



Ανάπτυξη κώδικα σε περιβάλλον GIS για τον υπολογισμό του Βαθμού Μεταβολής Αναγλύφου από επιφανειακές εκμεταλλεύσεις

The image shows a GIS workflow diagram and a TRAC dialog box. The workflow includes steps like 'Original Surface (Shapefile)', 'Final Surface (Shapefile)', 'Boundaries (Shapefile)', and 'doTRA'. The TRAC dialog box shows input fields for these files and an 'OK' button.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Κωνσταντίνος Χριστόπουλος

Επιβλέπουσα: Μενεγάκη Μαρία,
Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2014

(σελίδα σκόπιμα κενή)



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΩΔΙΚΑ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ GIS ΓΙΑ ΤΟΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ
ΑΠΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χριστόπουλος Κωνσταντίνος

Επιβλέπουσα: Μενεγάκη Μαρία, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την Τριμελή Επιτροπή στις/...../2014

Μενεγάκη Μαρία, Επίκουρη Καθηγήτρια

Δαμίγος Δημήτριος, Επίκουρος Καθηγητής

Μιχαλακόπουλος Θεόδωρος, Επίκουρος Καθηγητής

Αθήνα, Νοέμβριος 2014

Copyright © Χριστόπουλος Ι. Κωνσταντίνος 2014
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης.

*«...βρίσκουμε τη φλέβα,
που φτάνει στην καρδιά της άνοιξης,
χαμογελάμε...»*

Γ. Ρίτσος

*Στους αγώνες του Φοιτητικού μας Συλλόγου...
Στον Αριστερό Χώρο Μεταλλειολόγων ΜΕΤαλλουργών...*

Πρόλογος

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει αναδειχτεί ως πρόβλημα μείζονος σημασίας η προσβολή του τοπίου από τα μεταλλευτικά έργα. Αντικείμενο της διπλωματικής είναι η δημιουργία ενός εύχρηστου εργαλείου για τον ποσοτικό προσδιορισμό της μεταβολής του αναγλύφου από επιφανειακές εκμεταλλεύσεις, αξιοποιώντας τη μεθοδολογία LETOPID.

Η Διπλωματική Εργασία δομείται ως ακολούθως:

- Στο 1^ο Κεφάλαιο της εργασίας, αναφέρονται βασικά στοιχεία για την αλλοίωση του τοπίου από τη μεταλλευτική δραστηριότητα, καθώς και για τη μεθοδολογία προσδιορισμού της μεταβολής που προκαλείται στο ανάγλυφο από υπαίθριες εκμεταλλεύσεις σύμφωνα με την μεθοδολογία “LETOPID”.
- Στο 2^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, το λογισμικό ArcGIS και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την ανάπτυξη του εργαλείου αυτοματοποίησης της διαδικασίας υπολογισμού της μεταβολής του αναγλύφου.
- Στο 3^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η γλώσσα Python (ιστορικά, χαρακτηριστικά) - η οποία χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία κώδικα που αποτελεί μέρος του εργαλείου – και η δομή του κώδικα.
- Στο 4^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής του εργαλείου που αναπτύχθηκε.
- Στο 5^ο Κεφάλαιο η εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα.

Η ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δε θα ήταν δυνατή χωρίς την βοήθεια ορισμένων προσώπων, η συμβολή των οποίων υπήρξε καθοριστική προκειμένου να διεκπεραιωθεί αυτή η εργασία.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα της εργασίας κυρία Μενεγάκη Μαρία, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΜΠ, γιατί χωρίς την γενναιόδωρη συνδρομή της, τη συνεχή καθοδήγηση και τις επιστημονικές γνώσεις που μου παρείχε, δε θα ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί η εργασία αυτή. Την ευχαριστώ ακόμη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ’ όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω και στον κύριο Δαμίγο Δημήτρη, Επίκουρο Καθηγητή ΕΜΠ και μέλος της τριμελούς επιτροπής, για την συνεργασία που ανέπτυξε μαζί μου και για τις πολύτιμες γνώσεις που μου παρείχε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, όπως επίσης για τη συμμετοχή του στην τριμελή επιτροπή.

Επιθυμώ να ευχαριστήσω επίσης τον Γιώργο Παναγιωτόπουλο, υποψήφιο διδάκτορα της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών και μέλος του εργαστηρίου Μεταλλευτικής Τεχνολογίας & Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής, για τις πολύτιμες συμβουλές που μου παρείχε στον τομέα του λογισμικού ArcGIS.

Τέλος, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω ορισμένα μέλη της κοινότητας GIS StackExchange που ήταν πολύ πρόθυμα να μελετήσουν κομμάτια του κώδικα που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον Python και να με συμβουλεύσουν πάνω στην σωστή αποσφαλμάτωσή του. Στα πλαίσια αυτά, ευχαριστώ τους χρήστες PolyGeo, Joseph, fluidmotion και HavardMoe.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη κώδικα σε περιβάλλον GIS, με στόχο την αυτοματοποίηση της διαδικασίας εκτίμησης και υπολογισμού της μεταβολής του αναγλύφου σε υπαίθριες εκμεταλλεύσεις, που αποτελεί μέρος της μεθοδολογίας "LETOPID".

Για το σκοπό αυτό, αναπτύχθηκε ένα εργαλείο συμβατό με το λογισμικό ArcGIS 10.1 (ή νεότερη έκδοση) της ESRI, που ονομάστηκε "TRAC" (Topographic Relief Alteration Calculator – Υπολογισμός Μεταβολής Αναγλύφου). Το εργαλείο αυτό αναπτύχθηκε μέσα από την δημιουργία ενός μοντέλου που αποτελείται από ροές εργασιών γεωεπεξεργασίας και στατιστικής ανάλυσης και επιτρέπει την ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων που προκαλούνται από τη μεταλλευτική δραστηριότητα στο αρχικό ανάγλυφο της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, αποτελείται από (i) είκοσι τέσσερα παραμετροποιημένα εργαλεία γεωεπεξεργασίας για την δημιουργία των επιφανειών με την απαιτούμενη πληροφορία και (ii) έναν κώδικα 750 γραμμών, δομημένο σε γλώσσα προγραμματισμού Python. Μέσα από την εκτέλεση μιας σειράς μαθηματικών συναρτήσεων, διενεργείται η στατιστική ανάλυση των γεωγραφικών χαρακτηριστικών των επιφανειών και υπολογίζεται ο βαθμός μεταβολής αναγλύφου.

Συμπερασματικά, προκύπτει πως μέσα από την ανάπτυξη του εργαλείου "TRAC", αυτοματοποιείται ο προσδιορισμός του Βαθμού Μεταβολής του αρχικού αναγλύφου από επιφανειακές εκμεταλλεύσεις. Ο χρήστης του εργαλείου χωρίς ιδιαίτερη εμπειρία σε λογισμικά ΓΣΠ μπορεί να εξάγει την σχετική πληροφορία ενώ ταυτόχρονα μειώνεται δραστικά ο απαιτούμενος χρόνος εκτέλεσης της μεθοδολογίας. Τέλος, διασφαλίζεται η επαναληψιμότητα και αντικειμενικότητα στην εκτέλεση της διαδικασίας, αφού όλα τα ενδιάμεσα στάδια είναι τυποποιημένα.

Abstract

Aim of the present thesis is the development of a code in GIS environment, in order to automate the process of assessing and calculating the alteration of topographic relief due to surface mining operations, which is part of the methodology "LETOPID".

To this end, a tool compatible with the software ArcGIS 10.1 (or later) of ESRI was developed and named "TRAC" (Topographic Relief Alteration Calculator). The tool was developed through the creation of a model consisting of geoprocessing workflows and statistical analysis allowing the quantification of the effects caused by the mining activity in the original landscape. More specifically, it consists of (i) twenty-four parameterized geoprocessing tools for creating surfaces with the required information, and (ii) a source code of 750 lines, structured in Python programming language, which by executing a series of mathematical functions, performs statistical analysis of geographical characteristics of surfaces and calculates the degree of topographic relief alteration.

In conclusion, it appears that through the development of the tool "TRAC", the quantification of the degree of TRA from surface mining activities is automated. The user of the tool, without much experience in GIS software, can obtain the relative information of the change in the landscape. Simultaneously, the time required for the implementation of the methodology is radically reduced. Finally, the developed tool ensures repeatability and objectivity in performing the procedure, since all intermediate stages are standardized.

Περιεχόμενα

<i>Εισαγωγή: Η αλλοίωση του τοπίου από τη μεταλλευτική δραστηριότητα.....</i>	<i>1</i>
<i>Κεφ.1 Στοιχεία για την ανάλυση του τοπίου και εκτίμηση της μεταβολής του αναγλύφου σύμφωνα με την μεθοδολογία LETOPID</i>	<i>4</i>
1.1 Ορισμοί και αντιλήψεις για τη διαχείριση του τοπίου	4
1.1.1 Η ιστορία της έννοιας του τοπίου στο Δυτικό κόσμο	4
1.1.2 Ορισμοί για το τοπίο και την αισθητική του στον 20 ^ο αιώνα	5
1.2 Κύρια χαρακτηριστικά του τοπίου	9
1.2.1 Ταξινόμηση του τοπίου	9
1.2.2 Οπτικά στοιχεία	9
1.3 Περιβαλλοντική νομοθεσία και τοπίο.....	12
1.4 Προσδιορισμός δεικτών για τον ποσοτικό προσδιορισμό της μεταβολής του αναγλύφου (TRA – Topographic Relief Alteration, από μεθοδολογία LETOPID)	16
1.4.1 Η σημασία του προσδιορισμού της μεταβολής του αναγλύφου.....	16
1.4.2 Προσδιορισμός των παραμέτρων μεταβολής αναγλύφου στο μοντέλο εκτίμησης.....	16
<i>Κεφ.2 Ανάπτυξη αυτοματοποιημένου μοντέλου σε περιβάλλον arcGIS 10.1 για την εκτίμηση των επιπτώσεων στο τοπίο από μεταλλευτικά έργα.....</i>	<i>31</i>
2.1 Εισαγωγή στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ).....	31
2.1.1 Ιστορικά Στοιχεία.....	31
2.1.2 Ορισμός	31
2.1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΓΣΠ	36
2.2 Εισαγωγή στο ArcGIS	37
2.2.1 Λογισμικά ArcGIS	37
2.2.2 ArcGIS - Desktop	38
2.2.3 ArcGIS Extensions.....	43
2.3 Δημιουργία (κατασκευή) του μοντέλου - Model Builder.....	45
2.3.1 Εισαγωγή.....	45
2.3.2 Το μοντέλο “TRAC” (Topographic Relief Alteration Calculator)	45

<u>Κεφ.3 Προγραμματισμός σε περιβάλλον Python</u>	65
3.1 Η γλώσσα Python	66
3.1.1 Χαρακτηριστικά της Python	66
3.1.2 Η ιστορία της Python	70
3.1.3 Χρήσεις Python	71
3.1.4 Συμπληρωματικά στοιχεία για την Python.....	72
3.2 Το πρόγραμμα “dotra.py”	84
3.2.1 Εισαγωγή.....	84
3.2.2 Ο κώδικας του προγράμματος	84
<u>Κεφ.4 Εφαρμογή του εργαλείου “TRAC”</u>	100
<u>Κεφ.5 Συμπεράσματα – Σχολιασμός</u>	104
Βιβλιογραφία	106
Παράρτημα I	112
Παράρτημα II	116

Εισαγωγή

Η αλλοίωση του τοπίου από τη μεταλλευτική δραστηριότητα

Από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα, η μεταλλευτική δραστηριότητα έχει επιτελέσει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη και στην πρόοδο της κοινωνίας. Μπορεί να ειπωθεί, πως η ίδια η ύπαρξη της σύγχρονης κοινωνίας είναι άρρηκτα συνδεδεμένη και εξαρτάται από την ύπαρξη της μεταλλευτικής δραστηριότητας καθώς οι σύγχρονες ανάγκες (ακόμα και αν αυτές περιοριστούν στις ουσιαστικές και απαλλαχθούν από τις περιπτώσεις) απαιτούν την παραγωγή ορυκτών πρώτων υλών. Παρ' όλα αυτά, η μεταλλευτική δραστηριότητα έχει ορατές επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον.

Ως πρόβλημα μείζονος σημασίας έχει αναδειχτεί τις τελευταίες δεκαετίες η προσβολή του τοπίου από μεταλλευτικά έργα. Σύμφωνα με τους Down & Stocks (1978), Sengupta (1993) και Balkau (1995), η μεταλλευτική δραστηριότητα, από τις πρώτες συστηματικές προσπάθειες εξόρυξης ορυκτών πρώτων υλών, συνοδεύεται με το πρόβλημα της αλλοίωσης των χαρακτηριστικών του τοπίου.

Ο Gagen (1992) αναφέρει ότι η "σύγχρονη μεταλλευτική δραστηριότητα είναι ικανή να μεταβάλλει το φυσικό τοπίο περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη δραστηριότητα σε καιρό ειρήνης". Ο Sengupta (1993), χαρακτηρίζει τη μεταλλευτική ως «...μία από τις πλέον ορατές και καταστροφικές δραστηριότητες λόγω των φυσικών και αισθητικών επιπτώσεων που προκαλεί» και για το λόγο αυτό θεωρεί ότι πρέπει να προσδίδεται ιδιαίτερη προσοχή «στην καταστροφή του τοπίου και την υποβάθμιση του οπτικού περιβάλλοντος». Αντίστοιχες απόψεις έχουν εκφραστεί από τους Marcus (1997) και Danni (1997), οι οποίοι θεωρούν τη μεταλλευτική ως μια «έντονα ορατή δραστηριότητα». Ο MacDonell (1997) υποστηρίζει ότι οι επιπτώσεις στο τοπίο επιδρούν δυσμενώς στην εικόνα που σχηματίζει το κοινωνικό σύνολο για την εξορυκτική βιομηχανία, ενώ ο Turner (1998) τονίζει ότι «οι αισθητικές επιπτώσεις από τη μεταλλευτική δραστηριότητα δεν πρέπει να υποτιμώνται σε καμία περίπτωση» και επισημαίνει το θέμα της «κακής κληρονομιάς» των εκατοντάδων χιλιάδων

ανενεργών εκμεταλλεύσεων, οι οποίες έχουν αφήσει ανεξίτηλα τα σημάδια τους μέχρι σήμερα (Μενεγάκη, 2003).

Σύμφωνα με τους Καλιαμπάκος & Δαμίγος (1998a), η σημασία των επιπτώσεων στο τοπίο είναι αναγνωρισμένη από το σύνολο του μεταλλευτικού κλάδου και αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της σύγχρονης περιβαλλοντικής νομοθεσίας.

Η εξορυκτική δραστηριότητα, δεν είναι a priori επικίνδυνη ούτε a priori περιβαλλοντικά ασύμφορη. Η αναμενόμενη «βλάβη» σήμερα στο τοπίο, μπορεί να είναι υπό προϋποθέσεις περιορισμένη, προσωρινή και αναστρέψιμη.

Η Μενεγάκη (2003) αναφέρει πως «η έρευνα στο συγκεκριμένο πεδίο είναι μέχρι σήμερα περιορισμένη, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με το ενδιαφέρον που εμφανίζεται για αυτό, με αποτέλεσμα κάθε μια περίπτωση να αντιμετωπίζεται ad hoc».

Οι λόγοι που η κάθε περίπτωση αντιμετωπίζεται ad hoc και όχι με μία γενικευμένη μεθοδολογία είναι διότι υπάρχουν μία σειρά από δυσκολίες τόσο στην εκτίμηση των επιπτώσεων στο τοπίο, όσο και στην εξεύρεση αποτελεσματικών και κοινών αποδεκτών λύσεων.

Οι κυριότερες δυσκολίες που εντοπίζονται στην εκτίμηση των επιπτώσεων στο τοπίο, είναι οι ακόλουθες:

- i. Δεν υπάρχουν μέχρι σήμερα κοινά αποδεκτές μεθοδολογίες, οι οποίες να μπορούν να εκτιμήσουν με αντικειμενικό τρόπο το μέγεθος των μεταβολών που επιφέρει μια εκμετάλλευση στο τοπίο.
- ii. Μολονότι η σύγχρονη περιβαλλοντική νομοθεσία απαιτεί την προστασία του τοπίου σε ισότιμη βάση με τους υπόλοιπους φυσικούς πόρους, δεν υπάρχουν σαφώς προσδιορισμένα και γενικά αποδεκτά κριτήρια και μεθοδολογίες εκτίμησης, όπως συμβαίνει π.χ. με την ποιότητα του αέρα, του πόσιμου νερού, κ.λπ.
- iii. Η αισθητική αλλοίωση του τοπίου εντάσσεται στην κατηγορία των προβλημάτων «ευζωίας». Κατά συνέπεια, είναι εξαιρετικά δύσκολο να οριστεί ένα αποδεκτό επίπεδο «ρύπανσης» του τοπίου. (Μενεγάκη, 2003)

Οι δυσκολίες αυτές αποτελούν τροχοπέδη στην εξεύρεση αποτελεσματικών και κοινά αποδεκτών λύσεων. Ορισμένες, όμως, βασικές παράμετροι του προβλήματος πιέζουν προς αυτή την κατεύθυνση, ήτοι:

- i. τα ειδικά χαρακτηριστικά του μεταλλευτικού κλάδου, τα οποία αποκτούν βαρύτητα για το πρόβλημα, ιδιαίτερα στις αναπτυγμένες χώρες¹
- ii. το διαρκώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για το τοπίο, απόρροια και της γενικότερης περιβαλλοντικής αφύπνισης των τελευταίων δεκαετιών
- iii. οι αναγνωρισμένες πλέον κοινωνικο-οικονομικές συνιστώσες του προβλήματος της οπτικής ρύπανσης, οι οποίες σε αρκετές περιπτώσεις οδήγησαν στην άρση της λειτουργίας των εκμεταλλεύσεων². (Μενεγάκη, 2003)

Με βάση τα παραπάνω, το Εργαστήριο Μεταλλευτικής Τεχνολογίας και Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής έχει αναπτύξει μία μεθοδολογία για την ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων στο τοπίο από τα μεταλλευτικά έργα γνωστή με την ονομασία “LETOPID” (Μενεγάκη, 2003; Menegaki & Kaliampakos, 2005; Menegaki & Kaliampakos, 2006; Menegaki & Kaliampakos, 2012). Η μεθοδολογία “LETOPID” έχει σαν βασικές παραμέτρους ^(α) την εκτίμηση της μεταβολής της μορφής και των γραμμών του αναγλύφου και ^(β) τον προσδιορισμό της ευαισθησίας παρατήρησης.

Η παρούσα διπλωματική εργασία, στοχεύει στην προσαρμογή και στην αυτοματοποίηση μέρους της μεθοδολογίας “LETOPID” όσον αφορά την εκτίμηση της μεταβολής αναγλύφου, μέσα από την αξιοποίηση των δυνατοτήτων που προσφέρουν πιο σύγχρονα λογισμικά ΓΣΠ.

Στις επόμενες ενότητες του κεφαλαίου, παρουσιάζονται συνοπτικά βασικές έννοιες για την ανάλυση τοπίου, αλλά και το θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της μεθοδολογίας “LETOPID”.

¹ Η συντριπτική πλειοψηφία των επιφανειακών μεταλλείων έναντι των υπογείων, η βαρύτητα των αδρανών υλικών στο σύνολο της μεταλλευτικής παραγωγής (όπου η ανάπτυξη λατομείων αδρανών γίνεται κυρίως σε γειτονία με τον αστικό ιστό) και η ύπαρξη σημαντικού αριθμού ανενεργών – μη αποκαταστημένων μεταλλείων

² Οι έντονες αντιδράσεις του κόσμου για τις αισθητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον της ευρύτερης του λατομείου περιοχής και οι οικονομικές συνέπειες στην αξία των κατοικιών (θετικές ή αρνητικές) λόγω της μεταβολής του περιβάλλοντος τοπίου

Κεφάλαιο 1

Στοιχεία για την ανάλυση του τοπίου και εκτίμηση της μεταβολής του αναγλύφου σύμφωνα με την μεθοδολογία LETORID

1.1 Ορισμοί και αντιλήψεις για τη διαχείριση του τοπίου

1.1.1 Η ιστορία της έννοιας του τοπίου στο Δυτικό κόσμο

Η αγγλική λέξη landscape (γερμανικής προέλευσης) είναι σύνθετη από τις συστατικές λέξεις land και scape. Το συστατικό land σήμαινε αρχικά στη γοτθική γλώσσα οργανωμένο ή καλλιεργημένο χωράφι ή ακόμα και τις αυλακίες του αρότρου στο χωράφι. Στο Μεσαίωνα σήμαινε καθορισμένο τμήμα της γήινης επιφάνειας, ενώ αργότερα γενικά έναν οριοθετημένο χώρο. Για δύο χιλιετηρίδες το συστατικό land στο Αμερικανικό δίκαιο εξακολουθεί να σημαίνει «τόπος / θέση καθορισμένων διαστάσεων που θεωρείται τμήμα της γήινης επιφάνειας...». Στο Νότο των Η.Π.Α. και το Ηνωμένο Βασίλειο land σημαίνει ακόμη υποδιαίρεση χωραφιού ή αυλάκι οργώματος περίπου 6 πόδια φαρδύ ενώ στην Σκωτία σημαίνει τμήμα υποδιαιρούμενο σε σπίτια ή διαμερίσματα. Είναι φανερό πως η σύγχυση που επικρατεί, πηγάζει από το πολυδιάστατο της έννοιας landscape. Το δεύτερο συνθετικό του όρου, η λέξη scape, είναι συνώνυμη με τη λέξη shape (σχήμα, μορφή), που παλιά σήμαινε «σύνθεση από παρόμοια αντικείμενα» ορίζει συλλογικές διαστάσεις του περιβάλλοντος (Μενεγάκη, 2003).

Η λέξη landscape για χίλια χρόνια, σήμαινε ακόμα στην καθημερινή της χρήση «κομμάτι οργανωμένου εδάφους (< 1 στρέμματος)», αργότερα «έκταση ακίνητης περιουσίας ενός χωριού» (είτε δασική, είτε λιβαδική) και τέλος το ίδιο το Ηνωμένο Βασίλειο. Από τον 17^ο στο 18^ο αιώνα, η έννοια του τοπίου εισάγεται στον επιστημονικό χώρο. Σύμφωνα με τον Humboldt (1849) δίνεται στον όρο η έννοια της φυσικής οντότητας στο τοπίο, που αποτελεί το σύνολο των χαρακτηριστικών μιας περιοχής. Στο δεύτερο μισό του 19^{ου} αιώνα η πολυσύνθετη έννοια του τοπίου χάνεται, και δεν αποτελεί αντικείμενο επιστημονικής διερεύνησης. Την αυγή του 20^{ου} αιώνα ο Blache και άλλοι

ερευνητές (όπως αναφέρεται από Tress & Tress, 2001) επανεισάγουν την έννοια του τοπίου ως επιστημονικού πεδίου (Μενεγάκη, 2003).

Αυτή η αναδρομή στην ιστορία της λέξης, που οδηγεί στην ανακάλυψη όλων των εννοιολογικών αποχρώσεων του νοήματός της, υπογραμμίζει ότι το τοπίο δεν είναι απλά ένα φυσικό στοιχείο του περιβάλλοντος αλλά ένας συνθετικός ανθρωπογενής χώρος (Τερκενλή, 1996).

1.1.2 Ορισμοί για το τοπίο και την αισθητική του στον 20^ο αιώνα

Σύμφωνα με την Μενεγάκη (2003) το «**τοπίο**» ως όρος ακόμη και σήμερα, διαφέρει μεταξύ των ερευνητών, ανάλογα με τις προσωπικές εμπειρίες, τις γνώσεις και τον κλάδο της επιστήμης με τον οποίο ασχολούνται. Σε λεξικά της Ελληνικής γλώσσας, ως τοπίο ορίζεται μια υπαίθρια τοποθεσία που εμφανίζει ορισμένη συνολική θέα και που ιδίως κινεί το αισθητικό ενδιαφέρον (Δημητράκου, 1964), ενώ παίρνει διαφορετικές έννοιες αντίστοιχα σε λεξικά της αγγλικής και γαλλικής γλώσσας όπου το τοπίο ορίζεται ως φυσική ή φανταστική θέα μίας περιοχής, περιλαμβάνοντας με αυτόν τον τρόπο και πίνακες ζωγραφικής, φωτογραφίες ή οποιαδήποτε άλλη εικονική αναπαράσταση ενός τοπίου (Allen, 1990) και ως «το μέρος μιας περιοχής που η φύση παρουσιάζει στον παρατηρητή» (ROBERT). Έχουν διατυπωθεί τον 20^ο αιώνα πολλοί διαφορετικοί ορισμοί για το τοπίο, προσπαθώντας να το περιγράψουν με διαφορετική προσέγγιση, μεθοδολογία και γλώσσα, από πολλούς ερευνητές όπως ο Delroux (1972), ο Richard (1973), οι Hull και Revel (1989) κ.α.

Το τοπίο θεωρείται ως οικοσύστημα, αντικείμενο μελέτης και γνώσης, οπτική εικόνα, βιούμενος χώρος, μέσο ικανοποίησης των ανθρώπινων αναγκών, κ.λπ. χωρίς να έχει προκύψει μια αποδεκτή μεθοδολογία και γλώσσα προσέγγισης μεταξύ των διάφορων ερευνητών. Συχνά ο ορισμός “ποιότητα του τοπίου” (landscape quality) περιλαμβάνει ένα πλήθος περιβαλλοντικών - οικολογικών, κοινωνικών - πολιτιστικών και ψυχολογικών παραγόντων (Μενεγάκη, 2003).

Η πληθώρα των ορισμών και αντιλήψεων που έχει να επιδείξει η διεθνής βιβλιογραφία ανάγεται ουσιαστικά σε δύο τρόπους μελέτης του χώρου που περιβάλλει και περικλείει τα τοπία τα οποία προκαλούν το ενδιαφέρον:

- σε αυτόν που έχει ως κέντρο αναφοράς τον άνθρωπο, δηλαδή μελετά τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται το τοπίο και συνιστά την υποκειμενική προσέγγιση του τοπίου, και
- σε αυτόν που θεωρεί το χώρο ως αντικείμενο επιστημονικής παρατήρησης, δηλαδή ασχολείται με τη γνώση του φυσικού περιβάλλοντος και των μετρήσιμων παραγόντων του και συνιστά την αντικειμενική προσέγγιση του τοπίου (Μενεγάκη, 2003).

Το τοπίο όμως δεν είναι ούτε οικοσύστημα, ούτε οπτική εικόνα, ούτε βιούμενος χώρος μόνο, αλλά ένα ενιαίο σύνολο, αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης και αλληλεξάρτησης πολλών επιμέρους παραγόντων που δεν μπορούν να εξετασθούν ανεξάρτητα (Μενεγάκη, 2003).

Σε ένα δεδομένο χώρο, υπάρχει μία οικολογική πραγματικότητα με διαφορετικό βαθμό εξέλιξης, ισορροπίας και ανθρώπινης επέμβασης, που μπορεί να αναλυθεί αντικειμενικά και η οποία δίνει στον παρατηρητή μία εικόνα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Όμως, την πραγματικότητα αυτή ο κάθε παρατηρητής θα την αντιληφθεί διαφορετικά, υποκειμενικά, ανάλογα με τις γνώσεις του, τις εμπειρίες και το είδος των σχέσεων που διατηρεί με αυτό. Κάτω από τη θεώρηση αυτή το τοπίο θα μπορούσε να ορισθεί ως «το οικοσύστημα μιας περιοχής - κλίμα, έδαφος, πέτρωμα, φυσιογραφία, χλωρίδα, πανίδα και οι δυναμικές τους σχέσεις - επηρεασμένο σε ποικίλο βαθμό από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και τα φυσικά φαινόμενα, η εξωτερική εμφάνιση του οποίου γίνεται αντιληπτή συνολικά ή αποσπασματικά και κατά διαφορετικό τρόπο από τον άνθρωπο ανάλογα με το κοινωνικό - πολιτιστικό του επίπεδο» (Μπρόφας, 1989).

Το τοπίο λοιπόν, είναι αντικείμενο επιστημονικής παρατήρησης ως οπτική εμπειρία και ο ενεργός παράγοντας θεωρείται ο άνθρωπος διότι δρα και μεταβάλλει το τοπίο. Η οπτική επίπτωση (visual impact) στην ποιότητα του τοπίου σχετίζεται με τις αλλαγές που προκαλούνται σε μια περιοχή από την ανάπτυξη μιας νέας δραστηριότητας (Amir και Gidalizon, 1990).

Πράγματι ο άνθρωπος ικανοποιώντας τις ζωτικές του ανάγκες (τροφή, ξύλο για θέρμανση και κατασκευές, εκχερνώσεις για καλλιέργεια και βοσκότοπους, εκσκαφές για υλικά κ.λπ.) αποτέλεσε σταθερό και ζωντανό στοιχείο του τοπίου

συμβάλλοντας συγχρόνως στην επεξεργασία της φυσιογνωμίας του. Η φυσιογνωμία αυτή «η οποία δεν ήταν ποτέ σταθερή αλλά αντίθετα σε διαρκή εξέλιξη», συνδεόταν στενά με το επίπεδο της οικονομικής, τεχνολογικής και κοινωνικής εξέλιξης του ανθρώπου (Καλιαμπάκος, 1995). Έτσι, ανάλογα με τις δυνατότητες και την ένταση επέμβασης δημιουργήθηκε μια κλίμακα τοπίων από τα παρθένα μέχρι τα καθαρά ανθρωπογενή τοπία (Μενεγάκη, 2003).

Η **αισθητική** είναι επίσης μια έννοια που έχει προβληματίσει διαχρονικά και που πλέον έχει αναχθεί σε επιστήμη. Πρόκειται για ένα φιλοσοφικό κλάδο που ασχολείται με την τέχνη επιδιώκοντας να προσδιορίσει το κάλλος, την ουσία, το χαρακτήρα και τις σχέσεις του με τις άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες. Η φιλοσοφική έρευνα γύρω από τα προβλήματα του ωραίου είναι τόσο παλιά, όσο και η ίδια η φιλοσοφία. Από τους αρχαίους φιλοσόφους, τον Πλάτωνα, τον Αριστοτέλη, τον Πλωτίνο, από τη χριστιανική φιλοσοφία και τους μετέπειτα νεοπλατωνικούς φιλοσόφους διατυπώθηκαν διάφορες απόψεις για το ωραίο, ενώ το βασικότερο ερώτημα που προβλημάτιζε ήταν το κατά πόσο το ωραίο είναι πραγματικό ή φανταστικό και κατ' αυτή την έννοια καλό για την πνευματική ανύψωση του ανθρώπου. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στη φιλοσοφία του Πλάτωνα, το απόλυτο κάλλος βρίσκεται στις υπερουράνιες ιδέες, διαφαινόμενο στην πραγματικότητα του κόσμου, ο οποίος είναι μίμηση αυτών των ιδεών και ξυπνά στον άνθρωπο το ενδιαφέρον και την αγάπη για ότι είναι ωραίο (Μενεγάκη, 2003).

Αργότερα, ο Γερμανός φιλόσοφος Αλεξάντερ Γκότλιμπ Μπαουμγκάρτεν, το 1750 με το βιβλίο του «Αισθητική», είναι ο πρώτος που ορίζει τη φιλοσοφία της τέχνης ως αισθητική. Σε αυτή την πραγματεία το «κάλλος» ορίζεται ως η τελειότητα της κατ' αίσθηση γνώσεως (ενώ η αλήθεια είναι η τελειότητα της γνώσης για το νου). Σύμφωνα πάντα με τον Μπαουμγκάρτεν, σε κάθε έργο τέχνης η τελειότητα βρίσκεται στο κάλλος, στην αισθητή μορφή και όχι στη φιλαλήθεια, στο νοητικό του δηλαδή περιεχόμενο (Allen, 1990). Ο ορισμός αυτός για την αισθητική, ύστερα από μια πρώτη δυσπιστία, επαναλήφθηκε και διευκρινίσθηκε φιλοσοφικά από τον Καντ και υιοθετήθηκε από τη νεότερη φιλοσοφία. Κατά τον Καντ «ωραίο είναι εκείνο που αρέσει δίχως έννοια, δίχως συμφέρον, ως αντικείμενο γενικής αρεσκείας». Σήμερα, στο κοινό λεξιλόγιο,

αισθητική ονομάζεται κάθε δραστηριότητα που ασχολείται με το ωραίο ως αισθητή ποιότητα.

Η αισθητική του τοπίου είναι κατ' επέκταση η τέχνη με την οποία δημιουργούνται θετικές και ευχάριστες οπτικές εντυπώσεις από ένα τοπίο και αποτελεί το βασικό αντικείμενο των αρχιτεκτόνων τοπίου. Η αρχιτεκτονική του τοπίου, που ως επιστήμη αριθμεί λίγες δεκαετίες ζωής, επιδιώκει να συνδυάσει τη γνώση της φύσης, των οικοσυστημάτων, των μεμονωμένων στοιχείων και των συνόλων μαζί με στοιχεία της τέχνης, όπως ποικιλία, αρμονία, αντίθεση, προκειμένου να επιτευχθεί ή να διατηρηθεί η αισθητική αρμονία και ομορφιά στο οπτικό περιβάλλον (Κασσιός, 1989).

1.2 Κύρια χαρακτηριστικά του τοπίου

1.2.1 Ταξινόμηση του τοπίου

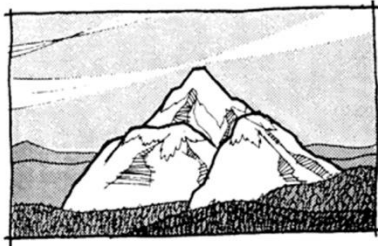
Το τοπίο ταξινομείται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τη σύνθεσή του, την κλίμακα των στοιχείων του, την ορατότητά του και τη διαμόρφωσή του. Έτσι, ως προς τη σύνθεσή του διακρίνεται σε φυσικό, ανθρωπογενές (αστικό) ή μικτό, ως προς την κλίμακα των στοιχείων του διακρίνεται σε τοπίο με μεγάλα στοιχεία (βουνά, λίμνες, πεδιάδες) ή με μικρά στοιχεία (λόφοι, χείμαρροι, κ.λπ.), ενώ ανάλογα με το πεδίο ορατότητας διακρίνεται σε μακροτοπίο και μικροτοπίο.

Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες ταξινόμησης ως προς το είδος του τοπίου με μία από τις πιο σημαντικές να είναι αυτή του Litton (1967, από Smardon 1981). Ο Litton ταξινόμησε το τοπίο σε επτά κατηγορίες ανάλογα με την γενική διαμόρφωση του (πανοραμικό τοπίο, τοπίο χαρακτηριστικών μορφών, περικλειόμενο τοπίο, εστιακό ή αξονικό τοπίο, τοπίο λεπτομερειών, εφήμερο τοπίο, στεγασμένο τοπίο). Παράλληλα, έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες ταξινόμησης που εξειδικεύονται σε επιμέρους είδη κάποιας συγκεκριμένης κατηγορίας τοπίου όπως αστικό τοπίο, αγροτικό τοπίο, ορεινό τοπίο κ.α. (CDREE, 1969; Palmer, 1978; Smardon et al., 1986). Επειδή όμως από την μία οι ταξινομήσεις που αναπτύσσονται είναι εστιασμένες στις εκάστοτε ιδιαιτερότητες της περιοχής ή του αντικειμένου έρευνας και από την άλλη το τοπίο διαφοροποιείται σημαντικά από τόπο σε τόπο, έχει συμπεραθεί πως δεν μπορεί μία μοναδική ταξινόμηση να εφαρμόζεται καθολικά για όλες τις περιπτώσεις.

1.2.2 Οπτικά στοιχεία

1.2.2.1 Κυρίαρχα στοιχεία του τοπίου

Τα στοιχεία που είναι παρόντα συνήθως σε όλα τα τοπία είναι τέσσερα, διαφέροντας μεταξύ τους στο βαθμό της οπτικής επίδρασης, της δύναμης και της κυριαρχίας τους στο τοπίο. Τα στοιχεία αυτά είναι:



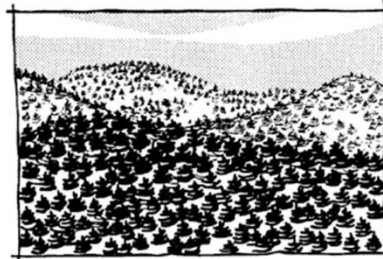
α) Μορφή



β) Γραμμή



γ) Χρώμα



δ) Υφή

Σχήμα 1-1 Κυρίαρχα στοιχεία τοπίου (USDA, 1973)

Α) Μορφή, δηλαδή η μάζα ενός αντικειμένου ή ο συνδυασμός αντικειμένων που εμφανίζονται συνενωμένα και με σαφή διάκριση της σιλουέτας τους στο χώρο.

Β) Γραμμή, είναι ένα σημείο που έχει επεκταθεί προς μια κατεύθυνση ή ότι είναι διαταγμένο σε μια σειρά. Η παρουσία της γραμμής στο τοπίο είναι τόσο έντονη, που προσελκύει την προσοχή του παρατηρητή.

Γ) Χρώμα, που είναι η βασική εκδήλωση του φωτός και εκφράζεται με τον τόνο (φωτεινό – σκοτεινό), την ένταση ή λαμπρότητα (καθαρότητα του χρώματος) και τη χροιά ή απόχρωση (κίτρινο, πράσινο κτλ.). Το χρώμα δίνει τη δυνατότητα στον άνθρωπο να διαφοροποιήσει και να ξεχωρίσει τα αντικείμενα που βλέπει και όταν ακόμη είναι όμοια στη μορφή, τη γραμμή και την υφή.

Δ) Υφή του τοπίου που αναφέρεται στον τρόπο που συναρθρώνονται τα διάφορα συστατικά του. Η υφή διακρίνεται και περιγράφεται ως (i) λεπτή ή λεία, (ii) μέση και (iii) τραχεία ή ανώμαλη. Οι αντιθέσεις προκύπτουν από την αντιπαράθεση λεπτής και τραχείας υφής. Η αντίληψη της υφής, ποικίλλει ανάλογα με την απόσταση. Όσο πιο μακρινό είναι το σημείο από το οποίο

παρατηρείται ένα αντικείμενο – ένα τοπίο – τόσο πιο λεπτή γίνεται η υφή του. Επίσης λείες, στιλπνές επιφάνειες όπως αντανακλούν περισσότερο το φως από τις τραχείες, οι οποίες απορροφούν το φως περισσότερο ανομοιόμορφα.

