



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



Μανάκος Αλέξανδρος, Α.Μ. 3880

Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας :

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Μέσω μαθηματικών μοντέλων RUSLE και WEPP.

Επιβλέπον Καθηγητής:

**Κων/νος Βουβαλίδης , Επ. Καθηγητής Γεωλογίας
Α.Π.Θ.**

Θεσσαλονίκη, 2010



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
2. ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	4
2.1 Ορισμός	4
2.2 Φυσικοί μηχανισμοί διάβρωσης.....	4
2.4 Μέτρα προστασίας για την αντιμετώπιση της διάβρωσης	8
3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ – ΜΟΝΤΕΛΑ (MODELS)	10
3.1 Χρήση μαθηματικών μοντέλων (models) στη διάβρωση.....	10
3.2 Αρχικές προσπάθειες δημιουργίας μαθηματικών μοντέλων διάβρωσης.	12
4. ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	14
4.1 Παγκόσμια εξίσωση εδαφολογικής απώλειας (USLE).....	14
4.2 Παράμετροι – παράγοντες διάβρωσης (μαθηματικοί-USLE)	15
3. L - Ο παράγοντας μήκος κλίσης και S - Ο παράγοντας κλίση (%).....	20
4.3 Μοντέλο πρόβλεψης διάβρωσης ύδατος RUSLE	24
4.4 Μοντέλο πρόβλεψης διάβρωσης ύδατος WEPP.....	26
4.4.1 Απαραίτητα δεδομένα μοντέλου WEPP :.....	27
4.4.2 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα του μοντέλου WEPP	28
5. Σύγκριση μοντέλων WEPP και RUSLE.....	29
6. Συμπεράσματα.....	34
7. Βιβλιογραφία	36



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σημαντικό πρόβλημα της εποχής μας για ολόκληρη τη κοινωνία αποτελεί ο κίνδυνος της υποβάθμισης των εδαφών και του περιβάλλοντος εξαιτίας του τρόπου χρήσης της γης. Πολλές παρατηρήσεις και δεδομένα αποκαλύπτουν ότι οι αλλαγές στα αγροτικά συστήματα προκάλεσαν και προκαλούν επιταχυνόμενη διάβρωση σε αρκετές περιοχές της γης, προξενώντας υποβάθμιση των εδαφών με την απομάκρυνση του γόνιμου επιφανειακού τμήματος του εδάφους.

Η αναγνώριση και ανάλυση του τρόπου εξέλιξης και δράσης των διαβρωτικών φαινομένων, λαμβάνοντας υπόψη την ιδιαιτερότητα των εδαφολογικών, γεωμορφολογικών και κλιματικών συνθηκών κάθε περιοχής, αντιπροσωπεύει την καλύτερη στρατηγική για την επιλογή ολοκληρωμένης προστασίας του εδάφους, κατάλληλης για τον έλεγχο της διάβρωσης σε συγκεκριμένες θέσεις (Chisci, 1994).

Για τη λήψη αποφάσεων σε σχέση με το περιβάλλον και τη διαχείριση του φυσικού πλούτου ο άνθρωπος έχει κάνει τεχνολογικά άλματα και έχει αναπτύξει νέες μεθόδους. Αυτές οι πρόσφατες επιστημονικές κατακτήσεις του ανθρώπου χρησιμοποιούνται σε μια προσπάθεια διατήρησης και συντήρησης των οικοσυστημάτων, ώστε τα οφέλη που προσκομίζουμε σήμερα από τις φυσικές πρώτες ύλες να μην εξαλειφθούν για το αύριο. Η εξέλιξη των μαθηματικών μοντέλων υπολογισμού διάβρωσης, της πληροφορικής αλλά και η ύπαρξη των δυνατοτήτων που προσφέρονται για το χειρισμό ασαφούς και ελλιπούς γνώσης, αποτελούν αρωγούς στην προσπάθεια της ειρηνικής συνύπαρξής μας με το περιβάλλον.

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας έγινε μια προσπάθεια σύγκρισης δύο διεθνώς διαδεδομένων μαθηματικών μοντέλων, ως προς την δυνατότητα εφαρμογής τους στον Ελλαδικό γεωμορφολογικό ανάγλυφο.

2. ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

2.1 Ορισμός

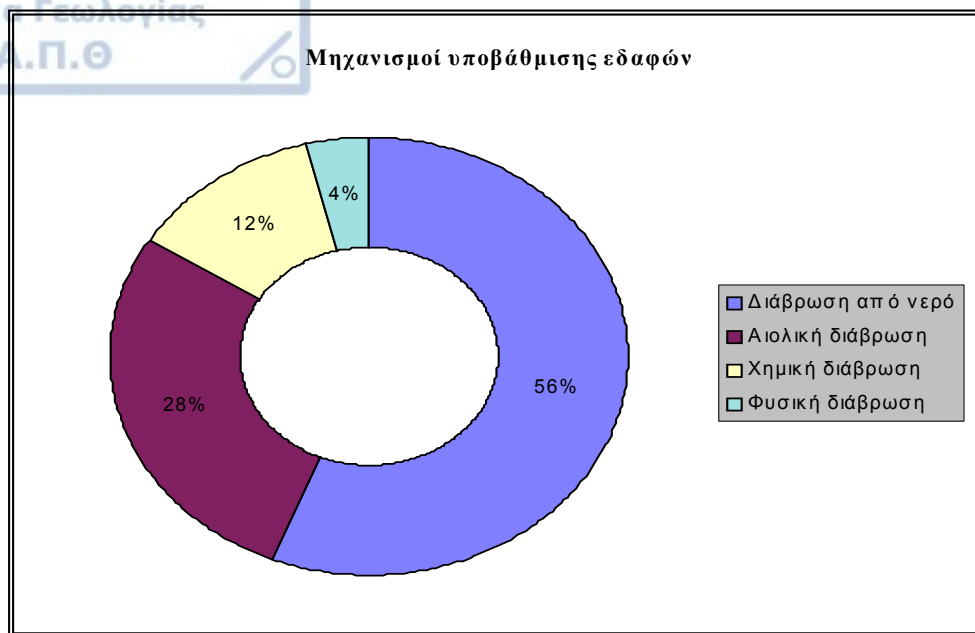
Με τον όρο *διάβρωση* (erosion) εννοούμε την προοδευτική αποσύνθεση των υλικών των εδαφών , των πετρωμάτων , της λάσπης αλλά και τεχνητών υλικών με την πάροδο του χρόνου υπό την επίδραση παραγόντων του περιβάλλοντος, όπως του ανέμου, του νερού, του πάγου ή ακόμη και των ζωντανών οργανισμών (βιοδιάβρωση), αλλά και χημικών αντιδράσεων.

2.2 Φυσικοί μηχανισμοί διάβρωσης

Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού της γης εντατικοποιεί τη χρήση του εδάφους σε παγκόσμια κλίμακα. Περισσότεροι από 5,5 δισεκατομμύρια άνθρωποι χρησιμοποιούν περίπου το 10% της επιφάνειας της γης για καλλιέργειες και παραγωγή ζωικών προϊόντων. Η χρήση αυτή εγκυμονεί κινδύνους υποβάθμισης και διάβρωσης των εδαφών, με αποτέλεσμα τη μείωση της ικανότητάς τους να παράγουν είδη διατροφής.

Σύμφωνα με τους Oldeman et al.(1990) (Σχήμα 2.1.α.) οι μηχανισμοί υποβάθμισης εδάφους σε παγκόσμια κλίμακα για όλους τους τύπους χρήσεων γης προκαλούνται κατά

- 56% με διάβρωση από νερό,
- 28% με αιολική διάβρωση,
- 12% με χημική διάβρωση και
- 4% με φυσική διάβρωση.



Σχήμα 2.1 Μηχανισμοί υποβάθμισης εδαφών. (Oldeman et al. 1990)

Η διάβρωση αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα υποβάθμισης εδαφών παγκοσμίως και αφορά στη διαδικασία, στην οποία ο άνεμος και το νερό διευκολύνουν την κίνηση του επιφανειακού εδάφους από το ένα μέρος στο άλλο. Η διάβρωση που προκαλεί το νερό είναι σε παγκόσμια κλίμακα πιο επιβλαβής για τα εδάφη, όχι μόνο με τον όγκο του εδάφους που μετακινεί, αλλά και το εύρος της περιοχής στο οποίο επιδρά.

Οι επιπτώσεις της διάβρωσης του εδάφους δεν είναι μόνο οι τοπικές ζημιές, αλλά και αυτές που παρατηρούνται σε θέσεις μακριά από τον τόπο της διάβρωσης. Οι τοπικές ζημιές προκαλούν μείωση του εδαφικού προφίλ με την απομάκρυνση του ανώτερου στρώματος του εδάφους. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση της ικανότητας αποθήκευσης νερού και θρεπτικών ουσιών, η οποία στη συνέχεια οδηγεί σε μια μείωση της γονιμότητας. Παρόμοιας σημασίας είναι και η υποβάθμιση του εδάφους που συμβαίνει και στις πιο μακρινές περιοχές από το σημείο που - άμεσα - λαμβάνει χώρα η διάβρωση. Οι ζημιές στην περίπτωση αυτή προκύπτουν από την προσθήκη ιζημάτων και βλαβερών ουσιών (όπως λιπάσματα και γεωργικά φάρμακα) σε κοντινές περιοχές και επιφανειακά ύδατα. Το αποτέλεσμα είναι η εκδήλωση τοξικότητας και ειδικότερα ο ευτροφισμός των εδαφών και των υδάτων, καθώς και υπέρμετρη ιζηματοποίηση.

