

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΤΟΥ

ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ

ΘΕΜΑ:

**«ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΕΣ
ΛΟΦΩΔΕΙΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ»**



ΤΟΜΕΑΣ

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & Γ. ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ

**«ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΣΤΟΥΣ ΦΥΣΙΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ
& ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»**

ΑΘΗΝΑ 2003

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
2. ΣΤΟΧΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	8
3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ	9
3.1 Εκτίμηση-διάγνωση επιφανειακών διαβρώσεων.	9
3.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	10
4. ΑΣΑΦΗΣ ΛΟΓΙΚΗ.....	25
4.1 Εισαγωγικά	25
4.2 Ανεπάρκειες της τυπικής (Boolean) λογικής.....	27
4.3 Χρήση ασαφούς λογικής (Fuzzy Logic).	28
4.4 Ασαφή Σύνολα και συναρτήσεις συμμετοχής.....	28
4.5 Συναρτήσεις μέλους σε ασαφές σύνολο.	29
4.5.1 Γραμμικές συναρτήσεις (SI Approach).....	29
4.5.2 Ημιτονοειδείς συναρτήσεις	30
4.5.3 Σύγκριση μεθόδων (Boolean-S.I. Approach).....	31
4.6 Παράδειγμα υπολογισμού εδαφικής πληροφορίας με χρήση μοντέλου προσομοίωσης	32
4.7 Χρήση Fuzzy συναρτήσεως, εφαρμογής.	33
4.8 Αναλυτική περιγραφή των συναρτήσεων.....	34
4.9 Συντελεστές βαρύτητας.	40
4.10 Παρατηρήσεις	43
4.10.1 Χρήση συνημιτόνου στην συνάρτηση $f_1(x)$	43
4.10.2 Μετατροπή από ακτίνια σε μοίρες.....	44
4.11 Ανάλυση της γώνιας αναφοράς φ	45
5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	47
5.1 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	47
5.1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	47
5.1.2 ΨΗΦΙΑΚΗ ΓΕΩΑΠΟΤΥΠΩΣΗ.....	50
5.2 ΣΤΑΔΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ	53
5.2.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	53
5.2.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΑΡΤΗ ΚΛΙΣΕΩΝ & ΕΚΘΕΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	59

5.2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΩΝ ...	62
5.3 Χρήση γλώσσας <i>Avenue</i>	67
5.3.1 Σκοπός	67
5.3.2 Τρόπος λειτουργίας	68
5.3.3 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ script “MaxOrient”	70
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	72
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	85
Πίνακας 1, Υπολογισμοί του Q από πειραματικά δεδομένα.....	41
Πίνακας 2, μοίρες/ακτίνια.....	44
Εικόνα 1, Γραμμική συνάρτηση	29
Εικόνα 2, Ημιτονοειδής συνάρτηση	30
Εικόνα 3, Επικάλυψη κλάσεων	32
Εικόνα 4, Γραφική παράσταση συνάρτησης $f_1(x)$	37
Εικόνα 5, Γραφική παράσταση απόλυτων τιμών συνάρτησης $f_1(\psi)$	38
Εικόνα 6, Γραφική παράσταση συνάρτησης $f_2(\psi)$	39
Εικόνα 7, Γωνία υπολογισμού ϕ	45

Δημιουργία Γεωγραφικού Πληροφοριακού Συστήματος για τον προσδιορισμό του κινδύνου μηχανικής διάβρωσης σε καλλιεργούμενες λοφώδεις εκτάσεις σε περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας

Γεώργιος Παπαθανασίου

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εργαστήριο Εδαφολογίας και Γεωργικής
Χημείας, Ιερά Οδός 75. 11855

Περίληψη

Αναπτύχθηκε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ), για την εκτίμηση του κινδύνου μηχανικής διάβρωσης, όπως καθορίζεται από δύο βασικούς παράγοντες (α) την κλίση του εδάφους και (β) τον προσανατολισμό των γραμμών άροσης σε σχέση με τις ισοϋψείς καμπύλες. Από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής, η κλίση και η πτυχή-έκθεση υπολογίστηκαν σε κάθε σημείο του πλέγματος με μέγεθος κυψέλης 2 x 2 μ. Το συνημίτονο της γωνίας μεταξύ των γραμμών άροσης και των ισοϋψών χρησιμοποιήθηκε ως μέτρο υπολογισμού του κινδύνου μηχανικής διάβρωσης, σε μια κλίμακα από το 0 έως 1, ανάλογα με τον προσανατολισμό της άροσης. Όταν οι γραμμές άροσης είναι παράλληλες στην πτυχή-έκθεση του εδάφους ($\cos 0^\circ = 1$) περιμένουμε το μέγιστο κίνδυνο μηχανικής διάβρωσης, ενώ, όταν αυτές οι γραμμές είναι κάθετες ($\cos 90^\circ = 0$) αναμένουμε τον ελάχιστο κίνδυνο. Γωνίες μεταξύ 0° και 90° έχουν αντίστοιχα συνημίτονα μεταξύ 1 και 0.

Οι τιμές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν τις σχεσιακές συνθήκες μελών στο ασαφές σύνολο: "κίνδυνος μηχανικής διάβρωσης σε συνάρτηση με τον προσανατολισμό της άροσης σε μία καλλιέργεια". Ακολουθώντας την ίδια λογική και με την εδαφική κλίση παράγεται και ένα άλλο ασαφές σύνολο: "κίνδυνος διάβρωσης σε συνάρτηση με την εδαφική κλίση σε μία πλαγιά". Από τη στάθμιση του συγκερασμού των δύο προηγούμενων ασαφών συνόλων κατασκευάστηκε ένα νέο ασαφές σύνολο: "κίνδυνος μηχανικής διάβρωσης».

Οι αντίστοιχοι συντελεστές στάθμισης για τα ασαφή σύνολα προσδιορισμού του κινδύνου διάβρωσης που εκφράζονται από τον προσανατολισμό της άροσης καθώς και τις κλίσεις των πρανών, εκτιμήθηκαν με βάση τον πειραματισμό και την υπάρχουσα βιβλιογραφία. Η αξιοποίηση καθώς και η επαλήθευση των αποτελεσμάτων του παραγόμενου μοντέλου έγινε με τη χρήση δεδομένων από την περιοχή Ερυθρές, η οποία βρίσκεται 50 χιλιόμετρα βορειοδυτικά της Αθήνας.

Λέξεις-κλειδιά: μηχανική διάβρωση, ασαφής θεωρία, GIS (ΓΣΠ)

Giorgos Papathanasiou

Agricultural University of Athens, Laboratory of Soils and Agricultural Chemistry,
75 Iera Odos. 11855

Abstract

A Geographical information System (GIS) was developed for the assessment of the risk of the tillage erosion as determined by two main factors (a) the slope gradient of the soil and (b) the orientation of tillage lines in relation to the contours. From the Digital Elevation Model of the area the slope and the aspect were calculated at each point of a grid with cell size 2 m x 2 m. The cosine of the angle between the tillage lines and the contour lines was used as a measure of the risk of the tillage erosion, in a scale of 0 to 1, depending on the orientation of the tillage. When the tillage lines are parallel to the aspect ($\cos 0^\circ = 1$) we expect the maximum risk of the tillage erosion, while, when these lines are vertical ($\cos 90^\circ = 0$) we expect minimum risk. Angles between 0° and 90° have cosines between 1 and 0.

These values can be used to determine memberships in a fuzzy set "*risk of erosion from tillage orientation*". Applying the same logic to slope another fuzzy set "*risk of erosion from slope*" was produced. From the weighting join of the two fuzzy sets a new fuzzy set "*risk of tillage erosion*" was constructed.

The respective weights for the tillage orientation and slope risk of erosion fuzzy sets were estimated from experimentation and literature. The exploitation and validation of the produced model was made using data from the Erithres area, which is located 50 km northwest of Athens.

Keywords: tillage erosion, fuzzy theory. GIS

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διάβρωση της γής είναι ένα φυσικό φαινόμενο η εξέλιξη του οποίου οδηγεί στην υποβάθμιση ή την ανεπανόρθωτη καταστροφή του εδάφους. Με τη μελέτη του φαινομένου της διάβρωσης ασχολούνται οι γεωεπιστήμονες και ειδικότερα ο κλάδος της Φυσικής Γεωγραφίας – Γεωμορφολογίας με σκοπό την ερμηνεία της εξέλιξης του αναγλύφου της γης. Όμως και για τους γεωτεχνικούς το φαινόμενο της διάβρωσης έχει ιδιαίτερη σημασία ειδικότερα όταν είναι αναγκαίος ο συγκερασμός της καλλιέργειας του εδάφους με την ορθολογικότερη διαχείριση και αξιολόγηση της γης.

Βασικοί παράγοντες που διαμορφώνουν το φαινόμενο της διάβρωσης σε μία περιοχή είναι :

α. Κλίμα

β. Φυσιογραφία (κλίση & έκθεση εδάφους)

γ. Γεωλογία

δ. Έδαφος

ε. Υδρολογία

ζ. Αποτελέσματα από Ανθρώπινες επεμβάσεις.

Εάν αυτοί οι παράγοντες επενεργούν στην επιφάνεια του εδάφους τότε δημιουργείται η «επιφανειακή» μορφή διάβρωσης, ενώ εάν δρουν στο εσωτερικό του εδάφους και προκαλούν μεταφορά μαζών εδάφους ή πετρωμάτων τότε έχουμε την μορφή διάβρωσης με «μετακινήσεις μαζών». Στο επίκεντρο της παρούσας εργασίας είναι η επιφανειακή διάβρωση.

Μέχρι πριν από μερικά χρόνια θεωρούνταν δύο είδη διάβρωσης ως κύριοι υπεύθυνοι του φαινομένου, η υδατική διάβρωση και η αιολική, γι αυτό και μελετήθηκαν εκτεταμένα. Τα τελευταία όμως χρόνια νέες μελέτες καταδεικνύουν ότι και ο ανθρώπινος παράγοντας σε συνδυασμό με την φυσιογραφία του εδάφους δρα καταλυτικά στην δημιουργία διαβρωτικών φαινομένων.

Αποδεικνύεται ότι η μηχανική καλλιέργεια του εδάφους μέσω της άροσης σε συνδυασμό με την κλίση των εδαφικών πρανών όπου καλλιεργούνται μπορεί να προκαλέσει πολλές φορές μείζονα διάβρωση στα εδάφη (tillage erosion).

2. ΣΤΟΧΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η Ελλάδα είναι μία χώρα με έντονο ανάγλυφο και ποικιλία σε κεκλιμένα εδάφη με αποτέλεσμα ένα μεγάλο ποσοστό των καλλιεργούμενων εδαφών να αποτελείται από λοφώδεις εκτάσεις .

Το ύψος των εγκατελελημένων εκτάσεων στην Ελλάδα έχει αυξηθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες με κύρια αιτία την εδαφική υποβάθμιση και την παρατεταμένη διάβρωση αυτών των εδαφών. Η διάβρωση παραδοσιακά προέρχεται κυρίως από την υδατική διάβρωση, όμως η μηχανική διάβρωση λόγω της εδαφοκατεργασίας, κυρίως με την άροση από γεωργικά μηχανήματα, έχει ενισχύσει την συμμετοχή της.

Στόχος της εργασίας είναι η εκμετάλλευση των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων και των δυνατοτήτων που προσφέρουν τα διάφορα σχετικά εξειδικευμένα λογισμικά πακέτα (*Arcview 3.1, Arcgis 8*) σε μία προσπάθεια ποιοτικής αξιολόγησης του διαβρωτικού κινδύνου που ωφείλεται σε δύο παράγοντες, στον παράγοντα *κλίση* του εδάφους και στον παράγοντα *προσανατολισμός* γραμμών άροσης σε σχέση με τις ισοϋψείς.

Παράγεται μία συνδυαστική εμπειρική συνάρτηση συσχέτισης των δύο αυτών παραγόντων που υπεισέρχονται στην διαμόρφωση της διάβρωσης.

Εισάγονται χαρακτηριστικά ασαφούς λογικής στην συνάρτηση υπολογισμού του κινδύνου διάβρωσης, υπολογίζοντας με μία χωρική συνέχεια και με λεπτομέρεια ανά 4 τετραγωνικά μέτρα την διακύμανση αυτού του κινδύνου.

Συνοψίζοντας, στην παρούσα εργασία παράγεται ένα μοντέλο αξιολόγησης του διαβρωτικού κινδύνου συνδυάζοντας την κλίση της πλαγιάς με την διεύθυνση των γραμμών άροσης σε σχέση με τις ισοϋψείς.

3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

3.1 Εκτίμηση-διάγνωση επιφανειακών διαβρώσεων.

Η υπηρεσία προστασίας εδαφών των Η.Π.Α μετά από αποτελέσματα δεκαετιών από πολυάριθμα πειραματικά αγροτεμάχια προσδιόρισε μία εμπειρική εξίσωση που χαρακτηρίζεται, εξίσωση Wischmier, με την οποία μπορούν να εκτιμηθούν οι απώλειες εδάφους, που πραγματοποιούνται με την επιφανειακή διάβρωση.

Συνοπτικά, η διεθνής αυτή εξίσωση απωλείων είναι της μορφής:

$$A=R.(K.L.S.C.P)^1$$

Όπου:

A: Απώλειες εδάφους

R: Δείκτης βροχής, (χαρακτηρίζει τη διαβρωτική ικανότητα της βροχής και προσδιορίζεται για μία περίοδο βροχών)

K: δείκτης εδάφους ή διαβρωσιμότητα εδάφους.
(προσδιορίζεται πειραματικά).

LS: Δείκτης πλαγιάς, εκφράζει την επίδραση των τοπογραφικών στοιχείων (μήκος, κλίση) στην διάβρωση.

S: κλίση εκφρασμένη επί τοις %

C: δείκτης καλλιέργειας, είναι ο λόγος απωλείων εδάφους αγροτεμαχίου που καλλιεργείται υπό καθορισμένες συνθήκες προς τις απώλειες εδάφους από αγροτεμάχιο που βρίσκεται σε αγρανάπαυση συνεχώς οργωμένο, C=1.

P: δείκτης έργων προστασίας, τα έργα προστασίας συγκρατούν το έδαφος σε κάποια αναλογία (ουσιαστικά υποδηλώνεται ο βαθμός επιρρόης στην διάβρωση από τον τρόπο καλλιέργειας).

¹ Σπύρος Βάλμης, Διαβρώσεις-Συντήρηση Εδαφών Γ.Π.Α, Αθήνα 1990.

Γενικότερα ο προσδιορισμός της διάβρωσης που υπόκειται ένα αγροτεμάχιο είναι συνάρτηση τριών ομάδων συνθηκών:

- κλίμα, σύστημα καλλιέργειας
- έδαφος, κλίση
- βαθμός εξέλιξης των συστημάτων καλλιέργειας.

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται, σύμφωνα με τους σκοπούς της, σε δύο βασικούς συντελεστές διαμόρφωσης του διαβρωτικού φαινομένου στα αγροτεμάχια, στην κλίση του εδάφους και στον προσανατολισμό των γραμμών άροσης στα αγροτεμάχια (μηχανική διάβρωση λόγω καλλιεργητικής μεθόδου).

3.2 Σχετικά άρθρα

Το πρόβλημα της μηχανικής διάβρωσης σε συνδυασμό με την διάβρωση λόγω εδαφικής κλίσης απασχόλησε τους επιστήμονες σε όλον τον κόσμο μόνο τα τελευταία χρόνια. Γι αυτόν τον λόγο υπάρχει ένα σχετικό έλλειμμα στην βιβλιογραφική αναφορά που να αναφέρεται μερικώς ή καθολικά στο περιεχόμενο της τωρινής μελέτης και με την μορφή αντιμετώπισης που παρουσιάζεται. Έτσι λόγω της πρωτοτυπίας της παρούσας εργασίας ως βιβλιογραφικές πηγές χρησιμοποιήθηκαν διάφορες, πρόσφατες στην πλειοψηφία τους, δημοσιεύσεις σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά.

Παρακάτω αναφέρονται με σχετικά συνοπτικό αλλά ταυτόχρονα περιεκτικό τρόπο, με χρονολογική σειρά διάφορες δημοσιεύσεις σχετικές με την μέτρηση-αξιολόγηση της διάβρωσης από την εδαφοκατεργασία και την εδαφική κλίση σε επικλινείς-λοφώδεις περιοχές.

Οι *C.Kosmas*, και οι συνεργάτες του μελέτησαν τις «επιπτώσεις της εδαφικής μετακίνησης λόγω της άρροσης στα εδαφικά χαρακτηριστικά και στην βιομάζα σίτου», (2001)

Οι καλλιεργητικές τεχνικές μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες εδάφους από κυρτές πλαγιές και τις εναποθέτουν σε κοίλες λοφώδεις καλλιεργούμενες περιοχές. Το πείραμα πεδίου διαχειρίστηκε την εκτίμηση της εδαφικής μετακίνησης και των επιπτώσεων στα εδαφικά χαρακτηριστικά και στην παραγόμενη βιομάζα των σιτηρών.

Η περιοχή εφαρμογής έχει έκταση 3,5 εκτάρια με εδαφικές κλίσεις 14-21% σε απόσταση 100 χιλιομέτρων βόρεια της Αθήνας. Ως ανιχνευτές μετακίνησης του εδάφους χρησιμοποιήθηκαν αλουμινένιοι κύλινδροι. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν 81 εδαφικοί πυρήνες αποτελούμενοι από άργιλο, οργανική ύλη, Φώσφορο, τεμαχίδια βράχου, και ^{137}Cs για το υπολογισμό του βαθμού ανακατανομής του εδάφους στον υπό μελέτη επικλινή λόφο.

Η μέση μετατόπιση, με βάθος άρροσης στα 25 εκατοστά και 21% κλίση εδάφους και με κατάντι φορά άρροσης, ήταν 42 εκατοστά, ενώ για προς τα πάνω φορά άρροσης ήταν 16 εκατοστά. Παρόμοια για κλίση 14% τα αντίστοιχα ποσοστά ήταν 31 και 14 εκατοστά. Ανάλογες μετρήσεις έγιναν και για διαφορετικά βάθη άρροσης.

Συμπερασματικά , η χωρική κατανομή του ανιχνευτή ^{137}Cs , δείχνει ότι η διάβρωση από την άρροση των εδαφών είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την διαβρωτική διαδικασία των υπό μελέτη εδαφών .

Οι *Jan Nyssen* και οι συνεργάτες του ασχολήθηκαν με την «αροτριάια διάβρωση σε πλαγιές με εδαφική διατήρηση της δόμησης σε υψίπεδα στην Αιθιοπία», (2000)

Η εδαφική ανακατανομή λόγω της άρροσης εμφανίζεται να είναι μία σημαντική πηγή διαβρωτικών φαινομένων. Για να καθορισθεί ποσοτικά η διάβρωση που ωφείλεται στην άρροση βάφτηκαν πέτρες «σημάδια» 3-5 εκατοστά και χρησιμοποιήθηκαν σαν δείκτες της εδαφικής μετακίνησης σε 16 τοποθεσίες έχοντας η κάθε μία διαφορετική κλίση. Το μέσο βάθος άρροσης ήταν 8,1 εκατοστά ενώ οι αποστάσεις μετακίνησης του εδάφους

για κλίσεις (εφαπτομένη) 0,01 μ/μ ήταν 4,7 εκατοστά ενώ για κλίσεις 0,48 μ/μ ήταν 34,4 εκατοστά. Υπήρξε ισχυρή συσχέτιση ($R^2=0,84$, $P<0,001$) μεταξύ κλίσης της πλαγιάς και εδαφικής προς τα κατόπι μετατόπισης. Ο συντελεστής ροής εδαφικής μάζας (Q_s) για κάθε μεταχείριση με άροση κυμάνθηκε από 4,8 κιλά/μ για κλίση 0,03μ/μ μέχρι 38,7 κιλά/μ για κλίση 0,48μ/μ. Αυτές οι τιμές αντιπροσωπεύουν την μάζα της εδαφικής εναπόθεσης από την άροση.

Κατά την διάρκεια της κάθε αροτριάας μεταχείρισης η ίδια εδαφική μάζα απομακρύνεται από τις ανώτερες θέσεις του πετρώδους εδάφους όπου ήταν. Για την πρώτη άροση πριν την έναρξη της σεζόν των βροχών ο συντελεστής μεταφοράς (K) υπολογίστηκε στο 68 κιλά/μ. Καθότι οι αγρότες οργώνουν 1-4 φορές τον χρόνο ο ετήσιος συντελεστής (K) μπορεί να υπολοσθεί στο εύρος από 68 έως 272 κιλά/μ. Αυτές οι τιμές είναι μικρότερες απ' αυτές που παρατηρήθηκαν για την μηχανική άροση, οι οποίες πάντως συνήθως υοθετούνται σε λιγότερο απότομες πλαγιές.

Γενικά κατα μέσο όρο η αροτριάα διάβρωση μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη για το μισό ίζημα που εναποτίθεται στις περιοχές αυτές.

Οι *David A. Lobb & Michael J. Lindstrom* μελέτησαν την «εναλλαγή-μετάθεση φοράς άροσης και διάβρωση λόγω της άροσης», (1999).

Η διάβρωση λόγω άροσης έχει αναγνωριστεί ως ένας σοβαρός παράγοντας εδαφικής υποβάθμισης στο τοπογραφικό σύμπλεγμα σε όλο τον κόσμο. Η απώλεια εδάφους στις ανώτερες θέσεις των τοπογραφικών κλίσεων η οποία είναι αποτέλεσμα της διάβρωσης λόγω της άροσης μειώνει την παραγωγή της καλλιέργειας και αυξάνει την παραλλακτικότητα στο χωράφι. Η διάβρωση λόγω της άροσης αυξάνει επίσης από την διάβρωση λόγω του ανέμου και του νερού. Διάφορες πρακτικές διαχείρισης προσδιορίζονται και αναλύονται οι οποίες μπορούν να μειώσουν την εδαφική διάβρωση εξαιτίας της άροσης.

Οι *W. Van Muysen* και οι συνεργάτες του ασχολήθηκαν με την «καταμέτρηση και μοντελοποίηση της επιρροής που ασκείται στις συνθήκες διαμόρφωσης της συνοχής του εδάφους και της κλίσης σε πλαγιά λόγω της εδαφικής εναλλαγής εξαιτίας της άροσης», (1999).

Μελέτες για την διάβρωση λόγω της άροσης έχουν κυρίως επικεντρωθεί στις συνέπειες της τοπογραφίας και των γεωργικών πρακτικών που έχουν πάνω στην εδαφική μετάθεση-εναλλαγή κατά την διάρκεια της άροσης. Ωστόσο η πιθανή συνέπεια στις συνθήκες εδαφικής συνοχής, κατά την μετατόπιση εδαφικού υλικού και κατ'επέκταση της εδαφικής διάβρωσης δεν έχει εξετασθεί. Αυτή η μελέτη αποβλέπει στο να ερευνήσει τις συνέπειες στις συνθήκες εδαφικής συνοχής σε ένα εδαφικό σύμπλεγμα μετατοπίσεων. Η σχετιζόμενη διάβρωση μετριέται μέσω μίας διαδικασίας άροσης σε βραχώδες και πηλώδες έδαφος. Τα πειράματα διάβρωσης λόγω της άροσης πραγματοποιήθηκαν σε έυφορο χώμα και φρεσκοργωμένο και σε χώμα με χορτάρι σε έδαφος που βρίσκεται σε αγρανάπαυση. (Αλτενέγιο, Νοτια Πορτογαλία).

Τα αποτελέσματα του πειράματος δείχνουν ότι τόσο η εδαφική μετακίνηση υλικού προς τα χαμηλά όσο και ο βαθμός αύξησης της εδαφικής μετακίνησης προς τα κάτω σε σχέση με την κλίση της πλαγιάς είναι υψηλότερες όταν η συνεκτικότητα του εδάφους είναι μειωμένη. Αυτό χαρακτηρίζει (1) το μεγαλύτερο βάθος άροσης σε προ κατεργασμένο έδαφος και (2) την μειωμένη εδαφική συνοχή σε προκατεργασμένο έδαφος, επιτρέποντας σε σβόλους χώματος να ρολάρουν ή και να ολισθαίνουν στα αυλάκια άροσης αφού πριν έχουν αναποδογυρίσει από το άροτρο.

Η ανάλυση με πρόσθετα διαθέσιμα στοιχεία πάνω στην εδαφική μετάθεση λόγω της άροσης έδειξαν ότι οι προς τα κάτω εδαφικές μετατοπίσεις σχετιζόντουσαν σημαντικά με την κλίση της πλαγιάς όταν η άροση πραγματοποιούνταν στην προς τα κατάντι κατεύθυνση. Αντίθετα όταν η άροση είχε φορά ανάντι στην κλίση της πλαγιάς (προς τα πάνω) τότε οι συνέπειες της κλίσης της πλαγιάς στις προς τα πάνω εδαφικές μετατοπίσεις δεν ήταν σημαντικές. Αυτό έχει σημαντικές επιπτώσεις στην εκτίμηση του συντελεστή μεταφοράς λόγω άροσης ο οποίος είναι ένας

μετρητής της έντασης του κινδύνου διάβρωσης από την άροση, από πειραματικά δεδομένα. Από τα πειράματα υπολογίσθηκαν τιμές για τους συντελεστές μεταφοράς 70 και 254 κιλά ανά μέτρο για κάθε κατεργασία άροσης σε έδαφος με χορτάρι βρισκόμενο σε αγρανάπαυση.

Οι *Timothy A. Quine* και οι συνεργάτες του μελέτησαν την «Λεπτή εδαφική ανακατανομή λόγω της άροσης σε βραχώδη εδάφη στο Γκουανταλεντίν Νοτιοανατολικά της Ισπανίας, έρευνα με χρήση Κεσίου-134», (1999)

Η διάβρωση από την άροση αναγνωρίζεται με αυξανόμενο ρυθμό ως μία σημαντική διαβρωτική εδαφική διεργασία που συμβαίνει σε γεωργική γη. Από απόψεως δυναμικής σημασίας, είναι καθαρή η ανάγκη να διευρυνθεί η πειραματική βάση δεδομένων για να δεχθεί το μέγεθος βαρύτητας της διάβρωσης λόγω άροσης και να συμπεριλάβει ένα εύρος γεωργικών εφαρμογών σχετικά με άροση και γεωργικά περιβάλλοντα.

Η μελέτη που συζητείται σε αυτό το έγγραφο έδειξε την κατεύθυνση της αναγκαιότητας τέτοιων δεδομένων με την εξέταση της διάβρωσης κάνοντας χρήση εξειδικευμένου εδαφικού αναμοχλέα για την άροση σε βραχώδη εδάφη με απότομες κλίσεις σε ημίξηρο περιβάλλον.

Τα αποτελέσματα της έρευνας της ανακατανομής του χονδρόκοκκου εδάφους (πετρώδες) λόγω της άροσης έχουν παρουσιαστεί και αλλού, έτσι το παρόν έγγραφο εστιάζεται στην εδαφική επαναδιάταξη λόγω της άροσης και της διάβρωσης στην λεπτή αυτή ζώνη γης. Η αροτριάια εδαφική επαναδιάταξη μετρήθηκε σε 10 περιοχές εκπροσωπόντας και την ανάντι άροση όπως επίσης και την κατάντι άροση. Η άροση έγινε για 5 διαφορετικές κλίσεις με τις αντίστοιχες εφαπτομένες των γωνιών κλίσης να κυμαίνονται από 0,02 έως 0,41 (περίπου 23 μοίρες). Ένας ευαίσθητος ανιχνευτής , για λεπτόστρωμα εδάφη, με χαρακτηριστικό στοιχείο του το ^{134}Cs εισήχθηκε στο αροτριάιο έδαφος πριν το όργωμα.

Ύστερα από ένα μονό πέρασμα πρόσθετα επιπλέον δείγματα από το οργωμένο έδαφος εξορύχθηκαν και κοσκινίσθηκαν ώστε να διαχωρισθεί το λεπτόκοκκο έδαφος από το θρυμματισμένο πέτρωμα. Η επαναδιάταξη μέσω του ανιχνευτή επικυρώθηκε με την ανάλυση σε περιεκτικότητα του

^{134}Cs των δειγμάτων που συλλέγησαν. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν στο να επιβεβαιώσουν τις αποστάσεις εδαφικής αναδιάταξης για κάθε συνδυασμό κλίσης και κατεύθυνσης άροσης. Οι αποστάσεις επαναδιάταξης του λεπτόκκου εδάφους δεν ήταν σημαντικά διαφορετικές απ' αυτές του χονδρόκοκκου (πετρώδους).

