

**Κωνσταντίνος Π. Προδρόμου**

Καθηγητής Γεωπονίας, ΑΠΘ

# **Εφαρμοσμένη Εδαφολογία**

## **Γένεση Εδαφών**



ISBN 978-960-456-301-2

© Copyright, Οκτώβριος 2011, Κ. Προδρόμου, Εκδόσεις Ζήτη

---

*Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.*

---

**Φωτοστοιχειοθεσία**    **Π. ΖΗΤΗ & Σια ΟΕ**  
**Εκτύπωση**            18<sup>ο</sup> χλμ Θεσσαλονίκης - Περαία  
**Βιβλιοδεσία**        Τ.Θ. 4171 • Περαία Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19  
                                 Τηλ.: 2392.072.222 - Fax: 2392.072.229 • e-mail: info@ziti.gr



**ΕΚΔΟΣΕΙΣ**    **ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ - ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ:**  
**ΖΗΤΗ**            Αρμενοπούλου 27 - 546 35 Θεσσαλονίκη • Τηλ.: 2310-203.720 • Fax 2310-211.305  
                                 e-mail: sales@ziti.gr

**www.ziti.gr**    **ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ - ΕΝΩΣΗ ΕΚΔΟΤΩΝ ΒΙΒΛΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ:**  
                                 Στοά του Βιβλίου (Πεσμαζόγλου 5) - 105 64 ΑΘΗΝΑ • Τηλ.-Fax: 210-3211.097

**ΑΠΟΘΗΚΗ ΑΘΗΝΩΝ - ΠΩΛΗΣΗ ΧΟΝΔΡΙΚΗ:**  
                                 Ασκληπιού 60 - Εξάρχεια 114 71, Αθήνα • Τηλ.-Fax: 210-3816.650 • e-mail: athina@ziti.gr

**ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ:** www.ziti.gr

## Πρόλογος

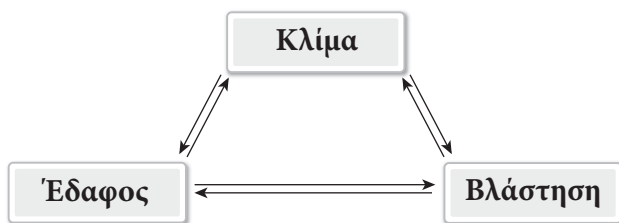
Το έδαφος το οποίο με τη μορφή λεπτής στοιβάδας καλύπτει την επιφάνεια της γης, είναι το προϊόν της μεταβολής των πετρωμάτων της λιθόσφαιρας με την επίδραση του κλίματος, των οργανισμών, του αναγλύφου και του χρόνου.

Ο σχηματισμός αυτός, αποτελεί έναν από τους κυριώτερους συντελεστές της παραγωγικής διαδικασίας. Η σημασία του για την παραγωγή των βασικών ειδών διατροφής του ανθρώπου, φυτικών και ζωικών, είναι καθοριστική, ενώ οι προοπτικές για το μέλλον της παραγωγικότητάς του δημιουργούν έντονους προβληματισμούς και ανησυχίες.

Ο σχηματισμός του ώριμου και παραγωγικού εδάφους, απαιτεί εκατομμύρια χρόνια διεργασιών, ενώ αντίθετα η καταστροφή και η απώλειά του μπορεί να επέλθει σε ελάχιστο χρονικό διάστημα, με ανυπολόγιστες επιπτώσεις τόσο στην οικονομία όσο και στην οικολογική ισορροπία της περιοχής.

Το έδαφος κατά την διαδικασία του σχηματισμού του βρίσκεται σε ισορροπία με τις κλιματικές συνθήκες καθώς και με την χλωρίδα και πανίδα της περιοχής. Η αλληλοεξάρτηση των παραγόντων αυτών είναι γνωστή. Κάθε μεταβολή σ' έναν από τους παράγοντες αυτούς, σημαίνει μεταβολές και για τους υπόλοιπους.

Στην σχηματική παράσταση που ακολουθεί, δίνεται η αλληλοεξάρτηση αυτών των παραγόντων:



Πλημμύρες, πυρκαγιές, καταστροφή των δασικών εκτάσεων, φαινόμενα διάβρωσης, ληστρικής εκμετάλλευσης των εδαφικών πόρων, αλόγιστης χρήσης λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, άρδευση με κακής ποιότητας νερό, μόλυνση από βιομηχανικά απόβλητα, μπορούν να δρομολογήσουν μεταβολές, τα δυσμενή αποτελέσματα των οποίων δύσκολα μπορούν να αναιρεθούν.

Κάθε φυτικό είδος για να αναπτυχθεί και να αποδώσει το μέγιστο της παραγωγής

του, απαιτεί ορισμένες εδαφοκλιματικές συνθήκες. Έτσι, από πολύ νωρίς δημιουργήθηκε η ανάγκη, τα καλλιεργούμενα εδάφη να ταξινομηθούν σε ομάδες με βάση τα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά και την καταλληλότητά τους για την ανάπτυξη των διαφόρων φυτικών ειδών, ώστε αυτά να αποδώσουν το μέγιστο της παραγωγής τους.

Το έδαφος είναι ένα δυναμικά εξελισσόμενο σύστημα, που βρίσκεται σε ισορροπία με το περιβάλλον του.

Κατά την πορεία της εξέλιξης των εδαφών, οι επικρατούσες συνθήκες είναι δυνατόν να οδηγήσουν στη δημιουργία εδαφών που οι ιδιότητές τους δημιουργούν προβλήματα στην ανάπτυξη των φυτών, ή είναι τελείως απαγορευτικές για κάθε είδος γεωργικής εκμετάλλευσης.

Η **Εφαρμοσμένη Εδαφολογία**, μελετά τους συντελεστές της παραγωγικότητας του εδάφους, την επίδρασή τους στα καλλιεργούμενα φυτά, προτείνει τα απαραίτητα μέτρα για την βελτίωση, συντήρηση και προστασία του εδάφους και τα κατατάσσει σε ομάδες με βάση τις φυσικές και χημικές ιδιότητές τους, τον τρόπο δημιουργίας τους και την καταλληλότητά τους για ορισμένη γεωργική εκμετάλλευση. Με βάση τα στοιχεία αυτά, συντάσσει τους εδαφολογικούς χάρτες, απαραίτητο εφόδιο για την ορθολογική εκμετάλλευση του εδάφους. Απαραίτητη προϋπόθεση για την μελέτη του εδάφους, αποτελεί η γνωριμία του στο ύπαιθρο, η εργασία υπαίθρου, η οποία περιλαμβάνει τη μελέτη της μορφής της επιφανείας του, της γεωμορφολογίας. Επίσης η υδρολογία της περιοχής, τα προβλήματα διάβρωσης του και η επίδραση του κλίματος, του αναγλύφου και των οργανισμών πάνω στο έδαφος και στις ιδιότητές του, είναι βασικά στοιχεία της εδαφολογικής μελέτης.

Οι ιδιότητες που παρουσιάζουν τα διάφορα εδάφη, εκφράζουν το αποτέλεσμα των διεργασιών της εδαφογένεσης που έγιναν και εξακολουθούν να γίνονται πάνω σ' αυτό. Η κατανόηση και η επίλυση κάθε θεωρητικού αλλά και πρακτικού προβλήματος των εδαφών, απαιτεί την όσο το δυνατόν καλύτερη γνώση των διεργασιών της εδαφογένεσης.

Με γνώμονα τις παραπάνω σκέψεις, η διάρθρωση των παραδόσεων του μαθήματος της Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας με έμφαση στη Γένεση των εδαφών, ακολούθησε την εξής σειρά.

Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο δίνονται βασικές έννοιες της Γεωμορφολογίας που θα βοηθήσουν στη μελέτη της μορφής της επιφάνειας της γης και των εδαφών που εξελικτικά θα προκύψουν.

Το 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρεται στο φαινόμενο της αποσάθρωσης των πετρωμάτων της λιθόσφαιρας, στους συντελεστές από τους οποίους εξαρτάται, στις κατηγορίες στις οποίες διακρίνεται και στις διεργασίες οι οποίες συντελούνται κατά την πορεία της.

Αντικείμενο της αποσάθρωσης είναι τα πετρώματα και ειδικότερα τα ορυκτά από τα οποία αποτελούνται. Γι' αυτό, κρίθηκε απαραίτητη μια σύντομη αναφορά στα κυριώτερα πετρώματα και ορυκτά του στερεού φλοιού της γης, από την αποσάθρωση των οποίων θα προκύψει το μητρικό υλικό για τον σχηματισμό του εδάφους.

Αναφέρονται επίσης με συντομία, τα δευτερογενή ορυκτά που σχηματίζονται κατά την πορεία της χημικής αποσάθρωσης.

Το 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο μελετά τη γένεση των εδαφών και περιγράφει τους παράγοντες της εδαφογένεσης.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρονται οι αρχές πάνω στις οποίες στηρίζεται η ταξινόμηση των εδαφών και περιγράφεται σε γενικές γραμμές η εξελικτική πορεία των συστημάτων ταξινόμησης των εδαφών.

Τέλος, στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιγράφεται η επίδραση του εδαφικού περιβάλλοντος στην ανάπτυξη των φυτών.

Παρά την προσπάθεια που καταβλήθηκε οπωσδήποτε υπάρχουν λάθη και παραλείψεις. Κάθε υπόδειξη και παρατήρηση θα γινόταν με ευχαρίστηση δεκτή.

Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 1990

Κωνσταντίνος Π. Προδρόμου

## Πρόλογος 2<sup>ης</sup> έκδοσης

Μετά από διδασκαλία 10 ετών με βάση τις σημειώσεις αυτές, κρίθηκε σκόπιμο να ολοκληρωθούν με την προσθήκη ορισμένων νέων κεφαλαίων, με την επέκταση του Αμερικανικού Συστήματος Ταξινόμησης των Εδαφών και με την παράθεση πειραματικών δεδομένων που προήλθαν από τις ερευνητικές δραστηριότητες του εργαστηρίου.

Καταβλήθηκε επίσης προσπάθεια να εμπλουτιστεί το κείμενο με φωτογραφίες και στοιχεία μετρήσεων από τον Ελληνικό χώρο, έτσι ώστε να καταστεί πιο άμεσο και πιο ενδιαφέρον για τον αναγνώστη.

Θεσσαλονίκη, 2003

Κωνσταντίνος Π. Προδρόμου  
Αναπλ. Καθηγητής

## Πρόλογος 3<sup>ης</sup> έκδοσης

Πέρασαν 19 χρόνια παραδόσεων στους φοιτητές του 9<sup>ου</sup> εξαμήνου της Γεωπονικής Σχολής, με βάση αυτό το βιβλίο.

Η εξέλιξη της επιστήμης και οι ανάγκες που προέκυψαν με την πάροδο του χρόνου, προβλήματα ρύπανσης και υποβάθμισης του εδάφους, απαιτούν την προσθήκη νέων κεφαλαίων της προσρόφησης και της διάβρωσης των εδαφών, έτσι ώστε να παρέχεται μια πληρέστερη εικόνα του επιστημονικού γίγνεσται και των σύγχρονων επιστημονικών τάσεων.

Ο σημερινός τρόπος ζωής καθιστούν επιβεβλημένη την προστασία του εδάφους, του φυσικού αυτού σχηματισμού, για να είναι σε θέση να παράγει προϊόντα ασφαλή για τον άνθρωπο αλλά και να αμείβει την προσπάθεια του παραγωγού.