2.3 Η γεωργία και το φαινόμενο της διάβρωσης

Οι γεωργικές δραστηριότητες αυξάνουν, συνήθως, τον κίνδυνο διάβρωσης, λόγω της παρέμβασης στη φυτοκάλυψη μιας περιοχής, της αλλαγής χρήσης γης, του οργώματος και της υπερβόσκησης. Πολλοί αγρότες προετοιμάζουν το έδαφος καλλιεργώντας ή οργώνοντας τον αγρό τους για την κατασκευή μιας ομαλής επιφάνειας για σπορά, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός επιφανειακού στρώματος εδάφους επιρρεπούς στη διάβρωση.

Μερικές καλλιεργητικές μέθοδοι που οδηγούν στην επιτάχυνση της διάβρωσης ενός εδάφους είναι οι παρακάτω (Gow and Pidwirny, 1996) :

1. **Υπερβόσκηση ζώων** (όπου γίνεται προσπάθεια διατροφής περισσότερων ζώων από ότι η υπάρχουσα βλάστηση μπορεί να συντηρήσει). Το ποδοπάτημα και η βοσκή, εκτός της συμπίεσης του εδάφους, ελαττώνει τον αριθμό των ειδών που αναπτύσσονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή βόσκησης, οπότε χωρίς επαρκή φυτοκάλυψη η επιφάνεια της γης γίνεται πιο δεκτική στη διάβρωση από τον άνεμο και τα κατακρημνίσματα. Ακόμα, όταν τα ζώα βόσκουν σε όχθες ρεμάτων το ποδοπάτημα προκαλεί επιπλέον διάβρωση και απόθεση ιζημάτων.

2. **Μονοκαλλιέργεια.** Η πρακτική αυτή μπορεί να οδηγήσει στη διάβρωση για τους παρακάτω λόγους.

- Η συγκομιδή της μονοκαλλιέργειας γίνεται μαζικά σε συγκεκριμένο χρόνο, γεγονός που αφήνει ακάλυπτο το έδαφος και η φυσική βροχόπτωση δεν συγκρατείται από το έδαφος με αποτέλεσμα την αύξηση της απορροής.
- Επιπλέον, σε περίπτωση ασθένειας ή εισβολής ζιζανίων συνήθως εξαφανίζεται ολόκληρη η καλλιέργεια, οπότε και πάλι η επιφάνεια του εδάφους βρίσκεται εκτεθειμένη στους παράγοντες διάβρωσης.

3. **Καλλιέργεια σε σειρές.** Η καλλιεργητική αυτή μέθοδος είναι συνήθης σε μονοκαλλιέργειες, ενώ δεν είναι σπάνια και στις μικτές καλλιέργειες. Η τακτική αυτή εκθέτει το έδαφος μεταξύ των σειρών στις διεργασίες διάβρωσης.

4. **Όργωμα.** Η τεχνική αυτή συνιστά μια από τις παλαιότερες καλλιεργητικές μεθόδους. Ανακατεύει τα θρεπτικά συστατικά στο έδαφος, χαλαρώνει τα εδαφικά συσσωματώματα, ανανεώνει το εδαφικό οξυγόνο και απαλλάσσει τον αγρό από τα ζιζάνια. Παρόλα αυτά αυξάνει την πιθανότητα για διάβρωση διότι αναταράσσει τη φυσική επιφάνεια του εδάφους και εκμηδενίζει την προστατευτική φυτοκάλυψη.

5. **Συγκομιδή της καλλιέργειας.** Η συνεχής απομάκρυνση της καλλιέργειας αυξάνει την επίδραση των παραγόντων διάβρωσης, λόγω της έκθεσης του εδάφους και της έκπλυσης της οργανικής ουσίας. Η οργανική ουσία έχει την ικανότητα να απορροφά ικανή ποσότητα βρόχινου νερού και χωρίς αυτή το νερό δε συγκρατείται από το έδαφος.

6. **Επέκταση καλλιεργητικής γης.** Αυτό αποτελεί πρόβλημα κυρίως των αναπτυσσόμενων χωρών. Η αύξηση του πληθυσμού ωθεί τους ανθρώπους να αναπτύξουν καλλιέργειες σε εκτάσεις γης, όπως τα πρηνή των λόφων, οι οποίες είναι πολύ δεκτικές στη διάβρωση από το νερό.

2.4 Μέτρα προστασίας για την αντιμετώπιση της διάβρωσης

Τα εδάφη συνήθως προστατεύονται από τη διάβρωση από τα υπέργεια και υπόγεια τμήματα των φυτών. Τα υπέργεια τμήματα των φυτών, όπως τα κλαδιά και τα φύλλα, μειώνουν την ικανότητα του ανέμου και του νερού να διαβρώνουν το έδαφος, λειτουργώντας ως φράγματα, αλλά και εμποδίζοντας την πρόσκρουση των σταγόνων της βροχής. Τα φυτά μειώνουν επιπλέον τον κίνδυνο διάβρωσης με την σύνδεση και συγκράτηση εδαφικών τεμαχίων από τις ρίζες.

Υπάρχουν πολλές τεχνικές, τις οποίες οι αγρότες μπορούν να υιοθετήσουν για να μειώσουν σε σημαντικό βαθμό τη δυναμική των παραγόντων διάβρωσης (Gow and Pidwirny, 1996):

1. **Τρόπος οργώματος.** Ο τρόπος με τον οποίο οργώνεται ένας αγρός μπορεί να έχει πολύ σημαντική επίδραση στο αποτέλεσμα των διεργασιών διάβρωσης :

α) Όργωμα σύμφωνα με τις ισοϋψείς. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει όργωμα κάθετα στην κλίση του ανάγλυφου. Τα αναχώματα που δημιουργούνται δρουν ως φράγμα ανάσχεσης του νερού, το οποίο εισέρχεται στο έδαφος και δεν απορρέει επιφανειακά με κίνδυνο να το συμπαρασύρει. Η μέθοδος αυτή μπορεί να μειώσει τις απώλειες του εδάφους μέχρι και 50%.

β) Δημιουργία αναβαθμίδων. Αυτός είναι ένας άλλος τρόπος προετοιμασίας των αγρών για σπορά και χρησιμοποιείται συνήθως σε περισσότερο επικλινή εδάφη, όπου ισοπεδώνονται περιοχές στις κλιτύες για την αποτροπή της ροής του νερού κάτω από αυτές. Στην τεχνική αυτή υπάρχει το μειονέκτημα ότι για την αποτροπή διάβρωσης της ίδιας της αναβαθμίδας απαιτείται συντήρηση και επισκευή όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο.

2. **Χρόνος καλλιεργητικής εργασίας.** Ο χρόνος κατά τον οποίο οργώνεται ένας αγρός μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στον όγκο της διάβρωσης που λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια του έτους και έχει σχέση με την κατανομή των βροχοπτώσεων. Αν ένας αγρός οργώνεται το φθινόπωρο, η διάβρωση επιτελείται στο μέγιστο βαθμό ολόκληρο το χειμώνα, ενώ αν η φυτοκάλυψη διατηρείται μέχρι την άνοιξη, ο χρόνος για να λάβει χώρα διάβρωση ελαχιστοποιείται.

3. Καλλιέργεια χωρίς όργωμα. Υπάρχουν ειδικευμένα μηχανήματα που μπορούν να χαλαρώσουν το έδαφος, να φυτέψουν σπόρους και ελέγξουν την ανάπτυξη των ζιζανίων με την ελάχιστη αναμόχλευση του εδάφους. Εφόσον όλες αυτές οι ενέργειες γίνουν στον ίδιο χρόνο, τα χρονικά περιθώρια μέσα στα οποία μπορούν να επιδράσουν οι παράγοντες διάβρωσης ελαχιστοποιούνται. Υπάρχει παρόλα αυτά και ο αντίποδας. Επειδή τα ζιζάνια και τα έντομα δεν απομακρύνονται, υπάρχει συνεχώς η πιθανότητα να αυξηθεί σημαντικά ο πληθυσμός τους έτσι, ώστε να βλάψουν ή και να καταστρέψουν τις καλλιέργειες.

4. Μέθοδος καλλιέργειας. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να καλλιεργηθεί ένας αγρός για την αποφυγή της διάβρωσης :

α) Καλλιέργεια σε λωρίδες. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τη σπορά καλλιεργειών σε αραιά τοποθετημένες σειρές με ταυτόχρονη κάλυψη του ενδιάμεσου χώρου με άλλη καλλιέργεια, ώστε να εξασφαλίζεται συνεχής φυτοκάλυψη. Το έδαφος είναι πλήρως καλυμμένο, γεγονός που επιβραδύνει την επιφανειακή απορροή του νερού και δίνει χρόνο να διηθηθεί στο έδαφος, οπότε μειώνονται και τα προβλήματα διάβρωσης.

β) Πολυποίκιλη καλλιέργεια (όπου το έδαφος σπέρνεται με διάφορες ποικιλίες της ίδιας καλλιέργειας). Λόγω του ότι ο χρόνος συγκομιδής διαφέρει στις διάφορες ποικιλίες της καλλιέργειας, το σύνολο του εδάφους δεν εκτίθεται την ίδια χρονική στιγμή στους εξωγενείς παράγοντες της διάβρωσης.

γ) Ανεμοφράκτες. Περιοχές με δένδρα μπορεί να αφεθούν ή να φυτευτούν και δρουν ενάντια στη μηχανική διαβρωτική δράση και την ξήρανση που προκαλεί ο άνεμος.

5. Προσθήκη οργανικής ουσίας. Η προσθήκη της οργανικής ουσίας στο έδαφος είναι σημαντική και μπορεί να επιτευχθεί με όργωμα του αγρού χωρίς την απομάκρυνση των καλλιεργητικών υπολειμμάτων ή την ανάπτυξη καλλιέργειας αποκλειστικά να ενσωματωθεί στο έδαφος και να το εμπλουτίσει με οργανική ουσία (οργανική λίπανση). Οι μικροοργανισμοί στο έδαφος αποσυνθέτουν την οργανική ουσία και τα προϊόντα αποσύνθεσης δρουν ως συγκολλητική ύλη μεταξύ των εδαφικών τεμαχίων και κατά συνέπεια βοηθούν την αντίσταση του εδάφους στη διάβρωση.

