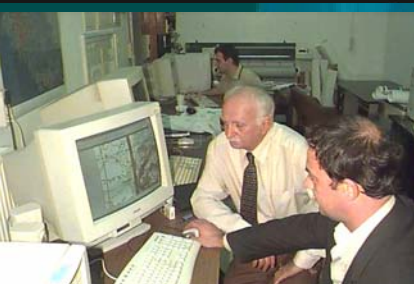
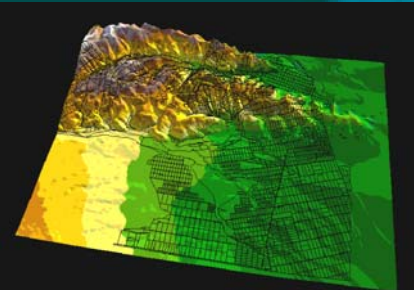
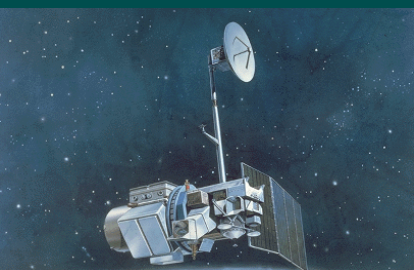


**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ**



**ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΧΡΗΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ**

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΣΥΛΛΑΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Α.Π.Θ.

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΠΙΛΑΣ, Δρ. και ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΑΡΑΠΕΤΣΑΣ, Δρ.

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2007

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Ν. ΣΥΛΛΑΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Α.Π.Θ.
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Γ. ΜΠΙΛΑΣ, Δρ. και Ν. ΚΑΡΑΠΕΤΣΑΣ, Δρ.

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2007

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	5
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ	5
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1.2. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	5
1.2.1. Η ανάπτυξη του εδαφολογικού χάρτη της Ευρώπης	6
1.2.2. Εδαφολογική έρευνα	7
1.2.3. Ηπειρωτικοί κλίμακας ευρωπαϊκοί εδαφολογικοί κατάλογοι	8
1.2.4. Γεωαναφερόμενη Ευρωπαϊκή Εδαφολογική Βάση Δεδομένων σε κλίμακα 1:250.000.....	9
1.3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ	12
1.4. Η ΚΛΑΣΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ.....	13
1.5. Η ΦΥΣΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ.....	16
1.5.1. Αρχές της φυσιογραφικής μεθόδου χαρτογράφησης	16
1.5.2. Φυσιογραφικά στοιχεία	19
1.5.3. Σημασία των φυσιογραφικών στοιχείων για την εδαφολογική χαρτογράφηση	19
1.6. ΤΕΧΝΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	37
1.6.1. Χαρτογράφηση με αεροφωτογραφίες/δορυφορικές εικόνες	37
1.6.2. Κατασκευή φυσιογραφικού υπομνήματος	40
1.6.3. Ανάλυση των αρχών της προτεινόμενης μεθοδολογίας	43
1.6.4. Ορισμός και ονοματολογία των φυσιογραφικών μονάδων.....	44
1.6.5. Ταξινόμηση εδαφών.....	46
1.7. ΚΛΙΜΑΚΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ	49
1.8. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	50
1.8.1. Είδη εδαφολογικών δεδομένων (Beatty και συνεργάτες, 1979)	50
1.8.2. Σχέση μεταξύ Εδαφολογικών Ταξινομικών Μονάδων και Εδαφολογικών	52
1.8.3. Σχέση μεταξύ ταξινόμησης γης και εδάφους.....	52
1.8.4. Εδαφικές ιδιότητες και συνδεδεμένα χαρακτηριστικά γης.....	53
1.8.5. Εδαφικές ιδιότητες που επηρεάζουν τη σχέση εδάφους – φυτικού ριζικού	53
1.8.6. Εδαφικές ιδιότητες που επιδρούν στη διάβρωση των εδαφών	54
1.8.7. Σχετικά στοιχεία επιφάνειας που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του εδάφους	55
1.8.8. Πρόβλεψη των δυνατοτήτων του εδάφους	55
1.8.9. Πρόβλεψη παραγωγής	56
1.8.10. Παραγωγικότητα του εδάφους.....	56
1.8.11. Ερμηνεία εδαφολογικών δεδομένων στο επίπεδο της Οικογένειας.....	57
1.8.12. Συστήματα πληροφόρησης.....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.	60
ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS) ΚΑΙ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΝ	
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΣΤΙΓΜΑΤΟΣ (GPS).....	60
2.1. ΓΕΝΙΚΑ	60
2.1.1. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών	60
2.1.2. Παγκόσμιος Ανιχνευτής Στίγματος (GPS).....	61
2.1.3. Εργασία υπαίθρου με τη χρήση GPS και PalmTop.....	62
2.2. ΔΟΜΗΣΗ ΒΑΣΕΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.	68
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΤΩΝ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	
(INTERPOLATION MAPS)	68
3.1. Η ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ	68
3.2. Η ΧΩΡΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ	68
3.3. ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ.....	71
3.3.1. Διερεύνηση γεωστατιστικής υπόθεσης	74
3.3.2. Εκτίμηση σφάλματος	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.	80
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	80
4.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ	80
4.2. ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	83
4.3. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ	84
4.4. ΑΥΛΑΚΩΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ.....	85
4.5. ΧΑΡΑΔΡΩΤΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ.....	86

4.6.	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	90
4.7.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ	96
4.7.1.	Βασικές έννοιες (Μανάκος, 1998 και Θεοχαρόπουλος, 1996)	96
4.7.2.	Μελέτη της διάβρωσης των εδαφών.....	97
4.8.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	102
4.9.	ΕΝΑ ΝΕΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ..	106
4.9.1.	Εισαγωγή (Θεοχαρόπουλος 1996, Μανάκος 1998).....	106
4.9.2.	Βιβλιογραφική επισκόπηση των προσπαθειών δημιουργίας μοντέλων διάβρωσης (Θεοχαρόπουλος 1996, Μανάκος 1998)	107
4.9.3.	Μοντέλο Βασισμένο στο τροποποιημένο USLE με τη χρήση δορυφορικής τηλεπισκόπησης και GIS (Συλλαίος Ν., Γήτας Ι., Ντούρος Κ.) στα πλαίσια του προγράμματος GEOLAND	108
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.	113
	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΓΗΣ	113
5.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	113
5.2.	ΟΙ ΣΚΟΠΟΙ ΤΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	114
5.3.	ΑΡΧΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	115
5.4.	ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	117
5.5.	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ.....	118
5.5.1.	Υφιστάμενη Χρήση Γης.....	120
5.5.2.	Εναλλακτική χρήση γης	121
5.5.3.	Τύποι γαιοχρήσεων	122
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	125
	ΣΧΕΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΦΕΡΟΜΕΝΗ ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	125
	ΣΧΕΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΦΕΡΟΜΕΝΗ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	132
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	135

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χαρτογράφηση και αξιολόγηση των γεωργικών εδαφών και γαιών αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά έργα υποδομής για την κάθε χώρα. Ο υπερπληθυσμός και η συνεχής υποβάθμιση της γης είναι τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι ειδικοί επιστήμονες που εργάζονται για την αύξηση της παραγωγής και τη βελτίωση της ποιότητας των γεωργικών προϊόντων.

Οι εδαφολογικοί χάρτες, οι χάρτες καταλληλότητας των γεωργικών εδαφών, οι στατιστικές χρήσεων γης, κ.λπ., είναι τα μέσα στα οποία θα πρέπει να στηρίζονται το Υπουργείο Γεωργίας, οι γεωργικές υπηρεσίες, οι γεωργικοί συνεταιρισμοί, οι γεωπόνοι εφαρμογών και άλλοι χρήστες και σχεδιαστές χρήσεων γης, για ένα σωστό προγραμματισμό στο αντικείμενο της ειδικότητάς τους.

Οι μέθοδοι και τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την πραγματοποίηση των παραπάνω σκοπών, θα πρέπει να συνδυάζουν την προσαρμοστικότητα τους στις συνθήκες της κάθε χώρας και συγχρόνως τη διατήρηση σύνδεσης με τις μεθοδολογίες που προτείνονται από διεθνείς οργανισμούς, όπως του FAO, UNESCO, USDA, ESB (European Soil Bureau), κ.λπ.

Τα συστήματα δορυφορικής τηλεπισκόπησης, συστημάτων πλοήγησης (GPS) και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) με εφαρμογές στον τομέα αυτό, κάνουν δυνατή τη χρησιμοποίηση τεχνικών και οργάνων που ήταν άγνωστες στην κλασσική μέθοδο χαρτογράφησης. Η χρησιμοποίηση όμως των τεχνολογιών αυτών πρέπει να γίνεται με προσοχή και από επιστήμονες που έχουν τις απαραίτητες γνώσεις.

Για τις απαραίτητες πληροφορίες επάνω σε θέματα φωτοερμηνείας και τηλεπισκόπησης, ο αναγνώστης παραπέμπεται στο βιβλίο **ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΣΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ**, που περιγράφει μεθόδους, τεχνικές και όργανα που χρησιμοποιούνται στον τομέα αυτό.

1.2. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Εδαφολογικοί χάρτες στην Ευρώπη έχουν κατασκευαστεί σε μια σειρά από κλίμακες και δεν υπάρχει μεγάλη συνάφεια μεταξύ χωρών στην κλίμακα που πρέπει να χρησιμοποιηθεί ή στην έμφαση που πρέπει να δοθεί για μικρής ή μεγάλης κλίμακας χάρτες. Είναι γενικό αποδεκτό ότι ως ελάχιστο για κάθε χώρα είναι ένας χάρτης σε εθνική κλίμακα 1:250.000. Κάθε μικρότερη κλίμακα θεωρείται ότι προσθέτει μικρή αξία σε θέματα διαχείρισης των εδαφικών πόρων.

Από μια έρευνα σε εθνικό επίπεδο, (doc. EUR 18991 EN, Soil Resources of Europe), φαίνεται ότι μόνο το Βέλγιο και η Ολλανδία έχουν λεπτομερείς χάρτες 1:50.000 ή μεγαλύτερης κλίμακας σε εθνικό επίπεδο. Υπολογίζεται ότι η Αυστρία, Δανία και η Πορτογαλία έχουν καλύψει περισσότερο από 60% της χώρας με χάρτες κλίμακας 1:50.000 ή μεγαλύτερη. Η Φινλανδία, Γερμανία, Ιρλανδία, Ιταλία, Ισπανία και η Αγγλία έχουν καλύψει το 30-60% της χώρας με λεπτομερείς χάρτες και οι υπόλοιπες χώρες λιγότερο από 30%.

Εθνικά προγράμματα λεπτομερούς κλίμακας έχουν σταματήσει στην Αγγλία και Ιρλανδία, ενώ κάποιοι προσωρινοί χάρτες δεν έχουν ποτέ δημοσιευθεί, π.χ. στη Σκωτία έχει καλυφθεί το 100% της χώρας με χάρτες κλίμακας 1:50.000, αλλά πολλά φύλλα δεν έχουν δημοσιευθεί. Στην Ισπανία έχει αρχίσει ένα πιλοτικό πρόγραμμα πριν αποφασιστεί η κατασκευή λεπτομερών χαρτών σε εθνικό επίπεδο και αναμένονται τα πορίσματα της έρευνας αυτής. Η Ιταλία, Ολλανδία, Σουηδία και η Αγγλία είναι οι μόνες χώρες που διαθέτουν χάρτες κλίμακας 200.000 ή 1:250.000 για όλη τη

χώρα, ενώ το Βέλγιο μπορεί γρήγορα να κατασκευάσει παρόμοιους χάρτες γιατί διαθέτει πλήρη κάλυψη από λεπτομερείς χάρτες (κλίμακα 1:5.000 για τις αγροτικές και 1:10.000 για τις δασικές περιοχές).

Η Σλοβακία έχει κατασκευάσει εδαφολογικό χάρτη σε κλίμακα 1:400.000 (Soil Science and Conservation Research Institute, Bratislava). Όλες οι Ευρωπαϊκές χώρες έχουν χάρτες σε κλίμακα 1:500.000 ή 1:1.000.000, κυρίως στα πλαίσια της προσπάθειας κατασκευής Ευρωπαϊκής Εδαφολογικής Βάσης Δεδομένων σε κλίμακα 1:1.000.000. Επιπρόσθετα της δυσκολίας χρηματοδότησης από τις εθνικές κυβερνήσεις, υπάρχει το πρόβλημα της οργάνωσης εθνικών προγραμμάτων εδαφολογικής έρευνας λόγω της μεταφοράς της ευθύνης από τα υπεύθυνα Ινστιτούτα και φορείς σε τοπικές ομάδες και/ή ιδιωτικούς οργανισμούς. Το γεγονός αυτό εισάγει αρκετές δυσκολίες, ειδικά μια έλλειψη ομοιογένειας στην προσέγγιση και στην μεθοδολογία, διαφορετικά αποτελέσματα στην ταξινόμηση των εδαφών, έλλειψη πληροφοριών μετά την περάτωση του έργου και δυσκολίες στην εναρμόνιση των πληροφοριών σε εθνικό και τουλάχιστον, ευρωπαϊκό επίπεδο.

Αν και αρκετές χώρες της E.U και EFTA έχουν κάνει προόδους στην χαρτογράφηση των εδαφικών τους πόρων, πολλές χώρες στερούνται κάλυψης η οποία θα υποστήριζε επαρκώς μια ευρεία κλίμακα αναγκών για εδαφική πληροφορία, γεγονός που σίγουρα θα παρουσιαστεί στα επόμενα χρόνια.

1.2.1. Η ανάπτυξη του εδαφολογικού χάρτη της Ευρώπης

Κατόπιν πρωτοβουλίας ευρωπαϊών εδαφολόγων, οργανώθηκε μια συνεδρίαση στη Γάνδη στο Βέλγιο το 1952, με σκοπό την εναρμόνιση των μεθοδολογιών και των συστημάτων ταξινόμησης. Ως αποτέλεσμα της συνάντησης αυτής, υποβλήθηκε ένα αίτημα στον Γενικό Διευθυντή του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) να βοηθήσει στην εναρμόνιση αυτή, στα πλαίσια του FAO European Working Party on Land Utilisation and Conservation. Ανταποκρινόμενος στο αίτημα αυτό ο FAO δημιούργησε μια ομάδα εργασίας για την ταξινόμηση των εδαφών και την εδαφολογική έρευνα, το οποίο αργότερα ενώθηκε με την υπο-επιτροπή για τη «Utilization of water and land» της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η εργασία αυτή οδήγησε στο πρώτο σχέδιο του εδαφολογικού χάρτη της Ευρώπης σε κλίμακα 1:2.500.000, ο οποίος και παρουσιάστηκε σε μια δεύτερη συνάντηση της Ομάδας Εργασίας στην Οξφόρδη το Σεπτέμβριο του 1959. Από το 1959 μέχρι το 1964 πολλά σχέδια και κείμενα παρουσιάστηκαν και συζητήθηκαν σε διαδοχικές συναντήσεις της Ομάδας Εργασίας καθώς και στο 7^ο και 8^ο Εδαφολογικό Συνέδριο. Ο χάρτης και το επεξηγηματικό κείμενο δημοσιεύθηκε από τον FAO το 1966.

Ένα περαιτέρω βήμα για έναν Ευρωπαϊκό Εδαφολογικό Χάρτη ήταν η δημιουργία ενός χάρτη κλίμακας 1:1.500.000 σε παγκόσμιο επίπεδο, έργο το οποίο ανέλαβε από κοινού ο FAO και η UNESCO. Το έργο άρχισε το 1961 και η έκδοση του χάρτη έγινε το 1971. Τα δύο φύλλα χάρτη που κάλυπταν την Ευρώπη εκδόθηκαν το 1981. Ο Παγκόσμιος Εδαφολογικός Χάρτης των FAO/UNESCO ενσωμάτωσε το ευρωπαϊκό σύστημα ταξινόμησης των εδαφών σε ένα διεθνώς αναγνωρίσιμο υπόμνημα, γεγονός που βελτίωσε τη συνεργασία και έδωσε ώθηση σε μια εναρμονισμένη επισκόπηση των εδαφικών χαρακτηριστικών σε ηπειρωτικό και παγκόσμιο επίπεδο (FAO, 1995).

Η ευρεία σύνθεση «εδαφικών ενώσεων» σε κλίμακες 1:2.500.000 και 1:1.500.000 θεωρήθηκε ως βάση για περισσότερο λεπτομερή σχεδιασμό και τη διαχείριση των εδαφικών πόρων. Με συνείδηση των ευθυνών της η Ομάδα Εργασίας περιέλαβε και την κατασκευή ενός χάρτη σε κλίμακα 1:1.000.000 για το πρόγραμμά της το 1965. Ο χάρτης αυτός εκδόθηκε ως Ευρωπαϊκός Χάρτης την υπηρεσία Directorate General (DG) of Agriculture το 1985, και αργότερα ψηφιοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος CORINE (Co-ordination of Information on the Environment).

1.2.2. Εδαφολογική έρευνα

Στις τελευταίες δυο δεκαετίες υπήρξε μια αυξανόμενη αποδοχή της ανάγκης της ένταξης της εδαφικής πληροφορίας μια χώρας σε ένα Εδαφικό Σύστημα Πληροφοριών, ώστε η πληροφορία να είναι γρήγορα διαθέσιμη στον χρήστη. Αυτή η ψηφιακή βάση δεδομένων χρειάζεται στην εφαρμογή μοντέλων που στηρίζονται σε υπολογιστικά συστήματα, με σκοπό την εξαγωγή πληροφοριών σχετικών με το περιβάλλον, από βασικά εδαφολογικά δεδομένα. Οι περισσότερες χώρες έχουν αποδεχθεί την ανάγκη, αλλά, όπως και με τους εδαφολογικούς χάρτες, υπάρχει μια μεγάλη αντίθεση στην πορεία και ταχύτητα ανάπτυξης μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών.

Όπως φαίνεται από τις διαθέσιμες έρευνες (doc. EUR 18991 EN, Soil Resources of Europe), συστήματα πληροφοριών γης και εδάφους ποικίλλουν ανάμεσα στις χώρες της Ευρώπης, από απλές βάσεις δεδομένων εδαφοτομών και αναλυτικών δεδομένων, μέχρι αναπτυγμένα ολοκληρωμένα υπολογιστικά συστήματα που περιέχουν πληροφορίες για το κλίμα, τη χρήση γης, κτηματολογικά δεδομένα και εδαφικές πληροφορίες. Οι ικανότητες των συστημάτων αυτών ποικίλλουν από χαμηλή απόδοση σε αποθήκευση και ανάκτηση των δεδομένων, σε ολοκληρωμένη δυναμική μοντελοποίηση με τη χρήση τεχνολογίας GIS για την αξιολόγηση απαιτήσεων τρεχουσών και μελλοντικών πολιτικών σε εθνικό και τοπικό επίπεδο.

Τα πιο προηγμένα συστήματα μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών φαίνεται να είναι αυτά της Αυστρίας, Γαλλίας, της Γερμανίας, της Ολλανδίας και Αγγλίας. Το Αυστριακό σύστημα περιλαμβάνει μια μεγάλη ποικιλία δεδομένων από διαφορετικές πηγές, ενώ το Γερμανικό σύστημα έχει το πλεονέκτημα της ύπαρξης λεπτομερών εδαφολογικών χαρτών για όλη τη χώρα και που συνδέονται με περιγραφικά και αναλυτικά δεδομένα. Το σύστημα αυτό συνδέεται ισχυρά με την τεχνολογία GIS και με μια κλίμακα μοντέλων προσομοίωσης, έτσι ώστε να είναι ικανό να ανταποκριθεί ικανοποιητικά σε πολλά θέματα.

Το Αγγλικό και Ουαλικό σύστημα (Landis) είναι ένα καλό παράδειγμα ενός συστήματος που από την σύλληψή του έχει μια ευέλικτη κατασκευαστική δομή που βασίζεται στην τεχνολογία της σχεσιακής βάσης και σε πρώιμο στάδιο συνδύαζε κλιματικά, τοπογραφικά και δεδομένα χρήσης γης. Επίσης στη Σλοβακία υπάρχει ένα προηγμένο πληροφοριακό σύστημα για τους εδαφικούς πόρους που περιλαμβάνει περιγραφικά και αναλυτικά δεδομένα σε χωρικές βάσεις και έναν αριθμό μοντέλων προσομοίωσης για αξιολόγηση των εδαφών για όλη τη χώρα.

Το σύστημα αποτελείται από:

- Εδαφολογική βάση που περιλαμβάνει περιγραφικά και αναλυτικά δεδομένα από 220.000 εδαφοτομές σε ολόκληρη τη χώρα.
- Σύστημα Αξιολόγησης της γης με ψηφιοποιημένους εδαφολογικούς χάρτες σε κλίμακα 1:5.000 (γεωργική γη) και βάση δεδομένων χρήσιμη για τη διαχείριση της γης.
- Γεωχημικό Άτλαντα που παρουσιάζει 36 χημικά στοιχεία από 5.000 εδαφικά προφίλ (γεωργική και δασική γη) σε όλη τη χώρα.
- Σύστημα Αναγνώρισης Αγροτεμαχίων (LPIS-Land Parcel Identification System) με τη χρήση τηλεπισκόπησης και GIS, που χρησιμοποιείται για τις επιδοτήσεις των αγροτών.
- Μεγάλο αριθμό δεδομένων από ερευνητικές δραστηριότητες.

Το Εδαφολογικό Σύστημα Πληροφοριών στη Σλοβακία λειτουργεί υπό την διεύθυνση του Ερευνητικού Ινστιτούτου Εδαφολογίας και Προστασίας των εδαφών στην Μπρατισλάβα και είναι νομικά και τυπικά ο οργανισμός για την ανάπτυξη εδαφολογικών βάσεων δεδομένων και αξιολόγησης εδαφών στη Σλοβακία. Μερικές χώρες, όπως η Ισπανία, έχουν προχωρήσει σε έρευνες για ειδικούς κινδύνους. Το Εθνικό Κέντρο της Διάβρωσης των Εδαφών (INES) έχει ως σκοπό την πλήρη έρευνα για την πορεία και της διαδικασίες διάβρωσης στην Ισπανία για την οριοθέτηση των περιοχών που βρίσκονται σε κίνδυνο, για περαιτέρω δράσεις. Περιλαμβάνει την χαρτογράφηση του κινδύνου διάβρωσης με τη χρήση του μοντέλου RUSLE, καθώς και με παρατηρήσεις υπαίθρου σε 2.000 σημεία. Το πρώτο έργο έχει τελειώσει και θα επαναληφθεί σε 10 χρόνια για διαχρονική παρακολούθηση. Το κόστος υπολογίζεται σε 20 €/km².

Ψηφιακά πληροφοριακά συστήματα είναι σήμερα ικανά για την παραγωγή περίπλοκων γραφικών, αλλά είναι σκόπιμο να τονιστεί ότι τα γραφικά αυτά είναι αξιόπιστα ανάλογα και με τα δεδομένα εισόδου και για περίπου τις μισές ευρωπαϊκές χώρες υπάρχει σχετικό έλλειμμα. Αυτό προκαλεί δυσκολία για την ανάπτυξη ενός καλού συστήματος λήψης απόφασης, γιατί λιγότερο από το 50% των χωρών αυτών έχουν μικρή κάλυψη από εδαφολογικούς χάρτες.

Όσον αφορά στον έλεγχο της τοπικής εδαφικής μόλυνσης, που προέρχεται από πηγές μόλυνσης, όπως βιομηχανικές περιοχές ή χωματερές, η πλειοψηφία των χωρών κρατά ενημερωμένους καταλόγους ως εργαλείο για να ενημερώσει για την έκταση των μολυσμένων περιοχών και για να διαχειριστεί την κατάσταση στις περιοχές αυτές. Η ανάπτυξη αυτών των καταλόγων είναι μια τρέχουσα διαδικασία. Οι κατάλογοι κρατούνται είτε σε εθνικό είτε σε περιφερειακό επίπεδο. Το περιεχόμενο και η δομή τους εξαρτώνται από τις νομικές απαιτήσεις στα ενδιαφερόμενα κράτη μέλη. Ένα κοινό σημείο των παραπάνω είναι η αναφορά σε δυνητικές περιοχές μόλυνσης που επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία ή μολύνουν το περιβάλλον.

Όλοι οι κατάλογοι περιλαμβάνουν τις πληροφορίες για τις βιομηχανικές περιοχές, περιοχές μεταλλείων, στρατιωτικές περιοχές, κ.λπ. Οι πληροφορίες που κρατούνται αναφέρονται στην ιστορική μόλυνση, εντούτοις, δεν υπάρχει καμία κοινή κατανόηση σχετικά με τον όρο "ιστορικό". Μερικές χώρες περιλαμβάνουν επίσης τα στοιχεία όσον αφορά την πραγματική εδαφολογική μόλυνση, με σχεδόν όλα τα κράτη μέλη να κρατούν τις πληροφορίες για περιοχές με τρέχουσες καθώς επίσης και με εγκαταλειμμένες βιομηχανικές δραστηριότητες.

1.2.3. Ηπειρωτικοί κλίμακας ευρωπαϊκοί εδαφολογικοί κατάλογοι

Υπάρχουν ουσιαστικά τρεις σημαντικές ευρωπαϊκές πρωτοβουλίες στοχεύοντας στη δημιουργία αξιόπιστων καταλόγων των εδαφολογικών ιδιοτήτων με έναν εναρμονισμένο τρόπο μεταξύ των χωρών αυτών.

Το Ευρωπαϊκό Εδαφολογικό Σύστημα Πληροφόρησης (EUSIS) στο Joint Research Center (Varese, Italy), καλύπτει την Ευρώπη σε κλίμακα 1:1.000.000 και περιλαμβάνει και πιο λεπτομερείς χάρτες σε κλίμακα 1:250.000 και 1:50.000 σε ένα σύστημα GIS, το **EC/ICP**. Η βάση δεδομένων έχει πρόσφατα επεκταθεί για να καλύψει τις Μεσογειακές χώρες και την πρώην Σοβιετική Ένωση (Montanarella L., 2001; Stolbovoi V. et al., 2001). Η νέα κάλυψη είναι μέρος της Circumpolar Soil Database η οποία δημιουργείται μαζί με τον Καναδά και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Η επέκταση αυτή θα χρησιμεύσει ως εργαλείο για τον περισσότερο ακριβή υπολογισμό των αποθέσεων οργανικής ουσίας στις βόρειες περιοχές και για τον υπολογισμό των δυνητικών αλλαγών στην εκπομπή GHG, σε σχέση με τις αλλαγές στο καθεστώς της εδαφικής θερμοκρασίας στις περιοχές αυτές. Μια πρώτη έκδοση της Ευρω-Ασιατικής βάσης δεδομένων είναι ήδη διαθέσιμη.

Το EUSIS είναι ένα σύστημα πολλαπλής κλίμακας που ενσωματώνει δεδομένα από διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας σε ένα μοναδικό Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) (King, D. et al., 1998; Montanarella L., 1999). Ενώνει το παγκόσμιας κλίμακας σύστημα με την 1:5.000.000 κλίμακας Παγκόσμια Εδαφολογική Βάση Δεδομένων (SOTER) (UNEP/ISSS/ISRIC/FAO, 1995), από την μια πλευρά, ενώ εξασφαλίζει συμβατότητα με την Ευρωπαϊκή βάση δεδομένων 1:1.000.000. Σε περισσότερο λεπτομερείς κλίμακες (1:250.000 to 1:5.000) συνδέεται με τα εθνικά και τοπικά συστήματα πληροφοριών μέσα στην Ε.Ε., εξασφαλίζοντας έτσι μια συμπαγή προσέγγιση από την τοπική στην παγκόσμια κλίμακα.

Το σύστημα επίσης περιλαμβάνει έναν αριθμό πεδογενετικών κανόνων (Van Ranst, E., L. Vanmechelen, A.J. Thomasson, J. Daroussin, J.M. Hollis, R.J.A. Jones, M. Jamagne and D. King, 1995) οι οποίοι επιτρέπουν τη δημιουργία παράγωγων προϊόντων, όπως χαρτών διάβρωσης του εδάφους, εκτιμήσεις οργανικού άνθρακα και πολλά άλλα. Περισσότερο σύμπλοκα μοντέλα χρησιμοποιούν το EUSIS για την πρόβλεψη της παραγωγής, εκτίμηση του κινδύνου ερημοποίησης, ευαισθησίας του υπόγειου νερού στα αγροχημικά, κ.α. Βεβαίως το σύστημα είναι ακόμη μακριά από χρήση του σε όλες τις πιθανές εφαρμογές, αλλά αποτελεί σήμερα το μόνο εδαφολογικό σύστημα πληροφοριών που καλύπτει όλες τις ευρωπαϊκές χώρες.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του Ευρωπαϊκού Συστήματος Εδαφολογικών Πληροφοριών περιγράφεται παρακάτω (EUSIS):

Ευρωπαϊκή Εδαφολογική Βάση Δεδομένων σε κλίμακα 1:1.000.000. Η βάση αυτή αποτελεί τον πυρήνα του EUSIS. Η ιστορία αρχίζει στα μέσα της δεκαετίας του 80'.

Το 1985, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε ένα εδαφολογικό χάρτη της Ευρώπης σε κλίμακα 1:1.000.000. Το 1986, ο χάρτης ψηφιοποιήθηκε με σκοπό να δημιουργηθεί μια ψηφιακή γεωγραφική βάση δεδομένων στα πλαίσια του προγράμματος CORINE (Coordination of Information on the Environment).

Η βάση αυτή ονομάστηκε Ευρωπαϊκή Εδαφολογική Βάση Δεδομένων, έκδοση 1. Για να δώσει απαντήσεις στο έργο DG VI MARS (Directorate General for Agriculture, Monitoring Agriculture by Remote Sensing), η βάση δεδομένων εμπλουτίστηκε το 1990-1991 από στοιχεία αρχείου του αρχικού Ευρωπαϊκού Εδαφολογικού Χάρτη και έτσι δημιουργήθηκε η έκδοση 2. Στα πλαίσια του προγράμματος MARS σχηματίστηκε μια ομάδα εργασίας (Soil and GIS Support Group) με ειδικούς ώστε να βοηθήσουν στην καλύτερη δόμηση της βάσης δεδομένων. Οι ειδικοί αυτοί πρότειναν να προστεθούν νέες πληροφορίες και κάθε συμμετέχουσα χώρα να προχωρήσει σε αναθεωρήσεις, με σκοπό τη δημιουργία της έκδοσης 3.

Ο σκοπός της Ευρωπαϊκής Εδαφολογικής Βάσης Δεδομένων σε κλίμακα 1:1.000.000 είναι η παροχή μιας εναρμοσμένης ομάδας εδαφικών παραμέτρων που να καλύπτει τις ευρωπαϊκές χώρες και τη Μεσόγειο ώστε να χρησιμοποιηθεί για αγρομετεωρολογική και περιβαλλοντική μοντελοποίηση σε τοπικό ή επίπεδο χώρας.

Ενώ αρχικά η βάση δεδομένων κάλυπτε τις χώρες της Κεντρικής Ευρώπης, σήμερα έχει επεκταθεί στις Σκανδιναβικές χώρες, στην Αλβανία, Αυστρία, Βέλγιο, Βοσνία και Ερζεγοβίνη, Βουλγαρία, Κροατία, Τσεχία, Δανία, Εσθονία, Φιλανδία, Γαλλία, FYROM (Former Yugoslav Republic of Macedonia), Γερμανία, Ελλάδα, Ουγγαρία, Ιρλανδία, Ιταλία, Λετονία, Λιθουανία, Ολλανδία, Νορβηγία, Ισπανία, Πολωνία, Πορτογαλία, Ρουμανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Σουηδία, Ελβετία, Αγγλία και Σερβία. Η επέκταση ολοκληρώθηκε με την Ισλανδία, Λευκορωσία, Μολδαβία, Ρωσία και Ουκρανία. Τελικά το έργο θα επεκταθεί στην Αλγερία, Κύπρο, Αίγυπτο, Ιορδανία, Λίβανο, Μάλτα, Μαρόκο, Παλαιστίνη, Συρία, Τυνησία και Τουρκία.

Εκτός από τη γεωγραφική της επέκταση η βάση δεδομένων έχει υποστεί αρκετά σημαντικές αλλαγές, όπως η εισαγωγή νέων τύπων μητρικού υλικού, κωδικοποίηση εδαφών και η χρήση του Παγκοσμίου Συστήματος Αναφοράς (World Reference Base - WRB), σε σχέση με το υπόμνημα του 1990 FAO/UNESCO.

Η διαχείριση της βάσης δεδομένων γίνεται με το λογισμικό ArcInfo® Geographical Information System (GIS). Η βάση δεδομένων περιέχει ένα κατάλογο από Soil Typological Units (STU), ο οποίος χαρακτηρίζει διακριτούς εδαφικούς τύπους, οι οποίοι έχουν αναγνωρισθεί και περιγραφεί. Οι STU περιγράφονται με ιδιότητες (μεταβλητές) οι οποίες προσδιορίζουν τη φύση και τις ιδιότητες των εδαφών, π.χ. την υφή, το καθεστώς υγρασίας, το ποσοστό λίθων, κ.α. Η επιλεγείσα κλίμακα είναι 1:1.000.000, γεγονός που σημαίνει ότι δεν είναι δυνατή η οριοθέτηση κάθε STU ξεχωριστά.

Κατά συνέπεια τα STUs ομαδοποιούνται σε Εδαφικές Χαρτογραφικές Μονάδες (Soil Mapping Units (SMU) για να σχηματίσουν «Ενώσεις». Τα κριτήρια της ομαδοποίησης και η χαρτογράφηση των SMUs λαμβάνει υπόψη και την λειτουργικότητα των «πεδολογικών συστημάτων» μέσα στην περιοχή. Οι λεπτομερείς οδηγίες είναι διαθέσιμες στην έκδοση της Ε.Ε.: EUR 20422 EN.

1.2.4. Γεωαναφερόμενη Ευρωπαϊκή Εδαφολογική Βάση Δεδομένων σε κλίμακα 1:250.000

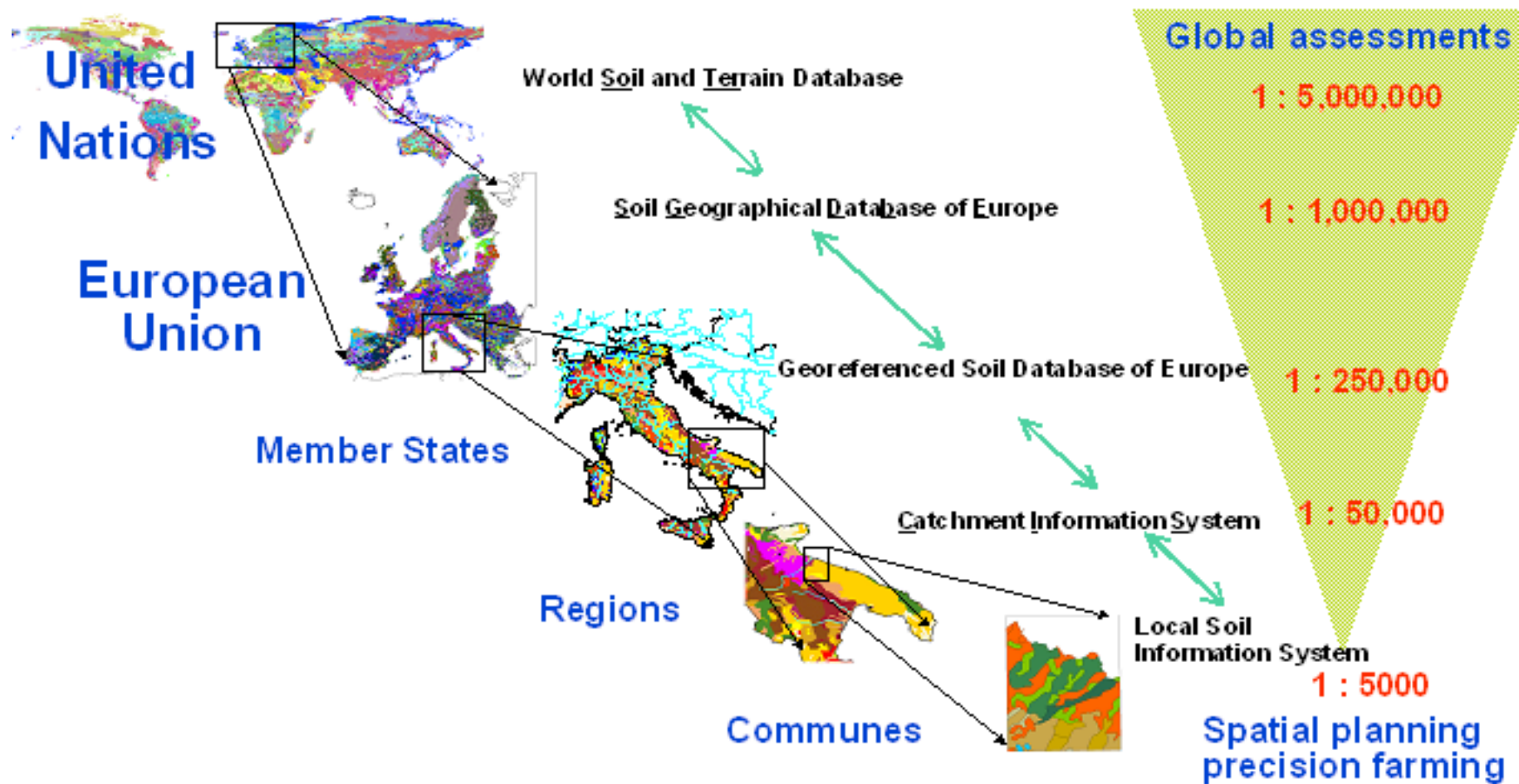
Η κλίμακα και η ακρίβεια της βάσης δεδομένων σε κλίμακα 1:1.000.000 δεν είναι πια ικανή να εγγυηθεί την εναρμόνιση των μεθοδολογιών μεταξύ διαφόρων φορέων χαρτογράφησης και να ικανοποιήσει τις ανάγκες για ειδικές εδαφικές πληροφορίες. Η ομάδα εργασίας του Ευρωπαϊκού

Οργανισμού Περιβάλλοντος DG XI της Ευρωπαϊκής Ένωσης ξεκίνησε μια μελέτη για την σκοπιμότητα της δημιουργίας βάσης δεδομένων σε κλίμακα 1:250.000 (Dudal et al., 1993). Η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η κατασκευή ενός τέτοιου χάρτη ήταν δυνατή και επιβεβλημένη (Εικόνα 1.1). Οι επικεφαλής των εδαφολογικών ινστιτούτων στην Ευρώπη που, συναντήθηκαν στο Silsoe το 1989 (Hodgson, 1991) και στην Orléans το 1994 (Le Bas and Jamagne, 1996), σύστησαν και επικύρωσαν την κατασκευή μιας γεωαναφερόμενης βάσης δεδομένων σε κλίμακα 250.000. Η πραγματοποίηση αυτών των συστάσεων εξασφαλίστηκε από μια ομάδα εργασίας (Soil Information System Development Working Group-SISD) και στη συνέχεια ανατέθηκε στο European Soils Bureau το οποίο ιδρύθηκε στο JRC το 1996 (Montanarella, 1996).

Μια ομάδα εργασίας επιστημόνων διαμόρφωσε τις βασικές έννοιες που υπόκειται η δημιουργία αυτής της νέας βάσης δεδομένων. Ένα εγχειρίδιο των διαδικασιών δημοσιεύθηκε (Doc. EUR 18092 EN), για την περιγραφή της βασικών δομών και των διαδικασιών αυτού του νέου εδαφολογικού έργου. Σε πέντε επιλεγμένες περιοχές της Ευρώπης ολοκληρώθηκαν πιλοτικά έργα, οδηγώντας στη δημιουργία των πρώτων στοιχείων για τη μελλοντική κάλυψη όλης της Ευρώπης.

Πέρα από την ΕΕ, σε διεθνές επίπεδο, υπάρχει αυξανόμενη συνειδητοποίηση της σημασίας της εδαφολογικής προστασίας. Το 2003, το Συμβούλιο της Ευρώπης υιοθέτησε έναν ευρωπαϊκό χάρτη για την προστασία και τη βιώσιμη χρήση του εδάφους. Υπάρχουν επίσης διεθνείς συμφωνίες περιβάλλοντος που έχουν χρησιμότητα για την προστασία των εδαφών. Τα παραδείγματα είναι:

- Kyoto Protocol, το οποίο τονίζει ότι το έδαφος είναι η κύρια αποθήκη του άνθρακα, αντάξιο της προστασίας και της ανάπτυξης οπουδήποτε είναι δυνατόν
- Convention on Biological Diversity (CBD);
- United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD);
- Protocol on Soil Protection στα πλαίσια της Alpine Convention, η οποία αναζητεί τρόπους για να διατηρήσει την οικολογική λειτουργικότητα του εδάφους, να προλάβει την υποβάθμιση του εδάφους και να εξασφαλίσει αιτιολογημένη χρήση του εδάφους στην υπό έρευνα περιοχή.



Εικόνα 1.1. Η πορεία υλοποίησης δημιουργίας εδαφολογικής βάσης δεδομένων μέχρι κλίμακας 1:5.000 (Van-Camp et al., 2004)

1.3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ

Πριν την ανάλυση των διαφόρων τεχνικών και μεθόδων χαρτογράφησης είναι σκόπιμο να καθοριστούν οι βασικοί στόχοι και αρχές της εδαφολογικής χαρτογράφησης, που είναι σημαντικοί και για την κατασκευή και άλλων θεματικών χαρτών. Η κατασκευή ενός εδαφολογικού χάρτη έχει ως σκοπό να δείξει την κατανομή των εδαφικών τύπων σε σχέση με άλλα γνωστά γεωμορφολογικά, τοπογραφικά, φυσικά και γεωργικά χαρακτηριστικά της υπό έρευνα περιοχής. Οι διάφοροι τύποι εδαφών μπορεί να εμφανίζονται ανεξάρτητα ή ως σύμπλοκο, με ονοματολογία και κατάταξη σύμφωνα με το επιθυμητό σύστημα ταξινόμησης. Ο ορισμός αυτός του εδαφολογικού χάρτη γίνεται για να αποκλειστούν άλλα είδη χαρτών όπως, (1) χάρτες που δείχνουν μόνο ορισμένα χαρακτηριστικά του εδάφους όπως κλίση, μηχανική σύσταση, βάθος, χρώμα, κ.λπ. (2) χάρτες ποιότητας γης, διάβρωσης ή γονιμότητας και (3) χάρτες που δείχνουν εδαφογενετικούς παράγοντες (Soil Survey Staff, 1951).

Η αξιολόγηση των εδαφών δεν πρέπει να γίνεται μόνο με βάση τα εργαστηριακά δεδομένα, αλλά πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το έδαφος, ως **στοιχείο της γαιομορφής**. Αυτό σημαίνει ότι η κλίση, ο προσανατολισμός, η θέση, η διάβρωση, κ.λπ., παίζουν σημαντικό επίσης ρόλο, γιατί έχουν σημασία για την καταλληλότητα των εδαφών και δεν είναι δευτερεύοντα χαρακτηριστικά.

Σύμφωνα με το Soil Survey Staff (1951), η εδαφολογική χαρτογράφηση περιλαμβάνει όλα τα αποτελέσματα των εργασιών που έχουν ως στόχο:

- να καθορίσουν τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του εδάφους,
- να ταξινομήσουν τα εδάφη σε κάποιες ταξινομικές μονάδες,
- να χαράξουν σε χάρτες τα όρια μεταξύ των διαφόρων ομάδων εδαφών,
- να συσχετίσουν και να προβλέψουν την προσαρμοστικότητα των εδαφών σε διάφορες γεωργικές χρήσεις,
- να μελετήσουν την συμπεριφορά τους και την παραγωγικότητα τους κάτω από διάφορα γεωργικά συστήματα και να συσχετίσουν τις αποδόσεις καλλιεργειών με ορισμένα συστήματα καλλιεργητικής πρακτικής.

Ταξινόμική μονάδα είναι η μονάδα ενός συστήματος ταξινόμησης εδαφών που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες μιας εδαφολογικής έρευνας. Π.χ. η **Σειρά (Series)** είναι μια μονάδα του Αμερικανικού Συστήματος Ταξινόμησης (Soil Survey Staff, 1975). Ο καθορισμός στον χάρτη, στην αεροφωτογραφία, κ.λπ., της θέσης όμοιων ταξινόμικών μονάδων ή συμπλόκου αυτών, που επιτυγχάνεται συνήθως με την χάραξη ενός ορίου, δημιουργεί τη χαρτογραφική μονάδα. Η χαρτογραφική και ταξινόμική μονάδα είναι άμεσα συνδεδεμένες με την κλίμακα χαρτογράφησης και την κλίμακα εκτύπωσης του χάρτη.

Τα **Συστήματα Ταξινόμησης Εδαφών** δημιουργήθηκαν για δύο σκοπούς, (1) τη διευκόλυνση της χαρτογράφησης και συστηματικής μελέτης των εδαφών και (2) τη συσχέτιση μεταξύ εδαφών που χαρτογραφήθηκαν από διαφορετικούς χαρτογράφους. Οι σκοποί όμως αυτοί έρχονται σε αντίθεση μεταξύ τους, γιατί ενώ ο πρώτος απαιτεί ευελιξία στα κριτήρια ταξινόμησης, ο δεύτερος απαιτεί καθορισμένα όρια (Elbersen, 1978). Π.χ. ο καθορισμός μιας χαρτογραφικής μονάδας με βάση το κριτήριο: έχουν τα εδάφη της μελετώμενης περιοχής ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου μεγαλύτερο από 4,6% στον επιφανειακό ορίζοντα; είναι εκτός πραγματικότητας. Ένα όμως κριτήριο όπως: παρουσιάζουν τα εδάφη μιας περιοχής μετακίνηση αργίλου στον Β ορίζοντα; μπορεί να οδηγήσει μάλλον εύκολα στη χάραξη εδαφολογικών ορίων.

Η συσχέτιση όμως μεταξύ των χαρτογραφηθέντων εδαφών από δύο χαρτογράφους και με βάση την μετακίνηση αργίλου, θα είναι δύσκολη. Αυτό οφείλεται στην διαφορά λεπτομέρειας που θα προχωρήσει ο κάθε χαρτογράφος κατά την εφαρμογή του κριτηρίου αυτού, με μόνο δεδομένα υπαίθρου. Παρά λοιπόν την ευελιξία που υπάρχει η συσχέτιση είναι δύσκολη. Από την στιγμή όμως που στο κριτήριο **μετακίνηση αργίλου** τεθούν αριθμητικά όρια, η συσχέτιση είναι δυνατή, αλλά έχει χαθεί η ευελιξία.

Τα βασικά κριτήρια που πρέπει να πληρεί ένα εδαφολογικός χάρτης είναι:

- Ο εδαφολογικός χάρτης πρέπει να είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί από όσο το δυνατό περισσότερους χρήστες. Η μονάδα ταξινόμησης που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι κατάλληλη για το σκοπό της χαρτογράφησης.
- Για την ερμηνεία της ταξινομικής μονάδας δεν θα πρέπει να απαιτείται ειδικότητα εδαφολόγου, ή γνώσεις αποκρυπτογράφησης, γιατί έτσι περιορίζονται οι χρήστες.
- Το υπόμνημα πρέπει να είναι σαφές και κυρίως αναγνώσιμο, χωρίς ο χρήστης να παραπέμπεται σε αναφορές που ανεξάρτητα συνοδεύουν τον χάρτη. Αυτό συνήθως γίνεται από τον χρήστη όταν απαιτούνται περισσότερες πληροφορίες για μια ταξινομική ή χαρτογραφική μονάδα.
- Τέλος ο εδαφολογικός χάρτης θα πρέπει να είναι η βάση κατασκευής άλλων θεματικών χαρτών, όπως χρήσης γης, καταλληλότητας εδαφών, αρδευσιμότητας, γονιμότητας, κ.λπ.

1.4. Η ΚΛΑΣΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Η κλασσική μέθοδος χαρτογράφησης χρησιμοποιεί βασικά τρεις τεχνικές, (1) τη μελέτη και χαρτογράφηση των εδαφών με τη διάνοιξη φρεατίων σε διάταξη **δικτύου** (grid method) και σε αποστασίες που εξαρτώνται από την κλίμακα χαρτογράφησης, (2) τη διάνοιξη φρεατίων σε θέσεις όπου με βάση μορφολογικά χαρακτηριστικά ο εδαφολόγος πιστεύει ότι υπάρχει αλλαγή εδάφους, και (3) με τον συνδυασμό των πρώτων δύο μεθόδων (Καλόβουλος, 1972). Κοινό σημείο και των τριών τεχνικών της κλασσικής μεθόδου είναι ότι η χάραξη των ορίων μεταξύ των διαφόρων χαρτογραφικών μονάδων γίνεται με δυσκολία και πολλές παρατηρήσεις, ειδικά στην περίπτωση ανωμάλου ανάγλυφου.

Τα μειονεκτήματα της κλασσικής μεθόδου είναι:

- η αύξηση του χρόνου εργασίας,
- το απαιτούμενο προσωπικό,
- η αύξηση του κόστους/στρέμμα χαρτογραφούμενης γης,
- το επίπονο και κουραστικό της εργασίας και
- η μη αναλογική αύξηση της ακρίβειας χαρτογράφησης.

Η κλασσική μέθοδος πρέπει να χρησιμοποιείται:

- όταν δεν είναι δυνατή η εφαρμογή της φυσιογραφικής μεθόδου με τη χρήση τηλεπισκόπησης,
- όταν η περιοχή είναι επίπεδη,
- σε πολύ λεπτομερή χαρτογράφηση σε συνδυασμό πάντα με τη φυσιογραφία και τη χρήση τηλεπισκόπησης.

Στην κλασσική μέθοδο χαρτογράφησης τα όρια μεταξύ των εδαφών εντοπίζονται με βάση τα εσωτερικά χαρακτηριστικά των εδαφών που μελετήθηκαν με φρεάτια και εδαφοτομές κατά την εργασία υπαίθρου. Για την πραγματοποίηση όμως του σκοπού αυτού απαιτείται μεγάλος αριθμός παρατηρήσεων υπαίθρου, ενώ συγχρόνως τα όρια μεταξύ των χαρτογραφικών μονάδων **δεν είναι απόλυτα αντικειμενικά**, μια που πολλές φορές δεν ακολουθούν φυσιογραφικά χαρακτηριστικά.

Χάραξη ορίων με την κλασσική μέθοδο

Η εδαφολογική χαρτογράφηση είναι έργο σημαντικό και δύσκολο. Χαρτογράφοι που στερούνται πείρας ή στερούνται γνώσεων βασικών αρχών εδαφολογίας, δυσκολεύονται να χαράξουν όρια με την αντικειμενικότητα και την απαιτούμενη ακρίβεια. Ο έμπειρος, και με γνώσεις χαρτογράφος, χρησιμοποιεί **τα ίδια κριτήρια για όλη την περιοχή** και γνωρίζει πολύ καλά ότι εδαφολογικός

χάρτης χωρίς ακρίβεια ορίων είναι κακής ποιότητας, ανεξάρτητα από την ακρίβεια της ταξινόμησης των εδαφών. Κανείς χαρτογράφος που στερείται αξιοπιστίας δεν πρέπει να παραμένει στη ομάδα χαρτογράφησης. Σε αντίθεση περίπτωση ο έλεγχος των παρατηρήσεων του θα είναι δύσκολος και η **ζημιά από την κατασκευή ενός αναξιόπιστου χάρτη θα είναι πολύ σοβαρή.**

Εντοπισμός ορίων

Συνήθως τα εδαφικά όρια εντοπίζονται με τον χαρτογράφο να διατρέχει την περιοχή επάνω σε διαδρομές μιας προσχεδιασμένης κανάβου, η απόσταση των οποίων εξαρτάται από την κλίμακα του χάρτη και από τον τρόπο κατανομής των εδαφών (βαθμός ομοιομορφίας της περιοχής). Σε λεπτομερείς χαρτογραφήσεις η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των διαδρομών πρέπει να είναι 250-300 μέτρα, αλλά ακόμη και σε αυτήν την απόσταση μπορεί να χρειαστούν και ενδιάμεσες διαδρομές. Τα όρια στη λεπτομερή χαρτογράφηση χαράζονται από παρατηρήσεις κατά μήκος των διαδρομών.

Ο πεπειραμένος χαρτογράφος σχεδιάζει τις διαδρομές του με σκοπό να διασταυρώσει όσο περισσότερα όρια εδαφών μπορεί. Στην πορεία, και σε μικρή απόσταση μπροστά του, χαράζει δοκιμαστικά τα εδαφικά όρια, που είναι ορατά με βάση στοιχεία επιφανείας. Καθώς τα διασταυρώνει, τα επιβεβαιώνει, χαράζει το όριο και τοποθετεί το σύμβολο (Εικόνα 1.2). Όλα τα εδαφικά όρια δεν συμπίπτουν με φυσιογραφικά στοιχεία. Π.χ. εδάφη, που διαφέρουν μόνο στη χρήση τους, μπορεί να παρουσιάζουν διαφορά μόνο στις διαστρώσεις τους (π.χ. τα λιμναίως και αλλουβιακής προέλευσης), οπότε δεν παρουσιάζουν αξιοσημείωτες εξωτερικές διαφορές. Παρόμοια όρια πρέπει να διαπιστωθούν με επιτόπιες παρατηρήσεις. Χαρακτηριστικά βαθύτερων οριζόντων ή διαστρώσεων μπορεί να έχουν μικρή σημασία για τη φυσική βλάστηση (εξωτερικό χαρακτηριστικό), αλλά να επιδρούν σοβαρά στις δυνατότητες άρδευσης και στους κινδύνους πλημμύρας και αλάτωσης.

Μερικά εδαφικά όρια καθορίζονται με ακρίβεια, ενώ άλλα σχηματίζουν μεταβατικές ζώνες, όπου ένας τύπος εδαφών εισχωρεί βαθμιαία μέσα σε έναν άλλο. Η ύπαρξη μεταβατικών ζωνών συνήθως χειροτερεύει την κατάσταση, γιατί απαιτούνται δύο όρια αντί για ένα, κάθε ένα από τα οποία είναι ακόμη πιο δύσκολο να εντοπισθεί με ακρίβεια.

Ένα σημαντικό στοιχείο είναι η ακρίβεια της σχετικής θέσης των εδαφικών ορίων με σταθερά μορφολογικά και τοπογραφικά σημεία, όπως δρόμους, χαράδρες, διασταυρώσεις δρόμων, κ.λπ. Στην περίπτωση αυτή μπορεί ένα όριο να έχει ακρίβεια <50 μέτρων, αλλά να έχει χαραχθεί στην άλλη πλευρά ενός δρόμου ή χαράδρας. Είναι ευνόητο ότι στην περίπτωση αυτή το λάθος θα είναι αρκετό για να χάσουν οι χρήστες την εμπιστοσύνη τους. Π.χ ένας γεωργός ενδιαφέρεται για τα εδάφη των χωραφιών του που βρίσκονται μεταξύ μιας χαράδρας και ενός δρόμου, άλλος μεταξύ ενός χειμάρρου και ενός λόφου. Ένας μηχανικός μπορεί να ενδιαφέρεται για το έδαφος στην διασταύρωση με μία σιδηροδρομική γραμμή, κ.λπ. Ακριβής σχετική θέση των χαρτογραφικών μονάδων είναι σε ορισμένες περιπτώσεις γεγονός πιο σημαντικό από την πεδογενετική τους ακρίβεια.

Μόνο πεπειραμένοι χαρτογράφοι μπορούν να εκτιμήσουν αποστάσεις πέρα των 200 μέτρων, ακόμη και κάτω από τις καλύτερες συνθήκες. Οι περισσότεροι χαρτογράφοι χρειάζονται έλεγχο για την εκτίμηση αποστάσεων περισσότερο από 100 μέτρα. Διακυμάνσεις της επιφάνειας εισάγουν μεγάλο σφάλμα στους άπειρους χαρτογράφους. Π.χ. ίσες αποστάσεις, όταν παρατηρούνται επάνω σε νερό, χέρσα ή θαμνώδη γη ή μεταξύ δένδρων, δεν εμφανίζονται ίσες στον παρατηρητή. Μια απόσταση μέσα σε ομαλή κοιλάδα φαίνεται μικρότερη από μια ίση απόσταση μέσα σε κοιλάδα με χαμηλούς λόφους (Soil Survey Staff, 1951).

Στην αναγνωριστική χαρτογράφηση τα όρια δεν είναι απαραίτητο να εντοπίζονται κατά μήκος της πορείας τους, αλλά όπου οι διαδρομές παρατήρησης του χαρτογράφου τα διασταυρώνουν (transecting). Μεταξύ όμως των σημείων παρατήρησης, σε πολλές περιπτώσεις τα όρια σχεδιάζονται με βάση την εμφάνιση των γαιομορφών στις αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες. Στην περίπτωση αυτή επιπλέον εμπειρία απαιτείται για την ερμηνεία των εξωτερικών στοιχείων των γαιομορφών (φωτοερμηνεία).



Εικόνα 1.2. Αυτοματοποιημένη διαδικασία δημιουργίας κανάβου σε προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ87 και υπέρθεση του στην υπό χαρτογράφηση περιοχή. Στο κάθε τετράγωνο διανοίγονται 9 φρεάτια σε βάθη 0-30, 30-60 και >60 εκ. και συγχωνεύονται στο κεντρικό φρεάτιο, ομογενοποιούνται και έτσι τελικά από κάθε τετράγωνο πραγματοποιούνται αναλύσεις μόνο στο κεντρικό φρεάτιο που αποτελεί ανάμιξη και των εννέα φρεατίων

Σε περιπτώσεις που προβλέπεται στο μέλλον πιο λεπτομερής έρευνα, καλό είναι να φυλάσσονται όλα τα δείγματα. Χρησιμοποιώντας σύστημα πλοήγησης και GPS, ο χαρτογράφος εύκολα εντοπίζει τις θέσεις των φρεατίων. Βεβαίως μικρές μετακινήσεις είναι δυνατές, μια που ένα σημείο μπορεί να μην είναι προσπελάσιμο, είτε να βρίσκεται, π.χ. επάνω σε δρόμο. Με τη διάταξη αυτή μπορεί να εφαρμοστεί η κλασσική μέθοδος εντοπισμού ορίων ή να εφαρμοστούν μέθοδοι παρεμβολής. Στην περίπτωση που ήδη έχει κατασκευαστεί και φυσιογραφικός χάρτης, τότε και οι τρεις μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν (κλασσική, φυσιογραφική και παρεμβολής εντός των φυσιογραφικών ορίων).

Στην εδαφολογική χαρτογράφηση μερικά όρια, που είναι μεγαλύτερης σημασίας από άλλα, όπως π.χ. μεταξύ υγρών και ξερών εδαφών ή αργιλωδών και αμμωδών εδαφών, κ.λπ., χρειάζονται έμφαση, είτε με διαφορετικό χρώμα, είτε με μεγαλύτερου πάχους γραμμές.

Η σχεδίαση των ορίων είναι ένας συνεχής έλεγχος επάνω στην ταξινόμηση των εδαφών. Θεωρητικά μπορούμε να αναπτύξουμε ένα καλό σύστημα ταξινόμησης, χωρίς καλή χαρτογράφηση. Εάν τα όρια δεν είναι δυνατό να καθοριστούν με ακρίβεια από ένα έμπειρο χαρτογράφο, τότε το σύστημα ταξινόμησης ή το σύστημα χαρτογράφησης χρειάζεται αναθεώρηση.

Το ελάχιστο μέγεθος των χαρτογραφικών μονάδων εξαρτάται από την κλίμακα χαρτογράφησης και από την σημασία στην πρόβλεψη της χρήσης του και της ορθότερης εκμετάλλευσής του. Σε περιοχές εντατικής χρήσης χαρτογραφούνται περιοχές μεγέθους ακόμη και 2-4 στρεμμάτων. Εάν είναι πολύ μικρές αλλά σημαντικές, αντί ορίου μπορεί να συμβολίζονται με σύμβολο και στο υπόμνημα να διευκρινίζεται το μέγεθος της έκτασης που αντιπροσωπεύει.

Βασικά ισχύει ο τύπος «**πυκνότητα παρατηρήσεων = 1 παρατήρηση/cm² χάρτου ορισμένης κλίμακας**». Π.χ. για κλίμακα 1:5.000 το 1 cm στον χάρτη είναι στην πραγματικότητα 50 μέτρα και το 1 cm² είναι 50 x 50 μ. = 2.500 μέτρα, δηλαδή 2,5 στρέμματα, άρα θεωρητικά πρέπει να γίνεται μια παρατήρηση ανά 2,5 στρέμματα. Βεβαίως αυτό είναι κάτι το σχετικό, γιατί πολλά εξαρτώνται από την ομοιομορφία των εδαφών, την εμπειρία του χαρτογράφου, τη χρήση τηλεπισκόπησης,

Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και Παγκόσμιων Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης (GPS).

1.5. Η ΦΥΣΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Η φυσιογραφική μέθοδος, σε αντίθεση με την κλασσική, μελετά πρώτα τα εξωτερικά χαρακτηριστικά των εδαφών, εντοπίζει και χαράζει τα όρια μεταξύ των χαρτογραφικών μονάδων και στη συνέχεια μελετά με περιορισμένο αριθμό παρατηρήσεων τα εσωτερικά χαρακτηριστικά. Η χάραξη των ορίων μεταξύ των διαφόρων χαρτογραφικών μονάδων, με βάση τα εξωτερικά χαρακτηριστικά των εδαφών, αποτελεί βασική τεχνική της φυσιογραφικής χαρτογράφησης με αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες.

Στις περισσότερες των περιπτώσεων τα όρια αυτά αντιπροσωπεύουν και διαφορές στα εσωτερικά εδαφικά χαρακτηριστικά. Όσο πιο μεγάλη είναι η διαφοροποίηση στα εξωτερικά χαρακτηριστικά (π.χ. λόφος προς πεδινό τμήμα) τόσο ευκολότερος είναι ο εντοπισμός και η χάραξη ενός ορίου.

Στο γεγονός ότι τα **τα εσωτερικά και εξωτερικά χαρακτηριστικά των εδαφών έχουν άμεση σχέση μεταξύ τους**, βασίζεται η εφαρμογή της φωτοερμηνείας για εδαφολογικούς σκοπούς. Εάν διαλέξουμε ένα εξωτερικό χαρακτηριστικό, π.χ. την κλίση και μελετήσουμε τη διαφοροποίηση της κατά μήκος μιας γραμμής (τοποδιαδοχή-catena), θα παρατηρήσουμε ότι και άλλα εδαφικά χαρακτηριστικά διαφοροποιούνται σε σχέση με αυτήν, π.χ. το πάχος του Α-ορίζοντα, το χρώμα, η μηχανική σύσταση, η δομή κ.λπ. Άλλα χαρακτηριστικά όμως, όπως π.χ. το pH, μπορεί να μην έχουν σχέση με την κλίση. Όσα χαρακτηριστικά έχουν σχέση με το κριτήριο κλίση ονομάζονται **συμπληρωματικά**, ενώ όσα δεν έχουν σχέση ονομάζονται **τυχαία**.

Εάν εξετάσουμε τα εδάφη μιας χαρτογραφικής μονάδας που οριοθετήθηκε με βάση τα εξωτερικά και εσωτερικά χαρακτηριστικά τους, θα παρατηρήσουμε ότι δεν υπάρχει πλήρης ομοιογένεια μεταξύ των εσωτερικών εδαφικών χαρακτηριστικών. Εάν μελετήσουμε τυχαία μερικές εδαφοτομές θα δούμε ότι δεν ανήκουν στην ίδια ταξινομική κατηγορία του συστήματος ταξινόμησης που έχουμε επιλέξει. Η προσπάθεια εντοπισμού του ακριβούς ορίου μεταξύ εδαφοτομών δεν είναι καθόλου πρακτική και δεν είναι δυνατό να εφαρμοστεί, ανεξάρτητα του συστήματος χαρτογράφησης. Στην πραγματικότητα μια χαρτογραφική μονάδα για να χαρακτηριστεί ομοιογενής πρέπει να περιλαμβάνει τα **κύρια εδάφη** σε ποσοστό μεγαλύτερο από 75% και τα **δευτερεύοντα εδάφη** στο υπόλοιπο ποσοστό (σε σχέση βεβαίως και με την κλίμακα).

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου λόγω ασαφούς μεταβολής των εξωτερικών χαρακτηριστικών των εδαφών, ο εντοπισμός και η χάραξη των ορίων μεταξύ των χαρτογραφικών μονάδων είναι δύσκολη και ασαφής.

Στην περίπτωση αυτή πρέπει να λάβουμε υπ όψη τα παρακάτω:

- Σημασία των μονάδων από κάθε πλευρά των ορίων.
- Σημασία του ορίου για τη γεωργία.
- Εμφάνιση χαρακτηριστικών στους αγρούς που μπορούν να βοηθήσουν το διαχωρισμό.

Επίσης υπάρχει περίπτωση να εντοπίσουμε την αλλαγή ενός εσωτερικού εδαφικού χαρακτηριστικού με βάση την αλλαγή ενός εξωτερικού στοιχείου π.χ. της βλάστησης.

1.5.1. Αρχές της φυσιογραφικής μεθόδου χαρτογράφησης

Με τη μέθοδο αυτή η περιοχή χωρίζεται σε φυσιογραφικές χαρτογραφικές μονάδες με βάση τα χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας. Π.χ. ο διαχωρισμός ενός λόφου από μια πεδινή έκταση είναι ένας **φυσιογραφικός διαχωρισμός**, ενώ ο λόφος και η πεδινή έκταση ονομάζονται **φυσιογραφικές χαρτογραφικές μονάδες**.

Στη φάση αυτή ελάχιστα γνωρίζουμε για τα εσωτερικά χαρακτηριστικά των εδαφών στις μονάδες αυτές. Είμαστε όμως σίγουροι ότι θα διαφέρουν, ακριβώς γιατί η **διαφορά στα εξωτερικά**

χαρακτηριστικά συνήθως επιδρά και στα εσωτερικά χαρακτηριστικά των εδαφών. Τα εδάφη του λόφου λόγω διάβρωσης του επιφανειακού ορίζοντα και διαφορετικής διηθητικότητας - διαπερατότητας θα παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά από αυτά της πεδινής έκτασης.

Η διάβρωση, η απόθεση, το κλίμα, το μητρικό υλικό, η βλάστηση, κ.λπ., δηλαδή οι παράγοντες που επέδρασαν στο σχηματισμό του λόφου και της πεδινής έκτασης, ονομάζονται **φυσιογραφικά στοιχεία**. Τα ίδια όμως φυσιογραφικά στοιχεία που επιδρούν στο σχηματισμό των φυσιογραφικών μονάδων ή τύπων, επιδρούν και στο σχηματισμό και στην εξέλιξη των εδαφών.

Από τα παραπάνω ενισχύεται η άποψη σχετικά με τη στενή σχέση μεταξύ των εξωτερικών και εσωτερικών χαρακτηριστικών των εδαφών. Η φυσιογραφική χαρτογράφηση δεν στηρίζεται μόνο στην αναγνώριση των φυσιογραφικών τύπων, γιατί μόνο του το στοιχείο αυτό δεν επαρκεί για να βγάλουμε σωστά συμπεράσματα. Π.χ. εάν κατά μήκος ενός ποταμού βλέπουμε μια στενή έκταση γης που την διαχωρίζουμε από τη γειτονική της, λόγω διαφοράς στο φωτογραφικό τόνο, απλά χωρίσαμε με μηχανικό τρόπο δύο φυσιογραφικές μονάδες. Δεν απαντήσαμε στο ερώτημα **πώς σχηματίστηκε** η στενή λωρίδα γης δίπλα από το ποτάμι και **γιατί διαφέρει** από τη γειτονική της. Δηλαδή δεν αναγνωρίσαμε τη **φυσιογραφική διεργασία** που σχημάτισε τη μονάδα αυτή.

Το γεγονός της **αναγνώρισης της φυσιογραφικής διεργασίας** που σχημάτισε τη φυσιογραφική μονάδα θα μας δώσει ένα πλήθος πληροφοριών σχετικά με αυτή. Για να επιτύχουμε όμως την αναγνώριση της φυσιογραφικής διεργασίας χρειάζονται γνώσεις γεωμορφολογίας, τουλάχιστον οι βασικές.

Στην περίπτωση του παραπάνω παραδείγματος θα έπρεπε να γνωρίζουμε ότι το νερό των ποταμών μεταφέρει γαιώδη υλικά που παρασύρει, με τη διάβρωση που προκαλεί, από διάφορες τοποθεσίες. Όταν πλημμυρίζει και στη συνέχεια το νερό αποσύρεται, διηθείται, ή εξατμίζεται, αφήνει στην περιοχή που πλημμύρισε το γαιώδες υλικό που μετέφερε σε αιώρηση, συνήθως άργιλο και ιλύ. Η άργιλος και η ιλύς που αποτέθηκαν στην γειτονική του ποταμού περιοχή ονομάζονται **αλλουβιακά υλικά**, ενώ η περιοχή ονομάζεται **αλλουβιακό επίπεδο, ή αλλουβιακές προσχώσεις** (Φωτογραφία 1.1). Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι τα ποτάμια δεν σχηματίζουν μόνο μικρές αλλουβιακές περιοχές, αλλά πεδιάδες ολόκληρες, όπως π.χ. την πεδιάδα της Θεσσαλονίκης (σε χρονική περίοδο βεβαίως χιλιάδων ετών).

Το συμπέρασμα είναι ότι ο **διαχωρισμός των φυσιογραφικών μονάδων δεν πρέπει να γίνεται μόνο με βάση την εμφάνιση τους στις αεροφωτογραφίες και/ή δορυφορικές εικόνες, ή στην υπαίθρο, αλλά και με βάση τις διεργασίες που τις σχημάτισαν**. Η αναγνώριση των φυσιογραφικών διεργασιών είναι επίσης απαραίτητη και για τον ποιοτικό διαχωρισμό των φυσιογραφικών μονάδων. Δηλαδή μετά το διαχωρισμό μιας μονάδας και την αναγνώριση της φυσιογραφικής διεργασίας που την σχημάτισε, θα πρέπει να δοθεί στη μονάδα ένα όνομα, απαραίτητο για την ποιοτική της ταξινόμηση π.χ. αλλουβιακό επίπεδο, αλλουβιακό ριπίδιο, κολλουβιακή αναβαθμίδα, κ.λπ. Με τον τρόπο αυτό συμπληρώνεται ο φυσιογραφικός διαχωρισμός μιας περιοχής.

Στη συνέχεια με περιορισμένο αριθμό παρατηρήσεων υπαίθρου (φρεάτια-εδαφοτομές) εξετάζουμε τα εσωτερικά χαρακτηριστικά των εδαφών και με ανάλυση δειγμάτων στο εργαστήριο συμπληρώνουμε τις πληροφορίες, απαραίτητες για την ταξινόμηση και αξιολόγηση των εδαφών αυτών.



