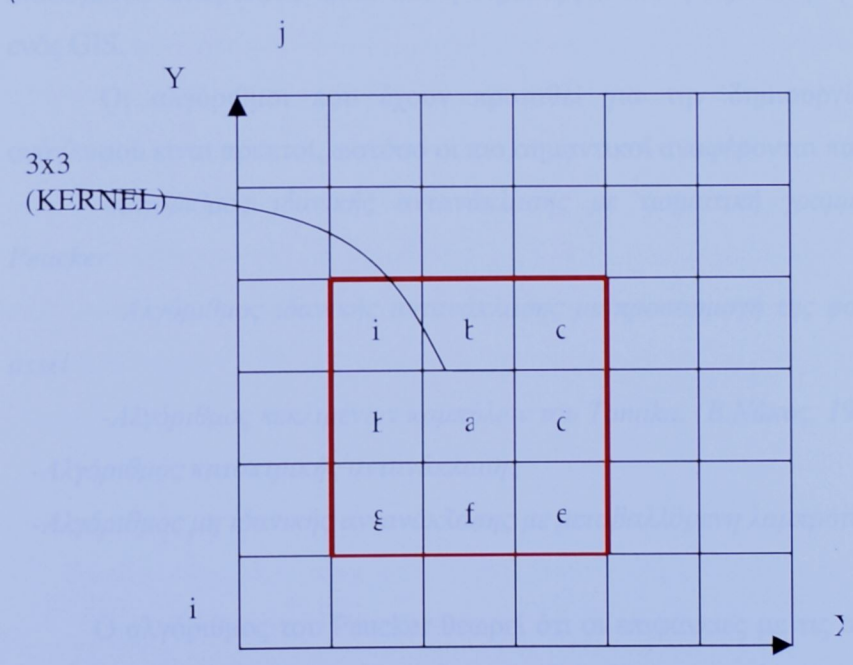
3.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Η κλίση και η έκθεση μιας επιφάνειας του εδάφους προσδιορίζει την μορφολογία του εδάφους. Κλίση μίας επιφάνειας ορίζεται ως ο μέγιστος ρυθμός αλλαγής του υψομέτρου στην έκταση της επιφάνειας αυτής και μετράται σε μοίρες ή σε ποσοστά επί τοις εκατό. Συνεπώς αν υψομετρία μιας περιοχής θεωρηθεί επιφάνεια τότε μπορεί να περιγραφεί από μία συνάρτηση $z=f(x,y)$. Από τον ορισμό της κλίσης είναι φανερό ότι αν η συνάρτηση είναι συνεχής σε δύο διαστήματα $\chi(\alpha,\beta)$, $y(\gamma,\delta)$, λόγω του ότι μιλάμε για δύο διαστάσεις, τότε μπορεί να υπολογισθεί η κλίση κάθε επιφανείας της περιοχής που βρίσκεται εντός των διαστημάτων. Η κλίση λοιπόν θα είναι η πρώτη παράγωγος της συνάρτησης $z=f(x,y)$.. Μαθηματικά λοιπόν η κλίση είναι η πρώτη παράγωγος του υψομέτρου. Από την συνάρτηση είναι προφανές ότι η κλίση είναι διαφορετική σε διαφορετικές διευθύνσεις (αφού το υψόμετρο είναι συνάρτηση των επίπεδων συντεταγμένων)

Σε ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών για τον προσδιορισμό της κλίσης χρησιμοποιείται ένα ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο. Στην συνέχεια υπολογίζεται η κλίση για κάθε κελί του DEM με μία εστιακή λειτουργία κατά την οποία οι τιμές κάθε φατνίου καθορίζονται από τις τιμές των γειτονικών του.

Το DEM αφού διακριτοποιεί το χώρο σε επιμέρους τμήματα και έτσι είναι εύκολο να υπολογιστούν οι παράγωγοι είτε υπολογίζοντας τις διαφορές των υψομέτρων μεταξύ γειτονικών pixel είτε βρίσκοντας την συνάρτηση που ακολουθούν τα pixel ενός παραθύρου και στην συνέχεια υπολογίζουμε την παράγωγο της συνάρτησης για κάθε στο κέντρο του κάθε pixel. Η συνήθης διαδικασία που ακολουθεί ένα λογισμικό γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών για την παραγωγή της κλίσης ενός συγκεκριμένου pixel,είναι ο υπολογισμός εντός ενός παραθύρου 3*3 συνήθως, του πηλίκου $\delta z/\delta\chi$ λαμβάνοντας υπόψη τα 8 γειτονικά pixel που αποτελεί την κλίση κατά την διεύθυνση Ανατολής-Δύσης καθώς και το πηλίκο $\delta z/\delta y$ που αποτελεί την κλίση κατά την

διεύθυνση Βορρά –Νότου. Στην συνέχεια υπολογίζεται η εφαπτομένη της κλίσης στο συγκεκριμένο pixel με το τύπο $\sqrt{((\delta z/\delta x)^2+(\delta z/\delta y)^2)}$. Τέλος για τον υπολογισμό της κλίσης βρίσκεται το τόξο της εφαπτομένης της παραπάνω ποσότητας με την παρακάτω σχέση s= ATAN(εφ.κλίσης) * 57.29578



Εικόνα 6 : Ένα παράθυρο Kernel 3 * 3

Ο προσανατολισμός ή έκθεση της επιφανείας αποτελεί την άλλη παράμετρο για το ανάγλυφο. Η έκθεση λοιπόν αποτελεί την διεύθυνση της μέγιστης κλίσης και δίνεται από τον τύπο aspect= ATAN(-(δz/δy)/(δz/δx)

3.6 ΣΚΙΑΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ

Στις μεθόδους που παρουσιάστηκαν παραπάνω, για την απεικόνιση του ανάγλυφου προστίθεται ακόμη μία η οποία αναπαριστά πιο ρεαλιστικά το ανάγλυφο και τα χαρακτηριστικά του, η σκίαση του ανάγλυφου ή φωτοσκίαση. Η σκίαση του ανάγλυφου είναι το οπτικό αποτέλεσμα που προκύπτει από την πρόσπτωση των ακτινών

μίας φωτεινής πηγής σε μία στοιχειώδη επιφάνεια του εδάφους. Μέσω αυτής της τεχνικής είναι ευκολότερη η ερμηνεία του ανάγλυφου αφού το παραγόμενο αυτής της τεχνικής προσομοιάζει σε μεγάλο βαθμό την πραγματικότητα, αφού προσεγγίζει κατά πολύ τον τρόπο με τον οποίο το γήινο ανάγλυφο γίνεται αντιληπτό από έναν παρατηρητή στην φύση.

Παρακάτω θα αναλυθούν διάφοροι αλγόριθμοι για την παραγωγή του σκιασμένου ανάγλυφου αλλά και η δημιουργία και η αξιοποίηση του στο περιβάλλον ενός GIS.

Οι αλγόριθμοι που έχουν προταθεί για την δημιουργία ενός σκιασμένου ανάγλυφου είναι αρκετοί, ωστόσο οι πιο σημαντικοί αναφέρονται παρακάτω.

-Αλγόριθμος ιδανικής αντανάκλασης με τμηματική γραμμική προσέγγιση του Peucker

- Αλγόριθμος ιδανικής αντανάκλασης με προσαρμογή της φωτεινής πηγής του Br assel

-Αλγόριθμος κεκλιμένων καμπύλων του Tanaka. (Β.Νάκος, 1999)

-Αλγόριθμος κατοπτρικής αντανάκλασης

-Αλγόριθμος μη ιδανικής αντανάκλασης με μεταβαλλόμενη λαμπρότητα του Wiechel

Ο αλγόριθμος του Peucker θεωρεί ότι οι επιφάνειες με τις οποίες αλληλεπιδρά η προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι ιδανικές, δηλαδή όση ποσότητα ακτινοβολίας δέχονται την ίδια και ανακλούν. Γεγονός που δεν συμβαίνει στη φύση αφού η ακτινοβολία που δέχεται μία τοπογραφική επιφάνεια είναι δυνατό να απορροφηθεί, να σκεδαστεί και τέλος να ανακλαστεί λόγο των φυσικοχημικών, γεωμετρικών χαρακτηριστικών και της υφής της επιφάνειας.

Επίσης θεωρεί ότι η ποσότητα του φωτός που δέχεται μία επιφάνεια εξαρτάται από την κλίση της. Οι αδυναμίες του μοντέλου Peucker είναι προφανείς αφού περιοχές με την ίδια κλίση αλλά διαφορετικό προσανατολισμό δέχονται την ίδια ποσότητα φωτός με αποτέλεσμα την λάθος ερμηνεία της μορφολογίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι εκατέρωθεν πλευρές μιας κορυφογραμμής. Η αντανάκλαση σύμφωνα με αυτό τον αλγόριθμο είναι ανάλογη της γωνίας πρόσπτωσης φ και της τιμής του συνημίτονου της.

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

Κατά τον αλγόριθμο του Brassel η φωτεινή πηγή προσαρμόζεται σε μία συγκεκριμένη θέση σε σχέση με την θέση της επιφανείας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια κάποιων συντελεστών α, β οι οποίοι πολλαπλασιαζόμενοι με τις διαφορές των κλίσεων και των διευθύνσεων πηγής, επιφανείας μεταθέτουν τη σχετική τους θέση με αποτέλεσμα να γίνονται ορατά συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του εδάφους.

Σύμφωνα με τον αλγόριθμο κατοπτρικής αντανάκλασης η φωτεινότητα των επιφανειών του εδάφους εξαρτάται από τη θέση του παρατηρητή. Είναι μια τεχνική για τη ρεαλιστική αναπαράσταση γραφικών σε ηλεκτρονικές υπολογιστές.

Στον αλγόριθμο κεκλιμένων καμπύλων του Tanaka αξιοποιούνται ισοϋψείς καμπύλες και η τιμή της ανάκλασης εξαρτάται από το πάχος τους και την ενδιάμεση απόσταση τους στο χάρτη. Για να υπάρχει λοιπόν μια διαβάθμιση ανάκλασης που να εξαρτάται από και από την διεύθυνση της κλίσης του εδάφους κεκλιμένα επίπεδα κάθετα στις ακτίνες του ηλίου τέμνουν τη γήινη επιφάνεια. Έτσι το τελικό αποτέλεσμα εξαρτάται άμεσα από την ισοδιάσταση, το πάχος της ισοϋψούς και τη κλίμακα του χάρτη.

Αντίθετα με τους προηγούμενους αλγορίθμους, ο αλγόριθμος της μη ιδανικής αντανάκλασης με μεταβαλλόμενη λαμπρότητα του Wiechel λαμβάνει υπόψιν εκτός από την κλίση και επιπλέον παραμέτρους όπως είναι η διεύθυνση του κανονικού διανύσματος

Σαν παράμετρος του φαινομένου της η.ε η σκίαση του ανάγλυφου είναι χρήσιμη διότι καθορίζει ποιες περιοχές σκιάζονται (επομένως δεν λαμβάνουν ηλιακή ακτινοβολία) και ποιες όχι.

Εκτός των χωρικών μοντέλων περιγραφής της τοπογραφίας, έχουν αναπτυχθεί και κάποια μοντέλα περιγραφής της η.ε τα οποία για λεπτομερή περιγραφή του φαινομένου χρησιμοποιούν ψηφιακά μοντέλα εδάφους

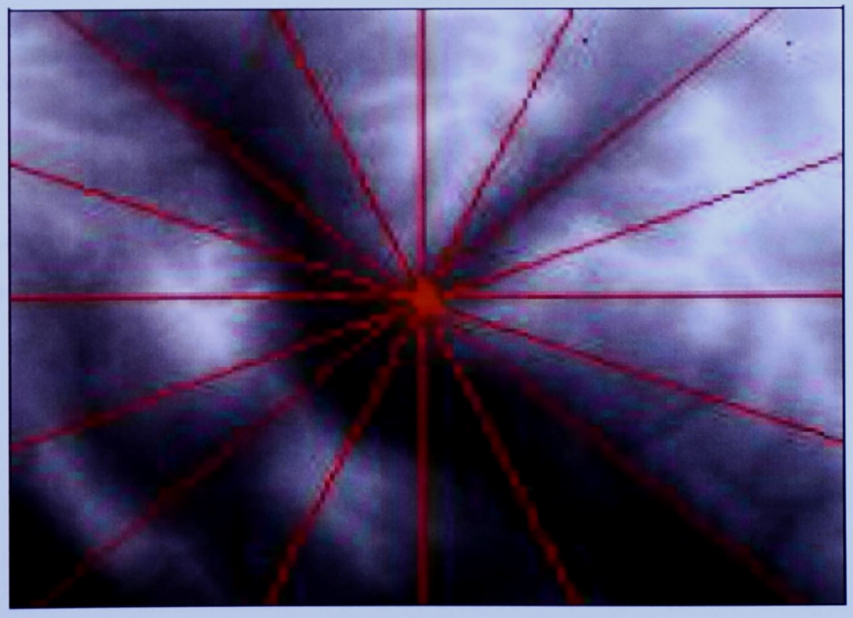
Τα μοντέλα αυτά περιγράφονται στην παράγραφο που ακολουθεί.

3.7 ΧΩΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

Το φαινόμενο της ηλιακής έκθεσης, όπως και κάθε άλλο φαινόμενο που συμβαίνει στο χώρο είναι δυνατό να περιγραφεί με τη βοήθεια ενός μοντέλου που θα

περιγράφει την συμπεριφορά ή διακύμανση των τιμών του φαινομένου στο γεωγραφικό χώρο.

Για το φαινόμενο της ηλιακής έκθεσης έχουν αναπτυχθεί δύο τύποι μοντέλων: το *σημειακό* και το *επιφανειακό (Fu.P, Rich.M, 1999)*. Το σημειακό μοντέλο (εικόνα 7) χρησιμοποιεί σαν παραμέτρους την γεωμετρία του εδάφους (κλίση, έκθεση) σε ένα συγκεκριμένο σημείο αλλά και το ποσοστό του ουράνιου θόλου που είναι ορατό από αυτό σε συγκεκριμένες διευθύνσεις (ζενίθειες, οριζόντιες γωνίες), το οποίο υπολογίζεται με τη βοήθεια αλγορίθμων ανάλυσης ορατότητας, προκειμένου να υπολογισθεί η επίδραση της περιβάλλουσας τοπογραφίας στο ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το σημείο.



Εικόνα 7 Παράδειγμα υπολογισμού με τη βοήθεια του σημειακού μοντέλου. *(Fu.P, Rich.M, 1999)*

Το επιφανειακό μοντέλο, σε αντίθεση με το σημειακό υπολογίζει τη ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια περιοχή-επιφάνεια ορισμένων διαστάσεων. Η δομική επιφάνεια του μοντέλου είναι ανάλογη με εκείνη ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Μπορεί να είναι λοιπόν είτε μια ψηφίδα του σημειακού μοντέλου κανάβου, είτε ένα τρίγωνο ενός TIN.

Το σημειακό παρά το γεγονός ότι παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια, αφού είναι δυνατός ο υπολογισμός της τιμής της ηλιακής ακτινοβολίας για κάθε σημείο της περιοχής, είναι εξαιρετικά δύσκολο να υλοποιηθεί εξαιτίας του γεγονότος ότι ο χώρος δομείται από τεράστιο αριθμό σημείων των οποίων η ανάλυση απαιτεί τεράστιες υπολογιστικές ικανότητες και κατάλληλες δομές αποθήκευσης για την όσο το δυνατό γρηγορότερη ανάκτηση και εκτέλεση των υπολογισμών. Λαμβάνοντας υπόψη λοιπόν τις διαφορές των δύο μοντέλων επιλέχθηκε το επιφανειακό, για την μελέτη του φαινομένου σε αυτή την εργασία αφού τα πλεονεκτήματα του ταυτίζονταν με τις δυνατότητες που προσέφερε το λογισμικό ανάλυσης.

Έως αυτό το σημείο περιγράφηκαν οι χωρικές δομές και τα μοντέλα χώρου που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση του φαινομένου. Ωστόσο αν δεν εξετασθεί η η.ε και χρονικά τότε χάνεται η δυναμική του φαινομένου και τα αποτελέσματα της ανάλυσης θα είναι στατικά και δεν θα αντικατοπτρίζουν την πραγματική διάσταση του φαινομένου η οποία είναι χωροχρονική.

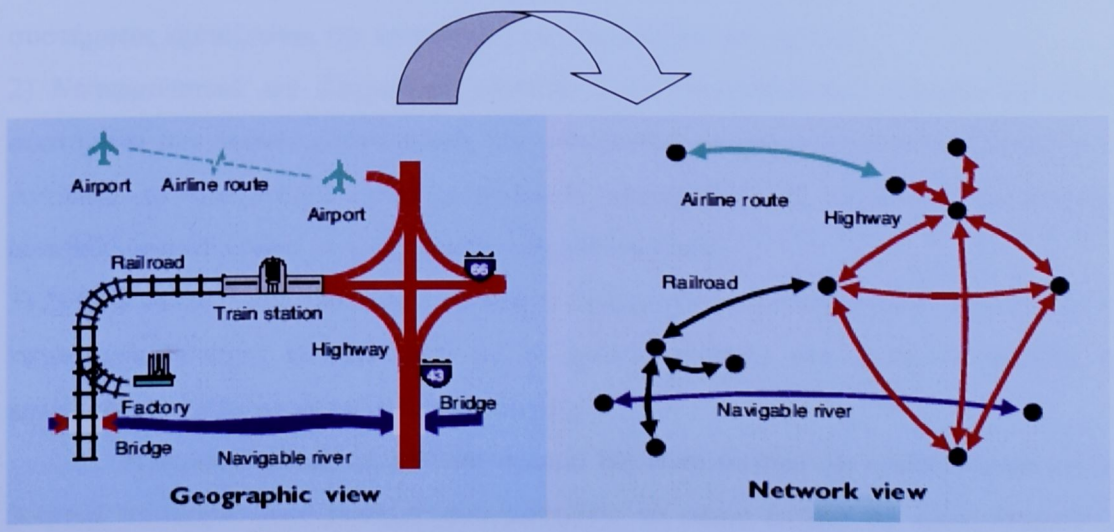
Στο επόμενο κεφάλαιο, λοιπόν περιγράφονται οι αρχές και οι μέθοδοι για την ολοκληρωμένη μοντελοποίηση ανάλογων φαινομένων δίνοντας έμφαση στη χωροχρονική μοντελοποίηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4
ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ
ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ – ΤΕΧΝΙΚΕΣ

4.1 Γενικά - Μοντελοποίηση

Η τεχνική της μοντελοποίησης στηρίζεται σε κατάλληλες δομές, που καλούνται μοντέλα. Το μοντέλο είναι μία τεχνητη κατασκευή η οποία μετασχήματίζει τα στοιχεία ενός συγκεκριμένου συστήματος σε στοιχεία ενός άλλου. Τα μοντέλα συνήθως χρησιμοποιούνται για την περιγραφή πολύπλοκων συστημάτων του πραγματικού κόσμου με την βοήθεια απλούστερων στοιχείων τα οποία είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν σε συγκεκριμένες αναλύσεις. Είναι προφανές λοιπόν ότι ο σκοπός του μοντέλου είναι η απλοποίηση και η γενίκευση του συστήματος ενδιαφέροντος. Ένα μοντέλο λοιπόν σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό αποκτά μαθηματική έννοια. Η μαθηματική έννοια που βρίσκεται πίσω απο ένα μοντέλο, είναι εκείνη του *μορφισμού*, μιας συνάρτησης δηλαδή απο ένα πεδίο σε ένα άλλο η οποία διατηρεί μερικά στοιχεία της αρχικής δομής (Worboys.F,2000).

f (Geographic View)= Μοντέλο= Network View



Εικόνα 8. *Η αναπαράσταση ενός μεταφορικού δικτύου στο περιβάλλον ενός GIS με τη βοήθεια του διανυσματικού μοντέλου*
Πηγή : Modelling Our World, ESRI

4.1.1 Μοντέλα

Εξαιτίας της ποικιλομορφίας των εφαρμογών της μοντελοποίησης, αναπτύχθηκαν δύο κατηγορίες μοντέλων, τα *φυσικά* και τα *μαθηματικά* μοντέλα. Τα φυσικά ή εικονικά μοντέλα προσομοιάζουν την πραγματικότητα με τη βοήθεια γραφικών μεθόδων. Ένα παράδειγμα τέτοιων μοντέλων είναι οι προσωμοιωτές πτήσεων. Η αδυναμία ωστόσο αυτών των μοντέλων συνίσταται στο γεγονός ότι είναι δυνατή η ανάλυση του συστήματος που προσομοιάζουν με γραφικό και μόνο τρόπο.

Αντίθετα ένα μαθηματικό μοντέλο αναπαριστά το πραγματικό σύστημα με μαθηματικές και λογικές σχέσεις, οι οποίες στην συνέχεια διαχειρίζονται επιδέξια και αλλάζουν για να διαπιστωθούν οι αντιδράσεις του μοντέλου και να προβλεφθούν οι αντιδράσεις του πραγματικού συστήματος. Τα μαθηματικά μοντέλα κατηγοριοποιούνται σε επιμέρους μοντέλα (*Αναγνωστόπουλος.Δ, 2003*).

1) *Στατικά και Δυναμικά Μοντέλα* : Τα πρώτα μελετούν την κατάσταση ενός συστήματος σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές ενώ τα δεύτερα μελετούν την δυναμική του συστήματος εξετάζοντας την κατάσταση του συναρτήσει του χρόνου.

2) *Ντετερμινιστικά και Στοχαστικά Μοντέλα* : Τα ντετερμινιστικά μοντέλα αφορούν συστήματα των οποίων η κατάσταση τους ακολουθεί μία συγκεκριμένη τάση ή κανόνα. Αντίθετα τα στοχαστικά μοντέλα αφορούν συστήματα των οποίων η κατάσταση μεταβάλλεται σύμφωνα με τους νόμους των πιθανοτήτων.

3) *Συνεχή και Διακριτά Μοντέλα* : Τα πρώτα εφαρμόζονται για συστήματα των οποίων η κατάσταση συνεχώς μεταβάλλεται με το χρόνο, αντίθετα στα διακριτά μοντέλα η κατάσταση μεταβάλλεται σε διακριτές στιγμές.

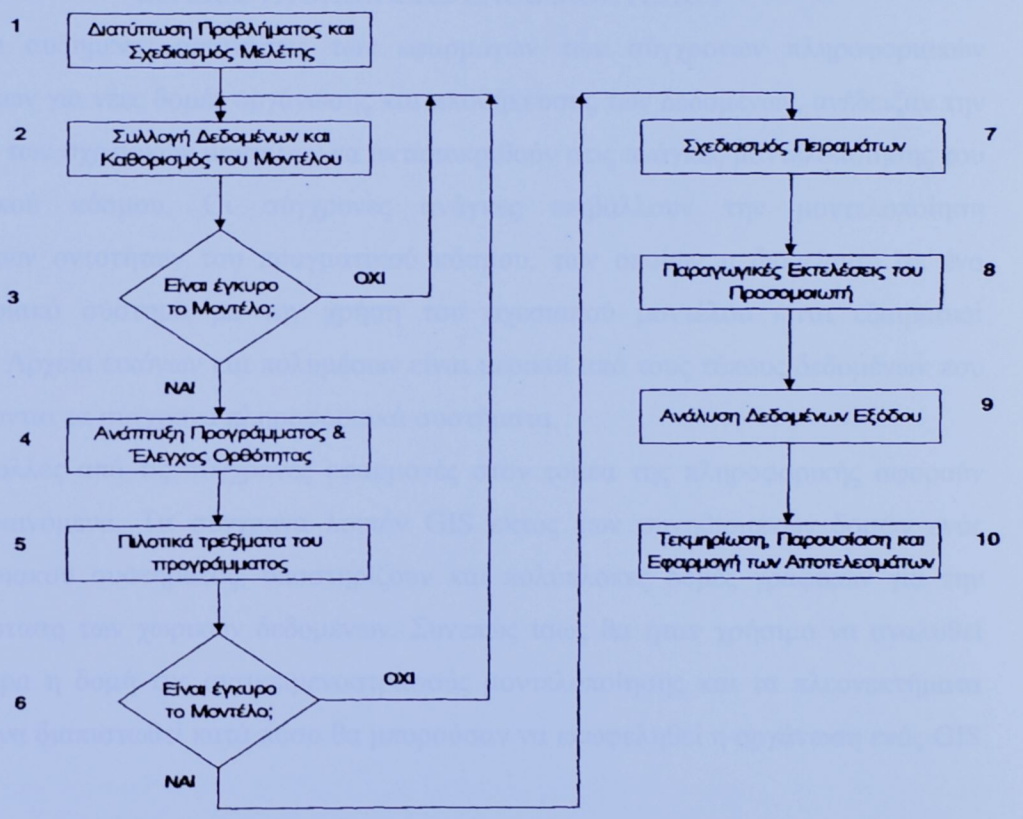
Η περίπτωση της η.ε από τον ορισμό της είναι φανερό ότι προσεγγίζεται με τη βοήθεια καταρχήν ενός μαθηματικού μοντέλου το οποίο ανήκει σε τρεις επιμέρους

υποδιαιρέσεις των μαθηματικών μοντέλων, ταυτόχρονα. Πρόκειται λοιπόν για ένα συνεχές δυναμικό μοντέλο αφού το φαινόμενο μεταβάλλεται διαρκώς με το χρόνο λόγω της μεταβολής της θέσης του ηλίου, ντετερμινιστικό διότι η συμπεριφορά του φαινομένου περιγράφεται από ένα σύνολο εξισώσεων που έχουν ήδη προταθεί. Επίσης εκτός του μαθηματικού μοντέλου, η μοντελοποίηση του φαινομένου με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGIS είναι δυνατή και η φυσική μοντελοποίηση του φαινομένου αφού παρουσιάζεται το αποτέλεσμα με τη βοήθεια γραφικών

Η διαδικασία της μοντελοποίησης ωστόσο προκειμένου να είναι επιτυχής πρέπει να ακολουθηθεί μια αλληλουχία βημάτων

- Ορισμός του προβλήματος
-Κατασκευή του Μοντέλου
-Έλεγχος και αποτίμηση του μοντέλου
-Σχεδιασμός των πειραμάτων
-Διεξαγωγή των πειραμάτων
-Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων
-Εφαρμογή

(Αναγνωστόπουλος, 2003)



Σχήμα 12 Διαδικασία Προσομοίωσης

Πηγή : *Προσομοίωση*, Αναγνωστόπουλος 2003

Η μοντελοποίηση ενός φαινομένου ή προβλήματος για την αντιμετώπιση του, προϋποθέτει ένα σύνολο επιμέρους σταδίων ανάλυσης του. Τα στάδια αυτά είναι τα εξής:

-Ο ορισμός του φαινομένου ή του προβλήματος καθώς και των μεταβλητών του.

- Η απεικόνιση του σε ένα εννοιολογικό σχήμα

-Η απεικόνιση του σε ένα λογικό σχήμα

-Η υλοποίηση του του μοντέλου στον υπολογιστή.

ΣΤΑΔΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Οι αυξημένες απαιτήσεις των εφαρμογών των σύγχρονων πληροφοριακών συστημάτων για νέες δομές οργάνωσης και αποθήκευσης των δεδομένων, ανέδειξαν την αδυναμία των σχεσιακών μοντέλων να ανταποκριθούν στις ανάγκες μοντελοποίησης του πραγματικού κόσμου. Οι σύγχρονες ανάγκες επιβάλλουν την μοντελοποίηση πολύπλοκων οντοτήτων του πραγματικού κόσμου, των οποίων η διαχείριση σε ένα πληροφοριακό σύστημα με την χρήση του σχεσιακού μοντέλου είναι εξαιρετικά δύσκολη. Αρχεία εικόνων και πολυμέσων είναι μερικοί από τους τύπους δεδομένων που διαχειρίζονται τα σύγχρονα πληροφοριακά συστήματα.

Πολλές από τις σύγχρονες εφαρμογές στον τομέα της πληροφορικής αφορούν χωρικά φαινόμενα. Τα σύγχρονα λοιπόν GIS εκτός των συνηθισμένων δομών ενός πληροφοριακού συστήματος, υποστηρίζουν και πολύπλοκες δομές γραφικών για την αναπαράσταση των χωρικών δεδομένων. Συνεπώς ίσως θα ήταν χρήσιμο να αναλυθεί εκτενέστερα η δομή της αντικειμενοστραφούς μοντελοποίησης και τα πλεονεκτήματα της ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο θα μπορούσαν να επωφεληθεί η οργάνωση ενός GIS από αυτή.

Η αντικειμενοστραφής προσέγγιση στη μοντελοποίηση ενός φαινομένου δέχεται ότι οι οντότητες του πραγματικού κόσμου που πρόκειται να μοντελοποιηθούν μπορούν να αναπαρασταθούν με τη μορφή αντικειμένων. Τα αντικείμενα αυτά περιγράφονται από ένα σύνολο γνωρισμάτων ή ιδιοτήτων, τα οποία συνιστούν τη κατάσταση ενώ ακόμα ενσωματώνουν ένα σύνολο μεθόδων (πράξεων) που καθορίζουν τη συμπεριφορά του αντικειμένου. Επίσης τα αντικείμενα έχουν διάρκεια ζωής (εφήμερα, διαρκείας) και ταυτότητα που τους δίνει το σύστημα από τη στιγμή δημιουργίας τους.