3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ – ΜΟΝΤΕΛΑ (MODELS)

3.1 Χρήση μαθηματικών μοντέλων (models) στη διάβρωση

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

Τα μαθηματικά ομοιώματα 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 χρήση μαθηματικών ομοιωμάτων διάβρωσης του εδάφους είναι η διαδικασία της μαθηματικής περιγραφής της απόσπασης των εδαφικών τεμαχίων, της μεταφοράς και της απόθεσής τους σε άλλες τοποθεσίες. Υπάρχουν τουλάχιστο τρεις λόγοι για τη χρήση μαθηματικών ομοιωμάτων διάβρωσης :

α) τα ομοιώματα διάβρωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία πρόβλεψης για μελέτη της απώλειας του εδάφους, για το σχεδιασμό διατήρησης – συντήρησης των εδαφών, την έρευνα και την απογραφή της εδαφικής διάβρωσης,

β) τα φυσικά μαθηματικά ομοιώματα (physically -based) μπορούν να προβλέψουν πού και πότε λαμβάνει χώρα διάβρωση και μ' αυτό τον τρόπο να ενισχυθούν οι προσπάθειες συντήρησης - διατήρησης του εδάφους για τη μείωση της διάβρωσης,

γ) τα μαθηματικά ομοιώματα μπορούν 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 του κινδύνου 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 διαφωνίες ως προς την ακριβή μορφή κάθε εξίσωσης που καλείται να περιγράψει την επιρροή 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 μαθηματικών ομοιωμάτων, τα οποία περιγράφουν, προβλέπουν και προσδιορίζουν χρονικά και χωρικά τη διάβρωση για διάφορες κλίμακες, όπως πειραματικό αγροτεμάχιο, αγρό, χαρτογραφική μονάδα, ταξινομική μονάδα, φυσιογραφική μονάδα ή και λεκάνη απορροής.

Τα περισσότερα μαθηματικά ομοιώματα που αναπτύσσονται βασίζονται σύμφωνα με το Θεοχαρόπουλο (1996) στην USLE (Wischmeier et al., 1958, 1971). Μεταξύ αυτών αναφέρονται το RUSLE (Revised- Renard et al., 1991), 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., 1996), EUROSEM (European Soil Erosion Model- Morgan et al., 1991) τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλές περιοχές της υδρογείου με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Οι τύποι των μαθηματικών ομοιωμάτων (Morgan, 1979: de Roo, 1993) είναι τα ντετερμινιστικά, τα στοχαστικά και τα παραμετρικά ομοιώματα. Τα τελευταία διακρίνονται σε μαθηματικά μοντέλα, στα οποία δεν περιγράφεται με λεπτομέρειες ο τρόπος που κινείται το σύστημα και είναι γνωστά ως black box, και σε μαθηματικά ομοιώματα, στα οποία περιγράφεται με μεγάλη λεπτομέρεια η λειτουργία του συστήματος και είναι γνωστά ως white box.

Σύμφωνα με τους Nearing et al. (1994) τα μαθηματικά ομοιώματα διάβρωσης ταξινομούνται σε τρεις κύριες κατηγορίες, τα εμπειρικά (empirical), τα θεμελιώδη (conceptual) και τα φυσικά (physically -based).

Τα εμπειρικά μαθηματικά ομοιώματα βασίζονται αρχικά στην παρατήρηση και είναι συνήθως στατιστικής φύσης. Τα εμπειρικά ομοιώματα βασίζονται στην επαγωγική λογική και γενικά είναι εφαρμόσιμα μόνο για εκείνες τις συνθήκες για τις οποίες οι παράμετροι έχουν βαθμονομηθεί.

3.2 Αρχικές προσπάθειες δημιουργίας μαθηματικών μοντέλων διάβρωσης

Οι πρώτες προσπάθειες μέτρησης της διάβρωσης σε μικρές κεκλιμένες επιφάνειες κλιτύων και αγρών ξεκίνησαν από το Zingg (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, και οι Bayracharya & 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, τεχνογνωσίας 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) μελέτησαν τη μεθοδολογία και τους παράγοντες χρήσης μαθηματικών ομοιωμάτων διαχωρίζοντας τις περιπτώσεις σε διεργασίες μεταξύ αυλακιών (interill) και διεργασίες μέσα στα αυλάκια. Ο de Roo (1993) αναφέρεται συνολικά στη χρήση μαθηματικών ομοιωμάτων απορροής και διάβρωσης. Ο συγγραφέας με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών δημιουργεί ένα μαθηματικό ομοίωμα, 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. (1994) ανέπτυξαν ένα έμπειρο σύστημα αξιολόγησης γεωργικών εδαφών για την εκτίμηση του κινδύνου διάβρωσης στην Ισπανία. Επιπλέον οι Kirkby et al. (1989) περιγράφουν τη διαδικασία και μεθοδολογία δημιουργίας μαθηματικών ομοιωμάτων προσομοίωσης γεωμορφολογικών διεργασιών, καθώς επίσης και τις μεθοδολογίες αξιολόγησης και προσαρμογής. Τέλος, οι Davies & O'Keefe (1989) περιγράφουν με περισσότερη εξειδίκευση τη δημιουργία μαθηματικών ομοιωμάτων προσομοίωσης σε γλώσσα προγραμματισμού Pascal.

Τα μαθηματικά ομοιώματα, 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 μαθηματικό ομοίωμα, καθώς επίσης και η εύκολη χρήση τους. Τέλος, κρίνεται απαραίτητος, πριν την επιλογή και εφαρμογή των μαθηματικών ομοιωμάτων, ο έλεγχος συμβατότητας των μαθηματικών ομοιωμάτων με τις ιδιαίτερες εδαφο-βιοκλιματικές συνθήκες της συγκεκριμένης περιοχής.

4. ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

4.1 Παγκόσμια εξίσωση εδαφολογικής απώλειας (USLE)

Η Παγκόσμια Εξίσωση Απώλειας Εδάφους (USLE) αποτελεί ένα εμπειρικό μαθηματικό ομοίωμα διάβρωσης που χρησιμοποιήθηκε ευρέως για τον υπολογισμό της διάβρωσης του εδάφους. Η εντονότερη κριτική της USLE οφείλονται στην αναποτελεσματικότητα της 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 τη δημιουργία της βάσης δεδομένων που απαιτείται για την καθοδήγηση του μαθηματικού ομοιώματος. Ο πρωταρχικός στόχος των εμπειρικών ομοιωμάτων ήταν η πρόβλεψη της μέσης απώλειας εδάφους, παρά το ότι μερικές προεκτάσεις τους εξελίχθηκαν για τη αύξηση των ιζημάτων.

Τα θεμελιώδη (conceptual) μαθηματικά ομοιώματα τοποθετούνται κάπου μεταξύ των φυσικών (physically-based) και των εμπειρικών μαθηματικών ομοιωμάτων και βασίζονται σε εξισώσεις συνέχειας, οι οποίες υπολογίζουν τη χωρική συσσώρευση του νερού και των ιζημάτων. Στόχος των θεμελιωδών μαθηματικών ομοιωμάτων αποτέλεσε η πρόβλεψη της αύξησης των ιζημάτων, κυρίως χρησιμοποιώντας την αρχή της υδρογραφικής μονάδας.

Τα φυσικά μαθηματικά ομοιώματα σκοπεύουν στην αναπαράσταση των απαραίτητων μηχανισμών ελέγχου της διάβρωσης. Η ισχύς των φυσικών μαθηματικών ομοιωμάτων είναι ότι αναπαριστούν τη σύνθεση των ανεξαρτήτων συστατικών που επηρεάζουν τη διάβρωση, λαμβάνοντας υπόψη και τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφόρων παραγόντων και των χωρικών και χρονικών διακυμάνσεων. Ο ερευνητής - επιστήμονας μπορεί να χρησιμοποιήσει τα φυσικά μαθηματικά ομοιώματα διάβρωσης για να βοηθηθεί στο να αναγνωρίσει ποια μέρη του συστήματος είναι τα πιο σημαντικά στη συνολική διεργασία διάβρωσης. Ο σχεδιαστής συντήρησης του εδάφους μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα φυσικό μαθηματικό ομοίωμα, σαν ένα 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.

4.2 Παράμετροι – παράγοντες διάβρωσης (μαθηματικοί-USLE)

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν 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 των εδαφικών τεμαχίων (Lal και Elliot, 1994). Οι συνιστώσες και παράμετροι που ορίζουν τις διαδικασίες αυτές καθορίζουν και τους παράγοντες, απ' τους οποίους εξαρτάται η διάβρωση.

Οι παράγοντες που καθορίζουν τη διάβρωση των εδαφών είναι (Renard et al., 1994)

- η διαβρωτικότητα του νερού της βροχής,
- η διαβρωσιμότητα του εδάφους,
- η κλίση της επιφάνειας του εδάφους,
- το μήκος της κλίσης,
- ο τύπος της βλάστησης
- και τα υπάρχοντα ή λαμβανόμενα αντιδιαβρωτικά μέτρα.

Η επιστημονική γνώση γύρω από τους παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση προέρχεται από παρατηρήσεις στον αγρό και από πειράματα στη φύση, υπό φυσικές ή τεχνητές - προσομοιωμένες συνθήκες. Επιπλέον, η συλλογή πλήθους εδαφολογικών δεδομένων, η ανάλυση και επεξεργασία αυτών με στατιστικές και μαθηματικές μεθόδους, όπως η συσχέτιση (correlation) και η παλινδρόμηση (regression), συνεισφέρουν στην κατανόηση του φαινομένου της διάβρωσης.