Φωτογραφία 1.1. Αλλουβιακές περιοχές σε σημεία του Στρυμόνα ποταμού. Κάτω η είσοδος του Στρυμόνα στη λίμνη Κερκίνη δημιουργεί προσχώσεις σε μορφή δέλτα. Απεικόνιση σε τρισδιάστατη απεικόνιση με τη χρήση του ArcScene, DEM και δορυφορικής εικόνας του LANDSAT-5

Από τη στιγμή, που έχουμε όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τα εδάφη των φυσιογραφικών μονάδων, ο αρχικός χάρτης, που είχαμε κατασκευάσει με βάση την αναγνώριση των εξωτερικών χαρακτηριστικών (φυσιογραφικός χάρτης), ονομάζεται πλέον "**εδαφολογικός χάρτης**" της περιοχής που ερευνήσαμε.

Η φυσιογραφική μέθοδος αναπτύχθηκε από τους Buringh (1960), Vink (1963), Goosen (1967) και Bennema-Gelens (1969), ενώ στην Ελλάδα εφαρμόστηκε από τους Παπαμίχο (1979), Nakos (1983) για τα δασικά εδάφη, Συλλαίος (1981) για τα γεωργικά εδάφη, ενώ αναλύεται από τον Καλόβουλο (1981).

1.5.2. Φυσιογραφικά στοιχεία

Η γνώση των φυσιογραφικών στοιχείων είναι απαραίτητη στη φυσιογραφική μέθοδο χαρτογράφησης γιατί η διαφοροποίηση τους σημαίνει διαφοροποίηση των εδαφών και κατά συνέπεια διαφορετικές χαρτογραφικές μονάδες.

Τα φυσιογραφικά στοιχεία που αναφέρονται στον πίνακα 1.1, δεν έχουν όλα την ίδια σημασία για κάθε χαρτογραφούμενη περιοχή. Π.χ. η διάβρωση ελάχιστη σημασία έχει σε μια επίπεδη περιοχή, ενώ αντίθετα έχουν οι υδρολογικές συνθήκες που συνήθως εκφράζονται με διαφορές στον φωτογραφικό τόνο στις αεροφωτογραφίες ή ραδιομετρική τιμή στις δορυφορικές εικόνες.

Αυτό σημαίνει ότι κάθε φορά που εφαρμόζουμε τη φυσιογραφική μέθοδο σε μια περιοχή, εκλέγουμε από τον πίνακα 1.2 τα φυσιογραφικά στοιχεία που κατά τη γνώμη μας επέδρασαν στη διαφοροποίηση των εξωτερικών χαρακτηριστικών της περιοχής που ερευνούμε. Στη συνέχεια με βάση τα στοιχεία αυτά διαχωρίζουμε την περιοχή σε φυσιογραφικές χαρτογραφικές μονάδες.

1.5.3. Σημασία των φυσιογραφικών στοιχείων για την εδαφολογική χαρτογράφηση (Bennema και Gelens, 1969).

ΚΛΙΣΗ – ΑΝΑΓΛΥΦΟ

Τα δυο αυτά στοιχεία εξετάζονται μαζί γιατί το ανάγλυφο μπορεί να χαρακτηριστεί σαν σύμπλοκο κλίσεων και γιατί ότι αναφέρεται στην κλίση έχει εφαρμογή και για το ανάγλυφο. Τα δύο αυτά φυσιογραφικά στοιχεία έχουν μεγάλη σημασία στην φυσιογραφική με αεροφωτογραφίες /δορυφορικές εικόνες χαρτογράφηση γιατί είναι **άμεσα ορατά** στη στερεοσκοπική παρατήρηση τους, έχουν μεγάλη σχέση με τις ιδιότητες των εδαφών και με τα εδαφικά όρια. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να προσέχουμε το φαινόμενο της **υπερύψωσης** που εμφανίζεται κατά την τρισδιάστατη παρατήρηση των εικόνων, δηλαδή το ότι οι κλίσεις και γενικά το ανάγλυφο φαίνεται πιο απότομο από ότι στην πραγματικότητα.

Η υπερύψωση εξαρτάται κυρίως από το είδος του φακού της φωτογραφικής μηχανής (ευρυγώνιος, κανονικός, κ.λπ.) και το ποσοστό επικάλυψης των γειτονικών εικόνων. Γενικά μπορεί να λεχθεί ότι η μικρή επικάλυψη δημιουργεί μεγαλύτερη υπερύψωση. Εάν το φαινόμενο της υπερύψωσης σε περιπτώσεις ισχυρού ανάγλυφου μπορεί να χαρακτηριστεί σαν μειονέκτημα, σε περιπτώσεις πολύ ομαλού ανάγλυφου (μικρο-ανάγλυφο) θεωρείται πλεονέκτημα.

Η σχέση των στοιχείων κλίση - ανάγλυφο με τις εδαφικές συνθήκες είναι άμεση και έμμεση. Άμεση γιατί αφού το έδαφος θεωρείται σαν ένα τρισδιάστατο σώμα, η τοπογραφική διαμόρφωση της επιφάνειας θεωρείται σαν ιδιότητα του εδάφους. Η κλίση και το ανάγλυφο χρησιμοποιούνται επίσης σαν στοιχεία στην αξιολόγηση εδαφών και γαιών, γιατί έχουν άμεση σχέση με το ποσοστό διάβρωσης, τη δυνατότητα εφαρμογής μηχανικής καλλιέργειας, τον τρόπο άρδευσης, κ.λπ. Έμμεσα τα δυο αυτά φυσιογραφικά στοιχεία επιδρούν στη διαμόρφωση της εδαφοκατατομής, γιατί έχουν σχέση π.χ. με τη διαπερατότητα-διηθητικότητα, την έκπλυση, λόγω διάβρωσης, του επιφανειακού υλικού, κ.λπ.

Πίνακας 1.1. Ταξινόμηση των φυσιογραφικών στοιχείων, εμφάνιση στις αεροφωτογραφίες/δορυφορικές εικόνες και σχέση αυτών με (1) το σχηματισμό των εδαφών και (2) με τα όρια μεταξύ των χαρτογραφικών μονάδων

Ταξινόμηση στοιχείων	Φυσιογραφικά στοιχεία	Εμφάνιση στις αεροφωτογραφίες	Σχέση με	
			σχηματισμό εδαφών	εδαφικές και μονάδες γης
ΒΑΣΙΚΑ	Φυσική βλάστηση	+	+	++
	Θέση	+++	+ έως +++	+ έως ++
	Εμφάνισεις βράχων	++	+++	+++
	Επιφανειακό νερό	+++	+++	+++
	Κλίσεις	+++	++	++
ΣΥΝΘΕΤΑ	Υδρογραφικά δίκτυα	+++	+	+
	Φυτική κάλυψη	+++	+	+ έως +++
	Αγροτεμάχια	+++	+	+
	Ρήγματα, ρηγματώσεις	++	+	+
	Φωτογραφικός τόνος	+++	++	++
	Ανάγλυφο	+++	++	+++
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ	Υδρολογικές συνθήκες	+	++	+
	Μητρικό υλικό	+	+++	+++
	Βάθος εδάφους	+	+++	+++
	Χαραδρωτική διάβρωση	+++	++	+++
	Επιφανειακή διάβρωση	++	++	+++
	Περιβάλλον (κίνδυνος υποβάθμισης)	++	+ έως +++	- έως ++
	Φυσικές ιδιότητες	+	++	+++
	Χημικές ιδιότητες	+	++	+++

+ Σαφής, ++ Πολύ σαφής, +++ Πάρα πολύ σαφής, - Ασαφής

Πίνακας 1.2. Φυσιογραφικά στοιχεία

ΒΑΣΙΚΑ	ΣΥΝΘΕΤΑ	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ
Φυσική βλάστηση	Υδρογραφικό δίκτυο	Υδρολογικές συνθήκες
Πετρώματα	Καλλιέργειες	Μητρικό υλικό
Ειδικές καλλιέργειες	Κατανομή αγροτεμαχίων	Βάθος εδάφους
Επιφανειακό νερό	Τεκτονικά ρήγματα	Συνθήκες διάβρωσης
Χρόνος	Φωτογραφικός τόνος	Συνθήκες διάβρωσης και απόθεσης
Ανάγλυφο		Χρόνος
Κλίμα		

Χαρακτηριστικά κλίσης

Βαθμός κλίσης: Πολλές φορές είναι χρήσιμο να χωρίσουμε τις κλίσεις της χαρτογραφούμενης περιοχής σε κλάσεις, παρά το γεγονός ότι συνήθως χρησιμοποιούμε κλάσεις ανάγλυφου. Η κλίση συνήθως εκφράζεται σε % ποσοστό.

Κλάσεις κλίσης (%) (Εικόνα 1.3)

- A: 0-3 επίπεδη ή σχεδόν επίπεδη (level or nearly level)
- B: 3-8 ελαφρά κεκλιμένη (gently sloping)
- C: 8-16 κεκλιμένη (sloping)
- D: 16-30 μέτρια απότομη (moderately steep)
- E: 30-45 απότομη (steep)
- F: >45 πολύ απότομη (very steep)

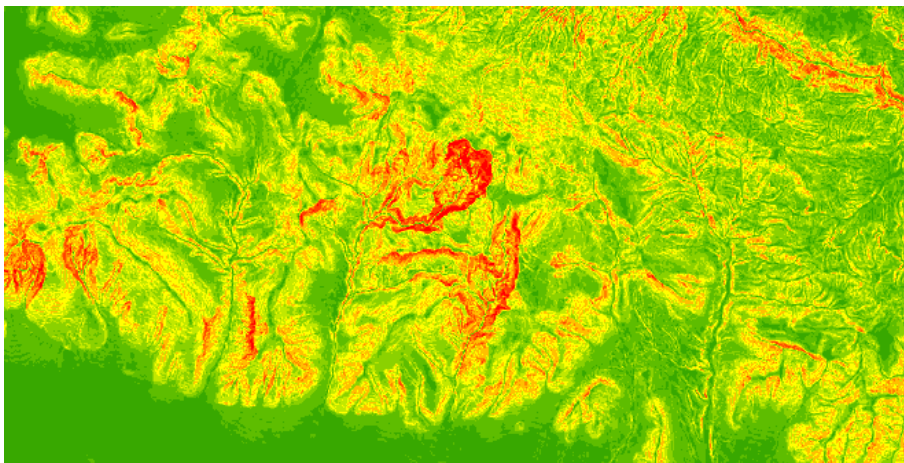
Σχήμα κλίσης: Το σχήμα της κλίσης έχει σημασία κυρίως για την ένταση της διάβρωσης που δρα ή θα δράσει στο μέλλον. Διακρίνουμε 3 βασικούς τύπους.

- α. κυρτή (convex)
- β. κοίλη (concave)
- γ. ευθεία (straight)

Μήκος κλίσης: Όπως και το σχήμα έτσι και το μήκος της κλίσης έχει σημασία για την ένταση της διάβρωσης. Οι μεγάλοι μήκους κλίσεις δέχονται μεγαλύτερο όγκο νερού, ενώ δίνεται ο κατάλληλος χρόνος για την αύξηση της ταχύτητας του νερού απορροής και κατά συνέπεια της διάβρωσης.

Κανονικότητα: Ορισμένες κλίσεις παρουσιάζουν ομαλότητα, ενώ άλλες ανωμαλίες, δηλαδή αλλαγές βαθμού κλίσεις σε μικρές αποστάσεις ή στη διεύθυνση τους. Η κανονικότητα των κλίσεων είναι ένα μέτρο της ομοιομορφίας του μητρικού υλικού. Οι ανωμαλίες μπορεί επίσης να προέρχονται από το μεγάλο ποσοστό λίθων ή εξάρσεων πετρωμάτων και για αυτό το λόγο πρέπει να διαχωρίζονται από τις ομαλές που συνήθως έχουν βαθύτερα εδάφη.

Έκθεση: Η γεωγραφική θέση μιας κλίσης μπορεί να παίζει ένα ρόλο στην εδαφογένεση. Δύο κλίσεις μπορεί να είναι ίδιες στο βαθμό, το μήκος, το σχήμα και την κανονικότητα και όμως να παρουσιάζουν διαφορετικά εδάφη λόγω διαφορετικού προσανατολισμού. Η έκθεση έχει σχέση με τον τρόπο δράσης των κλιματικών παραγόντων, και κατά συνέπεια στη γένεση διαφορετικών εδαφών. Η ίδια διαφοροποίηση των κλιματικών συνθηκών παρατηρείται και στην περίπτωση κλίσεων σε διαφορετικό υψόμετρο.

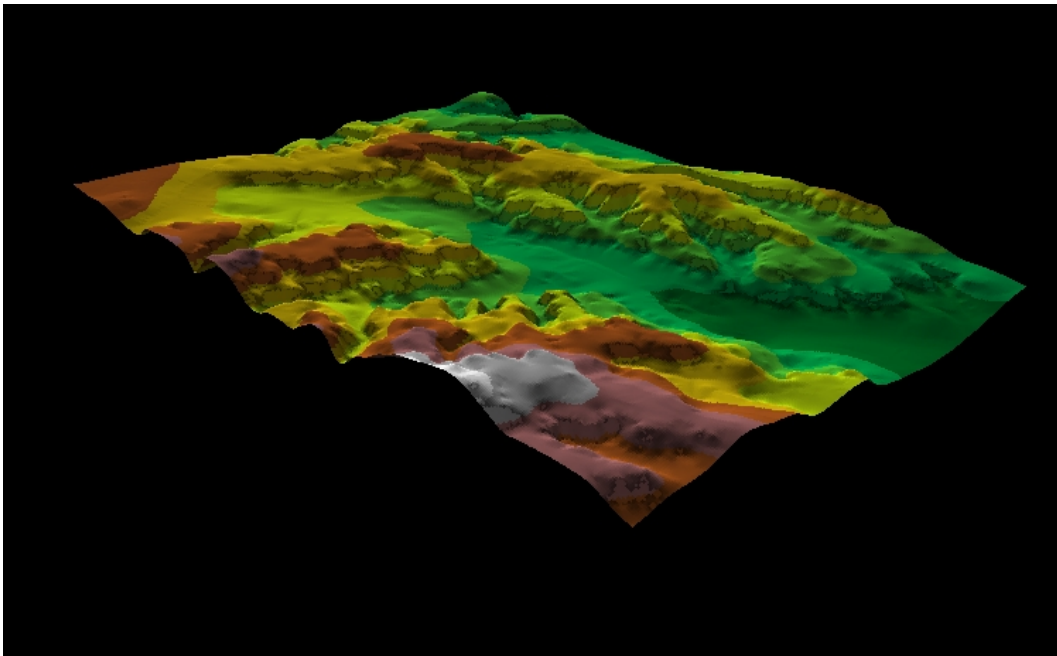


Εικόνα 1.3. Χάρτης % κλίσεων περιοχής του Ν. Δράμας

Η διαφορά στην έκθεση ή στο υψόμετρο δεν συνεπάγεται πάντα διαφοροποίηση στις κλιματικές συνθήκες. Π.χ. ένα σύστημα αναβαθμίδων ποταμού πρέπει να διαχωριστεί σε υψηλότερα και χαμηλότερα ευρισκόμενες, όχι γιατί η διαφορά υψομέτρου επηρέασε τα εδάφη, αλλά γιατί ο καθοριστικός παράγοντας είναι ο χρόνος σχηματισμού των αναβαθμίδων (οι υψηλότερα ευρισκόμενες είναι και οι πιο παλαιές). Επίσης η έκθεση της κλίσης επηρεάζεται και από τη στρωματογραφία του υπεδάφους. Σε άλλες περιπτώσεις η κλίση μπορεί να είναι παράλληλη προς το υποκείμενο γεωλογικό υλικό, ενώ σε άλλη περίπτωση κάθετη προς αυτό.

Χαρακτηριστικά ανάγλυφου

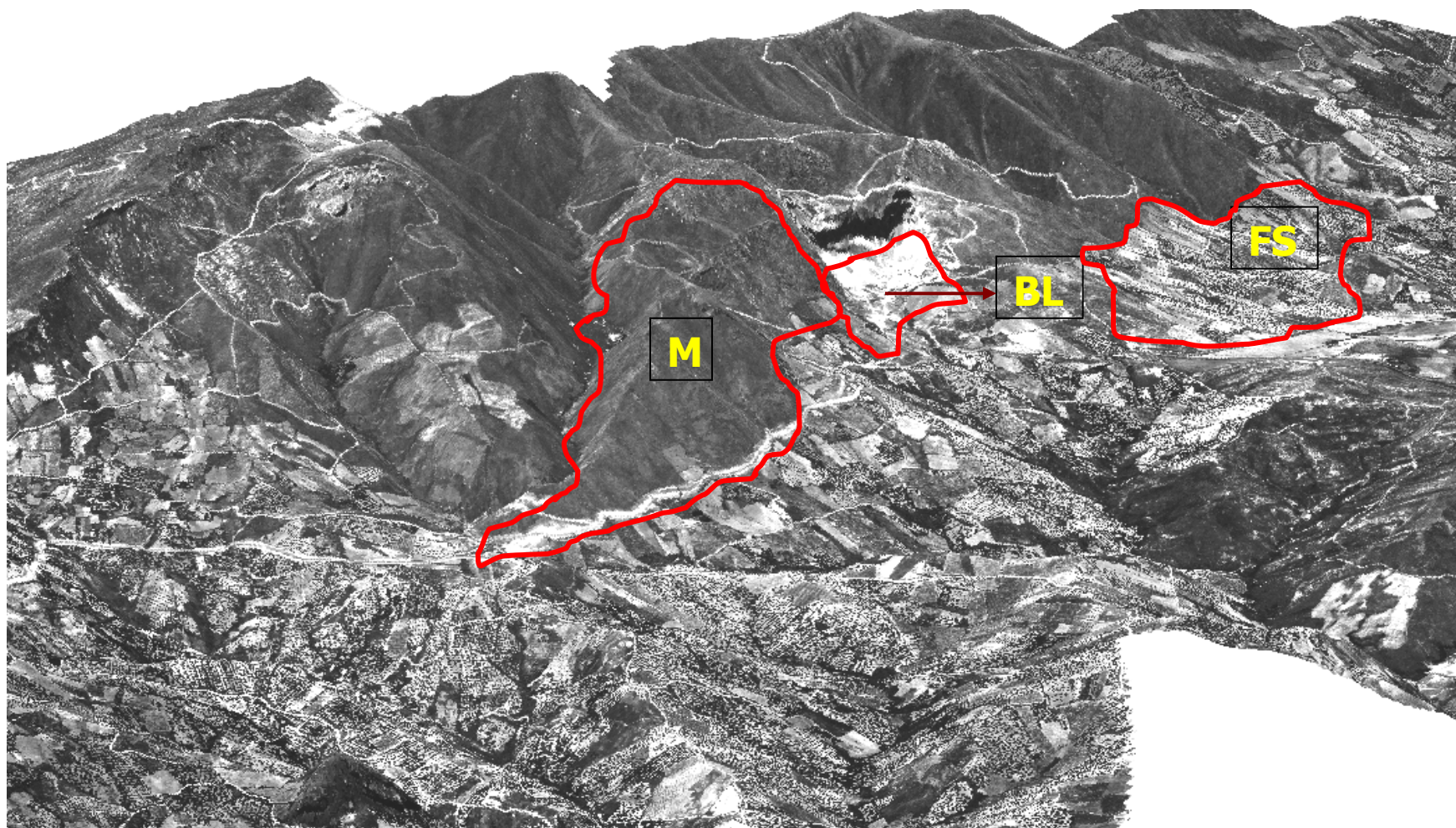
Το ανάγλυφο είναι η διαμόρφωση της γήινης επιφάνειας και αναπόσπαστο χαρακτηριστικό του εδαφικού τρισδιάστατου σώματος στο οποίο ανήκει. Το ανάγλυφο είναι το αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης τεκτονικών δυνάμεων, κλίματος και βλάστησης που έδρασαν επάνω σε ορισμένο μητρικό υλικό για μια γεωλογική περίοδο. Το ανάγλυφο δεν είναι απλά διαφορές υψομέτρου που βλέπουμε κατά τη στερεοσκοπική παρατήρηση των αεροφωτογραφιών/δορυφορικών εικόνων, αλλά ένας σημαντικός εδαφογενετικός παράγοντας (Εικόνα 1.4).



Εικόνα 1.4. Ανάγλυφο της περιοχής Γουμένισσας, το οποίο δημιουργήθηκε από τις χωροσταθμικές καμπύλες της περιοχής (contour lines)

Κανονικότητα: Όταν υπάρχει κανονική επανάληψη ενός τύπου ανάγλυφου, μπορούμε να το χαρακτηρίσουμε σαν κανονικό. Εάν αντίθετα το ανάγλυφο μιας περιοχής χαρακτηρίζεται από διάφορου βαθμού κλίσεις με διάφορα μήκη, ονομάζεται ανώμαλο. Στην περίπτωση του ανώμαλου ανάγλυφου χρησιμοποιούμε σύμπλοκα όρων, όπως λοφώδες έως απότομο, κ.λπ.

Έκθεση ή θέση: Η έκθεση (προσανατολισμός) ή η θέση (υψόμετρο) ενός ορισμένου τύπου ανάγλυφου έχει την ίδια σημασία με ότι αφορά την κλίση. Διάφορα υψίπεδα βρίσκονται σε διαφορετικό υψόμετρο και τα εδάφη τους σχηματίζονται κάτω από διαφορετικές κλιματικές συνθήκες (Εικόνες 1.5 και 1.6).



Φωτογραφία 1.5. Υπέρθεση αεροφωτογραφιών σε Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο σε περιοχή του Γεωργικού Συνεταιρισμού Πεζών. Παρόμοια παράγωγα βοηθούν στη φυσιογραφική χαρτογράφηση της περιοχής. Οι ερυθρές γραμμές δείχνουν τον τρόπο φυσιογραφικής χαρτογράφησης, π.χ. ορεινή περιοχή (M) απογυμνωμένη γη (BL) και πρόποδες (FS)ρ

Πριν ανακεφαλαιώσουμε τη συζήτηση για την κλίση και το ανάγλυφο είναι σκόπιμο να γίνουν ορισμένες γενικές παρατηρήσεις.

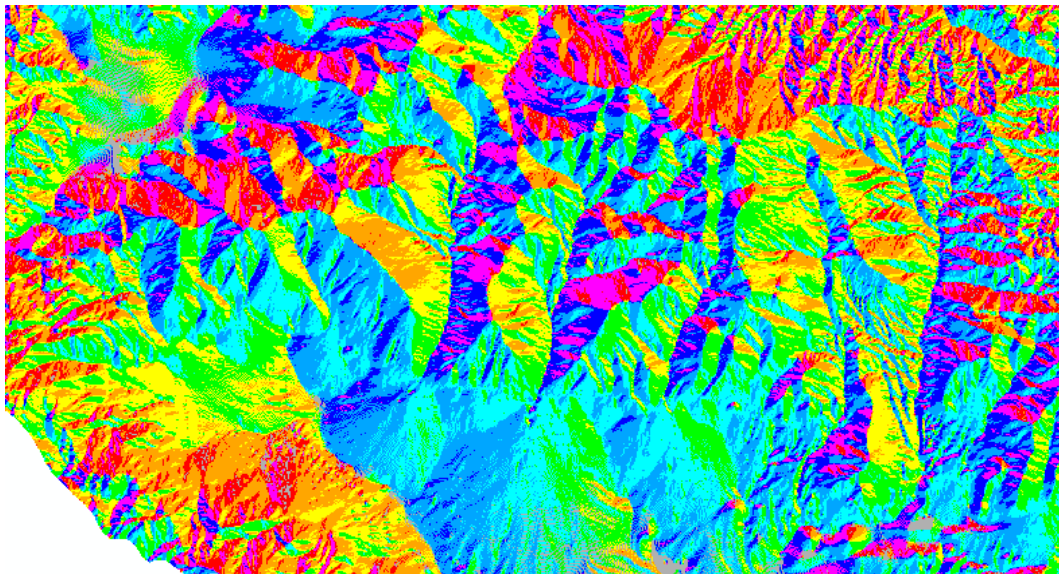
Η κλίση και το ανάγλυφο είναι το αποτέλεσμα της **γεωγένεσης** (γεωλογικά αίτια) μιας περιοχής, η οποία είναι συνήθως στενά συνδεδεμένη με την **πεδογένεση** (πορεία σχηματισμού των εδαφών). Εκτός από τις γεωλογικές δυνάμεις, το κλίμα, ο χρόνος και το μητρικό υλικό είναι οι παράγοντες που διαμορφώνουν το ανάγλυφο και επιδρούν σημαντικά στο σχηματισμό των εδαφών.

Ο παράγοντας κλίμα δεν διαφοροποιείται σημαντικά σε μια περιοχή που δεν είναι ορεινή και βέβαια δεν διαφοροποιείται σε μια περιοχή που καλύπτεται από μια ή από λίγες αεροφωτογραφίες. Εκείνο όμως που μπορεί να διαφέρει είναι ο χρόνος σχηματισμού των διαφόρων φυσιογραφικών τύπων (γεγονός που συνδέεται με την επίδραση προγενέστερων κλιματικών συνθηκών) οι οποίοι τύποι είναι δυνατό να βρίσκονται και σε μια μόνο αεροφωτογραφία.

Ο παράγοντας μητρικό υλικό επιδρά επίσης στη διαμόρφωση του ανάγλυφου και στην εξέλιξη της εδαφοκατατομής. Η σημασία της σχέσης αυτής για τον εδαφολόγο είναι εμφανής. Η σχέση αυτή είναι ακόμη ισχυρότερη, γιατί διαφορές στο μητρικό υλικό επιδρούν όχι μόνο στο ανάγλυφο, αλλά και στην εδαφοκατατομή. Διαφορετικό μητρικό υλικό σημαίνει διαφορετική αντίσταση στους παράγοντες διάβρωσης και δημιουργία διαφορετικού ανάγλυφου, ενώ με τον ίδιο τρόπο θα προκαλέσει διαφορές και στο σχηματισμό του εδαφικού προφίλ.

Οι δυνάμεις διάβρωσης έχουν μεγάλη επίδραση στη διαμόρφωση του ανάγλυφου και αυτό σημαίνει ότι στις περισσότερες περιπτώσεις ο τύπος του ανάγλυφου καθορίζεται από το υδρογραφικό δίκτυο, που είναι το αποτέλεσμα της δράσης των δυνάμεων αυτών.

Το είδος του ανάγλυφου, σε συνδυασμό με τον τύπο του υδρογραφικού δικτύου, μπορεί να οδηγήσει σε συμπεράσματα σχετικά με το είδος του μητρικού υλικού ή του μητρικού πετρώματος, όπως π.χ. οι καρστικές περιοχές είναι ενδεικτικές παρουσίας ασβεστόλιθου. Το γεγονός ότι διαφορετικοί τύποι ανάγλυφου είναι ενδεικτικοί διαφορετικών εδαφών, δεν σημαίνει ότι σε ένα ορισμένο τύπο ανάγλυφου το έδαφος είναι ομοιόμορφο.



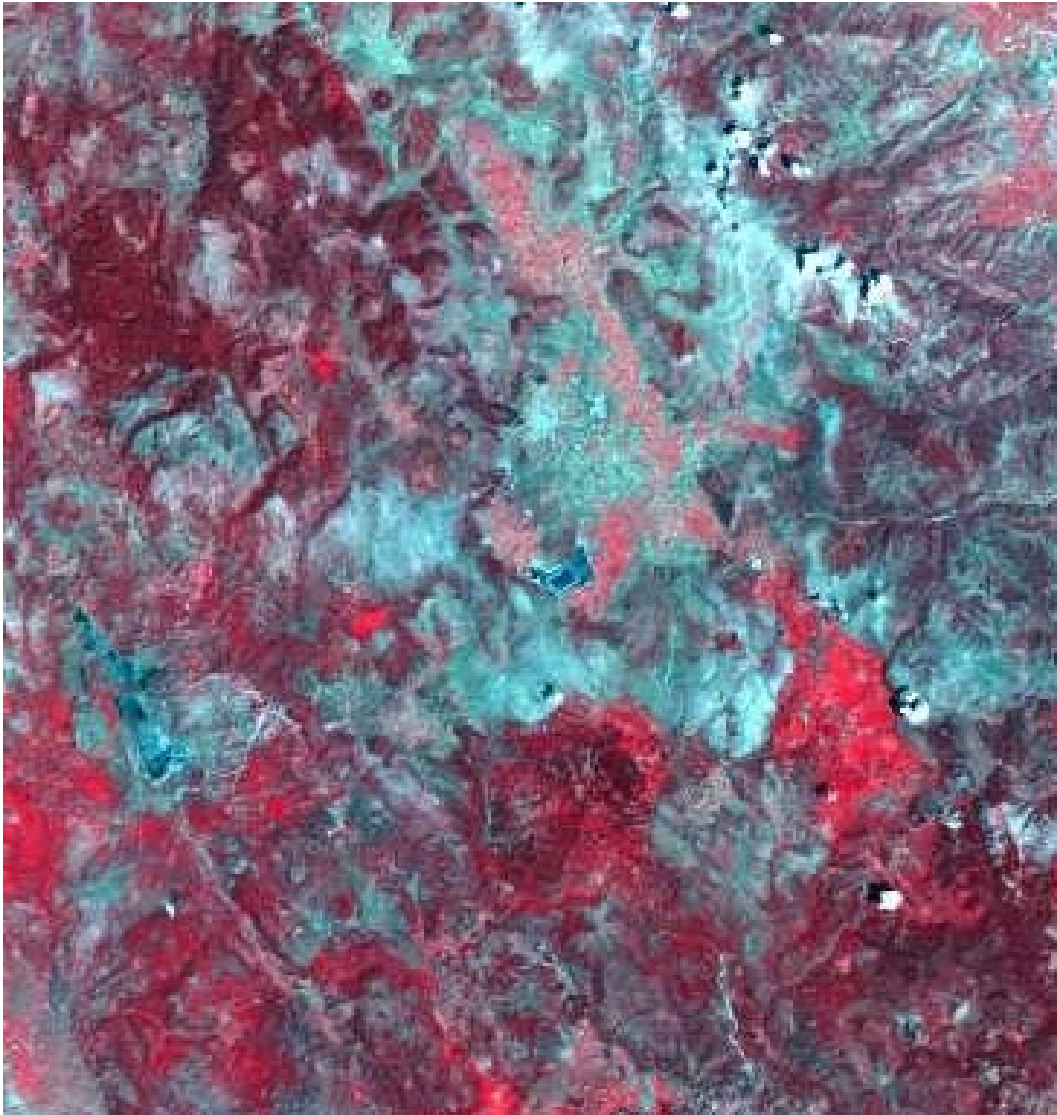
Φωτογραφία 1.6. Χάρτης προσανατολισμού κλίσεων με τη χρήση ΓΣΠ (Aspect map)

ΦΥΣΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ

Ένα δεύτερο φυσιογραφικό στοιχείο ορατό στις αεροφωτογραφίες είναι η φυσική βλάστηση. Η φυσική βλάστηση αναγνωρίζεται στις αεροφωτογραφίες λόγω του τόνου, υψής, ύψους και διάταξης (Εικόνα 1.7). Η φυσική βλάστηση είναι καθαρά ένα στοιχείο του οποίου οι διαφορές είναι αποτέλεσμα των διαφορών στο έδαφος, παρά το γεγονός ότι με την πάροδο του χρόνου η βλάστηση

επιδρά με τη σειρά της στο έδαφος.

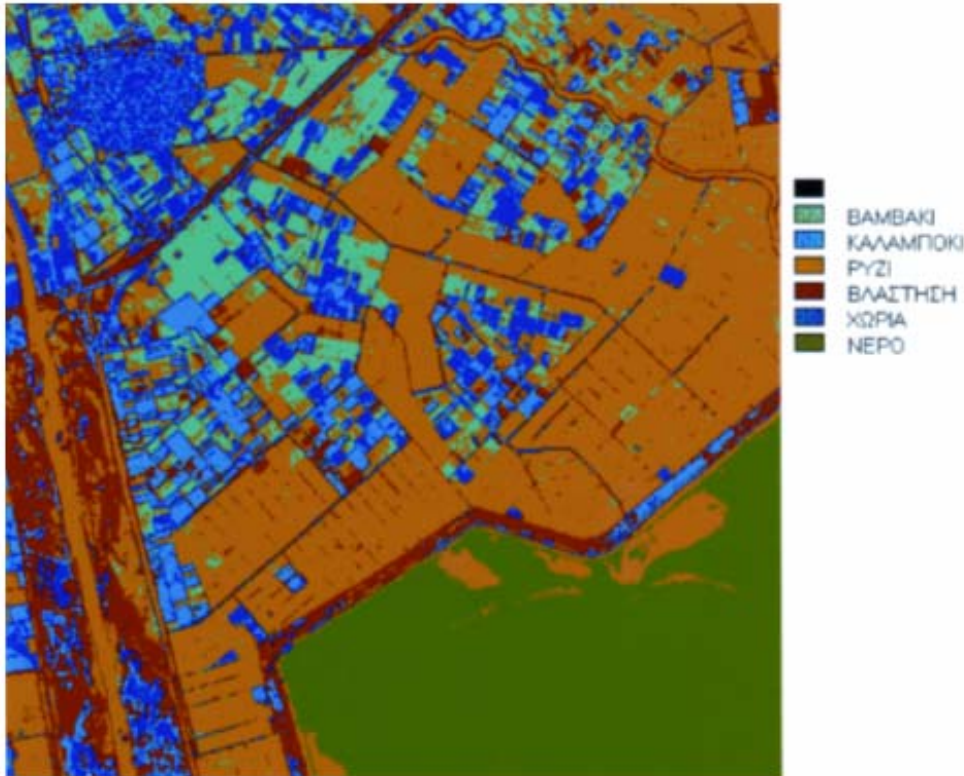
Υπάρχει στενή σχέση μεταξύ της βλάστησης και των εδαφικών συνθηκών, αλλά πρέπει κανείς να έχει υπόψη του ότι το έδαφος δεν είναι ο μόνος παράγοντας που επιδρά στη βλάστηση. Η κατανομή όμως της φυσικής βλάστησης αλλοιώνεται με την εκχέρσωση, πυρκαγιές ή με την επέμβαση του ανθρώπου. Το γεγονός αυτό έχει σαν συνέπεια ότι ενώ η σχέση φυσικής βλάστησης και εδάφους είναι υψηλή, η σύμπτωση της με εδαφολογικά όρια είναι μέτρια έως μικρή.



Εικόνα 1.7. Φυσική βλάστηση από δορυφορική εικόνα στον Ελλαδικό χώρο

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

Όπως και με τη φυσική βλάστηση, έτσι και οι καλλιέργειες, ή τουλάχιστον μερικές από αυτές, είναι δυνατό να αναγνωριστούν στις αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται ορισμένοι τύποι φιλμ όπως υπέρυθρα. Ορισμένες καλλιέργειες είναι ενδεικτικές εδαφικών συνθηκών και μπορούν να αποτελέσουν μια χρήσιμη πηγή πληροφοριών (Εικόνα 1.8). Το γεγονός όμως είναι ότι γενικά οι καλλιέργειες, λόγω των πολλών παραγόντων που επιδρούν, δεν είναι αξιόπιστη πηγή πληροφοριών. Περισσότερο χρήσιμο στην περίπτωση αυτή στοιχείο είναι η χρήση γης.

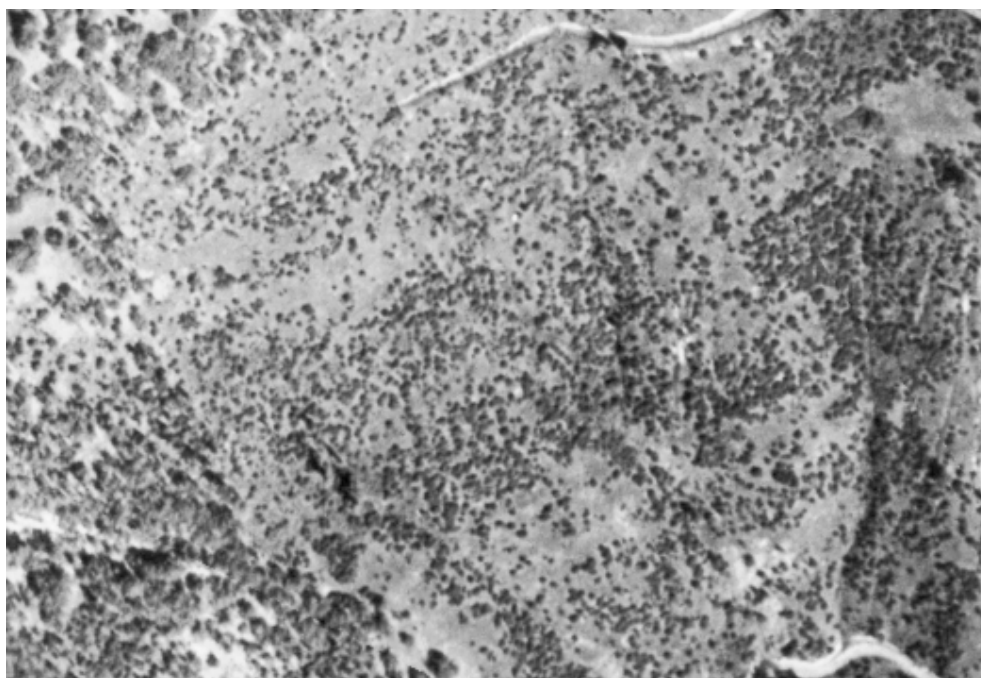


Εικόνα 1.8. Καλλιέργειες στην περιοχή Μαλγάρων Θεσσαλονίκης από επεξεργασμένη δορυφορική εικόνα SPOT-4

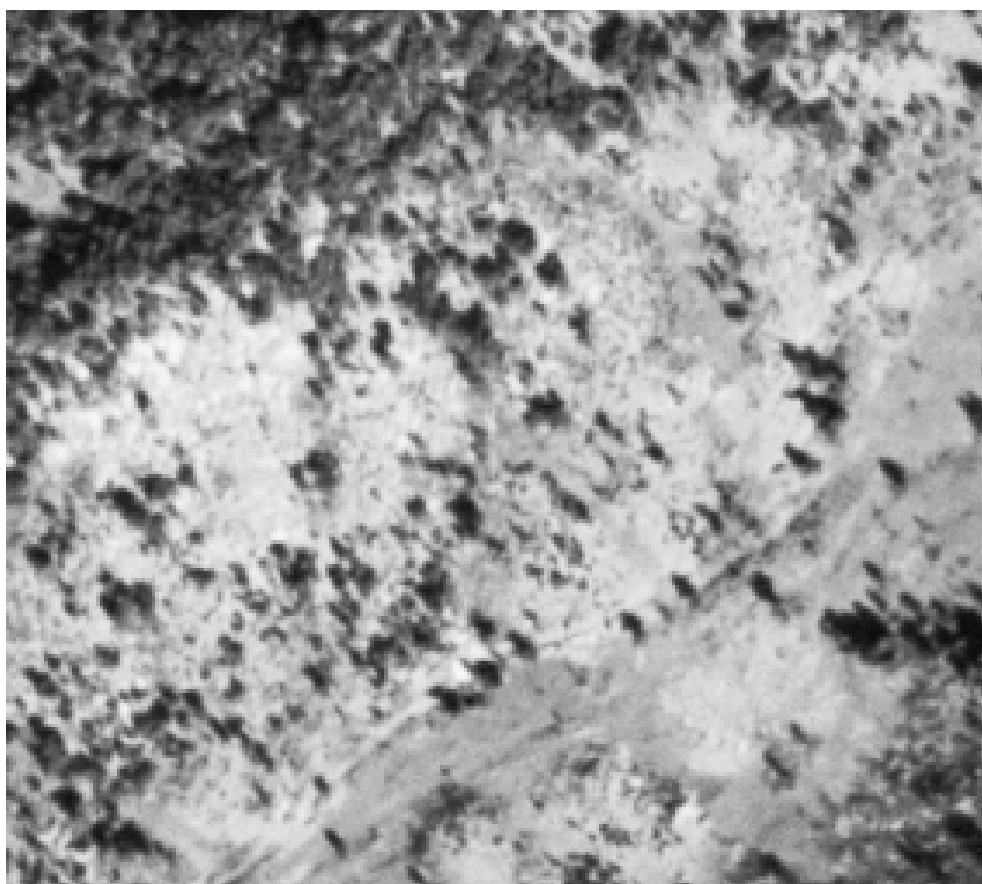
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ – ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Εκτός από την περίπτωση που το έδαφος καλύπτεται από βλάστηση, στις αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες παρατηρούμε την ίδια την επιφάνεια του εδάφους, χωρίς με αυτό να εννοείται η κλίση ή το ανάγλυφο. Σε μερικές περιπτώσεις είναι δυνατό να χαράξουμε όρια που βασίζονται σε διαφορετικές ιδιότητες του επιφανειακού ορίζοντα. Οι διαφορετικές αυτές ιδιότητες εκφράζονται στις αεροφωτογραφίες σχεδόν αποκλειστικά σαν διαφορές στον φωτογραφικό τόνο. Οι ιδιότητες αυτές των εδαφών μπορεί να είναι η μηχανική σύσταση, η υγρασία του εδάφους, το ποσοστό της οργανικής ουσίας, η συσσώρευση ελεύθερου ανθρακικού ασβεστίου κ.λπ.

Σε περίπτωση επίσης εξάρσεων πετρωμάτων δημιουργείται αλλαγή στο φωτογραφικό τόνο, πράγμα που είναι πολύ σημαντικό στοιχείο για το χαρτογράφο. Μερικές φορές είναι δυνατή η αναγνώριση των πετρωμάτων, όπως π.χ. του ασβεστόλιθου (Εικόνα 1.9) ή χέρσων εκτάσεων (Εικόνα 1.10).



Εικόνα 1.9. Η ορατή θαμνώδης βλάστηση και ο φωτογραφικός τόνος είναι χαρακτηριστικά αναγνώρισης του ασβεστόλιθου



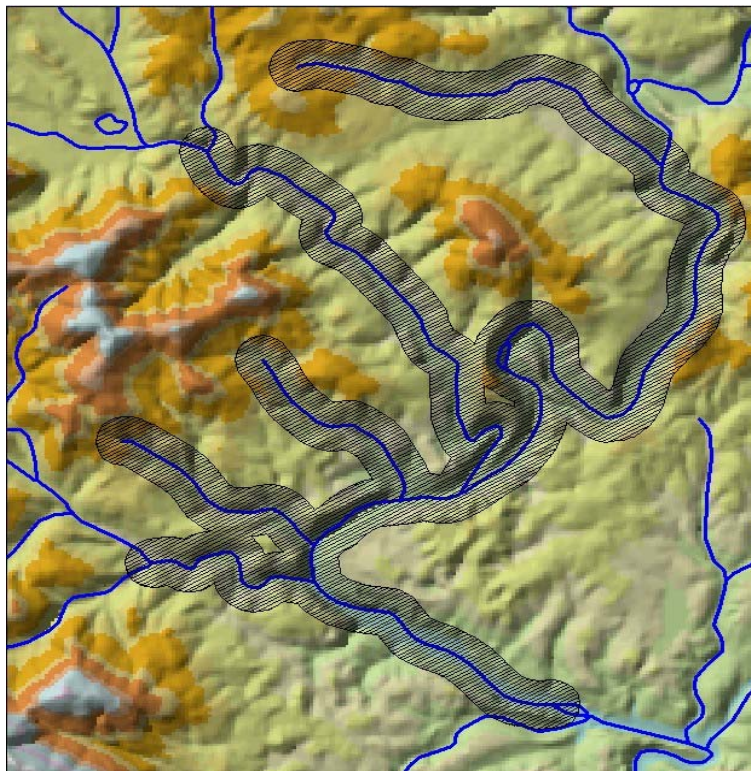
Εικόνα 1.10. Χέρσες περιοχές σε λοφώδη περιοχή λόγω λίθων και εξάρσεων πετρωμάτων

ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

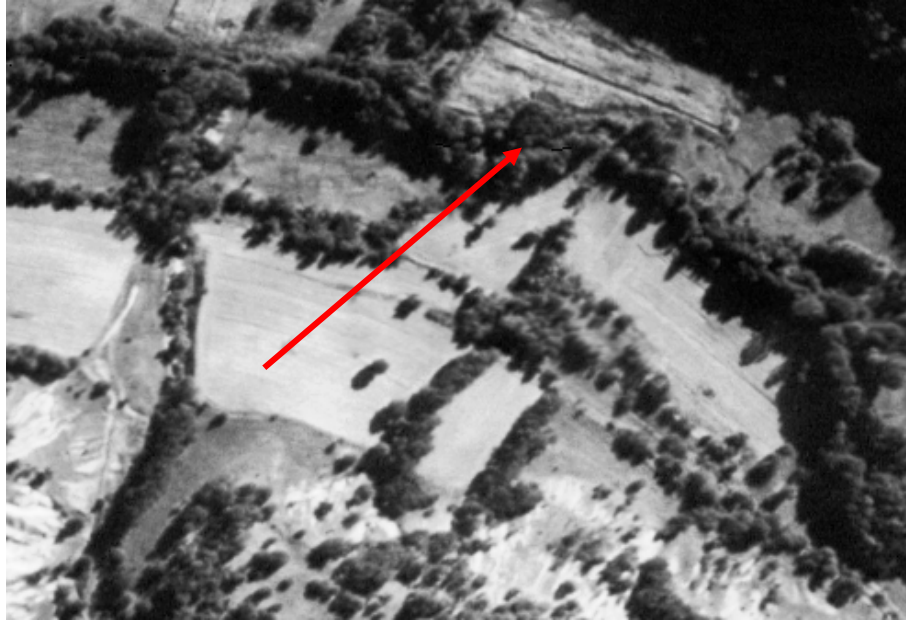
Το υδρογραφικό δίκτυο είναι ορατό στις αεροφωτογραφίες με τη βοήθεια άλλων φυσιογραφικών στοιχείων. Τα στοιχεία που διευκολύνουν την αναγνώριση του υδρογραφικού δικτύου είναι:

- **Το ανάγλυφο:** Οι χείμαρροι και οι υδρογραφικοί κλάδοι βρίσκονται μεταξύ γειτονικών υψηλών περιοχών, δηλαδή στον πυθμένα κάθε τοπικής μικρής ή μεγάλης κοιλάδας. Όταν η κλίμακα της φωτογραφίας και το μέγεθος του χείμαρρου επιτρέπει, μπορεί κανείς να διακρίνει ακόμη και το σχήμα της κοίτης του.
- **Νερό:** Το νερό που διέρχεται μόνιμα ή περιοδικά από τους χείμαρρους είναι δυνατό να αναγνωρισθεί στις αεροφωτογραφίες.
- **Εδαφος:** Σκούρες γραμμές που δημιουργούνται από κακές συνθήκες στράγγισης και / ή από συσσώρευση σκούρου επιφανειακού υλικού είναι ενδείξεις ενός υδρογραφικού κλάδου.
- **Βλάστηση:** Στενές επιμήκεις λωρίδες βλάστησης είναι επίσης ενδεικτικές υδρογραφικών κλάδων (Εικόνες 1.11 και 1.12).

Εάν εξετάσουμε τη σχέση μεταξύ των υδρογραφικών δικτύων και των εδαφικών συνθηκών θα πρέπει να αναγνωρίσουμε ότι η δράση του κινούμενου δια μέσου των υδρογραφικών κλάδων νερού είναι διπλή, δηλαδή **καταστρεπτική** και **δημιουργική**. Σε μερικές περιπτώσεις η καταστρεπτική δράση υπερτερεί ενώ κάτω από άλλες συνθήκες συμβαίνει το αντίθετο. Στην περίπτωση συνεχούς καταστρεπτικής δράσης, η γεωλογία της περιοχής εξασκεί μια σημαντική επίδραση στον τύπο των χείμαρρων και του υδρογραφικού δικτύου. Η επίδραση αυτή είναι το αποτέλεσμα ενδογενών δυνάμεων και της θέσης - σύνθεσης του μητρικού υλικού. Ο όρος **μητρικό υλικό** σημαίνει το μητρικό πέτρωμα καθώς και το χαλαρό υλικό. Αυτή ακριβώς η σχέση μεταξύ μητρικού υλικού και υδρογραφικού δικτύου δίνει το μέτρο της σπουδαιότητας του τελευταίου στην εδαφολογική έρευνα.



Εικόνες 1.11. Υδρογραφικό δίκτυο από Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο



Εικόνα 1.12. Τα σκούρα γραμμικά στοιχεία (βέλος) που φαίνονται στην αεροφωτογραφία είναι δάσος με δένδρα σε πυκνότερη διάταξη από το περιβάλλον λόγω παρουσίας λεπτού υλικού (άρα περισσότερης υγρασίας) σε παλαιές κοίτες ποταμών

Είδη υδρογραφικών δικτύων (Σχήμα 1.1)

Δενδριτικό Υ.Δ. Ο τύπος αυτός χαρακτηρίζεται από ανώμαλη διακλάδωση των δευτερευόντων κλάδων προς όλες τις διευθύνσεις. Μια παραλλαγή του δενδριτικού είναι το **πτεροειδές Υ.Δ.** του οποίου οι δευτερεύοντες κλάδοι είναι παράλληλοι με πυκνή διάταξη. Η παραλληλότητα αυτή οφείλεται στις απότομες κλίσεις των τοιχωμάτων των χαραδρών και είναι ενδεικτικό βαθιών, εύκολα διαβρούμενων υλικών λεπτόκοκκης σύστασης.

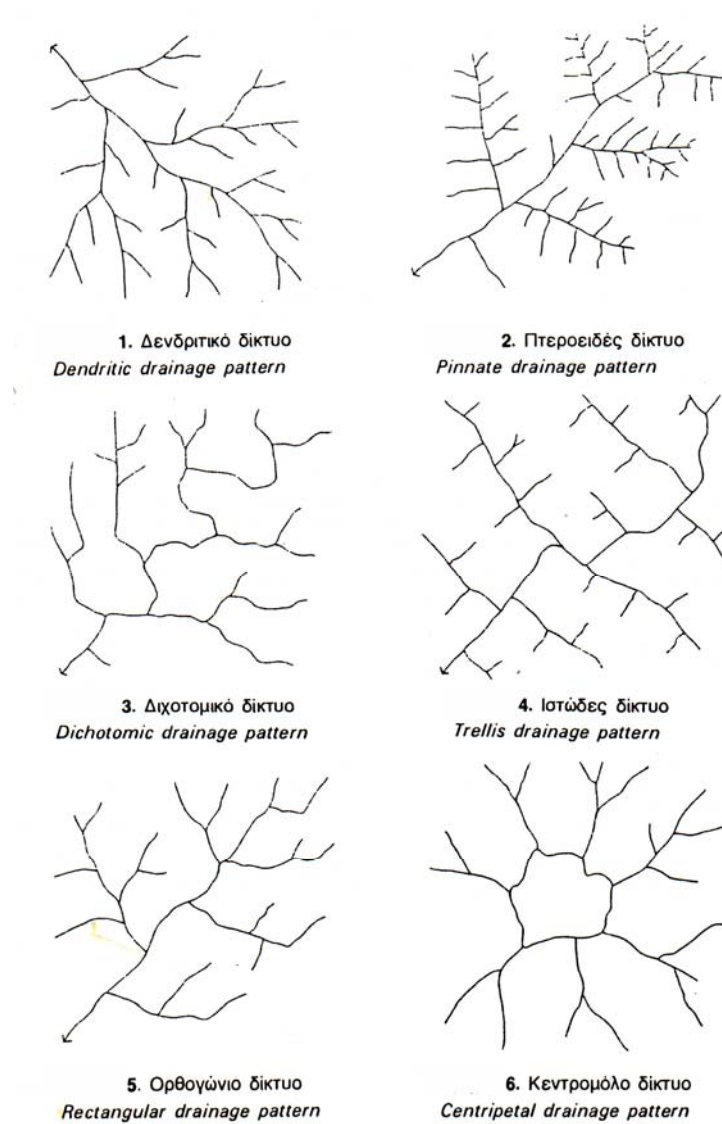
- Μια άλλη παραλλαγή δενδριτικού δικτύου βρίσκεται σε περιοχές απόθεσης και ονομάζεται **διχοτομικό**. Στο δίκτυο αυτό οι δευτερεύοντες κλάδοι διαχωρίζονται σε διάταξη ριπιδίου. Είναι χαρακτηριστικό των δελταϊκών αποθέσεων (δέλτα ποταμών) και των αλλουβιακών ριπιδίων.
- Το **παράλληλο Υ.Δ.** (Εικόνα 1.13) είναι βασική μορφή δικτύου. Σχηματίζεται λόγω απότομων κλίσεων ή ορισμένης τεκτονικής δομής. Εάν υπάρχει μικρή απόκλιση ονομάζεται **υπο-παράλληλο** και θεωρείται σαν μια παραλλαγή του παράλληλου.
- Ένας άλλος βασικός τύπος δικτύου, που σχηματίζεται λόγω ορισμένης τεκτονικής δομής, είναι το **ιστώδες**. Αποτελείται από κύριους κλάδους που συνδέονται με τους κύριους σε δεξιόστροφες γωνίες .
- **Ο ορθογώνιος** τύπος βρίσκεται σε περιοχές με ρήγματα που σχηματίζουν ορθές γωνίες.
- Υπάρχουν και άλλα είδη Υ.Δ. που δεν βρίσκονται εύκολα όπως ο **ακτινωτός**, ο **δακτυλιοειδής** και **κεντρομόλος**. Ο τελευταίος τύπος συναντιέται σε βυθίσματα ή λόφους.

Πυκνότητα Υ.Δ.:

Τα υδρογραφικά δίκτυα άσχετα με τον τύπο τους μπορούν να έχουν διαφορετικές πυκνότητες. Η πυκνότητα αυτή κυμαίνεται από πλήρη απουσία κλάδων έως τόσο πυκνούς που δεν είναι δυνατή η μεταξύ τους διάκριση. Η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου εξαρτάται από το κλίμα σε σχέση με τα εξωτερικά χαρακτηριστικά των εδαφών. Τα τελευταία μπορεί να επηρεάζονται σημαντικά από το ανάγλυφο και τη φυτική κάλυψη. Όταν δεν υπάρχει καθόλου Υ.Δ. αυτό σημαίνει ότι όλη ή σχεδόν όλη η βροχόπτωση ελέγχεται από την στράγγιση.



Εικόνα 1.13. Παράλληλο υδρογραφικό δίκτυο σε απότομες κλίσεις, λόγω και της κατασκευής δρόμου και της αλλαγής της κλίσης (ανθρωπογενής επίδραση)



Σχήμα 1.1. Ειδη Υδρογραφικών δικτύων. (1) Δενδριτικό δίκτυο (Dendritic drainage pattern), (2) Πτεροειδές δίκτυο (Pinnate drainage pattern), (3) Διχοτομικό δίκτυο (Dichotomic drainage pattern), (4) Ιστώδες δίκτυο (Trellis drainage pattern), (5) Ορθογώνιο δίκτυο (Rectangular drainage pattern) και (6) Κεντρομόλο δίκτυο (Centripetal drainage pattern)

Κανονικότητα:

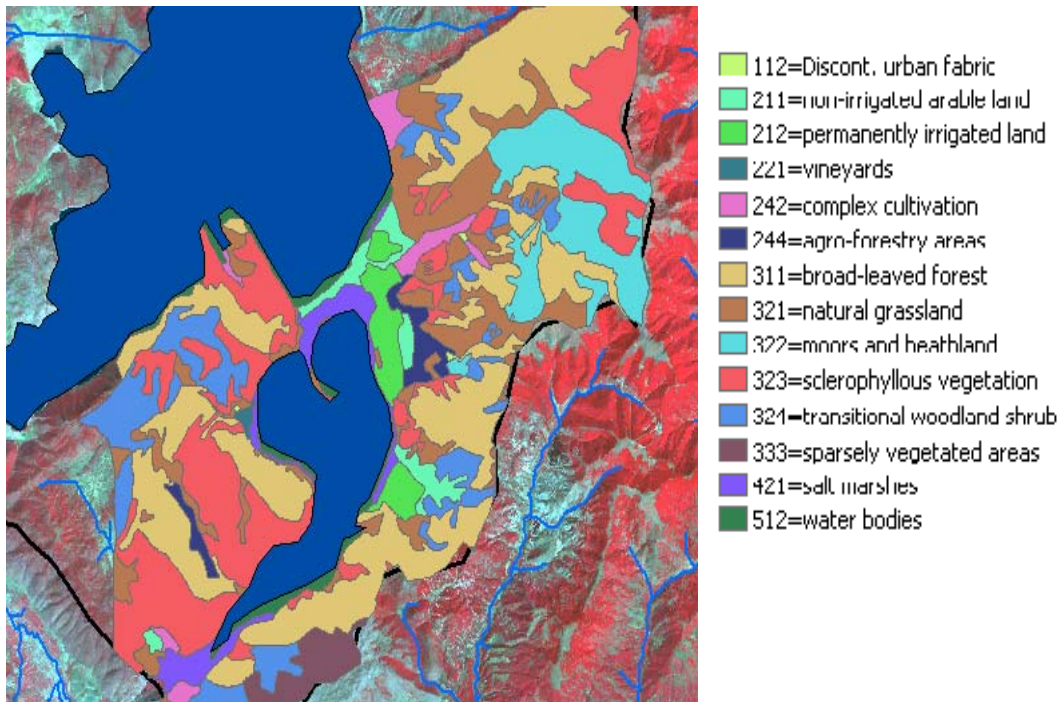
Όσο περισσότερη ομοιομορφία παρατηρείται στον τύπο και την πυκνότητα του Υ.Δ., τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα ομοιογένειας του υλικού της περιοχής.

ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ

Όταν η φυσική βλάστηση απομακρύνεται από την επέμβαση του ανθρώπου αντικαθίσταται από κάποια συστηματική χρήση γης. Όταν ομιλούμε για χρήση γης δεν αναφερόμαστε σε διάφορες καλλιέργειες, αλλά σε ευρύτερες κατηγορίες όπως γεωργική γη, βοσκοτόπια, οπωρώνες, δάσος, κ.λπ. Η χρήση γης αναγνωρίζεται από το χαρακτηριστικό τύπο τόνου που δημιουργείται από τα ανεξάρτητα αγροτεμάχια ή από ορισμένη διάταξη, όπως π.χ. τους οπωρώνες, ή το δάσος. Η σχέση του φυσιογραφικού στοιχείου **χρήση γης** με τις εδαφικές συνθήκες δεν είναι σταθερή. Η γεωργική γη έχει εκλεγεί για καλλιέργειες συνήθως εκατοντάδες χρόνια πριν και σημαίνει ότι οι εδαφικές συνθήκες θα είναι από ανεκτές έως πολύ καλές για τη χρήση αυτή.

Η σύμπτωση του στοιχείου χρήση γης με τα εδαφικά όρια είναι γενικά μικρή (Goosen, 1967). Σε μερικές όμως περιπτώσεις η σχέση τους είναι πολύ μεγάλη, όπως π.χ. στην περιοχή Λεκάνη Ευνιάδας (Συλλαίος, 1981) όπου εξάρσεις πετρωμάτων και λίθοι αποκλείουν τη γεωργική χρήση, ή στην κοιλάδα των Βασιλικών (Silleos, 1976), όπου η αλατότητα των εδαφών σε τμήμα του πυθμένα αποκλείει προς το παρόν τη χρήση για γεωργικούς σκοπούς.

Σχετικά με τη χρήση γης, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δημιουργήσει για τα περισσότερα μέλη τους, χάρτες χρήσεων/καλύψεων γης, σε κλίμακα 1:100.000 με τελευταία έκδοση αυτή του έτους 2000 (Εικόνα 1.14).



Εικόνα 1.14. Χρήσεις/καλύψεις γης (CORINE MAP) κοντά στην Μικρή Πρέσπα, σε υπέρθεση με δορυφορική εικόνα Landsat-7 ETM+ Αυγούστου του 2000

Οι κατηγορίες χρήσης γης, σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές, επίπεδα λεπτομέρειας και ονοματολογία παρουσιάζονται στον πίνακα 1.3.

Πίνακας 1.3. Ονοματολογία χρήσεων γης CORINE

Κωδικός επιπέδου (ταξινόμηση)	Αγγλικοί όροι	Ελληνικοί όροι
1	Artif. surfaces	Τεχνητές επιφάνειες
11	urban fabric	
111	Contin. urban fabrics	Συνεχής αστική οικοδόμηση
112	Discont. urban fabric	Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση
12	ind./comm./transport units	
121	Ind./comm. units	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες
122	road&rail networks+assoc. land	Οδικά σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη
123	port areas	Ζώνες λιμένων
124	airports	Αεροδρόμια
13	Mine/dump/construction sites	
131	mineral extraction sites	Χώροι εξορύξεως ορυκτών
132	dump sites	Χώροι απορρίψεως απορριμάτων
133	construction sites	Χώροι οικοδόμησης
14	Art. non-agr. vegetated areas	
141	green urban areas	Περιοχές αστικού πρασίνου
142	sport and leisure facilities	Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
2	Agricultural areas	Γεωργικές περιοχές
21	arable land	Καλλιεργήσιμη γη
211	non-irrigated arable land	Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη
212	permanently irrigated land	Μόνιμα αρδεύσιμη γη
213	rice fields	Ορυζώνες
22	permanent crops	Μόνιμες καλλιέργειες
221	vineyards	Αμπελώνες
222	fruit trees/berry plantations	Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς
223	olive groves	Ελαιώνες
23	pastures	Λιβάδια
231	pastures	Λιβάδια
24	heterog. agr. areas	Ανομοιογενείς αγροτικές περιοχές
241	annual crops (permanent crops)	Ετήσιες καλλιέργειες που συνδέονται με μόνιμες καλλιέργειες
242	complex cultivation	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας
243	land princ. agr. with nat. veg.	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης

244	agro-forestry areas	Αγροτικές δασικές περιοχές
3	Forests +semi-natural areas	Δάση και ημι-φυσικές περιοχές
31	forests	Δάση
311	broad-leaved forest	Δάσος πλατυφύλλων
312	coniferous forest	Δάσος κωνοφόρων
313	mixed forest	Μικτό Δάσος
32	shrub/herb. veg. association	Φυσικοί βοσκότοποι, θάμνοι και χερσότοποι
321	natural grassland	Φυσικοί Βοσκότοποι
322	moors and heathland	Θάμνοι και χερσότοποι
323	sclerophyllous vegetation	Θάμνοι και χερσότοποι
324	transitional woodland shrub	Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις
33	open spaces with little/no veg.	Ανοικτές περιοχές με λίγη βλάστηση
331	beaches/dunes/sand plains	Παραλίες αμμόλοφοι αμμουδιές
332	bare rock	Απογυμνωμένοι βράχοι
333	sparsely vegetated areas	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση
334	burnt areas	Αποτεφρωμένες εκτάσεις
335	glaciers and perpetual snow	Παγετώνες και αιώνιο χιόνι
4	Wetlands	Υγρότοποι
41	inland wetlands	Ενδοχώρα
411	inland marshes	Βάλτοι στην ενδοχώρα
412	peatbogs	Τυρφώνες
42	coastal wetlands	Παράλιοι υγρότοποι
421	salt marshes	Παραθαλάσσιοι βάλτοι
422	salines	Αλυκές
423	intertidal flats	Παλιρροιακά επίπεδα
5	Water bodies	Επιφανειακά νερά
51	Inland waters	Λιμνοθάλασσες
511	water courses	Ροές υδάτων
512	water bodies	Συλλογές υδάτων
52	Marine waters	Θάλασσα
521	coastal lagoons	Παράλιες λιμνοθάλασσες
522	estuaries	Εκβολές
523	sea and ocean	Θάλασσα

ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΑ

Το στοιχείο αυτό συνδέεται στενά με τη χρήση γης και φυσικά με τη γεωργική χρήση. Στην περίπτωση του στοιχείου αυτού δεν εννοούμε τα μεμονωμένα αγροτεμάχια, αλλά την δομή που παρουσιάζει ένα σύνολο από αυτά. Το σχήμα, το μέγεθος, η διάταξη και η κανονικότητα είναι τα χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν στη φωτοερμηνεία (Εικόνα 1.15). Η σχέση μεταξύ των αγροτεμαχίων και των εδαφικών συνθηκών είναι πολλές φορές μεγάλη, αλλά γενικά η σχέση τους με εδαφολογικά όρια είναι μικρή.



Εικόνα 1.15. Αλλαγή προσανατολισμού και μεγέθους αγροτεμαχίων στην σχεδόν επίπεδη περιοχή (Α) και σε λοφώδη περιοχή (Β), όπου έντονη είναι η παρουσία αναβαθμίδων

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Οι υδρολογικές συνθήκες είναι ένα σημαντικό εδαφικό χαρακτηριστικό και κατά συνέπεια είναι χρήσιμες για εδαφολογική χαρτογράφηση εάν είναι δυνατή η αναγνώριση τους στις αεροφωτογραφίες.

Οι υδρολογικές συνθήκες ανήκουν στα **συμπερασματικά** στοιχεία, γεγονός που σημαίνει ότι αναγνωρίζονται έμμεσα από άλλα φυσιογραφικά στοιχεία. Μια περιοχή μπορεί να είναι πλημμυρισμένη και η υδάτινη επιφάνεια να είναι απ ευθείας ορατή στις αεροφωτογραφίες. Αυτό βέβαια είναι μια ακραία περίπτωση.

Περίπτωση φτωχής στράγγισης μπορεί να διαπιστωθεί από το είδος της βλάστησης ή από την απουσία της, π.χ. κάλυψη από χόρτα ή θάμνους. Τοποθεσίες με δάσος, σε περιοχές όπου η ξηρότητα τους δεν επιτρέπει ανάπτυξη δασικής βλάστησης, μπορεί να είναι ενδεικτικές παρουσίας νερού.

Γενικά υγρά εδάφη φαίνονται πιο σκούρα στις αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες. Ο φωτογραφικός λοιπόν τόνος είναι πολλές φορές ενδεικτικός των υδρολογικών συνθηκών. Αυτό φυσικά είναι δυνατό όταν η επιφάνεια του εδάφους είναι ελεύθερη φυτικής κάλυψης. Ο τόνος που προέρχεται από χαρακτηριστικά της ελεύθερης επιφάνειας του εδάφους μπορεί να οφείλεται και σε άλλα αίτια και για το γεγονός αυτό πρέπει να είμαστε προσεκτικοί στην ερμηνεία του σημαντικού αυτού στοιχείου. Το ανάγλυφο σε συνδυασμό με το υδρογραφικό δίκτυο, μπορεί επίσης να δώσει πληροφορίες για τις υδρολογικές συνθήκες μιας περιοχής.

Στο σημείο αυτό είναι σκόπιμο να αναφερθούμε στη χρήση των υπέρυθρων φωτογραφιών. Καθώς το νερό και τα υγρά εδάφη φαίνεται ότι απορροφούν μεγάλο μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας, κακώς στραγγιζόμενα εδάφη φαίνονται καλύτερα στις υπέρυθρες φωτογραφίες γιατί αποτυπώνονται με σκοτεινότερο τόνο (Εικόνα 1.16).

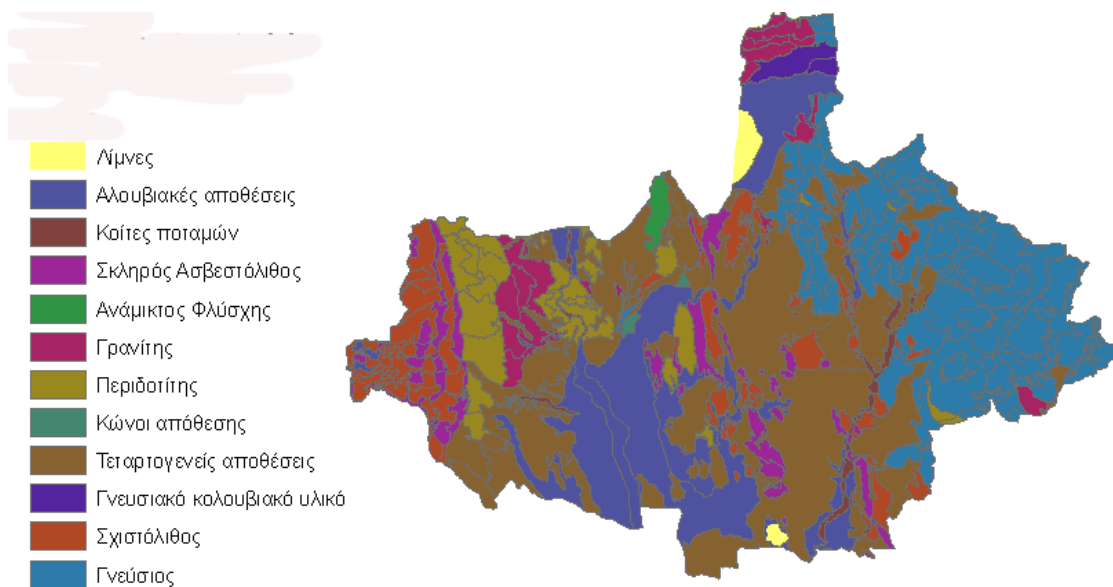


Εικόνα 1.16. Εδάφη με υψηλή υπόγεια στάθμη νερού στην περιοχή μεταξύ των λιμνών Μεγάλης και Μικρής Πρέσπας. Φαίνεται η διαφορά του τόνου (πιο σκούρος) σε σχέση με τις γειτονικές περιοχές.

Οι υδρολογικές συνθήκες είναι ιδιότητα του εδάφους και γι αυτό το λόγο η σχέση τους με τις εδαφικές συνθήκες είναι μεγάλη. Αυτό δεν συνεπάγεται ότι θα έχει και μεγάλη σύμπτωση με εδαφολογικά όρια. Αυτό οφείλεται και στο γεγονός ότι η φωτογραφία μιας περιοχής είναι μια στιγμιαία απεικόνιση των συνθηκών του εδάφους, ενώ περίοδοι ξηρασίας ή υγρασίας μικραίνουν ή μεγαλώνουν τα όρια των κακώς στραγγιζόμενων περιοχών. Ο εντοπισμός της θέσης μιας κακώς στραγγιζόμενης περιοχής έχει μεγάλη σημασία, γιατί διάφορες υδρολογικές συνθήκες οδηγούν στο σχηματισμό διαφορετικών εδαφών.

ΜΗΤΡΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

Πολλά από τα όρια που χαράζουμε με βάση διαφορετικά φυσιογραφικά στοιχεία, είναι συνήθως και όρια μεταξύ διαφορετικών μητρικών υλικών (Εικόνα 1.17). Διαφορετικά μητρικά υλικά μπορεί να αναγνωριστούν με βάση διαφορές στο ανάγλυφο, από την απότομη αλλαγή κλίσης, διαφορετικές υδρολογικές συνθήκες κ.λπ. Αυτό δεν σημαίνει ότι μπορούμε και να αναγνωρίζουμε το είδος του μητρικού υλικού. Ορισμένες όμως φορές μπορούμε να αναγνωρίσουμε το μητρικό πέτρωμα ή υλικό, ειδικά εάν έχουμε γνώσεις φωτογεωλογίας. Η δυνατότητα αναγνώρισης του μητρικού υλικού είναι πολύ σημαντική, γιατί πολλές πληροφορίες για τις ιδιότητες και χαρακτηριστικά



Εικόνα 1.17. Μητρικό υλικό στα όρια της Νομαρχίας Κιλκίς (Ινστιτούτο Δασολογίας, Αθήνα)

ΒΑΘΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Με τις κλασσικές φωτογραφίες αποτυπώνεται μόνο η επιφάνεια του εδάφους και έτσι η αεροφωτογραφία δεν είναι δυνατό να δώσει μια συγκεκριμένη βασική απόδειξη για το βάθος του εδάφους. Είναι όμως επίσης γεγονός ότι υπάρχουν στοιχεία που μπορεί να δώσουν πληροφορίες για το στοιχείο αυτό. Το ανάγλυφο είναι συχνά μια καλή ένδειξη. Επίπεδες περιοχές είναι ενδεικτικές αλλουβιακών αποθέσεων που έχουν συνήθως μεγάλο βάθος, ενώ δεν είναι απαραίτητο να έχουν ομοιογενές υλικό. Ορατές εξάρσεις πετρωμάτων είναι βέβαια ένδειξη αβαθών εδαφών. Γενικά όμως το στοιχείο **βάθος εδάφους** δεν είναι εύκολα αναγνωρίσιμο στις αεροφωτογραφίες.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Όταν χρησιμοποιούμε το στοιχείο διάβρωση, αναφερόμαστε συνήθως στην επιταχυνόμενη ή ανθρωπογενή διάβρωση, που προκαλείται από την επέμβαση του ανθρώπου. Περιοχές με επιταχυνόμενη διάβρωση πρέπει να διαχωρίζονται γιατί συνήθως οδηγούν σε **ακρωτηριασμένα** εδάφη, δηλαδή εδάφη που έχουν χάσει τον επιφανειακό Α-ορίζοντα και σε περίπτωση ισχυρής διάβρωσης και μέρος του Β-ορίζοντα, ή σε εδάφη που δέχονται συνεχώς επάνω στον επιφανειακό τους ορίζοντα υλικά διάβρωση.

Επειδή διάβρωση σημαίνει έκπλυση του σκοτεινού επιφανειακού ορίζοντα, διαβρωμένες περιοχές εμφανίζονται στις αεροφωτογραφίες με πιο ανοικτό τόνο. Είναι ευνόητο ότι κάθε σημείο με ανοικτό τόνο δεν πρέπει να σπεύσουμε να το χαρακτηρίσουμε σαν σημείο διάβρωσης (Εικόνα 1.18).



Εικόνα 1.18. Επιφανειακή διάβρωση (ανοικτός τόνος)

1.6. ΤΕΧΝΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

1.6.1. Χαρτογράφηση με αεροφωτογραφίες/δορυφορικές εικόνες

Για την εφαρμογή της φυσιογραφικής μεθόδου είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν τόσο στερεοζεύγη αεροφωτογραφιών, όσο και δορυφορικές εικόνες πανχρωματικές ή πολυφασματικές. Στην περίπτωση της φυσιογραφικής μεθόδου διακρίνουμε τη φυσιογραφική μέθοδο με αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες. Και στις δυο περιπτώσεις η χρήση των Γεωγραφικών συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και των Παγκόσμιων Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης (GPS) είναι πλέον απαραίτητη.

Παρακάτω περιγράφεται η φυσιογραφική μέθοδος με τη χρήση δορυφορικών εικόνων (οπτική φωτοερμηνεία, ψηφιακή επεξεργασία, ή συνδυασμός)

Στάδιο 1:

- Διαφοροποιήσεις τόνου ή χρώματος (μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση σε π.χ. 10 φασματικές κλάσεις
- Τρισδιάστατη παρατήρηση του τοπίου (με στερεοσκόπιο ή Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο-DEM).

Στάδιο 2:

Με μονοσκοπική παρατήρηση

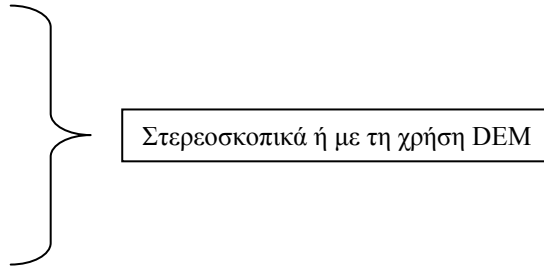
- Οριοθέτηση επιφανειακού νερού
- Οριοθέτηση Ποταμών
- Κάλυψη γης (χάρτης CORINE)
- Καλλιέργειες (μόνο για ρυζοχώραφα)
- Χέρσα γη (μονοσκοπικά)

- Δάσος (Χάρτης CORINE, μονοσκοπικά ή στερεοσκοπικά)
- Λίμνες-θάλασσα-λοιπά (μονοσκοπικά)

Στάδιο 3:

κλάσεις ανάγλυφου

- επίπεδο
- ομαλό
- μέτρια ομαλό
- ανώμαλο
- βυθισμένο
- σύμπλοκο



Στάδιο 4:

- Υδρογραφικά δίκτυα (με GIS με τη χρήση DEM)
- Γεωλογικοί σχηματισμοί (από γεωλογικό χάρτη)

Στάδιο 5: Αναγνώριση των φυσιογραφικών διεργασιών που σχημάτισαν τους σημερινούς φυσιογραφικούς τύπους τοπίου (κύρια διάβρωση και απόθεση)

Στάδιο 6: Αναγνώριση των συστημάτων διάβρωσης και απόθεσης (οριοθέτηση μόνο εμφανώς διαβρωμένων περιοχών)

Στάδιο 7: Διαίρεση της περιοχής σε βασικές (μεγάλες) γεωμορφές με γεωμορφολογική ονοματολογία και γεωμορφολογική, μορφομετρική ή φυσιογνωμική περιγραφή (μονοσκοπικά και στερεοσκοπικά, π.χ. λόφοι, πεδιάδες, αλλουβιακές πεδιάδες, κολουβιακές αποθέσεις, αλλουβιακά ριπίδια, υγράτοποι, βιότοποι, αναβαθμίδες φυσικές ή τεχνητές, κ.λπ.).

Στάδιο 8: Κατασκευή του φυσιογραφικού υπομνήματος με βάση τα εκλεγέντα φυσιογραφικά στοιχεία στο **Στάδιο 7**.

Στάδιο 9: Μεταφορά των γραμμών φωτοερμηνείας σε τοπογραφικούς χάρτες με τη βοήθεια λογισμικών GIS ή ανάλυσης εικόνας, στο ελληνικό προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ87.

Στάδιο 10:

- Εργασία υπαίθρου με PDA, GPS
- Εδάφη
- Περιγραφή με φρεάτια, τομές
- Ταξινόμηση εδαφοτομών

Στάδιο 11: Δημιουργία Χωρικής Βάσης Δεδομένων

Στάδιο 12: Κατασκευή του τελικού φυσιογραφικού - εδαφολογικού χάρτη, εισαγωγή σε GIS.

Στάδιο 13: Κατασκευή θεματικών χαρτών μεθόδους παρεμβολής ή με τη χρήση των πολυγώνων των χαρτογραφικών μονάδων.

Στάδιο 14: Συγγραφή λεπτομερούς εργασίας σχετικά με την ερευνηθείσα περιοχή.

Η μεγαλύτερη δυσκολία στη χρήση δορυφορικών εικόνων και την οπτική φωτοερμηνεία τους προέρχεται από την έλλειψη στερεοσκοπικής όρασης λόγω της ύπαρξης μικρής επικάλυψης μεταξύ γειτονικών φωτογραφιών. Η δυσκολία αυτή ξεπεράστηκε από τον δορυφόρο SPOT κ.α. Ο αντίκτυπος της έλλειψης αυτής μπορεί να μειωθεί με την εκλογή κατάλληλης ημερομηνίας λήψης π.χ. τους μήνες Οκτώβριο, Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, που παρουσιάζεται μικρή γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών και δημιουργούνται σκιάσεις που δίνουν έμμεσα την εικόνα του ανάγλυφου. Ο χαρακτηρισμός επίσης του ανάγλυφου διευκολύνεται με τοπογραφικούς χάρτες,

υδρογραφικά δίκτυα κ.λπ. Όλα τα άλλα στάδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για να επιτύχουμε ένα βασικό διαχωρισμό της ευρύτερης περιοχής στην οποία εργαζόμαστε (Hilwing, 1979-1980). Επίσης η χρήση DEM και η στην οθόνη ψηφιοποίηση με ψηφιακή τρισδιάστατη παρατήρηση (χρήση ειδικών γυαλιών) βοηθάει σημαντικά την οπτική φωτοερμηνεία.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί η μεγάλη βελτίωση των εικόνων από δορυφόρους στην τελευταία δεκαετία και όσο αφορά τη διαχωριστική ικανότητα των εικόνων και άλλων υλικών, όσο και την επέκταση και αξιοποίηση περιοχών φάσματος ιδιαίτερα χρήσιμων στην εδαφολογία και γεωργία (Quick Bird, IKONOS, SPOT-5 με διακριτική εικόνα που φθάνει τα 65 εκ. και σε στερεοσκοπικά ζεύγη).

ΦΥΣΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ

Φυσιογραφικές μονάδες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανεξάρτητα ή να συνοδεύουν (καθορίζουν) άλλες φυσιογραφικές μονάδες.

Κλάσεις ανάγλυφου: Επίπεδο, βυθισμένο, ομαλό, μέτρια ομαλό, ανώμαλο

Κλάσεις κλίσης		
% κλίση	Ονομασία κλίσης	Σύμπλοκο κλίσεων
0-3	Επίπεδη ή σχεδόν επίπεδη Level or nearly level	Το ίδιο
3-8	Ελαφρά κεκλιμένη Gently sloping	Κυματοειδής Undulating
8-16	Κεκλιμένη Sloping	Ισχυρά κυματοειδής Rolling*
16-30	Μέτρια απότομη Moderately steep	Λοφώδες Hilly
30-45	Απότομη Steep	Απότομο Steep
>45	Απότομη Steep	Απότομο Steep

Όταν το σύμπλοκο κλίσεων μιας περιοχής βρίσκεται στο κατώτερο όριο μπορεί να χαρακτηρίζεται με τους όρους **ελαφρό, μέτριο ή ισχυρό**, π.χ. ελαφρά κυματοειδής, ισχυρά κυματοειδής, κ.λπ.

Ο βαθμός, το σχήμα και το μήκος των κλίσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν ανεξάρτητες φυσιογραφικές μονάδες ή να καθορίζουν άλλη φυσιογραφική μονάδα, π.χ. κύρια σε λεπτομερείς χαρτογραφήσεις.

Μητρικό υλικό (Parent material)

- Πέτρωμα (rock): Γενική ονομασία π.χ. πυριγενές, ή με μεγαλύτερη
- λεπτομέρεια π.χ. οφειόλιθοι, υπερβασικά, ή το είδος του πετρώματος π.χ. ασβεστόλιθος.
- Ποτάμιο (Fluvial)
- Λιμναίο (Lacustrine)
- Θαλάσσιο (Marine)
- Ανεμογενές (Aeolian)
- Χειμάριο (Stream)

- Κολλουβιακό (Colluvial)
- Από κατολισθήσεις (Mass-movement, talus, landslide, creep)
- Χερσαίο (Terrestrial)

Διάβρωση (Erosion)

Επιφανειακή (Sheet)

- Μικρή (Slight sheet erosion)
- Μέση (Moderate sheet erosion)
- Μεγάλη (Strong sheet erosion)
- Ισχυρά (Very strong sheet erosion)

Χαραδρωτική (Gully erosion)

- Μικροχείμαρροι (Rills)
- Αβαθείς μέσου εύρους (Shallow mod. wide)
- Αβαθείς μεγάλου εύρους (Shallow wide)
- Βαθειές τύπου U (Deep U)
- Βαθειές τύπου V (Deep V)
- Αβαθείς τύπου V (Shallow V)

Οι κλάσεις **μικρή, μέση, μεγάλη, ισχυρά** ισχύουν για κάθε περίπτωση και της χαραδρωτικής διάβρωσης.

1.6.2. Κατασκευή φυσιογραφικού υπομνήματος

Για την κατασκευή του φυσιογραφικού υπομνήματος χρησιμοποιούμε τη μέθοδο του **διαδοχικού διαχωρισμού**.

1. Χωρίζουμε την περιοχή σε μεγάλες φυτογεωμορφικές μονάδες.

Παράδειγμα

- A Καλλιεργούμενη περιοχή
- B Χέρσα περιοχή
- X Χαράδρες

2. Χωρίζουμε τώρα τις μεγάλες μονάδες σε μικρότερες φυσιογραφικές μονάδες.

A Καλλιεργούμενη περιοχή

- A1 Σχεδόν επίπεδη με μικρή επιφανειακή διάβρωση
- A2 Κυματοειδής με μέτρια επιφανειακή διάβρωση.

B Χέρσα περιοχή

X Χαράδρες

- X1 Πρανή χαραδρών και πυθμένες ακαλλιέργητοι
- X2 Καλλιεργημένες αναβαθμίδες
- X3 Καλλιεργημένοι πυθμένες

3. Συνεχίζουμε με την υποδιαίρεση μικρότερων τμημάτων.

A Καλλιεργούμενη περιοχή

A1 Σχεδόν επίπεδη με μικρή επιφανειακή διάβρωση.

A11 Σχεδόν επίπεδες

A12 Μικροβυθίσματα

A2 Κυματοειδής με μέτρια επιφανειακή διάβρωση

A21 Κεκλιμένες περιοχές

A22 Πρόποδες

A23 Αβαθείς κοιλάδες μέσου εύρους

B Χέρσα περιοχή

X Χαράδρες

X1 Πρανή χαραδρών και πυθμένες ακαλλιέργητοι

X2 Αναβαθμίδες καλλιεργημένες

X3 Καλλιεργημένοι πυθμένες

Βεβαίως τα παραπάνω αποτελούν τη θεωρητική προσέγγιση του θέματος μια που η κλίμακα του χάρτη παίζει τον σημαντικότερο ρόλο.

Στην εικόνα 1.19 παρουσιάζεται η Ταξινομική Μονάδα που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του εδαφολογικού χάρτη της χώρας.

Στο σημείο αυτό θεωρείται σκόπιμο να παρουσιαστεί το **εδαφικό κλάσμα** που χρησιμοποιείται ως ταξινομική μονάδα από το Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών της Λάρισας (Yassoglou και συνεργάτες, 1964).

Το εδαφικό κλάσμα περιλαμβάνει όλα τα επίπεδα των ταξινομικών μονάδων από την **τάξη** έως τον **τύπο**. Εάν παραλείψουμε τη μηχανική σύσταση των 0-25 εκ. βάθους έχουμε τη **σειρά**, ενώ η μηχανική σύσταση 0-25 εκ. εκφράζει τον τύπο του εδάφους. Η ταξινομική αυτή μονάδα χρησιμοποιήθηκε και στη Χαρτογράφηση του Αργολικού πεδίου (Γιάσσογλου - Νυχάς - Αποστολάκης - Κοσμάς, 1983).

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ

Χαρτογραφικό σύμβολο	Κλάσεις υφής		
	0-25 εκ.	25-75 εκ.	75-150 εκ.
0	Χάλικες > 60%	Χάλικες > 60%	Χάλικες > 60%
1	S, LS	S, LS, SL	S, LS, SL
2	SL	Si, SiL, L	Si, SiL, L
3	SiL, Si, L	CL, SCL, SiCL	Λεπτότερο από L
4	SCL, CL, SiCL	SC, SiC, C	
5	SC, SiC, C		

ΣΤΡΑΓΓΙΣΗ

A: Με καλή στράγγιση σε όλο το βάθος της κατατομής

B: Χαρακτηριστικά κακής στράγγισης σε βάθος 100-150 εκ.

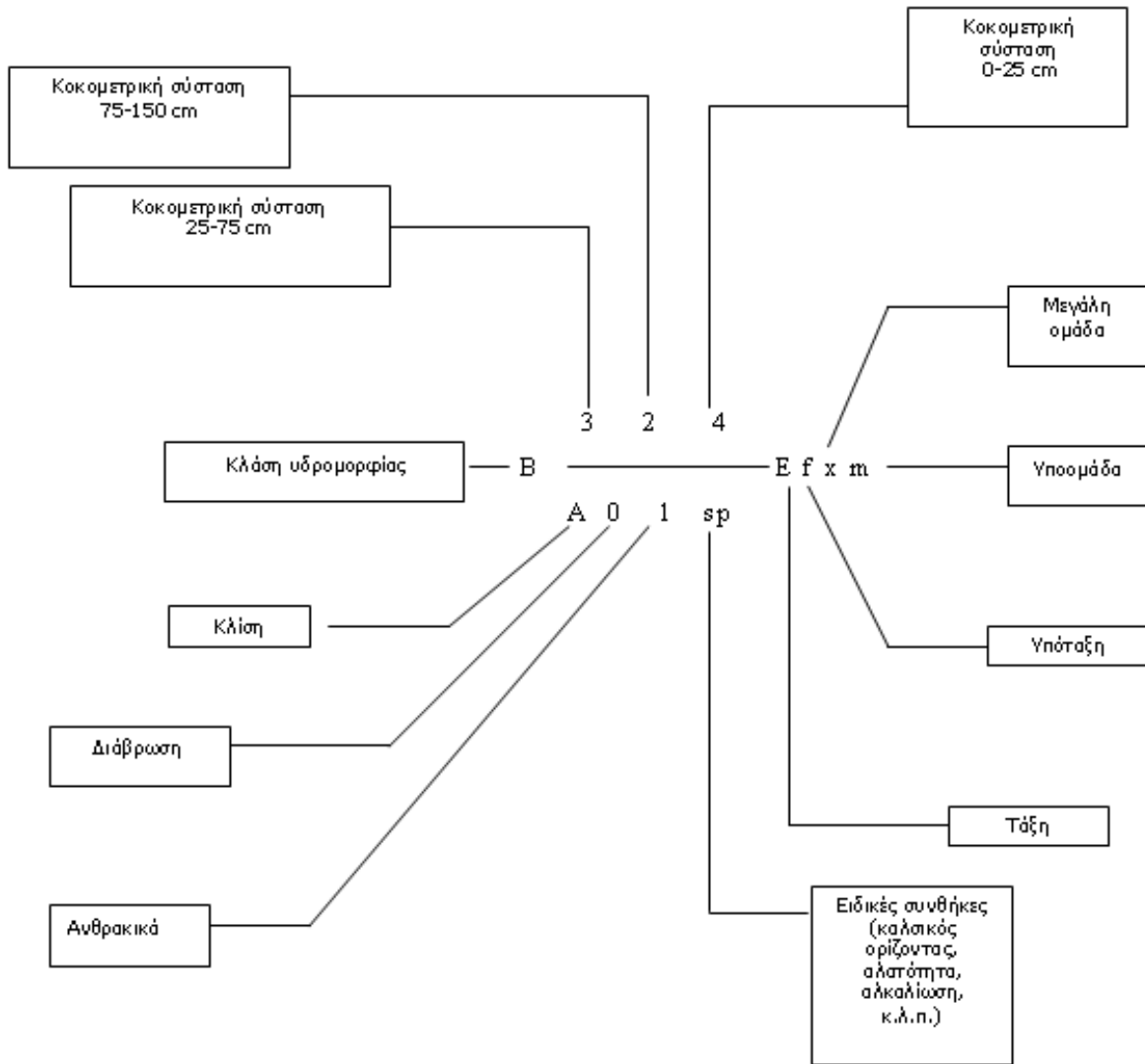
C: Χαρακτηριστικά κακής στράγγισης σε βάθος 50-150 εκ.

D: Χαρακτηριστικά κακής στράγγισης σε βάθος 25-50 εκ.

E: Χαρακτηριστικά κακής στράγγισης σε βάθος <25 εκ.

F: Ορίζοντας glei σε βάθος 50-150 εκ.

G: Ορίζοντας glei σε βάθος <50 εκ.



Εικόνα 1.19. Η ταξινομική χαρτογραφική μονάδα κατά Γιάσογλου

ΚΛΙΣΗ

- A. 0-3%
- B. 3-6%
- C. 6-12%
- D. 12-20%
- E. 20-31%
- F. >31%

ΛΙΘΟΙ

- 0 Κάλυψη από λίθους 0-15% της επιφάνειας του εδάφους
- 1 Κάλυψη από λίθους 15-30% της επιφάνειας του εδάφους
- 2 Κάλυψη από λίθους >30% της επιφάνειας του εδάφους

CaCO₃

- 0 Αρνητική στο HCl αντίδραση όλης της εδαφοκατατομής.
- 1 Αρνητική στο HCl αντίδραση στο επιφανειακό τμήμα από 0-25 εκ. θετική αντίδραση στους υποκείμενους ορίζοντες.
- 2 Ασθενής αντίδραση στο τμήμα από 0-25 εκ.
- 3 Ζωηρή αντίδραση στο τμήμα από 0-25 εκ.
- 4 Θετική αντίδραση σε όλο το βάθος της κατατομής*

* από τον συγγραφέα

ΔΙΑΒΡΩΣΗ

- 0: Παρουσία στην επιφάνεια του Ap
- 1: Παρουσία στην επιφάνεια του Ap, A2 και Bt οριζόντων, με τον Bt σε 30% της συνολικής επιφάνειας της μονάδας.
- 2: Παρουσία στην επιφάνεια των Ap, A2 και Bt οριζόντων, με τον Bt σε 30% της συνολικής επιφάνειας της μονάδας.
- 3: Παρουσία στην επιφάνεια των B3 και C οριζόντων.
- 4: Παρουσία χαραδρώσεων.

1.6.3. Ανάλυση των αρχών της προτεινόμενης μεθοδολογίας

Κατά τη διάρκεια της μελέτης μιας αεροφωτογραφίας, ο φωτοερμηνευτής έχει στη διάθεση του μόνο δυο βασικούς τύπους δεδομένων που είναι, (1) οι διαφοροποιήσεις του γκριζου τόνου στις ασπρόμαυρες ή του χρώματος στις έγχρωμες φωτογραφίες και η τρισδιάστατη εικόνα της περιοχής, η μελέτη των οποίων πραγματοποιείται στο **Στάδιο 1**.

Με το **Στάδιο 2** αναγνωρίζονται και ταξινομούνται οι συγκεντρώσεις νερού (βάλτοι, λίμνες, θάλασσα) και επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός της γης σε καλλιεργούμενη, δασική, χέρσα και μη καθορισμένης χρήσης. Το στάδιο αυτό δίνει τις πρώτες πραγματικές πληροφορίες για την εξεταζόμενη περιοχή. Η αναγνώριση της χρήσης γης βασίζεται κυρίως στο φωτογραφικό τόνο, στην παρουσία, διάταξη και πυκνότητα των αγροτεμαχίων, στο ύψος της βλάστησης και λιγότερο στη διαμόρφωση του ανάγλυφου.

Γενικά τα στάδια 1 και 2 μπορούν να χαρακτηριστούν ως φάση εξοικείωσης του χαρτογράφου με την εξεταζόμενη περιοχή.

Τα **Στάδια 3 και 4 χαρακτηρίζονται από τη χάραξη των υδρογραφικών δικτύων και την ταξινόμηση (οριοθέτηση) του αναγλύφου**, που γίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια με τη βοήθεια αεροφωτογραφιών, παρά με τη χρησιμοποίηση τοπογραφικών χαρτών ή εργασίας υπαίθρου. Η μελέτη των υδρογραφικών δικτύων και ιδιαίτερα του τύπου, πυκνότητας, γωνίας και διεύθυνσης, μπορεί να δώσει αξιόλογες πληροφορίες για το είδος του μητρικού πετρώματος, των ρηγματώσεων, του μήκους και ομοιομορφίας κλίσεων, της ομοιομορφίας του υλικού, της έντασης της χαραδρωτικής διάβρωσης, τον καθορισμό επιφανειών διάβρωσης και απόθεσης και σε συνδυασμό με άλλα φυσιογραφικά στοιχεία, πολύτιμες πληροφορίες για ορισμένα χαρακτηριστικά των εδαφών (Gregory and Walling 1973). Τα στάδια αυτά συμπληρώνεται με τη μεταφορά των γεωλογικών σχηματισμών στις μη γεωργικές περιοχές, ή από υπάρχοντες γεωλογικούς χάρτες ή με την πείρα του χαρτογράφου

στη φωτο-γεωλογία.

Στο **Στάδιο 3** το ανάγλυφο μπορεί να ταξινομηθεί εύκολα σε 5 βασικές κλάσεις, δηλαδή σε (1) επίπεδο, (2) ομαλό, (3) μέτρια ομαλό, (4) ανώμαλο, (5) βυθισμένο, ενώ δεν είναι απαραίτητο στο στάδιο αυτό να δοθούν γεωμορφολογικοί ορισμοί ή περιγραφές. Η συνδυασμένη μελέτη του ανάγλυφου, υδρογραφικών δικτύων και μητρικού υλικού απευθείας στις αεροφωτογραφίες ή φωτογραφίες δορυφόρων, δίνει αξιόλογες πληροφορίες (1) στη διεξαγωγή της επόμενης φάσης (**στάδια 5-11**) που έχουν σχέση με στην αναγνώριση των φυσιογραφικών διεργασιών που επέδρασαν στη διαμόρφωση των φυσιογραφικών τύπων και κατά συνέπεια των εδαφών τους, κατά την πρόσφατη γεωλογική περίοδο και (2) για την πρόβλεψη ορισμένων εδαφικών χαρακτηριστικών και περιοριστικών της χρήσης γης παραγόντων.

Η ολοκλήρωση των σταδίων 2-7 αποτελεί μια από τις σπουδαιότερες φάσεις, γιατί είναι καθοριστική για την αναγνώριση των φυσιογραφικών διεργασιών που βοηθούν το χαρτογράφο να εκλέξει τα φυσιογραφικά στοιχεία (Πίνακας 1.2), στα οποία θα στηρίξει το διαχωρισμό της περιοχής σε φυσιογραφικές μονάδες. Οι μονάδες αυτές, σύμφωνα με τις αρχές της προτεινόμενης μεθόδου, θα αποτελέσουν και τις τελικές εδαφικές μονάδες και μονάδες καταλληλότητας γης της εξεταζόμενης περιοχής.

Στα Στάδια 5 και 6, οι διεργασίες της διάβρωσης και απόθεσης, η προέλευση του μητρικού και επιφανειακού υλικού, η προέλευση και εξέλιξη των διαφόρων φυσιογραφικών ή γεωμορφολογικών τύπων τοπίου εξετάζονται από γεωμορφολογικής σκοπιάς, με σκοπό τη διαίρεση της περιοχής σε Μεγάλες Φυσιογραφικές Μονάδες ανάλογα με την κλίμακα της χαρτογράφησης. Ο παραπάνω διαχωρισμός γίνεται με βάση το γεγονός ότι σημαντικές διαφορές υπάρχουν μεταξύ των Μεγάλων αυτών Φυσιογραφικών Μονάδων, διαφορές που δικαιολογούν σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ ιδιοτήτων των εδαφών και της καταλληλότητας τους για γεωργική χρήση.

Το Στάδιο 7 περιλαμβάνει διαίρεση της περιοχής σε βασικές γεωμορφές με γεωμορφολογική ονοματολογία και γεωμορφολογική, μορφομετρική ή φυσιογνωμική περιγραφή, ενώ το **Στάδιο 8** περιλαμβάνει την κατασκευή του φυσιογραφικού υπομνήματος, ανάλογα με την κλίμακα χαρτογράφησης και τα εκλεγέντα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά (Πίνακας 1.2 και Εικόνα 1.20). Το υπόμνημα διορθώνεται και συμπληρώνεται συνεχώς κατά τη διάρκεια του επόμενου σταδίου, που αφορά το λεπτομερή διαχωρισμό της εξεταζόμενης περιοχής.

Στο Στάδιο 9 πραγματοποιείται η μεταφορά των γραμμών φωτοερμηνείας σε τοπογραφικούς χάρτες με τη βοήθεια λογισμικών GIS ή ανάλυσης εικόνας, στο ελληνικό προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ87.

Στο στάδιο 10 πραγματοποιείται το πιο σημαντικό μέρος της εργασίας, δηλαδή η εργασία υπαίθρου, ενώ στο **Στάδιο 11** η δημιουργία Χωρικής Βάσης Δεδομένων.

Στο Στάδιο 12 πραγματοποιείται η κατασκευή του τελικού φυσιογραφικού - εδαφολογικού χάρτη, εισαγωγή σε GIS.

Με τη χρήση GIS και/η μεθόδων παρεμβολής κατασκευάζονται θεματικοί χάρτες, στο **Στάδιο 13**.

Τέλος στο Στάδιο 14, γίνεται η συγγραφή λεπτομερούς εργασίας σχετικά με την ερευνηθείσα περιοχή.

Πρέπει επίσης να γίνει σαφές ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία αποτελεί μια ποιοτική προσέγγιση και για την ολοκλήρωση της απαιτείται και ποσοτική έρευνα που προϋποθέτει και τη συμμετοχή άλλων ειδικοτήτων, όπως γεωργοοικονομολόγων, γεωπόνων φυτικής παραγωγής κ.λπ. (**integrated survey**). Το στάδιο της ποσοτικής έρευνας μπορεί να διεξαχθεί ανεξάρτητα του σταδίου της ποιοτικής χαρτογράφησης, όπως περιγράφεται στο FAO (1976).

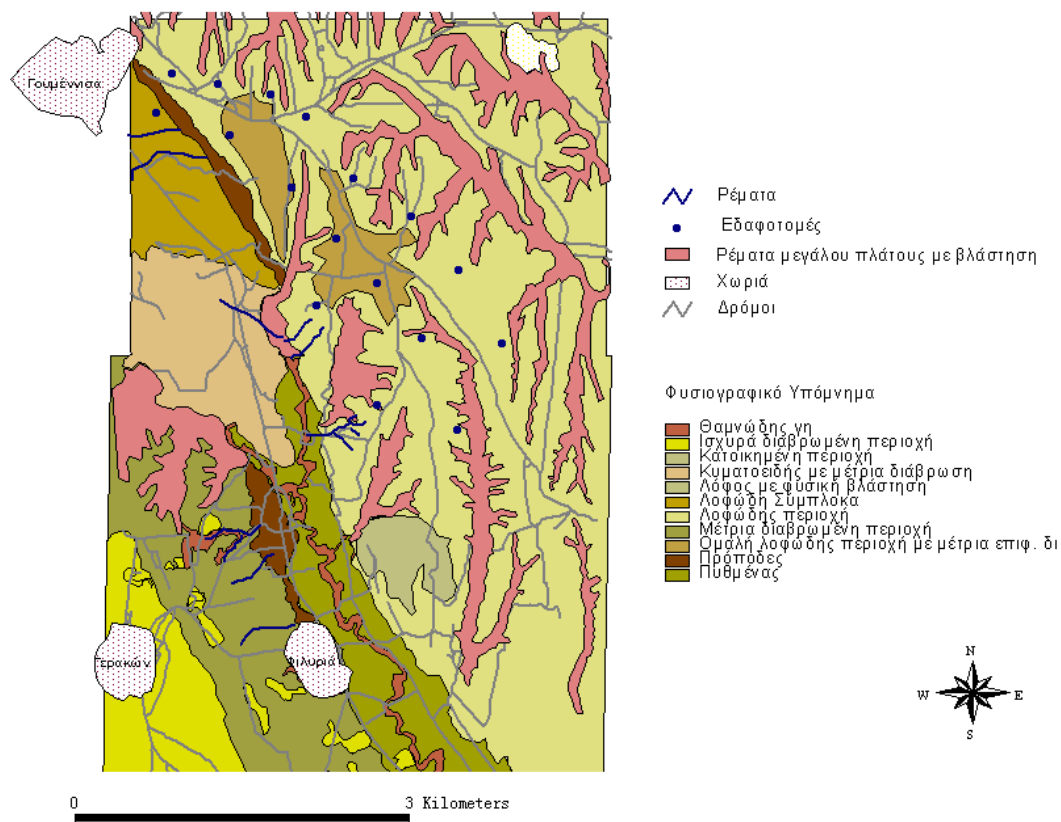
1.6.4. Ορισμός και ονοματολογία των φυσιογραφικών μονάδων

Ο φυσιογραφικός διαχωρισμός των σχηματισμών τοπίου σε **Μεγάλες Μονάδες** (Landscapes), **Υπομονάδες** (Sub-landscapes) και **Χαρτογραφικές Μονάδες**, (Mapping units) δεν προωθεί την ανάπτυξη του επιθυμητού δεσμού μεταξύ της εδαφολογικής μελέτης και της καταλληλότητας των

γεωργικών εδαφών. Αντίθετα, ο διαχωρισμός του τοπίου σε **φυτογεωμορφικές** μονάδες, δημιουργεί μια χρήσιμη βάση για την έρευνα των γήινων πόρων και μια ολοκληρωμένη άποψη για τις δυνατότητες παραγωγής (Howard και Mitchell 1980).

Τα κύρια επίπεδα της ταξινόμησης αυτής που ενδιαφέρουν σε κλίμακα 1:100.000 είναι: **το γαιοσύστημα** (land system), η **γαιοδιαδοχή** (land catena), το **γαιοτμήμα** (land facet), και το **γαιοστοιχείο** (land element), από τα οποία τα 3 τελευταία είναι τα σπουδαιότερα επίπεδα για κλίμακα χαρτογράφησης μεγαλύτερη από 1:100.000. Τα δύο σπουδαιότερα πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού είναι (1) η φυσιογραφική και φυτογεωμορφική ταξινόμηση έχουν κοινά σημεία και σύμφωνα με την άποψη αυτή τα δύο συστήματα, μετά από ορισμένες τροποποιήσεις, συμπίπτουν απόλυτα και (2) τα επίπεδα της φυτογεωμορφικής ταξινόμησης φαίνεται να είναι στενά συνδεδεμένα με τα επίπεδα του Αμερικάνικου Συστήματος Χαρτογράφησης (Soil Survey Staff, 1951), π.χ. το **εδαφόςυμπλοκο** (soil complex) και η **εδαφική ενότητα** (soil compound) είναι ταυτόσημα με το **σύμπλοκο γαιοσύστημα** (complex land system) και **σύνθετο γαιοσύστημα** (compound land system).

ΦΥΣΙΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΓΟΥΜΕΝΙΣΑΣ



Εικόνα 1.20. Φυσιογραφικός Χάρτης Γουμένισας

Γαιοσύστημα (land system): Το Γαιοσύστημα είναι η πιο χρησιμοποιούμενη φυτογεωμορφική μονάδα, για κλίμακα χαρτογράφησης 1:100.000 - 1:250.000, ενώ τα γαιο-υποσυστήματα χρησιμοποιούνται σαν μονάδα και σε κλίμακα 1:50.000. Η μονάδα αυτή καθορίζεται σαν ένα επαναλαμβανόμενο σύμπλοκο γενετικά συνδεδεμένων **Διαδοχών γης** (land catenas), με ομοιομορφία στο γεωλογικό υλικό και στη γεωμορφολογική ιστορία. Πιο απλούστερα το **Γαιοσύστημα** ορίζεται σαν σύμπλοκο στενά συνδεδεμένων γεωμορφολογικών μονάδων, με όμοιο γεωλογικό υλικό και γεωμορφολογική εξέλιξη, με πιο κατάλληλη εδαφική ταξινομική μονάδα σύμπλοκα ή ενώσεις **Υποομάδων** (Sub-groups).

Δύο ανόμοια, αλλά γεωγραφικά συνδεδεμένα συστήματα γης, που δεν μπορούν να διαχωριστούν σε λεπτομερέστερη κλίμακα χαρτογράφησης, αποτελούν ένα **σύμπλοκο γαιοσυστημάτων** (complex land system) και αντιστοιχούν με το **σύμπλοκο εδαφών** (Soil Complex). Αντίθετα όταν το γαιοσύστημα περιλαμβάνει δυο ανόμοια, μη γεωγραφικά συνδεδεμένα, γαιοσυστήματα που μπορούν να διαχωριστούν σε λεπτομερέστερη χαρτογράφηση, ονομάζεται **σύνθετο γαιοσύστημα** (Compound land system) και αντιστοιχεί με την **εδαφική ενότητα** (Soil Association).

Γαιοδιαδοχή (land catena): Ο Howard (1970) πρότεινε τη μονάδα αυτή και την καθόρισε σαν επαναλαμβανόμενες Γαιομονάδες μέσα στο Σύστημα γης. Π.χ. η επανάληψη βυθισμάτων και εξάρσεων σε μια περιοχή μπορεί να θεωρηθεί σαν γαιοδιαδοχή, ενώ μεμονωμένα οι εξάρσεις και τα βυθίσματα ταξινομούνται στην επόμενη υποδιαίρεση **των γαιομονάδων**.

Οι όροι **Σύμπλοκο** ή **Σύνθετο** μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στην περίπτωση αυτή. Η μονάδα αυτή αναγνωρίζεται σε κλίμακα χαρτογράφησης που κυμαίνεται από 1:50.000 - 1:250.000, ενώ η εδαφική χαρτογραφική μονάδα που είναι η πιο κατάλληλη είναι η **Εδαφική Ενότητα** που περιλαμβάνει την Οικογένεια (Family) ή Υποομάδες.

Γαιομονάδα (land facet): Η μονάδα αυτή καθορίζεται σαν μια αυτοτελής γεωμορφολογική ή τοπογραφική μονάδα της οποίας τα χαρακτηριστικά παρουσιάζουν πολύ σημαντική ομοιογένεια, π.χ. αλλουβιακός κόνος, ποτάμια αναβαθμίδα κ.λπ. Η γαιομονάδα μπορεί να αναγνωριστεί και να χαρτογραφηθεί σε κλίμακα μεγαλύτερη από 1:20.000, με εδαφική ταξινομική μονάδα τη **Σειρά** (Soil Series).

Γαιοστοιχείο (land element): Μέσα στη μονάδα αυτή παρουσιάζεται μεγάλη ομοιογένεια τόσο στα εδάφη όσο και στην τοπογραφική και γεωμορφολογική διαμόρφωση. Παραδείγματα τέτοιων μονάδων αποτελούν οι μεμονωμένες κλίσεις, οι εξάρσεις βράχων κ.λπ. Η εδαφική ταξινομική μονάδα που χρησιμοποιείται είναι ο εδαφικός **Τύπος** (Soil Type) και **Φάσεις** αυτού.

Εκτός από τις βασικές αυτές μονάδες χρησιμοποιούνται και οι υποδιαίρεσεις τους όπως π.χ. **Υποσύστημα**, **Υπο-γαιοδιαδοχή** κ.λπ. Η διαφοροποίηση μπορεί να οφείλεται στο υλικό ή στη μορφολογία, π.χ. σε ένα αλλουβιακό ριπίδιο (γαιομονάδα) διαχωρίζεται το ανώτερο λιθώδες τμήμα και το κατώτερο με πιο λεπτό υλικό (Υπο-γαιομονάδες).

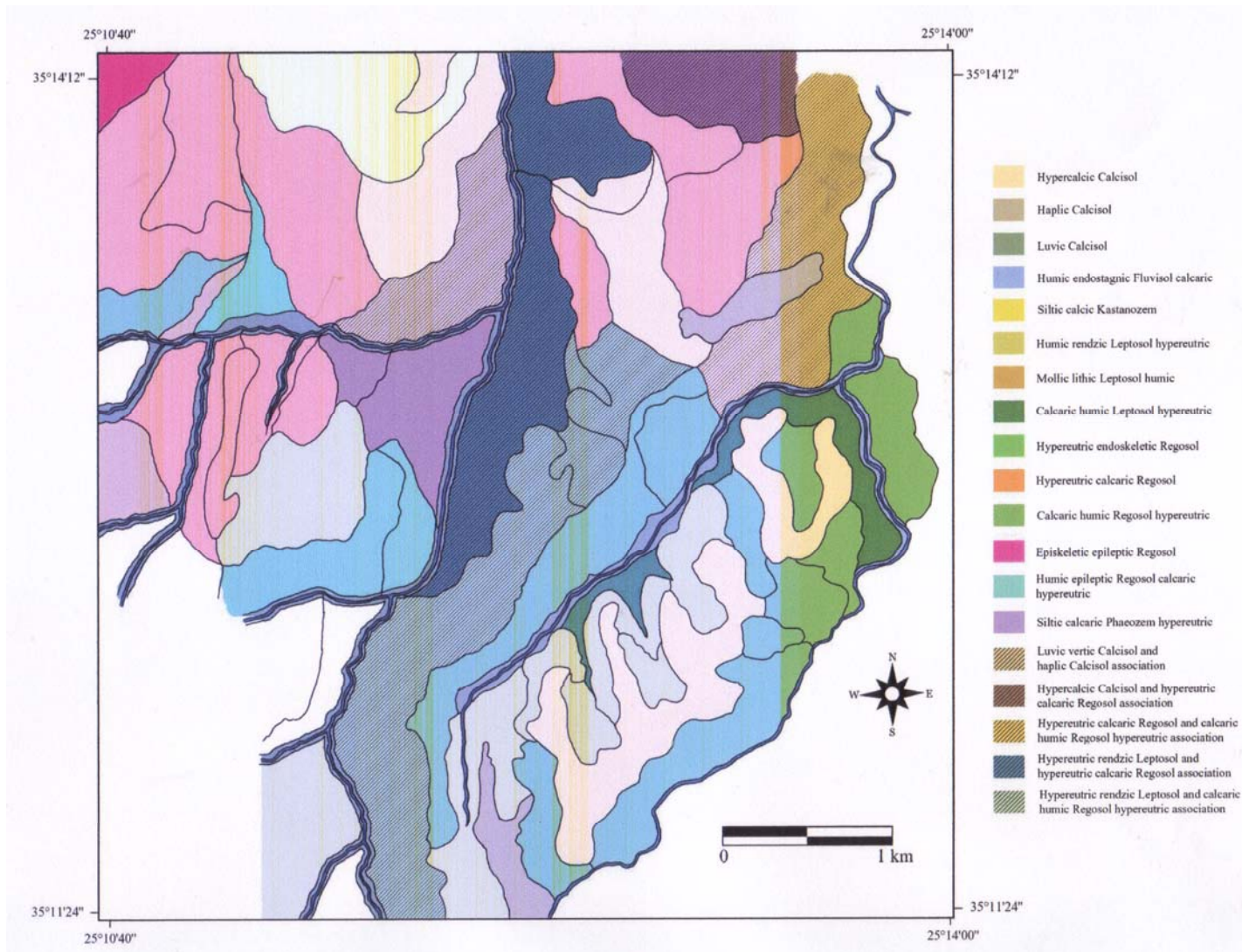
1.6.5. Ταξινόμηση εδαφών

Η εδαφολογική χαρτογράφηση (Εικόνα 1.21) είναι στενά συνδεδεμένη με την εκλογή του συστήματος ταξινόμησης των εδαφών, του επίπεδου ταξινόμησης και του σωστού συνδυασμού της ταξινομικής μονάδας με το φυσιογραφικό υπόμνημα.

Η ρεαλιστική αντιμετώπιση του θέματος, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι επικρατεί κάποια ασάφεια και σύγχυση, όχι τόσο στο σύστημα που πρέπει να χρησιμοποιηθεί, αλλά στο επίπεδο ταξινόμησης και την ταξινομική μονάδα. Δεν είναι σκοπός της εργασίας η κριτική των διαφόρων συστημάτων, αλλά η απομόνωση από το Αμερικανικό Σύστημα Ταξινόμησης (Soil Taxonomy) των στοιχείων εκείνων που πιστεύεται ότι αξιοποιούν καλύτερα την προτεινόμενη μέθοδο, αυξάνουν την χρησιμότητα τους και κάνουν πρακτική και εύκολη τη χρησιμοποίηση του χάρτη.

Εφαρμόζοντας το USDA σύστημα έχουμε να διαλέξουμε μεταξύ **1. Κατηγοριών** (Orders), **2. Υποκατηγοριών** (Suborders), **3. Μεγάλων Ομάδων Εδαφών** (Great Soil groups), **4. Υποομάδων** (Subgroups), **5. Οικογενειών** (Families), και **6. Σειρών** (Series). Οι 2 πρώτες κατηγορίες περιλαμβάνουν μια μεγάλη ποικιλία εδαφών και είναι σκόπιμο να χρησιμοποιούνται σε χαρτογραφήσεις κλίμακας 1:100.000 και μικρότερες.

Χαρτογραφικές μονάδες που περιλαμβάνουν **Υποομάδες Εδαφών**, δεν είναι κατάλληλες για γεωργικό προγραμματισμό, γιατί δυο όμοια από γενετικής απόψεως εδάφη μπορεί να διαφέρουν σε χαρακτηριστικά καθοριστικά για τις καλλιέργειες, π.χ. δύο εδάφη ταξινομούμενα ως Typic Rhodoxeralf μπορούν να διαφέρουν στην κλίση, ποσοστό λίθων η χολικών, μηχανική σύσταση και φυσικοχημικές ιδιότητες, γιατί ο καθοριστικός παράγοντας ταξινόμησης είναι η μετακίνηση αργίλου προς ένα υποκείμενο ορίζοντα κατά ένα ορισμένο ποσοστό.



Εικόνα 1.21. Φυσιογραφικός, εδαφολογικός χάρτης με το σύστημα FAO στο Δήμο Καζαντζάκη, Ν. Ηρακλείου

Η Σειρά είναι μια ταξινομική μονάδα λεπτομερών χαρτογραφήσεων που παρέχει πολλά συμπεράσματα για την καταλληλότητα της γεωργικής γης. Ο καθορισμός των χαρακτηριστικών που την διαφοροποιούν μέσα στην **Οικογένεια** πρέπει να γίνει προσεκτικά, ενώ πρόβλημα είναι η ονοματολογία της και ο μεγάλος αριθμός Σειρών που δημιουργούνται. Είναι όμως μια μονάδα που μπορεί να έχει μεγάλη πρακτική σημασία.

Η Οικογένεια φαίνεται να είναι η πιο πρακτική από τις προηγούμενες κατηγορίες. Τα εδάφη μέσα στην Οικογένεια ταξινομούνται με βάση:

- τη μηχανική τους σύσταση,
- ορυκτολογική τους σύσταση,
- περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο,
- pH
- θερμοκρασίας εδάφους,
- βάθους εδάφους,
- βαθμού κλίσεως,
- συνοχής,
- επικαλύψεων και
- ρωγμών (Soil Survey Staff, 1975).

Στην πράξη μερικά από τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να παραλειφθούν ή γιατί είναι όμοια σε όλα τα εδάφη της εξεταζόμενης περιοχής, π.χ. το βάθος, ή γιατί δεν είναι τόσο σημαντικά για το σκοπό της έρευνας, π.χ. η ορυκτολογική σύσταση και η θερμοκρασία του εδάφους. Η επιτρεπόμενη διακύμανση των χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων των εδαφών μέσα στην Οικογένεια την κάνει πρακτική και εύκολη στην εφαρμογή της. Το ερώτημα που ακολουθεί, είναι για το ποια πρέπει να είναι η εδαφολογική χαρτογραφική μονάδα που θα εξυπηρετεί καλύτερα τους σκοπούς της χαρτογράφησης.

Σύμφωνα με το Soil Survey Staff (1951), ως βάση λαμβάνεται η **Ταξινομική μονάδα** (Taxonomic Unit), στην οποία περιλαμβάνονται εδάφη που παρουσιάζουν ιδιότητες και χαρακτηριστικά με μικρή διακύμανση μέσα σε καθορισμένα όρια. Η **Χαρτογραφική μονάδα** περιλαμβάνει τα εδάφη της Ταξινομικής μονάδας και ένα ποσοστό περίπου 15% άλλων εδαφών ως αποτέλεσμα της κλίμακας χαρτογράφησης.

Ως Ταξινομική μονάδα μπορεί να χρησιμοποιηθεί, ανάλογα με την κλίμακα και τους σκοπούς χαρτογράφησης κάθε μονάδα του επιθυμητού συστήματος ταξινόμησης. Οι Χαρτογραφικές μονάδες μπορούν να περιλαμβάνουν δύο ή περισσότερες Ταξινομικές μονάδες, στο ίδιο επίπεδο ταξινόμησης (π.χ. Οικογένειες), που μπορεί να συνδέονται ή όχι φυσιογραφικά.

Το **Εδαφόςυμπλοκο** (Soil Complex) είναι μια Χαρτογραφική μονάδα ημι-λεπτομερών κυρίως χαρτογραφήσεων, που περιλαμβάνει δύο ή περισσότερες Ταξινομικές μονάδες. Οι μονάδες αυτές μπορεί να είναι ανόμοιες, αλλά πρέπει να συνδέονται γεωγραφικά κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μην είναι δυνατός ο διαχωρισμός τους στη δεδομένη κλίμακα χαρτογράφησης.

Εάν δύο ή περισσότερες Ταξινομικές μονάδες δεν συνδέονται γεωγραφικά, μπορούν να χαρτογραφηθούν μαζί ως **Αδιαφοροποίητη Ομάδα** (Undifferentiated Group), όταν οι διαφορές τους είναι πολύ μικρές για να επιτρέψουν ανεξάρτητη χαρτογράφηση.

Η χαρτογραφική μονάδα που πολλές φορές συγχέεται με το Εδαφικό Σύμπλοκο είναι η **Ενότητα Εδαφών** (Soil Association). Για να αποφύγουμε τυχόν σύγχυση, ο όρος Εδαφόςυμπλοκο χρησιμοποιείται όταν οι Ταξινομικές μονάδες που περιλαμβάνει δεν μπορούν να διαχωριστούν σε λεπτομερή χαρτογράφηση, πράγμα που είναι δυνατό στις Ταξινομικές μονάδες της Εδαφικής Ενότητας.

Ανάλογα με την επιθυμητή κλίμακα χαρτογράφησης και τη λεπτομέρεια, ο εδαφολόγος μπορεί να

διαλέξει την Ταξινομική και Χαρτογραφική μονάδα που εξυπηρετεί καλύτερα τους σκοπούς της έρευνας. Στο υπόμνημα του χάρτη οι όροι Soil Complex ή Soil Association πρέπει να αναφέρονται δίπλα σε κάθε Χαρτογραφική μονάδα, για να μπορεί ο αναγνώστης να συμπεράνει για τη δυνατότητα διαχωρισμού των Ταξινομικών μονάδων σε περίπτωση λεπτομερούς χαρτογράφησης.

Αναφορικά με το σύστημα Ταξινομήσεως που πρέπει να χρησιμοποιηθεί σε σχέση με τα Ελληνικά δεδομένα είναι το Αμερικάνικο Σύστημα Ταξινόμησης ή το σύστημα του FAO (FAO, 1974). Είναι δυνατόν να απομονωθούν οι κατηγορίες που απαντώνται συχνότερα στον Ελλαδικό χώρο, όπως Entisols, Inceptisols, Vertisols, Alfisols και να προσαρμοστούν στις συνθήκες της χώρας μας με τη χρησιμοποίηση Σειρών ή Οικογενειών.

Οι αναλύσεις θα πρέπει επίσης να γίνονται παράλληλα, αμέσως μετά τη μεταφορά των πρώτων δειγμάτων, ώστε με το τέλος της χαρτογράφησης της περιοχής και μέχρι να συμπληρωθούν οι απαραίτητες εργασίες γραφείου, να υπολείπεται λίγος χρόνος για να τελειώσουν οι παραπάνω μετρήσεις και αναλύσεις.

1.7. ΚΛΙΜΑΚΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ

Η κλίμακα χαρτογράφησης εξαρτάται από την επιθυμητή λεπτομέρεια και τους σκοπούς της εδαφολογικής έρευνας. Γενικά οι χάρτες, με βάση την κλίμακα χαρτογράφησης, διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- 6ης τάξης - αναγνωριστικοί χάρτες - κλίμακα μικρότερη από 1:250.000.
- 5ης τάξης - προκαταρκτικοί - κλίμακα 1:100.000.
- 4ης τάξης - γενικοί - κλίμακα 1:50.000
- 3ης τάξης - ημιλεπτομερείς - 1:20.000
- 2ης τάξης - λεπτομερείς - 1:10.000
- 1ης τάξης - πολύ λεπτομερείς - κλίμακα μεγαλύτερη από 1:5.000

Για να υπολογίσουμε τον αριθμό των αεροφωτογραφιών ή δορυφορικών εικόνων που χρειάζονται για να καλύψουν μια περιοχή χρησιμοποιούμε τη σχέση:

$$N = S / 0,4 \times 0,85 \times I^2 \times D^2$$

όπου:

S = η έκταση της περιοχής σε $\chi\lambda\mu^2$

$0,4$ = 60% κατά μήκος επικάλυψη (100%-60% = 40% ή 0,4)

$0,85$ = 15% πλευρική επικάλυψη (100%-15% = 85% ή 0,85)

I = οι διαστάσεις της εικόνας, π.χ. 23 x 23 εκ.

D = η κλίμακα των αεροφωτογραφιών, π.χ. 1:20.000 ($D = 0,2 \chi\lambda\mu$).

Π.χ. Για μια περιοχή 80 $\chi\lambda\mu^2$, φωτογραφίες 23 x 23 εκ. και κλίμακα 1:20.000

Αριθμός αεροφωτογραφιών = $80 / 0,4 \times 0,85 \times 23^2 \times 20.000 = 11$ δηλαδή χρειάζονται 11 αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:20.000 για να καλύψουμε μια περιοχή 80 $\chi\lambda\mu^2$ ή 80.000 στρεμμάτων.

Όσο αφορά την **πυκνότητα των παρατηρήσεων** ισχύει η γενική αρχή **1 παρατήρηση/ τετρ. εκ. του χάρτη στην ανάλογη κλίμακα**. Π.χ. η πυκνότητα των παρατηρήσεων για κλίμακα 1:5.000 υπολογίζεται ως εξής. Το 1 εκατοστό σε χάρτη 1:5.000 αντιστοιχεί επί του εδάφους σε 50 μέτρα και το 1 τετρ. εκ. σε 50x50 μέτρα, δηλαδή 2.500 τ.μ. = 2,5 στρέμματα. Άρα για την κλίμακα αυτή απαιτείται 1 παρατήρηση/2,5 στρέμματα (π.χ. για συμβουλευτική λίπανση). Βεβαίως και άλλοι παράγοντες παίζουν ρόλο στην πυκνότητα των παρατηρήσεων, όπως η ομοιομορφία των εδαφών σε μια περιοχή, η εμπειρία του χαρτογράφου, η εντατικότητα των καλλιεργειών και η μέθοδος που

ακολουθείται (Πίνακας 1.4).

Πίνακας 1.4. Πυκνότητα παρατηρήσεων / στρέμμα γης (Lieve Van-Camp, et al., 2004)

Περιγραφή	Κλίμακα	Ιδανική πυκνότητα παρατηρήσεων
Μεγάλη κλίμακα (Λεπτομερής)	1:2.500	6,4/στρέμμα
	1:10.000	0,4/στρέμμα
	1:25.000	0,064/στρέμμα
Μέση κλίμακα	1:50.000	0,016/στρέμμα
Ημι-λεπτομερής	1:100.000	0,004/στρέμμα
Μικρή κλίμακα	1:200.000	0,001/στρέμμα
	1:250.000	<0,001/στρέμμα
Αναγνωριστικοί	1:500.000	<0,001/στρέμμα
	1:1.000.000	<<0,001/στρέμμα

1.8. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Μια εδαφολογική έρευνα πρέπει να μεταφραστεί από την πολύπλοκη επιστημονική γλώσσα των εδαφολόγων σε μια απλούστερη και κατανοητή από τους διάφορους χρήστες των εδαφολογικών χαρτών. Μια κοινή απαίτηση όλων των χρηστών είναι ότι βασικά ενδιαφέρονται για την επίλυση των δικών τους προβλημάτων. Η απαίτηση αυτή διαφέρει. Μερικοί χρήστες ενδιαφέρονται για κατάλληλες περιοχές με σκοπό τη φυτική παραγωγή, ενώ άλλοι ενδιαφέρονται στη διαχείριση και στη βελτίωση των επενδύσεων που χρειάζονται για την πιο κατάλληλη χρήση γης. Πρόσφατα όλο και περισσότεροι από αυτούς που ασχολούνται με το σχεδιασμό χρήσης γης καταλαβαίνουν την αξία των εδαφολογικών χαρτών. Αντίθετα υπάρχουν χρήστες που προσβλέπουν στην εδαφολογική έρευνα με σκοπό την εκλογή και βελτίωση κατοικημένων περιοχών, λατομείων, δρόμων, σιδηροδρομικών γραμμών, κ.λπ. Μια επιτυχημένη εδαφολογική έρευνα πρέπει να ανταποκρίνεται σε όλα τα παραπάνω.

1.8.1. Είδη εδαφολογικών δεδομένων (Beatty και συνεργάτες, 1979)

Τα εδαφολογικά δεδομένα παρουσιάζονται στον χρήστη σε δυο μορφές. Η διάταξη στο χώρο των εδαφών καλύπτεται από τον εδαφολογικό χάρτη, ενώ η ανάγκη της μετάβασης από το γενικό προς το ειδικό ή από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο καλύπτεται από τα ταξινομικά συστήματα. Τα ταξινομικά συστήματα χρησιμοποιούνται για την οργάνωση ομάδων εδαφολογικών δεδομένων και την κατάταξη τους σε ταξινομικές κλάσεις. Βασίζονται στην έννοια του εδάφους σαν τρισδιάστατου σώματος που καταλαμβάνει ένα χώρο στη γήινη επιφάνεια (Simonson, 1968).

Σχετικά με την χαρτογραφική μονάδα ο Veatch (1973) πρότεινε το φυσικό τύπο τοπίου (natural land type) σαν ένα είδος φυσικής υποδιαίρεσης της γήινης επιφάνειας, ο οποίος συνδυάζει ή ολοκληρώνει έναν αριθμό από ξεχωριστά στοιχεία τοπογραφίας και εδαφών σε μονάδες, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μελέτες οικολογικές, χρήσης γης κ.λπ. Ο Veatch αναφέρεται στον φυσικό τύπο τοπίου σαν φυσική οικολογική μονάδα. Εάν στην μονάδα αυτή τοπίου, που μπορεί να συμπίπτει και με τις γεωλογικές ή γεωμορφολογικές μονάδες, προστεθεί ο παράγοντας έδαφος, τότε έχουμε την έννοια μιας εδαφολογικής χαρτογραφικής μονάδας.

Η εδαφολογική χαρτογραφική μονάδα είναι μια οριοθέτηση στο χάρτη των γαιομορφών και είναι το αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης των διαφόρων στοιχείων του τοπίου όπως αυτά εκφράζονται στην εξίσωση:

$$SMU = f(O_i S_i I_i p_i y_i)$$

όπου:

SMU = εδαφολογική χαρτογραφική μονάδα

f = συντελεστής αλληλεπίδρασης

O = οργανισμοί

S = εδαφικός παράγοντας όπως εκφράζεται από τις ταξινομικές μονάδες

I = στοιχεία τοπίου

p = φυσική βλάστηση

y = δυνητική παραγωγικότητα

Το Soil Survey Manual (Soil Survey Staff, 1952) καθορίζει την ταξινομική μονάδα, **S** στην εξίσωση, σαν τη βασική μονάδα. Όλοι οι άλλοι παράγοντες της εξίσωσης είναι υποδιαίρεσεις μέσα στην ταξινομική μονάδα ή όπως αλλιώς λέγονται **φάσεις**.

Στην παραπάνω εξίσωση όλοι οι παράγοντες είναι στοιχεία της χαρτογραφικής μονάδας και θεωρούνται σημαντικά για τη φύση και την υποδιαίρεση των εδαφών μέσα στο τοπίο. Κατά συνέπεια, κάθε αλλαγή ενός από τους παράγοντες της εξίσωσης μπορεί να σημαίνει και διαφορετική χαρτογραφική μονάδα.

Οι οργανισμοί ανακλούν τη δράση των ζωντανών όντων. Η δράση αυτή μπορεί να είναι εποικοδομητική ή επιζήμια. Το αποτέλεσμα θα επιδράσει στον καθορισμό της χαρτογραφικής μονάδας. Τέτοια παραδείγματα έχουμε από την απομάκρυνση του εδάφους στις περιπτώσεις ενός λατομείου, εκχέρσωσης, τεχνητής αποστράγγισης, περιπτώσεις δηλαδή που δικαιολογούν διαφορετικές χαρτογραφικές μονάδες.

Ο εδαφικός παράγοντας εκφράζεται στο επίπεδο Σειράς (Soil Taxonomy-Soil Survey Staff, 1975). Μερικά στοιχεία, όπως η υπερβολική υγρασία, το μικρό βάθος του εδάφους, επικρατούν στον τύπο συμπεριφοράς του εδάφους σε σημείο που τα άλλα στοιχεία του χάνουν τη σημασία τους. Οι εδαφικοί παράγοντες μπορεί να είναι μορφολογικοί ή συνθετικοί και να επιδρούν ή στη μηχανική συμπεριφορά των εδαφών ή στο σύστημα έδαφος - φυτό και είναι συνήθως διαγνωστικοί σε κάποιο επίπεδο του Συστήματος Ταξινόμησης.

Τα στοιχεία του τοπίου (γαιομορφές) είναι μέρος του εδαφικού περιβάλλοντος. Δεν περιλαμβάνονται στο Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975), αλλά αποτελούν μέρος του εδαφικού τοπίου (soilscape). Κλίση, διάβρωση, εξάρσεις πετρωμάτων, λιθώδες κ.λπ. είναι μερικά χαρακτηριστικά που έχουν ισχυρή επίδραση στον καθορισμό της χαρτογραφικής μονάδας. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων αυτών και των εδαφικών Σειρών έχουν καθοριστικό αντίκτυπο στον τύπο συμπεριφοράς.

Ο Kuchler (1964) καθορίζει τη σημασία του παράγοντα **φυσικής βλάστησης** σαν την περίπτωση της βλάστησης που θα υπήρχε σήμερα εάν δεν υπήρχε ο άνθρωπος και εάν τα αποτελέσματα του γεγονότος αυτού καταγραφόταν στιγμιαία. Ο παράγοντας αυτός παρουσιάζει ευαισθησία και είναι ένας καλός δείκτης του είδους των αλληλεπιδράσεων μέσα στην εξίσωση SMU.

Σαν παράδειγμα μπορεί να θεωρήσει κανείς μια περιοχή με hardwoods και ισχυρά αναπτυγμένων spodic οριζόντων (Typic Haploorthids) με υψηλό ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου, από μια περιοχή με πεύκα και εδάφη με ασθενέστερα αναπτυγμένους spodic ορίζοντες (Entic Haploorthids) με μικρό ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου.

Η δυνητική παραγωγικότητα είναι ένα μέτρο της ανάπτυξης της βλάστησης φυσικής ή καλλιεργημένης. Η παραγωγή θα πρέπει να εκτιμάται για το ίδιο φυτό σε διάφορα εδάφη και σε δύο επίπεδα εκμετάλλευσης (εντατικής και μη εντατικής) για να γίνει αντικειμενικά ο υπολογισμός (καθορισμός) της αντίδρασης του εδάφους στην εισαγωγή διαφόρων τρόπων και μορφών εκμετάλλευσης.

Το τελικό συμπέρασμα των παραπάνω είναι ότι η εδαφολογική χαρτογραφική μονάδα είναι συγκρίσιμη με αυτό που ονομάζουμε **πλήρες οικοσύστημα**. Η εδαφολογική χαρτογραφική μονάδα

είναι το κλειδί για μια επιτυχημένη χαρτογράφηση γιατί χρησιμεύει σαν τη βασική μονάδα απογραφής και διαχείρισης της γεωργικής και δασικής γης.

1.8.2. Σχέση μεταξύ Εδαφολογικών Ταξινομικών Μονάδων και Εδαφολογικών Χαρτογραφικών Μονάδων

Η ταξινομική μονάδα είναι ένα κάθετο σύστημα που δεν καταλαμβάνει χώρο, ενώ η χαρτογραφική μονάδα είναι ένα οριζόντιο σύστημα που καταλαμβάνει χώρο. Κάθε επίπεδο ταξινομικής μονάδας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό και την ονοματολογία χαρτογραφικών μονάδων. Η χαρτογραφική μονάδα μπορεί να περιέχει και άλλες ταξινομικές μονάδες εκτός από αυτήν που εμφανίζεται στο χάρτη.

Η χαρτογραφική μονάδα είναι ευέλικτη. Μπορεί να σχεδιάζεται έτσι ώστε να καλύπτει τις απαιτήσεις χαρτογραφήσεων σε διάφορα επίπεδα λεπτομέρειας. Στις πολύ λεπτομερείς χαρτογραφήσεις οι διαστάσεις των χαρτογραφικών μονάδων είναι μικρές και υπάρχει μεγάλη ομοιομορφία στα εδάφη τους, ενώ η χρησιμοποίηση φάσεων των ταξινομικών μονάδων είναι συνήθης. Καθώς η εδαφολογική έρευνα (χαρτογράφηση) γίνεται λιγότερο λεπτομερής, η κλίμακα του χάρτη γίνεται πιο μικρή (η κλίμακα 1:100.000 είναι μικρή, ενώ η κλίμακα 1:5.000 είναι μεγάλη), οι διαστάσεις των χαρτογραφικών μονάδων αυξάνονται και ο καθορισμός τους (σχετικά με τα εδάφη τους) γίνεται με μεγαλύτερη ευρύτητα.

Η χαρτογραφική μονάδα στην περίπτωση αυτή μπορεί να περιλαμβάνει δύο ή περισσότερες ταξινομικές μονάδες και η κάθε μια να συμπεριφέρεται διαφορετικά. Ένας σοβαρός παράγοντας που καθορίζει τη συμπεριφορά αυτή είναι ο τρόπος που οι ταξινομικές μονάδες θα είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ των ταξινομικών μονάδων με βάση μια ορισμένη χρήση.

1.8.3. Σχέση μεταξύ ταξινόμησης γης και εδάφους

Η ταξινόμηση των εδαφών και της γης χρησιμοποιείται τόσο αλληλένδετα που πολλοί χρήστες αγνοούν τη διαφορά μεταξύ των δύο. Η ταξινόμηση (αξιολόγηση) της γης αποτελεί το αρχικό σημείο για το σχεδιασμό χρήσης της γης. Στην πραγματικότητα δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ της ταξινόμησης γης και του σχεδιασμού χρήσης γης. Η ταξινόμηση γης ομαδοποιεί εδάφη σύμφωνα με τα φυσικά τους χαρακτηριστικά, τη σημερινή της χρήση, ικανότητα παραγωγής και τύπο συμπεριφοράς, ενώ οι κλάσεις γης καθορίζονται αναφορικά με την καταλληλότητα τους για διάφορες χρήσεις που προβλέπονται στον σχεδιασμό.

Η ταξινόμηση γης μπορεί να προέλθει από ένα εδαφολογικό χάρτη. Στην περίπτωση αυτή η ταξινόμηση εδαφών γίνεται ένα μέρος της ταξινόμησης της γης. Η ταξινόμηση εδαφών βασίζεται σε εδαφικά χαρακτηριστικά που όμως χρησιμοποιούνται και στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους. Η ταξινόμηση εδαφών δεν περιλαμβάνει οικονομικούς και κοινωνικούς παράγοντες που περιλαμβάνονται στις περισσότερες μεθόδους ταξινόμησης γης.

Γενικά μπορεί να διακρίνουμε 5 τύπους ταξινόμησης γης

Τύπος I : Ταξινόμηση γης με βάση καταλληλότητα για γενική χρήση

Τύπος II: Ταξινόμηση γης με βάση τη σημερινή χρήση της

Τύπος III: Ταξινόμηση γης με βάση την καταλληλότητα της για ειδική χρήση

Τύπος IV: Ταξινόμηση γης με βάση την υποδεικνυόμενη χρήση γης

Τύπος V: Ταξινόμηση γης με βάση την πραγματοποίηση του προγράμματος. Εμφάνιση στο χάρτη των διαφόρων σταδίων και μεθόδων δια μέσου των οποίων οι υποδείξεις για τη χρήση γης πρόκειται να εφαρμοστούν

1.8.4. Εδαφικές ιδιότητες και συνδεδεμένα χαρακτηριστικά γης

Τα δεδομένα πρέπει να περιλαμβάνουν τα σημαντικότερα εδαφικά χαρακτηριστικά και τα συνδεδεμένα στοιχεία γης που επηρεάζουν την χρήση και την εκμετάλλευση για κάθε επιθυμητή χρήση. Επιπρόσθετα, πρέπει να είναι γνωστοί οι περιορισμοί, εάν υπάρχουν, που οι παράμετροι αυτοί ασκούν στη συγκεκριμένη χρήση. Παρόμοιες πληροφορίες είναι χρήσιμες για τον καθορισμό των βελτιώσεων και των επενδύσεων που χρειάζονται για την ανάπτυξη των πληρέστερων και αποτελεσματικότερων συστημάτων εκμετάλλευσης.

Στις Η.Π.Α. η Υπηρεσία Συντήρησης Εδαφών (Soil Conservation Service - SCS) διατηρεί ένα συνεχώς ενημερωμένο Τεχνικό Εγχειρίδιο που βρίσκεται σε κάθε τοπικό γραφείο. Στο εγχειρίδιο αυτό επιπρόσθετα των οδηγιών για σχεδιασμό και εφαρμογή των αρχών της συντήρησης των εδαφών δίνεται ο τρόπος περιγραφής εδαφών, οι περιοριστικοί παράγοντες και τα μέτρα που χρειάζονται για τη βελτίωση ή την εξουδετέρωση τους.

1.8.5. Εδαφικές ιδιότητες που επηρεάζουν τη σχέση εδάφους – φυτικού ριζικού συστήματος

Το έδαφος επιδρά στα φυτά κυρίως δια μέσου της επίδρασης του στη ρίζα του φυτού. Οι ρίζες, που είναι υπεύθυνες για την απορρόφηση του νερού και των θρεπτικών στοιχείων, εύκολα προσβάλλονται δυσμενώς από μη ευνοϊκές εδαφικές συνθήκες, όπως φτωχό αερισμό, έλλειψη υγρασίας, τοξικότητα στοιχείων και περιορισμένο χώρο ανάπτυξης.

Οι εδαφικές ιδιότητες που επηρεάζουν το ριζικό σύστημα μπορούν να ομαδοποιηθούν όπως παρακάτω: αυτές που επιδρούν α) στη διακλάδωση των ριζών, β) στον εφοδιασμό με υγρασία και γ) στον εφοδιασμό με θρεπτικά στοιχεία.

Οι ρίζες μπορούν να αναπτυχθούν όπου υπάρχει χώρος και δυνατότητα διείσδυσης, ενώ δεν είναι δυνατή η διακλάδωση τους σε hardpans, fragipans ή άλλους ορίζοντες με φαινόμενο ειδικό βάρος μεγαλύτερο από 1,8. Οι ρίζες μπορούν να διεισδύσουν σε παρόμοιους ορίζοντες μόνο δια μέσου προϋπαρχουσών ρωγμών ή άλλων διόδων. Η διακλάδωση των ριζών γίνεται ταχύτερα σε εδάφη καλώς αεριζόμενα, όπου το οξυγόνο του αέρα είναι επαρκές ενώ το CO₂ και τα υποπροϊόντα από αναερόβια αποσύνθεση δεν έχουν συσσωρευτεί σε τοξικά επίπεδα (Stolzy, 1974). Οι ρίζες δεν είναι δυνατό να ζήσουν σε συνθήκες με εδαφική υγρασία στο **σημείο μάρανσης (wilting point)**.

Η θερμοκρασία του εδάφους επιδρά επίσης στην ανάπτυξη των ριζών. Η θερμοκρασία στην οποία οι ρίζες αρχίζουν να αναπτύσσονται είναι 7 °C, αλλά μερικοί ερευνητές αναφέρουν συνθήκες ανάπτυξης και στους 2 °C (Russell, 1961).