*Θεσσαλονίκη, 2011*

*Κωνσταντίνος Π. Προδρόμου  
Καθηγητής*

# Περιεχόμενα

## 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Γεωμορφολογία

1.1	Εισαγωγή .....	15
1.2	Ενδογενείς παράγοντες.....	16
1.3	Εξωγενείς παράγοντες.....	17
1.3.1	Γεωμορφολογική δράση του ρέοντος νερού .....	18
1.3.1α	Μεταφορά υλικών από τα ρέοντα νερά .....	21
	Μεταφορά υλικών σε κατάσταση αιωρήσεως .....	21
	Μεταφορά υλικών σε κατάσταση διαλύσεως .....	21
	Μεταφορά υλικών στην περιοχή του πυθμένα της κοίτης των ποταμών .....	21
1.3.1β	Αποθέσεις υλικών που μεταφέρονται από τα υδάτινα ρεύματα.....	22
	Αποθέσεις σε ορεινές περιοχές .....	22
	Αποθέσεις στις εξόδους των ποταμών σε πεδιάδες .....	22
	Αποθέσεις κατά μήκος της κοίτης των ποταμών .....	23
	Αποθέσεις υλικών στις εκβολές των ποταμών – Σχηματισμοί Δέλτα .....	23
	Μαιανδρικοί σχηματισμοί.....	27
	Κοιλιάδες.....	27
	Αναβαθμίδες .....	29
	Κατολισθήσεις.....	30
1.3.2	Γεωμορφολογική δράση του θαλάσσιου νερού.....	32
1.3.3	Γεωμορφολογική δράση της βαρύτητας .....	32
1.3.4	Καρστικά φαινόμενα .....	33
1.3.4α	Επιφανειακές μορφές καρστικών σχηματισμών.....	34
1.3.4β	Υπόγειες μορφές καρστικών σχηματισμών.....	35
1.3.5	Γεωμορφολογική δράση του ανέμου .....	36
1.3.5α	Αιολικές αποθέσεις άμμου .....	37
1.3.5β	Αιολικές αποθέσεις ιλύος.....	39
1.3.6	Γεωμορφολογική δράση των παγετώνων .....	39
1.4	Διάβρωση των εδαφών .....	43
1.4.1	Γενικά .....	43
1.4.2	Διάβρωση με την επίδραση του νερού.....	44
	Επιφανειακή διάβρωση .....	46
	Αυλακοειδής διάβρωση.....	46
1.4.3	Διάβρωση με την επίδραση του ανέμου .....	47



1.4.4	Διάβρωση από παγετώνες.....	48
1.4.5	Συντελεστές της διάβρωσης .....	48
	Κλίμα.....	49
	Ανάγλυφο.....	49
	Έδαφος.....	50
	Βλάστηση.....	52
	Ανθρωπογενείς επιδράσεις .....	53
	Χρόνος .....	53
1.4.6	Υπολογισμός της απώλειας του εδάφους λόγω διάβρωσης .....	53

---

## 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Αποσάθρωση

---

2.1	Εισαγωγή.....	57
2.2	Ορυκτά και Πετρώματα .....	59
2.3	Ορυκτά.....	61
	2.3.1 Ομάδα των Αστρίων .....	61
	2.3.2 Ομάδα των Πυροξένων .....	62
	2.3.3 Ομάδα του Ολιβίνη.....	63
	2.3.4 Ομάδα των Αμφιβόλων.....	63
	2.3.5 Ομάδα των Μαρμαρυγιών.....	64
	2.3.6 Ομάδα των Χλωριτών .....	65
	2.3.7 Οξειδία .....	65
2.4	Πετρώματα .....	70
	2.4.1 Πυριγενή πετρώματα.....	70
	2.4.2 Ιζηματογενή πετρώματα .....	72
	2.4.3 Κρυσταλλοσχιτώδη ή Μεταμορφωσιγενή πετρώματα .....	75
2.5	Μηχανική ή Φυσική αποσάθρωση .....	76
	2.5.1 Εισαγωγή.....	76
	2.5.2 Θερμοκρασία.....	77
	2.5.3 Υδατικά κατακρημνίσματα.....	78
	2.5.4 Παγετώνες.....	79
	2.5.5 Άνεμος.....	80
	2.5.6 Άλατα.....	80
2.6	Χημική αποσάθρωση .....	81
	2.6.1 Εισαγωγή.....	81
	2.6.2 Επίδραση του νερού.....	82
	2.6.3 Επίδραση του οξυγόνου .....	88
	2.6.4 Επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα.....	91
	2.6.5 Επίδραση των οργανικών ενώσεων.....	92

2.7 Βιολογική αποσάθρωση .....	93
2.8 Δευτερογενή ορυκτά ή ορυκτά της αργίλου .....	96
2.8.1 Εισαγωγή.....	96
2.8.2 Δευτερογενή ορυκτά της ομάδας των μαρμαρυγιών .....	101
2.8.3 Ομάδα του μοντμοριλλονίτη .....	102
2.8.4 Ομάδα των χλωριτών .....	103
2.8.5 Ομάδα του καολινίτη .....	104
2.8.6 Οξείδια και αλλοφανή .....	105
2.8.7 Η αποσάθρωση σαν γεωμορφολογικός παράγοντας .....	106
2.9 Προσρόφιση.....	107

---

### **3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Γένεση εδαφών**

---

3.1 Γενικά.....	119
3.2 Μελέτη των παραγόντων της εδαφογένεσης .....	121
3.2.1 Εισαγωγή.....	121
3.2.2 Περιγραφή μιας τυπικής εδαφοκατατομής.....	122
3.3 Παράγοντες της Εδαφογένεσης.....	131
3.3.1 Μητρικό υλικό.....	131
3.3.2 Κλίμα .....	137
3.3.3 Οργανισμοί .....	142
3.3.4 Ανάγλυφο .....	145
3.3.5 Χρόνος.....	148
3.3.6 Διεργασίες εδαφογένεσης.....	150

---

### **4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Αρχές Ταξινόμησης εδαφών**

---

4.1 Εισαγωγή .....	153
4.2 Εξέλιξη των συστημάτων ταξινόμησης.....	154
4.3 Διαγνωστικά επίπεδα.....	160
4.4 Διαγνωστικοί ορίζοντες .....	162
4.5 Άλλοι ορίζοντες.....	167
4.6 Περιγραφή του Αμερικανικού Συστήματος Κατάταξης των εδαφών.....	169
4.7 Χαρακτηριστικά και περιγραφή των τάξεων.....	170
4.7.1 Entisols .....	170
4.7.2 Vertisols.....	171
4.7.3 Inceptisols .....	172

4.7.4	Aridisols.....	173
4.7.5	Spodosols.....	174
4.7.6	Mollisols.....	175
4.7.7	Alfisols.....	176
4.7.8	Ultisols.....	177
4.7.9	Oxisols.....	177
4.7.10	Histosols.....	178
4.7.11	Andisols.....	179
4.7.12	Gelisols.....	181

---

## **5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Επίδραση του εδαφικού περιβάλλοντος στην ανάπτυξη των φυτών**

---

Εισαγωγή.....	187
Βιβλιογραφία.....	189
Ευρετήριο Όρων.....	191

1<sup>ο</sup>

Κεφάλαιο

## ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

### 1.1 Εισαγωγή

Η Γεωμορφολογία μελετά την προέλευση και την εξέλιξη των διαφόρων *μορφολογικών τύπων* της επιφάνειας της γης, την οριζόντια κατανομή και την ταξινόμησή τους, με βάση τους γενεσιουργούς παράγοντες σχηματισμού του εξωτερικού φλοιού της γης.

Οι παράγοντες που προκαλούν τις μεταβολές στη μορφή της επιφάνειας της γης, διακρίνονται σε **ενδογενείς** και **εξωγενείς**.

Οι ενδογενείς παράγοντες προέρχονται από τις **τεκτονικές δυνάμεις** που δρουν στο εσωτερικό της γης και συγκεκριμένα γύρω από τα όρια του εσωτερικού και εξωτερικού μανδύα, σε βάθος 350 km, (ασυνέχεια Reppeti) και είναι οι **ηπειρογενέσεις**, οι **ορογενέσεις**, η **ηφαιστειακή δραστηριότητα** και οι **σεισμοί**. Οι ενδογενείς παράγοντες, εξετάζονται αναλυτικά από τη Γεωλογία.

Οι εξωγενείς παράγοντες προέρχονται από την επίδραση της ατμόσφαιρας, της υδρόσφαιρας και της βιόσφαιρας πάνω στην επιφάνεια του στερεού φλοιού της γης, την **λιθόσφαιρα** και είναι τα **ρέοντα** και **στάσιμα νερά**, τα **θαλάσσια ρεύματα**, τα **ρεύματα της παλίρροιας**, η **ενέργεια των κυμάτων**, οι **παγετώνες**, ο **άνεμος**, ο **έμβιος κόσμος** και η **ηλιακή ενέργεια**.

Στους παράγοντες αυτούς, διακρίνουμε δύο βασικές διεργασίες: την **αποσαθρωτική** και **διαβρωτική** τους δράση πάνω στην επιφάνεια της γης και την **απόθεση** των προϊόντων της αποσάθρωσης ή της διάβρωσης, στα χαμηλότερα μέρη του αναγλύφου, όπου με την πάροδο του χρόνου έχουμε τη δημιουργία νέων μορφολογικών τύπων. Το νερό π.χ. με την αποσαθρωτική του ικανότητα, καταταμαχίζει τα πετρώματα των ορεινών σχηματισμών και με τη μεταφορική του ικανότητα τα μεταφέρει

και τα εναποθέτει στις χαμηλότερες περιοχές, όπου δημιουργούνται οι προσχώσεις και τα δέλτα, δημιουργούνται δηλαδή νέες επιφάνειες ξηράς με το δικό τους χαρακτηριστικό ανάγλυφο. Κάθε χρόνο, η έκταση της Ελλάδας αυξάνει κατά μερικές εκατοντάδες τετραγωνικά μέτρα, από τις αποθέσεις των ποταμών και των χειμάρρων.

Ο άνεμος, απορρινίζει τα πετρώματα και μεταφέρει τα κλάσματα της αποσάθρωσης σε μεγάλες αποστάσεις επηρεάζοντας έτσι τη μορφολογία της γήινης επιφάνειας.

Στον σχηματισμό και στην εξέλιξη ενός **μορφολογικού πεδίου**, συμμετέχουν δύο αντιθέτου δράσεως σύνολα παραγόντων. Το πρώτο είναι οι τεκτονικές δυνάμεις, που δημιουργούν το ανάγλυφο του πεδίου, συσσωρεύοντας υλικά και μορφοποιώντας τον εξωτερικό φλοιό της γης, ενώ το δεύτερο σύνολο που αποτελείται από τους εξωγενείς παράγοντες, τείνει να εξαλείψει τις υπάρχουσες υψομετρικές διαφορές, οπότε και μειώνεται ή και μηδενίζεται η δράση τους.

Η μορφή που παρουσιάζει σήμερα το ανάγλυφο μιας περιοχής, εξαρτάται από την ένταση των δρώντων παραγόντων, από τη χρονική διάρκεια της δράσης τους καθώς και από την αντίσταση στις μεταβολές που παρουσιάζει ο εξωτερικός φλοιός της γης, τα πετρώματα δηλαδή από τα οποία αποτελείται.

Η τελική μορφή που τείνει να πάρει η επιφάνεια της γης, είναι η ομαλή όψη που θα προκύψει από την εξομάλυνση των υψομετρικών διαφορών. Αυτό θα έπρεπε να είχε ήδη γίνει αν λάβουμε υπόψη μας ότι η ηλικία της γης υπερβαίνει τα 4 δισεκατομμύρια χρόνια περίπου. Το ότι η γη εξακολουθεί να παρουσιάζει ακόμη έντονο ανάγλυφο, οφείλεται στο ότι δεν έχει σταματήσει η δράση των τεκτονικών δυνάμεων που δημιουργούν μορφές ισχυρού αναγλύφου, σαν αντιστάθμισμα στη δράση των εξωγενών παραγόντων.

## 1.2 Ενδογενείς παράγοντες

Ενδογενείς παράγοντες, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, θεωρούμε το σύνολο των δυνάμεων που προέρχονται από το εσωτερικό της γης και η δράση τους εκδηλώνεται στο φλοιό ή στην επιφάνειά της, με μορφογενετικές κινήσεις, ορατά αποτελέσματα των οποίων είναι η δημιουργία του αναγλύφου. Σαν βασικά φαινόμενα της δράσης των δυνάμεων αυτών, θεωρούμε τις **ηπειρογενετικές** και **ορογενετικές κινήσεις**, ενώ τοπικής σημασίας φαινόμενα είναι αυτά που προκύπτουν από την δράση των **ηφαιστείων** και από τους **σεισμούς**.