Διάφορες απόψεις και εκφράσεις μαθηματικών τύπων προέκυψαν από τη χρόνια ενασχόληση των ερευνητών με το φαινόμενο, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει συμφωνία για το βαθμό επίδρασης κάθε παράγοντα στη διεργασία της διάβρωσης. Παρόλα αυτά σήμερα τυγχάνει γενικής αποδοχής για τις περιπτώσεις, στις οποίες κυριαρχεί η διάβρωση από το νερό της βροχής, η θεωρία των Wischmeier και Smith (1958) για τους παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση και το βαθμό, στον οποίο την επηρεάζουν.

Η εξίσωση που προτείνουν οι Wischmeier και Smith (1958) και αναθεωρήθηκε από το Υπουργείο Γεωργίας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής το 1985 (Renard et al., 1991) για την επίδραση των παραγόντων διάβρωσης στο τελικό αποτέλεσμα έντασης του φαινομένου σε μια περιοχή και ονομάζεται (Αναθεωρημένη) Παγκόσμια Εξίσωση Υπολογισμού της Απώλειας Εδάφους (USLE / RUSLE) είναι η παρακάτω:

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

όπου A = η απώλεια εδάφους σε τόνους/εκτάριο/έτος, R = ο παράγοντας διαβρωτικότητας της βροχής (erosivity index), K = ο παράγοντας διαβρωσιμότητας του εδάφους (soil erodibility index), L = ο παράγοντας μήκος κλίσης, S = ο παράγοντας κλίση (%), C = ο παράγοντας διαχείρισης - φυτικής κάλυψης και P = ο παράγοντας αντιδιαβρωτικής προστασίας (καλλιέργεια κατά την κλίση, αναβαθμίδες, κ.λ.π.).

Το ποσοτικό αποτέλεσμα της εξίσωσης δεν ανταποκρίνεται συνήθως στην πραγματικότητα, διότι οι σχέσεις υπολογισμού κάθε παράγοντα χωριστά αναπτύχθηκαν κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Αυτό σημαίνει ότι οι τοπικές συνθήκες κάθε περίπτωσης διάβρωσης δε λαμβάνονται υπόψη, όπως θα έπρεπε για την παραγωγή ενός αποτελέσματος, το οποίο να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Για αυτό το λόγο η RUSLE δεν εφαρμόζεται σε παγκόσμια κλίμακα για ποσοτικό προσδιορισμό της απώλειας του εδάφους από τη διάβρωση, αλλά συνήθως τροποποιείται βάσει των τοπικών συνθηκών ή χρησιμοποιείται για ποιοτικό προσδιορισμό, όπως για παράδειγμα έγινε στην παρούσα μελέτη, για την εκτίμηση του κινδύνου διάβρωσης. Γενικά, η τάση είναι αντί ποσοτικών προσδιορισμών απώλειας εδάφους να δημιουργούνται χάρτες κινδύνου διάβρωσης (ποιοτικό αποτέλεσμα της RUSLE), με σκοπό να ενταχθούν οι χάρτες αυτοί στο γενικότερο σχεδιασμό αξιολόγησης γης ή για περιβαλλοντικές μελέτες.

1. R - Η διαβρωτικότητα της βροχής :

Η ικανότητα των διαφόρων κλιματικών, τοπογραφικών και εδαφικών παραγόντων να προκαλούν απόσπαση εδάφους και μεταφορά καλείται διαβρωτικότητα (Lal & Elliot, 1994). Η διαβρωτικότητα της βροχόπτωσης οφείλεται, μερικώς, στην άμεση πρόσκρουση των σταγόνων της βροχής και μερικώς στην απορροή που δημιουργείται από τη βροχόπτωση. Η ικανότητα της βροχής να προκαλεί διάβρωση του εδάφους εξαρτάται από την ταχύτητα πτώσης 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 των βροχοσταγόνων, παράμετροι εύκολα συσχετιζόμενοι με το ρυθμό ή το ολικό ποσό βροχόπτωσης.

Τα στοιχεία σύμφωνα με τους Renard et al. (1991) δείχνουν ότι όταν όλοι οι παράγοντες, εκτός της βροχόπτωσης, παραμένουν σταθεροί, οι εδαφικές απώλειες στις καλλιεργούμενες εκτάσεις είναι ευθέως ανάλογες με μια παράμετρο της βροχόπτωσης, δηλαδή ο παράγοντας 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 ο διαχωρισμός 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 :

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

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 έκαναν 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, πράγμα που φαίνεται να είναι ιδιαίτερα δύσκολο.

2. K - Ο παράγοντας διαβρωσιμότητας (soil erodibility index) του εδάφους.

Σύμφωνα με τους Lal και Elliot (1994) η αντίδραση του εδάφους στις διεργασίες διάβρωσης είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού των εδαφολογικών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων, όπως η υφή, η σταθερότητα της δομής, η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, το είδος των ορυκτών της αργίλου 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 παράγοντες διάβρωσης 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 μικρό συντελεστή απορροής, διαμερίζονται πιο εύκολα, αλλά μεταφέρονται πιο δύσκολα από τα ιλυώδη εδάφη. Τα αργιλώδη εδάφη δεν αποσπώνται εύκολα, αλλά οι μικρές τιμές διηθητικότητας που παρατηρούνται σε αυτά, μπορεί να προκαλέσουν μεγάλου όγκου απορροές, με αποτέλεσμα την ενίσχυση της διάβρωσης. Τα ιλυώδη εδάφη είναι τα πιο ευαίσθητα στη διάβρωση, διότι αποσπώνται και μεταφέρονται ευκολότερα, ενώ η συμπίεση του υποκείμενου εδάφους ή η ύπαρξη υψηλού ποσοστού αργίλου στο υποκείμενο έδαφος μπορεί να προκαλέσει ισχυρότερη απορροή.

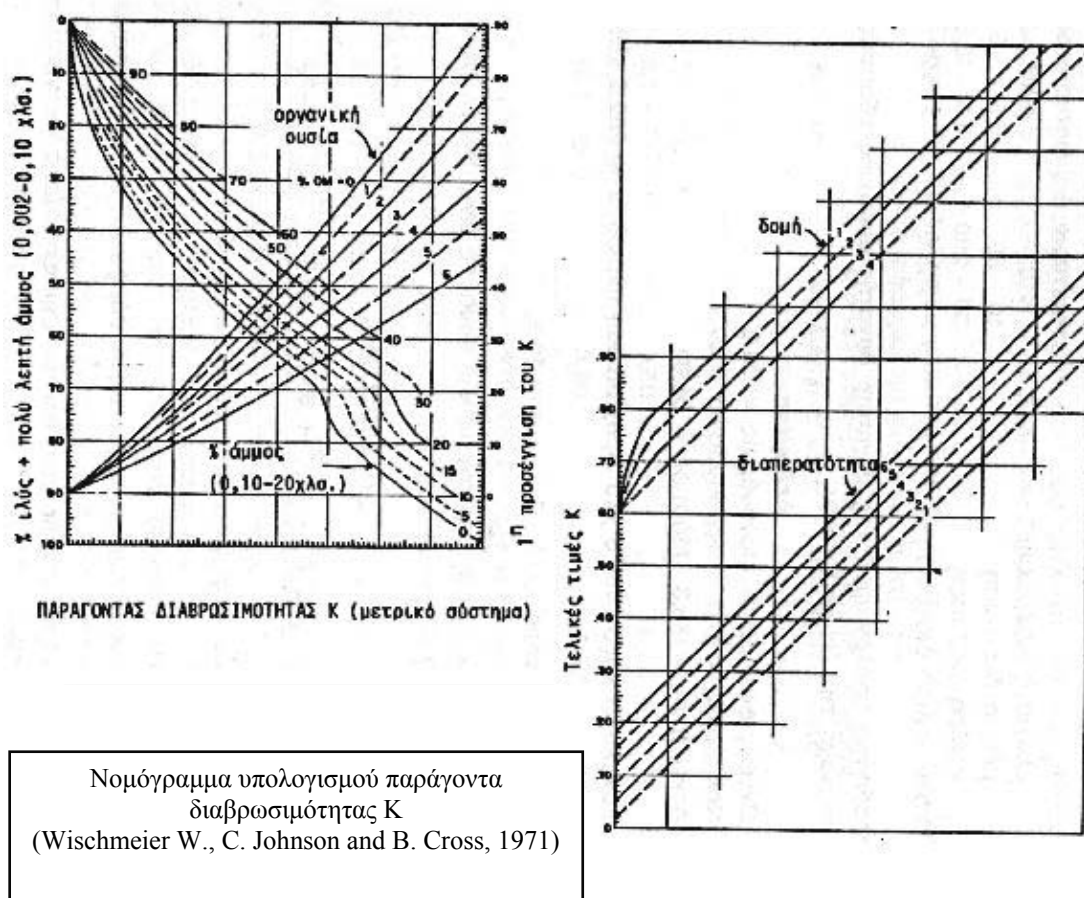
Σύμφωνα με τον Morgan (1979) ο παράγοντας K αντιπροσωπεύει τις απώλειες εδάφους από διάβρωση στην περίπτωση βροχής μέγιστης έντασης και διάρκειας 30 λεπτών σε πειραματικό τεμάχιο μήκους 22 μέτρων και κλίσης 5°.

Σύμφωνα με τους Attle et al. (1980) 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 τεμαχίων [(% ιλύς + % πολύ λεπτή άμμου)*(100 - % αργίλου), 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) και c η κλάση διηθητικότητας του εδάφους (ταχεία = 1, μέση προς ταχεία = 2, μέση = 3, μέση προς αργή = 4, αργή = 5, πολύ αργή = 6).

Οι Wischmeier, Johnson και Cross (1971) ανέπτυξαν το παρακάτω νομόγραμμα για τον υπολογισμό του παράγοντα διαβρωσιμότητας K.



Σχήμα 4.1 Υπολογισμός του παράγοντα διαβρωσιμότητας K. (Κατά Wischmeier W., C. Johnson and B. Cross, 1971)

3. L - Ο παράγοντας μήκος κλίσης και S - Ο παράγοντας κλίση (%).

Το αποτέλεσμα της τοπογραφίας στη διάβρωση περιγράφεται από τους παράγοντες του μήκους κλίσης και του ποσοστού κλίσης του εδάφους.

