

The solution to pollution is NOT dilution!

Παράγοντες Εδαφογένεσης (Soil Formation)

1. **μητρικό** υλικό (parent material): (βραχώδεις) γεωλογικό υπόθεμα
2. **κλίμα** (climate): μετεωρολογικές συνθήκες
3. **τοπογραφικό** ανάγλυφο (relief ή topography): επιφανειακή μορφολογία
4. **βλάστηση** (vegetation)
5. **χρόνος** (time)

Τα διαφορετικά είδη εδαφών αναπτύσσονται καθώς σε μια περιοχή δεδομένης επιφανειακής **μορφολογίας** και πάνω σε ένα συγκεκριμένο μητρικό **υπόστρωμα**, επενεργούν **βλάστηση** και **κλίμα** για ένα συγκεκριμένο **χρονικό** διάστημα!

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

(3 διαφορετικά πετρώματα) × (5 διαφορετικές μορφολογίες) × (2 είδη βλάστησης) × (1 κλίμα) × (2 χρονικές κλίμακες) = **60 είδη εδαφών!**

Γεωλογικό υπόθεμα από το οποίο δημιουργούνται οι διαφορετικοί τύποι εδαφών:

1. **ορυκτά** (minerals) και **πετρώματα** (rocks)
2. **αλλουβιακές αποθέσεις** (alluvial deposits):
προσχωσιγενή εδάφη και θαλάσσιες αποθέσεις (marine deposits)
3. **οργανικές αποθέσεις** (organic deposits)
4. *αποθέσεις αιολικών πηλών (loess deposits) - δεν απαντώνται στην Ελλάδα*
5. *αποθέσεις παγετώνων (glacial deposits) - σπανίως απαντώνται στην Ελλάδα*

Ορυκτό	Εδαφολογική διεργασία
Άστριοι (feldspars): <ul style="list-style-type: none"> • ορθόκλαστα (orthoclase) • αλβίτης (albite) • πλαγιόκλαστα (plagioclase) 	απελευθερώνεται κάλιο, σχηματίζεται άργιλος απελευθερώνεται νάτριο, σχηματίζεται άργιλος απελευθερώνεται νάτριο και ασβέστιο, σχηματίζεται άργιλος
Αμφιβολίτες (amphiboles): <ul style="list-style-type: none"> • κερατόλιθος (hornblende) 	απελευθερώνεται ασβέστιο, μαγνήσιο, νάτριο και λίγος σίδηρος
Πυρόξενοι (pyroxenes): <ul style="list-style-type: none"> • αυγίτης (augite) 	απελευθερώνεται ασβέστιο, μαγνήσιο και λίγος σίδηρος

Ορυκτό	Εδαφολογική διεργασία
Μαρμαρυγίες (micas):	
• μοσχοβίτης (muscovite)	απελευθερώνεται κάλιο, σχηματίζεται άργιλος
• βιοτίτης (biotite)	<<
Πυριτικά ορυκτά (silica):	
• χαλαζίας (quartz)	εξαιρετική ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση, σχηματίζεται άμμος
• κριστοβαλίτης (cristobalite)	<<
• χαλκηδόνιος (chalcedony)	<<
Οξειδία σιδήρου (iron oxides):	
• αιματίτης (hematite)	απελευθερώνεται σίδηρος, σχηματίζονται κοκκινοκίτρινες αποχρώσεις
• λιμονίτης (limonite)	<<
• γκαιτίτης (goethite)	<<
• μαγνητίτης (magnetite)	<<
Ανθρακικά ορυκτά (carbonates):	
• καλσίτης (calcite)	απελευθερώνεται ασβέστιο, σχηματίζονται ασβεστόλιθοι
• δολομίτης (dolomite)	απελευθερώνεται ασβέστιο και μαγνήσιο, σχηματίζονται δολομιτικοί άμμοι

Ορυκτό	Εδαφολογική διεργασία
Άλλα ορυκτά:	
• υδροξείδιο του αργιλίου (gibbsite)	απελευθερώνεται αργίλιο
• απατίτης (apatite)	απελευθερώνεται φώσφορος
• τουρμαλίνης (tourmaline)	απελευθερώνεται βόριο
• ζιρκόνιο (zircon)	ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση
• θειούχος σίδηρος (pyrite)	απελευθερώνεται σίδηρος και θείο
• γύψος (gypsum)	απελευθερώνεται ασβέστιο και θείο, δημιουργούνται όξινα εδάφη
Άργιλοι (clay minerals):	
• καολινίτης (kaolinite)	απαντώνται στα περισσότερα εδάφη και είναι υπεύθυνα για τις φυσικοχημικές ιδιότητές τους
• μοντμοριλονίτης (montmorillonite)	<<
• βερμικουλίτης (vermiculite)	<<
• ιλίτης (illite)	<<