Ηπειρογενετικές κινήσεις είναι οι ανοδικές ή καθοδικές κινήσεις μεγάλων τμημά-

των του στερεού φλοιού της γης, οι οποίες συντελούνται σε μεγάλα χρονικά διαστήματα και έχουν σαν αποτέλεσμα την ανύψωση ή τη βύθιση μεγάλων περιοχών του στερεού φλοιού της γης. Οι κινήσεις αυτές συνδέονται με τις έννοιες της **ισοστασίας** και του **γεωσυκλίνου**, των θεωριών δηλαδή της ισορροπίας επίπλευσης των πλακών –τμημάτων του στερεού φλοιού της γης– πάνω στον μανδύα. Οι κινήσεις αυτές θεωρούνται σαν αυτόνομες ελαστικές παραμορφώσεις του φλοιού της γης και δεν είναι παρατηρήσιμες λόγω της μεγάλης χρονικά διάρκειάς τους.

Αντίθετα, οι ορογενετικές κινήσεις ή ορογενέσεις, δημιουργούν παραμένουσες, πλαστικές παραμορφωτικές κινήσεις, με σαφή μεταβολή του γεωλογικού σώματος πάνω στο οποίο επιδρούν. Σαν παράδειγμα αναφέρουμε τις **πτυχώσεις, επωθήσεις, εφιπτεύσεις** και τις **μεταπτώσεις**.

Οι δευτερεύουσας σημασίας ενδογενείς παράγοντες, σεισμοί και ηφαιστειακή δραστηριότητα, συμμετέχουν στη διαμόρφωση της επιφάνειας της γης σε τοπικό επίπεδο.

Οι ενδογενείς παράγοντες, είναι δημιουργικοί μορφογενετικοί παράγοντες, σε αντίθεση με τους εξωγενείς, οι οποίοι τείνουν να εξαλείψουν τις υψομετρικές διαφορές της γήινης επιφάνειας.

### 1.3 Εξωγενείς παράγοντες

Οι παράγοντες αυτοί, οφείλονται στην επίδραση της ατμόσφαιρας, υδρόσφαιρας και βιόσφαιρας, πάνω στην εξωτερική επιφάνεια του στερεού φλοιού της γης, τη λιθόσφαιρα. Πηγές ενέργειας, απαραίτητης για την δράση τους, είναι η ηλιακή και η βαρυτική.

Μεταξύ αυτών, πρωταρχική θέση κατέχουν τα ρέοντα και στάσιμα νερά, τα θαλάσσια κύματα και ρεύματα, τα υδατικά κατακρημνίσματα, οι παγετώνες, ο άνεμος, η θερμοκρασία, οι φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί και ο χρόνος δράσης τους.

Η επίδραση τους, έχει ένα κοινό αποτέλεσμα: την αποσάθρωση των πετρωμάτων και τη δημιουργία χαλαρού – ψαθυρού υλικού και την μεταφορά των διαφόρων κλασμάτων στα χαμηλότερα μέρη του αναγλύφου, όπου και εναποτίθενται.

Η δράση των παραγόντων αυτών, δεν περιορίζεται στην **αποσάθρωση, μεταφορά και απόθεση**, αλλά συνεχίζεται με τελικό αποτέλεσμα τη **δημιουργία των εδαφών**. Τα σχηματιζόμενα εδάφη υπό την επίδραση των παραγόντων αυτών, μετακινούνται, με αποτέλεσμα την απώλεια παραγωγικού εδάφους, βασικού συντελεστή της γεωργικής παραγωγικής διαδικασίας (*φαινόμενο της διάβρωσης*).

Μελετώντας τους εξωγενείς παράγοντες, αρχικά θα αναφερθούμε στην **γεωμορφολογική τους δράση** και στην συνέχεια στην συμβολή ενός εκάστου στα φαινόμενα της **αποσάθρωσης** και της **εδαφογένεσης**.

### 1.3.1 Γεωμορφολογική δράση του ρέοντος νερού

Από τους σπουδαιότερους παράγοντες που η δράση τους είναι καθοριστικής σημασίας στη διαμόρφωση της επιφάνειας της γης, είναι τα ρέοντα νερά.

Τα νερά των ρευμάτων, προέρχονται από τις πηγές, τα υδατικά κατακρημνίσματα και από τα συγκεντρωμένα νερά των λιμνών, τελμάτων, χιονιού και παγετώνων.

Η δράση των επιφανειακών νερών, δημιουργεί χαρακτηριστικό ανάγλυφο σε κάθε περιοχή που εξαρτάται από το είδος των πετρωμάτων, το κλίμα και τη βλάστησή της.

Η αποσθρωτική, διαβρωτική και μεταφορική ικανότητα του ρέοντος νερού είναι τεράστια. Από υπολογισμούς που έγιναν για τον ποταμό Μισσισιπιπή, βρέθηκε ότι μεταφέρει και εναποθέτει κάθε χρόνο  $220 \times 10^6 \text{ m}^3$  υλικών. Όπως χαρακτηριστικά περιγράφει ο Mark Twain στο έργο του “Η ζωή στον Μισσισιπιπή, ...το ποτάμι αυτό είναι αξιοπρόσεκτο από κάθε πλευρά, μαζί με τον Μιζούρι είναι το μακρύτερο ποτάμι της γης (4.300 μίλια). Τα νερά του είναι εικοσιπενταπλάσια από του Ρήνου και τριανταπέντε φορές περισσότερα από του Τάμεση. Φέρνει στον κόλπο του Μεξικού τα νερά πενήντα τεσσάρων παραποτάμων. Αντί να πλαταίνει στις εκβολές του γίνεται στενότερος και βαθύτερος. Τα αποθέματα της λάσπης που φέρνει, μωλώνουν σιγά σιγά τη θάλασσα κι έτσι η στεριά βαθμηδόν προχωρεί...”

Αντίστοιχες μετρήσεις για τον ποταμό Ρήνο έδωσαν  $17 \times 10^6 \text{ m}^3$  ενώ για τον Δούναβη  $36 \times 10^6 \text{ m}^3$  υλικών.

Ανάλογα με το σημείο εκβολής τους, τα ρεύματα τα διακρίνουμε σ' αυτά που καταλήγουν στη θάλασσα, σ' αυτά που εκβάλλουν σε λίμνες ή έλη και σ' αυτά που δεν έχουν κανονική ροή αλλά χάνονται λόγω εξάτμισης ή διήθησης κατά τη διαδρομή τους.

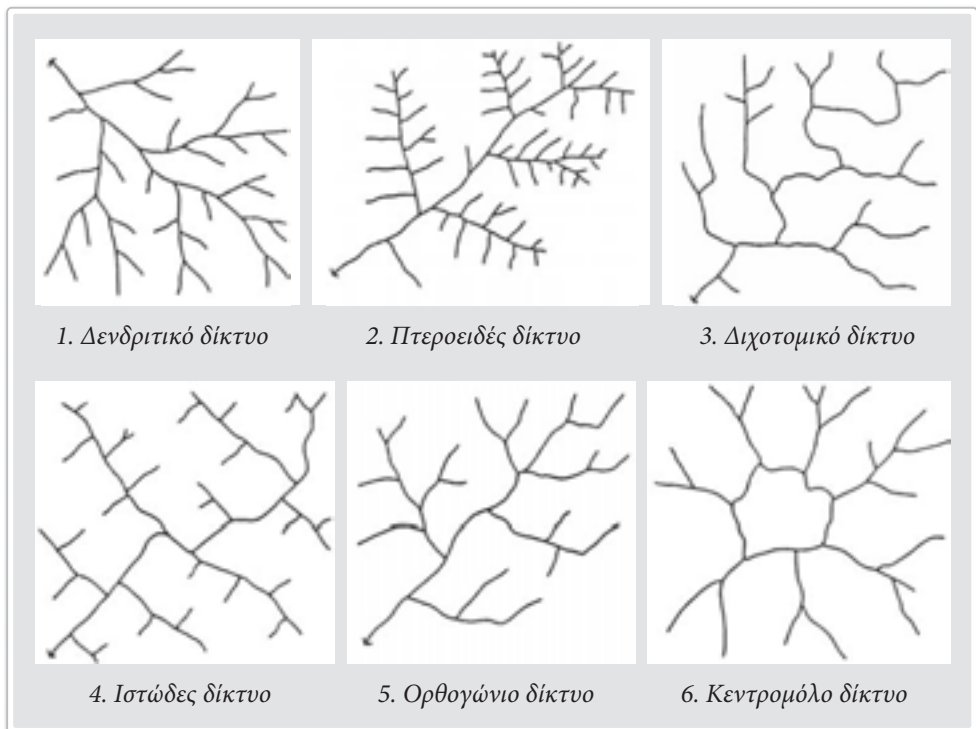
Σαν **επιφάνεια απορροής**, ορίζουμε την επιφάνεια μέσα στην οποία τα ρεύματα (ποταμοί ή χείμαρροι) δέχονται τα νερά. Τα όρια της επιφάνειας απορροής αποτελούν τον **υδροκρίτη**. Ο υδροκρίτης δηλαδή, είναι η τομή των επιφανειών απορροής και χωρίζει δύο γειτονικές λεκάνες απορροής.

Το σύνολο των αυλάκων με τη βοήθεια των οποίων αποστραγγίζεται μια επιφάνεια απορροής, αποτελεί το **υδρογραφικό δίκτυο** ή **δίκτυο αποστράγγισης**. Η εξέλιξη

τους εξαρτάται από το είδος των πετρωμάτων της περιοχής, από το ανάγλυφο της και από τεκτονικά αίτια, κατακλάσεις, ρήγματα κ.λ.π.

Στοιχεία του υδρογραφικού δικτύου είναι:

1. **Πυκνότητα**, η οποία έχει σχέση με το είδος των πετρωμάτων, την καλή ή μη φυτοκάλυψη της περιοχής και τον κίνδυνο διάβρωσής της. *Μικρή* πυκνότητα παρατηρείται σε περιοχές με ανθεκτικά, πολύ διαπερατά υλικά (ανθεκτικοί ψαμμίτες) με καλή φυτοκάλυψη και χαμηλό ανάγλυφο. *Μέση* πυκνότητα παρατηρείται σε υγρές περιοχές, με μέσης αντίστασης πετρώματα, με δασική κάλυψη και ομαλό ανάγλυφο, ενώ *μεγάλη* πυκνότητα παρατηρείται σε περιοχές με αποσαθρωμένα πετρώματα, μη διαπερατά, συνθήκες υποτροπικού κλίματος, κακή φυτοκάλυψη και ορεινό ανάγλυφο.
2. **Μορφή**, που εξαρτάται από τα πετρώματα της περιοχής, το ανάγλυφό της και την φυτοκάλυψή της. Διακρίνεται σε **δενδριτικό**, **πτεροειδές**, **ορθογώνιο**, **διχοτομικό**, **παράλληλο** και **ακτινωτό**, υδρογραφικό δίκτυο (Σχ. 1.1).



Σχήμα 1.1: Μορφές υδρογραφικών δικτύων



3. **Κατεύθυνση**, η οποία είναι απαραίτητη για την δικαιολόγηση ορισμένων καταστάσεων διάβρωσης, τον προσδιορισμό των πεδίων απόθεσης και το χαρακτηρισμό των αποθέσεων ως προσφάτων ή παλαιών.

Κατά τη ροή του το νερό, προκαλεί *εκβάθυνση* της κοίτης λόγω της τριβής των μεταφερομένων υλικών. Η μορφή της κοίτης των ποταμών εξαρτάται από τη σκληρότητα των πετρωμάτων από τα οποία διέρχεται.

Η *ταχύτητα ροής*, αυξάνει από τις εκβολές προς την αφετηρία του ποταμού.