Οι εδαφικοί παράγοντες που επιδρούν στην υδατοϊκανότητα καθώς και στην τιμή ροής της υγρασίας προς το ριζικό σύστημα, σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του εδαφικού πορώδους στο οποίο το νερό αποθηκεύεται ή κινείται. Ο αριθμός, το μέγεθος και η συνέχεια των πόρων μέσα σ ένα εδαφικό ορίζοντα ή μεταξύ εδαφικών οριζόντων ελέγχουν την ποσότητα και την τιμή ροής του νερού.

Το νερό κινείται από ένα περιβάλλον υγρό προς ένα ξηρότερο. Η τιμή ροής του εξαρτάται από τη διαφορά της υδροστατικής πίεσης μεταξύ των δυο άκρων του συστήματος και της τιμής αγωγιμότητας του εδαφικού μέσου. Το διαθέσιμο νερό θεωρείται ότι είναι το νερό που συγκρατείται από το έδαφος με πίεση ανάμεσα από αυτήν της υδατοϊκανότητας και σημείου μάρανσης. Το ποσό του νερού που συγκρατείται από το έδαφος εξαρτάται από ποσό / μονάδα όγκου εδάφους και από το βάθος του εδάφους από το οποίο τα φυτά απορροφούν το απαιτούμενο νερό. Διάφορες έρευνες αποδεικνύουν ότι η ιλύς και η οργανική ουσία δρουν θετικά σε σχέση με το ποσοστό διαθέσιμου νερού (Bartelli-Peters, 1959).

Βεβαίως και άλλοι παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη στον υπολογισμό της κατάστασης από την άποψη της εδαφικής υγρασίας, όπως η μηχανική σύσταση, βάθος διακλάδωσης ριζών, αγωγιμότητα και βάθος μέχρι την τυχόν ζώνη ελεύθερου υπόγειου νερού. Συνδεδεμένα στοιχεία επιφανείας όπως η κλίση και το ανάγλυφο επηρεάζουν το ποσοστό της βροχοπτώσεως που επιδρά στον ανεφοδιασμό

του εδάφους με υγρασία.

Οι ρίζες δεν αναπτύσσονται ικανοποιητικά σε περίπτωση έλλειψης θρεπτικών στοιχείων, ακόμη και εάν υπάρχει χώρος ανάπτυξης και επαρκής υγρασία. Το ριζικό σύστημα τείνει να διακλαδίζεται καλύτερα και να είναι περισσότερο συμπαγές σε γόνιμα και όχι σε άγονα εδάφη.

Υπάρχουν τρεις πιθανές πηγές από τις οποίες το φυτό μπορεί να παραλάβει τα θρεπτικά στοιχεία, α) το εδαφικό διάλυμα, β) την εναλλακτική φάση και γ) τα εύκολα αποσαθρούμενα ορυκτά. Τα φυτά διαφέρουν στην ικανότητα τους σε σχέση με την πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων. Κάθε εδαφική Σειρά μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί ένα ομοιογενές σύστημα θρεπτικών στοιχείων. Τέτοια συστήματα όπως των Ultisols και μερικά των Oxisols θεωρούνται ως ισχυρά αποσαθρούμενα και στερούμενα σημαντικών βάσεων. Άλλα όπως τα Udalfs έχουν ακόμα σημαντικά ποσοστά βάσεων και αποσαθρούμενων ορυκτών (Beatty et al, 1979).

Μερικά εδαφικά συστήματα παρουσιάζουν δυσμενές χημικό περιβάλλον με τοξικά ποσά στοιχείων που εμποδίζουν την ανάπτυξη των ριζών. Χαλκός, μόλυβδος, ψευδάργυρος, κ.λπ., είναι μερικά από τα στοιχεία που μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα. Μεγάλη έλλειψη ασβεστίου προκαλεί ανάσχεση ανάπτυξης σε αμμώδη και όξινα, με μικρή εναλλακτική ικανότητα, εδάφη. Συγκέντρωση διαλυτών αλάτων στα εδάφη εμποδίζουν επίσης την ανάπτυξη των φυτών. Εδάφη με αγωγιμότητα μεγαλύτερη από 4 mmhos/cm στους 25 °C θεωρούνται ως αλατούχα εδάφη, ενώ ως αλκαλικά θεωρούνται εδάφη με % εναλλακτικό νάτριο (ESP) μεγαλύτερο από 15% της ολικής εναλλακτικής ικανότητας (CEC).

Τοξικότητα αργιλίου δεν φαίνεται να παρουσιάζεται σε pH μεγαλύτερο από 5,5 αλλά μπορεί να γίνει σοβαρό πρόβλημα σε pH μικρότερο από 5. Τοξικότητα αργιλίου είναι πολύ διαδεδομένη σε εδάφη με κολλοειδή μικρής τιμής πυριτίου / αργιλοπυριτικών (Foy, 1974).

Η συμπεριφορά του εδάφους, στη συγκράτηση του φωσφόρου, κυμαίνεται, ενώ εδάφη πλούσια σε σίδηρο και αργίλιο συγκρατούν ισχυρά το φωσφόρο που δεν έχει μεγάλες δυνατότητες κίνησης στα εδάφη αυτά. Η λίπανση σε σχέση με το είδος του φυτού, το χρόνο τοποθέτησης και το στάδιο ανάπτυξης του φυτού είναι ένα κρίσιμο μέτρο διαχείρισης.

Το άζωτο είναι ένα από τα βασικά στοιχεία. Τα φυτά παραλαμβάνουν το άζωτο από τις διάφορες μορφές του που υπάρχουν στο έδαφος, ενώ άλλες μορφές είναι προσιτές από τα φυτά και άλλες όχι. Άλλες μορφές είναι αρκετά σταθερές, ενώ άλλες είναι ευδιάλυτες και απομακρύνονται εύκολα έξω από το εδαφικό σύστημα (ζώνη πρόσληψης). Η λίπανση με άζωτο σε μορφή νιτρικών δημιουργεί το πρόβλημα ότι το ποσοστό που δεν χρησιμοποιείται από τα φυτά απομακρύνεται από τη ζώνη πρόσληψης. Τα νιτρικά απομακρύνονται πιο γρήγορα στα αδρόκοκκα απ'ότι στα λεπτόκοκκα εδάφη. Επίσης η απώλεια νιτρικών είναι μεγαλύτερη σε καλώς αεριζόμενα και με καλή διηθητικότητα εδάφη απ'ότι στην αντίθετη περίπτωση. Ένας άλλος παράγοντας, η θερμοκρασία, επιδρά θετικά στην απομάκρυνση των νιτρικών.

Συμπερασματικά, οι μετρούμενες ιδιότητες των εδαφών που επηρεάζουν το σύστημα έδαφος - φυτό είναι, α) το διαθέσιμο βάθος διακλάδωσης των ριζών, β) η μηχανική σύσταση, γ) η οργανική ουσία, δ) το ποσό των αλάτων, ε) η εναλλακτική ικανότητα, στ) ο βαθμός κορεσμού σε βάσεις, ζ) το είδος των ορυκτών της αργίλου, η) η διηθητικότητα - διαπερατότητα, θ) το βάθος του υπόγειου νερού και ι) η διαθέσιμη υγρασία.

1.8.6. Εδαφικές ιδιότητες που επιδρούν στη διάβρωση των εδαφών

Οι Van Doren και Bartelli (1956) αναφέρουν ότι μετά την κανονικοποίηση δεδομένων απώλειας εδάφους λόγω διάβρωσης από εδάφη στην Urbana, Illinois, έδωσαν τις παρακάτω τιμές διαβρωσιμότητας: Franagan silt loam=1,0 - Fayette silt loam=1,3 και Grantsburg silt loam = 1,5. Οι διαφορές αυτές οφείλονται στις φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφών αυτών (silt loam = ιλυοπηλώδη). Ο Wischmeier et al. (1971) αναφέρουν ότι η μηχανική σύσταση, η οργανική ουσία, η δομή και η διαπερατότητα είναι οι ιδιότητες που επηρεάζουν περισσότερο τη διαβρωσιμότητα των εδαφών. Η διάβρωση αυξάνεται με την αύξηση της ιλύος και της λεπτής άμμου, ενώ μειώνεται με την μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άμμο, αργίλο και οργανική ουσία.

Ο Holtzhey και οι συνεργάτες του (1976), προτείνουν η τιμή διαβρωσιμότητας K των ταξινομητικών

μονάδων να υπολογίζεται με βάση τη σύνθεση χαρακτηριστικών απώλειας και συγκράτησης νερού, το καθεστώς υγρασίας και άλλων στοιχείων κοινών στις ταξινομικές μονάδες. Η Παγκόσμια Εξίσωση Απώλειας εδάφους (Universal Soil Loss Equation - USLE) σχεδιάστηκε για την πρόβλεψη ετήσιων απωλειών εδάφους από επιφανειακή και αυλακωτή διάβρωση σε καθορισμένες κλίσεις εδαφών ως :

$$A = R K L S C P$$

όπου: **A** = υπολογιζόμενη μέση ετήσια απώλεια εδάφους/10 στρέμματα, **R** = δείκτης διαβρωσιμότητας λόγω βροχόπτωσης και απορροής, **K** = παράγοντας διαβρωσιμότητας, **LS** = συνδυασμένη επίδραση μήκους κλίσης (**L**) και βαθμού κλίσης (**S**), **C** = παράγοντας φυτικής κάλυψης και καλλιεργητικών μεθόδων, **P** = εφαρμοζόμενα μέτρα βελτίωσης.

Η **USLE** είναι μια πολύ χρήσιμη εξίσωση για το σχεδιασμό συστημάτων καλλιέργειας. Βέβαια η πιο ασφαλής περιοχή εφαρμογής της είναι το κεντρικό και δυτικό τμήμα των Η.Π.Α. από το οποίο έχουν συλλέγει τα περισσότερα βασικά δεδομένα..

1.8.7. Σχετικά στοιχεία επιφάνειας που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του εδάφους

Τα στοιχεία επιφάνειας ή τοπίου που επιδρούν στη συμπεριφορά των εδαφών είναι η κλίση, η πιθανότητα πλημμύρας, η υπερβολική υγρασία, οι εξάρσεις πετρωμάτων, η γεωγραφική θέση και άλλα συγγενή στοιχεία του τοπίου που φαίνονται στους εδαφολογικούς χάρτες.

Η κλίση είναι η απόκλιση της γήινης επιφάνειας από το οριζόντιο επίπεδο και συνήθως εκφράζεται σαν ποσοστό (μονάδα ανόδου / 100 μονάδες οριζόντιας απόστασης). Επιπρόσθετα λαμβάνονται υπόψη το σχήμα, το μήκος και ο τύπος της κλίσης. Η κλίση είναι ένας σοβαρός παράγοντας γιατί επιδρά στη διάβρωση των εδαφών, στην απορροή του νερού, στη χρήση γεωργικών μηχανημάτων, υπόγειους αγωγούς, σχεδιασμό δρόμων και ισοπέδωση.

Η πιθανότητα πλημμύρας και η υπερβολική υγρασία είναι γνωστό ότι επιδρούν δυσμενώς στη χρήση γεωργικά εκμεταλλευόμενων εδαφών. Πολλά από τα στοιχεία αυτά δεν περιλαμβάνονται στις ταξινομικές μονάδες, αλλά επιδρούν ισχυρά στην συμπεριφορά των εδαφών. Είναι αναπόσπαστα στοιχεία που χαρακτηρίζουν το έδαφος σαν ένα φυσικό τρισδιάστατο σώμα. Πολλά από αυτά τα στοιχεία είναι Φάσεις των ταξινομικών μονάδων και σχολιάζονται ιδιαίτερα στο Soil Survey Manual (Soil Survey Staff, 1951).

1.8.8. Πρόβλεψη των δυνατοτήτων του εδάφους

Τα εδαφολογικά δεδομένα δεν θεωρούνται πλήρη εκτός εάν περιλαμβάνουν προβλέψεις των δυνατοτήτων του εδάφους. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στοχεύουν στην α) αποτελεσματική χρήση όλων των φυσικών πόρων, β) στην προστασία του περιβάλλοντος, γ) στην σταθερή παραγωγή των καλύτερα προσαρμοζόμενων καλλιεργειών και δ) στην αποτελεσματική χρήση του εδάφους για βόσκηση, δάσος, άγρια ζωή και αναψυχή (Kelllogg, 1974).

Οι προβλέψεις των δυνατοτήτων των εδαφών δεν θα πρέπει να θεωρούνται σαν υποδείξεις για αποφάσεις επάνω στο σχεδιασμό χρήσης γης. Τα δεδομένα των προβλέψεων πρέπει να παρέχουν εναλλακτικές λύσεις από τις οποίες οι σχεδιαστές χρήσης γης και άλλοι χρήστες θα εκλέξουν τη χρήση η οποία ικανοποιεί τις ανάγκες τους.

Το Σύστημα Αξιολόγησης της Γης των Klingebiel και Montgomery (1961) είναι ένα παράδειγμα των παραπάνω απόψεων και παρατηρήσεων. Η βαθμολόγηση των εδαφών στο σύστημα αυτό βασίζεται στο βαθμό κινδύνου ή στους περιοριστικούς, των γεωργικών καλλιεργειών, παραγόντων που πηγάζουν από τους εδαφικούς παράγοντες που επιδρούν στην καταλληλότητα των εδαφών.

Άλλα συστήματα (Riquier, 1974) χρησιμοποιούν ποσοτικά στοιχεία για να εκφράσουν την καταλληλότητα της γης. Τα συστήματα αυτά βασίζονται επίσης σε εδαφολογικά δεδομένα κάτω από το πρίσμα ότι οι εδαφικές ιδιότητες αξιολογούνται σύμφωνα με τη σπουδαιότητα τους ανεξάρ-

τητα και σε συνδυασμό μεταξύ τους. Οι σχέσεις αυτές εκφράζονται με μαθηματικές εξισώσεις με βάση τις οποίες γίνεται η τελική ταξινόμηση της γης.

Αλλα συστήματα χρησιμοποιούν εκτός από εδαφολογικά και στοιχεία κοινωνικά και οικονομικά που για την εφαρμογή τους απαιτούν την κατάλληλη υλικοτεχνική υποδομή και κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό (FAO, 1976).

1.8.9. Πρόβλεψη παραγωγής

Πρόβλεψη παραγωγής γεωργικών φυτών μπορεί να δοθεί για εδάφη στις φυσικές τους συνθήκες και επιπρόσθετα για εδάφη τα οποία έχουν υποστεί κάποιο σύστημα εκμετάλλευσης και διαφοροποίησης από τον άνθρωπο. Τα παραπάνω σημαίνουν ότι πρέπει να καθορίζεται το σύστημα εκμετάλλευσης ή διαχείρισης όταν δίνονται νούμερα παραγωγικότητας.

Συνήθως οι αποδόσεις δίνονται σε δυο συστήματα ή επίπεδα εκμετάλλευσης, α) **το κοινό σύστημα** στο οποίο λαμβάνονται τα συνηθισμένα μέτρα βελτίωσης της στράγγισης και προσθήκης λιπασμάτων και β) **το εντατικό σύστημα** στο οποίο γίνεται προσπάθεια για το μέγιστο δυνατό κέρδος με εφαρμογή και μέτρων συντήρησης των εδαφών. Η συλλογή δεδομένων απόδοσης γίνεται με παρατηρήσεις υπαίθρου, πειραματικά δεδομένα, ερωτηματολόγια, λογιστικά βιβλία των αγροκτημάτων, από την εμπειρία των γεωργών, κ.λπ. Πολλές διεθνείς εργασίες περιγράφουν μεθόδους μεθόδους δειγματοληπτικής έρευνας για την πρόβλεψη των αποδόσεων.

1.8.10. Παραγωγικότητα του εδάφους

Η εξακρίβωση της ταυτότητας της παραγωγικότητας του εδάφους αποτελεί ένα σύστημα με το οποίο αξιολογούμε τη φυσική μονάδα του εδάφους όπως αυτή χαρτογραφείται σε μια εδαφολογική έρευνα.

Ο όρος παραγωγικότητα του εδάφους καθορίζεται ως η ικανότητα του, με τη χρησιμοποίηση της τελευταίας πραγματοποιήσιμης τεχνολογίας, να παράγει ή να στηρίζει μια χρήση με ένα κόστος εκφραζόμενο σε οικονομικές κοινωνικές και περιβαλλοντολογικές μονάδες αξίας (Beatty et al, 1979). Σχετικά με το περιβάλλον, ένα έδαφος με μεγάλη παραγωγικότητα εκτός από το να έχει τη σωστή σχέση εσόδων και εξόδων, **πρέπει και να μη μολύνει το περιβάλλον**. Το σύστημα εκμετάλλευσης που εφαρμόζεται δεν θα πρέπει ούτε να συσσωρεύει τοξικά προϊόντα ούτε να παράγει μεγάλο ποσοστό ιζημάτων.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι δεν είναι λογικό να υποθέτει κανείς ότι το έδαφος είναι κάτι το **αθάνατο ή άφθαρτο** και ότι η κοινωνία θα πρέπει να το χρησιμοποιεί μόνο με βάση τις φυσικές της επιταγές (Beatty et al., 1979). Τα εδαφολογικά δεδομένα πρέπει να λαμβάνουν υπ όψη και τους περιοριστικούς εδαφικούς παράγοντες και εκείνα τα μέτρα που θα τροποποιήσουν τους παράγοντες αυτούς.

Η πορεία διαπίστωσης της παραγωγικότητας του εδάφους περιλαμβάνει 4 βασικά στάδια:

α) καθορισμός για κάθε χρήση του εδάφους αυτών των ιδιοτήτων, εδαφικών χαρακτηριστικών και στοιχείων τοπίου, που έχουν επίδραση στην εκλογή των φυτών, στις αποδόσεις και σε άλλες δραστηριότητες,

β) καθορισμός και εκτίμηση των πραγματοποιήσιμων πρακτικών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να υπερπηδήσουν ή να ελαχιστοποιήσουν τα δυσμενή αποτελέσματα από τους περιοριστικούς εδαφικούς παράγοντες, ώστε να φτάσει κανείς στις δυνατότητες αυτές που θα διατηρήσουν την ποιότητα στην εκμετάλλευση των φυσικών πόρων,

γ) καθορισμός του σχετικού κόστους ή του βαθμού εφαρμογής των διαθέσιμων πρακτικών ή τεχνολογίας και

δ) καθορισμός των περιοριστικών παραγόντων που υπάρχουν στα εδάφη και μετά την εφαρμογή των διαθέσιμων πρακτικών (μέτρων βελτίωσης) και στη συνέχεια εκτίμηση και ταξινόμηση των εδαφών μιας περιοχής με κλιμάκωση από τα καλύτερα, προς αυτά με τις

χειρότερες δυνατότητες.

Η προσέγγιση αυτή είναι η πιο χρήσιμη από την άποψη της βοήθειας στο να ληφθούν αποφάσεις για τη χρήση της γης. Η βαθμολόγηση της παραγωγικότητας του εδάφους αναπτύσσεται μέσα στα άλλα περιεχόμενα της εδαφολογικής χαρτογραφικής μονάδας. Επιπρόσθετα των χαρακτηριστικών που υπάρχουν μέσα στις εδαφολογικές ταξινομικές μονάδες, το σύστημα βαθμολόγησης της παραγωγικότητας του εδάφους παίρνει υπ όψη του και τα συνδεόμενα στοιχεία τοπίου της εδαφολογικής χαρτογραφικής μονάδας.

Η πορεία αξιολόγησης της παραγωγικότητας του εδάφους εκφράζεται με το παρακάτω μοντέλο (Beatty και συνεργάτες, 1979).

$$SPI = W_i I_i + W_j I_j$$

όπου:

SPI = δείκτης παραγωγικότητας εδάφους **W_i** = δείκτης μεγέθους για τον παράγοντα **i**, **M** = αξία δείκτη του παράγοντα **i**, **W_j** = δείκτης μεγέθους για τον παράγοντα **j**, **J_j** = τιμή δείκτη για τον παράγοντα **j**, **I** = εδαφικές ιδιότητες που επιδρούν στη χρήση γης, **j** = συνδεόμενα στοιχεία τοπίου που επιδρούν στη χρήση γης.

Οι παράγοντες **i** και **j** λαμβάνουν τιμή με βάση ελεγχόμενες μελέτες υπαίθρου και εμπειρίας. Οι τιμές αυτές ανακλούν την ευαισθησία μιας εδαφικής ιδιότητας στη χρήση γης. Οι τιμές **W** βασίζονται στην κρίση του εδαφολόγου που συνεργάζεται και με όποιους έχουν τη σχετική πείρα και δεδομένα ώστε να στηρίξει την κρίση αυτή.

Οι τιμές αυτές ανακλούν το κόστος των μέτρων θεραπείας που χρειάζονται για να υπερπηδηθούν οι περιορισμοί και το κόστος των συνεχιζόμενων περιορισμών που δεν εξουδετερώθηκαν ολικά ή μερικά. Οι τιμές **W** ανακλούν τις οικονομικές - κοινωνικές απαιτήσεις και βασίζονται στην αλληλεξάρτηση (αλληλεπίδραση) μεταξύ των απαιτήσεων αυτών.

Στο παραπάνω μοντέλο βαθμολόγησης της παραγωγικότητας του εδάφους προτείνεται να γίνει μια τροποποίηση με σκοπό να συμπεριληφθούν στοιχεία κόστους εφαρμογής αρχικών μέτρων βελτίωσης και κόστους λόγω συνεχιζόμενων περιορισμών όπως παρακάτω:

$$SPI = \Sigma (W_i I_i + W_c I_c)$$

όπου: **I** = εδαφικοί και παράγοντες τοπίου **W_i** = κόστος θεραπείας ή βελτίωσης **W_c** = κόστος συνεχιζόμενων περιορισμών.

Η βαθμολόγηση παραγωγικότητας των εδαφών μπορεί να εφαρμοστεί σε εδαφολογικούς χάρτες μικρής ή μεγάλης κλίμακας, με σκοπό να δώσουν μια συγκριτική εικόνα της παραγωγικότητας των εδαφών για διάφορες χρήσεις.

1.8.11. Ερμηνεία εδαφολογικών δεδομένων στο επίπεδο της Οικογένειας

Ένα από τα βασικά στοιχεία του Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1951), είναι η ικανοποίηση της ανάγκης για τη μελέτη των εδαφών σε διάφορα επίπεδα γενικότητας.

Οι εδαφικές Σειρές είναι ταξινομικές μονάδες λεπτομερών χαρτογραφήσεων, ενώ πολλές φορές υπάρχει η ανάγκη χρήσης ταξινομικών μονάδων για μεγαλύτερες χαρτογραφικές μονάδες. Η Οικογένεια είναι η ανώτερη της Σειράς ταξινομική μονάδα που ομαδοποιεί Σειρές, ενώ η ίδια είναι υποδιαίρεση της Υποομάδας. Οι κύριες ιδιότητες που διαφοροποιούν την Οικογένεια είναι η μηχανική σύσταση, η ορυκτολογική σύσταση και θερμοκρασία του εδάφους. Βεβαίως η Οικογένεια περιέχει και όλα τα άλλα χαρακτηριστικά και ιδιότητες των ανώτερων ταξινομικών μονάδων όπου ανήκει.

Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται στην Οικογένεια είναι έμμεσα συνδεδεμένα με τη συμπεριφορά του εδάφους. Π.χ. η μηχανική και η ορυκτολογική σύσταση είναι θεμελιώδη κριτήρια για τη μηχανική συμπεριφορά των εδαφών στην Οικογένεια και κατά συνέπεια η μονάδα αυτή έχει σχέση με την μηχανική των εδαφών.

Το όριο αδρού και λεπτού (π.χ. 18% άργιλος) μεταξύ των ιλυωδών και πηλωδών Οικογενειών διαχωρίζει τα πλαστικά από τα μη πλαστικά εδάφη στις περισσότερες των περιπτώσεων. Οι Οικογένειες με χαρακτηρισμό ιλυώδεις είναι καθορισμένες για να προσεγγίζουν την κλάση ιλύος που χρησιμοποιείται στη μηχανική των εδαφών. Η πολύ λεπτή άμμος συμπεριλαμβάνεται στην ιλύ όπως γίνεται και για τον υπολογισμό του K παράγοντα διαβρωσιμότητας (Wischmeier and Smith, 1962).

Μια ακόμη ομοιότητα με τη μηχανική του εδάφους είναι ότι η μηχανική σύσταση καθορίζεται λαμβανομένου υπόψη όλου του εδάφους και σε βάθος κάτω από το διαταραγμένο από τον άνθρωπο επίπεδο. Το βάθος αυτό είναι η ζώνη που βασίζονται οι μηχανικοί για την κατασκευή δρόμων ή άλλων μικρών μηχανικών κατασκευών, ενώ συγχρόνως αποτελεί και τη ζώνη κύριας ανάπτυξης των ριζών. Στις δυο αυτές περιπτώσεις δίνεται έμφαση στο υπέδαφος παρά στο επιφανειακό επίπεδο.

Η ορυκτολογική σύσταση αποτελεί επίσης καθοριστικό στοιχείο στην Οικογένεια. Το **όριο πλαστικότητας** (plasticity limit) του εδάφους είναι άμεσα συνδεδεμένο με το ποσό και το είδος της αργίλου, γεγονός που συνδέεται με τη μηχανική του εδάφους. Είναι ευνόητο ότι και οι Σειρές μέσα στην ίδια Οικογένεια θα παρουσιάζουν την ίδια μηχανική συμπεριφορά.

Η θερμοκρασία του εδάφους είναι επίσης σημαντική εδαφική ιδιότητα που καθορίζει την ανάπτυξη των φυτών και τη μηχανική συμπεριφορά. Η θερμοκρασία του εδάφους εκφράζεται σαν μέση ετήσια θερμοκρασία σε βάθος 50 εκ. Η θερμοκρασία ανακλά επίσης το εύρος αλλαγής από το καλοκαίρι στο χειμώνα. Όταν η αλλαγή είναι μικρότερη από 5 °C εκφράζεται σαν **iso** (συνήθως τροπικές ζώνες). Η θερμοκρασία της Οικογένειας αντιστοιχεί με τη γεωγραφική κατανομή των βασικών φυτών. Π.χ. τα εδάφη σε καθεστώς **hyperthermic** είναι βασικά αυτά στα οποία μπορούν να αναπτυχθούν εσπεριδοειδή, ενώ τα εδάφη **thermic** είναι κατάλληλα για βαμβάκι (Bartelli, 1979, Beatty et al, 1979)

Η εδαφική υγρασία είναι ένα χαρακτηριστικό που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό κλάσεων σε κατηγορίες ανώτερες της Οικογένειας. Οι Οικογένειες ανακλούν τις κλάσεις αυτές από το γεγονός ότι κάθε Οικογένεια έχει ένα όμοιο καθεστώς υγρασίας που επηρεάζει τις δυνατότητες της.

Οι κλάσεις υγρασίας βασίζονται στις συνθήκες που επικρατούν σε ένα βάθος διύγρανσης από βροχοπτώσεις ύψους 2,5 και 7,5 εκ. Το βάθος αυτό αντιστοιχεί περίπου με τη ζώνη ανάπτυξης ριζών των περισσότερων καλλιεργούμενων φυτών.

Το καθεστώς της εδαφικής υγρασίας έχει επίσης γεωγραφική κατανομή. Συνθήκες **udic** απαντούν σε 95° γεωγραφικό μήκος στις Η.Π.Α. Συνήθως οι συνθήκες υγρασίας δεν περιορίζουν δραστικά την ανάπτυξη των φυτών. Εδάφη με **ustic** συνθήκες υγρασίας είναι πιο ξερά από εδάφη με **udic** συνθήκες και είναι μεταβατικά μεταξύ των **udic** και των **aridic ή torric**. Τα εδάφη με **xeric** συνθήκες χαρακτηρίζουν τον εφοδιασμό του εδάφους με υγρασία κατά τη διάρκεια του χειμώνα και είναι **χαρακτηριστικά των Ελληνικών πεδινών εκτάσεων**. Εδάφη με **aquic** συνθήκες είναι κορεσμένα με νερό για μεγάλη χρονική περίοδο κατά την οποία το έδαφος είναι αρκετά θερμό για ανάπτυξη φυτών. Τα εδάφη **Vertisols**, τα χαρακτηριστικά των οποίων είναι μοντιμοριλλοντική άργιλος και ρωγμές μέχρι βάθους 50 εκ. κατά τη διάρκεια του θέρους, βρίσκονται συνήθως σε περιοχές με **ustic** συνθήκες όπου τα εδάφη υφίστανται εναλλαγές υγρασίας και ξηρασίας.

Αλλα κριτήρια που χρησιμοποιούνται στο καθορισμό Οικογενειών έχουν κάποιο αντίκτυπο στις δυνατότητες των εδαφών. Π.χ. οι **επικαλύψεις** στην άμμο χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν άμμο με κάποια ικανότητα συγκράτησης υγρασίας. Ο **βαθμός κλίσης ή το σχήμα** της χρησιμοποιείται για τον καθορισμό κάποιας ανώμαλης συμπεριφοράς του νερού απορροής. Η **παρουσία ή απουσία ανθρακικών, αντίδρασης, βάθους και συνοχής** του εδάφους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δείξουν διαφορές στη συμπεριφορά των εδαφών.

1.8.12. Συστήματα πληροφόρησης

Το έδαφος είναι μέρος του οικοσυστήματος και σχετίζεται με την πανίδα, χλωρίδα και κλίμα. Το οικοσύστημα είναι ένα σύμπλοκο φαινόμενο αλληλεπίδρασης. Κάθε αλλαγή που επηρεάζει ένα απλό

στοιχείο του οικοσυστήματος θα έχει αντίκτυπο στο όλο σύστημα.

Ο άνθρωπος δια μέσου των χειρισμών του στο έδαφος και στη βλάστηση, έχει προξενήσει δραστικές αλλαγές άλλες κακές άλλες καλές. Σε άλλα μέρη οι βάλτοι εξαφανίστηκαν και τη θέση τους πήραν γεωργικές καλλιέργειες, ενώ αλλού το έδαφος και η βλάστηση εξαφανίστηκε κάτω από άσφαλο, τούβλα κ.λπ. Το τοπίο είναι σήμερα κατά μεγάλο μέρος προϊόν των ανθρώπινων κοινωνιών. Η ερμηνεία των εδαφολογικών δεδομένων είναι ένα αναπόσπαστο μέρος της ανθρώπινης δραστηριότητας και τα δεδομένα αυτά πρέπει να γίνουν διαθέσιμα σε όλους τους χρήστες όσο το δυνατό πιο γρήγορα. Τα συστήματα πληροφόρησης σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές έχουν αναπτυχθεί σε τέτοιο βαθμό που η αποθήκευση τους και η επαναφορά τους σε διάφορες μορφές είναι θέμα ρουτίνας. Κείμενα, διαγράμματα, ιστογράμματα, στατιστικά στοιχεία, μέτρα βελτίωσης, παραγωγικότητας, χάρτες, κ.λπ. είναι μέσα στα πλαίσια των δυνατοτήτων των συστημάτων πληροφόρησης.

Καμιά ερμηνεία των δεδομένων μιας εδαφολογικής έρευνας δεν είναι δυνατή χωρίς την οφειλόμενη θεώρηση των αρχών της **αλληλεπίδρασης**. Η περισσότερο αποτελεσματική συμπεριφορά του εδάφους είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ μέτρων, όταν όλα τα απαραίτητα μέτρα εφαρμόζονται. Η λίπανση μόνη μπορεί να μην έχει αποτέλεσμα σε ένα άγονο έδαφος όταν συνεχίζεται η καλλιέργεια του μέχρι τότε φυτού και ο λόγος είναι ότι το παλιό φυτό δεν μπορεί να προσαρμοστεί στο αλλαγμένο σύστημα περιβάλλοντος φυτού - ριζών. Νέα φυτά που έχουν δημιουργηθεί για να ωφεληθούν από τα πλεονεκτήματα της λίπανσης πρέπει να εισαχθούν στο νέο περιβάλλον.

Βελτίωση της στράγγισης π.χ. σε εδάφη **Aqualfs** μπορεί να αυξήσει την παραγωγή, αλλά στράγγιση και λίπανση μπορεί να δώσει καλύτερα αποτελέσματα. Τα παραπάνω σημαίνουν ότι κάθε μέτρο μόνο του μπορεί να δώσει ένα μικρό θετικό αποτέλεσμα, αλλά ο συνδυασμός μέτρων μπορεί να έχει εντυπωσιακά αποτελέσματα. Ο εδαφολόγος πρέπει να εξοικειωθεί με τις εδαφικές ιδιότητες που περιορίζουν την χρήση του εδάφους. Πρέπει να αναγνωρίζει το είδος του αποτελέσματος ενός απλού μέτρου βελτίωσης και πρέπει να μάθει ότι **η μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στη συμπεριφορά του εδάφους δεν οφείλεται στα συσσωρευτικά αποτελέσματα των εισαγόμενων πρακτικών**.

Για την καλύτερη αξιοποίηση όλων των εδαφικών πληροφοριών η χρήση της πληροφορικής και μεθόδων στατιστικής είναι απαραίτητη.

ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS) ΚΑΙ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΣΤΙΓΜΑΤΟΣ (GPS)

2.1. ΓΕΝΙΚΑ

2.1.1. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Στο κεφάλαιο αυτό δεν πρόκειται να γίνει λεπτομερής περιγραφή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και GPS και ο αναγνώστης παραπέμπεται στο βιβλίο “Εισαγωγή στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και στην Τηλεπισκόπηση”.

Στη γενική του έννοια, **σύστημα** (system) είναι ένα σύνολο από συνιστώσες που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, για να επιτύχουν κάποιο σκοπό. Κάθε συνιστώσα αποτελεί ένα ξεχωριστό τμήμα του συστήματος, ένα μικρότερο δηλαδή σύστημα (υποσύστημα), που συνδέεται με άλλα υποσυστήματα. Δεδομένα ή στοιχεία (data) στην επιστήμη της πληροφορικής, ονομάζονται τα γεγονότα, φαινόμενα, αντικείμενα ή γνωστά μεγέθη από τα οποία μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα. Είναι δηλαδή μια σειρά από ποσοτικά ή ποιοτικά χαρακτηριστικά ενός συνόλου, αρχικά σε μη επεξεργασμένη μορφή (Μανιάτης, 1993).

Πληροφορία (information), ονομάζεται το αποτέλεσμα της διαδικασίας όπου τα **δεδομένα**, με βάση συγκεκριμένους κανόνες (προδιαγραφές), αφού υποστούν κάποια επεξεργασία και ανάλυση, είναι σε θέση να δώσουν επιπλέον γνώση. **Πληροφοριακό σύστημα** ή σύστημα πληροφοριών, χαρακτηρίζεται ένα σύστημα (Λαοπόδης, 1994) όταν τα συστατικά του συστήματος, δηλαδή τα δεδομένα, ρέουν από το ένα τμήμα του στο άλλο, ακόμα και στη περίπτωση που παρουσιάζουν ετερογενή δομή. Ο όρος «**γεωγραφικό**» όταν προσδίδεται σε κάποια έννοια, συνεπάγεται κάποια σχέση της έννοιας αυτής (συνήθως τη θέση του) με τον περιβάλλοντα χώρο, την επιφάνεια της Γης.

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographical Information Systems) είναι μια σύγχρονη τεχνολογία, που αναπτύσσεται ραγδαία και εμφανίζει τη δυσκολία προσέγγισης ενός και μόνου αυστηρού και ολοκληρωμένου ορισμού της, που να περιέχει όλα τα στοιχεία που την προσδιορίζουν. Κατά καιρούς, δόθηκαν αρκετοί και διάφοροι ορισμοί για τα ΓΣΠ, ορισμοί που διαμορφώθηκαν, ανάλογα με τις εμπειρίες, τις εφαρμογές και τις ανάγκες αυτών που χρησιμοποιούσαν τα συστήματα αυτά. Έτσι λοιπόν, μέχρι σήμερα μεταξύ άλλων έχει καταγραφεί ότι ένα ΓΣΠ:

- είναι μια ειδική περίπτωση πληροφοριακών συστημάτων, όπου η βάση δεδομένων αναφέρεται σε παρατηρήσεις από χωρικά χαρακτηριστικά, δραστηριότητες και γεγονότα. (Dueker, 1979)
- είναι μια οργανωμένη συλλογή περιφερειακών, λογισμικού, γεωγραφικών δεδομένων και προσωπικού, σχεδιασμένη έτσι ώστε να συλλογίζει, να αποθηκεύει, να ενημερώνει, να διαχειρίζεται, να αναλύει και να αποδίδει σωστά όλους τους τύπους αναφοράς των γεωγραφικών πληροφοριών (Dangermond, 1982)
- είναι ένα εργαλείο για λήψη αποφάσεων νομικής, διοικητικής και οικονομικής υφής και ένα όργανο για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη, που αποτελείται από μία βάση δεδομένων - που περιέχει για συγκεκριμένη περιοχή, στοιχεία προσδιορισμένα στο

χώρο και που σχετίζονται με τη γη - καθώς και από διαδικασίες και τεχνικές για τη συστηματική συλλογή, ενημέρωση, επεξεργασία και διανομή των στοιχείων (Federation Internationale des Geometres, 1983 και Μανιάτης 1993)

- είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απόδοσης πληροφοριών που σχετίζονται με ζητήματα γεωγραφικής φύσης (Goodchild, 1985)
- είναι ένα δυναμικό σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, αποθήκευση, επανάκτηση, μετασχηματισμό και απόδοση, χωρικών δεδομένων του περιβάλλοντος χώρου για την ικανοποίηση ενός συνόλου εξειδικευμένων απαιτήσεων (Buttough, 1986)
- είναι μια τεχνολογία πληροφόρησης η οποία αποθηκεύει αναλύει και αποδίδει τόσο χωρικά όσο και μη χωρικά δεδομένα και η οποία δεν περιορίζεται απαραίτητα μόνο στη δομή ενός πολύ καλού συστήματος λογισμικού (Parker 1988)
- είναι ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων που λαμβάνει υπόψη του δεδομένα με χωρική αναφορά στην προσπάθεια να επιλύσει προβλήματα που συσχετίζονται με το περιβάλλον (Cowen, 1988)
- είναι μια τεχνολογία που παρέχει, στη γεωγραφική ανάλυση, ό,τι παρέχουν σε άλλους επιστημονικούς χώρους, το μικροσκόπιο, το τηλεσκόπιο και οι υπολογιστές (Abler 1988)
- είναι ένα σύνολο διαδικασιών, που βασίζονται στον ανθρώπινο παράγοντα και τους υπολογιστές, και χρησιμοποιούνται στην αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων με γεωγραφική αναφορά (Aronoff, 1989)
- είναι ένα υψηλής τεχνολογίας ισοδύναμο του σύγχρονου χάρτη, που περιέχει πλήθος πληροφοριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από χρήστες με διαφορετικές ανάγκες (University of Edinburgh, 1998)

Μια συνοπτική και περιεκτική απόδοση των παραπάνω, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι ένα ολοκληρωμένο, σύγχρονο αλλά και πολυδιάστατο «εργαλείο», που συσχετίζεται άμεσα με τον ευρύτερο χώρο της πληροφορικής και σκοπό έχει να βοηθά τους χρήστες του να πραγματοποιούν τις εργασίες τους πιο γρήγορα, με μεγαλύτερη ακρίβεια, να εφαρμόζουν μεθοδολογίες που χωρίς την ύπαρξη του εργαλείου αυτού θα ήταν πολύ δύσκολο ή αδύνατο να εφαρμοστούν, και που ως αποτέλεσμα έχει, τη συμβολή, μέσω της τεκμηρίωσης, στην λήψη ορθολογικών αποφάσεων.

Τα ΓΣΠ είναι σήμερα τα απαραίτητα εργαλεία για την υποβοήθηση λήψης απόφασης, τον σχεδιασμό, την χαρτογράφηση, το περιβάλλον, δασικές εφαρμογές, οδοποιία, τηλεπικοινωνίες και δεκάδες άλλες εφαρμογές. Για την εδαφολογική χαρτογράφηση το ΓΣΠ και τα GPS, είναι βασικά συστατικά του όλου συστήματος, το οποίο θα συγκεντρώνει, θα αποθηκεύει, θα διαχειρίζεται και θα ανακτά τα εδαφολογικά δεδομένα.

2.1.2. Παγκόσμιος Ανιχνευτής Στίγματος (GPS)

Το GPS είναι ένα δορυφορικό σύστημα πλοήγησης και εντοπισμού. Το σύστημα χρηματοδοτείται και υποστηρίζεται από το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας των ΗΠΑ. Παρά το γεγονός ότι σήμερα υπάρχουν χιλιάδες χρήστες-πολίτες, αρχικά το σύστημα δημιουργήθηκε για χρήση από τις ένοπλες δυνάμεις των ΗΠΑ. Το GPS παρέχει ειδικά κωδικοποιημένα σήματα από 24 δορυφόρους οι οποίοι βρίσκονται σε τροχιά σε ύψος 20.200 χιλιομέτρων και τα οποία είναι επεξεργάσιμα από GPS δέκτες, δίδοντας την δυνατότητα υπολογισμού της θέσης, του χρόνου και της ταχύτητας. Λήψη σημάτων από 4 δορυφόρους είναι αρκετά για τον προσδιορισμό της θέσης (γεωγραφικό μήκος, πλάτος και ύψος). Σήμερα και η Ευρώπη ετοιμάζει το δικό της σύστημα εντοπισμού και πλοήγησης. Το έργο έχει την κωδική ονομασία Gallileos και το σύστημα ονομάζεται EGNOS. Παρόμοια συστήματα μπορούν να εντοπίσουν τη θέση ενός σημείου στη γη με ακρίβεια ακόμη και μικρότερη του ενός εκατοστού (προσοχή

εντοπίζουν τη θέση, δεν αναγνωρίζουν το είδος, η αναγνώριση γίνεται από τους δορυφόρους παρατήρησης γης όπως ο IKONOS, ο SPOT, ο LANDSAT, κ.λπ.

Τα συστήματα αυτά είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στους φορείς χρήστες γιατί ένα GPS μπορεί να καταγράψει τη θέση και το υψόμετρο ενός σημείου με ακρίβεια η οποία φθάνει και τα 5 μέτρα στους απλούς δέκτες. Η θέση μπορεί να μεταφερθεί αυτόματα στον ψηφιοποιημένου χάρτη του δήμου με το σχετικό υπόμνημα και έτσι ο δήμος μπορεί να δημιουργεί αρχείο σημείων που τον ενδιαφέρει και δεν υπάρχουν στους τοπογραφικούς χάρτες. Π.χ. τα όρια μια καταπατημένης περιοχής μπορούν να καταγραφούν σε ελάχιστα λεπτά και να μεταφερθούν στον τοπογραφικό χάρτη με διασύνδεση του GPS με τον υπολογιστή (Φωτογραφία 2.1).



Φωτογραφία 2.1. Περιγραφή εδαφικού δείγματος και λήψη της θέσης του φρεατίου με GPS

2.1.3. Εργασία υπαίθρου με τη χρήση GPS και PalmTop

Η διάνοιξη των φρεατίων και εδαφοτομών γίνεται στις φυσιογραφικές μονάδες του φυσιογραφικού χάρτη και με βάση την ομοιογένεια της περιοχής. Τα φρεάτια διανοίγονται με ολλανδικό δειγματολήπτη, είτε με μηχανικά εδαφοτρύπανα (Φωτογραφία 2.1) που λαμβάνουν στήλη εδάφους βάθους 100-120 εκ. ενώ οι εδαφοτομές, διαστάσεων 100 cm πλάτος x 120 cm μήκος x 150 cm βάθος διανοίγονται με εκσκαφέα. Ο αριθμός των φρεατίων και των εδαφοτομών θα πρέπει να είναι ανάλογος ώστε να καλύπτει πλήρως τις προδιαγραφές της επιθυμητής κλίμακας.

Τα δείγματα εδάφους που προορίζονται για την ανάλυση των θρεπτικών στοιχείων (γονιμότητα) των εδαφών και την κατασκευή των χαρτών γονιμότητας και των αντιστοιχών θεματικών χαρτών παρεμβολής και λοιπών, λαμβάνονται ως εξής (στοιχεία από το έργο «Καταγραφή των θρεπτικών στοιχείων των βαρέων μετάλλων και των υδροδυναμικών στοιχείων των εδαφών για την ορθολογική χρήση λιπασμάτων και νερού και παραγωγή προϊόντων ασφαλείας» της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας Θράκης):

Κατ' αρχήν γίνεται ταξινόμηση των εδαφών σε επίπεδο Μεγάλης Ομάδας. Στη συνέχεια και σε κάθε Μεγάλη Ομάδα (Great Group) και στο σύνολο των χαρτογραφούμενων στρεμμάτων λαμβάνονται δείγματα από 10 φρεάτια οι θέσεις των οποίων θα καθορισθούν με το GPS, τρία δείγματα από κάθε θέση και από τα βάθη 0-30, 30-60 και 60-90 cm, αντίστοιχα. Καθώς θα λαμβάνονται τα δείγματα του εδάφους ανά 10 παρατηρήσεις και ανά αντίστοιχο βάθος, θα αναμειγνύονται ομοιόμορφα και θα λαμβάνεται ένα μικτό αντιπροσωπευτικό δείγμα για κάθε βάθος αντίστοιχα. Η ταξινόμηση των εδαφών σε εδαφολογικούς χάρτες θα γίνουν σύμφωνα με

το Αμερικάνικο Σύστημα, το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί στο πρόγραμμα κατάρτισης του εδαφολογικού χάρτη της Χώρας, ή το σύστημα FAO. Θα χρησιμοποιηθούν ορθοφωτοχάρτες κλίμακας 1:5.000 και οποιοδήποτε άλλο χαρτογραφικό μέσο (δορυφορικές εικόνες, τοπογραφικοί χάρτες, κ.α.).

Συνοπτικά οι εργασίες ταξινόμησης περιλαμβάνουν αναγνώριση της περιοχής, αναζήτηση αντιπροσωπευτικού εδάφους, λήψη δειγμάτων, λεπτομερή περιγραφή κάθε εδαφικής μονάδας, χάραξη ορίων χαρτογραφικών μονάδων, σύνταξη λεπτομερών υπομνημάτων και της τελικής έκθεσης. Οι θέσεις των φρεατίων και εδαφοτομών καθορίζονται με GPS ακρίβειας <1 μέτρου, με τη χρήση WASS και του Ευρωπαϊκού Συστήματος EGNOS. Όλα τα χαρτογραφικά υπόβαθρα, οι δορυφορικές εικόνες και οι μετρήσεις με GPS θα πρέπει να μετασχηματισθούν σε προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς). Με ειδικό λογισμικό (GPS utilities) τα αποθηκευμένα GPS στοιχεία θα εισέρχονται στη βάση δεδομένων, ώστε με αυτοματοποιημένες διαδικασίες να συνδέονται με τις θεματικές βάσεις περιγραφικών δεδομένων (αναλυτικά δεδομένα, δεδομένα αγρού, γεωργού).

Ενισχυτική θα είναι η χρήση Palm Top (υπολογιστής παλάμης με GPS), με δυνατότητα εισαγωγής ψηφιακών σχηματικών χαρτών και δορυφορικών εικόνων (Φωτογραφία 2.2). Με τη χρήση του συστήματος αυτού ο γεωπόνος εντοπίζει τη θέση της παρατήρησης και εισάγει δεδομένα στη βάση δεδομένων ευρισκόμενος στον αγρό και να «βλέπει» τη θέση του με το άγγιγμα του ειδικού μολυβιού στα όρια ενός αγροτεμαχίου και έτσι να έχει στη διάθεσή του τα στοιχεία του αγρού (στοιχεία γεωργού, αγρού, αναλύσεις, κ.λπ.).



Φωτογραφία 2.2. Υπολογιστής τσέπης με GIS ArcPAD και GPS, για εργασίες υπαίθρου

Στους θεματικούς χάρτες θα εμφανίζονται οι παρατηρήσεις υπαίθρου (σημεία δειγματοληψίας), ως ανεξάρτητο θεματικό υπόβαθρο και με τα μορφολογικά και αναλυτικά στοιχεία αποθηκευμένα σε ανεξάρτητες θεματικές χωρικές βάσεις δεδομένων. Οι χάρτες Ο.Σ.Δ.Ε. σε ηλεκτρονική μορφή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εξαγωγή των εδαφικών χαρακτηριστικών σε κάθε αγροτεμάχιο.

Κάθε αριθμητική παράμετρος, είτε πρόκειται για χημική, είτε για φυσική, είτε για μορφολογική

ιδιότητα του εδάφους θα μετασχηματισθεί σε θεματικό χάρτη παρεμβολής (συνεχούς επιφανείας-continuous form). Ο αναλυτής σε περιβάλλον GIS, θα χρησιμοποιήσει τα σημειακά δείγματα που λαμβάνονται σε διαφορετικές θέσεις και θα δημιουργήσει (παρεμβάλλει) μια συνεχή επιφάνεια. Τα σημειακά δείγματα είναι μετρήσεις κάποιου φαινομένου ή παραμέτρου ή ιδιότητας, όπως αναφέρεται στη συγγραφή υποχρεώσεων, π.χ. το pH, EC, CEC, κ.λπ. Ο αναλυτής (interpolator) θα δημιουργήσει μια π.χ. «οργανική ουσία» λαμβάνοντας υπόψη το υψόμετρο ή την κλίση της περιοχής, ή και κάποιο άλλο στοιχείο που οι ειδικοί πιστεύουν ότι συσχετίζεται η οργανική ουσία επιφάνεια χρησιμοποιώντας τις τιμές από τις θέσεις των δειγμάτων για να προβλέψει τις τιμές για κάθε θέση στο τοπίο.

Από τις διάφορες μεθόδους παρεμβολής ο εδαφολόγος θα πρέπει να εφαρμόσει αυτή την οποία πιστεύεται ότι θα δώσει τα καλύτερα αποτελέσματα με αιτιολόγηση της επιλεγείσας μεθόδου και τον τρόπο με τον οποίο θα εκτιμήσει την ακρίβεια παρεμβολής και το σφάλμα πρόβλεψης. Ο χαρτογράφος-εδαφολόγος θα πρέπει να λάβει υπόψη του όλες τις σύγχρονες αυτές τεχνικές που δημιουργούν παρεμβολή για ένα στοιχείο. Με την εφαρμογή των μεθόδων αυτών, που εμπεριέχονται στο λογισμικό GIS και με τη εισαγωγή των δεδομένων των εδαφολογικών αναλύσεων από τη χωρική βάση δεδομένων θα είναι η δυνατή η δημιουργία χαρτών παρεμβολής (interpolation maps) για κάθε στοιχείο ξεχωριστά (Πίνακας 2.1 και 2.2).

Οι παρακάτω θεματικοί χάρτες αποτελούν παράδειγμα εφαρμογής μεθόδων παρεμβολής.

1. pH
2. Μηχανική Σύσταση (%άργιλος, %ιλύς, % άμμος)
3. ECE
4. % Οργανική ουσία
5. % Ανθρακικό Ασβέστιο
6. Φωσφόρος (P)
7. Κάλιο (K)
8. Ασβέστιο (Ca)
9. Μαγνήσιο (Mg)
10. Βόριο (B)
11. Σίδηρος (Fe)
12. Μαγγάνιο (Mn)
13. Ψευδάργυρος (Zn)
14. Χαλκός (Cu)
15. Μόλυβδος (Pb)
16. Κάδμιο (Cd)
17. ESP
18. NO₃ *
19. NH₄ *

* απαιτούνται ετήσιες αναλύσεις

Πίνακας 2.1. Αναλύσεις γονιμότητας δειγμάτων εδάφους

Βάθος (cm)	Κοκ. σύσταση	pH 1:1	Ελεύθ. CaCO ₃ (%)	EC (mS/cm)	Υδατοδιαλυτά Κατιόντα (meq/l) (Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺ Na ⁺)	Υδατοδιαλυτά Ανιόντα (meq/l) (CO ₃ ⁻ HCO ₃ ⁻ Cl ⁻ SO ₄ ⁻)	Οργ. Ουσία (%)	P Olsen (ppm)	K εναλ. (ppm)	Ca εναλ. (meq/100g εδ.)	Mg εναλ. (meq/100g εδ.)	CEC (meq/100gr εδ.)
0-30	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
30-60	+	+	+	+								
60-90	+	+	+	+								

Βάθος (cm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	B (ppm)	N-NO ₃ * (ppm)	N-NH ₄ * (ppm)
0-30	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
30-60												
60-90												

Πίνακας 2.2. Αναλύσεις παραμέτρων υδροδυναμικών σταθερών του εδάφους στα προφίλ

Βάθος (cm)	Υδατοικανότητα	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης	Φ.Ε.Β. (g/cm ³)	Αθροιστική και Τελική Διηθητικότητα εδάφους
0-30	+	+	+	+
30-60	+	+	+	
60-90	+	+	+	

2.2. ΔΟΜΗΣΗ ΒΑΣΕΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Οι χωρικές βάσεις δεδομένων αποτελούν την «καρδιά» μιας εδαφολογικής χαρτογράφησης και θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα στη δόμηση, την κατηγοριοποίηση και την κωδικοποίηση των αναλυτικών και μορφολογικών δεδομένων, καθώς και στο τρόπο διασύνδεσης τους χωρικά και περιγραφικά. Η επιλογή της βάσης δεδομένων (ORACLE, SQL, ACCESS, κ.λπ.) θα πρέπει να τεκμηριωθεί τόσο όσο αφορά το κόστος αγοράς και συντήρησης, όσο και στην λειτουργικότητά της στην αποθήκευση χωρικών δεδομένων.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΔΟΜΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Υπο-πίνακας βάσης δεδομένων-1

Παράμετροι αναγλύφου σύμφωνα με το «εδαφικό κλάσμα» του Γιάσογλου

Κωδικός* Δ.Δ.	Κωδικός Εδαφοτομής ή Φρεατίου	Συντεταγμένες Θέσης Εδαφοτομής ή Φρεατίου	Κωδικός Ποτ ΟΣΔΕ	Κωδικός αγροτεμαχίου ΟΣΔΕ	% κλίση	Κλάση διάβρωσης	κ.λπ.
45567	45567-001	456-235	435-256-2365	435-256- 2365-001			
...

* αποτελείται από τον κωδικό περιφέρειας, νομαρχίας, δήμου και Δ.Δ (Δημοτικού Διαμερίσματος)

** τα σκιασμένα είναι πεδία-κλειδιά

	Πρωτεύον πεδίο-κλειδί
	Δευτερεύον πεδίο-κλειδί

Υπο-πίνακας βάσης δεδομένων-2

Παράμετροι φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους

Κωδικός* Δ.Δ.	Κωδικός Εδαφοτομής ή Φρεατίου	Συντεταγμένες Θέσης Εδαφοτομής ή Φρεατίου	Κωδικός Ποτ ΟΣΔΕ	Κωδικός αγροτεμαχίου ΟΣΔΕ	Υδατοίκα νότιση	Σημείο Μάρανσης	κ.λπ.
45567	45567-001	456-235	435-256-2365	435-256- 2365-001			
...

Υπο-πίνακας βάσης δεδομένων-3

Αναλυτικά δεδομένα

Κωδικός* Δ.Δ.	Κωδικός Εδαφοτομής ή Φρεατίου	Συντεταγμένες Θέσης Εδαφοτομής ή Φρεατίου	Κωδικός Ποτ ΟΣΔΕ	Κωδικός αγροτεμαχίου ΟΣΔΕ	pH	P	K	κ.λπ.
45567	45567-001	456-235	435-256-2365	435-256- 2365-001				
...

Τα παραπάνω σημαίνουν ότι η βάση δεδομένων θα δομηθεί ώστε ο χρήστης να μπορεί να αναζητήσει αναλυτικά δεδομένα με βάση τον μοναδιαίο κωδικό του αγροτεμαχίου (π.χ. 13ψήφιος κωδικός ΟΣΔΕ), το όνομα του αγρότη, την κοινότητα και σε συνδυασμούς. Οι ψηφιακοί χάρτες ορίων αγροτεμαχίων της Διεύθυνσης Τοπογραφικής του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης (LPIS-Land Parcel Identification System), μπορούν να χρησιμοποιηθούν προς υπέρθεση στους χάρτες παρεμβολής που θα δημιουργηθούν, ώστε ο χρήστης να μπορεί με ένα «κλικ» του ποντικιού μέσα στα όρια ενός αγρού θα βλέπει, εκτός από τα προσωπικά στοιχεία του γεωργού και τα στοιχεία του αγρού και τις εδαφολογικές αναλύσεις που τον ενδιαφέρουν.

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΤΩΝ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ (INTERPOLATION MAPS)

3.1. Η ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Τα φυσικά φαινόμενα του περιβάλλοντος και οι μεταβολές τους, όπως μελετώνται από τις επιστήμες της εδαφολογίας, της υδρολογίας, της γεωλογίας κ.α, απεικονίζονται τόσο στις τρεις διαστάσεις του χώρου όσο και στη διάσταση του χρόνου, έχοντας έτσι τόσο χωρικό όσο και χρονικό σύστημα αναφοράς. Η κατανόηση των πολύπλοκων διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο φυσικό περιβάλλον απαιτεί την γνώση των χωρικών και χρονικών τους μεταβολών, με απώτερο σκοπό την πρόβλεψη τους (Burrough, 1997). Οι χωρικά αναφερόμενες πληροφορίες, δηλαδή τα δεδομένα που συλλέγονται από την παρατήρηση ή μέτρηση στο χώρο εμφάνισης του φαινομένου, είναι κατά γενική ομολογία δύσκολο να αποκτηθούν σε κλίμακες τέτοιες που να επιτρέπουν την λεπτομερή ανάλυση σύνθετων φυσικών διεργασιών (Leung, 2000, Boots, 2000).

Έτσι, στην μελέτη των φυσικών φαινομένων και παραμέτρων, όπως το έδαφος και οι ιδιότητες του, είναι πολλές φορές απαραίτητη η πρόβλεψη των φυσικών ιδιοτήτων στις θέσεις εκείνες για τις οποίες δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα, με βάση τις υπάρχουσες δειγματοληψίες. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται διάφοροι μέθοδοι παρεμβολής των δεδομένων. Στο σύνολο τους χρησιμοποιούν τις γειτονικές παρατηρήσεις για να εκτιμήσουν μία φυσική ιδιότητα σε κάποια θέση με εξισώσεις πολυωνυμικού τύπου, με τη μορφή σταθμισμένου μέσου όρου. Συνήθως διακρίνονται στις εξής κατηγορίες, ανάλογα με την διαφοροποίησή τους σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά:

- **Τοπικές μέθοδοι (local)**
Οι πλησιέστερες γειτονικές παρατηρήσεις χρησιμοποιούνται για την παρεμβολή
- **Σφαιρικές μέθοδοι (global)**
Το σύνολο των παρατηρήσεων χρησιμοποιούνται για την παρεμβολή
- **Ακριβείς (exact)**
Η παρεμβολή επαληθεύει τις παρατηρούμενες τιμές
- **Μη ακριβείς (inexact)**
Η παρεμβολή δεν επαληθεύει τις παρατηρούμενες τιμές
- **Στοχαστικές (stochastic)**
Η παρεμβολή περιλαμβάνει και την αβεβαιότητα στην πρόβλεψη
- **Αιτιοκρατικές (deterministic)**
Η παρεμβολή δεν περιλαμβάνει την αβεβαιότητα στην πρόβλεψη

3.2 Η ΧΩΡΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Ο σχηματισμός του εδάφους είναι κατά μία έννοια το αποτέλεσμα της επίδρασης του κλίματος, της

βλάβστησης και του παράγοντα χρόνου, στο υποκείμενο μητρικό υλικό σε διαφορετικά σημεία του ανάγλυφου. Η διακύμανση των εδαφικών ιδιοτήτων και στις τρεις διαστάσεις του χώρου είναι επομένως η φυσιολογική απόρροια της επίδρασης όλων των παραγόντων που επιδρούν στην εδαφογένεση (Heuvelink and Webster, 2001).

Οι περισσότερες προσεγγίσεις στην μελέτη της διακύμανσης του εδάφους και των ιδιοτήτων του απαιτούν συνήθως την υιοθέτηση ενός ομοιώματος, ικανού να περιγράψει με σαφήνεια την διαφοροποίηση τους στο χώρο. Στην ιδεατή περίπτωση θα είχαμε στην διάθεση μας μία εκτεταμένη και λεπτομερή περιγραφή όλων εκείνων των φυσικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα και σχετίζονται με το φαινόμενο – την εδαφική ιδιότητα. Έχοντας ικανοποιητική γνώση των μηχανισμών διαφοροποίησης των μετρούμενων τιμών στο φυσικό περιβάλλον, και εισάγοντας όλες αυτές τις πληροφορίες σε ένα ομοίωμα αιτιοκρατικής φύσεως, θα μπορούσαμε ουσιαστικά να αναπαράγουμε το φαινόμενο (Goovaerts, 1999). Στην πραγματικότητα παρόλη την κανονικότητα που μπορεί να διακρίνουμε από σημείο σε σημείο στο χώρο για τις εδαφικές ιδιότητες, οι θεμελιώδεις φυσικοχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα είναι τόσο περίπλοκες ώστε να είναι αδύνατη η αιτιοκρατική μοντελοποίηση τους κάτω από οποιαδήποτε κλίμακα.

Η προσέγγιση της εδαφολογικής ταξινόμησης στην μοντελοποίηση της χωρικής διακύμανσης του εδάφους είναι διακριτής μορφής, καθώς επιχειρείται η κατηγοριοποίηση των εδαφών σε κλάσεις, οι οποίες στο χωρικό περιβάλλον αποτελούν υποδιαίρεσεις πεπερασμένων περιοχών (Heuvelink and Webster, 2001). Η χωρική διακύμανση των εδαφικών ιδιοτήτων, σχετίζεται άμεσα με την κλίμακα παρατήρησης της. Στην περίπτωση έτσι της ταξινόμησης, οι ευρείες διαφοροποιήσεις μεταξύ εδαφικών τύπων στο επίπεδο της εδαφικής τάξης (Soil Order), αντικατοπτρίζουν την χωρική παραλλακτικότητα ευρείας κλίμακας, η οποία είναι υπαρκτή μόνο σε μεγάλες αποστάσεις. Έτσι αλλαγές ηπειρωτικής κλίμακας στο κλίμα και στο μητρικό υλικό συνοδεύονται από αντίστοιχης κλίμακας αλλαγές στα εδάφη (Couto et al., 1997).

Η διακύμανση μέσης κλίμακας στις εδαφικές ιδιότητες αποτυπώνεται κατά την εδαφολογική ταξινόμηση στο επίπεδο των εδαφοσειρών (Soil Series), και συνήθως οφείλεται σε μικρές ή μεγάλες αλλαγές του τοπικού αναγλύφου - τέτοιες που να επηρεάζουν την κίνηση του νερού διαμέσου και κατά μήκος του εδαφικού προφίλ - ακόμη όμως και στην διαφοροποίηση του μικροκλίματος, στην πεδογένεση και σε επιφανειακές γεωλογικές διεργασίες (McKenzie and Ryan, 1999). Είναι αντιληπτή σε αποστάσεις σαφώς μικρότερες από αυτές της ευρείας κλίμακας διακύμανσης.

Από την σύντομη περιγραφή της συστηματικής ταξινόμησης και χαρτογράφησης εδαφών που προηγήθηκε στην εισαγωγή, γίνεται φανερό ότι η διακύμανση – ή διασπορά - των εδαφικών ιδιοτήτων δεν λαμβάνεται εξολοκλήρου υπόψη ούτε ως προς την ποικιλότητα των πληροφοριών που υπάρχουν (εύρος φυσικοχημικών παραμέτρων) ούτε και ως προς την χωρική λεπτομέρεια με τη οποία οι πληροφορίες αυτές μπορούν να αποδοθούν. Τόσο στο επίπεδο της εδαφοσειράς όσο και στο επίπεδο της χαρτογραφικής μονάδας, η μεθοδολογία που ακολουθείται δρα αφαιρετικά, με σκοπό την ομαδοποίηση των εδαφών, χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών – μία κλάση ταξινόμησης – για μερικές εδαφικές παραμέτρους, και εμπειρικές παρατηρήσεις από την διάνοιξη προφίλ, με στόχο την διάκριση των εδαφικών χαρτογραφικών μονάδων.

Για παράδειγμα η διάκριση της εδαφοσειράς απαιτεί πέρα από τον βαθμό και την κατεύθυνση της εδαφογένεσης, την γνώση μόνο των συνθηκών στράγγισης και της κοκκομετρικής σύστασης υπεδάφους και υποστρώματος, ή κατά USDA, ...η εδαφοσειρά ορίζεται από την κοκκομετρική σύσταση των τμημάτων Β (30-60 εκ.) και Γ (60-150 εκ.) της εδαφοτομής, την κλάση υδρομορφίας, τις τυχόν υπάρχουσες ειδικές ιδιότητες (αλατότητα, αλκαλίωση, καλσικός ή πετροκαλσικός ορίζοντας, πετρώδες και χαλικώδες των εδαφών) και την ταξινομική κατηγορία του εδάφους σε επίπεδο υποομάδας....»

Βέβαια η αποτύπωση της εδαφοσειράς στον εδαφολογικό χάρτη εξυπηρετεί τον σκοπό κατασκευής του εδαφολογικού χάρτη, που είναι η περιγραφή των πληροφοριών σχετικών με τα εδάφη και τις ιδιότητες τους, σε επίπεδο εδαφοσειράς, αποτυγχάνει όμως να μας παρέχει πληροφορίες σχετικές με την διακύμανση των εδαφικών ιδιοτήτων **εντός** της χαρτογραφικής μονάδας. Άρα: η συστηματική ταξινόμηση των εδαφών και η εδαφολογική χαρτογράφηση επιτυγχάνει να

αποτυπώσει την χωρική διακύμανση ευρείας και μέσης κλίμακας των εδαφικών ιδιοτήτων, αδυνατεί όμως να αποτυπώσει την χωρική διακύμανση μικρότερης κλίμακας.

Η υπόθεση που συνήθως χρησιμοποιείται όταν τέτοιες πληροφορίες είναι απαραίτητες, είναι ότι οι εδαφικές ιδιότητες εντός της χαρτογραφικής μονάδας διαφέρουν πολύ λίγο έως ελάχιστα έτσι ώστε να περιγράφονται ικανοποιητικά από τους στατιστικούς μέσους όρους τους και τις αντίστοιχες αποκλίσεις που επικρατούν στη συγκεκριμένη μονάδα, ή ένα εύρος τιμών γύρω από αυτούς (Goonaerts and Journel, 1995). Μια παραφερής υπόθεση γίνεται και για τα διακριτά **όρια** μεταξύ των χαρτογραφικών μονάδων που υλοποιούνται στην εδαφολογική χαρτογράφηση με βάση την μελέτη των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών, σύμφωνα με την φυσιογραφική μέθοδο χαρτογραφήσεως των εδαφών. Τα όρια αυτά υπαγορεύουν τον σαφή διαχωρισμό των εδαφικών ιδιοτήτων από μία χαρτογραφική μονάδα σε μία άλλη, ιδιότητες που αντιπροσωπεύονται από τα στατιστικά μεγέθη τους εντός των μονάδων αυτών. Στην πραγματικότητα τα όρια αυτά είναι ασαφή και προσεγγίζονται από το χαρτογραφικό όριο περισσότερο ως μία ζώνη μετάβασης των εδαφικών ιδιοτήτων από τιμές που ανήκουν σε μία κλάση σε τιμές κάποιας άλλης (Voltz et al., 1997). Πρόκειται για τις περιοχές κατά μήκος των οποίων οι παρατηρούμενες διαφορές είναι μεγαλύτερες από ότι στις υπόλοιπες, και εντός των οποίων τα εδάφη θεωρούνται τις περισσότερες φορές ομοιογενή (Lagacherie and Voltz, 2000).

Από τη δεκαετία του 1960 οι εδαφολόγοι που έχουν ασχοληθεί με την ταξινόμηση των εδαφών έθεσαν τα αριθμητικά κριτήρια για την κατάταξη των εδαφών σε διάφορες κλάσεις, όπως αυτά περιγράφονται από τα διάφορα συστήματα ταξινόμησης των εδαφών. Είναι γεγονός όμως ότι όλα τα παραπάνω δεν διευκόλυναν την πρόβλεψη των εδαφικών ιδιοτήτων τους και την περιγραφή της εισερχόμενης αβεβαιότητας. Η ταξινόμηση των εδαφών απαιτούσε στατιστική αντιμετώπιση ώστε η εντός ταξινομητικών μονάδων διακύμανση αλλά και η αναπόφευκτη αβεβαιότητα της, να λαμβάνεται υπόψη (Lark and Bolam, 1997).

Οι προσπάθειες βελτίωσης της απόδοσης της ταξινόμησης των εδαφών επικεντρώθηκαν αρχικά στην ταξινόμηση των εδαφών σε ακόμη περισσότερες και λεπτομερέστερες κλάσεις. Η εφαρμογή όμως των λεπτομερών αυτών ταξινομητικών συστημάτων στην πράξη για σκοπούς εδαφολογικής χαρτογράφησης αποδείχθηκε ιδιαίτερα δύσκολη, καθώς έφερε στην επιφάνεια ένα αναπόφευκτο συμπέρασμα. Όσο μεγαλύτερη η λεπτομέρεια με την οποία περιγράφονταν οι ταξινομητικές κλάσεις τόσο δυσκολότερο ήταν να αναγνωριστούν και να ταυτοποιηθούν, δεδομένου ότι οι πληροφορίες προέρχονταν κυρίως από την διάνοιξη εδαφικών προφίλ τα οποία όμως περιγράφουν την εδαφική κατατομή τοπικά. Η αυξανόμενη αβεβαιότητα οδήγησε τελικά σε συμβιβασμούς ως προς την διακριτική λεπτομέρεια των ταξινομητικών κλάσεων (Heuvelink and Webster, 2001).

Η εντός της χαρτογραφικής μονάδας χωρική διακύμανση των εδαφικών ιδιοτήτων, δε μπορεί να αποδοθεί στην επίδραση μόνο εδαφογενετικών παραγόντων, αλλά και: α) στις πεδογενετικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα, β) στην ανθρωπογενή επίδραση στο εδαφικό περιβάλλον ή γ) στο σφάλμα που εμπεριέχει η ταξινόμηση και χαρτογράφηση των εδαφών (Heuvelink and Webster, 2001). Από τα παραπάνω είναι σαφές ότι η προσέγγιση στην εκτίμηση των εδαφικών ιδιοτήτων με τις πληροφορίες που παρέχονται από τον εδαφολογικό χάρτη, είναι ανεπαρκής για να μας αποκαλύψει με σαφήνεια την μορφή της χωρικής διακύμανσης των υπο εξέταση εδαφικών παραμέτρων.

Η διακύμανση μίας εδαφικής παραμέτρου στον πληθυσμό των δειγμάτων εκφράζει την διασπορά των τιμών γύρω από τον μέσο όρο αυτής \bar{z} :

$$\bar{z} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_i$$

όπου \bar{z} , ο αριθμητικός μέσος όρος N δειγματοληψιών και z_i μετρούμενη τιμή στη θέση i ,

και δίνεται από τον τύπο:

$$\text{var}[z] = s^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [z_i - \bar{z}]^2$$

όπου s , η τυπική απόκλιση.