Το μήκος κλίσης ορίζεται ως η οριζόντια απόσταση από το σημείο έναρξης της επιφανειακής ροής μέχρι το σημείο όπου είτε η κλίση μειώνεται αρκετά, ώστε να επιτραπεί η απόθεση, είτε η απορροή συλλέγεται σε ένα καθορισμένο κανάλι (Wischmeier και Smith, 1978).

Ο παράγοντας κλίση αντιπροσωπεύει την επίδραση του ποσοστού κλίσης στη διάβρωση. Η κλίση εκτιμάται στην ύπαιθρο με τη βοήθεια ειδικών οργάνων, όπως τα κλισίμετρα, ενώ είναι δυνατή η εκτίμησή της και με τη βοήθεια των ισοϋψών.

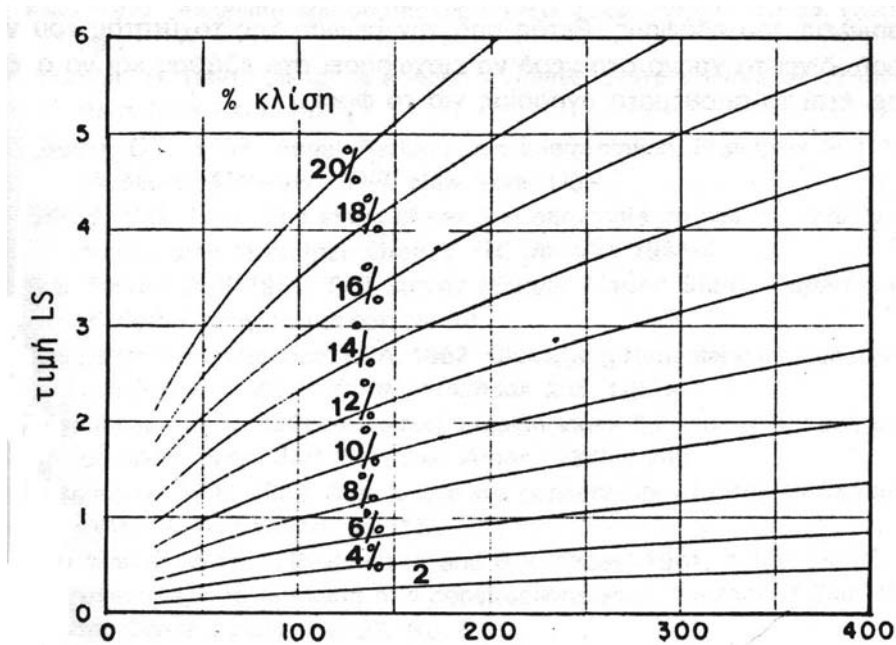
Και οι δύο αποτελούν σημαντικούς παράγοντες στη διαδικασία της διάβρωσης, καθώς με την αύξησή τους αυξάνεται η ταχύτητα επιφανειακής ροής του νερού και ο όγκος του μεταφερόμενου εδαφικού υλικού, δηλαδή η διαβρωτική και μεταφορική ικανότητα του νερού.

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 $S < 1\%$.

Εκτός από την παραπάνω εξίσωση, ο παράγοντας LS είναι δυνατό να υπολογιστεί και με το παρακάτω νομόγραμμα.



Σχήμα 4.2 Υπολογισμός του παράγοντα LS (Συλλαίος, 1990)

4. C - Ο παράγοντας διαχείρισης – φυτικής κάλυψης.

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 αποφέρει ταυτόχρονα τη μείωση του επιφανειακώς κινούμενου νερού, 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 εξίσωση που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του παράγοντα C (Renard et al., 1991) είναι η παρακάτω :

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

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 εξίσωσης αποτελούν τους επιμέρους παράγοντες του C και περιλαμβάνουν καλλιεργητικές και διαχειριστικές παραμέτρους που επιδρούν στη διάβρωση του εδάφους. Καθένας από τους παράγοντες υπολογίζεται με τη βοήθεια συναρτήσεων μιας ή περισσότερων παραμέτρων, όπως τα υπολείμματα καλλιέργειας, το φύλλωμα, το ύψος του φυλλώματος, η επιφανειακή τραχύτητα, η υποεπιφανειακή βιομάζα, η προηγούμενη καλλιέργεια, η εδαφική υγρασία και ο χρόνος.

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 μια καλά οργωμένη και ανυψωμένη επιφάνεια, η οποία παράγει αρκετή απορροή και εκθέτει το έδαφος σε αυλακωτή διάβρωση.

5. 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.

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

Τέλος, για τον παράγοντα αυτόν προτείνονται διάφορες τιμές από διάφορους μελετητές όπως π.χ. από τους Donahue et al. (1983), Lal (1994) και άλλους, οι οποίες είναι ή υποκειμενικές ή δεν εφαρμόζονται σε όλες τις περιπτώσεις.

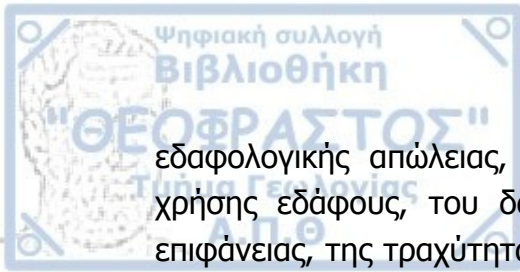
4.3 Μοντέλο πρόβλεψης διάβρωσης ύδατος RUSLE

Αναθεωρημένη καθολική πρότυπη εξίσωση εδαφολογικής απώλειας (RUSLE)

Η αναθεωρημένη καθολική εξίσωση εδαφολογικής απώλειας (RUSLE) είναι μια αναθεώρηση και μια αναπροσαρμογή της ευρέως χρησιμοποιημένης παγκόσμιας εξίσωσης εδαφολογικής απώλειας (USLE) (Wischmeier και Smith, 1978). Η RUSLE είναι ένα πρότυπο πρόβλεψης διάβρωσης που προβλέπει τη μακροπρόθεσμη μέση ετήσια εδαφολογική απώλεια ως αποτέλεσμα του παφλασμού και της απορροής σταγόνων βροχής από τις συγκεκριμένες κλίσεις τομέων στα διευκρινισμένα συστήματα καλλιέργειας και διαχείρισης και από την έκταση γης. Η RUSLE διατηρεί τους παράγοντες του USLE για να υπολογίσει την ετήσια διάβρωση στρωμάτων και ροών νερού από μια πλαγιά, εντούτοις αλλαγές έχουν γίνει για κάθε παράγοντα της εξίσωσης. Το RUSLE είναι ένα σύνολο μαθηματικών εξισώσεων που υπολογίζουν τη μέση ετήσια εδαφολογική απώλεια και την παραγωγή ιζημάτων ως αποτέλεσμα της διάβρωσης των ραχών και των κλάδων εκροής. Προέρχεται από τη θεωρία των διαδικασιών διάβρωσης, με περισσότερα από 10.000 σεναριακά έτη στοιχείων από τις φυσικές βροχοπτώσεις, αλλά και τις πολυάριθμες σεναριακές βροχόπτωση-προσομοίωσης. Η RUSLE είναι μια εξαιρετικά καλά-επικυρωμένη και τεκμηριωμένη εξίσωση. Η δύναμη της RUSLE είναι ότι αναπτύχθηκε από μια ομάδα διεθνών-αναγνωρισμένων επιστημόνων και οπαδών του κινήματος οικολογικής προστασίας για τη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος που είχαν ιδιαίτερη εμπειρία με τις διαβρωτικές διαδικασίες (Tran *et Al*, 2001). Η εξίσωση RUSLE υπολογίζεται από:

$$A = R * K * LS * C * P$$

Όπου: **To A** είναι η εκτίμηση της μέσης ετήσιας εδαφολογικής απώλειας (t /ha year), που προκαλείται από τη διάβρωση στρωμάτων και ροών νερού. **To LS** είναι ο συνδυασμός της κλίσης της πλαγιάς και του μήκους της (χωρίς μονάδα). **To R** είναι ο παράγοντας διαβρωσιμότητας των βροχοπτώσεων (MJ mm/ ha hour year), ο οποίος αντικατοπτρίζει την ενέργεια και την ένταση των καταιγίδων. **To K** είναι ο παράγοντας εδαφολογικής διαβρωσιμότητας (ha hour/ ha MJ mm.), ο οποίος είναι ένα μέτρο της ευαισθησίας της διάβρωσης του χώματος υπό μια τυποποιημένη κατάσταση και ρυθμίζεται για να προσαρμόσει την παραλλαγή στην περιεκτικότητα σε εδαφολογική υγρασία. **To C** είναι ο παράγοντας κάλυψης και διαχείρισης που υπολογίζει την αναλογία



εδαφολογικής απώλειας, που αποτελεί το αποτέλεσμα της προγενέστερης χρήσης εδάφους, του δάσους ή της συγκομιδής σοδειών, της κάλυψης επιφάνειας, της τραχύτητας επιφάνειας και της εδαφολογικής υγρασίας. **To P** είναι ο παράγοντας πρακτικής υποστήριξης, ο οποίος αποτελεί τις τεχνικές οργάνωσής, εδαφική κατασκευή σε πεζούλες κάτω από την καλλιέργεια, τη βοσκή βοοειδών και την οδική κατασκευή κάτω από τη δασική επιφάνεια _ (Renard et al, 1997)..