Πέτρωμα	Ορυκτά που περιέχει
Γρανίτης (granite) Ρυόλιθος (rhyolite)	50% άστριοι 30% χαλαζίες 20% ορυκτά σιδήρου και μαγνησίου
Βασάλτης (Basalt) Γάββρος (gabbro)	50% άστριοι 50% ορυκτά σιδήρου και μαγνησίου
Διορίτης (diorite) Ανδεσίτης (andesite)	75% άστριοι 25% ορυκτά σιδήρου και μαγνησίου
Οψιδιανός (obsidian)	60% άστριοι 30% χαλαζίες 10% ορυκτά σιδήρου και μαγνησίου

Υφή	Απόχρωση		
	Σκουρόχρωμα	Μέτρια	Ανοιχτόχρωμα
Χονδρόκοκκα	γάββρος	διορίτης	γρανίτης
Ενδιάμεσα	βασάλτης	ανδεσίτης	ρυόλιθος
Λεπτόκοκκα	βασάλτης	οψιδιανός	

Πέτρωμα	Σύσταση	Όψη	Έδαφος
ασβεστόλιθος (limestone)	δολομίτης ή καλσίτης	λευκό, γκρι, κίτρινο, ανοικτό κόκκινο	βασικά εδάφη πλούσια σε ασβέστιο και μαγνήσιο
μάργα (marle)	ασβεστούχος άργιλος	λευκή έως ερυθρόμαυρη	ασβεστούχα βασικά εδάφη (ορφνά και ρεντζίνες)
ψαμμίτης (sandstone)	κυρίως χαλαζίας	λευκό, καφέ, κεραμιδί	όξινα εδάφη που εκπλύονται εύκολα και είναι φτωχά σε θρεπτικές ουσίες
σχιστόλιθος (shale)	άργιλοι, λίγος χαλαζίας και οργανικό υλικό	στρωματοποιημένη όψη, αποχρώσεις ανάλογα με τα ορυκτά που περιέχονται	εξαρτάται από το περιεχόμενο χαλαζία και σιδηρομαγνητικών ορυκτών
κροκαλοπαγή (conglomerate)	ποικίλει	συγκολλημένα χαλίκια και κομμάτια βράχων από 2 έως 4 mm	ποικίλουν, συνήθως χονδρόκοκκα με πολλά χαλίκια

Μηχανική Αποσάθρωση (Physical Weathering)

- **τρεχούμενο νερό:** δυνάμεις τριβής, φερτά υλικά (στερεά σωματίδια και μικρά χαλίκια), κρουστικές δυνάμεις
- **πάγος:** μέγιστη πυκνότητά του στους 4°C, νερό σε ρωγμές πετρωμάτων παγώνει και ασκεί δυνάμεις στα τοιχώματα
- **άνεμος:** λείανση εκτεθειμένες επιφανειών, παρασύρει λεπτόκοκκα και ελαφρά σωματίδια που προσκρούουν σε άλλες επιφάνειες (αιολική αποσάθρωση)
- **ρίζες φυτών:** διεισδύουν σε ρωγμές πετρωμάτων σε αναζήτηση υγρασίας, προκαλούν θρυμματισμό τους
- **θερμοκρασία:** μετατροπή νερού σε πάγο, διαστολή και συστολή πετρωμάτων και θρυμματισμός τους

Αλλουβιακές αποθέσεις

Έχουν στο γεωλογικό παρελθόν παρασυρθεί από τρεχούμενο νερό (π.χ. χειμάρρους) ενώ οι παραθαλάσσιες αποθέσεις έχουν δημιουργηθεί από θαλασσινό νερό ➡ διαφορετικού τύπου εδάφη

Εδάφη από αλλουβιακές αποθέσεις:

- »»» μη εξελιγμένα (συνήθως δεν περιέχουν ορίζοντα A2)
- »»» οι θρεπτικές ουσίες δεν έχουν ακόμα εκπλυθεί από αυτά
- »»» χαρακτηρίζονται από καλή αποστράγγιση
- »»» σύσταση εξαρτάται από ορυκτά και πετρώματα που ευρίσκονται σε ανάντη πλαγιές από όπου ο χείμαρρος παρασύρει φερτά υλικά