Σε όλες τις περιοχές εκτός αυτών ανάντι σε πλαγιές με εφαπτομένη κλίσης 0,41 οι αποστάσεις εδαφικής επαναχωροθέτησης έδειξαν να είναι γραμμικά σχετιζόμενες με την εφαπτομένη της κλίσης. Η εδαφική ροή (ρευστότητα) κατά την διάρκεια της άροσης υπολογίσθηκε χρησιμοποιώντας την απόσταση εδαφικής επαναδιάταξης καθώς και την μάζα άροσης ανά μονάδα επιφάνειας. Για κλίσεις με εφαπτομένη μικρότερη από 0,25 η σχέση μεταξύ εδαφικής ροής και εφαπτομένης της κλίσης είναι γραμμική και ο συντελεστής εδαφικής ροής που παρήχθει ήταν στα 520-660 κιλά ανά μέτρο και ανά πέρασμα.

Αυτός είναι κατα πολύ υψηλότερος από τους συντελεστές που βρέθηκαν σε άλλες μελέτες και αυτό το μεγάλο μέγεθος είναι χαρακτηριστικό στην ελάχιστη συνοχή λόγω της φύσεως του εδάφους με πολύ υψηλό ποσοστό τεμαχισμένων βράχων. Μία δεύτερη αντίθεση με προγενέστερες μελέτες βρέθηκε, σχετικά με την μη γραμμική σχέση της εδαφικής ροής και της εφαπτομένης της κλίσης για πλαγιές με πιο απότομες κλίσεις.

Με βάση αυτήν τη μελέτη προτάθηκε ότι μία πιο κατανοητή εξήγηση της εδαφικής διάβρωσης με την άροση μπορεί να επιτευχθεί λαμβάνοντας υπόψιν την διπλή διεργασία της εδαφικής αποκόλλησης (μάζα ανά μονάδα επιφάνειας) και της εδαφικής μετατόπισης (ισοδύναμη με την απόσταση εδαφικής επαναδιάταξης ανά πέρασμα) εκτιμώντας, συγκρίνοντας, και μοντελοποιώντας την εδαφική επαναδιάταξη.

Ένα βελτιωμένο μοντέλο προτείνεται το οποίο αναγνωρίζει την πολυπλοκότητα της εδαφικής ανακατανομής με την άροση προωθεί ένα πλαίσιο διαδικασιών βασισμένο στην έρευνα των τρόπων ελέγχου της εδαφικής ροής από την άροση και επιτρέπει τον προσδιορισμό των ενδεχόμενων ημιπεριοριστικών συνθηκών για την αντιμετώπιση της διάβρωσης.

Οι *F. Turkelboom* και οι συνεργάτες του ασχολήθηκαν με την «επανεκτίμηση του βαθμού διάβρωσης εξαιτίας της άροσης με χειροκίνητο τρόπο, σε απότομους λόφους στην Βόρεια Ταϋλάνδη», (1999).

Η αλλαγή των γεωργικών πρακτικών στην Βόρεια Ταϋλάνδη είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της έντασης άροσης. Αυτή η μελέτη επανεκτιμά το ποσοστό της διάβρωσης από την άροση με χειροκίνητα μέσα σε απότομες πλαγιές (17-82%) στην Βόρεια Ταϋλάνδη. Νωρίτερα έγινε συλλογή στοιχείων σχετικά με την εδαφική ανακατανομή-εναλλαγή κατά την διάρκεια πειράματος για την διάβρωση λόγω άροσης ενώ επιπλέον στοιχεία που συλλέχθηκαν κατά την διάρκεια της αξιολόγησης της διάβρωσης αναλύθηκαν μέσω μίας νέας μεθόδου υπολογισμού (τραπεζοϊδές σκαλοπάτι άροσης) που χρησιμοποιήθηκε.

Μία σύγκριση με με προγενέστερα συλλεγόμενα δεδομένα καταδεικνύει ότι το τραπεζοϊδές σκαλοπάτι άροσης ως μέθοδος καθώς και η μέθοδος της ικνηλάτησης είναι οι πιο αξιόπιστες μέθοδοι για την εκτίμηση του της προς τα κάτω εδαφικής ανακατανομής λόγω της χειροκίνητης άροσης.

Βασισμένοι σε νέους τρόπους κατανόησης της διαδικασίας εμπλοκής, η έκταση της εδαφικής «καλάρωσης» από την διάβρωση λόγω άροσης υπολογίστηκε ποσοτικά μέσω γραμμικών εξισώσεων για διαφορετικές κλίσεις πλαγιών παρά με χρήση μίας και μόνο εξίσωσης για όλη την έκταση των κλίσεων. Για κλίσεις μικρότερες από 3% η εδαφική ρευστότητα κυμαίνεται κοντά στο μηδέν καθώς οι γεωργοί δεν έχουν κάποια ιδιαίτερη προτίμηση όσον αφορά της κατεύθυνση άροσης.

Για κλίσεις από 3% έως 70% το έδαφος οργώνεται μόνο προς τα κατάντι των λόφων και η αντίστοιχη εδαφική ρευστότητα κυμαίνεται μεταξύ 16 και 67 κιλά ανά μέτρο και ανά πέρασμα άροσης. Σε πλαγιές με κλίσεις μεγαλύτερες από 70% η γωνία εναπόθεσης των εδαφικών σβόλων συχνά είναι υπερβολική ως αποτέλεσμα του γλιστρίματος προς τα κατάντι μίας πλήρως οργωμένης κορυφής ενός λόφου. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό της εκτίμησης της εδαφικής ρευστότητας σε έναν πλήρη καλλιεργητικό κύκλο για

περισσότερο επικρατέστερες καλλιέργειες στα υψίπεδα της Βόρειας Ταϋλάνδης.(π.χ ρύζι, καλαμπόκι, σόγια).

Οι συνέπειες της διάβρωσης στις εν λόγω τοποθεσίες είναι έντονες εάν τα αγροτέμαχια είναι κοντά με σεβαστό μήκος παράλληλα της διέυθυνσης της κλίσης καλλιεργούμενες στα ψηλά κομμάτια με ρύζι ή λάχανο , ή όταν ο βαθμός συμμετοχής των ζιζανίων-αγριοχορτων είναι υψηλός. Η εδαφική διάβρωση εμφανίζεται ως αποτέλεσμα σε οργωμένα εδάφη με χαμηλή εδαφική γονιμότητα και με χαμηλό βαθμό ικανότητας διήθησης.

Οι λύσεις για την μείωση της έντασης της εδαφικής διάβρωσης εξαρτώνται από τον βαθμό που η ένταση της άροσης μπορεί να μειωθεί. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την βελτιωμένη διαχείριση των ζιζανίων ή με την αλλαγή χρήσεων γης σε πολυετείς καλλιέργειες. Άλλες στρατηγικές επικεντρώνονται στην θρέψη με περικοπές των καλλιεργούμενων τομέων στους επικλινείς λόφους και συγκρατώντας έτσι το έδαφος στην περιοχή με χρήση και φυτικών,κηπευτικών προστατευτικών ζωνών.

Οι *A. Meyer & J.A. Martinez-Casasnovas* ασχολήθηκαν με την «πρόβλεψη υπαρκτού κινδύνου διάβρωσης σε ρεματιές μέσα σε αγροτεμάχια με αμπελώνες στην Νοτιοανατολική Ισπανία: Λογιστικό μοντέλο προσέγγισης», (1999).

Παρουσιάζεται μία μελέτη των καθοριστικών παραγόντων και μία μέθοδο πρόβλεψης του κινδύνου που υπάρχει από διάβρωση σε ρεματιές σε αμπελώνες. Η περιοχή Alt Penedès-Anoia (Καταλονία, Νοτιοανατολική Ισπανία) είναι κυρίως αφιερωμένη στην καλλιέργεια του αμπελιού και παραγωγής υψηλής ποιότητας κρασιού, αυτή η έκταση επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης. Απλοί παράγοντες συσχετίστηκαν για τον προσδιορισμό της υφιστάμενης διάβρωσης και προσδιορίστηκαν οι μέσοι όροι αυτών μέσω στατιστικών τεστ (*Student's t-test* και *chi-square*). Η ύπαρξη της διάβρωσης προβλέφθηκε από τους μέσους μίας πολλαπλών σταδίων διαδικασίας. Μία σταδιακή λογικά επιλογή μεταβλητών, (ανάγλυφο,έδαφος, χρήσεις και χαρακτηριστικά διαχείρισης της γης) χρησιμοποιήθηκε η οποία επιτρέπει τον

προσδιορισμό των συντελεστών που λαμβάνουν μέρος και σχετίζονται σημαντικά με την παρατηρούμενη διάβρωση στους αμπελώνες της εν λόγω περιοχής. Οι επιλεγμένοι συντελεστές (γωνία κλίσης, και η μορφή της πλαγιάς) λήφθηκαν υπόψη ως ανεξάρτητες μεταβλητές στο λογιστικό τμήμα υπολογισμού της παλινδρόμησης της δυαδικής συμπεριφοράς αυτών. Το μοντέλο υπολογίζει την πιθανότητα ότι οι ρεματιές υπάρχουν στους αμπελώνες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην συμπλήρωση ενός raster χάρτη με χρήση GIS (γεωγραφικού πληροφοριακού συστήματος). Η εκτίμηση του μοντέλου σε 52 αγροτεμάχια διαφέρει από τα δεδομένα εκμάθησης, απέδωσε ένα συνολικό ποσοστό του 84,6%. Το μοντέλο πρόβλεψης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε περιοχές με παρόμοιες επικρατούσες συνθήκες, ενώ προσεγγιστικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε διαφορετικού τύπου περιοχές.

Οι *Jean Poesen* και οι συνεργάτες του μελέτησαν την «δημιουργία λόγω αροτριάας διάβρωσης, κομματιών επιφάνειας εδάφους αποτελούμενα από πολυτεμαχισμένο βράχο και πέτρες», (1997).

Ο σκοπός αυτής της εργασίας ήταν να προσδιορίσει ποσοτικά και να εξηγηθεί, στην περιοχή Guadalentin (Νοτιοανατολική Ισπανία), αυτή η χωρική απόθεση πολυτεμαχισμένου βράχου σε κομμάτια επιφανείας. Για τον σκοπό αυτό ψηφιοποιήθηκε ένας χάρτης που περιείχε μία καλλιεργούμενη περιοχή 5 τετρ. χιλιομέτρων και για κάθε εικονοστοιχείο υπολογίστηκε η τοπογραφική καμπυλότητα του εδάφους. Στη συνέχεια, προσδιορίστηκε η πετρώδης εδαφική κάλυψη με φωτογραφικό τρόπο σε 35 θέσεις με ένα εύρος ποικιλίας σε εδαφικές καμπυλότητες. Βρέθηκε μία γραμμική σχέση μεταξύ συνολικής εδαφικής καμπυλότητας και της πετρώδους επιφανειακής απόθεσης, εκτός από τις τοξοειδείς κοίλες επιφάνειες. Υιοθετήθηκε η υπόθεση της προς τα κάτω κίνησης πετρώδους υλικού λόγω της άρσης. Οι μετακινήσεις του εδαφικού υλικού μετρήθηκαν με την χρήση αλουμινένιων ανιχνευτών οι οποίοι είχαν παρακωθεί στο έδαφος σε 5 τοποθεσίες με διαφορετικές κλίσεις. Από τις μετρήσεις που ακολούθησαν, βρέθηκε ότι η αροτριάα διάβρωση και η επακολουθούμενη απογύμνωση του εδάφους είναι σε τάξη μεγέθους τουλάχιστον μία φορά μεγαλύτερη απ' αυτή της υδατικής

διάβρωσης (για την συγκεκριμένη περιοχή ή για παρόμοια περιβάλλοντα). Έτσι γίνεται εμφανής η έκταση της έντασης και της συνεισφοράς της άροσης στις απότομες πλαγιές στην αύξηση της εδαφικής υποβάθμισης και στην αλλαγή της γεωμορφολογίας των λοφωδών πλαγιών.

Οι *F. Turkelboom* και οι συνεργάτες του ασχολήθηκαν με την «εκτίμηση της διάβρωσης εξαιτίας της άροσης, εκτιμώμενη σε απότομους λόφους στην Βόρεια Ταϋλάνδη», (1997).

Η απότομη αλλαγή και η μετάπτωση από μία καλλιέργεια σε πιο σταθερά καλλιεργητικά συστήματα στην Βόρεια Ταϋλάνδη οδήγησαν σε μία αύξηση της έντασης στην εδαφική άροση. Με σκοπό να προσδιοριστεί η ποσότητα της εδαφικής απώλειας από την διάβρωση λόγω της άροσης, δημιουργήθηκε ένα πείραμα για την άροση. Η εδαφική μηχανική ρευστότητα ωφειλόμενη στην χειροκίνητη άροση σε 5 διαφορετικές τιμές κλίσης (32-82%) μετρήθηκαν μέσω μίας σειράς παρατηρήσεων, μετρώντας τα χαρακτηριστικά των σκαλοπατιών άροσης και συλλέγοντας δείγματα εδαφικού υλικού στο αυλάκι. Η μέθοδος με το αυλάκι απέδωσε τιμές εδαφικής ρευστότητας οι οποίες ήταν σημαντικά χαμηλότερες απ' αυτές που επιτεύχθηκαν με τον ανιχνευτή ή με την μέθοδο σκαλοπάτι.

Το αποτέλεσμα της εδαφικής ρευστότητας από ένα χειροκίνητο πέρασμα άροσης κυμάνθηκε μεταξύ 39 και 87 κιλά ανά μέτρο στις υπό εξέταση κλίσεις. Σε κλίσεις άνω του 60% δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές στην εδαφική ρευστότητα. Πάντως σε κλίσεις πιο απότομες από 70% η εδαφική ρευστότητα αυξήθηκε σημαντικά επειδή η γωνία απόθεσης των εδαφικών σβόλων έγινε υπερβολική. Η εδαφική ρευστότητα χρησιμοποιείται για κατασκευαστεί ένα νομογράφημα για τον υπολογισμό των τιμών των εδαφικών απωλειών ως αποτέλεσμα της διάβρωσης από την χειροκίνητη άρωση συναρτήσει της κλίσης και του μήκους της. Μετρήσεις σε ένα τυπικό ανηφορικό χωράφι (κλίσεις: 30-50%), μήκος κλίσης 30-50 μέτρα) κυμαίνονται από 8 έως 18 τόνους ανά εκτάριο κάλυψη εδαφικής άροσης, έτσι η διάβρωση λόγω της άροσης συνεισφέρει σημαντικά στην συνολική εδαφική απώλεια. Επίσης

κυριαρχεί σε μικρές εκτάσεις και εκτάσεις με γυμνες απομονωμένες λωρίδες εδάφους παρόλο ότι η υδατική διάβρωση είναι ο σημαντικότερος παράγοντας εδαφικής απώλειας σε μεσαίου μεγέθους και σε μεγάλα χωράφια.

Αυξάνοντας την εδαφική πίεση θα έχει επίπτωση στην αύξηση των τιμών της διάβρωσης από την άροση και αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη στην εκτίμηση των τιμών της εδαφικής υποβάθμισης ή κατά την μελέτη της εξέλιξης των κλίσεων ενός λόφου.

Οι *M.Guiresse, & J.C. Revel* μελέτησαν την «διάβρωση λόγω καλλιέργειας σε ασβεστούχα αργιλώδη εδάφη σε λοφώδεις περιοχές στην νοτιοδυτική Γαλλία. 2. την επιρροή της άροσης (με αυλακώσεις) με φορά προς τα κάτω σε απότομες κλίσεις», (1995).

Η διάβρωση σε ασβεστούχα αργιλώδη εδάφη στην παραπάνω περιοχή δεν ωφείλεται αποκλειστικά στο νερό της βροχής που απορρέει. Το πείραμα εφαρμόστηκε για να καθορίσει ποσοτικά τον βαθμό επιρροής της άροσης στην μετατόπιση εδαφικού υλικού κατά την διεύθυνση της κλίσης. Στην περιοχή μελέτης σκάφτηκε ένα αυλάκι (διαστάσεων 0,4μ*0,4μ*20μ) παράλληλα στις ισοϋψείς και γεμίστηκε (πληρώθηκε) με φιλό αμμοχάλικο. Ο καταμερισμός του αμμοχάλικου στην επιφάνεια και στο εσωτερικό της εδαφικής μάζας εξετάσθηκε μετά από άροση προς τα κάτω και προς τα πάνω (στον λόφο). Με μαθηματική ανάλυση των δεδομένων που επακολούθησε έδειξε ότι η άροση προς τα κάτω (κατηφορική) μετακινεί πολλή μεγαλύτερη μάζα εδάφους απ'ότι η άροση προς τα πάνω (ανηφορική).

Αυτό είχε ως αποτέλεσμα μία εδαφική μετακίνηση από την κορυφή έναρξης της άροσης , (0,32-1,62 Κιλά ανα τετρ. μέτρο), και πολύ μεγαλύτερη συσσώρευση εδάφους στην βάση του κεκλιμένου λόφου απ'ότι μετρήθηκε αντίστοιχα λόγω της επιφανειακής απορροής (0,04-0,25 Κιλά ανα τετρ. μέτρο), σύμφωνα με τις μετρήσεις άλλων ανεξάρτητων ερευνητών για την ίδια πάντα περιοχή.

Οι *J.C. Revel & M. Guïresse* μελέτησαν την «διάβρωση λόγω καλλιέργειας σε ασβεστούχα αργιλώδη εδάφη σε πλαγιές στην νοτιοδυτική Γαλλία. 1. Επιρροή λόγω καλλιεργητικών τεχνικών», (1995).

Μεταξύ των κύριων κοιλάδων στην νοτιοδυτική Γαλλία, εξάγονται τα τριτογενή κοιτάσματα μελάσας τα οποία παρήγαγαν ένα βαθύ επιφανειακό κυματισμό ελάφρυνσης. Η κατανομή του εδάφους έτσι σε αυτό το ανώτερο εδαφικό στρώμα διαταράσσεται πολύ και η χωρική οργάνωση μπορεί να κατανοηθεί μόνο με την λεπτομερή εξέταση των εδαφικών προφίλ. Αξιόλογες μεταβολές στις οποίες η εδαφική στρώση υποβάλλεται μπορούν να εξηγηθούν από παράγοντες άλλους μη φυσικούς συντελεστές διάβρωσης. Προσεκτική εξέταση των καλλιεργούμενων ρεματιών και των πλαγιών αποκαλύπτουν την σημαντική επιρροή στην διάβρωση των καλλιεργητικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται στα κεκλιμένα αυτά εδάφη. Προτείνεται ενά απλό μοντέλο για να εξεταστεί η καλλιεργητική τεχνική άρωσης κατά τις ισοϋψείς όπου το έδαφος αναμοχλεύεται προς τα κάτω (προς την βάση της πλαγιάς). Η προσομοίωση σε μεγάλη χρονικής διάρκειας κλίμακα έδωσε τα ίδια αποτελέσματα με αυτά που παρατηρήθηκαν στην υπό μελέτη περιοχή.

Οι *Gouvers G.* και οι συνεργάτες του μελέτησαν «τον ρόλο της άρωσης στην ανακατανομή του εδάφους σε πλαγιές», (1994).

Περιγράφονται τα αποτελέσματα σε εδαφικά πειράματα που έγιναν σε εύφορα και σκαλισμένα χωράφια δείχνοντας την σημαντική εξάρτηση της προς τα κάτω εδαφικής κίνησης σε σχέση με την πλαγιά.

Η εδαφική ανακατανομή λόγω της άρωσης μπορεί να περιγραφεί από μία ευρείας μορφής εξίσωση. Πειραματικά καθορίστηκαν οι τιμές που ποικίλουν από 100 μέχρι 400 κιλά ανά μέτρο στο εκτάριο. Αυτό υποδηλώνει ότι η διάβρωση και τα ποσοστά των ιζηματογενών αποθέσεων που συσχετίζονται με την άρωση μπορεί να είναι πιο σημαντικός παράγοντας απ' αυτόν της υδατικής διάβρωσης και τα αντίστοιχα συσχετιζόμενα ποσοστά ιζηματογενών αποθέσεων στην πλειοψηφία των λοφωδών περιοχών της Δυτικής Ευρώπης. Μία σύγκριση πρόσφατων μεταβολών σε κεκλιμένους λόφους με τα αποτελέσματα μοντέλου προσομοίωσης επιβεβαιώνει και ενισχύει αυτό το συμπέρασμα.

Συνεπώς η άροση θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ως παράγοντας εδαφικής υποβάθμισης περισσότερο, παρά ως παράγοντας που ενισχύει την ευαισθησία του εδάφους στην διάβρωση.

Οι *M.J. Lindstrom* και οι συνεργάτες του μελέτησαν τον «ποσοτικό προσδιορισμό της διάβρωσης μίας αροτριάας καλλιέργειας εξαιτίας της άροσης», (1992).

Η διάβρωση λόγω της άροσης, η κίνηση του εδάφους κατάντι της κλίσης εξαιτίας μηχανικών εργαλείων έχει αναγνωριστεί ως πρόβλημα αλλά κυρίως σε ποσοτικό βαθμό. Αυτή η μελέτη εγκαινίασε τον ποσοτικό προσδιορισμό της εδαφικής μετακίνησης λόγω της άροσης σε κεκλιμένη πλαγιά λόφου με χρήση εξομοίωσης σε υπολογιστή μίας μακράς περιόδου άροσης.

Έξι σώσεις παλινδρόμησης, που περιγράφουν την εδαφική μετακίνηση ως αποτέλεσμα της κλίσης του εδαφικού πρηνούς, αναπτύχθηκαν για κεκλιμένο λόφο στο πανεπιστήμιο Southwest της Μινεσότα, όπου μεμονωμένα αγροτεμάχια μπορούσαν να εντοπιστούν στην εμπρόσθια πλαγιά, στην κορυφή και στην πίσω πλαγιά. Βασισμένοι σε αυτές τις εξισώσεις, οι υπολογισμοί της ετήσιας εδαφικής μετακίνησης παρήχθησαν για αροτριάα κατεργασία σε δύο λόφους. Το πρώτο τοπογραφικό τοπίο (λόφος) δημιουργήθηκε για να δώσει κοίλες, γραμμικές και κυρτές κλίσεις εδάφους. Το δεύτερο τοπογραφικό τοπίο (λόφος) ήταν ένα υπολογισμένο γραμμικό κομμάτι για την πειραματική τοποθεσία. Από ένα αρχικό υψόμετρο και κλίση, μονοδιάστατοι υπολογισμοί βασίστηκαν στην προς τα μπρος κίνηση των εδαφικών μπλοκς, $0,24\mu$ βάθος αρότρου* $0,46\mu$ κοινό πλάτος* $1,5\mu$ προσαυξημένο μήκος, πάνω στον λόφο εξομοιώνοντας 1^{ος} χρόνου κατεργασία με άροση. Το υψόμετρο και η κλίση της πλαγιάς για κάθε θέση εδαφικού μπλοκ επανυπολογίστηκαν και η προς τα μπρος κίνηση κατόπιν υπολογίσθηκε για την αντίθετη φορά-κατεύθυνση για να εξομοιώσει το όργωμα της επόμενης χρονιάς. Η διαδικασία συνεχίσθηκε εως ότου εξομοιώθηκαν 100 χρόνια κατεργασίας με άροση με αντιστροφή της κατεύθυνσης άροσης κατά την διάρκεια των χρόνων εναλλαγής. Τα αποτελέσματα απ'την ανάλυση έδειξαν, μία απώλεια συνοχής στο έδαφος να

εμφανίζεται σε θέσεις με κυρτότητα στην κλίση τους (καλλιεργητική διάβρωση), ενώ εδαφική συσσώρευση εμφανίζεται σε θέσεις με κοιλότητα στην κλίση τους, και μικρές αλλαγές εμφανίζονται σε θέσεις με γραμμικές κλίσεις ανεξάρτητα από την φορά της κλίσης. Υπολογίσθηκε η μέση ετήσια εδαφική μετατόπιση για τις επικλινείς κυρτές θέσεις και ήταν 30 τόνους ανά εκτάριο το χρόνο και μπορούσε ευκολά να υπολογισθεί για το παρόν και να παρατηρηθεί φωτεινότερα χρώματα στο έδαφος σε επικλινή εδάφη με κυρτότητα. Το μέγεθος της μετακίνησης του εδαφους που υπολογίσθηκε υποδεικνυεί με έντονο τρόπο ότι η εδαφική μετακίνηση σε αροτριάια καλλιέργεια αποτελεί σοβαρό πρόβλημα.

Οι *M.J. Lindstrom* και οι συνεργάτες του ασχολήθηκαν επίσης με την «εδαφική μετακίνηση λόγω της άροσης και πως επηρεάζεται από την κλίση», (1990).

Η αποκάλυψη του υλικού του υπεδάφους στις κορυφογραμμές και στις παρακείμενες πλαγιές δείχνει εδαφική μετατόπιση πέρα από αυτές τις θέσεις, (εδαφική διάβρωση). Μία μελέτη που διαχειρίστηκε το ερευνητικό κέντρο του Πανεπιστημίου Southwestern της Μινεσότα, είχε σκοπό να προσδιορίσει αν η εδαφική μετακίνηση λόγω της άροσης μπορεί να είναι ένας παράγοντας συνεισφοράς στην εμφανή εδαφική διάβρωση που παρουσιάζεται σε πολλές κορυφογραμμές. Αριθμημένα εξαγωνικά παξιμάδια, ανιχνευτές εδαφικής μετακίνησης, διαμέτρου 11 χιλιοστών θάφτηκαν σε βάθος 10 εκατοστών σε μορφή συμπλέγματος αποτελούμενο από 16 ατομικά τεμάχια αναφοράς σε πλάγια με κλίσεις που κυμάνθηκαν από 1% έως 8%. Αυτά τα 16 ατομικά τεμάχια οργώθηκαν με δίσκο τον Ιούνιο και ξανά τον Αύγουστο. Η φορά άροσης ήταν είτε κατά μήκος της πλαγιάς είτε προς τα πάνω ή προς τα κάτω σ' αυτήν. Οι ανιχνευτές εδαφικής μετακίνησης κατόπιν εντοπίστηκαν με την βοήθεια ενός ανιχνευτή μετάλλων, ξεθάφτηκαν και ταυτοποιήθηκαν (αναγνωρίστηκαν), η απόστασή που μετακινήθηκαν αυτά τα παξιμάδια μετρήθηκε, πιο αναλυτικά η κάθετη και η παράλληλη μετατόπιση τους σε σχέση με την διεύθυνση άροσης.

Η εδαφική μετακίνηση ήταν άμεσα συσχετιζόμενη με την κλίση. Η κάθετη μετακίνηση του εδάφους με κατεύθυνση προς τα κάτω σε πλαγιά με κλίση 8% ήταν περίπου η διπλάσια αυτής με κατεύθυνση προς τα πάνω. Η εδαφική μετατόπιση παράλληλα στην διεύθυνση άροσης ήταν μεγαλύτερη της αντίστοιχης καθετης εδαφικής μετατόπισης. Υπολογισμοί της γωνίας μετατόπισης σε σχέση με την διεύθυνση άροσης έδειξαν μετακίνηση με φορά προς τα κάτω στην πλαγιά.

Τα αποτελέσματα της μελέτης υποδεικνύουν ότι η εδαφική μετακίνηση λόγω της άροσης συνεισφέρει στην συνολική εδαφική μετατόπιση των κορυφογραμμών ενός λόφου καθώς και των παρακείμενων κεκλιμένων πλαγιών.

4. ΑΣΑΦΗΣ ΛΟΓΙΚΗ

4.1 Εισαγωγικά

Η εφαρμογή των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (ΓΠΣ) στην εκτίμηση-αξιολόγηση των φυσικών πόρων αποτελεί πιά καθημερινή σημερινή πρακτική. Στα εμπορικά όμως πακέτα ΓΠΣ που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των συστημάτων αξιολόγησης των φυσικών πόρων έχει ενσωματωθεί η συμβατική τεχνολογία ανάπτυξης των Βάσεων Δεδομένων (ΒΔ). Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν μεθόδους χειρισμού των εδαφοπονικών δεδομένων οι οποίες αγνοούν την ασάφεια που υπάρχει στην μέτρηση των εδαφικών παραμέτρων και την αξιολόγηση αυτών.