Το βασικό στοιχείο του σχεσιακού μοντέλου είναι ο πίνακας ή σχέση ο οποίος είναι μία συλλογή εγγραφών. Συνεπώς μία οντότητα του πραγματικού κόσμου αναπαρίσταται με μία εγγραφή ενός πίνακα η οποία προσδιορίζεται μοναδικά από την τιμή ενός γνωρίσματος κλειδιού. Σε αυτό το σημείο εντοπίζεται και η πρώτη διαφορά μεταξύ σχεσιακού και αντικειμενοστραφούς μοντέλου και το πρώτο πλεονέκτημα του δεύτερου έναντι του πρώτου και αυτό γιατί η μοναδική ταυτότητα του αντικειμένου δεν αλλάζει, σε αντίθεση με τη τιμή του κλειδιού στο σχεσιακό, με αποτέλεσμα να αποφεύγονται συγχύσεις στη βάση από πιθανές μεταβολές.

Επίσης στο σχεσιακό οι σύνθετες οντότητες μοντελοποιούνται σε σχέσεις οι οποίες είναι διασκορπισμένες με αποτέλεσμα η αντιστοιχία των οντοτήτων του πραγματικού κόσμου να μην απεικονίζεται και στη δομή της βάσης, σε αντίθεση με το αντικειμενοστραφές όπου η δόμηση βιβλιοθηκών τύπων και υπό-τύπων κάνει πιο αποτελεσματική τη διαχείριση τους και κρατά την αντιστοιχία μεταξύ των οντοτήτων του πραγματικού κόσμου.

Επίσης η γενικότερη διαχείριση των αντικειμένων σε μια αντικειμενοστραφή βάση είναι πιο εύκολη σε σχέση με την διαχείριση των εγγραφών στην σχεσιακή βάση, αφού η εσωτερική δομή του αντικειμένου λόγω της ενθυλάκωσης αποκρύπτεται και φαίνονται μόνο οι πράξεις και τα γνωρίσματα που έχει ένα αντικείμενο.

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη ότι τα δεδομένα που διαχειρίζεται ένα GIS και τη πολύπλοκη δομή των οντοτήτων που διαχειρίζεται είναι φανερό ότι η αντικειμενοστραφής προσέγγιση είναι αποτελεσματικότερη επιλογή για την μοντελοποίηση αυτών των οντοτήτων.

Το εννοιολογικό σχήμα είναι είναι μια περιεκτική περιγραφή των απαιτήσεων των χρηστών σχετικά με τα δεδομένα και περιλαμβάνει λεπτομερείς περιγραφές των τύπων δεδομένων, των συσχετίσεων και των περιορισμών.(*Elsmari,Navanthe).* Αποτελεί μια αναπαράσταση των οντοτήτων και των μεταξύ τους σχέσεων όπως την αντιλαμβάνεται ο χρήστης της βάσης. Το επεκταμένο μοντέλο οντοτήτων συσχετίσεων αποτελεί ένα υψηλού επιπέδου αντικειμενοστραφούς μοντέλου δεδομένων σε εννοιολογικό επίπεδο. Η μοντελοποίηση των παραγόντων σε αυτό το επίπεδο γίνεται με κλάσεις, υποκλάσεις και συσχετίσεις τόσο μεταξύ των κλάσεων όσο και μεταξύ κλάσεων-υποκλάσεων.

ΕΠΕΚΤΑΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ

Στις σύγχρονες εφαρμογές τεχνολογίας βάσεων δεδομένων, όπως είναι τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών χρησιμοποιούνται αντικειμενοστραφή μοντέλα δεδομένων λόγω των υψηλών απαιτήσεων. Ένα αντικειμενοστραφές μοντέλο διαφέρει τόσο σε εννοιολογικό όσο και σε λογικό επίπεδο από εκείνα που χρησιμοποιούνται σε σχεσιακές εφαρμογές.. Σε αυτή την ενότητα αναλύεται το επεκτεταμένο μοντέλο οντοτήτων

συσχετίσεων. Τα δομικά στοιχεία που συνθέτουν αυτό το μοντέλο είναι οι κλάσεις, υποκλάσεις καθώς και οι διάφορες συσχετίσεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους.

Ίσως θα ήταν χρήσιμο να αναλυθούν οι ορισμοί και οι έννοιες του επεκτεταμένου μοντέλου εκτενέστερα.

Κλάση ορίζεται ως ένα σύνολο από οντότητες-αντικείμενα που περιγράφονται από τους ίδιους τύπους γνωρισμάτων και τις ίδιες μεθόδους.

Υποκλάση είναι μία υποκατηγορία κάποιας κλάσης η οποία καλείται υπερκλάση. Τα αντικείμενα μίας υποκλάσης αποτελούν λοιπόν πάντα υποσύνολο μίας υπερκλάσης.

Εξειδίκευση καλείται ένα σύνολο υποκλάσεων που έχουν την ίδια υπερκλάση. Διακρίνεται σε μερική και ολική ανάλογα με το αν υπάρχουν αντικείμενα της υπερκλάσης που δεν ομαδοποιούνται σε υποκλάσεις της υπερκλάσης. Επίσης μια εξειδίκευση διακρίνεται σε επικαλυπτόμενη και μη επικαλυπτόμενη ανάλογα από το αν η υπερκλάση επιτρέπει σε κάποιο αντικείμενό της να εντάσσεται σε περισσότερες από μία υποκλάσεις της εξειδίκευσης ή όχι.

Κατηγορία είναι μια συλλογή αντικειμένων που αποτελεί την ένωση αντικειμένων από διαφορετικούς τύπους υποκλάσεων.

Μία κατηγορία διακρίνεται σε ολική ή μερική ανάλογα με το αν το σύνολο ή τμήμα αντίστοιχα των οντοτήτων στους τύπους οντοτήτων που ενώνονται για τη δημιουργία μίας κατηγορίας συμπεριλαμβάνονται στη κατηγορία

Ένα παράδειγμα των παραπάνω οντοτήτων του μοντέλου είναι η υπερκλάση Geometry που διαχειρίζεται την γεωμετρία των διάφορων διανυσματικών οντοτήτων στο Arc View. Τα αντικείμενα της κλάσης Geometry κατηγοριοποιούνται σε αντικείμενα επιμέρους υποκλάσεων όπως Polyline, Point, Polygon.

Όσο αφορά τις συσχετίσεις μεταξύ κλάσεων ο λόγος πληθικότητας μπορεί να είναι 1 προς 1, 1 προς πολλά, πολλά προς πολλά. Αντίθετα στις σχέσεις κλάσεων – υποκλάσεων ο λόγος πληθικότητας μπορεί να είναι μόνο 1 προς 1 αφού ένα αντικείμενο της υποκλάσης είναι ταυτόχρονα και αντικείμενο της υπερκλάσης της.

Η κληρονομικότητα τύπου που αναπτύσσεται μεταξύ κλάσης-υποκλάσης επιτρέπει σε μια υποκλάση να κληρονομεί τις ιδιότητες και τις μεθόδους της υπερκλάσης της και αυτό διότι μια οντότητα στην υποκλάση αναπαριστά την ίδια οντότητα στην υπερκλάσης

Η μελέτη ενός φαινομένου ανάλογου της η.ε θα ήταν ίσως ελλιπής εάν λαμβάνονταν υπόψιν μόνο η χωρική διάσταση του. Η χρονική διακύμανση ανάλογων φαινομένων τους δίνει μια δυναμική διάσταση, με αποτέλεσμα να μεταβάλλονται όχι μόνο στο χώρο αλλά και στο χρόνο. Επομένως την θέση της χωρικής μοντελοποίησης διαδέχεται η χωροχρονική.

4.2 Ο Ρόλος του Χρόνου στη Γεωγραφία

Το φυσικό περιβάλλον, αλλά και ότι αλληλεπιδρά με αυτό, κάθε άλλο παρά στατικό θα μπορούσε να χαρακτηρισθεί. Οι έννοιες της αλλαγής και της δυναμικής αποτελούν δύο από τις κυριότερες αρχές που διέπουν το γεωγραφικό χώρο και ότι συμβαίνει σε αυτόν. Η κατάσταση ενός γεωγραφικού αντικειμένου ή φαινομένου συνεχώς μεταβάλλεται με αποτέλεσμα τη δυσκολία και τη πολυπλοκότητα της ανάλυσης του. Η αλλαγή αυτή μπορεί να επέρχεται είτε μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα (πχ.τεκτονικές μεταβολές) είτε σε κλάσματα δευτερολέπτων. Είναι προφανές λοιπόν ότι η έννοια της στατικότητας ενός μεγέθους εξαρτάται από την κλίμακα του χρόνου. Για τη λεπτομερή μελέτη λοιπόν της εξέλιξης ενός γεωγραφικού αντικειμένου ή μεγέθους είναι απαραίτητη η χρονική πληροφορία. Η χρονική πληροφορία που ανατίθεται σε ένα γεωγραφικό μέγεθος αναπαρίσταται με τη βοήθεια χρονοσήμων, τα οποία και διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

-Το χρονόσημο στιγμής που είναι μια απλή ταυτότητα του χρόνου.

-Το χρονόσημο διαστήματος αποτελείται από δύο χρονόσημα στιγμής, αυτό της έναρξης και της λήξης.

-Το χρονόσημο γέφυρας είναι μία κατευθυνόμενη χρονική διάρκεια χωρίς κάποια αρχή και τέλος. (Ε.Στεφανάκης).

Μεταξύ των χρονοσήμων όμως αναπτύσσονται και μια σειρά από σχέσεις που τα συνδέουν. Σύμφωνα με τον Allen λοιπόν μεταξύ των χρονοσήμων υφίστανται επτά χρονικές σχέσεις.

Αν θεωρήσουμε Χ,Υ δυο μονάδες του χρόνου τότε υπάρχουν οι παρακάτω σχέσεις μεταξύ τους.

Α) Η Χ προηγείται της Υ

Β) Η Χ είναι ίση με την Υ

Γ) Η Χ συναντά την Υ

Δ) Η Χ επικαλύπτει την Υ

Ε) Η Χ αποτελεί υποσύνολο της Υ. Αυτή η σχέση υποδιαιρείται σε επιμέρους σχέσεις ανάλογα με το αν Χ,Υ έχουν κοινή αρχή ή κοινό τέλος ή η Χ βρίσκεται στο μέσο της Υ.

Όλα όσα αναφέρθηκαν αποτελούν το θεωρητικό υπόβαθρο για την εισαγωγή του χρόνου στην γεωγραφική ανάλυση. Η σύγχρονη γεωγραφική ανάλυση ωστόσο πραγματοποιείται με τη βοήθεια συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών. Επομένως προκύπτει η ανάγκη για την ενσωμάτωση στα μοντέλα δεδομένων αυτών των συστημάτων της παραμέτρου του χρόνου για την μοντελοποίηση των χωροχρονικών εφαρμογών.

4.2.1 Χρόνος και GIS

Οι λειτουργίες και οι δυνατότητες που προσφέρουν τα σύγχρονα πακέτα GIS, παρά το γεγονός ότι είναι πολυπληθείς, παραμένουν στην στατική ανάλυση και περιγραφή του χώρου και των φαινομένων του. Υπάρχει λοιπόν η ανάγκη για την ανάπτυξη χωροχρονικών GIS τα οποία θα έχουν τη δυνατότητα να περιγράφουν τη κατάσταση και εξέλιξη του χώρου κάθε χρονική στιγμή.

Η δυναμική περιγραφή του χώρου είναι δυνατή με την ενσωμάτωση σε ένα GIS, συγκεκριμένων και χρονικά εξειδικευμένων λειτουργιών. Τα βασικά στοιχεία λοιπόν, ενός χωροχρονικού GIS είναι τα εξής:

-Χωρικό Υπόβαθρο : Αποτελεί λεπτομερή δυναμική περιγραφή του γεωγραφικού χώρου, αντανακλώντας διαφορές και μεταβολές του πραγματικού χώρου στη βάση δεδομένων του συστήματος.

-Ανάλυση Διαδικασιών: Με τον όρο διαδικασία εννοείται μια διαδοχή γεγονότων τα οποία συμβαίνουν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Η μελέτη λοιπόν δυναμικών διαδικασιών (πχ μεταβολή ακτογραμμής, διάβρωση, αλλαγή θερμοκρασίας) αποτελούν το αντικείμενο χωροχρονικών GIS.

-Ενημέρωση: Αναφέρεται στη συνεχή ενημέρωση της βάσης για τις μεταβολές των αντικειμένων του πραγματικού κόσμου που τη συνιστούν.

-Έλεγχος ποιότητας : Για την αποφυγή εισαγωγής λανθασμένων πληροφοριών στη βάση του συστήματος, που επιτυγχάνεται με τη χρήση ειδικών προτύπων.

-Πρόβλεψη: Αναφέρεται στη δυνατότητα που παρέχει ένα σύστημα στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς ενός αντικειμένου κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες και προϋποθέσεις.

- Οπτικοποίηση: παρουσίασης των αποτελεσμάτων των διαφόρων αναλύσεων του συστήματος.

Ωστόσο πρέπει να αναφερθεί ότι η ποιότητα των αποτελεσμάτων των αναλύσεων ενός χωροχρονικού GIS σχετίζεται άμεσα από την ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιεί καθώς και από το μέγεθος της χρονικής ακρίβειας, σε τι βαθμό δηλαδή αυτά τα δεδομένα είναι χρονικά κωδικοποιημένα.

Είναι εμφανές λοιπόν ότι σε ένα χωροχρονικό GIS η δομή οργάνωσης ακολουθεί την ίδια λογική με τα συμβατικά GIS με τη διαφορά ότι στο μοντέλο δεδομένων του πρέπει να συμπεριλιφθεί και η χρονική παράμετρος, οδηγώντας έτσι στην ανάπτυξη νέων τεχνικών για τη περιγραφή και ανάλυση διαδικασιών και δυναμικών φαινομένων που συνοψίζονται στην έννοια της χωροχρονικής μοντελοποίησης.

4.2.2 Χωροχρονική Μοντελοποίηση

Μοντέλο δεδομένων είναι ένα σύνολο κανόνων για τη περιγραφή και παρουσίαση συγκεκριμένων φαινομένων του πραγματικού κόσμου. (Longley P.A et al)

Η ανάλυση και μεταφορά των οντοτήτων και αντικειμένων του πραγματικού κόσμου στο περιβάλλον ενός Η/Υ απαιτεί συγκεκριμένες δομές τις οποίες παρέχει ένα μοντέλο δεδομένων. Το μοντέλο δεδομένων λοιπόν είναι εκείνος ο μηχανισμός που έχει τη δυνατότητα να αναπαραστήσει ψηφιακά τα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου.

Τα γεωγραφικά μοντέλα δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση του πραγματικού κόσμου έχουν σαν στόχο την αναπαράσταση των χωρικών χαρακτηριστικών και σχέσεων των γεωγραφικών αντικειμένων. Σε έναν κόσμο όμως που από την μία στιγμή στην άλλη μεταβάλλεται είναι αναγκαία, η εκάστοτε αναπαράσταση να αναφέρεται σε μία δεδομένη χρονική στιγμή. Η ανάγκή αυτή λοιπόν εισήγαγε την έννοια της χωροχρονικής μοντελοποίησης. Είναι η καταλληλότερη για την ολοκληρωμένη προσέγγιση γεωγραφικών φαινομένων που μεταβάλλονται, όχι μόνο στο χώρο αλλά και στο χρόνο. Με αυτού του είδους τη μοντελοποίηση, οι διαστάσεις ενός φαινομένου είναι δυνατό να μοντελοποιηθούν και να μελετηθούν για οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Με τη βοήθεια της χωροχρονικής μοντελοποίησης μπορεί να

αναπαρασταθεί η κατάσταση ενός αντικειμένου ή φαινομένου στο παρελθόν, το παρόν και το μέλλον, επίσης είναι δυνατή η ανίχνευση αλλαγών κατά τη διάρκεια του χρόνου εντοπίζοντας ταυτόχρονα το χρόνο και τη θέση στα οποία επήλθε. Η χωροχρονική μοντελοποίηση ωστόσο υποδιαιρείται σε δύο επιμέρους κατηγορίες· τη μοντελοποίηση διαδικασιών και την μοντελοποίηση χρόνου ή «αιτίας-αποτελέσματος» (Segev, Shoshani, 1987). Η μοντελοποίηση διαδικασιών επιτρέπει την καταγραφή της εξέλιξης ενός φαινομένου, διατηρώντας ένα ιστορικό των καταστάσεων του. Αυτό επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη συμπεριφορά και τις τάσεις ενός φαινομένου αλλά και την ανά πάσα στιγμή πληροφόρηση για την κατάσταση του. Αντίθετα η αναπαράσταση αιτίας και αποτελέσματος αναπαριστά την αντίδραση των γεωγραφικών οντοτήτων σε μεταβολές που υφίστανται.

4.2.3 Υλοποίηση ενός χωροχρονικού μοντέλου στο περιβάλλον ενός GIS

4.2.3.α Μέθοδοι αναπαράστασης του χωροχρόνου

Σε ένα χωροχρονικό μοντέλο, τα στοιχεία που το συνθέτουν είναι τόσο χωρικά όσο και χρονικά.. Στο περιβάλλον ενός γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών η μοντελοποίηση των χωρικών στοιχείων μπορεί να γίνει τόσο με ψηφιακά μοντέλα αναπαράστασης (DTM[5]) όσο και με διανυσματικές δομές (σημεία, γραμμές, πολύγωνα). Αντίθετα η αναπαράσταση του χρόνου είναι αρκετά πιο πολύπλοκη και εξαρτάται από τα δεδομένα και τον σκοπό του μοντέλου. Ανάλογα με δεδομένα και το σκοπό, ο χρόνος είναι δυνατόν να αναπαρασταθεί είτε σαν ένα *απόλυτο* ή *σχετικό* μέγεθος. Ο χρόνος γίνεται αντιληπτός σαν ένα απόλυτο μέγεθος όταν αναφέρεται σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, ενώ σχετικός όταν τα διάφορα γεγονότα ταξινομούνται σε χρονική κλίμακα που παίρνει τιμές πριν, τώρα, μετά. Επίσης εκτός αυτών, η λογική οργάνωσης των αντικειμένων του μοντέλου διαφοροποιείται ανάλογα με την κλίμακα του χρόνου που απαιτεί η ανάλυση, αφού άλλες δομές μπορεί να διευκόλυναν αναλύσεις που απαιτούσαν τη χρονική διάρκεια του φαινομένου, ενώ άλλες να διευκόλυναν τη στιγμιαία ανάλυση.

[5] Digital Terrain Model : Ο όρος DTM αναφέρεται σε επιφάνειες αναπαράστασης φαινομένων, όχι απαραίτητα τοπογραφικές όπως είναι ένα DEM.

Δύο λοιπόν, είναι οι κυριότερες μέθοδοι για την αναπαράσταση χωροχρονικών φαινομένων. Η πρώτη αναφέρεται στη μέθοδο των *στιγμιότυπων* (snapshots) κατά την οποία η χώρο χρονική αναπαράσταση επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μίας χρονικής σειράς καταστάσεων του φαινομένου ή αντικείμενου που μελετάται. Είναι προφανές ότι με αυτό το τρόπο η αναπαράσταση είναι στιγμιαία, αφού κάθε κατάσταση –στιγμιότυπο της χρονοσειράς αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Αυτή η μέθοδος έχει αρκετά μειονεκτήματα όπως :

Α) Απαιτείται μεγάλος χώρος για την αποθήκευση των δεδομένων, αφού υπάρχει επανάληψη των δεδομένων

Β) Χρονοβόρα διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων και ανίχνευσης των αλλαγών αφού

Γ) Η στατικότητα της κατάστασης του φαινομένου ή αντικειμένου κατά το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών στιγμιότυπων.

Η επόμενη μέθοδος αναφέρεται στην οντολογική αναπαράσταση του χωροχρόνου. Η λογική αυτής της προσέγγισης, είναι η καταγραφή των θέσεων στις οποίες παρατηρείται μεταβολή και η οποία παρατηρείται από αλλαγές στην τοπολογία όσο αφορά διανυσματικά δεδομένα ή στις τιμές των φατνίων αν πρόκειται για ψηφιδωτά δεδομένα Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται ευρύτατα σε αναλύσεις "change detection".

Η υλοποίηση των παραπάνω μεθόδων απαιτεί και τις κατάλληλες δομές δεδομένων ώστε να είναι δυνατή μία επιτυχής χωροχρονική ανάλυση. Οι πιο βασικές οι οποίες χρησιμοποιούνται συχνότερα σε ανάλογες αναλύσεις περιγράφονται και αναλύονται στην παράγραφο που ακολουθεί

4.2.3.β Δομές οργάνωσης και πρόσβασης σε χωροχρονικά δεδομένα

Διάφορες δομές οργάνωσης χωροχρονικών δεδομένων έχουν προταθεί, ανάλογα με τη φύση και τον σκοπό των εκάστοτε εφαρμογών. Ωστόσο τρεις είναι οι επικρατέστερες.

Α) Αρχείο Κανάβου. Με αυτή τη δομή, η κατάσταση ενός φαινομένου περιγράφεται με την βοήθεια ενός αρχείου κανάβου (GRID) που περιγράφει τη κατάσταση ενός συνεχούς φαινομένου για μια δεδομένη χρονική στιγμή. Κάθε ένα από αυτά τα αρχεία καλούνται στιγμιότυπα (snapshots).

Η απόδοση λοιπόν της χρονικής πληροφορίας με αυτή τη δομή μπορεί να επιτευχθεί με αρκετούς τρόπους όπως : α) δημιουργία αλληλουχίας αρχείων κανάβου β) αποθήκευση όλων των τιμών (κάθε χρονικής στιγμής) σε κάθε κελί χρησιμοποιώντας συνδεδεμένες λίστες γ) καταγράφοντας αλλαγές από την αρχική κατάσταση για μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή και αναφέροντας τις αντίστοιχες θέσεις στις οποίες παρατηρείται με τη βοήθεια ενός αρχείου κανάβου.

Β) Σχεσιακές δομές. Αυτές οι δομές αναφέρονται σε δομές της σχεσιακής λογικής που το δομικό της στοιχείο είναι ο πίνακας ή σχέση.

Για την αναπαράσταση της χρονικής πληροφορίας αναπτύσσονται διάφοροι τρόποι. Ένας τρόπος είναι οι διαφορετικές εκδοχές της κατάστασης (πίνακα) ενός φαινομένου για διαφορετικές χρονικές στιγμές. Άλλη δομή δημιουργεί ένα νέο πίνακα-οντότητα για την αποθήκευση των αλλαγών κάθε εγγραφής του αρχικού πίνακα. Κάθε εγγραφή στο νέο πίνακα αντιστοιχεί στην ίδια οντότητα αλλά σε διαφορετική κατάσταση σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Τέλος μια ακόμη δομή είναι η αναπαράσταση τής κατάστασης με πίνακες για κάθε χρονική στιγμή των οποίων οι εγγραφές συνδέονται χρονικά με αποτέλεσμα να καταγράφεται η εξέλιξη του αντικειμένου.

Για την παρούσα εργασία η δομή που επιλέχθηκε για την απεικόνιση της χρονικής διάστασης ήταν η αλληλουχία στιγμιότυπων δομής κανάβου στην οποία απεικονίζεται η κατάσταση του φαινομένου για μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή με τη βοήθεια ενός grid.

Στο επόμενο κεφάλαιο λοιπόν γίνεται μια προσπάθεια εφαρμογής των παραπάνω στην περίπτωση μελέτης της η.ε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Κύριος στόχος της εφαρμογής ήταν η ανάπτυξη ενός συστήματος προσομοίωσης σε υπολογιστικό περιβάλλον. Έτσι η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε ακολουθεί τους γενικούς κανόνες της μεθοδολογίας μοντελοποίησης ενός συστήματος.

5.1 Ορισμός του προβλήματος.

Το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια τοπογραφική επιφάνεια για μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή ή διάστημα και την μεταβολή του κατά την διάρκεια της ημέρας αποτελεί το προς μελέτη φαινόμενο. Θεωρώντας λοιπόν το φαινόμενο της η.ε

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μίας ομάδας οντοτήτων που συνιστούν ένα σύστημα, τότε τα στοιχεία που επηρεάζουν την η.ε. είναι ο ήλιος, η τοπογραφική επιφάνεια της περιοχής του εδάφους, τα κλιματολογικά και ατμοσφαιρικά χαρακτηριστικά της περιοχής, καθώς και η γεωλογία και η κάλυψη του εδάφους. Κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία περιγράφεται από ένα σύνολο γνωρισμάτων – μεταβλητών που χαρακτηρίζουν αυτές τις οντότητες. Επομένως το πρόβλημα τελικά ανάγεται στη διερεύνηση των σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ των οντοτήτων του συστήματος και στην προσφορά κάθε μιας από αυτές τις σχέσεις στον τελικό υπολογισμό της έντασης της ακτινοβολίας. Είναι απαραίτητη λοιπόν η ανάλυση καθενός από τα στοιχεία του συστήματος και των επιμέρους τμημάτων τους ώστε αναδειχθούν οι διάφορες συσχετίσεις.

5.1.1 Ήλιακή Θέση

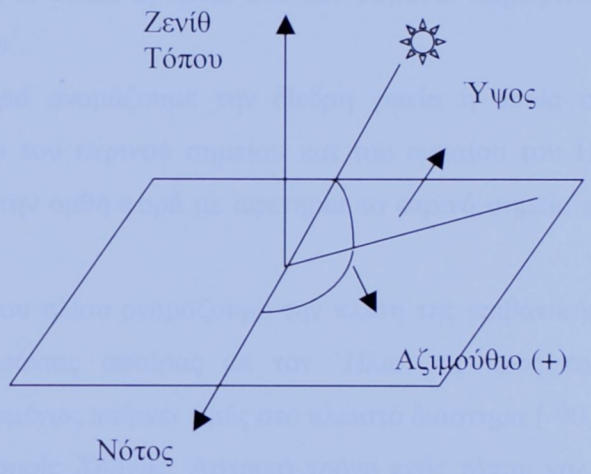
Στο μοντέλο περιγραφής της η.ε η θέση του ήλιου στον ορίζοντα του τόπου αποτελεί σημαντικό παράγοντα, αφού προσδιορίζει την διεύθυνση των ηλιακών ακτινών. Ωστόσο η σχετική θέση του ηλίου δεν είναι σταθερή κατά τη διάρκεια της ημέρας και συνεχώς μεταβάλλεται.

Η θέση του ήλιου σε έναν τόπο με συγκεκριμένες γεωγραφικές συντεταγμένες (φ,λ)[6] περιγράφεται από δύο γωνιακά μεγέθη (Ψυλόγλου.Β, ..)

α) Το ***ύψος του ηλίου***(Ε) που είναι η γωνία που σχηματίζει η νοητή ευθεία που ενώνει τον ήλιο με τον τόπο παρατήρησης με τον ορίζοντα του τόπου. Πρόκειται λοιπόν για μια κατακόρυφη γωνία οι τιμές που παίρνει ανήκουν στο κλειστό διάστημα [0,90]. Την τιμή 0 την παίρνει κατά την ανατολή και τη δύση του ηλίου, ενώ το μεσημέρι παίρνει την τιμή 90 και βρίσκεται στο ζενίθ του τόπου

β) Το ***αζιμούθιο του Ηλιου*** (Α) όπου είναι η γωνία μεταξύ της διεύθυνσης του Νότου του παρατηρητή και της ευθείας που σχηματίζεται από την τομή του επιπέδου του ορίζοντα του παρατηρητή και αυτού που ορίζεται από το τοπικό ζενίθ και τον ήλιο. Παίρνει τιμές από 0 έως +180 προς στα ανατολικά και -180 προς στα δυτικά

[6] Οι οποίες θεωρούνται σταθερές σε αυτήν την εργασία και ίδιες με της συντεταγμένες του κεντροειδούς της περιοχής



Σχήμα 13 Τοποκεντρικές Συντεταγμένες του Ηλίου

Αυτά τα δύο μεγέθη εξαρτώνται από τις γεωγραφικές συνταγμένες του τόπου (φ,λ), το χρόνο ο οποίος επηρεάζει τις συντεταγμένες του Ηλίου στην ουράνια σφαίρα, καθώς και από τις ουρανογραφικές συντεταγμένες (ορθή αναφορά, απόκλιση του ηλίου).