Κατά τη διάρκεια της εξορυκτικής δραστηριότητας προκαλούνται μεταβολές στο τοπίο με την αλλοίωση των ακανόνιστων μορφών του φυσικού αναγλύφου και τη δημιουργία κανονικών γεωμετρικών μορφών, την εμφάνιση άκαμπτων ευθύγραμμων τμημάτων σε αντικατάσταση των ομαλών καμπυλών του φυσικού τοπίου, την εμφάνιση ανοιχτών και έντονων χρωμάτων των εκσκαφών σε αντιπαράθεση με τα σκούρα χρώματα των φυσικών στοιχείων και την αλλαγή της υφής του φυσικού τοπίου. Οι αντιθέσεις αυτές είναι εντονότερες όταν, από τη θέση παρατήρησης, μπορεί να συγκριθεί ο χώρος εξόρυξης με το αδιατάρακτο φυσικό περιβάλλον. (Καλιαμπάκος, 2001)

1.2.2.2 Βασικοί παράγοντες αισθητικής του τοπίου

Ο βαθμός έντασης με τον οποίο εμφανίζονται τα τέσσερα κυρίαρχα στοιχεία του τοπίου είναι συνάρτηση επτά σταθερών παραγόντων που αποτελούν τους βασικούς συντελεστές της αισθητικής προβολής του τοπίου. Αυτοί κατά USDA (1973) είναι:

α. Αντίθεση, β. Διαδοχή, γ. Άξονας, δ. Σύγκλιση, ε. Συγκυριαρχία, στ. Πλαισίωση, ζ. Ισορροπία

1.2.2.3 Μεταβλητοί παράγοντες που επηρεάζουν τις οπτικές εντυπώσεις του τοπίου

Ο τρόπος με τον οποίο γίνονται αντιληπτά τα χαρακτηριστικά στοιχεία του τοπίου δεν εξαρτάται μόνο από τους σταθερούς (βασικούς) παράγοντες, αλλά και από οκτώ μεταβλητούς, οι οποίοι σύμφωνα με το USDA (1973) είναι:

α. Κίνηση, β. Ατμοσφαιρικές συνθήκες, γ. Φως, δ. Εποχή του έτους, ε. Απόσταση παρατήρησης, στ. Θέση παρατήρησης, ζ. Κλίμακα, η. Χρόνος

1.3 Περιβαλλοντική νομοθεσία και τοπίο

Από τα τέλη της δεκαετίας του '50 η οικολογική κρίση, της οποίας τα σημάδια ήταν ήδη φανερά, έστρεψε σημαντική μερίδα επιστημόνων στην καταγγελία της ανάπτυξης χωρίς την διαφύλαξη της ποιότητας του περιβάλλοντος. Παράλληλα, αναπτύχθηκε κατά τις δεκαετίες '60 – '70 περιβαλλοντικό κίνημα, που επέδρασε σημαντικά στις πρώτες ολοκληρωμένες προσπάθειες για θέσπιση περιβαλλοντικής νομοθεσίας, αρχικά στις Η.Π.Α. και αργότερα στην Ευρώπη και στις υπόλοιπες ανεπτυγμένες βιομηχανικά χώρες.

Η αρχή έγινε με την Πράξη Εθνικής Περιβαλλοντικής Πολιτικής (NEPA - National Environmental Policy Act), η οποία τέθηκε σε εφαρμογή την 1^η Ιανουαρίου του 1970 στις Η.Π.Α. και εισήγαγε την έννοια του θεσμού των Μελετών Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ). Ο νόμος αυτός αποτέλεσε τη βάση μιας σειράς άλλων ειδικών οδηγιών και αποφάσεων για την ορθή διαχείριση του περιβάλλοντος και ενέπνευσε την περιβαλλοντική νομοθεσία πολλών κρατών. Ήταν, ουσιαστικά, η πρώτη ολοκληρωμένη περιβαλλοντική πράξη. Όριζε σαφώς ότι ο σχεδιασμός ενός έργου θα πρέπει να περιλαμβάνει μια εκτενή αναφορά σε τεχνικές, οικονομικές, περιβαλλοντικές, κοινωνικές και άλλες παραμέτρους και ότι η τελική απόφαση θα πρέπει να στηρίζεται σε μια διαδικασία ποιοτικής και ποσοτικής αξιολόγησής τους. Αντίστοιχη με τη ΝΕΡΑ είναι η Ευρωπαϊκή Οδηγία 85/337 (European Communities, 1985). Μέσα από την Οδηγία αυτή καθορίστηκε η σημασία της αξίας και η ανάγκη προστασίας του τοπίου.

Τον Οκτώβριο του 2000, στην Ευρωπαϊκή Σύμβαση του τοπίου ή Σύμβαση της Φλωρεντίας, την πρώτη Διεθνή Σύμβαση για το τοπίο, διατυπώθηκε ο ακόλουθος επίσημος ορισμός για το τοπίο, που αποτελεί ένα σημαντικό βήμα για την αειφορική διαχείριση και προστασία του τοπίου στο σύνολο του Ευρωπαϊκού χώρου.

Κατά τη Σύμβαση, τοπίο σημαίνει μία περιοχή, όπως γίνεται αντιληπτή από ανθρώπους, του οποίου ο χαρακτήρας είναι το αποτέλεσμα της δράσης και αλληλεπίδρασης των φυσικών και/ή ανθρώπινων παραγόντων.³

Όσον αφορά την Ελλάδα ψηφίζεται ο Ν. 1650/86 «Για την προστασία του περιβάλλοντος» (ΦΕΚ 160, 10-10-1986), στην προσπάθεια εναρμόνισης του ελληνικού δίκαιου με το κοινοτικό. Στον Ν. 1650/86 περιγράφονται για πρώτη φορά με σαφήνεια έννοιες και ορισμοί σχετικά με το περιβάλλον και κωδικοποιήθηκαν προϋπάρχοντα δεδομένα. Όσον αφορά το τοπίο, ορίζεται ως «κάθε δυναμικό σύνολο βιοτικών και μη βιοτικών παραγόντων και στοιχείων του περιβάλλοντος που μεμονωμένα ή αλληλεπιδρώντας σε συγκεκριμένο χώρο συνθέτουν μία οπτική εμπειρία». Ο συγκεκριμένος νόμος ουσιαστικά ενεργοποιείται με την ΚΥΑ 69269/5387/1990, θεσπίζοντας τις ΜΠΕ. Στα πλαίσια εφαρμογής της απόφασης απαιτείται η συμπλήρωση ειδικού ερωτηματολογίου, το οποίο αναφέρεται μεταξύ άλλων και στην αισθητική και εξετάζει εάν: «το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει παρεμπόδιση οποιασδήποτε θέας του ορίζοντα ή οποιασδήποτε κοινής θέας ή θα καταλήξει στη δημιουργία ενός μη αποδεκτού αισθητικά τοπίου, προσοιού στην κοινή θέα» (Μενεγάκη, 2003).

Στην Ελλάδα, η πρώτη ευθεία αναφορά στο τοπίο γίνεται το 1950, με το 1946/50 διάταγμα του Υπουργείου Πολιτισμού για την προστασία τοπίων ιδιαίτερου κάλλους. Αργότερα, το ΝΔ 996/71 θα συμπληρώσει ότι στις κατηγορίες των προστατευόμενων φυσικών περιοχών πρέπει να συμπεριληφθούν και δασικές εκτάσεις που η οικολογική τους σύνθεση δημιουργεί τοπιακές ενότητες με ιδιαίτερη αισθητική αξία. Όσον αφορά στην αποκατάσταση του τοπίου από τις επιπτώσεις της μεταλλευτικής και λατομικής δραστηριότητας, η Πολιτεία θέσπισε νομοθετικά μέτρα για πρώτη φορά το 1976, με την έκδοση του Νόμου 274/76, ο οποίος ορίζει την υποχρέωση του εκμεταλλευτή για αποκατάσταση. Τρία χρόνια αργότερα, με το Ν. 998/79 «Περί προστασίας δασών και δασικών εκτάσεων», καθορίζονται για πρώτη φορά μεταξύ άλλων, στο Άρθρο 45 παρ. 5, τα περιεχόμενα «Τεχνικών Προδιαγραφών Μελετών Επιπτώσεων και Αποκαταστάσεως του Περιβάλλοντος»

³ Άρθρο 1, Ν. 3827/2010, ΦΕΚ Α/30/25.2.2010, Κύρωση της Ευρωπαϊκής Σύμβασης του Τοπίου: http://www.unesco.org/culture/natlaws/media/pdf/greece/gre_law3827_10_eurlandscapeconv_greorof

από την εγκατάσταση μεταλλευτικών και λατομικών δραστηριοτήτων μέσα σε δάση και δασικές εκτάσεις. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ενότητα «τοπιολογικά στοιχεία» τόσο κατά τη φάση της έρευνας όσο και κατά τη φάση της εκμετάλλευσης λατομείων και μεταλλείων, η οποία αναφέρει:

«Πρέπει στο χάρτη (προσανατολισμού) να απεικονίζονται οι ζώνες ευαισθησίας του τοπίου. Ως τέτοιες ζώνες θεωρούνται εκείνες που από δεδομένα σημεία αναφοράς π.χ. κύριοι άξονες προσπελάσεως, οικισμοί, αρχαιολογικοί χώροι, τουριστικές περιοχές, φυσικές προστατευτές περιοχές (εθνικοί δρυμοί, κ.λπ.) και σε συνάρτηση με την απόσταση δίνουν την οπτική τοπιολογική παρουσίαση του χώρου. Διακρίνονται δε σε τρεις ζώνες οπτικές ανάλογα με την απόσταση του χώρου από τα σημεία ή χώρους αναφοράς, δηλαδή: α. Κοντινή ζώνη 0-2 Km, β. Μεσαία ζώνη 2-5 Km, γ. Μακρινή ζώνη 5 Km – άνω.»

Παρά το γεγονός ότι οι αναφορές της ελληνικής νομοθεσίας στην προστασία του τοπίου, και δη από μεταλλευτικά έργα, είναι εκτενείς, τα αποτελέσματα δεν υπήρξαν ικανοποιητικά. Οι αιτίες είναι ποικίλες (Kaliampakos & Damigos, 2000), αλλά τουλάχιστον σε θεσμικό επίπεδο μία από τις βασικότερες αιτίες υπήρξε η έλλειψη σαφώς καθορισμένης μεθοδολογίας. Το συγκεκριμένο πρόβλημα πάντως δεν χαρακτηρίζει μόνο την ελληνική περιβαλλοντική νομοθεσία. Τουναντίον, αντίστοιχες δυσχέρειες παρουσιάζονται διεθνώς, παρά τις συνεχείς προσπάθειες για θέσπιση κοινά αποδεκτών μεθοδολογιών εκτίμησης. Όπως αναφέρει ο Williams (1974):

«όταν γίνεται μια προσπάθεια επιβολής νομικών κυρώσεων σε σχέση με την αισθητική, προκύπτει ένα απλό αλλά πολύ σημαντικό ερώτημα: πως θα ορισθεί το τι είναι ελκυστικό και το τι είναι άσχημο. Το πρόβλημα του προσδιορισμού του αισθητικά όμορφου, το οποίο υπήρξε αντικείμενο διαμάχης μεταξύ των φιλοσόφων, έχει ιδιαίτερη σημασία στη θέσπιση νομικού πλαισίου. Διότι όταν εμπλέκονται νομικές κυρώσεις, είναι απαραίτητο να προσδιορίζεται με ακρίβεια τι επιτρέπεται και τι όχι...».

Το ίδιο πρόβλημα ουσιαστικά επισημαίνουν και οι Miller et al. (1994), οι οποίοι αναφερόμενοι στην Ευρωπαϊκή Οδηγία 85/337 τονίζουν ότι «αν και διευκρινίζονται τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος που πρέπει να διερευνώνται, συμπεριλαμβανομένων και των οπτικών επιπτώσεων, δεν καθορίζονται οι διαδικασίες εκτίμησης».

1.4 Προσδιορισμός δεικτών για τον ποσοτικό προσδιορισμό της μεταβολής του αναγλύφου (TRA – Topographic Relief Alteration, από μεθοδολογία LETOPID)

1.4.1 Η σημασία του προσδιορισμού της μεταβολής του αναγλύφου

Η ανάλυση του αναγλύφου έχει ως βασικό σκοπό την αναγνώριση εκείνων των στοιχείων που περιγράφουν καλύτερα τη γεωμετρική πολυπλοκότητα της γήινης επιφάνειας. Ο Litton (1984) αναφέρει ότι η μορφολογία του αναγλύφου αποτελεί τη σημαντικότερη μεταβλητή για τη διερεύνηση της αντοχής ενός τοπίου, γιατί καθορίζει την ορατότητα, τις αποστάσεις και τις οπτικές γωνίες παρατήρησης, ακόμη και τον τρόπο που όλα τα άλλα στοιχεία του τοπίου γίνονται αντιληπτά από τον παρατηρητή. Χαρακτηριστικό είναι ότι στη μεθοδολογία ταξινόμησης που ανέπτυξε δεν συμπεριέλαβε άλλες μεταβλητές. Παρά το γεγονός ότι όλα τα επιμέρους στοιχεία συμβάλουν ουσιαστικά στην αντοχή ενός συγκεκριμένου τοπίου, η οπτική εντύπωση που προκαλούν στον παρατηρητή εξαρτάται από την εκάστοτε μορφολογία του αναγλύφου και επομένως πρέπει να ελέγχονται σε επόμενο στάδιο (Μενεγάκη, 2003).

Οι κλίσεις, οι κορυφογραμμές, οι εξάρσεις και οι υφέσεις, οι παρατηρούμενες υψομετρικές διαφορές, οι καμπυλότητες, η συμμετρία των στοιχείων καθώς και οι γραμμές απότομης αλλαγής των κλίσεων είναι μερικά από τα βασικά στοιχεία για την περιγραφή της μορφής και του οπτικού χαρακτήρα του αναγλύφου, ενώ η έρευνα σε αυτό το αντικείμενο συνεχίζεται (Μενεγάκη, 2003).

1.4.2 Προσδιορισμός των παραμέτρων μεταβολής αναγλύφου στο μοντέλο εκτίμησης

Επειδή υπάρχει ένα πλήθος παραμέτρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση του αναγλύφου, η επιλογή τους θα πρέπει να βασίζεται στις ιδιαίτερες ανάγκες και απαιτήσεις κάθε εφαρμογής. Η Μενεγάκη (2003), εξετάζοντας την εκτίμηση των επιπτώσεων που προκαλούνται από τη μεταλλευτική δραστηριότητα στο αρχικό ανάγλυφο της περιοχής αναφέρει: «...δεν ενδιαφέρει άμεσα η ταξινόμηση της ποιότητας του αναγλύφου καθαυτού, αλλά ο βαθμός μεταβολής του. Οι υφιστάμενες παράμετροι περιγραφής και ταξινόμησης του αναγλύφου δεν μπορούν να αποδώσουν το μέγεθος της μεταβολής που προκαλείται από την εκμετάλλευση.»

Με βάση το παραπάνω σκεπτικό, με μία πρωτότυπη προσέγγιση του θέματος, η Μενεγάκη (2003) ανέπτυξε τους ακόλουθους νέους δείκτες για την ποσοτικοποίηση της προκαλούμενης μεταβολής:

- Ο δείκτης μορφολογίας – Landform Index
- Ο συντελεστής υψομέτρου – Altitude Index
- Ο διορθωμένος δείκτης μορφολογίας - Adjusted Landform Index
- Ο δείκτης κλίσης – Slope Index
- Ο δείκτης προσανατολισμού – Aspect Index

Οι παραπάνω δείκτες, είναι ποσοτικές παράμετροι που λαμβάνουν υπόψη τόσο τις βασικές προϋποθέσεις που περιγράφονται από τον Hubson (από Ayeni, 1978) για την εκτίμηση του αναγλύφου, όσο και τους κανόνες που διέπουν την ταξινομική διαδικασία, καθώς χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση του αναγλύφου. Το θεωρητικό υπόβαθρο των δεικτών περιγράφεται παρακάτω όπως αναλύονται από την Μενεγάκη (2003).

1.4.2.1 Δείκτης Μορφολογίας (ΔΜ) – Landform Index (LI)

Ο Δείκτης Μορφολογίας του αναγλύφου (ΔΜ), αποτελεί ένα μέτρο της συσχέτισης της επιφάνειας του αρχικού με την επιφάνεια του τελικού αναγλύφου, όπως αυτή διαμορφώνεται από την εκμετάλλευση. Για τον υπολογισμό του δείκτη χρησιμοποιείται η διακύμανση της διαφοράς των υψομετρικών σημείων της αρχικής και της τελικής επιφάνειας, με τη βοήθεια της θεωρίας των τυχαίων μεταβλητών.

Η διακύμανση (διασπορά) της διαφοράς δύο τυχαίων μεταβλητών ισούται με το άθροισμα των διακυμάνσεων (διασπορών) μείον το διπλάσιο της συνδιακύμανσης αυτών (Κιντής, 1999), δηλαδή:

$$\text{var}(X-Y) = \text{var}(X) + \text{var}(Y) - 2\text{cov}(X, Y) \quad (1)$$

όπου:

$\text{var}(X-Y)$ = n διασπορά της διαφοράς των δύο τυχαίων μεταβλητών

$\text{var}(X)$ = n διασπορά της μεταβλητής X

$\text{var}(Y)$ = n διασπορά της μεταβλητής Y

$\text{cov}(X, Y)$ = n συνδιακύμανση των μεταβλητών X και Y

Η διασπορά αποτελεί ένα μέτρο της μέσης τετραγωνικής απόστασης των τιμών της μεταβλητής από τη μέση τιμή της και δίνεται από τη σχέση:

$$\text{var}(X) = \frac{1}{v} \sum_i^v (x_i - \mu_x)^2 \quad (2)$$

Κατά την εκτίμηση της διακύμανσης λαμβάνονται υπόψη οι πληροφορίες του υψομέτρου από όλες τις ψηφίδες του ψηφιακού χάρτη της αρχικής και τελικής επιφάνειας. Επίσης, με την ύψωση των διαφορών $(x_i - \mu_x)$ στο τετράγωνο, αποδίδεται μεγαλύτερη στάθμιση / βαρύτητα στις παρατηρήσεις που εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις από τον μέσο, γεγονός που έχει μεγάλη σημασία κατά την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Η συνδιακύμανση των μεταβλητών X και Y αποτελεί την κεντρική ροπή της συγκατανομής τους, δηλαδή τον μέσο όρο των τιμών του γινομένου $(X - \mu_x) * (Y - \mu_y)$ και δίνεται από τη σχέση:

$$\text{cov}(X, Y) = E(X - \mu_x) * (Y - \mu_y) = \frac{1}{v} \sum_i^v (x_i - \mu_x) * (y_i - \mu_y) \quad (3)$$

Η συνδιακύμανση δύο μεταβλητών X και Y είναι δυνατόν να είναι οποιοσδήποτε αριθμός - θετικός, αρνητικός ή μηδέν - και εκφράζεται στο γινόμενο των μονάδων των εξεταζόμενων μεταβλητών (Αθανασόπουλος, 1989).

Εάν οι μεταβλητές, οι οποίες εξετάζονται, μεταβάλλονται γενικά ομόρροπα, σε αύξηση δηλαδή της μιας αντιστοιχεί κατά κανόνα αύξηση της άλλης και σε μείωση της μίας αντιστοιχεί μείωση της άλλης, η συνδιακύμανσή τους είναι θετικός αριθμός. Αντίστροφα, εάν οι συνεξεταζόμενες μεταβλητές μεταβάλλονται γενικά αντίρροπα, σε αύξηση δηλαδή της μιας αντιστοιχεί μείωση της άλλης, οι διαφορές $(x_i - \mu_x)$ $(y_i - \mu_y)$ θα είναι κατά κανόνα ετερόσημες, τα γινόμενά τους αρνητικά και συνεπώς η συνδιακύμανσή τους θα είναι αρνητικός αριθμός.

Από τα παραπάνω είναι εμφανές ότι το πρόσημο της συνδιακύμανσης χαρακτηρίζει κατά βάση τον τρόπο με τον οποίο οι μεταβλητές

συμμεταβάλλονται, δείχνει επομένως τη μορφή της εξάρτησης. Όσο μεγαλύτερη κατά απόλυτη τιμή είναι η συνδιακύμανση δύο μεταβλητών, τόσο σαφέστερη είναι η τάση τους για αντιστοιχία και τόσο ισχυρότερη η συσχέτιση - θετική ή αρνητική - που υπάρχει μεταξύ τους. Αντίθετα, τιμές της συνδιακύμανσης κοντά στο μηδέν υποδηλώνουν ότι δεν υπάρχει καμία νομοτέλεια στον τρόπο με τον οποίο συμμεταβάλλονται οι δύο μεταβλητές. Η αριθμητική τιμή, επομένως, υποδηλώνει την ένταση της εξάρτησης. Όταν δύο μεταβλητές είναι γραμμικά ασυσχέτιστες, τότε:

$$\text{cov}(X, Y) = 0$$

οπότε η σχέση (1) γίνεται:

$$\text{var}(X-Y) = \text{var}(X) + \text{var}(Y)$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, για τον ποσοτικό προσδιορισμό του βαθμού συμμεταβολής του αρχικού και του τελικού αναγλύφου χρησιμοποιείται η ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{var}(Z_{\alpha\rho\chi} - Z_{\tau\epsilon\lambda}) = \frac{\text{var}(Z_{\alpha\rho\chi}) + \text{var}(Z_{\tau\epsilon\lambda}) - 2\text{cov}(Z_{\alpha\rho\chi}, Z_{\tau\epsilon\lambda})}{\text{var}(Z_{\alpha\rho\chi}) + \text{var}(Z_{\tau\epsilon\lambda})} \quad (4)$$

όπου:

$$\text{var}(Z_{\alpha\rho\chi}) = \frac{1}{\nu} \sum_i (Z_{\alpha\rho\chi}^i - \mu_{\text{έσο}} Z_{\alpha\rho\chi})^2$$

$$\text{var}(Z_{\tau\epsilon\lambda}) = \frac{1}{\nu} \sum_i (Z_{\tau\epsilon\lambda}^i - \mu_{\text{έσο}} Z_{\tau\epsilon\lambda})^2$$

$$\text{cov}(Z_{\alpha\rho\chi}, Z_{\tau\epsilon\lambda}) = \frac{1}{\nu} \sum_i (Z_{\alpha\rho\chi}^i - \mu_{\text{έσο}} Z_{\alpha\rho\chi}) * (Z_{\tau\epsilon\lambda}^i - \mu_{\text{έσο}} Z_{\tau\epsilon\lambda})$$

$Z_{\alpha\rho\chi}^i$ = το υψόμετρο της αρχικής επιφάνειας στο σημείο i, με συντεταγμένες X,Y

$Z_{\tau\epsilon\lambda}^i$ = το υψόμετρο της τελικής επιφάνειας στο σημείο i, με συντεταγμένες X,Y

Ο παρανομαστής στην εξίσωση χρησιμοποιείται για την κανονικοποίηση του αποτελέσματος. Με τον τρόπο αυτό φράσσεται η διακύμανση των υπό εξέταση μεταβλητών.

Πιο συγκεκριμένα, όταν οι επιφάνειες είναι πλήρως ασυσχέτιστες [δηλ. όταν $\text{cov}(Z_{\text{αρχ}}, Z_{\text{τελ}}) = 0$], τότε ο συντελεστής λαμβάνει τη μέγιστη τιμή:

$$\text{var}(Z_{\text{αρχ}} - Z_{\text{τελ}}) = \frac{\text{var}(Z_{\text{αρχ}}) + \text{var}(Z_{\text{τελ}})}{\text{var}(Z_{\text{αρχ}}) + \text{var}(Z_{\text{τελ}})} = 1$$

Επίσης, όταν η συνδιακύμανση λαμβάνει αρνητική τιμή (δηλ. υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ των επιφανειών) λαμβάνεται συμβατικά μηδενική τιμή για την εν λόγω παράμετρο, ώστε η σχέση να λάβει τη μέγιστη τιμή.

Όταν οι επιφάνειες είναι πλήρως συσχετισμένες, που σημαίνει ότι μεταβάλλονται ομοιόμορφα, τότε:

$$\text{var}(Z_{\text{αρχ}}) = \text{var}(Z_{\text{τελ}}) = \text{cov}(Z_{\text{αρχ}}, Z_{\text{τελ}})$$

οπότε:

$$\begin{aligned} \text{var}(Z_{\text{αρχ}} - Z_{\text{τελ}}) &= \frac{\text{var}(Z_{\text{αρχ}}) + \text{var}(Z_{\text{τελ}}) - 2\text{cov}(Z_{\text{αρχ}}, Z_{\text{τελ}})}{\text{var}(Z_{\text{αρχ}}) + \text{var}(Z_{\text{τελ}})} \\ &= \frac{2\text{cov}(Z_{\text{αρχ}}, Z_{\text{τελ}}) - 2\text{cov}(Z_{\text{αρχ}}, Z_{\text{τελ}})}{\text{var}(Z_{\text{αρχ}}) + \text{var}(Z_{\text{τελ}})} \rightarrow 0 \end{aligned}$$

Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι, σε μια ιδανική περίπτωση όπου η εκμετάλλευση μεταβάλλει ομοιόμορφα την επιφάνεια μόνο καθ' ύψος, ακολουθώντας τις γραμμές του αρχικού αναγλύφου, ο βαθμός συμμεταβολής της τελικής επιφάνειας με το αρχικό ανάγλυφο θα ήταν μηδέν.

Ο δείκτης μεταβολής της μορφολογίας του αναγλύφου χωρίζεται σε 10 κατηγορίες (όπου, κατηγορία 1: βέλτιστη περίπτωση και κατηγορία 10: χειρίστη περίπτωση), όπως φαίνεται στον Πίνακα 1-1.

Πίνακας 1-1 Κατηγορίες ΔΜ του αναγλύφου

Κατηγορίες ΔΜ	Τιμές
1	0 - 0,15
2	0,16 - 0,25
3	0,26 - 0,35
4	0,36 - 0,45
5	0,46 - 0,55
6	0,56 - 0,65
7	0,66 - 0,75
8	0,76 - 0,85
9	0,86 - 0,95
10	0,96 - 1

1.4.2.2 Συντελεστής Υψομέτρου (ΣΥ) - Altitude Index (AI)

Όπως αναφέρθηκε, ο ΔΜ αποτελεί ένα μέτρο της μεταβολής των γραμμών του τελικού αναγλύφου σε σχέση με το αρχικό. Στην περίπτωση που ο ΔΜ λαμβάνει την τιμή μηδέν, υπάρχει μεταβολή του αρχικού γεωμορφολογικού αναγλύφου, η οποία οφείλεται στην υψομετρική διαφορά και αφορά στη δημιουργία μιας νέας μορφής στο τοπίο. Η μεταβολή αυτή έχει μικρότερη βαρύτητα σε σχέση με την πρώτη, καθώς δεν διακόπτει τη συνέχεια των γραμμών του αναγλύφου.

Προκειμένου να προσδιορισθεί ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζει η μεταβολή του υψομέτρου τη διαμόρφωση του αναγλύφου, υπολογίζεται η τυπική απόκλιση της τελικής επιφάνειας ως προς το μέσο υψόμετρο της αρχικής επιφάνειας, υπό την παραδοχή ότι η αρχική επιφάνεια μετατοπίζεται ομοιόμορφα κατά το μέσο ΔZ μεταξύ της αρχικής και της τελικής επιφάνειας. Κατά συνέπεια η μόνη μεταβολή που υπεισέρχεται είναι αποτέλεσμα της μείωσης του υψομέτρου.

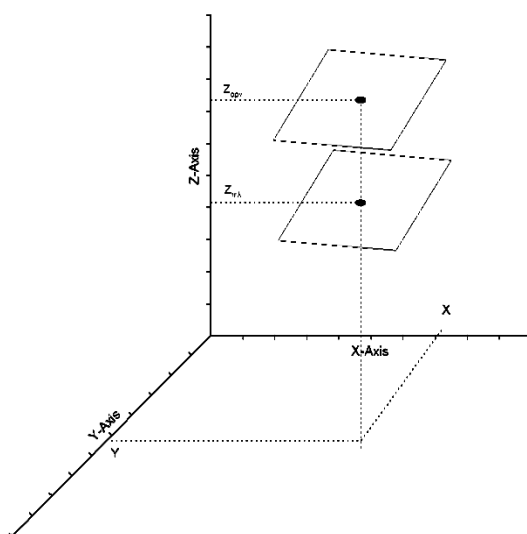
Προκειμένου να προσδιορισθεί ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζει η μεταβολή του υψομέτρου τη διαμόρφωση του αναγλύφου, υπολογίζεται η τυπική

απόκλιση της τελικής επιφάνειας ως προς το μέσο υψόμετρο της αρχικής επιφάνειας, υπό την παραδοχή ότι η αρχική επιφάνεια μετατοπίζεται ομοιόμορφα κατά το μέσο ΔZ μεταξύ της αρχικής και της τελικής επιφάνειας. Κατά συνέπεια η μόνη μεταβολή που υπεισέρχεται είναι αποτέλεσμα της μείωσης του υψομέτρου.

Η τυπική απόκλιση ισούται με τη θετική τετραγωνική ρίζα της διασποράς. Αποτελεί ένα τυποποιημένο μέτρο για τη μέτρηση της μέσης απόκλισης από την κεντρική τάση και δίνεται από τη σχέση:

$$S = \sqrt{\frac{1}{v-1} \sum_i^v (x_i - \mu_x)^2} \quad (5)$$

Στο ακόλουθο σχήμα (Σχ. 1-2) απεικονίζεται η μεταβολή που προκαλείται σε μια μεμονωμένη ψηφίδα του μοντέλου εδάφους από τη μείωση του υψομέτρου.



Σχήμα 1-2 Μεταβολή σε μια ψηφίδα του αναγλύφου λόγω υψομετρικής διαφοράς

Η επίδραση της υψομετρικής διαφοράς στη μεταβολή του αναγλύφου υπολογίζεται διαμορφώνοντας ένα νέο συντελεστή, το Συντελεστή Υψομετρικής Διαφοράς (ΣΥ), σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$\Sigma Y = \frac{\sqrt{\sum_i^v (Z_{\text{τελ}}i - \mu\acute{\epsilon}\sigma\sigma Z_{\alpha\rho\chi})^2} - \sqrt{\sum_i^v (Z_{\alpha\rho\chi}i - \mu\acute{\epsilon}\sigma\sigma Z_{\alpha\rho\chi})^2}}{\sqrt{\sum_i^v (Z_{\alpha\rho\chi}i - \mu\acute{\epsilon}\sigma\sigma Z_{\alpha\rho\chi})^2}} \times 100 \quad (6)$$

όπου, για την περίπτωση της ομοιόμορφης μεταβολής, $Z_{\text{τελ}}i = Z_{\alpha\rho\chi}i - \mu\acute{\epsilon}\sigma\sigma\Delta Z$

Ο ΣΥ χωρίζεται επίσης σε 10 κατηγορίες (όπου, κατηγορία 1: βέλτιστη περίπτωση και κατηγορία 10: χειρίστη περίπτωση), όπως φαίνεται στον Πίνακα 1-2.

Πίνακας 1-2 Κατηγορίες ΣΥ

Κατηγορίες ΣΥ	Τιμές
1	0 -10%
2	11-20%
3	21-30%
4	31-40%
5	41-50%
6	51-60%
7	61-70%
8	71-80%
9	81-90%
10	>91%

1.4.2.3 Διορθωμένος Δείκτης Μορφολογίας (ΔΔΜ) - Adjusted LI (ALI)

Με δεδομένο ότι ο Συντελεστής Υψομέτρου ως προς το Δείκτη Μορφολογίας είναι μικρότερης σημασίας, ο πρώτος χρησιμοποιείται ως διορθωτικός συντελεστής στη μεταβολή της μορφολογίας του αναγλύφου. Πιο συγκεκριμένα, ο Διορθωμένος Δείκτης Μορφολογίας (ΔΔΜ) του αναγλύφου προκύπτει από το άθροισμα του ΔΜ και του ΣΥ λαμβάνοντας συντελεστές βαρύτητας 80% και 20%, αντίστοιχα:

$$\Delta\Delta\text{Μ} = 0,8*\Delta\text{Μ} + 0,2*\Sigma\text{Υ} \quad (7)$$

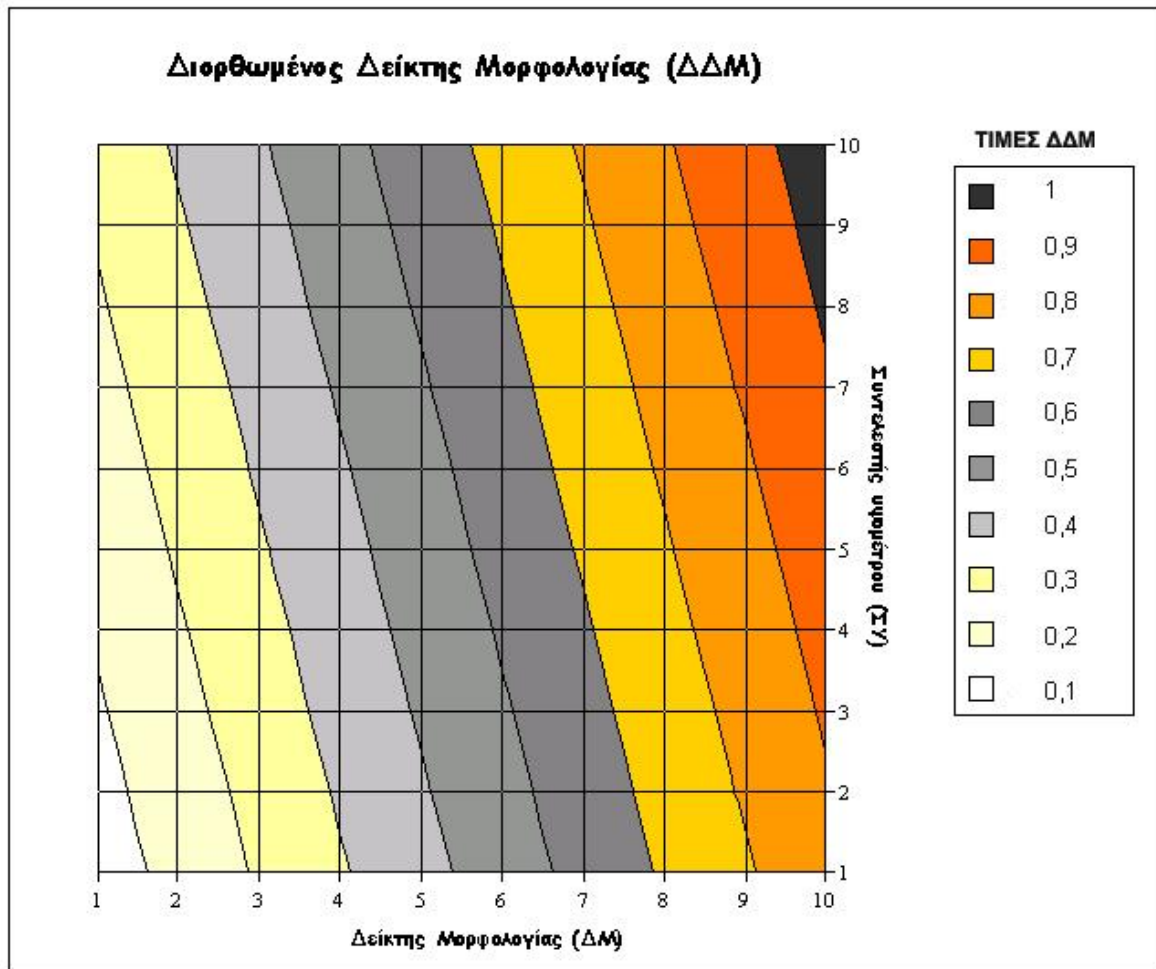
Έτσι, η μεταβολή του υψομέτρου συνυπολογίζεται στον τελικό δείκτη, ο οποίος μειώνεται ή παραμένει σταθερός για πολύ χαμηλή και χαμηλή μεταβολή του ΣΥ, αντίστοιχα, ενώ αυξάνει όταν η μεταβολή του ΣΥ είναι υψηλή.

Στον Πίνακα 5.7 δίνονται οι 10 τελικές κατηγορίες του Διορθωμένου Δείκτη Μορφολογίας, (όπου, 0,1: βέλτιστη περίπτωση και 1: χειρίστη περίπτωση).

Πίνακας 1-3 ΔΔΜ του αναγλύφου

		ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΕΙΚΤΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ	1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8
	2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8
	3	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	4	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9
	5	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9
	6	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9
	7	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9
	8	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	9	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0
	10	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0

Ο προσδιορισμός του ΔΔΜ απεικονίζεται σχηματικά στο Διάγραμμα 1-1.



Διάγραμμα 1-1 Προσδιορισμός Διορθωμένου Δείκτη Μορφολογίας

1.4.2.4 Δείκτης Κλίσης (ΔΚ) – Slope Index (SI)

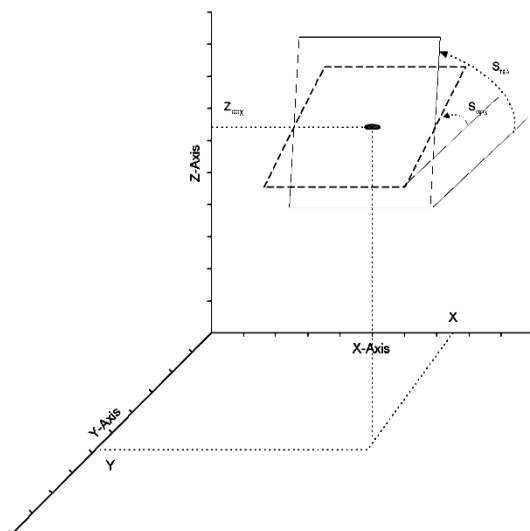
Ο Δείκτης Κλίσης (ΔΚ) προσδιορίζει τη μέση μεταβολή της κλίσης μεταξύ του αρχικού και του τελικού αναγλύφου, σε κάθε ψηφίδα του μοντέλου εδάφους. Η μέση μεταβολή της κλίσης S_{μ} δίνεται από τη σχέση:

$$S_{\mu} = \frac{1}{v} \sum_i^v |S_{\alpha\rho\chi}.i - S_{\tau\epsilon\lambda}.i| \quad (8)$$

όπου: $S_{\alpha\rho\chi}.i$ = η κλίση της αρχικής επιφάνειας στο σημείο i , με συντεταγμένες X,Y

$S_{\tau\epsilon\lambda}.i$ = η κλίση της τελικής επιφάνειας στο σημείο i , με συντεταγμένες X,Y

Στο Σχήμα 1-3 απεικονίζεται η μεταβολή που προκαλείται σε μια ψηφίδα από τη μεταβολή της κλίσης.



Σχήμα 1-3 Μεταβολή σε μια ψηφίδα του αναγλύφου λόγω μεταβολής της κλίσης

Επειδή η κλίση υπολογίζεται πάντα ως προς το οριζόντιο επίπεδο η μέγιστη κλίση που μπορεί να παρατηρηθεί σε ένα στοιχειώδες τμήμα (ψηφίδα) της επιφάνειας είναι 90°. Προκειμένου να κανονικοποιηθούν τα αποτελέσματα και να δημιουργηθεί μια ενιαία κλίμακα από 0 έως 1, η παραπάνω σχέση έχει διαμορφωθεί ως εξής:

$$S\mu = \frac{1}{v} \sum_i^v \frac{|S_{αρχ. i} - S_{τελ. i}|}{90} \quad (9)$$

Ο ΔΚ χωρίζεται σε 5 κατηγορίες (όπου, κατηγορία Α: βέλτιστη περίπτωση και κατηγορία Ε: χείριστη περίπτωση), όπως φαίνεται στον Πίνακα 1-4.