Πρέπει να επισημανθεί ότι, η φύση των των εδαφολογικών δεδομένων, ο μεγάλος αριθμός των παραμέτρων με τις οποίες περιγράφεται ένα έδαφος και οι πολύπλοκες μεταξύ τους σχέσεις οδηγού πολλές φορές σε αναζήτηση πληροφοριών που δεν μπορεί να διατυπωθούν με μεγάλη ακρίβεια. Η πολυπλοκότητα δηλαδή του εδαφικού συστήματος οδηγεί πολλές φορές στην διατύπωση αόριστων ή κατά προσέγγιση πληροφοριών.

Επίσης η αναφορά στην εκτίμηση των ιδιοτήτων και την ποιότητα ενός εδάφους γίνεται συνήθως με όρους όπως οι «καλώς εφοδιασμένο», «κατάλληλο», «μέσης μηχανικής σύστασης», «έδαφος μέτριας κλίσης», «υψηλή διάβρωση» κ.α. Οι όροι αυτοί περιέχουν την υποκειμενική άποψη του εδαφολόγου καθώς και την προκύπτουσα σχετικότητα της αξιολόγησης όποιου εδαφικού παράγοντα είναι υπό εξέταση. Η ασάφεια των παραπάνω γλωσσολογικών όρων και η προσεγγιστική λογική που χρησιμοποιούν οι εδαφολόγοι για να καταλήξουν σε κάποια συμπεράσματα δεν μπορεί να εκφραστεί με τον τελείως συμβατικό τρόπο διαχωρισμού ή απομόνωσης των εδαφικών παραγόντων μέσω ενός

συμβατικού ΓΠΣ. Επιπρόσθετα ένας συμβατικός τρόπος χειρισμού του ΓΠΣ απαιτεί μόνο ακριβείς τιμές για να μπορέσει να λειτουργήσει και να επεξεργασθεί αριθμητικά δεδομένα.

Ασάφεια είναι η έλλειψη ακρίβειας που χαρακτηρίζει πολλές κατηγορίες οι οποίες για διάφορους λόγους δεν έχουν αυστηρά καθορισμένα κριτήρια. Οι χωρίς μεγάλη ακρίβεια καθορισμένες είναι τα *ασαφή σύνολα*. Φυσικά ο όρος ασάφεια δεν ταυτίζεται με την αναρχεία. Οι μέθοδοι χειρισμού των ασαφών συνόλων είναι αυστηρά μαθηματικά θεμελιωμένες και χειρίζονται την ασάφεια με σαφώς καθορισμένο τρόπο.

Από αρκετούς ερευνητές έχει γίνει κατανοητό ότι για την εκτίμηση των διαφόρων εδαφικών παραμέτρων δεν είναι δυνατό να αγνοείται η φυσική συνέχεια του εδάφους, η ποικιλία του αναγλύφου και η αβεβαιότητα των μετρήσεων. Τα τελευταία χρόνια έχει επιχειρηθεί από πολλούς να εισαχθεί στα μοντέλα αξιολόγησης η ασάφεια που υπάρχει στον υπολογισμό των αντιπροσωπευτικών τιμών για διάφορους παράγοντες από τους οποίους αποτελείται το χαρτογραφικό κλάσμα (π.χ διάβρωση). Η θεωρία των ασαφών συνόλων που έχει διατυπώσει από τον Zadeh (1965, 1975) εφαρμόζεται με επιτυχία στην αξιολόγηση των εδαφών (Chang and Burrough, 1987; Burrough, 1989; Burrough et al, 1992).

Οι συμβατικές μέθοδοι χρησιμοποιούν την δυαδική λογική (Boolean logic) ΑΛΗΘΕΙΑ-ΨΕΜΑ για διαπιστώσουν αν κάποιο χαρακτηριστικό ανήκει σε μία κατηγορία ή έχει κάποια ιδιότητα. Η θεωρία των ασαφών συνόλων είναι μία γενίκευση της δυαδικής λογικής και λαμβάνει υπ' όψιν της της σταδιακή μετάβαση από μία κατηγορία σε κάποια άλλη υιοθετώντας την 'μερική συμμετοχή' σε μία κατηγορία.

Τα εμπορικά πακέτα ΓΠΣ που χρησιμοποιούνται σήμερα δεν έχουν δυνατότητες χειρισμού ασάφειας στα δεδομένα. Μεμονωμένες ερευνητικές προσπάθειες (Wang et al, 1990; Kollias and Voliotis, 1991; Fisher, 1994) δεν έχουν οδηγήσει σε γενικευμένα πακέτα.

4.2 Ανεπάρκειες της τυπικής (Boolean) λογικής

Η Αριστοτέλεια (τυπική) λογική δέχεται μόνο δύο τιμές: αληθής (true) και ψευδής (false) Η έννοια της “μερικής” αλήθειας δεν γίνεται αποδεκτή Υπάρχει αδυναμία ταξινόμησης στις παρακάτω περιπτώσεις :

- A. Όταν οι κλάσεις δεν είναι δυνατό να καθοριστούν επακριβώς
- B. Όταν υπάρχει σαφής καθορισμός των κλάσεων, όμως μεμονωμένα μέλη δεν είναι δυνατόν να καταταχθούν σε αυτές είτε λόγω ασάφειας των κανόνων, είτε γιατί οι μετρήσεις δεν έχουν αρκετή ακρίβεια

Προβλήματα της κλασσικής ταξινόμησης

- 1.** Ο αριθμός των κλάσεων ταξινόμησης δεν μπορεί να είναι απεριορίστος
- 2.** Οι πληροφορίες που χρησιμοποιούνται στην ταξινόμηση συνήθως δεν είναι απόλυτα ακριβείς
- 3.** Μεταξύ δύο κλάσεων πολλές φορές υπάρχει μία ομαλή μετάβαση και όχι απόλυτη μεταβολή των τιμών του χαρακτηριστικού που ταξινομείται

Επιπλέον, όταν μιλάμε για γεωγραφικά φαινόμενα, θα πρέπει να γίνει ταυτόχρονη ομαδοποίηση τόσο της γεωγραφικής όσο και της περιγραφικής πληροφορίας πράγμα που πολλαπλασιάζει τα παραπάνω προβλήματα.

4.3 Χρήση ασαφούς λογικής (Fuzzy Logic).

Για τον συστηματικό χειρισμό της ασάφειας στην παράσταση και τον χειρισμό των εδαφολογικών δεδομένων υπάρχουν δύο δυνατότητες,

α. η χρήση εξειδικευμένων μακροεντολών δομημένες στην γλώσσα της Βάσης Δεδομένων του Γ.Π.Σ *ARC/INFO-ARCVIEW-ARGIS*, οι οποίες είναι οι *SML* (Simple Macro Language) ή η *AML* (Advanced Macro Language), η *Avenue* και η *Visual Basic* αντίστοιχα, ώστε να είναι δυνατός ο χειρισμός και η επεξεργασία ερωτήσεων που αντανakλούν την ανθρώπινη συλλογιστική

β. Η χρήση κατάλληλων εξισώσεων-συναρτήσεων συμμετοχής κάποιων εδαφικών ή άλλων παραγόντων σε ένα φαινόμενο. Αυτές οι εξισώσεις μπορεί να είναι γραμμικές, 1^{ου} ή ανωτέρου βαθμού, ημιτονοειδούς μορφής ή και συνδυασμός. Έκτενέστερη αναφορά για τις συναρτήσεις και την χρήση τους σε ασαφή σύνολα γίνεται παρακάτω.

Στη παρούσα εργασία έγινε χρήση της δεύτερης δυνατότητας με σκοπό τον χειρισμό ενός ασαφούς συνόλου και την εξαγωγή ποιοτικών αποτελεσμάτων (*εκτίμηση κινδύνου διάβρωσης εδαφών*).

4.4 Ασαφή Σύνολα και συναρτήσεις συμμετοχής.

Η θεωρία των ασαφών συνόλων (fuzzy sets) διατυπώθηκε το 1965 από τον Zadeh (1965) και αργότερα χρησιμοποιήθηκε από τον ίδιο σαν βάση της θεωρίας της δυνατότητας (Zadeh, 1978). Τόσο τα ασαφή σύνολα όσο και οι κατανομές δυνατότητας χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία ανακριβών και ελλειπών δεδομένων.

«Ασαφή σύνολα ή ασαφείς κλάσεις καλούνται οι κλάσεις που δεν έχουν σαφώς καθορισμένα όρια».

Ένα ασαφές σύνολο αποτελείται από αντικείμενα και από τον αντίστοιχο βαθμό συμμετοχής τους στο ασαφές σύνολο. Ο βαθμός συμμετοχής ενός αντικειμένου-ιδιότητας στο ασαφές σύνολο δίνεται από μία υποκειμενικά οριζόμενη συνάρτηση συμμετοχής (*membership*

function), που παίρνει τιμές στο διάστημα $[0,1]$ με την τιμή 1 να δηλώνει πλήρη συνεισφορά-συμμετοχή και την τιμή 0 να δηλώνει μηδενική συμμετοχή. Ως ενδιάμεσες τιμές δηλώνεται η ενδιάμεση συμμετοχή-βεβαιότητα μίας ιδιότητας στο ασαφές σύνολο.

Η συμμετοχή μιας μονάδας σε ένα ασαφές σύνολο δεν καθορίζεται με ένα απόλυτο τρόπο (αληθώς ή ψευδώς) αλλά με ένα ζεύγος τιμών που δηλώνει την τιμή και το ποσοστό συμμετοχής της συγκεκριμένης μονάδας στο σύνολο $(z, MF_A^F(z))$.

4.5 Συναρτήσεις μέλους σε ασαφές σύνολο.

Οι συναρτήσεις αυτές περιγράφουν την μεταβολή του βαθμού συμμετοχής των μελών ενός ασαφούς συνόλου από το κέντρο ($MF_A^F(z) = 1$) προς την περιφέρεια (μέχρι $MF_A^F(z) = 0$)

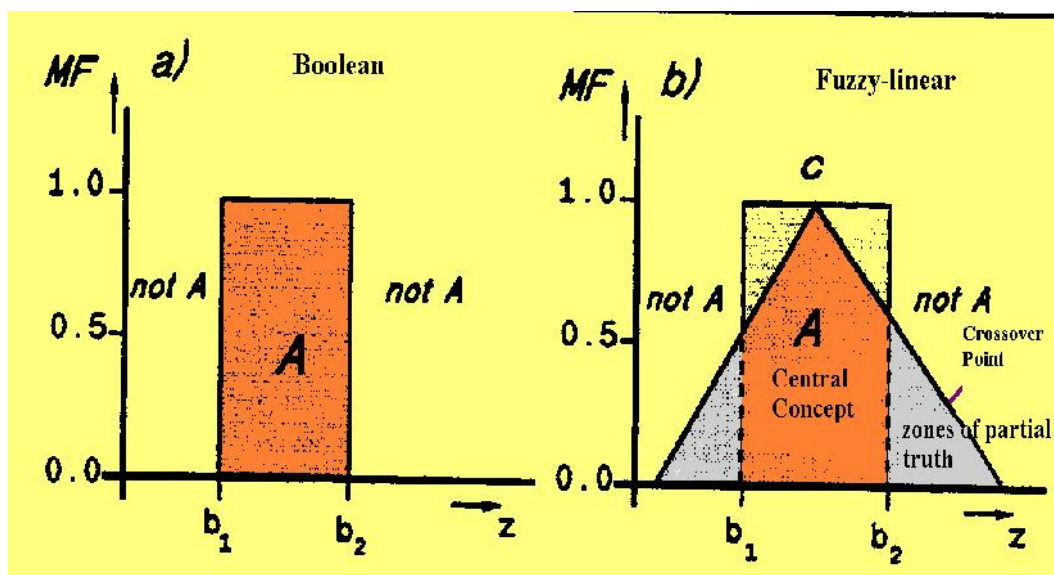
Υπάρχουν δύο τύποι συναρτήσεων

- A. Γραμμικές
- B. Ημιτονοειδείς

4.5.1 Γραμμικές συναρτήσεις (SI Approach)

Δίνονται από ένα ζεύγος κεκλιμένων γραμμών που παρουσιάζουν ένα μέγιστο στην τιμή $MF=1$ (για το κεντρικό τμήμα της ομάδας) και 0.5 στα όρια:

Εικόνα 1, Γραμμική συνάρτηση



4.5.2 Ημιτονοειδείς συναρτήσεις

Περιγράφονται από την συνάρτηση $MF_A^F(z) = 1/[1+a(z-c)^2]$

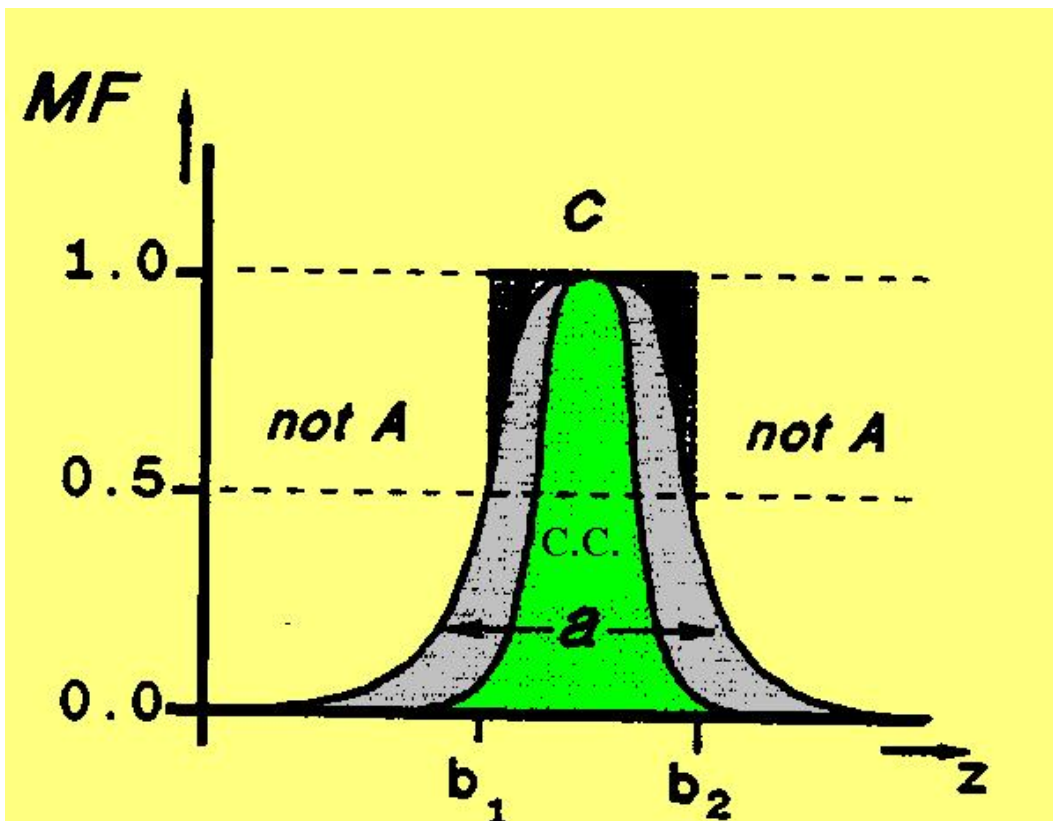
Όπου a = παράμετρος που καθορίζει την μορφή της συνάρτησης

z = μετρούμενη ιδιότητα

c = τιμή του z στο central concept

Χρησιμοποιείται όταν το Central Concept έχει μία τιμή για το z .

Εικόνα 2, Ημιτονοειδής συνάρτηση



4.5.3 Σύγκριση μεθόδων (*Boolean-S.I. Approach*)

- Στην πρώτη περίπτωση (*Boolean*) χρειάζεται μόνο ο καθορισμός των τιμών στα σύνορα της ομάδας.
- Στην περίπτωση της *S.I. Approach* πρέπει να γίνει επιλογή:

A. Της συνάρτησης η οποία θα χρησιμοποιηθεί

B. Της τιμής C του central concept (τιμή αναφοράς) που σε κάθε περίπτωση υπολογίζεται είτε από την ακρίβεια των μετρήσεων της συγκεκριμένης ιδιότητας z, είτε στην περίπτωση του Kriging με το standard error κλπ.

Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι στην δεύτερη μέθοδο χρειαζόμαστε περισσότερες πληροφορίες, όμως εξασφαλίζουμε καλύτερη ευαισθησία στην αποτύπωση της πραγματικότητας.

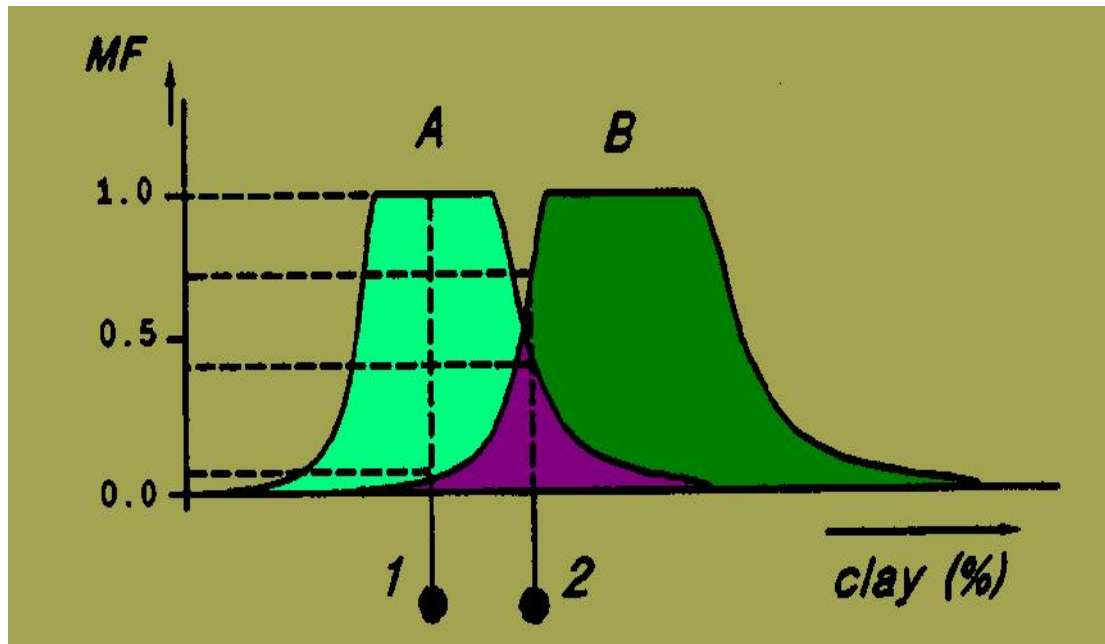
Επικάλυψη κλάσεων

Είναι πιθανό ένα μέλος να έχει δυνατότητα συμμετοχής σε περισσότερες της μιας κλάσεων όπου τα *MF* values δεν έχουν απαραίτητα άθροισμα 1.

Π.χ. στο συγκεκριμένο παράδειγμα όπως φαίνεται παρακάτω, το σημείο 1 έχει για την κλάση A, $MF=1$ και για την κλάση B, $MF=0.01$ (σύνολο 1.01).

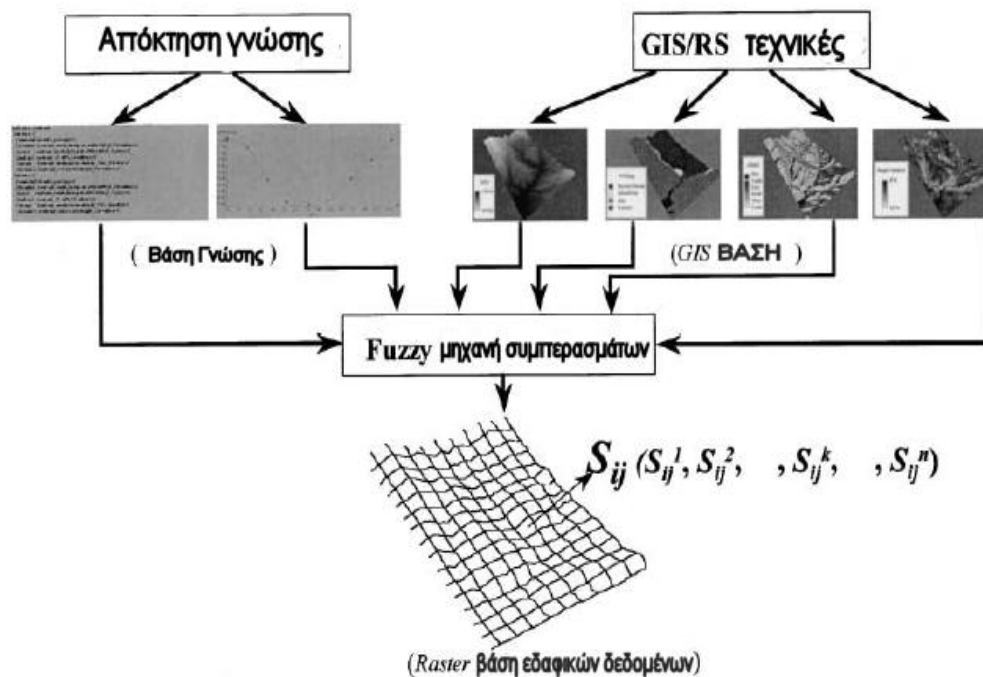
Μία διαφορετική εκδοχή της αλληλοεπικάλυψης των κλάσεων, η οποία αντιπροσωπεύει ορισμένες φορές καλύτερα την πραγματικότητα, είναι τα μέλη που λαμβάνουν μέρος σε ένα γεγονός να συμμετέχουν με ένα ποσοστό συνεισφοράς – βαρύτητας από 0% έως 100% με τον περιορισμό ότι το άθροισμα των ποσοστών των μελών αυτών να ισούται με 100% (δηλ. σύνολο 1, το μέγιστο). Αυτό το σκεπτικό υιοθετήθηκε και στην παρούσα εργασία.

Εικόνα 3, Επικάλυψη κλάσεων



4.6 Παράδειγμα υπολογισμού εδαφικής πληροφορίας με χρήση μοντέλου προσομοίωσης²

ZHU et al: ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GIS, ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΓΝΩΣΗ ΚΑΙ ΑΣΑΦΗ ΛΟΓΙΚΗ



² A. -X. Zhu / Geoderma 77 (1997)

S_{ij}^k

Παράγοντες (k) που επιδρούν σε κάθε εδαφική μονάδα στον υπό διαμόρφωση πλεγματοειδή χάρτη με συντεταγμένες για κάθε pixel στον χάρτη (i,j).

Συμπερασματολογική διαδικασία. Η βάση γνώσης περιέχει γνώση σχετικά με τις σχέσεις εδάφους - περιβάλλοντος. Η βάση δεδομένων ενός Γεωγραφικού Πληροφοριακού Συστήματος (Γ.Π.Σ) περιέχει χωρικά δεδομένα σχετικά με την διαμόρφωση του εδάφους ανάλογα των περιβαλλοντικών συνθηκών. Η Fuzzy μηχανή συμπερασμάτων συνδυάζει τις σχέσεις στην βάση δεδομένων με τα χωρικά δεδομένα της βάσης των Γ.Π.Σ με στόχο την παραγωγή μίας raster μορφής βάσης δεδομένων για την υπό μελέτη περιοχή.

4.7 Χρήση Fuzzy συναρτήσεως, εφαρμογής.

Στην συγκεκριμένη διατριβή έγινε χρήση μίας σύνθετης συνάρτησης ή οποία συνδυάζει εμπειρικά δύο παράγοντες επίδρασης στην διαμόρφωση του κινδύνου διάβρωσης στην υπό εξέταση περιοχή. Αυτοί οι παράγοντες είναι:

A. Ο **προσανατολισμός** των γραμμών άροσης των πειραματικών τεμαχίων σε σχέση με το αντίστοιχο αζιμούθιο του αναγλύφου του εδάφους (προσανατολισμός ισοϋψών εδαφικής ενότητας).

B. Η **κλίση** του εδάφους σε κάθε σημείο της εξεταζόμενης περιοχής (πειραματικά τεμάχια).

Η παραγόμενη συνάρτηση είναι της μορφής:

$$Z = \alpha * f_1(x) + \beta * f_2(\psi), \quad (1) \text{ όπου:}$$

Z: η εκτιμώμενη τιμή του κινδύνου διάβρωσης, τιμές [0 έως 1]

α : συντελεστής βαρύτητας (συνεισφοράς) του παράγοντα **A**

ο οποίος ισούται με **0,42**³.

³ Βλέπε ενότητα 4.9

β : συντελεστής βαρύτητας (συνεισφοράς) του παράγοντα **B**
ο οποίος ισούται με **0,58²**.

$f_1(x)$: η συνάρτηση που αντιπροσωπεύει και αποδίδει τον βαθμό επίδρασης του παράγοντα **A** στην διαμόρφωση-εκτίμησης του κινδύνου διάβρωσης. Η μεταβλητή **x** δηλώνει τις μοίρες (°)**προσανατολισμού**. Σημειώνεται ότι η συνάρτηση έχει συνημιτονοειδούς μορφής συσχέτιση με τον κίνδυνο επερχόμενης διάβρωσης, με τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 1.

$f_2(\psi)$: η συνάρτηση που αντιπροσωπεύει και αποδίδει τον βαθμό επίδρασης του παράγοντα **B** στην διαμόρφωση-εκτίμησης του κινδύνου διάβρωσης. Η μεταβλητή **ψ** δηλώνει το επίπεδο (%) **κλίσης**. Σημειώνεται ότι η συνάρτηση έχει γραμμικής μορφής συσχέτιση με τον αντίστοιχο διαβρωτικό κίνδυνο, με αποδεκτές τιμές αυτές που κυμαίνονται από 0 έως 1.

4.8 Αναλυτική περιγραφή των συναρτήσεων.

Παρακάτω περιγράφονται οι δύο υποσυναρτήσεις από τις οποίες αποτελείται η εξίσωση υπολογισμού του κινδύνου διάβρωσης.

A. Συνάρτηση **$f_1(x) = [\text{erosgrd}] = \{([\text{diffgrd}] * k) \cdot \text{COS}\} \cdot \text{ABS}$** , όπου **[erosgrd]** είναι το grid θέμα υπολογισμού του κινδύνου διάβρωσης λόγω του παράγοντα *προσανατολισμού-διεύθυνσης άροσης* και αναλύεται:

[diffgrd]: είναι το πλεγματικό (grid) θέμα που παρήχθει από τον υπολογισμό της **διαφοράς** της γωνίας προσανατολισμού (*προσανατολισμός χωραφιών – Aspect εδάφους*)

COS: το συνημίτονο της γωνίας του [diffgrd] θέματος, (**εικόνα 4**)

ABS: η απόλυτη τιμή του υπολογισμένου [diffgrd].COS διότι μας ενδιαφέρουν οι θετικές τιμές [0 έως 1], (**εικόνα 5**)

$k = \pi / 180$, (βλέπε παρακάτω)

B. Συνάρτηση **$f_2(\psi) = [\text{slogrd}] = [\text{slope_at_crops}] * k * \psi * 100$** , όπου

[slogrd] είναι το grid θέμα υπολογισμού του κινδύνου διάβρωσης λόγω του παράγοντα *εδαφική κλίση* εντός των αγροτεμαχίων και αναλύεται σε:

[slope_at_crops]: το πλεγματοκό θέμα (grid) της κλίσης του εδάφους, εντός των ορίων των αγροτεμαχίων, που παρήχθει με βάση το *TIN* θέμα **(εικόνα 6)**. (Λεπτομέρειες στο κεφάλαιο 5).

k= π/180 σταθερά μετατροπής από ακτίνια (radians) σε μοίρες (degrees), *λεπτομέρειες στην παράγραφο 4.10.2*.