Η θέση του ηλίου αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα για την μελέτη της ηλιακής έκθεσης μιας επιφανείας. Σε αυτή τη παράγραφο θα αναλυθεί η κίνηση του ηλίου σε έναν τόπο αλλά και ο τρόπος προσδιορισμού των τοποκεντρικών συντεταγμένων του για οποιαδήποτε χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Στην εργασία αυτή η θέση του ηλίου θεωρείται ένα δυναμικό μέγεθος το οποίο με το χρόνο συνεχώς μεταβάλλεται. Η κίνηση αυτή είναι φαινόμενη και είναι αποτέλεσμα της ημερήσιας φαινόμενης περιστροφής της ουράνιας σφαίρα. Ωστόσο το φαινόμενο της αλλαγής της θέσης του ηλίου οφείλεται στη περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονα της

Σε τοπικό επίπεδο λοιπόν η θέση του ηλίου εξαρτάται από τον αστρικό χρόνο στον τόπο ενδιαφέροντος, από την ορθή αναφορά του ηλίου (α), την απόκλιση (δ) και το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Παρακάτω δίνονται οι ορισμοί αυτών των παραμέτρων ώστε να γίνει περισσότερο κατανοητός ο τρόπος υπολογισμού της θέσης του ήλιου (Ψυλόγλου.Β, 1997).

Η ορθή αναφορά και η απόκλιση του ηλίου συνθέτουν το ζεύγος συντεταγμένων (α,δ) που περιγράφει τη θέση του ηλίου στο σύστημα των ουρανογραφικών

συντεταγμένων, το οποίο ορίζεται από τον ουράνιο ισημερινό και από τον ωριαίο του εαρινού σημείου[7].

Ορθή Αναφορά ονομάζουμε την δίεδρη γωνία η οποία σχηματίζεται μεταξύ του ωριαίου κύκλου του εαρινού σημείου και του ωριαίου του Ηλίου. Η Ορθή Αναφορά μετριέται κατά την ορθή φορά με αφετηρία το εαρινό σημείο από Ο°-360° ή από 0 έως 24 ώρες

Απόκλιση δ του ηλίου ονομάζουμε την κλίση της επιβατικής ακτίνας που συνδέει το κέντρο της ουράνιας σφαίρας με τον `Ηλιο, ως προς το επίπεδο του ουράνιου Ισημερινού. Επομένως παίρνει τιμές στο κλειστό διάστημα [-90,90].

Τοπικός Αστρικός Χρόνος. Αστρικό χρόνο ενός τόπου καλούμε κατά μια ορισμένη στιγμή t την ωριαία γωνία του εαρινού σημείου ως προς τον τόπο

Γεωγραφικό πλάτος είναι η γωνία που σχηματίζει η κατακόρυφη στο τόπο με τον γήινο Ισημερινό.

Στην παρούσα εργασία για τον προσδιορισμό της ηλιακής θέσης χρησιμοποιείται ο αλγόριθμός που ανέπτυξε ο αστρονόμος Robert Walvaren (1977).

Ο αλγόριθμος ξεκινά υπολογίζοντας στο πρώτο στάδιο τον *πραγματικό χρόνο* ο οποίος είναι το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε σε ημέρες μεταξύ της 1^{ης} Ιανουρίου του 1980 και ώρας 12μμ (Greenwich) και της ημέρας και ώρας που ζητείται η ηλιακή θέση. Η εξίσωση υπολογισμού του *πραγματικού χρόνου* λοιπόν είναι η εξής:

$$T = D * 365 + Leap + Day - 1 + (Hour + (Minute + Second/60/60) / 24$$

Όπου D είναι τα έτη που μεσολάβησαν από το 1980 έως το έτος υπολογισμού,Leap τα δίσεκτα έτη που μεσολάβησαν, Hour, Minutes, Seconds η ώρα τα λεπτά και τα δευτερόλεπτα που ζητείται η θέση του ηλίου.

Επομένως D= Έτος υπολογισμού-1980

Το πλήθος των δίσεκτων ετών που μεσολαβήσαν θα δίνεται από το πηλίκο D/4 αφού τα δίσεκτα έτη επαναλαμβάνονται κάθε τέσσερα χρόνια. Στη περίπτωση που τα έτη που μεσολάβησαν είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του 4 σημαίνει ότι το έτος υπολογισμού είναι

[7] Το σημείο όπου η τροχιά της εκλειπτικής τέμνει το επίπεδο του Ισημερινού της Γης

δίσεκτο και επομένως θα πρέπει να αφαιρεθεί μία μέρα από την εξίσωση του πραγματικού χρόνου.

Στο επόμενο στάδιο του αλγορίθμου υπολογίζονται οι συντεταγμένες του ηλίου στο ουρανογραφικό σύστημα συντεταγμένων. Ωστόσο για τον υπολογισμό αυτών των συντεταγμένων είναι απαραίτητος και ο προσδιορισμός του ουρανίου μεσημβρινού (L). Ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση

$$L=4.900968+(3.67474*10^{-7})*T+\theta+(0.033434-2.3*10^{-9}*T)*\eta\mu g+0.000349*\eta\mu(2g)+\theta$$

Όπου $\theta=2\pi*T/365.25$ και $g=-0.031271-(4.53963*10^{-7})*T+\theta$

Στην συνέχεια οι ουρανογραφικές συντεταγμένες που περιγράφονται από την ορθή αναφορά (α) και την απόκλιση του ηλίου (δ) υπολογίζονται συναρτήσει του ουρανίου μεσημβρινού και της εκκεντρότητας της εκλειπτικής [8].

$\alpha=\arctan(\sigma\upsilon\nu(e)*\varepsilon\varphi L)$

$\delta=\arcsin(\eta\mu(\varepsilon)*\eta\mu(L))$

Ο υπολογισμός του τοπικού αστρικού χρόνου είναι το επόμενο στάδιο

Ο υπολογισμός του γίνεται από τη σχέση S=ST +Longtitude +1.00027379*(LST+Zone-C)

Αυτή η σχέση ωστόσο χρειάζεται τροποποίηση για τη εφαρμογή της στον ελληνικό χώρο.

Η πρώτη διαφορά μεταξύ της γενικής εξίσωσης και εκείνης για τον ελλαδικό χώρο είναι στη μεταβλητή του γεωγραφικού μήκους. Επειδή η Ελλάδα βρίσκεται ανατολικά του Greenwich τότε η τιμή του γεωγραφικού μήκους θα έπρεπε να έχει το αντίθετο πρόσημο στη εξίσωση. Επίσης στη παράσταση LST+Zone-C η μεταβλητή Zone θα έπρεπε να έχει και αυτή αντίθετο πρόσημο διότι σε περιοχές που βρίσκονται ανατολικά του Greenwich η ώρα είναι μεγαλύτερη από εκείνη στον Greenwich. Τέλος στην περίπτωση της μεταβλητής C η οποία απεικονίζει τη διάθλαση του φωτός για το σκοπό της συγκεκριμένης εργασίας θεωρείται αμελητέα C=0.

Στο τελευταίο στάδιο του αλγορίθμου υπολογίζονται οι τοποκεντρικές συντεταγμένες (ύψος, αζιμούθιο) του ηλίου. Από το σχήμα λοιπόν έχουμε

---

[8] Η τροχιά της φαινόμενης κίνησης του ηλίου γύρω απο τη γή

E= 90-ArcCos (ημφ*ημδ+συνφ*συνδ*συνΗ)

Α =σύνδ*ημΗ/ημΖ

Όπου Ζ,Α το ύψος και το αζιμούθιο του ηλίου στη περιοχή μελέτης, Η ωριαία γωνία του ηλίου η οποία είναι ίση με την διαφορά του τοπικού αστρικού χρόνου από την ορθή αναφορά.

5.1.2 Τοπογραφία

Η τοπογραφία της περιοχής μελέτης περιγράφεται από την υψομετρική πληροφορία αλλά και από ένα σύνολο άλλων παραμέτρων, που σχετίζονται με την τοπογραφία, όπως είναι η κλίση, η έκθεση, και το κανονικό διάνυσμα (που περιγράφουν τη γεωμετρία μίας επιφανείας). Οι παράμετροι αυτοί έχουν ιδιαίτερη σημασία διότι σε συνδυασμό με τη θέση του ηλίου προσδιορίζουν τη σχετική σχέση επιφάνειας και ηλίου βάση μίας γωνίας που καλείται γωνία πρόσπτωσης και η οποία αναλύεται παρακάτω.

Η κλίση μίας επιφάνειας (β) ονομάζεται η γωνία που σχηματίζει με το οριζόντιο επίπεδο και παίρνει τιμές στο κλειστό διάστημα [0,90] (σε μοίρες)

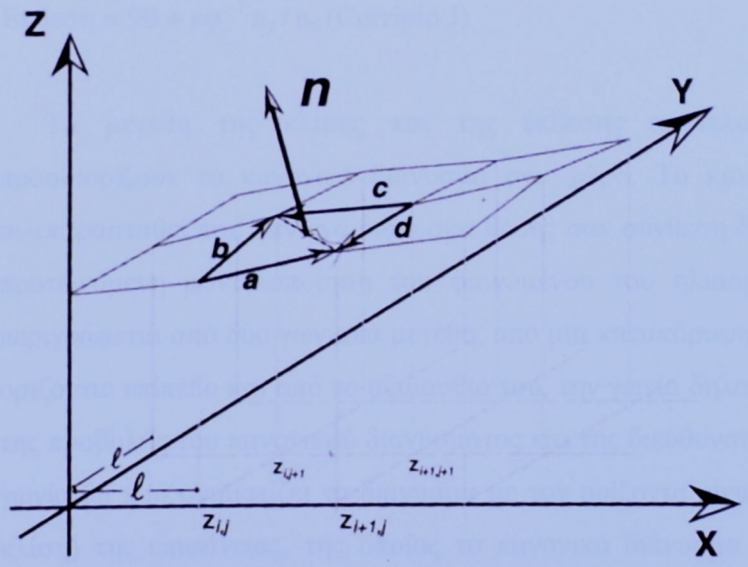
Ο υπολογισμός της κλίσης μίας επιφάνειας υλοποιείται αρκεί να είναι γνωστή η υψομετρική διαφορά (ή τα υψόμετρα) των δύο ακραίων σημείων που την ορίζουν καθώς και η οριζόντια απόσταση τους (ή οι τις επίπεδες συντεταγμένες τους). Αν τα παραπάνω είναι γνωστά τότε η κλίση τη επιφάνειας μπορεί να υπολογιστεί είτε επί τοις εκατό είτε σε μοίρες με τους παρακάτω τρόπους. Η κλίση % υπολογίζεται από το πηλίκο της υψομετρικής διαφοράς προς την οριζόντια απόσταση. Η γωνία της της οποίας η εφαπτομένη είναι ίση με το παραπάνω πηλίκο αποτελεί την γωνία που σχηματίζει η επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι η κλίση στο τρισδιάστατο χώρο μετράται σε διάφορες διευθύνσεις του ορίζοντα, ενώ η τελική τιμή που αποδίδεται είναι εκείνη της μέγιστης κλίσης.

Ο προσανατολισμός μίας επιφανείας εκφράζεται με το αζιμούθιο της επιφανείας το οποίο είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της διεύθυνσης του Νότου και της προβολής, πάνω στο οριζόντιο επίπεδο. Ορίζεται ως η διεύθυνση της μέγιστης κλίσης. Επομένως το αζιμούθιο μίας επιφανείας προϋποθέτει τον υπολογισμό της κλίσης

Λεπτομερής ανάλυση του υπολογισμού των κλίσεων και της έκθεσης σε ένα GIS αναφέρεται στο κεφάλαιο 3.

-Το κανονικό διάνυσμα αποτελεί το διάνυσμα που είναι κάθετο στο κέντρο βάρους μίας επιφάνειας.

Ανάγοντας το μέγεθος στο περιβάλλον ενός ΣΓΠ η επιφάνεια πάνω στην οποία υπολογίζεται το κανονικό διάνυσμα είναι η ψηφίδα ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Τελικά το διάνυσμα που περιγράφει το κανονικό διάνυσμα προκύπτει από το ημιάθροισμα των εσωτερικών γινομένων των διανυσμάτων που αποτελούν τις πλευρές της ψηφίδας.



Σχήμα 14 : Περιγραφή του κανονικού διανύσματος με την βοήθεια διανυσμάτων (Corripio J)

Βάσει του παραπάνω σχήματος λοιπόν, δεδομένου ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους χωρικής ανάλυσης l μονάδας του εδάφους (μέτρα, εκατοστά, χιλιόμετρα) τα διανύσματα θέσεως της ψηφίδας είναι τα εξής :

a= (l, 0, Δza) όπου $\Delta za = z_{i+1,j} - z_{i,j}$

b= (0, l, Δzb) >> $\Delta zb = z_{i,j+1} - z_{i,j}$

c= (-l, 0, Δzc) >> $\Delta zc = z_{i,j+1} - z_{i+1,j+1}$

d= (0,-l, Δzd) >> Δzd= $z_{i+1,j} - z_{i+1,j+1}$

Από τον ορισμό του λοιπόν προκύπτει ότι το κανονικό διάνυσμα είναι ίσο με το διάνυσμα n

n=(α*b)/2 + (c*d)/2 οποίο με τη βοήθεια πινάκων γράφεται

Από τις συντεταγμένες του κανονικού διανύσματος είναι δυνατό επίσης να προσδιοριστούν η κλίση και ο προσανατολισμός μιας επιφανείας από τις παρακάτω σχέσεις :

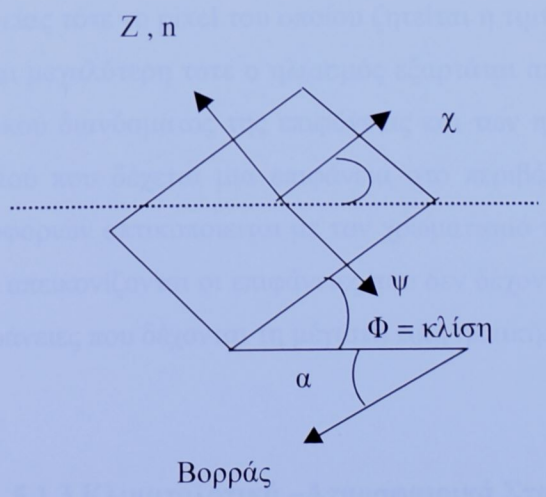
Κλίση = 1/ συν $_Z$ (Corripio J)

Όπου n_z το z του κανονικού διανύσματος

Έκθεση = 90 + εφ $^{-1}$ n_y / n_x (Corripio J)

Τα μεγέθη της κλίσης και της έκθεσης αποτελούν τους παράγοντες που προσδιορίζουν το κανονικό διάνυσμα στο χώρο. Το κανονικό διάνυσμα μπορεί να αναπαρασταθεί είτε σαν ένα διάνυσμα θέσης σαν σύνθεση δύο γωνιακών μεγεθών. Στην προτεινόμενη μοντελοποίηση του φαινομένου του ηλιασμού το κανονικό διάνυσμα περιγράφεται από δύο γωνιακά μεγέθη, από μία κατακόρυφη γωνία που σχηματίζει με το οριζόντιο επίπεδο και από το αζιμουθιό του, την γωνία δηλαδή που σχηματίζεται μεταξύ της προβολής του κανονικού διανύσματος και της διεύθυνσης του νότου. Η κατακόρυφη γωνία θn που σχηματίζει το διάνυσμα με τον ορίζοντα είναι ίση με την κλίση (μέγιστη κλίση) της επιφάνειας, της οποίας το κανονικό διάνυσμα ζητάμε, αυξημένη κατά 90 μοίρες. Το αζιμούθιο του διανύσματος είναι ίσο με την έκθεση της επιφανείας αφού αποτελεί την διεύθυνση στην οποία αναπτύσσεται η κατακόρυφη συνιστώσα. Η επιλογή αυτών των γωνιακών μεγεθών έγινε ώστε να υπάρχει ένα κοινό επίπεδο αναφοράς μεταξύ της θέσης της επιφανείας και του ηλίου στο χώρο ώστε να υπάρχει μια συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων που καθορίζουν τη θέση του ηλίου και της επιφανείας. Έτσι παρατηρείται ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του ύψους του ηλίου στον τόπο και της κλίσης της επιφάνειας που μελετάται αλλά και μεταξύ του αζιμουθίου του ηλίου και εκείνου της επιφάνειας. Έτσι η σχέση που δίνει την γωνία πρόσπτωσης μεταξύ των ακτινών του ηλίου και του κανονικού διανύσματος μπορεί να εκφραστεί και συνάρτηση των μεγεθών που περιγράφουν το κανονικό διάνυσμα. Προκύπτει λοιπόν ότι αν β=θn-90

Cosθ= cos(θn-90) * cos(90-θh) + sin(θn-90) * sinθ$_ζ$ * cos(ψ-γ) =>cosθ=cos(-(90-θn))



Σχήμα 15 : Περιγραφή του κανονικού διανύσματος με τη βοήθεια δύο γωνιών

Από τη γεωμετρία του σχήματος 15, αν θεωρήσουμε ένα τρισορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων χ, ψ, z με αρχή το κέντρο βάρους της επιφανείας, με το επίπεδο που ορίζουν οι άξονες χ, ψ να ταυτίζεται με εκείνο της επιφανείας, τον άξονα z να ταυτίζεται

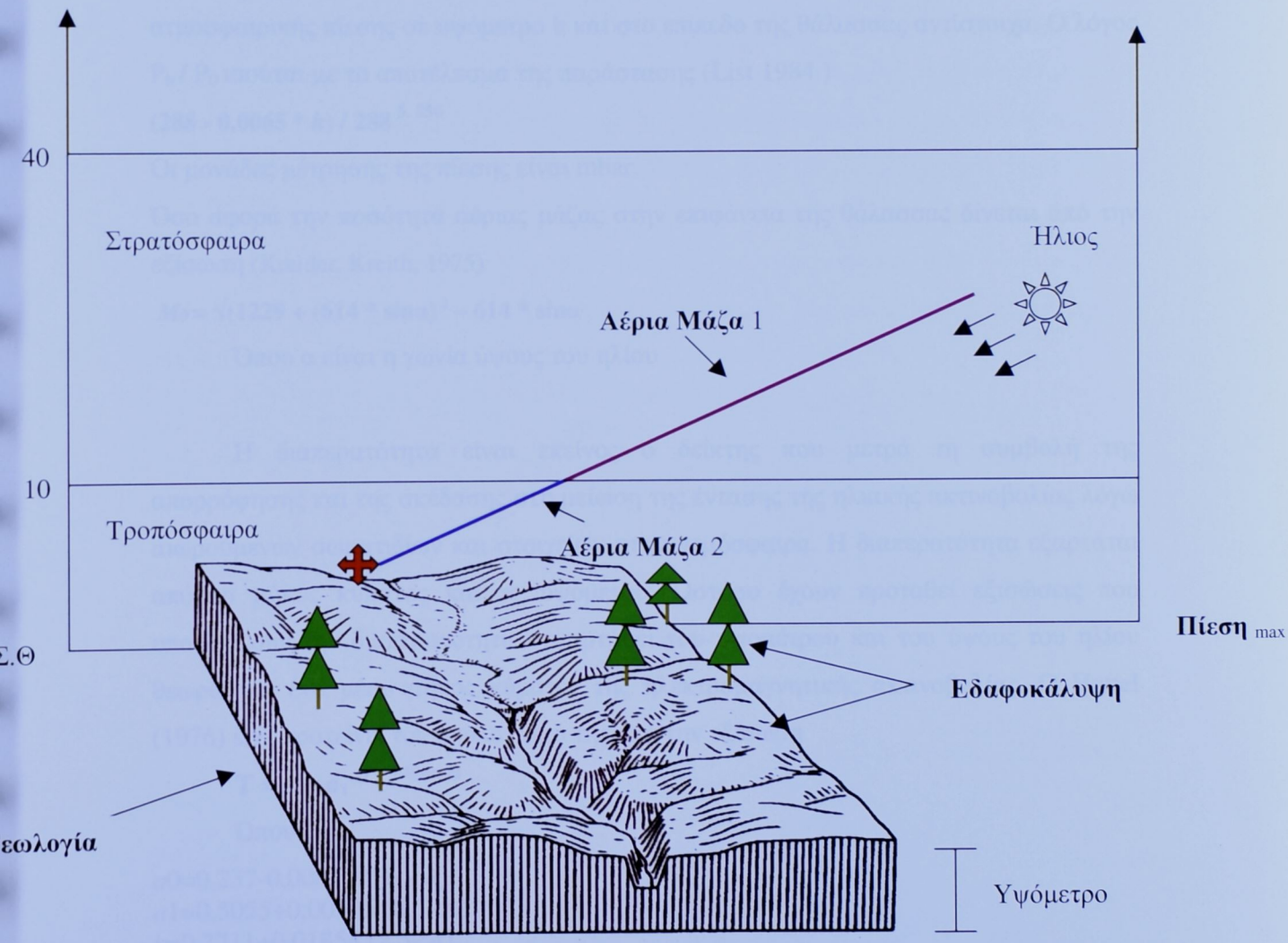
με τη διεύθυνση του κανονικού διανύσματος n, και φέρνοντας και τον ορίζοντα της επιφανείας (ευθεία Α) τότε παρατηρούμε ότι η γωνία φ ισούται με την γωνία κλίσης ως εντός εναλλάξ των ευθειών Α και του οριζόντιου επιπέδου ενώ η γωνία που σχηματίζει το n με το οριζόντιο επίπεδο είναι 90 + φ αφού οι άξονες z,x κάθετοι. Η οριζόντια γωνία όπως ήδη αναφερθεί είναι ίδια με την διεύθυνση μέγιστης κλίσης και στο σχήμα είναι η γωνία α. Η προσέγγιση αυτή απλοποιεί κατά πολύ την διαδικασία υπολογισμού του κανονικού διανύσματος και υιοθετείται στη παρούσα μελέτη για λόγους απλότητας.

Μία άλλη παράμετρος της τοπογραφίας που επηρεάζει την η.ε μία επιφάνεια είναι το γειτονικό ανάγλυφο, αφού είναι πιθανό να προκαλεί σκίαση σε κάποια επιφάνεια. Για αυτό το λόγο πρέπει να γίνεται έλεγχος της σκίασηςεξετάζοντας αν μεταξύ κάθε ψηφίδας (pixel) και του ηλίου παρεμβάλλεται άλλη επιφάνεια στην διεύθυνση του αζιμουθίου το ηλίου. Αν παρεμβάλλεται γίνεται έλεγχος της υψομετρικής διαφοράς των δύο ψηφίδων (pixel) σε αυτή τη διεύθυνση και αν η επιφάνεια που παρεμβάλλεται έχει μεγαλύτερο υψόμετρο τότε γίνεται έλεγχος του ύψους της παρεμβαλλόμενης ψηφίδας σε με το ύψος του ηλίου. Αν η γωνία του ύψους είναι μικρότερη από την κλίση της παρεμβαλλόμενης επιφανείας τότε το pixel του οποίου ζητείται η τιμή του ηλιάσου γίνεται μαύρο ειδάλλως αν είναι μεγαλύτερη τότε ο ηλιασμός εξαρτάται από την γωνία πρόσπτωσης μεταξύ του κανονικού διανύσματος της επιφάνειας και των ηλιακών ακτινών. Επίσης το ποσό του ηλιασμού που δέχεται μια επιφάνεια στο περιβάλλον ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών οπτικοποιειται με τον χρωματισμό των pixel σε τόνους του γκρι. Έτσι με μαύρο απεικονίζονται οι επιφάνειες που δεν δέχονται ηλιακή ακτινοβολία και με άσπρο οι επιφάνειες που δέχονται τη μέγιστη τιμή ηλιακής ακτινοβολίας.

5.1.3 Κλιματολογικά –Ατμοσφαιρικά Στοιχεία

Η ηλιακή ακτινοβολία αφού εισέλθει στην ατμόσφαιρα στην συνέχεια εισέρχεται σε κατώτερα στρώματα της με αποτέλεσμα να υπάρχει απώλεια ενέργειας λόγω της αλληλεπίδρασης της με τις αέριες μάζες αυτών των στρωμάτων. Εντός αυτών των στρωμάτων επικρατούν κάποιες ιδιαίτερες ατμοσφαιρικές συνθήκες οι οποίες χαρακτηρίζονται από στοιχεία όπως η σχετική πίεση, η αέρια μάζα και η διαπερατότητα και λειτουργούν ως συντελεστές μείωσης της έντασης της ακτινοβολίας.

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ



Σχήμα 16 Το σύστημα μελέτης του φαινομένου

Η σχετική αέρια μάζα είναι ένας δείκτης ο οποίος προσδιορίζει την ποσότητα της ατμόσφαιρας που διασχίζει η ηλιακή ακτινοβολία για να φτάσει στο έδαφος. Για τον υπολογισμό της αέριας μάζας, υπολογίζεται η διορθωμένη τιμή της αέριας μάζας στην επιφάνεια της θάλασσας (Mo) για την ατμοσφαιρική πίεση στο υψόμετρο h δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση (Krieger, Keith, 1975):

$$M_h = M_0 * P_h / P_0$$

Όπου M_h η μάζα του αέρα σε υψόμετρο h ενώ οι όροι P_h, P_0 αναφέρονται στην τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης σε υψόμετρο h και στο επίπεδο της θάλασσας αντίστοιχα. Ο λόγος P_h / P_0 ισούται με το αποτέλεσμα της παράστασης (List 1984)

$$(288 - 0.0065 * h) / 288^{5.256}$$

Οι μονάδες μέτρησης της πίεσης είναι mbar.

Όσο αφορά την ποσότητα αέριας μάζας στην επιφάνεια της θάλασσας δίνεται από την εξίσωση (Kreider, Kreith, 1975):

$$M_0 = \sqrt{(1229 + (614 * \sin\alpha)^2} - 614 * \sin\alpha$$

Όπου α είναι η γωνία ύψους του ηλίου

Η διαπερατότητα είναι εκείνος ο δείκτης που μετρά τη συμβολή της απορρόφησης και της σκέδασης στη μείωση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω αιωρούμενων σωματιδίων και στοιχείων στην ατμόσφαιρα. Η διαπερατότητα εξαρτάται από το μήκος κύματος και το υψόμετρο. Ωστόσο έχουν προταθεί εξισώσεις που υπολογίζουν την διαπερατότητα συναρτήσει του υψομέτρου και του ύψους του ηλίου θεωρώντας ένα μέσο μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ο Hottel (1976) είχε προτείνει τον υπολογισμό της από την εξίσωση

$$T = a_0 + a_1 * e^{-k/\sin al}$$

Όπου

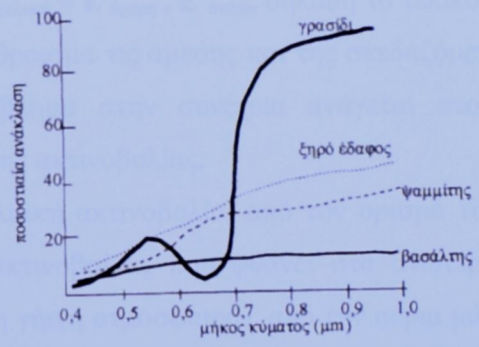
$a0=0{,}237-0{,}00821 *(6 - A)^2$
$a1=0{,}5055+0{,}00595 (6{,}5- A)^2$
$k=0{,}2711+0{,}01858 (2{,}5- A)^2$

και al το ύψος του ηλίου

Η ανάλυση των παραγόντων και στοιχείων του συστήματος μελέτης ήταν απαραίτητη προκειμένου να κατανοηθεί η συμμετοχή και η σχέση καθενός από αυτά στο φαινόμενο που μελετάται. Επίσης αυτή ανάλυση βοηθά εκτός από την κατανόηση και στον συνδυασμό αυτών των στοιχείων για την επίλυση του προβλήματος και τον σχεδιασμό και την κατασκευή του μοντέλου.

5.1.4 Γεωλογία- Εδαφοκάλυψη

Η παράμετρος της γεωλογίας αναφέρεται στην δομή των πετρωμάτων των ανώτερων στρωμάτων του εδάφους και αυτό διότι ανάλογα με την δομή τους καθορίζεται το ποσό ανάκλασης ή απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Σε περίπτωση λοιπόν που η δομή του εδάφους μίας επιφάνειας δεν χαρακτηρίζεται από μεγάλο συντελεστή ανάκλασης (πχ βασάλτης) τότε δεν συνεισφέρει ενεργειακά (ανακλώμενη ακτινοβολία) σε γειτονικές επιφάνειες, αντίθετα αν η δομή είναι τέτοια ώστε να ευνοείται η ανάκλαση (πχ. κρυσταλλικά πετρώματα) τότε παρατηρείται συνεισφορά στις γειτονικές επιφάνειες, σχετικά πάντοτε και με τις άλλες παραμέτρους που αναπτύχθηκαν παραπάνω.



Σχήμα 17 : Ανάκλαση βάση της λιθολογίας και εδαφοκάλυψης (Μερτίκας.Σ, 1997)

5.2 Κατασκευή του Μοντέλου

Σε αυτό το στάδιο γίνεται ο σχεδιασμός του μοντέλου, συνθέτοντας τα διάφορα συστατικά του στοιχεία, καθορίζοντας τις σχέσεις μεταξύ τους και αναπτύσσοντας τις τελικές εξισώσεις για την περιγραφή του φαινομένου. Μετά το σχεδιασμό ακολουθεί η υλοποίηση του προγράμματος στον υπολογιστή. Στο μοντέλο περιγραφής της η.ε συμμετέχουν όλα τα στοιχεία που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο εκτός από εκείνα της γεωλογίας και τις νεφοκάλυψης. Πιο αναλυτικά, το τελικό ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που θα δεχθεί μία επιφάνεια του εδάφους θα δίνεται από την εξίσωση $\mathbf{E}_{\text{τελικό}} = \mathbf{E}_{\text{άμεση}} + \mathbf{E}_{\text{σκεδ}}$, δηλαδή το τελικό ποσό που δέχεται μία επιφάνεια είναι ίσο με το άθροισμα τις άμεσης και της σκεδαζόμενης ηλιακής ακτινοβολίας (βλέπε Κεφ 1) Το πρόβλημά στην συνέχεια ανάγεται στον υπολογισμό της άμεσης και της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.

Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, από τον ορισμό της είναι φανερό ότι εξαρτάται από το πόσο της ακτινοβολίας που φθάνει στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας (πριν εισέλθει στη γήινη ατμόσφαιρα), από την αέρια μάζα που θα διασχίζει αφότου μπει στην ατμόσφαιρα μέχρι να συναντήσει την γήινη επιφάνεια, καθώς και από την απορρόφηση ή σκέδαση που θα υποστεί από το πλήθος των αιωρούμενων σωματιδίων. Λαμβάνοντας όλα αυτά υπόψη του ο Gates (1980) διατύπωσε την εξίσωση για επιφάνειες κάθετες στις ηλιακές ακτίνες.

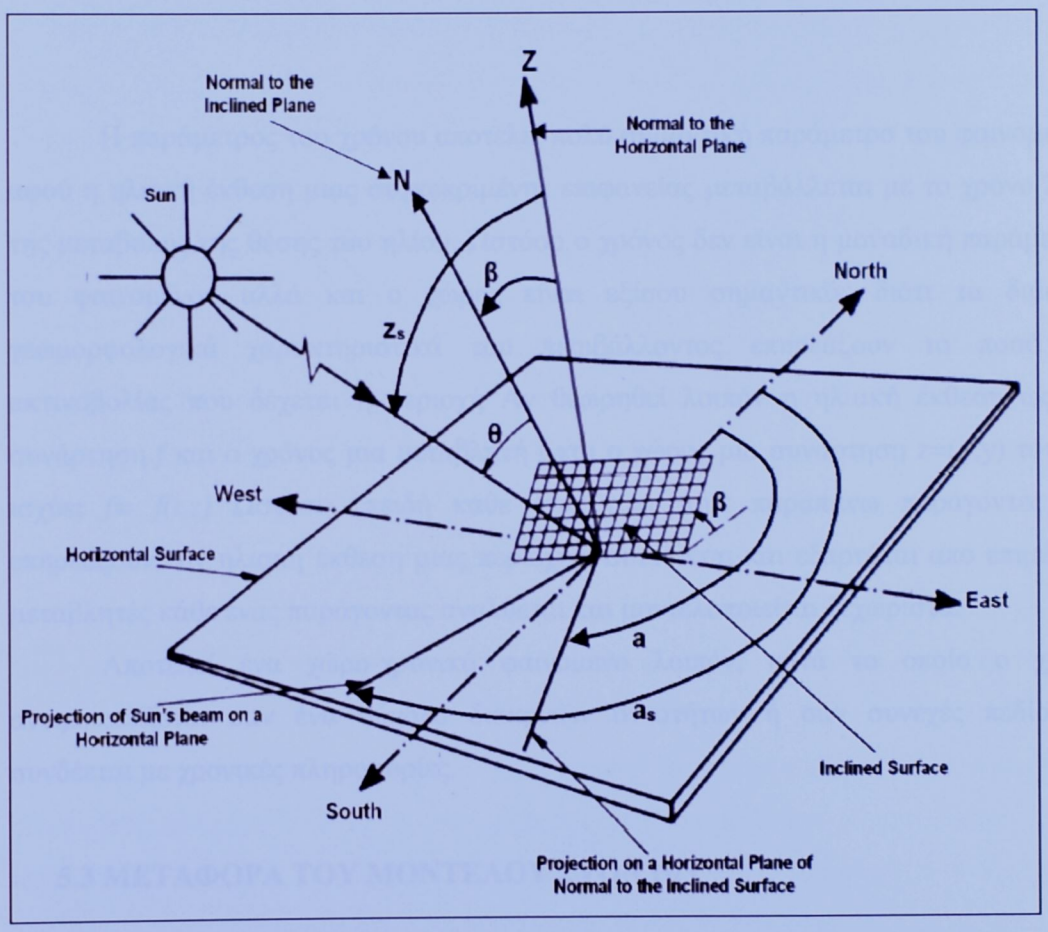
$\mathbf{E}_{1} = \mathbf{H.E}_{\text{εξωτ}} * \mathbf{t}^{M}_{h}$ όπου $\mathbf{E}_{1}$ η άμεση ακτινοβολία και $\mathbf{H.E}_{\text{εξωτ}}$ η ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας.

Το ποσό της ηλιακής ενέργειας $\mathbf{H.E}_{\text{εξωτ}}$ που δέχονται τα ανώτερα στρώματα δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση (Kreider, Kreith, 1975):

.

$$\mathbf{H.E}_{\text{εξωτ}} = \mathbf{c * (1 + 0.034 * \cos(360 * D/365))}$$

Όπου c είναι η ηλιακή σταθερά η οποία ισούται με 1367 W/m^{-2} (Duffie, Beckman 1991) και απεικονίζει το ποσό της ενέργειας που θα δέχονταν τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας αν η τροχιά της γης ήταν κυκλική.



Σχήμα 18 : Η σχέση γωνίας πρόσπτωσης με τη γεωμετρία που απορρέει από την σχετική θέση ηλίου- επιφανείας (ΧρυσουλάκηςΝ, ΔιαμαντάκηςΜ, Πραστάκος.Π,2004)

Αποτέλεσμα αυτής της γωνίας είναι η μείωση του ποσού της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται η επιφάνεια κατά 1- cosθ * %

Επομένως η τελική άμεση ακτινοβολία θα είναι

$$\mathbf{E}_{\text{άμεση}} = \mathbf{E}_{1} * \cos\theta$$

Η σκεδαζόμενη ακτινοβολία εξαρτάται από την κλίση (β) της επιφανείας, το ύψος του ηλίου (αl) και την αέρια μάζα που παρεμβάλλεται μεταξύ της επιφάνειας <<πηγής >> και της επιφάνειας <<στόχου >>. Η εξίσωση λοιπόν που προτείνει ο Gates (1980) Είναι η εξής :

$$E_{\sigma\kappa\varepsilon\delta} = H.E_{\varepsilon\xi\omega\tau} * (0{,}271 - 0{,}294 * t) * \cos^2(\beta) / 2 \sin al$$

Η παράμετρος του χρόνου αποτελεί πολύ σημαντική παράμετρο του φαινομένου, αφού η ηλιακή έκθεση μιας συγκεκριμένης επιφανείας μεταβάλλεται με το χρόνο λόγω της μεταβολής της θέσης του ηλίου. Ωστόσο ο χρόνος δεν είναι η μοναδική παράμετρος του φαινομένου αλλά και ο χώρος είναι εξίσου σημαντικός διότι τα διάφορα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος επηρεάζουν το ποσό της ακτινοβολίας που δέχεται η περιοχή Αν θεωρηθεί λοιπόν η ηλιακή έκθεση ως μια συνάρτηση *f* και ο χρόνος μια μεταβλητή t και ο χώρος μία συνάρτηση z=(x,y) τότε θα ισχύει *f= f(t,z)* Ωστόσο επειδή κάθε ένας από τους παραπάνω παράγοντες που επηρεάζουν τον ηλιακή έκθεση μιας περιοχής, συντίθεται και εξαρτάται από επιμέρους μεταβλητές κάθε ένας παράγοντας αναλύεται και μοντελοποιείται ξεχωριστά.

Αποτελεί ένα χώρο-χρονικό φαινόμενο λοιπόν, κατά το οποίο ο χώρος αντιμετωπίζεται σαν ένα σύνολο διακριτών οντοτήτων ή σαν συνεχές πεδίο και συνδέεται με χρονικές πληροφορίες.

5.3 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟΝ Η/Υ

Η ηλιακή έκθεση αποτελεί ένα χωροχρονικό φαινόμενο στο οποίο οι διάφορες οντότητες που το συνθέτουν είναι αρκετά πολύπλοκες. Για την μοντελοποίηση του λοιπόν, έτσι ώστε να μελετηθεί στο περιβάλλον ενός GIS χρησιμοποιείται η αντικειμενοστραφής προσέγγιση. Στις επόμενες παραγράφους ακολουθούν τα στάδια της μοντελοποίησης του φαινομένου, ο εννοιολογικός, λογικός και φυσικός σχεδιασμός.

5.3.1 Εννοιολογική Μοντελοποίηση

ΕΠΕΚΤΕΤΑΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ

Για τον εννοιολογικό σχεδιασμό του μοντέλου χρησιμοποιείται σε πρώτη φάση το επεκτεταμένο μοντέλο οντοτήτων συσχετίσεων (ΕΟΣ) στο οποίο οι παράγοντες που επηρεάζουν τον ηλιασμό αναλύονται σε κλάσεις και υποκλάσεις, οι οποίες περιγράφονται από γνωρίσματα. Δημιουργήθηκαν λοιπόν οι εξής κλάσεις :

Ηλιακή Θέση: Τα αντικείμενα αυτής της κλάσης αναπαριστούν τη θέση του ηλίου σε κάποιο σύστημα αναφοράς. Η κλάση αυτή αποτελεί υπερκλάση (γενίκευση) δύο άλλων κλάσεων οι οποίες συνιστούν μία μερική και μη επικαλυπτόμενη εξειδίκευση[9] της υπερκλάσης Συντεταγμένες Ηλίου. Οι υποκλάσεις αυτές λοιπόν είναι οι Ισημερινές Συντεταγμένες και Τοπικές Συντεταγμένες. Η κλάση Ισημερινές Συντεταγμένες περιγράφει τη θέση του ηλίου στο σύστημα των Ισημερινών Συντεταγμένων, με δύο γνωρίσματα ή ιδιότητες, την ορθή αναφορά και την απόκλιση. Αντίθετα η κλάση Τοπικές Συντεταγμένες περιγράφει τη θέση του ηλίου σε ένα τοπικό σύστημα αναφοράς με αρχή τον τόπο μελέτης, με τα γνωρίσματα ύψος και αζιμούθιο. Η ταυτότητα των αντικείμενων των υποκλάσεων είναι οι συνδιασμοί των γνωρισμάτων τους.

Χρόνος: Η κλάση αυτή αποτελεί την προδιαγραφή των αντικειμένων που αναπαριστούν το μέγεθος του χρόνου το οποίο περιγράφεται με τα γνωρίσματα Ημέρα, Μήνας, Έτος, Ώρα, Λεπτά τα οποία θα μπορούσαν να ενοποιηθούν και σε ένα σύνθετο γνώρισμα το οποίο θα μπορούσε να λέγεται Χρονική Στιγμή. Η ταυτότότητα των αντικειμένων αυτής της κλάσης είναι ό συνδιασμός όλων των χαρακτηριστικών της κλάσης {Ημέρα, Μήνας, Έτος, Ώρα, Λεπτά}

Τόπος: Είναι η κλάση που περιγράφει τη θέση της περιοχής μελέτης στο γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων με τη βοήθεια των γνωρισμάτων γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος που περιγράφουν τις αντίστοιχα μεγέθη. Η ταυτότητα ενός αντικειμένου τύπου Τόπος είναι ο συνδιασμός των γνωρισμάτων γεωγραφικό μήκος και γεωγραφικό πλάτος.

Τοπογραφική επιφάνεια : Είναι η κλάση που περιγράφει τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά μίας περιοχής όπως το υψόμετρο της περιοχής μελέτης, η κλίση, η έκθεση, το κανονικό

---

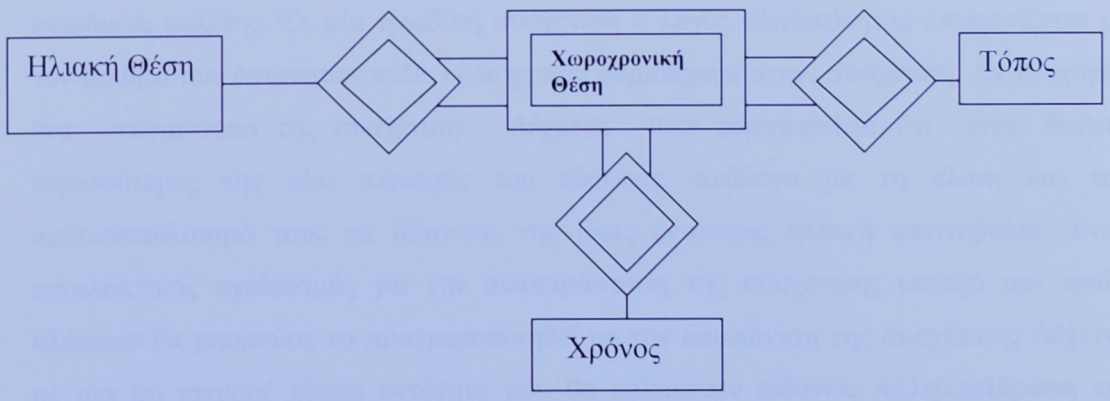
[9] Εξειδίκευση είναι ένα σύνολο κλάσεων που έχουν την ίδια υπερκλάση

διάνυσμα. Κάθε αντικείμενο αυτής της κλάσης αντιστοιχεί σε μια ψηφίδα ενός ΨΜΕ Ένα αντικείμενο τύπου τοπογραφική επιφάνεια έχει για ταυτότητα τον συνδιασμό των γνωρισμάτων X, Y

Στο εννοιολογικό μοντέλο της ηλιακής έκθεσης προστίθονται και δύο τύποι μη ισχυρών οντοτήτων. Η κλάση Ατμοσφαιρικά Στοιχεία που περιγράφεται από τα γνωρίσματα αέρια μάζα και σχετική πίεση δεν είναι αυθύπαρκτη οντότητα (δεν είναι ανεξάρτητη έννοια) όπως πχ η θερμοκρασία αλλά είναι ένα σύνολο μεγεθών που εξαρτώνται απο το υψόμετρο της γήινης επιφανείας. Προσδιορίζουσα λοιπόν οντότητα των ατμοσφαιρικών στοιχείων είναι η τοπογραφική επιφάνεια. Επίσης η οντότητα Άμεση ηλιακή ακτινοβολία είναι και αυτή μια μή ισχυρού τύπου οντότητα αφού αναφέρεται στο διάνυσμα της ηλιακής ακτινοβολίας (ηλιακής δέσμης) το οποίο έχει διέυθυνση, φορά και μέτρο. Προφανώς η διεύθυνση και η φορά άρα και η ύπαρξη του διανύσματος καθορίζονται απο την θέση του ηλίου στον τόπο μελέτης. Επόμένως η ύπαρξη ενός αντικειμένου τύπου ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται απο την ύπαρξη ενός αντικειμένου τοποκεντρικές συντεταγμένες. Συνεπώς η κλάση τοποκεντρικές συντεταγμένες αποτελεί την ιδιοκτήτρια κλάση της Άμεσης Ηλιακής Ακτινοβολίας. Επειδή η διεύθυνση της ακτινοβολίας ορίζεται απο τις τοποκεντρικές συντεταγμενες θεωρήθηκε πλεονασμός να συμπεριλιφθεί σαν γνώρισμα στην οντότητα, για αυτό το λογό συμπεριλήφθηκε σαν γνώρισμα το μέτρο του διανύσματος που είναι η ένταση της ακτινοβολίας

Οι συσχετίσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των κλάσεων είναι δυαδικού και τριαδικού τύπου. Δυαδικού τύπου συσχέτιση υπάρχει όταν στη συσχέτιση συμμετέχουν δύο κλάσεις (ή οντότητες στο Ο-Σ) ενώ τριαδικού όταν συμμετέχουν τρεις. Μία συσχέτιση δυαδικού τύπου στό μοντέλο είναι η συσχέτιση **Περιγράφεται** μεταξύ των κλάσεων *Τόπος* και *Τοπογραφική επιφάνεια.*. Ο λόγος πληθικότητας της συσχέτισης **Περιγράφεται** είναι N: 1 διότι η τοπογραφία μίας περιοχής περιγράφεται από μία επιφάνεια η οποία έχει δημιουργηθεί με ένα συγκεκριμένο τρόπο για αυτήν και μόνο για αυτη τη περιοχή ενώ αυτή η τοπογραφική επιφάνεια μπορεί να περιγράφει και την τοπογραφία άλλων περιοχών.Αντίθετα η θέση του ηλίου σε έναν συγκεκριμένο τόπο αναπαρίσταται με την βοήθεια της συσχέτισης **Αναφέρεται** μεταξύ των οντοτήτων της Ηλιακής Θέσης, του Τόπου και του Χρόνου. Η συσχέτιση αυτή είναι τριαδικού τύπου (συμμετέχουν τρείς οντότητες) διότι για την λεπτομερή περιγραφή της θέσης του ήλιου

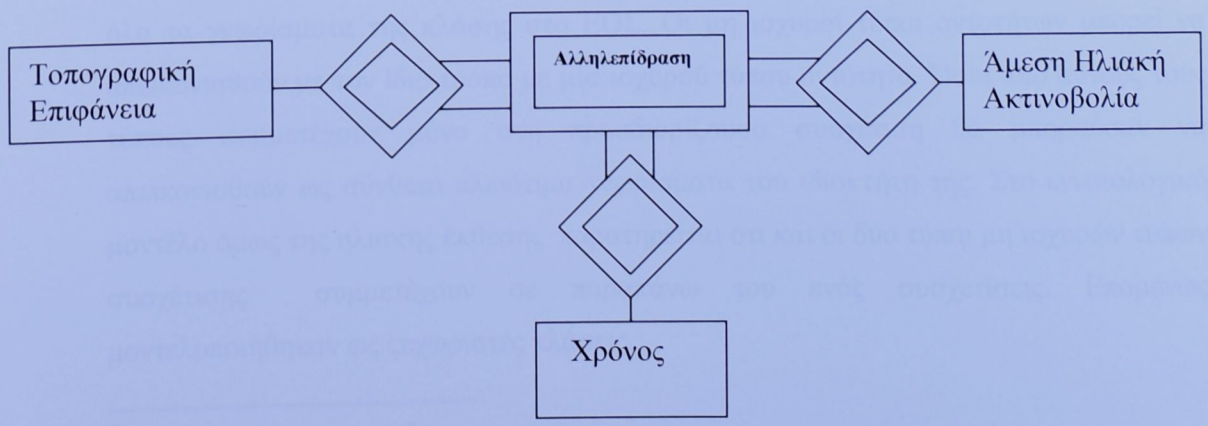
σε έναν τόπο, είναι αναγκαία και η καταγραφή της χρονικής στιγμής αυτής της θέσης. Βέβαια η χρονική παράμετρος θα μπορούσε να απεικονισθεί και με την βοήθεια γνωρίσματος σε μία δυαδικού τύπου συσχέτιση μεταξύ των οντοτήτων της Ηλιακής Θέσης και του Τόπου. Ωστόσο αυτό αποφεύχθηκε διότι ο χρόνος λόγο της πολλαπλής διαστασής του (διαφορετικά χρονικά συστήματα αναφοράς) έπρεπε να μοντελοποιηθεί με τη βοήθεια αντικειμένου αφού έπρεπε να ενσωματωθούν κάποιες μέθοδοι που θα παρείχαν τη δυνατότητα μετάβασης απο το ένα σύστημα στο άλλο. Έτσι κάθε στιγμυότυπο της συσχέτισης Αναφέρεται είναι της μορφής (Ηλιακή Θέση, Χρόνος, Τόπος). Η τριαδική συσχέτιση αυτή θα μπορούσε ίσως να μοντελοποιηθεί εναλλακτικά με τη βοήθεια μιας μή ισχυρού τύπου οντότητας η οποία θα μπορούσε να καλείται χωροχρονική θέση και η οποία θα περιγράφει τη θέση του ηλίου στο τόπο κάθε χρονική στιγμή.



Επίσης παρατηρούνται και συσχετίσεις μεταξύ ισχυρών και μη ισχυρών τύπων οντοτήτων – κλάσεων που καλούνται προσδιορίζουσες συσχετίσεις. Μία απο αυτές είναι η συσχέτιση **Περιγράφεται** μεταξύ των κλάσεων τοπογραφική επιφάνεια και ατμοσφαιρικά στοιχεία. Ο λόγος πληθικότητας είναι N :1 αφού ένα αντικείμενο τύπου τοπογραφική επιφάνεια περιγράφεται απο ένα και μόνο αντικείμενο τύπου ατμοσφαιρικά στοιχεία ενώ πολλές επιφάνειες μπορεί να παρουσιάζουν τα ίδια ατμοσφαιρικά χαρακτηριστικά (λόγω ίδιου ύψους). Άλλη μια ανάλογου τύπου συσχέτιση είναι εκείνη που αναπτύσσεται μεταξύ των κλάσεων Άμεση Ηλιακή ακτινοβολία και την υποκλάση της ηλιακής θέσης, τοποκεντρικές συντεταγμένες με προσδιορίζοντα οντότητα την κλάση τοποκεντρικές συντεταγμένες. Η εμφάνιση του ηλίου πάνω απο τον ορίζοντα του

τόπου εχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία του διανύσματος της ηλιακής ακτινοβολίας του οποίου την διεύθυνση καθορίζουν οι τοποκεντρικές συντεταγμένες του ηλίου. Συνεπώς ύπαρξη ηλιακής ακτινοβολίας είναι συνηφασμένη με την εμφανιση του ηλίου στον τόπο μελέτης. Η προσδιορίζουσα συσχέτιση αυτού του τύπου μή ισχυρής οντότητας καλείται **Προέρχεται** και αναφέρεται στο διάνυσμα της ηλιακής ακτινοβολίας απο τη θέση του ηλίου στο τοπο μελέτης για μία δεδομένη στιγμή. Κάθε στιγιοτυπο αυτής της συσχέτισης αποτελείται απο ένα αντικείμενο ηλιακή ακτινοβολίας, ένα αντικείμενο χρόνου και ένα αντικείμενο τοποκεντρικών συντεταγμένων. Επίσης κάθε κάθε κλα΄ση συμμετέχει με ένα και μόνο αντικείμενο σε αυτή τη συσχέτιση

Η **Δέχεται** μεταξύ των κλάσεων Τοπογραφική Επιφάνεια, Χρόνος και Ηλιακή Ακτινοβολία. Επίσης στην συσχέτιση Δέχεται προστέθηκε και ένα γνώρισμα το οποίο αναφέρεται στη γωνία με την οποία προσπίπτει η άμεση ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια μελέτης. Σε μία τριαδική συσχέτιση ο λογος πληθικότητας απεικονίζεται με τον αριθμό των οντοτήτων κάθε κλάσης που συμετέχουν στην συσχέτιση. Αν θεωρηθεί ένα στιγμιοτυπο της συσχέτισης **Δέχεται** τότε παρατηρείται ότι είναι δυνατό περισσότερες της μίας περιοχές του εδάφους, ανάλογα με τη κλίση και τον προσανατολοισμό τους να δέχονται της ίδιας εντάσεως ηλιακή ακτινοβολία. Ένας ενναλακτικός σχεδιασμός για την αναπαράσταση της συσχέτισης μεταξύ των τριών κλάσεων θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με την απεικόνιση της συσχέτισης **Δέχεται** με μια μή ισχυρού τύπου οντότητα που θα καλούνταν πιθανώς **Αλληλεπίδραση** και προσδιορίζονταν απο τρείς επιμέρους συσχετίσεις με τις ιδιοκτήτριες κλάσεις του χρόνου της τοπογραφικής επιφανείας και της Άμεσης Ηλιακής Ακτινοβολίας.



Τέλος μια ακόμη τριαδικού τύπου συσχέτιση αναπτύσσεται μεταξύ των κλάσεων Ατμοσφαιρικές Παράμετροι, Χρόνος και Άμεση ηλιακή ακτινοβολία αναπτύσσεται μια ακόμη τριαδικού τύπου συσχέτιση σε κάθε στιγμιότυπο της οποίας ο χρόνος και η άμεση ηλιακή ακτινοβολία συμμετέχουν με ένα αντικείμενο ενώ η κλάση των ατμοσφαιρικών παραμέτρων με Ν αντικείμενα δίοτι η ηλιακή ακτινοβολία είναι δυνατό να προσπέσει σε παραπάνω της μίας επιφάνεια με αποτέλεσμα να αντιστοιχεί σε Ν ατμοσφαιρικά στοιχεία. Προφανώς τα στοιχεία αυτά θα έχουν την ίδια κατάσταση, ωστόσο θα αντιστοιχούν σε διαφορετικές επιφάνειες άρα γίνονται αντιληπτά ως ξεχωριστές οντότητες.

5.3.2 ΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Κατά το στάδιο του λογικού σχεδιασμού το εννοιολογικό μοντέλο που περιγράφεται παραπάνω μετασχηματίζεται σε ένα μοντέλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από έναν Η/Υ. Κατά την αντικειμενοστραφή μοντελοποίηση αυτό απαιτεί την αναγωγή των οντοτήτων σε κλάσεις. Για τον λογικό σχεδιασμό επιλέχθηκε το μοντέλο αντικειμένων ODMG 2.0 [10] λεπτομερής περιγραφή του μοντέλου αλλά και βιβλιογραφικές αναφορές αναφέρονται στο παράρτημα

Η απεικόνιση λοιπόν του επεκτεταμένου μοντέλου οντοτήτων συσχετίσεων της ηλιακής έκθεσης ακολουθεί την δομή που ορίζουν οι Elmasri.R και Navanthe.S. (2000)έχει ως εξής :

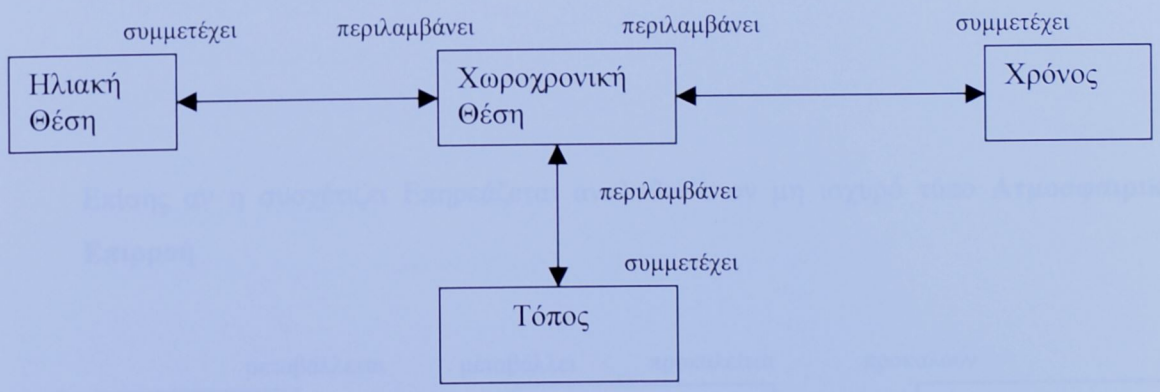
Για κάθε τύπο οντότητας του ΕΟΣ δημιιοργείται μία ODL κλάση, η οποία περιέχει όλα τα γνωρίσματα της κλάσης στο ΕΟΣ. Οι μη ισχυροί τύποι οντοτήτων μπορεί να απεικονισθούν με τον ίδιο τρόπο με μία ισχυρού τύπου οντότητα. Όσοι απο αυτούς τους τύπους συμμετέχουν μόνο στη προσδιορίζουσα συσχέτιση θα μπορούσαν να απεικονισθούν ως σύνθετα πλειότιμα γνωρίσματα του ιδιοκτήτη της. Στο εννοιολογικό μοντέλο όμως της ηλιακής έκθεσης παρατηρείται ότι και οι δύο τύποι μη ισχυρών τύπων συσχέτισης συμμετέχουν σε παραπάνω του ενός συσχετίσεις. Επομένως μοντελοποιήθηκαν ως ξεχωριστές κλάσεις.

[10] Object Data Management Group

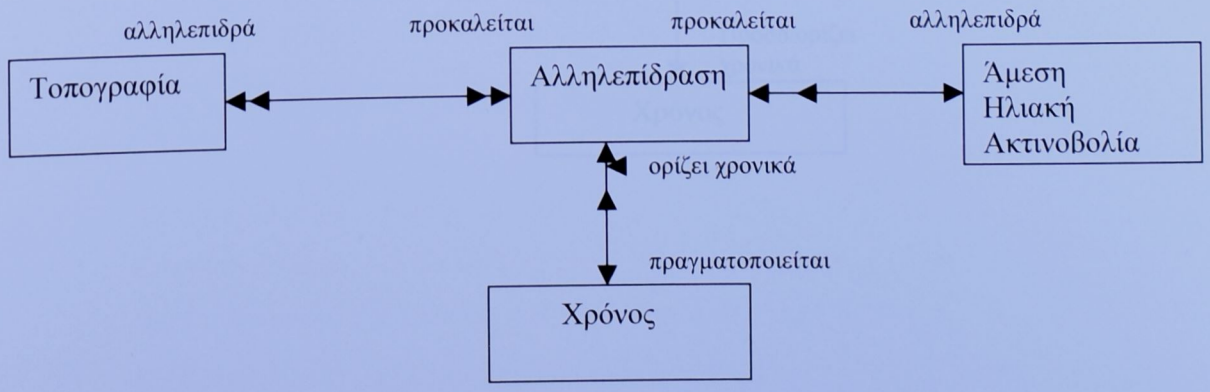
Επίσης στις νέες κλάσεις που δημιουργούνται συμπερελαμβάνονται και οι μέθοδοι των αντικειμένων των κλάσεων. Επίσης σε κάθε κλάση προστίθενται και οι συσχετίσεις μεταξύ των κλάσεων του εννοιολογικού μοντέλου. Σε περίπτωση που υπάρχουν συσχετίσεις διπλών κατευθύνσεων τότε παριστάνεται με αναφορές και στις δύο κατευθύνσεις.