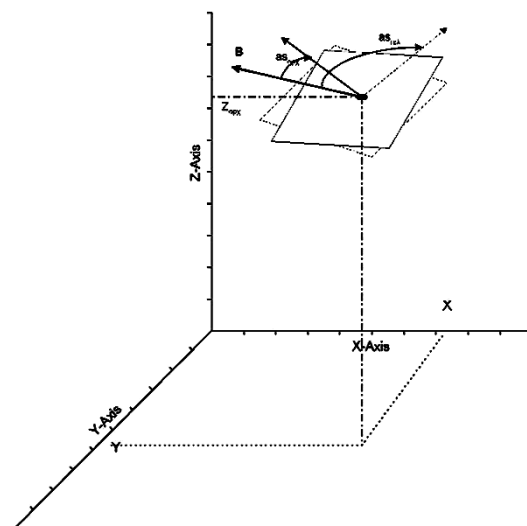
Πίνακας 1-4 Κατηγορίες ΔΚ

Κατηγορίες ΔΚ	Τιμές
A	0 - 0,05
B	0,06 - 0,15
Γ	0,16 - 0,30
Δ	0,31- 0,60
E	0,61-1,00

1.4.2.5 Δείκτης Προσανατολισμού (ΔΠ) – Aspect Index (AI)

Ο Δείκτης Προσανατολισμού (ΔΠ) προσδιορίζει τη μέση μεταβολή του προσανατολισμού, η οποία προκαλείται από την εκμετάλλευση, μεταξύ του αρχικού και του τελικού αναγλύφου, σε κάθε ψηφίδα του μοντέλου εδάφους. Η μέγιστη μεταβολή του προσανατολισμού που μπορεί να παρατηρηθεί σε μια ψηφίδα είναι 180° . Η μεταβολή αυτή μπορεί να είναι αριστερόστροφη ή δεξιόστροφη.

Στο Σχήμα 1-4 απεικονίζεται η μεταβολή που προκαλείται σε μια ψηφίδα από τη μεταβολή του προσανατολισμού.



Σχήμα 1-4 Μεταβολή σε μια ψηφίδα του αναγλύφου λόγω μεταβολής του προσανατολισμού

Η μέση μεταβολή του προσανατολισμού δίνεται από τη σχέση:

$$As_{\mu} = \frac{1}{v} \sum_i^v |As_{αρχ.}^i - As_{τελ.}^i| \quad (10)$$

όπου: $As_{αρχ.}^i$ = ο προσανατολισμός της αρχικής επιφάνειας στο σημείο i , με συντεταγμένες X, Y

$As_{τελ.}^i$ = ο προσανατολισμός της τελικής επιφάνειας στο σημείο i , με συντεταγμένες X, Y

Προκειμένου να κανονικοποιηθούν τα αποτελέσματα, ώστε να δημιουργηθεί μια κλίμακα από 0 έως 1, ο προσανατολισμός κάθε ψηφίδας εκφράζεται σε τιμές από -180° έως $+180^{\circ}$ και η παραπάνω η σχέση διαμορφώνεται ως εξής:

$$As_{\mu} = \frac{1}{v} \sum_i^v \left| \frac{As_{αρχ.}^i - As_{τελ.}^i}{180} \right| \quad (11)$$

Ο ΔΠ χωρίζεται σε 4 κατηγορίες (όπου, κατηγορία Α: βέλτιστη περίπτωση και κατηγορία Δ: χειρίστη περίπτωση), όπως φαίνεται στον Πίνακα 1-5.

Πίνακας 1-5 Κατηγορίες ΔΠ

Κατηγορίες ΔΠ	Τιμές
A	0 - 0,25
B	0,26 - 0,50
Γ	0,51 - 0,75
Δ	0,76 - 1,00

Ύστερα από την ποσοτικοποίηση και την κατηγοριοποίηση των επιμέρους δεικτών έχει πραγματοποιηθεί η τελική ταξινόμηση της μεταβολής του αναγλύφου. Συνολικά έχουν διαμορφωθεί 5 κατηγορίες του Βαθμού Μεταβολής (BM) του αναγλύφου. Η επιλογή των 5 κατηγοριών έχει βασιστεί στους Οπτικούς Ποιοτικούς Στόχους του μοντέλου V.M.S. και στις Κλάσεις Οπτικής Ευαισθησίας του μοντέλου V.I.A., σύμφωνα με την ακόλουθη αντιστοιχία (Πίν. 1-6):

Πίνακας 1-6 Αντιστοιχία Β.Μ. – Ο.Π.Σ. και Κ.Ο.Ε.

Βαθμός Μεταβολής	Ο.Π.Σ. κατά V.M.S.	Κ.Ο.Ε. κατά V.I.A.
Πολύ χαμηλός – Χαμηλός	Συγκράτηση	Υψηλή ευαισθησία
Μέτριος	Μερική τροποποίηση	Μέτρια ευαισθησία
Υψηλός	Τροποποίηση	Χαμηλή ευαισθησία
Πολύ υψηλός	Μέγιστη τροποποίηση	Πολύ χαμηλή ευαισθησία

Όπως φαίνεται στον παραπάνω Πίνακα, οι κατηγορίες «Συγκράτηση» και «Υψηλή ευαισθησία» των μοντέλων V.M.S. και V.I.A. αντίστοιχα, έχουν διαχωριστεί σε δύο επιμέρους κατηγορίες στη μεθοδολογία LETOPID. Αυτό έχει γίνει προκειμένου να διαφοροποιούνται κάποιες ειδικές περιπτώσεις εκμεταλλεύσεων, όπως είναι οι δανειοθάλαμοι.

Οι κατηγορίες του ΒΜ του αναγλύφου παρουσιάζονται με τη μορφή ενός τελικού πίνακα (Πίνακας 1-7), για τη δημιουργία του οποίου οι επιμέρους δείκτες θεωρήθηκαν ισοβαρείς.

Πίνακας 1-7 Κατηγορίες Βαθμού Μεταβολής του αναγλύφου

		ΔΕΙΚΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΛΙΣΗΣ																			
		ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Α				ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Β				ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Γ				ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Δ				ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Ε			
		0-0,05				0,06-0,15				0,16-0,30				0,31-0,60				0,61-1			
ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ	0,1	0,08	0,17	0,25	0,33	0,11	0,19	0,28	0,36	0,15	0,23	0,32	0,4	0,23	0,31	0,39	0,48	0,34	0,43	0,51	0,59
	0,2	0,12	0,2	0,28	0,37	0,14	0,23	0,31	0,39	0,18	0,27	0,35	0,43	0,26	0,34	0,43	0,51	0,38	0,46	0,54	0,63
	0,3	0,15	0,23	0,32	0,4	0,18	0,26	0,34	0,43	0,22	0,3	0,38	0,47	0,29	0,38	0,46	0,54	0,41	0,49	0,58	0,66
	0,4	0,18	0,27	0,35	0,43	0,21	0,29	0,38	0,46	0,25	0,33	0,42	0,5	0,33	0,41	0,49	0,58	0,44	0,53	0,61	0,69
	0,5	0,22	0,3	0,38	0,47	0,24	0,33	0,41	0,49	0,28	0,37	0,45	0,53	0,36	0,44	0,53	0,61	0,48	0,56	0,64	0,73
	0,6	0,25	0,33	0,42	0,5	0,28	0,36	0,44	0,53	0,32	0,4	0,48	0,57	0,39	0,48	0,56	0,64	0,51	0,59	0,68	0,76
	0,7	0,28	0,37	0,45	0,53	0,31	0,39	0,48	0,56	0,35	0,43	0,52	0,6	0,43	0,51	0,59	0,68	0,54	0,63	0,71	0,79
	0,8	0,32	0,4	0,48	0,57	0,34	0,43	0,51	0,59	0,38	0,47	0,55	0,63	0,46	0,54	0,63	0,71	0,58	0,66	0,74	0,83
	0,9	0,35	0,43	0,52	0,6	0,38	0,46	0,54	0,63	0,42	0,5	0,58	0,67	0,49	0,58	0,66	0,74	0,61	0,69	0,78	0,86
	1	0,38	0,47	0,55	0,63	0,41	0,49	0,58	0,66	0,45	0,53	0,62	0,7	0,53	0,61	0,69	0,78	0,64	0,73	0,81	0,89
		A	B	Γ	Δ	A	B	Γ	Δ	A	B	Γ	Δ	A	B	Γ	Δ	A	B	Γ	Δ
		ΔΕΙΚΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ																			

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΒΑΘΜΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ	ΤΙΜΕΣ
Πολύ χαμηλή μεταβολή	0,08-0,15
Χαμηλή μεταβολή	0,17-0,25
Μέτρια μεταβολή	0,26-0,40
Υψηλή μεταβολή	0,41-0,58
Πολύ υψηλή μεταβολή	0,59-0,89

Κεφάλαιο 2

Ανάπτυξη αυτοματοποιημένου μοντέλου σε περιβάλλον arcGIS
10.1 για την εκτίμηση των επιπτώσεων στο τοπίο από
μεταλλευτικά έργα.

2.1 Εισαγωγή στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ)

2.1.1 Ιστορικά Στοιχεία

Ο Roger Tomlinson για πρώτη φορά την δεκαετία του '60 χρησιμοποίησε τον όρο Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ ή GIS - Geographic Information Systems) στην εργασία του «Ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών για Χωρικό Σχεδιασμό», για να περιγράψει το πρώτο λειτουργικό σύστημα ανάλυσης χαρτογραφικών δεδομένων, που αναπτύχθηκε από τον ίδιο για το ομοσπονδιακό υπουργείο δασοκομίας και αγροτικής ανάπτυξης της канаδικής κυβέρνησης.

Την δεκαετία του '80, παράλληλα με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας τα GIS εμφανίζονται. Η επανάσταση που έφεραν οι υπολογιστές στη διαχείριση της πληροφορίας άργησε να αγγίξει τον τομέα της χωρικής πληροφορίας, κυρίως για τεχνικούς λόγους, που σχετίζονται με τις αυξημένες απαιτήσεις σε γραφικά. Όταν όμως τη δεκαετία του 1990 ξεπεράστηκαν τα τεχνικά εμπόδια και όταν το κόστος των συστημάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών έπαψε να είναι απαγορευτικό, η ευρεία χρήση τους οδήγησε στην ανάπτυξη των GIS και στη σταδιακή δημιουργία των απαραίτητων χωρικών δεδομένων για τη λειτουργία των συστημάτων αυτών. Η τεχνολογία αυτή γνώρισε μία ευρύτατη σειρά εφαρμογών, σχεδόν σε κάθε ζήτημα όπου η παράμετρος της γεωγραφικής πληροφορίας υπεισέρχεται έμμεσα ή άμεσα (Γκαγιαλής, 2008).

2.1.2 Ορισμός

Ένα ΓΣΠ είναι μία πολύπλοκη, πολυεπίπεδη και πολυκλαδική σειρά διαδικασιών και αποφάσεων, έτσι ώστε η μορφή των τελικών προϊόντων του (π.χ. χάρτες) να είναι το αποτέλεσμα μιας σειράς αλυσιδωτών αποφάσεων. Μια οποιαδήποτε αλλαγή σε αυτή την αλυσίδα αποφάσεων ή διαδικασιών, θα είχε αναπόφευκτα σαν αποτέλεσμα κάποια άλλη μορφή χάρτη (Κουτσόπουλος, 2006).

Πολλοί ερευνητές, αποδίδουν διαφορετικούς ορισμούς για τα ΓΣΠ. Χαρακτηριστικά αναφέρονται:

«Τα ΓΣΠ είναι ένα αυτοποιοημένο σύνολο λειτουργιών που παρέχει στους επαγγελματίες προχωρημένες δυνατότητες για την αποθήκευση, ανάκτηση διαχείριση και παρουσίαση χωρικών δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο».

(Ozemoj, Smith και Sichertman, 1981)

«Τα ΓΣΠ αντιπροσωπεύουν ένα ισχυρό σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, αποθήκευση, ανάκτηση κατά βούληση, μετασχηματισμό και εμφάνιση χωρικών δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο».

(Burrough P., 1986)

«Τα ΓΣΠ είναι ένα σύστημα με εξελιγμένες δυνατότητες γεω-εξομοίωσης (Geo-modeling)».

(Koshkariou, Tikunou και Trofimou, 1989)

Σύμφωνα με τον Χαλκιά Χ. (2003) στο 4^ο Συνέδριο «Ελληνική Γλώσσα και Ορολογία» ο όρος GIS αποδίδεται ως εξής:

«GIS - Geographical Information System: (Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα – ΓΠΣ ή Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών – ΓΠΣ, ή Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών ΓΣΠ), το (ουσ.). Σύνολο υλικού, λογισμικού, και διαδικασιών το οποίο με την κατάλληλη χρήση υποστηρίζει τη συλλογή, διαχείριση, ανάλυση, μοντελοποίηση και παρουσίαση δεδομένων με χωρική αναφορά. Αποτελεί επίσης σημαντικό εργαλείο υποστήριξης λήψεων αποφάσεων στην επίλυση ποικίλων προβλημάτων διαχείρισης και σχεδιασμού. Τελευταία χρησιμοποιείται και η απόδοση του όρου ως Geographical Information Science (Επιστήμη Γεωγραφικών Πληροφοριών).»

Από τους παραπάνω ορισμούς συμπεραίνεται πως ένα ΓΣΠ έχει τις εξής τρεις ιδιότητες:

- να αποθηκεύσει, να διαχειριστεί και να ενσωματώσει ένα μεγάλο όγκο χωρικών στοιχείων,

- αποτελεί το καταλληλότερο εργαλείο χωρικής ανάλυσης, εστιαζόμενο ειδικά στη χωρική διάσταση των στοιχείων και
- αποτελεί ένα πολύ αποτελεσματικό μηχανισμό για την επίλυση χωρικών προβλημάτων μέσα από την οργάνωση, τη διαχείριση και το μετασχηματισμό μεγάλου όγκου στοιχείων, με τέτοιο τρόπο, που η πληροφορία να είναι προσίτη σε όλους (Κουτσόπουλος, 2002).

Ένας πιο ολοκληρωμένος ορισμός διατυπώθηκε από την Federation Internationale de Geometres (1983) σύμφωνα με τον οποίο:

«Τα GIS αποτελούν ένα εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων νομικής, διοικητικής και οικονομικής υφής και ένα όργανο για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη, το οποίο από τη μια αποτελείται από μια βάση δεδομένων που περιέχει για μια έκταση στοιχεία προσδιορισμένα στο χώρο και τα οποία σχετίζονται με τη γη και από την άλλη, αποτελείται από διαδικασίες και τεχνικές για τη συστηματική συλλογή, ενημέρωση, επεξεργασία και διανομή των στοιχείων. Η βάση ενός GIS είναι ένα ενιαίο σύστημα γεωγραφικής αναφοράς, το οποίο διευκολύνει τη σύνδεση των στοιχείων μεταξύ τους καθώς και με άλλα συστήματα που περιέχουν στοιχεία για τη γη.»

Ο παραπάνω ορισμός κρίνεται πιο ολοκληρωμένος από τους προηγούμενους διότι γίνεται για πρώτη φορά αναφορά στην νομική, διοικητική, οικονομική αλλά και κοινωνική διάσταση των ΓΣΠ.

Σε σύγκριση με τους απλούς χάρτες, ένα σύστημα GIS έχει το πλεονέκτημα ότι η αποθήκευση των δεδομένων γίνεται χωριστά από την αναπαράστασή τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα ίδια δεδομένα να μπορούν να αναπαρασταθούν με διαφορετικούς τρόπους π.χ. μπορούμε να μεγεθύνουμε τον (ψηφιακό πλέον) χάρτη, να εμφανίσουμε συγκεκριμένες μόνο περιοχές, να κάνουμε υπολογισμούς αποστάσεων μεταξύ τοποθεσιών, να δημιουργήσουμε πίνακες που να δείχνουν τα διάφορα χαρακτηριστικά του χάρτη, να υπερθέσουμε επιπλέον πληροφορία πάνω στο χάρτη (Κωστάρας, 2000).

Πέραν της δυνατότητας σχεδίασης και χειρισμού χαρτών, ένα σύστημα GIS μπορεί να συνδέει εξωτερικές βάσεις δεδομένων με αντικείμενα που ανήκουν στο χάρτη. Αυτή η σύνδεση επιτρέπει όποιες αλλαγές γίνονται στις βάσεις δεδομένων, να φαίνονται αμέσως στο χάρτη καθώς και την υποβολή ερωτήσεων στη βάση δεδομένων

απευθείας από το χάρτη. Επίσης, διαθέτει ένα σύνολο από εργαλεία που μπορούν να διαχωρίσουν τα διάφορα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στις εξωτερικές βάσεις δεδομένων, εμφανίζοντας αντικείμενα ή περιοχές που ικανοποιούν συγκεκριμένα κριτήρια με διαφορετικά χρώματα ή σχήματα.

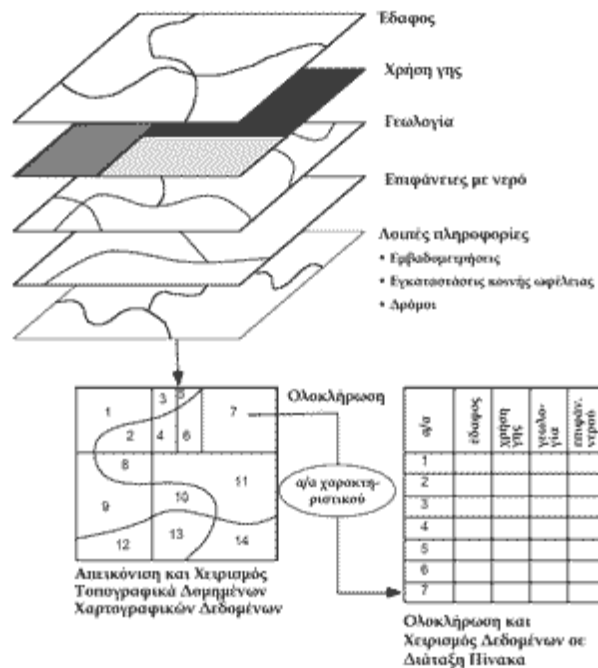
Η πληροφορία αποθηκεύεται ως ιδιότητα (attribute) του γραφικά παρουσιαζόμενου χαρακτηριστικού σε μια Βάση Δεδομένων (ΒΔ). Για κάθε χαρακτηριστικό (feature) αποθηκεύονται τρεις βασικές πληροφορίες στη ΒΔ: η γεωγραφική πληροφορία, η προβολή (projection) πάνω στην οποία εκφράζεται η γεωγραφική πληροφορία και η ιδιότητά του, καθώς και πληροφορίες που σχετίζονται με το τι χαρακτηριστικό είναι, που βρίσκεται και πως σχετίζεται με άλλα χαρακτηριστικά (ESRI, 1990).

Τα δεδομένα οργανώνονται σε θεματικά επίπεδα (layers, coverage) όπου το κάθε επίπεδο αναπαριστά ένα κοινό χαρακτηριστικό (feature). Ένα σύνολο από χαρακτηριστικά (π.χ. όλο το οδικό δίκτυο) θεωρούνται ως ένα στρώμα (layer) (ESRI, 1990; MapInfo Corporation, 2009). Τοποθετώντας αυτές τις διαφάνειες τη μια πάνω στην άλλη δημιουργούμε έναν πλήρη χάρτη. Το GIS σύστημα συνδυάζει διάφορα στρώματα για να απαντήσει σε συγκεκριμένες χωρικές ερωτήσεις. Χαρακτηριστικά που σχετίζονται μεταξύ τους, όπως π.χ. ποτάμια και κανάλια, θα μπορούν να εμφανίζονται σε ένα στρώμα, ενώ υποδομή, όπως δρόμοι, να εμφανίζονται σε άλλο στρώμα. Όταν κάποια χαρακτηριστικά δεν ενδιαφέρουν το χρήστη σε κάποια χρονική στιγμή, θα μπορεί να τ' αποκρύπτει εμφανίζοντας μόνο την πληροφορία που τον ενδιαφέρει (Gillings & Wise 1990).

Τα δεδομένα αυτά, συνήθως λέγονται γεωγραφικά ή χαρτογραφικά ή χωρικά spatial data) και μπορεί να συσχετίζονται με μια σειρά από περιγραφικά δεδομένα (attribute data) που τα χαρακτηρίζουν μοναδικά. Τα χωρικά δεδομένα είναι συνήθως σε δυο μορφές. Η πρώτη είναι σε μορφή ψηφιδωτού (raster data), όπως δορυφορικές εικόνες, αεροφωτογραφίες και άλλα είδη πλαισίων όπου η πληροφορία συνδέεται με τα εικονοστοιχεία (pixels) των εικόνων. Η δεύτερη μορφή είναι τα διανυσματικά δεδομένα (vector data), τα οποία οργανώνονται σε ψηφιακή μορφή:

- Σημείων (points), π.χ. αεροδρόμια, σπίτια, πόλεις, δέντρα κλπ.
- Γραμμών (lines), π.χ. δρόμοι, ποτάμια, σωληνώσεις, κλπ., και
- Πολυγώνων (areas), π.χ. κομμάτια γης, αστικές περιοχές, περιφέρειες κλπ (Γκατζόφλιας, 2007).

Στο Σχήμα 2-1 παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας των GIS, όπου οι επιμέρους θεματικές βαθμίδες χαρτογραφικής πληροφορίας συνδυάζονται σε μία και μόνο οπτική απεικόνιση, η οποία συνδέεται με βάση δεδομένων για το σύνολο των χαρακτηριστικών που αυτή η απεικόνιση περιλαμβάνει (Γκαγιαλής, 2008).



Σχήμα 2-1 Αρχή λειτουργίας GIS (Γκαγιαλής, 2008)

Σε μία πιο γενική μορφή, ένα ΓΣΠ είναι ένα εργαλείο "έξυπνου χάρτη", το οποίο επιτρέπει στους χρήστες του να αποτυπώσουν μια περίληψη του πραγματικού κόσμου, να δημιουργήσουν διαδραστικά ερωτήσεις χωρικού ή περιγραφικού χαρακτήρα (αναζητήσεις δημιουργούμενες από τον χρήστη), να αναλύσουν τα χωρικά δεδομένα (spatial data), να τα προσαρμόσουν και να τα αποδώσουν σε αναλογικά μέσα (εκτυπώσεις χαρτών και διαγραμμάτων) ή σε ψηφιακά μέσα (αρχεία χωρικών δεδομένων, διαδραστικοί χάρτες στο Διαδίκτυο).

Τα συστήματα GIS, όπως και τα συστήματα CAD, αποτυπώνουν χωρικά δεδομένα σε γεωγραφικό ή χαρτογραφικό ή καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Βασικό χαρακτηριστικό των ΓΣΠ είναι ότι τα χωρικά δεδομένα συνδέονται και με περιγραφικά δεδομένα, π.χ. μια ομάδα σημείων που αναπαριστούν θέσεις πόλεων συνδέεται με ένα πίνακα όπου κάθε εγγραφή εκτός από τη θέση περιέχει πληροφορίες όπως ονομασία, πληθυσμός κλπ.

Πολλές φορές η ολοκληρωμένη έννοια των GIS (integrated GIS concept) επεκτείνεται για να συμπεριλάβει τόσο τα δεδομένα (που αποτελούν ουσιαστικά τον πυρήνα τους), το λογισμικό και τον μηχανικό εξοπλισμό, όσο και τις διαδικασίες και το ανθρώπινο δυναμικό, που αποτελούν αναπόσπαστα τμήματα ενός οργανισμού, ο οποίος έχει σαν πρωταρχική του δραστηριότητα την διαχείριση πληροφορίας με την βοήθεια GIS.

Ορίζοντας λοιπόν το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών, μπορούμε να το χαρακτηρίσουμε ως ένα οργανωμένο σύνολο από πέντε δομικά στοιχεία που περιλαμβάνουν υλικό εξοπλισμό (hardware), λογισμικό (software), γεωγραφικά δεδομένα, ανθρώπινο δυναμικό και μεθόδους, με σκοπό τη συλλογή, καταχώριση, διαχείριση, ανάλυση, επεξεργασία και απόδοση, κάθε μορφής πληροφορίας που σχετίζεται με τη γεωγραφική πληροφορία. Ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών είναι ένα εργαλείο χαρτογράφησης και ανάλυσης των στοιχείων που υπάρχουν και των γεγονότων που συμβαίνουν στο γεωγραφικό χώρο. Η τεχνολογία των GIS ολοκληρώνει τις λειτουργίες των συνήθων εφαρμογών βάσεων δεδομένων, όπως αναζήτηση και στατιστική ανάλυση, με τα πλεονεκτήματα της οπτικής απεικόνισης και της γεωγραφικής ανάλυσης που προσφέρουν οι χάρτες. Ακόμα, σε σύγκριση με τους απλούς χάρτες, ένα σύστημα ΓΣΠ έχει το πλεονέκτημα ότι η αποθήκευση των δεδομένων γίνεται χωριστά από την αναπαράστασή τους κι αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα ίδια δεδομένα να μπορούν να αναπαρασταθούν με διαφορετικούς τρόπους. Επιπλέον, ένα σύστημα ΓΣΠ έχει όλα εκείνα τα πλεονεκτήματα από τη χρήση των Η/Υ όπως, διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων εύκολα και γρήγορα (Κουτσόπουλος, 2002).

2.1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΓΣΠ

Τα ΓΣΠ όπως και κάθε εργαλείο μελέτης έχουν τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα. Αυτά είναι τα ακόλουθα (Αστάρης et al., 2007):

Πλεονεκτήματα:

- Τα δεδομένα διατηρούνται σε ψηφιακή μορφή με αποτέλεσμα αφενός μεν να καταλαμβάνουν μικρό χώρο, αφετέρου δε να είναι εύχρηστα.
- Οι γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι ποσοτικές πληροφορίες οι οποίες είναι δυνατόν να καταχωρούνται κατά οποιαδήποτε γεωγραφική μονάδα ή διάταξη, για παράδειγμα, κατά δήμο, κατά τοπογραφικό φύλλο χάρτη, κατά νομό.

- Γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι δυνατόν να δημιουργηθούν για οποιοδήποτε αντικείμενο, χαρακτηριστικό, ιδιότητα ή συνδυασμό των πιο πάνω δεδομένων. Υπάρχοντα δεδομένα είναι δυνατόν να ενσωματωθούν – με ή χωρίς αλλαγές και επεξεργασία- στη βάση δεδομένων εφόσον είναι κατά χώρο προσανατολισμένα.
- Είναι εφικτός ο γρήγορος και επαναλαμβανόμενος αναλυτικός έλεγχος ή θεωρητικών μοντέλων για την εκτίμηση επιστημονικών κριτηρίων.
- Οι διάφορες μορφές εξαγομένων αποτελεσμάτων παράγονται πολύ γρήγορα, αποτελούνται από μεμονωμένα ή σύνθετα θέματα, για οποιαδήποτε θέση της βάσης δεδομένων και σε οποιαδήποτε κλίμακα.
- Είναι δυνατή η εύκολη ενημέρωση της βάσης δεδομένων, πράγμα που επιτρέπει τον αποτελεσματικό εντοπισμό και την ανάλυση των αλλαγών που έγιναν σε δυο ή περισσότερες περιόδους.
- Πολλές μορφές ανάλυσης πραγματοποιούνται με πολύ μικρότερο κόστος από ότι με τις κλασσικές μεθόδους π.χ. ο υπολογισμός των κλίσεων ενός τοπογραφικού χάρτη.
- Όλες οι αναλύσεις γίνονται κατά αντικειμενικό τρόπο και τα αποτελέσματα παράγονται αυτόματα.

Μειονεκτήματα:

- Το αρχικό κόστος απόκτησης του συστήματος καθώς και της τεχνικής υποστήριξης και συντήρησης αυτού, είναι αρκετά υψηλό.
- Η αποτελεσματική χρήση του συστήματος προϋποθέτει την άρτια εκπαίδευση του κατάλληλου προσωπικού.
- Υπάρχουν προβλήματα κατά τη μετατροπή και καταχώρηση ορισμένων προϋπάρχοντων δεδομένων σε συγκεκριμένη βάση δεδομένων.

2.2 Εισαγωγή στο ArcGIS

2.2.1 **Λογισμικά ArcGIS**

Το ArcGIS είναι μια ολοκληρωμένη συλλογή από προϊόντα λογισμικού GIS της εταιρίας ESRI. Σύμφωνα με την ESRI (2010, από Marathon Data Systems) παρέχει μια πλατφόρμα για διαδικασίες χωρικής ανάλυσης, διαχείρισης δεδομένων και απεικόνισης. Το ArcGIS είναι επεκτάσιμο και μπορεί να ενσωματωθεί σε ήδη

υπάρχοντα συστήματα επιχειρησιακών διαδικασιών όπως work order management, business intelligence και executive dashboards.

Το ArcGIS μπορεί να χρησιμοποιηθεί παντού είτε σε περιβάλλον desktop είτε μέσω servers και φορητών συσκευών. Μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί για να προσπελάσει online υπηρεσίες. Με γνώση προγραμματισμού, το ArcGIS παρέχει εργαλεία για την δημιουργία εφαρμογών σύμφωνα με τις εκάστοτε ανάγκες.

Το ArcGIS χρησιμοποιείται σε διάφορους οργανισμούς ώστε να βελτιώσουν τη ροή των εργασιών τους και να λύσουν τα πιο επίμονα προβλήματα τους.

Χρησιμότητα του ArcGIS:

- Διαχείριση δεδομένων / πόρων: ενσωμάτωση συστημάτων, διαχείριση υποθέσεων/αξιώσεων, διαχείριση περιοχών εξυπηρέτησης/ ευθύνης και διαχείριση πελατών
- Ανάλυση και σχεδιασμός: προβλέψεις και ανάλυση κινδύνου
- Επιχειρησιακές διαδικασίες: τηλεφωνικό κέντρο/αποστολές, παρακολούθηση και συλλογή δεδομένων από το πεδίο, επιθεωρήσεις, συντήρηση και λειτουργίες, δρομολόγηση
- Επίγνωση καταστάσεων: υποστήριξη λήψης αποφάσεων και πρόσβαση από πελάτες/κοινό

Το ArcGIS παρέχει διάφορα λογισμικά όπως Desktop, Server, Web, Mobile, για την διεκπεραίωση διαφορετικών εργασιών σε desktop, στο πεδίο ή για χρήση και κοινοποίηση πληροφοριών στο internet. Έχουν κυκλοφορήσει μία σειρά από εκδόσεις των λογισμικών ArcGIS, με την πιο σύγχρονη να είναι η έκδοση ArcGIS 10. Τέλος, από την κυκλοφορία του ArcGIS 9 και έπειτα, υποστηρίζεται η γλώσσα Python (εγκαθίσταται αυτόματα με την εγκατάσταση του λογισμικού ArcGIS) και είναι δυνατόν για κάποιον να γράψει αυτόνομες εφαρμογές σε αυτήν τη γλώσσα, όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν διαδικασίες από το ArcGIS.

2.2.2 ArcGIS - Desktop

Το ArcGIS Desktop (ESRI 2004, από Marathon Data Systems) περιλαμβάνει μία ομάδα από ενοποιημένες εφαρμογές στις οποίες συμπεριλαμβάνονται τα ArcCatalog, ArcMap, ArcGlobe, ArcToolbox και ModelBuilder. Η ενοποιημένη αξιοποίηση των εφαρμογών ArcGIS Desktop επιτρέπει στους χρήστες της τεχνολογίας των Γεωγραφικών

Συστημάτων Πληροφοριών να υλοποιούν οποιαδήποτε εργασία με επίκεντρο το χώρο, από την πιο απλή έως την πιο πολύπλοκη, όπως είναι η χαρτογραφία, η γεωγραφική ανάλυση, η επεξεργασία των γεωγραφικών δεδομένων, η μετατροπή μεταξύ διαφορετικών μορφότυπων δεδομένων, η απεικόνιση, η διαχείριση των δεδομένων κ.α.

Η δομή του ArcGIS Desktop είναι κλιμακούμενη ως προς τις δυνατότητές της προκειμένου να εκπληρώσει τις απαιτήσεις των διαφορετικών τύπων χρηστών. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά χρειάζεται κανείς, μπορεί να επιλέξει μεταξύ τριών επιπέδων αδειοδότησης του ArcGIS Desktop (ArcInfo, ArcEditor, ArcView). Τα προϊόντα του ArcGIS Desktop μοιράζονται τις ίδιες εφαρμογές (ArcMap, ArcCatalog), διεπαφές χρηστών και περιβάλλον ανάπτυξης. Καθώς οι χρήστες κινούνται από τον ArcView στον ArcEditor και στον ArcInfo διατίθεται επιπρόσθετη λειτουργικότητα. Τα τρία διακριτά επίπεδα δυνατοτήτων του λογισμικού ArcGIS Desktop είναι τα εξής:

1. Λογισμικό απεικόνισης, επεξεργασίας και ανάλυσης των γεωγραφικών δεδομένων – ArcView.
2. Λογισμικό πλήρους διαχείρισης και επεξεργασίας των γεωγραφικών δεδομένων - ArcEditor.
3. Λογισμικό πλήρους διαχείρισης, επεξεργασίας και ανάλυσης των γεωγραφικών δεδομένων - ArcInfo.

2.2.2.1 ArcView

Το ArcView (ESRI, 2004) είναι μία desktop εφαρμογή που συναντάται στα γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα και χρησιμοποιείται για την βασική απεικόνιση, την διαχείριση, την δημιουργία και την ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων. Με τη χρήση του ArcView γίνεται κατανοητό το γεωγραφικό περιεχόμενο των δεδομένων, επιτρέποντας έτσι να δει κανείς τις σχέσεις μεταξύ των δεδομένων και να αναγνωρίσει τα πρότυπα με νέους τρόπους.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του ArcView είναι:

- Δημιουργία χαρτών – Με τη χρήση προκαθορισμένων προτύπων χαρτών εξοικονομείται χρόνος και γίνεται εύκολα η παραγωγή ομοιόμορφων και συνεπών χαρτών.

- Χωρικά ερωτήματα – Υποβολή ερωτημάτων στα δεδομένα και επίλυση περίπλοκων προβλημάτων μέσα από μια ποικιλία εργαλείων: διαδραστική μέτρηση αποστάσεων, εύρεση στοιχείων στο χάρτη, επιλογή δεδομένων με βάση την τοποθεσία ή κάποιο χαρακτηριστικό τους, αποεπιλογή όλων, πρόσβαση στις ιδιότητες των επιπέδων μέσα από το κουτί διαλόγου του Identify, και πολλά άλλα.
- Βασική μοντελοποίηση και ανάλυση μέσω μοντέλων διαδικασιών, scripts και διαγραμμάτων ροής – Μοντελοποίηση χωρικών συσχετίσεων, μέτρηση πως τα στοιχεία μέσα σε μια συλλογή δεδομένων σχετίζονται μεταξύ τους στο χώρο, και οπτικοποίηση - παρουσίαση των αποτελεσμάτων μέσα από αναφορές και διαγράμματα.
- Απλή επεξεργασία στοιχείων και ενοποίηση δεδομένων – Δημιουργία και επεξεργασία σημειακών, γραμμικών και πολυγωνικών στοιχείων καθώς και επεξεργασία των χαρακτηριστικών τους.
- Χρήση μιας μεγάλης συλλογής από είδη δεδομένων που περιλαμβάνουν δημογραφικά στοιχεία, εγκαταστάσεις, CAD αρχεία, εικόνες, δικτυακές εφαρμογές, και πολυμέσα.
- Έτοιμες προς χρήση συλλογές δεδομένων – Άμεση απεικόνιση και ανάλυση με την βοήθεια των ενσωματωμένων δεδομένων της ESRI και του Maps Media Kit, που ενημερώνονται κάθε χρόνο και έχουν προ-διαμορφωθεί ώστε να δουλεύουν συγκεκριμένα με το λογισμικό της ESRI.
- Δυνατότητα επεκτάσεων – Προσθήκη περισσότερων δυνατοτήτων και επέκταση της δύναμης του ArcView με τη χρήση μιας ή περισσότερων από τις πολλές προαιρετικές επεκτάσεις του ArcGIS Desktop (ArcGIS Desktop extensions). Οι επεκτάσεις αυτές επιτρέπουν την πραγματοποίηση πιο απαιτητικών λειτουργιών, όπως γεωεπεξεργασία πλεγματικών αρχείων και τρισδιάστατη ανάλυση.

2.2.2.2 ArcEditor

Το λογισμικό ArcEditor (ESRI, 2004) αποτελεί μια πλήρη λύση λογισμικού GIS σε σχέση με την επεξεργασία και με τη διαχείριση των γεωγραφικών δεδομένων. Περιέχοντας το σύνολο των δυνατοτήτων που προσφέρει το λογισμικό ArcView, το ArcEditor έχει επιπλέον ενσωματωμένο ένα πλούσιο σύνολο εργαλείων επεξεργασίας και επικύρωσης γεωγραφικών δεδομένων.

Το λογισμικό ArcEditor υποστηρίζει τόσο τη δυνατότητα επεξεργασίας των δεδομένων από μοναδικό χρήστη, όσο και τη δυνατότητα ταυτόχρονης επεξεργασίας των δεδομένων από πολλούς χρήστες.

Οι πλέον αντιπροσωπευτικές εργασίες που μπορούν να υλοποιηθούν με το λογισμικό ArcEditor είναι:

- Δημιουργία και επεξεργασία δεδομένων GIS με τη χρήση εργαλείων επεξεργασίας σχεδιαστικού τύπου.
- Δημιουργία πλούσιων σε δυνατότητες γεωγραφικών βάσεων δεδομένων με αντικείμενα που έχουν ενσωματωμένη συμπεριφορά, συνοδευόμενη από κανόνες επικύρωσης.
- Μοντελοποίηση πολύπλοκων ροών εργασίας κατά την επεξεργασία των δεδομένων σε περιβάλλοντα ταυτόχρονης πρόσβασης από πολλούς χρήστες.
- Δημιουργία και συντήρηση της χωρικής ακεραιότητας των δεδομένων.
- Δημιουργία, διαχείριση και διερεύνηση γεωμετρικών δικτύων, δηλαδή του τοπολογικού μοντέλου που χρησιμοποιείται στην μοντελοποίηση δικτύων μονοδιάστατης ροής, όπως αυτών της μεταφοράς ή της διανομής του ηλεκτρικού δικτύου.
- Αύξηση της απόδοσης και της παραγωγικότητας κατά την επεξεργασία των δεδομένων.
- Διαχείριση του περιβάλλοντος επεξεργασίας πολλών χρηστών μέσω του versioning.
- Αποσυνδεδεμένη επεξεργασία (disconnected editing) των δεδομένων από την κεντρική βάση κι ενημέρωσή τους στο πεδίο.
- Υποστήριξη τοπολογίας στη βάση δεδομένων συνοδευόμενη από κανόνες και συμπεριφορά. Μπορεί να πραγματοποιηθεί ο εντοπισμός και η διόρθωση των σφαλμάτων κάτω από συγκεκριμένους κανόνες επικύρωσης που διασφαλίζουν τη χωρική ακεραιότητα των δεδομένων.
- Υποστήριξη κανόνων ακεραιότητας των περιγραφικών χαρακτηριστικών των δεδομένων.
- Εργαλεία επεξεργασίας annotation (γραφικών σχολίων επί του χάρτη) το οποίο μπορεί να είναι συνδεδεμένο με συγκεκριμένα χωρικά στοιχεία (feature linked annotation).

2.2.2.3 ArcInfo

Το λογισμικό ArcInfo (ESRI, 2004) εμπεριέχει πλήρως τις λειτουργικές δυνατότητες των λογισμικών ArcEditor και ArcView, προσφέροντας επιπλέον τεχνικές προχωρημένων χωρικών αναλύσεων, διαχείρισης χωρικών δεδομένων και υψηλής χαρτογραφικής απόδοσης.