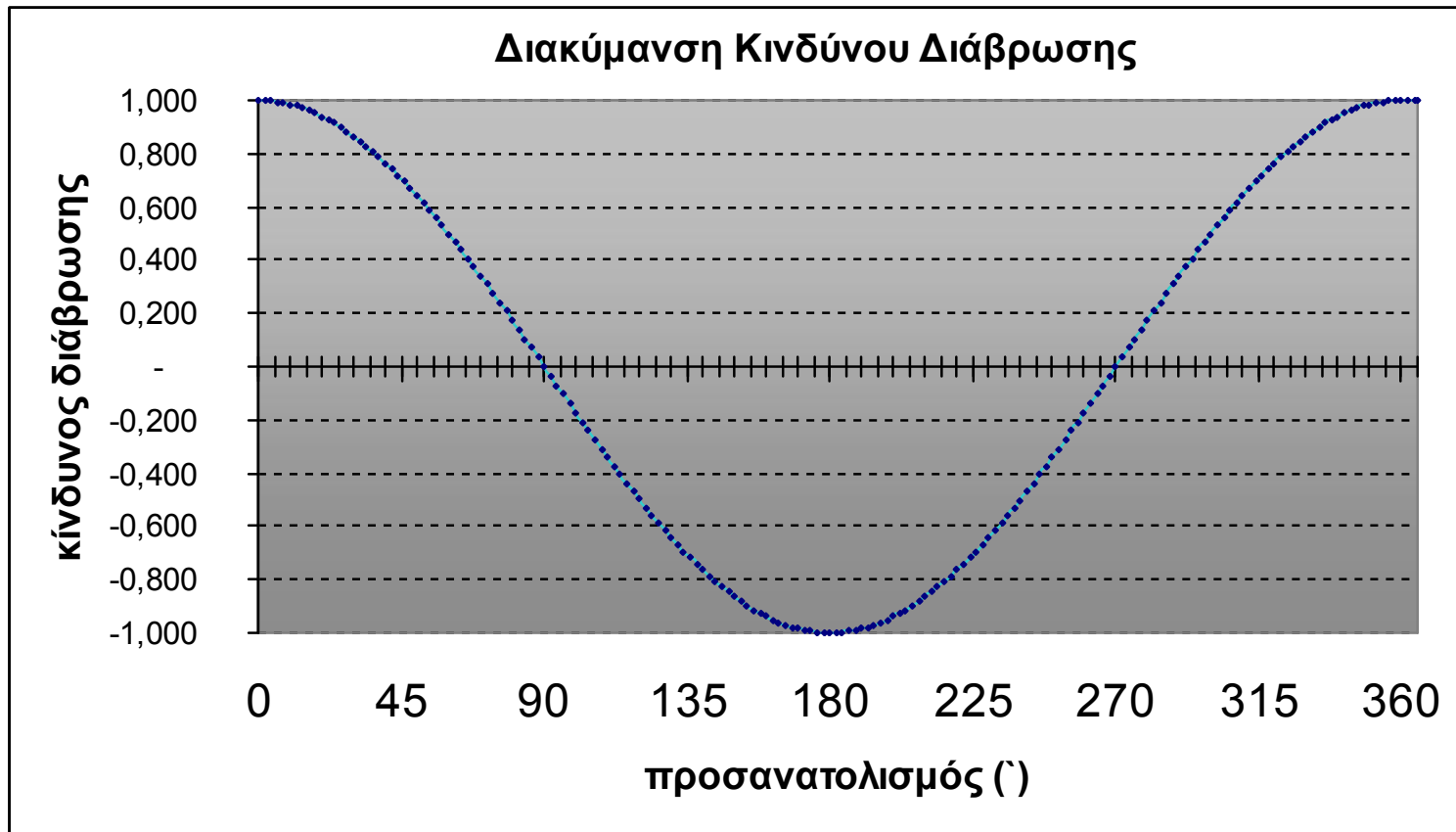
f= 4, Εσωτερικός διορθωτικός συντελεστής της συνάρτησης , (*Internal membership factor of function*). Εισάγεται με βάση το σκεπτικό ότι ο μέγιστος κίνδυνος εδαφικής διάβρωσης προσδιορίζεται σε κλίσεις 25%. Αυτό σημαίνει ότι για κλίσεις 25% αναμένεται ο μέγιστος κίνδυνος από διάβρωση λόγω της άροσης, δηλαδή στο ¼ του 100% της κλίσης ενός εδάφους, (45° γωνία), όπου από μορφολογική άποψη καθώς και από πλευράς εδαφικής ισορροπίας θεωρείται κρίσιμη τιμή (ύψος πλαγιάς/βάση πλαγιάς= $\frac{1}{1}$).

Από πειραματικές μελέτες και από την εμπειρία στην σύγχρονη γεωργία έχει παρατηρηθεί ότι η κλίση του 25% σε ένα έδαφος θεωρείται κρίσιμη για την συνοχή του εδάφους σε περίπτωση αροτριάς καλλιέργειας αλλά και γενικότερα για οποιαδήποτε γεωργική μεταχείριση. Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι ισχύει η γραμμική συσχέτιση μεταξύ της κλίσης του εδάφους και της αναμενόμενης μετακίνησης εδαφικού υλικού μέχρι 87,5% ποσοστό κλίσης επικλινούς χωραφιού, από εκείνο το σημείο και μετά θεωρείται ότι ο κίνδυνος γενικευμένης διάβρωσης μεγιστοποιείται καταδεικνύοντας έτσι την ακαταλληλότητα για γεωργική χρήση των συγκεκριμένων περιοχών. Πιο συγκεκριμένα όταν η εφαπτομένη της γωνίας κλίσης της πλαγιάς πλησιάζει την τιμή 0.41, δηλαδή μία γωνία (22,5°) που αντιστοιχεί σε κλίση 87,5% θεωρείται κρίσιμη για τον κίνδυνο γενικευμένης διάβρωσης, (*critical slope gradient*) .

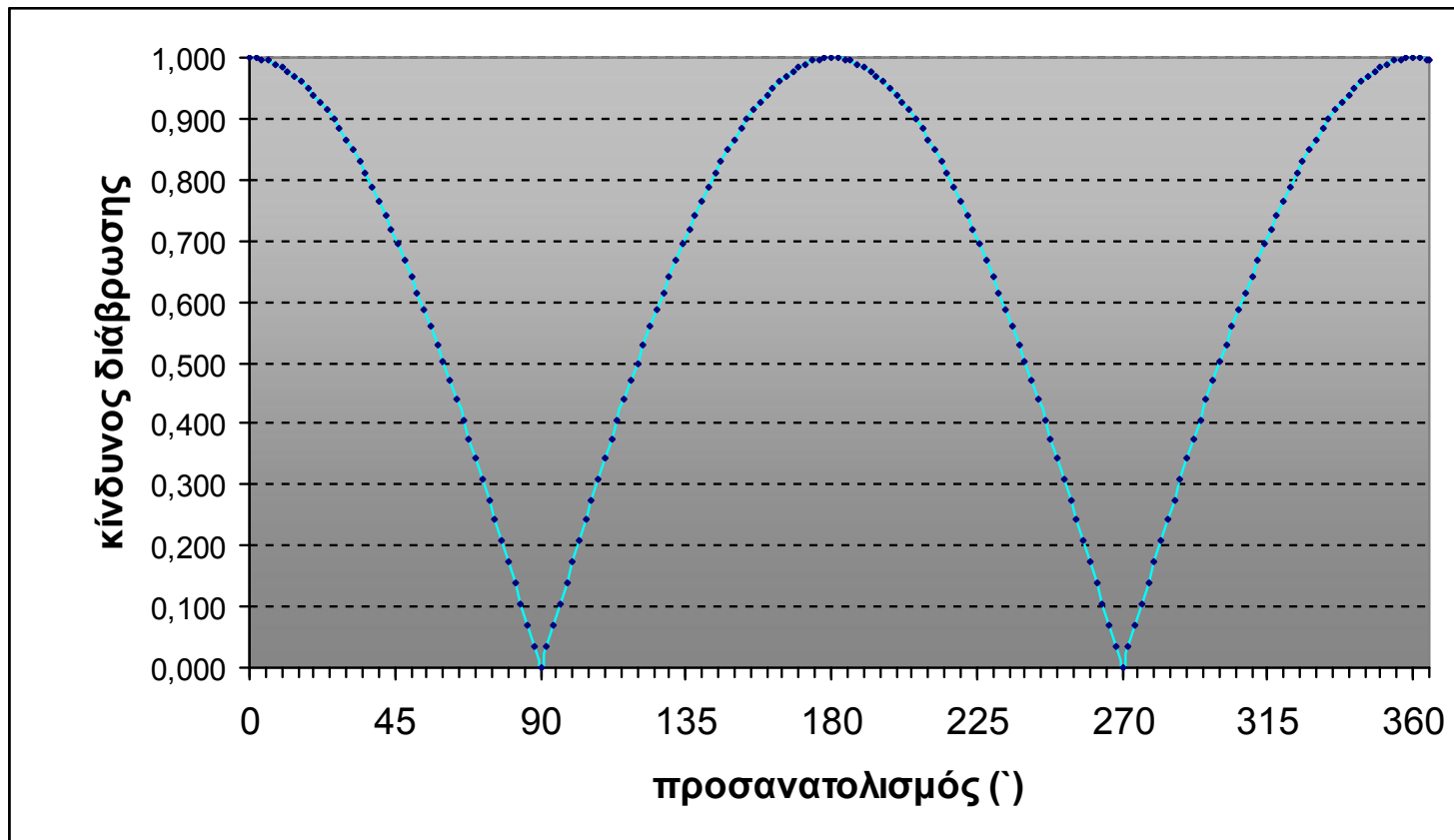
(*T.A. Quine et al/ Soil & Tillage Research 51 (1999) 279-301*),

(J. Nyssen et al./Soil & Tillage Research 57 (2000) 115-127).

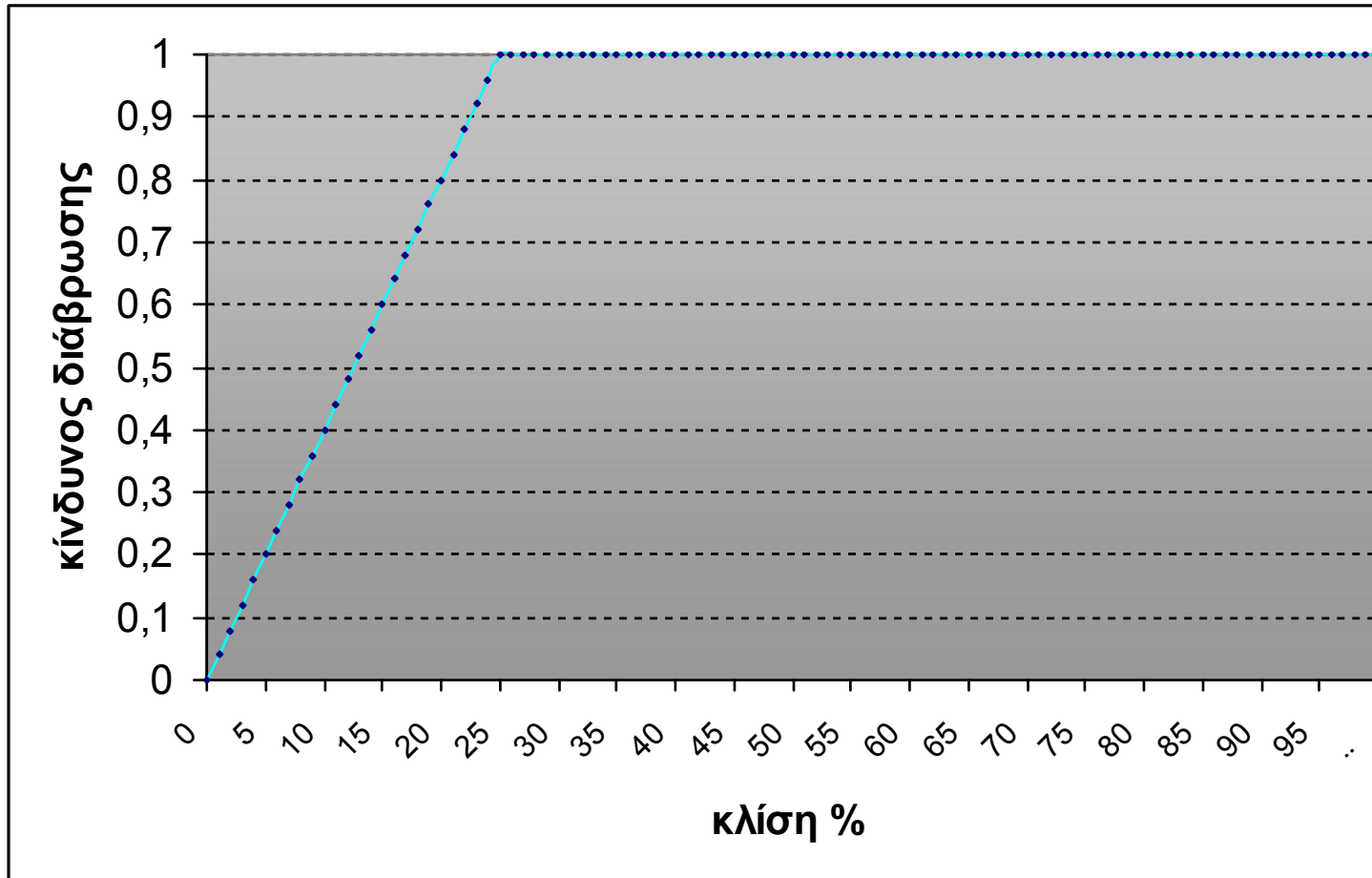
Εικόνα 4, Γραφική παράσταση συνάρτησης $f_1(x)$



Εικόνα 5, Γραφική παράσταση των απόλυτων τιμών της συνάρτησης $f_1(\psi)$



Εικόνα 6, Γραφική παράσταση συνάρτησης $f_2(\psi)$



4.9 Συντελεστές βαρύτητας.

Όπως έχει αναφερθεί στην ενότητα **4.5**, στην εξίσωση **(1)** χρησιμοποιούνται δύο συντελεστές βαρύτητας ***a*** και ***β***, οι οποίοι δηλώνουν το μέγεθος συνεισφοράς του κάθε ένα από τους δύο διαβρωτικούς παράγοντες αντίστοιχα (*προσανατολισμός, κλίση*). Η συμβολή αυτών των δύο παραγόντων καθώς και η σχέση τους με τον βαθμό επικινδυνότητας από διάβρωση στην εξεταζόμενη περιοχή δεν είναι η ίδια, ούτε είναι ισόποση η συνεισφορά τους στην διαμόρφωση του φαινομένου της διάβρωσης. Έτσι έγινε μία προσπάθεια λογικής προσέγγισης της βαρύτητας συμμετοχής των δύο αυτών παραγόντων όταν συνδυάζονται προσθετικά στην αξιολόγηση του κινδύνου διάβρωσης.

Κλειδί αυτής της θεωρητικής προσέγγισης είναι η χρήση του όρου *ροή εδαφικού υλικού* στην εδαφική διάβρωση και ο ρόλος της στην διαμόρφωση του διαβρωτικού κινδύνου.

Η ροή εδαφικού υλικού ***Q*** έχει προσδιορισθεί σύμφωνα με πολλούς ερευνητές (Lindstrom *et al*, 1992, Revel *et al*, 1993, Govers *et al*, 1994) και εκφράζεται με την εξίσωση: **$Q = k \cdot S$ (2)** (σε μονάδες *kg/m, time*) όπου :

k : συντελεστής διάχυσης-διάδοσης (*kg/m*)

S : η κλίση % του εδάφους (εφαπτομένη της γωνίας)

Όπως παρατηρούμε ο συντελεστής διάδοσης ***k*** είναι ο καταλύτης στην διαμόρφωση του μεγέθους της εδαφικής ροής και ο οποίος με την σειρά του ισούται με : **$k = -D \cdot \rho_b \cdot B$ (3)** όπου :

D : το βάθος άροσης (*m*)

ρ_b : φαινόμενη πυκνότητα εδάφους (*kg/m³*)

B : συντελεστής της κλίσης της συνάρτησης εδαφικής μετατόπισης με την κλίση του εδάφους.

Ο συντελεστής διάδοσης ***k*** μελετήθηκε σε διάφορα άρθρα από παλαιότερες μελέτες οι οποίες συνδυάζουν δύο μορφές υπολογισμού του ***k***, την μορφή αροτριάας καλλιέργειας *παράλληλα* στις ισοϋψείς και την μορφή καλλιέργειας *κάθετα* στις ισοϋψείς.

Ακολουθούν μερικά παραδείγματα προσδιορισμού των συντελεστών βαρύτητας α, β

Γίνεται η παραδοχή της επίδρασης στην διαμόρφωση του διαβρωτικού κινδύνου στην περιοχή των Ερυθρών απομονώνοντας ουσιαστικά τους δύο παράγοντες (κλίση, προσανατολισμός) και θεωρώντας τους βασικούς καταλύτες για την επικρατούσα διάβρωση στην περιοχή μελέτης (αροτριάιες καλλιέργειες υπό ποικίλες κλίσεις και προσανατολισμούς των γραμμών άρροσης). Το βάθος άρροσης θεωρήθηκε σταθερό στην τιμή 0,4 μ. Η φαινόμενη πυκνότητα εδάφους θεωρήθηκε και αυτή σταθερή με τιμή στα 1438 (κιλά/μ³).

I. Σύμφωνα με πειραματικά δεδομένα⁴ και αφού αναλύθηκαν, υπολογίστηκε από εξίσωση (3) ότι ο k ισούται με 678(Kg/m) για παράλληλο προσανατολισμό των γραμμών άρροσης κατα τις ισοϋψείς, ενώ για κάθετο προσανατολισμό είναι ίσος με 1056. Προέκυψε έτσι ότι σε κάθε περίπτωση η συνεισφορά-συσχέτιση στο ποσό της εδαφικής μετατόπισης, αποτέλεσμα της διάβρωσης, όσον αφορά την κλίση του εδάφους που υπόκειται σε άρροση σε σταθερό βάθος ισούται με **64%** η αναλογία $\frac{\text{κλίση}}{\text{προσαν/σμός}} = \frac{\text{Κπαράλληλότητα}}{\text{Κκαθεπότητα}} = \frac{678}{1056} = 0,64$.

Αντίστοιχα η συνεισφορά-συσχέτιση του προσανατολισμού των γραμμών άρροσης σε σχέση με τον προσανατολισμό του εδάφους κυμάνθηκε στο **36%** αντίστοιχα.

Πίνακας 1, Υπολογισμοί του Q από πειραματικά δεδομένα⁵

Κλίση %	Παράλληλη άρροση (ροή εδαφικού υλικού σε Kg/m time)	Κάθετη άρροση (ροή εδαφικού υλικού σε Kg/m time)
5	34	53
10	68	106
15	102	158
20	136	211
25	170	264

⁴ C. Kosmas *et al* / Soil & Tillage Research 58 (2001) 175-187

⁵ Πειραματικά δεδομένα , περιοχή : Ανατολική Αττική, Σπάτα.

Όπως προκύπτει και από τον **πίνακα 1** μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι σε κάθε περίπτωση υπολογισμού της ροής του εδαφικού υλικού ανεξάρτητα του βαθμού κλίσης του εδάφους, η συνεισφορά του παράγοντα *κλίση* είναι κατά μέσο όρο **64%** με άροση παράλληλα στις ισοϋψείς (σε αυτή την περίπτωση θεωρώ ελάχιστη τη συνεισφορά του παράγοντα *προσανατολισμός*).

Ανάλογα παρατηρούμε ότι, σε αντίστοιχες κλίσεις με άροση κάθετα στις ισοϋψείς (μέγιστη συνεισφορά του παράγοντα *προσανατολισμός*) οι αντίστοιχες τιμές εδαφικής ροής κυμαίνονται σε όλες τις περιπτώσεις κατά μέσο όρο στο **36%**.

II. Με παρόμοια διαδικασία από την εργασία των (J.A Montgomery *et al/Soil Research* 51, (1999) 175-181) βρίσκουμε αντίστοιχα τιμές των δύο **k** (210 και 356) με συνεισφορές **59%** για την κλίση και **41%** για τον προσανατολισμό γραμμών άροσης.

III. Επίσης η εργασία των (J. Poesen *et al/Geomorphology* 18 (1997) 183-197) προσδιόρισε τα δύο **k** παρόμοια για τις δύο καλλιεργητικές μεταχειρήσεις (άροση παράλληλα και άροση κάθετα) με τιμές 139 και 282 και αντίστοιχες συνεισφορές **50%** και **50%**.

Η εργασία των Lindstrom *et al*, 1992 όπου αναφέρεται ότι, υπολογίσθηκε και παρατηρήθηκε μία εντελώς γραμμική σχέση για κλίσεις έως 13% (εφαπτομένη γωνίας πλαγιάς 0,23).

Επίσης η εργασία των J. Poesen *et al. (Geomorphology* 18 ,1997 183-197), όπου συμπερασματικά αναφέρεται ότι την εδαφική μετατόπιση σε σχέση με την κλίση του εδάφους την εκφράζει πιο καλά μία γραμμική συσχέτιση, μέχρι η εφαπτομένη της γωνίας της πλαγιάς να πλησιάσει την τιμή 0,45 ή μέχρι ένα ποσοστό κλίσης 24,5%.

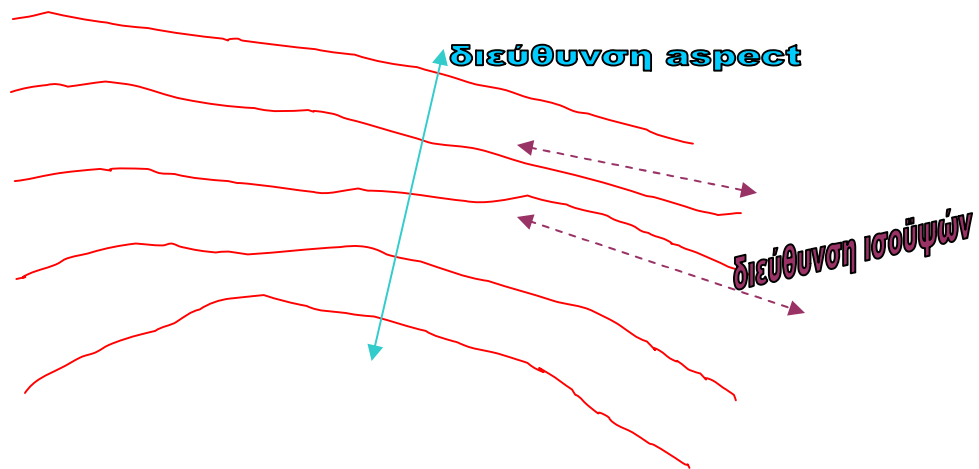
Η γραμμικότητα αυτή καλύπτει και την τωρινή εργασία αφού έχει υιοθετηθεί ως ανώτατη τιμή αποδεκτής κλίσης για άροση στα υπό μελέτη εδάφη το **25%** δηλαδή οι 14° μοίρες κλίση πρηνούς χωραφιού.

Έτσι τελικά έγινε ο προσδιορισμός των συντελεστών ***a,β*** κατά μέσο όρο και ορίσθηκαν οι τιμές ***a=0,58 & β=0,42***.

4.10 Παρατηρήσεις

4.10.1 Χρήση συνημιτόνου στην συνάρτηση $f_1(x)$.

Γίνεται χρήση του συνημιτόνου επιβεβλημένα διότι η διαφορά προσανατολισμού (*bearing* γραμμών άροσης - *aspect* εδάφους) αντιστοιχεί στην κάθετη διεύθυνση της πραγματικής γωνίας που μας ενδιαφέρει, οπότε αντί να κάνω χρήση ημιτόνου της υπολογιζομένης γωνίας κάνω χρήση συνημιτόνου. Αυτό οφείλεται στην αζιμουθιακή έκθεση (*aspect*) του εδάφους η οποία έχει κάθετη πάντα διεύθυνση στις ισοϋψείς του εδάφους ενώ στην ουσία ενδιαφερόμαστε για την αζιμουθιακή γωνία διεύθυνσης που σχηματίζουν οι ισοϋψείς.



4.10.2 Μετατροπή από ακτίνια σε μοίρες.

Κατά την διάρκεια της εργασίας παρουσιάστηκε ένα πρόβλημα ασυμβατότητας στον υπολογισμό του συνημιτόνου των συναρτήσεων :

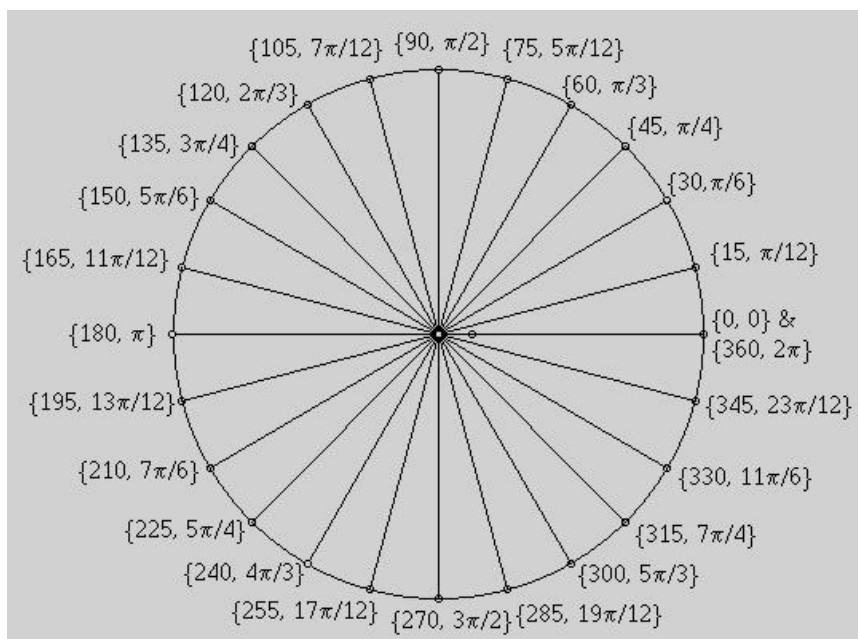
$f_1(x)$, $f_2(\psi)$. Πιο συγκεκριμένα ο αλγόριθμος της ρουτίνας του λογισμικού (*map calculation – Arcview 3.1*) υπολόγιζε ακτίνια αντί του επιθυμητού που ήταν μοίρες – βαθμοί. Γι' αυτό το θέμα χρειάστηκε η μετατροπή των αποτελεσμάτων από ακτίνια σε μοίρες και βαθμούς.

Το μέγεθος ενός ακτινίου καθορίζεται από την απαίτηση ότι υπάρχουν 2π ακτίνια σε έναν κύκλο, ($\pi=3,14$). Κατά συνέπεια 2π ακτίνια είναι ίσα με 360 μοίρες. Αυτό σημαίνει ότι: **1 ακτίνιο** = $180/\pi$ μοίρες,

$$\text{και: } \mathbf{1 \text{ μοίρα}} = \pi/180 \text{ ακτίνια.}$$

Το σχήμα δίνει κατωτέρω τη σχέση μεταξύ των μοιρών και των ακτινίων για τις πιο κοινές γωνίες στον κύκλο μονάδων, που μετριέται στην αντίθετη προς τη φορά των δεικτών του ρολογιού κατεύθυνση από το σημείο - δείκτη στα δεξιά. Η μορφή του διατεταγμένου ζευγαριού είναι (μοίρες, ακτίνια).