Η απεικόνιση των τριαδικών συσχετίσεων μοντελοποιήθηκε με την βοήθεια μή ισχυρών τύπων οντοτήτων. Επίσης σε αυτές τις περιπτώσεις για να φανεί καλύτερα η απεικόνιση ίσως θα ήταν χρήσιμος ο γραφικός συμβολισμός για αναπαράσταση ODL σχημάτων.

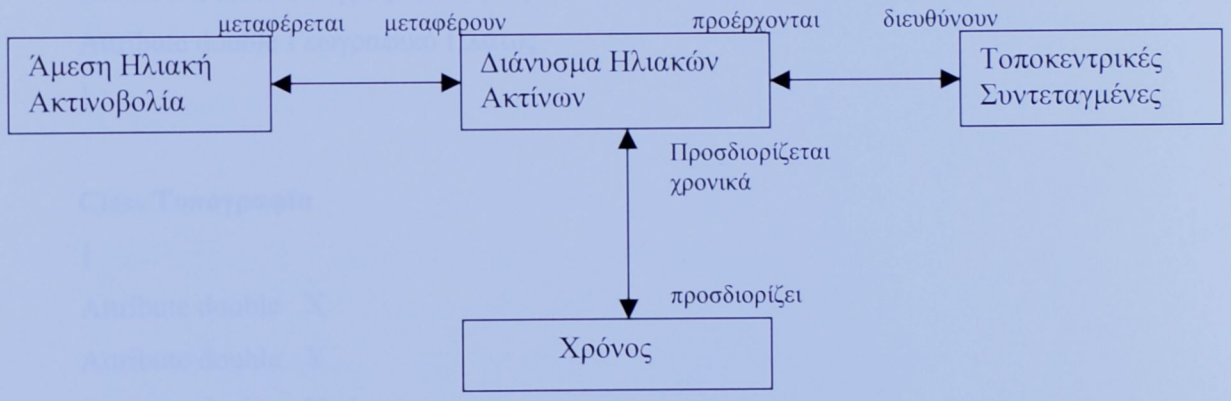
Για την τριαδική συσχέτιση λοιπόν **Αναφέρεται** ένα πιθανο σχήμα θα ακολουθούσε τον παρακάτω συμβολισμό



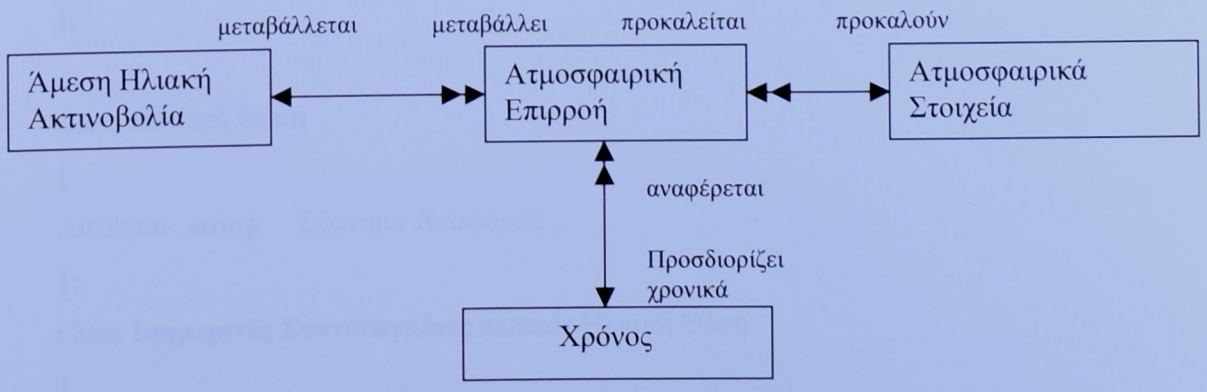
Επίσης για την **Αλληλεπίδραση** προτείνεται το παρακάτω σχήμα



Αν απεικονισθει η συσχέτιση **Προέρχεται** στον τύπο Διάνυσμα Ηλιακών Ακτίνων τότε



Επίσης αν η συσχέτιζει Επηρεάζεται αναλυθεί στον μη ισχυρό τύπο **Ατμοσφαιρική Επιρροή**



Class **Τόπος**

{

Attribute double Γεωγραφικό Μήκος

Attribute double Γεωγραφικό Πλάτος

} ;

Class **Τοπογραφία**

{

Attribute double X

Attribute double Y

Attribute double Υψόμετρο

Void double Σκίαση (in Τοπικές Συντεταγμένες)

Void double Κλίση (in double υψόμετρο)

Void double Έκθεση (in double υψόμετρο)

Τοπογραφική Επιφάνεια::

Relationship Τόπος περιγράφει inverse Τόπος :: περιγράφεται

};

Class **Ηλιακή Θέση**

{

Attribute string Σύστημα Αναφοράς

};

Class **Ισημερινές Συντεταγμένες** extends Ηλιακή Θέση

{

Attribute Double Ορθή Αναφορά

Attribute Double Απόκλιση

Void Double Set Data (in Χρόνος χρονική στιγμή)

};

Class **Τοπικές Συντεταγμένες** extends Ηλιακή Θέση

{

Attribute Double Ύψος

Attribute Double Αζιμούθιο

Void Τοπικές Συντεταγμένες Set Data (in Χρόνος χρονική στιγμή1)

};

Class **Ατμοσφαιρικά Στοιχεία**

{

Attribute double Σχετική Αέρια Μάζα

Attribute double Σχετική Ατμοσφαιρική πίεση

Attribute double Διαπερατότητα

Void Ατμοσφαιρικά Στοιχεία Set Data (in Τοπογραφία ύψος)

};

Class **Ηλιακή Ακτινοβολία**

{

Attribute Double Ένταση

Void Ηλιακή Ακτινοβολία (in Τοπικές Συντεταγμένες θέση ηλίου, Ατμοσφαιρικά Στοιχεία ατμοσφαιρικές διορθώσεις,

};

Class **Χρόνος**

{

Attribute Integer Ημέρα

Attribute Integer Μήνας

Attribute Integer Χρόνος

Void Double Τοπικός Αστρικός Χρόνος (in ημέρα integer, μήνας integer, χρόνος integer

Void Double Πραγματικός Χρόνος (in ημέρα integer, μήνας integer, χρόνος integer

};

Class **Χωροχρονική Θέση**

{

Relationship Ηλιακή Θέση περιλαμβάνει inverse Ηλιακή Θέση :: συμμετέχει

Relationship Τόπος περιλαμβάνει inverse Τόπος :: συμμετέχει

Relationship Χρόνος περιλαμβάνει inerse Χρονος :: συμμετέχει

};

Class **Αλληλεπίδραση**

{

Attribute Double Γωνία Πρόσπτωσης

Relationship set <Τοπογραφία> προκαλείται inverse Τοπογραφία :: αλληλεπιδρα

Relationship Άμεση Ηλιακή Ακτινοβολία προκαλείται inverse Άμεση Ηλιακή Ακτινοβολία :: Αλληλεπιδρά

Relationship Χρόνος αναφέρεται inverse Χρόνος :: ορίζει χρονικά

Class **Διάνυσμα Ηλιακών Ακτίνων**

{

Relationship Άμεση Ηλιακή Ακτινοβολία μεταφέρει inverse Άμεση Ηλιακή Ακτινοβολία :: μεταφέρεται

Relationship Τοποκεντρικές Συντεταγμένες διευθύνουν inverse Τοποκεντρικές Συντεταγμένες :: προέρχεται

Relationship Χρόνος προσδιορίζεται χρονικά inverse Χρόνος :: προσδιορίζει χρονικά

};

Class **Ατμοσφαιρική Επιρροή**

{

Relationship Άμεση Ηλιακή Ακτινοβολία μεταβάλλει inverse Άμεση Ηλιακή Ακτινοβολία :: μεταβάλλεται

Relationship Ατμοσφαιρικοί Παράγοντες προκαλείται inverse Ατμοσφαιρικοί Παράγοντες: προκαλούν

Relationship Χρόνος αναφέρεται inverse Χρόνος προσδιορίζει χρονικά

};

Από τον παραπάνω λογικό σχεδιασμό παρατηρείται ότι στις κλάσεις που δημιουργήθηκαν δεν απεικονίζονται μόνο τα γνωρίσματα των οντοτήτων του ΕΟΣ και οι τύποι δεδομένων που χρησιμοποιούν, αλλά ενσωματώνονται και ένα σύνολο μεθόδων – πράξεων που εκτελούν τα αντικείμενα των κλάσεων είτε για να ενημερώνουν την κατάσταση του αντικειμένου είτε για να εκτελούν κάποιους υπολογισμούς χρησιμοποιώντας τιμές των ιδιοτήτων τους ή τις υπηρεσίες που προσφέρουν άλλα αντικείμενα. Αναλυτικότερα, στη κλάση Τοπογραφία παρατηρείται η μέθοδος Σκίαση η οποία παίρνοντας σαν παραμέτρους ένα αντικείμενο τύπου Ηλιακή θέση υπολογίζει τις σκιές που δημιουργούνται σε γειτονικές επιφάνειες λόγω του ανάγλυφου. Στις υποκλάσεις Σημερινές Συντεταγμένες και Τοπικές Συντεταγμένες ενσωματώνονται δύο μέθοδοι, Set Data, για ενημέρωση της κατάστασης των αντικειμένων τους παίρνοντας σαν παράμετρο ένα αντικείμενο τύπου Χρόνος. Επίσης στην κλάση Τοπογραφία παρατηρούνται τρεις μέθοδοι, Σκίαση, Κλίση, Έκθεση για τον υπολογισμό των ομώνυμων μορφολογικών παραμέτρων παίρνοντας σαν παράμετρο την ιδιότητα υψόμετρο. Σε αυτή τη κλάση παρατηρείται μια διαφορά μεταξύ του εννοιολογικού και λογικού σχήματος ως προς το γνώρισμα κανονικό διάνυσμα. Επειδή η προσέγγιση του κανονικού διανύσματος σε αυτή την εργασία γίνεται με την βοήθεια της κλίσης και της έκθεσης θα ήταν πλεονασμός να χρησιμοποιηθεί στο λογικό σχήμα και ένα γνώρισμα που θα περιέγραφε το κανονικό διάνυσμα. Στην κλάση Χρόνος παρατηρούνται οι μέθοδοι Τοπικός Αστρικός Χρόνος, Πραγματικός Χρόνος που υπολογίζουν τα αντίστοιχα μεγέθη. Τέλος στις κλάσεις Ατμοσφαιρικά Στοιχεία και Ηλιακή Ακτινοβολία παρατηρούνται οι μέθοδοι-πράξεις Set Data, Ηλιακή Ακτινοβολία αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται για ενημέρωση της κατάστασης των αντικειμένων. Όσο αφορά τις συσχετίσεις του ΕΟΣ αρχικά ανάχθηκαν σε μή ισχυρού τύπου οντότητες και στι=ην συνέχεια καθε μία απο αυτές απεικονίσθηκε στο ODMG με την μορφή κλάσης όπου συμπεριλήφθηκαν ώς γνωρίσματα

Το στάδιο του λογικού σχεδιασμού ήταν απαραίτητο για να απεικονισθεί το μοντέλο σε δομές που υποστηρίζονται από έναν υπολογιστή, ώστε η μελέτη του φαινομένου να πραγματοποιηθεί εντός υπολογιστικού περιβάλλοντος. Μετά λοιπόν τον ορισμό της δομής και των τύπων δεδομένων ακολουθεί η κατασκευή του προγράμματος

5.3.3 Κατασκευή του Προγράμματος

Για τη λεπτομερή μελέτη του συστήματος, ήταν απαραίτητο να δημιουργηθεί μία κατάλληλη εφαρμογή (πρόγραμμα) προκειμένου να προσομοιωθεί το φαινόμενο. Σκοπός αυτού του προγράμματος είναι η εκτέλεση όλων των απαραίτητων υπολογισμών των παραμέτρων του μοντέλου και η παρουσίαση του αποτελέσματος σε ένα γραφικό περιβάλλον με την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης του σε περαιτέρω αναλύσεις. Λόγω τις χωρικής διάστασης του προβλήματος, το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε ενσωματώθηκε σε μία πλατφόρμα γεωγραφικών αναλύσεων, εκείνη του ArcGIS. Ο κώδικας αναπτύχθηκε στο, ενσωματωμένο στη πλατφόρμα, IDE περιβάλλον της Visual Basic χρησιμοποιώντας αντικειμενοστραφής λογική

Ωστόσο πριν περιγραφεί η αρχιτεκτονική του προγράμματος είναι απαραίτητη η περιγραφή της διαδικασίας του φυσικού σχεδιασμού. Στο στάδιο του φυσικού σχεδιασμού γίνεται αντιστοίχιση των στοιχείων του λογικού μοντέλου σε δομές που υποστηρίζονται από την πλατφόρμα του ArcGIS και μοντελοποιούν ικανοποιητικά και αποτελεσματικά τα συστατικά του συστήματος μελέτης.

Το φαινόμενο της ηλιακής έκθεσης είναι ένα συνεχές φαινόμενο. Στο περιβάλλον ενός GIS τα συνεχή φαινόμενα αναπαρίστανται με κατάλληλες δομές ψηφιδωτού που καλούνται grids (βλέπε Κεφάλαιο 2). Η δομή ενός grid σε έναν υπολογιστή είναι ίδια τη δομή μίας μονοχρωματικής μπάντας μίας raster εικόνας η αλλιώς ενός πίνακα οπού οι τιμές του αντιστοιχούν σε τιμές του φαινομένου. Το ίδιο ισχύει και για την τοπογραφία της περιοχής μελέτης η οποία αναπαρίσταται και εκείνη με τη μορφή πίνακα, με τη μόνη διαφορά ότι οι τιμές του πίνακα αντιστοιχούν σε τιμές υψομέτρου (DEM). Η παράγωγη πληροφορία της τοπογραφίας της περιοχής (κλίσεις, έκθεση, σκιάσεις, κανονικό διάνυσμα) καθώς και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες περιγράφονται με τη βοήθεια grids λόγω της συνέχειας του χώρου από τον οποίο εξαρτώνται. Αντίθετα η ηλιακή θέση περιγράφεται από ένα ASCII αρχείο το οποίο εμπεριέχει τις τοποκεντρικές

συντεταγμένες του ηλίου για κάθε χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια της ημέρας, αποθηκευμένες σε ένα σύνολο εγγραφών.

.

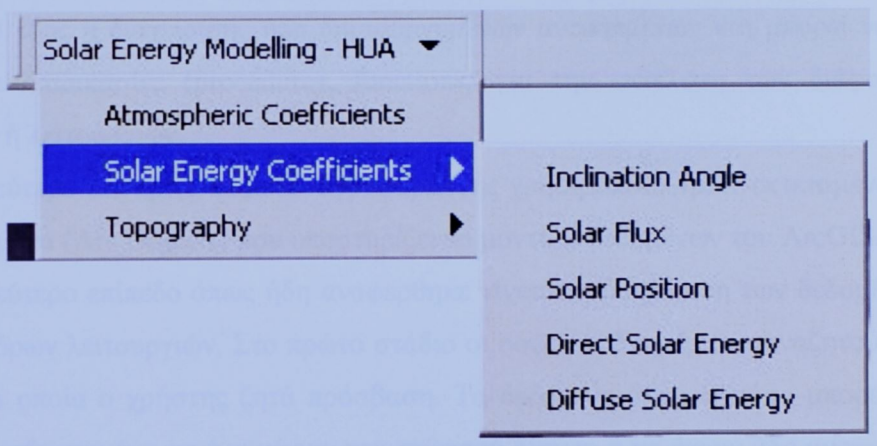
Παράγοντας Φαινομένου	**Δομή GIS**	**Δομή Η/Υ**
Τοπογραφία	D.E.M (grid)	Πίνακας (array) m * n
Ατμοσφαιρικοί Παράγοντες	D.T.M (grid)	Πίνακας (array) m * n
Μορφολογικές Παράμετροι (κλίση, έκθεση, κανονικό διάνυσμα)	D.T.M (grid)	Πίνακας (array) m * n
Ηλιακή Θέση	-	ASCII αρχείο

Σχήμα 18 : Φυσική Υλοποίηση

Όσο αφορά την αρχιτεκτονική του προγράμματος, πρόκειται για μία three-tier αρχιτεκτονική, η οποία ενσωματώνεται στην ήδη υπάρχουσα αρχιτεκτονική του ArcGIS η οποία ακολουθεί την ίδια λογική. Επίσης κατα τη μετάβαση απο το σχεδιασμό στην υλοποίηση με τη χρήση της Visual Basic κάθε τμήμα της αρχιτεκτονικής αντιστοιχει σε ένα module.

Το πρώτο τμήμα λοιπόν της εφαρμογής αποτελεί το γραφικό περιβάλλον επικοινωνίας του χρήστη με τη εφαρμογή. Το περιβάλλον της εφαρμογής αποτελείται από μία γραμμή εργαλείων (ToolBar) στην οποία έχουν ενσωματωθεί κάποια μενού επιλογών με τα οποία ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τη λειτουργία ανάλυσης που επιθυμεί με κουμπιά εντολών (command buttons). Επίσης πολλές φορές δίνεται η δυνατότητα

ρύθμισης κάποιων παραμέτρων για την εκτέλεση των λειτουργιών που επιθυμεί ο χρήστης και τελικά επιστρέφει τα αποτελέσματα στο χρήστη.



Εικόνα 10 : Το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής

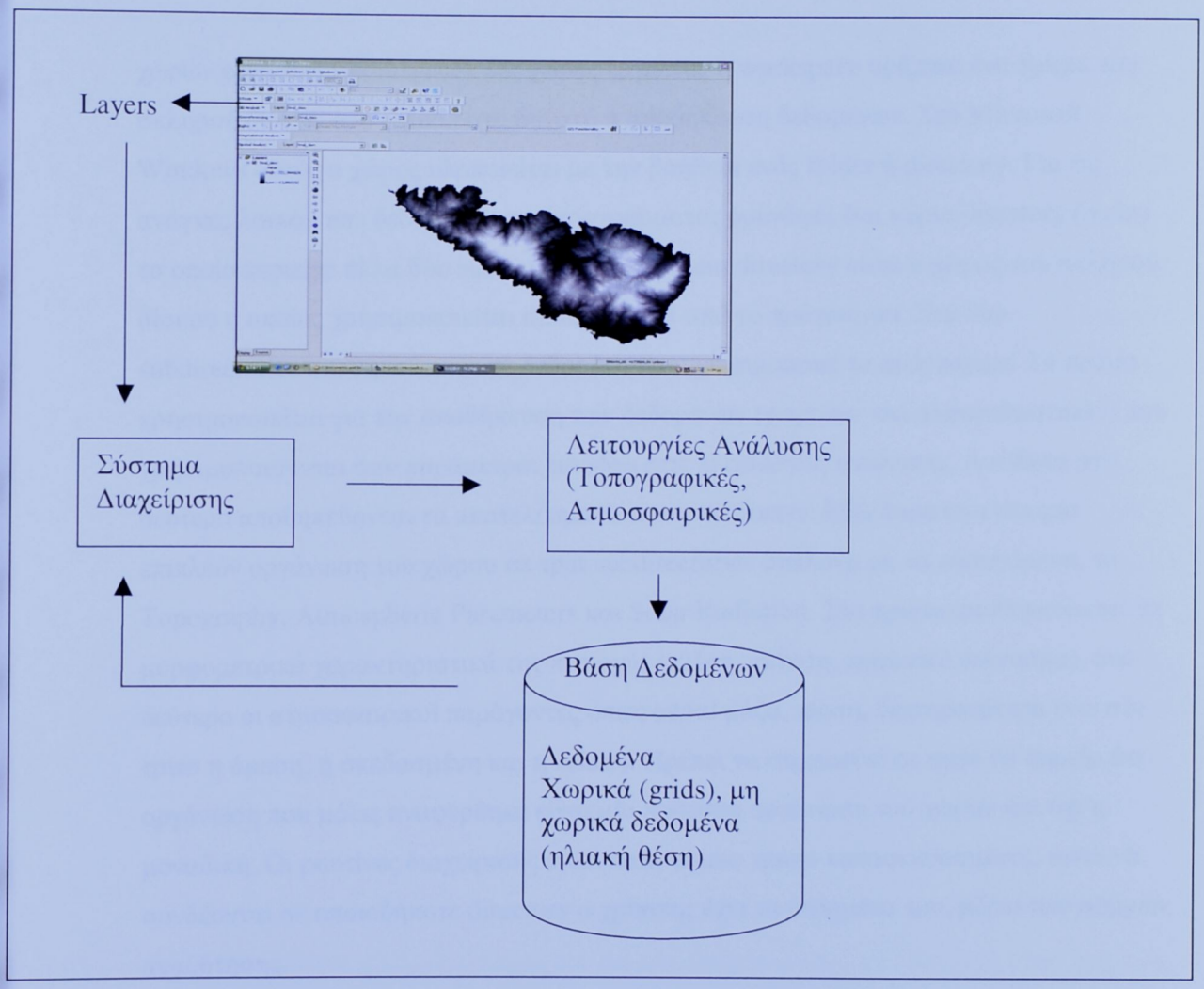
Το δεύτερο tier αποτελείται από ρουτίνες οι οποίες επιτρέπουν την επικοινωνία του χρήστη με τη βάση δεδομένων και το λειτουργικό τμήμα του προγράμματος. Το σύνολό λοιπόν αυτών των ρουτινών συνθέτουν έναν διαχειριστή δεδομένων και λειτουργιών που χρησιμοποιεί η εφαρμογή. Η λειτουργία αυτών των διαχειριστών είναι η εξής: Οι διαχειριστές αρχικά λαμβάνουν τα δεδομένα που εισάγει ο χρήστης μέσω φορμών και άλλων μορφών διεπεφαφής και στην συνέχεια ανακτούν τα απαραίτητα δεδομένα της βάσης προκειμένου να εκτελέσουν τις λειτουργίες που ζητά ο χρήστης. Στην συνέχεια επιστρέφονται τα αποτελέσματα στον χρήστη πάλι μέσω του γραφικού περιβάλλοντος της εφαρμογής.

Το τρίτο τμήμα του προγράμματος συνιστά το λειτουργικό τμήμα. Σε αυτό αντικείμενα του μοντέλου δεδομένων της πλατφόρμας ανάπτυξης αλλά και αντικείμενα

ορισμένα από τον χρήστη εκτελούν τις απαραίτητες λειτουργίες και υπολογισμούς για την προσομοίωση του φαινομένου. Αυτά τα αντικείμενα βρίσκονται αποθηκευμένα σε μία βάση δεδομένων ή σε ένα χώρο εργασίας (workspace). Στα αντικείμενα αυτά έχει πρόσβαση ο διαχειριστής δεδομένων ο οποίος έχει τη δυνατότητα αρχικοποίησης (instantiation) τους η διαχείρισης ήδη δημιουργημένων αντικειμένων και μπορεί να τα μεταφέρει σε διαδικασίες (procedures, functions) για την εκτέλεση των διάφορων υπολογισμών ή λειτουργιών.

Στο δεύτερο και τρίτο επίπεδο της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα τα COM αντικείμενα (Arc Objects) που υποστηρίζει το μοντέλο δεδομένων του ArcGIS.

Στο δεύτερο επίπεδο όπως ήδη αναφέρθηκε γίνεται η διαχείριση των δεδομένων και των διαφόρων λειτουργιών. Στο πρώτο στάδιο οι ρουτίνες διαχείρισης αναζητούν τα δεδομένα στα οποία ο χρήστης ζητά πρόσβαση. Τα δεδομένα αυτά ωστόσο μπορεί να βρίσκονται αποθηκευμένα σε ένα χώρου του σκληρού δίσκου ή να έχουν ήδη ανακτηθεί από το χρήστη, και να διαχειρίζονται με την μορφή layers στο γραφικό περιβάλλον του υποσυστήματος του ArcGIS, ArcMap.



Σχήμα 19 : Σχηματική αναπαράσταση της ροής εργασία του συστήματος διαχείρισης

Κατά την πρώτη περίπτωση, όπου τα δεδομένα ανακτώνται για πρώτη φορά, ο χρήστης αφού επιλέξει τα δεδομένα που επιθυμεί μέσω των διεπαφών, που αναπτύσσονται διεξοδικά στην προηγούμενη παράγραφο, οι ρουτίνες του συστήματος ενεργοποιούνται, μέσω trigger events, και αποθηκεύοντας την διεύθυνση των δεδομένων σε κάποια θέση μνήμης (μεταβλητή τύπου string) ανακτούν τα δεδομένα και τα μεταφέρουν σε ενδιάμεσα επίπεδα, τα επίπεδα διαχείρισης των δεδομένων που συντίθενται από ρουτίνες που μεταφέρουν τα δεδομένα στις λειτουργίες ανάλυσης. Για την ανάκτηση των δεδομένων, ο χώρος αποθήκευσης πρέπει να είναι οργανωμένος κατάλληλα. Ο χώρος αποθήκευσης λοιπόν δομήθηκε ή οργανώθηκε με την βοήθεια ενός συνόλου επιμέρους

χώρων εργασίας (workspace). Ως χώρος εργασίας ή workspace ορίζεται ένα τμήμα του σκληρού δίσκου στο οποίο είναι δυνατή η αποθήκευση δεδομένων. Στα Microsoft Windows αυτός ο χώρος υλοποιείται με την βοήθεια ενός folder ή directory. Για τις ανάγκες λοιπόν των δεδομένων του προγράμματος ορίσθηκε ένα κύριο directory (main) το οποίο περιείχε άλλα δύο subdirectories. Το main directory είναι ο χώρος του σκληρού δίσκου ο οποίος χρησιμοποιείται αποκλειστικά από το πρόγραμμα. Στα δύο subdirectories αποθηκεύονται τα δεδομένα που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα. Το πρώτο χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των δεδομένων (χωρικών και αλφαριθμητικών) που χρησιμοποιούνται σαν παράμετροι εισόδου στις λειτουργίες ανάλυσης. Αντίθετα στο δεύτερο αποθηκεύονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων. Εδώ παρατηρείται μια επιπλέον οργάνωση του χώρου σε τρία subdirectories ανάλογα με τα παραγόμενα, τα Topography, Atmospheric Parameters και Solar Radiation. Στο πρώτο αποθηκεύονται τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της περιοχής (κλίση, έκθεση, κανονικό διάνυσμα), στο δεύτερο οι ατμοσφαιρικοί παράγοντες όπως αέρια μάζα, πίεση, διαπερατότητα ενώ στο τρίτο η άμεση, η σκεδασμένη και η τελική. Πρέπει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι οργάνωση που μόλις αναφέρθηκε είναι μία πρότυπη οργάνωση του χώρου και όχι η μοναδική. Οι ρουτίνες διαχείρισης είναι κατά τέτοιο τρόπο κατασκευασμένες, ώστε να συνδέονται σε οποιοδήποτε directory ο χρήστης έχει τα δεδομένα του, μέσω των φορμών αναζήτησης.

Από άποψη υλοποίησης το σύστημα διαχείρισης, χρησιμοποιεί για την ανάκτηση των δεδομένων από τον σκληρό δίσκο ένα COM αντικείμενο που καλείται Workspace που εννοιολογικά αντιστοιχεί σε ένα directory. Αυτό εξειδικεύεται σε επιμέρους υποκλάσεις (βλέπε παράρτημα GeoDatabase Object Model) που ανάλογα με τη φύση των δεδομένων που αποθηκεύονται παίρνει και την ονομασία του. Επειδή όμως η κύρια δομή GIS για την περιγραφή του χώρου που χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα, είναι εκείνη του grid, επιλέχθηκε η διαχείριση των directories να γίνεται από αντικείμενα τις υποκλάσης RasterWorkspace.

Κατά τη δεύτερη περίπτωση όπου τα δεδομένα είναι ήδη ανακτημένα και βρίσκονται με την μορφή layer στο Arc Map τότε ο χρήστης αφού επιλέξει τα layer Ενδιαφέροντος, πάλι με τη βοήθεια κατάλληλων διεπαφών τότε ενεργοποιούνται ρουτίνες διαχείρισης, διαφορετικές από εκείνες που αναφέρθηκαν παραπάνω οι οποίες

κατάλληλα διαχειριζόμενες τα αντίστοιχα layers ανακτούν την κατάλληλη δομή (grid) που θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση. Ο πυρήνας αυτών των υποπρογραμμάτων είναι το COM Object *Layer*. Αυτό το αντικείμενο εννοιολογικά αντιστοιχεί σε ένα θεματικό επίπεδο που αναπαριστά μία κατάσταση της φυσικής πραγματικότητας. Τεχνικά αποτελεί τη δομή με τη βοήθεια της οποίας είναι δυνατή η διαχειρισή, οπτικοποίηση ενός αποθηκευμένου grid Κοινό σημείο με τις ρουτίνες της πρώτης περίπτωσης, εντοπίζεται στο γεγονός ότι μεταφέρουν τα δεδομένα ανάκτησης σε ανώτερα επίπεδα για την διαχείριση των δεδομένων.