α. Αλλουβιακά ριπίδια (alluvial fans)

Ä νερό χειμάρρου κυλάει σε πλαγιά βουνού: αυξάνει η ταχύτητά του και παρασύρει σημαντικές ποσότητες φερτών υλικών

Ä ο χείμαρρος φθάνει σε πεδιάδα: ταχύτητα νερού μειώνεται ξαφνικά, με αποτέλεσμα να αποτεθούν ως ιζήματα μεταφερόμενα φερτά υλικά

β. Πλημμυρικές ζώνες

- ☛ Αλλουβιακά ριπίδια σε πλαγιές βουνών και λόφων
- ☛ Σε πεδιάδες που διασχίζονται από ποταμούς: πλημμυρικές ζώνες

- Ä δημιουργία μαιάνδρων από κοίτη ποταμού
- Ä δημιουργία (με την πάροδο του χρόνου) ευρεία επίπεδη ζώνη που αποκαλείται πλημμυρική ζώνη του ποταμού
- Ä καλύπτεται από παρόχθια έλη
- Ä γεμίζει με νερό σε περιπτώσεις πλημμύρας
- Ä πλημμυρικά νερά ποταμού βγαίνουν από την κοίτη, χάνουν ταχύτητα και αποθέτουν φερτά υλικά που μεταφέρουν
- Ä μετά από πολλές διαδοχικές πλημμύρες, πλημμυρική ζώνη που περιβάλλει κοίτη ποταμού καλύπτεται από φερτά υλικά

Εδάφη πλημμυρικών ζωνών:

- »»» σχετικά βαλτώδη
- »»» η σύστασή τους εξαρτάται από τη σύσταση των φερτών υλικών
- »»» επειδή προέρχονται από διάβρωση του ορίζοντα A1 των ανάντη εδαφών, είναι πιθανό να περιέχουν υψηλό ποσοστό οργανικών υλικών και ιλύος, ως εκ τούτου...
- »»» ...είναι αρκετά γόνιμα

- »»» σε περίπτωση που τα φερτά υλικά προέρχονται από αγροτικές εκτάσεις, τα εδάφη πλημμυρικών ζωνών μπορεί να είναι πλούσια σε θρεπτικές ουσίες

γ. Ποταμιαία δέλτα

- Ä ποταμός εκβάλλει σε μεγάλο σώμα επιφανειακού νερού (π.χ. λίμνη, κόλπο ή ανοιχτή θάλασσα)
- Ä ενέργεια κυμάτων δεν είναι αρκετή για να κρατήσει φερτά υλικά σε αιώρηση
- Ä δημιουργείται δέλτα (που συνήθως έχει την μορφή ριπιδίου)

Τα δέλτα:

- »»» είναι συνήθως βαλτώδη
- »»» διασχίζονται από μικρές παραφυάδες του ποταμού και
- »»» υπόκεινται σε συχνές πλημμύρες

Η βαθμιαία μετάβαση από το γλυκό σε αλμυρό νερό που παρατηρείται σε περιοχές δέλτα, αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα που συντελεί στην δημιουργία οικοσυστημάτων μοναδικής **βιοποικιλότητας** και υψηλής **παραγωγικότητας** (ζώνη βαθμιαίας μεταβολής φυσικών παραμέτρων που παρατηρούνται στα όρια διαφορετικών οικοσυστημάτων - ecotone)

μεγαλύτερο μέρος χονδρόκοκκων φερτών υλικών που μεταφέρονται από ποταμούς έχουν αποθεθεί ανάντη ➡ δέλτα συνήθως καλύπτονται από άμμο, ιλύ και άργιλο

δ. Παράκτια ζώνη

- Ä φερτά υλικά που δεν αποτίθενται σε χερσαίες αλλουβιακές περιοχές, φθάνουν στην θάλασσα
- Ä με την είσοδο τους στο θαλασσινό νερό, αποτίθενται στον πυθμένα...
- Ä ... τα μεν χονδρόκοκκα υλικά κοντά στην παραλία, τα δε λεπτόκοκκα υλικά όπως οι άργιλοι, σε μεγαλύτερη απόσταση από αυτή