Πίνακας 2, μοίρες/ακτίνια



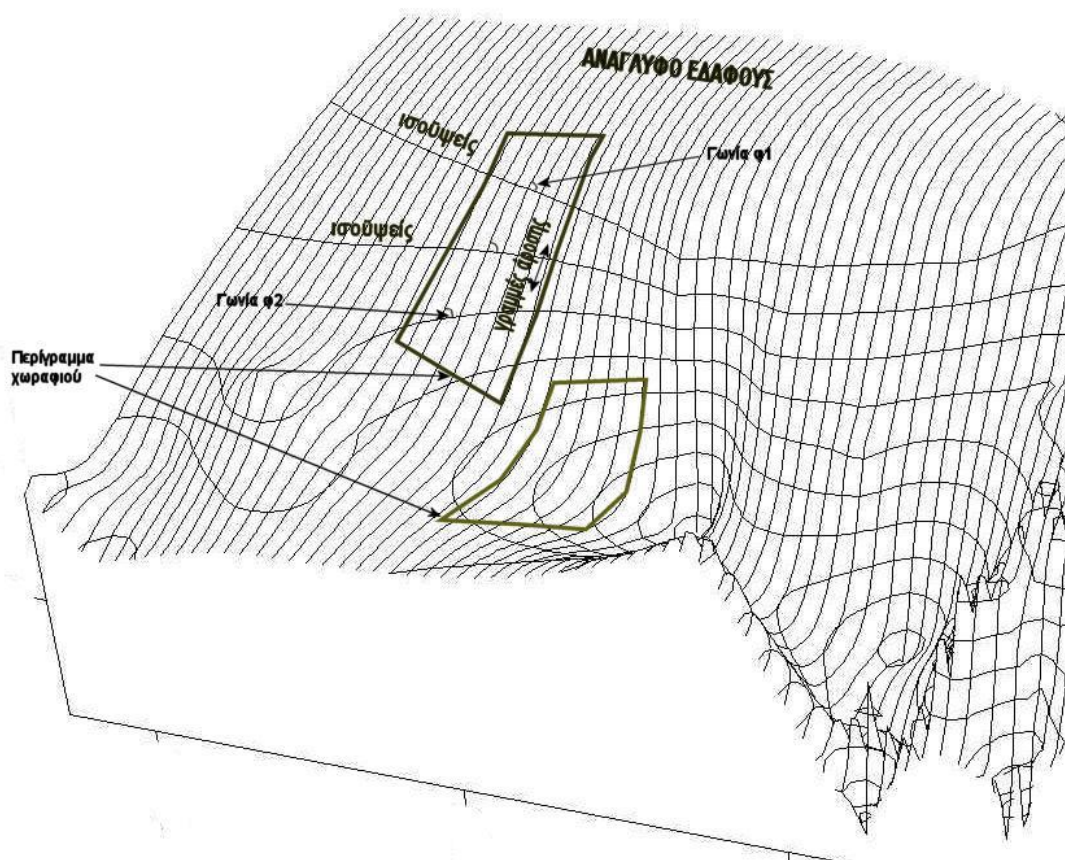
Έτσι τελικά κάθε τιμή της $f_1(x)$, $f_2(\psi)$ πολλαπλασιάστηκε με π (3,14) και διαιρέθηκε με το 180 δηλαδή: $f_1(x) * (\pi/180)$, $f_2(x) * (\pi/180)$

4.11 Ανάλυση της γωνίας αναφοράς φ .

Όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 4.7, για τον υπολογισμό του κινδύνου διάβρωσης λόγω *προσανατολισμού* με χρήση της συνάρτησης

$f_1(\mathbf{x})$, είναι αναγκαίες οι τιμές του πλεγματοκού θέματος [diffgrid]. Παρακάτω δίνεται παραστατικά ο τρόπος υπολογισμού των τιμών της γωνίας αυτής.

Εικόνα 7, Γωνία υπολογισμού φ



Η γωνία που πρέπει να υπολογισθεί είναι η γωνία φ , η οποία ανάλογα την θέση των γραμμών άροσης σε σχέση με αυτήν των ισοψών ποικίλει ($\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ κ.ο). Το πλεγματοκού θέμα [Diffgrid] υπολογίζει για κάθε θέση του του χωραφιού στον χώρο την αντίστοιχη τιμή της συμπληρωματικής γωνίας της φ . Όπως αναλύθηκε όμως στην υποπαράγραφο 4.9.1 η πραγματική τιμή που μας ενδιαφέρει, είναι το ημίτονο της γωνίας φ για κάθε θέση αναφοράς, οπότε και υπολογίζεται το συνημίτονο της

συμπληρωματικής γωνίας της φ που ισούται με το επιθυμητό ημίτονο της φ .

Σημειώνεται ότι ως θέση αναφοράς λαμβάνεται η οποία θέση έχει διαστάσεις αυτές του πλεγματοκού θέματος [Diffgrd] 2x2 μέτρα. Οι ίδιες διαστάσεις ισχύουν και για το αντίστοιχο πλεγματοκό θέμα που αναφέρεται στα χωράφια [cropgrd]. Έτσι παρατηρούμε ότι όταν οι γραμμές άρροσης του αγροτεμαχίου τείνουν να πάρουν θέση κάθετη στις ισουψείς οι αντίστοιχες τιμές της γωνίας φ αυξάνουν άρα και το ημίτονο της γωνίας φ το ίδιο, με αποτέλεσμα ο κίνδυνος διάβρωσης να αυξάνει επίσης με ημιτονοειδή τρόπο. Αντίθετα όσο οι γραμμές άρροσης πλησιάζουν την παραλληλότητα με τις ισουψείς τότε η αντίστοιχη γωνία φ παίρνει μικρότερες τιμές, το ίδιο και το ημίτονο της φ . Σ' αυτήν την περίπτωση ο κίνδυνος διάβρωσης μειώνεται.

Στην **εικόνα 7** φαίνεται επίσης και ο παράγοντας κλίση του εδάφους και κατ' επέκταση των χωραφιών. Όσο παραμένουν αραιές οι γραμμές των ισουψών τόσο η κλίση του χωραφιού είναι μικρή, όταν πυκνώσουν όμως τότε η αντίστοιχη κλίση στις θέσεις αυτές γίνεται πιο απότομη, άρα ο κίνδυνος εδαφικής διάβρωσης αυξάνει.

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

5.1 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

5.1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Ο υπολογισμός του κινδύνου διάβρωσης εφαρμόστηκε πιλοτικά σε μία περιοχή στα σύνορα των Νομών Αττικής και Βοιωτίας, δώδεκα χιλιόμετρα νότια της πόλης των Θηβών και σε μία έκταση περίπου 14.000 στρεμμάτων, η οποία περικλείεται μεταξύ των Δημοτικών διαμερισμάτων των Ερυθρών και Πλαταιών και με μέσο υψόμετρο 400 μέτρων (στην τελική ψηφιοποιημένη περιοχή εκτίμησης). Η περιοχή έχει, από γεωμορφολογικής άποψης, χαρακτηριστικά λεκανοπεδίου με πολλές όμως λοφώδεις υποπεριοχές και χαρακτηριστικές επικλινείς πλαγιές με ποικιλία στα ποσοστά κλίσεων, που κυμαίνονται από 2% έως 22% στην πλειοψηφία τους με εξαίρεση ορισμένες πιο απότομες πλαγιές που η κλίση τους υπερβαίνει και το 25%. Η ιδιορρυθμία αυτή του τοπιού βοήθησε στην πιλοτική εφαρμογή της παρούσας μελέτης και στην εξαγωγή έγκυρων αποτελεσμάτων, καθώς και στην μακροσκοπική επαλήθευση αυτών, (**Φωτογραφία 5.1 & 5.2**). Τα εδάφη είναι μετρίως βαθιά καλώς αποστραγγιζόμενα και χαλικώδη με ποσοστά σε χαλίκι και θρυμματισμένο βράχο από 44 έως 72%.

Ορισμένα εδαφολογικά χαρακτηριστικά που χαρακτηρίζουν την περιοχή είναι ότι τα ποσοστά των ανθρακικών ενώσεων κυμαίνονται μεταξύ 12,3% και 25% στην ανώτερη εδαφική ζώνη ενώ τα αντίστοιχα ποσοστά σε οργανική ουσία κυμαίνονται από 0,9% έως 1,2%. Το ποσοστό της αργίλου κυμαίνεται μεταξύ 24,6 και 57,8% εξαρτώμενο κυρίως από το περιεχόμενο σε άργιλο του μητρικού υλικού. Το ποσοστό του διαθέσιμου Φωσφόρου στο επίπεδο της καλλιεργήσιμης γης μετρήθηκε από 1,2 έως 4,5 mg P ανά κιλό εδάφους. Τέλος το ποσοστό ανταλλάξιμου Καλίου κυμάνθηκε μεταξύ 75,4 mg και 337,9 mg ανά κιλό εδάφους.

Τα κλιματολογικά στοιχεία (μετεωρολογικός σταθμός Θήβας) δείχνουν μία μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα 17°C ενώ το μέσο ετήσιο ύψος

βροχόπτωσης (κατακρημνίσματα) φθάνει τα 488 χιλιοστά με το 68% των βροχών να πέφτουν την περίοδο Οκτωβρίου με Απρίλιο.

Οι χρήσεις γης της εν λόγω περιοχής είναι στην συντριπτική τους πλειοψηφία αγροτικές εκμεταλλεύσεις, κυρίως αροτριαίες καλλιέργειες όπως σιτηρά και μηδική καθώς και αμπελώνες. Υπάρχουν επίσης και αρκετές χέρσες εκτάσεις οι οποίες και αποτυπώθηκαν για τις ανάγκες των συμπερασμάτων της μελέτης (βλέπε κεφάλαιο 6).

Η εποχή κατά την οποία μελετήθηκε και χρησιμοποιήθηκε η συγκεκριμένη περιοχή ήταν τον Αύγουστο 2002 καθώς και τον Μαΐο, Ιούνιο 2003.

Φωτογραφία 5. 1, Πανοραμική αποτύπωση περιοχής μελέτης



Φωτογραφία 5. 2, Χαρακτηριστικό ανάγλυφο της περιοχής



5.1.2 ΨΗΦΙΑΚΗ ΓΕΩΑΠΟΤΥΠΩΣΗ

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την αποτύπωση της περιοχής και στην συνέχεια για την ανάπτυξη του συστήματος πρόβλεψης του διαβρωτικού κινδύνου στηρίχθηκε, όπως έχει προαναφερθεί στους σκοπούς της συγκεκριμένης εργασίας, σε μεθόδους και εφαρμογές της γεωπληροφορικής επιστήμης. Για τον λόγο αυτό η αποτύπωση της περιοχής μελέτης έγινε ψηφιακά, έτσι ακολούθησαν τα παρακάτω βήματα:

A. Προμήθεια των αναγκαίων *τοπογραφικών χαρτών* σε κλίμακα 1:5000. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 4^{οι} χάρτες γεινιάζοντες μεταξύ τους, οι κωδικοί των χαρτών είναι : 6420/6, 6420/8, 6421/5, 6421/7.

B. Ψηφιακή αποτύπωση στον υπολογιστή (*scanning*) των τεσσάρων χαρτών και παραγωγή τεσσάρων αρχείων εικόνας με φορμάρισμα **tiff** για καλύτερη λεπτομέρεια, στοιχείο αναγκαίο για την ψηφιοποίηση που θα επακολουθήσει. (Βλέπε **Κεφάλαιο 7, Παράρτημα**).

Γ. Ακολουθεί ο μετασχηματισμός των συντεταγμένων των ψηφιακών χαρτών. Γενικά γίνεται μία μετατροπή των συντεταγμένων από μονάδες scanner σε μονάδες (**Ε.Γ.Σ.Α**), Εθνικού Γαιοδετικού Συστήματος Αναφοράς και είναι σε μέτρα.

Πιο συγκεκριμένα με χρήση του πακέτου **ArcGis** ακολουθούν τα παρακάτω βήματα:

Γ1. εισάγω τον κάθε χάρτη με *add data* σε περιβάλλον *ArcMap*.

Γ2. μέσω της χρήσης της λειτουργίας **Georeferencing** πέρνω 6 με 10 σημεία αναφοράς για τον κάθε χάρτη (πραγματικό) και αφού μετατρέψω τις συντεταγμένες των σημείων αυτών σε συντεταγμένες **ΕΓΣΑ**⁶ τα καταχωρώ στον ψηφιακό χάρτη (χρήση της διαδικασίας: *add control points* και *link table*).

Γ3. Αφαιρώ τα σημεία με μεγάλο RMS (μέσο τετραγωνικό σφάλμα) με στόχο την επίτευξη ενός RMS κοντά στα 20 μέτρα

⁶ Η μετατροπή γίνεται με χρήση εξειδικευμένου λογισμικού με την ονομασία: **COORD_GR**

Γ4. Ακολουθεί η λειτουργία, (πάντα σε περιβάλλον ArcMap), *rectify* όπου γίνεται μία αναδόμηση της εικόνας (resampling) με σκοπό την πιο καθαρή και λεπτομερή αποτύπωση των στοιχείων του κάθε χάρτη.

Έτσι δημιουργείται ενά πλεγματοειδές ψηφιακό μοντέλο για τον κάθε χάρτη με διαστάσεις κελιού πλέγματος (grid cell size): 2x2 μέτρα.

Ίδια διαδικασία ακολουθείται και με την διαχείριση των *αεροφωτογραφιών* κλίμακας 1:15000, που αποκτήθηκαν από την **Γ.Υ.Σ⁷** με περιοχή αναφοράς την ίδια με αυτή των τοπογραφικών χαρτών. Οι αεροφωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν είχαν κωδικούς: 205-391, 205-389, 205-390.

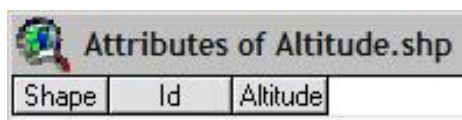
Όλες οι αεροφωτογραφίες αποτύπωναν στο μεγαλύτερο ποσοστό την περιοχή των τοπογραφικών χαρτών: 6420/6 και 6420/8, με πιο αντιπροσωπευτική την **205-389** η οποία και χρησιμοποιήθηκε τελικά.

Δ. Ακολούθησε η διαδικασία της ψηφιοποίησης σε περιβάλλον *ArcView*.

Αρχικά δημιουργήθηκαν τα βασικά θέματα ενδιαφέροντος,

(*main shapefiles*), και είναι τα εξής:

- **altitude.shp** (σημειακό θέμα αποτύπωσης των υψών των υψηλότερων κορυφών της περιοχής μελέτης)



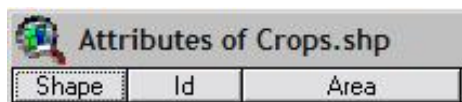
→ πεδία βάσης δεδομένων

- **contour.shp** (γραμμικό θέμα αποτύπωσης των ισοϋψών της περιοχής)



→ πεδία βάσης δεδομένων

- **crops.shp** (πολυγωνικό θέμα αποτύπωσης των αγροτεμαχίων της περιοχής).



→ πεδία βάσης δεδομένων

⁷ Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Σε συνεννόηση με τη συνάδελφο Γεωπόνο Κ^α Μπάκα Θεανώ)

Κατόπιν ακολούθησε η διαδικασία της ψηφιοποίησης, όπου πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον *Arcview 3.1*.

Για το γραμμικό θέμα *contour.shp* και για το σημειακό αντίστοιχα *altitude.shp* , χρησιμοποιήθηκαν ως υπόβαθρο ψηφιοποίησης οι τέσσεροι ψηφιακοί τοπογραφικοί χάρτες με κλίμακα 1:5000 οι οποίοι και παρήχαν τις αναγκαίες πληροφορίες χωρικές και περιγραφικές για τις ισοϋψείς και τα υψόμετρα. Η διαδικασία της ψηφιοποίησης διάρκησε περίπου δύο μήνες, Αύγουστος-Σεπτέμβριος 2002, και ήταν αρκετά επίπονη αφού η λεπτομέρεια, (αποστάσεις ισοϋψών), ήταν έως και ανά δύο μέτρα.

Το εύρος των τιμών των ισοϋψών κυμάνθηκε από 272 μέτρα μέχρι και τα 860 μέτρα, ενώ το αντίστοιχο εύρος για τις τιμές των υψομέτρων ήταν 275 έως 777 μέτρα. Το αποτέλεσμα, όσον αφορά την αποτύπωση του αναγλύφου της περιοχής ήταν πολύ ικανοποιητικό.

Για το πολυγωνικό θέμα *crops.shp* , το υπόβαθρο ψηφιοποίησης ήταν η διορθωμένη εικόνα 205-389 (*rectify tiff* αρχείο), όπου και ψηφιοποιήθηκαν συνολικά 1745 αγροτεμάχια ενδιαφέροντος συνολικής έκτασης 10087 στρεμμάτων.

Δημιουργήθηκαν και δύο δευτερεύοντα θέματα (*minor shapefiles*):

- το ***chersa.shp***, ένα πολυγωνικό θέμα που αποτυπώνει τις χέρσες εκτάσεις της περιοχής (συνδυασμός χρήσης εικόνας 205-389 ως υποβάθρου και επιτόπιων παρατηρήσεων).

- το ***caption.shp***, ένα σημειακό θέμα όπου αποτυπώνονται θέσεις, (με υπόβαθρο πάλι την εικόνα 205-389), από επιτόπιους ελέγχους με μακροσκοπικές επαληθεύσεις για την υπολογιστική μέθοδο που ακολουθήθηκε, η οποία και θα αναλυθεί στο επόμενο υποκεφάλαιο **5.2**

Οι μακροσκοπικές επαληθεύσεις αποτυπώνονται ποιοτικά με επιτόπιες φωτογραφίες οι οποίες μέσω μίας ειδικής λειτουργίας του *Arcview* με ενεργητική σύνδεση, (*interactive hot link*), φωτογραφίας και θέματος (*caption.shp*) , μπορούν να ανακτηθούν και να προβληθούν, (πάντα σε περιβάλλον *Arcview*).

Στο **κεφάλαιο 7** (παράρτημα), αποτυπώνονται τα χωρικά αποτελέσματα για όλα τα παραπάνω θέματα, υπάρχουν επίσης παραδείγματα από

φωτογραφίες επαληθεύσεων των υπολογισμών, καθώς και η αεροφωτογραφία 205-389 μετά τον μετασχηματισμό της.

5.2 ΣΤΑΔΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Μετά την αποτύπωση της περιοχής μελέτης τα επόμενα στάδια της εργασίας είναι η κυρίως μεθοδολογία που ακολουθείται για να αναπτυχθεί το επιδιωκόμενο μοντέλο πρόβλεψης του διαβρωτικού κινδύνου εξαιτίας της δράσης των δύο παραγόντων *κλίση* εδάφους και *προσανατολισμού* γραμμών άροσης.

5.2.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Ακολουθεί η δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM). Η διακύμανση των υψομετρικών τιμών σε μία περιοχή εκφράζεται με διάφορους τρόπους. Τα DEM μπορούν να αναπαρασταθούν είτε με πλέγματικό τρόπο, ως κάναβος (grid) είτε με ακανόνιστα τριγωνικά δίκτυα (TINs). Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης προτιμήθηκε ο πλεγματοειδής τρόπος αναπαράστασης διότι σε ένα grid θέμα μπορούν πολύ εύκολα, για κάθε κελί αναφοράς στον χώρο, να υπολογισθούν η κλίση, η καμπυλότητα, και ο προσανατολισμός του αναγλύφου, στοιχεία πολύ βασικά για την εκτίμηση του κινδύνου διάβρωσης.

Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα και συγκεκριμένα το περιβάλλον *ARCVIEW 3.1* όπου και έγινε χρήση και των λογισμικών, επεκτάσεων του συστήματος, *Spatial Analyst, 3D analyst*.

Αρχικά δημιουργήθηκε ένα TIN θέμα (τριγωνικό δίκτυο) με βάση τα δύο θέματα: **contour.shp** και **altitude.shp**.

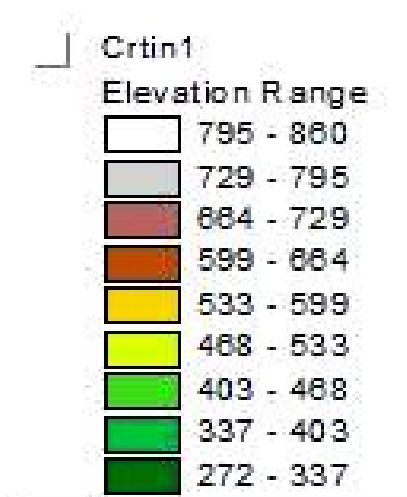
Από menu→surface→create TIN from features, και θέτω για τις ισοϋψείς (contour θέμα) ως υψομετρική πηγή αναφοράς (height source) το πεδίο (field): *contour*. Αντίστοιχα για τα υψόμετρα κορυφών (altitude θέμα) θέτω το πεδίο *altitude*. Έτσι δημιουργώ το ψηφιακό ανάγλυφο της περιοχής (αρχικά σε TIN μορφή), (Χάρτης 1)

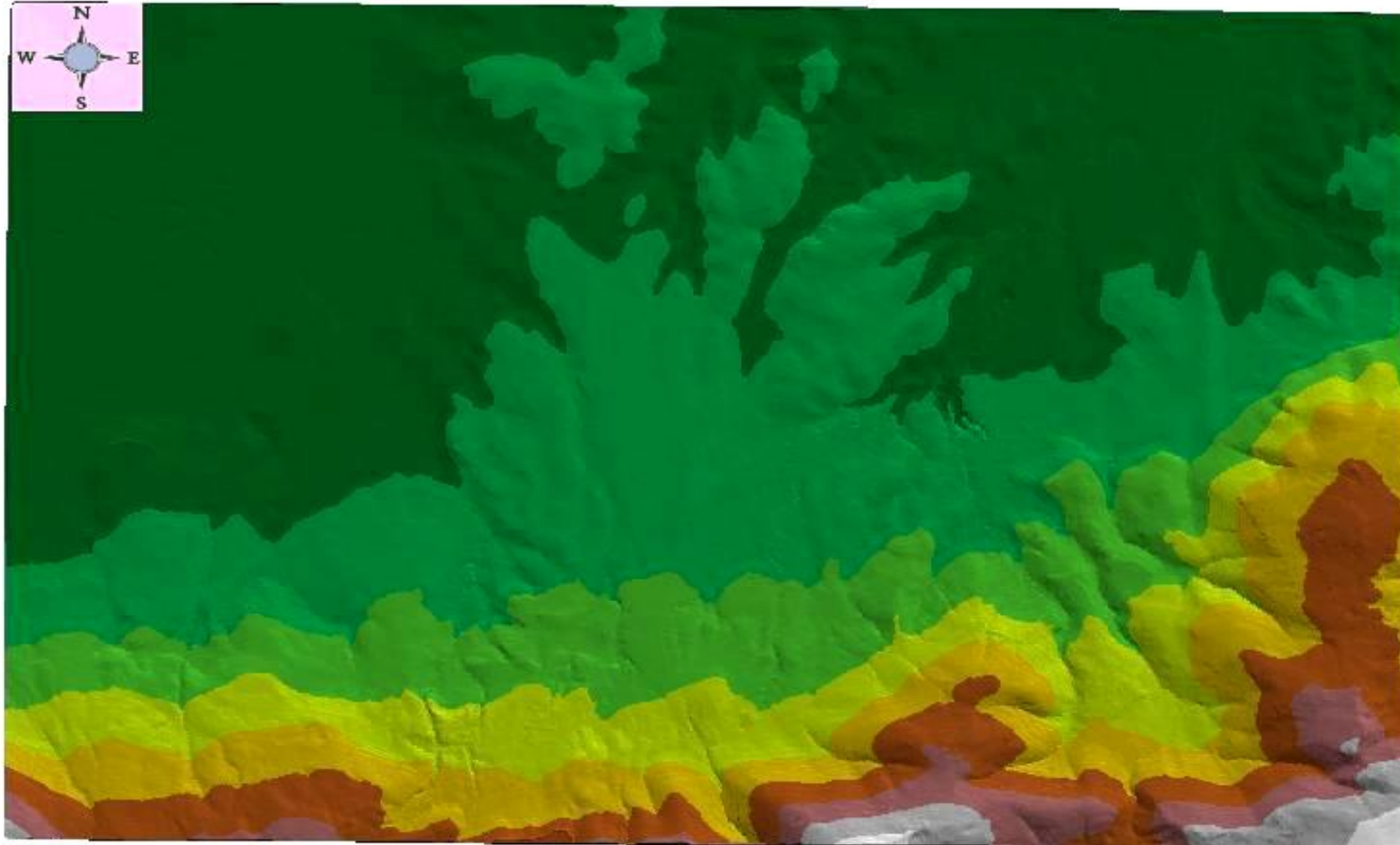
Κατόπιν από menu→theme→convert to grid, μετατρέπω το TIN θέμα στο επιθυμητό πλεγματο (grid) με μέγεθος κελιού 2x2 μέτρα (cell size). Έτσι παράγεται το θέμα **tingrd**, το ψηφιακό πλεγματο ανάγλυφο της υπό μελέτη περιοχής, (Χάρτης 3)

Το περιβάλλον *ARCVIEW* έχει επίσης την δυνατότητα της τρισδιάστατης αναπαράστασης θεμάτων τύπου TIN (τριγωνικά δίκτυα) με z value τιμές, τιμές δηλαδή αναφοράς για τον εγκάρσιο άξονα z σε αυτούς των x και y. Έδω ως z τιμές δίνονται οι τιμές υψομέτρου που αντλούνται από τα δύο θέματα *contour.shp* & *altitude.shp* από τα οποία παρήχθει το το ψηφιακό TIN ανάγλυφο, ενώ ως x και y τιμές αντιστοιχούν οι συντεταγμένες του κάθε σημείου σε μονάδες ΕΓΣΑ, (Χάρτης 2).

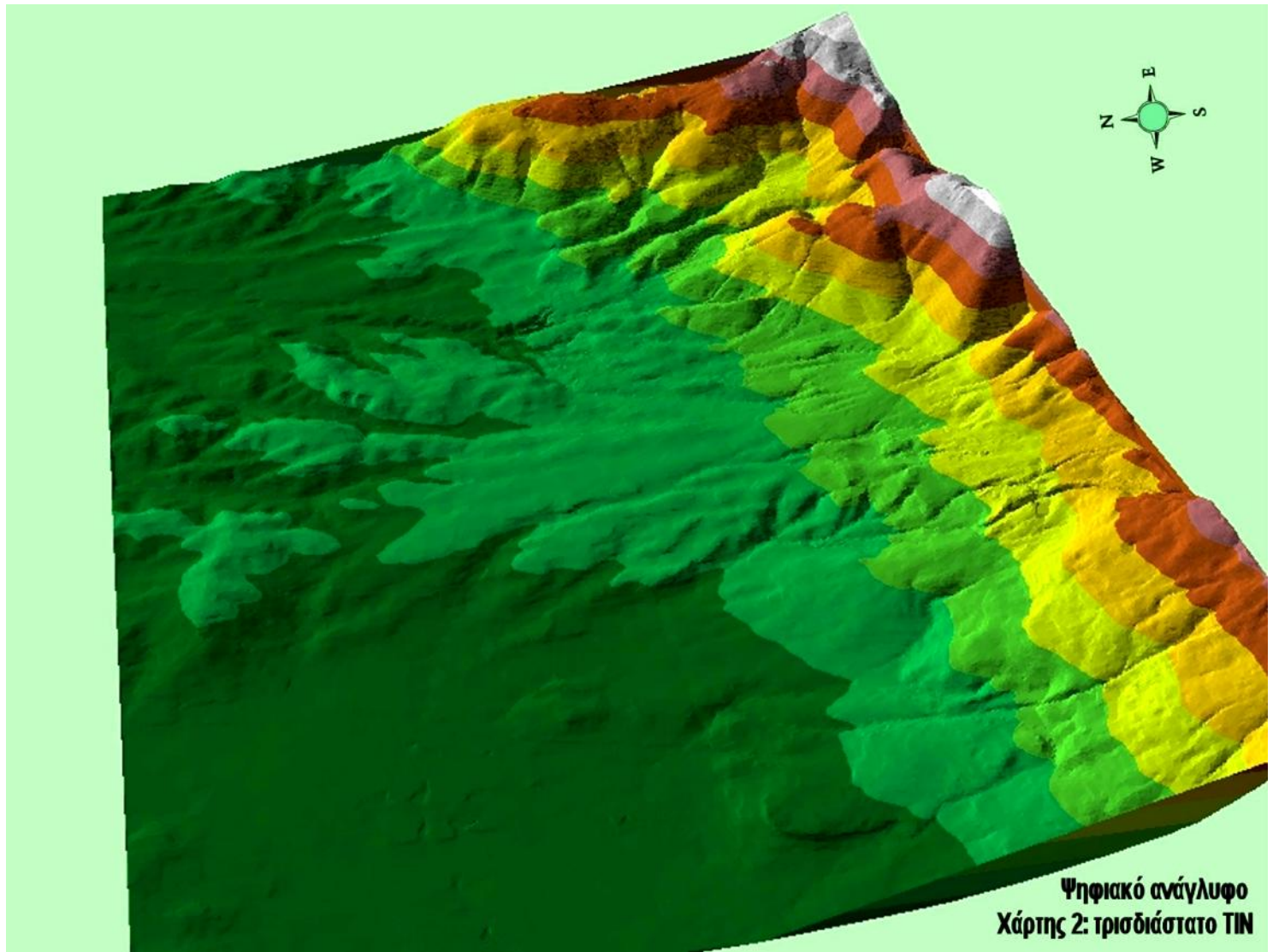
Επίσης με μία άλλη δυνατότητα του *ARCVIEW* είναι δυνατό να αναπαρασταθεί το ανάγλυφο της περιοχής με φωτοσκιάσεις (Χάρτης 4), αυτό επιτυγχάνεται από menu→surface→compute hillshade με βάση το πλεγματο θέμα **tingrd**.