Σε κάθε ποταμό, διακρίνουμε κατά μήκος της κοίτης του τα εξής τμήματα: τον **άνω**, το **μέσο** και τον **κάτω ρου**. Στην αφετηρία του η διατομή της κοίτης του έχει τη μορφή **V**, λόγω των μεγάλων κλίσεων και της μεγάλης ταχύτητας κίνησής του. Στο μέσο της διαδρομής του έχει διατομή σχήματος **U**, εξ' αιτίας της μείωσης της ταχύτητας κίνησής του, της αύξησης του όγκου του νερού και της σταδιακής απόθεσης των φερτών υλικών. Τέλος στην περιοχή των εκβολών του, η διατομή του έχει τη μορφή αβαθούς λεκάνης, λόγω της ελάττωσης της ταχύτητας κίνησής του, της μικρής κλίσης του αναγλύφου και της απόθεσης των υλικών του.

*Τα βασικά στοιχεία που περιγράφουν τη ροή του νερού είναι:*

1. **Παροχή**, ( $Q$ ), που χαρακτηρίζει την ποσότητα (όγκο) του νερού που διέρχεται από μια ορισμένη διατομή του ( $A$ ), στην μονάδα του χρόνου.  $Q = A \cdot V$ , όπου  $V$  η ταχύτητα του νερού.
2. **Συντελεστής απορροής**, ( $C_d$ ), που εκφράζει τη σχέση μεταξύ της μέσης ετήσιας ποσότητας του νερού που διέρχεται από μια συγκεκριμένη διατομή, ( $Q_a$ ) και της ποσότητας του νερού που πέφτει στην περίπτωση μιας καταρρακτώδους βροχής, στην ίδια διατομή, ( $Q_b$ ).  $C_d = \frac{Q_a}{Q_b}$ . Οι τιμές που μπορεί να πάρει ο συντελεστής ροής περιέχονται μεταξύ 0 και 1.  
Τόσο η παροχή όσο και ο συντελεστής απορροής, επηρεάζονται από το κλίμα της περιοχής, (ύψος βροχής, συνθήκες εξάτμισης, χιονοπτώσεις), από την τοπογραφία της και από τις γεωλογικές συνθήκες του εδάφους, την διαπερατότητα, την διηθητικότητα τη μηχανική του σύσταση, κ.λπ.
3. **Διάιτα**, είναι η παροχή σε νερό ενός υδάτινου ρεύματος στο διάστημα ενός έτους.
4. **Διακύμανση**, εκφράζει τις μεταβολές της παροχής για ορισμένο χρονικό διάστημα, συνήθως ενός έτους. Με βάση τη διακύμανση, διακρίνουμε τους ποταμούς (μικρή διακύμανση) από τους χειμάρρους, (μεγάλη διακύμανση).

### 1.3.1α Μεταφορά υλικών από τα ρέοντα νερά

Το νερό έχει μεγάλη μεταφορική ικανότητα η οποία εξαρτάται από τη μάζα και την ταχύτητα του υδάτινου ρεύματος και από την κλίση του αναγλύφου. Διπλασιαζόμενη της ταχύτητας κίνησής του, η μεταφορική του ικανότητα πολλαπλασιάζεται επί 2<sup>6</sup>. Τα υλικά τα οποία μεταφέρονται με την δράση του ρέοντος νερού, βρίσκονται σε κατάσταση **αιωρήσεως** ή **διαλύσεως**.

#### ⇒ **Μεταφορά υλικών σε κατάσταση αιωρήσεως**

Τα υλικά αυτά είναι λεπτόκοκκα και δίνουν τη χαρακτηριστική θολότητα στα νερά των ποταμών.

**Ειδική θολότητα**, είναι η ποσότητα των εν αιωρήσει υλικών ανά m<sup>3</sup>. Αυτή διαφέρει από θέση σε θέση, από ποταμό σε ποταμό και εξαρτάται από τις εποχές του έτους.

Η μεταφορά των υλικών αυτών εξαρτάται από την ταχύτητα ροής και από τα διάφορα ρεύματα που δημιουργούνται λόγω στροβιλοειδών κινήσεων του νερού.

#### ⇒ **Μεταφορά υλικών σε κατάσταση διαλύσεως**

Μέσα στα νερά των ποταμών είναι διαλυμένα διάφορα άλατα, το είδος και η περιεκτικότητα των οποίων εξαρτάται από το είδος των πετρωμάτων από τα οποία διέρχεται το υδάτινο ρεύμα.

Οι πλέον συνήθεις ενώσεις είναι τα ανθρακικά, χλωριούχα και θειικά άλατα κυρίως του Ca<sup>2+</sup> και του Mg<sup>2+</sup>. Στους ποταμούς της Ευρώπης, η μέση περιεκτικότητά τους σε άλατα κυμαίνεται από 100 έως 200 g/m<sup>3</sup>. Η μεγαλύτερη περιεκτικότητά τους παρατηρείται κατά την περίοδο που η ταχύτητα του νερού είναι μικρή, *περίοδος αδυναμίας του ποταμού*, λόγω του περισσότερο χρόνου επίδρασης του νερού πάνω στα πετρώματα.

Το σύνολο των εν διαλύσει ιόντων εναποτίθεται στις εκβολές των ποταμών, όπου η ταχύτητα ροής έχει μειωθεί σημαντικά, με αποτέλεσμα τα εδάφη που στη συνέχεια θα δημιουργηθούν, να είναι παθογενή λόγω της υψηλής συγκέντρωσης των ιόντων του Na<sup>+</sup>.

#### ⇒ **Μεταφορά υλικών στην περιοχή του πυθμένα της κοίτης των ποταμών**

Τα μεγάλα σε μέγεθος υλικά μεταφέρονται στον πυθμένα της κοίτης των ποταμών, με *κύλιση*, *ολίσθηση* ή με *άλματα*.

Η μετακίνησή τους εξαρτάται από το βάρος τους, το σχήμα τους και από την ταχύτητα του ρεύματος. Τα προϊόντα της μηχανικής αποσάθρωσης των πετρωμάτων, είναι τεμαχίδια ακανονίστου σχήματος και λέγονται **λατύπες**, όταν η θεωρητική τους διάμετρος είναι μεγαλύτερη από 2 cm. Με την κίνηση τους μέσα στην υδάτινη μάζα, λόγω των συνεχών κρούσεων, τα οξύληκτά τους άκρα καταστρέφονται και αποκτούν το χαρακτηριστικό σφαιρικό ή ωοειδές συνήθως σχήμα και ονομάζονται **κροκάλες**.

**Μέγιστη φόρτωση** ενός ποταμού ορίζουμε τη μεγαλύτερη ποσότητα υλικών που μπορεί να μεταφέρει ο ποταμός από μια συγκεκριμένη του διατομή.

### **1.3.1β Απόθεση των υλικών που μεταφέρονται από τα υδάτινα ρεύματα**

Κατά μήκος της κοίτης ενός ποταμού γίνεται απόθεση των μεταφερομένων υλικών, η οποία εξαρτάται από τη μεταβολή της ταχύτητας του υδάτινου ρεύματος.

Στην αρχή, όταν η ταχύτητα του ρεύματος είναι σχετικά μεγάλη, αποτίθενται τα χονδρόκοκκα υλικά. Στη συνέχεια, καθώς η ταχύτητα μειώνεται, γίνεται η απόθεση των λεπτότερων κλασμάτων, ενώ κοντά στις εκβολές, όπου η ταχύτητα παίρνει τη μικρότερη της τιμή, γίνεται η πλήρης απόθεση των μεταφερομένων υλικών.

Οι περιοχές προσχώσεως κατά μήκος της κοίτης ενός ποταμού, από τις πηγές μέχρι τις εκβολές του, είναι οι εξής:

#### **⇒ Αποθέσεις σε ορεινές περιοχές**

Υπάρχουν ορεινές περιοχές οι οποίες λόγω της θέσης τους ως προς την κοίτη του ποταμού, αποτελούν χώρους συγκέντρωσης φερτών υλικών. Οπωσδήποτε, οι αποθέσεις αυτές είναι περιορισμένης σημασίας και τοπικού ενδιαφέροντος.

#### **⇒ Αποθέσεις στις εξόδους των ποταμών σε πεδιάδες**

Καθώς τα υδάτινα ρεύματα μεταβαίνουν από τα υψηλότερα μέρη του αναγλύφου στα χαμηλότερα, μέσα στις πεδιάδες, η ταχύτητα ροής τους μειώνεται, με αποτέλεσμα το νερό να μη μπορεί να μετακινήσει τον όγκο των φερτών υλικών και αρχίζει να τα εναποθέτει. Αποτέλεσμα των αποθέσεων αυτών είναι η στένωση της κοίτης του που τελικά φράσσεται και το ρεύμα αναγκάζεται να αλλάξει πορεία. Με τις διαδοχικές αυτές εναποθέσεις και αλλαγές της κοίτης του ποταμού, δημιουργούνται ριπιδοειδείς σχηματισμοί που ονομάζονται **αλλουβιακά ριπίδια**.

Η κορυφή τους βρίσκεται στα υψηλά μέρη του αναγλύφου, ενώ η ημικυκλική ανάπτυξη τους γίνεται στα χαμηλότερα. Στην κορυφή εναποτίθενται τα μεγάλα κλάσματα, λατύπες, κροκάλες, χαλίκια, ενώ στη βάση γίνεται η απόθεση των λεπτοτέρων κλασμάτων.

Πολλές φορές, διαδοχικά αλλουβιακά ριπίδια συνενούνται και σχηματίζουν σύνθετες μορφές, τα **συνενωμένα αλλουβιακά ριπίδια**.

#### ➔ *Αποθέσεις υλικών κατά μήκος της κοίτης των ποταμών*

Λόγω των τριβών, το νερό έχει μικρότερη ταχύτητα κινήσεως κοντά στις όχθες της κοίτης του, με αποτέλεσμα την απόθεση υλικών, κυρίως άμμου και χαλίκων. Με την πάροδο του χρόνου, οι αποθέσεις αυτές μειώνουν το εύρος της κοίτης του ποταμού, ο οποίος τελικά πλημμυρίζει, όταν η κοίτη δεν μπορεί να δεχθεί όλο τον υδάτινο όγκο του. Στη φάση αυτή, η ταχύτητα κίνησης μειώνεται αισθητά και γίνεται απόθεση υλικών σε μεγάλη κλίμακα. Με την πάροδο του χρόνου, δημιουργείται μεγάλης έκτασης περιοχή από τα υλικά αυτά της απόθεσης, που χαρακτηρίζεται ως **πεδιάδα εκχύλισης ή κατάκλισης**.

Στις πεδιάδες αυτές, δημιουργούνται διάφοροι μορφολογικοί σχηματισμοί, όπως τα **φυσικά αναχώματα**, τα οποία διατάσσονται παράλληλα με την κοίτη και σχηματίζονται σε περιόδους πλημμύρας.

Οι ποσότητες των υλικών που εναποτίθενται κατά μήκος της κοίτης ενός ποταμού, είναι τεράστιες και δημιουργούν πεδιάδες μεγάλης έκτασης, οι οποίες συνεχώς επεκτείνονται. Τέτοιες πεδιάδες είναι η πεδιάδα της Θεσσαλονίκης, που σχηματίστηκε από τα υλικά αποθέσεως που μεταφέρουν οι ποταμοί Γαλλικός, Αξιός, Λουδίας και Αλιάκμονας και η Θεσσαλική πεδιάδα που σχηματίστηκε από τον Πηνειό ποταμό.

#### ➔ *Αποθέσεις υλικών στις εκβολές των ποταμών, σχηματισμοί Δέλτα*

Στις εκβολές, τα νερά των ποταμών έχουν την μικρότερη ταχύτητα κινήσεως, οπότε και λαμβάνει χώρα η πλήρης απόθεση των κατά οιονδήποτε τρόπο μεταφερομένων υλικών. Τα υλικά αυτά συσσωρευόμενα, σχηματίζουν νέες ξηρές μέσα στη θάλασσα, οι οποίες λόγω της χαρακτηριστικής τους μορφής ονομάστηκαν **Δέλτα**. Η ονομασία τους οφείλεται στον Ηρόδοτο, ο οποίος περιέγραψε την πεδιάδα του ποταμού Νείλου και το ρόλο της στη ζωή και τον πλούτο της αρχαίας Αιγύπτου.