- »»» Σε αντίθεση με χερσαίες αλλουβιακές αποθέσεις, οι παραθαλάσσιες αποθέσεις είναι:
- »»» σχετικά παλαιές
- »»» παράκτια εδάφη είναι εξελεγμένα και χαρακτηρίζονται από υψηλή έκπλυση θρεπτικών ουσιών
- »»» χονδροί ορίζοντες A2 και B είναι συνήθεις
- »»» ο χαλαζίας αποτελεί την πλέον συνήθη συνιστώσα

Γεωμορφολογικά, η παράκτια ζώνη χαρακτηρίζεται από εναλλαγή αλλουβιακών αποθέσεων νεαρής ηλικίας με παλαιότερες θαλάσσιες αποθέσεις, με αποτέλεσμα την γένεση σύνθετων εδαφών

Οργανικές αποθέσεις

- ☛ παράλια έλη και
- ☛ χερσαίες βαλτώδεις περιοχές

Όταν το νερό είναι ρηχό, απαντώνται χαρακτηριστικά είδη χλωρίδας π.χ.

- »»» βούρλα (sedges)
- »»» καλαμιές (reeds) και
- »»» γράσταις (το κοινό γρασίδι, grasses)
- »»» στις ΗΠΑ συναντώνται και χαμεκύπαρες (είδη χαμηλών κυπαρισσιών, cypress)

»»» στην Ελλάδα, σε τέτοιες περιοχές φύονται καλάμια, βούρλα και ιπιές, π.χ. στις Πρέσπες

Ä οι φυτικοί οργανισμοί νεκρώνονται ή ρίχνουν τα φύλλα τους

Ä δημιουργείται στον πυθμένα στρώση οργανικών καταλοίπων

Ä λόγω της παρουσίας νερού, τα οργανικά κατάλοιπα δεν οξειδώνονται (ανοξικές συνθήκες)

Ä με την πάροδο των ετών, συσσωρεύονται και δημιουργούνται οργανικές αποθέσεις μεγάλου πάχους

Οι οργανικές αποθέσεις διακρίνονται σε

»»» εκείνες που έχουν ημιτελώς αποσυντεθεί (muck) όπου μπορούμε ακόμα να διακρίνουμε κομμάτια φύλλων, κλαδιών κ.λπ. και

»»» εκείνες που έχουν πλήρως αποσυντεθεί και συχνά αποκαλούνται τύρφη (peat), όπου δεν μπορούμε πλέον να αναγνωρίσουμε την αρχική προέλευση των οργανικών καταλοίπων

- ☛ εάν η τύρφη προέρχεται από βούρλα, καλαμιές, βρύα (mosses) και γρασίδια, αποκαλείται ινώδης τύρφη (fibrous peat)
- ☛ εάν η τύρφη έχει σχηματισθεί από δένδρα όπως ιπιές, σκλήθρα, ελώδη πεύκα (*Pinus palustris*, που δεν απαντώνται στην Ελλάδα) ή χαμεκύπαρεις (*Chamaecyparis lawsoniana*, κοινώς cypress, που επίσης δεν απαντώνται στην Ελλάδα), αποκαλείται ξυλώδης τύρφη (woody peat)

Εάν οι οργανικές αποθέσεις είναι παχύτερες από περίπου 40 cm και περιέχουν τουλάχιστο 30% οργανικά υλικά, σχηματίζουν με την πάροδο του χρόνου οργανικά εδάφη που αποκαλούνται Histosols (προφέρεται “χίστοσολ”). Τέτοια εδάφη μπορεί να έχουν πάχος αρκετά μέτρα και περιέχουν ακόμα και 100% οργανικό υλικό.

Στην Ελλάδα, χαρακτηριστικά παραδείγματα τυρφωδών εκτάσεων αποτελούν η πεδιάδα των Φιλίππων στην περιοχή της Καβάλας και οι αποξηραμένες λίμνες Κωπαΐδας και Ξηνιάδας.