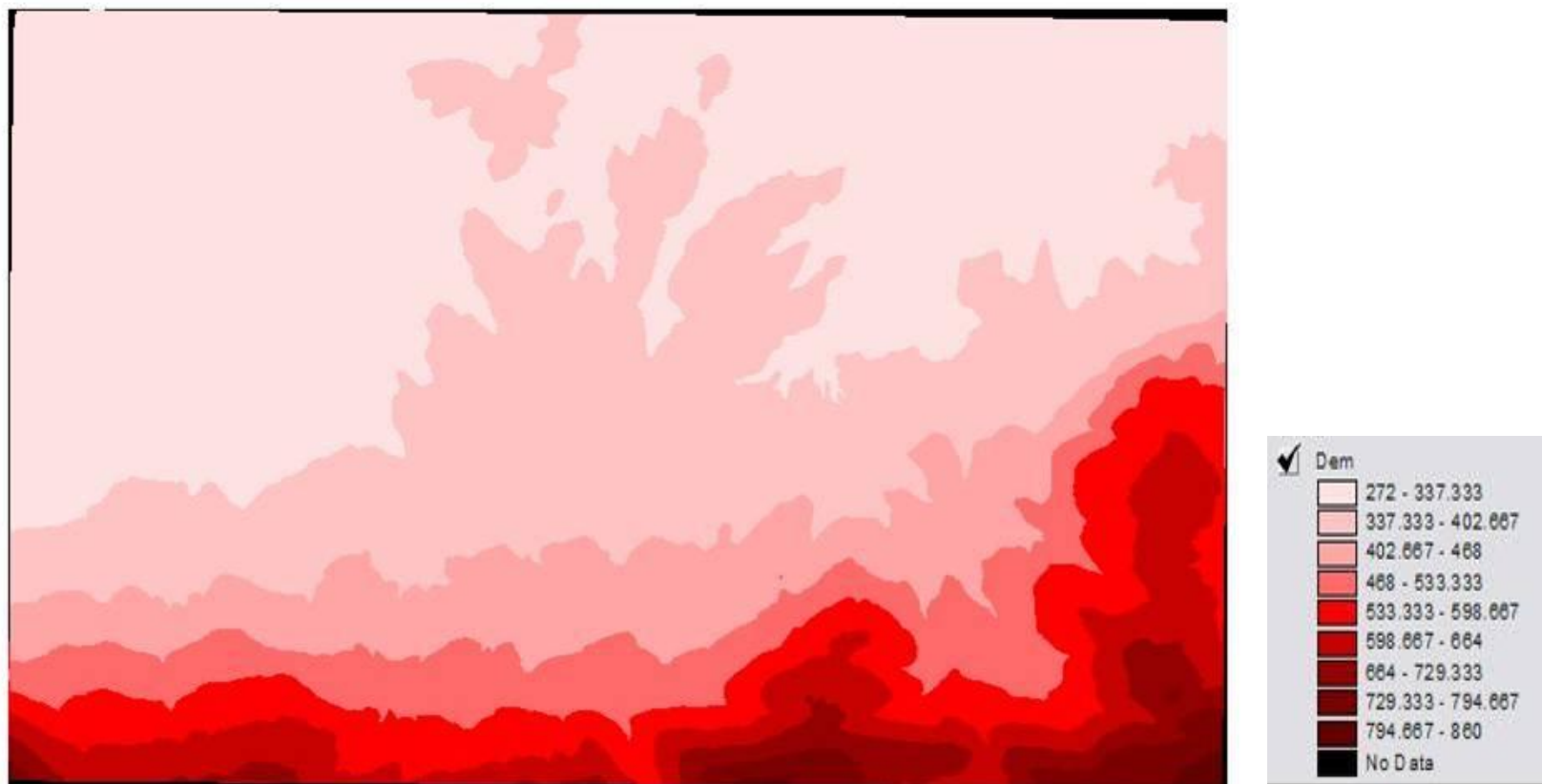
Στον παρακάτω πίνακα βρίσκεται το υπόμνημα καθορισμού των χρωμάτων ταξινόμησης για τους ψηφιακούς *χάρτες 1 και 2* που ακολουθούν:



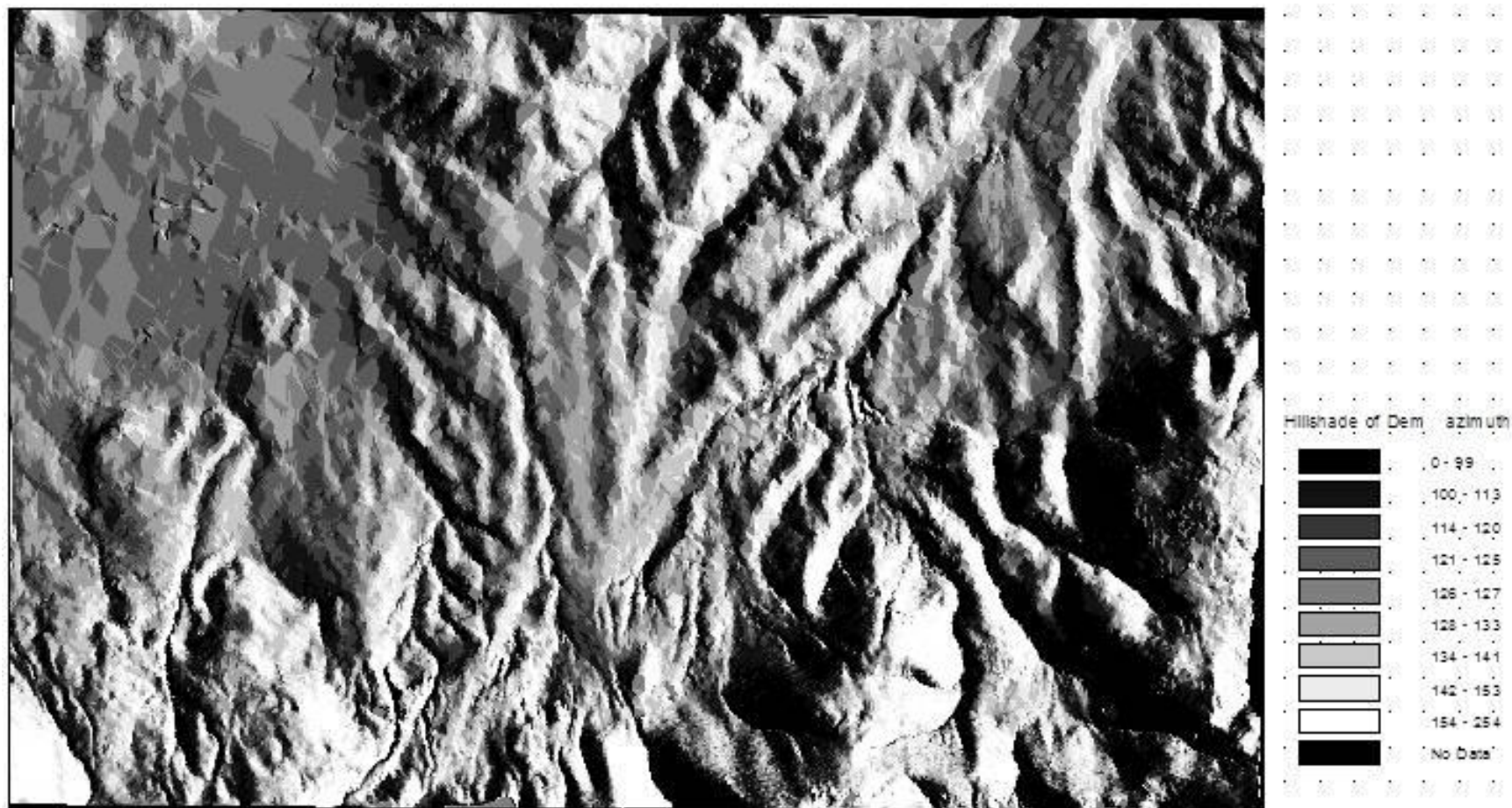


Χάρτης 1: Ψηφιακό ανάγλυφο δισδιάστατο TIN





Χαρτης 3, ψηφιακό DEM εδάφους (Digital Elevation Model)



Χάρτης 4: Φωτοσκίαση αναγλύφου

5.2.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΑΡΤΗ ΚΛΙΣΕΩΝ & ΕΚΘΕΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

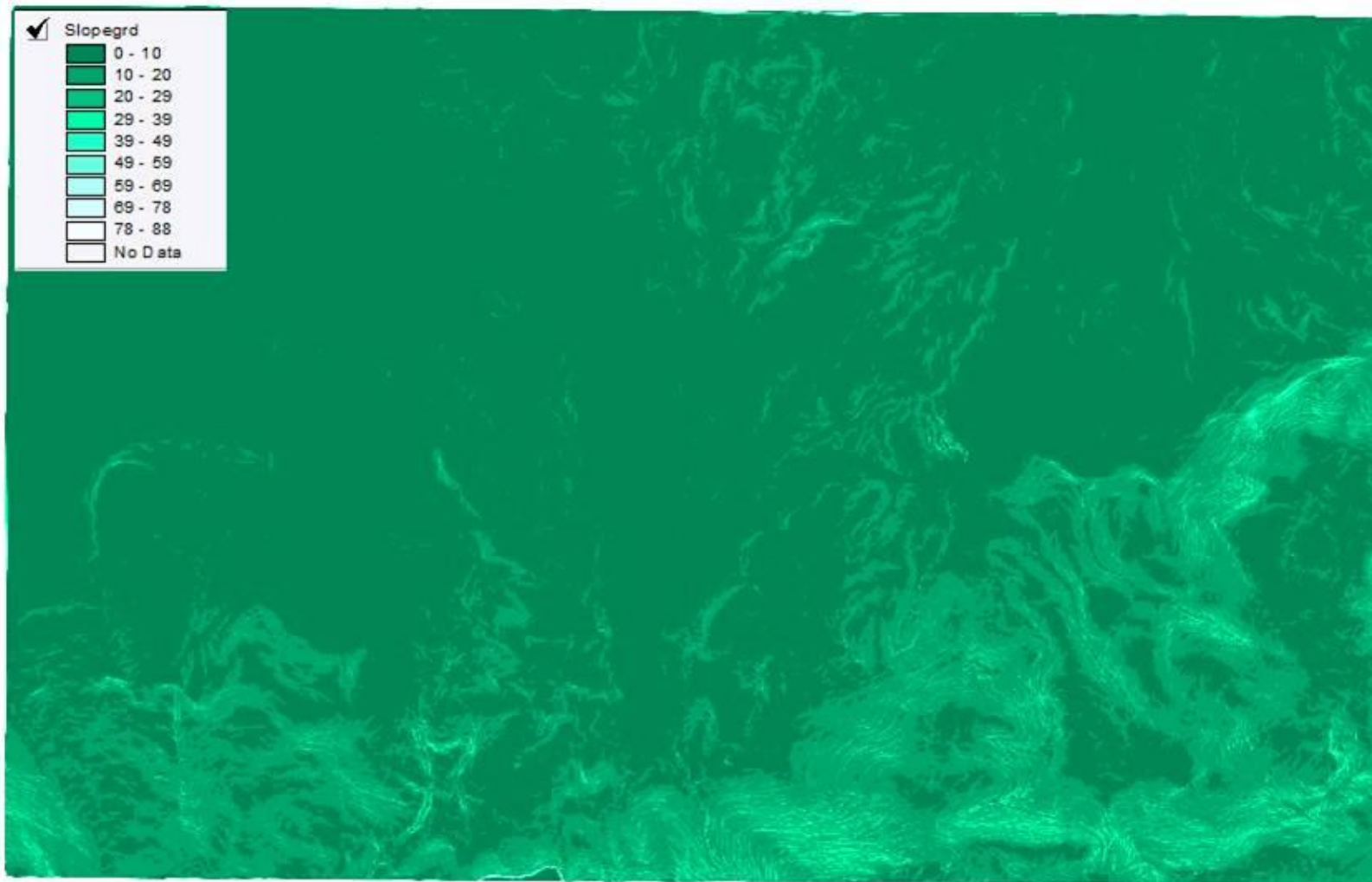
Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) χρησιμοποιήθηκε από το λογισμικό *ARCVIEW* ώστε να παραχθεί ο αναγκαίος, για τη συνέχεια, χάρτης κλίσεων της συνολικής περιοχής κατ'αρχήν.

Παρατήρηση: Κατά την διαδικασία αξιολόγησης του διαβρωτικού κινδύνου πρόκειται να επαναληφθεί αρκετές φορές η διαδικασία *convert to grid*, αυτό συμβαίνει κυρίως διότι το περιβάλλον *Arcview* στις ρουτίνες εξαγωγής νέων πλεγματικών θεμάτων δημιουργεί αρχικά προσωρινά (temporary) πλεγματικά θέματα, έτσι με την εντολή μετασχηματισμού *convert to grid*, διασφαλίζεται η μόνιμη θέση (permanent) των νέων πλεγματικών θεμάτων μέσα στο project που έχει δημιουργηθεί.

Μέσω της διαδικασίας *menu*→*surface*→*derive slope* (με θέμα αναφοράς το πλεγματικό **tingrd**) πραγματοποιείται η δημιουργία του χάρτη κλίσεων *slope of tingrd* όπου κατόπιν με *convert to grid* λαμβάνω το μόνιμο πιά *grid* θέμα **slopegrd**, (Χάρτης 5) όπου οι τιμές σε κάθε κελί του κανάβου είναι η εδαφική κλίση σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο και κυμαίνονται από 0° έως 90° (μοίρες).

Παρόμοια δημιουργείται και ο χάρτης έκθεσης του εδάφους με την εντολή *derive aspect* και παίρνω το *aspect of tingrd* και μετά την μετατροπή, σε μόνιμο πλεγματικό **aspegrd**, (Χάρτης 6), όπου οι τιμές σε κάθε κελί του κανάβου υποδηλώνουν την αζιμουθιακή γωνία έκθεσης του εδάφους με τιμές από 0°- 360°.

Σημειώνεται ότι η νοητή διεύθυνση έκθεσης του εδάφους σε μία συγκεκριμένη περιοχή είναι πάντα κάθετη σ'αυτή των ισοϋψών της ίδιας περιοχής. (Βλέπε και **κεφάλαιο 4, παραγρ. 4.10.1**).



Χάρτης 5, κλίσεις του εδάφους (σε μοίρες)



Χάρτης 6, έκθεση του εδάφους

5.2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΩΝ

Στο επόμενο στάδιο ακολουθεί αρχικά ο υπολογισμός της διεύθυνσης των γραμμών άροσης του κάθε αγροτεμαχίου.

Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται το script⁸ “*maxorient*” (υπολογιστικό πρόγραμμα σε γλώσσα προγραμματισμού *Avenue*). Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η παρακάτω:

A - Από το project window του *Arcview* επιλέγω το εικονίδιο (έγγραφο) *scripts* και κατόπιν δίνω την εντολή *load text file* και εισάγω το ειδικό script .

B - Ενεργοποιώ το script με την εντολή *compile* και έχοντας ενεργοποιημένο το θέμα *crops.shp* δίνω την εντολή *run* (F5) και δημιουργούνται στην βάση δεδομένων του θέματος κάποια νέα πεδία, μεταξύ αυτών και το πεδίο του προσανατολισμού (*bearing*)³

Γ - Κατόπιν εκτελώ *convert to grid* , μετατρέπω δηλαδή το θέμα *crops.shp* σε πλεγματοειδές με μέγεθος κελιού κανάβου 2x2 μέτρα και τιμές χαρακτηρισμού των κελιών αυτές του νέου πεδίου, προσανατολισμού (*bearing*). Το παραγόμενο πλεγματοειδές θέμα ονομάζεται **cropgrd**.(Χάρτης 7)

Δ - Στη συνέχεια με ενεργοποιημένο το *cropgrd* θέμα ακολουθώ την διαδικασία *menu*→*analysis*→*map calculator* και θέτω ως έκφραση:

$(([cropgrd]-[aspegrd]).ABS)$, έτσι βρίσκω για κάθε κελί του πλεγματοειδούς θέματος *cropgrd* την τιμή, (σε μοίρες), της απόλυτης διαφοράς της γωνίας προσανατολισμού των αγροκτημάτων από την αντίστοιχη γωνία έκθεσης του εδάφους⁹. Κατόπιν κάνω *convert to grid* και το παραγόμενο πλεγματοειδές θέμα το ονομάζω **diffgrd** , (χάρτης 8)

Η λειτουργία *map calculator* στο περιβάλλον *Arcview* βοήθησε σημαντικά στην επίτευξη του βασικού σκοπού της παρούσας εργασίας, γι'αυτό το λόγο ακολουθεί ως παρένθεση μία συνοπτική περιγραφή του τρόπου λειτουργίας της εν λόγω ρουτίνας.

⁸ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε ενότητα 5.3

⁹ Παραστατική περιγραφή στο κεφάλαιο 4, ενότητα. 4.11

Λειτουργία, map calculator

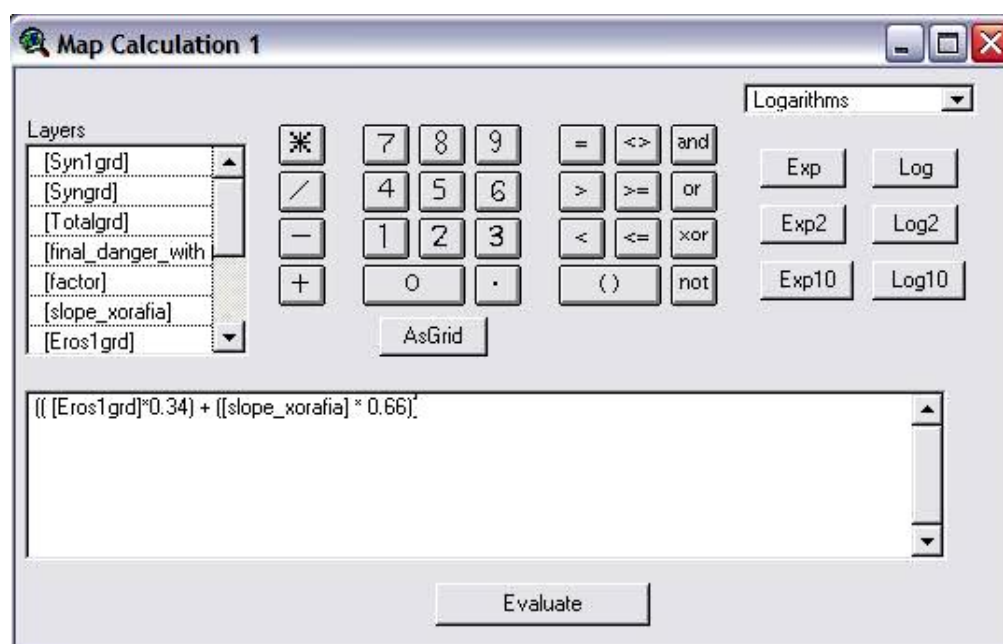
Η ρουτίνα *map calculator* μπορεί και διαχειρίζεται με επιτυχία πλεγματοκά θέματα και εξάγει ένα νέο με βάση μία λογική έκφραση του επιδιωκόμενου νέου grid. Τα βασικά βήματα είναι τρία:

1. Από το Analysis menu, επιλέγω Map Calculator.
2. Το μενού διαλόγου του Map Calculator βοηθά στην δημιουργία μιας έκφρασης η οποία και δρα καταλυτικά στην δημιουργία του επιδιωκόμενου νέου grid θέματος. Η έκφραση-περιγραφή μπορεί να στηριχθεί σε ένα grid θέμα ή σε πολλαπλά grids. Σαν βοήθεια στην δημιουργία της έκφρασης-περιγραφής του νέου grid, υπάρχουν πέντε γκρουπ εισαγωγής στοιχείων στο μενού διαλόγου του Map Calculator.

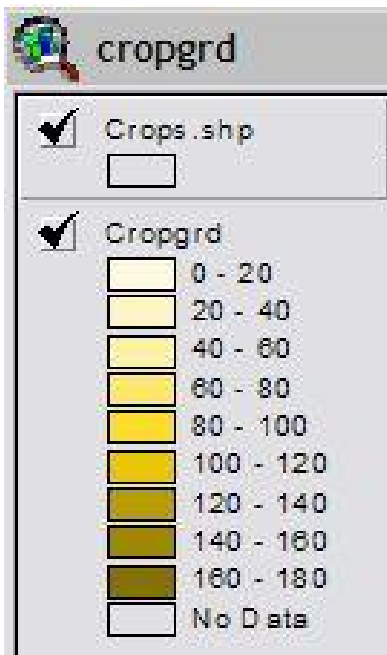
Το πρώτο είναι μία λίστα από τα διαθέσιμα *grid* θέματα στο ενεργό view του περιβάλλοντος λειτουργίας *Arcview*, το δεύτερο είναι λειτουργικά αριθμητικών πράξεων κουμπιά, το τρίτο είναι ένα πλαίσιο αριθμών, το τέταρτο είναι ένα γκρούπ λειτουργίες σύγκρισης και λογικών συγκρίσεων και το πέμπτο είναι μία σειρά από μαθηματικές συναρτήσεις (Λογαριθμικές, αριθμητικές, τριγωνομετρικές, εκθετικές) buttons.

3. Επιλέγω *Evaluate* για την επίλυση.

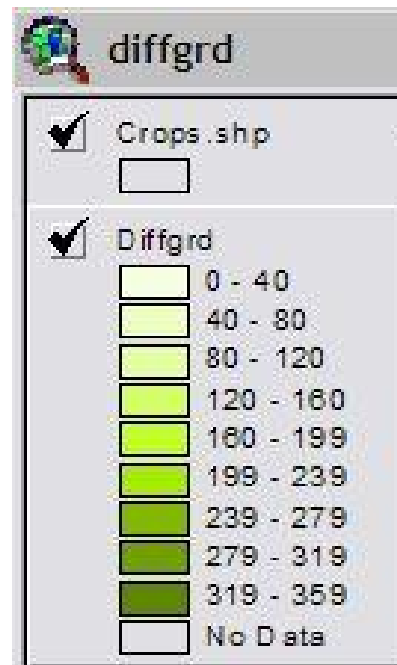
Παράδειγμα



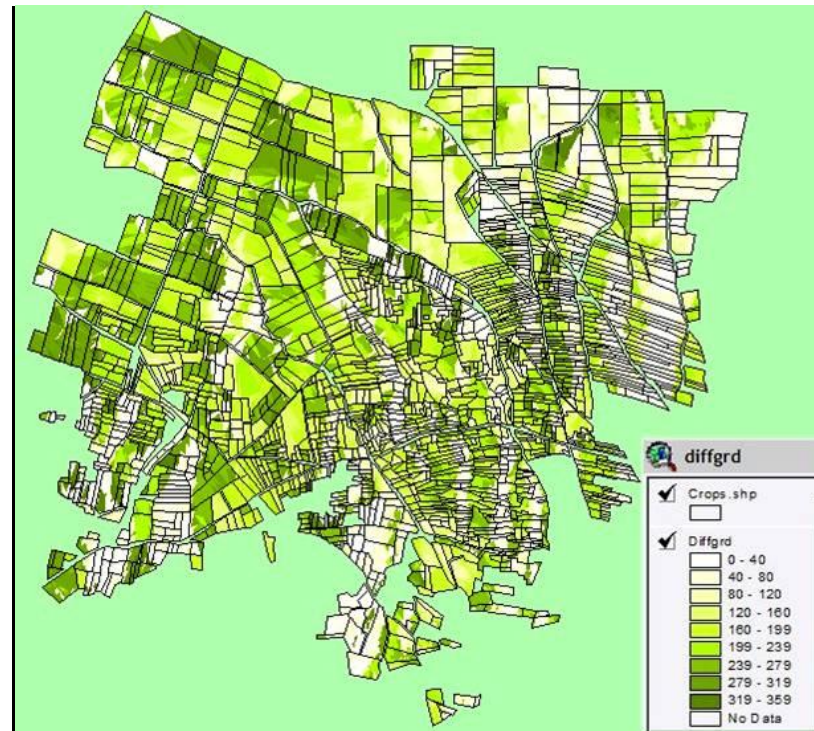
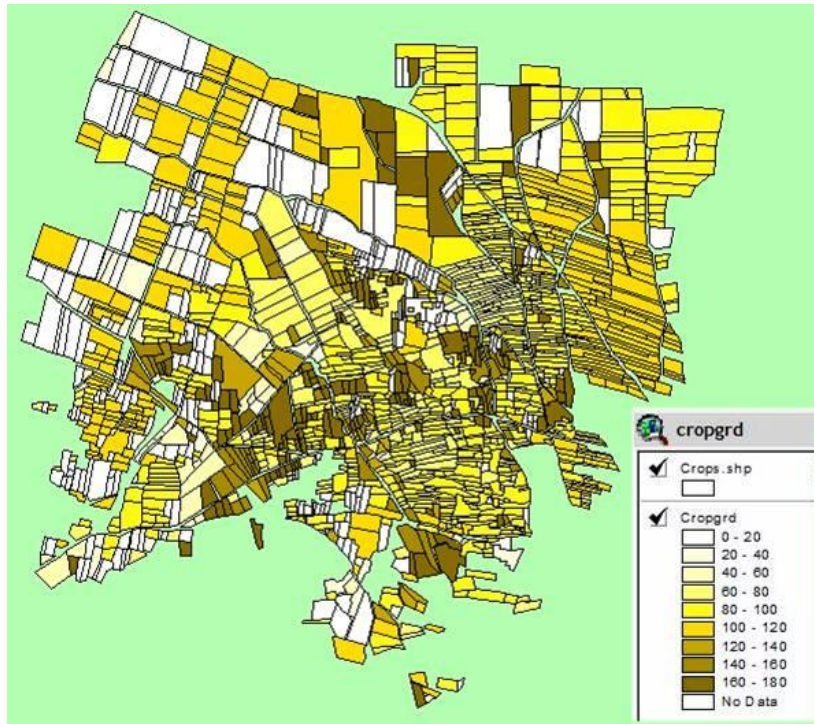
Υπόμνημα χάρτη, **cropgrd** (μοίρες)



Υπόμνημα χάρτη, **diffgrd** (διαφορές σε μοίρες)



ΑΚΟΛΟΥΘΟΥΝ ΟΙ 2 ΧΑΡΤΕΣ *Cropgrd* & *Diffgrd*



Cropgrd

/

diffgrd

E – Ακολουθεί άλλη μία διαδικασία με χρήση της ρουτίνας *map calculator*, όπου για το επιδιωκόμενο grid θέμα χρησιμοποιείται η έκφραση¹⁰: $(([diffgrd]*\pi/180).COS).ABS$.

Σε αυτό το στάδιο βρίσκω τον κίνδυνο διάβρωσης λόγω *προσανατολισμού*, (των γραμμών άροσης των αγροτεμαχίων σε σχέση με τις ισοϋψείς). Κατόπιν δίνω την εντολή *convert to grid* και δημιουργείται το θέμα **erosgrd**, (κεφάλαιο 6, χάρτης 9).

Z – Επόμενο στάδιο που ακολουθεί είναι η εύρεση του εύρους και της ποικιλίας των εδαφικών κλίσεων, (σε μοίρες), που επικρατούν μέσα στα αγροτεμάχια ενδιαφέροντος. Χρησιμοποιώ ξανά το *map calculator* με την εισαγωγή μίας έκφρασης προσδιορισμού του νέου grid θέματος: $([slopegrd]*[cropgrd]/[cropgrd])$, έτσι απομονώνω τις εδαφικές κλίσεις αποκλειστικά μέσα στα αγροτεμάχια ενδιαφέροντος. Αφού εκτελέσω *convert to grid* το νέο grid θέμα το ονομάζω **slope_at_crops**.