Ο συντελεστής διακύμανσης ή μεταβλητότητας μας δίνει την κανονικοποιημένη διασπορά γύρω από τον μέσο όρο και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$CV = \frac{s}{z} \times 100\%$$

Με τις μεγαλύτερες τιμές να εκφράζουν την μεγαλύτερη διακύμανση ο συντελεστής CV μας δίνει πληροφορίες για την τυπική διακύμανση μερικών εδαφικών ιδιοτήτων στον πίνακα 3.1 (Georeferenced Soil Database for Europe, European Soil Bureau, 1996). Το pH και το πορώδες είναι οι εδαφικές εκείνες ιδιότητες που παρουσιάζουν την μικρότερη διασπορά.

Πίνακας 3.1. Τυπική διακύμανση εδαφικών ιδιοτήτων

Εδαφική Ιδιότητα	CV(%)	Εύρος διακύμανσης
pH	2-15	Χαμηλό
Πορώδες	7-11	Χαμηλό
Φαινομ.Πυκνότητα	3-26	χαμηλό προς μέσο
% Αμμος	3-37	χαμηλό προς μέσο
Οργανική ουσία	21-41	Μέσο προς υψηλό
% Αργίλος	16-53	Μέσο προς υψηλό
Υδραυλική Αγωγιμότητα	23-97	Μέσο προς υψηλό
Διαθέσιμο K	39-157	Υψηλό
Διαθέσιμος P	39-157	Υψηλό
Ηλ. Αγωγιμότητα	91-263	Υψηλό

3.3 ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ

Όπως έγινε φανερό από τα προηγούμενα, παρόλη την κανονικότητα που μπορεί να διακρίνουμε από σημείο σε σημείο στο χώρο για τις εδαφικές ιδιότητες, οι θεμελιώδεις φυσικοχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα είναι τόσο περίπλοκες ώστε να είναι αδύνατη η προσέγγιση τους με μαθηματικά ομοιώματα, χωρίς να περιλαμβάνεται η αβεβαιότητα στην εξαγωγή των συμπερασμάτων (Webster, 2000). Στην περίπτωση αυτή, είναι χρήσιμο να δούμε τα δεδομένα σαν έκφραση **χωρικών μεταβλητών** (regionalized variables). Σύμφωνα με την θεωρία των χωρικών μεταβλητών τα διαθέσιμα δειγματοληπτικά δεδομένα είναι αποτέλεσμα μίας τυχαίας διεργασίας ή εκφράσεις μίας τυχαίας συνάρτησης, εισάγοντας έτσι ένα βαθμό πιθανότητας η αβεβαιότητας για την εκτίμηση μιας εδαφικής ιδιότητας (Journel and Huijbregts, 1991, Cressie, 1993). Η στατιστική αυτή προσέγγιση για την εκτίμηση ενός φαινομένου καλείται συχνά **γεωστατιστική**. Η γεωστατιστική γνώρισε μεγάλη εφαρμογή στην έρευνα κυρίως χάρη στον Matheron (1965, 1971), Γάλλο μηχανικό και μεταλλειολόγο. Στην εδαφολογική έρευνα εφαρμόστηκε πρώτη φορά από τους Burgess και Webster στις αρχές της δεκαετίας '80, οι οποίοι με μία σειρά δημοσιεύσεων στο περιοδικό The Journal of Soil Science έθεσαν τις βάσεις για την εφαρμογή γεωστατιστικών μεθόδων (Burgess and Webster, 1980 I, Burgess and Webster, 1980 II, Burgess et al., 1981).

Έστω λοιπόν η εδαφολογική ιδιότητα Z , όπως το pH, συνεχής στο χώρο, έκφραση μίας τυχαίας συνάρτησης $Z(x)$. Τότε τα διαθέσιμα δειγματοληπτικά δεδομένα μπορούν να θεωρηθούν σαν αποτέλεσμα της συνάρτησης αυτής, δηλαδή $[z(x_1), z(x_2), \dots, z(x_n)]$ στις γνωστές χωρικές θέσεις $[x_1, x_2, \dots, x_n]$. Ο Cressie, 1993, περιγράφει αναλυτικά τα μαθηματικά ομοιώματα που χρησιμοποιούνται από την γεωστατιστική για την μελέτη της χωρικής διακύμανσης της

συνάρτησης Z . Στην απλούστερη μορφή του ένα τέτοιο ομοίωμα είναι το εξής:

$$Z(x) = \mu + \delta(x)$$

όπου μ ο μέσος όρος και $\delta(x)$ η τυχαία διακύμανση για την οποία θεωρούμε ότι η χωρική συσχέτιση μεταξύ $\delta(x)$ και $\delta(x+h)$ όπου h είναι ένα διάνυσμα, είναι υπαρκτή. Η παραπάνω εξίσωση είναι γνωστή και σαν **συνεχές ομοίωμα χωρικής διακύμανσης** (Heuvelink and Webster, 2001).

Οι δύο προϋποθέσεις για την ισχύ του παραπάνω ομοιώματος είναι οι εξής:

1. Η μαθηματική προσδοκία ή απλώς η αριθμητική μέση τιμή της Z είναι σταθερή, άρα η αναμενόμενη διαφορά των τιμών της Z μεταξύ οποιονδήποτε θέσεων που απέχουν μεταξύ τους απόσταση h είναι μηδενική,

$$E[z(x) - z(x+h)] = 0$$

2. Η διακύμανση των τιμών της Z εξαρτάται από το h και όχι από το x , δηλαδή από τις μεταξύ τους αποστάσεις και όχι από την θέση τους στο χώρο, δίνεται δε από την εξίσωση:

$$\text{var}[z(x) - z(x+h)] = E[\{z(x) - z(x+h)\}^2] = 2\gamma(h)$$

όπου η ποσότητα $2\gamma(h)$ είναι γνωστή ως βαριόγραμμα (variogram). Οι δύο αυτές προϋποθέσεις αποτελούν και την παραδοχή της εσωτερικής σταθερότητας (intrinsic stationarity), και τυγχάνουν ευρείας εφαρμογής στο έδαφος (Burgess and Webster, 1980 I).

Η κλασική εκτίμηση του βαριογράμματος $2\gamma(h)$ που πρότεινε ο Matheron (1962) είναι:

$$2\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_i+h)]^2$$

όπου $n(h)$ είναι ο αριθμός των ζευγών που απέχουν απόσταση h . Η απόσταση αυτή είναι γνωστή και ως **χωρικό βήμα** (lag distance).

Η ποσότητα $\gamma(h)$ στην γεωστατιστική καλείται ημιδιακύμανση (semi-variance), και η αντίστοιχη συνάρτηση που την συνδέει με το διάνυσμα h καλείται ημιβαριόγραμμα (semi-variogram). Μία τυπική μορφή πειραματικού ημιβαριογράμματος (προέρχεται από πείραμα – παρατήρηση), για εδαφικές ιδιότητες είναι αυτή που παρουσιάζεται στην εικόνα 3.1.

Το ημιβαριόγραμμα περιέχει όλες τις πληροφορίες για την χωρική διακύμανση της εδαφικής παραμέτρου. Πιο συγκεκριμένα μας παρέχει πληροφορίες γύρω από την χωρική συσχέτιση που πιθανόν να εμφανίζεται από την διακύμανση της $Z(x)$, δηλαδή τη συσχέτιση μεταξύ των τιμών μίας τυχαίας συνάρτησης και των μεταξύ τους αποστάσεων στο χώρο. Εφόσον μία τέτοια συσχέτιση υφίσταται, είναι δυνατή η εφαρμογή μαθηματικών ομοιωμάτων στο πειραματικό ημιβαριόγραμμα με μία συνάρτηση αυτοσυσχέτισης, με αποτέλεσμα ένα ομοίωμα που να προσεγγίζει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την χωρική διακύμανση έτσι όπως αυτή αποτυπώνεται στο πειραματικό ημιβαριόγραμμα. Θεωρητικά το ημιβαριόγραμμα συνδέεται με μία συνάρτηση αυτοσυσχέτισης $\rho(h)$, με μία γενική σχέση της παρακάτω μορφής (Burgess and Webster, 1980 I):

$$\gamma(h) = s^2[1 - \rho(h)]$$

όπου s^2 η διακύμανση του πληθυσμού των δειγμάτων. Γράφοντας την πιο πάνω σχέση ως:

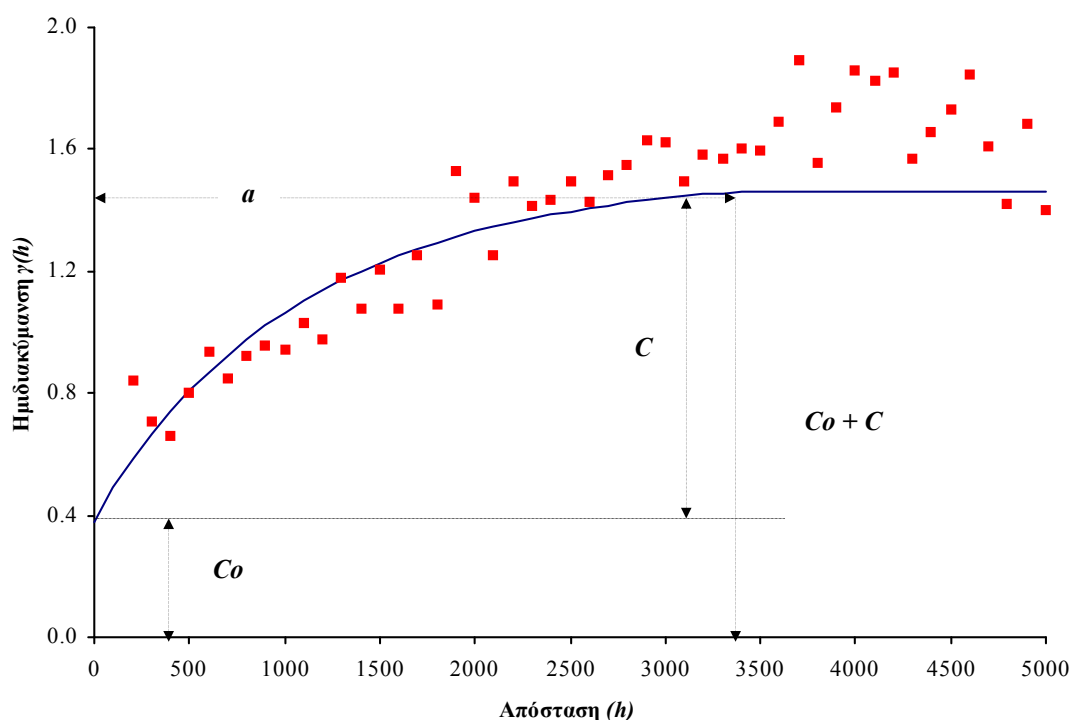
$$\rho(h) = 1 - \frac{\gamma(h)}{s^2}$$

φαίνεται ότι η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης εξαρτάται από την διακύμανση η οποία πρέπει να είναι πεπερασμένη ώστε να έχει ισχύ η παραπάνω εξίσωση. Η ημιδιακύμανση είναι απαλλαγμένη από τον περιορισμό αυτό και για τον λόγο αυτό προτιμάται (McBratney and Webster, 1986).

Το πειραματικό ημιβαριόγραμμα μας παρέχει μία ποσοστική έκφραση της διακύμανσης της

τυχαίας συνάρτησης που εκφράζεται από μία εδαφική παράμετρο. Οι πληροφορίες που αποκαλύπτονται από το ημιβαριόγραμμα είναι αυτές που αναλύονται στη συνέχεια.

Η παράμετρος **nugget (Co)** είναι η χωρική διακύμανση που οφείλεται στο συστηματικό λάθος μέτρησης και δειγματοληψίας, ή σε άλλες ανεξήγητες πηγές. Η παράμετρος (**C**) ονομάζεται **structural variance** και αποτελεί την χωρική δομή της διακύμανσης που οφείλεται στην διαφοροποίηση της τυχαίας συνάρτησης Z στο χώρο, έτσι όπως καταγράφηκε από τις παρατηρήσεις. Το άθροισμα των (**Co+C**) ονομάζεται **όριο (sill)**, και θεωρητικά ισούται με την διακύμανση του πληθυσμού των δειγμάτων σε μεγάλες αποστάσεις διαχωρισμού εάν απουσιάζουν τοπικές τάσεις. Αν το nugget είναι περίπου ίδιο με το sill, αυτό σημαίνει την απουσία χωρικής συσχέτισης και την τυχαία διακύμανση της Z , φαινόμενο γνωστό και ως **nugget effect** (Cressie, 1993) (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1. Τυπικό πειραματικό ημιβαριόγραμμα

Η παράμετρος **a**, ονομάζεται **εύρος** ή **ακτίνα (range)**, της χωρικής συσχέτισης, και η σπουδαιότητα της έγκειται στο ότι σημεία που απέχουν μεταξύ τους απόσταση μεγαλύτερη από αυτήν, δεν παρουσιάζουν καμία χωρική συσχέτιση, κάτι που μπορεί να έχει μεγάλη σημασία στο σχεδιασμό δειγματοληπτικών μεθόδων (Burgess et al., 1981, Lark, 2000, Groenigen, 2000). Τυπικές τιμές της παραμέτρου **a** για διάφορες εδαφικές ιδιότητες φαίνονται στον πίνακα 3.2 (ESBN, 2001).

Οι τεχνικές της εφαρμογής των κατάλληλων θεωρητικών μαθηματικών ομοιωμάτων στα πειραματικά ημιβαριόγραμμα είναι ποικίλες. Κατά γενική ομολογία, η προσπάθεια αυτή δεν αποτελεί μία μονόδρομη διαδικασία και αποτελεί σήμερα σημείο αντίφασης στο χώρο της γεωστατιστικής (Goovaerts, 1999). Οι τεχνικές αυτές ποικίλουν από τις πλήρως αυτοματοποιημένες αριθμητικές μεθόδους, έως την υποκειμενική εφαρμογή συναρτήσεων στα πειραματικά ημιβαριόγραμμα, με γραφικό τρόπο. Ακόμη, πολλοί ερευνητές υιοθετούν την άποψη ότι ένας συνδυασμός από αυτοματοποιημένες αριθμητικές μεθόδους και υποκειμενικές εκτιμήσεις των παραμέτρων (range, sill), αποτελεί την ρεαλιστικότερη προσέγγιση (McBratney and Webster, 1986).

Πίνακας 3.2. Τυπικές τιμές εύρους χωρικής συσχέτισης

Εδαφικές παράμετροι	Εύρος(m)	Χωρική Συσχέτιση
Υδραυλική Αγωγιμότητα	1-34	Μικρό εύρος
% Άμμος	5-40	Μικρό εύρος
Εδαφικό pH	20-260	Μικρό προς μεγάλο εύρος
Διαθέσιμο εδαφικό K	75-248	Μέσο προς μεγάλο εύρος
Διαθέσιμος εδαφικός P	68-260	Μέσο προς μεγάλο εύρος
% Οργανική ουσία	112-250	Μεγάλο εύρος

Πράγματι, ο εκάστοτε ερευνητής μπορεί να αισθάνεται την σιγουριά στην επιλογή ενός συγκεκριμένου μαθηματικού ομοιώματος, αν αυτή βασίζεται σε κριτήρια στατιστικής φύσεως όπως το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών πειραματικών – θεωρητικών τιμών. Παρόλα αυτά με την χρήση τέτοιων κριτηρίων υπάρχει ο κίνδυνος της υπεραπλούστευσης του προβλήματος της εφαρμογής ομοιωμάτων σε πειραματικά ημιβαριογράμματα, στο μαθηματικό επίπεδο της εφαρμογής συναρτήσεων σε πειραματικά δεδομένα, προσέγγιση κάθε άλλο παρά ρεαλιστική. Ο αντικειμενικός σκοπός της όλης προσπάθειας είναι η δημιουργία ενός ρεαλιστικού θεωρητικού ομοιώματος που να περιγράφει με την μεγαλύτερη δυνατή σαφήνεια τα χωρικά χαρακτηριστικά της εδαφικής ιδιότητας ή παραμέτρου που εξετάζεται. Κάτι τέτοιο φαίνεται να είναι εφικτό μέσα από την χρήση αριθμητικών μεθόδων για την εφαρμογή στα πειραματικά βαριογράμματα, ομοιωμάτων που αρχικά επιλέγονται ή ορίζονται από τον χρήστη (Goovaerts, 1999).

Παρόλη την μεγάλη ποικιλία μαθηματικών συναρτήσεων που χρησιμοποιούνται για θεωρητικά ομοιώματα, δεν υπάρχει μία a priori γνώση για τα ομοιώματα εκείνα που είναι ιδανικότερα για την χωρική περιγραφή των εδαφικών ιδιοτήτων, και τις μεθόδους με τις οποίες αυτά εφαρμόζονται στα πειραματικά ημιβαριογράμματα (McBratney and Webster, 1986). Στην πράξη οι συναρτήσεις αυτές πρέπει να ικανοποιούν τουλάχιστο τρεις προϋποθέσεις (Zhang et al., 1995): να τέμνονται από τον άξονα των τεταγμένων (y), να αυξάνουν μονοτονικά και να τείνουν προς ένα μέγιστο (sill).

3.3.1 Διερεύνηση γεωστατιστικής υπόθεσης

Η διερεύνηση της γεωστατιστικής υπόθεσης βασίζεται στην χωρική ανάλυση της διακύμανσης των εδαφικών ιδιοτήτων. Η προσέγγιση αυτή στην χωρική ανάλυση αναφέρεται συνήθως στην βιβλιογραφία με τον όρο ESDA (Exploratory Spatial Data Analysis), και χρησιμοποιείται για την τεκμηρίωση της βασικής στατιστικής υπόθεσης που χρησιμοποιείται στην εφαρμογή γεωστατιστικών μεθόδων. Η βασική υπόθεση της γεωστατιστικής προσέγγισης είναι η *ότι η προ-απαιτούμενη χωρική αυτο-συσχέτιση είναι υπαρκτή και είναι τέτοιας μορφής ώστε η ανίχνευση της με μεθόδους πειραματικής βαριογραφίας να είναι εφικτή*. Η χωρική αυτο-συσχέτιση (spatial auto-correlation) εκφράζει την φυσική τάση που παρουσιάζουν οι εδαφικές ιδιότητες, να είναι παρόμοιες ή να μεταβάλλονται λιγότερο όταν παρατηρούνται σε σημεία που απέχουν μεταξύ τους μικρές αποστάσεις, από ότι όταν παρατηρούνται σε απομακρυσμένα μεταξύ τους σημεία στο χώρο. Στην γεωστατιστική η φυσική αυτή τάση εκφράζεται ποσοτικά και χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη ή εκτίμηση των φυσικών ιδιοτήτων στο χώρο, με τέτοιο τρόπο ώστε το σφάλμα που υπεισέρχεται κατά την πρόβλεψη να ελαχιστοποιείται.

Με τη χρήση στατιστικών μεγεθών, όπως ο δείκτης I του Moran, μπορούμε να πληροφορηθούμε εκ των προτέρων για την ύπαρξη ή όχι χωρικής αυτο-συσχέτισης στην υπό εξέταση εδαφική ιδιότητα. Στη συνέχεια με λεπτομερή καταγραφή της χωρικής αυτής συσχέτισης με μεθόδους πειραματικής βαριογραφίας, μπορούμε να υποστηρίξουμε ή όχι την βασική υπόθεση της γεωστατιστικής προσέγγισης, και με την εφαρμογή μαθηματικών ομοιωμάτων σε πειραματικά βαριογράμματα, να προβούμε στην εφαρμογή γεωστατιστικής παρεμβολής με σκοπό την πρόβλεψη των εδαφικών ιδιοτήτων στο χώρο, ακολουθώντας μία μεθοδολογία που αναπτύσσεται

λεπτομερέστερα στη συνέχεια.

Ο κλασικός ορισμός του δείκτη I (Moran's I) χωρικής αυτο-συσχέτισης είναι:

$$I = \frac{N \sum_i \sum_j W_{i,j} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{(\sum_i \sum_j W_{i,j}) \sum_i (X_i - \bar{X})^2}$$

Όπου X_i, X_j οι τιμές της εδαφικής ιδιότητας στις χωρικές θέσεις s_i, s_j

\bar{X} η μέση τιμή της εδαφικής ιδιότητας στο πληθυσμό των δειγμάτων

$W_{i,j}$ συντελεστές βαρύτητας που εξαρτώνται από την γειτνίαση των s_i, s_j

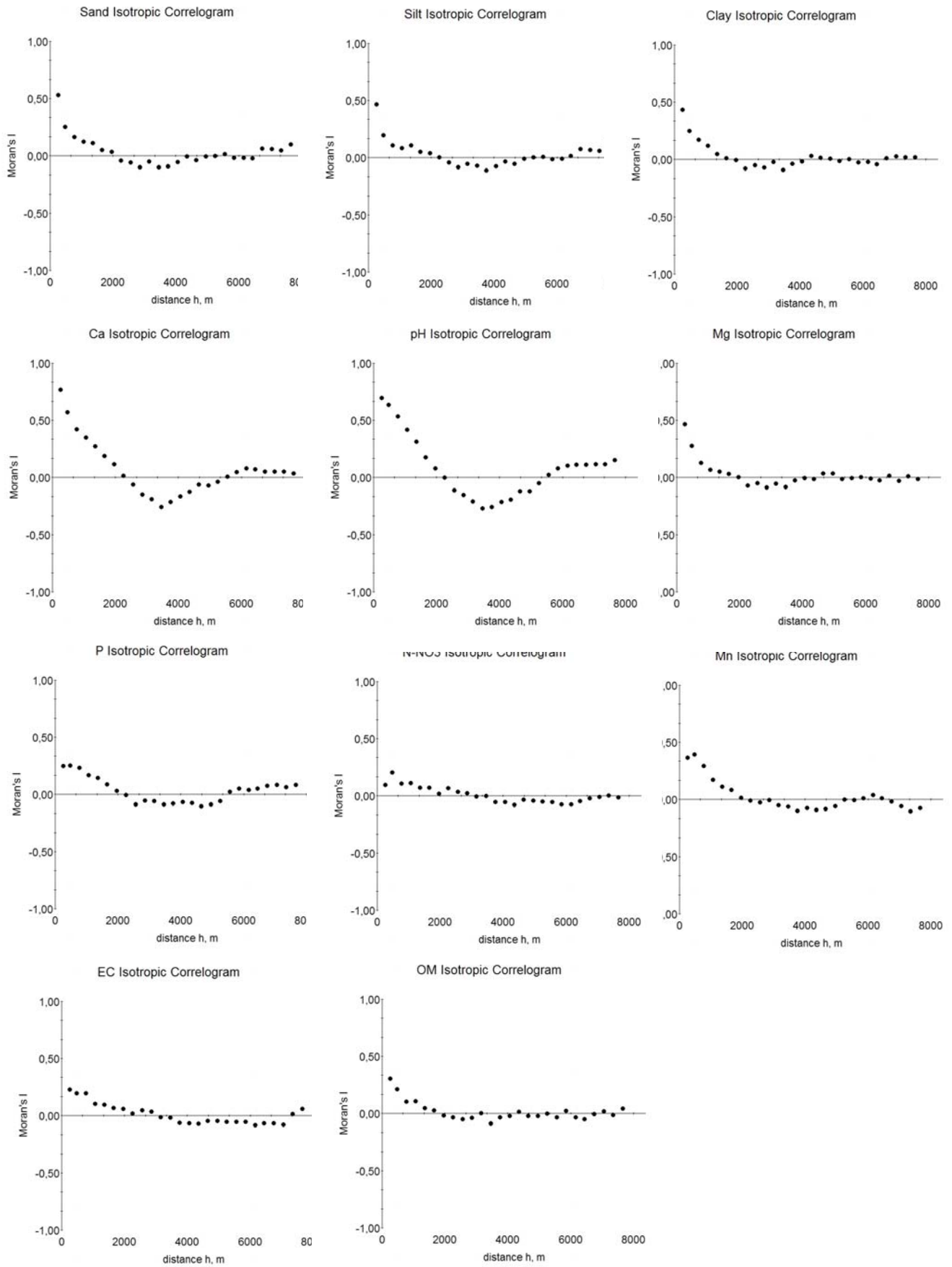
N το πλήθος των δειγμάτων

Η ερμηνεία του δείκτη I είναι ανάλογη με αυτήν του κλασικού συντελεστή συσχέτισης r μεταξύ δύο μεταβλητών. Έτσι ο δείκτης I μεταβάλλεται μεταξύ -1 και 1, με τις τιμές προς την μονάδα (± 1) να δηλώνουν υψηλή αυτο-συσχέτιση θετική ή αρνητική, ενώ τιμές κοντά στο 0 απουσία συσχέτισης ή χαμηλή αυτο-συσχέτιση. Η ανίχνευση θετικής αυτο-συσχέτισης είναι και το ζητούμενο της διερεύνησης που διεξάγεται.

Θέτοντας $W_{i,j} = 1$ και υπολογίζοντας τον δείκτη I για όσα δείγματα απέχουν μεταξύ τους απόσταση μέχρι h, με το h να μεταβάλλεται με ένα συγκεκριμένο χωρικό βήμα (lag) πχ. 100 μ., τότε δημιουργείται η συνάρτηση I(h). Για την περίπτωση των εδαφικών ιδιοτήτων της περιοχής μελέτης της Κορώνειας από όπου προήλθαν τα δειγματοληπτικά δεδομένα, υπολογίστηκε η συνάρτηση I(h), σε αποστάσεις έως και 8 χλμ., τιμή η οποία συμπίπτει περίπου με την μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο οποιονδήποτε δειγματοληπτικών θέσεων στην περιοχή μελέτης. Οι υπολογισμοί έγιναν με χωρικό βήμα 300 μ.

Από την μελέτη των σχετικών διαγραμμάτων που αναφέρονται και ως διαγράμματα συσχέτισης, ή ύπαρξη ή όχι χωρικής συσχέτισης είναι δυνατόν να ανιχνευθεί. Τα τρία κλάσματα της μηχανικής σύστασης του εδάφους παρουσιάζουν - περίπου την ίδια - ασθενή - χωρική συσχέτιση μικρότερη από 2000μ. Οι καλύτερες συσχετίσεις παρατηρούνται στο pH και στο Ca με μεγάλη ομοιότητα μεταξύ τους και εύρος περίπου 3000μ. Η ομοιότητα των συσχετίσεων αποδίδεται στην φυσική συνάφεια μεταξύ των δύο εδαφικών ιδιοτήτων.

Αντίθετα ασθενείς χωρικές συσχετίσεις με μικρό εύρος παρατηρούνται σε Mg, Mn, P και οργανική ουσία. Νιτρικό άζωτο και ηλεκτρική αγωγιμότητα χαρακτηρίζονται από απουσία χωρικής συσχέτισης στην διακύμανση τους, καθιστώντας την χαρτογράφηση τους με γεωστατιστικές μεθόδους μη ρεαλιστική.



3.3.2 Εκτίμηση σφάλματος

Η γεωστατιστική προσέγγιση στην εκτίμηση και πρόβλεψη των εδαφικών ιδιοτήτων εμπεριέχει την πιθανότητα ή την αβεβαιότητα, με την έννοια ότι επιδιώκει την ελαχιστοποίηση της. Παρόλα αυτά διαφόρων ειδών σφάλματα υπεισέρχονται σε αυτήν την προσπάθεια, από το αρχικό στάδιο της μοντελοποίησης των πειραματικών ημιβαριογραμμάτων μέχρι την παρεμβολή και την εκτίμηση των παραμέτρων. Το σφάλμα της πρόβλεψης υπολογίζεται από τις κανονικές εξισώσεις Kriging, αλλά δεν είναι αρκετό από μόνο του για την συνολική αξιολόγηση της γεωστατιστικής μεθόδου (Cressie N.A.C., 1993). Η ίδια η μεθοδολογία κατασκευής των πειραματικών ημιβαριογραμμάτων είναι ικανή να επηρεάσει την εμφάνιση των σφαλμάτων στο αρχικό αυτό στάδιο της ανάλυσης. Η λεπτομέρεια ή η διακριτική ικανότητα με την οποία τα ημιβαριογράμματα αυτά αποτυπώνουν την χωρική διακύμανση των υπό εξέταση μεταβλητών-εδαφικών ιδιοτήτων εξαρτάται άμεσα από το χωρικό βήμα h (lag). Μείωση του διαστήματος h , έχει ως συνέπεια την αύξηση των σημείων που εμφανίζονται στο ημιβαριόγραμμα, δηλαδή την αύξηση της χωρικής διακριτικής ικανότητας του. Παράλληλα όμως μειώνεται ο αριθμός των ζευγών $n(h)$ που απέχουν απόσταση h για κάθε σημείο του ημιβαριογράμματος, ελατώνοντας την ακρίβεια εκτίμησης της ημιδιακύμανσης για κάθε σημείο. Αυτό επιφέρει την αύξηση του σφάλματος με το οποίο το θεωρητικό ομοίωμα προσεγγίζει την χωρική διακύμανση, όπως αυτό υπολογίζεται από το μέσο τετραγωνισμένο σφάλμα, ή το

$$RMSE = \frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n [\hat{\gamma}(h_i) - \gamma(h_i)]^2 \right\}^{1/2}$$

Όπου $\hat{\gamma}(h_i)$ $\gamma(h_i)$ οι θεωρητικές και οι πραγματικές τιμές της ημιδιακύμανσης αντίστοιχα.

Οι τεχνικές με τις οποίες επιλέγεται το κατάλληλο πειραματικό ημιβαριόγραμμα και η βέλτιστη συνάρτηση προσέγγισης του είναι αρκετές. Η τεχνική jack-knifing ή διασταυρωμένη επιβεβαίωση των προβλέψεων (cross-validation) είναι ευρέως διαδεδομένη σήμερα στην εκτίμηση της καταλληλότητας των εφαρμοζόμενων θεωρητικών μοντέλων στα πειραματικά ημιβαριογράμματα, κυρίως χάρη στους Stone(1974) και Geisser(1975) που την υιοθέτησαν πρώτοι στις μελέτες τους (Cressie N.A.C., 1993). Η βασική ιδέα έγκειται στην απαλοιφή μίας τιμής από το σύνολο των χωρικών δεδομένων, και η χρησιμοποίηση των υπολοίπων με τις εξισώσεις της μεθόδου Kriging, για την πρόβλεψη της. Η επανάληψη της διαδικασίας για το σύνολο των τιμών μας παρέχει την δυνατότητα της σύγκρισης των εκτιμώμενων $\hat{z}(x_i)$ με τις πραγματικές τιμές $z(x_i)$ για κάθε χωρική θέση i , και την εκτίμηση της ακρίβειας των προβλέψεων με την μορφή των τετραγωνισμένων διαφορών όπως παρακάτω

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\hat{z}(x_i) - z(x_i)]^2$$

ή

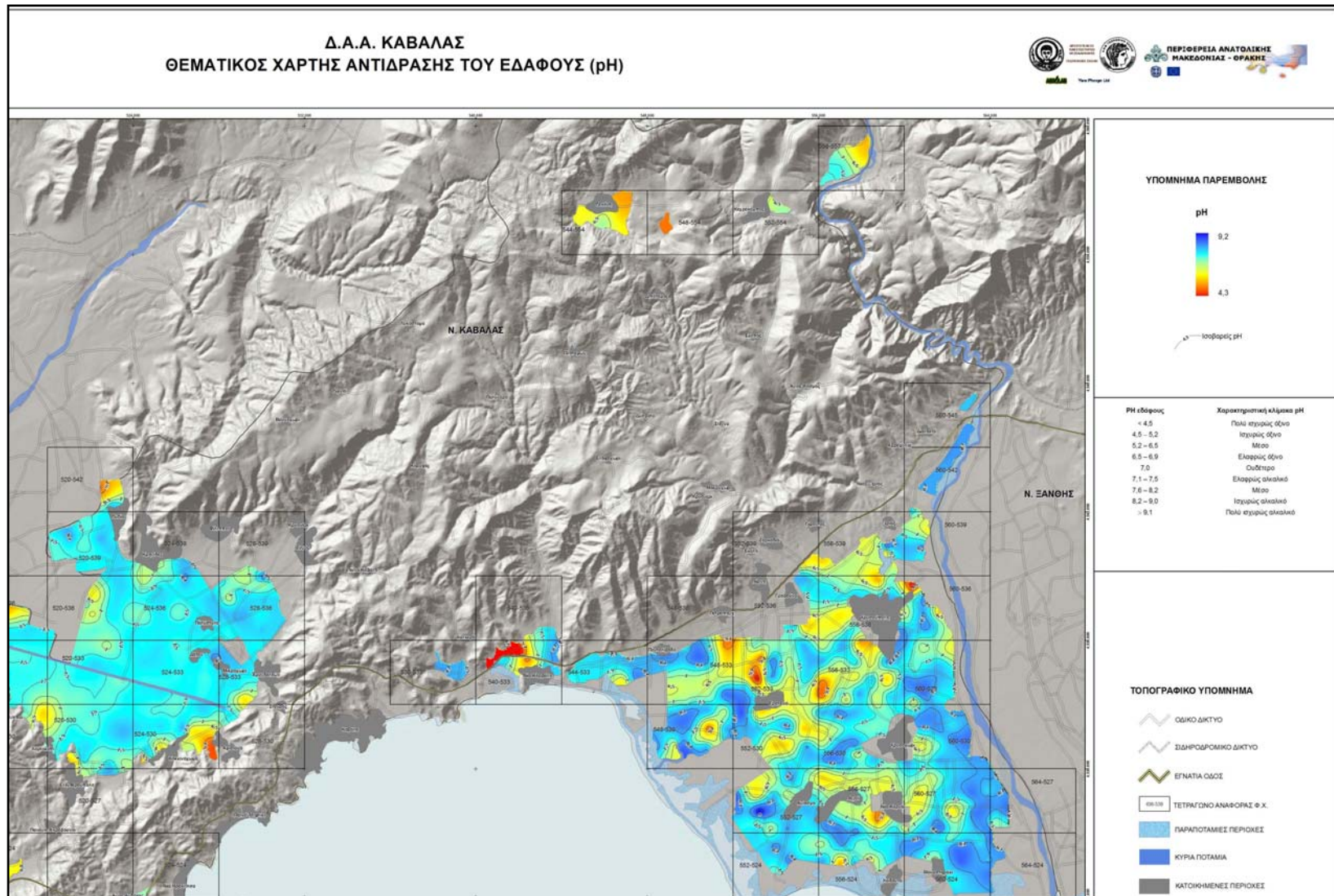
$$RMSE = \frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n [\hat{z}(x_i) - z(x_i)] \right\}^{1/2}$$

Όπως προτείνεται και από την πλειονότητα των ερευνητών (Burgess T.M., Webster R., 1980, Lark R.M., Bolam H.C., 1997, Lloyd C.D., Atkinson P.M., 2001, Clemens J., Schillinger M.P., Goldbach H., 1999, Goovaerts P., 1998) σαν τον τελικό έλεγχο της απόδοσης της μεθόδου πρόβλεψης, ένα μέρος των διαθέσιμων δεδομένων παραμένει εκτός της διαδικασίας ανάλυσης και πρόβλεψης σχηματίζοντας έτσι ένα σετ επαληθεύσεως των προβλέψεων που η μέθοδος μας δίνει για τις θέσεις αυτές. Η αποτελεσματικότητα της πρόβλεψης εκτιμάται από τις διαφορές μεταξύ των τιμών πρόβλεψης $z^*(x_i)$ και των τιμών επαλήθευσης $z(x_i)$, με την χρήση κατάλληλων δεικτών

σφαλμάτων όπως παραπάνω, και συγκεκριμένα των

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)] \quad , \quad MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]^2$$

που μετρούν την απόκλιση και την ακρίβεια της πρόβλεψης αντίστοιχα.



Εικόνα 3.3. Τμήμα του χάρτη παρεμβολής pH του Νομού Καβάλας (από το έργο του εδαφολογικού χάρτη ΑΜΑΘ)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

4.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Η διάβρωση ορίζεται ως η διεργασία απόσπασης και απομάκρυνσης υλικού από τον επιφανειακό ορίζοντα των εδαφών και η απόθεση του σε άλλα σημεία της γήινης επιφάνειας ή στη θάλασσα.

Τα αίτια που προκαλούν τη διάβρωση είναι το νερό, ο άνεμος, ο πάγος και η βαρύτητα, ανεξάρτητα ή σε συνδυασμό. Η διάβρωση δεν πρέπει να συγχέεται με την αποσάθρωση, η οποία είναι ο πολυτεμαχισμός, η διάλυση, ή η αλλαγή της σύστασης της δομής των πετρωμάτων και ορυκτών που έχει σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό εδάφους (Lueder, 1959).

Η διάβρωση μπορεί να είναι **δημιουργική** (constructive) ή **καταστρεπτική** (destructive). Για παράδειγμα, η απομάκρυνση του επιφανειακού εδαφικού υλικού ή η δημιουργία χαραδρών, είναι αποτελέσματα της καταστρεπτικής διάβρωσης, ενώ η απόθεση του υλικού σε κάποια θέση του τοπίου, είναι το αποτέλεσμα της δημιουργικής διάβρωσης.

Η φυσική ή γεωλογική διάβρωση θεωρείται ως η γεωλογική πορεία της τοπογραφικής διαμόρφωσης της γης (geological erosion), με τη συνεχή μείωση του ύψους των υψηλότερων σημείων και την ανύψωση, λόγω απόθεσης, των χαμηλότερων.

Τα εδάφη που σχηματίστηκαν από τις αποθέσεις αυτές στις προσχωματικές κοιλάδες και αλλουβιακές πεδιάδες, θεωρούνται ως πολύ γόνιμα και όπως αναφέρεται (Soil Survey Staff, 1951), το 1/3 του πληθυσμού της γης συντηρείται από γεωργικά προϊόντα που παράγονται στα εδάφη αυτά. Στα τροπικά κλίματα η διάβρωση συντηρεί μια ικανοποιητική γονιμότητα στα εδάφη με την απομάκρυνση του άγονου, λόγω έκπλυσης των θρεπτικών στοιχείων, επιφανειακού ορίζοντα και την αποκάλυψη του περισσότερου γόνιμου υπεδάφους. Αντίθετα σε απότομες κλίσεις, ιδιαίτερα όταν υπάρχει αδιαπέραστος ορίζοντας, ή η βλάστηση είναι αραιή, η απομάκρυνση του επιφανειακού υλικού είναι τόσο γρήγορη, ώστε πολλές φορές η κλίση μειώνεται μέχρι το επίπεδο της γωνίας απόθεσης (Bergsma, 1971-Part I).

Σε σχεδόν επίπεδα, ή με μικρή κλίση εδάφη, η φυσική διάβρωση είναι τόσο αργή, ώστε τα παλαιά και εκπλυθέντα υλικά του εδάφους συγκεντρώνονται στην επιφάνεια και σχηματίζουν αδιαπέρατα επίπεδα, καθιστώντας έτσι το έδαφος άγονο.

Η φυσική διάβρωση μπορεί να δρα με αργό ρυθμό, ή να είναι έντονα καταστρεπτική. Μια αργή διεργασία διάβρωσης μπορεί να επιταχυνθεί όταν συμβούν διάφορες αλλαγές, όπως ανύψωση γήινων τμημάτων λόγω τεκτονικών αιτιών, αλλαγή του κλίματος ή καταστροφή της φυσικής βλάστησης. Στην περίπτωση αυτή ομιλούμε για ένα νέο κύκλο διάβρωσης, που έχει ως αποτέλεσμα τη μερική ή ολική απομάκρυνση του εδάφους. Η καταστρεπτική αυτή δράση θα συνεχιστεί έως ότου να αποκατασταθούν και πάλι οι συνθήκες ισορροπίας.

Σε ορισμένες περιοχές βρίσκονται θαμμένα εδάφη που οι συνθήκες εδαφογένεσής τους ήταν διαφορετικές από αυτές των νεότερων υπερκείμενων εδαφών. Σε πολλές περιπτώσεις τα παλαιά αυτά εδάφη βρίσκονται σε πολύ περιορισμένη έκταση και κατά θέσεις, γεγονός που σημαίνει καταστροφική απομάκρυνση των εδαφών αυτών, πριν καλυφθούν από νεότερα υλικά.

Συνήθως οι όροι **διάβρωση και διάβρωση εδάφους** χρησιμοποιούνται για την **επιταχυνόμενη ή ανθρωπογενή διάβρωση** (accelarated erosion), που προκαλείται από την επέμβαση του ανθρώπου στο φυσικό περιβάλλον. Αντίθετα η **φυσική ή γεωλογική** διάβρωση δρα σε επιφάνειες του τοπίου που δεν έχουν διαταραχθεί από τον άνθρωπο. Επιταχυνόμενη διάβρωση μπορεί να προκληθεί λόγω

καταστροφής της φυσικής βλάστησης από φωτιά, υπερβολική βόσκηση, καταστροφή δάσους, διάνοιξη δρόμων, καλλιεργητικές εργασίες, κ.λπ. Από τη στιγμή όμως που λαμβάνονται μέτρα προστασίας ή βελτίωσης, τότε η επιταχυνόμενη διάβρωση μπορεί να μειωθεί στο επίπεδο της φυσικής.

Η διάκριση μεταξύ επιταχυνόμενης και φυσικής διάβρωσης είναι πολλές φορές δύσκολη, π.χ. όταν αιώνες πριν το δάσος μιας περιοχής κόπηκε ή κάηκε και το ύψος βροχοπτώσεως δεν ήταν επαρκές για την αναγέννηση του.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η επιταχυνόμενη διάβρωση είναι πιο καταστρεπτική από τη φυσική ή γεωλογική διάβρωση. Πολλές φορές όμως λόγω μεγάλου ύψους βροχοπτώσεων και μεγάλης απώλειας εδάφους, η γεωλογική διάβρωση φθάνει στο επίπεδο της επιταχυνόμενης και τότε ονομάζεται **ταχεία γεωλογική διάβρωση** (fast geological erosion).

Ο κίνδυνος διάβρωσης (erosion hazard), μπορεί να περιγράφει ως η πιθανότητα ότι επιταχυνόμενη διάβρωση θα αρχίσει να δρα μελλοντικά σε κάποια περιοχή. Στην περίπτωση που ήδη έχει αρχίσει η δράση της επιταχυνόμενης διάβρωσης, τότε ως κίνδυνος ορίζεται ο πιθανός βαθμός διάβρωσης που αναμένεται στο κοντινό μέλλον. Είναι ευνόητο ότι εάν ληφθούν μέτρα βελτίωσης ο κίνδυνος διάβρωσης μειώνεται σημαντικά. Στο σημείο αυτό θεωρείται σκόπιμο να δοθεί η ερμηνεία των όρων που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των διαφόρων τύπων και χαρακτηριστικών της διάβρωσης.

Διάβρωση (erosion): Η απομάκρυνση επιφανειακού υλικού με το νερό, τον αέρα, τον πάγο ή τη βαρύτητα.

Φυσική ή γεωλογική διάβρωση (natural or geological erosion): Η φυσική διεργασία διάβρωσης που προκαλείται από διάφορους παράγοντες, που δρουν στα μεγάλα χρονικά διαστήματα των γεωλογικών περιόδων και έχουν ως αποτέλεσμα την ταπείνωση των υψηλών σημείων της γήινης επιφάνειας (βουνών, λόφων, κ.λπ.) και την πρόσχωση κοιλάδων ή τη δημιουργία αλλουβιακών πεδιάδων.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση αυτή είναι το νερό, ο άνεμος, ο πάγος και η βαρύτητα, που δρουν κάτω από ορισμένες συνθήκες κλίματος και βλάστησης **αδιατάρακτες** από τον άνθρωπο.

Ταχεία γεωλογική διάβρωση (fast geological erosion): Η φυσική διεργασία διάβρωσης που τα αποτελέσματα της είναι η ταχεία μείωση του ύψους των υψηλών σημείων της γης και η ταχεία πρόσχωση κοιλάδων και / ή η δημιουργία αλλουβιακών πεδιάδων. Η ταχύτητα διάβρωσης παραμένει υψηλή για ένα σύντομο χρονικό διάστημα της γεωλογικής περιόδου.

Η αργή συνήθως γεωλογική διάβρωση μπορεί να μεταβληθεί σε ταχεία, όταν υπάρξει αλλαγή του βασικού επιπέδου, της λεκάνης απορροής, ή μετά έκρηξη ηφαιστείου ή αλλαγή κλίματος. Σε μικρότερη κλίμακα μπορεί να αρχίσει μετά από μια κατολίσθηση.

Επιταχυνόμενη ή ανθρωπογενής διάβρωση (accelerated erosion): Ο τύπος αυτός διάβρωσης είναι ταχύτερος σε αποτελέσματα της φυσικής και ο περισσότερο καταστρεπτικός. Προκαλείται μετά από διατάραξη της ισορροπίας του φυσικού περιβάλλοντος με την επέμβαση του ανθρώπου.

Βασικό επίπεδο (base level): Το επίπεδο κάτω από το οποίο μια επιφάνεια δεν είναι δυνατό να μειωθεί από τη διάβρωση που προκαλεί το κινούμενο επάνω σ αυτή νερό απορροής. Το επίπεδο της θάλασσας θεωρείται ως το κύριο βασικό επίπεδο. Οι κύριοι κλάδοι χειμάρρων χρησιμεύουν πολλές φορές ως τοπικό, ή προσωρινό βασικό επίπεδο για τους δευτερεύοντες κλάδους τους. Οι χαράδρες συνήθως δεν είναι κατάλληλες για να χρησιμεύσουν ως βασικά επίπεδα, εκτός εάν είναι μεγάλης ηλικίας.

Το βασικό επίπεδο των χαραδρών μπορεί να είναι ένας τοπικός χείμαρρος ή οι πρόποδες ενός λόφου. Εφήμερα βασικά επίπεδα χαραδρών, μπορεί να θεωρηθούν αυτά που δημιουργούνται από την κατολίσθηση του υλικού των πλευρικών τοιχωμάτων τους.

Αναγεννώμενη διάβρωση (revived erosion): Τοπική ταχεία ή επιταχυνόμενη διάβρωση, που είχε στην αμέσως προηγούμενη περίοδο επιβραδυνθεί. Η αιτία μπορεί να είναι ένας σεισμός, ή κακή συντήρηση των μέτρων βελτίωσης.

Αναγέννηση του ανάγλυφου (rejuvenation of relief): Η δημιουργία νέου ανάγλυφου λόγω

μεγαλύτερης δραστηριότητας της γεωλογικής διάβρωσης, που συμβαίνει συνήθως μετά από ανυψώσεις λόγω τεκτονικής δράσης.

Παλαιά διάβρωση (former erosion): Η διάβρωση της οποίας η ταχύτητα έχει σημαντικά μειωθεί. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι η διάβρωση έχει σταματήσει τη δράση της.

Σταθεροποιηθείσα διάβρωση (stabilized erosion): Διάβρωση που η δράση της έχει σταματήσει με την εφαρμογή μέτρων βελτίωσης.

Κίνδυνος διάβρωσης (erosion hazard): Η πιθανότητα έναρξης επιταχυνόμενης διάβρωσης στο κοντινό μέλλον, ή ο πιθανός βαθμός της επιταχυνόμενης διάβρωσης στο κοντινό μέλλον, στην περίπτωση που η δράση της έχει ήδη αρχίσει.

Διαβρωσιμότητα (erosion susceptibility): Ο αρχικός και συνήθως μόνιμος κίνδυνος διάβρωσης σε μια περιοχή που οφείλεται στους παράγοντες κλίμα, ανάγλυφο και έδαφος. Επειδή το κλίμα και το ανάγλυφο είναι σταθερά για μεγάλες περιόδους, το έδαφος θεωρείται ο καθοριστικός παράγοντας.

Κλάσεις διάβρωσης (erosion classes): Η ομαδοποίηση των συνθηκών, ή του βαθμού διάβρωσης, ή των χαρακτηριστικών της διάβρωσης και που εφαρμόζονται μόνο στην επιταχυνόμενη διάβρωση. Επειδή στη χαρτογράφηση χρησιμοποιούνται οι **φάσεις διάβρωσης** (erosion phases), λόγω της σπουδαιότητας τους στη χρήση και διαχείριση των γεωργικών γαιών και επειδή ένας ορισμένος βαθμός διάβρωσης έχει διαφορετικά αποτελέσματα σε διάφορους τύπους εδαφών και σε διάφορες περιοχές, οι κλάσεις διάβρωσης δεν μπορούν να καθοριστούν με όρους εφαρμόσιμους σε όλα τα εδάφη.

Απορροή (runoff): Το ποσοστό βροχόπτωσης το οποίο απορρέει από μια περιοχή δια μέσου χειμάρρων. Το ποσό του νερού το οποίο χάνεται χωρίς να εισχωρήσει στο έδαφος, ονομάζεται **επιφανειακή απορροή** και το ποσό που εισχωρεί στο έδαφος ονομάζεται **υπόγεια απορροή**. Ο όρος απορροή στην εδαφολογία σημαίνει συνήθως την επιφανειακή απορροή, ενώ στη γεωλογία περιλαμβάνεται και η υπόγεια απορροή.

Διηθητικότητα (infiltration): Η είσοδος του νερού στο έδαφος και ειδικότερα στον επιφανειακό ορίζοντα, ή ακόμα και σε όλη την εδαφοκατατομή. Μπορεί να είναι ταχεία για περιορισμένο χρόνο, ενώ η διαπερατότητα μπορεί να είναι αργή, λόγω π.χ. ενός αδιαπέραστου ορίζοντα που εμποδίζει την κίνηση του νερού προς τα κάτω δια μέσου της εδαφοκατατομής.

Τιμή διηθητικότητας (infiltration rate): Ένα χαρακτηριστικό του εδάφους που εκφράζει το μέγιστο όγκο ανά μονάδα χρόνου στην οποία το νερό μπορεί να εισχωρήσει στο έδαφος κάτω από ορισμένες συνθήκες, που περιλαμβάνουν και την παρουσία ή περίσσεια νερού.

Ταχύτητα διήθησης (infiltration velocity): Η ταχύτητα εισχώρησης του νερού στο έδαφος ανά μονάδα χρόνου. Μπορεί να είναι μικρότερη από τη μέγιστη τιμή διηθητικότητας, λόγω μικρού ύψους βροχόπτωσης.

Λιθόστρωμα διάβρωσης (erosion pavement): Μια διάστρωση αδρόκοκκου υλικού, όπως άμμου, χολικών και λίθων, που παραμένει στην επιφάνεια του εδάφους μετά την απομάκρυνση, λόγω διάβρωσης, του επιφανειακού λεπτού υλικού.

Διάβρωση λόγω πρόσκρουσης (splash erosion): Η απόσπαση και εκτίναξη των εδαφικών τεμαχιδίων που προκαλείται με την πρόσκρουση των σταγόνων της βροχής επάνω στα εδαφικά συσσωματώματα. Τα τεμαχίδια που αποσπάστηκαν μπορεί να παραμένουν στα σημεία που εκτινάχθηκαν, ή να παρασυρθούν από το επιφανειακά κινούμενο νερό.

Επιφανειακή διάβρωση (sheet erosion): Η απομάκρυνση ενός σχετικά ομοιόμορφου στρώματος εδάφους από την επιφάνεια της με το νερό απορροής, το οποίο ρέει σε στιβάδες σε αντιδιαστολή με τη χειμαρρική ροή.

Αυλάκωση (rill): Ένα μικρό διακοπτόμενο ρέμα με απότομα τοιχώματα και βάθος λίγα εκατοστά, που δεν αποτελεί εμπόδιο στην καλλιέργεια του εδάφους.

Χαραδρωτική διάβρωση (gully erosion): Η πορεία διάβρωσης κατά την οποία το νερό συγκεντρώνεται σε στενά κανάλια και σε σύντομο χρονικό διάστημα απομακρύνει το έδαφος σε

ικανό βάθος, που κυμαίνεται από 2,5-5 μέτρα μέχρι 200-260 μέτρα.

Χαράδρα (gully): Ένα φυσικό κανάλι που δημιουργείται από τη διάβρωση και προκαλείται από τη συγκεντρωμένη αλλά συνεχή ροή νερού, συνήθως κατά τη διάρκεια και αμέσως μετά από ισχυρή βροχή. Το βάθος της χαράδρας είναι αρκετό για να δημιουργήσει προβλήματα στις καλλιεργητικές εργασίες.

Ρεματιά (ravine): Μεγάλη χαράδρα, αλλά μικρότερη από μια κοιλάδα, συνήθως με μεγάλο βάθος αντί πλάτος, με απότομες πλαγιές. Είναι χαρακτηριστικό της ταχείας γεωλογικής ή της επιταχυνόμενης διάβρωσης.

Μετακίνηση εδαφικής μάζας (mass - movement): Μετακίνηση τμήματος γης από διάφορα αίτια.

Κατολίσθηση (landslide): Μάζες τεμαχίων πετρωμάτων, εδάφους, ή άλλων υλικών που μετακινήθηκαν προς τα χαμηλότερα σημεία των κλίσεων στη νεότερη περίοδο από διάφορα αίτια.

Κατάπτωση (slump): Προς τα κάτω αργό γλίστρημα μιας μάζας εδάφους, ή πολλών δευτερευουσών μαζών, συνήθως με κάποιο βαθμό περιστροφής επάνω σε ένα σχεδόν οριζόντιο άξονα, παράλληλο με την κλίση της επιφάνειας που ολισθαίνουν.

4.2. ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Δυο είναι οι κύριοι τύποι διάβρωσης που είναι οι πιο καταστρεπτικοί, (1) η διάβρωση από νερό και (2) η διάβρωση από τον άνεμο. Επειδή όμως στη χώρα μας η κύρια αιτία της καταστροφής της γεωργικής γης είναι η διάβρωση από νερό, δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στον τύπο αυτό.

Διάβρωση από νερό (water erosion): Ο τύπος αυτός της διάβρωσης παρουσιάζεται σε τρεις μορφές, (1) την επιφανειακή διάβρωση, (2) την αυλακωτή διάβρωση και (3) τη χαραδρωτική διάβρωση.

Εκτός από τα εδαφικά και τοπογραφικά χαρακτηριστικά, οι παρακάτω παράγοντες καθορίζουν κύρια την παρουσία μιας από τις τρεις μορφές της διάβρωσης από νερό.

- η πρόσκρουση των σταγόνων της βροχής στην επιφάνεια του εδάφους
- η συγκέντρωση του νερού.
- η ταχύτητα ροής

Ο πρώτος παράγοντας είναι μεγάλης σημασίας για την επιφανειακή διάβρωση, που είναι και το πρώτο στάδιο κάθε είδους διάβρωσης (Φωτογραφία 4.1).



Φωτογραφία 4.1. Επιφανειακή διάβρωση σε περιοχή του Ν. Έβρου

4.3. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Η πορεία διάβρωσης αρχίζει με την πρόσκρουση των σταγόνων της βροχής στην επιφάνεια του εδάφους, με ταχύτητα που φθάνει τα 30 γλμ./ώρα. Η ενέργεια των σταγόνων της βροχής έχει σαν αποτέλεσμα, (1) την εκτίναξη των λεπτών εδαφικών τεμαχιδίων προς όλες τις κατευθύνσεις, (2) το σπάσιμο των συσσωματωμάτων και (3) την απόσταση από αυτά μικρών τεμαχιδίων εδάφους.

Το αποτέλεσμα της διάβρωσης που προκαλείται από την πρόσκρουση των σταγόνων της βροχής μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στο έδαφος. Τα μικρά εδαφικά τεμαχίδια που αποσπώνται απομακρύνονται από την επιφάνεια του εδάφους ή αποτίθενται σε κάποιο άλλο σημείο και μπορεί να "σφραγίσουν" τους επιφανειακούς πόρους. **Το κλείσιμο των επιφανειακών πόρων συμβαίνει κυρίως σε ιλυώδη ή ασβεστούχα εδάφη** (Silleos, 1981), λόγω του μεγάλου αριθμού και του κατάλληλου μεγέθους των ελευθερουμένων τεμαχιδίων της ιλύος και αυτών του ανθρακικού ασβεστίου.

Δύγρανση από το νερό της βροχής ξερών εδαφικών συσσωματωμάτων μπορεί να προκαλέσει σπάσιμο του συσσωματώματος λόγω βίαιης εξόδου του εγκλωβισμένου σε αυτό αέρα. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει κυρίως σε ιλυώδη και αμμώδη εδάφη στα οποία οι εξωτερικές δυνάμεις συνοχής είναι πολύ μικρότερες από τα αργιλώδη.

Μετά την έναρξη της βροχής και σε κάποια χρονική στιγμή, το έδαφος δεν έχει τη δυνατότητα απορρόφησης άλλου νερού, ιδιαίτερα με το κλείσιμο των επιφανειακών πόρων, οπότε αρχίζει η επιφανειακή απορροή σε μορφή υδάτινης στιβάδας.

Στο στάδιο αυτό διάβρωση προκαλείται και από τις δίνες που σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της επιφανειακής απορροής του νερού από την πρόσκρουση των σταγόνων της βροχής. Οι δίνες αυτές σχηματίζονται συνήθως 10 εκ. μακρύτερα από το σημείο πρόσκρουσης της σταγόνας και με διεύθυνση το χαμηλότερο σημείο της κλίσης. Το νερό απορροής παρασύρει συνήθως σε αιώρηση τα τεμαχίδια της αργίλου, ενώ τα τεμαχίδια της άμμου, ιλύος και τους χολικές τα παρασύρει με διεργασίες **αναπήδησης, κύλισης και ολίσθησης**. Στην περίπτωση ομοιόμορφης βροχόπτωσης η απορροή σε μορφή λεπτής στιβάδας είναι ταχύτερη σε μια απότομη κλίση απ' ό,τι σε μια άλλη πιο ομαλή. Ένας δεδομένος όγκος νερού σχηματίζει μια ταχύτερη αλλά πιο λεπτή στιβάδα σε απότομες κλίσεις. Η ικανότητα όμως μεταφοράς υλικού από μια λεπτή στιβάδα είναι μικρότερη από την ικανότητα μιας παχύτερης στιβάδας.

Το γεγονός αυτό έχει σαν συνέπεια τα χονδρόκοκκο υλικά να παραμένουν στην πλαγιά ενός λόφου με απότομη κλίση, ενώ απομακρύνονται σε ένα λόφο με μικρότερο βαθμό κλίσης. Παρ' όλο που οι δυνάμεις βαρύτητας είναι μεγαλύτερες σε μια απότομη κλίση, απ' ό,τι σε μια ομαλότερη, η διαφορά αυτή είναι ασήμαντη σε κλίσεις μικρότερες από 40° C.

Από τα παραπάνω βγαίνει το συμπέρασμα ότι μεγαλύτερο ύψος βροχόπτωσης χρειάζεται για να απομακρύνει εδαφικό υλικό μιας ορισμένης διαμέτρου σε μια απότομη κλίση. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι σε απότομες κλίσεις η ύπαρξη χονδρόκοκκου υλικού εξηγείται με το πάχος της υδάτινης στιβάδας απορροής και όχι με την εκλεκτική απομάκρυνση των λεπτότερων υλικών.

Τα αμμώδη και αργιλώδη εδάφη είναι γενικά πιο ανθεκτικά στη διάβρωση από νερό. Τα πρώτα γιατί τα εδαφικά τεμαχίδια έχουν μεγάλο μέγεθος και μετακινούνται δύσκολα, ενώ συγχρόνως παρουσιάζουν μεγάλη διηθητικότητα και μικρή απορροή και τα δεύτερα λόγω των μεγάλων δυνάμεων συνοχής και συνάφειας που αναπτύσσονται μεταξύ των τεμαχιδίων της αργίλου.

Η απομάκρυνση του εδαφικού υλικού από το νερό απορροής είναι εκλεκτική και κλασματική. Το χονδρόκοκκο υλικό του εδάφους παραμένει επί τόπου στην επιφάνεια και σχηματίζει ένα κάλυμμα που προστατεύει το έδαφος της επιφάνειας, γιατί η ελασματοειδής επιφανειακή ροή του νερού ποτέ δεν αποκτά μεγάλη ταχύτητα στις συνθήκες αυτές.

Η επιφανειακή διάβρωση είναι μια αργή και αφανής διεργασία. Δρα συνεχώς στις μεγάλες επιφάνειες γης και γενικά είναι υπεύθυνη για το μεγαλύτερο ποσοστό απώλειας εδάφους. Η απογύμνωση που προκαλεί ο τύπος αυτός της διάβρωσης είναι μεγαλύτερη αυτής που προκαλείται από τη χαραδρωτική διάβρωση.

Το μικροανάλυφο, η φυτική κάλυψη και η τραχύτητα της επιφάνειας που προϋπήρχαν ή σχηματίστηκαν από την εκλεκτική διάβρωση, σύντομα μπορεί να δημιουργήσουν συνθήκες συγκέντρωσης του νερού απορροής, γεγονός που σημαίνει ότι περισσότερο νερό θα περάσει από τα σημεία που είναι περισσότερο απροστάτευτα. Στα σημεία αυτά το βάθος και κατά συνέπεια η ταχύτητα ροής, γίνονται μεγαλύτερα και έτσι αρχίζει το στάδιο μιας μικρής αυλακωτής διάβρωσης. Το στάδιο αυτό μπορεί να γίνει μόνιμη κατάσταση εάν το βάθος της αυλάκωσης και η ταχύτητα του νερού δεν αυξηθούν. Η δύναμη διάβρωσης του κινούμενου νερού εξαρτάται από το βάθος και την ταχύτητα. Το μέγεθος, το σχήμα και η πυκνότητα των τεμαχιδίων επηρεάζουν το ποσό του φορτίου που μεταφέρεται από το νερό.

4.4. ΑΥΛΑΚΩΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Η επιφανειακή διάβρωση μπορεί να μεταβληθεί σε αυλακωτή λόγω μικρών διαφορών στην ταχύτητα ροής και κατά συνέπεια στην αύξηση της δύναμης διάβρωσης. Η αύξηση της ταχύτητας στις διαδρομές εύκολης ροής του νερού, οδηγεί σε μια αυξανόμενη ταχύτητα διάβρωσης των διαδρόμων αυτών, που έχει σαν αποτέλεσμα την ολοένα και περισσότερο αύξηση της διερχόμενης ποσότητας νερού. Η πορεία αυτή ονομάζεται μικρο-αυλάκωση και παίζει ένα ρόλο στην επιφανειακή διάβρωση (Φωτογραφία 4.2).



Φωτογραφία 4.2. Αυλακωτή διάβρωση

Η ανάπτυξη των μικροχειμάρρων προχωρεί με την πλευρική διάνοιξη των τοιχωμάτων και τη συνένωση πλευρικών αυλακώσεων με την εξαφάνιση της μεταξύ τους διαχωριστικής λωρίδας εδάφους. Η αυλάκωση που είναι πιο χαμηλά θα απορροφήσει την άλλη και με την συνένωση αυτή η διάβρωση θα συνεχίσει τη δράση της με πιο έντονο ρυθμό.

Η πορεία αυτή θα οδηγήσει στην αύξηση του μεγέθους των αυλακώσεων και στη μείωση του αριθμού τους. Οι καλλιεργητικές εργασίες θα διακόπτουν την εξέλιξη αυτή και το όργανο θα εξαφανίζει τις αυλακώσεις για ένα διάστημα. Εάν όμως οι συνθήκες παραμένουν οι ίδιες, η αυλακωτή διάβρωση θα αρχίσει και πάλι τη δράση της.

Στην αυλακωτή διάβρωση και οι δύο διεργασίες της **απογύμνωσης και της αυλάκωσης** παίζουν ένα ρόλο. Οι αυλακώσεις έχουν βάθος που μπορεί να φθάσει μέχρι 32 εκ. περίπου και τα τοιχώματά τους είναι κάθετα για ένα διάστημα μετά από μια μέσου ύψους βροχόπτωση, οπότε αλλάζουν λόγω κατακρήμνισης του υλικού των τοιχωμάτων.

Συνήθως ακόμη και σε ήπιες βροχές τα τοιχώματα των αυλακώσεων διαβρώνονται και με τον τρόπο αυτό κάθε βροχή προκαλεί διάνοιξη τους σε βάθος και πλάτος. Η αυλακωτή διάβρωση μπορεί να

είναι ο πρόδρομος της χαραδρωτικής διάβρωσης ή να είναι μια μόνιμη κατάσταση. Αυτό εξαρτάται από (1) την κατανομή του νερού απορροής, (2) το σχήμα της κλίσης (κυρτή ή κοίλη), (3) τη βλάστηση, (4) το διαθέσιμο φορτίο (υλικό που μπορεί να μεταφερθεί από το νερό) και (5) τη διηθητικότητα του εδάφους.

Όταν το σχήμα της κλίσης οδηγεί σε μεγαλύτερη συγκέντρωση του νερού (π.χ. κοίλες κλίσεις), τότε οι γειτονικές αυλακώσεις θα συνδεθούν πλευρικά και θα αρχίσει το πρώτο στάδιο της χαραδρωτικής διάβρωσης. Εάν η κλίση είναι ομαλή (κυρτή ή ευθεία), τότε αναμένεται κανονική κατανομή της βροχής στις αυλακώσεις και δημιουργία ισορροπίας μεταξύ του μεγέθους των αυλακώσεων και του συνήθους στην περιοχή ύψους βροχόπτωσης.

Η αντίσταση του επιφανειακού υλικού στη διάβρωση (λόγω συνοχής του υλικού, καλύμματος από χονδρόκοκκο υλικό, βλάστησης ή τραχύτητας της επιφάνειας), μπορεί να περιορίσει την ένταση της διάβρωσης σε μεγάλο βαθμό και σε οποιοδήποτε σημείο της κλίσης. Επίσης η ύπαρξη μεγάλου όγκου διαθέσιμου φορτίου, σε σχέση με τον όγκο του νερού, μπορεί να προκαλέσει "απορρόφηση" της διαβρωτικής δύναμης του νερού απορροής. Σε μια τέτοια περίπτωση η κλίση μπορεί να μειώνεται συνεχώς λόγω αυλακωτής διάβρωσης, χωρίς να υπάρξει μεταβολή σε χαραδρωτική διάβρωση.

Οι συνθήκες για μια μόνιμη ή ημι-μόνιμη κατάσταση αυλακωτής διάβρωσης είναι, (1) επαρκής απορροή, η οποία δεν δημιουργεί προϋποθέσεις συγκέντρωσης, (2) μικρή ικανότητα διάβρωσης που περιορίζεται από την ύπαρξη μεγάλου όγκου διαθέσιμου φορτίου στην επιφάνεια της κλίσης, (3) σχήμα κλίσης κυρτό ή επίπεδο (δημιουργεί ομοιόμορφη κατανομή του νερού σε όλη την επιφάνεια της κλίσης), (4) βλάστηση, τραχύτητα επιφάνειας (μειώνουν την ταχύτητα του νερού), και (5) μεγάλη διηθητικότητα (μειώνει τον όγκο του νερού απορροής).

Παρά το γεγονός ότι οι αυλακώσεις έχουν γενικά 30 εκ. βάθος και 45 εκ. πλάτος, υπάρχουν και μεγαλύτερων διαστάσεων όμοια στοιχεία του τοπίου που συνήθως αποκαλούνται αυλακώσεις, παρά το γεγονός ότι μερικές από αυτές θα μπορούσαν να ταξινομηθούν στις χαράδρες.

4.5. ΧΑΡΑΔΡΩΤΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Ο τύπος αυτός της διάβρωσης δημιουργείται με τη συγκέντρωση, σε κάποιο μεγάλο ποσοστό, του νερού απορροής. Η χαραδρωτική διάβρωση (Φωτογραφία 4.3) είναι ποσοτικά λιγότερο σημαντική από την επιφανειακή, αλλά είναι περισσότερο εμφανής και τοπικά πιο καταστρεπτική. Ο τύπος αυτός της διάβρωσης είναι βασικά μια διεργασία αυλάκωσης, που ο μελλοντικός της ρυθμός ανάπτυξης είναι θέμα χρόνου. Βλέποντας την όλη εξέλιξη σε μια ορισμένη χρονική περίοδο, η αυλάκωση ακολουθείται από τη διαπλάτυνση και την "ωρίμανση" της χαράδρας, μέχρι ένα στάδιο ισορροπίας.



Φωτογραφία 4.3. Κατατεμαχισμός γεωργικής περιοχής από χαραδρωτική διάβρωση, ενώ υπάρχει και σαφής επιφανειακή διάβρωση

Η μεγάλη ικανότητα της χαράδρας να προσαρμόζεται στις βροχές και η σταδιακή μείωση της **λεκάνης απορροής** (catchment area) περιορίζουν την αναγέννηση της χαραδρωτικής διάβρωσης μετά από κάθε βροχή μόνο στην **κεφαλή** της χαράδρας ή στους πλευρικούς κλάδους. Η **ωρίμανση** της χαράδρας παίζει κάποιο ρόλο στην απογύμνωση της γης, με την κατάρρευση και υποχώρηση των πλευρικών τοιχωμάτων.

Δεν είναι πάντα εύκολο, ούτε είναι πάντα σημαντικό να διαχωρίζουμε μια χαράδρα από μια αυλάκωση. Σε μερικές περιπτώσεις η διάκριση είναι χρήσιμη για την εφαρμογή μέτρων προστασίας ή βελτίωσης. Οι βασικές διαφορές μεταξύ μιας χαράδρας και μιας αυλάκωσης είναι (1) οι μικρότερες διαστάσεις της αυλάκωσης (μέγιστο 30 εκ. πλάτος και 40-45 εκ. βάθος), (2) η αναγέννηση που παρατηρείται μετά από κάθε βροχή στις αυλακώσεις και η μικρή επίδραση στο σχήμα των χαραδρών και (3) τα πλάγια τοιχώματα μιας αυλάκωσης είναι κάθετα, ενώ μιας χαράδρας κεκλιμένα.

Το πλάτος και το βάθος μιας χαράδρας, σε κατά πλάτος τομή, έχουν σχέση 1:1. Στο αρχικό στάδιο σχηματισμού το βάθος είναι μεγαλύτερο του πλάτους, ενώ σε προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης συμβαίνει το αντίθετο. Το πλάτος μιας αυλάκωσης είναι συνήθως μεγαλύτερο του βάθους, παρά το γεγονός ότι υπάρχουν και περιπτώσεις που η διαφορά αυτή είναι μικρή.

Οι περιπτώσεις αυτές αφορούν το στάδιο έναρξης της χαραδρωτικής διάβρωσης. Μακρές περιόδους ισχυρής χαραδρωτικής διάβρωσης οδηγούν στη δημιουργία γαιομορφών που ονομάζονται **λαγκάδια ή φαράγγια**. Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν πολύ βάθος και σχετικά απότομα τοιχώματα, αλλά το μέγεθος τους είναι μικρότερο από αυτό των κοιλάδων. Άλλο είδος διάβρωσης από νερό παρατηρείται σε επιφάνειες με μικρή κλίση, με τύπο αυλακώσεων μαιανδρικής μορφής.

Ανάπτυξη χαραδρώσεων: Η ταχύτητα ανάπτυξης χαραδρώσεων σε μια περιοχή εξαρτάται (1) από το ποσό, τη συγκέντρωση και την ταχύτητα του νερού απορροής και (2) την αντίσταση στη διάβρωση του επιφανειακού εδάφους. Το γεγονός αυτό προϋποθέτει την ύπαρξη ενός ή περισσοτέρων από τους παρακάτω παράγοντες.