4.4 Μοντέλο πρόβλεψης διάβρωσης ύδατος WEPP

Το Πρόγραμμα Πρόβλεψης Διάβρωσης Ύδατος (WEPP) χρησιμοποιείται για να προβλέψει τη διάβρωση στις πλαγιές και τους μικρούς υδροκρίτες. Το WEPP είναι ένα μοντέλο πρόβλεψης διάβρωσης που βασίζεται σε μια επεξεργασία, διανεμητικών παραμέτρων, συνεχούς προσομοίωσης. Χρησιμοποιείται για να βοηθήσει τους χρήστες εδάφους να καταλάβουν και να αξιολογήσουν τις επιδράσεις της διαχείρισης εδάφους στην εδαφολογική απώλεια και ιζημάτων από τη γη τους. Χρησιμοποιείται επίσης από τους επιστήμονες και άλλους για να απογράψει το ποσό διάβρωσης που εμφανίζεται στις γεωργικές περιοχές, το οποίο παρέχει τις πληροφορίες για την ανάπτυξη της εθνικής και περιφερειακής πολιτικής συντήρησης εδάφους.

Το WEPP είναι βασισμένο στις βασικές αρχές της πιθανολογικής καιρικής παραγωγής, της θεωρίας διήθησης, της υδρολογίας, της εδαφολογικής φυσικής, της επιστήμης φυτών, της υδραυλικής, και των μηχανισμών διάβρωσης.

4.4.1 Απαραίτητα δεδομένα μοντέλου WEPP :

•**Αρχείο στοιχείων κλίματος:** καθίζηση, θερμοκρασίες, ηλιακή ακτινοβολία, και πληροφορίες αέρα. Αυτό το αρχείο δημιουργείται χρησιμοποιώντας το λογισμικό CLIGEN.

•**Αρχείο στοιχείων κλίσεων:** προσανατολισμός κλίσεων, μήκος κλίσεων, και την οξ κλίσεων

•**Αρχείο εδαφολογικών στοιχείων:** φυσικές και υδρολογικές παράμετροι

•**Αρχείο στοιχείων καλλιέργειας/διαχείρισης γης:** οι ακολουθίες οργώματος και παράμετροι εφαρμογών γης, τη διαχείριση φυτών και υπολειμμάτων, αρχική κατάσταση, αποστράγγιση υπεδάφους, αμειψισπορές

•**Αρχείο άρδευσης** όταν χρησιμοποιείται η άρδευση με κανάλια

Η προσομοίωση υδροκρίτη απαιτεί πρόσθετα:

•**Αρχείο περασμάτων πληροφοριών πλαγιών:** περιέχει όλες τις πληροφορίες από κάθε πλαγιά

•**Αρχείο δομών:** περιγράφει τη διαμόρφωση υδροκρίτη

•**Αρχείο καναλιών:** Μήκος, πλάτος και κλίση καναλιών

•**Αρχείο ταμιευτήρα** εάν υπάρχει στον υδροκρίτη

4.4.2 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα του μοντέλου WEPP

- Καιρική παραγωγή
 - Επεξεργασίες χειμών —ανάπτυξη παγετού και πρόκληση τήξης, συσσώρευση χιονιού και τήξη χιονιού
 - Η άρδευση —προσαρμόζει τα στάσιμα συστήματα ψεκαστήρων και τα κανάλια άρδευσης
- Διήθηση
- Χερσαία υδραυλική ροή — επιφάνεια απορροής
- Ισορροπία ύδατος
- Η ανάπτυξη των φυτών —προσομοιώνει τις χρονικές αλλαγές στις μεταβολές των φυτών που επηρεάζουν τις διαδικασίες απορροών και διάβρωσης
- Η αποσύνθεση υπολειμμάτων —υπολογίζει την αποσύνθεση της επίπεδης μάζας υπολειμμάτων, της καταδυόμενης μάζας υπολειμμάτων, και dead root mass (της νεκρής μάζας ρίζας).
- Εδαφολογικές παράμετροι —συμπεριλαμβανομένης της τυχαίας τραχύτητας, της προσανατολισμένης τραχύτητας, του φαινόμενου ειδικού βάρους, το μέτωπο αναρρόφησης υγρασίας, της υδραυλικής αγωγιμότητας, διαβρωσιμότητας των ραχών, της διαβρωσιμότητας των ροών.
- Διάβρωση και απόθεση πλαγιάς
- Διαδικασίες υδρολογίας και διάβρωσης καναλιών
- Τμήμα ταμειυτήρα υδροκρίτη
- Επιλογές για την καλλιέργεια , συνεχούς προσομοίωσης, ενιαία συγκομιδή, αμειψισπορά, άρδευση, και καλλιέργεια λωρίδων.

5. Σύγκριση μοντέλων WEPP και RUSLE

Η Γεωλογική Τοπογραφική Εταιρία των Ηνωμένων Πολιτειών διενήργησε μια μελέτη για την ποιότητα του ύδατος σε μια περιοχή χορτολιβαδικής μερικώς καλλιεργούμενης γης 990 km² στο νότιο-ανατολικό Κολοράντο. Η περιοχή είχε υψομετρική διακύμανση από 1326m μέχρι 1800m. Η μέση ετήσια τιμή κατακριμνησμάτων είναι περίπου 300mm και τα εδάφη κυμαίνονται από λεπτόκοκκα σε τραχιά αδρόκοκκα ,ανάλογα με το αρχικό υλικό. Τα τελευταία 100 χρόνια η περιοχή χρησιμοποιούνταν για ελεύθερη βόσκηση εκτρεφόμενων ζώων. Ως μέρος της μελέτης αυτής ήταν και η μέτρηση της. Επιλέχθηκαν πέντε υδροκρίτες (από τους 48, οι: 1,7,27,38,45) από την περιοχή μελέτης για σύγκριση μοντέλων. Προτίμηση δόθηκε σε μικρούς υδροκρίτες όπου η διάβρωση υψιπέδου σε σχέση με την διάβρωση καναλιών θα είχε των κύριο μέρος. Για αυτό τον λόγο προτιμήθηκαν τα μοντέλα WEPP και RUSLE. Τις ιδιότητες των πέντε υδροκριτών μπορούμε να τις δούμε συνοπτικά στον πίνακα 1.

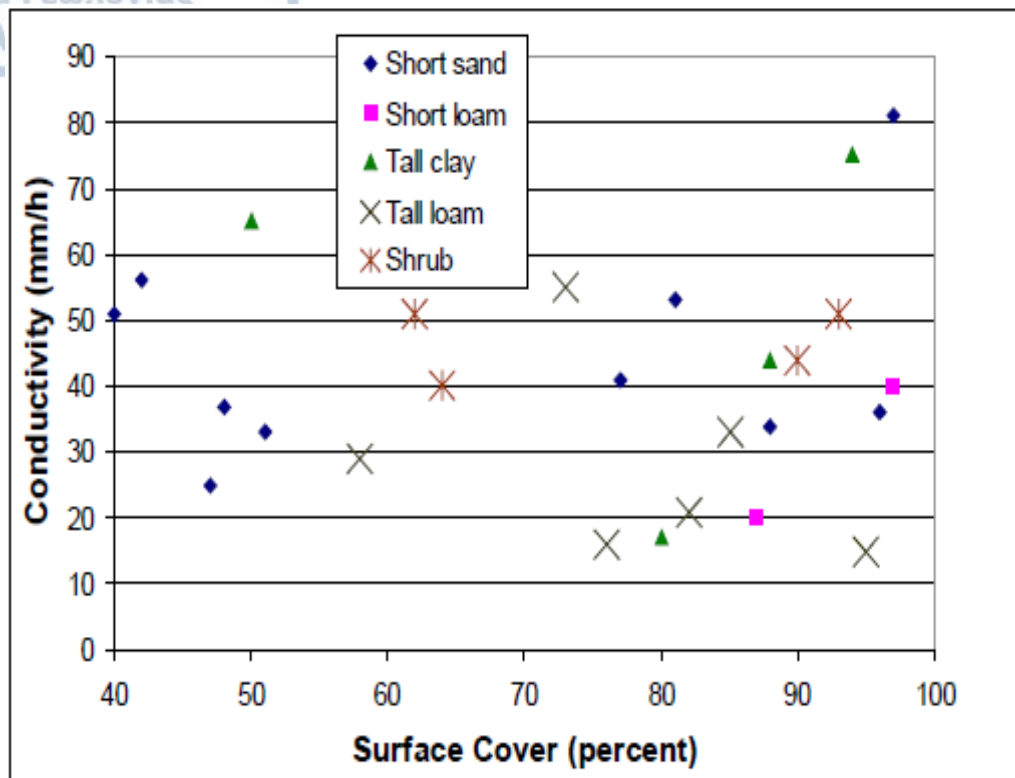
No	Area ha	Sed Yield t/ha	Soil	Topograp % slope	Slope L m	Cover %
1	39	0.13	loam	2.5	330	50
7	26	5.97	clay	25	300	35
27	29	2.57	sand	25	250	30
38	26	0.98	loam	2.5	250	25
45	34	2.75	loam	22	300	35
avg	30.6	2.48		15.4	286	35

Πίνακας 1. Ιδιότητες επικύρωσης μοντέλων για τους υδροκρίτες

Τα ποσοστά απορροών και διάβρωσης της μελετώμενης χορτολιβαδικής μερικώς καλλιεργούμενης γης εξαρτώνται ιδιαίτερα από τον τύπο και το ποσοστό φυτικής κάλυψης, όπως επίσης από το κλίμα και την τοπογραφία. Τα δύο μοντέλα πρόβλεψης διάβρωσης, RUSLE και WEPP για χορτολιβαδική μερικώς καλλιεργούμενη γη συγκρίθηκαν, με τα παρατηρηθέντα ποσοστά ιζηματογένεσης, σε πέντε μικρούς υδροκρίτες στο νότιο-ανατολικό Κολοράντο. Το RUSLE έδωσε προβλέψεις παρόμοιες με τις τιμές ιζηματογένεσης που παρατηρήθηκαν. Το WEPP προέβλεψε λιγότερη διάβρωση γης και περισσότερη απορροή. Το WEPP ήταν σε θέση να προβλέψει την απορροή ως λειτουργία της τοπογραφίας και της βλάστησης της χορτολιβαδικής μερικώς καλλιεργούμενης γης, που κάνει εφικτή τη μελλοντική ανάπτυξη του μοντέλου για προβλέψεις μιας πιο σύνθετης χορτολιβαδικής ιζηματογένεσης υδροκρίτη.