H – Κατόπιν ακολουθεί η μετατροπή των προσδιορισθέντων κλίσεων από μοίρες σε επί τοις εκατό (%) εδαφικές κλίσεις και ταυτόχρονα η εκτίμηση του κινδύνου διάβρωσης για τον παράγοντα *εδαφική κλίση*. Χρησιμοποιώ για άλλη μία φορά το *map calculator* εισάγοντας την έκφραση⁵:

$([slope_at_crops]*3.14/1.8).Tan*4$ και αφού κάνω *convert to grid* ονομάζω το νέο πλεγματοεικό θέμα **slogrd**, (κεφάλαιο 6, χάρτης 10)

Θ – Τέλος ακολουθεί η εξαγωγή του τελικού πλεγματοεικού θέματος πρόβλεψης του συνολικού διαβρωτικού κινδύνου συνδυάζοντας και τους δύο παράγοντες που υπεισέρχονται στην παρούσα μελέτη οι οποίοι και διαμορφώνουν τον κίνδυνο διάβρωσης και είναι η *εδαφική κλίση* και ο *προσανατολισμός-διεύθυνση* των γραμμών άροσης κατά τις ισοϋψείς.

Έτσι στο τελικό *map calculator* εισάγω την έκφραση:

$[slogrd]*0,58+[erosgrd]*0,42$, όπου 0,58 και 0,42 οι αντίστοιχοι συντελεστές συνεισφοράς-βαρύτητας¹¹ για τους δύο παράγοντες. Αφού κάνω ένα τελευταίο *convert to grid* το παραγόμενο πλεγματοεικό θέμα το ονομάζω **final**, (κεφάλαιο 6, χάρτης 11).

¹⁰ Λεπτομέρειες στο κεφάλαιο 4, ενότητα 4.8

¹¹ Περισσότερα στο κεφάλαιο 4, ενότητα 4.9

5.3 Χρήση γλώσσας *Avenue*

5.3.1 Σκοπός

Στην προσπάθεια υπολογισμού της διεύθυνσης προσανατολισμού των γραμμών άρωσης των υπό μελέτη αγροτεμαχίων έγινε η λογική παραδοχή ότι η κατεύθυνση των γραμμών άρωσης θα ακολουθεί την μακρύτερη πλευρά σε κάθε αγροτεμάχιο.

Αυτό συμβαδίζει και με την σύγχρονη γεωργική πρακτική για τις αροτριάες καλλιέργειες όπου κατά συντριπτική πλειοψηφία τα χωράφια οργώνονται με αυτόν τον τρόπο. Επίσης στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε ύστερα από επιτόπια έρευνα της περιοχής, όπως επίσης και μετά από προσεκτική παρατήρηση λεπτομερών πρόσφατων αεροφωτογραφιών της περιοχής μελέτης.

Όπως προαναφέρθει στην παράγραφο 5.1 ήταν αναγκαίο να γνωρίζουμε το αζιμούθιο της μακρύτερης πλευράς του κάθε αγροτεμαχίου προκειμένου να ενσωματωθεί στα βήματα πρόβλεψης του τελικού κινδύνου εδαφικής διάβρωσης.

Ο υπολογισμός αυτός, του αζιμούθιου της πλευράς αναφοράς για κάθε αγροτεμάχιο, έγινε δυνατός με την χρησιμοποίηση ενός προγράμματος ελέγχου, το οποίο δημιουργήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού *Avenue* συμβατή με το περιβάλλον *Arcview* στο οποίο αναπτύχθηκε η παρούσα εργασία. Το πρόγραμμα αυτό είναι υπό μορφή script και αυτοματοποιεί πλήρως την διαδικασία υπολογισμού του αζιμούθιου των αγροτεμαχίων.

Παρακάτω δίνεται συνοπτικά ο τρόπος λειτουργίας του script όπως επίσης αποτυπώνονται με αναλυτικό τρόπο η αλληλουχία των εντολών της γλώσσας προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε (*Avenue*).

5.3.2 Τρόπος Λειτουργίας

Γενικά προσδιορίζει τον προσανατολισμό των πλευρών των αγροτεμαχίων. Σε εφαρμογές που έγιναν σε δείγμα αποτελούμενο από 100 μικρά αγροτεμάχια υπήρξε μία ανταπόκριση του script με ποσοστό ταιριάσματος-ταύτισης 84% μεταξύ των παρατηρούμενου προσανατολισμού των πλευρών των χωραφιών και των αντίστοιχων προβλεπομένων από το *script*¹.

Υπολογίζει για κάθε πολυγωνα το μήκος και τον προσανατολισμό της μακρύτερης σε μήκος πλευράς του.

Αυτό το script σχεδιάστηκε για να λειτουργήσει στα πολύγωνα που έχουν κανονικές γεωμετρικές μορφές (όπως τα γεωργικά τεμάχια).

Ταυτόχρονα δημιουργεί αντίστοιχα πεδία, *μέγιστου μήκους*, *μέσου μήκους πλευράς* αγροτεμαχίου και *προσανατολισμού* του αγροτεμαχίου, στην Βάση Δεδομένων του shapefile (πολυγωνικού θέματος) το οποίο επεξεργάζεται όπου στην τωρινή εργασία είναι το **Crops.shp**



Shape	Id	Area	Max_length	Mean_lengt	Bearing_*
-------	----	------	------------	------------	-----------

Φέρουσες τιμές: από **0** σε **179.99°** (μοίρες)

0° για Βορρά-Νότο ή Νότο-Βορρά

45° για το ΒόρειοΑνατολικά ή ΝοτιοΔυτικά

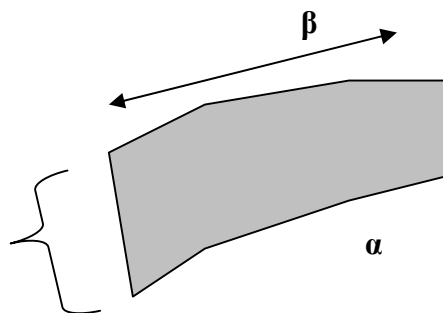
90° για Ανατολή-Δύση ή Δύση-Ανατολή

135° για ΝοτιοΑνατολικά ή ΒόρειοΔυτικά.

¹ File NameAS10581.zip
GIS-TOOLS, Copyright © ESRI
(Author: Vincent Guissard)

Παρατηρήσεις

Συμβαίνει ο εκτιμητής *bearing* των αγροτεμαχίων του script να υπολογίζει μερικές φορές τον προσανατολισμό των γραμμών άροσης κάθετο στην αναμενόμενη διεύθυνση. Για παράδειγμα έχουμε το παρακάτω χωράφι



Σε αυτή την περίπτωση το script θεωρεί ότι η μεγαλύτερη πλευρά του χωραφιού που θα θεωρηθεί και ως πλευρά αναφοράς είναι η **α** πλευρά. Αυτό συμβαίνει σε περιπτώσεις χωραφιών που δεν έχουν απόλυτα γεωμετρικά κανονικό σχήμα, όπου παρόλο μακροσκοπικά η διεύθυνση άροσης του αγροκτήματος δείχνει να ορίζεται από την **β** πλευρά αυτό δεν συμβαίνει λόγω κατακερματισμού της ευθυβολίας της πλευράς, δηλαδή της αλλαγής της διεύθυνσης της **β** πλευράς έστω και για μία μοίρα. Σ' αυτή την περίπτωση το πρόγραμμα σταματά να υπολογίζει την μέχρι εκείνη την στιγμή υποτιθέμενη μακρύτερη πλευρά του χωραφιού και ξεκινά νέα μέτρηση μήκους πλευράς στις νέες μοίρες προσανατολισμού.

Πάντως το φαινόμενο αυτό παρουσιάστηκε σε αμελητέο ποσοστό αφού αφού προηγήθηκε προσεκτική ψηφιοποίηση των χρήσεων γης με προτεραιότητα στη κανονικότητα των πολυγώνων που παρήχθησαν τελικά. Έτσι το ποσοστό ευστοχίας του script στην εκτίμηση της διεύθυνσης ήταν πολύ υψηλό και σίγουρα υψηλότερο από το 84% (κατά **Vincent Guissard**).

5.3.3 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ *script* “MaxOrient”

```
' Name: maxorient.ave
' Author : Guissard Vincent (guissard@mila.ucl.ac.be)
' Organisation : UCL-MILA (University of Louvain,
Belgium)
' http://www.mila.ucl.ac.be/logistique/sig/
' Date : 16-05-2001
' Version : 1.1
' Title: Calculate for each poly the length and bearing
of it's longest heddge
' Topics: Indice, Analysis
' Description: the first active theme of the view must be
a polygon theme.
' Calculates for the first active theme's polygons
' the length and bearing of it's longest hedge.
' Put the resuts as new fields in the theme attribute
table
theTheme = av.GetActiveDoc.GetActiveThemes.Get(0)
theFTab = theTheme.GetFTab

ShpFld = theFTab.FindField("shape")

' ### Crea new fields ###
theFTab.StartEditingWithRecovery
fld1 = theFTab.FindField("Max_length")
if (fld1 = nil) then
    fld1 = Field.Make ("Max_length", #FIELD_DECIMAL, 18, 2)
    theFTab.AddFields({fld1})
end
fld2 = theFTab.FindField("Mean_length")
if (fld2 = nil) then
    fld2 = Field.Make ("Mean_length", #FIELD_DECIMAL, 18, 2)
    theFTab.AddFields({fld2})
end
fld3 = theFTab.FindField("Bearing(°)")
if (fld3 = nil) then
    fld3 = Field.Make("Bearing(°)", #FIELD_DECIMAL, 5, 2)
    theFTab.AddFields({fld3})
end

'### For each polygon ###
for each rec in theFTab
    ptlist = theFTab.ReturnValue(ShpFld,
rec).AsPolyLine.AsMultipoint.AsList
    ptNumb = ptlist.count

    theFinal = ptNumb - 2
```

```

theSum = 0
theMax = 0
ptMax = 0
'### For each polygon point ###
'# Calculate segment length with next point
'# Sum all the calculated length
'# Store maximum length in "theMax"
'# Store first point position in "ptMax"
for each pt in 0 .. theFinal
    pt2 = pt + 1
    theLength = ptlist.Get(pt).distance(ptlist.Get(pt2))
    theSum = theSum + theLength
    if (theLength > theMax) then
        theMax = theLength
        ptMax = pt
    end
end
    theMean = theSum/theFinal
theFTab.setvalue(fld1,rec, theMax)
theFTab.setvalue(fld2,rec, theMean)

'### Calculate bearing for max length polygon's hedge
###
pt1 = ptlist.Get(ptMax)
pt2 = ptlist.Get(ptMax + 1)

dx = pt2.GetX - pt1.GetX
dy = pt2.GetY - pt1.GetY

if ((dx <> 0) and (dy <> 0)) then
    theTang = dx / dy
    theAngle = theTang.ATan.AsDegrees
    if (theAngle < 0) then
        theAngle = theTang.ATan.AsDegrees + 180
    end
else
    if ((dx = 0) and (dy = 0)) then
        theAngle = - 999
    else
        if (dx = 0) then
            theAngle = 0
        else
            theAngle = 90
        end
    end
end
end

theFTab.setvalue(fld3,rec, theAngle)

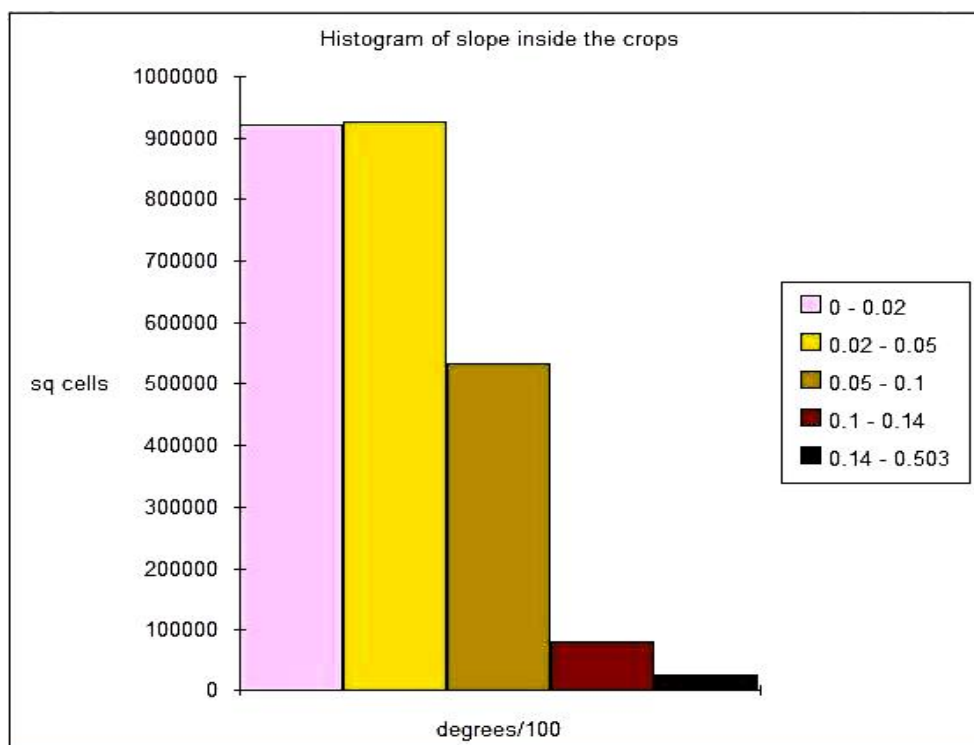
end
theFTab.StopEditingWithRecovery (TRUE)

```

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αρχικά παρατηρούμε ότι οι κλίσεις που επικρατούν στην περιοχή μελέτης, εντός της έκτασης που καταλαμβάνουν τα αγροτεμάχια, είναι στην πλειοψηφία τους ήπιες έως μέτριες. Σημειώνεται ότι η έκταση που καλύπτει η περιοχή αυτή (αγροτεμάχια και χέρσες περιοχές) φθάνει τα 10.000 στρέμματα γης. Ακολουθεί μία ταξινόμηση των κλίσεων που επικρατούν καθώς και οι αντίστοιχες εκτάσεις που καταλαμβάνουν:

ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ 1

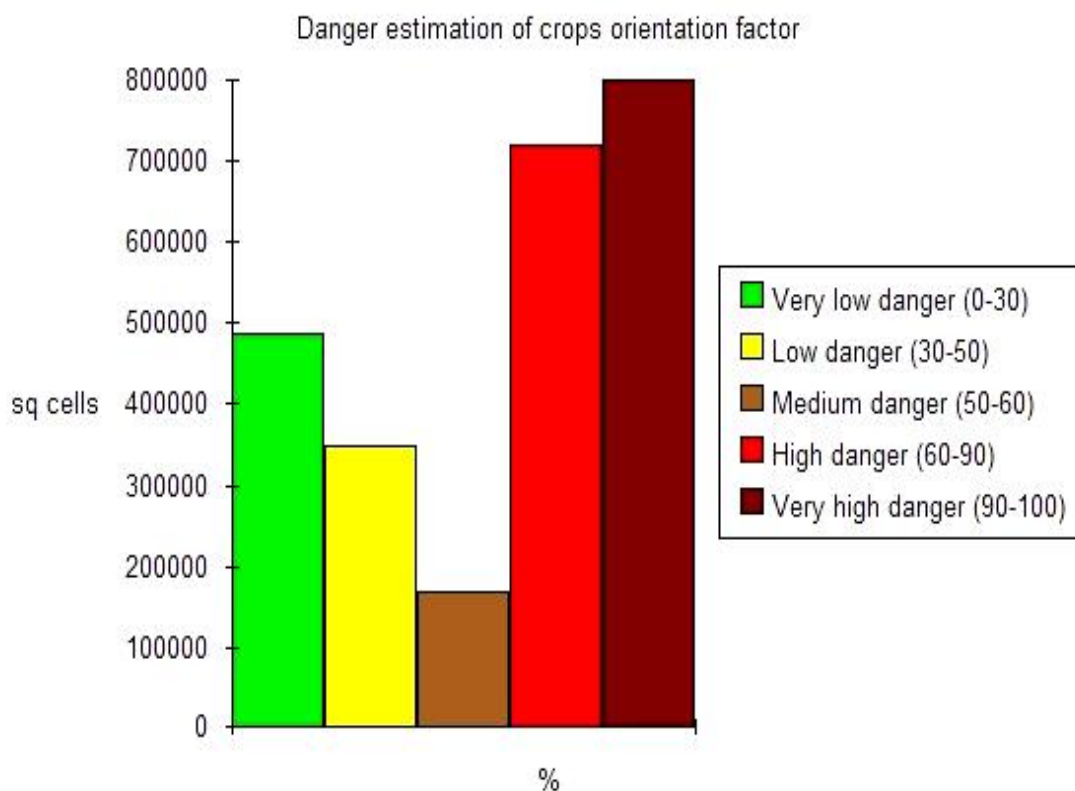


Κλίση (°)	Έκταση (στρέμματα)
0-2	3.685
2-5	3.709
5-10	2.131
10-14	3.258
>14	1.052

Υπόμνημα ιστογράμματος 1

Ακολουθεί η εκτίμηση του διαβρωτικού κινδύνου εντός των χρήσεων γης, για τον παράγοντα *διεύθυνση γραμμών άροσης σε σχέση με τις ισοϋψείς*

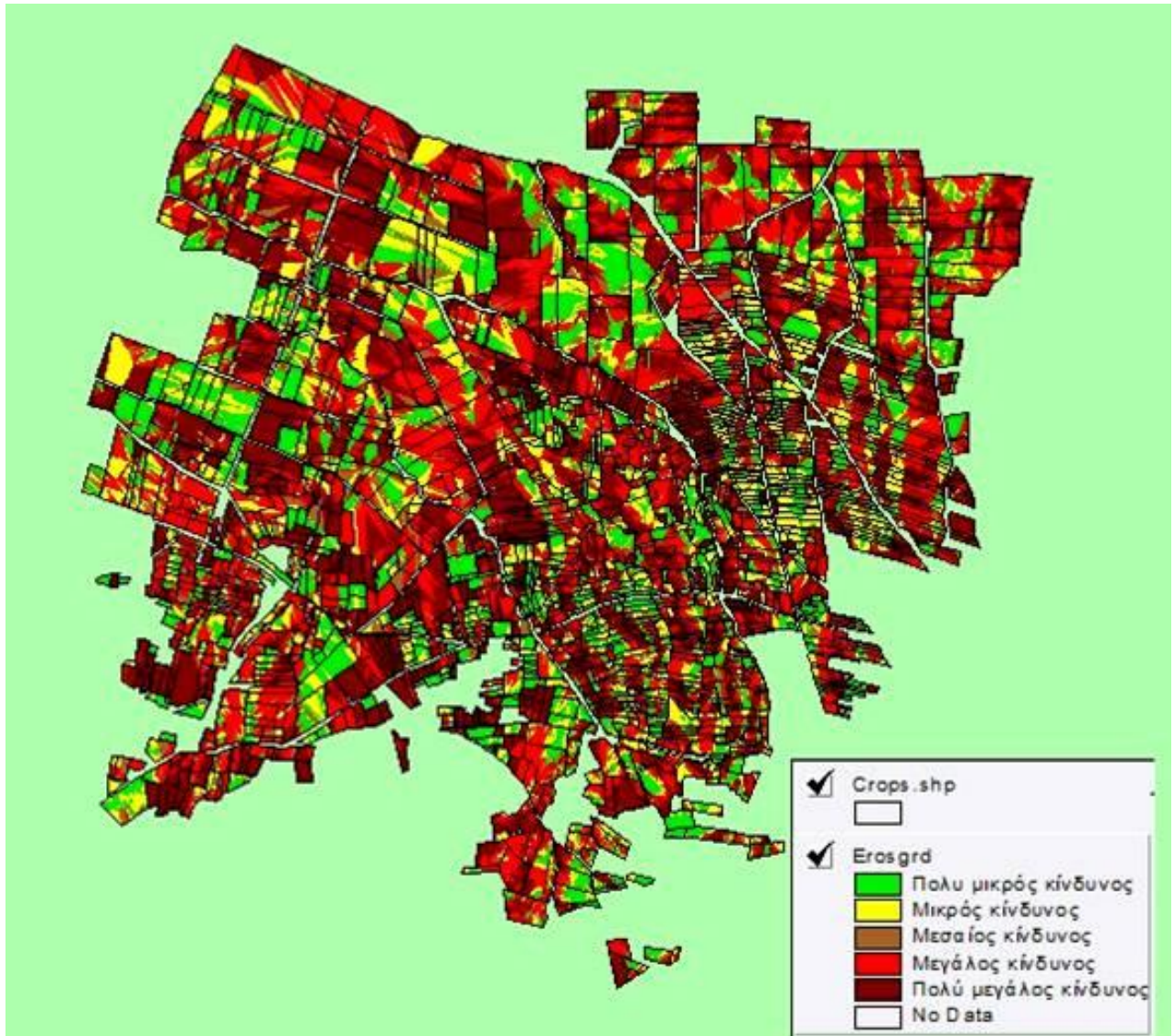
ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ 2



Κίνδυνος %	Έκταση (στρέμματα)	% ποσοστό
0-30	1947	19,3
30-50	1392	13,8
50-60	671	6,7
60-90	2875	28,5
90-100	3200	31,7

Υπόμνημα ιστογράμματος 2

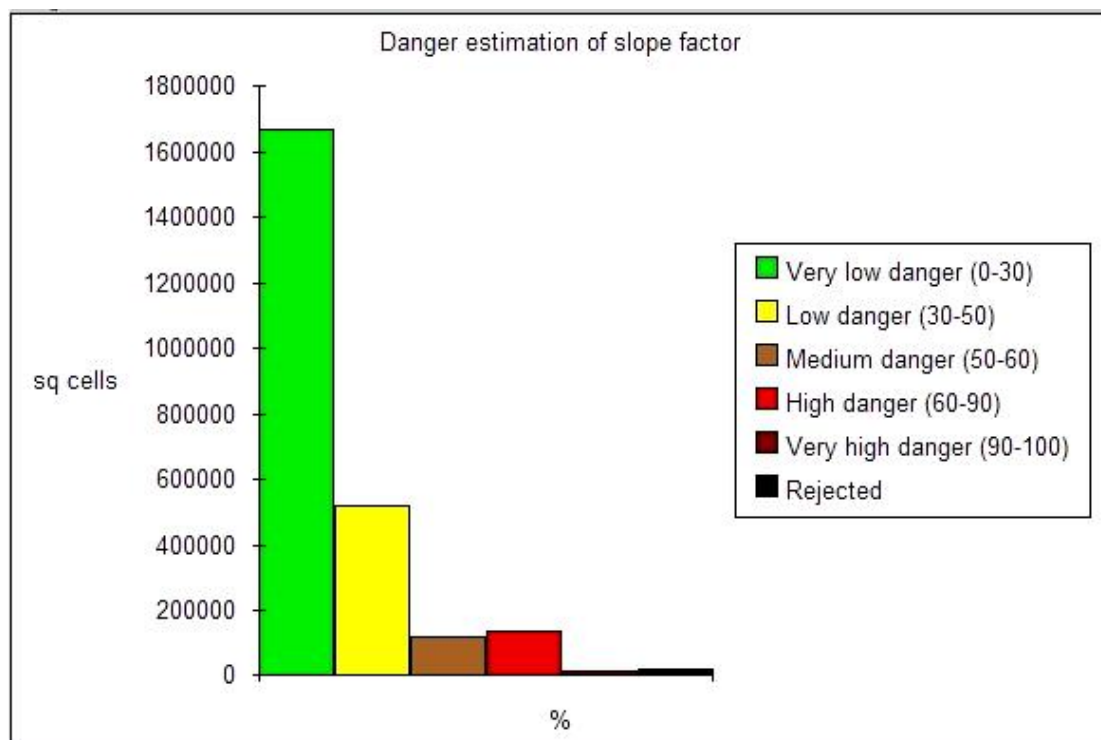
Ακολουθεί ο **χάρτης 9** χωρικής κατανομής του κινδύνου διάβρωσης για τον παραπάνω παράγοντα εντός των χρήσεων γης



Χάρτης 9, εκτίμηση του διαβρωτικού κινδύνου εντός των χρήσεων γης, για τον παράγοντα *διεύθυνση γραμμών άροσης σε σχέση με τις ισοϋψείς*

Ακολουθεί η εκτίμηση του διαβρωτικού κινδύνου για τον παράγοντα
εδαφική κλίση εντός των χρήσεων γης

ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ 3

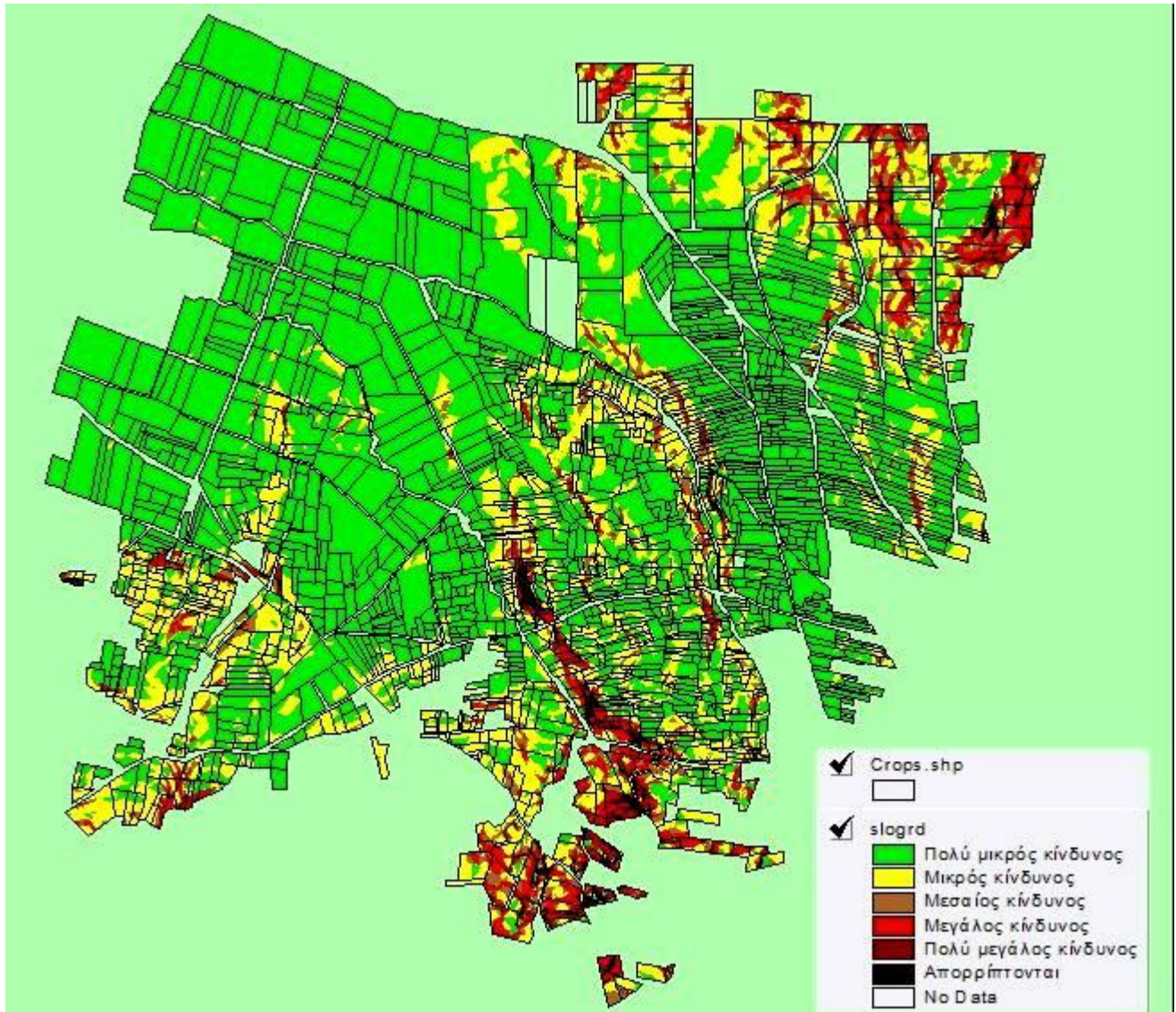


Κίνδυνος %	Έκταση (στρέμματα)	% ποσοστό
0-30	6674	67
30-50	2078	20,8
50-60	482	4,8
60-90	556	5,6
90-100	60	0,6
Απορριπτέα	103	1,2

Υπόμνημα ιστογράμματος 3

Τα απορριπτέα ποσοστά αντιστοιχούν σε εδάφη με κλίσεις μεγαλύτερες από 25% και θεωρούνται πολύ δυσχερείς για την γεωργία.