Το σύστημα διαχείρισης συμπληρώνεται από ρουτίνες μεταφοράς των δεδομένων, τόσο ακατέργαστων δεδομένων σε ρουτίνες ανάλυσης, όσο και δεδομένων που συνιστούν τα παράγωγα των αναλύσεων, στο γραφικό περιβάλλον ή σε χώρους αποθήκευσης.

Η κύρια δομή που αξιοποιείται αυτό το τμήμα του συστήματος είναι εκείνη των αντικειμένων Raster ή Raster Band. Εννοιολογικά αυτά τα αντικείμενα αποτελούν την λεγόμενη δομή GIS grid. Αποτελούν δηλαδή πίνακες των οποίων τα στοιχεία περιγράφουν ένα συνεχές χωρικό φαινόμενο.

Τρίτο Επίπεδο

Το τρίτο επίπεδο της εφαρμογής αποτελεί το επίπεδο των λειτουργιών ανάλυσης. Σε αυτό το επίπεδο υπολογίζονται οι παράμετροι του μοντέλου (τοπογραφικές παράμετροι, ατμοσφαιρικά στοιχεία, ηλιακή θέση) καθώς και τα τελικά αποτελέσματα για την κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι παράμετροι αλλά και τελικά αποτελέσματα υπολογίζονται από ρουτίνες , οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους, και οι οποίες ομαδοποιούνται σε modules ανάλογα με την εννοιολογική τους σχέσης. Παρουσιάζεται λοιπόν το πρόβλημα εισαγωγής παραμέτρων από ρουτίνες ενός σε module σε ρουτίνες άλλου module. Το πρόβλημα αυτό αρχικά αντιμετωπίσθηκε με global μεταβλητές (μεταβλητές οι οποίες είναι <<ορατές>> από όλες τις ρουτίνες του project) οι οποίες χρησιμοποιούνταν από αρκετές ρουτίνες ή με την βοήθεια συναρτήσεων. Επειδή όμως αυτή η προσέγγιση απαιτούσε αρκετό χώρο στην μνήμη (αρκετές μεταβλητές) αλλά και αρκετές επαναλήψεις κώδικα, δοκιμάσθηκε και η αντικειμενοστρεφής προσέγγιση κατά την οποία τα modules αντικαταστήθηκαν από κλάσεις, όπου οι διάφορες λειτουργίες που αναφέρθηκαν παραπάνω εκτελούνται ως

μέθοδοι των αντικειμένων των κλάσεων. Η δομή των κλάσεων ακολουθεί την δομή του λογικού σχεδιασμού του μοντέλου κατά ODMG που περιγράφει το φαινόμενο της ηλιακής έκθεσης. Τα κυριότερα COM αντικείμενα του μοντέλου δεδομένων του ArcGIS που χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε αυτό το επίπεδο είναι αντικείμενα Ops τα οποία αποτελούν τις μονάδες που είναι υπεύθυνες για την εκτέλεση των χωρικών αναλύσεων. Αναλυτικότερα τα αντικείμενα είναι τα εξής :

- Αντικείμενα της κλάσης RasterSurfaceOp, τα οποία αναλαμβάνουν της διάφορες αναλύσεις επιφανειών. Για το σκοπό της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των μορφομετρικών παραμέτρων και της σκίασης του ανάγλυφου
- Αντικείμενα της κλάσης RasterMathOp, με τα οποία είναι δυνατή η χρήση τελεστών της άλγεβρας για την εκτέλεση εστιακών ή γενικευμένων λειτουργιών χωρικής ανάλυσης
- Αντικείμενα της κλάσης Raster Model, τα οποία είναι αντικείμενα που προσομοιάζουν την λειτουργία του Spatial Analyst, Raster Calculator και αναλαμβάνουν την εκτέλεση scripts γραμμένων με την σύνταξη της άλγεβρας χαρτών (*Map Algebra*)

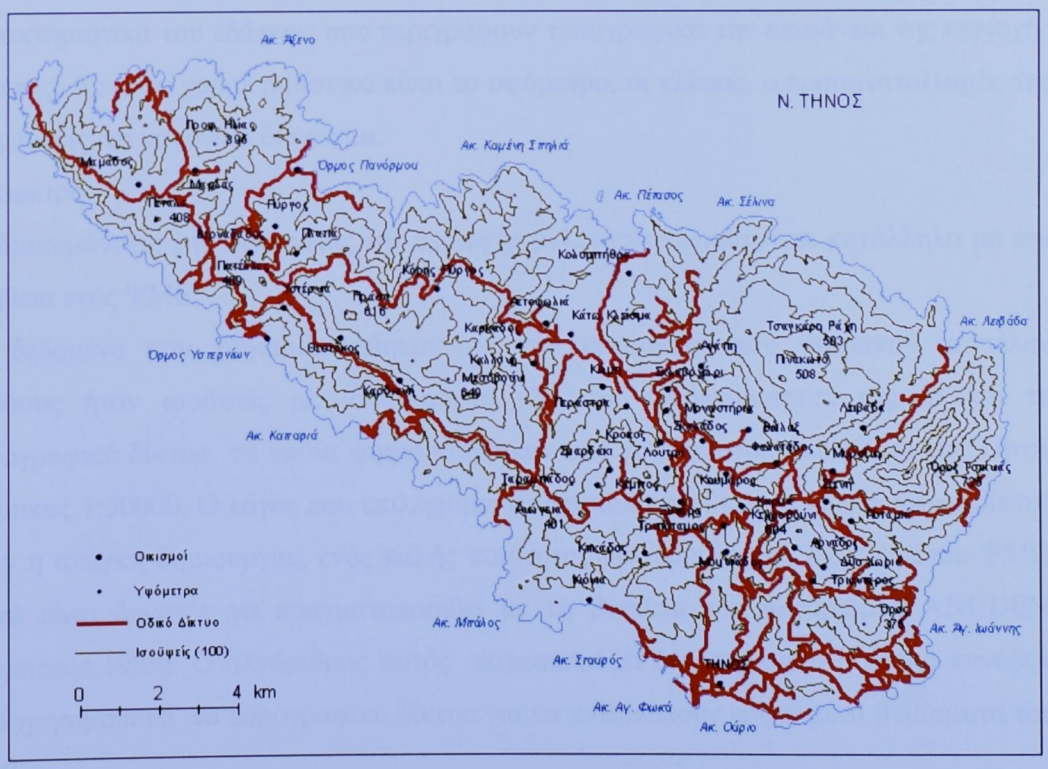
Με αυτό το στάδιο τελειώνει η αναλυτική περιγραφή των τμημάτων της εφαρμογής και των μεθόδων υλοποίησης τους. Για τον έλεγχο όμως της αξιοπιστίας του προγράμματος και του μοντέλου απαιτείται και μία συγκεκριμένη εφαρμογή. Τα αποτελέσματα στην συνέχεια θα σχολιαστούν και θα διαπιστωθεί πώς μία περιοχή του ελληνικού χώρου συμπεριφέρεται στην ηλιακή ακτινοβολία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

Το σύστημα που αναπτύχθηκε και περιγράφηκε παραπάνω χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη μιας συγκεκριμένης περιοχής του ελληνικού χώρου. Η περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε είναι η νήσος Τήνος.

Η Τήνος είναι νησί του Αιγαίου Πελάγους και ανήκει στο σύμπλεγμα των Κυκλάδων. Είναι το τρίτο σε μέγεθος νησί των Κυκλάδων μετά την Άνδρο και τη Νάξο με έκταση 194τ.χμ. Βρίσκεται νοτιοανατολικά της Άνδρου σε απόσταση ½ μιλίου και βορειοδυτικά της Μυκόνου σε απόσταση 11 μιλίων από τις κοντινότερες ακτές της. Συγκεκριμένα, βρίσκεται μεταξύ 24 57΄ 42΄΄ - 25 16΄ 20΄΄ ανατολικά του μεσημβρινού του Greenwich (γεωγραφικό μήκος) και 37 31΄ 00΄΄ - 37 40΄ 45΄΄ βόρεια του Ισημερινού (γεωγραφικό πλάτος). Η Τήνος βρίσκεται ΒΑ σε σχέση με τα άλλα νησιά των Κυκλάδων και μαζί με την Άνδρο και την Μύκονο αποτελούν ευθύγραμμη συνέχεια του νοτίου τμήματος της Εύβοιας. Περιβάλλεται από τα νησιά Άνδρος, Σύρος, Μύκονος και Δήλος



Εικόνα 21: Νήσος Τήνος (Κανέλλου, Λαγαρά. 2004)

Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε συμβαδίζει με δομή του μοντέλου που αναπτύχθηκε για την μελέτη της ηλιακής έκθεσης. Η μελέτη λοιπόν διαρθρώνεται σε τρία επιμέρους στάδια :

Α) Προσδιορισμός τοπογραφικών παραμέτρων της περιοχής μελέτης.

Β) Υπολογισμός ατμοσφαιρικών διορθώσεων

Γ) Υπολογισμός του ποσού της τελικής διορθωμένης ατμοσφαιρικά και τοπογραφικά προσπίπτουσας ακτινοβολίας

Η μελέτη αυτή είναι σχεδιασμένη κατάλληλα ώστε να εκπονηθεί εξ' ολοκλήρου στο περιβάλλον ενός GIS

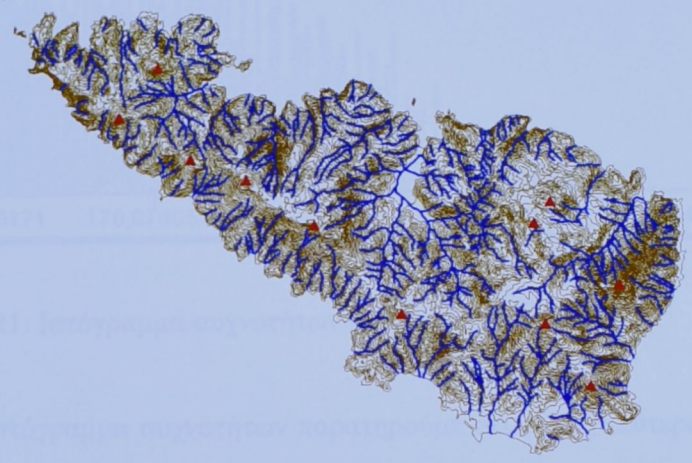
Προσδιορισμός τοπογραφικών παραμέτρων

Ο όρος τοπογραφικές τοπογραφικές παράμετροι αναφέρονται σε εκείνα τα χαρακτηριστικά του εδάφους που περιγράφουν τοπογραφικά την επιφάνεια της περιοχής μελέτης. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι το υψόμετρο, οι κλίσεις, ο προσανατολισμός της επιφανείας, το κανονικό διάνυσμα.

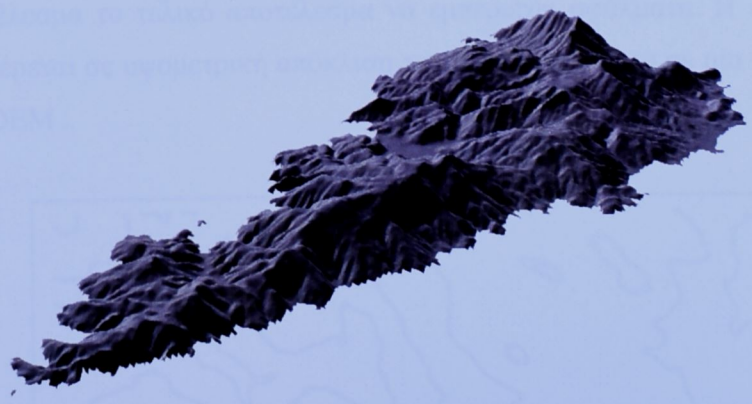
Υψόμετρο

Οι διακυμάνσεις της επιφανείας της περιοχής μελέτης περιγράφονται κατάλληλα με την βοήθεια ενός ΨΜΕ.

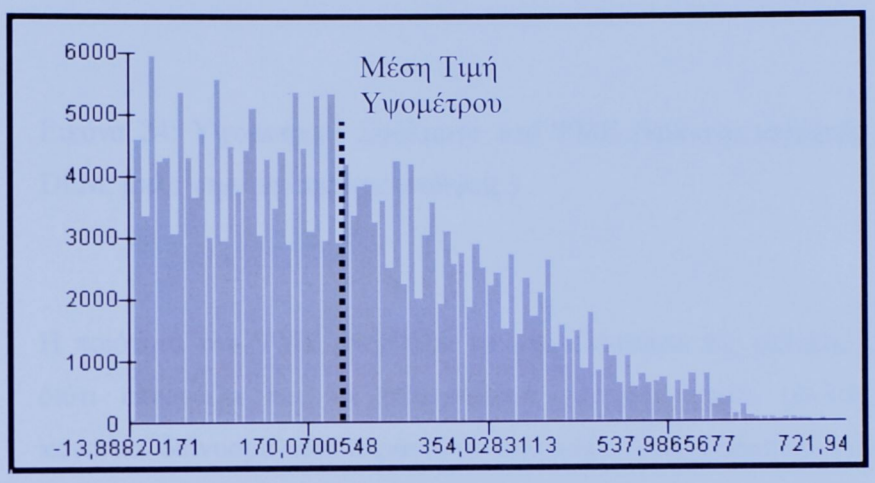
Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους ήταν ισοϋψείς με ισοδιάσταση (20 m), τριγωνομετρικά σημεία και το υδρογραφικό δίκτυο τα οποία ψηφιοποιήθηκαν από τον τοπογραφικό χάρτη της Τήνου κλίμακας 1:50000. Ο λόγος που επιλέχθηκε να ωηφιοποιηθεί και το υδρογραφικό δίκτυο ήταν η ανάγκη δημιουργίας ενός καλής ποιότητας και υδρολογικά διορθωμένου ΨΜΕ. Αυτό είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια του αλγορίθμου ANUDEM (Hutcinson,1989). Ο αλγόριθμος αυτός κατασκευάζει ένα σημειακό μοντέλο κανάβου ενώ χρησιμοποιεί το υδρογραφικό δίκτυο για να εντοπιστούν εσφαλμένα βυθίσματα του ΨΜΕ.



Εικόνα 22 : Τα πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή του ΨΜΕ



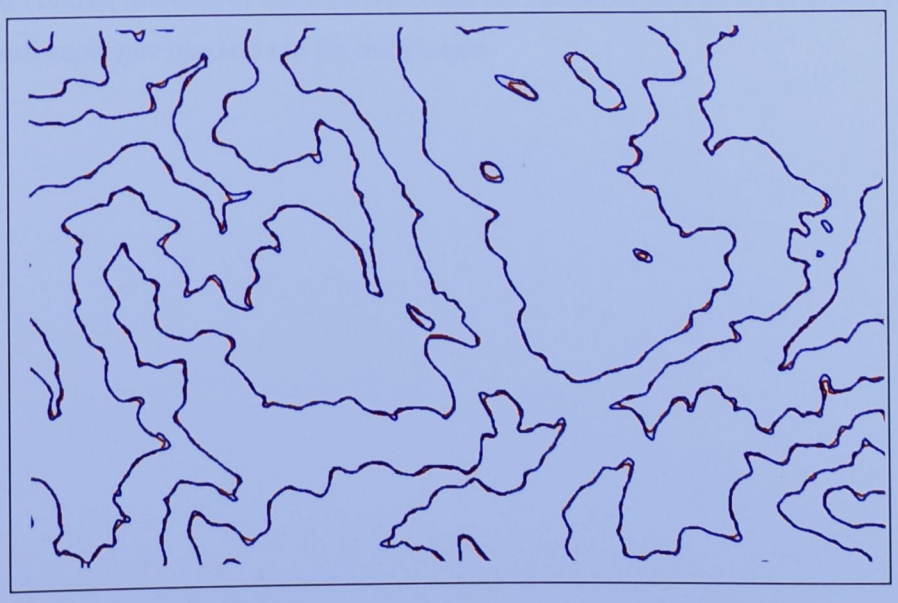
Εικόνα 23: Τρισδιάστατη αναπαράσταση: Ψηφιακό μοντέλο Εδάφους της Τήνου (άποψη απο ΒΔ)



Σχήμα 21: Ιστόγραμμα συχνοτήτων υψομέτρων του ΨΜΕ

Από το ιστόγραμμα συχνοτήτων παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο πλήθος περιοχών του ΨΜΕ χαρακτηρίζεται από χαμηλά υψόμετρα και υψόμετρα που συγκεντρώνονται γύρω από τη μέση τιμή υψομέτρου (210 m) της περιοχής. Αντιθετα πολύ λίγες είναι οι τιμές μεγάλων υψομέτρων.

Η διαδικασία δημιουργίας ενός DEM είναι μία στατιστική λειτουργία παρεμβολής με αποτέλεσμα το τελικό αποτέλεσμα να εμπεριέχει σφάλματα. Η έννοια του σφάλματος αναφέρεται σε υψομετρική απόκλιση της ίδιας θέσης (x,y) σε μία ισοϋψή και ένα φατνίο του DEM .



Εικόνα 24: Υψομετρικά Σφάλματα του ΨΜΕ (κόκκινο ισουψείς παραγόμενες απο το DEM, μπλε ψηφιοποιημένες ισοϋψείς)

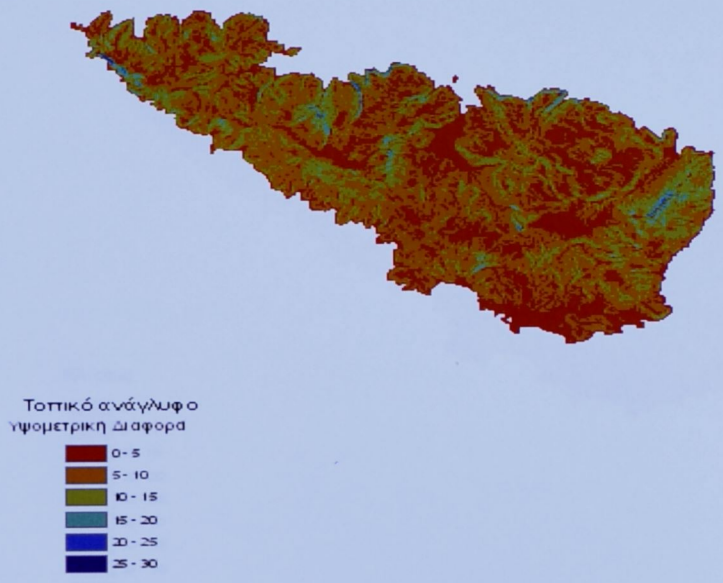
Η ποιότητα του ΨΜΕ επηρεάζει τα αποτελέσματα της μελέτης της ηλιακής έκθεσης, διότι επηρεάζει και τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά (κλίσεις, προσανατολισμός, κανονικό διάνυσμα) που παράγονται από αυτό. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι η απόκλιση των αποτελεσμάτων της ηλιακής έκθεσης, που προήλθαν από τη μελέτη του φαινομένου σε ένα GIS, από τα πραγματικά στο φυσικό περιβάλλον

Παραγόμενα του ΨΜΕ

Από το ΨΜΕ είναι δυνατόν να προσδιοριστούν τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά των κλίσεων και του προσανατολισμού με την βοήθεια των αλγορίθμων που περιγράφηκαν στο τρίτο κεφάλαιο. Για τον υπολογισμό των κλίσεων έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι ανάλογα με το τοπικό ανάγλυφο των περιοχών εφαρμογής τους.

Για παράδειγμα ο αλγόριθμος που προτάθηκε απο τον (Horn 1981) έχει καλύτερα αποτελέσματα σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο, ενώ εκείνη των Zevenbergen & Thorne, 1987 με ομαλό ανάγλυφο. (Φουμέλης.Μ, 2004)

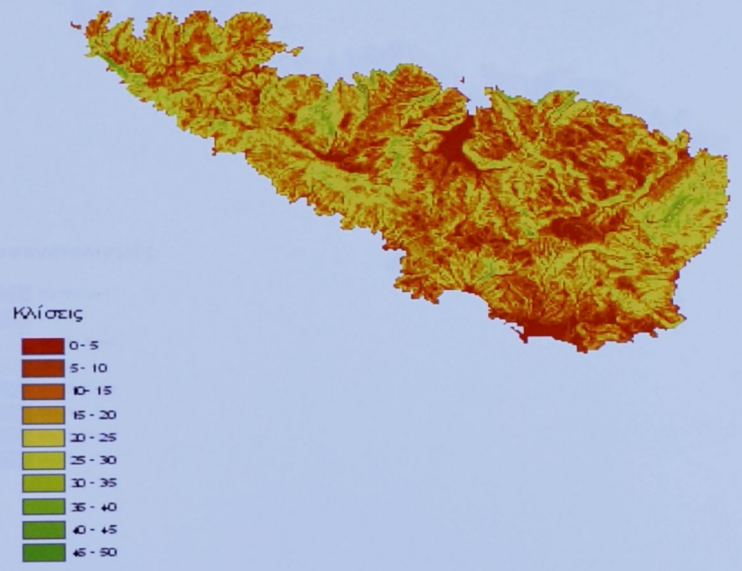
Συνεπώς ένας χάρτης τοπικού ανάγλυφου που θα απεικόνιζε την μέση υψομετρική διαφορά (τυπική απόκλιση) κάθε φατνίου από τα γειτονικά του θα ήταν χρήσιμος για τον εντοπισμό περιοχών ομαλού και μη ανάγλυφου



Εικόνα 25 : Τοπικό ανάγλυφο

Από την παραπάνω εικόνα παρατηρείται ότι η πλειοψηφία των περιοχών χαρακτηρίζεται από ομαλό τοπικό ανάγλυφο (0-15 m). Αντίθετα οι περιοχές με έντονο ανάγλυφο είναι λίγες και παρατηρούνται στις ορεινές περιοχές.

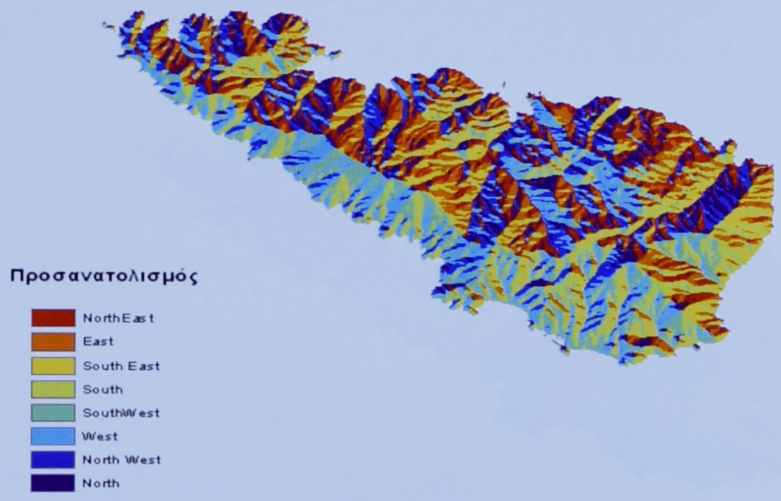
Ωστόσο λόγο του γεγονότος ότι αυτή η μελέτη δεν εξειδικεύει στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων αλλά στην, γενικότερη μεθοδολογική προσέγγιση του φαινομένου επιλέχθηκε ο απλούστερος των αλγορίθμων υπολογισμού της κλίσης, εκείνος της μέγιστης κλίσης.



Εικόνα 26: Κλίσεις

Από των παραπάνω χάρτη φαίνεται ότι η αύξηση των τιμών της κλίσης ακολουθεί την τάση του τοπικού ανάγλυφου αφού όπου παρατηρούνται έντονες υψομετρικές αποκλίσεις στον χάρτη του τοπικού ανάγλυφου παρατηρούνται και απότομες κλίσεις και το αντίθετο. Αυτό είναι λογικό διότι η κλίση είναι ο ρυθμός μεταβολής του υψομέτρου.

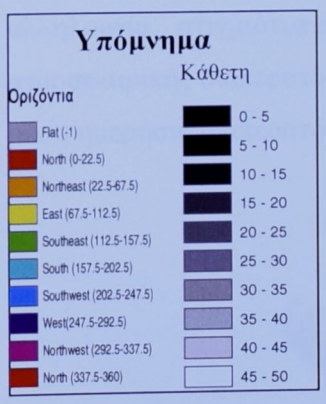
Όσο αφορά την προσανατολισμό των επιφανειών υπολογίζεται με την βοήθεια της έκθεσης η οποία δίνει την διεύθυνση της μέγιστης κλίσης .



Εικόνα 27 : Προσανατολισμού Επιφανειών

Κανονικό διάνυσμα

Το κανονικό διάνυσμα όπως ήδη αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο προσεγγίσθηκε με τη βοήθεια δύο συνιστωσών μίας κατακόρυφης και μίας οριζόντιας γωνίας. Η κατακόρυφη αποτελεί την κλίση της επιφανείας, ενώ η οριζόντια τον προσανατολισμό. Πρακτικά λοιπόν, είναι φανερό ότι στην πραγματικότητα το κανονικό διάνυσμα είναι η σύνθεση των δύο προηγούμενων τοπογραφικών παραμέτρων και επομένως κάθε περαιτέρω διαχείριση του κανονικού διανύσματος στην ουσία θα ήταν διαχείριση της κλίσης και της έκθεσης. Ωστόσο δόθηκε έμφαση στην χαρτογραφική απεικόνιση του κανονικού διανύσματος η οποία πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια ενός σύνθετου layer που αποτελούνταν από δύο sublayers τα οποία είχαν διαφορετική χρωματική διαβάθμιση. Το ένα sub layer, η κλίση, απεικονίζεται με μία χρωματική διαβάθμιση από το πράσινο έως το κόκκινο χρώμα , ενώ το άλλο, η έκθεση, με μια χρωματική διαβάθμιση του γκρί και ένα ποσοστό διαφάνειας. Με μια υπέρθεση στη συνέχεια των δύο επιπέδων προέκυπτε ένα αποτέλεσμα ανάλογο της εικόνας που ακολουθεί



Εικόνα 28 : Κανονικό Διάνυσμα

Ωστόσο η παραγωγή αλλά και όλη η διαδικασία της χαρτογραφικής απόδοσης αυτοματοποιήθηκε για της ανάγκες της μελέτης

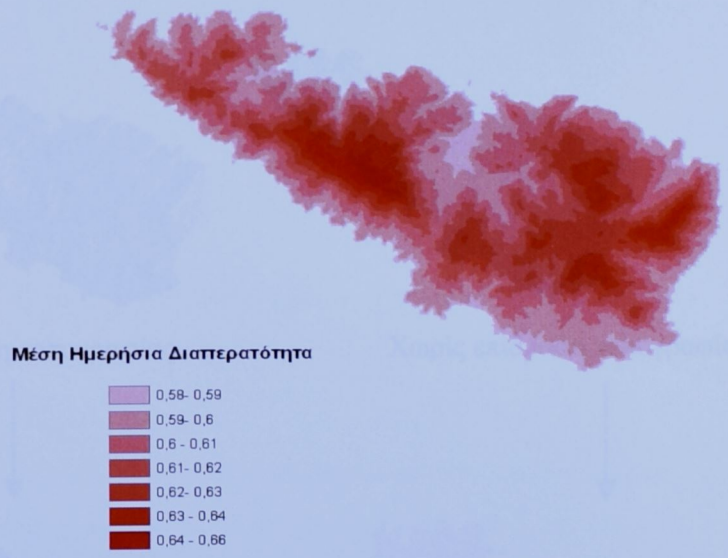
Υπολογισμός Ηλιακής Θέσης

Το στάδιο που ακολούθησε μετά τον υπολογισμό των τοπογραφικών παραμέτρων ήταν ο υπολογισμός της θέσης του ηλίου μία ακόμη παράμετρος σημαντική για την μελέτη της ηλιακής έκθεσης. Χρησμοποιώντας τον GISWeb Browser αναπτύχθηκε με σκοπό να επιτρέπει στον εκάστοτε ερευνητή την πρόσβαση στη διαδικτυακή υπηρεσία του US Naval για τον υπολογισμό της ηλιακής θέσης. Η ηλιακή θέση που υπολογίσθηκε ήταν για τις 6 Σεπτεμβρίου 2004 και για το χρονικό διάστημα της μίας ώρας.