Η βάση του Δέλτα στρέφεται προς την θάλασσα. Όλα τα Δέλτα δεν έχουν την ίδια μορφή. Διακρίνουμε τρεις τύπους Δέλτα:



*Εικόνα 1.1: Αποθέσεις κατά μήκος της κοίτης στον ποταμό Νέστο*

- α) **Τοξοειδές**, που παρουσιάζει μορφή κυκλικού τομέα και είναι η χαρακτηριστικότερη μορφή. Το συναντάμε στον ποταμό Νείλο.
- β) **Ακτινωτό**, αποτελεί σπάνια μορφή δέλτα. Το συναντάμε στον Μισισσιπιπή.
- γ) **Αυλακοειδές**, που αποτελεί την πλέον κοινή μορφή.

Ο σχηματισμός των δέλτα, είναι συνδυασμός αφενός της μεταφοράς και της απόθεσης εκ μέρους του ποταμού και της ταξινόμησης των υλικών της απόθεσης εκ μέρους της θάλασσας, με την ενέργεια των κυμάτων. Όλοι οι ποταμοί δεν σχηματίζουν δέλτα. Ο σχηματισμός τους ευνοείται από την ύπαρξη μεγάλου φορτίου μεταφερομένων υλικών σε κλειστές θαλάσσιες λεκάνες, με μικρή κλίση του πυθμένα, χωρίς θαλάσσια ρεύματα που θα διασκορπίσουν τα μεταφερόμενα υλικά και από την έλλειψη ηπειρογενετικών κινήσεων.

Ο σχηματισμός των διαφόρων μορφών δέλτα, εξαρτάται από τη διαφορά πυκνότητας των υδάτων των ποταμών και της θάλασσας. Όταν το υδάτινο ρεύμα είναι πυκνότερο του θαλάσσιου νερού, ( $\rho_{\pi} > \rho_{\theta}$ ) τότε ο ποταμός ρέει μέσα στην θάλασσα και σχηματίζει επιμήκεις αποθέσεις ακτινωτού τύπου (Μισισσιπιπής). Αν το θαλασσινό και το νερό του ποταμού έχουν την ίδια πυκνότητα, ( $\rho_{\pi} = \rho_{\theta}$ ) τότε το νερό του ποταμού διασκορπίζεται μέσα στην θάλασσα μάζα με την μορφή ριπιδίου

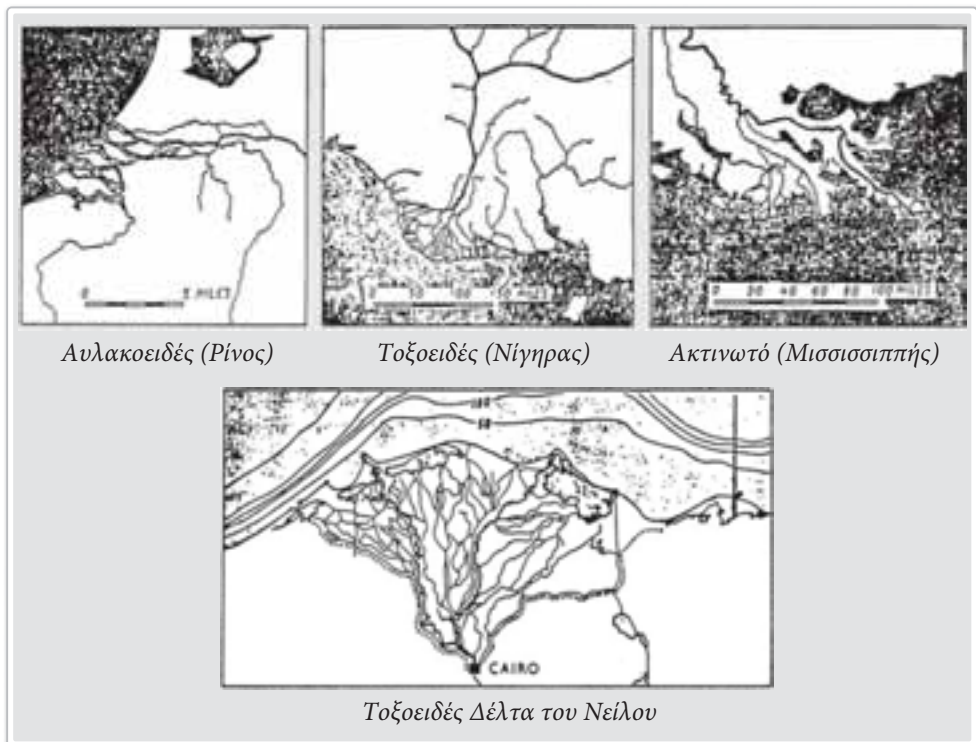
και σχηματίζεται το τοξοειδές δέλτα (Νείλος, Αξιός, Πηνειός). Τέλος, όταν το νερό του ποταμού έχει μικρότερη πυκνότητα από το θαλάσσιο, τότε έχουμε τον σχηματισμό κοιτών μέσα στην θαλάσσια λεκάνη και προκύπτει ο αυλακοειδής τύπος.

Στους Ελληνικούς ποταμούς, σχηματίζονται δέλτα διαφόρων τύπων. Ο Σπερχειός ποταμός, που εκβάλλει στον Μαλιακό κόλπο, σχηματίζει αυλακοειδούς τύπου δέλτα, ενώ ο Αξιός και ο Αλιάκμονας σχηματίζουν τοξοειδούς τύπου και μάλιστα με έντονο ρυθμό που προκαλεί άμεσο κίνδυνο μετατροπής σε λιμνοθάλασσα του κόλπου της Θεσσαλονίκης, αν δεν είχαν ληφθεί εγκαίρως μέτρα για την εκτροπή των εκβολών τους. Παρόμοιο φαινόμενο συμβαίνει στο Μεσολόγγι, όπου οι προσχώσεις του Αχελώου ποταμού δημιούργησαν τη λιμνοθάλασσά του.

Ο όγκος των αποθέσεων στο δέλτα Αξιού – Αλιάκμονα έφθασε τα τελευταία 100 χρόνια τα 1.445.000.000 m<sup>3</sup>. Η μέση ετήσια απόθεση έφθασε τα 14.260.000 m<sup>3</sup>.

Οι ετήσιες αποθέσεις αναλυτικά στον κόλπο της Θεσσαλονίκης είναι:

Γαλλικός 160.000 m<sup>3</sup>, Αξιός 8.400.000 m<sup>3</sup>, Αλιάκμονας 5.600.000 m<sup>3</sup>.



**Σχήμα 1.2:** Τύποι Δέλτα



*Εικόνα 1.8: Πλάνητες λίθοι στην Ιρλανδία*

## 1.4 Διάβρωση εδαφών

### 1.4.1 Γενικά

Στην επιφάνεια της γης παρατηρούνται συνεχώς μετακινήσεις εδαφικών υλικών και προϊόντων αποσάθρωσης.

Η μετακίνηση των συστατικών στη λιθόσφαιρα, διακρίνεται σε δύο κατηγορίες.

1. Στην επιφανειακή τους μεταφορά με την επίδραση εξωγενών παραγόντων (νερό, άνεμος, παγετώνες) που συνεχώς δρουν στην επιφάνεια της γης και μεταβάλλουν την εξωτερική της μορφή. Η μεταφορά αυτή, συντελείται με τη βοήθεια της δυναμικής και της κινητικής ενέργειας.
2. Στη μετακίνηση των συστατικών του εδάφους με τη βοήθεια του νερού μέσα στην εδαφική κατατομή, μετακίνηση, που έχει άμεση σχέση με τις διεργασίες της εδαφογένεσης.

Οι επιφανειακές μετακινήσεις είναι ανάλογες με την ένταση των εξωγενών παραγόντων, τη διαμόρφωση της εδαφικής επιφάνειας (ανάγλυφο), τη φυτοκάλυψη ή μη του εδάφους και το είδος των πετρωμάτων και είναι δυνατό να προκαλέσουν έντονα και μη αντιστρεπτά φαινόμενα, όπως κατακρημνίσεις βράχων ή λίθων και γενικώς προϊόντων της αποσάθρωσης σε ορεινές περιοχές ή κατολισθήσεις.

Όταν μειωθεί ή μηδενιστεί η ένταση των εξωγενών παραγόντων που προκάλεσαν τη μετακίνηση, τα υλικά σχηματίζουν αποθέσεις, δημιουργώντας νέους γεωμορφολογικούς σχηματισμούς.

Σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο, οι μετακινήσεις με την επίδραση της βαρύτητας, είναι σύνηθες φαινόμενο. Η απόσταση μετακίνησης των υλικών είναι περιορισμένη και εξαρτάται κυρίως από την κλίση του αναγλύφου. Οι αποθέσεις που δημιουργούνται ονομάζονται **κολλουβιακές**, ή λόγω του σχήματός τους **κώνοι κορημάτων**.

Στις ορεινές περιοχές, η συνδυαστική δράση της βαρύτητας και του νερού της βροχής, προκαλεί τη δημιουργία **κατακύλισης** υλικών της αποσάθρωσης ή **κατολισθήσεις**.

Το φαινόμενο της κατολίσθησης, οι παράγοντες που το προκαλούν και τα μέτρα προστασίας που λαμβάνονται, αναπτύσσονται στο κεφάλαιο της Γεωμορφολογίας, σελίδα 30. Κατολισθήσεις εμφανίζονται συχνά μετά από πυρκαγιές, με ανυπολόγιστες ζημιές τόσο σε ανθρώπινες ζωές όσο και σε υλικά μέσα.

Γενικά, η μετακίνηση συστατικών του εδάφους με την επίδραση των προαναφερθέντων παραγόντων, στην επιστήμη της Εδαφολογίας, χαρακτηρίζεται ως **διάβρωση του εδάφους**, η οποία και αποτελεί αντικείμενο μελέτης στο κεφάλαιο αυτό. Θα αναφερθούν τα είδη της διάβρωσης, θα αναλυθούν οι παράγοντες που την προκαλούν και η επίδραση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους στην εξέλιξη του φαινομένου.

#### 1.4.2 Διάβρωση με την επίδραση του νερού

Το νερό αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα διάβρωσης του εδάφους στην επιφάνεια της γης. Η επίδρασή του είναι καταλυτική και το αποτέλεσμα της δράσης του μη αντιστρεπτό. Σε ελάχιστο χρονικό διάστημα, χάνονται τόννοι πολύτιμου εδάφους που χρειάστηκαν μέχρι και χιλιάδες χρόνια για να σχηματιστεί, ανάλογα βεβαίως με το βαθμό εξέλιξής του.

Αν δεν ληφθούν κατάλληλα μέτρα προστασίας, η απώλειά του, οδηγεί σε δυσάρεστες καταστάσεις με δυσμενή οικονομικά και περιβαλλοντικά αποτελέσματα.

Η δράση του νερού εξαρτάται από τη δυναμική και κινητική του ενέργεια.

Η δυναμική του ενέργεια ( $W_{\Delta} = mgh$ ), οφείλεται στην επίδραση του αναγλύφου και κατά τη ροή του μετατρέπεται σε κινητική ( $W_K = \frac{1}{2} mU^2$ ), η οποία αυξάνεται ανάλογα με τη μάζα του και το τετράγωνο της ταχύτητας της ροής του.