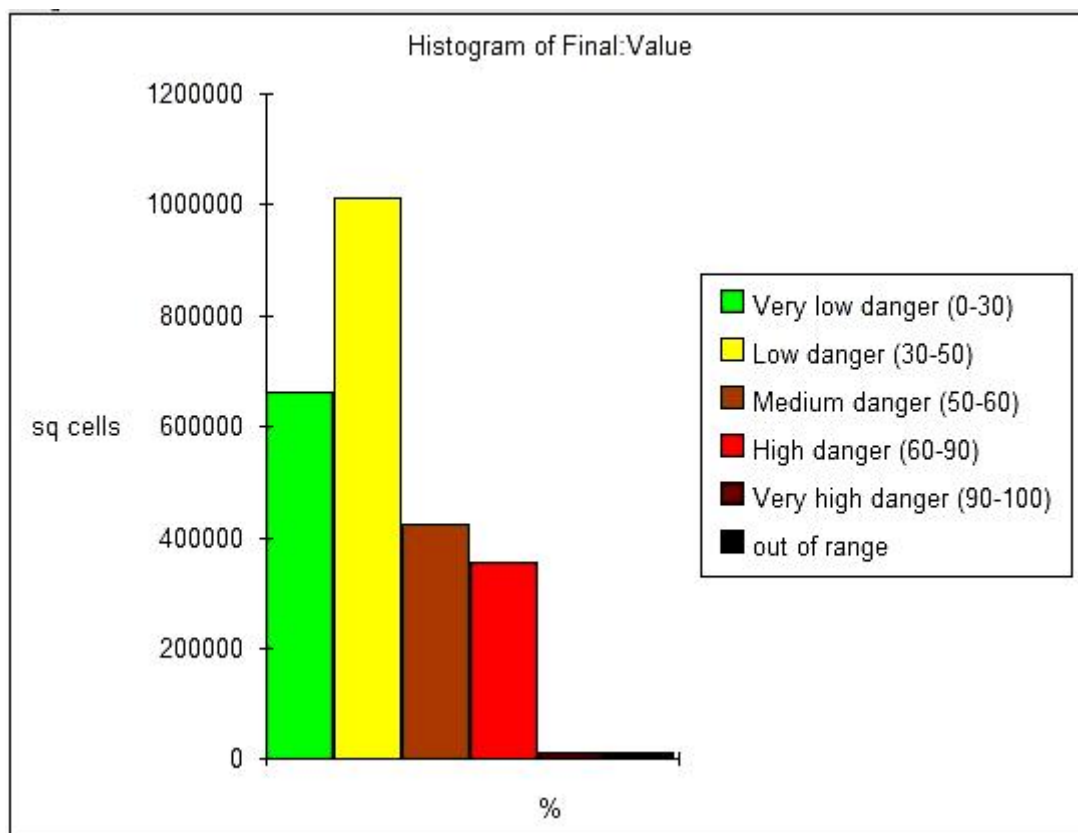
Ακολουθεί ο **χάρτης 10** χωρικής κατανομής του κινδύνου διάβρωσης για τον παραπάνω παράγοντα εντός των χρήσεων γής



Χαρτης 10, εκτίμηση του διαβρωτικού κινδύνου για τον παράγοντα
εδαφική κλίση

Ακολουθεί η εκτίμηση του *συνολικού διαβρωτικού κινδύνου* εντός των χρήσεων γης

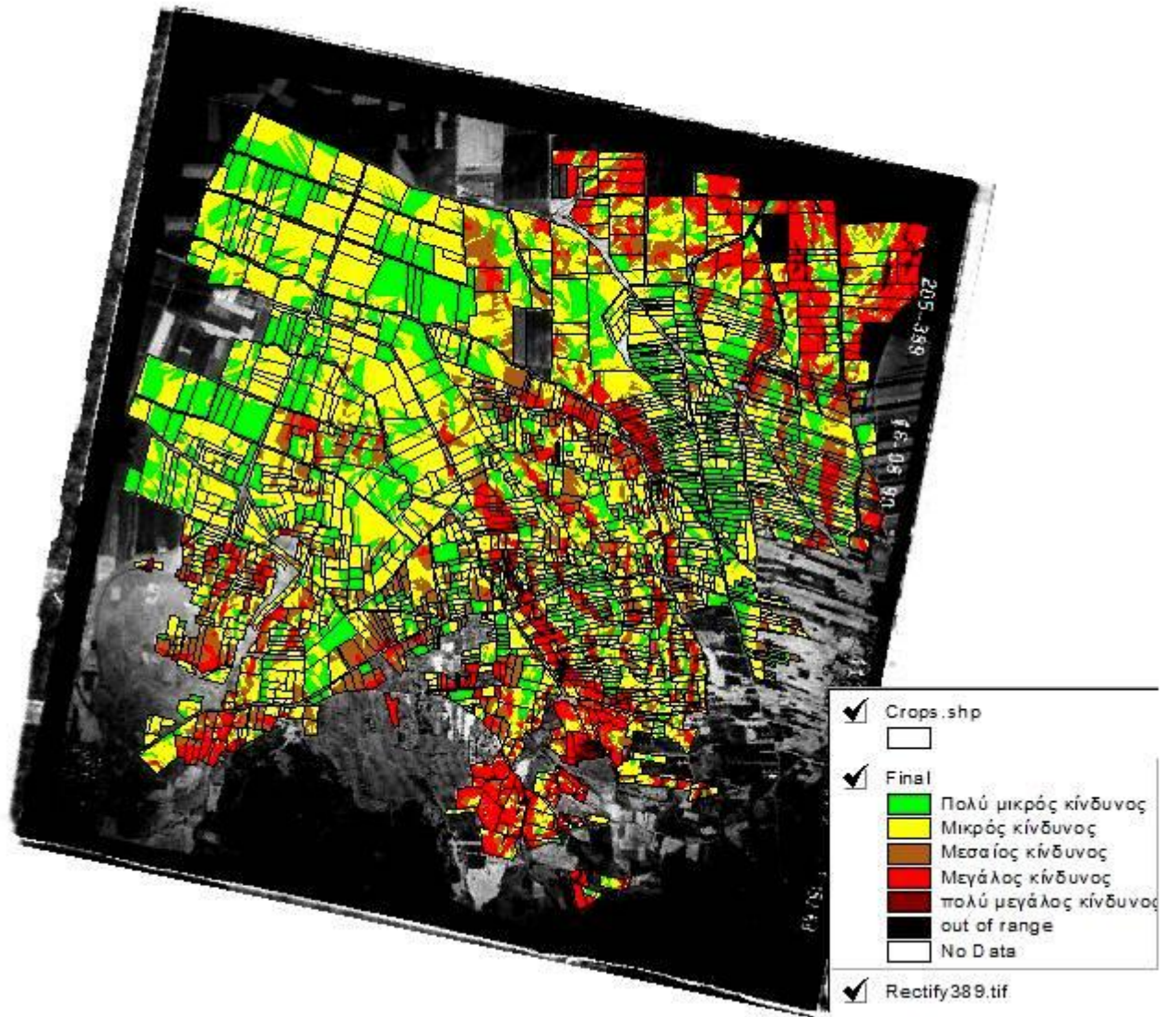
ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ 4



Κίνδυνος %	Έκταση (στρέμματα)	% ποσοστό
0-30	2658	26,7
30-50	4046	40,7
50-60	1706	17,1
60-90	1430	14,4
90-100	62,5	0,6
Απορριπτέα	54	0,5

Υπόμνημα ιστογράμματος 4

Ακολουθεί ο **χάρτης 11** χωρικής κατανομής του *συνολικού κινδύνου* διάβρωσης. Επίσης στο κεφάλαιο 7-παραρτήμα υπάρχει και ο *χάρτης χωρικής κατανομής* του *συνολικού διαβρωτικού κινδύνου* αποδίδοντας καλύτερα (περισσότερες κλάσεις) την συνέχεια του φαινομένου στον χώρο



Χαρτης 11, χωρική κατανομή του συνολικού κινδύνου διάβρωσης

Γενικά συμπεράσματα

Η εκτίμηση του κινδύνου διάβρωσης λόγω προσανατολισμού των αγροτεμαχίων εμφανίζει αξιοσημείωτο ποσοστό εδαφών (68,8%), από τις υπό μελέτη χρήσεις γης, να βρίσκονται με διευθύνσεις γραμμών άροσης με εκτιμώμενο κίνδυνο άνω του 46% κι αυτό διότι όπως φαίνεται η συνήθης γεωργική πρακτική είναι η άροση κάθετα στις ισοϋψείς ως πιο συμφέρουσα οικονομικά και πιο εύκολη πρακτικά να πραγματοποιηθεί.

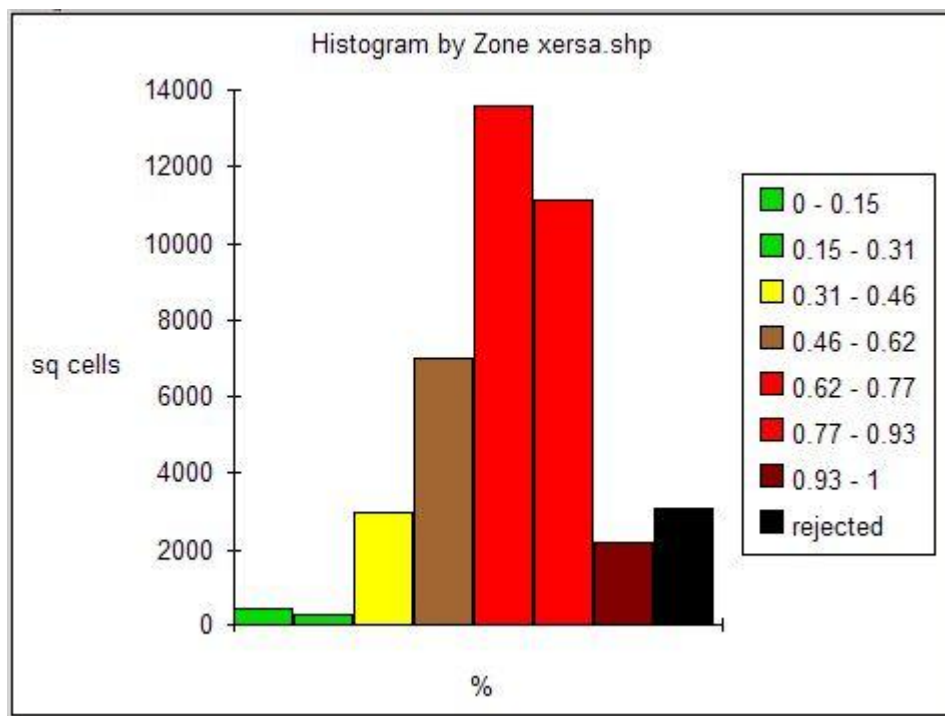
Παρατηρώντας όμως την εκτίμηση κινδύνου για την παράμετρο *εδαφικές κλίσεις* εντός των αγροτεμαχίων εμφανίζεται μία αντιστροφή των ποσοστών, δηλαδή οι εκτάσεις με επικίνδυνες για την καλλιέργεια του εδάφους κλίσεις (κίνδυνος άνω του 46%) ανέρχονται στο 14,9% της συνολικής έκτασης των υπό μελέτη χρήσεων γης (αγροτεμάχια, χέρσα κ.α).

Έτσι καταλήγωντας στα αποτελέσματα της συνδυαστικής μεθόδου υπολογισμού του συνολικού κινδύνου διάβρωσης παρατηρείται μία εξισορρόπηση δίνοντας τις μεγαλύτερες εκτάσεις (ποσοστό 77,8% των υπό μελέτη εδαφών) να παρουσιάζουν κίνδυνο διάβρωσης μεταξύ 15% και 62%.

Αξιοσημείωτο είναι επίσης το ποσοστό των εδαφών που βρίσκεται στην περιοχή υψηλού κινδύνου (άνω του 62%), και ανέρχεται σε ποσοστό 13,2% από την συνολική έκταση.

Παρατηρούνται ορισμένες εκτάσεις να έχουν κίνδυνο διάβρωσης πάρα πολύ υψηλό (μεγαλύτερο από 93%) ή υπάρχει ένα μικρό ποσοστό που θεωρείται απορριπτέο (ακατάλληλη γη) όπου συνολικά και για τις δύο αυτές περιπτώσεις το αντίστοιχο ποσοστό εδαφών ανέρχεται στο 0,9% του συνολικού. Σε μακροσκοπική-επιτόπια έρευνα πεδίου όπου έγινε καταγράφηκε ότι τα περισσότερα απ'αυτά τα εδάφη είναι χέρσα, δηλαδή είναι της μορφής παραμελημένων σπαρτών (ουσιαστικά υπό μορφή ακαλλιεργησίας) ή της μορφής φυσικής βλάστησης ή χαράδρες που έχουν μάλιστα υποστεί χαραδρωτική διάβρωση (βλέπε *φωτογραφίες χέρσων εκτάσεων*, στο κεφάλαιο 7, παράρτημα).

Ακολουθεί το ιστόγραμμα για τον *overlay* χάρτη για τα χέρσα



Ακολούθησαν μακροσκοπικές επαληθεύσεις ποιοτικού ελέγχου προκαθορισμένων σημείων ή ζωνών τα οποία είναι γεινιάζοντα κτήματα με υπολογισμένο κίνδυνο (εκτίμηση μοντέλου) πολύ διαφορετικό κατά την εναλλαγή από το ένα κτήμα στο γειτονικό (μεγάλη διακύμανση). Έτσι με επιτόπια έρευνα πεδίου με χρήση GPS για τον εντοπισμό της ακριβούς θέσης, ανιχνεύθηκαν και μετρήθηκαν τα δημιουργηθέντα αναχώματα (σκαλοπάτια εδαφικά) στις παραπάνω περιοχές ενδιαφέροντος (επαληθεύοντας τα προβλεπόμενα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς του μοντέλου). Αυτά τα σκαλοπάτια εδάφους τα οποία καταγράφονται σε πρόσφατα οργωμένα εδάφη είναι η «καλύτερη απόδειξη της αροτριάας διάβρωσης σε συνδυασμό με την κλίση του εδάφους», (F. Turkelboom *et al.* / Soil Research 51 (1999) 245-259). (Βλέπε φωτογραφίες πειραματικών επαληθεύσεων, κεφάλαιο 7, παράρτημα).

Ακολουθούν ορισμένα παραδείγματα σύγκρισης μακροσκοπικών ευρημάτων και θεωρητικών εκτιμήσεων ,για συγκεκριμένες εδαφικές θέσεις, του κινδύνου εδαφικής διάβρωσης.

1. Σημείο με ID=1

Περιγραφή: Στα όρια δύο αγροτεμαχίων με προσανατολισμό γραμμών άροσης:

Ανάντι: 82,2°

Κατάντι: 139°

Εκτιμώμενος κίνδυνος στα όρια:

Αναντι: 74%

Κατάντι: 49,5%



Σημείο με ID:1

2. Σημείο με ID=2

Περιγραφή: Στα όρια δύο αγροτεμαχίων με προσανατολισμό γραμμών άροσης:

Ανάντι: 68°

Κατάντι: 155°

Εκτιμώμενος κίνδυνος στα όρια:

Αναντι: 67,5%

Κατάντι: 50%



Σημείο με ID:2

3. Σημείο με ID=3

Περιγραφή: Στα όρια δύο αγροτεμαχίων με
προσανατολισμό γραμμών άροσης:

Δεξιά: 90°

Αριστερά: 90°

Εκτιμώμενος κίνδυνος στα όρια:

Δεξιά: 55%

Αριστερά: 1%



Σημείο με ID:3

4. Σημείο με ID=4

Περιγραφή: Στα όρια δύο αγροτεμαχίων με προσανατολισμό γραμμών άροσης:

Δεξιά: 90°

Αριστερά: 94°

Εκτιμώμενος κίνδυνος στα όρια:

Δεξιά: 59%

Αριστερά: 3%



Σημείο με ID:4

5. Σημείο με ID=5

Περιγραφή: Στα όρια δύο αγροτεμαχίων με προσανατολισμό γραμμών άροσης:

Δεξιά: 35°

Αριστερά: 105°

Εκτιμώμενος κίνδυνος στα όρια:

Δεξιά: 94%

Αριστερά: 48%



Σημείο με ID:5

6. Σημείο με ID=6

Περιγραφή: Στα όρια δύο αγροτεμαχίων με προσανατολισμό γραμμών άροσης:

Δεξιά: 36°

Αριστερά: 104°

Εκτιμώμενος κίνδυνος στα όρια:

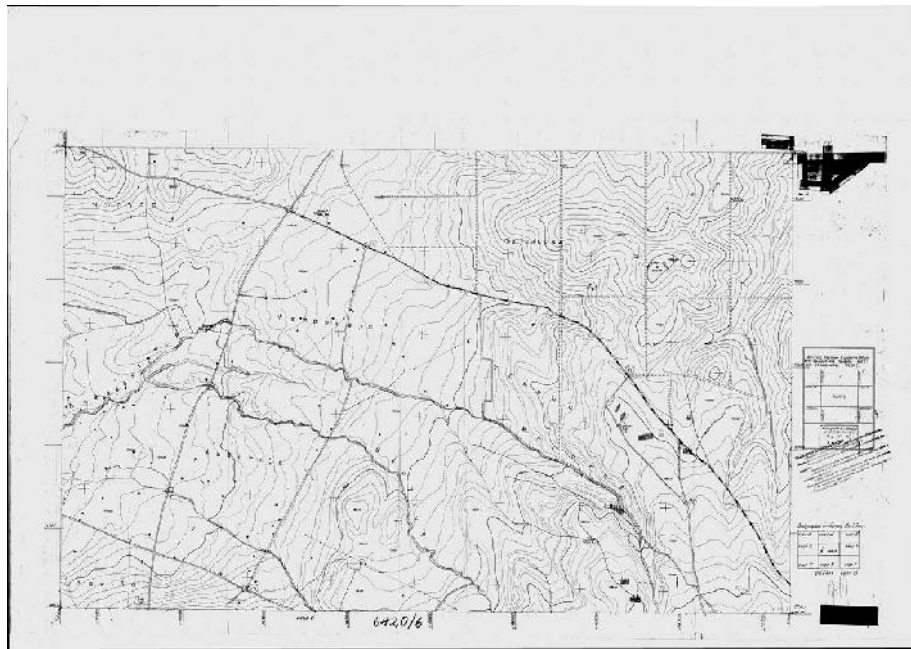
Δεξιά: 73%

Αριστερά: 31%



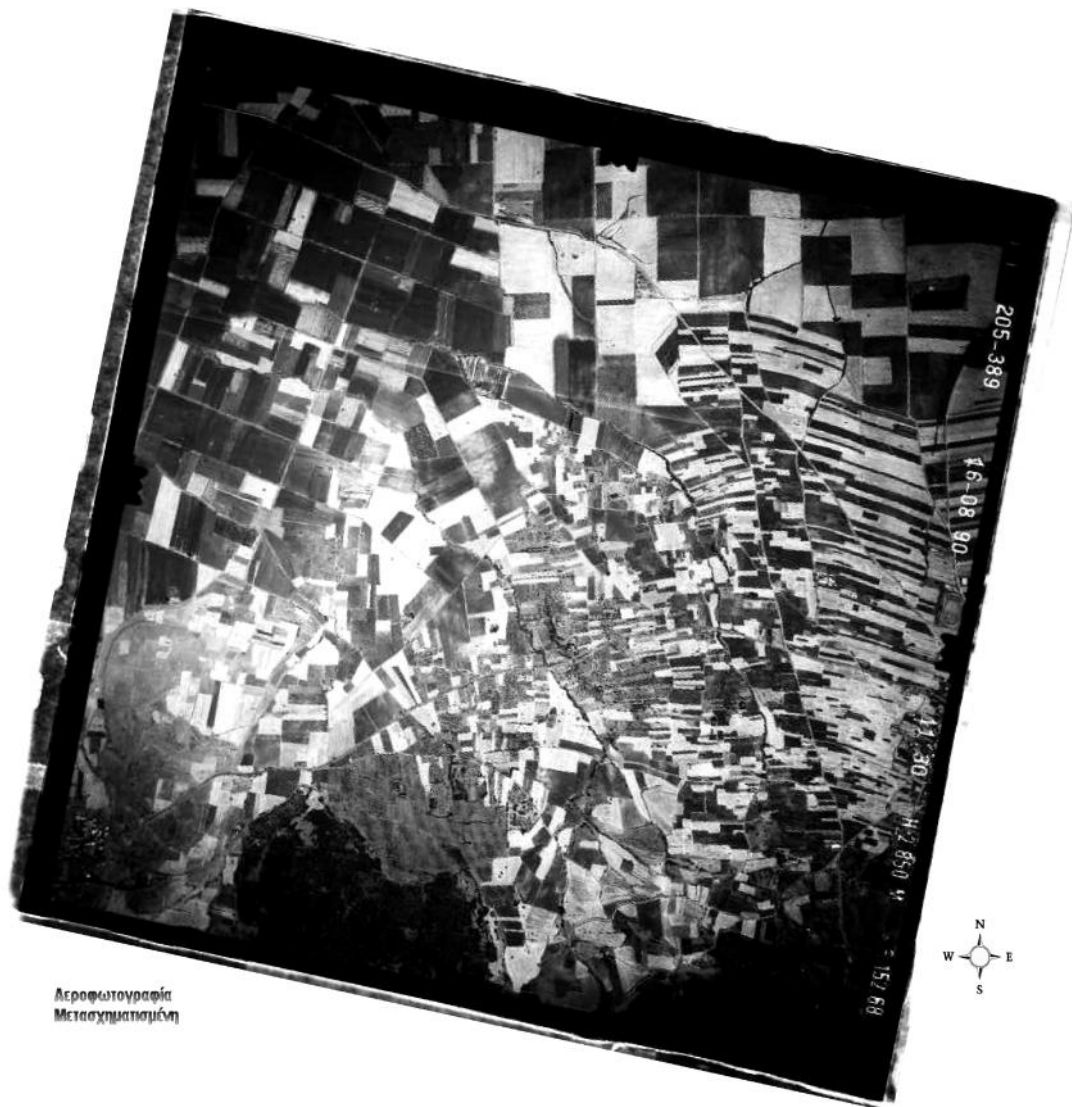
Σημείο με ID:6

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ



Χάρτες που ψηφιοποιήθηκαν (κλίμακα 1:5000)

Αεροφωτογραφία 205-389 διορθωμένη & το link table



Link Table

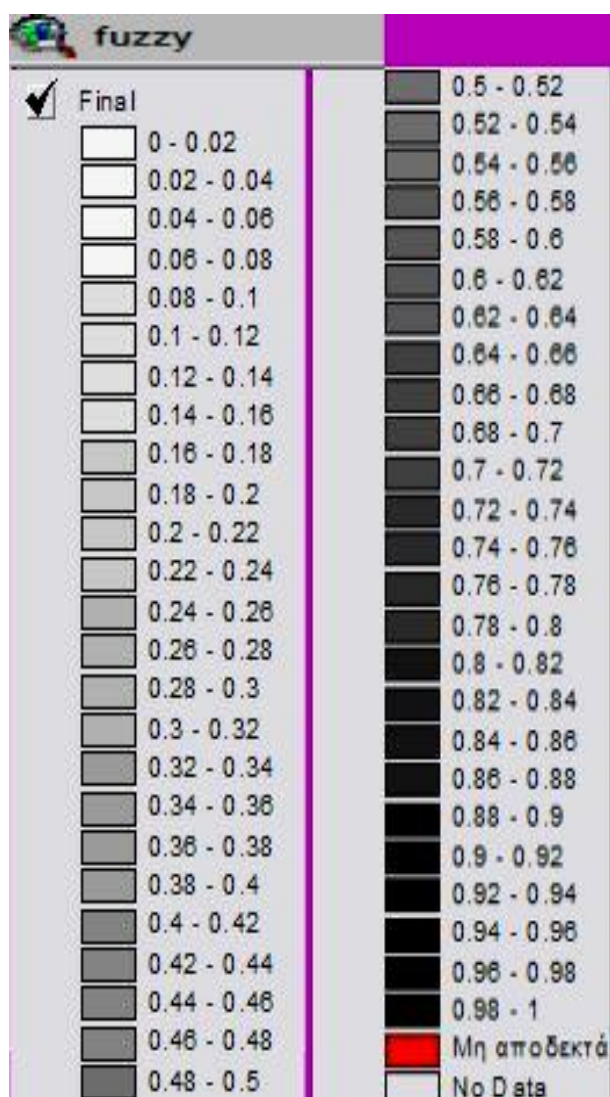
Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual
1	1,020314	1,350527	436941,760000	4233025,020000	17,24373
2	2,151162	6,206718	438984,280000	4232025,720000	17,57769
3	2,842265	6,231187	438927,970000	4231723,430000	10,13377
4	3,672488	7,359515	439335,680000	4231258,980000	8,73614
5	2,852971	7,074979	439292,190000	4231639,670000	6,97205
6	6,055124	1,799505	436674,840000	4230744,040000	15,48955
7	7,080199	0,656009	436102,370000	4230360,040000	34,91076
8	6,673975	3,747497	437505,520000	4230294,720000	25,09412
9	6,553243	4,912589	437998,360000	4230238,580000	24,25807

Auto Adjust Transformation: 1st Order Polynomial (Affine) Total RMS Error: 19,75067

Load... Save... OK

Layout των ισοϋψών/υψομέτρων (final.apr-contour,altitude)

Υπομνημα του layout χωρικής κατανομής fuzzy (51 κατηγορίες)



Layout χωρικής κατανομής fuzzy (final.apr)

- Layout των χέρσων εκτάσεων
& caption

(από final.apr-xersa layout)

Διάφορες φωτογραφίες πεδίου μελέτης, μακροσκοπική επαλήθευση





Φωτογραφίες χέρσων εκτάσεων



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- C.Kosmas *et al*, Soil & Tillage Research 58
(2001) 31-44
- Jan Nyssen, Soil & Tillage Research 57
(2000) 115-127
- David A. Lobb & Michael J. Lindstrom, Winnipeg, Manitoba,
February 2-3, (1999)
- W. Van Muysen *et al*, Soil & Tillage Research 51
(1999) 303-316
- Timothy A. Quine *et al*, Soil & Tillage Research 51
(1999) 279-301
- F. Turkelboom *et al*, Soil & Tillage Research 51
(1999) 245-259
- A. Meyer, J.A. Martinez-Casasnovas, Soil & Tillage Research 50
(1999) 319-331
- Burrough PA. McDonnell RA. , Principles of Geographical
Information Systems, Oxford University Press. (1998)
- Jean Poesen *et al*, Geomorphology 18
(1997) 183-197.
- F. Turkelboom *et al*, Catena 29 (1997) 29-44
- A. B. Mc Bratney, I.O.A Odeh/Geoderma 77
(1997) 85-113
- B.J. Irvin *et al*. / Geoderma 77
(1997) 137-154
- J.J. De Gruijter *et al* / Geoderma 77
(1997) 169-195
- A. -X. Zhu / Geoderma 77
(1997) 217-242
- Fangiu Wang and G. Brent Hall, Geographical Information
Systems (1996) Vol 10, No 5, 573-590

- M.Guiresse, J.C. Revel, *Soil & Tillage Research* 35 (1995) 157-166
- J.C. Revel, M. Guiresse, *Soil & Tillage Research* 35 (1995) 147-155
- Govers G. *et al*, *European Journal of Soil Science*, Vol. 45, Issue 4, (1994)
- M.J. Lindstrom , W.W. Nelson , and T.E. Schumacher, *Soil & Tillage Research*, 24 (1992) 243-255
- M.J. Lindstrom *et al*, *Soil & Tillage Research*, 17 (1990) 255-264
- Avenue™, *Customization and Application Development for ArcView®*, Gis by Esri
- Εφαρμογές ΓΣΠ (ArcGis), Κωστής Κουτσόπουλος & Νικ. Ανδρουλακάκης ΕΜΠ
- Εισαγωγή στο ArcView, Ν. Ανδρουλακάκης Ηλεκτρολόγος Μηχαν. (ΕΜΠ) (2000)
- Σπύρος Βάλμης, *Διαβρώσεις-Συντήρηση Εδαφών Γ.Π.Α*, Αθήνα (1990).