Στις χορτολιβαδικές τα εδάφη τείνουν να έχουν χαμηλή διαβρωσιμότητα. Δεν διαταράσσονται από το όργωμα, όπως γίνεται με αυτά σε γεωργικές περιοχές. Έχουν συχνά μια επιφάνεια με σημαντική κάλυψη βράχων που οφείλεται πιθανώς στα πολλά έτη διάβρωσης του ύδατος και του αέρα.

Η υδραυλική αγωγιμότητα ενός χορτολιβαδικού εδάφους εμφανίζεται να ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο βλάστησης (Flanagan και Livingston, 1999 Franks et Al, το 1998). Τα εδάφη κάτω από τις κοινότητες θάμνων ή ιουνιπέρων τείνουν να έχουν υψηλότερες τιμές αγωγιμότητας, με τα εδάφη που καλύπτονται από χλόη κάπως χαμηλότερα, ανάλογα με την κάλυψη και την κατάσταση της γης. Οι αγωγιμότητες, εντούτοις, ποικίλουν ευρέως ανάλογα με τη σύσταση των εδαφών και την φυτοκάλυψη. Το γράφημα παρουσιάζει τη διανομή των υδραυλικών αγωγιμοτήτων από μια πρόσφατη μελέτη για τις διαφορετικές εδαφολογικές συστάσεις, την κάλυψη, και τις κοινότητες των φυτών.



Γράφημα: Τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας για διαφορετικές υφές εδαφών, φυτών (κοντό χορτάρι, ψηλό χορτάρι, θάμνοι) και ποσοστά κάλυψης εδαφών. (Franks et al., 1998)

Ορισμένες υποθέσεις απαιτήθηκαν για την τεκμηρίωση των μοντέλων (πίνακας 2). Το κλίμα για τις δύο εκδοχές του WEPP, το Timpas, CO, βρέθηκε στην άκρη της περιοχής μελέτης. Το κοντινότερο κλίμα RUSLE ήταν Pueblo, CO. Οι παράγοντες RUSLE C υπολογίστηκαν από την κάλυψη (πίνακας 1) και της χορτολιβαδικής - μερικώς καλλιεργούμενης γης κοινότητες βλάστησης (πίνακας 2). Οι τιμές από τον πίνακα 2 εισήχθησαν στα αντίστοιχα μοντέλα για κάθε υδροκρίτη, και τα αποτελέσματα σημειώθηκαν. Συνολικά οι μέσες τιμές, και το άθροισμα λάθους των τετραγώνων υπολογίστηκαν για κάθε μοντέλο. Τα αθροίσματα απορροών υπολογίστηκαν για δύο έτη από τρεις από τους επιλεγμένους υδροκρίτες. Και οι δύο εκδόσεις του μοντέλου WEPP πρόβλεψαν την απορροή (για όλες τις φορές που έτρεξε το μοντέλο) για έναν μέσο όρο τριάντα ετών.

Watershed	RUSLE	WEPP Windows for Rangelands	FS WEPP Rangeland Vegetation
<u>Climate</u>			
All	Pueblo, CO R = 40	Timpas, CO, Annual Precipitation = 413 mm	
<u>Soils</u>			
1	K = 0.25	K _r = 0.0085 K _{sat} = 6 mm h ⁻¹	K _r = 0.0003 K _{sat} = 30 mm h ⁻¹
7	K = 0.28	K _r = 0.0085 K _{sat} = 5 mm h ⁻¹	K _r = 0.0002 K _{sat} = 18 mm h ⁻¹
27	K = 0.20	K _r = 0.0085 K _{sat} = 8 mm h ⁻¹	K _r = 0.0005 K _{sat} = 25 mm h ⁻¹
38, 45	K = 0.25	K _r = 0.0085 K _{sat} = 6 mm h ⁻¹	K _r = 0.0003 K _{sat} = 23 mm h ⁻¹
<u>Vegetation</u>			
1	C = 0.0248	Northern mixed prairie	Tall grass, Cover = 50%
7	C = 0.0257	Northern short prairie	Short grass, Cover = 35%
27	C = 0.0445	Northern short prairie	Short grass, Cover = 30%
38	C = 0.0985	Northern short prairie	Short grass, Cover = 25%
45	C = 0.0257	Northern short prairie	Short grass, Cover = 35%

Πίνακας 2. Υποθέσεις για τα μοντέλα RUSLE και WEPP

Τα αποτελέσματα παράδοσης ιζημάτων παρουσιάζονται στον πίνακα 3, και οι συγκρίσεις απορροών στον πίνακα 4. Από τον πίνακα 3, το μοντέλο FS WEPP και το RUSLE εμφανίζονται να είναι καλύτεροι προάγγελοι της εδαφολογικής διάβρωσης από το WEPP πρότυπο. Το RUSLE προορίζεται για να προβλέπει τη διάβρωση υψιπέδων, και όχι την παράδοση ιζημάτων, έτσι οι τιμές που προβλέφθηκαν μπορούν πιθανώς να είναι μεγαλύτερες από τις τιμές που παρατηρήθηκαν. Ο παράγοντας LS , που αναπτύχθηκε από τη γεωργική έρευνα, μπορεί να είναι υπέρ-σταθμισμένος για τις υψηλότερες τιμές. Τα χορτολιβαδικά πρότυπα από το μοντέλο WEPP εμφανίζονται να προβλέπουν λιγότερη ιζηματογένεση (πίνακας 3) ενώ προβλέπουν μεγαλύτερα ποσά απορροών (πίνακας 4). Δεδομένου ότι οι παρατηρηθείσες τιμές απορροών ήταν για μόνο δύο έτη, είναι πιθανό εκείνα τα έτη να ήταν ξηρότερα από τη μέση ετήσια τιμή κατακρημνισμάτων για το κλίμα Timpas, (413mm). Ο Von Guerard et Al (1987) είχε δηλώσει ότι η μέση ετήσια τιμή ήταν περίπου 300 mm.

Οι προβλέψεις FS WEPP οδηγούν στο χαμηλότερο λάθος στην ιζηματογένεση, και είναι οι πιο κοντινή εκ των δύο εκδόσεων του WEPP στην πρόβλεψη της απορροής. Υπάρχει μια ελάχιστη πρόβλεψη πλεονάσματος της διάβρωσης, η οποία μπορεί να οφείλεται σε διαδικασίες καναλιών που δεν τοποθετήθηκαν στο μοντέλο, και μια πρόβλεψη πλεονάσματος στην απορροή, η οποία μπορεί να οφείλεται στις διαφορές μεταξύ του μέσου κλίματος που έτρεξε το μοντέλο σε σύγκριση με τον καιρό των δύο ετών όπου παρατηρήθηκε η απορροή. Μην ξεροντας τον ακριβή καιρό που προκάλεσε την παρατηρηθείς απορροή κάνει ακατάλληλες τις λεπτομερείς συγκρίσεις της απορροής. Και με τις δύο εκδόσεις WEPP, το ποσό απορροών ήταν μια λειτουργία σχετική και ανάλογη με την τοπογραφία και τη φυτική κάλυψη. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα θα κάνει εφικτή τη μελλοντική ανάπτυξη του μοντέλου για πρόβλεψη χορτολιβαδικής απορροής, διάβρωσης, αλλά και διαδικασίες καναλιών όπως και την επίπτωση από τη βλάστηση των υψιπέδων.

Watershed	Observed	RUSLE	WEPP rangeland	FS WEPP
1	0.13	0.20	0	0.05
7	5.97	6.52	1.08	5.34
27	2.57	7.64	0.50	4.79
38	0.98	0.92	0	0.63
45	2.75	4.94	0.50	4.49
Mean	2.48	4.04	0.42	3.06
Error SS		30.87	34.2	8.5

Πίνακας 3. Αποτελέσματα διάβρωσης μοντέλων.

Watershed	Observed	WEPP Rangeland	FS WEPP
1	0.31	2.50	0.4
27	2.66	15.84	4.7
45	3.12	7.85	5.5
Mean	2.03	8.73	3.53

Πίνακας 4. Σύγκριση παρατηρηθείσας και προβλεπόμενης απορροής.

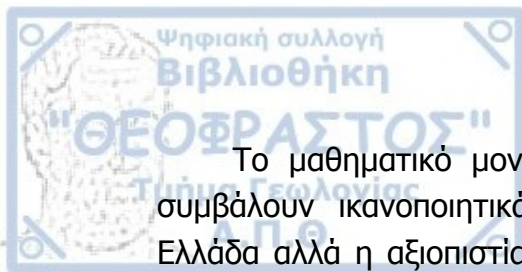
6. Συμπεράσματα

Το έδαφος της Ελλάδας είναι ορεινό και ημιορεινό σε ποσοστό μεγαλύτερο από 3/4. Στα 131.944 τ. χλμ 100.000 περίπου είναι ορεινά και ημιορεινά. Τη χώρα διασχίζουν από άκρη σε άκρη, ψηλά ή χαμηλά βουνά, που διασταυρώνονται μεταξύ τους και κλείνουν μικρές και όχι πολύ εύφορες πεδιάδες. Το κλίμα της είναι θαλάσσιο και ηπειρωτικό στις ορεινές περιοχές. Κλίνει, γενικά περισσότερο προς το μεσογειακό. Είναι κλίμα ήπιο. Έχει βροχές το χειμώνα, αλλά τους πιο πολλούς μήνες έχει ξηρασία και ψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι.