- **τη διαμόρφωση του ανάγλυφου** (επηρεάζει τη συγκέντρωση του νερού)
- **τη λεκάνη απορροής της χαράδρας** (επηρεάζει το ποσό του νερού απορροής). **την κλίση της επιφάνειας** (επηρεάζει την ταχύτητα και το πάχος της επιφανειακά κινούμενης υδάτινης στιβάδας)
- **την ευαισθησία στη διάβρωση** του επιφανειακού εδάφους και υπεδάφους.

Επειδή η ενέργεια διάβρωσης ενός στροβιλοειδούς υδάτινου ρεύματος αυξάνει 4 φορές όταν η μέση ταχύτητα αυξάνει 2 φορές, ένα συγκεντρωμένο στροβιλοειδές υδάτινο ρεύμα μέσα στη χαράδρα έχει μεγάλη ενέργεια και κατά συνέπεια ικανότητα ταχείας και σε βάθος αυλάκωσης.

Μορφή χαράδρας: Η μορφή της κατά πλάτος τομής μιας χαράδρας εξαρτάται από την ισορροπία που θα επέλθει μεταξύ αυλάκωσης και απογύμνωσης. Η αυλάκωση σε βάθος θα προχωρήσει γρήγορα σε υλικά μικρής αντίστασης. Το βασικό επίπεδο πρέπει να είναι αρκετά χαμηλά ή να χαμηλώσει αρκετά γρήγορα, όπως στην περίπτωση του αναγεννώμενου ανάγλυφου. Εξάλλου η απογύμνωση θα προχωρήσει ταχύτερα σε υλικά μικρής συνοχής, ή μικρής διαπερατότητας, ή σε έδαφος του οποίου τα στερεά τεμαχίδια παρουσιάζουν ομοιομορφία μεγέθους. Η σταθερότητα των τοιχωμάτων μιας χαράδρας εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- το ύψος του τοιχώματος
- τη κλίση του τοιχώματος
- τοπικών σεισμών
- συνοχή του υλικού
- γρήγορες αλλαγές στη στάθμη του νερού
- αποσάθρωση των πετρωμάτων, διάγκωση και συρρίκνωση της αργίλου

- χαλάρωση του πετρώματος λόγω διαβροχής από νερό πηγής και υπόγειας διάβρωσης.

Όλοι αυτοί οι παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν κατάρρευση του τοιχώματος. Στη διάρκεια ανάπτυξης μιας χαράδρας διακρίνουμε τα παρακάτω 4 στάδια (Bergsma, 1971):

- Το πρώτο στάδιο είναι η συγκέντρωση του νερού που έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας βαθιάς αυλάκωσης. Στο στάδιο αυτό ο έλεγχος είναι ακόμα δυνατός.
- Το δεύτερο στάδιο είναι η αυλάκωση στο βάθος του C ορίζοντα που είναι ταχεία σε περίπτωση υλικού μη ανθεκτικού στη διάβρωση. Γη η οποία θεωρείται καλά προστατευμένη μπορεί να απειληθεί επικίνδυνα από την ανάπτυξη της "κεφαλής" των χαραδρώσεων. Ο κίνδυνος διάβρωσης επίπεδων περιοχών που βρίσκονται στο επάνω τμήμα των χαραδρώσεων, μπορεί να γίνει γρήγορα πολύ μεγάλος.
- Το τρίτο στάδιο είναι η επιβράδυνση της διάβρωσης και η τάση της χαράδρας να έρθει σε ισορροπία με το τοπικό βασικό επίπεδο.
- Το τέταρτο στάδιο είναι αυτό της δημιουργίας νέου επιφανειακού εδάφους που θα καλύψει τη δημιουργηθείσα διάβρωση.

Τα στάδια αυτά μπορεί να συμβαίνουν συγχρόνως σε μια και μόνη χαράδρα. Τα νεότερα στάδια παρατηρούνται στην κεφαλή της χαράδρας και τα πιο προχωρημένα στα χαμηλότερα σημεία της. Σε μερικές όμως περιπτώσεις αυτή η σχέση μεταξύ ηλικίας και απόστασης από τη κεφαλή της χαράδρας δεν είναι τόσο απλή, γεγονός που οφείλεται στην επίδραση των πλευρικών αυλακώσεων, διαφορετικού υπεδάφους, κατολισθήσεων τοιχωμάτων, ύπαρξης περασμάτων ζώων, τοπικής αναγέννησης διάβρωσης, κ.λπ.

Οι χαράδρες μπορεί να φθάσουν τις διαστάσεις μιας κοιλάδας. Οι διαφορές μεταξύ μιας χαράδρας και μιας κοιλάδας εντοπίζονται κυρίως (1) στο μέγεθος, (2) στην περιοδικότητα των χειμάρων, (3) στην ύπαρξη πολλών βασικών επιπέδων και (4) στη μεγαλύτερη αστάθεια των τοιχωμάτων μιας χαράδρας.

Ταξινόμηση χαραδρών: Η ταξινόμηση των χαραδρών γίνεται κυρίως με βάση το αποτέλεσμα που προκαλούν στη γεωργική γη και τον κίνδυνο που αντιπροσωπεύουν. Το βάθος και το μήκος μιας χαράδρας σχετίζεται περισσότερο με τον κίνδυνο διάβρωσης από ότι το πλάτος, ενώ και τα τρία αυτά χαρακτηριστικά είναι ορατά στις αεροφωτογραφίες.

Με σκοπό να εκτιμήσουμε τον κίνδυνο χαραδρωτικής διάβρωσης είναι απαραίτητη η μελέτη των παρακάτω χαρακτηριστικών.

- της λεκάνης απορροής της χαράδρας
- της κλίσης του υδάτινου ρεύματος
- του ύψους των βροχοπτώσεων
- της πιθανότητας πρόσκρουσης των σταγόνων της βροχής στα τοιχώματα της χαράδρας
- της αύξησης της κλίσης
- της κλίσης της χαράδρας
- της φυτικής κάλυψης.

Ταξινόμηση ανάλογα με το βάθος: Η επίδραση της χαράδρας στις καλλιέργειες και τις καλλιεργητικές φροντίδες εξαρτάται από τις διαστάσεις της χαράδρας, μια από τις οποίες είναι και το βάθος.

Μικρή: <0,90 μ.

Μέση : 0,90-4,5 μ.

Μεγάλη: >4,5 μ.

Ταξινόμηση ανάλογα με τη μορφή: Οι διεργασίες της απογύμνωσης και της αυλάκωσης εξαρτώνται από τη σταθερότητα του υλικού των τοιχωμάτων της χαράδρας.

- ρηχές χαράδρες V
- σχήματος U
- σχήματος ανοικτού U

Η μορφή της χαράδρας επηρεάζεται από (1) το έδαφος (συνοχή, αντίσταση, διηθητικότητα), (2) το κλίμα (π.χ. ραγδαίες βροχοπτώσεις), (3) το χρόνο (κατολισθήσεις, βλάστηση) και (4) την τοπογραφία (αλληλεπίδραση της επιφανειακής διάβρωσης). Η μορφή ενός δικτύου χαραδρών και η πυκνότητά του, είναι σημαντικά χαρακτηριστικά, τα οποία αντανακλούν το χαρακτήρα του υλικού.

Η πυκνότητα του δικτύου εξαρτάται από:

- το σύνολο της βροχοπτώσης
- τη διαπερατότητα
- την αντοχή στη διάβρωση
- την κλίση

Ταξινόμηση ανάλογα με τον κίνδυνο διάβρωσης: Η πιθανότητα ανάπτυξης χαραδρωτικής διάβρωσης στο μέλλον μπορεί να ταξινομηθεί όπως παρακάτω:

- μικρός κίνδυνος
- μέσος κίνδυνος
- σοβαρός κίνδυνος
- πολύ σοβαρός κίνδυνος

Η ταξινόμηση γίνεται ε σχέση με (1) τη λεκάνη απορροής, (2) την κλίση και (3) την ηλικία και τη μορφή των υπάρχοντων χειμάρρων.

Ταξινόμηση ανάλογα με την κλίση της χαράδρας: Είναι πρακτικό να διακρίνουμε ορισμένες κατηγορίες χαραδρών με βάση την κλίση τους όπως:

- μεγάλης κλίσης
- μέσης κλίσης
- μικρής κλίσης

Ταξινόμηση ανάλογα με την ηλικία: Υπάρχουν 4 στάδια (ηλικίες) ανάπτυξης. Η πραγματοποίηση μέτρων βελτίωσης ή σταθεροποίησης εξαρτάται και από τα στάδια αυτά: Ο ειδικός πρέπει με προσοχή να αναγνωρίσει όχι μόνο το στάδιο στο οποίο βρίσκεται η χαράδρα, αλλά και το χρονικό διάστημα στο οποίο εξελίσσεται, για να σχεδιάσει με το μικρότερο δυνατό κόστος την βελτίωση (Πίνακας 4.1).

Πίνακας. 4.1. Δυνατότητα ελέγχου χαράδρας ανάλογα με το στάδιο ωρίμανσης

Χαρακτηριστικά	Δυνατότητα ελέγχου	Στάδιο
αυλάκωση επιφανειακή	γέννηση χαράδρας	+++
Διάνοιξη χαράδρας προς τα πάνω	πρόσφατη χαράδρα	-
διαπλάτυνση, κλίση	ώριμη χαράδρα	+
σταθεροποίηση	παλαιά χαράδρα	++

+++ελέγχεται, ++δυνατό να ελεγχθεί, + μικρός έλεγχος, - δυσκολία ελέγχου.

4.6. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Οι παράγοντες που επιδρούν στη διάβρωση των εδαφών είναι σχεδόν όμοιοι με τους εδαφογενετικούς παράγοντες, ενώ η σχέση τους είναι καθαρά ανταγωνιστική σχέση μεταξύ των παραγόντων διάβρωσης και των εδαφογενετικών φαίνονται στον πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2. Σχέση μεταξύ παραγόντων διάβρωσης και εδαφογένεσης

Εδαφογενετικός παράγοντας	Εμφάνιση στις Α/Φ	Παράγοντες διάβρωσης	Εμφάνιση στις Α/Φ
κλίμα	ενδείξεις	κλίμα	ενδείξεις
μητρικό υλικό	ενδείξεις	μητρικό υλικό	ενδείξεις
τοπογραφία	σαφής	κλίση	σαφής
βλάστηση	σαφής	φυτική κάλυψη	σαφής
χρόνος	ενδείξεις	χρόνος	ενδείξεις
άνθρωπος	ενδείξεις	καλλιεργητικές φροντίδες	ενδείξεις
εδαφοκατατομή	ενδείξεις	εδαφοκατατομή	ενδείξεις
		σεισμοί	αναγνώριση κατολισθήσεων

Οι δύο ανταγωνιστικές διεργασίες της διάβρωσης και της εδαφογένεσης δρουν συγχρόνως και το αποτέλεσμα της δράσης αντανακλάται στα χαρακτηριστικά της εδαφοκατατομής. Σε ορισμένες περιπτώσεις η διάβρωση υπερισχύει της εδαφογένεσης, ενώ άλλες φορές συμβαίνει το αντίθετο.

Η σχέση μεταξύ των διεργασιών αυτών εξηγεί και το γεγονός ότι η φωτοερμηνεία για τη χαρτογράφηση της διάβρωσης, κάνει χρήση σχεδόν των ίδιων μεθόδων και τεχνικών με αυτούς της εδαφολογικής χαρτογράφησης. Πιο αναλυτικά οι σχέσεις μεταξύ των παραγόντων διάβρωσης και εδαφογένεσης, η εμφάνιση τους στις αεροφωτογραφίες και τα στοιχεία του τοπίου που δίνουν ορισμένα συμπεράσματα για τους παράγοντες αυτούς δίνονται στον πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3. Παράγοντες διάβρωσης και τρόπος εμφάνισης τους στις αεροφωτογραφίες

Εδαφογενετικοί παράγοντες	Παράγοντες Διάβρωσης	Στοιχεία	Εμφάνιση στις αεροφωτογραφίες	Παρατηρούμενα στοιχεία των Α/Φ
Κλίμα	Κλίμα	Βροχόπτωση, ποσό, ένταση, διαστήματα ανομβρίας, ταχύτητα και διάρκεια ανέμου	Ενδείξεις	Βλάστηση, μορφή αναγλύφου, υδρογραφικά δίκτυα, χρήση γης
Μητρικό υλικό	Μητρικό υλικό	Υπεδάφεια διάβρωση, αποσάθρωση	»	Βλάστηση, μορφή αναγλύφου, υδρογραφικά δίκτυα
Τοπογραφία	Κλίση	Μορφή, βάθος, μήκος, έκταση	Σαφής	Κλίση
Βασική βλάστηση	Φυτική κάλυψη	Είδος, βαθμός, περίοδοι κάλυψης	»	Φωτογραφικός τόνος και υφή τόνου
Χρόνος	Παρούσα διάβρωση	Ανάπτυξη διάβρωσης «διάβρωση προκαλεί διάβρωση», ηλικία χαραδρών, σταθεροποίηση χαραδρών	»	Υδρογραφικά δίκτυα, φωτογραφικός τόνος και υφή τόνου
Άνθρωπος	Άνθρωπος	Κακή διαχείριση γης, εξαντλητική βόσκηση, φωτιές	Ενδείξεις ή σαφής	Υδρογραφικά δίκτυα, κατανομή αγροτεμαχίων, τεχνικά έργα
Εδαφοκατατομή	Εδαφοκατατομή	Υπεδάφεια διάβρωση, διηθητικότητα, υδατοϊκανότητα, σταθερότητα συσσωματωμάτων	Ασαφής	---
	Σεισμοί, κατολισθήσεις	Κατολισθήσεις, ερπυσμός	Σαφής	Μορφή αναγλύφου και μικροαναγλύφου

Περιγραφή παραγόντων διάβρωσης

Κλίμα: Το κλίμα δεν είναι στην πραγματικότητα ορατό στις αεροφωτογραφίες, αλλά ορισμένα συμπεράσματα είναι δυνατό να εξαχθούν με βάση το ανάγλυφο, τη φυσική βλάστηση και τη χρήση γης. Το ύψος όμως της βροχόπτωσης και η ετήσια κατανομή της μπορεί να υπολογιστεί μόνο με μακροχρόνιες μετρήσεις. Για τη μελέτη της διάβρωσης το κλίμα πρέπει να χαρακτηριστεί με λεπτομέρεια. Από τις πολλές παραμέτρους που χρησιμοποιούνται, οι παρακάτω φαίνονται να ανταποκρίνονται καλύτερα στις ανάγκες για τη μελέτη της διάβρωσης (Wischmeier, 1962).

1. Το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης.
2. Η μέση ένταση (συμπεριλαμβανομένων και των περιόδων ανομβρίας).
3. Η μέση ένταση (της πραγματικής περιόδου βροχοπτώσεων)
4. Η μέση ένταση των ραγδαίων βροχοπτώσεων.
5. Η συνολική ένταση των ραγδαίων βροχοπτώσεων.

Η σημασία της έντασης των ραγδαίων βροχοπτώσεων που χαρακτηρίζονται από μεγάλο όγκο νερού σε μικρό χρονικό διάστημα φαίνεται από το παρακάτω παράδειγμα. Η συνολική απώλεια εδάφους από χωράφια με βαμβάκι ήταν π.χ. 21 τόννοι σε διάστημα ενός έτους, από αυτούς 12 τόνοι απωλέστηκαν μέσα σε δυο μέρες.

Στην περίπτωση των ραγδαίων βροχοπτώσεων η βροχή πέφτει σε σταγόνες μεγάλου βάρους και κινητικής ενέργειας.

Τα συσσωματώματα του εδάφους διαλύονται σε μικρά τεμαχίδια και η δομή του επιφανειακού ορίζοντα καταστρέφεται. Τα τεμαχίδια του εδάφους απομακρύνονται από το νερό απορροής ή σφραγίζουν τους επιφανειακούς πόρους, με αποτέλεσμα τη μείωση της διηθητικότητας και την αύξηση της απορροής.

Οι πιο καταστρεπτικές βροχές είναι αυτές που χαρακτηρίζονται από μεγάλη ένταση και μεγάλο χρονικό διάστημα. Μια βροχόπτωση έντασης 0,7 χλσ/ώρα και διάρκειας 30 ωρών μπορεί να προκαλέσει απώλεια 0,4 τόννους/10 στρέμματα, ενώ μια βροχόπτωση έντασης 7,1 χλσ/ώρα και διάρκειας μόνο 2 ωρών μπορεί να προκαλέσει απώλεια εδάφους 51 τόννους/10 στρέμματα (Baver, 1948).

Το συμπέρασμα είναι ότι η ένταση της βροχής έχει μεγαλύτερη σημασία για τη διάβρωση απ ό τι το συνολικό ύψος βροχόπτωσης. Με την αύξηση όμως του όγκου του νερού μιας βροχόπτωσης, η ένταση μειώνεται λόγω εξάντλησης του διαθέσιμου νερού σε μικρό χρονικό διάστημα.

Η κατάσταση υγρασίας του εδάφους κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης επιδρά στο ποσοστό απορροής. Η απορροή είναι μεγαλύτερη όταν το έδαφος είναι υγρό γιατί η υδατοικανότητά του είναι περιορισμένη. Στο παρακάτω παράδειγμα φαίνεται καθαρά ότι η δεύτερη βροχή με το 1/3 της έντασης της πρώτης, προκάλεσε μεγαλύτερη διάβρωση, λόγω μεγαλύτερης απορροής (Πίνακας. 4.4).

Πίνακας. 4.4. Απώλεια εδάφους ανάλογα με την ένταση της βροχόπτωσης και την κατάσταση υγρασίας του

Ημερομηνία	Βροχόπτωση	Διάρκεια	Απορροή	Διάβρωση σε τόνους/10στρ.	Ένταση
23.12.1959	26χλσ.	30"	5%	1,0	52χλσ/ώρα
24.12.1959	24χλσ.	90"	39%	3,3	16χλσ/ώρα

Η κατανομή των βροχοπτώσεων σε σχέση με την κάλυψη του εδάφους που παρέχουν οι καλλιέργειες στις διάφορες εποχές, είναι επίσης άλλος ένας σημαντικός για τη διάβρωση του

εδάφους παράγοντας. Π.χ. μια χειμωνιάτικη καλλιέργεια μπορεί να χρησιμεύσει για την προστασία του εδάφους από τις ραγδαίες βροχές.

Κλίση: Η κλίση είναι ένας σοβαρός παράγοντας της διάβρωσης του εδάφους που επιδρά όχι τόσο στην έναρξη της διάβρωσης όσον στην ταχύτητα της.

Όταν η κλίση είναι κάτω από 10% τότε ο διπλασιασμός της (π.χ. από 4% σε 8%) σημαίνει σχεδόν διπλασιασμός της απώλειας εδάφους. Η αύξηση αυτή εξαρτάται βέβαια και από την ένταση της βροχής. Σε πιο απότομες κλίσεις η διαφοροποίηση του βαθμού κλίσης έχει σχετικά μικρότερη επίδραση στο ποσοστό απώλειας εδάφους από ότι στην προηγούμενη περίπτωση. Η σχέση μεταξύ απώλειας εδάφους και βαθμού κλίσης έχει σχήμα S. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει αύξηση του ποσοστού απώλειας εδάφους μέχρι κλίση 30-40%, ενώ στη συνέχεια η απώλεια εδάφους μειώνεται.

Η κλίση και οι κλάσεις κλίσης δεν έχουν τόσο μεγάλη σημασία για την έναρξη της διάβρωσης, γιατί διάβρωση μπορεί να αρχίσει σε οποιαδήποτε κλίση όταν η επιφάνεια του εδάφους δεν είναι προστατευμένη. Αυτό σημαίνει ότι η μελέτη της κάλυψης του εδάφους έχει μεγάλη σημασία. Ο βαθμός κλίσης έχει μεγάλη σημασία στην ταχύτητα διάβρωσης και τα αποτελέσματα είναι περισσότερο καταστρεπτικά στις απότομες κλίσεις.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της κλίσης, το μήκος της, είναι επίσης σημαντικός παράγοντας της διάβρωσης του εδάφους. Μια τριπλάσια σε μήκος κλίση δέχεται τριπλάσιο όγκο νερού. Ακόμη και όταν η % απορροή παραμένει η ίδια, το ποσό του νερού που κυλά στην επιφάνεια είναι τρεις φορές περισσότερο. Η ταχύτητα επίσης του νερού θα είναι μεγαλύτερη σε μια μεγάλη κλίση απ' ό,τι σε μια μικρότερη και κατά συνέπεια η διαβρωτική ενέργεια του νερού θα είναι μεγαλύτερη. Από την άλλη πλευρά το υλικό που διαβρώνεται από το επάνω τμήμα της κλίσης προστατεύει από τη διάβρωση το κατώτερο τμήμα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αύξηση του διαθέσιμου φορτίου που μειώνει (εξουδετερώνει) μέρος της διαβρωτικής ενέργειας του νερού.

Η επίδραση του μήκους της κλίσης διαφοροποιείται ανάλογα και με την διηθητικότητα του εδάφους, ένταση της βροχής, δομή, κ.λ.π. Όταν λαμβάνεται υπ όψη η συνολική βροχοπτώση τότε δεν φαίνεται να υπάρχει σχέση μεταξύ της απορροής και του μήκους της κλίσης. Όταν όμως γίνει διάκριση μεταξύ βροχοπτώσεων με μεγάλη και μικρή ένταση, τότε η σχέση με το μήκος της κλίσης γίνεται σαφής. Μια αύξηση στο μήκος της κλίσης προκαλεί αύξηση στην απορροή και στο βαθμό διάβρωσης, στην περίπτωση βροχοπτώσεων με μεγάλη ένταση (Πίνακας 4.5). Στις περιπτώσεις αυτές η ικανότητα διήθησης μειώνεται λόγω της ισχυρής πρόσκρουσης των σταγόνων της βροχής στο έδαφος. Επίσης η περίσσεια νερού δημιουργείται σε μικρότερο χρόνο, το ποσοστό απορροής και η ροή του γίνεται με μεγαλύτερη ταχύτητα.

Πίνακας 4.5. Απώλεια εδάφους από διάφορα τμήματα μιας κλίσης (FAO, 1965)

Τμήμα κλίσης (μέτρα)	Απώλεια εδάφους (μετρικοί τόνοι)
0-23	0,91
23-46	1,65
46-69	2,13
69-92	2,52

Αντίθετα, κάτω από συνθήκες βροχοπτώσης μικρής έντασης, αύξηση στο μήκος της κλίσης έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του ποσοστού απορροής και κατά συνέπεια της διάβρωσης. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι το μεγάλο μήκος κλίσης, σε περίπτωση ήπιας βροχοπτώσης, δίνει μεγαλύτερη ευκαιρία για απορρόφηση του νερού.

Από τον πίνακα 4.5 φαίνεται η αύξηση της διάβρωσης σε κλίση μεγάλου μήκους λόγω αύξησης του συνολικού όγκου του νερού, της αύξησης του ποσοστού απορροής και της ταχύτητας του κινούμενου νερού.

Η βλάστηση: Η επίδραση της χαμηλής βλάστησης και των δένδρων στη μείωση ή την πρόληψη της

διάβρωσης οφείλεται (1) στην παρεμπόδιση της πρόσκρουσης των σταγόνων της βροχής στο έδαφος, (2) στη μείωση της ταχύτητας του νερού απορροής και (3) στη βελτίωση των εδαφικών ιδιοτήτων.

Πιο ειδικά η επίδραση της βλάστησης στην πρόληψη της διάβρωσης των εδαφών οφείλεται:

- 1 στην ανάσχεση της βροχής πριν χτυπήσει το έδαφος.
- 2 στην βελτίωση της βιολογικής δραστηριότητας. Η βιολογική δραστηριότητα, μαζί με την οργανική ουσία, έχουν σημαντική επίδραση στην διηθητικότητα του εδάφους και στη σταθερότητα των συσσωματωμάτων.
- 3 στη μείωση της ταχύτητας του νερού απορροής.
- 4 στη συνένωση των εδαφικών τεμαχιδίων με τη βοήθεια των ριζών.
- 5 στη μείωση της εδαφικής υγρασίας με την εξάτμιση, έτσι ώστε περισσότερο νερό από την επόμενη βροχόπτωση μπορεί να εισδύσει στο έδαφος.

Ιδιότητες της βλάστησης που είναι ενδεικτικές της επίδρασης της στη διάβρωση και οι οποίες μπορούν να μελετηθούν στις αεροφωτογραφίες είναι:

- 1 η πυκνότητα του δασικού φυλλώματος.
- 2 η πυκνότητα χλόης ή χαμηλής φυτικής κάλυψης
- 3 ο τύπος φυτών.

Δάσος και φυσική βλάστηση: Δένδρα με φύλλωμα που σχηματίζουν κλειστούς "θόλους" και φυτά σε πυκνή διάταξη εμποδίζουν την άμεση πρόσκρουση της βροχής στο έδαφος.

Επίσης εδάφη με φυσική βλάστηση συνήθως δέχονται ένα μεγάλο όγκο φυτικών υπολειμμάτων τα οποία, ειδικά στην περίπτωση των φυλλοβόλων δένδρων, χρησιμεύουν ως τροφή των διαφόρων ζώων του εδάφους, τα οποία με τη σειρά τους δημιουργούν ικανοποιητικό πορώδες στο έδαφος.

Το παρακάτω παράδειγμα δίνει μια εικόνα της επίδρασης της βλάστησης, στην μείωση της απώλειας του εδάφους (Πίνακας 4.6).

Πίνακας 4.6. Μείωση της απώλειας εδάφους λόγω φυτικής κάλυψης

% φυτική κάλυψη	% κλίση	% απορροή	απώλεια εδάφους σε τον/10 στρ.
20	20	29	12
20	24	24	12
40-60	35	45	4
100	36	6,9	0,025
100	36	4	0,025

Η δασική βλάστηση δεν είναι πάντα αποτελεσματική στη μείωση του ποσοστού απορροής και κατά συνέπεια σαν μέσο πρόληψης ή βελτίωσης. Αυτό εξαρτάται και από το ποσοστό της χαμηλής βλάστησης που καλύπτει το έδαφος, π.χ. γρασίδι, θάμνοι κ.λπ. Όταν το νερό απορροής συγκεντρώνεται σε μια τοποθεσία ψηλότερα από το δάσος, είναι δυνατό να ρέει διαμέσου των δένδρων προκαλώντας διάβρωση.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της βλάστησης, ορατό στις αεροφωτογραφίες, είναι το ποσοστό κάλυψης οποιουδήποτε φυτού. Στην περίπτωση του δάσους θα πρέπει να προσδιορίζεται και το ποσοστό κάλυψης από χαμηλή βλάστηση.

Η καλλιέργεια γεωργικών φυτών έχει πολλές φορές ως αποτέλεσμα ισχυρή διάβρωση του εδάφους λόγω:

- (1) της μικρής πυκνότητας κάλυψης,
- (2) της περιόδου ανάπτυξης και
- (3) της καλλιέργειας σε αυλάκια με διεύθυνση κατά μήκος της κλίσης και όχι κάθετα προς αυτήν.

Για να αποδείξει την μείωση της απώλειας εδάφους σε περίπτωση καλής φυτικής κάλυψης, ο Bayer (1942) χρησιμοποίησε δίκτυ σε ύψος 10 εκ. από το χωράφι. Οι σταγόνες της βροχής δεν μπορούσαν να πλήξουν απευθείας το έδαφος, αλλά χτυπούσαν στο δίκτυ και στη συνέχεια κυλούσαν στο έδαφος με μικρότερη ταχύτητα και μέγεθος. Το αποτέλεσμα ήταν η μείωση της διάβρωσης από 6,7 τόνους/στρέμμα σε 0,7 τόνους/στρέμμα.

Ιδιότητες των εδαφών: Οι ιδιότητες των εδαφών που έχουν σχέση με το ποσοστό απορροής και την απώλεια του εδάφους είναι:

- **Διηθητικότητα**
- **Διαπερατότητα**
- **Υδατοικανότητα**

Αυτές οι τρεις ιδιότητες έχουν σχέση με το πορώδες. Το σχήμα και η διάμετρος των πόρων, η σταθερότητα τους με τις αλλαγές της υγρασίας, είναι σημαντικά χαρακτηριστικά.

- **Σταθερότητα σύσσωματων**
- **Αδρόκοκκη αφή στην επιφάνεια**

Η σταθερότητα των συσσωματωμάτων και η ύπαρξη αδρόκοκκου υλικού προστατεύουν το έδαφος από την πρόσκρουση των σταγόνων και τη διαβρωτική ενέργεια του νερού απορροής.

Από το γεγονός ότι οι εδαφικές ιδιότητες που είναι σπουδαίες για τη διάβρωση συνήθως εξετάζονται κατά τη διάρκεια μιας εδαφολογικής έρευνας, προτείνεται όπως η εδαφολογική έρευνα αποτελέσει, με τη μελέτη και άλλων χαρακτηριστικών, τη βάση της έρευνας για τη διάβρωση των εδαφών. Οι ιδιότητες των εδαφών που είναι οι πιο βασικές για τη διάβρωση των εδαφών είναι η διηθητικότητα και η σταθερότητα των συσσωματωμάτων.

Διηθητικότητα: Η διηθητικότητα εκφράζεται συνήθως ως (1) ικανότητα διήθησης (σταθερή τιμή διηθητικότητας μετά από κάποια χρονική στιγμή βροχόπτωσης) και (2) την τιμή διηθητικότητας, που σημαίνει το ποσό του διηθούμενου νερού σε μια χρονική στιγμή. Η διήθηση λαμβάνει χώρα δια μέσου των πόρων του εδάφους και στην περίπτωση των αργιλωδών εδαφών και δια μέσου των ρωγμών, άσχετα αν το τελευταίο αποτελεί μια προσωρινή κατάσταση. Το ποσοστό των πόρων και η κατανομή του μεγέθους τους εξαρτάται σημαντικά από τις ρίζες των φυτών και την πανίδα του εδάφους.

Η διαπερατότητα του εδάφους εξαρτάται από τον λιγότερο διαπερατό ορίζοντα της εδαφοκατατομής. Η ένταση της βροχόπτωσης είναι δυνατό να υπερβαίνει την τιμή διαπερατότητας. Το πορώδες μπορεί να μεταβληθεί με την επίδραση της βροχής λόγω (1) μη σταθερότητας, (2) διόγκωσης και (3) σφραγίσματος από λεπτά τεμαχίδια ιλύος και αργίλου.

Η κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους παίζει σημαντικό ρόλο στην τιμή διηθητικότητας. Στην περίπτωση αυτή η δομή είναι ο βασικός παράγοντας. Η μείωση της διήθησης με το χρόνο εξαρτάται κατά μεγάλο ποσοστό από την επιδείνωση της διήθησης στην επιφάνεια. Η επιδείνωση αυτή μπορεί να οφείλεται (1) στην δημιουργία κρούστας, (2) στο σφράγισμα των πόρων και (3) στο ψύχος στην περίοδο του χειμώνα.

Σταθερότητα των συσσωματωμάτων: Η σταθερότητα των εδαφικών συσσωματωμάτων σχετίζεται με:

- 1 την οργανική ουσία
- 2 την βιολογική δραστηριότητα
- 3 την μηχανική σύσταση

4 τον τύπο της αργίλου, το είδος των ενναλακτικών κατιόντων και το ποσοστό των ελευθέρων αλάτων.

Τα χαρακτηριστικά των εδαφικών συσσωματωμάτων που πρέπει να εξετάζονται είναι (1) ο αριθμός, (2) το μέγεθος και (3) το πορώδες τους. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τόσο σημαντικά όσο και η μηχανική σύσταση των εδαφών. Σε μερικές περιπτώσεις αμμώδη εδάφη παρουσιάζουν καλύτερη δομή από αργιλώδη. Εάν ληφθεί υπόψη μόνο η μηχανική σύσταση, τα αποτελέσματα από την μελέτη της διάβρωσης μπορεί να είναι αντίθετα απ'ότι αναμενόταν. Η διαφορά μπορεί να οφείλεται στη δομή και στο πορώδες.

Η σταθερότητα της δομής διαφοροποιείται νωρίτερα από την διαπερατότητα. Η διαφοροποίηση της διαπερατότητας οφείλεται στην μεταβολή της σταθερότητας των συσσωματωμάτων. Ο κίνδυνος διάβρωσης μπορεί να ταξινομηθεί όπως στον πίνακα 4.7.

Πίνακας 4.7. Ταξινόμηση κινδύνου διάβρωσης με βάση ορισμένες ιδιότητες των εδαφών (Richter από Bergsma, 1971-Part)

Μηχανική σύσταση, μητρικό υλικό, αδρόκοκκα συστατικά	Κλάσεις κινδύνου διάβρωσης Βαθμοί κλίσης			
	12°	12°-6°	5°-2°	2°-0°
Ιλυώδη, ιλοπηλώδη εδάφη. Λίγα αδρόκοκκα υλικά	A			
Ιλυώδη, αμμοπηλώδη και ιλοπηλώδη εδάφη που σχηματίστηκαν από Löss, αμμόλιθο, υλικά κατολισθήσεων, πηλούς παγετωνικής προέλευσης. Λίγα αδρόκοκκα υλικά	πολύ υψηλός	υψηλός	μέσος	μικρός
Λεπτόκοκκα πηλώδη προς πηλοαμμώδη, πηλοί, αργιλοπηλοί άργιλοι σε ποικιλία μητρικών υλικών. Λίγα αδρόκοκκα υλικά				πολύ μικρός
Ιλυώδη, αμμοπηλώδη, αργιλοπηλώδη, σχηματισθέντα από πυριγενή πετρώματα, ασβεστόλιθους, δολομίτες. Πλούσια σε αδρόκοκκα υλικά				

A=ημιμόνιμη γεωργία

4.7. ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

4.7.1. Βασικές έννοιες (Μανάκος, 1998 και Θεοχαρόπουλος, 1996)

Η διάβρωση είναι μια διεργασία δύο φάσεων (Morgan, 1979; Donahue et al., 1983; Lal, 1994 και Θεοχαρόπουλος, 1996) που προκαλείται από την κινητική και μηχανική ενέργεια της βροχής και του αρδευτικού νερού. Συνίσταται στην αποκόλληση ή διασπορά των εδαφικών συσσωματωμάτων και τη μετακίνησή τους με το κινούμενο νερό ή τον άνεμο. Όταν η ενέργεια κίνησης εξασθενεί τότε το μετακινούμενο υλικό αποτίθεται.

Ακόμα και στις περιπτώσεις έντονης διάβρωσης η απώλεια εδάφους ή η παραγωγή ιζημάτων περιορίζεται από τη μεταφορική ικανότητα της επιφανειακής απορροής. Καθώς το απορρέον νερό ρέει σε μια λεκάνης απορροής μεταβάλλεται η μεταφορική του ικανότητα, λόγω αλλαγών στην τοπογραφία, στη βλάστηση, καθώς και στα εδαφολογικά χαρακτηριστικά. Ως αποτέλεσμα προκύπτουν πολλές θέσεις για απόθεση.

Σύμφωνα με τους Lal and Elliot (1994) οι κυρίαρχες διαδικασίες που καθορίζουν τη διάβρωση είναι η διήθηση, η απορροή, η απόσπαση και μεταφορά με τις σταγόνες της βροχής και την ακανόνιστη επιφανειακή ροή, η απόσπαση και μεταφορά από συγκεντρωμένη ροή και η απόθεση.

Εξαιτίας της επιφανειακής τάσης του νερού η απορροή συγκεντρώνεται ρέοντας στις κατωφύριες, γεγονός που δημιουργεί αυλάκια και πιθανό χαράδρες, ακόμα και σε επίπεδη κλίση (Mutchler et al., 1994). Η διάβρωση περιλαμβάνει απόσπαση, μεταφορά και απόθεση των εδαφικών τεμαχιδίων από τις διαβρωτικές δυνάμεις των σταγόνων της βροχής και της επιφανειακής ροής του νερού.

Οι σταγόνες της βροχής προσπίπτουν σε μια επιφάνεια εδάφους με ορμή λόγω κινητικής ενέργειας και προσδίδουν ενέργεια σε εδαφικά σωματίδια τα οποία αποκολλώνται από μεγαλύτερα συσσωματώματα και εκτινάσσονται προς τα πάνω. Κατά την πτώση αυτών των αποκολλημένων τεμαχιδίων στο έδαφος μεταβιβάζεται η ενέργειά τους σε άλλα και έτσι το φαινόμενο της διάσπασης και εκτίναξης συνεχίζεται αλλά σε μικρότερη ένταση και έκταση. Ο Palmer (1964) διαπίστωσε ότι αυτός ο τύπος διάβρωσης (splash) μειώνεται με το πάχος της στρώσης του νερού. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην απορρόφηση της ενέργειας σύγκρουσης από τη στρώση του ύδατος και δεν επιδρά στα εδαφικά συσσωματώματα. Σαν κρίσιμο πάχος της στρώσης του νερού θεωρείται η διάμετρος της σταγόνας (Θεοχαρόπουλος, 1996).

Συχνά στα μοντέλα διάβρωσης διαιρείται η διαδικασία της διάβρωσης στις κλιτύες των λόφων σε σχετιζόμενους με μηχανισμούς ροής σε αυλάκες και με μηχανισμούς ροής ανάμεσα στις αυλάκες. Η αυλακωτή ροή μπορεί να αποσπά εδαφικά τεμαχίδια και η υδραυλική πίεση συνάφειας στην αυλάκα είναι ικανή να υπερνικά τις δυνάμεις συνοχής μεταξύ των ανεξάρτητων τεμαχιδίων στη μάζα του εδάφους. Η απόσπαση και μεταφορά των εδαφικών τεμαχιδίων συνεχίζεται ώσπου η ροή να συναντήσει ικανές υφέσεις του αναγλύφου, οι οποίες και θα επιβραδύνουν ή θα σταματήσουν την κίνηση του νερού και θα προκαλέσουν την απόθεση του μεταφερόμενου υλικού. Επιπλέον η ροή δυσχεραίνεται από μεγάλες πέτρες, χαλίκια και από την υπάρχουσα βλάστηση.

Η ροή στην αυλάκα δρα ως το μεταφορικό μέσο για τη μετακίνηση του αποσπασθέντος εδάφους, δηλαδή τα ιζήματα, είτε αυτά προέρχεται από τις περιοχές των αυλάκων είτε από τις περιοχές που βρίσκονται μεταξύ αυτών.

Η απόσπαση υλικού, στις μεταξύ των αυλάκων περιοχές, προκαλείται κυρίως από τη πρόσκρουση των σταγόνων της βροχής, αφού τα βάθη ροής σε ενδιάμεσες των αυλάκων περιοχών κατέχουν εξ ορισμού μηδαμινή διαβρωτική ικανότητα.

Η μεταφορά, σε ενδιάμεσες των αυλάκων περιοχών, γίνεται κυρίως με ευρεία ρηχή επιφανειακή ροή. Η ενέργεια που απαιτείται για να μετακινηθούν τα ιζήματα είναι πολύ μικρότερη απ' αυτή που χρειάζεται για την επί τόπου απόσπαση εδαφικών τεμαχιδίων. Η καθαρή μεταφορά με την πρόσκρουση του νερού της βροχής είναι πολύ μικρή με μια μικρή καθαρή κίνηση προς τα κατάντη της κλιτύος λόγω της επίδρασης της κλίσης.

Σύμφωνα με τους Savat (1977) και Morgan (1979) (από Θεοχαρόπουλο, 1996) τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της ροής περιγράφονται από τον αριθμό Reynolds (Re) και τον αριθμό του FRONDE (F) και καθορίζουν τη μεταφορική ικανότητα και κατά συνέπεια τη διάβρωση του εδάφους. Οι D'Souza & Morgan (1976) έδειξαν πειραματικά ότι οι απώλειες εδάφους ποικίλουν ανάλογα με τον αριθμό του Reynolds. Επίσης υπάρχει ένα όριο (threshold) στην ταχύτητα του νερού πάνω από την οποία αρχίζει η διάβρωση.

Το ολοκληρωμένο σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει την αρχική μετακίνηση του εδάφους από το σημείο της σύγκρουσης των σταγόνων της βροχής στα μικρά αυλάκια, στα μεγαλύτερα, στα εφήμερα κανάλια και τέλος στους συνεχώς ρέοντες ποταμούς. Η διάβρωση και η απόθεση ιζημάτων δύναται να λάβει χώρα σε οποιοδήποτε σημείο του συστήματος. Αυτή η διαδικασία καλείται γεωλογική διάβρωση όταν συμβαίνει χωρίς την επίδραση του ανθρώπου. Εναλλακτικά η διαδικασία καλείται επιταχυνόμενη διάβρωση σε περίπτωση που η ανθρώπινη δραστηριότητα προκαλεί αυξημένη διάβρωση (Mutchler et al., 1994).

Ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως (Στεφανίδης, 1995):

- στενώσεις κοιτών,
- «τσιμεντοποίηση» σημαντικών τμημάτων των λεκανών απορροής με αποτέλεσμα την αύξηση της απορροής σε ποσότητα και ταχύτητα,
- απόθεση μπαζών σε θέσεις που παρασύρονται από τις πλημμυρικές παροχές,
- επιχωματώσεις των κοιτών και κατασκευή ακατάλληλων χωματουργικών έργων,
- γεωργικές πρακτικές, όπως η καλλιέργεια περιοχών με μεγάλη κλίση και μάλιστα με παράλληλο όργωμα στην κλίση του αναγλύφου και η αποψίλωση της βλάστησης,

προκαλούν αύξηση της απορροής και κατ'επέκταση τη μεταφορική και διαβρωτική ικανότητα των ρεμάτων (Κουτσός, 1996).

4.7.2. Μελέτη της διάβρωσης των εδαφών

Η μελέτη της διάβρωσης των εδαφών έχει ως βάση τη συλλογή πληροφοριών, τους παράγοντες και τον κίνδυνο διάβρωσης. Όταν αναφερόμαστε στην χαρτογράφηση δεν εννοούμε βέβαια τη χαρτογράφηση της διεργασίας, αλλά των αποτελεσμάτων της, δηλαδή της απώλειας του επιφανειακού εδάφους και των χαραδρών.

Η φωτοερμηνεία μπορεί να βοηθήσει στο να γίνει η χαρτογράφηση πιο εύκολα, ταχύτερα, με μικρότερο κόστος και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Αυτό επιτυγχάνεται για το λόγο ότι η επιφανειακή διάβρωση και οι χαράδρες φαίνονται καθαρά σε μεγάλης κλίμακας εικόνες. Επίσης οι αεροφωτογραφίες δίνουν πολλές πληροφορίες για τους παράγοντες της διάβρωσης.

Είναι ευνόητο ότι η εργασία υπαίθρου είναι το ίδιο απαραίτητη όπως και στην εδαφολογική χαρτογράφηση. Το κλίμα, ορισμένες ιδιότητες των εδαφών, η υδρολογία, το βάθος του εδάφους, κ.λπ., εξετάζονται σχεδόν αποκλειστικά με εργασία υπαίθρου. Πολλά από τα στοιχεία διάβρωσης διακρίνονται στις αεροφωτογραφίες από το ορισμένο μέγεθος, δομή, υφή και τόνο τους. Μερικά από τα στοιχεία αυτά φαίνονται άμεσα (χαράδρες, αμμόλοφοι, ισχυρή επιφανειακή διάβρωση), ενώ άλλα έμμεσα.

Στις αεροφωτογραφίες η επιφανειακή διάβρωση φαίνεται μόνο όταν έχει προκαλέσει αντίθεση (κοντράστ) στο χρώμα του επιφανειακού ορίζοντα ή σοβαρή μείωση του ποσοστού φυτικής κάλυψης. Ένας υπεδάφειος ορίζοντας, που έχει χρώμα διαφορετικό από τον επιφανειακό, φαίνεται στις αεροφωτογραφίες μόνο όταν έχει απομακρυνθεί το επιφανειακό υλικό. Συνήθως στην περίπτωση αυτή η αντίθεση εκφράζεται με πιο ανοικτό τόνο. Ανοικτός τόνος παρατηρείται και στην περίπτωση που, λόγω διάβρωσης του λεπτού υλικού, επικρατούν τα χονδρόκοκκο συστατικά. Όταν μέρος του επιφανειακού εδάφους απομακρυνθεί, τότε η γονιμότητα, η υδατοικανότητα και το βάθος της εδαφοκατατομής μειώνονται. Αυτό έχει ως συνέπεια καχεκτική ανάπτυξη των φυτών και κατά συνέπεια διαφοροποίηση του τόνου της εικόνας. Η σημασία του φωτογραφικού τόνου στις

αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες στη μελέτη της διάβρωσης είναι πολύ μεγάλη.

Ανοικτός τόνος στις εικόνες μπορεί να οφείλεται:

- 1 στο χρώμα του επιφανειακού ορίζοντα (Α ή Β ορίζοντα).
- 2 στην απουσία βλάστησης.
- 3 στην ξήρανση του επιφανειακού εδάφους.
- 4 στην παρουσία εξάρσεων ασβεστόλιθου ή μεγάλης συγκέντρωσης ανθρακικού ασβεστίου.
- 5 στην παρουσία κρούστας αλάτων.
- 6 στο χιόνι.
- 7 στην ύπαρξη αδρόκοκκου υλικού.

Σκούρος τόνος στις εικόνες μπορεί να οφείλεται:

- 1 στην υγρασία του εδάφους.
- 2 στο πρόσφατο όργωμα.
- 3 στην πυκνότητα της βλάστησης.
- 4 στην παρουσία οργανικής ουσίας και οξειδίων του σιδήρου.
- 5 μικρού μεγέθους συσσωματώματα.

Η καλύτερη κλίμακα εικόνας για τη μελέτη της διάβρωσης είναι η 1:10.000 - 1:15.000. Στην κλίμακα αυτή η γραμμική διάβρωση (αυλακωτή και χαραδρωτική), καθώς και, η ισχυρότερη της μέτριας επιφανειακή, διάβρωση είναι δυνατό να αναγνωριστούν. Στις εικόνες κλίμακας 1:25.000 οι λεπτομέρειες ανάγλυφου και η αυλακωτή διάβρωση δεν είναι ευδιάκριτα, ενώ εξακολουθεί να υπάρχει η δυνατότητα αναγνώρισης της χαραδρωτικής και της ισχυρής επιφανειακής διάβρωσης. Σε κλίμακα 1:5.000 ή μεγαλύτερη, το πλήθος των λεπτομερειών μειώνει τη δυνατότητα χαρτογράφησης ενοτήτων διάβρωσης. Κλίμακα μικρότερη από 1:30.000 είναι χρήσιμη για αναγνωριστικούς μόνο σκοπούς.

Τα χαρακτηριστικά διάβρωσης που χρησιμοποιούνται για τη χαρτογράφηση διαβρωμένων εδαφών

Η παρουσία διάβρωσης στις εικόνες διαπιστώνεται (1) από το ποσοστό κηλίδων ανοικτού τόνου που υποδηλώνουν την έκπλυση του επιφανειακού ορίζοντα, (2) την παρουσία μεγάλων αυλακώσεων και (3) την παρουσία χαραδρών. Τα στοιχεία αυτά χαρακτηρίζουν την υφιστάμενη διάβρωση που τα αποτελέσματα της έχουν γίνει ήδη ορατά. Ένας άλλος παράγοντας που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί είναι ο παράγοντας διαβρώσης - K (Wischmeir, 1971), ο οποίος θα συζητηθεί πιο πολύ σε άλλο σημείο του βιβλίου.

Με βάση τα παραπάνω κριτήρια η διάβρωση του εδάφους μπορεί να ταξινομηθεί σε κλάσεις έντασης, με σύμβολα κατάλληλα να χρησιμοποιηθούν στο υπόμνημα του χάρτη και στις χαρτογραφικές μονάδες. Κλάσεις διάβρωσης και σύμβολα για τον χαρακτηρισμό τους δίνονται στον πίνακα 4.8 για διάφορες κλίμακες χαρτογράφησης. Είναι ευνόητο ότι αντί αριθμητικών συμβόλων μπορούν να χρησιμοποιηθούν γράμματα ή λατινικοί αριθμοί.

Χαρτογράφηση με αεροφωτογραφίες της υφιστάμενης διάβρωσης

Η υφιστάμενη διάβρωση μπορεί να αξιολογηθεί σε κλάσεις με ορισμένες απλές μετρήσεις και υπολογισμούς.

Επιφανειακή διάβρωση: Η ένταση της διάβρωσης εκφράζεται σε απώλεια εδάφους. Η συνολική απώλεια εδάφους κατά την προηγούμενη και τρέχουσα περίοδο έχει σημαντική επίδραση στην εδαφοκατατομή. Η έρευνα της διάβρωσης με μόνη την εργασία υπαίθρου ταξινομεί την διάβρωση σε κλάσεις ανάλογα με το % ποσοστό εδάφους που χάθηκε από τον επιφανειακό ορίζοντα ή από όλη την εδαφοκατατομή. Ο τρόπος αυτός δεν είναι δυνατό όταν χρησιμοποιούνται αεροφωτογραφίες.

Η % απώλεια του εδάφους εκφράζεται από την συνολική απώλεια κατά την οριζόντια και κάθετη έννοια. Η φωτοερμηνεία κάνει χρήση της οριζόντιας απώλειας του εδάφους που είναι ορατή στις εικόνες. Η κάθετη απώλεια φαίνεται έμμεσα με την εμφάνιση του Β ή C ορίζοντα, που με το ανοικτότερο χρώμα τους επηρεάζουν τον τόνο της αεροφωτογραφίας.

Η φωτοερμηνεία κάνει χρήση του κριτηρίου % **προσβεβλημένη επιφάνεια** που γενικά έχει σχέση με το ποσοστό απώλειας εδάφους και συγχρόνως δίνει ικανοποιητική εικόνα της επίδρασης της διάβρωσης στις γεωργικές καλλιέργειες. Τα ποσοστά που συνήθως χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν την επιφανειακή διάβρωση είναι 0, 25, 50, 75 και 100%.

Αυλακωτή διάβρωση: Το βάθος των αυλακώσεων φθάνει συνήθως τα 30-45cm και είναι δύσκολο μέσα σ'αυτά τα όρια να δημιουργηθούν κλάσεις έντασης αυλακωτής διάβρωσης.

Πίνακας 4.8. Υπόμνημα για χαρτογράφηση διάβρωσης από φωτοερμηνεία και για διάφορες κλίμακες

Περιγραφή (οπτική εκτίμηση)	Μεγάλη κλίμακα	Όνομα κλάσης	Μέση κλίμακα	Όνομα κλάσης	Μικρή κλίμακα	Όνομα κλάσης
Καθόλου διάβρωση αλλά απόθεση	00	απόθεση	(0)	Απόθεση		
Πλημμύρα, διάβρωση και απόθεση, αλληλοδιαδεχόμενες χρονικά και χωροταξικά	01	πλημμύρα, διάβρωση και απόθεση	(0)	Απόθεση και πλημμύρα		
Μη ορατή διάβρωση, εάν υπάρχει θα είναι πολύ μικρή επιφανειακή ή αυλακωτή ή και τα δύο	1	πολύ ελαφρά διάβρωση				
Μέτρια επιφανειακή ή μέτρια αυλακωτή διάβρωση και/ή ελαφρά χαραδρωτική	2	ελαφρά διάβρωση	1	ελαφρά διάβρωση		
Ισχυρή επιφανειακή, ισχυρή αυλακωτή ή και τα δύο, ελαφρά χαραδρωτική + μέτρια επιφανειακή και αυλακωτή διάβρωση	3	μέση διάβρωση	3	μέση διάβρωση	S	σοβαρή επιφανειακή διάβρωση
Μέση χαραδρωτική – ισχυρή επιφανειακή / αυλακωτή διάβρωση με ελαφρά χαραδρωτική	4	ισχυρή διάβρωση	5	ισχυρή διάβρωση	G	σοβαρή γραμμική διάβρωση
Ισχυρή χαραδρωτική διάβρωση, ισχυρή επιφανειακή/αυλακωτή με μέτρια χαραδρωτική διάβρωση	5	πολύ ισχυρή διάβρωση	5	ισχυρή διάβρωση	SG	και με σοβαρή επιφανειακή διάβρωση
Πολύ ισχυρή διάβρωση συνεχής για μεγάλο χρονικό διάστημα		Κατεστραμμένη γη		Κατεστραμμένη γη	GG	Κατεστραμμένη γη

Η ένταση της αυλακωτής διάβρωσης μπορεί να χαρακτηριστεί με βάση το ποσοστό παρουσίας τους, δηλαδή σε 0, 25, 50, 75 και 100%.

Μικρή χαραδρωτική διάβρωση: Το ποσοστό απώλειας εδάφους εξαρτάται από τον αριθμό, το βάθος και την κατά πλάτος τομή των χαραδρών. Με τη σειρά της η κατά πλάτος τομή εξαρτάται από το είδος και την αντίσταση του εδαφικού υλικού, την ηλικία της χαράδρας και το ποσοστό απογύμνωσης της γης. Οι παλιές χαράδρες έχουν αναπτύξει τοιχώματα συνήθως σταθερά και καλύπτονται από βλάστηση. Οι πιο ενεργητικοί τύποι χαραδρών είναι οι πρόσφατες με ασταθή τοιχώματα.

Σε προηγούμενο κεφάλαιο έχει αναπτυχθεί το θέμα της ταξινόμησης των χαραδρών. Κλάσεις εδάφους έχουν καθοριστεί με σκοπό το συσχετισμό τους με τη ζημία στη γεωργική γη. Ρηχές χαράδρες επιδρούν στις καλλιεργητικές φροντίδες, βαθιές χαράδρες εμποδίζουν την επικοινωνία,

ενώ πολύ βαθιές χαράδρες επιδρούν ακόμη και στην υδρολογία της περιοχής. Οι κλάσεις βάθους είναι 1-3m., 3-5m. και 5-10m.

Ας υποθέσουμε την ύπαρξη μιας χαράδρας με μέση κλίση των τοιχωμάτων της 1:1. Στην περίπτωση αυτή για κάθε ένα μέτρο μήκος η χαράδρα καταλαμβάνει 2m² γεωργικής γης. Έτσι μια χαράδρα μήκους 100 μέτρων καταλαμβάνει 200m² ή 2% για κάθε 1ha.

Εάν γίνει σκέψη για γέμισμα (μπαζωμα) της χαράδρας με σκοπό την επανάληψη της καλλιέργειας, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι για την πραγματοποίηση του σκοπού αυτού μια άλλη περιοχή τρεις φορές μεγαλύτερη του πλάτους της χαράδρας θα προσβληθεί. Αυτό σημαίνει απώλεια εδάφους 6% για κάθε 1ha και πολλές φορές 8-10%.

Οι κλάσεις που χρησιμοποιούνται από το Soil Conservation Service, USA (1962) είναι:

- 1 Ευκαιριακές χαράδρες, μεταξύ τους απόσταση περισσότερο από 30 μέτρα και κάλυψη της περιοχής σε ποσοστό <25%
- 2 Πυκνό δίκτυο, απόσταση μικρότερη από 30 μέτρα και κάλυψη της περιοχής σε ποσοστό 25-75%.
- 3 Πολύ πυκνό δίκτυο, με κάλυψη της περιοχής σε ποσοστό >75%

Μέτρια χαραδρωτική διάβρωση: Η παρουσία μέτριας χαραδρωτικής διάβρωσης σημαίνει όχι μόνο απώλεια εδάφους, αλλά και παρεμπόδιση χρησιμοποίησης γεωργικών μηχανημάτων και επικοινωνίας στην περιοχή.

Για να χαρακτηρίσουμε τη χαραδρωτική διάβρωση μιας περιοχής ως μέτρια, θα πρέπει να υπάρχουν 4-7 χαράδρες αβαθείς (1-3 μ.) ή 1-2 χαράδρες βάθους 3-5 μ, ενώ ως ισχυρή χαραδρωτική διάβρωση ταξινομείται η περιοχή στην οποία υπάρχουν 8-10 χαράδρες αβαθείς (1-3 μ.) ή τρεις χαράδρες 3-5 μ. ή μια χαράδρα βάθους 5μ.

Η κλάση που ταξινομείται μια περιοχή για χαραδρωτική διάβρωση, ανάλογα με τον αριθμό και βάθος των χαραδρών, φαίνεται στον πίνακα 4.9.

Πίνακας 4.9. Κλάσεις έντασης χαραδρωτικής διάβρωσης/εκτάριο

προσβεβλημένη περιοχή	0-25%	25-75%	25-75%	75-100%
κλάσεις έντασης	μικρή	μέση	ισχυρή	πολύ ισχυρή
αβαθείς χαράδρες	0-3	4-7	8-10	10
βαθείς χαράδρες	0	1-2	3	3
πολύ βαθιές χαράδρες				

Συμβολισμοί οι οποίοι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για ένα υπόμνημα σχετικό με τη διάβρωση είναι:

Ο αριθμός 1 για την επιφανειακή διάβρωση, ο αριθμός 2 για την αυλακωτή και ο αριθμός 3 για την χαραδρωτική διάβρωση. Ένας δεύτερος αριθμός 1,2,3, κ.λ.π., μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κλάση διάβρωσης, π.χ. 1.1 = μικρή επιφανειακή διάβρωση, 2.2 = μέση αυλακωτή διάβρωση, 1.2 + 2.1 = μέση επιφανειακή και μικρή αυλακωτή διάβρωση.

Αντί αριθμών μπορεί να χρησιμοποιηθούν γράμματα για το είδος της διάβρωσης και αριθμοί για την κλάση της, π.χ. **S** για την επιφανειακή, **R** για την αυλακωτή και **G** για την χαραδρωτική διάβρωση. Έτσι **S2** σημαίνει μέση επιφανειακή διάβρωση, **S2 + G1** σημαίνει μέση επιφανειακή και μικρή χαραδρωτική διάβρωση. Συνοψίζοντας, η αξιολόγηση της γεωργικής γης σε σχέση με τη διάβρωση του εδάφους μπορεί να γίνει με την παρακάτω μέθοδο, συνδυάζοντας την ένταση και τους διάφορους τύπους διάβρωσης (Bergsma, 1971-part III).

Η κλάση διάβρωσης (Κ.Δ.) υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Κ.Δ.} = \frac{\% \text{ επιφανειακή διάβρωση}}{10} + \frac{\% \text{ αυλακωτή διάβρωση}}{5} + \text{αριθμός χαραδρών}$$

Η % επιφανειακή διάβρωση (Ε.Δ.) υπολογίζεται ως:

$$\text{Ε.Δ.} = \frac{\% \text{ μέση επιφανειακή διάβρωση}}{2} + \% \text{ επιφανειακή διάβρωση}$$

Ο υπολογισμός των χαραδρών υπολογίζεται όπως παρακάτω:

$\eta_1 \times 1$ = αριθμός χαραδρών/εκτάριο, βάθους 1-3 μέτρα

$\eta_2 \times 4$ = αριθμός χαραδρών/εκτάριο, βάθους 3-5 μέτρα,

$\eta_3 \times 12$ = αριθμός χαραδρών/εκτάριο, βάθους >5 μέτρων,

$\eta = \eta_1 + \eta_2 + \eta_3$, όπου η ο συνολικός αριθμός χαραδρών.

Ταξινόμηση χαραδρωτικής διάβρωσης:

$\eta \leq 3$ μικρή διάβρωση - G1

$\eta = 4-15$ μέση διάβρωση - G2

$\eta = 16-35$ ισχυρή διάβρωση - G3

$\eta > 35$ πολύ ισχυρή διάβρωση - G4

Παράδειγμα

Σε μια χαρτογραφική μονάδα της περιοχής Μηχανιώνα διαπιστώθηκαν τα παρακάτω:

Μέση επιφανειακή διάβρωση = 30%,

Ισχυρή επιφανειακή διάβρωση = 5%,

Χαράδρες 3-5 μ. βάθος = 4/εκτάριο,

Χαράδρες 5 μ. βάθος = 1/εκτάριο,

υπολογίστε την κλάση διάβρωσης.

$$\% \text{ επιφανειακή διάβρωση} = 30/2 + 5 = 15 + 5 = 20$$

$$\text{αριθμός χαραδρών } \eta = \eta_1 + \eta_2 + \eta_3 = 0 + (4 \times 4) + (1 \times 12) = 28$$

$$\text{κλάση διάβρωσης} = 20/10 + 0/5 + 28 = \mathbf{30}$$

Η επιφανειακή διάβρωση ταξινομείται ως:

S1 μικρή = <25

S2 μέση = 25-50 % προσβεβλημένη επιφάνεια

S3 ισχυρή = 50-75% προσβεβλημένη επιφάνεια

S4 πολύ ισχυρή = >75% προσβεβλημένη επιφάνεια

Στην περίπτωση του παραδείγματος η χαρτογραφική μονάδα ταξινομείται ως **S1 + G3**, δηλαδή με μικρή επιφανειακή και ισχυρή χαραδρωτική διάβρωση.

4.8. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η παγκόσμια εξίσωση της απώλειας του εδάφους λόγω διάβρωσης (Soil Loss Equation) καθορίστηκε από τον Wischmeier(1959) ως:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

όπου:

A = η απώλεια του εδάφους σε tn/ha

R = ο κλιματικός παράγοντας

K = ο παράγοντας διαβρωσιμότητας

L = τοπογραφικός παράγοντας

S = τοπογραφικός παράγοντας

C = ο παράγοντας φυτικής κάλυψης

P = ο παράγοντας διαχείρισης γης

R - Η διαβρωτικότητα της βροχής

Η ικανότητα των διαβρωτικών μέσων να προκαλούν απόσπαση εδάφους και μεταφορά καλείται διαβρωτικότητα (Lal & Elliot, 1994). Η διαβρωτικότητα της βροχόπτωσης οφείλεται μερικώς στην άμεση σύγκρουση των σταγόνων της βροχής και μερικώς στην απορροή που δημιουργείται από τη βροχόπτωση. Η ικανότητα της βροχής να προκαλεί εδαφική διάβρωση εξαρτάται από το ρυθμό και την κατανομή μεγέθους των βροχοσταγόνων. Οι δύο αυτές παράμετροι επιδρούν στο ενεργειακό φορτίο μιας βροχόπτωσης. Η διαβρωτικότητα ενός επεισοδίου βροχόπτωσης αποδίδεται στην κινητική ενέργεια ή στην ορμή, παράμετροι εύκολα συσχετιζόμενοι με το ρυθμό ή το ολικό ποσό βροχόπτωσης.

Τα στοιχεία σύμφωνα με τους Renard et al. (1991) επιδεικνύουν ότι όταν όλοι οι παράγοντες εκτός της βροχόπτωσης παραμένουν σταθεροί, οι εδαφικές απώλειες από καλλιεργούμενες εκτάσεις είναι ευθέως ανάλογες σε μια παράμετρο της βροχόπτωσης, δηλαδή η παράμετρος R ισούται με την ολική ενέργεια της βροχής (E) επί τη μέγιστη τριαντάλεπτη ένταση αυτής (I_{30}).

Οι Wischmeier και Smith (1958) πρότειναν μία εξίσωση προσδιορισμού του R. Η εξίσωση αυτή σε συνδυασμό με κλιματικά δεδομένα δίνει τη δυνατότητα σύνταξης χαρτών ισοδιαβρωτικότητας της βροχής (isoerodent maps), δηλαδή χάρτες όπου απεικονίζεται η κατάτμηση μιας περιοχής σε ενότητες όπου η επίδραση της βροχόπτωσης σε σχέση με τη διάβρωση που προκαλεί είναι όμοια.

Οι Wischmeier και Smith (1978) προτείνουν ο R να προσδιορίζεται από την εξίσωση:

$$\log R = 1,93 \log \Sigma (p_i^2/p) - 1,52$$

όπου p_i η μέση μηνιαία βροχόπτωση και p η μέση ετήσια βροχόπτωση. Βέβαια διάφοροι ερευνητές έχουν προτείνει άλλες σχέσεις προσδιορισμού του R με διαφορετικό τρόπο σε σχέση πάντα με το είδος των πειραμάτων που τέλεσαν και τις ιδιαίτερες συνθήκες που χαρακτηρίζουν την περιοχή μελέτης τους. Παραμένει παρόλα αυτά η ανάγκη ευρέσεως μιας σχέσης αντιπροσωπευτικής για όλες τις περιπτώσεις και συνθήκες.

K - Ο παράγοντας διαβρωσιμότητας (erodibility index) του εδάφους

Σύμφωνα με τους Lal και Elliot (1994) η αντίδραση του εδάφους στις διαβρωτικές διεργασίες είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού των εδαφολογικών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων, όπως η υφή, η σταθερότητα της δομής, το περιεχόμενο σε οργανική ουσία, η ορυκτολογία της αργίλλου και τα χημικά συστατικά. Κάποια από αυτά τα χαρακτηριστικά, όπως η οργανική ουσία, είναι δυνατό να μεταβληθούν με το χρόνο από τη χρήση της γης, τις πρακτικές διαχείρισης και τα αγροτικά συστήματα. Η διάβρωση των επιφανειακών οριζόντων είναι πιθανό να εκθέσει στους διαβρωτικούς παράγοντες πιο ανθεκτικούς στη διάβρωση ορίζοντες ή πιο ανθεκτικά εδάφη, τα οποία να έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά από αυτά που είχε ο επιφανειακός ορίζοντας. Συνεπώς, η διαβρωσιμότητα ενός εδάφους είναι δυνατό να μεταβάλλεται με το χρόνο.

Η υφή του εδάφους είναι σημαντική για τον καθορισμό της διαβρωσιμότητας. Τα αμμώδη εδάφη έχουν χαμηλούς ρυθμούς απορροής και αποσπώνται πιο εύκολα, αλλά μεταφέρονται πιο δύσκολα από τα ιλυώδη εδάφη. Τα αργιλλώδη εδάφη δεν αποσπώνται εύκολα, αλλά οι χαμηλοί ρυθμοί διήθησης που επικρατούν σε αυτά μπορεί να προκαλέσουν ισχυρότερες απορροές με αποτέλεσμα την ένταση της διάβρωσης. Τα ιλυώδη εδάφη είναι τα πιο επιρρεπή στη διάβρωση, διότι αποσπώνται και μεταφέρονται ευκολότερα, ενώ η συμπαγοποίηση του υποεπιφανειακού εδάφους ή η ύπαρξη υψηλού περιεχομένου αργίλλου στο υποεπιφανειακό έδαφος δύναται να προκαλέσει ισχυρότερη απορροή.

Σύμφωνα με τον Morgan (1979) (από Θεοχαρόπουλο, 1996) ο παράγοντας K αντιπροσωπεύει τις απώλειες εδάφους μέσω διάβρωσης για την κάθε μέγιστης έντασης και διάρκειας 30 λεπτών βροχή σε πειραματικό τεμάχιο μήκους 22m και κλίσης 5⁰.

Σύμφωνα με τους Attle et al. (1980) (από Lal και Elliot, 1994) ο παράγοντας K μπορεί να εκτιμηθεί με τη βοήθεια της παρακάτω εξίσωσης συσχέτισης:

$$K = 2,8 \cdot 10^{-7} M^{1,14} (1,2 - a) + 4,3 \cdot 10^{-3} (b-2) + 3,3(c-3)$$

όπου M η παράμετρος του μεγέθους των τεμαχιδίων [(% ιλύς + % πολύ λεπτής άμμου)*(100 - % αργίλλου), a το ποσοστό % της οργανικής ουσίας, b ο κωδικός δομής του εδάφους (πολύ λεπτοκοκκώδης = 1, λεπτοκοκκώδης = 2, μεσο- ή χονδροκοκκώδης = 3, συμπαγής ή πεπλατυσμένη = 4), c η κλάση διηθητικότητας του εδάφους (ταχεία = 1, μέση προς ταχεία = 2, μέση = 3, μέση προς αργή = 4, αργή = 5, πολύ αργή = 6).

Στην περίπτωση του παράγοντα διαβρωσιμότητας K πρέπει να έχουμε υπόψη μας τα παρακάτω:

- 1 Το σύνολο της ιλύος και της πολύ λεπτής άμμου επιδρούν αυξητικά στην ένταση της διάβρωσης.
- 2 Η χονδρή άμμος, η οργανική ουσία και η καλή διαπερατότητα επιδρούν μειώνοντας τη διάβρωση.

Συνήθως ο προσδιορισμός της ιλύος και της άμμου με τη μέθοδο του σιφωνίου ή του υδρομέτρου γίνεται μετά την απομάκρυνση του ανθρακικού ασβεστίου. Σύμφωνα όμως με τον Silleos(1981) το 80% του κλάσματος του ανθρακικού ασβεστίου έχει διαστάσεις ίδιες με την ιλύ και τα ίδια δυσμενή αποτελέσματα, δηλαδή κλείσιμο των επιφανειακών πόρων (μείωση διαπερατότητας και αύξηση απορροής) και σχηματισμό κρούστας που μειώνει ακόμη περισσότερο τη διαπερατότητα σε περίπτωση νέας βροχής. Για το λόγο αυτό προτείνεται ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής σύστασης να γίνεται χωρίς την απομάκρυνση του ανθρακικού ασβεστίου, ώστε αυτό να συνυπολογίζεται με το κλάσμα της ιλύος.

L - Ο παράγοντας μήκος κλίσης & S - Ο παράγοντας κλίση (%)

Το αποτέλεσμα της τοπογραφίας στη διάβρωση περιγράφεται από τους παράγοντες του μήκους κλίσης και της κλίσης του εδάφους. Το μήκος κλίσης ορίζεται ως η οριζόντια απόσταση από το σημείο έναρξης της επιφανειακής ροής μέχρι το σημείο όπου είτε η βαθμίδα κλίσης ελαττώνεται

αρκετά, ώστε να επιτραπεί η απόθεση, είτε η απορροή συλλέγεται σε ένα καθορισμένο κανάλι (Wischmeier και Smith, 1978).

Ο παράγοντας κλίσης αντανakλά την επίδραση της βαθμίδας κλίσης στη διάβρωση. Η κλίση εκτιμάται στην ύπαιθρο με τη βοήθεια ειδικών οργάνων, όπως τα κλισίμετρα, ενώ είναι δυνατή η εκτίμησή της με τη βοήθεια των ισοϋψών και της δημιουργίας Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου (DEM).

Και οι δύο αποτελούν σημαντικούς παράγοντες στη διαδικασία της διάβρωσης καθώς με την αύξησή τους αυξάνεται η ταχύτητα επιφανειακής ροής του νερού και ο όγκος του μεταφερόμενου εδαφικού υλικού, δηλαδή η διαβρωτική και μεταφορική ικανότητα του νερού.

Σύμφωνα με το Morgan (1979) ο παράγοντας της τοπογραφίας $L \cdot S$ υπολογίζεται από την εξίσωση $LS = (1/22,23)^m (0,0065 S^2 + 0,045 S + 0,065)$

όπου, L το μήκος κλίσης, S η % κλίση και $m = 0,5$ αν $S > 5\%$, $0,4$ αν $3,5 < S < 4,5 \%$, $0,3$ αν $1 < S < 3 \%$ και $0,2$ αν $S < 1\%$.