Αποτελεί την πιο ολοκληρωμένη λύση λογισμικού GIS-Desktop, έχοντας ως αντιπροσωπευτικά χαρακτηριστικά:

1. Στο πεδίο της χωρικής ανάλυσης: Ένας μεγάλος αριθμός εργαλείων γεωγραφικής επεξεργασίας δίνει στο λογισμικό ArcInfo τη δυνατότητα υλοποίησης προχωρημένων αναλύσεων των χωρικών δεδομένων. Ενδεικτικά αναφέρονται οι επόμενες δυνατότητες:
 - i. Αναλύσεις επικάλυψης όπως Ένωση, Διατομή, Απαλοιφή.
 - ii. Αναλύσεις εγγύτητας όπως Δημιουργία ζώνης επιρροής, Εγγύτητα, Απόσταση σημείων.
 - iii. Αναλύσεις επιφανειών όπως Όψης, Σκίασης, Κλίσης.
 - iv. Επεξεργασία και μετατροπή πλεγματικών δεδομένων.
2. Στο πεδίο της διαχείρισης χωρικών δεδομένων: Στο λογισμικό ArcInfo προσφέρονται τεχνικές εκτεταμένης διαχείρισης του σχήματος και των δεδομένων της γεωγραφικής βάσης δεδομένων. Ενδεικτικά αναφέρονται οι επόμενες δυνατότητες:
 - i. Δημιουργία γεωγραφικών βάσεων δεδομένων ενός ή πολλών χρηστών.
 - ii. Εφαρμογή τεχνικών χωρικής ανάλυσης για τη μεταφορά δεδομένων από και προς την γεωγραφική βάση δεδομένων.
 - iii. Μετατροπή των δεδομένων της γεωγραφικής βάσης σε πολλούς, διαφορετικούς μορφότευπους.
 - iv. Υλοποίηση μαζικών επεξεργασιών στα δεδομένα της γεωγραφικής βάσης.
3. Στο πεδίο της χαρτογραφικής απόδοσης: Το λογισμικό ArcInfo απλοποιεί ιδιαίτερα τη δημιουργία χαρτών υψηλής ποιότητας, μέσω εύχρηστων εργαλείων και τεχνικών δημιουργίας χαρτών. Ενδεικτικά αναφέρονται οι επόμενες δυνατότητες:
 - i. Διάθεση μεγάλου αριθμού πρότυπων χαρτών, χαρτογραφικών συμβόλων και στοιχείων.
 - ii. Εύχρηστες τεχνικές απόδοσης συμβόλων και χαρτογραφικής σχεδίασης.

- iii. Δυνατότητα χρήσης κανόνων για την αυτόματη τοποθέτηση κειμένου και ετικετών στο χάρτη.
- iv. Ενσωμάτωση της επέκτασης του λογισμικού ArcGIS, Maplex για την ενίσχυση των προσφερόμενων τεχνικών τοποθέτησης κειμένου και ετικετών στο χάρτη.

2.2.3 ArcGIS Extensions

Οι επεκτάσεις του περιβάλλοντος του ArcGIS, αποτελούν ξεχωριστά προϊόντα τα οποία προσθέτουν επιπλέον λειτουργικότητα στο λογισμικό πακέτο. Αυτά τα εξειδικευμένα εργαλεία επιτρέπουν στο χρήστη να ασχοληθεί με προχωρημένα θέματα, όπως τρισδιάστατη οπτικοποίηση, χωρική ανάλυση, γεωστατιστική, ανάλυση δικτύων, και πολλά ακόμα. Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά, δύο από τις κυριότερες επεκτάσεις του ArcGIS, που απαιτούνται για την διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας.

2.2.3.1 ArcGIS 3D Analyst

Το ArcGIS 3D Analyst (ESRI, 2010) είναι μια από τις βασικότερες επεκτάσεις του ArcGIS Desktop που επιτρέπει την αποτελεσματική απεικόνιση και ανάλυση δεδομένων. Η σημαντικότερη λειτουργία του, είναι η απεικόνιση της τρίτης διάστασης από ψηφιακά δεδομένα τα οποία έχουν στη βάση τους κάποια τιμή z (π.χ: ύψος, βάθος). Είναι επίσης η μόνη επέκταση που προσφέρει το δικό της εξειδικευμένο περιβάλλον εργασίας για την απεικόνιση, διαχείριση και ανάλυση των τρισδιάστατων δεδομένων, το ArcScene.

Χρησιμοποιώντας το ArcGIS 3D ArcGIS, είναι δυνατή η απεικόνιση μιας επιφάνεια από πολλές οπτικές γωνίες, η εισαγωγή ερωτημάτων σχετικά με μια επιφάνεια, με τους κατάλληλους αλγόριθμους να καθοριστούν οι περιοχές που είναι ορατές από μια επιλεγμένη θέση σε μια επιφάνεια, η δημιουργία μιας ρεαλιστικής εικόνας προοπτικής που περιβάλλει πλεγματικά και διανυσματικά στοιχεία πάνω από μια επιφάνεια και επιπλέον να καταγράψετε ή να εκτελέσετε τρισδιάστατη πλοήγηση.

2.2.3.2 ArcGIS Spatial Analyst

Το ArcGIS Spatial Analyst (ESRI, 2010) είναι μια επέκταση του ArcGIS Desktop που παρέχει ισχυρά εργαλεία για περιεκτική χωρική μοντελοποίηση και ανάλυση βασισμένη κυρίως σε πλεγματικά (raster) δεδομένα. Επιτρέπει τη δημιουργία, ανάλυση και χαρτογραφική απόδοση πλεγματικών δεδομένων και την υλοποίηση

ολοκληρωμένης πλεγματικής – διανυσματικής (raster – vector) ανάλυσης. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο, όταν η απαιτούμενη μοντελοποίηση του χώρου απαιτεί καλής ποιότητας χωρική ανάλυση.

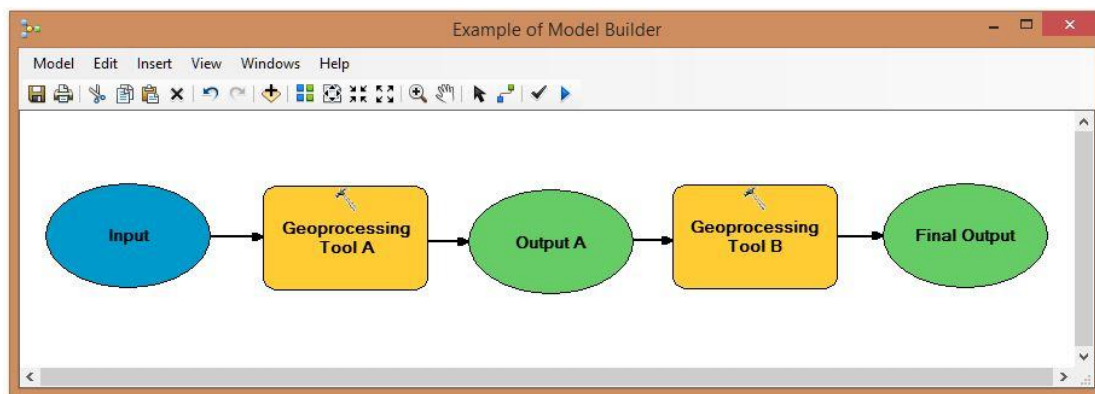
Χρησιμοποιώντας το ArcGIS Spatial Analyst, μπορεί κάποιος να εξάγει νέα πληροφορία από τα υπάρχοντα δεδομένα, να αναλύσει χωρικές σχέσεις, να δημιουργήσει χωρικά μοντέλα και να εκτελέσει πολύπλοκες λειτουργίες πλεγματικών δεδομένων.

Τα μοντέλα που εφαρμόζονται στο Spatial Analyst εμπεριέχουν τεκμηρίωση με αποτέλεσμα να γίνεται εύκολα κατανοητή η διαδικασία χωρικής ανάλυσης που εφαρμόζεται, να εξετάζονται τα what-if σενάρια και να επιτρέπουν τη σύγκριση αποτελεσμάτων.

2.3 Δημιουργία (κατασκευή) του μοντέλου - Model Builder

2.3.1 Εισαγωγή

Το Model Builder είναι ένα εργαλείο της ESRI που βοηθά στη δημιουργία, επεξεργασία και διαχείριση χωρικών μοντέλων. Το Model Builder, μπορεί να θεωρηθεί ως μία οπτική γλώσσα προγραμματισμού για τη δημιουργία ροών εργασίας. Τα μοντέλα που αναπτύσσονται είναι ροές εργασιών που συνδυάζουν ακολουθίες των εργαλείων γεωεπεξεργασίας, τροφοδοτώντας την έξοδο ενός εργαλείου (Output A) με την είσοδο ενός άλλου.



Σχήμα 2-2 Παράδειγμα απλού μοντέλου εργασιών.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε, αποτελείται από ένα σύνολο διαδικασιών γεωεπεξεργασίας και μετατρέπει τα εισερχόμενα δεδομένα σε ένα αρχείο "feature class" με γεωγραφικά δεδομένα, στο οποίο έχουν συγκεντρωθεί οι απαιτούμενες πληροφορίες για τον υπολογισμό των δεικτών που χρειάζονται για τον προσδιορισμό της μεταβολής του αναγλύφου. Τα αρχεία "feature class" αποτελούν μία συλλογή από γεωγραφικά δεδομένα με τον ίδιο τύπο γεωμετρίας (όπως σημεία, γραμμές ή πολύγωνα), τα ίδια χαρακτηριστικά και την ίδια χωρική αναφορά. Επίσης, επιτρέπουν την ομαδοποίηση ομοιογενών χαρακτηριστικών σε μία ενιαία μονάδα με σκοπό την αποθήκευσή τους σε ένα αρχείο.

Παρακάτω θα αναλυθούν τα βήματα στο λογισμικό ArcGIS Desktop 10.1 για την χρήση του Model Builder, και πιο συγκεκριμένα για την δημιουργία του μοντέλου.

2.3.2 Το μοντέλο "TRAC" (Topographic Relief Alteration Calculator)

Αρχικό βήμα για την κατασκευή ενός μοντέλου, όπως και σε κάθε πρόβλημα, αφού έχει προηγηθεί ο καθορισμός του προβλήματος, είναι ο προσδιορισμός των γνωστών

στοιχείων⁴ και ο τρόπος μετατροπής αυτών των στοιχείων σε πληροφορία. Δηλαδή όπως περιγράφεται σχηματικά: α) είσοδος στοιχείων, β) διαχείριση, γ) ανάλυση, δ) έξοδος.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η πληροφορία που πρέπει να εξαχθεί από τα εισαγόμενα δεδομένα για να είναι εφικτή η εκτίμηση του βαθμού μεταβολής αναγλύφου, πρέπει να περιέχει τα παρακάτω μορφολογικά χαρακτηριστικά:

- Υψόμετρο αρχικής και τελικής επιφάνειας
- Κλίση αρχικής και τελικής επιφάνειας
- Προσανατολισμός αρχικής και τελικής επιφάνειας

Παράλληλα, τα στοιχεία ή αλλιώς τα δεδομένα που εισάγονται και είναι ικανά να μας παρέχουν αυτήν την πληροφορία μετά από επεξεργασία, είναι τα εξής τρία αρχεία:

- Αρχικό ανάγλυφο εξεταζόμενης περιοχής
- Τελικό ανάγλυφο εξεταζόμενης περιοχής (διαμορφωμένη επιφάνεια λατομείου)
- Όριο Εκμετάλλευσης (Χώρος επέμβασης)

Τα παραπάνω εισαγόμενα δεδομένα είναι της μορφής *shapefiles* (*.shp), όσον αφορά το αρχικό και τελικό ανάγλυφο περιέχουν την πληροφορία υψομέτρου με τύπο χαρακτηριστικού *polyline* (ισοϋψείς με ισοδιάσταση τουλάχιστον 20m και 2m αντίστοιχα), ενώ το όριο εκμετάλλευσης περιέχει την πληροφορία της έκτασης που λαμβάνει χώρα η εκμετάλλευση με τύπο χαρακτηριστικού *polygon*.

Για την δημιουργία του μοντέλου και την εισαγωγή των δεδομένων ακολουθήθηκαν τα εξής:

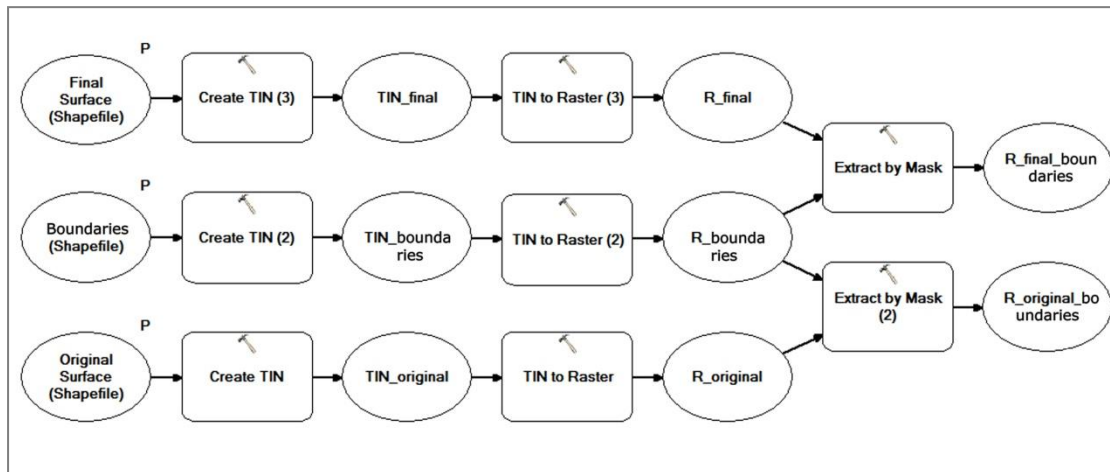
- ✓ Geoprocessing > ModelBuilder
- ✓ Insert > Add Data or Tool...
- ✓ Επιλέγουμε τα αρχεία που περιεγράφηκαν παραπάνω

Παρ' όλο που δεν είναι απαραίτητη η εισαγωγή συγκεκριμένων αρχείων για την δημιουργία μοντέλων στο Model Builder, στην παρούσα περίπτωση εισάγονται για να επαληθεύεται η συμβατότητα των τύπων αρχείων με τα εργαλεία γεωεπεξεργασίας.

⁴ Σαν στοιχείο, ορίζεται μία σειρά από αριθμητικά, ποσοτικά ή ποιοτικά χαρακτηριστικά ενός συνόλου, μη επεξεργασμένης μορφής, τα οποία όταν επεξεργαστούν, μέσω μίας διαδικασίας, μετατρέπονται σε πληροφορία (Κουτσόπουλος, 1990)

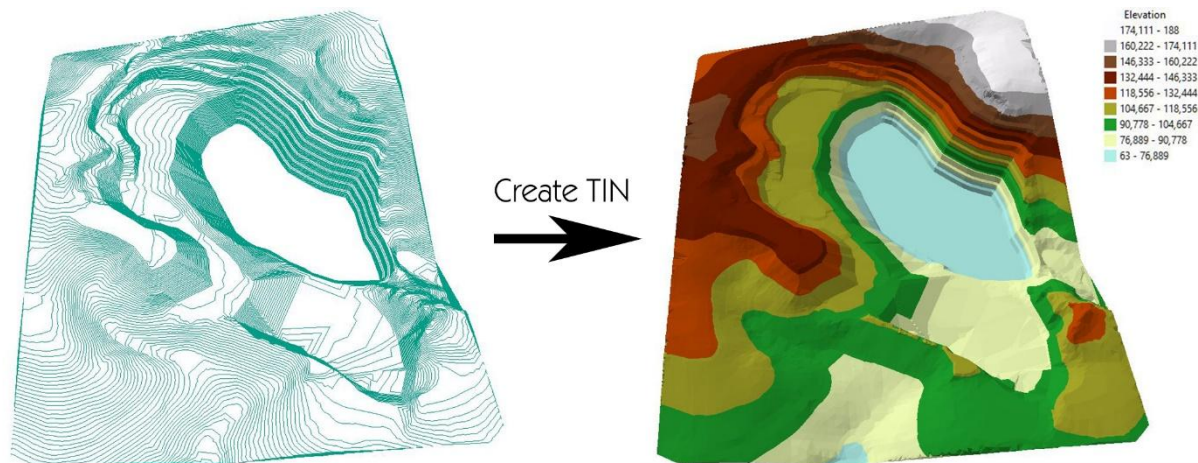
Μετάπειτα αφαιρέθηκαν χωρίς να επηρεάσουν την ροή των εργασιών για να τεθούν ως παράμετροι που μπορούν να προσδιοριστούν κατά την εκτέλεση του μοντέλου.

Για την διαχείριση και την μετατροπή των δεδομένων έγινε εισαγωγή μίας σειράς εργαλείων όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2-3 Μετατροπή shapefile σε οριοθετημένο raster (αποτελεί μέρος του μοντέλου)

1) Create TIN (3D Analyst)



Εικόνα 2-1 Παράδειγμα δημιουργίας TIN από shapefile

Από τα shapefiles δημιουργούνται αρχεία TIN (Triangulated Irregular Network). Τα αρχεία TIN είναι ψηφιακά μοντέλα εδάφους, τα οποία μπορούν να αναλυθούν και να παράξουν χαρακτηριστικά ύψους, κλίσης και προσανατολισμού της υπό μελέτης περιοχής.

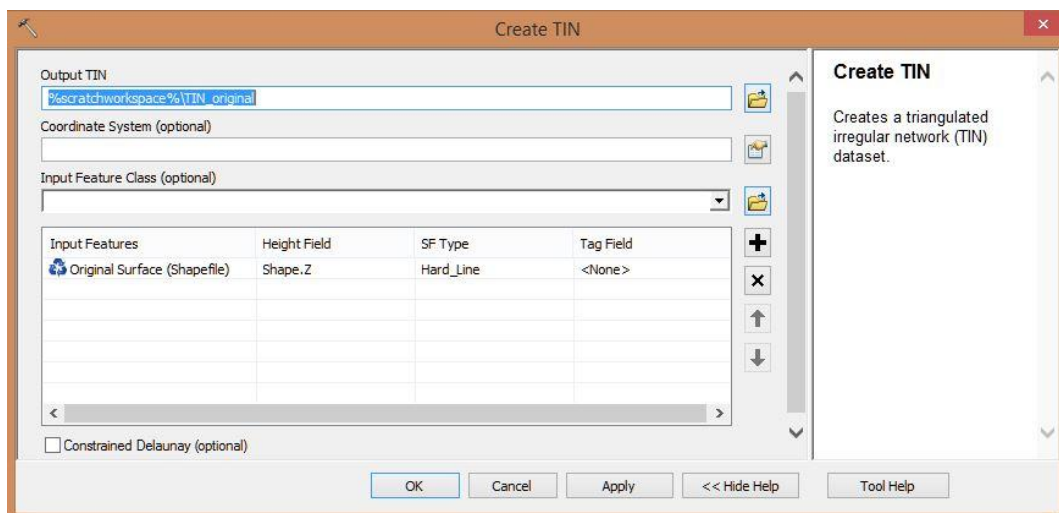
Για να εισαχθεί στο μοντέλο το εργαλείο “Create TIN” ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα.

Στο παράθυρο του Model Builder:

- ✓ Insert > Add Data or Tool...
- ✓ Toolboxes > System Toolboxes > 3D Analyst Tools > Data Management > TIN > Create TIN > Add

Εισάγεται στο μοντέλο το εργαλείο “Create TIN” και επαναλαμβάνονται τρεις φορές τα παρακάτω, μία φορά για κάθε shapefile.

- ✓ Διπλό κλικ στο Create TIN για να ανοίξουν οι ιδιότητες του εργαλείου.
- ✓ Ορίζεται το όνομα του TIN που θα δημιουργηθεί (Output TIN) σε `%scratchworkspace%\TIN original` για το αρχικό shapefile (αντίστοιχα και για τα υπόλοιπα). Η τοποθεσία αποθήκευσης του TIN ορίζεται η “scratch workspace”, έτσι ώστε στο τέλος της διαδικασίας τα TINs που δημιουργούνται να διαγράφονται, καθώς δεν χρειάζονται αφού η απαιτούμενη πληροφορία έχει μεταφερθεί.
- ✓ Στο Input Feature Class δηλώνουμε το shapefile από το οποίο θα δημιουργηθεί το TIN.
- ✓ Κρίθηκε μη αναγκαίος ο ορισμός προβολικού συστήματος (Coordinate System), γιατί επιβαρύνεται η διεργασία χωρίς νόημα.
- ✓ OK

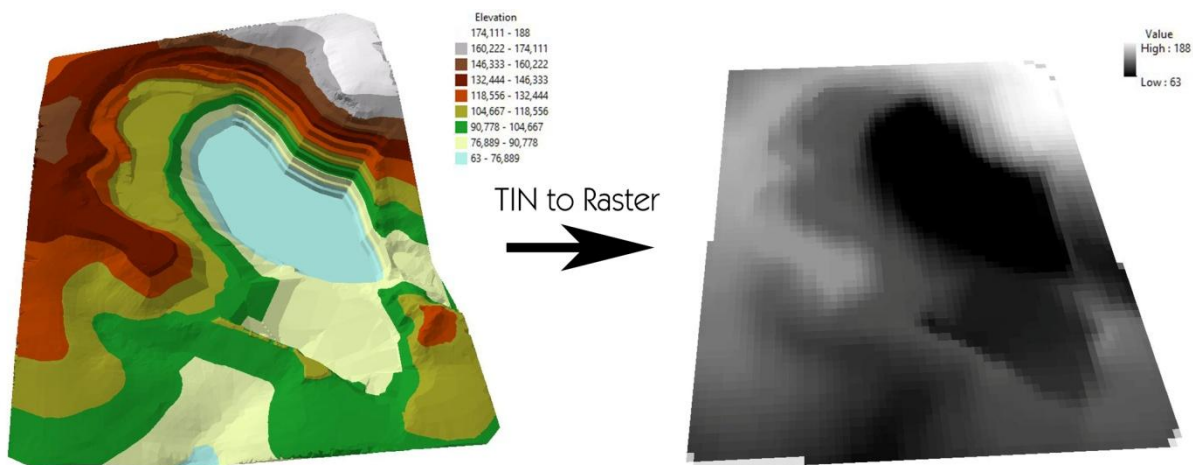


Εικόνα 2-3 Επιλογές εργαλείου “Create TIN”

Στο παράθυρο του Model Builder το εργαλείο “Create TIN” συνδέεται με το shapefile και δημιουργείται ένα νέο αρχείο εξόδου τύπου TIN. (Σχ. 2-3)

Το αρχείο εξόδου που δημιουργείται, και όλα τα υπόλοιπα αρχεία εξόδου που θα ακολουθήσουν είναι εικονικά καθώς το πραγματικά θα δημιουργηθούν όταν εκτελεστεί το μοντέλο.

2) TIN to Raster (3D Analyst)



Εικόνα 2-4 Παράδειγμα δημιουργίας raster από TIN

Από τα TINs δημιουργούνται αρχεία raster, για την αναπαράσταση της χωρικής πληροφορίας ψηφιοποιημένα.

Τα αρχεία raster αναπαριστούν την πληροφορία ως μία μήτρα κελιών σε μία συνεχόμενη περιοχή. Το μέγεθος των κελιών (cells) επηρεάζει την ακρίβεια της ανάλυσης και την όψη του χάρτη και πρέπει να είναι βασισμένο στην αρχική κλίμακά του. Το μεγάλο μέγεθος κελιών μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια δεδομένων, ενώ αντίθετα το πολύ μικρό μέγεθος του κελιού οδηγεί σε μεγάλες απαιτήσεις αποθήκευσης και θα “βαρύνει” το πρόγραμμα, χωρίς να έχει αισθητά καλύτερα αποτελέσματα στην ανάλυση (Μενεγάκη, 2003).

Με βάση τα παραπάνω, για τον υπολογισμό των δεικτών προσδιορισμού του βαθμού μεταβολής αναγλύφου, έχει επιλεγεί ως κατάλληλο μέγεθος κελιών το 10 x 10 m².

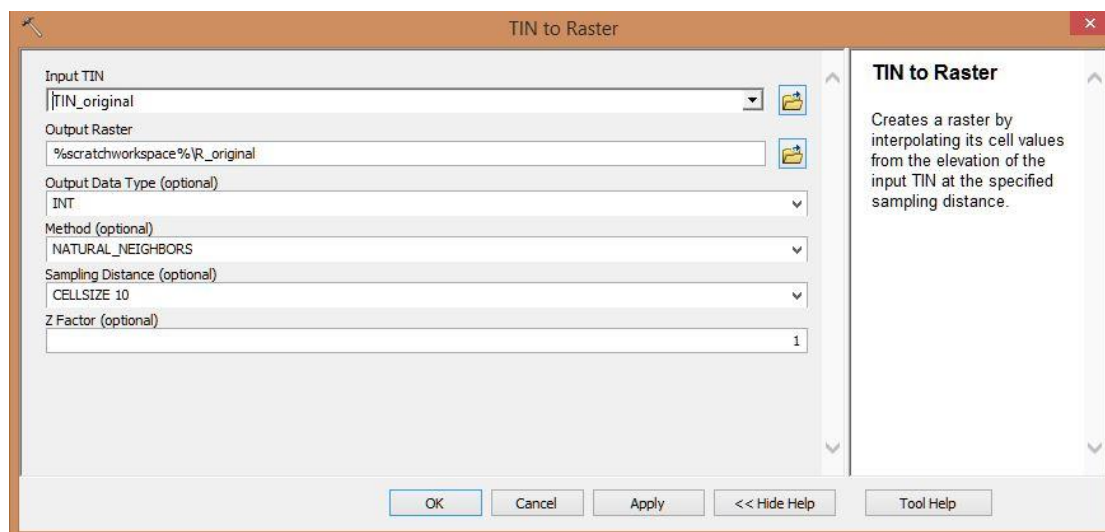
Για να εισαχθεί στο μοντέλο το εργαλείο “TIN to Raster” όμοια με προηγουμένως:

Στο παράθυρο του Model Builder:

- ✓ Insert > Add Data or Tool...
- ✓ Toolboxes > System Toolboxes > 3D Analyst Tools > Conversion > From TIN > TIN to Raster > Add

Εισάγεται στο μοντέλο το εργαλείο “TIN to Raster” και επαναλαμβάνονται τρεις φορές τα παρακάτω, μία φορά για κάθε TIN.

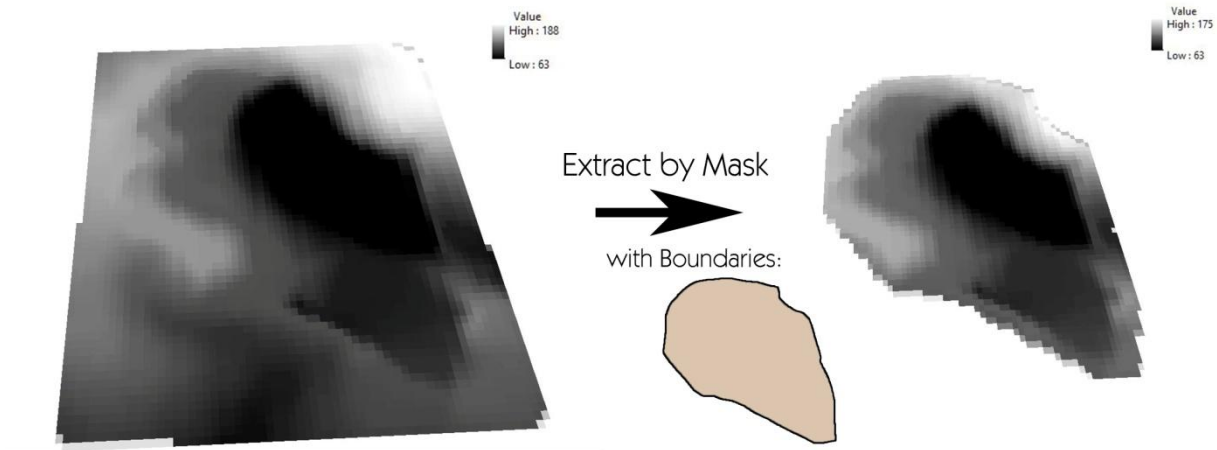
- ✓ Διπλό κλικ στο TIN to Raster για να ανοίξουν οι ιδιότητες του εργαλείου
- ✓ Ορίζεται σαν Input TIN το αρχείο εξόδου από το εργαλείο “Create TIN”
- ✓ Ονοματίζεται το Raster που θα δημιουργηθεί αντίστοιχα με προηγούμενα σε `%scratchworkspace%\R_original` για το “TIN_original” (κ.ο.κ.).
- ✓ Output Data Type: `INT` (integer)
- ✓ Method: `NATURAL_NEIGHBORS`
- ✓ Sampling Distance: `CELLSIZE 10`
- ✓ Z Factor: `1`
- ✓ OK



Εικόνα 2-5 Επιλογές εργαλείου “TIN to Raster”

Στο μοντέλο, δημιουργούνται τα νέα αρχεία εξόδου τύπου raster (Σχ. 2-3), τα οποία θα περιέχουν σε κάθε τους κελί την αριθμητική τιμή του υψομέτρου.

3) Extract by Mask (Spatial Analyst)



Εικόνα 2-6 Παράδειγμα εφαρμογής εργαλείου “Extract by Mask”

Το “Extract by Mask” εξάγει τα κελιά ενός raster που αντιστοιχούν σε περιοχή που ορίζεται από μία μάσκα. Με αυτόν τον τρόπο, οριοθετούνται τα raster του αρχικού και τελικού αναγλύφου με βάση τα όρια της εκμετάλλευσης. Παράλληλα, τα raster που δημιουργούνται έχουν κοινή αρχή και τέλος σε κάθε τους κελί, δηλαδή κοινή χωρική αναφορά.

Για να εισαχθεί στο μοντέλο το εργαλείο “Extract by Mask” όμοια με προηγούμενως:

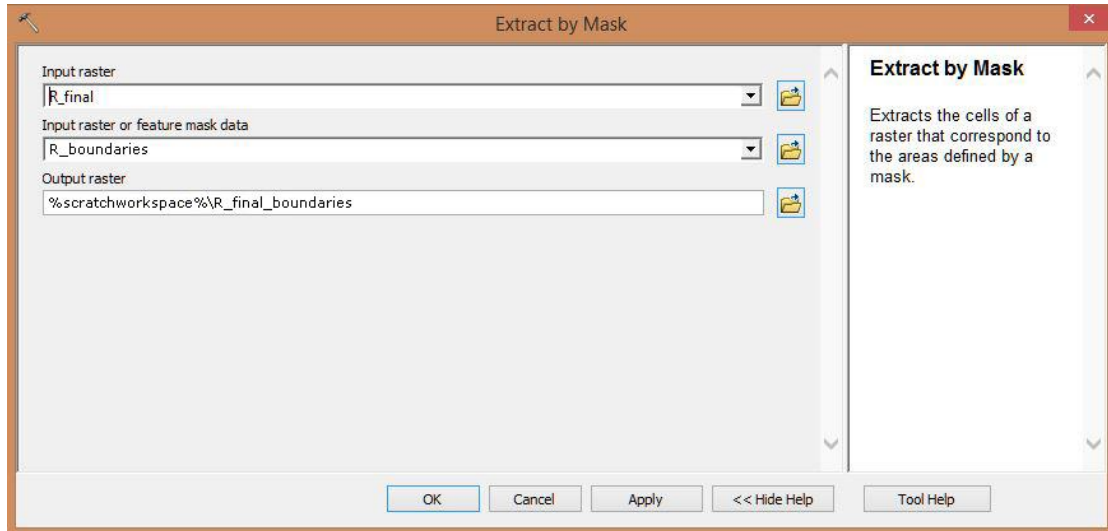
Στο παράθυρο του Model Builder:

- ✓ Insert > Add Data or Tool...
- ✓ Toolboxes > System Toolboxes > Spatial Analyst Tools > Extraction > Extract by Mask

Εισάγεται στο μοντέλο το εργαλείο “Extract by Mask” και επαναλαμβάνεται η διαδικασία που ακολουθεί μία φορά για το αρχικό raster και μία για το τελικό raster.

- ✓ Διπλό κλικ στο Extract by Mask για να ανοίξουν οι ιδιότητες του εργαλείου
- ✓ Στο “Input raster” εισάγεται το raster που πρόκειται να οριοθετηθεί, δηλαδή στην παρούσα περίπτωση το αρχείο εξόδου από το εργαλείο “TIN to Raster”, που σχετίζεται με τις εξεταζόμενες επιφάνειες,
- ✓ ενώ στο “Input raster or feature mask data” εισάγεται το raster που θέτει τα όρια για το παραπάνω raster, δηλαδή το αρχείο εξόδου που έχει προκύψει από τις προηγούμενες διεργασίες και σχετίζεται με το όριο της εκμετάλλευσης. (Σχ. 2-3, “R_boundaries”)

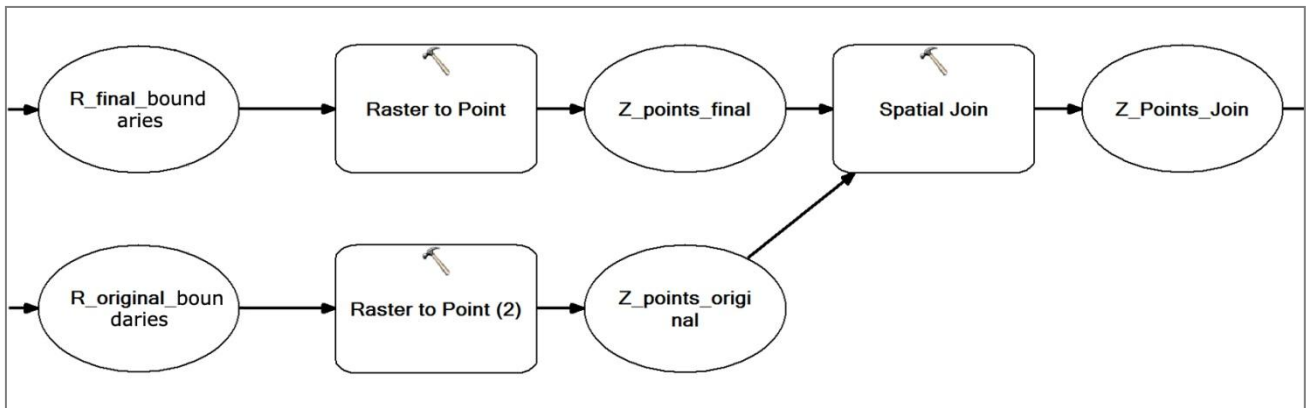
- ✓ Ονοματίζεται το Raster που θα δημιουργηθεί σε `%scratchworkspace%\R_original_boundaries` στην λογική των προαναφερθέντων για το “R_original” (κ.ο.κ.).
- ✓ OK



Εικόνα 2-7 Επιλογές εργαλείου “Extract by Mask”

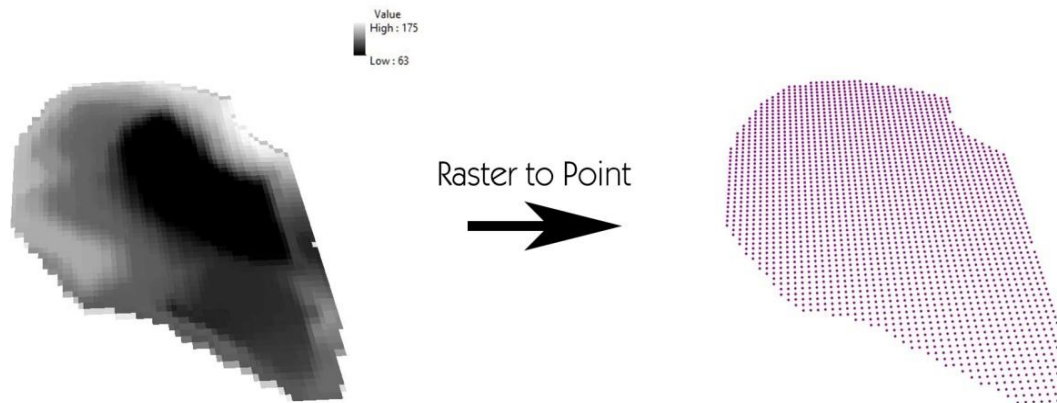
Πλέον, στο μοντέλο έχουν δημιουργηθεί δύο αρχεία εξόδου τύπου raster (Σχ.2-3, “R_final_boundaries” και “R_original_boundaries”), τα οποία είναι οριοθετημένα σύμφωνα με τα όρια της εκμετάλλευσης, με ίσο αριθμό κελιών, με το κάθε κελί σε κάθε raster να έχει την πληροφορία του υψομέτρου για το αρχικό και τελικό ανάγλυφο.

Εφόσον έχει ολοκληρωθεί η διαχείριση των αρχείων εισόδου, ακολουθεί η ανάλυσή τους έτσι ώστε να συγκεντρωθούν οι απαιτούμενες γεωγραφικές πληροφορίες. Παρακάτω περιγράφονται συγκεκριμένα τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων.



Σχήμα 2-4 Δημιουργία Feature Class και πρόσδοση πληροφορίας υψομέτρου (αποτελεί μέρος του μοντέλου)

1) Raster to Point



Εικόνα 2-8 Παράδειγμα εφαρμογής εργαλείου “Extract by Mask”

Το εργαλείο “Raster to Point” μετατρέπει το σύνολο των δεδομένων ενός αρχείου raster σε αρχείο τύπου feature class, το οποίο όπως έχει σημειωθεί επιτρέπει την ομαδοποίηση πληροφοριών σε ένα μονάχα αρχείο. Τα παραγόμενα σημεία (points) τοποθετούνται στα κέντρα των κελιών που εκπροσωπούν.