*Εικόνα 1.4.1: Κατακύλιση υλικών λόγω βαρύτητας*



*Εικόνα 1.4.2: Κατολισθήση στην περιοχή των Ιωαννίνων*



*Εικόνα 1.4.3: Επιφανειακή διάβρωση*



*Εικόνα 1.4.4: Η επίδραση της φυτοκάλυψης στην επιφανειακή διάβρωση*

Παράλληλα με την αύξηση της ταχύτητάς του αυξάνεται και η μεταφορική του ικανότητα και μάλιστα διπλασιαζομένης της ταχύτητας ροής, η μεταφορική ικανότητά του πολλαπλασιάζεται επί 2<sup>ο</sup>.

Η μακράιωνη επίδραση της διάβρωσης πάνω στην επιφάνεια της γης έχει σαν αποτέλεσμα την εξομάλυνση των εδαφικών εξάρσεων. Αν δεν υπήρχαν οι ενδογενείς δυνάμεις που η δράση τους αναδημιουργεί το ανάγλυφο, καθώς και η προστατευτική δράση των φυτών στο έδαφος, τότε οι υψομετρικές διαφορές θα είχαν μηδενιστεί με αποτέλεσμα το θερμικό θάνατο.

Η διάβρωση που συντελείται σε μικρή κλίμακα με βραδύ ρυθμό και αποτελεί τρόπο διαφυγής του νερού της βροχής μιας λεκάνης απορροής χαρακτηρίζεται σαν **φυσική διάβρωση**. Η αναπόφευκτη αυτή διάβρωση δε μπορεί να περιοριστεί.

Το σύνολο των αυλάκων με τη βοήθεια των οποίων αποστραγγίζεται μια λεκάνη απορροής, αποτελεί το **υδρογραφικό δίκτυο** (σελ. 18).

Η έντονη μετακίνηση του εδάφους από το νερό της βροχής, προκαλεί μεταβολή στο ανάγλυφο της περιοχής και δημιουργεί νέα κατάσταση στην εδαφική επιφάνεια. Ανάλογα με το βαθμό διάβρωσης που επικρατεί σε μια περιοχή, διακρίνουμε τρεις τύπους διάβρωσης, την επιφανειακή, την αυλακοειδή και τη χαραδρωτική.

### ➔ **Επιφανειακή διάβρωση**

Αποτελεί την πλέον διαδεδομένη και επικίνδυνη μορφή διάβρωσης στα καλλιεργούμενα εδάφη. Στα αρχικά στάδια του φαινομένου το επιφανειακό έδαφος παρασύρεται από τα ρέοντα ύδατα με βραδύ ρυθμό, ομοιόμορφα, χωρίς ορατές διαφοροποιήσεις στην επιφάνεια του εδάφους. Με την πάροδο του χρόνου, το επιφανειακό έδαφος απομακρύνεται λόγω της διάβρωσης και έρχεται στην επιφάνεια το ανοικτού χρώματος υπέδαφος, ιδιαίτερα στις εξάρσεις του αναγλύφου (Εικ. 1.4.3).

Η μορφή αυτή της διάβρωσης επικρατεί στα γεωργικά εδάφη που έχουν ελαφρά κλίση ή γενικά ανώμαλο ανάγλυφο και δεν καλύπτονται από καλλιέργειες κατά την εποχή των έντονων βροχοπτώσεων. Το νερό της βροχής που δεν μπορεί να διηθηθεί μέσα στην εδαφική κατατομή, ρέει επιφανειακά δημιουργώντας το φαινόμενο.

Το βάθος της εδαφικής κατατομής, το είδος του μητρικού του υλικού, η μηχανική του σύσταση, είναι χαρακτηριστικά βασικά στοιχεία στην πορεία της επιφανειακής διάβρωσης.

Τις εποχές που έχουμε στη χώρα μας ραγδαίες και έντονες βροχοπτώσεις (άνοιξη και φθινόπωρο), η απουσία καλλιεργειών στα γεωργικά εδάφη τα καθιστά ευάλωτα, με δυσμενή αποτελέσματα στην παραγωγικότητά τους.

### ➔ **Αυλακοειδής διάβρωση**

Εδάφη με κλίση, που παρουσιάζουν ανωμαλίες στην επιφάνειά τους, χωρίς ισοπέδωση, που η μηχανική κατεργασία τους έγινε κάθετα προς τις ισοϋψείς, παρουσιάζουν έντονη μη ομοιόμορφη διάβρωση στην επιφάνειά τους. Στην αρχή η διάβρωση αυτή έχει τη μορφή μικρών αβαθών αυλάκων. Με την πάροδο του χρόνου, μέσα στην ίδια καλλιεργητική περίοδο, τα αυλάκια βαθαινουν, συνενούνται και σχηματίζουν ένα δίκτυο αποστράγγισης, με το οποίο απομακρύνονται μεγάλες ποσότητες εδάφους. Το φαινόμενο είναι έντονο σε χαλαρά και αβαθή εδάφη, με μη αντιστρεπτά αποτελέσματα.

Οι καλλιεργητικές φροντίδες που θα ακολουθήσουν, θα αμβλύνουν την επίδραση του φαινομένου καλύπτοντας το δίκτυο που δημιουργήθηκε, αλλά αν δεν προστατευθεί η εδαφική επιφάνεια το φαινόμενο θα επαναληφθεί και την επόμενη περίοδο.

Η αυλακοειδής διάβρωση αποτελεί την απαρχή της χαραδρωτικής.

### ➔ Χαραδρωτική διάβρωση

Σε περιοχές με έντονο και ανομοιόμορφο ανάγλυφο, που επικρατούν σφοδρές βροχοπτώσεις, η διαβρωτική ενέργεια του νερού είναι μεγάλη και δημιουργεί βαθιές χαράδρες παρασύροντας τεράστιες ποσότητες εδάφους. Το είδος του μητρικού υλικού είναι καθοριστικό για την εξέλιξη αυτής της μορφής διάβρωσης. Οποσδήποτε, τα εδάφη δε μπορούν να επανέλθουν στην προηγούμενη κατάσταση και χάνονται οριστικά από τη γεωργική παραγωγή. Στην περίπτωση αυτή τα εδάφη μπορεί να προστατευτούν με την κατασκευή αναβαθμών, με μόνιμες καλλιέργειες και με συστήματα διευθέτησης των νερών της βροχής. Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι η διάβρωση είναι εξελικτικό φαινόμενο το οποίο αν δεν περιοριστεί από τα πρώτα του στάδια, θα οδηγήσει τα γεωργικά εδάφη σε ανεπιθύμητες καταστάσεις. Καθοριστικοί παράγοντες είναι το ανάγλυφο της περιοχής και οι φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφών, δομή, μηχανική σύσταση, βάθος κατατομής, μητρικό υλικό και η προστασία του με τη βοήθεια των φυτών, κατά την περίοδο των έντονων βροχοπτώσεων. Επίσης οι κατάλληλες καλλιεργητικές φροντίδες, προστατεύουν τα εδάφη από το φαινόμενο της διάβρωσης.

Οι καταστροφικές συνέπειές της δεν περιορίζονται μόνο στα εδάφη των περιοχών που υφίστανται το φαινόμενο, αλλά και στις περιοχές εκείνες που δέχονται τα προϊόντα της μετακίνησης, τα χαμηλά μέρη ή οι υφέσεις του αναγλύφου, εκτός των περιπτώσεων που καταλήγουν σε λίμνες, ποτάμια ή στη θάλασσα.

Οι περιοχές υποδοχείς, μπορεί να είναι είτε καλλιεργούμενα εδάφη, στα οποία η προσθήκη των φερτών υλικών καταστρέφει τις καλλιέργειες και δημιουργεί μια νέα κατάσταση στις επικρατούσες εδαφικές συνθήκες, είτε κατοικημένες περιοχές με δυσμενείς επιπτώσεις στον πληθυσμό τους.

Και στις δύο περιπτώσεις, τα οικονομικά και περιβαλλοντικά αποτελέσματα είναι τεράστια.

### 1.4.3 Διάβρωση με την επίδραση του ανέμου

Η διαβρωτική δράση του ανέμου, η *αιολογενής διάβρωση*, έχει τοπικό σε σχέση με το νερό χαρακτήρα και περιορίζεται σε περιοχές χωρίς βλάστηση, ακάλυπτο έδαφος και μικρή βροχόπτωση.

Το φαινόμενο περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο της Γεωμορφολογίας, σελίδα 36.

#### 1.4.4 Διάβρωση από παγετώνες

Αυτή τη μορφή διάβρωσης δεν τη συναντάμε στον Ελλαδικό χώρο.

Γενικά οι παγετώνες παράλληλα με την αποσαθρωτική τους δράση, παρουσιάζουν και μεγάλη διαβρωτική ικανότητα κατά τη φάση της μετακίνησής τους. Το φαινόμενο περιγράφεται στο οικείο κεφάλαιο της Γεωμορφολογίας, σελίδα 36.



*Εικόνα 1.4.5: Αρχόμενη αυλακοειδής διάβρωση*



*Εικόνα 1.4.6: Χαραδρωτική διάβρωση*



*Εικόνα 1.4.7: Διάβρωση σε πρανή*



*Εικόνα 1.4.8: Αναβαθμοί σε ορεινή περιοχή*

#### 1.4.5 Συντελεστές της διάβρωσης

Οι συντελεστές που καθορίζουν τη μορφή και την ένταση της διάβρωσης που θα υποστεί μια περιοχή είναι το κλίμα, το ανάγλυφο, η βλάστηση, το έδαφος, οι ανθρωπογενείς επιδράσεις και ο χρόνος.

Η γνώση και η συμβολή κάθε συντελεστή χωριστά ή σε συνδυασμό με άλλους είναι καθοριστική για την εκτίμηση του βαθμού διάβρωσης που θα υποστεί μια περιοχή

και για τη λήψη των μέτρων εκείνων που θα βοηθήσουν στην αποτελεσματική προστασία του εδάφους.

### ⇒ **Κλίμα**

Το κλίμα αποτελεί τον κυριότερο συντελεστή που έχει άμεση σχέση με την ένταση και το βαθμό διάβρωσης μιας περιοχής.

Τα στοιχεία του κλίματος που συμβάλλουν στη διάβρωση είναι τα υδατικά κατακρημνίσματα, η θερμοκρασία και ο άνεμος.

Η ένταση, η διάρκεια και η κατανομή των βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του έτους, είναι στοιχεία άμεσα συνδεδεμένα με το φαινόμενο της διάβρωσης.

Αν τα συνολικά mm της βροχής που πέφτουν κάθε χρόνο είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα τότε η διάβρωση ελαχιστοποιείται. Αντίθετα, ραγδαίες βροχοπτώσεις δίνουν περιθώρια στο έδαφος να απορροφήσει το νερό μέσα στη μάζα του, αλλά κινείται επιφανειακά παρασύροντάς το. Τα αποτελέσματα μεγιστοποιούνται όταν η διάρκεια τέτοιων ραγδαίων βροχοπτώσεων είναι μεγάλη.

Οποσδήποτε η ένταση της διάβρωσης στις περιπτώσεις αυτές είναι στενά συνδεδεμένη με το ανάγλυφο της περιοχής και με τη φυτοκάλυψή της.

Στη χώρα μας όπως προαναφέραμε, ραγδαίες βροχοπτώσεις έχουμε την άνοιξη και το φθινόπωρο, εποχές που τα καλλιεργούμενα εδάφη στερούνται της προστασίας των φυτών.

Η θερμοκρασία, καθορίζει αφενός τη φυσική κατάσταση των υδατικών κατακρημνισμάτων επιδρώντας έτσι στο βαθμό της διάβρωσης, αφετέρου τη θερμική κατάσταση του εδάφους. Το παγωμένο έδαφος συμπεριφέρεται ως αδιαπέρατο και συνεκτικό με αποτέλεσμα να υφίσταται έντονη διάβρωση.

Η δράση του ανέμου πάνω στο έδαφος έχει σαν αποτέλεσμα τη διάβρωσή του.

Η έντασή του είναι καθοριστική για την εξέλιξη του φαινομένου.

### ⇒ **Ανάγλυφο**

Το ανάγλυφο αποτελεί βασικό συντελεστή της διάβρωσης των εδαφών. Η κλίση της επιφανείας και το μήκος της κλιτύος είναι βασικοί παράμετροι του αναγλύφου που καθορίζουν την ενεργειακή κατάσταση του επιφανειακά ρέοντος νερού.