Ορίζοντες πλήρως εξελιγμένης εδαφοτομής:

Επιφανειακός ορίζοντας O (O horizon): στρώμα νεκρής οργανικής ύλης (surface litter)

- »»» ορίζοντας **O1** ή ορίζοντας **L** (από την λέξη litter): αναγνωρίσιμα οργανικά κατάλοιπα
- »»» ενδιάμεση στρώση **F** (fermentation: ζύμωση, σήψη)
- »»» ορίζοντας **O2** ή ορίζοντας **H** (humus): οργανικά κατάλοιπα που έχουν αποσυντεθεί

Ορίζοντας A (A horizon): ανάμειξη οργανικής και ανόργανης ύλης

- »»» ορίζοντας **A1** ή **Ap** (plowed: οργωμένο): πλούσιος σε σκουρόχρωμο οργανικό υλικό
- »»» ορίζοντας **A2**: αποχρωματισμένος, ελάχιστη άργιλο & θρεπτικές ουσίες, ζώνη μέγιστων απωλειών (zone of maximum loss) κολλοειδών και οργανικών ουσιών
- »»» ορίζοντας **A3**: μεταβατικός προς τον ορίζοντα B (στην Ελλάδα, πολύ σπάνιος, μόνο σε ποδσολικά εδάφη (πολύ όξινα pH 4.5 ή ακόμα 4), π.χ. Όσα, Κάτω Όλυμπος (κυρίως δάση οξιάς σε μεγάλα υψόμετρα)

Ορίζοντας B (B horizon): εμπλουτιζόμενος με κολλοειδή και θρεπτικές ουσίες, υφίσταται διαπύλωση (γεμίζει πηλό)

- »»»» ορίζοντας **B1**: μεταβατικός
- »»»» ορίζοντας **B2**: ζώνη μέγιστης συσσώρευσης υλικού από ορίζοντα A (zone of maximum accumulation)
- »»»» ορίζοντας **B3**: μεταβατικός προς ημιαποσαθρωμένο μητρικό πέτρωμα

Ορίζοντας C (C horizon): ημιαποσαθρωμένο μητρικό πέτρωμα (parent material)

Ορίζοντας R (R horizon): βραχώδες υπόθεμα, επί του οποίου επικάθεται (ξένο) έδαφος, π.χ. αλλουβιακά, κολλουβιακά (εξαιρετικά αργή κατολίσθηση) ή λόγω κατολίσθησης

Περιβαλλοντική σημασία παρουσιάζει το
επιφανειακό έδαφος (topsoil):
ορίζοντες A, B και C

Στην **Ελλάδα** κυριαρχούν
τα ακόλουθα είδη εδαφών:

- Τα **ορφνά** εδάφη, που εμπεριέχουν σίδηρο, πυρίτιο και άργιλο και διαφέρουν από τα τροπικά τα οποία περιέχουν σίδηρο και άργιλο αλλά δεν περιέχουν πυρίτιο. Παρατηρούνται σχηματισμοί που περιέχουν και τους τρεις εδαφικούς ορίζοντες, A, B και C. Τα ορφνά εδάφη κυρίως σχηματίζονται πάνω σε φλύσχη, σχιστόλιθους.
- Τα λεγόμενα εδάφη **terra rosa** (ερυθρογή), τα οποία περιέχουν οξειδία σιδήρου και αργιλίου, σχηματίζουν δε μόνο ορίζοντες A και C - λείπει ο ορίζοντας B (τα εδάφη αυτά είναι λίγο εξελιγμένα).
- Τα **ορφνά ασβεστούχα** εδάφη και οι **ρετζίνες** ή ρετζινόμορφα εδάφη τα οποία περιέχουν σε μεγάλο βαθμό ανθρακικό ασβέστιο και χαρακτηρίζονται από pH μεγαλύτερο του 7. Κυρίως συναντώνται σε πλειοκαινικές, τεταρτογενείς (συχνά αναφέρονται σαν πλειοτεταρτογενή) και τριτογενείς αποθέσεις. Τα μεν ορφνά ασβεστούχα εδάφη έχουν ορίζοντες A, B και C ενώ οι ρετζίνες σχηματίζουν μόνο A και C.
- Σε όξινα πυριτικά πετρώματα (π.χ. γρανίτης, γνεύσιος, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι) συναντώνται **ορφνά όξινα δασικά** εδάφη σε λιγότερο δε ποσοστό, τα **ποδσολικά** εδάφη.

Αυτά κυρίως συναντώνται σε συστάδες οξυάς και σε μεγάλα υψόμετρα.

- **Ορφνά σιδηροπυριτιοαργιλικά** εδάφη κεκορεσμένα με pH άνω του 7, απαντώνται πάνω σε σερπεντίνες, οφιόλιθους, πυριδοτίτες και βασικά πυριγενή πετρώματα όπως ο βασάλτης.