Επομένως, εισαγωγή του εργαλείου “Raster to Point” στο μοντέλο:

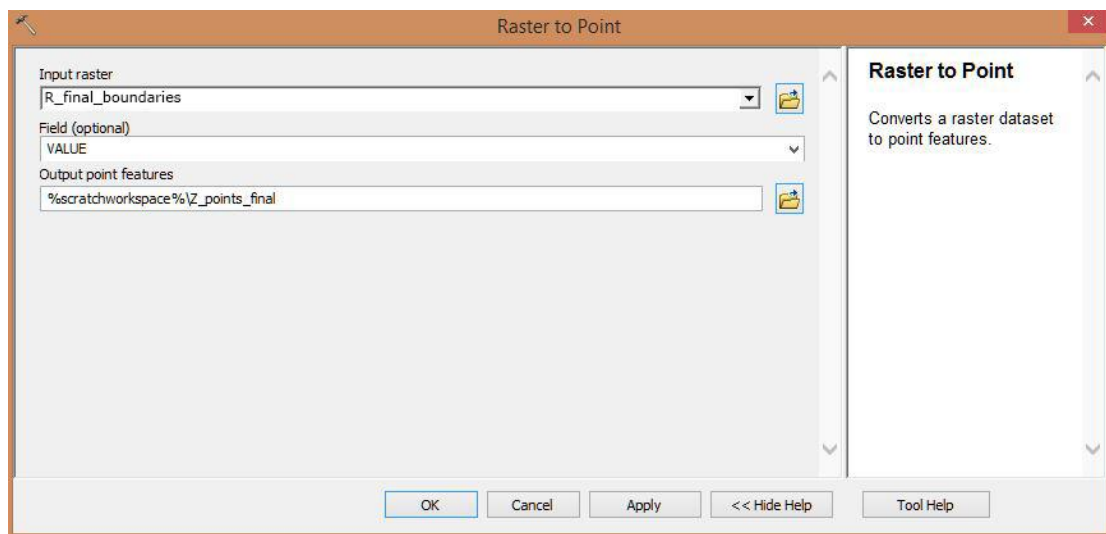
Στο παράθυρο του Model Builder:

- ✓ Insert > Add Data or Tool...
- ✓ Toolboxes > System Toolboxes > Conversion Tools > From Raster > Raster to Point > Add

Αφού εισαχθεί στο μοντέλο δύο φορές το εργαλείο “Raster to Point” (για τα οριοθετημένα raster αρχικού και τελικού αναγλύφου) επαναλαμβάνεται η εξής διαδικασία:

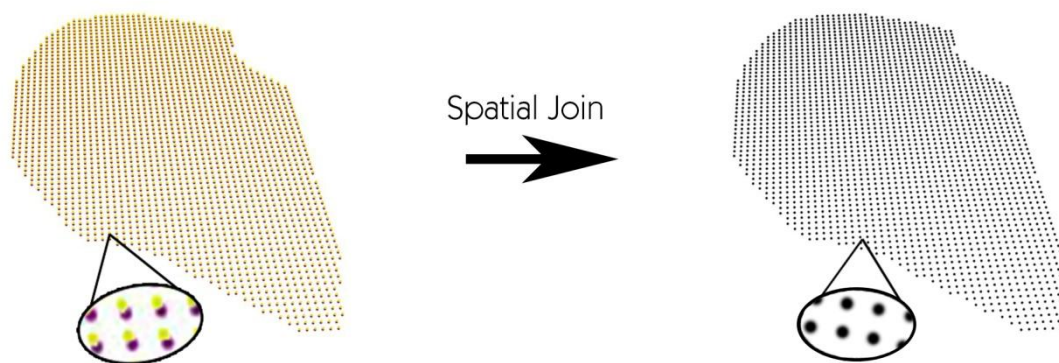
- ✓ Διπλό κλικ στο Raster to Point για να ανοίξουν οι ιδιότητες του εργαλείου
- ✓ Input raster: `R_original_boundaries` για το πρώτο εργαλείο και `R_final_boundaires` για το δεύτερο.
- ✓ Field: `VALUE`
- ✓ Output point features:
`%scratchworkspace%\Z_points_original` για το πρώτο εργαλείο και `%scratchworkspace%\Z_points_final` αντίστοιχα για το δεύτερο.
- ✓ OK

Κατά αυτόν τον τρόπο εισάγονται στο μοντέλο δύο αρχεία εξόδου τύπου feature class με σημεία ανά 10m στην εξεταζόμενη περιοχή (Σχ.2-4, “Z_points_original” και “Z_points_final”).



Εικόνα 2-9 Επιλογές εργαλείου “Raster to Point”

2) Spatial Join



Εικόνα 2-10 Παράδειγμα εφαρμογής εργαλείου “Spatial Join”

Τα κάθε αρχείο feature class, αξίζει να σημειωθεί πως απαρτίζεται από έναν πίνακα πληροφοριών, με κάθε σημείο (point) να έχει ξεχωριστή ταυτότητα στο επίπεδο που προβάλλεται (ObjectID) και κάποια/ες ιδιότητα/ες που σε αυτήν την περίπτωση περιέχει την αριθμητική τιμή του υψομέτρου.

Το εργαλείο “Spatial Join” πραγματοποιεί χωρική σύνδεση/σύζευξη μεταξύ των πινάκων οι οποίοι περιλαμβάνουν τις ιδιότητες δύο χωρικά αλληλεπικαλυπτόμενων επιπέδων. Οι ιδιότητες αντιστοιχίζονται η μία στην άλλη βάση του χωρικού επιπέδου αναφοράς. Άρα, με βάση τα παραπάνω, ως χωρικό επίπεδο αναφοράς χρησιμοποιείται η οριοθετημένη περιοχή και αντιστοιχίζονται οι αριθμητικές τιμές του υψομέτρου, παρέχοντας μία βάση δεδομένων με συγκεντρωμένη την πληροφορία για το υψόμετρο τόσο του αρχικού όσο και του τελικού αναγλύφου.

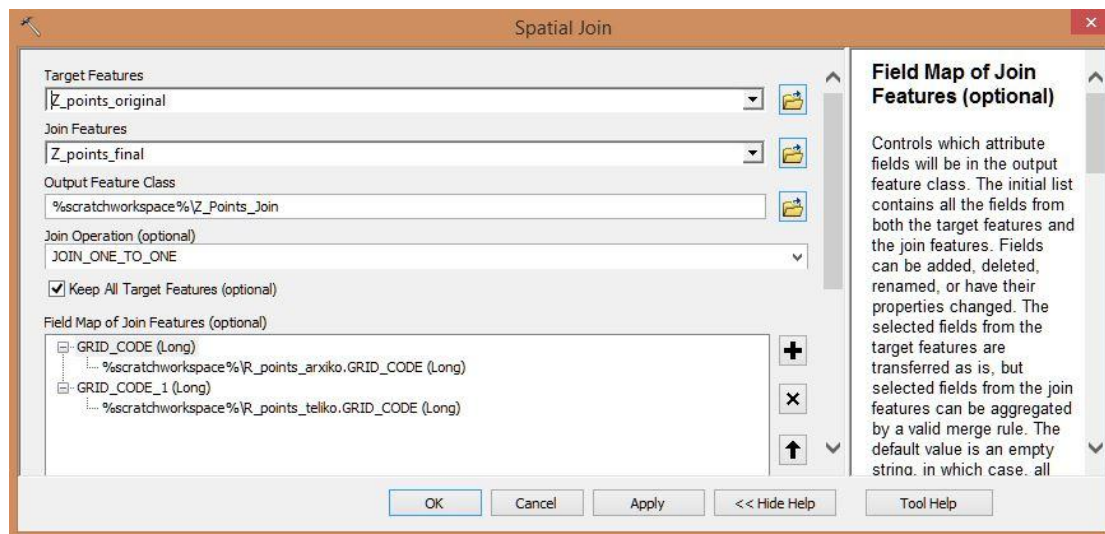
Εισαγωγή του εργαλείου “Spatial Join” στο μοντέλο:

Στο παράθυρο του Model Builder:

- ✓ Insert > Add Data or Tool...
- ✓ Toolboxes > System Toolboxes > Analysis Tools > Overlay > Spatial Join > Add

Εισάγεται στο μοντέλο το εργαλείο “Spatial Join” και ακολουθούντα τα παρακάτω:

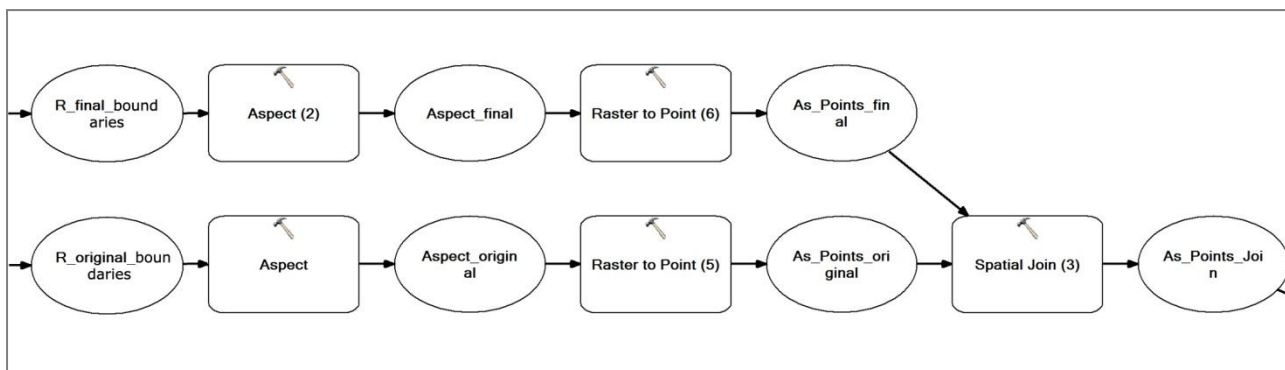
- ✓ Διπλό κλικ στο Spatial Join για να ανοίξουν οι ιδιότητες του εργαλείου
- ✓ Target Features: `Z_points_original`
- ✓ Join Features: `Z_points_final`
- ✓ Output Feature Class: `%scratchworkspace%\Z Points Join`
- ✓ Join Operation: `JOIN ONE TO ONE`



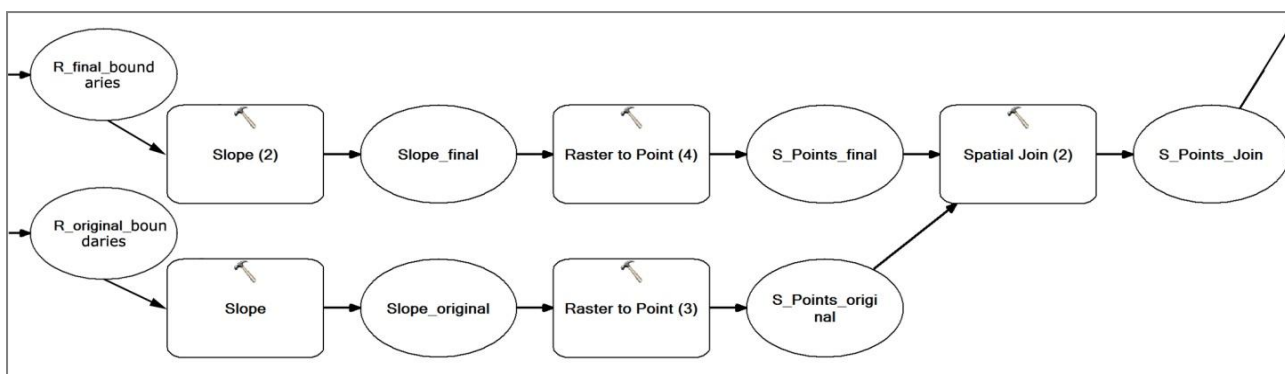
Εικόνα 2-11 Επιλογές εργαλείου “Raster to Point”

Το αρχείο εξόδου από την διεργασία του εργαλείου Spatial Join (Σχ.2-4, “Z_points_join”) όπως έχει σημειωθεί, περιέχει συγκεντρωμένη την πληροφορία του υψομέτρου, με την οποία είναι εφικτός ο υπολογισμός του δείκτη μορφολογίας και του συντελεστή υψομέτρου.

Ανάλογο σκεπτικό ακολουθείται για την συγκέντρωση της πληροφορίας όσον αφορά τον προσανατολισμό και την κλίση του αρχικού και τελικού αναγλύφου, έτσι ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός των δεικτών προσανατολισμού και κλίσης. Οπότε αντίστοιχα για τον προσανατολισμό και την κλίση εισάγονται τα εξής εργαλεία:

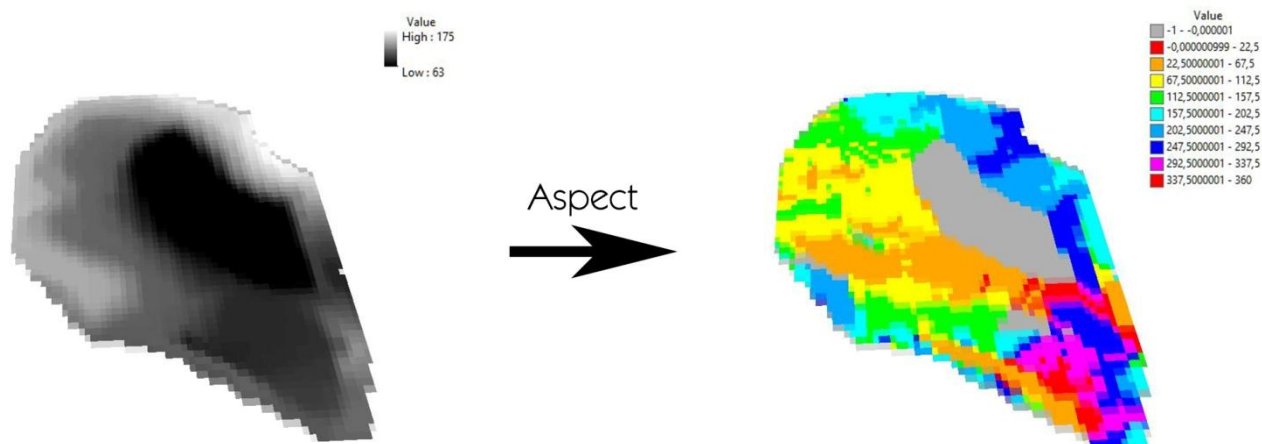


Σχήμα 2-5 Δημιουργία Feature Class και πρόσδοση πληροφορίας προσανατολισμού (αποτελεί μέρος του μοντέλου)



Σχήμα 2-6 Δημιουργία Feature Class και πρόσδοση πληροφορίας κλίσης (αποτελεί μέρος του μοντέλου)

1) Aspect (Spatial Analyst)



Εικόνα 2-12 Παράδειγμα εφαρμογής εργαλείου “Aspect”

Το εργαλείο “Aspect” δημιουργεί την πληροφορία σχετικά με τον προσανατολισμό των κελιών του raster. Οι τιμές που δίνονται σε κάθε κελί, αντιπροσωπεύουν την κατεύθυνση της πυξίδας που έχει η επιφάνεια στην συγκεκριμένη θέση. Στις επίπεδες περιοχές δίνεται η τιμή -1.



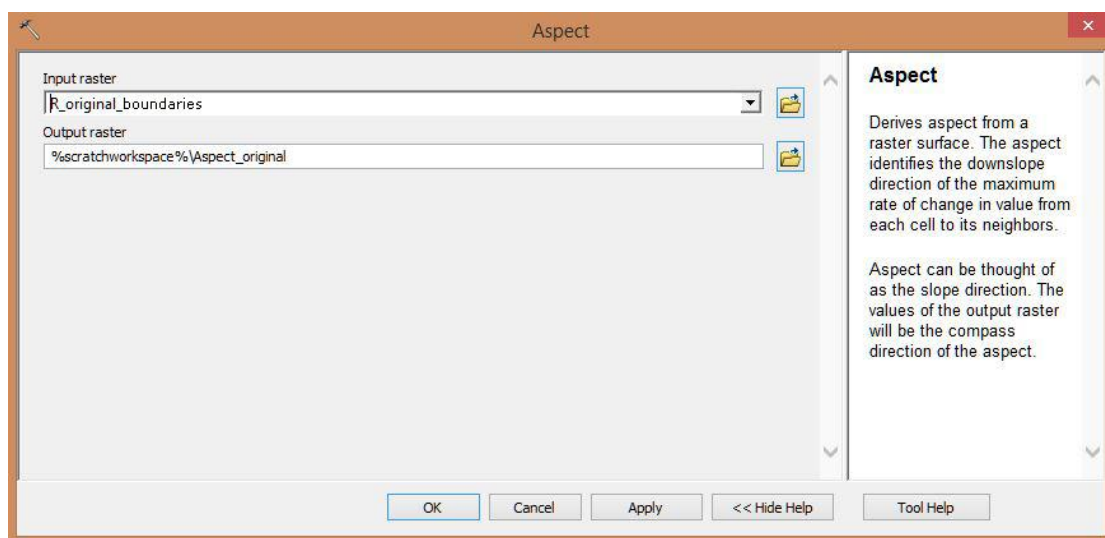
Για την εισαγωγή του εργαλείου “Aspect” στο μοντέλο:

Στο παράθυρο του Model Builder:

- ✓ Insert > Add Data or Tool...
- ✓ Toolboxes > System Toolboxes > Spatial Analyst Tools > Surface > Aspect > Add

Εισάγεται στο μοντέλο δύο φορές το εργαλείο “Aspect” και ακολουθούντα τα παρακάτω:

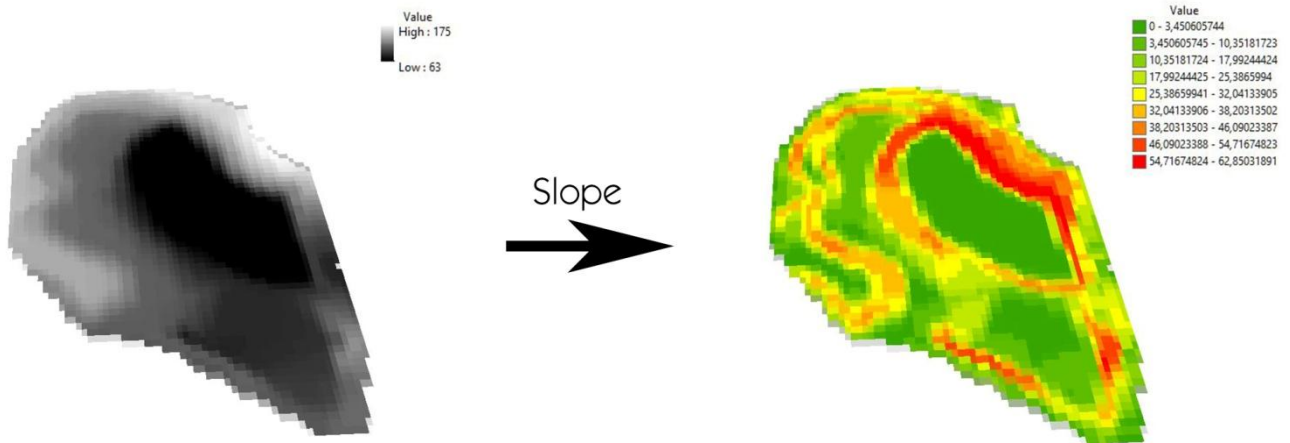
- ✓ Διπλό κλικ στο Aspect για να ανοίξουν οι ιδιότητες του εργαλείου
- ✓ Input raster: `R_original_boundaries` στο ένα εργαλείο και `R_final_boundaries` στο άλλο
- ✓ Output raster: `%scratchworkspace%\Aspect_original` και `%scratchworkspace%\Aspect_final` αντίστοιχα με το Input Raster



Εικόνα 2-13 Επιλογές εργαλείου “Aspect”

Έτσι, συγκεντρώθηκε η πληροφορία σε σχέση με τον προσανατολισμό των εξεταζόμενων επιφανειών. Αντίστοιχα με την παραπάνω μεθοδολογία (Raster to Point - > Spatial Join), από τα raster Aspect_original και Aspect_final δημιουργείται ένα αρχείο εξόδου feature class, το As_Points_Join (Σχ. 2-5), που έχει συγκεντρωμένα όλα τα απαιτούμενα δεδομένα για τον υπολογισμό του δείκτη προσανατολισμού.

2) Slope (Spatial Analyst)



Εικόνα 2-14 Παράδειγμα εφαρμογής εργαλείου “Slope”

Όσον αφορά την πληροφορία σχετικά με τον προσανατολισμό η επεξεργασία γίνεται με το εργαλείο “Slope”. Συγκεκριμένα, υπολογίζεται για κάθε κελί η μεταβολή της τιμής υψομέτρου του, συναρτήσει των τιμών των γειτονικών κελιών (Burrough and McDonell, 1998). Κατά αυτόν τον τρόπο, δίνονται αριθμητικές τιμές σε κάθε κελί του παραγόμενου αρχείου με την πληροφορία της κλίσης σε μοίρες (0° [επίπεδο] - 90° [κατακόρυφο]).

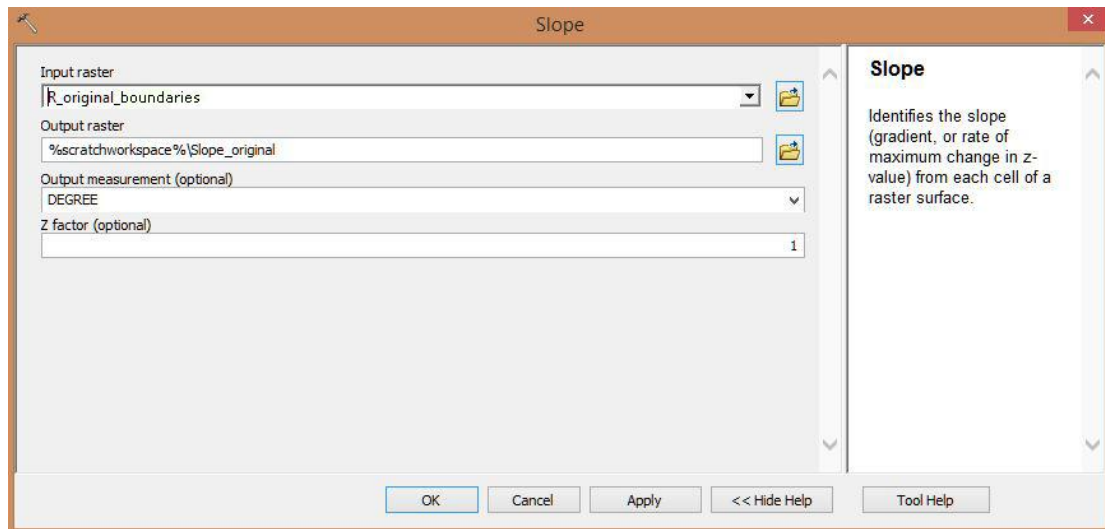
Για την εισαγωγή του εργαλείου “Slope” στο μοντέλο:

Στο παράθυρο του Model Builder:

- ✓ Insert > Add Data or Tool...
- ✓ Toolboxes > System Toolboxes > Spatial Analyst Tools > Surface > Slope > Add

Εισάγεται στο μοντέλο δύο φορές το εργαλείο “Slope” και ακολουθούντα τα παρακάτω:

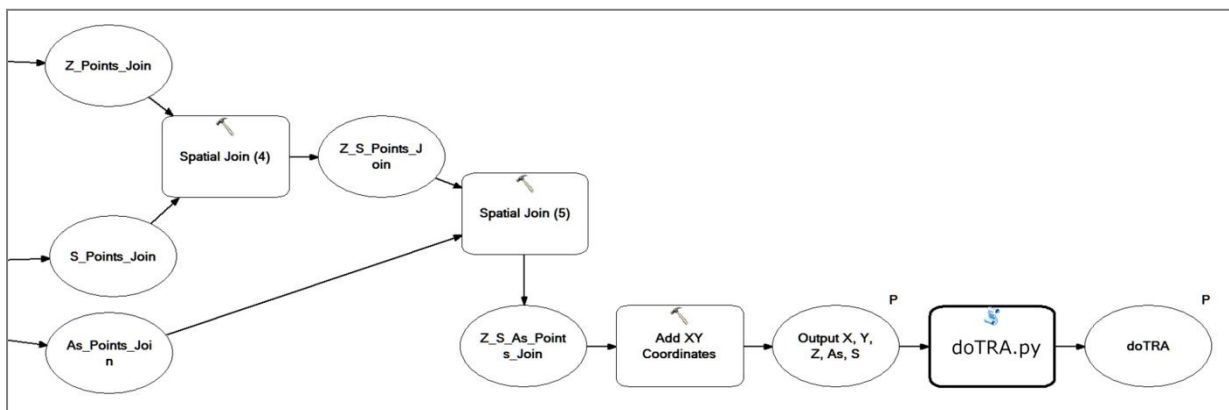
- ✓ Διπλό κλικ στο Aspect για να ανοίξουν οι ιδιότητες του εργαλείου
- ✓ Input raster: `R_original_boundaries` στο ένα εργαλείο και `R_final_boundaries` στο άλλο
- ✓ Output raster: `%scratchworkspace%\Slope original` και `%scratchworkspace%\Slope final` αντίστοιχα με το Input Raster
- ✓ Output measurement: `DEGREE`
- ✓ Z factor: `1`



Εικόνα 2-15 Επιλογές εργαλείου "Slope"

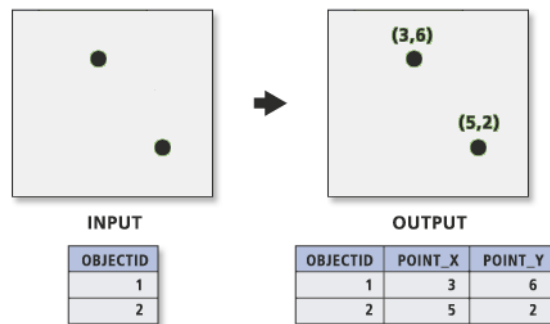
Συγκεντρώνοντας και τις τιμές της κλίσης για το αρχικό και τελικό ανάγλυφο, δημιουργείται με μεθοδολογία που αναλύθηκε παραπάνω (Raster to Point -> Spatial Join) ένα παραγόμενο αρχείο feature class, το S_Points_Join (Σχ. 2-6), το οποίο συγκεντρώνει την πληροφορία της κλίσης, που απαιτείται για τον υπολογισμό του δείκτη κλίσης.

Στην συνέχεια του μοντέλου, όπως φαίνεται και παρακάτω στο Σχ. 2-7, μέσω του εργαλείου Spatial Join, από τα αρχεία Z_Points_Join, S_Points_Join και As_Points_Join, εξάγεται το αρχείο Z_S_As_Points_Join, που είναι το τελικό αρχείο feature class με όλη την απαιτούμενη πληροφορία συγκεντρωμένη (υψόμετρο, κλίση και προσανατολισμό αρχικού και τελικού αναγλύφου).



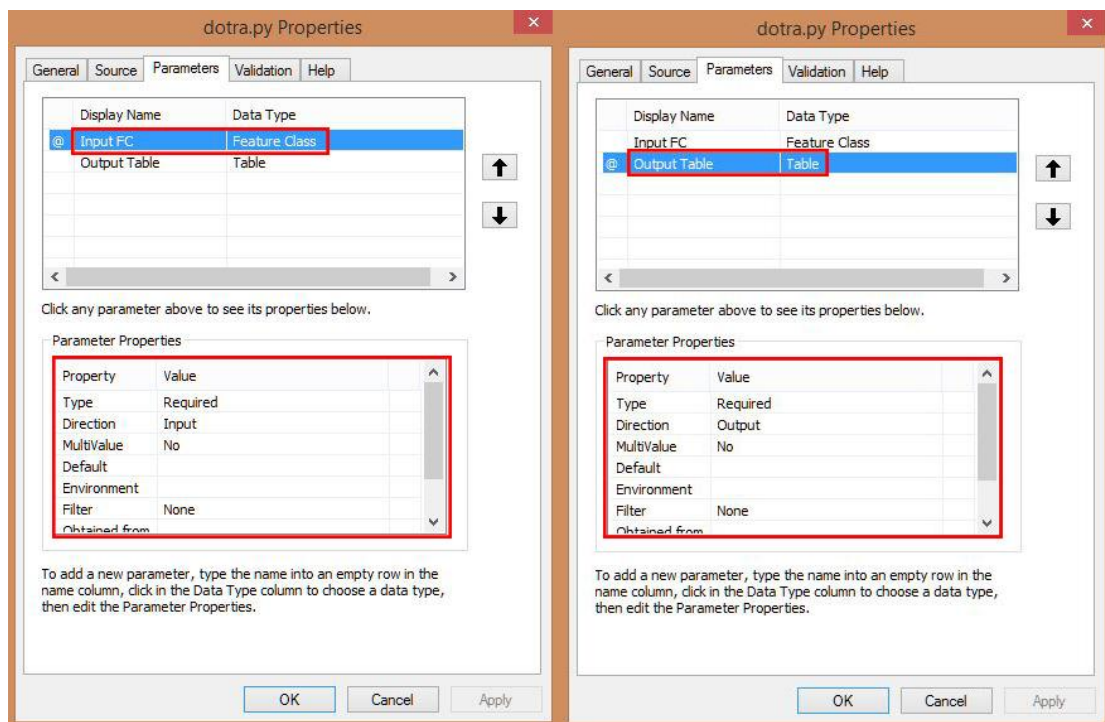
Σχήμα 2-7 Δημιουργία τελικού Feature Class: Z_S_As_Points_Join (Αποτελεί μέρος του μοντέλου)

Τέλος, προσδίδονται στο τελικό feature class οι συντεταγμένες ΧΥ, για την ευκολότερη αναγνώριση ή εξαγωγή πληροφοριών από συγκεκριμένο σημείο.



Εικόνα 2-16 Απεικόνιση λειτουργίας εργαλείου "Add XY Coordinates" (ESRI, 2014)

Το εργαλείο dotra.py αποτελεί ένα αρχείο script που δημιουργήθηκε για την διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας (η ανάπτυξη του περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο). Εισάγεται στο μοντέλο αφού πρώτα έχει εισαχθεί στο Catalog του ArcGIS και προσδιοριστούν οι ιδιότητές του. Όταν προσδιοριστούν οι ιδιότητές του (Εικόνα 2-17) το Model Builder αντιλαμβάνεται το συγκεκριμένο script σαν εργαλείο που στην προκειμένη περίπτωση έχει μία είσοδο και μία έξοδο.



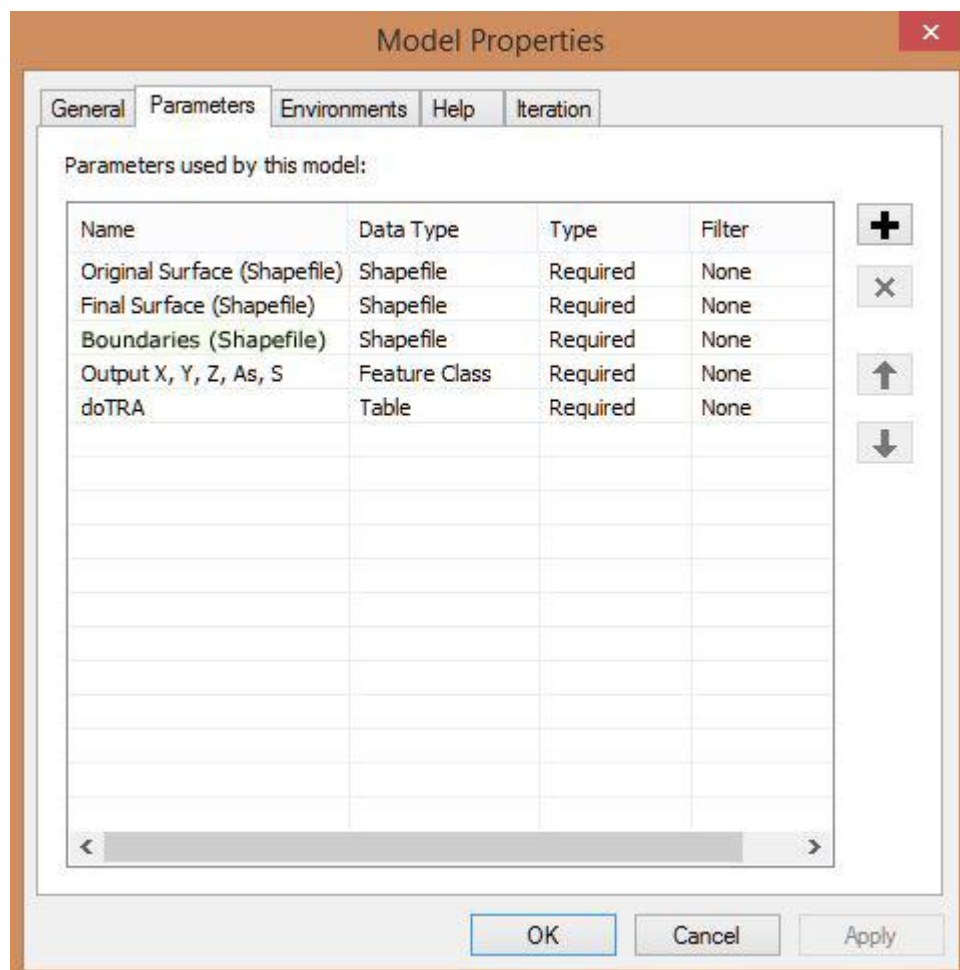
Εικόνα 2-17 Ιδιότητες αρχείου script "dotra.py"

Είσοδος του “dotra.py” ορίζεται το τελικό feature class που παράγεται από τις μέχρι τώρα διεργασίες του μοντέλου όπως περιγράφηκε παραπάνω (Z_S_As_Points_Join).

Έξοδος του “dotra.py” δεν ορίζεται σε συγκεκριμένο αρχείο, καθώς η τοποθεσία αποθήκευσης του παραγόμενου αρχείου ορίζεται χειροκίνητα κατά την εκτέλεση του μοντέλου. Η έξοδος του “dotra.py” είναι ένας πίνακας που περιέχει τις τιμές των δεικτών για τον προσδιορισμό του βαθμού μεταβολής του αναγλύφου, τον ίδιο τον βαθμό μεταβολής αναγλύφου και την κατηγοριοποίηση αυτών των τιμών.

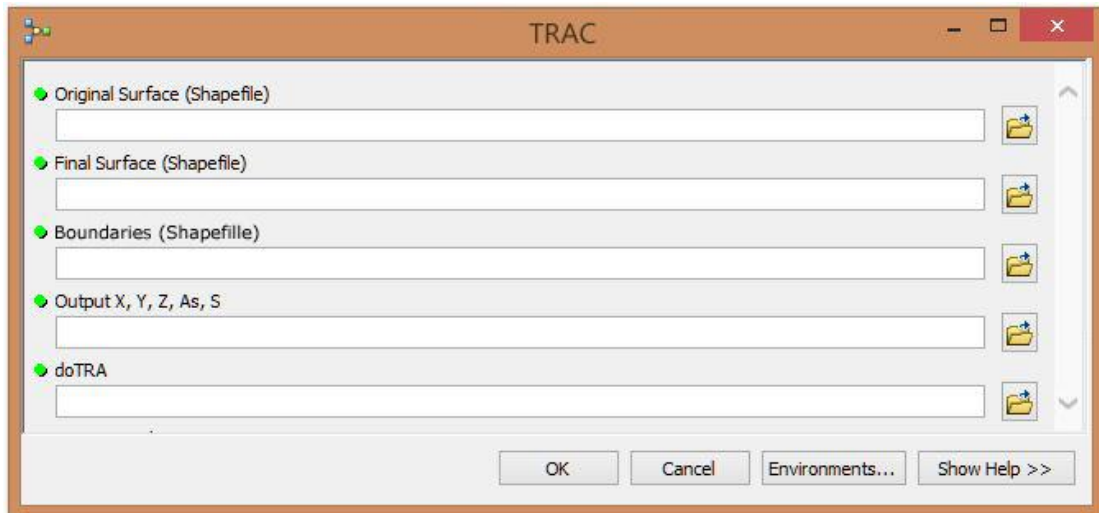
Για την ολοκλήρωση του μοντέλου και την επανεκτέλεσή του ανά πάσα στιγμή από οποιοδήποτε λογισμικό ArcGIS 10.1 (ή νεότερα έκδοση), προσδιορίζονται οι παράμετροι του μοντέλου.

Συγκεκριμένα στο παράθυρο του Model Builder: Model > Model Properties... ορίζονται οι παράμετροι όπως παρουσιάζονται στην εικόνα 2-18.

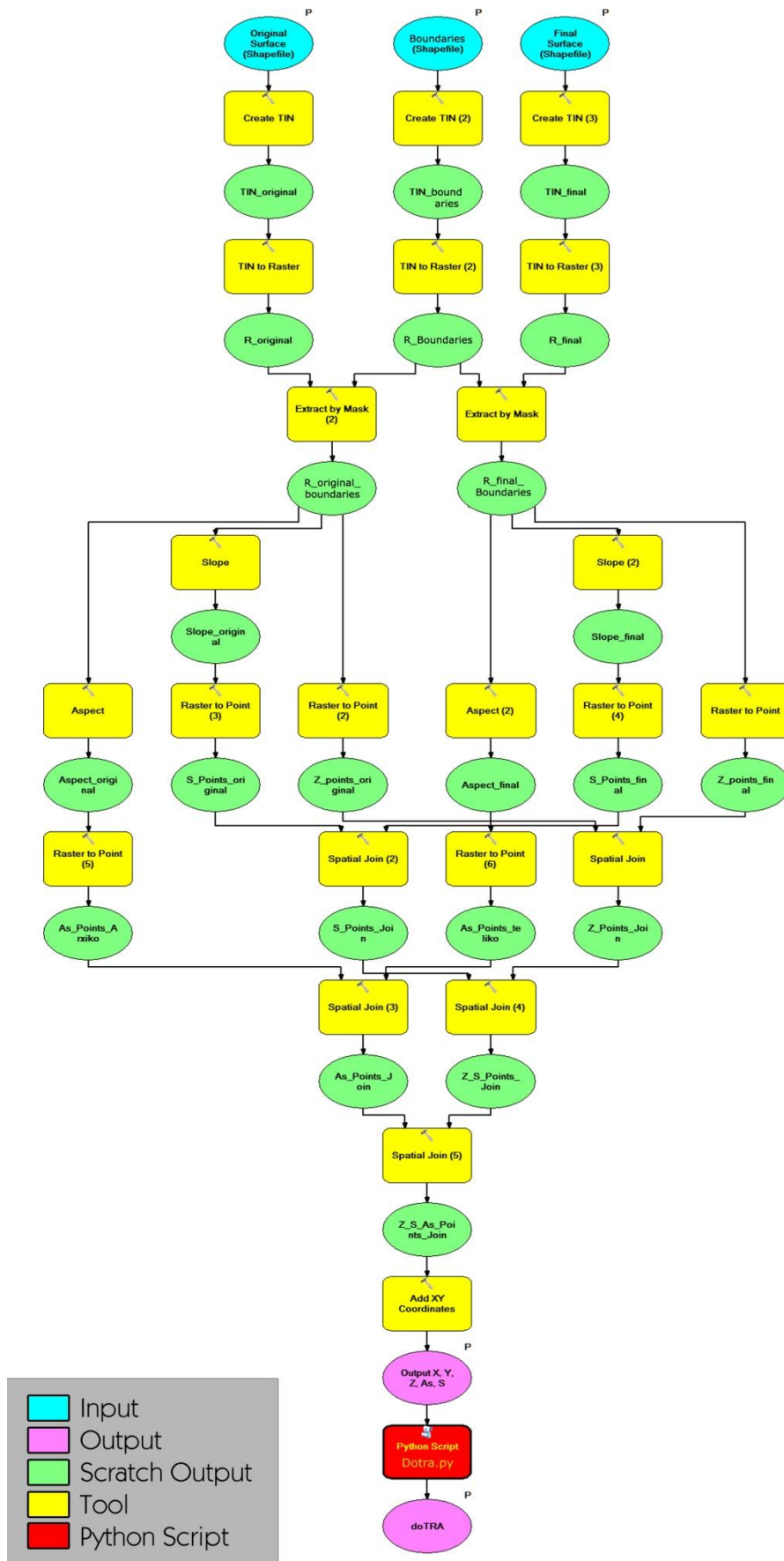


Εικόνα 2-18 Παράμετροι μοντέλου TRAC

Το μοντέλο αποθηκεύεται και μπορεί να εκτελείται πλέον σε ένα πιο φιλικό περιβάλλον προς τον χρήστη, σαν εργαλείο όπως ακριβώς εκτελούνται και τα υπόλοιπα εργαλεία εντός του ArcGIS. Στην εικόνα 2-19 παρουσιάζεται ο τρόπος που απεικονίζεται το μοντέλο κατά το άνοιγμά του, ενώ στην εικόνα 2-20 η τελική μορφή του μοντέλου (στο παράρτημα II έχει ενσωματωθεί η τελική μορφή του μοντέλου σε μεγεθυμένη κλίμακα).