Με την αύξηση της κλίσης, αυξάνεται και η μεταφορική ικανότητα του νερού. Αν διπλασιαστεί η ταχύτητα της κίνησής του τότε η μεταφορική του ικανότητα πολλαπλασιάζεται επί 2<sup>6</sup>.

Επίσης, αν διπλασιαστεί η κλίση του εδάφους τότε η απώλεια του εδάφους πολλα-

πλασιάζεται επί 2,8. Η εμπειρική αυτή σχέση δεν ισχύει σε περιοχές με ισχυρώς έντονο ανάγλυφο.

Με την αύξηση του μήκους της κλιτύος αυξάνεται γενικώς ο βαθμός της διάβρωσης λόγω της αύξησης της ποσότητας του ρέοντος νερού.

Η επίδραση του αναγλύφου είναι στενά συνυφασμένη τόσο με τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, όσο και με την ύπαρξη και το είδος βλάστησης που καλύπτουν την εδαφική επιφάνεια.

### ⇒ Έδαφος

Οι δύο προηγούμενοι συντελεστές που εξετάστηκαν αποτελούν τις γενεσιουργές αιτίες της διάβρωσης. Η αύξησή τους επιτείνει το φαινόμενο, δημιουργώντας δυσμενείς καταστάσεις.

Το έδαφος, είναι ο παράγων εκείνος που υφίσταται το φαινόμενο και προσπαθεί με τα μέσα που διαθέτει, τις φυσικοχημικές του ιδιότητες, να αντισταθεί στην εξέλιξη του φαινομένου.

Η μηχανική σύσταση των εδαφών είναι καθοριστική μεταβλητή στην εξέλιξη της διάβρωσης των εδαφών. Η μηχανική σύσταση, καθορίζει βασικές φυσικές εδαφικές ιδιότητες όπως είναι το πορώδες, η διηθητικότητα και η διαπερατότητα. Χονδρόκοκκα αμμώδη εδάφη παρουσιάζουν μεγάλη διηθητικότητα με αποτέλεσμα η επιφανειακή απορροή του νερού να είναι μειωμένη. Το αντίθετο συμβαίνει στα βαριά εδάφη. Τα εδάφη αυτά αν και χαρακτηρίζονται από πλούσιο τριχοειδές σύστημα και μεγάλο σχετικά συνολικό πορώδες, παρουσιάζουν μικρή διηθητικότητα στο νερό της βροχής, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος των ομβρίων υδάτων να ρέει επιφανειακά. Επίσης η διηθητικότητα και η διαπερατότητά τους εξαρτάται από τη σχέση των μη τριχοειδών πόρων προς τους τριχοειδείς, σχέση που καθορίζει τον βαθμό απορρόφησης του νερού της βροχής. Βασικός προστατευτικός παράγοντας έναντι της διάβρωσης στα βαριά εδάφη, είναι η ύπαρξη συσσωματωμάτων τα οποία αυξάνουν τη διηθητικότητά τους και προστατεύουν το έδαφος με αποτέλεσμα να μειώνεται ο βαθμός διάβρωσής του. Τα μέσα που βοηθούν στη δημιουργία συσσωματώδους και σταθερής δομής, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την προστασία των εδαφών.

Σε πολλές περιπτώσεις που οι ερευνητές μελέτησαν τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων σε σχέση με τις χαρακτηριστικές ιδιότητες των εδαφών, κατέληξαν σε αντικρουόμενα συμπεράσματα, γενικά όμως είναι παραδεκτό ότι η άργιλος αποτελεί συνδεδετικό μέσο στη δημιουργία συσσωματωμάτων.

Το είδος των ορυκτών της άργιλου επηρεάζει το φαινόμενο της διάβρωσης, αλλά

είναι δύσκολο και εκτιμηθεί η συμβολή κάθε ορυκτού, γιατί η άργιλος των εδαφών αποτελείται από μείγμα πολλών δευτερογενών ορυκτών. Πειράματα με μεμονωμένα ορυκτά ή με τεχνητά μείγματα δεν παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά με τις αργίλους των εδαφών.

Οι σμεκτίτες, λόγω της μεγάλης ειδικής επιφάνειας που διαθέτουν, βοηθούν στη δημιουργία συσσωματωμάτων. Οι Young and Mutchier, (1977) αναφέρουν ότι η περιεκτικότητα των εδαφών σε μοντμοριλλονίτη συνδέεται θετικά με την ευστάθεια των συσσωματωμάτων και τα εδάφη αυτά παρουσιάζουν μικρό βαθμό διαβρωσιμότητας.

Το είδος των ορυκτών της αργίλου σχετίζεται με το μητρικό υλικό των εδαφών, την αποσάθρωση που έχει υποστεί και την πορεία της εδαφογένεσης. Ο Smith, (1990) αναφέρει ότι, εδάφη με μεγάλο ποσοστό καολινίτη και υδροξειδίων σιδήρου και αργιλίου, παρουσιάζουν αντίσταση στη διάβρωση. Στο ίδιο συμπέρασμα είχε καταλήξει και ο Collinet, (1988) μελετώντας εδάφη της Αφρικής.

Οι περισσότεροι ερευνητές βρήκαν θετική επίδραση των υδροξειδίων του αργιλίου και σιδήρου στη σταθερότητα της δομής του εδάφους, επειδή δρουν σαν παράγοντες συσσωμάτωσης, αποτρέποντας τη διασπορά του εδάφους. Επίσης, σχηματίζουν χηλικές ενώσεις με την οργανική ουσία του εδάφους, βοηθώντας έτσι στη δημιουργία συσσωματωμάτων.

Το αργίλιο αποδεικνύεται μάλλον πιο σημαντικό στη δημιουργία συσσωματωμάτων από τον σίδηρο, λόγω της διαλυτότητάς του σε ευρύ φάσμα τιμών pH, αλλά βρίσκεται σε μικρότερη περιεκτικότητα στο έδαφος σε σχέση με το σίδηρο.

Το είδος και η ποσότητα των εναλλακτικών κατιόντων στο έδαφος, επηρεάζουν τόσο τη δημιουργία συσσωματωμάτων όσο και τη διασπορά του εδάφους.

Υψηλές τιμές εναλλακτικού νατρίου ( $ESP > 15$ ) προκαλούν μείωση της διήθησης και αυξάνουν τη διάβρωση των εδαφών. Αυξημένη τιμή ESP, προκαλεί διασπορά του εδάφους και δημιουργεί επιφανειακή κρούστα με αποτέλεσμα τη διάβρωση. Τα όρια των τιμών του που επηρεάζουν τη διάβρωση καθορίζονται από πολλούς παράγοντες, κυρίως όμως από το είδος των ορυκτών της αργίλου.

Τα κατιόντα του  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  και  $K^+$  επιδρούν θετικά στη σταθερότητα της δομής του εδάφους.

Η επίδραση της περιεκτικότητας των εδαφών σε  $CaCO_3$  στη σταθερότητα των συσσωματωμάτων, τη διήθηση και την πορεία της διάβρωσης των εδαφών, δεν έχει μελετηθεί επιστημονικά.

Από χημική άποψη, τα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου πρέπει να δρουν ευνοϊκά στη σταθερότητα των συσσωματωμάτων, λόγω των ιόντων του  $Ca^{2+}$ .

Επίσης, το βάθος της εδαφικής κατατομής, η ύπαρξη αδιαπέρατου ορίζοντα και το βάθος στο οποίο βρίσκεται αυτός, επηρεάζουν τη διηθητικότητα του εδάφους και κατά συνέπεια το βαθμό της διάβρωσής του.

Η αύξηση της περιεκτικότητας σε οργανική ουσία, προσθήκη ασβεστίου και καλή κατεργασία των εδαφών, αυξάνουν τη διηθητικότητά τους και μειώνουν τη διάβρωση.

### ➔ **Βλάστηση**

Αποτελεί το μοναδικό συντελεστή που προστατεύει το έδαφος και τη βασική λύση στο πρόβλημα της διάβρωσης, σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο.

Το δάσος, με τον υποόροφό του και τα φυτικά υλικά που καλύπτουν το έδαφος, αποτελεί την καλύτερη προστασία από στην επίδραση του νερού. Με το υπέργειο τμήμα του μειώνει την ένταση των ραγδαίων βροχοπτώσεων, συγκρατώντας το νερό της βροχής το οποίο πέφτει ομαλά στην εδαφική επιφάνεια, δίνοντας τον απαραίτητο χρόνο για τη διήθησή του μέσα στην κατατομή του. Το πλούσιο ριζικό σύστημα που αναπτύσσεται, συγκρατεί το έδαφος και δεν το αφήνει να παρασυρθεί με τα επιφανειακά ρέοντα ύδατα, ακόμη και σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο.

Παρόμοιο προστατευτικό τρόπο δράσης παρουσιάζουν και οι δενδρώδεις καλλιέργειες, αλλά σε μικρότερη έκταση, λόγω του τρόπου φύτευσής τους και των καλλιεργητικών φροντίδων που υφίστανται.

Οι λειμώνες και γενικότερα τα χορτολιβαδικά φυτά παρέχουν άριστη προστασία στα εδάφη. Το πλούσιο ριζικό σύστημα που αναπτύσσουν και μάλιστα σε μικρό βάθος, η οργανική ουσία με την οποία εμπλουτίζουν το έδαφος και η πυκνή φυτομάζα τους, αποτελούν την καλύτερη προστατευτική ασπίδα.

Τα καλλιεργούμενα εδάφη, προστατεύονται πλημμελώς και υφίστανται τις εντονότερες συνέπειες της διάβρωσης. Η φυτοκάλυψή τους είναι εποχιακή και δεν καλύπτει ομοιόμορφα όλη την επιφάνεια του εδάφους. Οι εντονότερες βροχές στη χώρα μας πέφτουν την άνοιξη και το φθινόπωρο, εποχές που τα εδάφη ή καλύπτονται μερικώς από τις καλλιέργειες ή δεν έχουν καθόλου κάλυψη. Στις περιπτώσεις αυτές η δράση της διάβρωσης είναι ανεμπόδιστη. Η εφαρμογή της αμειψισποράς και η χρησιμοποίηση και καλοκαιρινής καλλιέργειας, όπου οι συνθήκες το επιτρέπουν, θα μειώσουν κατά πολύ τις δυσμενείς επιπτώσεις του φαινομένου.

Σε επικλινή εδάφη, το όργωμα παράλληλα με τις ισοϋψείς και όχι κάθετα προς αυτές, προστατεύει τα εδάφη. Επίσης σε μόνιμες καλλιέργειες, σε εδάφη με έντονο ανάγλυφο, η δημιουργία αναβαθμών παρέχει προστασία από τη διάβρωση.



### ⇒ **Ανθρωπογενείς επιδράσεις**

Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται όλοι εκείνοι οι αστάθμητοι παράγοντες που προέρχονται κυρίως από την ανθρώπινη δραστηριότητα και έχουν σαν αποτέλεσμα τη διατάραξη της ισορροπίας του συστήματος, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας οριακής κατάστασης, που επιφέρει έντονη, επιταχυνόμενη διάβρωση στην περιοχή. Πυρκαγιές δασικών εκτάσεων, εκχερσώσεις για την απόδοση των εδαφών για γεωργική ή οικιστική χρήση, εντατική βόσκηση, αποτελούν βασικές αιτίες για ανεξέλεγκτη, ταχεία και καταστρεπτική διάβρωση μιας περιοχής με δυσμενή αποτελέσματα.

Υπεύθυνος για όλες αυτές τις καταλυτικές καταστάσεις είναι ο άνθρωπος, ο οποίος δεν έχει συνειδητοποιήσει την οικονομική σπουδαιότητα του εδάφους.

Ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες, τα φαινόμενα αυτά επαναλαμβάνονται συνεχώς, με αποτέλεσμα την απώλεια μέσα σε μικρό διάστημα παραγωγικού και γόνιμου εδάφους, που η δημιουργία του απαιτεί διαδικασίες χιλιάδων ετών.

### ⇒ **Χρόνος**

Εκτός των ακραίων περιπτώσεων που το φαινόμενο της διάβρωσης εξελίσσεται ταχύτατα, σε φυσιολογικές καταστάσεις η φύση μας δίνει τα χρονικά περιθώρια για να λάβουμε τα απαραίτητα μέτρα προστασίας των εδαφών, ώστε να επιβραδύνουμε ή και να αναστείλουμε το φαινόμενο.

Η διάβρωση δρα εποχιακά και εξελίσσεται σταδιακά. Επιφανειακή διάβρωση, αυλακοειδής, χαραδρωτική. Τα χρονικά διαστήματα που μεσολαβούν, είναι αρκετά για να πάρουμε τα αναγκαία μέτρα περιορισμού του φαινομένου.

Αρκεί να υπάρχει η βούληση και η γνώση της υποχρέωσής μας για τις επερχόμενες γενιές.

## **1.4.6 Υπολογισμός της απώλειας του εδάφους λόγω διάβρωσης**

Πόσο έδαφος απομακρύνεται κάθε φορά μετά από μια βροχόπτωση και πώς οι εδαφικοί παράγοντες επηρεάζουν το φαινόμενο, είναι ερωτήματα που προκύπτουν κατά την μελέτη της διάβρωσης. Ήδη από το 1959 δόθηκε από τον Wischmeier η παγκόσμια εξίσωση απώλειας του εδάφους, μια εμπειρική εξίσωση που περιλαμβάνει όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο.

$$A = (R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P)$$

όπου: **A**, η απώλεια του εδάφους σε τόννους ανά εκτάριο (10 στρέμματα),

**R**, κλιματικός παράγοντας που εξαρτάται από τη διαβρωτική ικανότητα της βροχής. Έχει άμεση σχέση με την κινητική ενέργεια που περιέχουν οι σταγόνες της βροχής, μέρος της οποίας μεταβιβάζεται στα εδαφικά τεμαχίδια τα οποία και αποσπώνται από τα συσσωματώματα του εδάφους.

Το ύψος της βροχόπτωσης και η έντασή της είναι μεγέθη που επιδρούν στο φαινόμενο. Μια ραγδαία βροχή επιφέρει μεγαλύτερες απώλειες εδάφους γιατί ο μεγαλύτερος όγκος νερού δεν προλαβαίνει να διηθηθεί μέσα από την εδαφική κατατομή και ρέει επιφανειακά.

Οι Wischmeier και Smith (1978) υπολογίζουν την τιμή του **R** από την εξίσωση,

$$\log R = 1,93 \log \Sigma \frac{P^2}{P} - 1,52$$

όπου, **p** η μέση μηνιαία βροχόπτωση και **P** η μέση ετήσια.

Γενικώς ο κλιματικός παράγοντας **R**, παίρνει τιμές από 700 στις τροπικές περιοχές, ενώ στα Μεσογειακά κλίματα κυμαίνεται από 20 έως 100.

**K**, παράγοντας διαβρωσιμότητας του εδάφους. Εξαρτάται άμεσα από τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, από τη μηχανική του σύσταση, από το είδος των δευτερογενών ορυκτών που περιέχει, από το ποσοστό της οργανικής ουσίας, από την ύπαρξη οξειδίων του σιδήρου και αργιλίου και γενικά όλων εκείνων των συστατικών που ευνοούν τη δημιουργία συσσωματωμάτων. Η διάβρωση του επιφανειακού ορίζοντα φέρνει στην επιφάνεια τους υποκείμενους ορίζοντες ή και το μητρικό υλικό, μεταβάλλοντας έτσι τις αρχικές φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους.

Στα αμμώδη εδάφη έχουμε μικρή απορροή και μικρότερη διάβρωση σε σχέση με τα ιλυώδη εδάφη. Στα αργιλώδη εδάφη, λόγω των συσσωματωμάτων, έχουμε δύσκολη απόσπαση των εδαφικών τεμαχιδίων, αλλά εξαιτίας της μικρής διήθησης και το κλείσιμο των εδαφικών πόρων προκαλείται έντονη επιφανειακή απορροή.

Ο παράγοντας **K** υπολογίζεται από εξίσωση συσχέτισης

$$K = 2,8 \times 10^{-7} M^{1,14} (1,2 - a) + 4,310^{-3} (b - 2) + 3,3(c - 3)$$

όπου **M**, παράμετρος που σχετίζεται με το μέγεθος των κλασμάτων του εδάφους και υπολογίζεται από τη σχέση, [(% ιλύς + % κλάσμα πολύ λεπτής άμμου)(100 - % άργιλος)], **a**, % οργανική ουσία, **b**, δομή του εδάφους (1 πολύ λεπτοκοκκώδης, 2 λεπτοκοκκώδης, 3 χονδροκοκκώδης, 4 συμπαγής), **c** κλάση διηθητικότητας του εδάφους (1 ταχεία, 2 μέση προς ταχεία, 3 μέση, 4 μέση προς αργή, 5 αργή, 6 πολύ αργή).

Οι τιμές του παράγοντα  $K$  κυμαίνονται από 0 για εδάφη με μεγάλη σταθερότητα συσσωματωμάτων, έως 0,6 για εδάφη χωρίς δομή. Για ενδιάμεσες καταστάσεις παίρνει τιμές από 0,2 έως 0,3.

$L$  και  $S$ , τοπογραφικοί παράγοντες,

$L$ , παράγοντας του μήκους της επικλινούς επιφάνειας και

$S$ , παράγοντας της γωνίας κλίσης εκφρασμένος σε ποσοστό επί τοις %.

Ο προσδιορισμός της γίνεται με κλισίμετρο, ή με τη βοήθεια ισοϋψών από τοπογραφικό χάρτη. Και οι δύο αυτοί παράγοντες επηρεάζουν το μέγεθος της διάβρωσης σε μια κεκλιμένη επιφάνεια.

Υπολογίζονται από την εξίσωση του Morgan (1979),

$$LS = \left( \frac{l}{22,23} \right)^m (0,0065S^2 + 0,045S + 0,065)$$

όπου  $l$  = το μήκος της κλίσης και  $S$  η επί % κλίση.

Το  $m$  παίρνει τις τιμές  $m = 0,5$  όταν η  $S > 5\%$ ,  $0,4$  όταν  $3,5 < S < 4,5$ ,  $0,3$  όταν  $1 < S < 3\%$  και  $0,2$  όταν  $S < 1\%$ .

Οι τιμές του τοπογραφικού παράγοντα κυμαίνονται από 0,2 για κλίση 2% και μήκος κλίσης 30 m μέχρι 3 για  $S = 12\%$  και  $L = 90m$ .

$C$ , παράγοντας κάλυψης του εδάφους.

Εκφράζει την επίδραση της βλάστησης στην προστασία του εδάφους από τη διάβρωση. Είναι βασικός παράγοντας που ελέγχεται από τον άνθρωπο ο οποίος μέσω αυτού έχει τη δυνατότητα να προστατεύσει το έδαφος. Το δάσος όπως προαναφέρθηκε, προσφέρει τη μέγιστη δυνατή προστασία στο έδαφος τόσο με το υπέργειο τμήμα του που μειώνει την ένταση της βροχής ενώ με το ριζικό του σύστημα συγκρατεί το έδαφος μειώνοντας την επιφανειακή απορροή. Βασικό ρόλο παίζουν και τα φυτικά υπολείμματα που καλύπτουν την εδαφική επιφάνεια. Παρόμοια προστασία παρέχουν στο έδαφος και τα χορτοδοτικά φυτά. Γραμμικές καλλιέργειες, κυρίως ετήσιες, παρέχουν μειωμένη προστασία ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες που τα φυτά είναι μικρά και το έδαφος στην πλειονότητά του μένει ακάλυπτο. Ακάλυπτο και οργωμένο έδαφος είναι τελείως απροστάτευτο στην επιφανειακή και αυλακωτή διάβρωση ενώ εναλλαγή καλλιεργειών και εφαρμογή αμειψοποράς μειώνουν χρονικά τη διάβρωση.

Οι τιμές του παράγοντα  $C$  κυμαίνονται από 0 έως 1,5 για ακάλυπτο και οργωμένο έδαφος.

$P$ , παράγοντας αντιδιαβρωτικής προστασίας.

Περιλαμβάνει όλες εκείνες τις καλλιεργητικές φροντίδες που μειώνουν τη διάβρωση και προστατεύουν το έδαφος. Άρωση κατά τις ισοϋψείς αποτελεί βασικό μέτρο προστασίας σε επικλινή εδάφη. Η δημιουργία αναβαθμών σε εδάφη με μεγάλη κλίση, είναι μέτρο που εφαρμόστηκε κατά το παρελθόν με επιτυχία σε ορεινές περιοχές κυρίως στα νησιά όταν η καλλιέργεια του εδάφους γινόταν με παραδοσιακούς τρόπους, χωρίς γεωργικά μηχανήματα.

Οι τιμές του παράγοντα αυτού που δίνονται από τους διάφορους ερευνητές, ποικίλουν και εξαρτώνται από την κλίση του εδάφους και τις καλλιεργητικές συνθήκες κάθε περιοχής. Γενικώς παίρνει τιμές από 0,2 για κλίσεις μέχρι 8% έως 1 όταν το όργωμα γίνεται κάθετα ως προς τις ισοϋψείς.

Θα αναφέρουμε ένα απλό παράδειγμα εφαρμογής της παγκόσμιας εξίσωσης απώλειας του εδάφους στη λοφώδη περιοχή του νομού Κιλίκις, σε αγρό που καλλιεργείται με σιτηρά.

$$A = (R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P)$$

Ο κλιματικός παράγοντας **R = 100**, Μεσογειακή περιοχή

Παράγοντας διαβρωσιμότητας του εδάφους, **K = 0,4**, έδαφος με μικρή σταθερότητα συσσωματωμάτων.

Τοπογραφικός παράγοντας L·S Για κλίση 6% και μήκος κλίσης 30 m, **LS = 0,6**

Παράγοντας κάλυψης του εδάφους, **C = 1,5**, ακάλυπτο έδαφος.

Παράγοντας αντιδιαβρωτικής προστασίας **P = 1**, άρωση κάθετα προς τις ισοϋψείς.

$$\begin{aligned} A &= (R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P) = (100 \times 0,4 \times 0,6 \times 1,5 \times 1) = \\ &= 36 \text{ τόννοι εδάφους/εκτάριο ή } 3,6 \text{ τόννοι εδάφους/στρ.} \end{aligned}$$

Αν ο παραγωγός οργώσει το χωράφι του παράλληλα προς τις ισοϋψείς, τότε ο παράγοντας αντιδιαβρωτικής προστασίας γίνεται **P = 0,6**, ενώ όλοι οι άλλοι παράγοντες παραμένουν οι ίδιοι, τότε έχουμε,

$$\begin{aligned} A &= (R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P) = (100 \times 0,4 \times 0,6 \times 1,5 \times 0,6) = \\ &= 21,6 \text{ τόννοι εδάφους/εκτάριο ή } 2,16 \text{ τόννοι εδάφους/στρ.} \end{aligned}$$

Η απώλεια του εδάφους κατά τη διάβρωση είναι σημαντική σε όποια κλίμακα και αν συντελείται. Απομακρύνεται το πλέον παραγωγικό τμήμα του εδάφους με άμεση επίδραση στη γεωργική παραγωγή. Τα μέτρα που συνήθως λαμβάνονται εξαρτώνται από την επαγγελματική συνείδηση του παραγωγού και είναι μεμονωμένα. Γενικά το έδαφος, δεν αντιμετωπίζεται σαν Εθνικό κεφάλαιο από το κράτος από το οποίο έχει ανάγκη προστασίας, έτσι ώστε να αποδοθεί παραγωγικό στο μέλλον.