C - Ο παράγοντας κάλυψη γης

Ο παράγοντας C αναφέρεται κύρια στη βλάστηση που καλύπτει το έδαφος και στην συνεισφορά της στη μείωση της κινητικής ενέργειας και της ποσότητας της βροχόπτωσης που φτάνει στο έδαφος. Το ύψος, η πυκνότητα της βλάστησης και η πυκνότητα των ριζών επιδρούν στη διαμόρφωση του αποτελέσματος που επιφέρει η κάλυψη της γης στην προστασία από τη διάβρωση. Ο ρόλος των ριζών, εκτός από την καλύτερη συνοχή και ισχυρότερη συγκράτηση του εδάφους, αποκτά μεγαλύτερη σημασία λόγω της δυνατότητας κίνησης του εδαφικού νερού, σύμφωνα με το Stocking (1994), μέσω του ριζικού δικτύου αυξάνοντας την ικανότητα διήθησης, γεγονός που ταυτόχρονα αποφέρει τη μείωση του επιφανειακώς κινούμενου νερό που κύρια προκαλεί διάβρωση του εδάφους.

Ο παράγοντας C αντιπροσωπεύει τη σχέση μεταξύ των απωλειών σε έδαφος για μια συγκεκριμένη κάλυψη γης και των απωλειών εδάφους στην περίπτωση απουσίας βλάστησης. Εξαρτάται δε σε σημαντικό βαθμό από το είδος της βλάστησης, καθώς και τις καλλιεργητικές μεθόδους.

Μια σχέση που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του παράγοντα C (Renard et al., 1991) είναι:

$$C = PLU * CC * SC * SR * SM,$$

όπου PLU η προηγούμενη χρήση γης, CC το φύλλωμα της καλλιέργειας, SC η κάλυψη της επιφάνειας, SR η επιφανειακή τραχύτητα και SM η υγρασία του εδάφους. Καθένα από τα μέλη του δεξιού μέρους της σχέσης αποτελούν του υπο-παράγοντες του C και περιλαμβάνουν καλλιεργητικές και διαχειριστικές παραμέτρους που επιδρούν στη διάβρωση του εδάφους. Καθένας υποπαράγοντας υπολογίζεται με τη βοήθεια συναρτήσεων μιας ή περισσότερων παραμέτρων, όπως το υπολειμματικό κάλυμμα, το κάλυμμα φυλλώματος, το ύψος του φυλλώματος, την επιφανειακή τραχύτητα, την υπο-επιφανειακή βιομάζα, την προηγούμενη καλλιέργεια, την εδαφική υγρασία και το χρόνο.

Η δυνατότητα επέμβασης του ανθρώπου στη μεταβολή του C παράγοντα, τον καθιστά μεγάλης σημασίας στην προσπάθεια ελάττωσης ή εξάλειψης των δυσμενών επιπτώσεων της διάβρωσης. Οι τιμές του C σύμφωνα με τους Renard et al. (1994) μπορούν να ποικίλουν από σχεδόν μηδενικές για ένα πολύ καλά προστατευόμενο έδαφος μέχρι 1,5 για μία λεπτομερώς οργωμένη και ανυψωμένη επιφάνεια, η οποία παράγει αρκετή απορροή και εκθέτει το έδαφος σε αυλακωτή διάβρωση.

P - Παράγοντας αντιδιαβρωτικής προστασίας

Ο παράγοντας P καθορίζεται από τα μέτρα αντιδιαβρωτικής προστασίας, όπως αναχώματα και αύλακες κατά τις ισοϋψείς ή η παραμονή των υπολειμμάτων της καλλιέργειας. Αντιπροσωπεύει (Renard et al., 1994) τον τρόπο που οι επιφανειακές συνθήκες επιδρούν στους διαδρόμους και στην

υδραυλική της ροής. Εκφράζει το λόγο της απώλειας του εδάφους, το οποίο προφυλάσσεται από συγκεκριμένο μέτρο αντιδιαβρωτικής προστασίας, προς την αντίστοιχη απώλεια με εφαρμογή οργώματος κατά τη φορά της κλίσης.

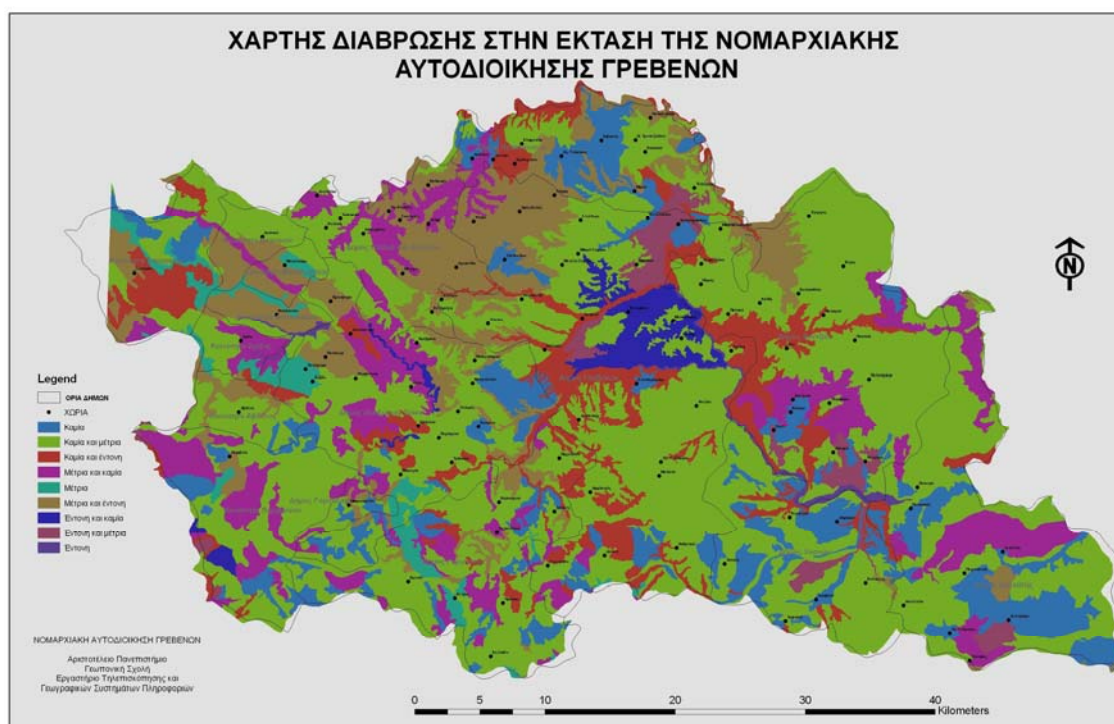
Τα μέτρα προστασίας P που εφαρμόζονται για την μείωση της διάβρωσης, υπολογίζονται με βάση τον πίνακα 4.10.

Πίνακας 4.10. Συντελεστές μείωσης της απώλειας εδάφους, σύμφωνα με τα εφαρμοζόμενα μέτρα βελτίωσης

% κλίση	καλλιέργεια κατά τις ισοϋψείς	καλλιέργεια κατά λωρίδες φυτών ή αναβαθμίδες
1,1 - 2,0	0,60	0,30
2,1 - 7,0	0,50	0,25
7,1 - 12,0	0,60	0,30
12,1 - 18,0	0,80	0,40
18,1 - 24,0	0,90	0,25

Διάφοροι ερευνητές πειραματιζόμενοι με ποικίλες τεχνικές προστασίας των εδαφών από τη διάβρωση ανέπτυξαν σημαντικό αριθμό αντιδιαβρωτικών μέτρων, τα οποία είναι δυνατό να εφαρμοστούν ανάλογα με την περίπτωση.

Τέλος για τις τιμές του παράγοντα αυτού προτείνονται διάφορες τιμές από διάφορους μελετητές όπως π.χ. από τους Donahue et al. (1983), Lal (1994) και άλλους.



Χάρτης 4.1. Χάρτης επιφανειακής διάβρωσης στην έκταση της Νομαρχίας Γρεβενών

4.9. ΕΝΑ ΝΕΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

4.9.1. Εισαγωγή (Θεοχαρόπουλος 1996, Μανάκος 1998)

Τα τελευταία χρόνια καταβάλλεται προσπάθεια για τη δημιουργία και ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων ικανών να περιγράψουν το φαινόμενο της διάβρωσης. Τα μοντέλα αυτά βασίζονται σε πειραματικά δεδομένα, τα οποία είτε δανείζονται από τη βιβλιογραφία είτε είναι δεδομένα που προκύπτουν από πειραματικές διεργασίες που εκτελούνται αποκλειστικά με στόχο την ανάπτυξη των μοντέλων αυτών.

Τα μοντέλα διάβρωσης καλούνται να περιγράψουν τη διεργασία διάβρωσης σε μια περιοχή με σκοπό την εκ των προτέρων περιγραφή και πρόβλεψη της εξέλιξης του φαινομένου είτε σε μια υπάρχουσα είτε σε μια υποθετική κατάσταση, ώστε να λειτουργήσουν βοηθητικά στα συστήματα λήψης αποφάσεων. Καθορίζουν τα αναγκαία αντιδιαβρωτικά μέτρα, προσδιορίζουν ποσοτικά τις απώλειες του εδάφους και των θρεπτικών στοιχείων και εκτιμούν το βαθμό υποβάθμισης και ερημοποίησης των εδαφών, ενώ ταυτόχρονα υπολογίζουν τα ρυπαντικά φορτία που καταλήγουν στους υδροφορείς.

Σύμφωνα με τους Nearing et al. (1994) η μοντελοποίηση της διάβρωσης του εδάφους είναι η διαδικασία της μαθηματικής περιγραφής της απόσπασης των εδαφικών τεμαχιδίων της μεταφοράς και της απόθεσής τους σε άλλες τοποθεσίες. Υπάρχουν τουλάχιστο τρεις λόγοι για τη μοντελοποίηση της διάβρωσης :

α) τα πρότυπα διάβρωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία πρόβλεψης για επεξεργασία της απώλειας του εδάφους για σχεδιασμό διατήρησης - συντήρησης, έρευνα, απογραφή εδαφικής διάβρωσης και για ρύθμιση (regulation),

β) φυσικά βασισμένα μαθηματικά πρότυπα μπορούν να προβλέψουν που και πότε λαμβάνει χώρα διάβρωση και μ'αυτό τον τρόπο να βοηθηθούν οι προσπάθειες συντήρησης - διατήρησης για τη μείωση της διάβρωσης,

γ) τα πρότυπα δύνανται να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία για την κατανόηση των διαδικασιών διάβρωσης και των αλληλεπιδράσεών τους, καθώς και για τη θέσπιση ερευνητικών προτεραιοτήτων.

Προκειμένου να περιγραφεί, προβλεφθεί και να σχηματιστεί κλίμακα επικινδυνότητας του φαινομένου της διάβρωσης έχουν αναπτυχθεί πολλές εμπειρικές μαθηματικές σχέσεις. Η πληθώρα των σχέσεων αυτών σε συνδυασμό με το γεγονός ότι δεν υπάρχει ακόμα κάποια σχέση που να ικανοποιεί όλες τις περιπτώσεις εγείρει διαφονίες ως προς την ακριβή μορφή κάθε εξίσωσης που καλείται να περιγράψει την επίδραση κάθε παράγοντα που επιδρά στη διεργασία διάβρωσης.

Η λήψη απόφασης για οποιαδήποτε ανθρώπινη επέμβαση στο περιβάλλον καθιστά απαραίτητη την εκτίμηση της διάβρωσης. Είναι επομένως αναγκαία μια μέθοδος πρόβλεψης της διάβρωσης για υποθετικά σχέδια χρήσεων γης και καλλιεργητικών πρακτικών.

Σύμφωνα με το de Roo (1993) στη βιβλιογραφία περιγράφεται πληθώρα μοντέλων, τα οποία περιγράφουν, προβλέπουν και προσδιορίζουν χρονικά και χωροθετικά τη διάβρωση για διάφορες κλίμακες, όπως πειραματικό αγροτεμάχιο, αγρό, χαρτογραφική μονάδα, ταξινομική μονάδα, φυσιογραφική μονάδα ή και λεκάνη απορροής.

Τα περισσότερα μοντέλα που αναπτύσσονται βασίζονται σύμφωνα με το Θεοχαρόπουλο (1996) στην USLE (Wischmeier et al., 1958, 1971). Μεταξύ αυτών αναφέρονται το MUSLE (modified - Williams and Berndt 1977), RUSLE (Revised- Renard et al., 1987), CREAM (Chemical Runoff and Agricultural Management, Knisel 1980), MORGAN/FINNEY (Morgan et al., 1984), EPIC (Erosion Productivity Impact Calculation - Williams et al. 1984), WEPP (Water Erosion Prediction

Model - Nearing et al., 1989), MEDALUS (Mediterranean Desertification And Land Use - Kirkby et al., 1992), EUROSEM (European Soil Erosion Model- Morgan et al., 1991/1992) τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλές περιοχές της υδρογείου με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Οι τύποι των μοντέλων (Morgan, 1979, de Roo, 1993) είναι φυσικά, αναλογικά, ψηφιακά, ντετερμινιστικά, στοχαστικά και παραμετρικά. Τα τελευταία διακρίνονται σε μοντέλα που περιγράφονται ως black box με μερικές λεπτομέρειες για τον τρόπο που κινείται το σύστημα και ως white box, όπου περιγράφονται όλες οι λεπτομέρειες και αλληλεπιδράσεις του συστήματος και της διεργασίας. Σύμφωνα με τους Nearing et al. (1994) τα μοντέλα διάβρωσης διακρίνονται σε εμπειρικά (empirical), θεμελιώδη (conceptual) και φυσικά (physically-based).

Τα εμπειρικά μοντέλα βασίζονται αρχικά στην παρατήρηση και είναι συνήθως στατιστικής φύσης. Τα εμπειρικά μοντέλα βασίζονται στην επαγωγική λογική και γενικά είναι εφαρμόσιμα μόνο για εκείνες τις συνθήκες για τις οποίες οι παράμετροι έχουν βαθμονομηθεί. Η Παγκόσμια Εξίσωση Απώλειας Εδάφους (USLE) αποτελεί το εμπειρικό μοντέλο διάβρωσης που χρησιμοποιήθηκε ευρέως για την πρόβλεψη της διάβρωσης του εδάφους. Η μεγαλύτερη ενάντια κριτική της USLE αποτέλεσε η αναποτελεσματικότητα σε εφαρμογές εκτός του εύρους των συνθηκών για τις οποίες εξελίχθηκε. Η υιοθέτηση της USLE σε ένα νέο περιβάλλον απαιτεί μια μεγάλη επένδυση πόρων και χρόνου για την εξέλιξη της βάσης δεδομένων που απαιτείται για την καθοδήγηση του μοντέλου.

Τα θεμελιώδη (conceptual) μοντέλα τοποθετούνται κάπου μεταξύ των φυσικά βασιζόμενων (physically-based) και των εμπειρικών μοντέλων και βασίζονται σε χωρικά ταξινομημένες μορφές υδατικής και ιζηματολογικής συνέχειας εξισώσεις. Στόχος των θεμελιωδών μοντέλων αποτέλεσε η πρόβλεψη της αύξησης των ιζημάτων, κυρίως χρησιμοποιώντας την αρχή της υδρογραφικής μονάδας.

Τα φυσικά βασιζόμενα μοντέλα σκοπεύουν στην αναπαράσταση των απαραίτητων μηχανισμών ελέγχου της διάβρωσης. Η ισχύς των φυσικά βασιζόμενων μοντέλων είναι ότι αναπαριστούν τη σύνθεση των ανεξαρτήτων συστατικών που επηρεάζουν τη διάβρωση, συμπεριλαμβάνοντας τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφόρων παραγόντων και των χωρικών και χρονικών διακυμάνσεων. Το αποτέλεσμα είναι συνεργατικό, το πρότυπο ως ολότητα αντιπροσωπεύει περισσότερα από το σύνολο των ανεξάρτητων τμημάτων. Ο ερευνητής - επιστήμονας μπορεί να χρησιμοποιήσει τα φυσικά βασιζόμενα μοντέλα διάβρωσης για να βοηθηθεί στο να αναγνωρίσει ποια μέρη του συστήματος είναι τα πιο σημαντικά στη συνολική διεργασία διάβρωσης και γι' αυτό πρέπει να δοθεί προσοχή στην έρευνα και εξέλιξη της πρόβλεψης της διάβρωσης και τεχνολογίας ελέγχου. Ο σχεδιαστής συντήρησης μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα φυσικά βασιζόμενο μοντέλο σαν ένα αλληλεπιδρόν εργαλείο σχεδίασης συντήρησης στοχεύοντας κρίσιμες εποχές ή μήνες στους οποίους λαμβάνουν χώρα κύρια επεισόδια διάβρωσης, καθώς και κρίσιμες τοποθεσίες σε κλιτύες λόφων, όπου λαμβάνει χώρα η μεγαλύτερη απώλεια εδάφους. Ο σχεδιαστής μπορεί επίσης γρήγορα να προτείνει και να αξιολογήσει νέες στρατηγικές συντήρησης για ξεχωριστούς αγρούς.

4.9.2. Βιβλιογραφική επισκόπηση των προσπαθειών δημιουργίας μοντέλων διάβρωσης (Θεοχαρόπουλος 1996, Μανάκος 1998)

Μια ταχεία επισκόπηση της βιβλιογραφίας σε σχέση με διάφορες προσπάθειες μοντελοποίησης της διάβρωσης επιχειρείται παρακάτω και είναι βασισμένη στο Θεοχαρόπουλο (1996).

Οι πρώτες προσπάθειες μέτρησης της διάβρωσης σε μικρές κεκλιμένες επιφάνειες πλαγιών και αγρούς ξεκίνησαν από το Zing (1940), ο οποίος συσχέτισε το βαθμό διάβρωσης με την κλίση του εδάφους και το μήκος κλίσης. Ο Musgrave (1947) συνυπολόγισε στην προσέγγισή του και κλιματικούς παράγοντες. Ο Smith (1958) έλαβε υπόψη του τους παράγοντες της φυτοκάλυψης, τα αντιδιαβρωτικά μέτρα και τη διαβρωσιμότητα των εδαφών, ενώ οι Wischmeier and Smith (1962) αναφέρθηκαν στους κλιματικούς παράγοντες ως παράγοντες διαβρωτικότητας της βροχής R και εισήγαγαν την Universal Soil Loss Equation (USLE), η οποία σύμφωνα με το (Lal, 1994) ακόμα και σήμερα αποτελεί τη βασική φιλοσοφία κάθε ερευνητικής προσέγγισης.

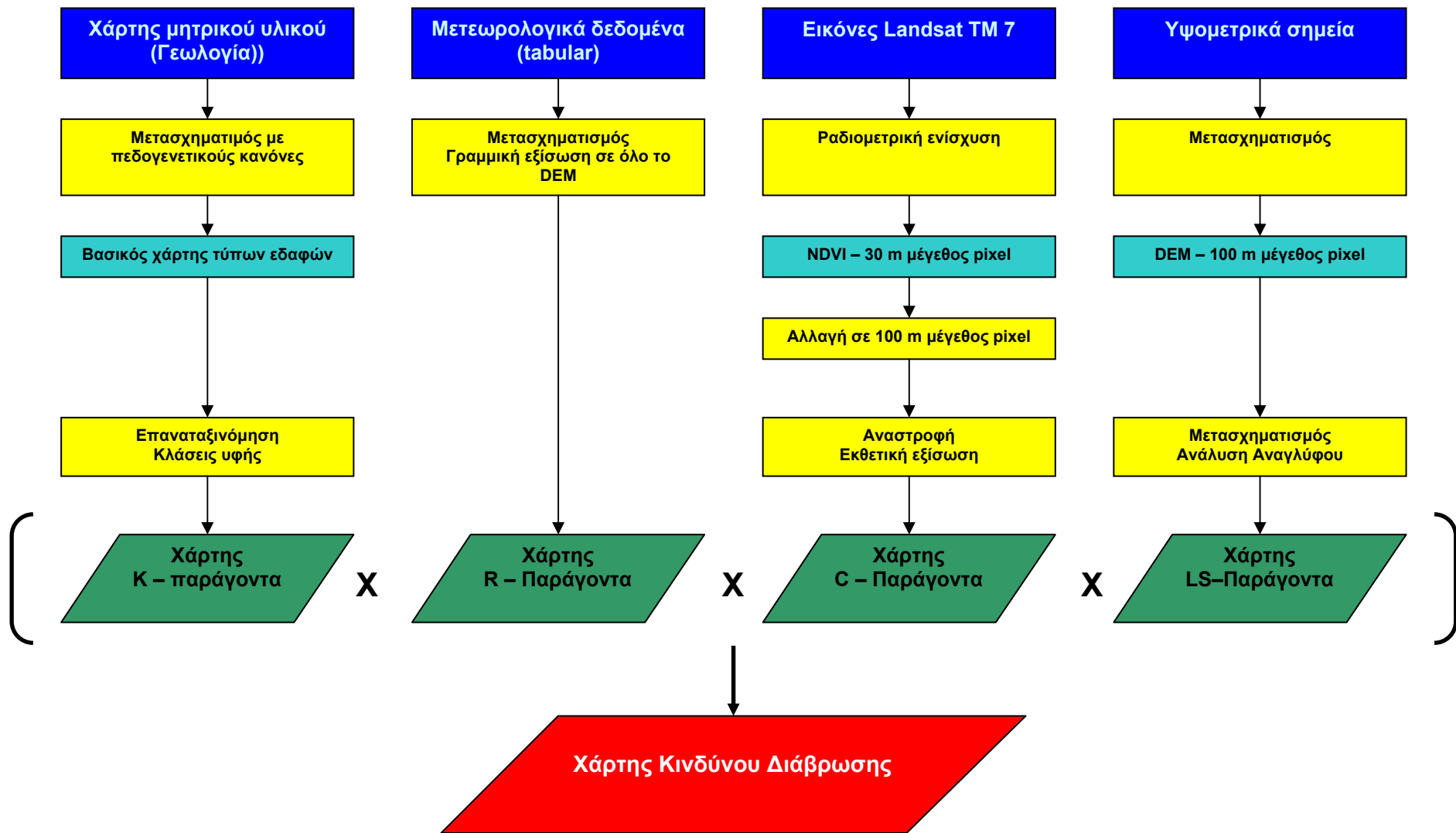
Αρκετοί ερευνητές έχουν μετατρέψει, προσαρμόσει και χρησιμοποιήσει την USLE σε διάφορες περιοχές της υδρογείου όπως ο Rubio (1986), στην Ισπανία, Baygacharya & Lal (1992) στις Η.Π.Α., ενώ οι Risse et al. (1993) έχουν προχωρήσει στον υπολογισμό του πιθανού λάθους από την χρήση της εξίσωσης. Το 1978 η USLE αναθεωρήθηκε βάσει των εξελίξεων της γνώσης, τεχνολογίας και τεχνολογίας και αναπτύχθηκε η Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) (Wischmeier & Smith, 1978). Σύμφωνα με τους Renard et al. (1994) η RUSLE βασίζεται στην USLE και βελτιώνει τους συντελεστές της.

Οι Nearing et al. (1994) διαπραγματεύονται τη μεθοδολογία και τους παράγοντες modelling διαχωρίζοντας τις περιπτώσεις σε διεργασίες μεταξύ αυλακιών (interill) και διεργασίες μέσα στα αυλάκια. Οι Lane et al. (1994) διαπραγματεύονται το modelling της διάβρωσης στις Η.Π.Α. Ο de Roo (1993) διαπραγματεύεται συνολικά το modelling της απορροής και της διάβρωσης. Με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών δημιουργεί μοντέλο, το οποίο περιγράφει και προβλέπει την επιφανειακή απορροή του νερού και τη διάβρωση σε τρεις λεκάνες απορροής δύο στην Ολλανδία και μια τρίτη στην Αγγλία. Οι Crompvoets et al. (1993) ανέπτυξαν ένα έμπειρο σύστημα αξιολόγησης γεωργικών εδαφών για την εκτίμηση της επικινδυνότητας διάβρωσης στην Ισπανία. Επιπλέον οι Kirkby et al. (1989) περιγράφουν τη διαδικασία και μεθοδολογία δημιουργίας μοντέλων προσομοίωσης σε διεργασίες φυσικής γεωγραφίας καθώς επίσης και τις μεθοδολογίες αξιολόγησης και προσαρμογής. Τέλος, οι Davies & O'Keefe (1989) περιγράφουν με περισσότερη εξειδίκευση τη δημιουργία μοντέλων προσομοίωσης σε γλώσσα προγραμματισμού Pascal.

Τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν και αναπτύσσονται οφείλουν να είναι αξιόπιστα και ως εκ τούτου επαληθευμένα σε εργαστηριακές αν όχι πραγματικές συνθήκες. Επίσης προσόν για αυτά είναι η εύκολη εύρεση των πρωτογενών δεδομένων που απαιτούνται, ώστε να λειτουργήσει το μοντέλο, καθώς επίσης και η εύκολη χρήση τους. Τέλος, κρίνεται απαραίτητος πριν την επιλογή και εφαρμογή των μοντέλων και ο έλεγχος συμβατότητας των μοντέλων με τις ιδιαίτερες εδαφοβιοκλιματικές συνθήκες της συγκεκριμένης περιοχής.

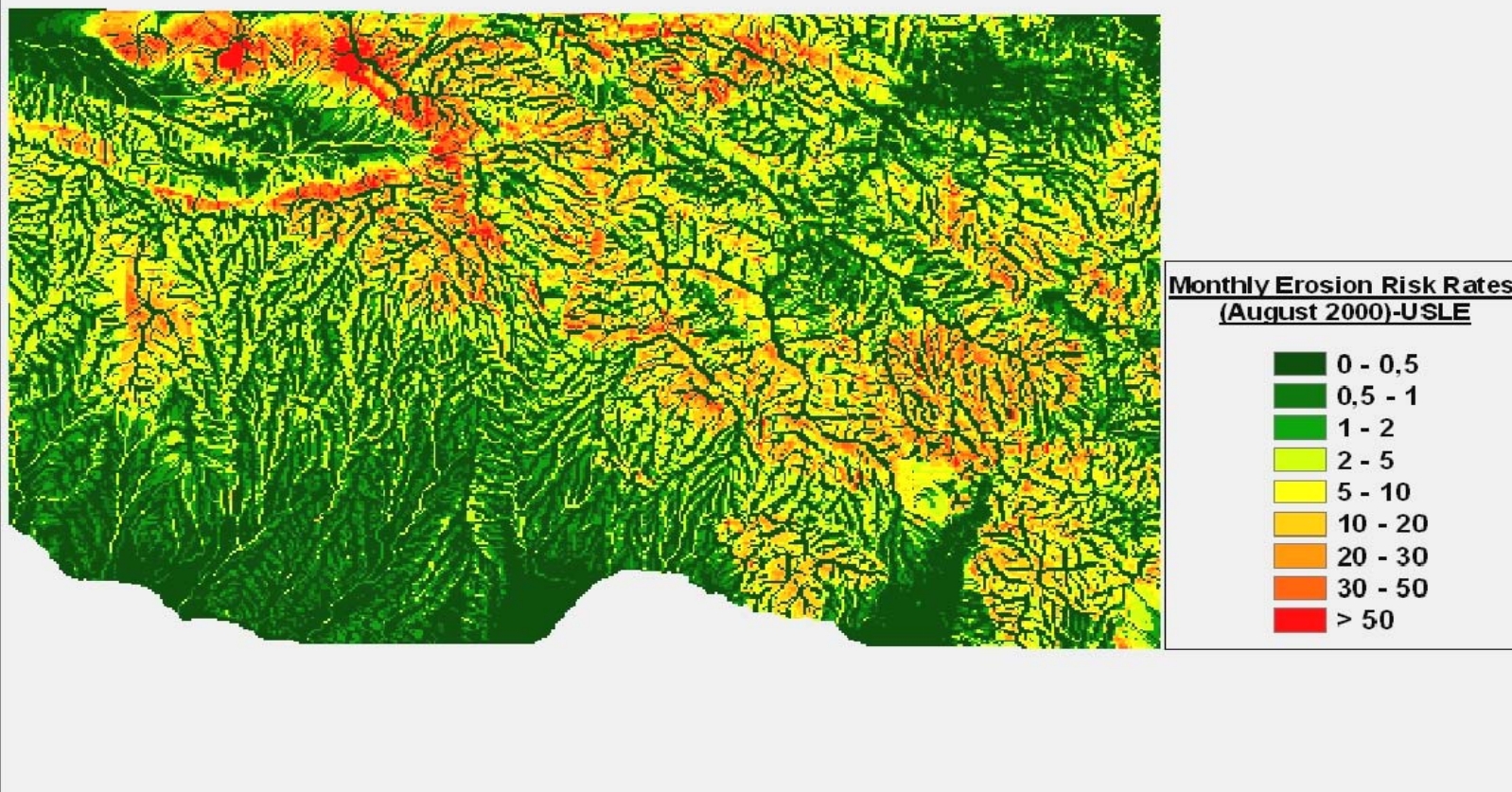
4.9.3. Μοντέλο Βασισμένο στο τροποποιημένο USLE με τη χρήση δορυφορικής τηλεπισκόπησης και GIS (Συλλαίος Ν., Γήτας Ι., Ντούρος Κ.) στα πλαίσια του προγράμματος GEOLAND

Το μοντέλο και αποτελέσματα του παρουσιάζονται στις εικόνες 4.1 έως 4.4.



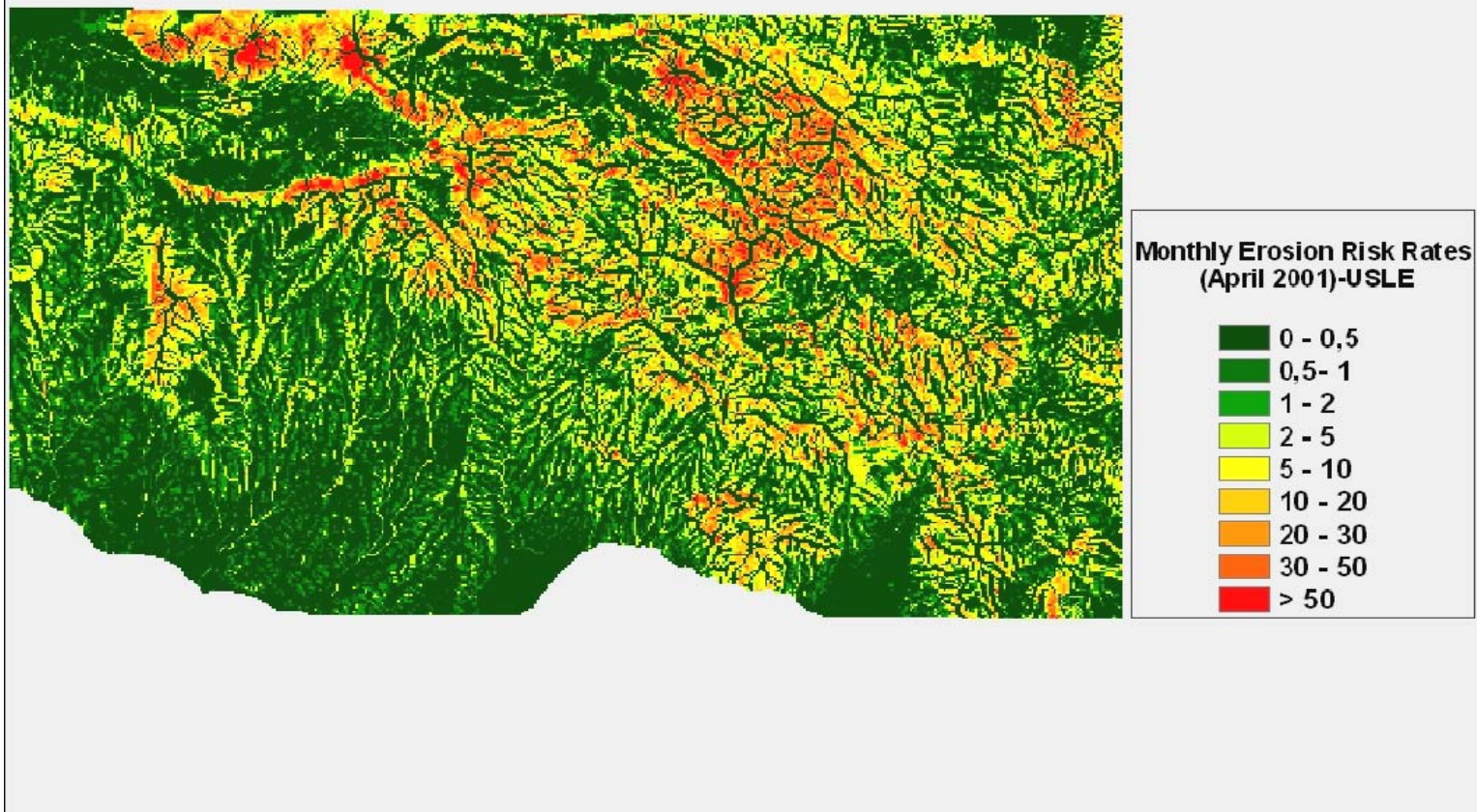
Εικόνα 4.1. Διάγραμμα ροής ενεργειών για την εκτίμηση του κινδύνου διάβρωσης

Soil Erosion Risk Map of Northern Chalkidiki, Greece (August 2000)



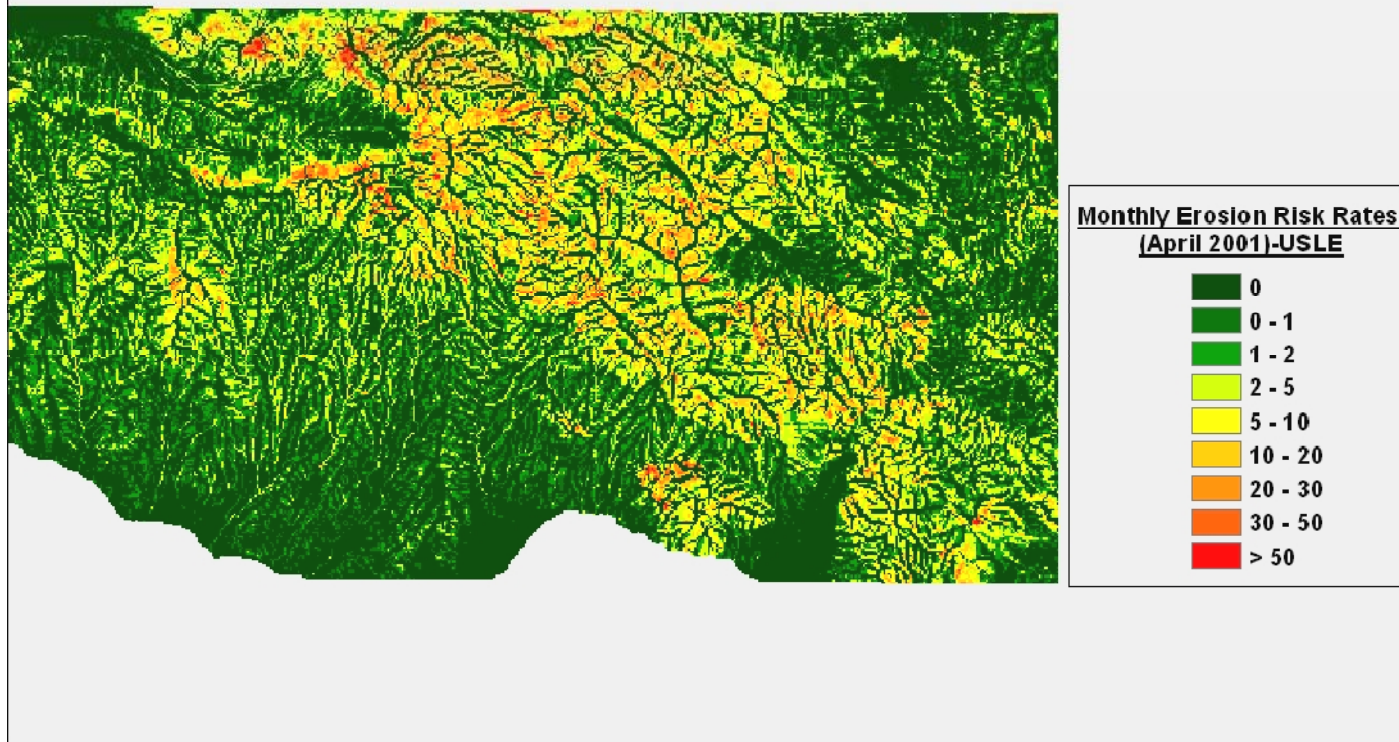
Εικόνα 4.2. Κλάσεις κινδύνου διάβρωσης για το μήνα Αύγουστο 2000 (tn/ha) σε περιοχή της βόρειας Χαλκιδικής

Soil Erosion Risk Map of Northern Chalkidiki, Greece (April 2001)



Εικόνα 4.3. Κλάσεις κινδύνου διάβρωσης για το μήνα Απρίλιο 2001 (tn/ha) σε περιοχή της βόρειας Χαλκιδικής

Soil Erosion Risk Map of Northern Chalkidiki, Greece (November 2002)



Εικόνα 4.4. Κλάσεις κινδύνου διάβρωσης για το μήνα Νοέμβριο 2002 (tn/ha) σε περιοχή της βόρειας Χαλκιδικής

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΓΗΣ**5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Ο σχεδιασμός χρήσης γης σε τοπικό ή εθνικό επίπεδο αποτελεί πάντα ένα σοβαρό στόχο της αγροτικής πολιτικής που για την πραγματοποίησή του, απαιτεί ένα πλήθος πληροφοριών και συνεργασία επιστημόνων διαφόρων ειδικοτήτων, μεγάλη εμπειρία και γνώσεις γύρω από το αντικείμενο αυτό. Οι δυσκολίες προέρχονται από το γεγονός ότι η χρήση γης επηρεάζεται από το αποτέλεσμα δράσης διαφόρων βιολογικών και ανθρωπίνων δραστηριοτήτων που στοχεύουν σε οικονομικούς και κοινωνικούς σκοπούς. Οι δραστηριότητες αυτές στρέφονται προς την εκμετάλλευση και βελτίωση των φυσικών πόρων, που από μόνοι τους, παρά το γεγονός ότι περιγράφονται με αυστηρά επιστημονικά κριτήρια, δεν δίνουν επαρκείς ενδείξεις για το πως θα μπορούσαν ή θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν (Vink, 1975).

Το κενό αυτό σχετικά με την αξιολόγηση των φυσικών πόρων έρχεται να καλύψει ο καθορισμός της **γαιοποιότητας** (land quality) που ορίζεται ως "σύμπλοκο " χαρακτηριστικών μιας μονάδας γης που δρα διαφορετικά από άλλες γαιοποιότητες, όσο αφορά την επίδρασή τους στην συμπεριφορά (καταλληλότητα) των μονάδων γης που αντιπροσωπεύουν, σε σχέση με ένα καθορισμένο είδος χρήσης.

Οι γαιοποιότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν διαγνωστικά κριτήρια της καταλληλότητας διαφόρων μονάδων γης, αλλά δεν αποτελούν από μόνες τους κλάσεις καταλληλότητας (Brinkman et al., 1973). Έτσι οι γαιοποιότητες είναι χρήσιμες στο να δίνουν ενδείξεις για το πως μια μονάδα γης, με δεδομένους φυσικούς πόρους, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ορισμένη χρήση.

Την εκτίμηση του βαθμού καταλληλότητας των γαιοποιήτων για γεωργική ή άλλη χρήση, έρχεται να καλύψει η «Αξιολόγηση Γεωργικών Εδαφών και Γαιών» το αντικείμενο της οποίας καθορίζεται ως **η διεργασία της αντιπαραβολής και ερμηνείας βασικών ερευνών όπως, του εδάφους, της βλάστησης, της υδρολογίας, του κλίματος και άλλων πληροφοριών σχετικά με τη γη, με σκοπό την εκτίμησή τους για μια πρώτη σύγκριση πιθανών κερδοφόρων εναλλακτικών χρήσεων γης** (Beek, 1980).

Η ανάγκη αξιολόγησης της γης για διάφορες χρήσεις γίνεται σήμερα επιτακτική λόγω της πίεσης που εξασκείται στους φυσικούς πόρους από τον υπερπληθυσμό, τη διάβρωση και την επέκταση των ερήμων, την ξηρασία, τις φωτιές που καταστρέφουν κάθε χρόνο τα δάση και την αλόγιστη επέμβαση του ανθρώπου στο φυσικό περιβάλλον. Η αυξανόμενη και ανταγωνιστική ανάγκη για γη, με σκοπό τη χρήση της για γεωργική παραγωγή ή άλλους σκοπούς, απαιτεί τη λήψη αποφάσεων για το ποια είναι η ενδεδειγμένη χρήση των περιορισμένων φυσικών πόρων, ενώ συγχρόνως θα πρέπει να τους διατηρούμε για τις μελλοντικές γενιές. Ο σκοπός της Αξιολόγησης της Γεωργικής Γης είναι η κατανόηση των σχέσεων μεταξύ των χαρακτηριστικών, ιδιοτήτων και συνθηκών της γης με τις υφιστάμενες χρήσεις της και η παροχή στους σχεδιαστές χρήσης γης συγκριτικών στοιχείων για εναλλακτικές λύσεις. **Η Αξιολόγηση της Γεωργικής Γης** δεν ενδιαφέρεται μόνο για την αξιολόγηση χρήσεων ανταγωνιστικών με τη γεωργία ή με τη γενική της έννοια, (γενική αξιολόγηση για γεωργική χρήση), αλλά και για την εκτίμηση της καταλληλότητας της για ορισμένες καλλιέργειες ή για ομάδες καλλιεργειών (ειδική αξιολόγηση για γεωργική χρήση). Στην Ευρώπη, μετά την κατασκευή του εδαφολογικού και οικολογικού χάρτη 1:1.000.000, η προσπάθεια έχει συγκεντρωθεί στον καθορισμό κοινής μεθοδολογίας και κριτηρίων με σκοπό την δημιουργία μεθοδολογιών για την Αξιολόγηση της Γεωργικής Γης.

Στην Αγγλία το 1978, στο Βέλγιο το 1981, και στην Ολλανδία το 1983, κατά την διάρκεια αντίστοιχων συμποσίων, έγινε ανασκόπηση των προσπαθειών, που πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια των ετών 1973-1983, για αξιολόγηση γης μέσα στα πλαίσια "προγραμμαμάτων-οδηγών" (pilot projects) στην Ιρλανδία, Γαλλία, Ιταλία, Αγγλία, Γερμανία και Ολλανδία. Τα αποτελέσματα καθώς και νέες προτάσεις εξετάστηκαν στο Wageningen της Ολλανδίας στις 26-29 Σεπτεμβρίου 1983 και εκδόθηκαν στα πρακτικά συμποσίου το 1984 (Progress in Land Evaluation, edited by Haan, J.C.F., Steur, G.G.L., and Heide απο τον εκδοτικό οίκο A.A. Balkema/ Rotterdam/ Boston).

Η αρχική απόφαση για την διερεύνηση δυνατοτήτων εισαγωγής κοινών προτύπων με σκοπό την φυσική αξιολόγηση της γης στις διάφορες χώρες της ΕΟΚ, καθώς και η δυνατότητα προσαρμογής του "Πλαισίου για Αξιολόγηση Γης" του FAO., πάρθηκε στην πόλη Ghent του Βελγίου το Σεπτέμβριο του 1973 απο ομάδα εργασίας που είχε σχηματισθεί κατά τη διάρκεια της κατασκευής του Εδαφολογικού Χάρτη της Ευρώπης σε κλίμακα 1:1.000.000 (Verheye, 1981).

Σε οποιαδήποτε περίπτωση ο έλεγχος των μεθόδων θα πρέπει να είναι συνεχής και προσεκτικός. Θα πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι το έδαφος δεν είναι άφθαρτο και ότι από τον άνθρωπο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό η διατήρηση ή η καταστροφή του. Ο σχεδιασμός χρήσης γης εξαρτάται άμεσα από τις πληροφορίες και τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από την αξιολόγηση γης, επομένως εσφαλμένες πληροφορίες θα έχουν ως αποτέλεσμα τον κακό σχεδιασμό, τη μείωση της παραγωγής και την υποβάθμιση των εδαφών.

5.2. ΟΙ ΣΚΟΠΟΙ ΤΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Βασικά η αξιολόγηση: της γης στοχεύει στην παροχή πληροφοριών για το σχεδιασμό χρήσης γης, χωρίς ο όρος χρήση γης να περιορίζεται στη γεωργία.

Με την έννοια και σύμφωνα με τον FAO αυτή η αξιολόγηση θα πρέπει να δίνει απαντήσεις στα παρακάτω ερωτήματα.

- Ποια είναι η σημερινή εκμετάλλευση γης και τι θα συμβεί εάν οι τρόποι αυτοί εκμετάλλευσης παραμείνουν αναλλοίωτοι;
- Τι βελτιώσεις στις πρακτικές εκμεταλλεύσεις και στην παρούσα χρήση γης είναι δυνατές;
- Τι άλλες χρήσεις είναι φυσικά δυνατές και κοινωνικο-οικονομικά σχετικές;
- Ποιες αρνητικές επιδράσεις-φυσικές, οικονομικές και κοινωνικές, είναι συνδεδεμένες με κάθε χρήση;
- Τι βραχυπρόθεσμες επενδύσεις είναι απαραίτητες για να φέρουν την παραγωγή στο επιθυμητό επίπεδο και να ελαχιστοποιήσουν τις αρνητικές επιπτώσεις από την προτεινόμενη χρήση;
- Ποια τα κέρδη από κάθε προσφερόμενη χρήση γης;

Εάν η εισαγωγή μιας νέας χρήσης συνεπάγεται σημαντικές αλλαγές στη γη, όπως π.χ. στη περίπτωση άρδευσης, τότε και οι παρακάτω ερωτήσεις θα πρέπει να απαντηθούν:

- Τι αλλαγές στις υφιστάμενες συνθήκες γης είναι δυνατές και απαραίτητες και πως μπορούν να πραγματοποιηθούν;
- Τι μεσοπρόθεσμες επενδύσεις είναι απαραίτητες για την πραγματοποίηση των σκοπών αυτών;

Θα πρέπει να γίνει σαφές ότι η αξιολόγηση δεν καθορίζει τις αλλαγές στη χρήση γης, αλλά παρέχει δεδομένα με βάση τα οποία είναι δυνατό να παρθούν σχετικές αποφάσεις. Οι παραδοχές που χρησιμοποιούνται από την αξιολόγηση δεν σχετίζονται μόνο με το είδος της χρήσης το σχετικό με την περιοχή, αλλά και με τις επιδράσεις των πρακτικών εκμετάλλευσης στο περιβάλλον, π.χ. η διάβρωση του εδάφους μπορεί να οδηγήσει στη μόλυνση του νερού από λιπάσματα, φάρμακα και γαιώδη συστατικά (Vink, 1975).

Η αξιολόγηση γης που χρησιμοποιεί στοιχεία που έχουν σχέση μόνο με τις κοινωνικές, οικονομικές και τεχνολογικές συνθήκες της περιοχής ή με το υφιστάμενο φυτικό υλικό, είναι πάντα σχετικά εφήμερη και έχει αξία μόνο κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης περιόδου. Οι αλλαγές στις παραπάνω συνθήκες, σύνθητες φαινόμενο στην εποχή μας, θα οδηγήσουν σύντομα στην ανάγκη αναθεώρησης της αξιολόγησης που έγινε σύμφωνα με τα παλιά δεδομένα.

Αντίθετα, οι φυσικοί πόροι είναι περισσότερο μόνιμοι και μπορούν να αλλάξουν μόνο με μεγάλα φυσικά προγράμματα ή με καταστρεπτική φυσική δράση (σεισμό, πυρκαγιά, πλημμύρα). Κατά συνέπεια δεδομένα φυσικών πόρων ή χάρτες, είναι οι μόνες αντικειμενικές πηγές για προσδιορισμό, πρόβλεψη και ερμηνεία για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών των γαιοποιιοτήτων και τον καθορισμό κλάσεων καταλληλότητας.

Η αξιολόγηση γης προσδιορίζει την αξία του φυσικού περιβάλλοντος σε ορισμένη έκταση (από μερικά στρέμματα έως τετραγωνικά χιλιόμετρα) σε σχέση με την ανθρώπινη κοινωνία (Zomeveld, 1972).

Η γνώση αυτή μεταφράζεται σε γραπτά δεδομένα, κύρια χάρτες, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ικανοποιητικά στο σχεδιασμό ανάπτυξης των φυσικών πόρων, γιατί βασίζονται στις αντικειμενικές παρατηρήσεις των φυσικών και βιολογικών χαρακτηριστικών, καθώς και άλλων από την επίδραση του ανθρώπου, παίρνοντας υπόψη και τις κοινωνικοοικονομικές συνθήκες της μελετώμενης περιοχής, τοπικά και / ή σε σχέση και με τις άλλες χώρες.

Η αξιολόγηση γης και οι σχετικές με αυτήν βασικές έρευνες, αποτελούν απαραίτητο στάδιο για κάθε ολοκληρωμένη έρευνα εθνικής, περιφερειακής ή τοπικής ανάπτυξης. Οι διάφορες δραστηριότητες της αξιολόγησης γης από μόνες τους συνιστούν μια "μικρο-ολοκληρωμένη" έρευνα, μέσα στον ευρύτερο χώρο της έρευνας για Εθνική Ανάπτυξη.

Ανακεφαλαιώνοντας, οι σκοποί της Αξιολόγησης Γεωργικών Εδαφών και Γαιών είναι :

1. Να ερμηνεύσει και να αξιολογήσει δεδομένα από άλλες βασικές έρευνες, όπως του εδάφους, του κλίματος, της βλάστησης, της υδρολογίας, της γεωλογίας - γεωμορφολογίας, κλπ., και μαζί με νέα δεδομένα (οικονομικά - κοινωνικά) να εκτιμήσει το βαθμό καταλληλότητας της γης για γενική και ειδική γεωργική χρήση, ποιοτικά και ποσοτικά.
2. Εάν τα δεδομένα βασικών ερευνών δεν υπάρχουν, τότε στο σχεδιασμό εφαρμογής της αξιολόγησης να περιληφθούν και οι προκαταρκτικές φάσεις για την εκτέλεση των ερευνών αυτών.
3. Η αξιολόγηση δεν έχει σαν σκοπό το σχεδιασμό χρήσης γης, αλλά την παροχή δεδομένων και πληροφοριών για τις υφιστάμενες φυσικές και κοινωνικοοικονομικές συνθήκες της περιοχής, στα οποία θα στηριχθεί ο σχεδιασμός χρήσης γης.

Σε σχετικό πρόγραμμα αξιολόγησης της γης στην Πορτογαλία, οι σκοποί καθορίστηκαν ως «ο χαρακτηρισμός των υπαρχόντων εδαφών, ο καθορισμός των περιοριστικών παραγόντων τους, η ομαδοποίηση των εδαφών σε ομογενείς κατά το δυνατόν ομάδες, στη συνέχεια τα μέτρα βελτίωσης και ο καθορισμός της παραγωγικότητάς τους για διάφορες γεωργικές γαιοχρήσεις, πριν και μετά τη βελτίωση» (Thiadens, 1881).

5.3. ΑΡΧΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Οι αρχές που θεωρούνται βασικές για την εφαρμογή της αξιολόγησης είναι (FAO, 1976):

1. Η εκτίμηση και η ταξινόμηση της καταλληλότητας γης πραγματοποιείται σε σχέση με ορισμένα είδη χρήσης.

Η αρχή αυτή περιλαμβάνει αναγνώριση του γεγονότος ότι διαφορετικά είδη χρήσης γης έχουν διαφορετικές απαιτήσεις. Π.χ., μια αλλουβιακή πεδιάδα με προβλήματα διηθητικότητας, μπορεί να είναι κατάλληλη για ρύζι, αλλά ακατάλληλη για άλλες γεωργικές χρήσεις ή για δάσος. Η έννοια της καταλληλότητας γης έχει περιεχόμενο όταν

περιλαμβάνονται καθορισμένα είδη χρήσεων, το κάθε ένα με τις δικές του απαιτήσεις, π.χ. απαιτήσεις σε εδαφική υγρασία, βάθος ανάπτυξης ριζών, κ.λπ. Οι γαιοποιότητες όπως η εδαφική υγρασία, κίνδυνος πλημμύρας, κ.λπ., συγκρίνονται με τις απαιτήσεις κάθε χρήσης. Κατά συνέπεια η ίδια η γη και η χρήση της είναι εξ ίσου βασικές στην αξιολόγηση της καταλληλότητας εδαφών και γαιών.

2. Η αξιολόγηση απαιτεί σύγκριση των αναμενομένων εσόδων και των εξόδων που χρειάζονται για κάθε τύπο γης.

Η ίδια η γη, χωρίς επενδύσεις, σπάνια είναι παραγωγική, ακόμα και η συλλογή αγρίων φρούτων προϋποθέτει εργασία, ενώ η χρήση των φυσικών ερημότοπων για φυσική διατήρηση απαιτεί τη λήψη μέτρων για την προστασία της. Η εκτίμηση της καταλληλότητας για κάθε χρήση απαιτεί σύγκριση των απαιτούμενων εξόδων, όπως εργατικών, λιπασμάτων, κατασκευής δρόμων, με τα παραγόμενα προϊόντα ή με άλλα αναμενόμενα κέρδη.

3. Η αξιολόγηση προϋποθέτει πολυδιάστατη προσέγγιση.

Η αξιολόγηση στην εφαρμογή της απαιτεί τη συμβολή από τομείς των φυσικών επιστημών, τη τεχνολογία της χρήσης γης, της οικονομίας και της κοινωνιολογίας. Η εκτίμηση της καταλληλότητας της γης πάντα περιλαμβάνει οικονομικά δεδομένα σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό. Στην ποιοτική όμως αξιολόγηση τα οικονομικά δεδομένα περιλαμβάνονται με γενική μόνο έννοια, χωρίς υπολογισμούς κόστους και κερδών. Στην ποσοτική όμως αξιολόγηση η σύγκριση κερδών και εξόδων, με οικονομική αξιολόγηση, παίζει ένα σοβαρό ρόλο στον καθορισμό της καταλληλότητας της γης. Τα παραπάνω σημαίνουν ότι η ομάδα που αναλαμβάνει το έργο της αξιολόγησης των γαιών μιας περιοχής, χρειάζεται ένα σημαντικό αριθμό ειδικών επιστημόνων, όπως γεωμορφολόγων, γεωλόγων, εδαφολόγων, οικολόγων, γεωπόνων εφαρμοστών, δασολόγων, γεωπόνων εγγείων βελτιώσεων, ζωοτεχνών, οικονομολόγων και γεωργοκοινωνιολόγων. Πρακτικά οι ειδικότητες αυτές πρέπει να περιοριστούν με κάποιο συνδυασμό, αλλά το γεγονός της πολυδιάστατης μελέτης της γης παραμένει αμετάβλητο.

4. Η αξιολόγηση λαμβάνει χώρα παίρνοντας υπόψη τις φυσικές, οικονομικές και κοινωνικές συνθήκες της περιοχής.

Παράγοντες όπως το τοπικό κλίμα, χαρακτηριστικά του πληθυσμού, διαθεσιμότητα και κόστος εργασίας, ανάγκη για απασχόληση, συνθήκες της τοπικής αγοράς και δυνατότητα εξαγωγών, τα συστήματα ιδιοκτησίας που είναι κοινωνικά και πολιτικά αποδεκτά, η διαθεσιμότητα κεφαλαίων, σχηματίζουν τα δεδομένα μέσα στα οποία θα διεξαχθεί η αξιολόγηση της γης. Π.χ. δεν είναι ρεαλιστικό να προταθεί ότι μια περιοχή είναι κατάλληλη για μηχανική καλλιέργεια ρυζιού που απαιτεί μεγάλο ποσοστό χαμηλόμισθης εργασίας, σε μια χώρα με υψηλό εργατικό κόστος. Οι παραδοχές της αξιολόγησης θα διαφέρουν από χώρα σε χώρα και μερικές φορές από περιοχή σε περιοχή. Πολλοί από τους παραπάνω παράγοντες συμπεραίνονται με αρκετή ανοχή, για να αποφευχθούν όμως παρανοήσεις και για να υποστηριχθεί η σύγκριση μεταξύ διαφορετικών περιοχών, οι παράγοντες αυτοί θα πρέπει με σαφήνεια να περιγραφούν.

5. Η καταλληλότητα αναφέρεται σε χρήση με συνεχή παραγωγή.

Το πρόβλημα της υποβάθμισης του περιβάλλοντος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την εκτίμηση της καταλληλότητας των γαιών. Π.χ. ορισμένες χρήσεις γης μπορεί να είναι ιδιαίτερα επικερδείς βραχυπρόθεσμα, αλλά να προκαλέσουν διάβρωση του εδάφους, φόρτιση με ιζήματα ή μόλυνση με λιπάσματα - φυτοφάρμακα των νερών ενός ποταμού. Παρόμοιες συνέπειες αντισταθμίζουν το βραχυπρόθεσμο κέρδος και έχουν σαν συνέπεια την ταξινόμηση της γης σαν ακατάλληλης για τη χρήση αυτή. Η αρχή αυτή δεν σημαίνει ότι το περιβάλλον πρέπει να προστατεύεται σε ολοκληρωτικό βαθμό. Η γεωργική χρήση προϋποθέτει την απομάκρυνση της φυσικής βλάστησης και φυσιολογικά η γονιμότητα του εδάφους, στην περίπτωση καλλιεργουμένων φυτών, είναι βέβαια μικρή ή μεγάλη, ανάλογα με τις πρακτικές εκμετάλλευσης, αλλά σπάνια είναι στο ίδιο επίπεδο με τη γονιμότητα σε

συνθήκες φυσικής βλάστησης. Συμπερασματικά αυτό που χρειάζεται είναι η εξέταση για κάθε χρήση γης των συνεπειών στο περιβάλλον και η αξιολόγηση των συνεπειών αυτών στην εκτίμηση της καταλληλότητας της μελετούμενης περιοχής.

6. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει σύγκριση περισσότερων από ένα είδος χρήσεων γης.

Η σύγκριση αυτή μπορεί να γίνει π.χ. μεταξύ γεωργίας και δασοπονίας, μεταξύ δυο ή περισσότερων συστημάτων εκμετάλλευσης, ή μεταξύ διαφόρων καλλιεργειών. Συχνά θα περιλαμβάνει σύγκριση των υπαρχόντων χρήσεων με πιθανές αλλαγές, είτε για νέες χρήσεις είτε για μεταβολές στις υπάρχουσες. Ακόμη και η σύγκριση κάποιας μορφής χρήσης με την δυνατότητα μη-χρήσης είναι δυνατή, π.χ. να αφηθεί κάποια περιοχή ως έχει. Η αξιολόγηση είναι ρεαλιστική όταν έσοδα και έξοδα για κάποια δεδομένη χρήση συγκρίνονται με τουλάχιστον άλλη μια δυνατή χρήση και ακόμα καλύτερα με περισσότερες εναλλακτικές χρήσεις. Εάν η εκτίμηση της καταλληλότητας μιας περιοχής γίνει μόνο για μια χρήση, υπάρχει ο κίνδυνος, ακόμα και εάν η προτεινόμενη χρήση είναι κατάλληλη να αγνοηθεί μια άλλη περισσότερο επικερδής. Οι παραδοχές που χρησιμοποιεί η αξιολόγηση γης σχετίζονται με τη φύση και τις διεργασίες των υφισταμένων ή εναλλακτικών γαιοχρήσεων (Land utilization types). Επίσης η φύση των παραδοχών είναι σχετική με τις κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες στην ευρεία τους έννοια και με το επίπεδο των τεχνικών γνώσεων των γεωργών (know-how). Οι παραδοχές αυτές και τα είδη των γαιοχρήσεων, πρέπει να καθορίζονται με σαφήνεια κατά τη διάρκεια της ταξινόμησης της καταλληλότητας της γης (Vink, 1963-1975).

5.4. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Ποιοτική αξιολόγηση (qualitative evaluation or classification) ονομάζεται η περίπτωση κατά την οποία η εκτίμηση της καταλληλότητας της γης γίνεται με τη χρησιμοποίηση ποιοτικών μόνο δεδομένων και όρων, χωρίς ακριβή υπολογισμό του κόστους και των κερδών (FAO, 1976).

Η **ποιοτική αξιολόγηση** βασίζεται κύρια στη φυσική παραγωγικότητα της γης, με βοηθητική μόνο χρήση οικονομικών στοιχείων.

Η ποσοτική αξιολόγηση (quantitative evaluation) διαφέρει στο ότι οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των κλάσεων καταλληλότητας καθορίζονται με αριθμητικά στοιχεία που επιτρέπουν αντικειμενική σύγκριση μεταξύ κλάσεων που σχετίζονται με διάφορα είδη γαιοχρήσεων.

Η ποσοτική αξιολόγηση συνήθως περιλαμβάνει σημαντική χρήση οικονομικών κριτηρίων, π.χ. κόστος και τιμές, που επιδρούν στα έξοδα και στην παραγωγή. Ειδικά προγράμματα ανάπτυξης, που περιλαμβάνουν προκαταρκτικές μελέτες, συνήθως απαιτούν ποσοτική αξιολόγηση.

Η ποσοτική αξιολόγηση μπορεί να σχηματίσει κατά κάποιο τρόπο μια άποψη για κέρδη, με κοινωνικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά δεδομένα. Η δυνατότητα αυτή χάνεται στην ποιοτική αξιολόγηση. Η τελευταία όμως παρέχει τα δεδομένα επάνω στα οποία μπορεί να στηριχθούν υπολογισμοί καθαρών κερδών, ή άλλων οικονομικών παραμέτρων, από διαφορετικές περιοχές και διαφορετικά είδη χρήσης.

Τα δεδομένα της ποσοτικής αξιολόγησης μπορούν να αλλάξουν πιο γρήγορα απότι της ποιοτικής, σαν αποτέλεσμα αλλαγών στο κόστος και στις τιμές (FAO, 1976).

Η εκλογή μεταξύ ποιοτικής και ποσοτικής αξιολόγησης θα εξαρτηθεί από το βαθμό γενίκευσης των δεδομένων και τη διαθεσιμότητα δεδομένων οχετιζομένων με κοινωνικοοικονομικές συνθήκες (Verheye, 1981).

Η ποιοτική προσέγγιση φαίνεται να είναι η μόνη πρακτική μέθοδος στην περίπτωση ερμηνείας χαρτών μικρής κλίμακας.

5.5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ

Με τον όρο χρήση γης εννοείται κάθε είδους ανθρώπινης προσπάθειας να ικανοποιήσει τις ανάγκες του, υλικές, πνευματικές ή και τις δύο, από το σύμπλοκο των φυσικών και τεχνικών πόρων που όλοι μαζί ονομάζονται γη. Η γη περιλαμβάνει οικοσυστήματα και με την έννοια αυτή η χρήση γης είναι η εφαρμογή ανθρώπινων δραστηριοτήτων κατά συστηματικό τρόπο επάνω στα στοιχεία "κλειδιά" του συστήματος, με σκοπό την αποκόμιση κερδών (Vink, 1975).

Οι φυσικοί όμως πόροι δεν είναι ανεξάντλητοι, με την έννοια της με κάθε τρόπο υποβάθμισής τους. Όπως αναφέρει ο Γιάσογλου (1984), οι ανάγκες τόσο σε καλλιεργήσιμη γη, όσο και σε γη άλλων μη εδαφοπονικών χρήσεων αυξάνονται με ταχύ ρυθμό και προκαλούν σημαντικές αλλαγές στην παραδοσιακή μορφή εκμετάλλευσης των πόρων γης. Οι αριθμοί σχετικά με τον υπερπληθυσμό δείχνουν ότι ο πληθυσμός του πλανήτη μας αυξήθηκε από 2,5 σε 4 δισεκατομμύρια μεταξύ 1950 και 1975. Μετριοπαθείς υπολογισμοί δείχνουν ότι το 2000 θα αυξηθεί στα 6,4 δισεκατομμύρια και το 2075 σε 12,2 δισεκατομμύρια, ενώ δεν προβλέπεται σημαντική αύξηση των φυσικών πόρων για διατροφή και άλλα ζωτικά υλικά.

Οι αριθμοί όμως σχετικά με τον υπερπληθυσμό δείχνουν μέρος της πίεσης που ασκείται επάνω στους φυσικούς πόρους. Η οικονομική ανάπτυξη, η βιομηχανοποίηση και το άνοιγμα στη διάδοση των γνώσεων, έχουν επιφέρει σημαντικές αλλαγές σε σχέση με την ανάγκη των απαιτήσεων του ανθρώπου για προϊόντα από την εκμετάλλευση της γης. Αυτό όμως δεν μπορεί να συνεχιστεί χωρίς έλεγχο.

Ο άνθρωπος έχει την ικανότητα να σκέφτεται και να αιτιολογεί. Εάν υπάρχει η βούληση, είναι δυνατό ο άνθρωπος να προσαρμόσει τα σχέδια και τις στρατηγικές, ώστε να επιτραπεί να συνεχιστεί η παροχή τροφής και άλλων φυτικών υλικών στις επερχόμενες γενεές, σε ένα παραδεκτό υψηλό επίπεδο ζωής. Το γεγονός όμως αυτό δεν μπορεί να αφεθεί στην τύχη, αλλά θα βασίζεται στο σχεδιασμό και ανάπτυξη προγραμμάτων για το μέλλον των φυσικών πόρων του πλανήτη μας (Beatty et al, 1979).

Η ανάγκη του σχεδιασμού της χρήσης γης έχει σχέση με την παρόρμηση του ανθρώπου να διαμορφώσει τη μοίρα του, ενώ οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για το σχεδιασμό συνοψίζονται από τον Drog (1967) και Woodburry, 1966, όπως παρακάτω (Beatty et al, 1979).

- 1) Ο σχεδιασμός χρήσης γης θεωρείται ως μια "διαδικασία" που σημαίνει συνεχή δραστηριότητα. Η "διαδικασία" αναγνωρίζει ότι σχεδιασμός εκτελείται σε ένα σταθερά μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Οι αξίες αλλάζουν, οι γνώσεις επεκτείνονται, η κατανόηση του πως λειτουργεί το περιβάλλον αλλάζουν. Το γεγονός αυτό απαιτεί συνεχή αναθεώρηση των σκοπών και επανεξέταση των πόρων, παίρνοντας υπόψη τις νέες γνώσεις. Αυτό με τη σειρά του απαιτεί νέα αξιολόγηση των πληροφοριών και τροποποίηση των σχεδίων.
- 2) Ο σχεδιασμός χρήσης περιλαμβάνει προετοιμασία εναλλακτικών σχεδίων, πολιτικών, ή ροή δραστηριοτήτων. Αυτό μπορεί να είναι γενικά ή ειδικά ή μεταξύ των δυο άκρων, αλλά η ανάπτυξη σχεδίων, πολιτικών και ροής δραστηριοτήτων θεωρούνται ως βασικά σημεία του σχεδιασμού.
- 3) Ο σχεδιασμός χρήσης γης αποβλέπει στο μέλλον και κατευθύνεται στο να επιτύχει στόχους ή σκοπούς του σχεδιασμού.
- 4) Χρησιμοποιεί σε σημαντικό βαθμό ορθολογιστικές προσεγγίσεις για να φθάσει σε σχέδια, πολιτικές αποφάσεις, ή σε κάποια ροή δραστηριοτήτων. Αντικειμενικότητα, αιτιολογία και λογική είναι στοιχεία καθοριστικά σε αντίθεση με τα αισθήματα ή προσωπικά συμφέροντα. Πληροφορίες και γνώσεις συστηματικά θεωρούμενες, αναλυόμενες και ολοκληρωμένες, είναι ο καλύτερος τρόπος για την αναθεώρηση σχεδίων, πολιτικών και ροής δραστηριοτήτων.

5) Αναγνωρίζει, όπου είναι δυνατό, ότι 'κάθε τι συνδέεται με κάθε τι άλλο', π.χ. προτάσεις για ανάπτυξη χώρων αναψυχής σε μια περιοχή προϋποθέτουν και θεώρηση της κατάστασης από άποψη μεταφορικών μέσων, πιθανές επιδράσεις στη γη, στην ποιότητα του νερού, κ.λπ.

Ο σχεδιασμός περιγράφεται και διαγραμματικά, όπως παρακάτω:

- Συγκεκριμενοποίηση στόχων
- Αναγνώριση και Ανάλυση
- Καταγραφή-Ανάπτυξη εναλλακτικών λύσεων και αποτελεσμάτων
- Μελέτη/Αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων
- Εκλογή σχεδίου/Δράση Ολοκλήρωση

Σε σχέση με το σχεδιασμό χρήσεων στην αγροτική γη ο Beatty et al (1979) περιγράφουν με σαφήνεια και συστηματικά την όλη φιλοσοφία του σχεδιασμού, που συνοψίζεται σε τρία ερωτήματα:

- 1) Πρέπει να διατηρηθεί και να προστατευθεί η αγροτική γη για γεωργία;
- 2) Πρέπει ένα τμήμα γης να αφεθεί για γεωργία ή να δοθεί για μη γεωργική χρήση;
- 3) Πρέπει μια ένα τμήμα να χρησιμοποιηθεί για ένα είδος γεωργικής παραγωγής που σήμερα δεν είναι στην παραγωγή;

Στην περίπτωση της πρώτης ερώτησης υπάρχουν τρεις απαντήσεις - ναι, όχι, ίσως. Όσοι απαντούν ναι το κάνουν έχοντας το φόβο της υποβάθμισης των φυσικών πόρων και του υπερπληθυσμού. Όσοι απαντούν όχι δικαιολογούν την απόφασή τους με το πιστεύω τους σε κάθε είδους τεχνολογική ανάπτυξη. Η τρίτη απάντηση ίσως σημαίνει ότι σε πολλές περιπτώσεις ο σχεδιασμός είναι απαραίτητος και σε άλλες περιπτώσεις όχι. Η γνώμη των συγγραφέων είναι ότι ο σχεδιασμός χρήσης της αγροτικής γης για γεωργία είναι απαραίτητος. Εάν ο υπερπληθυσμός παύσει να είναι πρόβλημα ή κάποια υπέρ-τεχνολογία δημιουργηθεί ώστε να μειωθεί η πίεση επάνω στους φυσικούς πόρους, τόσο το καλύτερο. Εάν η απαισιόδοξη άποψη για τον υπερπληθυσμό και η μείωση των φυσικών πόρων υπερισχύσει, τότε θα υπάρχουν έτοιμα σχέδια για την αντιμετώπιση της κατάστασης.

Στις Η.Π.Α. υπάρχουν 155,2 εκατομμύρια εκτάρια σε παραγωγή και 40,5 εκατομμύρια εκτάρια ακαλλιέργητα. Παγκόσμια υπάρχουν 3.190 εκατομμύρια εκτάρια αγροτικής γης από τα οποία χρησιμοποιείται το 46%.

Επέκταση της γεωργίας σε γη όχι τόσο κατάλληλης για το σκοπό αυτό θα απαιτήσει μεγάλες πιστώσεις, οι οποίες πιθανόν να είναι πιο περιορισμένες από ότι η γη. Π.χ. ενέργεια, όπως λιπάσματα, φυτοφάρμακα, πετρέλαιο, θα απαιτηθούν σε μεγαλύτερα ποσά για την επέκταση της γεωργίας στις νέες περιοχές, ενώ θα υπάρχει και πρόβλημα νερού.