Εικόνα 2-19 Απεικόνιση παράθυρου διαλόγου "TRAC"



Εικόνα 2-20 Μοντέλο "TRAC"

Κεφάλαιο 3

Προγραμματισμός σε περιβάλλον Python

Το “Zen of Python”, που παρουσιάζεται παρακάτω, συνιστά ορισμένες βασικές αρχές της Python και είναι γραμμένο από τον Tim Peters. Στην πρωτότυπη έκδοσή του στα αγγλικά, μπορεί να βρεθεί γράφοντας σε περιβάλλον διερμηνευτή:

```
>>> import this
```

```
The Zen of Python, by Tim Peters
Beautiful is better than ugly.
Explicit is better than implicit.
Simple is better than complex.
Complex is better than complicated.
Flat is better than nested.
Sparse is better than dense.
Readability counts.
Special cases aren't special enough to break the rules.
Although practicality beats purity.
Errors should never pass silently.
Unless explicitly silenced.
In the face of ambiguity, refuse the temptation to guess.
There should be one-- and preferably only one --obvious
way to do it.
Although that way may not be obvious at first unless
you're Dutch.
Now is better than never.
Although never is often better than *right* now.
If the implementation is hard to explain, it's a bad idea.
If the implementation is easy to explain, it may be a good
idea.
Namespaces are one honking great idea -- let's do more of
those!
```

3.1 Η γλώσσα Python

3.1.1 Χαρακτηριστικά της Python

Η Python είναι μια εύκολη στην εκμάθηση, ισχυρή γλώσσα προγραμματισμού. Έχει αποδοτικές δομές δεδομένων υψηλού επιπέδου και μια απλή αλλά αποτελεσματική προσέγγιση στον αντικειμενοστρεφή προγραμματισμό. Η κομψή σύνταξη της Python και οι δυναμικοί τύποι της, μαζί με τη λειτουργία της ως διερμνευόμενη (αντί μεταγλωττιζόμενης) γλώσσα, την καθιστούν την ιδανική γλώσσα για δημιουργία σεναρίων εντολών και για ταχεία ανάπτυξη εφαρμογών σε πολλούς τομείς και στις περισσότερες πλατφόρμες.

Βασική αρχή της Python είναι ότι ο χρόνος του προγραμματιστή είναι πολύ σημαντικότερος από τους κύκλους μηχανής και τον απαλλάσει από τις χαμηλού επιπέδου λεπτομέρειες που πρέπει να φροντίσει στη C/C++ ή, ως ένα βαθμό, στη Java.

Σύμφωνα με τον Swaroop (2008), τα κύρια χαρακτηριστικά της Python είναι:

Απλή και εύκολη στην εκμάθηση

Η Python είναι μια απλή και μινιμαλιστική γλώσσα. Το διάβασμα ενός καλού προγράμματος σε Python είναι σαν το διάβασμα των Αγγλικών, αλλά πολύ «αυστηρών» Αγγλικών. Αυτή η ομοιότητα της Python με ψευδοκώδικα είναι ένα από τα πιο ισχυρά σημεία της. Έτσι επιτρέπει στον χρήστη να συγκεντρώνεται στη λύση του προβλήματος αντί στην ίδια τη γλώσσα. Η ασυνήθιστα απλή σύνταξή της, κάνει την Python εύκολη στην εκμάθηση και εξαιρετικά απλό να ξεκινήσει κανείς να την χρησιμοποιεί.

«Programs should be written so that people, not just computers, can understand them»
(Knuth, 2006)

Ελεύθερη και Ανοικτού Κώδικα

Η Python είναι ένα παράδειγμα ΕΛΛΑΚ (Ελεύθερο Λογισμικό και Λογισμικό Ανοικτού Κώδικα). Με απλά λόγια, μπορούν να διανεμηθούν αντίγραφα αυτού του λογισμικού, να διαβαστεί ο πηγαίος κώδικάς του, να πραγματοποιηθούν αλλαγές σ' αυτόν και να χρησιμοποιηθούν κομμάτια του σε νέα ελεύθερα προγράμματα. Το ΕΛΛΑΚ βασίζεται στην ιδέα μιας κοινότητας που μοιράζεται τη γνώση. Αυτός είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους η Python είναι τόσο πρωτοπόρα και

ανερχόμενη. Δημιουργήθηκε και βελτιώνεται συνεχώς από μια κοινότητα που το μόνο που θέλει είναι μια καλύτερη Python.

Γλώσσα υψηλού επιπέδου

Όταν δημιουργούνται προγράμματα στην Python, ο χρήστης δεν χρειάζεται ποτέ να νοιάζεται για τις χαμηλού επιπέδου λεπτομέρειες, όπως η διαχείριση της μνήμης που χρησιμοποιείται από το εκάστοτε πρόγραμμα κλπ.

Φορητή

Λόγω του ανοικτού της κώδικα, η Python έχει υλοποιηθεί (δηλαδή αλλάχθηκε για να λειτουργεί) σε πολλές πλατφόρμες. Όλα τα Python προγράμματα μπορούν να δουλέψουν σε οποιαδήποτε από αυτές τις πλατφόρμες χωρίς να χρειάζονται καθόλου αλλαγές αν υπάρχει προσοχή ώστε να αποφεύγεται η χρήση χαρακτηριστικών που εξαρτούνται από κάθε σύστημα.

Η Python χρησιμοποιείται σε Linux, στα Windows, στο FreeBSD, σε Macintosh, στο Solaris, στο OS/2, στην Amiga, στο AROS, στο AS/400, στο BeOS, στο OS/390, στο z/OS, στο Palm OS, στο QNX, στο VMS, στο Psion, στο Acorn RISC OS, στο VxWorks, σε PlayStation, στο Sharp Zaurus, στα Windows CE ακόμα και σε PocketPC και Android Smartphones.

Διερμηνευόμενη

Ένα πρόγραμμα που γράφεται σε μια μεταγλωττιζόμενη γλώσσα όπως η C ή η C++ μετατρέπεται από την πηγαία γλώσσα, για παράδειγμα τη C ή τη C++ σε μια γλώσσα που μιλάει ο υπολογιστής σας (δυναμικός κώδικας, δηλαδή 0 και 1) χρησιμοποιώντας ένα μεταγλωττιστή με διάφορες σημαίες και επιλογές. Όταν τρέξει το πρόγραμμα, ο συνδέτης αντιγράφει το πρόγραμμα στη μνήμη και αρχίζει να το τρέχει.

Η Python, από την άλλη, δε χρειάζεται μεταγλώττιση σε δυαδικό αρχείο. Απλά εκτελείται από τον χρήστη το πρόγραμμα απ' ευθείας από τον πηγαίο κώδικα. Εσωτερικά, η Python μετατρέπει τον πηγαίο κώδικα σε μια ενδιάμεση μορφή που ονομάζεται bytecode. Εν συνεχεία, το μεταφράζει στη γλώσσα του υπολογιστή και μετά το τρέχει. Όλο αυτό, στην πραγματικότητα κάνει τη χρήση της Python πολύ πιο εύκολη αφού ο χρήστης δε χρειάζεται να ανησυχεί για τη μεταγλώττιση του προγράμματος, τη σύνδεση με τις κατάλληλες βιβλιοθήκες, κ.λπ. Αυτό επίσης κάνει

τα προγράμματα της Python εξαιρετικά φορητά, αφού εξασφαλίζεται με την απλή αντιγραφή του προγράμματος Python από τον υπολογιστή που δημιουργήθηκε, σε έναν άλλο υπολογιστή η ορθή λειτουργία του.

Αντικειμενοστρεφής

Η Python υποστηρίζει τόσο το διαδικασιοστρεφή προγραμματισμό (procedure-oriented) όσο και τον αντικειμενοστρεφή προγραμματισμό (object-oriented). Στο διαδικασιοστρεφή προγραμματισμό, το πρόγραμμα δομείται πάνω σε διαδικασίες ή συναρτήσεις οι οποίες δεν είναι τίποτε άλλο από επαναχρησιμοποιήσιμα κομμάτια από προγράμματα. Στις αντικειμενοστρεφείς γλώσσες, τα προγράμματα δομούνται πάνω σε αντικείμενα τα οποία συνδυάζουν δεδομένα και λειτουργικότητα. Η Python έχει έναν πολύ ισχυρό αλλά πολύ απλό τρόπο για αντικειμενοστρεφή προγραμματισμό, ειδικά όταν συγκρίνεται με μεγάλες γλώσσες όπως η C++ ή η Java.

Επεκτάσιμη

Η ίδια η γλώσσα είναι επεκτάσιμη καθώς ένα βασικό σύνολο της γλώσσας αποτελεί τον πυρήνα της, ενώ όλα τα υπόλοιπα είναι αρθρώματα (modules) που επεκτείνουν την λειτουργικότητα της.

Ενσωματώσιμη

Η Python, μπορεί να ενσωματωθεί μέσα σε προγράμματα C/C++, δίνοντας με αυτό τον τρόπο δυνατότητες 'scripting' για τους χρήστες.

Εκτεταμένες βιβλιοθήκες

Η Πρότυπη βιβλιοθήκη της Python είναι πραγματικά τεράστια. Επιτρέπει την πραγματοποίηση διάφορων πραγμάτων σχετικά με κανονικές εκφράσεις, δημιουργία τεκμηρίωσης, δοκιμές μονάδων, νημάτωση, βάσεις δεδομένων, περιηγητές ιστού, CGI, FTP, email, XML, XML-RPC, HTML, αρχεία WAV, κρυπτογράφηση, γραφικές διεπαφές χρήστη (GUI - graphical user interfaces), Tk, και άλλα πράγματα που εξαρτούνται από το σύστημα. Λόγω της φιλοσοφίας 'Batteries Included' της Python, όλα τα παραπάνω είναι διαθέσιμα όποτε είναι εγκαταστημένη η Python.

Επιπλέον από την πρότυπη βιβλιοθήκη, υπάρχουν διάφορες άλλες βιβλιοθήκες υψηλής ποιότητας όπως η wxPython⁵, η Twisted⁶, η Python Imaging Library⁷ και πολλές άλλες.

Όλα τα παραπάνω, συνηγορούν στην δυνατότητα της Python να επιτρέπει την ταχύτατη ανάπτυξη εφαρμογών ειδικά σε σχέση με άλλες γλώσσες χαμηλότερου επιπέδου (πχ C, C++), ενώ λέγεται ότι συνήθως τα προγράμματα σε Python είναι 3-5 φορές μικρότερα σε σχέση με τα αντίστοιχα σε Java. Όσο πιο υψηλού επιπέδου μία γλώσσα προγραμματισμού είναι, τόσο πιο κοντά στην σκέψη του ανθρώπου βρίσκεται. Αυτό σημαίνει, ότι είναι πιο εύκολο να γραφτούν προγράμματα σε υψηλού επιπέδου γλώσσες (υψηλό επίπεδο αφαίρεσης) και συνήθως λειτουργούν σε περισσότερες πλατφόρμες. Αυτό όμως γίνεται θυσιάζοντας μέρος της ταχύτητας των προς εκτέλεση προγραμμάτων. Στις μέρες μας παρατηρείται μία σταδιακή στροφή από γλώσσες που επικεντρωνόντουσαν στην απόδοση των προγραμμάτων (efficiency), προς γλώσσες που επικεντρώνονται στην απόδοση του προγραμματιστή (productivity).

Χαρακτηριστικά ο Kernighan έχει γράψει: «Όλοι γνωρίζουν πως για να κάνουμε αποσφαλμάτωση σε ένα κομμάτι κώδικα χρειαζόμαστε την διπλάσιο ευφυΐα από όταν τον γράψαμε. Συνεπώς αν γράφεις όσο πιο «έξυπνο» - δύσκολο κώδικα μπορείς, πως θα τον αποσφαλματώσεις;»

“Everyone knows that debugging is twice as hard as writing a program in the first place. So if you’re as clever as you can be when you write it, how will you ever debug it?”

(Kernighan, 1974)

⁵ <http://www.wxpython.org>

⁶ <http://www.twistedmatrix.com/products/twisted>

⁷ <http://www.pythonware.com/products/pil/index.htm>

Παράδειγμα: Το πρόγραμμα “Hello World” σε τρεις γλώσσες:

Σε C++ :

```
#include <iostream.h>
void main()
{
    cout << "Hello, world!" << endl;
}
```

Σε Java :

```
public class HelloWorld {
    public static void main(String[] args) {
        System.out.println("Hello World!");
    }
}
```

Σε Python:

```
print "Hello World!"
```

3.1.2 Η ιστορία της Python

Η ιστορία της γλώσσας προγραμματισμού “Python” χρονολογείται από τα τέλη της δεκαετίας του 1980. Επινοήθηκε από τον Guido van Rossum στο CWI στην Ολλανδία στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και η εφαρμογή της ξεκίνησε τον Δεκέμβριο του 1989, ως απόγονος (αλλά και διάδοχος όπως προκύπτει από την ιστορία) της γλώσσας προγραμματισμού ABC. Έχει αναφερθεί, πως σαν γλώσσα προγραμματισμού μοιάζει με τις Perl, Ruby, Scheme και Tcl, ενώ δανείζεται στοιχεία από τη Modula-3. Όλα αυτά τα χρόνια, πολλοί προγραμματιστές την έχουν υιοθετήσει και έχουν δημιουργηθεί πολλές βιβλιοθήκες για αυτή. Τέλος, έχει ξεπεράσει παιδικές ασθένειες και συμπεριλαμβάνει πολλά χαρακτηριστικά όπως αυτά προβλήθηκαν από τις ανάγκες των χρηστών της.

Ο Guido van Rossum, ο δημιουργός της γλώσσας Python, ονόμασε τη γλώσσα από την εκπομπή "Monty Python's Flying Circus" του BBC και όχι από το ομώνυμο γένος φιδιών. Μάλιστα, έχει δηλώσει πως δεν του αρέσουν τα φίδια ιδιαίτερα αυτά, που

σκοτώνουν άλλα ζώα για φαγητό τυλίγοντας το σώμα τους γύρω τους και συντρίβοντάς τα.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η Python υπάρχει από τα τέλη της δεκαετίας του 1980. Αυτό σημαίνει πως εκτός από την εμπειρία και την ωρίμανση στον κώδικα που είχαν αποφέρει όλα αυτά τα χρόνια, υπήρχαν και βάρη από το παρελθόν που την εμπόδιζαν να προχωρήσει μπροστά όπως επιτάσσουν και οι αρχές πάνω στις οποίες είναι δημιουργημένη (Zen of Python) και ταυτόχρονα να καλύπτει τις σύγχρονες ανάγκες. Για να ξεπεραστούν τα προβλήματα που υπήρχαν αλλά και χαρακτηριστικά που θεωρήθηκαν μη φιλικά προς τον χρήστη κυκλοφόρησαν νέες εκδόσεις με την Python 2.0 το 2000 και την τελευταία Python 3 (αλλιώς py3k ή 3000) το 2008. Πολλά από τα καινούργια χαρακτηριστικά της Python 3.0 έχουν μεταφερθεί στις εκδόσεις 2.6 και 2.7 που είναι προς τα πίσω συμβατές.

Η Python αναπτύσσεται ως ανοιχτό λογισμικό (open source) και η διαχείρισή της γίνεται από τον μη κερδοσκοπικό οργανισμό Python Software Foundation. Ο κώδικας διανέμεται με την άδεια Python Software Foundation License (PSFL), η οποία είναι συμβατή με την Γενική Άδεια Δημόσιας Χρήσης GNU (GNU General Public License, ή GNU GPL ή απλά GPL).

Αξίζει να αναφερθεί, πως το ArcGIS 10.1 της ESRI που χρησιμοποιήθηκε για να διεκπεραιωθεί η παρούσα εργασία, υποστηρίζει scripting με την Python 2.7.

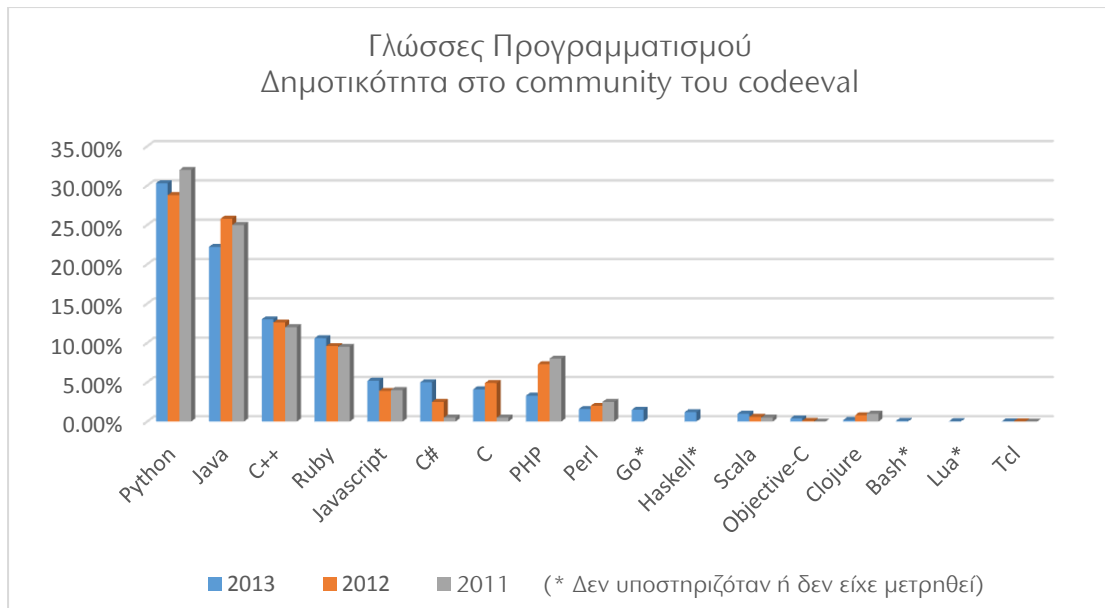
3.1.3 Χρήσεις Python

Η Python ολοένα και περισσότερο με την πάροδο του χρόνου διευρύνει το φάσμα των χρηστών της:

Μερικοί από τους χρήστες της είναι οι παρακάτω:

ArcGIS, Google, NASA, YouTube, Yahoo!, original BitTorrent client, Maya, Blender, μεγάλα πανεπιστήμια (όπως MIT, Stanford), όλες οι διανομές Linux και πλέον Mac OS X, κ.α.

Το κύριο πλεονέκτημα της Python είναι ότι ο προγραμματιστής επικεντρώνεται σε αυτό που θέλει να γράψει και όχι στις ιδιαιτερότητες της γλώσσας. Οι έμπειροι προγραμματιστές είναι σε θέση να μάθουν και να εξοικειωθούν πολύ γρήγορα την Python και να είναι άμεσα παραγωγικοί.



Σχήμα 3-1 Γλώσσες Προγραμματισμού - Δημοτικότητα στους χρήστες του codeeval (γνωστή κοινότητα από κορυφαίους προγραμματιστές που εξασκούνται και ανταγωνίζονται σε προκλήσεις ανάπτυξης κώδικα) [www.codeeval.com]

3.1.4 Συμπληρωματικά στοιχεία για την Python

3.1.4.1 Python: Όλα είναι αντικείμενα

Η Python είναι έντονα αντικειμενοστρεφής με την έννοια ότι οτιδήποτε είναι ένα αντικείμενο συμπεριλαμβάνοντας αριθμούς, συμβολοσειρές ακόμα και συναρτήσεις, γεννήτορες (generators), εξαιρέσεις κλπ. Χαρακτηριστικά ο Swaroop C H (2008) αναφέρει: «Να θυμάστε, η Python αντιλαμβάνεται οτιδήποτε χρησιμοποιείται σε ένα πρόγραμμα ως ένα αντικείμενο, με μια γενική έννοια της λέξης. Αντί να πούμε “το κάτι”, λέμε “το αντικείμενο”».

Έτσι, προσφέρεται ένας διαισθητικός τρόπος συγγραφής των προγραμμάτων με συνέπεια στην αντικειμενοστρέφεια, παρόλο που υποστηρίζονται και άλλοι τρόποι προγραμματισμού (όπως συναρτησιακός, διαδικαστικός κ.α.). (TasPython, 2008)

3.1.4.2 Python και στοίχιση (indentation)

Ένα βασικό χαρακτηριστικό της Python, που αποτελεί ξένο στοιχείο για πολλούς προγραμματιστές που προέρχονται από άλλες γλώσσες, είναι η σημασία της στοίχισης – της εσοχής του κώδικα (indentation). Στην Python κάθε τμήμα κώδικα καθορίζεται από την στοίχισή του, γεγονός που αναβαθμίζει την αναγνωσιμότητα του κώδικα. Ο κενός χαρακτήρας στην αρχή της γραμμής είναι σημαντικός. Αυτό αποκαλείται εσοχή

κώδικα. Οι αρχικοί κενοί χαρακτήρες (κενά και σπλοθέτες) στην αρχή της λογικής γραμμής καθορίζουν το επίπεδο εσοχής της λογικής γραμμής, και αυτό με τη σειρά του προσδιορίζει την ομαδοποίηση των εντολών.

Αυτό σημαίνει ότι οι εντολές που πάνε μαζί πρέπει και οφείλουν να έχουν το ίδιο επίπεδο εσοχής. Κάθε τέτοια ομάδα εντολών, καλείται τμήμα (block) ενώ οι λάθος εσοχές μπορεί να προκαλέσουν σφάλματα.

Κατά αυτό τον τρόπο, οι προγραμματιστές πρέπει να τηρούν τους κανόνες «καλής συμπεριφοράς» όπως αυτοί επιβάλλονται από τις υπόλοιπες γλώσσες προγραμματισμού, αλλά και να ενσωματώνουν στον τρόπο που γράφουν τους κώδικές τους, μία συνέπεια στον καθορισμό της στοίχισής τους. Για την πιο αποτελεσματική συγγραφή κώδικα, έχουν γραφτεί τα έγγραφα PEP (Python Enhancement Proposal), που παρέχουν πληροφορίες στην κοινότητα της Python και προτείνουν έναν επίσημο τρόπο συγγραφής κώδικα. Τα PEP 8⁸ και PEP 257⁹ καταπιάνονται με τα συγκεκριμένα θέματα στοίχισης.

3.1.4.3 Python και σφάλματα κατάτμησης (segmentation faults)

Σε αντίθεση με κάποιες γλώσσες προγραμματισμού, ο προγραμματιστής δεν χρειάζεται να ανησυχεί για τα segmentation faults. Ο διερμηνευτής (interpreter) της Python, μας ενημερώνει με μία εξαίρεση που «πετάει» (throw), έτσι ώστε να εντοπίζεται σε ποια γραμμή υπάρχει το πρόβλημα ώστε να απασφαλμάτωναται και να αντιμετωπίζεται.

3.1.4.4 Python και διαχείριση μνήμης

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, μία από τις βασικές αρχές της Python είναι πως ο προγραμματιστής πρέπει να απαλλάσσεται από χαμηλού επιπέδου λεπτομέρειες για να είναι πιο δημιουργικός και παραγωγικός. Με την αυτόματη διαχείριση μνήμης, ο προγραμματιστής δεν χρειάζεται να ανησυχεί για το πότε θα ελευθερώσει την μνήμη που δεσμεύει όταν φτιάχνει αντικείμενα. Επιπρόσθετα, η Python αντιλαμβάνεται πότε το ίδιο αντικείμενο αναφέρεται πάνω από μία φορά, και έτσι δεν το αποθηκεύει στη μνήμη αν δεν χρειάζεται. Η τεχνική αυτή ονομάζεται μέτρηση αναφορών (reference counting).

⁸ <http://legacy.python.org/dev/peps/pep-0008/>

⁹ <http://legacy.python.org/dev/peps/pep-0257/>

3.1.4.5 Τύποι και τιμές

Τιμή είναι μία ακολουθία από bit η οποία ερμηνεύεται σύμφωνα με κάποιον τύπο δεδομένων. Είναι δυνατόν η ίδια ακολουθία από bits να έχει διαφορετική ερμηνεία ανάλογα με τον τύπο δεδομένων βάση του οποίου ερμηνεύεται.

Τύπος δεδομένων είναι ένα σύνολο τιμών και οι λειτουργίες πάνω σε αυτές.

Στην Python δεν δηλώνουμε ρητά τι τύπος δεδομένων χρησιμοποιείται. Όπως θα λέγαμε σε έναν άνθρωπο έναν αριθμό για παράδειγμα, και θα καταλάβαινε τι εννοούμε, έτσι γίνεται και στην Python. Αυτή η ιδιότητα ονομάζεται δυναμικός τύπος (dynamic typing). Έτσι για παράδειγμα, αν κάνουμε πράξεις με αριθμητικούς τύπους, η Python ορίζει αυτόματα την απαιτούμενη ακρίβεια ώστε να γίνουν σωστά οι πράξεις. Αυτό κάνει τον κώδικα μικρότερο και πιο ευέλικτο.

3.1.4.6 Κλάσεις και αντικείμενα

Ο αντικειμενοστραφής προγραμματισμός (Object-Oriented Programming - OOP) αποτελεί μία προγραμματιστική τεχνική όπου ο προγραμματιστής βασίζεται στα αντικείμενα και στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους ώστε να σχεδιάσει το πρόγραμμα που θέλει να αναπτύξει. Έτσι, στον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό, μπορούμε να δούμε ένα πρόγραμμα επικεντρώνοντας στην οπτική μιας συλλογής αντικειμένων και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους. Κάθε αντικείμενο μπορεί να αλληλεπιδράσει με τα υπόλοιπα στέλνοντας μηνύματα ή λαμβάνοντας, επεξεργαζόμενο δεδομένα και γενικά σαν μία ανεξάρτητη οντότητα που όμως βρίσκεται σε ένα περιβάλλον αλληλεπίδρασης και συνεργασίας με τις υπόλοιπες που απαρτίζουν το πρόγραμμα. Για αυτό τον λόγο και οι μέθοδοι (ή συναρτήσεις) που χρησιμοποιούνται στα αντικείμενα, είναι στενά συνδεδεμένες με τα ίδια τα αντικείμενα. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα τρόπο προγραμματισμού που συνδυάζει δεδομένα και λειτουργικότητα και τα ενσωματώνει σε κάτι που ονομάζεται αντικείμενο. Κλάσεις και αντικείμενα είναι οι δύο κύριες πτυχές του αντικειμενοστραφή προγραμματισμού. Πιο συγκεκριμένα η κλάση δημιουργεί ένα νέο τύπο, όπου τα αντικείμενα είναι στιγμιότυπα της κλάσης. (ΤasPython, 2008)

Τα βασικά χαρακτηριστικά που παρατηρούνται κατά τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός τυπικού προγράμματος μέσω αντικειμενοστρέφειας είναι:

- Κλάση (Class): Καθορίζει τα βασικά χαρακτηριστικά (attributes) και συμπεριφορές (methods) των αντικειμένων που περιγράφονται από αυτή τη κλάση
- Αντικείμενο (Object): Μία συγκεκριμένη μορφή μίας κλάσης, δηλαδή ένα από τα αντικείμενα που περιγράφει η κλάση που το χαρακτηρίζει.
- Στιγμιότυπο (Instance): Η κατάσταση ενός αντικειμένου κατά την εκτέλεση του προγράμματος μέσα από την συγκεκριμενοποίησή του.
- Μέθοδος (Method): Η συμπεριφορά και οι δυνατότητες ενός αντικειμένου.
- Κληρονομικότητα (Inheritance): Όταν μία κλάση αποτελεί εξειδίκευση μίας άλλης, και έτσι έχει όλα τα χαρακτηριστικά που περιγράφουν την κλάση από την οποία κληρονομεί, καθώς και κάποια ιδιαίτερα που περιγράφουν ειδικά την συγκεκριμένη ομάδα αντικειμένων.

Θα μπορούσαμε να αντιστοιχίσουμε τις κλάσεις στις γενικές ομάδες που περιγράφουν τα αντικείμενα. Οι κλάσεις περιέχουν πεδία (fields) και μεθόδους (methods). Τα πεδία ανάλογα με την τιμή τους υποδεικνύουν την κατάσταση του αντικειμένου, το οποίο είναι στιγμιότυπο της κλάσης. Οι μέθοδοι περιγράφουν τις διαφορετικές συμπεριφορές του αντικειμένου.

Με απλά λόγια, μία κλάση είναι ένας τρόπος κατασκευής αντικειμένου. Ένα αντικείμενο είναι ένας τρόπος να χειριζόμαστε πιο εύκολα χαρακτηριστικά και συμπεριφορές ομαδοποιημένα.

3.1.4.7 Κυριολεκτικές Σταθερές

Με τον όρο κυριολεκτικές σταθερές (literal constants) αναφερόμαστε σε προκαθορισμένες τιμές που παραμένουν αμετάβλητες σε όλη τη διάρκεια εκτέλεσης ενός προγράμματος. Ένα παράδειγμα κυριολεκτικής σταθεράς είναι ένας αριθμός όπως `8` , `2.48` , `4.07e-1` ή μία συμβολοσειρά όπως `"αυτή"` ή `'ακόμα και αυτή !'`. Αποκαλείται κυριολεκτική διότι κυριολεκτεί -η τιμή της ορίζεται κυριολεκτικά. Ο αριθμός 2 αναπαριστά τον εαυτό του και τίποτα άλλο – είναι σταθερά διότι η τιμή της δε μπορεί να αλλάξει. Άρα, όλα αυτά αναφέρονται ως κυριολεκτικές σταθερές (Swaroop, 2008).

Αριθμοί

Οι αριθμοί στην Python 2.7 είναι τεσσάρων τύπων: οι ακέραιοι (plain integers - int), οι δεκαδικοί (long integers – long), οι αριθμοί κινητής υποδιαστολής (floating point - float) και οι μιγαδικοί αριθμοί (complex numbers - complex).

Συμβολοσειρές (Strings)

Μία συμβολοσειρά είναι μια ακολουθία από χαρακτήρες. Οι χαρακτήρες ή οι λέξεις, μπορεί να είναι σε κάθε αλφάβητο και γλώσσα, αρκεί να υποστηρίζεται από το πρότυπο Unicode, ουσιαστικά σχεδόν κάθε γλώσσα του κόσμου.

Μονά εισαγωγικά

Μπορούν να οριστούν συμβολοσειρές με μονά εισαγωγικά, για παράδειγμα `'Βαθμός Μεταβολής Αναγλύφου'`. Η μορφοποίηση, π.χ. κενοί χαρακτήρες (Whitespace) και σπηλοθέτες (Tabs), παραμένει ως έχει.

Διπλά εισαγωγικά

Οι συμβολοσειρές με διπλά εισαγωγικά λειτουργούν ακριβώς όπως και με μονά εισαγωγικά. Για παράδειγμα `"Οπτική Ρύπανση"`.

Τριπλά εισαγωγικά

Μπορούν να οριστούν συμβολοσειρές πολλαπλών γραμμών με τριπλά εισαγωγικά - (`"""` ή `'''`). Ανάμεσα σε τριπλά εισαγωγικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ελεύθερα μονά και διπλά εισαγωγικά.

3.1.4.8 Μεταβλητές και αναγνωριστικά

Κάθε μεταβλητή (variable) είναι μια θέση στη μνήμη του Η/Υ που αποθηκεύει και επεξεργάζεται πληροφορίες. Με απλά λόγια, η μεταβλητή είναι ένα όνομα που αναφέρεται σε μία τιμή. Οι τιμές των μεταβλητών ποικίλλουν και μπορούν να αλλάξουν σε οποιοδήποτε σημείο του προγράμματος. Γι' αυτό το λόγο ονομάζονται μεταβλητές. Αντίθετα με τις κυριολεκτικές σταθερές, χρειάζεται κάποια μέθοδος (method) για να καλεστούν αυτές οι μεταβλητές, και ως εκ τούτου να τους δοθούν ονόματα.

Οι μεταβλητές είναι παραδείγματα αναγνωριστικών. Τα αναγνωριστικά (identifiers) είναι δοθέντα ονόματα για να αναγνωρίσουν κάτι. Για την ονοματοδοσία αναγνωριστικών, υπάρχουν ορισμένοι κανόνες. Ο κυριότερος είναι πως ο πρώτος

χαρακτήρας του αναγνωριστικού πρέπει να είναι ένα γράμμα της αλφαβήτου (κεφαλαίο ASCII ή πεζό ASCII ή χαρακτήρας Unicode) ή μια κάτω παύλα (`_`)

Οι μεταβλητές μπορούν να διατηρούν τιμές διαφορετικών τύπων δεδομένων. Οι βασικοί τύποι είναι αριθμοί και συμβολοσειρές, ενώ χρησιμοποιώντας κλάσεις, είναι δυνατή η δημιουργία νέων τύπων δεδομένων.

3.1.4.9 Εκφράσεις Boolean

Οι εκφράσεις Boolean είναι εκφράσεις που η αποτίμησή τους είναι είτε αληθής είτε ψευδής (πχ `7 == 8`, Ψευδής και `"this" == "this"`, Αληθής). Από μικρότερες εκφράσεις Boolean μπορούν να δημιουργηθούν μεγαλύτερες χρησιμοποιώντας τους λογικούς τελεστές. Συνήθως όμως, είναι πιο επιθυμητό από τις μεγαλύτερες εκφράσεις να δημιουργούνται μικρότερες ώστε να γίνεται πιο απλό αυτό που περιγράφεται. Οι βασικοί τελεστές για εκφράσεις Boolean είναι: διάζευξη (`or`), σύζευξη (`and`), άρνηση (`not`).

3.1.4.10 Βασικοί τελεστές

Οι περισσότερες εντολές που γράφονται περιέχουν εκφράσεις (expressions). Μία έκφραση μπορεί να διαχωριστεί σε τελεστές (operators) και τελεστέους (operands). Οι τελεστές επιτελούν μία λειτουργία και μπορούν να αναπαρασταθούν με σύμβολα όπως το `+` ή με ειδικές λέξεις - κλειδιά. Οι τελεστές απαιτούν κάποια δεδομένα πάνω στα οποία θα λειτουργήσουν και αυτά τα δεδομένα ονομάζονται τελεστέοι. Στη Python για την εκτέλεση των βασικών αριθμητικών πράξεων χρησιμοποιούνται οι εξής κύριοι τελεστές:

- `+` Πρόσθεση
- `-` Αφαίρεση
- `*` Πολλαπλασιασμός
- `/` Διαίρεση
- `**` Ύψωση σε δύναμη
- `%` Υπόλοιπο (modulo)
- `//` Διαίρεση στρογγυλοποιημένη προς τα κάτω (Floor Division)

Παρακάτω ακολουθούν οι τελεστές σύγκρισης, οι οποίοι εκτός από την λειτουργία τους στην σύγκριση αριθμητικών δεδομένων, είναι δυνατή η αντιστοίχιση σε αυτούς ειδικών λειτουργιών και για αντικείμενα δικών μας κλάσεων.

- `==` Ίσο με
- `!=` Διάφορο από
- `>` Μεγαλύτερο από
- `<` Μικρότερο από
- `>=` Μεγαλύτερο ή ίσο με
- `<=` Μικρότερο ή ίσο με

Κάθε τελεστής δέχεται δύο τελεστέους, έναν σε κάθε πλευρά του τελεστή. Όταν χρησιμοποιούνται περισσότεροι από ένας τελεστές σε μία έκφραση, η Python βασίζεται σε μία προκαθορισμένη προτεραιότητα¹⁰ για να καθορίσει τη σειρά με την οποία αποτιμώνται οι τελεστές. Σε πολλές περιπτώσεις, αυτή η προτεραιότητα καθορίζει την τελική τιμή της έκφρασης. Για να γίνονται οι εκφράσεις πιο ευανάγνωστες, αλλά να αλλάζει η σειρά υπολογισμού όπου αυτό είναι επιθυμητό είναι δυνατή η χρήση παρενθέσεων. Τέλος, οι τελεστές συνήθως συσχετίζονται από τα αριστερά προς τα δεξιά δηλαδή οι τελεστές με την ίδια προτεραιότητα υπολογίζονται από τα αριστερά προς τα δεξιά. Για παράδειγμα, το `2 + 3 + 4` υπολογίζεται ως `(2 + 3) + 4`. Μερικοί τελεστές όμως, όπως οι τελεστές ανάθεσης έχουν συσχέτιση από τα δεξιά προς τα αριστερά δηλ. το `a = b = c` αντιμετωπίζεται ως `a = (b = c)`.

3.1.4.11 Πρόγραμμα και έλεγχος ροής

Πρόγραμμα είναι μία ακολουθία εντολών προς έναν υπολογιστή που προσδιορίζει μία λειτουργία (ή ένα σύνολο λειτουργιών). Το πρόγραμμα έχει μία εκτελέσιμη μορφή που μπορεί να χρησιμοποιήσει απευθείας ο υπολογιστής. Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός προγράμματος είναι:

- **Είσοδος:** Τα δεδομένα από το περιβάλλον τα οποία χρειάζεται το πρόγραμμα για να παράγει την επιθυμητή έξοδο.

¹⁰ (5.15.) Operator precedence: <https://docs.python.org/2/reference/expressions.html#operator-precedence>

- Τρόπος Εκτέλεσης: Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων (ροή εκτέλεσης, αλγόριθμοι, μοντέλα υπολογισμού)
- Έξοδος: Τα τελικά αποτελέσματα.

Ο έλεγχος ροής αφορά την σειρά με την οποία ανεξάρτητες δηλώσεις, εντολές ή κλήσεις συναρτήσεων εκτελούνται ή αποτιμώνται. Στην ακολουθιακή εκτέλεση, συνήθως ο δείκτης εντολών αυξάνεται αυτόματα μετά την προσκόμιση μιας εντολής προγράμματος, καθώς συνήθως οι εντολές σε ένα πρόγραμμα εκτελούνται ακολουθιακά από την μνήμη. Έτσι, ένα πρόγραμμα που κάνει ακολουθιακή εκτέλεση εντολών (sequential), εκτελεί κάθε φορά την επόμενη εντολή στην μνήμη.

Ένα από τα βασικά στοιχεία οποιασδήποτε γλώσσας προγραμματισμού είναι ο τρόπος με τον οποίο δίνεται σ' ένα πρόγραμμα η δυνατότητα να λαμβάνει αποφάσεις. Έτσι, το πρόγραμμα μπορεί να «προσαρμόζεται» στις συνθήκες του περιβάλλοντος του και να ακολουθεί διαφορετική πορεία ανάλογα με το τι του ζητείται. Υπάρχουν ειδικές εντολές όπως διακλαδώσεις υπό συνθήκη, άλματα και υπορουτίνες που διακόπτουν την φυσιολογική ροή τοποθετώντας μία καινούργια τιμή στον μετρητή προγράμματος (program counter).

Τα είδη ελέγχου ροής είναι:

- Συνέχεια σε διαφορετική δήλωση (statement) (unconditional branch or jump)
- Εκτέλεση ενός συνόλου δηλώσεων μόνο αν ικανοποιείται κάποια συνθήκη.
- Εκτέλεση ενός συνόλου εντολών καμία ή περισσότερες φορές μέχρι κάποια συνθήκη να ικανοποιηθεί.
- Εκτέλεση ενός συνόλου απομακρυσμένων εντολών όπου μετά την εκτέλεσή τους, ο έλεγχος ροής συνήθως επιστρέφει (συναρτήσεις, μέθοδοι).
- Σταμάτημα ενός προγράμματος, αποτρέποντας οποιαδήποτε περαιτέρω εκτέλεση.