Ατμοσφαιρικές Διορθώσεις

Στο δεύτερο επίπεδο της μεθοδολογίας υπολογίζονται οι διορθωμένες ατμοσφαιρικά τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους ανάλογα με το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται. Οι πηγές μείωσης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι σωματίδια που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να απορροφούν και να σκεδάζουν την ακτινοβολία. Ο βαθμός μείωσης της ακτινοβολίας μετράται με τον συντελεστή διαπερατότητας (τ). Με τη βοήθεια μίας νέας λειτουργίας που αναπτύχθηκε, υλοποιώντας τον αλγόριθμο που πρότεινε ο Hottel (1976), υπολογίσθηκε η ατμοσφαιρική διαπερατότητα για διάφορες στιγμές της ημέρας. Επίσης η διαπερατότητα θα μπορούσε να υπολογισθεί και με τη βοήθεια της σχετικής αέριας μάζας και πίεσης. Προτιμήθηκε όμως για ταχύτερους υπολογισμούς ο αλγόριθμος του Hottel. Χρησιμοποιώντας ένα χρονικό διάστημα της μίας ώρας παράχθηκε μια αλληλουχία στιγμιότυπων που απεικονίζουν την χωροχρονική κατανομή της ατμοσφαιρικής διαπερατότητας κατά την διάρκεια της ημέρας. Παρακάτω παρατίθεται η μέση ημερήσια διαπερατότητα για κάθε περιοχή για το διάστημα μίας ώρας.

Εικόνα 29 : Τοπική Ατμοσφαιρική πίεση



Εικόνα 30 : Μέση Ημερήσια Ατμοσφαιρική Διαπερατότητα

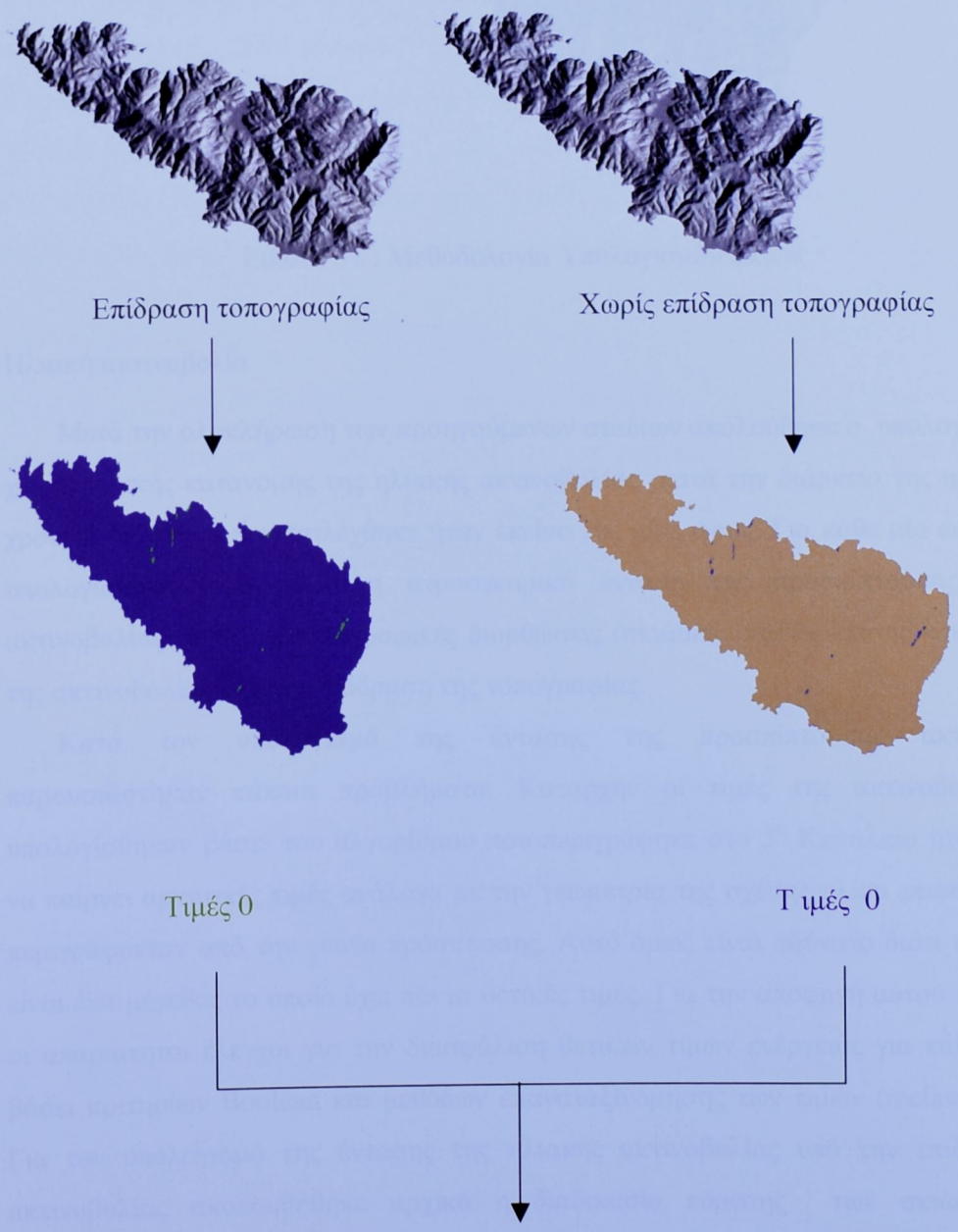
Υπολογισμός Τοπογραφικών Διορθώσεων

Η ηλιακή έκθεση όπως έχει ήδη αναφερθεί δεν επηρεάζεται μόνο από την γεωμετρία της επιφανείας και τους ατμοσφαιρικούς παράγοντες αλλά και από την περιβάλλουσα τοπογραφία η οποία είναι πιθανό να προκαλεί σκιάσεις. Ο έλεγχος των σκίασης, σε αυτή την εργασία έγινε με τον εξής τρόπο: Δημιουργήθηκαν με αυτοματοποιημένο τρόπο τα σκιασμένα ανάγλυφα της περιοχής μελέτης (με και χωρίς επίδραση της τοπογραφίας) με την βοήθεια που προσφέρει η λειτουργία Hillshade (Spatial&3D Analyst) μέσω του Ops αντικειμένου RasterSurfOp (ArcObjects).

Με αυτή τη λειτουργία όποια περιοχή δεν δέχεται ακτινοβολία παίρνει την τιμή μηδέν. Ωστόσο δεν είναι γνωστό αν αυτή η τιμή σε δύο στιγμιότυπα της ίδιας χρονικής

στιγμής αν προκαλείται από σκίαση άλλης επιφάνειας ή από την γεωμετρία της ίδιας επιφάνειας.

Για αυτό το λόγο επιλέγονται ανά ζεύγη στιγμιότυπων της ίδιας χρονικής στιγμής τα κελιά που έχουν τιμή μηδέν. Στην συνέχεια με την βοήθεια μίας τοπικής λειτουργίας υπολογίζεται η ποικιλία τιμών . Επειδή εξετάζονται ανά ζεύγη οι τιμές που παίρνει η ποικιλία είναι 1 και 2. Όπου λοιπόν παρατηρείται η τιμή δύο παρατηρείται και σκίαση από περιβάλουσα τοπογραφία



Εικόνα 31 : Μεθοδολογία Υπολογισμού Σκιών

Ηλιακή ακτινοβολία

Μετά την ολοκλήρωση των προηγούμενων σταδίων ακολούθησε ο υπολογισμός της χωροχρονικής κατανομής της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας. Το χρονικό διάστημα που επιλέχθηκε ήταν εκείνο της μίας ώρας. Για κάθε μία ώρα λοιπόν υπολογίσθηκε η διορθωμένη ατμοσφαιρικά ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας χωρίς τις τοπογραφικές διορθώσεις (σκιάσεις) καθώς επίσης και η ένταση της ακτινοβολίας υπό την επίδραση της τοπογραφίας.

Κατά τον υπολογισμό της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας παρουσιάστηκαν κάποια προβλήματα. Καταρχήν οι τιμές της ακτινοβολίας που υπολογίσθηκαν βάσει του αλγορίθμου που περιγράφηκε στο 5° Κεφάλαιο ήταν δυνατό να παίρνει αρνητικές τιμές ανάλογα με την γεωμετρία της σχέσης ηλίου επιφανείας που περιγράφονταν από την γωνία πρόσπτωσης. Αυτό όμως είναι αδύνατο διότι η ενέργεια είναι ένα μέγεθος το οποίο έχει πάντα θετικές τιμές. Για την αποφυγή αυτού του έγιναν οι απαραίτητοι έλεγχοι για την διασφάλιση θετικών τιμών ενέργειας για κάθε φατνίο, βάσει κριτηρίων Boolean και μεθόδων επαναταξινόμησης των τιμών (reclassification). Για τον υπολογισμό της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας υπό την επίδραση της ακτινοβολίας ακολουθήθηκε αρχικά η διαδικασία εύρεσης των σκιάσεων που

περιγράφηκε και προηγουμένως. Στην συνέχεια έγινε εκ νέου ταξινόμηση του grid των σκιάσεων θέτοντας στα pixel της σκίασης την τιμή 0. Στην συνέχεια πάλι με έναν πολλαπλασιασμό της έντασης με το επαναταξινομημένο grid παράχθηκε η τελική ένταση.

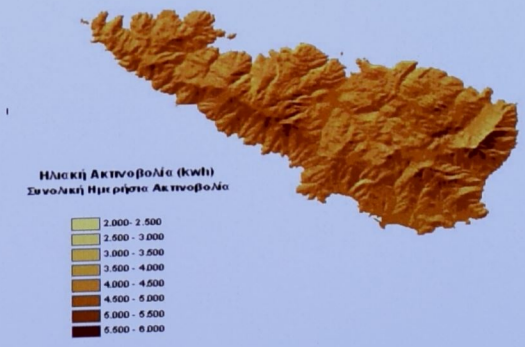
Τέλος υπολογίσθηκαν χρήσιμα ημερήσια στατιστικά στοιχεία για την διάρκεια της ημέρας, όπως η μέση τιμή έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και η συνολική ποσότητα ακτινοβολίας που δέχεται μια επιφάνεια .

Η μέση τιμή της έντασης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια επιφάνεια είναι δυνατόν να υπολογισθεί απο τον τύπο

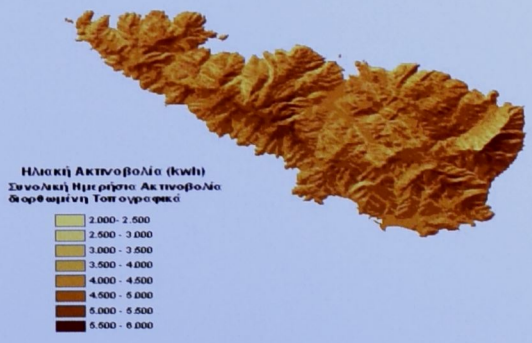
$\Sigma_{\text{ΤιμέςΕντασης}} / \mathbf{n}$ όπου $\Sigma_{\text{ΤιμέςΕντασης}}$ είναι το άθροισμα των τιμών της έντασης για το χρονικό διάστημα μελέτης ενώ n είναι το πλήθος των τιμών.

Η συνολική ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια επιφάνεια κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να υπολογισθεί με ένα ορισμένο ολοκλήρωμα της μορφής

$\int_{t1}^{t2} \mathbf{E\,dt}$ το οποιό για κάθε περιοχή υλοποιείται ως το άθροισμα της έντασης της ακτινοβολίας για το διάστημα που ορίζει το ολοκλήρωμα. Τόσο η μέση όσο και η συνολική ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας στο περιβάλλον ενός GIS υλοποιούνται με τη βοήθεια εστιακών λειτουργιών οι οποίες εφαρμόζουν στατιστικές λειτουργίες ή αλγεβρικές πράξεις στις αντίστοιχες χωρικές μονάδες.

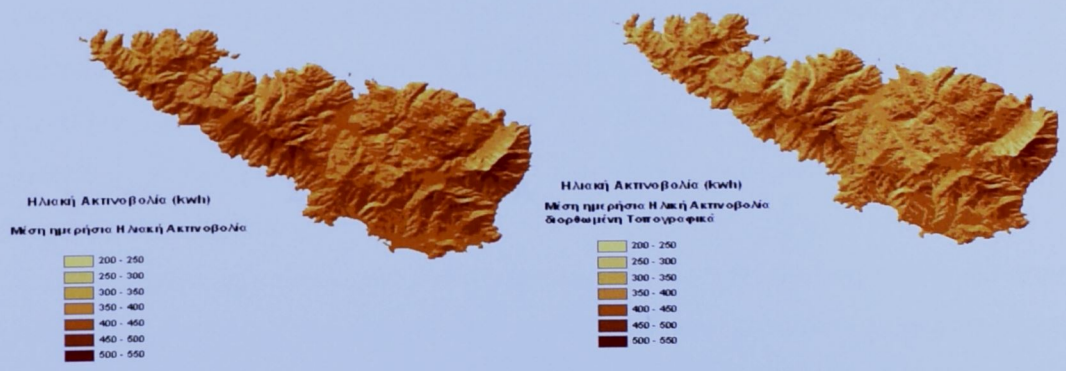


(α)



(β)

Εικόνα 32: Συνολική ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια μίας μέρας (α) χωρίς σκιάσεις (β) με σκιάσεις



(γ) (δ)

Εικόνα 33: Μέση ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια μίας μέρας (α) χωρίς σκιάσεις (β) με σκιάσεις

Από τις παραπάνω εικόνες φαίνεται πόσο η τιμή της έντασης επηρεάζεται από τυχόν εμπόδια της τοπογραφίας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την εργασία αυτή έγινε μια προσπάθεια προσέγγισης και μελέτης του φαινομένου της ηλιακής έκθεσης στο περιβάλλον ενός GIS. Η ανάπτυξη του προγράμματος και η εφαρμογή στην περιοχή μελέτης περιορίστηκε στην αλληλεπίδραση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με μια επιφάνεια του εδάφους, παρά το γεγονός ότι η εργασία στο σύνολο της μελετά εξολοκλήρου το φαινόμενο. Επομένως μια από τις προεκτάσεις του συστήματος που αναπτύχθηκε θα μπορούσε να εμπεριέχει και τον υπολογισμό των μορφών των υπόλοιπων δύο παραμέτρων της ηλιακής ακτινοβολίας (σκεδαζόμενη, ανακλώμενη) . Επίσης μία επιπλέον προέκταση θα μπορούσε να είναι η σύνδεση του συστήματος με μετεωρολογικά δεδομένα ώστε να υπολογίζεται η ηλιακή ακτινοβολία υπό την επίδραση νεφοκάλυψης. Επίσης ο υπολογισμός ενός δείκτη βλάστησης θα μπορούσε να συνεισφέρει στην δημιουργία ενός πιο ολοκληρωμένου μοντέλου στο οποίο εκτός των εμποδίων του ανάγλυφου λαμβάνεται υπόψιν και τα εμπόδια από ενδεχόμενη φυτοκάλυψη.

Όσο αφορά το επίπεδο της ανάλυσης υπάρχουν αρκετοί παράγοντες στους οποίους αξίζει να ερευνηθούν περαιτέρω όπως η ποιότητα του ψηφιακού μοντέλου εδάφους καθώς και το χρονικό διάστημα μελέτης του φαινομένου. Η ποιότητα του ψηφιακού μοντέλου εδάφους επηρεάζει τα εξαγόμενα από αυτό τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης με αποτέλεσμα να επηρεάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης αφού είναι συνάρτηση αυτών των χαρακτηριστικών. Έτσι θα μπορούσε να βγει και ένα μέτρο ακρίβειας των τιμών της ηλιακής έκθεσης.

Επίσης η επιλογή του χρονικού διαστήματος μελέτης του φαινομένου παίζει ιδιαίτερο ρόλο και σχετίζεται άμεσα με το ανάγλυφο της περιοχής και το βαθμό λεπτομέρειας της μελέτης. Έτσι σε ένα έντονο ανάγλυφο όπου η γωνία πρόσπτωσης και οι σκιές αλλάζουν συνεχώς θα ήταν απαραίτητο ένα μικρό χρονικό διάστημα., ενώ το αντίθετο θα απαιτούνταν για μια περιοχή με ομαλό ανάγλυφο. Επομένως και το διάστημα μελέτης δεν πρέπει να αφήνει αδιάφορο τον εκάστοτε ερευνητή.

Το μοντέλο που προτάθηκε και υλοποιήθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μελέτες ηλιακής έκθεσης στον ελληνικό χώρο και θα μπορούσε να εμπλουτισθεί με τις παραμέτρους που περιγράφονται παραπάνω.

Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή η εργασία αποτέλεσε ένα εισαγωγικό κομμάτι σε αυτό το μεγάλο θέμα της ηλιακής έκθεσης και ότι στο μέλλον θα γίνουν προσπάθειες

για ολοκλήρωση του μοντέλου και ενσωμάτωση του στο περιβάλλον ενός εμπορικού GIS.

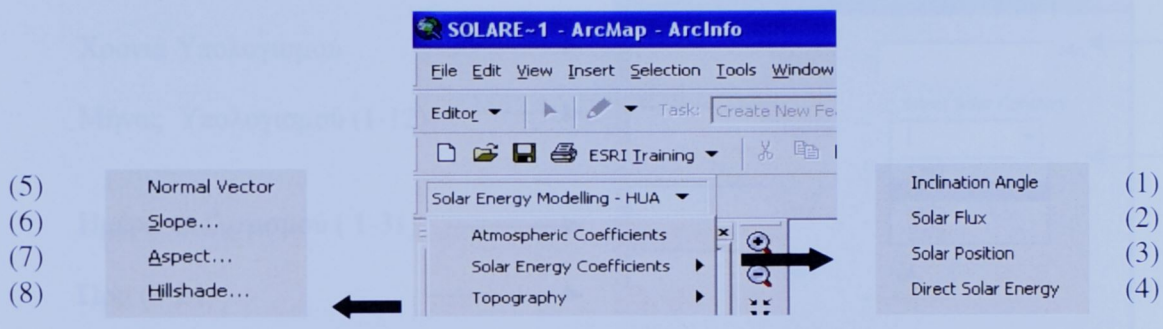
Μέσα απο αυτή την εργασία γίνονται εμφανή τα τα οφέλη απο τη χρήση της τεχνολογίας GIS στην μελέτη ανάλογων φαινομένων. Οι δομές που υποστηρίζει έν σύγχρονο GIS για την μοντελοποίηση συνεχών χωρικών φαινομένων είναι εξαιρετικά χρήσιμες για την παραγωγή επιπλέον πληροφοριών. Επίσης η ανοικτή αρχιτεκτονική που υποστηρίζουν αρκετά απο αυτά καθώς και το μοντέλο δεδομένων τους επιτρέπει την προσαρμογή ενός GIS στις ανάγκες του εκάστοτε ερεύνητη. Αυτή η δυνατότητα διευκόλυνε αρκετά την μελέτη του φαινομένου αφού αναπτύχθηκαν νέες λειτουργίες που διευκόλυναν την μελέτη του φαινομένου.

Επίσης η εφαρμογή που αναπτύχθηκε προσφέρει και απο μόνη της αρκετά οφέλη όπως είναι η δυνατότητα εφαρμογής της σε ολόκληρο των ελληνικό χώρο με αποτέλεσμα να μήν δεσμεύεται χωρικά απο ένα τόπο αλλα να είναι μιας ευρείας χρήσεως εφαρμογή ηοποία θα μπορούσε να εφαρμοσθεί σε ποικίλους τομείς όπως είναι η γεωργία, οικολογία και ενεργειακά προβλήματα.

Τέλος με αυτήν την εργασία έγινε και μια προσπάθεια ποσοτικοποίημένης μελέτης του φαινομένου, με αποτέλεσμα η γενικότερη μεθοδολογία που προτάθηκε σε αυτή την εργασία να είναι εφαρμόσιμη για την διαχείριση της ηλιακής ενέργειας,

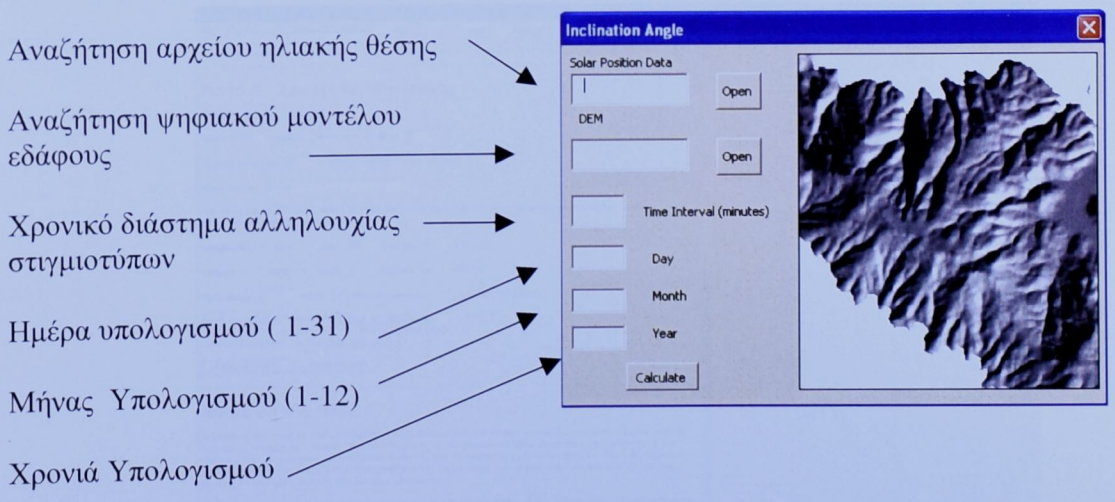
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΓΡΑΦΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ



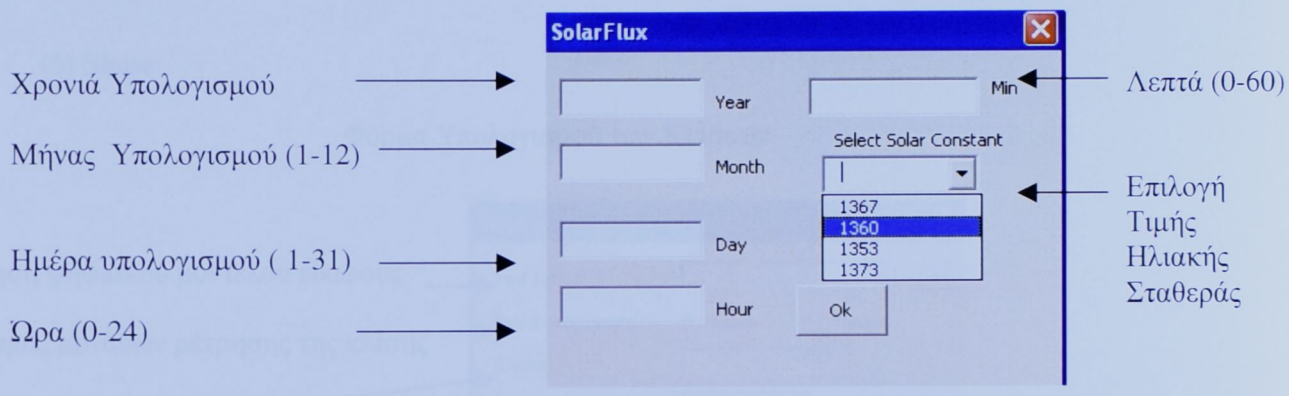
(1) Inclination Angle

Φόρμα υπολογισμού γωνίας πρόσπτωσης



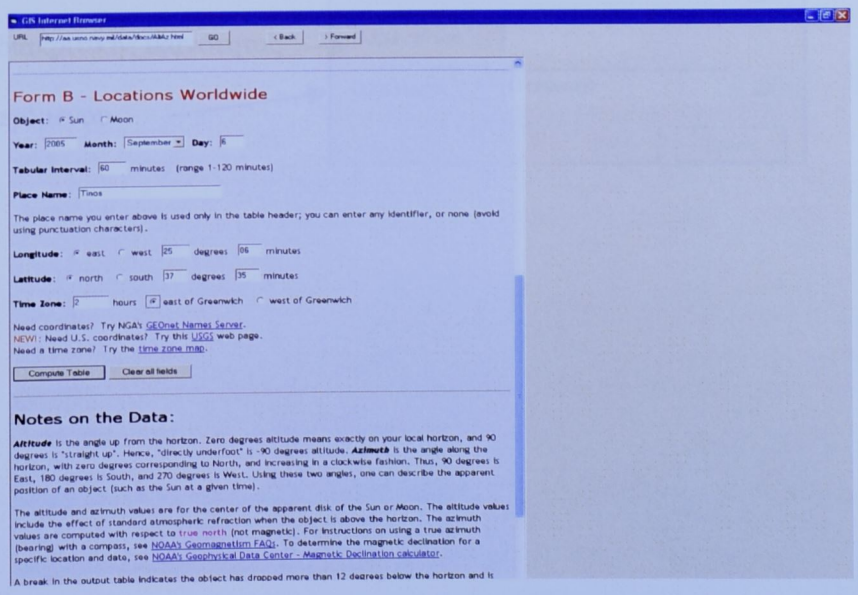
(2) Solar Flux

Φόρμα υπολογισμού τιμής εξωατμοσφαιρικής ακτινοβολίας



(3) Solar Position

Φόρμα σύνδεσης με την διαδικτυακή υπηρεσία US Naval Observatory



(6) **Slope**

Φόρμα Υπολογισμού των Κλίσεων

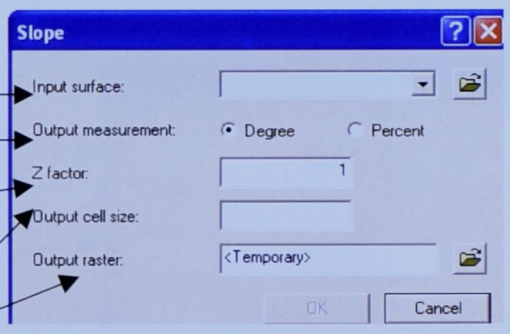
Αναζήτηση ψηφιακού μοντέλου εδάφους

Καθορισμός μονάδων μέτρησης της κλίσης

Καθορισμός υψομετρικής κλίμακας

Καθορισμός χωρικής διακριτικής ικανότητας

Αποθήκευση του παραγόμενου

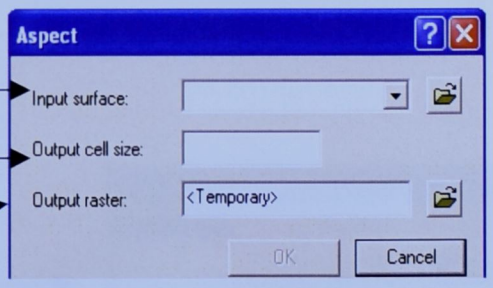


(7) **Aspect**

Αναζήτηση ψηφιακού μοντέλου εδάφους

Καθορισμός χωρικής διακριτικής ικανότητας

Αποθήκευση του παραγόμενου

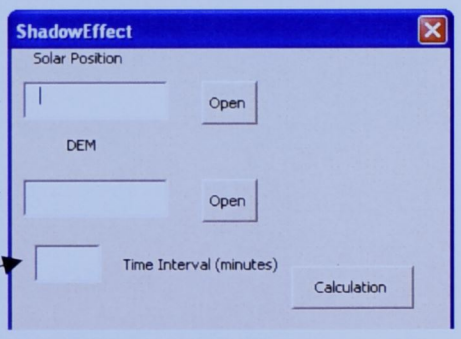


(8) **Hillshade**

Αναζήτηση αρχείου ηλιακής θέσης

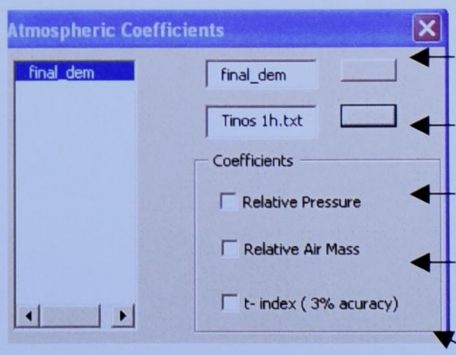
Αναζήτηση ψηφιακού μοντέλου εδάφους

Χρονικό διάστημα αλληλουχίας στιγμιοτύπων



Atmospheric Coefficients

Λίστα των ενεργών θεματικών επιπέδων του ArcMap



Αναζήτηση ψηφιακού μοντέλου εδάφους

Αναζήτηση αρχείου ηλιακής θέσης

Υπολογισμός σχετική πίεσης

Υπολογισμός σχετική αέριας μάζας

Υπολογισμός διαπερατότητας

ΚΩΔΙΚΑΣ VISUAL BASIC

Κλάση αντικειμένων περιβάλλοντος ανάλυσης

```
Private f As IRasterModel
Private An As IRasterAnalysisEnvironment
Public Property Set RasterModel_(ByVal D As IRasterModel)
Set f = D
End Property
Public Property Get RasterModel_() As IRasterModel
Set RasterModel_ = f
End Property
Public Property Set AnalEnvironment(ByVal a As IRasterAnalysisEnvironment)
Set An = a
End Property
Public Property Get AnalEnvironment() As IRasterAnalysisEnvironment
AnalEnironment = An
End Property
Private Sub CreateRasMod()
Set f = New RasterModel
End Sub
Private Sub CreateAnal(u As IRasterModel)
Dim pWS1 As IWorkspace
Dim pWSF1 As IWorkspaceFactory
Set An = u
Set pWSF1 = New RasterWorkspaceFactory
Set pWS1 = pWSF1.OpenFromFile("D:\New Test", 0)
Set An.OutWorkspace = pWS1
End Sub
Private Sub Class_Initialize()
CreateRasMod
CreateAnal f
End Sub
```