Εκτός από το γεγονός ότι η γεωργική γη είναι περιορισμένη, υπάρχει και το θέμα της αλλαγής χρήσης από γεωργική σε μη γεωργική. Στις Η.Π.Α. υπολογίζεται ότι 0,61 εκατομμύρια εκτάρια γεωργικής γης απομακρύνονται ετήσια από την γεωργία. Κατά την περίοδο 1959 - 1969 απομακρύνθηκαν από την γεωργία 0,89 εκατομμύρια εκτάρια/έτος. Από αυτά τα 0,4 εκατομμύρια εκτάρια έχουν μετατραπεί σε χώρους αναψυχής, πάρκα, χώρους διατήρησης της άγριας ζωής, κ.λπ.

Παρά το γεγονός ότι οι αριθμοί αυτοί συγκρινόμενοι με τις τεράστιες εκτάσεις των Η.Π.Α. είναι όχι τόσο σημαντικοί, εάν γίνει δεκτό ότι 0,89 εκατομμύρια εκτάρια απομακρύνονται από την γεωργία ετήσια, αυτό σημαίνει ότι το έτος 2.000 θα έχει απομακρυνθεί περισσότερο από 50% της διαθέσιμης για γεωργία γης. Άλλοι υπολογισμοί δείχνουν ότι η απομάκρυνση γης από τη γεωργία είναι 2 εκατομμύρια εκτάρια ετήσια, που σημαίνει ότι το έτος 2.000 η διαθέσιμη, για γεωργία γη στις Η.Π.Α. θα έχει εξαντληθεί, ενώ θα έχει απομακρυνθεί από τη γεωργία και το ποσοστό της γεωργικής γης που βρίσκεται σε παραγωγή.

Όλα τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο σχεδιασμός χρήσης γης είναι απαραίτητος, μια που κάθε αλλαγή προκαλεί σημαντικές οικονομικές και κοινωνικές αλλαγές σε τοπικό, εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο.

5.5.1. Υφιστάμενη Χρήση Γης

Η παρούσα χρήση γης είναι το αποτέλεσμα διαφόρων αιτιών, πολλά από τα οποία συνδέονται άμεσα με τη φύση και την ποσότητα των φυσικών πόρων, ενώ άλλα με τις πολιτιστικές, κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες του παρελθόντος και την εξέλιξή τους μέσα στα πλαίσια των ιστορικών δεδομένων. Το αποτέλεσμα είναι ότι σπάνια η σημερινή χρήση γης είναι συνδεδεμένη με τη σημερινή κατάσταση των φυσικών πόρων και την ανθρώπινη κοινωνία (Vink, 1975).

Συχνά η σημερινή χρήση γης δεν είναι προσαρμοσμένη σε μελλοντικές απαιτήσεις, δηλαδή απαιτήσεις για μεγαλύτερη παραγωγικότητα ή περισσότερο ισορροπημένη οικολογική χρήση της γης ή καλύτερα, ισορροπημένη χρήση μεταξύ των δύο απαιτήσεων.

Η σημερινή χρήση γης πρέπει να ελέγχεται περιοδικά για άλλες πιθανές μεθόδους χρήσης γης, οι οποίες είναι δυνατό να καλύπτουν καλύτερα τις ανθρώπινες ανάγκες και/ή να δημιουργούν καλύτερη και υγιέστερη βιόσφαιρα.

Το κρίσιμο σημείο είναι να καθοριστεί η καταλληλότητα της γης για διάφορες γαιοχρήσεις, κάτω από ένα δεδομένο σύμπλεγμα παράδοσης και κοινωνικοοικονομικών συνθηκών. Οι τύποι γαιοχρήσεων πρέπει να καθοριστούν σε συνάρτηση με το είδος και την ποσότητα των διαθέσιμων φυσικών πόρων.

Τα παραπάνω σημαίνουν ότι η καταγραφή των υφισταμένων χρήσεων γης δεν πρέπει να έχει ένα απλό τεχνικό χαρακτήρα, ή να γίνεται με δεδομένο ότι θα προταθούν άλλες γαιοχρήσεις, αλλά να γίνεται προσπάθεια συλλογής τέτοιων δεδομένων, ώστε να μπορεί να δικαιολογηθεί ή να απορριφθεί το υφιστάμενο μοντέλο γαιοχρήσης στην περιοχή.

Επειδή το περιεχόμενο του βιβλίου αναφέρεται κύρια στο γεωργικό τομέα, με τον όρο **γαιοχρήση** εννοείται η καταλληλότητα ή η ακαταλληλότητα της γης για γεωργία. Είναι σκόπιμο στο σημείο αυτό να εξηγηθούν οι όροι **γενική αξιολόγηση και ειδική αξιολόγηση**. Ο πρώτος όρος σημαίνει ταξινόμηση της καταλληλότητας της γης γενικά για γεωργικές καλλιέργειες, ενώ ο δεύτερος για ορισμένες καλλιέργειες, π.χ. σιτάρι, βαμβάκι, καλαμπόκι, ή για ομάδες φυτών, π.χ. εσπεριδοειδή, σιτηρά κ.λπ.

Η μελέτη της υφισταμένης χρήσης είναι καθοριστική πριν από το σχεδιασμό εναλλακτικών χρήσεων γης, γιατί δίνει τη δυνατότητα παροχής πληροφοριών και δεδομένων των δυνατοτήτων μιας χρήσης για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα και κάτω από γνωστό σύμπλεγμα κοινωνικών και οικονομικών δεδομένων, πολιτικής κατάστασης και παραδόσεων του τόπου.

Ο σχεδιασμός νέας χρήσης γης περιέχει πάντα ένα στοιχείο κινδύνου, γιατί παρά την προσεκτική εξέταση όλων των δεδομένων (φυσικών, κοινωνικών, οικονομικών), μπορεί να οδηγήσει σε απρόβλεπτα αποτελέσματα, είτε π.χ. λόγω της ρευστής κατάστασης του εμπορίου στην εποχή μας, είτε για κάποιο άλλο λόγο που δεν ήταν δυνατό να προβλεφθεί, όπως π.χ. η παράδοση του τόπου σε κάποια χρήση, σε σχέση με κάποια άλλη.

Συμπερασματικά η προσεκτική έρευνα και αξιολόγηση της υφισταμένης χρήσης γης είναι σημαντικό στάδιο τόσο της αξιολόγησης όσο και του σχεδιασμού χρήσης γης.

Το γεγονός ότι μια καλλιέργεια παρουσιάζει μεγαλύτερη παραγωγικότητα σε ένα έδαφος, σε σχέση με την γεωργική ανάπτυξη δεν είναι καθοριστικό, όταν μελετηθεί σε σχέση με τις κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες του τόπου, τις υφιστάμενες παραδόσεις (ισχυρές ακόμα στον Ελληνικό χώρο) και τη διάρθρωση του πληθυσμού και της αγοράς της ευρύτερης περιοχής.

5.5.2. Εναλλακτική χρήση γης

Με τον όρο **γαιοικανότητα χρήσης** εννοείται η δυνατότητα (potential) της γης να στηρίζει εναλλακτικούς τύπους γαιοχρήσεων κάτω από ένα δεδομένο καθεστώς τοπικών και κοινωνικοοικονομικών συνθηκών (Vink,1975).

Το είδος γαιοχρήσης πρέπει να εκλέγεται με βάση το είδος και την ποσότητα των διαθέσιμων φυσικών πόρων, ενώ πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην σταθερότητα τους και στους πιθανούς κινδύνους από την ανάπτυξη διαφόρων καλλιεργειών.

Από τα παραπάνω βγαίνει το συμπέρασμα ότι η χρήση γης πρέπει να καθορίζεται σε σχέση με τους φυσικούς πόρους. Οι φυσικοί πόροι, η φύση τους και οι μέθοδοι έρευνας, πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά.

Η εναλλακτική χρήση γης πρέπει να εξετάζεται στενά με το σωστό σχεδιασμό χρήσης των φυσικών πόρων, ανάλογα φυσικά με τη δομή τους και τα αποτελέσματα που επιδιώκονται από μια ορισμένη γαιοχρήση. Εάν αυτό δεν γίνει τότε συχνά το αποτέλεσμα θα είναι η υποβάθμιση των φυσικών πόρων.

Με δεδομένη την ύπαρξη φυσικών πόρων, γαιοχρήσεων, διαχείρισης και βελτίωσης της γης μέσα σε ένα δεδομένο σύμπλεγμα κοινωνικοοικονομικών συνθηκών, το ερώτημα είναι πως η καλύτερη δυνατή χρήση γης μπορεί να καθοριστεί (Vink,1975). Σαφής απάντηση δεν είναι δυνατόν να δοθεί. Στις περισσότερες περιπτώσεις πολλά είδη εναλλακτικών γαιοχρήσεων πρέπει να συγκριθούν. Κανένα από αυτά δεν είναι απαλλαγμένο από κινδύνους, όπως και οι φυσικοί πόροι και γενικά οι ανθρώπινες κοινωνίες.

Σε πολύ λίγες περιπτώσεις και σε λίγα μέρη του κόσμου η γη είναι κατάλληλη για κάθε είδους χρήση, ενώ το ίδιο συμβαίνει για γη φτωχή που δεν μπορεί να στηρίξει κάποια χρήση. Για τις περισσότερες των περιπτώσεων απαιτείται προσεκτική αξιολόγηση των φυσικών πόρων και της ανθρώπινης επέμβασης στη γη.

Για τον προσδιορισμό εναλλακτικών χρήσεων γης και τον καθορισμό της ενδεδειγμένης χρήσεώς της είναι απαραίτητο να προϋπάρχουν τα εξής (Γιάσογλου,1985):

- Η γνώση των παραμέτρων που επηρεάζουν τη λειτουργία και τη συμπεριφορά της γης.
- Η γνώση της συμπεριφοράς και λειτουργίας κάθε μονάδας γης σε σχέση με την επιδιωκόμενη χρήση γης.
- Η ταξινόμηση και απογραφή των μονάδων γης.
- Η αξιολόγηση των μονάδων γης για συγκεκριμένες χρήσεις. Στο σχεδιασμό εναλλακτικών λύσεων για χρήση γης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και τα παρακάτω (Beatty et al, 1979).

Η γεωργία, όπως και κάθε άλλη χρήση, επιδρά με δυο τρόπους στη γη. Πρώτα με την άμεση επίδρασή της στη χρησιμοποιούμενη γη και δεύτερο με την επίδρασή της στη γειτονική και/ή σε γη χιλιόμετρα μακριά. Το γεγονός αυτό εμπίπτει στην υπευθυνότητα του χρήστη γης να ελαχιστοποιήσει τις παραπάνω επιδράσεις και στην υπευθυνότητα του σχεδιαστή χρήσης γης να έχει μια ιδέα των επιδράσεων αυτών και με ποιο τρόπο να τις χειριστεί κατά τον σχεδιασμό της χρήσης γης. Πολλές γεωργικές χρήσεις έχουν ελάχιστη επίδραση στη γη, ενώ άλλες μπορούν να προκαλέσουν θεαματικές αλλαγές. Π.χ. η σωστή χρήση λιβαδιών με φυτική βλάστηση μπορεί να προκαλέσει κάποια συμπίεση του εδάφους ή αλλαγές στη σύνθεση της φυσικής βλάστησης. Κακή χρήση μπορεί να προκαλέσει καταστροφή της φυτοκοινωνίας και διάβρωση.

Εντατικές μορφές γεωργίας μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές αλλαγές στη γη, όπως δημιουργία συμπαγών οριζόντων, αλλαγή στο pH, αλάτωση ή να αφήσουν τοξικά υπολείματα, όπως συνέβη στην Καλιφόρνια με την καλλιέργεια φυτών υψηλού εισοδήματος.

Η γεωργική χρήση έχει επίδραση και σε γη γειτονική ή χιλιόμετρα μακριά από τη χρησιμοποιούμενη. Π.χ. η σκόνη που υψώνεται κατά τις καλλιεργητικές εργασίες, το ψέκασμα

φυτοφαρμάκων, η διάβρωση από νερό ή τον άνεμο, μπορεί να επιδράσει στον αέρα, το νερό και στην ποιότητα της γης σε μεγάλες αποστάσεις. Το θέμα της μόλυνσης του περιβάλλοντος από τη γεωργική χρήση σε συνδυασμό με τη μόλυνση από βιομηχανίες είναι αρκετά πολύπλοκο και στο θέμα του σχεδιασμού χρήσης γης πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη.

Μια επικερδής καλλιέργεια δεν σημαίνει ότι είναι η καλύτερη λύση, όταν τα αποτελέσματα από τη χρήση αυτή στη γη (μεσοπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα, π.χ. σε 10-20 χρόνια) θα έχουν μόνιμη και δύσκολα αναστρέψιμη αρνητική επίδραση. Όταν μια γεωργική χρήση έχει ως αποτέλεσμα τη διάβρωση του εδάφους, αυτό σημαίνει απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων λόγω της απομάκρυνσης οργανικής ουσίας και αργίλου.

Μια χρήσιμη μέθοδος έκφρασης της απομάκρυνσης θρεπτικών στοιχείων (**ΑΟΣ**) δίνεται από τους Barrow και Kilmer (1963) ως :

ΑΟΣ = Συγκέντρωση στοιχείου στο έδαφος του νερού απορροής / Συγκέντρωση στοιχείου στο έδαφος από το οποίο δημιουργήθηκε

Ο ρόλος του σχεδιαστή χρήσης γης είναι να προβλέψει τιμές διάβρωσης για κάθε χρήση γης και στη συνέχεια να αναπτύξει σχέδια ελαχιστοποίησης της διάβρωσης του εδάφους.

5.5.3. Τύποι γαιοχρήσεων

Τύπος γαιόχρησης (land utilization type) ονομάζεται η χρήση γης που περιγράφεται και καθορίζεται σε ένα βαθμό λεπτομέρειας μεγαλύτερο από το είδος γαιοχρήσης (major kind of land use - FAO 1976) ή του γαιοσυστήματος (land utilization system - Beek, 1978), που είναι η γενική κατά κάποιο τρόπο ταξινόμηση των χρήσεων, π.χ. αρδευόμενη γεωργία, ξερική γεωργία, δασοπονία, κ.λπ. Οι τύποι γαιοχρήσεων περιγράφονται με την λεπτομέρεια και ακρίβεια που απαιτεί ο σκοπός του καθορισμού τους. Κατά συνέπεια ο τύπος γαιοχρήσης δεν είναι υποδιαίρεση σε ένα ταξινομικό σύστημα της χρήσης γης, αλλά αναφέρεται σε κάθε καθορισμένη χρήση κάτω από το επίπεδο του Γαιοσυστήματος.

Παράδειγμα τύπου γαιοχρήσης :

- 1) Ξερική ετήσια καλλιέργεια, με μικρό κεφάλαιο, κύρια με χρήση ζωικού δυναμικού για καλλιεργητικές εργασίες, σε εκμεταλλεύσεις 50-100 στρεμμάτων, με υψηλό εργατικό κόστος.
- 2) Ίδια όπως προηγούμενα, αλλά σε εκμεταλλεύσεις 100-200 στρεμμάτων.
- 3) Καλλιέργεια σίτου σε μεγάλες εκμεταλλεύσεις, πλήρως μηχανοποιημένες, με χαμηλό κόστος εργασίας και προχωρημένη τεχνολογία.
- 4) Εθνικό πάρκο αναψυχής.
- 5) Λεύκες με την επίβλεψη της Δασικής Υπηρεσίας, με σημαντικό κεφάλαιο, χαμηλό κόστος εργασίας και προχωρημένη τεχνολογία. Στην Ελλάδα οι συνήθεις τύποι γεωργικών γαιοχρήσεων μπορούν να συνοψισθούν όπως στον Πίνακα 5.1.

Θα πρέπει να γίνει σαφές ότι οι παραπάνω τύποι γεωργικών γαιοχρήσεων θα πρέπει να καθοριστούν και με άλλα στοιχεία, όπως μέγεθος ιδιοκτησίας, εντατικότητα, τρόπος εκμετάλλευσης, είδος εργασίας, κ.λπ.

Ο τύπος γαιοχρήσης είναι σημαντικό να καθορίζεται με λεπτομέρεια πριν από την διαδικασία αξιολόγησης της ερευνώμενης περιοχής και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και τα πιθανά μέτρα βελτίωσης ή οι αλλαγές στην υλικοτεχνική υποδομή, αλλά και οι γνώσεις και εμπειρία των γεωργών. Είναι ευνόητο ότι τουλάχιστον ορισμένα στοιχεία κοινωνικοοικονομικού χαρακτήρα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, ακόμη και εάν πρόκειται αυστηρά για ποιοτική αξιολόγηση μόνο.

Πίνακας 5.1. Συνήθεις τύποι γεωργικών γαιοχρήσεων στην Ελλάδα (Κιτσοπανίδης κ.α., 1983)

ΣΙΤΗΡΑ ΓΙΑ ΚΑΡΠΟ

- 1) **Ξερικές καλλιέργειες** (rainfed crops), μηχανοποιημένες (fully mechanized): Σιτάρι (μαλακό, σκληρό), Κριθάρι.
- 2) **Ποτιστικές καλλιέργειες** (irrigated crops), μερικά ή ολικά μηχανοποιημένες (partly or fully mechanized), με απλά ή μοντέρνα συστήματα άρδευσης: Καλαμπόκι.
- 3) **Ειδικές ποτιστικές καλλιέργειες** (special irrigated crops) μερικά ή ολικά μηχανοποιημένες: Ρύζι.

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΦΥΤΑ

- 1) Βαμβάκι (ποτιστική καλλιέργεια).
- 2) Τεύτλα (ποτιστική καλλιέργεια).
- 3) Καπνός: ποτιστική ή ξερική.
- 4) Ντομάτα (ποτιστική καλλιέργεια).

ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΑ ΦΥΤΑ

Μηδική (ποτιστική καλλιέργεια).

ΠΕΠΟΝΟΕΙΔΗ ΚΑΙ ΓΕΩΜΗΛΑ

- 1) Καρπούζια - Πεπόνια (ποτιστικές καλλιέργειες)
- 2) Γεώμηλα: α) Άνοιξης, β) Θέρους και γ) Φθινοπώρου ή Χειμώνα.

ΛΑΧΑΝΙΚΑ (Τομάτα)

ΑΜΠΕΛΙΑ

ΕΣΠΕΡΙΔΟΕΙΔΗ

Πορτοκαλιά, Λεμονιά, Μανταρινιά, Νεραντζιά, Περγαμόντο και Γρέϊπ-Φρουτ.

ΟΠΩΡΟΦΟΡΑ

Μηλιά, Ροδακινιά, Αχλαδιά, Βερικοκιά, Κερασιά, Δαμασκηνιά, Συκιά, Βυσσινιά, Κυδωνιά, και το Ακτινίδιο.

ΞΗΡΟΙ ΚΑΡΠΟΙ

Αμυγδαλιά, Καρυδιά, Φουντουκιά, Φιστίκια Αιγίνης.

ΕΛΙΑ

ΛΑΧΑΝΙΚΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

ΑΝΘΗ (Θερμοκηπίου και υπαίθρια)

ΖΩΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

- 1) Αγελάδες γαλακτοπαραγωγής.
- 2) Αγελάδες αναπαραγωγής και μόσχοι παχύνσεως.
- 3) Πρόβατα.
- 4) Χοίροι.
- 5) Πουλερικά πάχυνσης.
- 6) Πουλερικά αυγοπαραγωγής.

Γενικά, οι τύποι γαιοχρήσης μπορούν να χαρακτηριστούν με τη μελέτη των παρακάτω σημείων (Vink, 1975).

1. Σκοπός γαιοχρήσης.
2. Είδος φυτού.
3. Κεφάλαια για μακροπρόθεσμους σκοπούς.
4. Κεφάλαια για βραχύ- και μεσοπρόθεσμους σκοπούς.
5. Ετήσια έξοδα για συντήρηση και παραγωγή.
6. Οικονομικές, κοινωνικές και τοπικές συνθήκες
7. Μέγεθος ιδιοκτησίας.
8. Βαθμός εντατικότητας.

Σχετικά με τον όρο τύπος γαιοχρήσης (Land Utilization Type - LUT), ο Beek (1978) τον καθόρισε ως μια καθορισμένη υποδιαίρεση του γαιοσυστήματος (Land Utilization System - LUS), που χρησιμεύει ως υποκείμενο της αξιολόγησης γης και καθορίζεται με όρους πρακτικούς για τη παραγωγή, όπως επίπεδο εκμετάλλευσης, μέγεθος ιδιοκτησίας, κ.λπ. θεωρείται ως μια τεχνική μονάδα οργάνωσης μέσα σε ένα καθορισμένο πλαίσιο κοινωνικο-οικονομικών και οργανωτικών συνθηκών.

Ο Kostrowicki (1976) καθορίζει τον τύπο γαιοχρήσης ως:

$$T = S \times O/P \times C$$

όπου:

T = Τύπος γαιοχρήσης, S = Κοινωνικοί παράμετροι, O = Παράμετροι λειτουργίας,

P = Παράμετροι παραγωγής και C = Δομή εκμετάλλευσης.

Οι κοινωνικοί παράμετροι έχουν σχέση με το καθεστώς ιδιοκτησίας γης, μέγεθος εκμετάλλευσης, κ.λπ. Οι παράμετροι λειτουργίας έχουν σχέση με την εντατικότητα εργασίας, λιπάσματα, άρδευση, εντατικότητα χρήσης γης, σύστημα εκμετάλλευσης, κ.α. Οι παράμετροι παραγωγής σχετίζονται με την παραγωγικότητα της γης, παραγωγικότητα εργασίας και βαθμό εμπορευματοποίησης. Η δομή της εκμετάλλευσης αφορά (α) την αναλογία έκτασης μονίμων χορτοδοτικών με το σύνολο της γεωργικής γης, (β) την αναλογία οπωροφόρων με το σύνολο ετήσιων γεωργικών φυτών (σε έκταση), (γ) την αναλογία των βιομηχανικών φυτών σε σχέση με τη συνολική γεωργική παραγωγή.

Ο Beek (1975) παρατηρεί ότι στον Kostrowicki οι παράμετροι "κλειδιά" δεν αξιολογούνται επαρκώς για την αναγνώριση της ικανότητας του τύπου γαιοχρήσης να διαχειριστεί, να διατηρήσει και να βελτιώσει τη γη, ούτε για μια εύκολη αναγνώριση των απαιτούμενων χαρακτηριστικών της γης.

Ο ίδιος συγγραφέας (Beek, 1978) αναφέρει ότι η τυπολογία των γαιοχρήσεων πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις δυνατότητες για ανίχνευση των λειτουργικών σχέσεων μεταξύ των τύπων γαιοχρήσης και των συνθηκών της γης, σήμερα και στο μέλλον. Για την περιγραφή και ταξινόμηση των τύπων γαιοχρήσεων τα χαρακτηριστικά που θα επιλέγονται θα πρέπει να είναι εκείνα που θα καταστήσουν τον τύπο γαιοχρήσης ένα λειτουργικό εργαλείο στη διαδικασία αξιολόγησης της γης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΣΧΕΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΦΕΡΟΜΕΝΗ ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adler, G., Eckelmann, W., Hartwich, R., Hennings, V., Krone, F., Stolz, W., and Utermann, J. (1998). The FISBo BGR Soil Information System: State of the art. In: Land Information Systems – Developments for planning the sustainable use of land resources. H.J.
- Arzl, N., Dvorak, A., Riss, A., Schreier, I. and Schwarz, S. (1998). Development of the Soil information system BORIS in Austria. In: Land Information Systems – Developments for planning the sustainable use of land resources. H.J. Heineke et al. (eds.). European Soil Bureau Research Report No. 4. EUR 17729 EN. Office of the Official Publications of the European Communities, Luxembourg. p.77-90.
- Avery, B.W. (1987). Soil Survey Methods: A Review. Soil
- Bishop T.F.A., McBratney A.B., 2001. A comparison of prediction methods for the creation of field-extend soil property maps. *Geoderma* Vol.103, pp 149-160.
- Bølviken, B., Bogen, J., Demitriades, A., De Vos, W., Ebbing, J., Hindel, R., Ottesen, R.T., Salminen, R., Schermann, O. and Swennen, R., 1993. Final Report of the working group on regional geochemical mapping 1986 – 1993. Forum of European Geological Surveys (FOREGS), Geological Survey of Norway (NGU) Open File Report 93-092, 18 p. and 6 appendices.
- Bølviken, B., Demitriades, A., Hindel, R., Locutura, J. O'Connor, P., Ottesen, R.T., Plant, J., Ridgway, J. Salminen, R., Salpeteur, I., Schermann, O. and Volden, T. (eds.), 1990. Geochemical mapping of western Europe towards the year 2000. Project Proposal. Geological Survey of Norway (NGU) Report 90-106. 10 p. and 10 appendices.
- Boots B., 2000. Using GIS to promote spatial analysis. *Journal of Geographical Systems*. Vol.2, pp 17-21.
- Bregt A.K., Bouma J., and Jellinek M., 1987. Comparison of Thematic Maps Derived from a Soil Map and from Kriging of point data. *Geoderma* Vol.39, pp 281-291.
- Bregt, A.K. and Bulens, J. (1998). Integrating GIS and process models for land resource planning. In: Land Information Systems – Developments for planning the sustainable use of land resources.
- Bruand A., O. Duval, H.Wösten and A. Lilly (eds). The use of pedotransfer in soil hydrology research in Europe. EUR 17307 EN 211pp. (1997). Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
- Bullock P., R.J.A. Jones and L. Montanarella (eds). Soil Resources of Europe. EUR 18991 EN 202pp. (1999). Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Burgess T.M., Webster R., 1980 I. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I The semi-variogram and punctual kriging. *Journal of Soil Science* Vol.31, pp 315-331.
- Burgess T.M., Webster R., 1980 II. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. II Block kriging. *Journal of Soil Science* Vol.31, pp 333-341.
- Burgess T.M., Webster R., and McBratney A.B., 1981. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. IV Sampling strategy. *Journal of Soil Science* Vol.32, pp 643-659.

- Burrough P.A., 1997. Environmental Modelling with Geographical Information Systems. Proceedings from 4th National Conference on GIS Research UK Innovations in GIS 4. Taylor & Francis.
- Cazzuffi D., F. Monferino, R. Monti and P. Rimoldi, 1994. Experimental evaluation of the erosion on bare and geosynthetically protected slopes. Conserving Soil Resources - European Perspectives, Part III, Chapter 38, Cab International, UK, p. 413-421.
- Chisci G., 1994. Perspectives on soil protection measures in Europe. Conserving Soil Resources - European Perspectives, Part III, Chapter 31, Cab International, UK, p. 339-353.
- Clark I., 2001. Practical Geostatistics. Geostokos Ltd.
- Clemens J., Schillinger M.P., Goldbach H., 1999. Spatial variability of soil parameters of an arable silt loam – a field study. Biol.Fertil.Soils Vol.28, pp 403-406.
- Couto E.G., A. Stein and E. Klamt, 1997. Large area spatial variability of soil chemical properties in central Brazil. Agriculture Ecosystems & Environment. Vol.66 pp 139-152.
- Cressie N.A.C., 1993. Statistics for Spatial Data. J.Wiley & Sons Inc.
- Stanners D. and P. Bourdeau (Eds.). European Environment Agency, Copenhagen.
- Darnley, A., Björklund, A., Bølviken, B., Gustavson, N., Koval, P.V., Plant, J.A., Steenfelt, A., Tauchid, M., and Xuejing, X., 1995. A global geochemical database for environmental and resource management. Recommendations for international geochemical mapping. Final report of IGCP-project 259, UNESCO Publishing, Paris, France, 122p.
- Davies R. & R. O'Keefe, 1989. Simulation modelling with Pascal. Prentice Hall Inc., New Jersey.
- De la Rosa, D., Almorza, J. and Puertas, J.M. (1983). Estructura de una basa de datos de suelos. Pub.no. 2. Dirección General de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla, Spain.
- de Roo A., 1993. Modelling surface runoff and soil erosion in catchments using Geographical Information Systems. PhD Thesis, University of Utrecht, Nederlandse, Geographische Studies 157.
- Dent, D and Young, A. (1981). Soil Survey and Land Evaluation. George Allen and Unwin, London.
- Donahue R., R. Miller & J. Shichluma, 1983. Soils : An introduction to soils and plant growth. Prentice Hall Inc., New Jersey.
- Dudal, R., Bregt, A.K. and Finke, P.A., 1993. Feasibility study of the creation of a soil map of Europe at scale 1:250,000. DG XI, Task Force European Environment Agency. Commission of the European Communities. Leuven - Wageningen. 69 p.
- Edwards G., N. Taylor and R. Godwin, 1994. The influence of soil surface configuration on depression storage, runoff and soil loss. Conserving Soil Resources - European Perspectives, Part III, Chapter 35, p. 387-397. Cab International, UK, p. 387-397.
- EEA. (1998). Europe's Environment. The Second Assessment. European Environment Agency, EEA. 1995. Europe's Environment. The Dobris Assessment.
- ERDAS, 1997. Erdas Field Guide. Fourth Edition, ERDAS Inc., Atlanta, Georgia, p. 654.
- ESBN, 2001. Georeferenced Soil Database for Europe, Manual of Procedures, Version 1.1. EUR 18092. European Communities.
- ESRI, 1994. Map Projections. ESRI, U.S.A.
- ESRI, 1996. ArcView Spatial Analyst. ESRI Inc., p.148.
- ESRI, 1996. Building Applications with MapObjects. ESRI, U.S.A., p. 198.

- ESRI, 1996. MapObjects Programmer's Reference. ESRI, U.S.A., p. 260.
- European Soil Bureau, Scientific Committee. Georeferenced Soil Database for Europe: Manual of Procedures Version 1.0. EUR 18092 EN 184pp. (1998). Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- FAO-UNESCO (1990). Soil Map of the World. Revised Legend. FAO, Rome, Italy.
- Ferreira A., C. Alexandre and S. Cassama, 1994. Conserving Soil Resources - European Perspectives, Part III, Chapter 36, Cab International, UK, p. 398-404.
- Francis A., 1988. Advanced Level Statistics. An Integrated Course. Stanley Th.Ltd.
- Frank A.U., 2000. Geographic Information Science: New methods and Technology. Journal of Geographical Systems. Vol 2 pp 99-105.
- Giarratano J. & G. Riley, 1993. Expert Systems, Principles and Programming. Second Edition, PWS Publishing Company, Boston, p. 644.
- Goovaerts P., 1998. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. Biol. Fertil. Soils. Vol 27. pp 315-334.
- Goovaerts P., 1999. Geostatistics in Soil Science: state-of-the-art and perspectives. Geoderma Vol.89, pp 1-45.
- Goovaerts P., 1999. Regional estimates of soil properties from local observations. Computers & Geosciences. Vol- .pp-
- Goovaerts P., 2000. Estimation or simulation of soil properties? An optimization problem with conflicting criteria. Geoderma Vol.97 pp 165-186.
- Goovaerts P., 2001. Geostatistical modeling of uncertainty in soil science. Geoderma Vol.103, pp 3-26.
- Goovaerts P. and A.G. Journel, 1995. Integrating Soil Map information in modeling the spatial variation of continuous soil properties. European Journal of Soil Science. Vol.46. pp 397-414. BSSS.
- Gow T. and M. Pidwirny, 1996. Land Use and Environmental Change in the Thompson-Okanagan. <http://royal.okanagan.bc.ca/mpidwirn/agriculture/erosion.html>.
- Groenigen J.W., 2000. The influence of variogram parameters on optimal sampling schemes for mapping by kriging. Geoderma Vol.97 pp 223-236.
- H. J. Heineke et al. (eds.). European Soil Bureau Research Report No. 4. EUR 17729 EN. Office for the Official Publications of the European Commission, Luxembourg. p.219-234.
- H.J. Heineke et al. (eds.) European Soil Bureau Research Report No. 4. EUR 17729 EN. Office of the Official Publications of the European Communities, Luxembourg. p.141-149.
- H.J. Heineke et al. (eds.) European Soil Bureau Research Report No. 4. EUR 17729 EN.
- H.J. Heineke et al. (eds.). European Soil Bureau Research Report No. 4. EUR 17729 EN. Office of the Official Publications of the European Communities, Luxembourg. p.293-304.
- H.J. Heineke et al. (eds.) European Soil Bureau Research Report No. 4. EUR 17729 EN. Office of the Official Publications of the European Communities, Luxembourg. p.51-67.
- Heineke et al. (eds.) European Soil Bureau Research Report No. 4. EUR 17729 EN. Office of the Official Publications of the European Communities, Luxembourg. p.133-139.
- Heineke H.J., Eckelmann W., Thomasson A.J., Jones R.J.A., Montanarella L., Buckley B. (Eds). European Soil Bureau Research report n°4, EUR 17729 EN. Office for publications of the European Communities. Luxembourg. 11-18.

- Heineke H.J., W. Eckelmann, A.J. Thomasson, R.J.A.Jones, L. Montanarella and B. Buckley (eds). Land Information Systems: Developments for planning the sustainable use of land resources. EUR 17729 EN 546pp. (1998). Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Heuvelink G.B.M., Webster R., 2001. Modelling soil variation: past, present, and future. *Geoderma* Vol.100 pp 269-301.
- Hodgson, J.M. (Ed.), 1991. Soil Survey - A basis for European Soil Protection. Soil and Groundwater Research Report. Commission of the European Communities, Luxemburg. 214 p.
- Hollis, J.M. and Avery, B.W. (1997). History of Soil Survey and development of the soil series concept in the U.K. *Advances in GeoEcology* 29, 109-144.
- Hubrechts, L., Vander Poorten, K. and Vanclooster, M. (1988). From soil survey to quantitative land evaluation in Belgium. In: *Land Information Systems– Developments for planning the sustainable use of land resources*.
- IUSS/FAO/ISRIC, 1998 : World Reference Base for soil resources. World Soil Resources Report 84. FAO, Rome.
- J.J. LAMBERT, J. DAROUSSIN, M. EIMBERCK, M. JAMAGNE, D. KING, C. LE BAS, December 2001, INSTRUCTIONS GUIDE For the elaboration of The SOIL GEOGRAPHICAL DATABASE of EURASIA and MEDITERRANEAN COUNTRIES At 1:1 million scale, Version 4.0, , Office of the Official Publications of the European Communities, EUR 20422 EN, Luxembourg .
- Jamagne M., Montanarella L., Daroussin J., Eimberck M., King D., Lambert J.J., Le Bas C., Zdruli P., 2001 – Methodology and experience from the soil geographical database of Europe at 1:1,000,000 scale. In: *Soil resources of Southern and Eastern Mediterranean countries*. Zdruli P., Steduto P.,
- Johns N., 1996. Flex Expert System Toolkit v1.2. Edition 4, Logic Programming Associates Ltd., England, p. 222.
- Journel A.G., and Ch.J. Huijbregts. 1991. *Mining Geostatistics*. Academic Press.
- King D., Meyer-Roux J., Thomasson A.J., Vossen P., 1998 – A proposed European soil information policy. In: *Land Information Systems. Development for planning the sustainable use of land resources*.
- King D., R.J.A. Jones and A.J. Thomasson (eds). *European Land Information Systems for Agroenvironmental Monitoring*. EUR 16232 EN, 284pp. (1995). Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Kirkby M, P. Naden, P. Burt & P. Butcher, 1989. *Computer simulation in physical geography*. John Wiley and Sons Inc., U.S.A.
- Klingebiel, A.A. and Montgomery, P.H. (1961). *Land Capability Classification*. USDA Soil Conservation Service, Agricultural Handbook No. 210, 21pp.
- Kockel F., K. Ioannides, et al., 1979. Geological map of Greece, Kilkis Sheet, Map scale 1:50.000. Institute of Geological and Mining Research, Athens, Greece.
- Kolejka J., N. Silleos, I. Manakos & A. Konstadinidis, 1997. *Geoecological Standardizing of Optical Manifestations of Eroded Soil using Geographic Information System and Remote Sensing*. Research Report, Masaryk University of Brno - Faculty of Science - Czech Republic, Aristotle University of Thessaloniki - Faculty of Agriculture - Hellenic Republic, p. 20.
- Kravchenko Al., and D.G.Bullock, 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. *Agronomy Journal*, Vol 91. pp 393-400.

- Krivoruchko K., Gribov A., 2002. Predicting Exact, Filtered, and New Values using Kriging. Computer Applications in Geology Vol.2.(In press)
- Kwaad F., 1994. Cropping systems of fodder maize to reduce erosion of cultivated loess soils, Conserving Soil Resources - European Perspectives, Part III, Chapter 32, Cab International, UK, p. 354-368.
- Lacirignola C., Montanarella L. (Eds). Options méditerranéennes. CIHEAM, Bari. 27-47.
- Lagacherie P., and M. Voltz, 2000. Predicting soil properties over a region using sample information from a mapped reference area and digital elevation data: a conditional probability approach. Geoderma Vol.97 pp 187-208.
- Lal R. & W. Elliot, 1994. Erodibility and Erosivity. Soil Erosion Research Methods. Second Edition, St. Lucie Press, U.S.A., p. 181 – 210.
- Lal R., 1994. Soil Erosion Research Methods. Second Edition, St. Lucie Press, U.S.A., p. 340.
- Lane et al. (1994)
- Lark R.M., 2000. Designing sampling grids from imprecise information on soil variability, an approach based on the fuzzy kriging variance. Geoderma Vol.98, pp 35-39.
- Lark R.M., 2002. Optimized spatial sampling of soil for estimation of the variogram by maximum likelihood. Geoderma Vol.105, pp 49-80.
- Lark R.M., Bolam H.C., 1997. Uncertainty in prediction and interpretation of spatially variable data on soils. Geoderma Vol.77, pp 263-282.
- Laslett G.M., McBratney A.B, Pahl P.J., and M.F.Hutchinson, 1987. Comparison of several prediction methods for soil pH. Journal of Soil Science Vol.38 pp 325-341.
- Laurent R., Gilbert M., 1998. Large-scale Versus Small-scale Variation Decomposition, Followed by Kriging Based on a Relative Variogram, in Presence of a Non-stationary Residual Variance. Journal of Geographic Information and Decision Analysis Vol.2, no. 2, pp 102-125.
- Le Bas, C. and M. Jamagne (eds), 1996. Soil databases to support sustainable development. INRA-SESCPF, Joint Research Centre-IRSA. 149 pp.
- Leleutjij, T., Alatas, J., Touljos, L., Floras, S. and Kapetanak, G. (1998). In: Land Information Systems – Developments for planning the sustainable use of land resources.
- Leung Y., 2000. Some thoughts on spatial data and structure analysis. Journal of Geographical Systems. Vol.2, pp 107-110.
- Lloyd C.D., Atkinson P.M., 1999. Designing optimal sampling configurations with ordinary and indicator kriging. Computers & Geosciences. Vol.27 pp 929-937.
- Lloyd C.D., Atkinson P.M., 2001. Assessing uncertainty in estimates with ordinary and indicator kriging. Computers & Geosciences. Vol.27 pp 929-937.
- Loudon T.V., 2000. Geoscience after IT. Part G. Familiarization with Spatial Analysis. Computers & Geosciences. Vol.26 pp A51-A62.
- Lucas R., 1997, LPA Prolog Prodata Interface. Rob Lucas and Keylink Ltd., U.K., p. 25.
- Lucci S. and S. Della Lena, 1994. Effect of different site preparation techniques on runoff and erosion in plantation forestry. Conserving Soil Resources - European Perspectives, Part III, Chapter 34, Cab International, UK, p. 379-386.
- Maggio R., 1988. The role of Geographic Information Systems in the Expert System. The Compiler, p. 23-27.
- Manyara C. & K. Lein, 1994. Exploring the suitability of fuzzy set theory in image classification : a comparative study applied to the MAU forest area Kenya. ASPRS/ACSM.

- Matheron, G., 1962. Traite de geostatistique appliquee. Vol. 14 of Memoires du Bureau de Recherches Geologiques et Minieres. Editions Technip, Paris, p. NA.
- Matheron G. 1965. Les variables regionalisees et leur estimation. Masson, Paris, 212 p.
- Matheron G. 1971. The Theory of Regionalized Variables and Its Applications. Ecole de Mines, Fontainbleau, France.
- McBratney A.B. and R. Webster, 1986. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. Journal of Soil Science Vol.37, pp 617-639.
- McKenzie N.J. and P.J. Ryan, 1999. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. Geoderma Vol.89, pp 67-94.
- Miller E.J. 1997. Towards a 4D GIS: Four-dimensional interpolation utilizing kriging. Proceedings from 4th National Conference on GIS Research UK Innovations in GIS 4. Taylor & Francis
- Miller H.J., 2000. Geographic representation in spatial analysis. Journal of Geographical Systems. Vol.2 pp 55-60. Springer-Verlag.
- Montanarella L. et Jones R.J.A., 1999 – The European soil bureau. In: Soil resources of Europe. Bullock P., Jones R.J.A., Montanarella L. (Eds). European Soil Bureau, Research Report n°6. EUR 18991 EN. JRC Ispra. 3-14.
- Montanarella, L., 1996. The European Soil Bureau, European Society for Soil Conservation. Newsletter N° 2, 1996, Trier: 2-5.
- Morgan R., 1979. Soil erosion. Longman Group Lmt, London.
- Mutchler C., C. Murphree & K. McGregor, 1994. Soil Erosion Research Methods. Second Edition, St. Lucie Press, U.S.A., p. 11 – 38.
- Nearing M., L. Jane & V. Lopes, 1994. Soil Erosion Research Methods. Second Edition, St. Lucie Press, U.S.A., p. 127 –159.
- Nyborg, A.A. and Klakegg, O. (1998). Using a soil information system to combat soil erosion from agricultural lands. In: H.J. Heineke et al. (eds.) Land Information Systems – Developments for planning the sustainable use of land resources. European Soil Bureau Research Report No. 4. EUR 17729 EN. Office of the Official Publications of the European Communities, Luxembourg. p.177-180.
- Odeh I.O.A., McBratney A.B., 1995. Further results on prediction of soil properties from terrain attributes: heterotopic cokriging and regression-kriging. Geoderma Vol.67, pp 215-226.
- Office of the Official Publications of the European Communities, Luxembourg. pp 91-100.
- Oldeman L., R. Hakkeling & W. Sombroek, 1990. World Map of the Status of Human – Induced Soil Degradation. An Explanatory Note, rev. 2nd edition, International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, the Netherlands.
- Oliver M.A., Khayrat A.L., 2001. A Geostatistical investigation of the spatial variation of radon in soil. Computers & Geosciences. Vol.27, pp 939-957.
- Osier D., S. Grobman & S. Batson, 1997. Teach Yourself Delphi 3 in 14 Days. Borland Press, SAMS Publishing, U.S.A., p. 599.
- Palmer (1964)
- Pebesma E.J., and C.G. Wesseling, 1998. Gstat, a program for geostatistical modelling, prediction and simulation. Computers and Geosciences, Vol.24, pp 17-31.
- Perakis K, I. Manakos & N. Silleos, 1998. Qualitative and spatial comparative study of satellite images classified by supervised and fuzzy logic based classification algorithms : A

- case study in Kilkis prefecture, Central Macedonia, Greece. IFAC - CAEA'98 Workshop "Control Applications and Ergonomics in Agriculture".
- Porta J., J. Ramos and J. Boixadera, 1994. Mechanical measures for runoff management and erosion control in the vineyards of north east Spain. *Conserving Soil Resources - European Perspectives*, Part III, Chapter 33, Cab International, UK, p. 369-378.
- Proctor, M.E., Siddons, P.A., Jones, R.J.A., Bellamy, P.H. and Keay, C.A. (1998). LandIS - a Land Information System for the UK. In: *Land Information Systems – Developments for planning the sustain use of land resources*.
- Renard K., J. Laflen, G. Foster & D. McCool, 1994. *Soil Erosion Research Methods*. Second Edition, St. Lucie Press, U.S.A., p. 105 – 126.
- Renard K., G. Foster, G. Weesies, D. McCool & D. Yoder, 1991. Predicting soil erosion by water : A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook*.
- Santos M.L.M., C. Guenat, F. Golay. 2000. Three-dimensional GIS cartography applied to the study of the spatial variation of soil horizons in a Swiss floodplain. *Geoderma* Vol.97, pp 351-366.
- Shahabi S., C. Anagnostopoulos & C. Tsiringas, 1980. Soil Map of Drama Basin, Map scale 1:50.000. Institute of Chemistry and Agriculture "Nikolaos Kanellopoulos", Athens, Greece.
- Shahabi S., C. Anagnostopoulos & C. Tsiringas, 1984. Soil Map of the Plain of Chrisoupolis. Map scale 1:50.000. Institute of Chemistry and Agriculture "Nikolaos Kanellopoulos", Athens, Greece.
- Sharma S., 1996. *Applied Multivariate Techniques*. John Wiley and Sons Inc., U.S.A., p. 493.
- Silleos N., N. Misopolinos & K. Perakis, 1992. Relationships between Remote Sensing spectral indices and crops discrimination. *Geocarto International*, Vol. 2., Hong-Kong.
- Silleos N., 1976. Soil Map of Anthemous Valley, Macedonia, Greece, Map scale 1:50.000, ITC, Enschede, The Netherlands.
- Soil Survey Staff. (1975). *Soil Taxonomy*. USDA Soil Conservation Service. *Agriculture Handbook* No. 436.
- Soil Survey Staff. (1994). *Keys to Soil Taxonomy*. Soil Conservation Service. 6th Edition.
- Steel B., 1997. *LPA Win-Prolog Win32 Programming Guide v3.5*. Brian D Steel and Logic Programming Associates Ltd., England, p. 207.
- Stocking M., 1994. Assessing vegetative cover and management effects. *Soil Erosion Research Methods*. Second Edition, St. Lucie Press, U.S.A., p. 211 – 234.
- Survey Technical Monograph No. 18. Cranfield University, Silsoe, UK.
- Tavernier R., R. Dudal, D. Osmond & F. Moormann, 1963. Soil map of Europe, Map scale 1:2.500.000. FAO Institute Geographique Militaire de Belgique, Roma/Bruxelles.
- Tobias S., 1994. Shear strength of the soil root system : In situ shear tests. *Conserving Soil Resources - European Perspectives*, Part III, Chapter 37, Cab International, UK, p. 405-412.
- UNEP/ISSS/ISRIC/FAO., 1995: *Global and National Soils and Terrain Digital Databases (SOTER) Procedures Manual*. World Soil Resources Report No. 74. FAO, Rome.
- Van-Camp. L., Bujarrabal, B., Gentile, A-R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Olazabal, C. and Selvaradjou, S-K. 2004. Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/5, 872 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

- Van Ranst, E., L. Vanmechelen, A.J. Thomasson, J. Daroussin, J.M. Hollis, R.J.A. Jones, M. Jamagne and D. King. 1995. Elaboration of an extended knowledge database to interpret the 1:1,000,000 EU soil map for environmental purposes. In: King, D., R.J.A. Jones and A.J. Thomasson (eds.). European land information systems for agro-environmental monitoring, pp. 71-84. Office for official publications of the European Communities, Luxembourg.
- Van Ranst, E., Vanmechelen, L. and Groenemans, R. (1998). Elaboration of a European forest soil database to monitor atmospheric pollution. In: Land Information Systems – Developments for planning the sustainable use of land resources.
- Voltz M., P. Lagacherie and X. Louchart, 1997. Predicting Soil Properties over a region using sample information from a mapped reference area. European Journal of Soil Science. Vol.48. pp 19-30. BSSS.
- Walters J. & N. Nielsen, 1988. Crafting knowledge – based systems, Expert Systems made realistic, Wiley – Interscience Publication, U.S.A, p. 342.
- Webster R., 2000. Is soil variation random? Geoderma Vol.97, pp 149-163.
- Westwood D., 1997. LPA Win-Prolog Intelligence Server v3.5. Logic Programming Associates Ltd., London, England, p. 58.
- Winston P., 1984. Artificial Intelligence. Second Edition, Addison-Wesley Publishing Company, U.S.A., p. 524.
- Wischmeier W. & D. Smith, 1962. Soil loss estimation as a tool in soil and water management planning. Int. Assoc. Scient. Hydr. Pub. 59, p. 148–159.
- Wischmeier W. & D. Smith, 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Trans. Am. Geophysic Union 39, p. 131 –137.
- Wischmeier W. & D. Smith, 1978. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. Technical Report Agri. Handbook No. 537, Science and Education Administration, USDA.
- Xiaodong J., Olea R., and Yun-Sheng Y., 1996. Semivariogram Modeling By Weighted Least Squares. Computers & Geosciences. Vol.22, No.4, pp 387-397. Elsevier Science Ltd.
- Young J., 1986. A U.K. Geographic Information System for Environmental Monitoring, Resource Planning & Management Capable of Integrating and Using Satellite Remotely Sensed Data. Remote Sensing Society Monograph No.1, Stevenson Ltd., Dundee, p.62.
- Zhang X.F., Eijkeren J.C.H, and Heemink A.W., 1995. On the weighted least-squares method for fitting a semivariogram model. Computers & Geosciences Vol.21. No 4, pp 605-608.
- Zvorykun I. & P. Saul, 1948. Soil Map of Attika, Map scale 1:100.000. Institute of Chemistry and Agriculture “Nikolaos Kanellopoulos”, Athens, Greece.
- Zvorykun I. & S. Vrissmdji, 1947. Soil Map of Thessaly, Map scale 1:150.000. Ministry of Agriculture, Soil Institute of Chemistry and Agriculture, Athens, Greece.

ΣΧΕΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΦΕΡΟΜΕΝΗ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αλεξίου, Ι. και Παπαμιχαήλ, Δ., 1996. Εφαρμογή των γεωστατιστικών μεθόδων στη μελέτη της χωρικής μεταβλητότητας της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς. Πρακτικά του Πανελληνίου Συνεδρίου «Εγγειοβελτιωτικά Έργα – Διαχείριση υδατικών πόρων – Εκμηχάνιση γεωργίας», ΓΕΩ.ΤΕ.Ε., Λάρισα 24-27 Απριλίου 1996, Τόμος Α: 223-245.
- Αλεξίου, Ι., 1995. Εφαρμογή της Γεωστατιστικής στη μελέτη της χωρικής μεταβλητότητας και της επίδρασης του υψομέτρου στην εξατμισοδιαπνοή αναφοράς με τις μεθόδους Kriging και Co-Kriging. Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας, Μεταπτυχιακό Τμήμα –

Ειδίκευση Εγγείων Βελτιώσεων.

- Αντωνιάδης Ιωάννης et al., 1998. Κατάρτιση του σχεδίου ανάπτυξης του πρωτογενή τομέα στο Δ. Πικρολίμνης - Ν. Κιλκίς. Πρόγραμμα πρακτικής άσκησης φοιτητών, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωπονίας, Θεσσαλονίκη.
- Αποστολάκης Α., 1998. Συγκρότηση Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών για τη λεκάνη του Ανθεμούντα και χρήση του για την υποστήριξη αποφάσεων διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της περιοχής. Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας, Μεταπτυχιακό Τμήμα – Ειδίκευση Εγγείων Βελτιώσεων.
- Αστάρας, Θ., (1986, 1995). Φωτοερμηνεία (τηλεπισκόπηση) στις γεωεπιστήμες (Σημειώσεις). Υπηρεσία δημοσιευμάτων, πανεπιστημιακό τυπογραφείο, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, σελ. 198.
- Βοζίκης Α., Σ. Μαστρογεωργόπουλος & Γ. Στόικος, 1996. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα και Ασαφή Συστήματα στην πράξη. Ελληνική Συμβούλων Α.Ε., Θεσσαλονίκη, σελ. 76.
- Γιαλούρης Κ., 1996. Τεχνητή Νοημοσύνη και Έμπειρα Συστήματα. Σημειώσεις, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εργαστήριο Πληροφορικής, Αθήνα, σελ.15.
- ΓΥΣ, 1980. Τοπογραφικός χάρτης, Φύλλο Κιλκίς, Κλίμακα 1:50.000. ΓΥΣ, Αθήνα.
- Θεοχαρόπουλος Σ., 1996. Δημιουργία μοντέλου περιγραφής και πρόβλεψης της διάβρωσης στη χώρα μας. ΕΘΙΑΓΕ, Ινστιτούτο Εδαφολογίας Αθηνών, Αθήνα, σελ. 89.
- Καλύβας, Δ., Δ. Τριαντακωνσταντής και Β. Κόλλια., 2000. Χρησιμοποίηση γεωμορφολογικών δεδομένων για την βελτίωση της χαρτογράφησης εδαφικών παραμέτρων. Πρακτικά 8^{ου} Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου. Ελληνική Εδαφολογική Εταιρεία, Καβάλα 2000. Τόμος 1. 167-177.
- Καρτέρης Μ., 1991. Τηλεπισκόπηση φυσικών πόρων και γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (πανεπιστημιακές παραδόσεις). Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, τόμος Ι, Θεσσαλονίκη, σελ. 247.
- Κατζουράκη Μ., Μ. Γεργατσούλης και Σ. Κόκκοτος, 1991. Προγραμματίζοντας στη Λογική. Έκδοση 1^η, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Θεσσαλονίκη, σελ. 349.
- Κουτσός Θ., 1996. Μελέτη της λεκάνης τροφοδοσίας ενός φράγματος με τη χρήση GIS. Α.Π.Θ., Σ.Θ.Ε., Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη, σελ. 125.
- Κρικέτος Β. και Κ. Πάστρας, 1988. Εγχειρίδιο Εισαγωγής στα Έμπειρα Συστήματα. Εταιρία Ανάπτυξης της Ναυτικής Τεχνολογίας Α.Ε., σελ. 344.
- Κωνσταντινίδης Α., 1998. Η συμβολή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στον έλεγχο, με τη χρήση δορυφορικής Τηλεπισκόπησης, των γεωργικών στατιστικών, των επιδοτήσεων και της εκτίμησης των ζημιών σε γεωργικές καλλιέργειες. Μεταπτυχιακή διατριβή, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωπονίας, Θεσσαλονίκη.
- Κωνσταντινίδης Α., 1998. Η συμβολή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με τη χρήση δορυφορικής τηλεπισκόπησης στον έλεγχο των γεωργικών στατιστικών και της εκτίμησης των ζημιών σε γεωργικές καλλιέργειες. Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας, Μεταπτυχιακό Τμήμα – Ειδίκευση Εγγείων Βελτιώσεων
- Λιβιεράτος Ε. & Α. Φωτίου, 1996. Ελλειψοειδής Γεωδαισία και Γεωδαιτικά Δίκτυα. Έκδοση 2^η, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 440.
- Μανάκος Ι., 1995. Γεωμορφολογική ταξινόμηση του αναγλύφου του νησιωτικού συγκροτήματος της Σαντορίνης με τη βοήθεια της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.). Διπλωματική διατριβή, Α.Π.Θ., Σ.Θ.Ε., Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη, σελ. 87.
- Μανάκος Ι., 1998. Η εφαρμογή των έμπειρων συστημάτων και της ασαφούς λογικής σε συνδυασμό με G.I.S. στην ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων : Πιλοτική εφαρμογή στη

διάβρωση των εδαφών

Μεταξά, Ε., 1993. Εκτίμηση βροχόπτωσης και βέλτιστος σχεδιασμός βροχομετρικού δικτύου σε περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας με την εφαρμογή Γεωστατιστικών μεθόδων. Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας, Μεταπτυχιακό Τμήμα – Ειδικευση Εγγείων Βελτιώσεων.

Marathon Data Systems. Βιβλία οδηγιών ARC/INFO. MDS, Αθήνα.

Παπαμιχαήλ, Δ. και Μεταξά, Ε., 1993. «Εκτίμηση της μέσης βροχόπτωσης και βέλτιστη επιλογή των θέσεων των βροχομετρικών σταθμών». ΥΔΡΟΤΕΧΝΙΚΑ, Επιστημονικό Περιοδικό της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ), Τόμος 3, Νο.1, Δεκέμβριος 1993: 75-91.

Σακελλαρίου Η., 1993. Ανάπτυξη ενός Έμπειρου Συστήματος για την Αξιολόγηση Γεωργικών Εδαφών. Διπλωματική εργασία, Α.Π.Θ., Τομέας Ηλεκτρονικής και Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Θεσσαλονίκη, σελ. 156.

Σπυρίδης Α., 1998. Γεωστατιστική εκτίμηση ορισμένων υδροδυναμικών παραμέτρων του εδάφους. Εφαρμογή στην γεωργική υδραυλική. Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Αγρονόμων – Τοπογράφων. Πολυτεχνική Σχολή.

Στεφανίδης Π., 1995. Οι πλημμύρες στις περιοχές Βρασνών και Ασπροβάλας. Τεχνογράφημα, ΤΕΕ, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, αριθμός φύλλου 56.

Συλλαίος Ν. & Ν. Μισοπολινός, 1984. Ταξινόμηση εδαφών. Εκδόσεις Γιαχούδη Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.

Συλλαίος Ν., 1990. Εφαρμογές Τηλεπισκόπησης στη Γεωργία. Εκδόσεις Γιαχούδη Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.

Συλλαίος Ν., 1990. Χαρτογράφηση και Αξιολόγηση Γεωργικών Εδαφών και Γαιών. Εκδόσεις Γιαχούδη Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.

Φερμαντζής Ι., 1997. Ανασκόπηση του δείκτη βλάστησης ως προς τις εφαρμογές του στη γεωργία. Διπλωματική εργασία, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωπονίας, Θεσσαλονίκη.

Lieve Van-Camp, Benilde Bujarrabal, Anna Rita Gentile, Robert J A Jones, Luca Montanarella, Claudia Olazabal, Senthil-Kumar Selvaradjou, Ed., 2004. REPORTS OF THE TECHNICAL WORKING GROUPS ESTABLISHED UNDER THE THEMATIC STRATEGY FOR SOIL PROTECTION VOLUME – V MONITORING, Brussels.

<http://forum.europa.eu.int/Public/irc/dsis/landstat/library>

http://forum.europa.eu.int/Public/irc/dsis/landstat/library?l=/lucas/reference_documentation/field_questionnaire&vm=detailed&sb=Title

<http://ec.europa.eu/comm/environment/soil/index.htm>.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Η παρακάτω ταξινόμηση και ονοματολογία χρησιμοποιείται από το ταξινομικό σύστημα “The world reference base for soil resources, FAO-Unesco”.

Κωδικοί για το καθεστώς της θερμοκρασίας εδάφους	Κωδικοί για το καθεστώς εδαφικής υγρασίας
PG Pergelic	AQ Aquic
CR Cryic	PQ Peraquic
FR Frigid	AR Aridic
ME Mesic	UD Udic
TH Thermic	PU Perudic
HT Hyperthermic	US Ustic
IF Isofrigid	XE Xeric
IM Isomesic	TO Torric
IT Isothermic	
IH Isohyperthermic	

Γαιομορφή και τοπογραφία:	Γαιομορφή 1 ^{ου} επιπέδου
F Επίπεδη 0-0.5%	<u>Οι κωδικοί για τις γαιομορφές: 1^{ου} επιπέδου</u> MO Ορεινή περιοχή HI Λόφοι UP Υψίπεδο PL Πεδιάδα PT Πλατώ BA Λεκάνη VA Κοιλάδα
A Σχεδόν επίπεδη 0.5-2%	
G Ελαφρά κυματοειδής 2-5%	
U Κυματοειδής 5-10%	
R Κυλιόμενη 10-15%	
H Λοφώδης 15-30%	
S Απότομη >30%, από το μέσο υψόμετρο	
M Ορεινή >30%, υψόμετρο >300m	

Γαιομορφή 2 ^{ου} επιπέδου	Στοιχείο Γης: Το στοιχείο γης περιγράφει την γεωμορφολογία των άμεσα γειτονικών περιοχών. Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι υποδιαιρέσεις των προηγούμενα περιγραφέντων γαιομορφών.
<u>Οι κωδικοί για τις γαιομορφές 2^{ου} επιπέδου:</u>	
AP Αλλουβιακή πεδιάδα	IF Inter fluve
CP Παράκτια πεδιάδα	VA Κοιλάδα
LP Λιμναία πεδιάδα	VF Πυθμένας κοιλάδας
GP Παγετώδης πεδιάδα	CH Κανάλι
PN Renerplane	LE Ανάχωμα
PE Pediment	TE Αναβαθμίδα
VO Ηφαιστειακή	FP Πεδιάδα από προσχώσεις πλημμυρών
DU Αμμόλοφοι	LA Λιμνοθάλασσα
DT Δέλτα	PA Σκληρή επίπεδη επιφάνεια
TF Παλιρροιακό επίπεδο	CO Κοραλλιογενής ύφαλος
PY Playa	CA Caldera (π.χ. Ν. Σαντορίνη)
	DE Βύθισμα
	DU Αμμόλοφος
	LD Επιμήκης λόφος
	ID Εσωτερικό βύθισμα αμμόλοφου
	SL Κλίση
	RI Κορυφογραμμή
	BR Κορυφογραμμή παραλιών

Θέση τοποθεσίας μέσα στο στοιχείο γης			
Σε κυματοειδές έως ορεινό ανάγλυφο:		Σε επίπεδο ή σχεδόν επίπεδο:	
CR	Crest	HI	Ανώτερο τμήμα
UP	Ανώτερη τμήμα κλίσης	IN	Ενδιάμεσο τμήμα
MS	Μέσο τμήμα κλίσης	LO	Κατώτερο τμήμα
LS	Κατώτερο τμήμα κλίσης	BO	Πυθμένας (γραμμή απορροής)
BO	Πυθμένας (επίπεδο)		

Κλίση			Σχήμα κλίσης:	
01	Επίπεδο	0– 0.2 %	Ευθεία	T
02	Επίπεδο	0.2– 0.5 %	Κοίλη	X
03	Σχεδόν επίπεδο	0.5– 1 %	Κυρτή	V
04	Ελαφρά κεκλιμένο	1– 2 %	Σε αναβαθμίδα	C
05	Ελαφρά κεκλιμένο	>60 %	Σύμπλοκη	S
06	Κεκλιμένο	5– 10 %		
07	Ισχυρά κεκλιμέν	10– 15 %		
08	Μέτρια ισχυρά κεκλιμένο	15– 30 %		
09	Απότομο	30– 60 %		
10	Πολύ απότομο	2– 5 %		

Χρήση γης (βλέπε το Χάρτη CORINE)

Μητρικό υλικό	
Μη συγκολλημένο υλικό:	Τύπος Πετρώματος:
AU Αιολικές αποθέσεις	AC Όξινα πυριγενή / μεταμορφωμένα πετρώματα
AS Αιολική άμμος	GR Γρανίτης
LI Littoral deposits	GN Γνεύσιος
LG Αποθέσεις λιμνοθάλασσας	GG Γρανίτης/γνεύσιος
MA Θαλάσσιες αποθέσεις	QZ Χαλαζίτης
LA Λιμναίες αποθέσεις	SC Σχιστόλιθος
FL Ποτάμιες καταθέσεις	AN Ανδεσίτης
AL Αλλουβιακές αποθέσεις	DI Διορίτης
UU Μη συμπαγές υλικό	BA Βασικά πυριγενή / μεταμορφωμένα πετρώματα
VA Ηφαιστειακή τέφρα	UB Υπερβασικά πετρώματα
LO Loess	GA Γάββρος
PY Πυροκλαστικές αποθέσεις	BT Βασάλτης
GL Παγετωνικές αποθέσεις	DO Δολερίτης
OR Οργανικές αποθέσεις	VO Ηφαιστιογενές πέτρωμα
CO Κολλουβιακές αποθέσεις	SE Ιζηματογενή πετρώματα
WE Επί τόπου αποσπασμένα	LI Ασβεστόλιθος
SA Σαπρόλιθοι	DM Δολομίτης
	SA Αμμόλιθος
	QS Χαλαζιακός αμμόλιθος
	SH Σχιστόλιθος
	MA Μάρμαρο
	TR Τραβερτίνης
	CO Conglomerate
	SI Ιλαιοαμμόλιθος (Siltstone)
	TU Ηφαιστειακή τέφρα
	PY Πυροκλαστικό πέτρωμα
	EV Evaporite
	GY Γύψος
	NK Άγνωστο

Λειτουργικό βάθος εδάφους		
1	Πολύ ρηχό	<30 cm
2	Ρηχό	30– 50 cm
3	Μέτρια ρηχό	50– 100 cm
4	Βαθύ	100– 150 cm
5	Πολύ βαθύ	>150 cm

Χαρακτηριστικά επιφανείας										
Ποσοστό βραχωδών εξάρσεων:			Απόσταση μεταξύ των βραχωδών εξάρσεων		Επιφανειακοί χάλικες		Κλάσεις μεγέθους: cm			
N	Απουσία	0%	1	>50 m	N	Απουσία	0%	F	Λεπτοί χάλικες	0.2– 0.6
V	Πολύ λίγες	0– 2 %	2	20– 50 m	V	Πολύ λίγα	0– 2 %	M	Μέσοι χάλικες	0.6– 2
F	Λίγες	2– 5 %	3	5– 20 m	F	Λίγα	2– 5 %	C	Αδρόι χάλικες	2– 6
C	Κοινές	5– 15 %	4	2– 5 m	C	Κοινά	5– 15 %	S	Λίθοι	6– 20
M	Πολλές	15– 40 %	5	< 2m	M	Πολλά	15– 40 %	B	Ογκόλιθοι	20– 60
A	Αφθονες	40– 80 %			A	Αφθονα	40– 80 %	L	Μεγάλοι ογκόλιθοι	60– 200
D	Μόνιμες	>80 %			D	Μόνιμα	>80 %			

Διάβρωση				
Κύριες κατηγορίες:	Τύποι:	% πληγείσα επιφάνεια	Βαθμός	Δραστηριότητα:
N Απουσία διάβρωσης	WS Επιφανειακή διάβρωση	0 0%	S Μικρός: Λίγες ενδείξεις στον επιφανειακό ορίζοντα	A Ενεργή
W Διάβρωση από νερό ή απόθεση	WR Αυλακωτή διάβρωση	1 0-5%	M Μέσος: Σαφείς ενδείξεις απομάκρυνσης επιφανειακού ορίζοντα	R Ενεργή σε παρελθόντα χρόνο (50 – 100 χρόνια πριν)
A Αιολική διάβρωση ή απόθεση	WG Χαραδρωτική διάβρωση	2 5-10%	V Σοβαρός: Ο επιφανειακός ορίζοντας έχει τελείως απομακρυνθεί και έχει αποκαλυφθεί ο υπεδάφειος ορίζοντας	H Ενεργή σε ιστορικούς χρόνους
	WD Απόθεση από νερό	3 10-25%	E Ακραίος: Ουσιαστική απομάκρυνση βαθύτερων οριζόντων (badlands).	N Περίοδος δραστηριότητας δεν είναι γνωστή
	WA Διάβρωση από νερό και άνεμο	4 25-50%		X Ανθρωπογενής και φυσική διάβρωση δεν διακρίνονται
	AD Αιολική απόθεση	5 >50%		
	AM Αιολική διάβρωση και απόθεση			
	AS Κινούμενη άμμος			
	AZ Αποθέσεις αλάτων			

Επιφανειακό σφράγισμα εδάφους (πόροι)				
Πάχος:			Σκληρότητα:	
N	Απουσία		S	Πολύ σκληρό
F	Λεπτό	<2 mm	H	Σκληρό
M	Μέσο	2– 5 mm	V	Πολύ σκληρό
C	Παχύ	5– 20 mm	E	Πάρα πολύ σκληρό
V	Πολύ παχύ	>20 mm		

Επιφανειακές ρωγμές					
Εύρος:			Απόσταση μεταξύ ρωγμών:		
F	Μικρό	<1 cm	C	Μικρό απόσταση	<0.2 m
M	Μέσο	1– 2 cm	D	Μικρή απόσταση	0.2– 0.5 m
W	Ευρεία	2– 5 cm	M	Μέση απόσταση	0.5– 2 m
V	Πολύ ευρεία	5– 10 cm	W	Μεγάλη απόσταση	2– 5 m
E	Πάρα πολύ ευρεία	>10 cm	V	Πολύ μεγάλη απόσταση	>5 m

Σχέσεις εδάφους-νερού	
Κωδικοί	Κλάσεις διήθητικότητας
E	<u>Υπερβολική διήθητικότητα</u> : Το νερό απομακρύνεται από το έδαφος πολύ γρήγορα. Τα εδάφη είναι συχνά αδρόκοκκης υφής ή πετρώδη ή σε απότομες κλίσεις.
S	Μερικώς υπερβολική διήθητικότητα: Το νερό απομακρύνεται από το έδαφος γρήγορα. Τα εδάφη είναι συνήθως αμμώδη
W	<u>Καλή διήθητικότητα</u> : Το νερό απομακρύνεται από το έδαφος με μέτρια ταχύτητα. Τα εδάφη συνήθως κατακρατούν βέλτιστα ποσά υγρασίας αλλά η υγρασία αυτή δεν εμποδίζει την ανάπτυξη των ριζών.
M	<u>Μέση-καλή διήθητικότητα</u> : Το νερό απομακρύνεται από το έδαφος σχετικά αργά κατά τη διάρκεια ορισμένων περιόδων του έτους. Τα εδάφη είναι υγρά για βραχείς περιόδους κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης των ριζών. Συνήθως υπάρχει ένα αδιαπέρατος ορίζοντα, ή περιοδικά δέχεται έντονες βροχοπτώσεις.
I	<u>Ανεπαρκής διήθητικότητα</u> : Το νερό απομακρύνεται αργά και έτσι το έδαφος είναι υγρό σε μικρό βάθος για μεγάλες περιόδους. Συνήθως υπάρχει ένας αδιαπέρατος ορίζοντας, μια υψηλή υπόγεια στάθμη νερού, προσθήκη νερού με διήθηση, ή πολύ συχνά δέχεται έντονες βροχοπτώσεις.
P	<u>Φτωχή διήθητικότητα</u> : Το νερό απομακρύνεται τόσο αργά ώστε τα εδάφη είναι συνήθως υγρά σε μικρό βάθος για σημαντικές περιόδους. Συνήθως η υπόγεια στάθμη του νερού είναι ψηλά ως αποτέλεσμα ύπαρξης ενός αδιαπέρατου ορίζοντα, διήθησης ή έντονων βροχοπτώσεων.
V	<u>Πολύ φτωχή διήθητικότητα</u> : Το νερό απομακρύνεται τόσο αργά ώστε τα εδάφη να είναι υγρά για πολύ μεγάλη περίοδο. Η περιοχή συνήθως δέχεται υψηλή βροχόπτωση σχεδόν κάθε μέρα.

Εξωτερική απορροή :Η εξωτερική απορροή αναφέρεται στη σχετική χωρική θέση του σημείου παρατήρησης και κατά συνέπεια στη σχετική κίνηση του επιφανειακού νερού.	
P	Συγκεντρωμένο στην υπάρχουσα θέση
N	Δεν λαμβάνει και ούτε διασκορπίζει το νερό
S	Γρήγορη απορροή
R	Μέτρια ταχύτητα απορροής
M	Αργή απορροή

Πλημμύρα: Σε αριθμό συμβάντων, έντασης, διάρκειας και βάθους.

Υπόγειο νερό: Συνθήκες υγρασίας Οι συνθήκες υγρασίας που επικρατούν στο έδαφος τον χρόνο της παρατήρησης.	
D	Ξηρό
S	Λίγο υγρό
M	Υφυγρο
W	Υγρό