Η εντολή if

Η εντολή `if` χρησιμοποιείται για να ελεγχθεί μια συνθήκη και εάν (if) η συνθήκη αυτή είναι αληθής, τότε εκτελείται ένα σύνολο (τμήμα) εντολών (που ονομάζεται if-block), διαφορετικά (else) γίνεται επεξεργασία ενός άλλου συνόλου εντολών (που ονομάζεται else-block). Η χρήση του όρου `else` είναι προαιρετική, καθώς απαιτείται μία ελάχιστη έγκυρη εντολή `if`. Επιπρόσθετα, υπάρχει και ο όρος `elif`, ο οποίος

στην πραγματικότητα συνδυάζει δύο συσχετιζόμενες εντολές `if..else` - `if..else` σε μία εντολή `if..elif..else`. Αυτό κάνει το πρόγραμμα ευκολότερο και μειώνει τον αριθμό των εσοχών που απαιτούνται.

Η εντολή `while`

Η εντολή `while` επιτρέπει την επανειλημμένη εκτέλεση ενός τμήματος εντολών, όσο μια προϋπόθεση παραμένει αληθής. Η εντολή `while` είναι ένα παράδειγμα αυτού που αποκαλείται εντολή βρόχου (looping statement). Μια εντολή `while` μπορεί να έχει έναν προαιρετικό όρο `else`. Το τμήμα `else` εκτελείται όταν η προϋπόθεση του βρόχου `while` αποκτά την τιμή `False` (ψευδής). Εάν υπάρχει ένας όρος `else` για ένα βρόχο `while`, εκτελείται πάντοτε, εκτός κι αν διακοπεί ο βρόχος με την εντολή `break`.

Ο βρόχος `for`

Η εντολή `for .. in` είναι άλλη μία εντολή βρόχου, η οποία επαναλαμβάνεται σε μια ακολουθία αντικειμένων, δηλαδή εκτελείται σε κάθε αντικείμενο σε μια ακολουθία, για συγκεκριμένο πλήθος φορών.

Η εντολή `break`

Η εντολή `break` χρησιμοποιείται για τη διακοπή μιας εντολής βρόχου, δηλ. τη διακοπή της εκτέλεσης της εντολής βρόχου ακόμη κι αν η προϋπόθεση του βρόχου δεν έχει γίνει `False` (ψευδής) ή δεν έχει επαναληφθεί σ' όλη την ακολουθία των αντικειμένων.

Η δήλωση `with`

Η κύρια χρήση της δήλωσης `with` είναι για την απόκτηση και απελευθέρωση πόρων. Με την `with` εξασφαλίζεται η κατάλληλη δέσμευση και αποδέσμευση πόρων μόλις αρχίζει και αντίστοιχα τελειώνει το αντίστοιχο μέρος κώδικα.

3.1.4.12 Συναρτήσεις

Συνάρτηση είναι μία ονομαζόμενη ακολουθία δηλώσεων η οποία πραγματοποιεί έναν συγκεκριμένο υπολογισμό. Αποτελούν μία τεχνική αφαίρεσης μέσω της οποίας μπορεί να δοθεί όνομα σε μία σύνθετη λειτουργία και στην συνέχεια να παρέχεται η

δυνατότητα να αναφερόμαστε σε αυτή τη σύνθετη λειτουργία ως μονάδα. Αν μία συνάρτηση εφαρμόζεται σε αντικείμενο, ονομάζεται μέθοδος.

Όρισμα είναι μία τιμή η οποία λαμβάνεται από το πρόγραμμα στην κλήση της συνάρτησης. Μπορεί να χαρακτηριστεί και ως είσοδος της συνάρτησης από το πρόγραμμα από το οποίο καλείται.

Επιστρεφόμενη τιμή είναι η τιμή η οποία επιστρέφεται από την συνάρτηση στο περιβάλλον που την κάλεσε, μέσω μίας δήλωσης `return`. Όταν συναντάται η δήλωση `return`, τερματίζεται η εκτέλεση της συνάρτησης και η ροή εκτέλεσης επιστρέφει στο περιβάλλον από όπου καλέστηκε.

Οι συναρτήσεις λοιπόν, είναι επαναχρησιμοποιήσιμα μέρη προγραμμάτων, που επιτρέπουν μετά την ονοματοδότηση ενός συνόλου εντολών, την εκτέλεση εκείνου του σύνολο εντολών χρησιμοποιώντας το όνομά τους, οπουδήποτε στο πρόγραμμά και όσες φορές είναι επιθυμητό. Αυτό είναι γνωστό σαν κλήση (calling) της συνάρτησης.

Οι συναρτήσεις ορίζονται χρησιμοποιώντας τη λέξη κλειδί `def`, μετά την οποία ακολουθεί ένα όνομα που ταυτοποιεί την εκάστοτε συνάρτηση και κατόπιν ακολουθεί ένα ζευγάρι παρενθέσεων που μπορούν να περικλείουν μερικά ονόματα μεταβλητών, και η γραμμή τελειώνει με ανω και κάτω τελεία (`:`).

3.1.4.13 Δομές δεδομένων

Οι δομές δεδομένων είναι αυτό που λέει το όνομά τους, δηλαδή είναι δομές που μπορούν να κρατήσουν μαζί μερικά δεδομένα. Με άλλα λόγια χρησιμοποιούνται για να αποθηκεύουν δεδομένα που έχουν σχέση μεταξύ τους. Υπάρχουν τέσσερις δομές δεδομένων ενσωματωμένες στην Python: οι λίστες, οι πλειάδες, τα λεξικά και τα σύνολα.

Λίστα (List)

Μια λίστα είναι μια δομή δεδομένων που συγκρατεί μια διατεταγμένη συλλογή στοιχείων, δηλαδή μπορεί να αποθηκευτεί μια ακολουθία (sequence) αντικειμένων στη λίστα. Η λίστα των στοιχείων πρέπει να κλείνεται σε αγκύλες (δηλαδή `[και]`) έτσι ώστε να καταλαβαίνει η Python ότι καθορίζεται λίστα. Αφού έχει δημιουργηθεί μια λίστα μια φορά είναι δυνατή η προσθήκη, η μετακίνηση ή η αναζήτηση στοιχείων σε αυτή τη λίστα. Από τη στιγμή που μπορούμε να προσθέσουμε και να μετακινήσουμε στοιχεία,

λέμε ότι η λίστα είναι ένας μεταβλητός τύπος δεδομένων (mutable data type), δηλαδή αυτός ο τύπος μπορεί να αλλαχθεί.

Πλειάδα (Tuple)

Οι πλειάδες χρησιμοποιούνται για να συγκρατήσουν μαζί πολλαπλά αντικείμενα. Είναι παρόμοιες με τις λίστες, αλλά χωρίς την εκτεταμένη λειτουργικότητα που η κλάση της λίστας δίνει. Ένα κύριο χαρακτηριστικό των πλειάδων είναι ότι είναι αμετάβλητες όπως οι συμβολοσειρές, δηλαδή οι πλειάδες δε μπορούν να τροποποιηθούν. Οι πλειάδες ορίζονται καθορίζοντας στοιχεία που διαχωρίζονται με κόμματα, μέσα σε ένα προαιρετικό ζευγάρι παρενθέσεων. Χρησιμοποιώντας μία πλειάδα, ουσιαστικά δημιουργείται ένα αντικείμενο το οποίο είναι μία ομάδα άλλων αντικειμένων. Αν για μία λειτουργία μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε πλειάδες είτε λίστες, προτιμώνται οι πλειάδες διότι είναι ο πιο γρήγορος τρόπος.

Λεξικό (Dictionary)

Με το λεξικό μπορούν να αντιστοιχηθούν τιμές σε λέξεις κλειδιά. Με έναν απλουστευμένο τρόπο, θα μπορούσε να αναφερθεί πως το λεξικό είναι μία γενίκευση των λιστών, όπου αντί να δεικτοδοτείται ένα αντικείμενο με έναν ακέραιο, μπορεί να δεικτοδοτηθεί με οποιοδήποτε αντικείμενο, αρκεί αυτό να είναι σταθερό (να μην αλλάζει τιμή) και μοναδικό.

Σύνολο (Set)

Τα σύνολα είναι μη ταξινομημένες συλλογές απλών αντικειμένων. Αυτά χρησιμοποιούνται όταν η ύπαρξη ενός αντικειμένου σε μια συλλογή είναι πιο σπουδαία από την εντολή ή πόσες φορές αυτή συμβαίνει. Τα σύνολα διευκολύνουν στην ομαδοποίηση πολλών αντικειμένων και στην εφαρμογή στην συνέχεια πράξεων, όπως η ένωσή τους με αποδοτικό όμως τρόπο, εξασφαλίζοντας πως κάθε στοιχείο, αν περιέχεται σε πάνω από ένα σύνολο, τελικά θα βρεθεί μία μόνο φορά στο τελικό αποτέλεσμα.

3.1.4.14 Αρθρώματα

Ένα άρθρωμα (module) είναι ένα αρχείο που περιέχει δηλώσεις και ορισμούς (συναρτήσεις, κλάσεις κτλ). Το όνομα του αρθρώματος αντιπροσωπεύει ένα αρχείο `rython` (που είναι το όνομα του αρθρώματος συνοδευόμενο από την κατάληξη `".py"`). Τα αρθρώματα είναι πολύ χρήσιμα για τον προγραμματιστή γιατί επιτρέπουν την

επαναχρησιμοποίηση κομματιών κώδικα που περιέχουν συναρτήσεις, οι οποίες έχουν γραφτεί στην αρχική γλώσσα που έχει γραφτεί ο διερμηνευτής της Python. Έτσι δεν χρειάζεται κάθε φορά να «ανακαλύπτεται ο τροχός» από την αρχή. Τέλος, πολλοί προγραμματιστές έχουν ήδη αναπτύξει πακέτα αρθρωμάτων με συναρτήσεις (πολύπλοκες μαθηματικές συναρτήσεις, στατιστικά μοντέλα κλπ) που διατίθενται στην ανοικτή κοινότητα της Python.

Στην παρούσα εργασία, δύο από τα κύρια αρθρώματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

ArcPy:

Το ArcPy είναι ένα πακέτο λειτουργιών που αντικαθιστά το arcgisscripting. Σκοπός του είναι η δημιουργία μιας σειράς εντολών που θα δώσουν μεγαλύτερη ευχρηστία στην γεωγραφική ανάλυση, μετατροπή και διαχείριση δεδομένων όπως και στον αυτοματισμό δημιουργίας χαρτών μέσα από τη γλώσσα προγραμματισμού Python.

Το ArcPy δίνει άμεση πρόσβαση στα εργαλεία geoprocessing, όπως και σε πρόσθετες εντολές και αντικείμενα του ArcGIS με σκοπό τη δημιουργία απλών αλλά και σύνθετων διαδικασιών γρήγορα και εύκολα. (ESRI 2010-13)

NumPy:

Το NumPy είναι το βασικό πακέτο για επιστημονικούς υπολογισμούς στην Python. Θα μπορούσε να παρομοιαστεί με μία βιβλιοθήκη με μια πολύ μεγάλη συλλογή συναρτήσεων και τύπων που αποσκοπούν στην επίλυση μαθηματικών προβλημάτων. Διαθέτει ένα βασικό τύπο δεδομένων που είναι ο πολυδιάστατος πίνακας (multi-dimensional array, ndarray) πάνω στον οποίο είναι βασισμένες ρουτίνες για αριθμητική ανάλυση, γραμμική άλγεβρα, μιγαδικούς αριθμούς, ανάλυση Fourier κλπ.

Τέλος, το σύνολο των αρθρωμάτων που έχουν χρησιμοποιηθεί, περιλαμβάνονται προεγκαταστημένα με τις βασικές εκδόσεις του ArcGIS και της Python.

3.2 Το πρόγραμμα “dotra.py”

3.2.1 Εισαγωγή

Για την διεκπεραίωση αυτής της διπλωματικής εργασίας, δηλαδή για την ανάπτυξη μίας αυτοματοποιημένης μεθόδου για τον υπολογισμό του βαθμού μεταβολής αναγλύφου, κρίθηκε απαραίτητη η δημιουργία ενός κώδικα (script) σε περιβάλλον Python, για την στατιστική επεξεργασία των γεωγραφικών δεδομένων. Ο κώδικας που αναπτύχθηκε αποτελείται από 750 γραμμές. Με απλά λόγια, αποτελεί ένα νέο εργαλείο που ενσωματώνεται στο μοντέλο που αναπτύχθηκε μέσω του Model Builder του GIS (κεφ.2.3), και εκτελεί τις απαιτούμενες πράξεις για τον προσδιορισμό των παραμέτρων μεταβολής αναγλύφου και κατ’ επέκταση και τον ίδιο τον βαθμό μεταβολής αναγλύφου. Με αυτό τον τρόπο, μέσα από την εκτέλεση μιας σειράς μαθηματικών συναρτήσεων διενεργείται η στατιστική ανάλυση των γεωγραφικών χαρακτηριστικών των εξεταζόμενων επιφανειών. Έτσι λοιπόν, δεν χρειάζεται πλέον ούτε εξαγωγή των γεωγραφικών δεδομένων σε λογιστικό φύλλο EXCEL, ούτε περαιτέρω επεξεργασία, καθώς τα αποτελέσματα υπολογίζονται αυτόματα και εισάγονται στο περιβάλλον του arcGIS που εργάζεται ο χρήστης.

3.2.2 Ο κώδικας του προγράμματος

Για την καλύτερη ανάγνωση του κώδικα αναφέρεται πως οι σειρές που αρχίζουν με “#” (χρωματισμένες με κόκκινο) δε μεταγλωττίζονται και αποτελούν επεξηγηματικά σχόλια του κώδικα.

Εισαγωγή απαιτούμενων αρθρωμάτων:

```
# -*- coding: cp1253 -*-  
  
import sys  
import traceback  
import arcpy  
from arcpy import env
```

Προσδιορισμός εισόδων – εξόδων:

```
## Arguments:  
# argv[1] = input table/feature class path  
# argv[2]= name of final table
```

```
path = sys.argv[1]  
final_table=sys.argv[2]
```

Δημιουργία πιο φιλικού περιβάλλοντος προς τον χρήστη:

```
### 1. Create more friendly environment
```

```
## 1.1 Delete unwanted columns:
```

```
# "Join_Count", "TARGET_FID"
```

```
arcpy.DeleteField_management(path,"Join_Count")  
arcpy.DeleteField_management(path,"TARGET_FID")
```

```
## 1.2 Add New Fields:
```

```
# "Z_orig", "Z_fin", "S_orig", "S_fin", "As_orig",  
"As_fin"
```

```
arcpy.AddField_management(path, "Z_orig", "LONG", "9")  
arcpy.AddField_management(path, "Z_fin", "LONG", "9")  
arcpy.AddField_management(path, "S_orig", "FLOAT", "3", "1")  
arcpy.AddField_management(path, "S_fin", "FLOAT", "3", "1")  
arcpy.AddField_management(path, "As_orig", "LONG", "9")  
arcpy.AddField_management(path, "As_fin", "LONG", "9")
```

```
## 1.3 Calculate New Fields:
```

```
# "Z_orig", "Z_fin", "S_orig", "S_fin", "As_orig",  
"As_fin"
```

```
arcpy.CalculateField_management(path,"Z_orig","!GRID_CODE!", "PYTHON_9.3")  
arcpy.CalculateField_management(path,"Z_fin","!GRID_CODE_1!", "PYTHON_9.3")  
arcpy.CalculateField_management(path,"S_orig","!GRID_CODE_12!", "PYTHON_9.3")  
arcpy.CalculateField_management(path,"S_fin","!GRID_CODE_12_13!", "PYTHON_9.3")  
arcpy.CalculateField_management(path,"As_orig","!GRID_CODE_12_13_14!", "PYTHON_9.3")  
arcpy.CalculateField_management(path,"As_fin","!GRID_CODE_12_13_14_15!", "PYTHON_9.3")
```

```
## 1.4 Delete Old Fields:
```

```
# "GRID_CODE", "GRID_CODE_", "GRID_CODE1", \  
# "GRID_COD_1", "GRID_COD_2", "GRID_COD_3"
```

```
arcpy.DeleteField_management(path,"GRID_CODE")  
arcpy.DeleteField_management(path,"GRID_CODE_1")  
arcpy.DeleteField_management(path,"GRID_CODE_12")  
arcpy.DeleteField_management(path,"GRID_CODE_12_13")  
arcpy.DeleteField_management(path,"GRID_CODE_12_13_14")  
arcpy.DeleteField_management(path,"GRID_CODE_12_13_14_15")
```



```

##      1.5 Create new table == final table:

arcpy.Statistics_analysis(path, final_table, "OBJECTID FIRST", "#")
arcpy.DeleteField_management(final_table, "FIRST_OBJECTID")

```

Εισαγωγή αρθρώματος NumPy

```

### Import numpy module:

import numpy as np

```

Υπολογισμός Δείκτη Μορφολογίας

```

### 2. Calculate Landform Index
##      2.1 Import values for z_orig, z_fin:

data_z_orig=[]
data_z_fin=[]

with arcpy.da.SearchCursor(path, "Z_orig") as sCursor:
    for row in sCursor:
        data_z_orig.append(row[0])

with arcpy.da.SearchCursor(path, "Z_fin") as sCursor:
    for row in sCursor:
        data_z_fin.append(row[0])

##      2.2 Calculate Variance:

var_z_orig = np.var(data_z_orig)
var_z_fin = np.var(data_z_fin)

##      2.3 Calculate Covariance:

data_z_orig_fin = np.vstack((data_z_orig,data_z_fin))
cov_1=np.cov(data_z_orig_fin, bias=1, ddof=None)
cov_2=np.array(cov_1)

cov = np.amin(cov_2)

##      2.4 Calculate Landform Index (LI):

LI = ((var_z_orig + var_z_fin) - (2 * cov)) / (var_z_orig +
        var_z_fin)

arcpy.AddField_management(final_table, "LI", "FLOAT")

rows = arcpy.UpdateCursor(final_table)
for row in rows:

```

```

    row.setValue("LI", LI)
    rows.updateRow(row)
del row
del rows

```

Υπολογισμός Συντελεστής Υψομέτρου

```

### 3. Calculate Altitude Index
##      3.1 Calculate average (z_orig, z_fin) and difference between
them ( $\Delta_z$ _average):
#          (for importing z_orig, z_fin see #2.1)

z_orig_average = np.mean(data_z_orig)
z_fin_average = np.mean(data_z_fin)
delta_z_average = z_orig_average - z_fin_average

##      3.2 Calculate  $(z_{orig} - z_{orig\_average})^{**2}$ :

z_orig_z__2= (data_z_orig - z_orig_average)**2

##      3.3 Calculate  $(z_{fin} - z_{orig\_average})^{**2} = (z_{orig} -$ 
 $\Delta_z\_average - z_{orig\_average})^{**2}$ :

z_fin_z__2= (data_z_orig - delta_z_average - z_orig_average)**2

##      3.4 Calculate  $\text{sum}[(z_{orig} - z_{orig\_average})^{**2}]$ ,  $\text{sum}[(z_{fin}$ 
 $- z_{orig\_average})^{**2}]$ :

sum_z_orig_z__2 = sum(z_orig_z__2)
sum_z_fin_z__2 = sum(z_fin_z__2)

##      3.5 Calculate  $\text{sqrt}\{\text{sum}[(z_{orig} - z_{orig\_average})^{**2}]\}$ ,
 $\text{sqrt}\{\text{sum}[(z_{fin} - z_{orig\_average})^{**2}]\}$ 
##          and  $\text{sqrt}\{\text{sum}[(z_{fin} - z_{orig\_average})^{**2}]\} /$ 
 $\text{sqrt}\{\text{sum}[(z_{orig} - z_{orig\_average})^{**2}]\}$  as div_sqrt:

sqrt_sum_z_orig_z__2 = np.sqrt(sum_z_orig_z__2)
sqrt_sum_z_fin_z__2 = np.sqrt(sum_z_fin_z__2)

div_sqrt = sqrt_sum_z_fin_z__2 / sqrt_sum_z_orig_z__2

##      3.4 Calculate Altitude Index (AI):

AI = (div_sqrt - 1) * 100

arcpy.AddField_management(final_table, "AI", "FLOAT")

rows = arcpy.UpdateCursor(final_table)
for row in rows:
    row.setValue("AI", AI)
    rows.updateRow(row)
del row
del rows

```

Υπολογισμός Δείκτη Κλίσης

```
### 4.Calculate Slope Index
##      4.1 Import values for s_orig, s_fin:

data_S_orig=[]
data_S_fin=[]

with arcpy.da.SearchCursor(path, "S_orig") as sCursor:
    for row in sCursor:
        data_S_orig.append(row[0])

with arcpy.da.SearchCursor(path, "S_fin") as sCursor:
    for row in sCursor:
        data_S_fin.append(row[0])

##      4.2 Calculate (abs(s_orig - s_fin))/90:

delta_S = np.subtract(data_S_orig, data_S_fin)
delta_S_abs = np.absolute(delta_S)
delta_S_abs_90 = np.true_divide(delta_S_abs,90)

##      4.3 Calculate Slope Index (SI):

SI = np.mean(delta_S_abs_90)

arcpy.AddField_management(final_table, "SI", "FLOAT")

rows = arcpy.UpdateCursor(final_table)
for row in rows:
    row.setValue("SI", SI)
    rows.updateRow(row)
del row
del rows
```

Υπολογισμός Δείκτη Προσανατολισμού

```
### 5.Calculate Aspect Index
##      5.1 Import values for as_orig, as_fin:

data_as_orig=[]
data_as_fin=[]

with arcpy.da.SearchCursor(path, "As_orig") as sCursor:
    for row in sCursor:
        data_as_orig.append(row[0])

with arcpy.da.SearchCursor(path, "As_fin") as sCursor:
    for row in sCursor:
        data_as_fin.append(row[0])
```

```

##      5.2 Reduction from 360° to 180°:

reduction_1_orig = [x if x<180 else np.subtract(x,360) for x in
data_as_orig]
reduction_1_fin = [x if x<180 else np.subtract(x,360) for x in
data_as_fin]

##      5.3 Calculate abs(reduction_1_orig - reduction_1_fin):

abs_delta_reduction_1 = np.absolute(np.subtract(reduction_1_orig,
reduction_1_fin))

##      5.4 Reduction from 360° to 180°:

reduction_2 = [x if x<180 else np.subtract(360,x) for x in
abs_delta_reduction_1]

##      5.5 Calculate abs(reduction_1_orig - reduction_1_fin) / 180,
after reduction: reduction_2/180:

abs_delta_reduction_2_180 = np.true_divide(reduction_2,180)

##      5.6 Calculate Aspect Index (AsI):

AsI = np.mean(abs_delta_reduction_2_180)

arcpy.AddField_management(final_table, "AsI", "FLOAT")
rows = arcpy.UpdateCursor(final_table)
for row in rows:
    row.setValue("AsI", AsI)
    rows.updateRow(row)
del row
del rows

```

Στρογγυλοποίηση Δεικτών

```

### 6.Round Values
##      6.1 Calculate round to fields:

arcpy.CalculateField_management(final_table, "LI", "np.round_(!LI!,
decimals=2)", "PYTHON_9.3", "import numpy as np")
arcpy.CalculateField_management(final_table, "AI", "np.round_(!AI!,
decimals=0)", "PYTHON_9.3", "import numpy as np")
arcpy.CalculateField_management(final_table, "SI", "np.round_(!SI!,
decimals=2)", "PYTHON_9.3", "import numpy as np")
arcpy.CalculateField_management(final_table, "AsI", "np.round_(!AsI!,
decimals=2)", "PYTHON_9.3", "import numpy as np")

```

Υπολογισμός Διορθωμένου Δείκτη Δείκτη Μορφολογίας, Υπολογισμός Βαθμού
Μεταβολής Αναγλύφου, Κατηγοριοποίηση Δεικτών, και Εισαγωγή τιμών στον τελικό

πίνακα

```
### 7.Final Table
```

```
##      7.1 Collect and Calculate Final Data
```

```
arcpy.AddField_management(final_table, "LI_c", "TEXT")
arcpy.AddField_management(final_table, "AI_c", "TEXT")
arcpy.AddField_management(final_table, "ALI", "FLOAT")
arcpy.AddField_management(final_table, "ALI_c", "FLOAT")
arcpy.AddField_management(final_table, "SI_c", "TEXT")
arcpy.AddField_management(final_table, "AsI_c", "TEXT")
arcpy.AddField_management(final_table, "DoTRA", "FLOAT")
arcpy.AddField_management(final_table, "DoTRA_c", "TEXT")

arcpy.CalculateField_management(final_table, "ALI", "(((!LI!*0.8)+((!AI!/100)*0.2)))", "PYTHON_9.3")
arcpy.CalculateField_management(final_table, "ALI_c", "!ALI! * 10", "PYTHON_9.3")
arcpy.CalculateField_management(final_table, "ALI_c", "np.round_(!ALI_c!, decimals=0)", "PYTHON_9.3", "import numpy as np")

arcpy.CalculateField_management(final_table, "LI_c", "LI_cat(!LI!)", "PYTHON_9.3", """def LI_cat(x):
    if 0<=x<=0.15:
        return 'Class 1'
    elif 0.16<=x<=0.25:
        return 'Class 2'
    elif 0.26<=x<=0.35:
        return 'Class 3'
    elif 0.36<=x<=0.45:
        return 'Class 4'
    elif 0.46<=x<=0.55:
        return 'Class 5'
    elif 0.56<=x<=0.65:
        return 'Class 6'
    elif 0.66<=x<=0.75:
        return 'Class 7'
    elif 0.76<=x<=0.85:
        return 'Class 8'
    elif 0.86<=x<=0.95:
        return 'Class 9'
    elif 0.96<=x<=1:
        return 'Class 10'""")

arcpy.CalculateField_management(final_table, "AI_c", "AI_cat(!AI!)", "PYTHON_9.3", """def AI_cat(x):
    if 0<=x<=10:
        return 'Class 1'
    elif 11<=x<=20:
        return 'Class 2'
    elif 21<=x<=30:
        return 'Class 3'
    elif 31<=x<=40:
```

```

        return 'Class 4'
    elif 41<=x<=50:
        return 'Class 5'
    elif 51<=x<=60:
        return 'Class 6'
    elif 61<=x<=70:
        return 'Class 7'
    elif 71<=x<=80:
        return 'Class 8'
    elif 81<=x<=90:
        return 'Class 9'
    elif 91<=x<=100:
        return 'Class 10'""")

arcpy.CalculateField_management(final_table,"SI_c",
"SI_cat(!SI!)", "PYTHON_9.3", """def SI_cat(x):
    if 0<=x<=0.05:
        return 'A'
    elif 0.06<=x<=0.15:
        return 'B'
    elif 0.16<=x<=0.30:
        return 'C'
    elif 0.31<=x<=0.60:
        return 'D'
    elif 0.61<=x<=1:
        return 'E'""")

arcpy.CalculateField_management(final_table,"AsI_c",
"AsI_cat(!AsI!)", "PYTHON_9.3", """def AsI_cat(x):
    if 0<=x<=0.25:
        return 'A'
    elif 0.26<=x<=0.50:
        return 'B'
    elif 0.51<=x<=0.75:
        return 'C'
    elif 0.76<=x<=1:
        return 'D'""")

arcpy.CalculateField_management(final_table,"DoTRA", "DoTRA(!SI_c!,
!AsI_c!, !ALI_c!)", "PYTHON_9.3", """def DoTRA(SI,AsI,ALI):
    if SI is "A" and AsI is "A" and ALI is 1:
        return 0.08
    if SI is "A" and AsI is "A" and ALI is 2:
        return 0.12
    if SI is "A" and AsI is "A" and ALI is 3:
        return 0.15
    if SI is "A" and AsI is "A" and ALI is 4:
        return 0.18
    if SI is "A" and AsI is "A" and ALI is 5:
        return 0.22
    if SI is "A" and AsI is "A" and ALI is 6:
        return 0.25
    if SI is "A" and AsI is "A" and ALI is 7:
        return 0.28
    if SI is "A" and AsI is "A" and ALI is 8:
        return 0.32

```

```

if SI is "A" and AsI is "A" and ALI is 9:
    return 0.35
if SI is "A" and AsI is "A" and ALI is 10:
    return 0.38
if SI is "A" and AsI is "B" and ALI is 1:
    return 0.17
if SI is "A" and AsI is "B" and ALI is 2:
    return 0.20
if SI is "A" and AsI is "B" and ALI is 3:
    return 0.23
if SI is "A" and AsI is "B" and ALI is 4:
    return 0.27
if SI is "A" and AsI is "B" and ALI is 5:
    return 0.30
if SI is "A" and AsI is "B" and ALI is 6:
    return 0.33
if SI is "A" and AsI is "B" and ALI is 7:
    return 0.37
if SI is "A" and AsI is "B" and ALI is 8:
    return 0.40
if SI is "A" and AsI is "B" and ALI is 9:
    return 0.43
if SI is "A" and AsI is "B" and ALI is 10:
    return 0.47
if SI is "A" and AsI is "C" and ALI is 1:
    return 0.25
if SI is "A" and AsI is "C" and ALI is 2:
    return 0.28
if SI is "A" and AsI is "C" and ALI is 3:
    return 0.32
if SI is "A" and AsI is "C" and ALI is 4:
    return 0.35
if SI is "A" and AsI is "C" and ALI is 5:
    return 0.38
if SI is "A" and AsI is "C" and ALI is 6:
    return 0.42
if SI is "A" and AsI is "C" and ALI is 7:
    return 0.45
if SI is "A" and AsI is "C" and ALI is 8:
    return 0.48
if SI is "A" and AsI is "C" and ALI is 9:
    return 0.52
if SI is "A" and AsI is "C" and ALI is 10:
    return 0.55
if SI is "A" and AsI is "D" and ALI is 1:
    return 0.33
if SI is "A" and AsI is "D" and ALI is 2:
    return 0.37
if SI is "A" and AsI is "D" and ALI is 3:
    return 0.40
if SI is "A" and AsI is "D" and ALI is 4:
    return 0.43
if SI is "A" and AsI is "D" and ALI is 5:
    return 0.47
if SI is "A" and AsI is "D" and ALI is 6:
    return 0.50

```

```

if SI is "A" and AsI is "D" and ALI is 7:
    return 0.53
if SI is "A" and AsI is "D" and ALI is 8:
    return 0.57
if SI is "A" and AsI is "D" and ALI is 9:
    return 0.60
if SI is "A" and AsI is "D" and ALI is 10:
    return 0.63
if SI is "B" and AsI is "A" and ALI is 1:
    return 0.11
if SI is "B" and AsI is "A" and ALI is 2:
    return 0.14
if SI is "B" and AsI is "A" and ALI is 3:
    return 0.18
if SI is "B" and AsI is "A" and ALI is 4:
    return 0.21
if SI is "B" and AsI is "A" and ALI is 5:
    return 0.24
if SI is "B" and AsI is "A" and ALI is 6:
    return 0.28
if SI is "B" and AsI is "A" and ALI is 7:
    return 0.31
if SI is "B" and AsI is "A" and ALI is 8:
    return 0.34
if SI is "B" and AsI is "A" and ALI is 9:
    return 0.38
if SI is "B" and AsI is "A" and ALI is 10:
    return 0.41
if SI is "B" and AsI is "B" and ALI is 1:
    return 0.19
if SI is "B" and AsI is "B" and ALI is 2:
    return 0.23
if SI is "B" and AsI is "B" and ALI is 3:
    return 0.26
if SI is "B" and AsI is "B" and ALI is 4:
    return 0.29
if SI is "B" and AsI is "B" and ALI is 5:
    return 0.33
if SI is "B" and AsI is "B" and ALI is 6:
    return 0.36
if SI is "B" and AsI is "B" and ALI is 7:
    return 0.39
if SI is "B" and AsI is "B" and ALI is 8:
    return 0.43
if SI is "B" and AsI is "B" and ALI is 9:
    return 0.46
if SI is "B" and AsI is "B" and ALI is 10:
    return 0.49
if SI is "B" and AsI is "C" and ALI is 1:
    return 0.28
if SI is "B" and AsI is "C" and ALI is 2:
    return 0.31
if SI is "B" and AsI is "C" and ALI is 3:
    return 0.34
if SI is "B" and AsI is "C" and ALI is 4:
    return 0.38

```



```
if SI is "B" and AsI is "C" and ALI is 5:
    return 0.41
if SI is "B" and AsI is "C" and ALI is 6:
    return 0.44
if SI is "B" and AsI is "C" and ALI is 7:
    return 0.48
if SI is "B" and AsI is "C" and ALI is 8:
    return 0.51
if SI is "B" and AsI is "C" and ALI is 9:
    return 0.54
if SI is "B" and AsI is "C" and ALI is 10:
    return 0.58
if SI is "B" and AsI is "D" and ALI is 1:
    return 0.36
if SI is "B" and AsI is "D" and ALI is 2:
    return 0.39
if SI is "B" and AsI is "D" and ALI is 3:
    return 0.43
if SI is "B" and AsI is "D" and ALI is 4:
    return 0.46
if SI is "B" and AsI is "D" and ALI is 5:
    return 0.49
if SI is "B" and AsI is "D" and ALI is 6:
    return 0.53
if SI is "B" and AsI is "D" and ALI is 7:
    return 0.56
if SI is "B" and AsI is "D" and ALI is 8:
    return 0.59
if SI is "B" and AsI is "D" and ALI is 9:
    return 0.63
if SI is "B" and AsI is "D" and ALI is 10:
    return 0.66
if SI is "C" and AsI is "A" and ALI is 1:
    return 0.15
if SI is "C" and AsI is "A" and ALI is 2:
    return 0.18
if SI is "C" and AsI is "A" and ALI is 3:
    return 0.22
if SI is "C" and AsI is "A" and ALI is 4:
    return 0.25
if SI is "C" and AsI is "A" and ALI is 5:
    return 0.28
if SI is "C" and AsI is "A" and ALI is 6:
    return 0.32
if SI is "C" and AsI is "A" and ALI is 7:
    return 0.35
if SI is "C" and AsI is "A" and ALI is 8:
    return 0.38
if SI is "C" and AsI is "A" and ALI is 9:
    return 0.42
if SI is "C" and AsI is "A" and ALI is 10:
    return 0.45
if SI is "C" and AsI is "B" and ALI is 1:
    return 0.23
if SI is "C" and AsI is "B" and ALI is 2:
    return 0.27
```

```
if SI is "C" and AsI is "B" and ALI is 3:
    return 0.30
if SI is "C" and AsI is "B" and ALI is 4:
    return 0.33
if SI is "C" and AsI is "B" and ALI is 5:
    return 0.37
if SI is "C" and AsI is "B" and ALI is 6:
    return 0.40
if SI is "C" and AsI is "B" and ALI is 7:
    return 0.43
if SI is "C" and AsI is "B" and ALI is 8:
    return 0.47
if SI is "C" and AsI is "B" and ALI is 9:
    return 0.50
if SI is "C" and AsI is "B" and ALI is 10:
    return 0.53
if SI is "C" and AsI is "C" and ALI is 1:
    return 0.32
if SI is "C" and AsI is "C" and ALI is 2:
    return 0.35
if SI is "C" and AsI is "C" and ALI is 3:
    return 0.38
if SI is "C" and AsI is "C" and ALI is 4:
    return 0.42
if SI is "C" and AsI is "C" and ALI is 5:
    return 0.45
if SI is "C" and AsI is "C" and ALI is 6:
    return 0.48
if SI is "C" and AsI is "C" and ALI is 7:
    return 0.52
if SI is "C" and AsI is "C" and ALI is 8:
    return 0.55
if SI is "C" and AsI is "C" and ALI is 9:
    return 0.58
if SI is "C" and AsI is "C" and ALI is 10:
    return 0.62
if SI is "C" and AsI is "D" and ALI is 1:
    return 0.40
if SI is "C" and AsI is "D" and ALI is 2:
    return 0.43
if SI is "C" and AsI is "D" and ALI is 3:
    return 0.47
if SI is "C" and AsI is "D" and ALI is 4:
    return 0.50
if SI is "C" and AsI is "D" and ALI is 5:
    return 0.53
if SI is "C" and AsI is "D" and ALI is 6:
    return 0.57
if SI is "C" and AsI is "D" and ALI is 7:
    return 0.60
if SI is "C" and AsI is "D" and ALI is 8:
    return 0.63
if SI is "C" and AsI is "D" and ALI is 9:
    return 0.67
if SI is "C" and AsI is "D" and ALI is 10:
    return 0.70
```

```
if SI is "D" and AsI is "A" and ALI is 1:
    return 0.23
if SI is "D" and AsI is "A" and ALI is 2:
    return 0.26
if SI is "D" and AsI is "A" and ALI is 3:
    return 0.29
if SI is "D" and AsI is "A" and ALI is 4:
    return 0.33
if SI is "D" and AsI is "A" and ALI is 5:
    return 0.36
if SI is "D" and AsI is "A" and ALI is 6:
    return 0.39
if SI is "D" and AsI is "A" and ALI is 7:
    return 0.43
if SI is "D" and AsI is "A" and ALI is 8:
    return 0.46
if SI is "D" and AsI is "A" and ALI is 9:
    return 0.49
if SI is "D" and AsI is "A" and ALI is 10:
    return 0.53
if SI is "D" and AsI is "B" and ALI is 1:
    return 0.31
if SI is "D" and AsI is "B" and ALI is 2:
    return 0.34
if SI is "D" and AsI is "B" and ALI is 3:
    return 0.38
if SI is "D" and AsI is "B" and ALI is 4:
    return 0.41
if SI is "D" and AsI is "B" and ALI is 5:
    return 0.44
if SI is "D" and AsI is "B" and ALI is 6:
    return 0.48
if SI is "D" and AsI is "B" and ALI is 7:
    return 0.51
if SI is "D" and AsI is "B" and ALI is 8:
    return 0.54
if SI is "D" and AsI is "B" and ALI is 9:
    return 0.58
if SI is "D" and AsI is "B" and ALI is 10:
    return 0.61
if SI is "D" and AsI is "C" and ALI is 1:
    return 0.39
if SI is "D" and AsI is "C" and ALI is 2:
    return 0.43
if SI is "D" and AsI is "C" and ALI is 3:
    return 0.46
if SI is "D" and AsI is "C" and ALI is 4:
    return 0.49
if SI is "D" and AsI is "C" and ALI is 5:
    return 0.53
if SI is "D" and AsI is "C" and ALI is 6:
    return 0.56
if SI is "D" and AsI is "C" and ALI is 7:
    return 0.59
if SI is "D" and AsI is "C" and ALI is 8:
    return 0.63
```

```
if SI is "D" and AsI is "C" and ALI is 9:
    return 0.66
if SI is "D" and AsI is "C" and ALI is 10:
    return 0.69
if SI is "D" and AsI is "D" and ALI is 1:
    return 0.48
if SI is "D" and AsI is "D" and ALI is 2:
    return 0.51
if SI is "D" and AsI is "D" and ALI is 3:
    return 0.54
if SI is "D" and AsI is "D" and ALI is 4:
    return 0.58
if SI is "D" and AsI is "D" and ALI is 5:
    return 0.61
if SI is "D" and AsI is "D" and ALI is 6:
    return 0.64
if SI is "D" and AsI is "D" and ALI is 7:
    return 0.68
if SI is "D" and AsI is "D" and ALI is 8:
    return 0.71
if SI is "D" and AsI is "D" and ALI is 9:
    return 0.74
if SI is "D" and AsI is "D" and ALI is 10:
    return 0.78
if SI is "E" and AsI is "A" and ALI is 1:
    return 0.34
if SI is "E" and AsI is "A" and ALI is 2:
    return 0.38
if SI is "E" and AsI is "A" and ALI is 3:
    return 0.41
if SI is "E" and AsI is "A" and ALI is 4:
    return 0.44
if SI is "E" and AsI is "A" and ALI is 5:
    return 0.48
if SI is "E" and AsI is "A" and ALI is 6:
    return 0.51
if SI is "E" and AsI is "A" and ALI is 7:
    return 0.54
if SI is "E" and AsI is "A" and ALI is 8:
    return 0.58
if SI is "E" and AsI is "A" and ALI is 9:
    return 0.61
if SI is "E" and AsI is "A" and ALI is 10:
    return 0.64
if SI is "E" and AsI is "B" and ALI is 1:
    return 0.43
if SI is "E" and AsI is "B" and ALI is 2:
    return 0.46
if SI is "E" and AsI is "B" and ALI is 3:
    return 0.49
if SI is "E" and AsI is "B" and ALI is 4:
    return 0.53
if SI is "E" and AsI is "B" and ALI is 5:
    return 0.56
if SI is "E" and AsI is "B" and ALI is 6:
    return 0.59
```

```

if SI is "E" and AsI is "B" and ALI is 7:
    return 0.63
if SI is "E" and AsI is "B" and ALI is 8:
    return 0.66
if SI is "E" and AsI is "B" and ALI is 9:
    return 0.69
if SI is "E" and AsI is "B" and ALI is 10:
    return 0.73
if SI is "E" and AsI is "C" and ALI is 1:
    return 0.51
if SI is "E" and AsI is "C" and ALI is 2:
    return 0.54
if SI is "E" and AsI is "C" and ALI is 3:
    return 0.58
if SI is "E" and AsI is "C" and ALI is 4:
    return 0.61
if SI is "E" and AsI is "C" and ALI is 5:
    return 0.64
if SI is "E" and AsI is "C" and ALI is 6:
    return 0.68
if SI is "E" and AsI is "C" and ALI is 7:
    return 0.71
if SI is "E" and AsI is "C" and ALI is 8:
    return 0.74
if SI is "E" and AsI is "C" and ALI is 9:
    return 0.78
if SI is "E" and AsI is "C" and ALI is 10:
    return 0.81
if SI is "E" and AsI is "D" and ALI is 1:
    return 0.59
if SI is "E" and AsI is "D" and ALI is 2:
    return 0.63
if SI is "E" and AsI is "D" and ALI is 3:
    return 0.66
if SI is "E" and AsI is "D" and ALI is 4:
    return 0.69
if SI is "E" and AsI is "D" and ALI is 5:
    return 0.73
if SI is "E" and AsI is "D" and ALI is 6:
    return 0.76
if SI is "E" and AsI is "D" and ALI is 7:
    return 0.79
if SI is "E" and AsI is "D" and ALI is 8:
    return 0.83
if SI is "E" and AsI is "D" and ALI is 9:
    return 0.86
if SI is "E" and AsI is "D" and ALI is 10:
    return 0.89""")

```

```

arcpy.CalculateField_management(final_table,"DoTRA_c",
"DoTRA_cat(!DoTRA!)", "PYTHON_9.3", """def DoTRA_cat(x):
    if 0.08<=x<=0.15:
        return 'Very Low'
    elif 0.17<=x<=0.25:
        return 'Low'
    elif 0.26<=x<=0.40:

```

```
        return 'Intermediate'  
elif 0.41<=x<=0.58:  
    return 'High'  
elif 0.59<=x<=0.89:  
    return 'Very High'""")
```

```
### End of code
```

Κεφάλαιο 4

Εφαρμογή του εργαλείου “TRAC”

Η ανάπτυξη του εργαλείου “TRAC” πραγματοποιήθηκε με την ταυτόχρονη διεκπεραίωση δοκιμών σε μία σειρά από ψηφιοποιημένους χάρτες έτσι ώστε να διασφαλιστεί η σωστή εκτέλεση τόσο των διεργασιών γεωεπεξεργασίας όσο και του κώδικα που πραγματοποιεί τον υπολογισμό του βαθμού μεταβολής αναγλύφου.