Στο μοντέλο WEPP παρατηρήθηκε ότι για μικρές περιοχές, όπως αυτή του νότιο-ανατολικού Κολοράντο (990 km²), το ποσό απορροών ήταν μια λειτουργία σχετική και ανάλογη με την τοπογραφία και τη φυτική κάλυψη, γεγονός που δίνει μια πιο ρεαλιστική εικόνα της απορροής – διάβρωσης της περιοχής αυτής. Η περιοχή που μελετήθηκε είναι παρόμοια με το μεγαλύτερο μέρος του ελλαδικού χώρου, εφόσον είναι ορεινή χορτολιβάδικη μερικώς καλλιεργούμενη γη με πρηνή λόφων ποικίλα σε κλίση (π.χ. 22% κλίση στο 35% της περιοχής). Επομένως το συγκεκριμένο μοντέλο φαίνεται να λειτουργεί και στον ελλαδικό χώρο, αλλά με ένα μειονέκτημα. Τείνει να προβλέπει λιγότερη ιζηματογένεση, ενώ προβλέπει μεγαλύτερα ποσά απορροής σε μεγάλες περιοχές.

Από την άλλη το μοντέλο RUSLE είναι πιο γενικευμένο και δεν υπολογίζει την απορροή τόσο βασιζόμενο στη φυτική κάλυψη, όσο στην ποσότητα κατακρημνίσματος και τη γεωμορφολογία. Το αποτέλεσμα αυτής της λειτουργίας του είναι ότι οι τιμές απορροής – διάβρωσης είναι πολύ μεγαλύτερες από τις πραγματικές σε τόσο μικρές περιοχές.

Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι το WEPP δίνει με μεγαλύτερη ακρίβεια τον όγκο της διάβρωσης – απόθεσης σε μικρές περιοχές μελέτης όπου είναι γνωστό το είδος της φυτοκάλυψης και υπάρχει πληθώρα δεδομένων ως προς την μορφολογία αλλά και τις κλίσεις. Αντίθετα το RUSLE έχει ακριβέστερα αποτελέσματα σε μεγάλες εκτάσεις μελέτης όπου τα δεδομένα μας δεν είναι τόσο συγκεκριμένα. Επομένως ανάλογα με την περιοχή μελέτης είναι απαραίτητο να επιλέγουμε και το μαθηματικό μοντέλο που θα μας δώσει την πιο ρεαλιστική εικόνα απορροής – διάβρωσης. Ανάλογα, δηλαδή, την έκταση γης που καλύπτει η έρευνα αλλά και τη γνώση των απαραίτητων στοιχείων, π.χ. φυτοκάλυψης, γίνεται η χρήση ενός εκ των δύο αυτών μοντέλων.



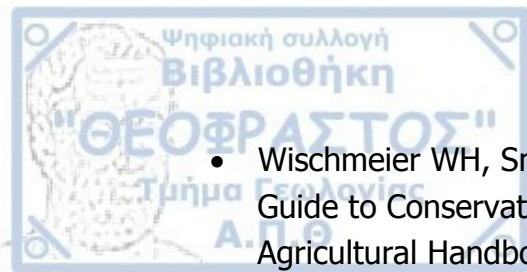
Το μαθηματικό μοντέλο **RUSLE** , αλλά και το **WEPP** μπορούν να συμβάλουν ικανοποιητικά στη πρόβλεψη διάβρωσης και απορροής στην Ελλάδα αλλά η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων τους πάντα θα βασίζεται στη διορατικότητα και στην εμπειρία του χρήστη – ερευνητή. Σε αυτόν πέφτει το «βάρος» της σωστής χρήσης αλλά και επιλογής του κατάλληλου μαθηματικού μοντέλου ανά περίπτωση.

- Gow T. and M. Pidwirny, 1996. Land Use and Environmental Change in the Thompson-Okanagan.
<http://royal.okanagan.bc.ca/mpidwirn/agriculture/erosion.html>.
- Θεοχαρόπουλος Σ., 1996. Δημιουργία μαθηματικού ομοιώματος περιγραφής και πρόβλεψης της διάβρωσης στη χώρα μας. ΕΘΙΑΓΕ, Ινστιτούτο Εδαφολογίας Αθηνών, Αθήνα.
- Συλλαίος Ν., 1990. Χαρτογράφηση και Αξιολόγηση Γεωργικών Εδαφών και Γαιών. Εκδόσεις Γιαχούδη Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.
- Συλλαίος Ν. & Ν. Μισοπολινός, 1984. Ταξινόμηση εδαφών. Εκδόσεις Γιαχούδη Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.
- Zingg A., 1940. Degree and length of land slope as it effects soil loss in runoff. Agric.
- Examining resolution effects on the prediction of the soil erosion by water using RUSLE and MUSLE models in kolymvari, Crete ,Greece by Wided Batita.
- Soil Erosion Site (SES) (2007). <http://www.soilerosion.net/>
- United States Department of agriculture (USDA): Agricultural Research Service, 2005. Revised Universal Soil Loss Equation 1.06 – Description of RUSLE1.06c.
- 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4): Problems, Prospects and Research Needs. Banff, Alberta, Canada, September 2 - 8, 2000. Application of the WEPP model with digital geographic information GIS/EM4 No. 149Dennis C. Flanagan Chris S. RenschlerThomas A. Cochrane
- Pp. 388-391 in Soil Erosion Research for the 21st Century, Proc. Int. Symp. (3-5 January 2001, Honolulu, HI, USA).Eds. J.C. Ascough II and D.C. Flanagan. St. Joseph, MI: ASAE.701P0007388 .Comparing RUSLE to WEPP Cropland and Rangeland Formats W. J. Elliot1.
- MULTISCALE SOIL EROSION SIMULATIONS FOR LAND USE MANAGEMENT. Helena Mitsova¹ and Lubos Mitsova² .¹University of Illinois at Urbana-champaign; ² North Carolina State University.
- Μορφολογία Ελλάδας <http://gym-falan.lar.sch.gr/works/a-07/hellas-02.htm>

- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. United States Department of Agriculture, Washington, D.C. p. 58.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C., 1996. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA, Washington, D.C. p. 361.
- MacLean, R., 1997. Modeling Soil Erosion and Sediment Loading in St. Lucia, Thesis, department of Geography, Kingston University. Kingston Upon Thames, surrey, United Kingdom. DISS.BGIS/97/M/24.
- Barfield, B.J., Warner, R.C., and Haan, C.T., 1981. Applied Hydrology and Sedimentology for Disturbed Lands, Oklahoma. Technical Press, Stillwater, OK: 603.
- Bernard, J.M., Iivari, T.A., 2000. Sediment damages and recent trends in the United States. Int. J. Sediment Res: 135–148.
- Williams, J. R., and H. D. Berndt, 1977. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 20, 1100-1104.
- Thorne, D. W. and Thorne, M. D., (1979). Soil, water & crop production. Utah state university and university of Illinois. The AVI Publishing company, INC Westport Connecticut. 41- 49, 353p.
- Moore, I. and G. Burch., 1986 a. Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. Soil Science Society of America Journal 50:1294-1298.
- Lee, G.S. and Lee, K.H., 2006. Scaling effect for estimating soil loss in the RUSLE model using remotely sensed geospatial data in Korea. Papers published in *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* are under open-access review for the journal *Hydrology and Earth System Sciences*. Korea Water Resource Corporation, 462-1 Jeonmin-dong, Yusung-gu, Daejeon, Korea: 135-157.
- Bryan, R. B., 2000. Soil Erodability and Processes of Water Erosion on Hillslope. Geomorphology 32. Soil Erosion Laboratory, Faculty of Forestry, University of Toronto, 33 Wilcocks Street, Scarborough, Ontario, M5S 3B3, CANADA. 385-415.



- Flanagan DC, Livingston SJ. 1995. WEPP User Summary. NSERL Report 11, USDAARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, IN.
- Garbrecht J, Starks PJ, Martz LW. 1996. New digital landscape parameterization methodologies. Proc. 32nd Annual Conf. & Symp. on GIS & Water Res., American Water Resources Association, Herndon, VA, TPS-96-3, p. 357-365.
- Garbrecht J, Martz LW. 1997. TOPAZ: An automated digital landscape analysis tool for topographic evaluation, drainage identification, watershed segmentation and subcatchment parameterization: Overview. ARS-NAWQL 95-1, US Department of Agriculture, ARS, Durant, Oklahoma.
- Kramer LA. 1993. Application of WEPP 93.005 to HEL watershed. ASAE Paper 93- 2051, American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, MI.
- Liu BY, Nearing MA, Bffaut C, Ascough II JC. 1997. The WEPP watershed model: III. Comparisons to measured data from small watersheds. Trans. of the ASAE 40(4): 945-952.
- Moore ID, Grayson RB, Ladson AR. 1991. Digital terrain modeling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. Hydro. Proc. 5:3-30.
- Renschler CS, Engel BA, Flanagan DC. 2000. Strategies for implementing a multi-scale assessment tool for natural resource management: a geographical information science perspective. In this issue: Problems, Prospects and Research Needs.
- Proceedings of the 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4); 2000 Sep 2-8; Banff, Alberta, Canada.
- Savabi MR, Flanagan DC, Hebel B, Engel BA. 1995. Application of WEPP and GISGRASS to a small watershed in Indiana. J. Soil & Water Cons. 50(5):477-483.
- Srinivasan R, Arnold JG. 1994. Integration of a basin-scale water quality model with GIS. Water Res. Bulletin 30(3):453-462.
- USGS. 2000. U.S. Geodata Server.
<<http://edc.usgs.gov/doc/edchome/ndcddb/ndcddb.html>>. Accessed 2000 May 29.



- Wischmeier WH, Smith DD. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook 537. 85 p.
- Franks, C. D., F. B. Pierson, A. G. Mendenhall, K. E. Spaeth, and M. A. Weltz. 1998. *Interagency Rangeland WaterErosion Project Report and State Data Summaries*. Interagency rangeland water erosion team (IRWET) and National Range Study Team (NRST). NWRC 98-1. Boise, ID: USDA ARS Northwest Watershed Research Center. 121 pp.