Module Τοπογραφικές Παράμετροι

```
Sub Shades(Pa As String, dia As Integer, ByVal pInRaster1 As IRaster)
Dim Time1 As Integer
Dim Time2 As Integer
Dim solAz As Double
Dim solAl As Double
Dim k As Integer
Open "D:\" & Pa For Input As #1
Input #1, Time1, Time2, solAl, solAz
HillShade pInRaster1, solAl, solAz
Do Until EOF(1)
Input #1, Time1, Time2, solAl, solAz
k = k + 1
If k = dia Then
HillShade pInRaster1, solAl, solAz
k = 0
Else
End If
Loop
Close
End Sub
```

```
Sub HillShade(ByVal p As IRaster, Als As Double, Azs As Double)
Dim ptras As IRaster
Dim psurf As ISurfaceOp
Set psurf = New RasterSurfaceOp
'Set output workspace
Dim pEnv As IRasterAnalysisEnvironment
Set pEnv = psurf
Dim pWS As IWorkspace
Dim pWSF As IWorkspaceFactory
Set pWSF = New RasterWorkspaceFactory
Set pWS = pWSF.OpenFromFile("d:\Spatial", 0)
Set pEnv.OutWorkspace = pWS
Set ptras = psurf.HillShade(p, Azs, Als, True, 1)
OutputLayers ptras
End Sub
Sub NormalVector()
 ' Get the Map
     Dim pMxDoc As IMxDocument
    Set pMxDoc = ThisDocument
    Dim pMap As IMap
    Set pMap = pMxDoc.FocusMap
' Get the input raster from the first layer in ArcMap
     Dim pRasterLy As IRasterLayer
    Dim pLy As ILayer
    Dim pInRaster As IRaster
    Set pLy = pMap.Layer(0)
    If Not TypeOf pLy Is IRasterLayer Then Exit Sub
    Set pRasterLy = pLy
    Set pInRaster = pRasterLy.Raster
  ' Create a Spatial operator
     Dim pSurOp As ISurfaceOp
    Set pSurOp = New RasterSurfaceOp
    ' Create a Spatial operator
    Dim pMathOp As IMathOp
    Set pMathOp = New RasterMathOps
    ' Set output workspace
    Dim pEnv As IRasterAnalysisEnvironment
    Set pEnv = pSurOp
    Dim pWS As IWorkspace
    Dim pWSF As IWorkspaceFactory
    Set pWSF = New RasterWorkspaceFactory
    Set pWS = pWSF.OpenFromFile("d:\totalanalysis", 0)
    Set pEnv.OutWorkspace = pWS
' Perform Spatial operation
     Dim pOutRaster As IRaster
    Set pOutRaster = pSurOp.Slope(pInRaster, esriGeoAnalysisSlopeDegrees)
    'Create constant raster
    Dim pmc As IRasterMakerOp
    Set pmc = New RasterMakerOp
    Dim prasterc As IRaster
    Set prasterc = pmc.MakeConstant(90, False)
    ' Perform Spatial operation
    Dim pOutRaster10 As IRaster
    Set pOutRaster10 = pMathOp.Plus(pOutRaster, prasterc)
    ' Add it into ArcMap
    Set pRasterLy = New RasterLayer
    pRasterLy.CreateFromRaster pOutRaster10
    pMap.AddLayer pRasterLy
End Sub
```

Module ατμοσφαιρικών παραμέτρων

```
Public index As IRaster
Public AirMass As IRaster
Public RelPress As IRaster
Public Sub RelativePressure(ByVal inp As IRaster, ByVal t As Analysis_Environment)
t.RasterModel_.BindRaster inp, "dem"
t.RasterModel_.Script = " [outputw] = (288 - (0.0065 * [dem])) / 288" + vbLf + _
                        " [final1] = pow([outputw], 5.256)"
t.RasterModel_.Execute
Set testras1 = t.RasterModel_.BoundRaster("final1")
End Sub
Public Sub RelativeAirMass(al1 As Double, ByVal z13 As IRaster, ByVal t1 As Analysis_Environment)
Dim s As Double
s = Sin(al1 * (3.14 / 180))
Dim q As Single
q = Sqr(1229 + ((614 * s) ^ 2)) - 614 * s
t1.RasterModel_.BindString q, "u"
t1.RasterModel_.BindRaster z13, "ok"
t1.RasterModel_.Script = " [f] = [u] * [ok]"
t1.RasterModel_.Execute
Set AirMass = t1.RasterModel_.BoundRaster("f")
OutputLayers AirMass
End Sub
Public Sub tindex(ByVal w As IRaster)
Dim int14 As IRasterModel
Dim pEnv14 As IRasterAnalysisEnvironment
Set int14 = New RasterModel
Set pEnv14 = int14
Dim pWS14 As IRasterWorkspace
    Dim pWSF14 As IWorkspaceFactory
    Set pWSF14 = New RasterWorkspaceFactory
    Set pWS14 = pWSF14.OpenFromFile("D:\Atmospheric\t-index", 0)
    Set pEnv14.OutWorkspace = pWS14
    int14.BindRaster w, "t"
    int14.Script = " [a] = - 0.65 * [t]" + vbLf + _
                   " [b] = -0.095 * [t]" + vbLf + _
                   " [c] = 0.56 * (exp([a]) + exp([b]))"
    int14.Execute
    Dim i As IRaster
   Set i = int14.BoundRaster("c")
End Sub
```

```
Sub tindex2(Altitude As Double, ByVal k21 As IRaster)
Dim zenithial As Double
zenithial = Cos(Altitude * 3.14 / 180)
Dim Rmdl As IRasterModel
Set Rmdl = New RasterModel
Rmdl.BindRaster k21, "elev"
Rmdl.BindString zenithial, "zen"
Rmdl.Script = "[AOA] = [elev] / 1000" + vbLf + _
              "[AOB] = 6 - [AOA]" + vbLf + _
              "[AOC] = sqr([AOB])" + vbLf + _
              "[AOD] = 0.4237 - (0.00821 * [AOC])" + vbLf + _
              "[A1A] = [AOB] + 0.5" + vbLf + _
              "[A1B] = sqr([A1A])" + vbLf + _
              "[A1C] = 0.5055 + (0.00595 * [A1B])" + vbLf + _
              "[k1A] = [A1A] - 4" + vbLf + _
              "[k1B] = sqr([k1A])" + vbLf + _
              "[k1C] = 0.2711 + (0.01858 * [k1B])" + vbLf + _
              "[nontotal] = -([k1C] / [zen])" + vbLf + _
              "[nontotal1] = exp([nontotal])" + vbLf + _
              "[teliko] = [AOD] + ([A1C] * [nontotal1])"

Rmdl.Execute
Set wqw = Rmdl.BoundRaster("teliko")
Rmdl.UnbindSymbol "teliko"
End Sub
```

Module Λειτουργιών Ηλιακής ενέργειας

```
Sub ChorochronicalDirectRAdiation(Pa As String, dia As Integer, pInRaster1 As IRaster, D As Integer, M As Integer, y As Integer
Dim Time1 As Integer
Dim Time2 As Integer
Dim solAz As Double
Dim solAl As Double
Dim k As Integer
Open "D:\" & Pa For Input As #1
Input #1, Time1, Time2, solAl, solAz
JulianDay D, M, y, Time1, Time2
Solar JD, 1367
RelativePressure pInRaster1
RelativeAirMass solAl, testras1
tindex2 solAl, pInRaster1
InclinationAngle solAl, solAz, Time
DirectSolarRadiation tesMo, i, pOutRaster1, pInRaster1, sf
Do Until EOF(1)
Input #1, Time1, Time2, solAl, solAz
k = k + 1
If k = dia Then
JulianDay D, M, y, Time1, Time2
Solar JD, 1376
RelativeAirMass solAl, testras1
tindex tesMo, solAl
InclinationAngle solAl, solAz, Time
DirectSolarRadiation tesMo, i, pOutRaster1, pInRaster1, sf
k = 0
Else
End If
Loop
Close
End Sub
```

```
Sub DirectSolarRadiation(rt1 As IRaster, rt2 As IRaster, rt3 As IRaster, dem1 As IRaster, sf1 As Double)
Dim int15 As IRasterModel
Set int15 = New RasterModel
With int15
        .BindRaster dem1, "d"
        .BindRaster rt1, "RAM"
        .BindRaster rt2, "t"
        .BindRaster rt3, "Inclination"
        .BindString sf1, "SolarFlux"
End With
int15.Script = " [a] = [RAM] * [d]" + vbLf + _
               " [b] = pow([t], [a])" + vbLf + _
               " [c] = [b] * [SolarFlux]" + vbLf + _
               " [y] = cos([Inclination] div deg)" + vbLf + _
               " [y1] = [c] * [y]"
int15.Execute
Dim i1 As IRaster
Set i1 = int15.BoundRaster("y1")
OutputLayers i1
End Sub
```

```
Sub JulianDay(Day As Integer, Month As Integer, Year As Integer, Hour As Integer, Minutes As Integer)
Dim D As Double
Dim a As Double
a = Year / 100
D = Day + (((Hour - 2) + (Minutes / 60)) / 24) 'akribia 1,5%
JD = Int(365.25 * (Year + 4716)) + Int(30.6001 * (Month + 1)) + D + 2 - a + Int(a / 4) - 1524.5
End Sub
```

```
Sub Solar(Day As Double, u As Double)
sf = u * (1 + 0.034 * Cos(360 * Day / 365))
End Sub
```

```
Public InclinRaster As IRaster
 Sub InclinationAngle(Al As Double, a As Double, ByVal inp As IRaster, pRasModel As Analysis_Environment)
'Get the focused map from MapDocument
    Dim sdA As Double
    Dim cdA As Double
    Dim sdAz As Double
    Dim cdAz As Double

'Calculate Trigonometric Values for Solar Coord
sdA = Sin(Al * 3.14 / 180)
cdA = Cos(Al * 3.14 / 180)
sdAz = Sin(a * 3.14 / 180)
cdAz = Cos(a * 3.14 / 180)
    'Bind the input raster, solar coordinate variables
    pRasModel.RasterModel_.BindRaster inp, "input1"
    pRasModel.RasterModel_.BindString Al, "Altitude"
    pRasModel.RasterModel_.BindString a, "Azimuth"
    pRasModel.RasterModel_.BindString sdA, "sinusAl"
    pRasModel.RasterModel_.BindString cdA, "cosineAl"
    pRasModel.RasterModel_.BindString sdAz, "sinusAz"
    pRasModel.RasterModel_.BindString cdAz, "cosineAz"
    'Specify map algebra expression, use vbLf to create seperate lines
    pRasModel.RasterModel_.Script = "[out1] = slope([input1])" + vbLf + _
                    "[out2] = cos([out1] div deg) * [sinusAl]" + vbLf + _
                    "[out3] = aspect([input1])" + vbLf + _
                    "[out4] = [Azimuth] - [out3]" + vbLf + _
                    "[out5] = cos([out4] div deg)" + vbLf + _
                    "[out6] = sin([out1] div deg) + [cosineAl]" + vbLf + _
                    "[out7] = [out2] + [out6] * [out5]" + vbLf + _
                    "[out8] = acos([out7]) * deg"

    'Execute map algebra expression(s)
    pRasModel.RasterModel_.Execute
    'Get output rasters

    Set InclinRaster = pRasModel.RasterModel_.BoundRaster("out8")


    'Unbind input raster
    pRasModel.UnbindSymbol "input1"
End Sub
```

Module Διαχείρισης Layer

```
Public tesMo As IRaster
Public testras1 As IRaster
Public pMxDoc As IMxDocument
Public pMap As IMap
Public GetRas As IRaster
Public ARL As IRasterLayer
Public ArcLayer As ILayer
Public ArcLayer1 As ILayer
Public R1 As IRasterLayer
Public fgh As AtmosphericParameters
Public fgh1 As SpatiotemporalProcedure
Public fgh2 As Topography
Public ane As Analysis Environment
```

```
Sub GetDoc(D As MxDocument)
Set pMxDoc = D
Set pMap = pMxDoc.FocusMap
End Sub
```

```
Public Sub ArcRasterLayer(Lbox As ListBox)
Dim L As Integer
For L = 0 To pMap.LayerCount - 1
Set ArcLayer = pMap.Layer(L)
If TypeOf ArcLayer Is IRasterLayer Then
Set ARL = ArcLayer
Lbox.AddItem ARL.Name, L
Else
End If
Next L
End Sub
```

```
Sub TakeRasterLayer(LBox1 As ListBox)
Set ArcLayer = pMap.Layer(LBox1.ListIndex)
Set R1 = ArcLayer
Set GetRas = R1.Raster
End Sub
```

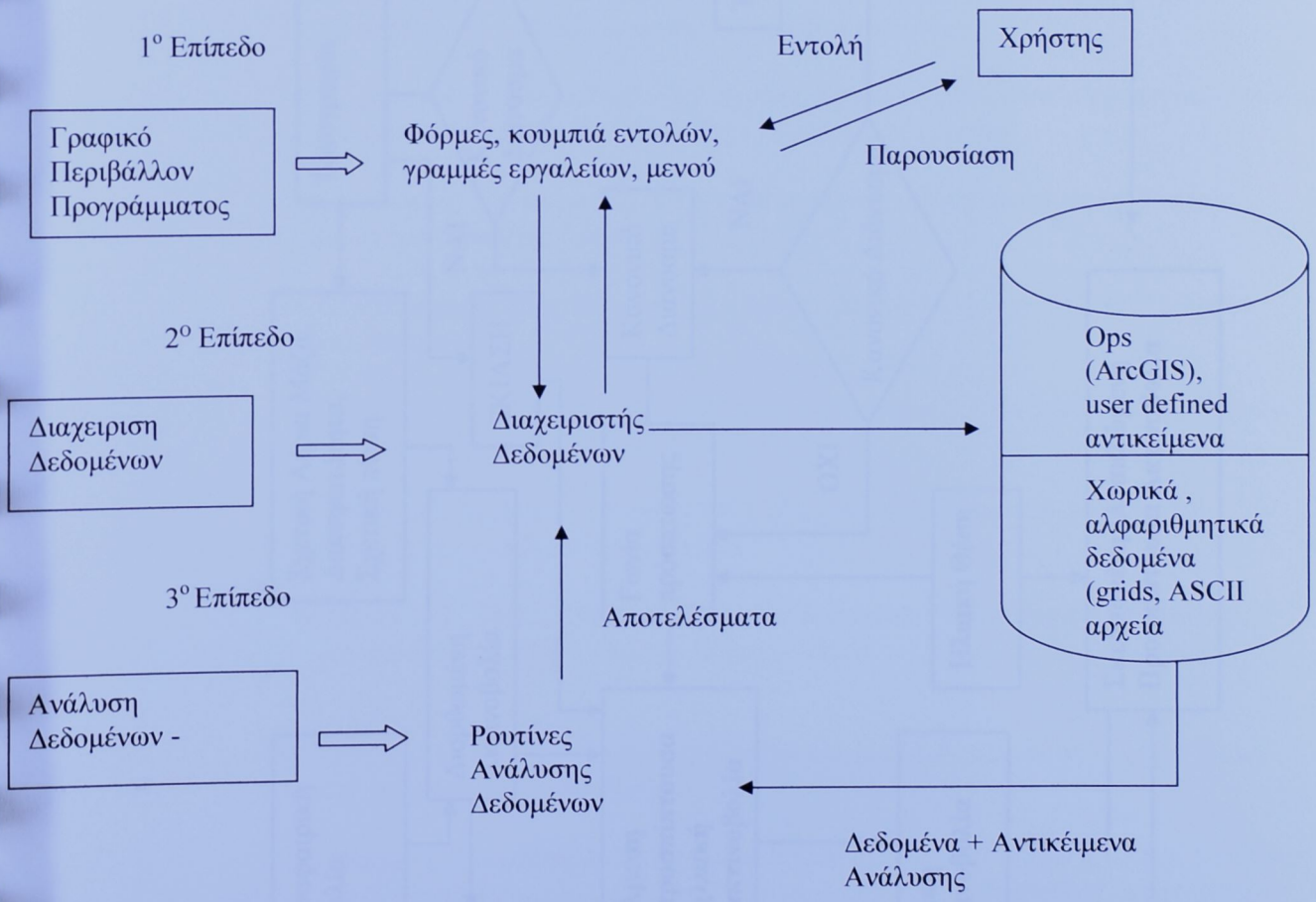
```
Sub OutputLayers(L As IRaster)
Dim pOutRasLayer As IRasterLayer
Set pOutRasLayer = New RasterLayer
pOutRasLayer.CreateFromRaster L
pMap.AddLayer pOutRasLayer
End Sub
```

```
Sub OutputLayers(r As IRaster)
Dim pOutRasLayer As IRasterLayer
Set pOutRasLayer = New RasterLayer
pOutRasLayer.CreateFromRaster testras
pMap.AddLayer pOutRasLayer
End Sub
```

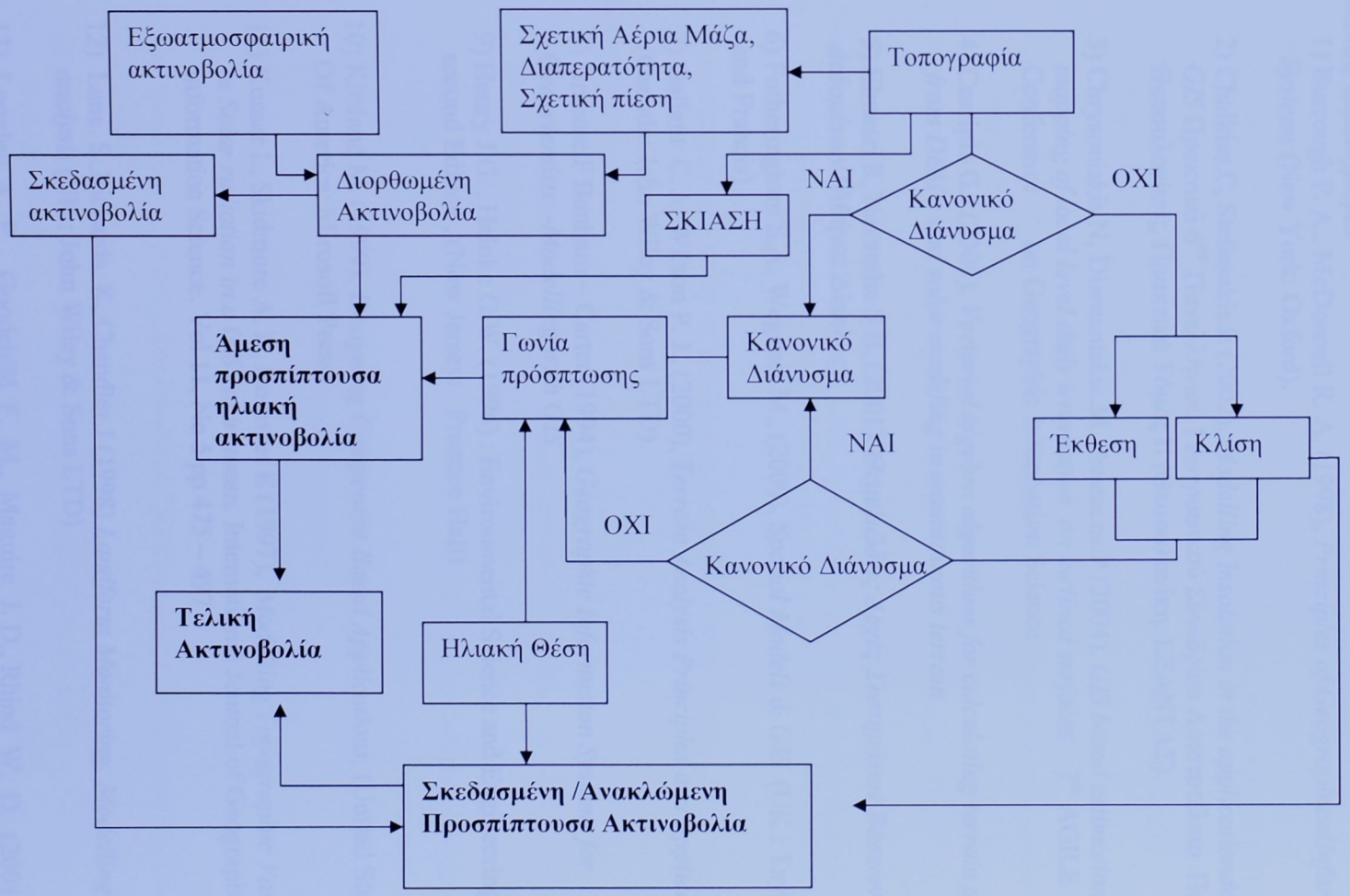
Module Διαχείρισης αρχείων του συστήματος (grids, ascii)

```
Option Explicit
Public GetWorkspacePath As String
Public q As String
Public f As IRaster
Public Sub OpenDialog(ftext As TextBox)
'This is a general purpose sub-routine for browsing spatial and non-spatial Datasets
'Note : Reference to the ArcCatalog Object Library is needed for earlier editions of ArcGIS
Dim pobject As IGxObject
Dim pclone As esriSystem.IClone
Dim opdig As IGxDialog 'Interface Declaration for GxDialog object handling
Set opdig = New GxDialog 'Creation of the GxDialog object and assignment of its interface
Dim pfiltercol As IGxObjectFilterCollection 'Interface Declaration for GxObjectFilterCollection object handling
Dim ptxtf As IGxObjectFilter 'Interface Declaration for GxObjectFilter object handling
Dim prasterf As IGxObjectFilter 'Interface Declaration for another GxObjectFilter object handling
Dim penum As IEnumGxObject 'Interface Declaration for IEnumGxObject object handling
Set ptxtf = New GxFilterTextFiles 'Creation of the GxFilterTextFiles object and interface assignment
Set prasterf = New GxFilterRasterDatasets 'Creation of the GxFilterRasterDatasets object and interface assignment
Set pfiltercol = opdig 'QI for IGxObjectFilterCollection from a dialog object
pfiltercol.AddFilter ptxtf, True 'Addition of filefilters
pfiltercol.AddFilter prasterf, False ' >>
opdig.DoModalOpen 0, penum 'Open the DialogBox
Dim inertcat As IGxCatalog 'Interface Declaration for GxCatalog object handling for dialog's internal catalog
Set inertcat = opdig.InternalCatalog 'Get internal catalog
Set pobject = inertcat.SelectedObject 'Get Selected object
ftext.Text = pobject.Name 'Assign object's directory path to textbox
q = ftext.Text
Dim testf As IGxObjectFilter
Set testf = New GxFilterDatasets
Set testf = opdig.ObjectFilter
If testf Is prasterf Then
GetObject pobject
End If
End Sub
Sub GetObject(o As IGxObject)
Dim r As String
r = Left(o.FullName, 3)
Dim rws As IWorkspaceFactory
Dim pwi As IRasterWorkspace
Set rws = New RasterWorkspaceFactory
Set pwi = rws.OpenFromFile(r, 0)
Dim rsd As IRasterDataset
Set rsd = pwi.OpenRasterDataset(q)
Set f = New Raster
Set f = rsd.CreateDefaultRaster
End Sub
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β



Σχήμα 20: Αρχιτεκτονική του Προγράμματος


Εξωατμοσφαιρική ακτινοβολία
Σχετική Αέρια Μάζα, Διαπερατότητα, Σχετική πίεση
Τοπογραφία
Σκεδασμένη ακτινοβολία
Διορθωμένη Ακτινοβολία
ΝΑΙ
ΟΧΙ
ΣΚΙΑΣΗ
Κανονικό Διάνυσμα
Άμεση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία
Γωνία πρόσπτωσης
Κανονικό Διάνυσμα
ΝΑΙ
Έκθεση
Κλίση
ΟΧΙ
Κανονικό Διάνυσμα
Τελική Ακτινοβολία
Ηλιακή Θέση
Σκεδασμένη /Ανακλώμενη Προσπίπτουσα Ακτινοβολία

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

1) Burrough P. A., McDonnell R. A. (1998), *Principles of GeographicalInformation Systems* (New York: Oxford).

2) Chalkias.C, Stefanakis.E (2002), *Modelling Insolation in the applicationdomain of GIS* Πρακτικά 6ου Πανελλήνιου Γεωγραφικού Συνεδρίου Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πρακτικά Τόμος ΙΙ (Θεσσαλονίκη: ΕΞΑΝΤΑΣ).

3) Chrysoulakis.N, Diamantakis.M, Prastacos.P (2004), *GIS based estimation and mapping of local level daily irradiation on inclined surfaces* 7th AGILE Conference on Geographic Information Science

4) Corripio G.J (2004), *Vectorial algebra algorithms for calculating terrain parameters from DEM's and solar modeling in mountainous terrain*

5) Elmasri R, Navanthe S.B, (2001), *Θεμελιώδεις Αρχές Συστημάτων Βάσεων Δεδομένων* (Αθήνα: Δίαυλος)

6) Fotheringham S.A, Wegener M., (2000), *Spatial Models & GIS* (UK : Taylor and Francis)

7) Gallant C. J., Wilson P. J., (2000), *Terrain Analysis Principles and Applications* (Canada: John Wiley & Sons LTD)

8) Graeme.F Bonham – Carter (1994), *Geographic Information Systems for Geoscientists -Modelling with GIS*

9) Henry J.G. , Heinke G.W. (1996) : Environmental Science and Engineering , second Edition , (New Jersey: Prentice Hall)

10) Kirtland M. (1999), *Designing Component Based Applications,* (United States Of America: Mirosoft Press)

11) Kumar L, Skidmore A. K, Knowles E (1997), *Modelling Topographic Variation in Solar radiation in a GIS environmen,* International Journal of Geographical Information Science. Vol 11, No 5 pp 475 – 497

12) Lane. S.,Richards. K, Chandler.J (1998) *Landform Monitoring, Modelling and analysis* (UK : John Wiley & Sons LTD)

13) Longley A. P. , Goodchild F. M., Maguire J. D., Rhind W. D. (2001), *Geographic Information Systems and Science,*(England: John Wiley & Sons LTD).

14) Miller G. T (1999), *Βιώνοντας στο Περιβάλλον I & II* (Αθήνα: Ίων)

15) Open GIS Consortium Inc (1999), *Open GIS Simple features Specification for OLE/COM Revision 1.1*

16) Szyperski C. (1998), *Component Software Beyond Object – Oriented Programming* (England : Addison Wesley)

17) Tempfli.K, Tuladhar.A.M (1991), *Lecture notes on digital terrain modeling,* (Netherlands : ITC)

18) Stefanovic.P (1988), *Digital elevation Models,* (Netherlands : ITC)

19) Van Ash.T (2003), <<FORGAP: A model for solar radiation, evapotranspiration and soil water dynamics in tropical rain forests gaps Zeiler Michael (2001), *Exploring ArcObjects Vol 1*& 2 United States of America : ESRI Press

20) Walvaren .R (1977) << Calculating the position of the sun>> *Solar Energy,* Vol. 20 393 - 397

Ελληνική Βιβλιογραφία

1) Αναγνωστόπουλος. Δ (2003), *Προσομοίωση* σημειώσεις του μαθήματος Προσομοίωσης , Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών

2) Βέης Γ, Μπιλλήρης Χ, Παπαζήση Κ, (1990), *Ανώτερη Γεωδαισία (*Αθήνα: ΕΜ.Π)

3) Κουτσόπουλος Κ. (2002), *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου* (Αθήνα : Παπασωτηρίου)

4) Μανιάτης Ι. (1996), *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Γης - Κτηματολογίου* (Θεσσαλλονίκη : Ζήτη)

4) Μαυρίδης Λ. (1995), *Αστρονομικοί Προσδιορισμοί Θέσεως* (Θεσσαλονίκη : Ζήτη)

5) Μερτίκας. Σ. Π. (1999), *Τηλεπισκόπιση και Ψηφιακή ανάλυση Εικόνας* (Αθήνα: Ίων)

6) Μπεμ.Α, Καραμπατζος Γ (2000) *Εισαγωγή στην Πληροφορική* (Αθήνα : Συμμετρία)

7) Νάκος Β. (1999), *Αναλυτική Χαρτογραφία (*Αθηνα: Ε.Μ.Π)

8) Στεφανάκης Μ, (2003), *Βάσεις Γεωγραφικών Δεδομένων και Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών* (Αθήνα : Παπασωτηρίου)

9) Φουμέλης.Μ, (2004), *Χρήση ΣΓΠ και Τηλεπισκόπισης για την εκπόνηση χαρτών επικυνδινότητας σε κατολισθητικά και πλημμυρικά φαινόμενα* μεταπτυχιακή διπλωματική Πανεπιστήμιο Αθηνών τμήμα Γεωλογίας

10) Ψυλόγλου.Ε.Β (1997), *Συμβολή στις ατμοσφαιρικές μεθόδους υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας στο έδαφος* διδαδακτορική διατριβή Πανεπιστήμιο Αθηνών τμήμα Φυσικής

Διαδικτυακοί Τοποι

http://www.visualbasicbooks.com
http://vb.mvps.org
http://msdn.microsoft.com
http://odmg.org

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

14112