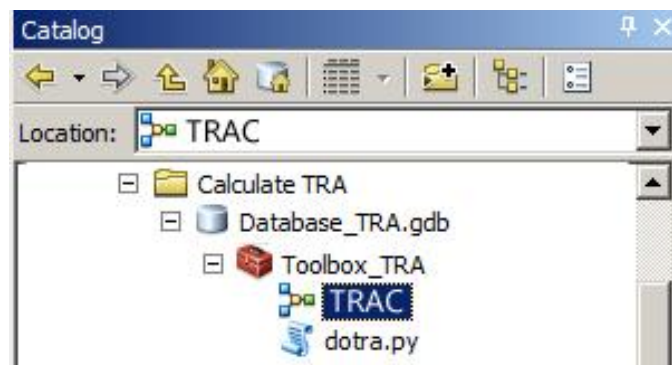
Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζεται μία εφαρμογή της διαδικασίας υπολογισμού της μεταβολής του αναγλύφου σε τρία στάδια υπαίθριας εκμετάλλευσης στην περιοχή των λατομείων «ΑΜΜΟΣ Α.Ε.» στη περιοχή της Βάρης Αττικής, σύμφωνα με τη μέθοδο “LETOPID” αξιοποιώντας το ανεπτυγμένο εργαλείο “TRAC”.

Στην παρούσα εφαρμογή, το εργαλείο εκτελείται μία φορά για το κάθε ένα από τα ακόλουθα στάδια:

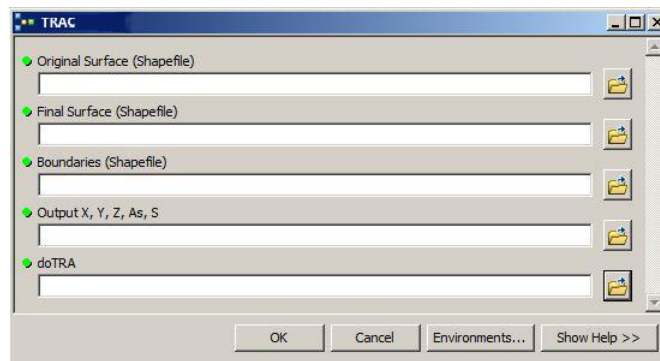
- A) Αρχική Εκμετάλλευση
- B) Τελική Εκμετάλλευση
- Γ) Επιχωμάτωση

Παρακάτω, περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν για το στάδιο της αρχικής εκμετάλλευσης:

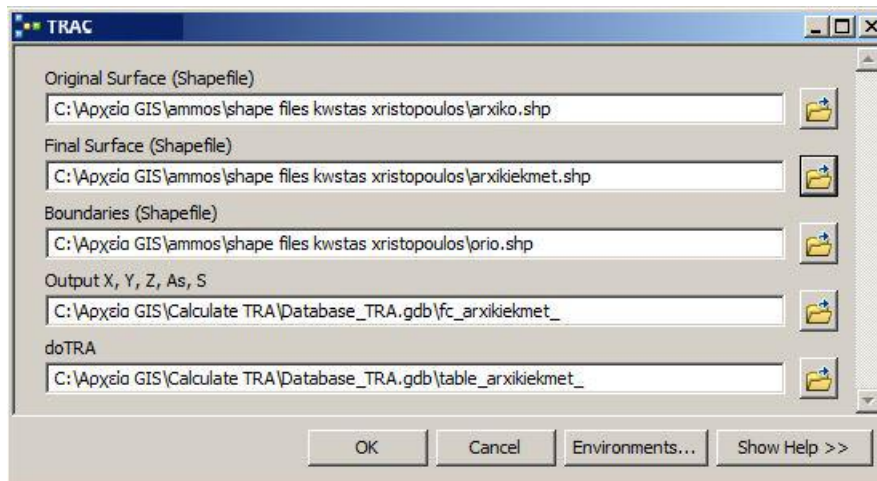
- Εκτέλεση του εργαλείου “TRAC” με διπλό κλικ από το Catalog (βοήθεια για την εγκατάσταση του εργαλείου στο ArcGIS έχει ενσωματωθεί στο παράρτημα I)



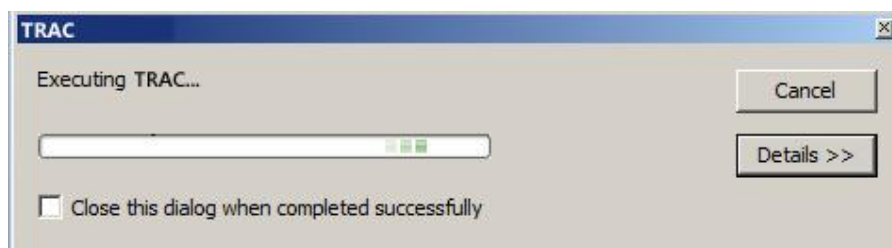
- Αναδύεται το παράθυρο διαλόγου του εργαλείου



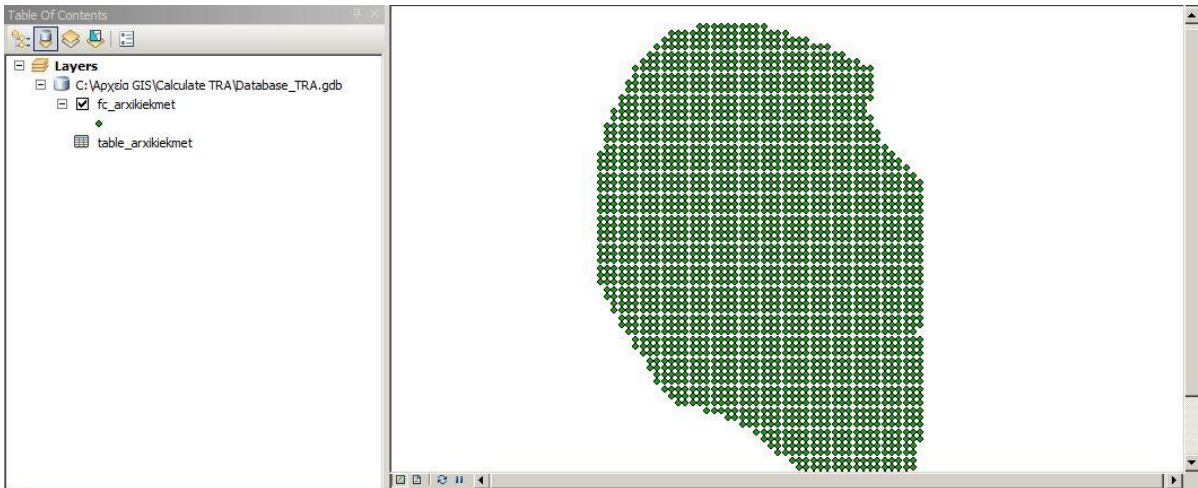
- Προσδιορίζονται τα αρχεία που πρόκειται να επεξεργαστούν και η τοποθεσία αποθήκευσης των εξαγόμενων αρχείων με την πληροφορία της μεταβολής του αναγλύφου



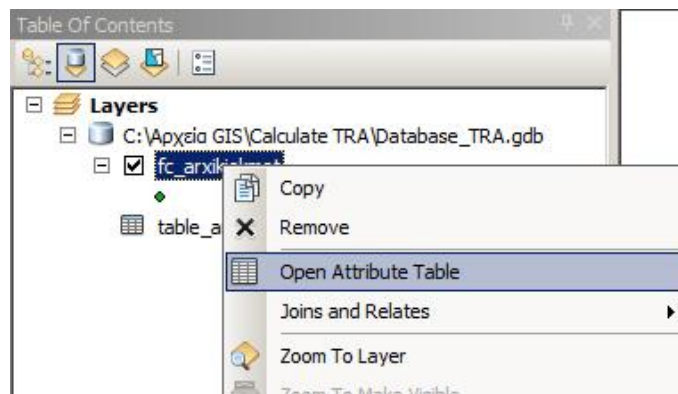
- Αριστερό κλικ στο OK και το εργαλείο ξεκινά να «τρέχει»



- Όταν η εκτέλεση του εργαλείου ολοκληρωθεί, τα αρχεία με την ζητούμενη πληροφορία έχουν αποθηκευτεί στην ορισμένη τοποθεσία και εισάγονται αυτόματα στην περιοχή του πίνακα περιεχομένων (Table Of Contents). Το feature class, που είναι ο κανάβος των σημείων με τις πληροφορίες υψομέτρου, κλίσης, και προσανατολισμού των δύο επιφανειών, προβάλλεται και στην περιοχή εμφάνισης των δεδομένων.

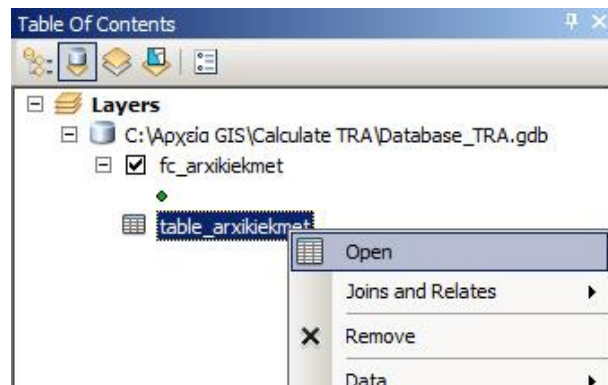


- Με δεξί κλικ και Open Attribute Table στο feature class που έχει δημιουργηθεί αποκτούμε πρόσβαση στις πληροφορίες υψομέτρου, κλίσης και προσανατολισμού για κάθε σημείο του κανάβου.



OBJECTID*	Shape*	POINT_X	POINT_Y	Z_orig	Z_fin	S_orig	S_fin	As_orig	As_fin
1	Point	-12158.603203	8747.604965	148	151	5.051153	20.72256	278	172
2	Point	-12148.603203	8747.604965	150	150	7.125016	21.19139	270	178
3	Point	-12138.603203	8747.604965	151	152	7.667577	28.57163	292	189
4	Point	-12128.603203	8747.604965	153	154	8.984877	32.56238	288	183
5	Point	-12118.603203	8747.604965	155	153	8.984877	28.31608	288	176

- Με δεξί κλικ και Open στον πίνακα που έχει δημιουργηθεί αποκτούμε πρόσβαση στον βαθμό μεταβολής αναγλύφου



LI	AI	SI	AsI	LI_c	AI_c	ALI	ALI_c	SI_c	AsI_c	DoTRA	DoTRA_c
0.33	42	0.13	0.34	Class 3	Class 5	0.264	3	B	B	0.26	Intermediate

Με όμοιο τρόπο, εκτελείται το εργαλείο για το στάδιο της τελικής εκμετάλλευσης και για το στάδιο της επιχωμάτωσης.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση του εργαλείου για τα τρία διαφορετικά στάδια παρουσιάζονται στον πίνακα 4-1:

Πίνακας 4-1 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα από το εργαλείο TRAC

Στάδιο	LI	AI	ALI	SI	AsI	DoTRA	DoTRA Class
Αρχική Εκμετάλλευση	0.33	0.42	0.3	0.13	0.34	0.26	Intermediate
Τελική Εκμετάλλευση	0.45	0.65	0.4	0.17	0.40	0.33	Intermediate
Επιχωμάτωση	0.26	0.16	0.2	0.14	0.39	0.23	Low

Ο συνολικός απαιτούμενος χρόνος για την συγκέντρωση του βαθμού μεταβολής αναγλύφου και για τα τρία στάδια της υπό μελέτης περιοχής ήταν 3.4 min, που ενώ μπορεί να διαφέρει από υπολογιστή σε υπολογιστή με βάση την επεξεργαστική του ισχύ, είναι φανερή η ραγδαία μείωση του απαιτούμενου χρόνου εκτέλεσης από την χειροκίνητη μέθοδο.

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα – Σχολιασμός

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η ανάπτυξη εργαλείου για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας εκτίμησης και υπολογισμού της μεταβολής του αναγλύφου σε υπαίθριες εκμεταλλεύσεις, με βάση τη μεθοδολογία “LETORID”. Η μεθοδολογία αυτή, μέσα από τον υπολογισμό του βαθμού μεταβολής του αναγλύφου, επιτρέπει την ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων στη μορφή και τις γραμμές του αρχικού αναγλύφου από μεταλλευτικά έργα.

Το εργαλείο αναπτύχθηκε σε περιβάλλον ArcGIS χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού PYTHON, η οποία είναι συμβατή με το εν λόγω ΓΣΠ.

Ο χρήστης καθορίζει μόνο τα δεδομένα εισόδου και εξόδου, χωρίς να επεμβαίνει στις σύνθετες διεργασίες γεωεπεξεργασίας και στατιστικής ανάλυσης δεδομένων στα ενδιάμεσα στάδια, εξασφαλίζοντας έτσι την τυποποιημένη επεξεργασία όλων των δεδομένων. Η τυποποίηση όλων των ενδιάμεσων σταδίων, δηλαδή των παραμέτρων, προσδίδει επαναληψιμότητα και αντικειμενικότητα στην εκτέλεση της διαδικασίας.

Τα ενδιάμεσα στάδια του μοντέλου, αριθμούνται σε 48 εκ των οποίων τα 24 αποτελούν εργαλεία γεωεπεξεργασίας, τα 23 προσωρινά αρχεία δεδομένων διαφόρων τύπων με τις απαιτούμενες πληροφορίες και το τελευταίο 1 αποτελείται από έναν κώδικα 750 γραμμών, δομημένο σε γλώσσα Python, που εκτελεί την στατιστική επεξεργασία των πληροφοριών και υπολογίζει και κατηγοριοποιεί τους δείκτες για την εκτίμηση βαθμού μεταβολής αναγλύφου.

Το εργαλείο που αναπτύχθηκε ονομάστηκε “TRAC” (Topographic Relief Alteration Calculator- Υπολογισμός Μεταβολής Αναγλύφου).

Τα κύρια οφέλη που εξάγονται από την ανάπτυξη του εργαλείου “TRAC” μέσα από την παρούσα διπλωματική εργασία είναι τα ακόλουθα:

- Η απλοποίηση της μεθοδολογίας μέσα από την αυτοματοποίησή της και την παρουσίασή της εντός ενός φιλικού περιβάλλοντος. Κατά αυτόν τον τρόπο, χωρίς ιδιαίτερη εμπειρία σε λογισμικά ΓΣΠ, ο εκάστοτε χρήστης (ιδιώτης, ερευνητής, δημόσιος φορέας ή ελεγκτικός μηχανισμός) μπορεί σε λίγο χρόνο

να εξάγει την πληροφορία της μεταβολής του τοπίου από την αρχική του μορφή.

- Η ραγδαία μείωση του απαιτούμενου χρόνου για τη διεκπεραίωση του συνόλου της διαδικασίας σε σχέση με τη χειροκίνητη μέθοδο (πάνω από 75% για εξοικειωμένους χρήστες με τη μεθοδολογία).
- Τα αποτελέσματα που εξάγονται από το εργαλείο ενσωματώνονται στο περιβάλλον του ΓΣΠ, που επιτρέπει την περαιτέρω επεξεργασία τους (σύγκριση αποτελεσμάτων, δημιουργία και απεικόνιση γραφημάτων, αποθήκευση σε κοινή γεωγραφική βάση δεδομένων).
- Δεν απαιτείται η εγκατάσταση – αγορά λογισμικού υπολογιστικών φύλλων για στατιστική ανάλυση.

Τέλος, η όλη μεθοδολογία ανάπτυξης του συγκεκριμένου εργαλείου όπως παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία, φανερώνει τις δυνατότητες που έχουν σύγχρονα λογισμικά να διευκολύνουν και να απλοποιούν τις υπηρεσίες που παρέχονται στο χρήστη.

Βιβλιογραφία

- Allen, E. (1990). *The Concise Oxford Dictionary*. Oxford: Clarendon Press.
- Amir, S., & Gidalizon, E. (1990). Expert based Method for the Evaluation of Visual Absorption Capacity of the Landscape. *Journal of Environmental Management*, vol.30, pp. 151-163.
- Ayeni, O. (1978). Automated Digital Terrain Models. *Proceedings of the DTM Symposium*, (pp. 275-306). St. Louis, Missouri.
- Balkau, F. (1995). Management of Environmental Issues at Mines - An International Perspective. *First World Mining Environment Congress*, 11-14 December, (pp. 1-3). New Delhi, India, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands.
- Burrough, P. A. (1986). *Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment*. Monographs on Soil and Resources Survey, 12.
- Burrough, P. A., & McDonell, R. A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems (Spatial Information Systems)*. New York: Oxford University Press.
- Canada Dept. of Regional Economic Expansion. (CDRE, 1969). *The Canada Land Inventory*. Ottawa: Report No 6, Queen's Printer for Canada.
- Canada Dept. of Regional Economic Expansion. (CDREE, 1969). *The Canada Land Inventory*. Report No 6. Ottawa, Canada: Queen's Printer.
- Danni, J. (1997). *Mining Environmental Handbook*. Imperial College Press, pp. 719-720.
- Delpoux, M. (1972). Ecosysteme et Paysage. *R.G. Pyrénées Sud – Quest*, Vol.43(2), pp. 157-174.
- Down, C. G., & Stocks, J. (1978). *Environmental Impact of Mining*. Applied Science Publishers.
- ESRI. (1990). *Understanding GIS: The ARC/INFO method*. Redlands, CA: ESRI.
- ESRI. (2004). *What is ArcGIS?* Retrieved from ESRI Support: http://downloads.esri.com/support/documentation/ao_/698What_is_ArcGis.pdf

- ESRI. (2010-2013). ArcGIS Extensions. Retrieved from ESRI Brochures: <http://www.esri.com/library/brochures/pdfs/arcgisextbro.pdf>
- European Communities. (1985). The Assessment of the Effects of Certain Public and Private Projects on the Environment. Official Journal of the European Communities, 85/337/EEC.
- Gagen, P. (1992). Quarrying and the Evolution of New Landscapes. In Institution of mining and metallurgy (pp. 628-642). London, UK: Elsevier Applied Science.
- Gillings, M., & Wise, A. (1990). GIS Guide to Good Practice. Oxford: Oxbow Books.
- Goodchild, M. F. (1993). Data models and data quality: problems and prospects. In M. F. Goodchild, B. O. Parks, & L. T. Steyaert, Environmental Modeling with GIS (pp. 94-104). New York: Oxford University Press.
- Goodchild, M. F. (1993). The state of GIS for environmental problem solving. In M. F. Goodchild, B. O. Parks, & L. T. Steyaert, Environmental Modeling with GIS (pp. 8-15). New York: Oxford University Press.
- Goodger, D., & Rossum, G. v. (2014). PEP - 257 Docstring Conventions. Retrieved from <http://legacy.python.org/dev/peps/pep-0257/>
- H., S. C. (2005). A Byte of Python. (ubuntu-gr.org team, Trans.) Retrieved from <http://www.swaroopch.com/notes/python/>
- Hull, R. B., & Revell, G. R. (1989). Issues in sampling landscapes for visual quality assessments. Landscape and Urban Planning, Vol.17, pp. 323-330.
- Humboldt, A. (1849). Ansichten der Natur (3rd ed., Vol. I). Cotta, Stuttgart, Tübingen.
- Kaliampakos, D., & Damigos, D. (1998a). Quarry Rehabilitation in Attica. Mining Environmental Management, Vol 6(No 1), pp. 13-14.
- Kaliampakos, D., & Damigos, D. (2000). Mining regulation in Greece: Perspectives on its environmental performance. Fifth Conference on Clean Technologies for the Mining Industry, Vol. I, pp. 271 – 277. Santiago, Chile, May 9-13.
- Kernighan, P. (1974). The Elements of Programming Style. New York: Mcgraw-Hill.
- Knuth, D. (2006, May/June). Love at First Byte. (K. Platoni, Interviewer)

- Koshkariov, A. V., Tikunov, V. S., & Trofimov, A. M. (1989). The current state and the main trends in the development of geographical information systems in the U.S.S.R. *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 3(3), pp. 257-272.
- Litton, R. (1984). *Visual Vulnerability of the Landscape: Control of Visual Quality*. Research paper WO-39: USDA Forest Service.
- MacDonnell, L. J. (1997). *Mining Environmental Handbook*. London, UK: Imperial College Press, pp. 723-725.
- MapInfo Corporation. (2009). *MapXtreme Guide*.
- Marathon Data Systems. (n.d.). Retrieved from ArcGIS Products: http://www.marathondata.gr/pdfs/arcgis_desktop_products.pdf
- Marcus, J. (1997). *Mining Environmental Handbook*. London, UK: Imperial College Press, pp. 1-35.
- Menegaki, M., & Kaliampakos, D. (2005). Surface mining design: A systematic approach to the evaluation of visual impacts. *Proceedings of the International Conference on Mining and the Environment, Metals and Energy Recovery, Securing the Future*. Swedish Mining Research Institution (MITU), (pp. 716-725). Skellefteå, Sweden.
- Menegaki, M., & Kaliampakos, D. (2006). Landscape analysis as a tool for surface mining design. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 33(2), pp. 185-196.
- Menegaki, M., & Kaliampakos, D. (2012). Evaluating mining landscape: A step forward. *Ecological Engineering* 43, pp. 26-33.
- Miller, D. R., Morrice, J., Horne, P. L., & Aspinall, R. (1994). *The Use of Geographic Information Systems for Analysis of Scenery in the Cairngorm Mountains, Scotland*. London, pp.119-131: *Mountain Environments & Geographic Information Systems* Taylor and Francis.
- Moore, W. C., & Chow, W. (1987). *A mapping and analysis of resources system*. Information Report NOR-X-285. Edmonton, Canada: Northern Forestry Centre, Canadian Forestry Service.

- Ozemoy, V. M., Smith, D. R., & Socherman, A. (1981). Evaluating Computerized Geographic Information Systems Using Decision Analysis. *Interfaces*(11), pp. 92-98.
- Palmer, J. (1978). An Investigation of the Conceptual Classification of Landscapes and its Application to Landscape Planning Issues. *Priorities for Environmental Design Research*. Washington, D.C.: EDRA Inc.
- Python Software Foundation. (2010). Python Language Reference, version 2.7. Available at <http://www.python.org>.
- Python Software Foundation. (2014). Python 2.7.8 documentation. Retrieved 2014, from <https://docs.python.org/2/>
- Richard, J. (1973). *Essai de Definition de la Geographie du Paysage*. Paris: C.N.R.S.
- Rossum, G. V. (1995). Python tutorial. Netherlands Organisation for Scientific Research (NWO), Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI), Amsterdam.
- Rossum, G. V., Warsaw, B., & Coghlan, N. (2014). PEP 8 - Style Guide for Python Code. Retrieved from <http://legacy.python.org/dev/peps/pep-0008/>
- Sengupta, M. (1993). *Environmental Impacts of Mining*. USA: Lewis Publishers.
- Smardon, C. (1981). Development of Visual Activity Classification and Advanced Testing on Visual Impact Assessment Manual Procedures. Syracuse, N.Y.: S.U.N.Y.
- Smardon, C. (1986). Review of Agency Methodology for Visual Project Analysis. In *Foundations for Visual Project Analysis*. N.Y.: John Willey & Sons.
- Tress, B., & Tress, G. (2001). Capitalising in Multiplicity: A Transdisciplinary Systems Approach to Landscape Research. *Landscape and Urban Planning*, Vol. 57, pp. 143-157.
- Turner, M., O'Neill, R., Gardner, R., & Milne, B. (1989). Effects of Changing Spatial Scale on the Analysis of Landscape Pattern. *Landscape Ecology*, vol. 3, nos 3/4, pp. 153-162.
- USDA Forest Service. (1973). *National Forest Landscape Management*, Vol. 1: Agriculture Handbook No 434. Washington: U.S. Government Printing Office.

- USDA Forest Service. (1973). The Visual Management System, National Forest Landscape Management, Vol. 2, Agriculture Handbook No 462. Washington: U.S. Government Printing Office.
- Williams, N. (1974). American Planning Law. Land Use and the Police Power. Chicago: Callaghan & Company.
- XVII Congrès de la Fédération Internationale des Géomètres. (1983). (pp. 19-28). Sofia: Fédération Internationale des Géomètres.
- Αστάρας, Θ. (2007). Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Ψηφιακή Χαρτογραφία & Γεωγραφικά.
- Γκαγιαλής, Σ. (2007). GIS: Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και οι Χρήσεις τους. Plant Management(200).
- Γκατζόφλας, Δ. (2007). Γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα στο διαδίκτυο: μελέτη περίπτωσης MapServer. Θεσσαλονίκη.
- Δημητράκου, Δ. (1964). Μέγα Λεξικόν της Ελληνικής Γλώσσας. Αθήνα: Ελληνική Παιδεία.
- Καλιαμπάκος, Δ. (1995). Σημειώσεις Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής. Αθήνα: Ε.Μ.Π.
- Καλιαμπάκος, Δ. (2001). σημ μαθήματος "Ειδικά θέματα Περιβαλλοντικής, Μεταλλευτικής και Λατομικής τεχνολογίας". Αθήνα: ΕΜΠ.
- Καλιαμπάκος, Δ. (2001). σημ. μαθήματος "Περιβάλλον ΙΙ: Προστασία περιβάλλοντος στη μεταλλευτική δραστηριότητα". Αθήνα: ΕΜΠ.
- Καλιαμπάκος, Δ., & Δαμίγος, Δ. (2012). Ανάκτηση από σημ. μαθήματος "Διαχείριση Περιβάλλοντος - Νομοθεσία": http://www.metal.ntua.gr/uploads/4011/1086/mpe_2012.pdf
- Κασσιός, Κ. (1989). Φυσικά Διαθέσιμα. Αθήνα: Ε.Μ.Π.
- Κιντής, Α. (1999). Στατιστικές και Οικονομετρικές Μέθοδοι. Εκδόσεις Gutenberg.
- Κουτσόπουλος, Κ. (1990). Γεωγραφία: Μεθοδολογία και Μέθοδοι Ανάλυσης Χώρου. Αθήνα: Παπαδάμης.

- Κουτσόπουλος, Κ. (2002). Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου. Αθήνα: Παπασωτηρίου.
- Κουτσόπουλος, Κ., & Ανδρουλακάκης, Ν. (2005). Εφαρμογές του Λογισμικού ArcGIS9x με Απλά Λόγια. Αθήνα: Παπασωτηρίου.
- Κωσταράς, Γ. (2005, Οκτώβριος). Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών - GIS. e-files(3), σσ. 13-16.
- Λεβεντάς, Δ. (2008). TasPython. Ανάκτηση από Οδηγός Python Μέσω Παραδειγμάτων: <http://python.org.gr>
- Μενεγάκη, Μ. (2003). Συμβολή στην Αντιμετώπιση των Επιπτώσεων στο Τοπίο από τη Μεταλλευτική Δραστηριότητα. Αθήνα.
- Τερκενλή, Σ. (1996). Το Πολιτιστικό Τοπίο: Γεωγραφικές Προσεγγίσεις. Αθήνα: Εκδόσεις Παπαζήση.
- Χαλκιάς, Χ., & Αναγνωστόπουλος, Δ. (2003). Γλωσσάριο ορών Γεωπληροφορικής και Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων. 4ο Συνέδριο Ελληνικής Εταιρίας Ορολογίας (ΕΛ.ΕΤ.Ο.). Ανάκτηση από http://www.eleto.gr/download/Conferences/4th%20Conference/4th_15-09-ChalkiasChristos-AnagnostopoulosDimosthenis.pdf

Παράρτημα Ι

Εγκατάσταση του εργαλείου “TRAC” στο ArcGIS

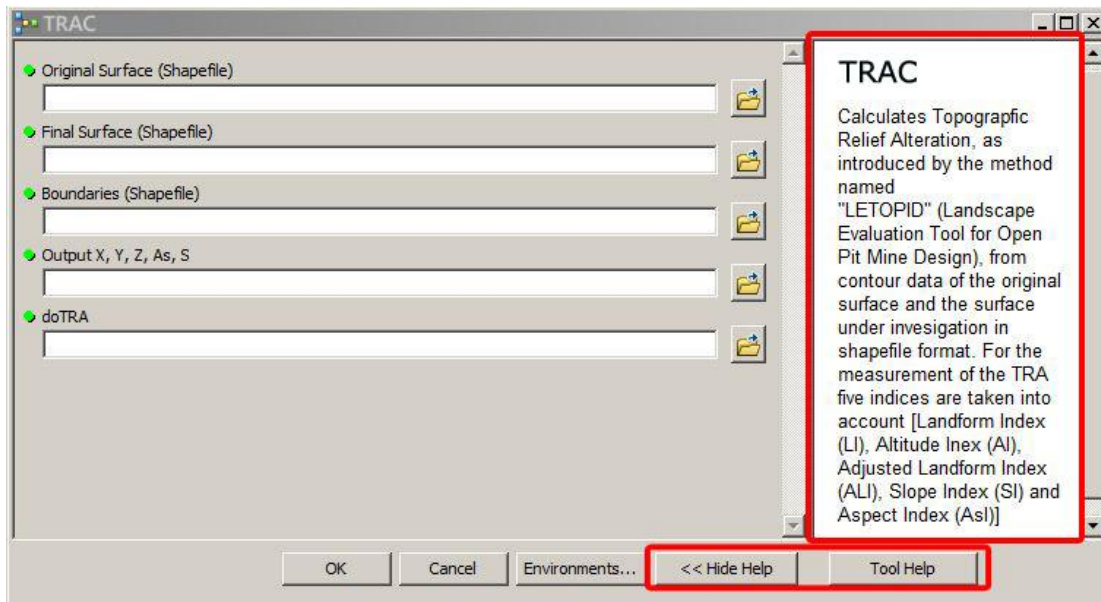
&

Συνοπτική περιγραφή χρήσης

Για την εγκατάσταση του εργαλείου "TRAC" προτείνονται τα παρακάτω βήματα:

- 1) Αποσυμπίεση του αρχείου "TRAC.7z"
- 2) Μετακίνηση του φακέλου "TRAC" σε τοποθεσία του σκληρού δίσκου που είναι «συνδεδεμένη» (connected folder) με το Catalog του ArcGIS ή σε τοποθεσία του σκληρού δίσκου που θα «συνδεθεί» μετέπειτα.
- 3) Εντός του ArcGIS, αν η θέση του σκληρού που περιέχει τον φάκελο "TRAC" δεν είναι συνδεδεμένη, συνδέεται με την εντολή "Connect To Folder", και ο φάκελος πλέον μπορεί να «διαβαστεί» από το Catalog.
- 4) Το εργαλείο είναι έτοιμο για εκτέλεση στο ArcGIS από το Catalog με διπλό κλικ στο C:/.../TRAC > Database_TRA.gbd > Toolbox_TRA > TRAC

Όσον αφορά την χρήση του εργαλείου "TRAC" έχουν συγγραφεί στα αγγλικά περιγραφές για την λειτουργία του εργαλείου και επεξηγηματικά σχόλια για κάθε αρχείο που πρέπει να εισαχθεί (πχ Εικόνα Π-1). Για την προβολή τους στο παράθυρο διαλόγου του εργαλείου επιλέγεται το "Show Help", ή εκτελείται η εντολή "Item Description" (δεξί κλικ στο εργαλείο > Item Description...) από το Catalog.



Εικόνα Π-0-1 Παράδειγμα εκτέλεσης "Show Help" στο παράθυρο διαλόγου του εργαλείου

Tool Name: TRAC

Description: Calculates Topographic Relief Alteration, as introduced by the method named "LETOPID" (Landscape Evaluation Tool for Open Pit Mine Design), from contour data of the original surface and the surface under investigation in shapefile format. For the measurement of the TRA five indices are taken into account [Landform Index (LI), Altitude Index (AI), Adjusted Landform Index (ALI), Slope Index (SI) and Aspect Index (AsI)]

Parameters:

1. Original Surface (Shapefile)
2. Final Surface (Shapefile)
3. Boundaries (Shapefile)
4. Output X,Y,Z,AS,S (Feature Class)
5. doTRA (table)

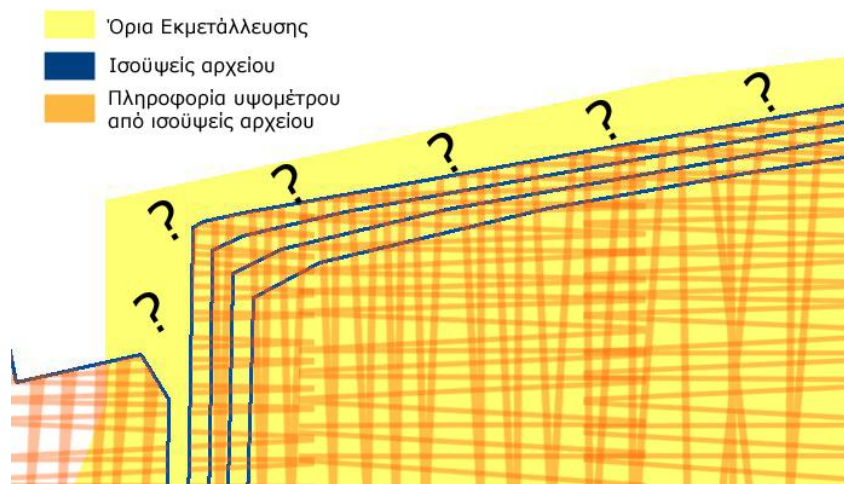
Explanation:

1. The shapefile with the contour data of the original surface
2. The shapefile with the contour data of the surface under investigation
3. The shapefile with the boundaries of mining activity (if not possible, it is recommended to set as boundaries the final surface's shapefile)
4. The output feature class containing a mesh of coordinated cells (XY) with the elevation (Z_orig, Z_fin), aspect (As_orig, As_fin) and slope (S_orig, S_fin) data of both original and final surface
5. The output table containing the degree of Topographic Relief Alteration (doTRA) as well as the following indices:
 - LI: Landform Index
 - AI: Altitude Index
 - ALI: Adjusted Landform Index
 - SI: Slope Index
 - AsI: Aspect Index
 - ALI_c: Adjusted Landform Index Class
 - SI_c: Slope Index Class
 - AsI_c: Aspect Index Class
 - doTRA_c: degree of Topographic Relief Alteration Class

Γνωστά σφάλματα:

Το παρακάτω σφάλμα κατά την εκτέλεση του κώδικα του εργαλείου, συμβαίνει όταν το αρχείο που έχει οριστεί σαν όριο της εκμετάλλευσης [boundaries (shapfile)] και αντιπροσωπεύει ένα πολύγωνο που οριοθετεί τα αρχεία του αρχικού και τελικού αναγλύφου, καταλαμβάνει μεγαλύτερη έκταση από τα αρχεία του αρχικού ή τελικού αναγλύφου (Εικόνα Π-2).

```
Traceback (most recent call last):  
  File "C:\...\TRAC\python TRA.py", line 90, in <module>  
    var_z_fin = np.var(data_z_fin)  
TypeError: unsupported operand type(s) for +: 'int' and  
'NoneType'  
Failed to execute (Python Script).  
Failed to execute (TRAC).
```



Εικόνα Π-2 Γραφική απεικόνιση αρχείων με τα οποία δημιουργείται σφάλμα κατά την εκτέλεση του εργαλείου

Παράρτημα II

Διάγραμμα Ροής Εργασιών Εργαλείου "TRAC"