Γεωχημική υποβάθμιση ρύπων

Διαδικασίες αδρανοποίησης και χρονικής καθυστέρησης της κίνησης φυσικών, χημικών (και βιολογικών) ρύπων στο έδαφος (νερό εδαφικών πόρων και υπόγειο νερό)

- »»» διάθεση (επεξεργασμένων) υγρών αποβλήτων στο έδαφος, π.χ. άρδευση με επεξεργασμένα λύματα
- »»» διάθεση στερεών απορριμμάτων σε χωματερές (η διάθεση στερεών αποβλήτων και απορριμμάτων σε υγρούς αποδέκτες απαγορεύεται)

Μηχανισμοί γεωχημικής υποβάθμισης ρύπων

- ☛ ανταλλαγή κατιόντων και ανιόντων (ion exchange) ειδικά μεταξύ ρύπων και αργιλικών ορυκτών
- ☛ προσρόφηση (adsorption) (1) κατιόντων και ανιόντων κυρίως από το υδροξείδιο του σιδήρου και του μαγνησίου των αργιλικών ορυκτών και (2) οργανικών ουσιών στην επιφάνεια των αργιλικών ορυκτών
- ☛ άμεση και έμμεση καθίζηση ρυπαντικών ουσιών που είναι διαλελυμένες στο υπόγειο νερό, κυρίως μέσω ανταλλαγής ή προσρόφησης ιόντων και μετατροπής των ανωτέρω ουσιών σε άλλες μικρότερης διαλυτότητας

Οι μηχανισμοί γεωχημικής υποβάθμισης εξαρτώνται από

- ☛ χημική σύνθεση ουσιών που είναι διαλελυμένες στο υπόγειο νερό
- ☛ γεωχημικές και ορυκτολογικές ιδιότητες των εδαφικών σχηματισμών διαμέσου των οποίων γίνεται η διήθηση
- ☛ την ενεργό οξύτητα (pH) του εδαφικού διαλύματος στην περιοχή της επαφής του υπόγειου νερού με τους αργιλικούς κόκκους

Είδη ρύπων ως προς την υποβάθμιση

1.συντηρητικοί (conservative): δεν προσροφούνται στην επιφάνεια των εδαφικών κόκκων, ούτε υποβαθμίζονται με άλλες χημικές, βιολογικές ή πυρηνικές αντιδράσεις

2.μη συντηρητικοί (non conservative): υποβαθμίζονται με κάποιες από τις ανωτέρω διαδικασίες, οπότε (α) η συνολική μάζα του ρύπου μειώνεται λόγω της υποβάθμισης και (β) η μέση ταχύτητα κίνησης είναι μικρότερη από τη μέση ταχύτητα μεταγωγής του υπόγειου νερού, με συνέπεια να καθυστερεί η επέκταση της ρύπανσης

Ισόθερμες Προσρόφησης (Adsorption Isotherms)

Ισόθερμη Langmuir: θεωρητική, μονομοριακή προσρόφηση

$$q = \frac{x}{m} = \frac{q_m \cdot \beta \cdot C_e}{1 + \beta \cdot C_e}$$

- q : συγκέντρωση προσροφημένης ουσίας ίση με $\frac{x}{m}$ (x μάζα της προσροφημένης ουσίας και m μάζα προσροφητή) (g/g)
- q_m : εμπειρική σταθερά που αντιστοιχεί στη μέγιστη δυνατή συγκέντρωση προσροφημένης ουσίας (ικανότητα προσρόφησης) (g/g)
- β : εμπειρική σταθερά (σχετίζεται με ενθαλπία της προσρόφησης) (m^3/g)
- C_e : συγκέντρωση (ισορροπίας) της ουσίας στο διάλυμα (g/m^3)

$$\frac{C_e}{q} = \left(\frac{1}{\beta q_m} \right) + \left(\frac{1}{q_m} \right) C_e$$

Παραδοχές:

1. Στην επιφάνεια του στερεού προσροφητή υπάρχει ένας συγκεκριμένος αριθμός θέσεων προσρόφησης, οι οποίες είναι ενεργειακά ακριβώς ίδιες.
2. Η προσρόφηση είναι αντιστρεπτή διαδικασία και, μάλιστα, το φαινόμενο ευρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας όταν ο ρυθμός προσρόφησης γίνει ίσος με τον ρυθμό απο-προσρόφησης. Με άλλα λόγια, ο ρυθμός του φαινομένου είναι ανάλογος της διαφοράς συγκέντρωσης μεταξύ της εν διαλύσει ουσίας και αυτής που έχει προσροφηθεί. Όταν αυτή η διαφορά γίνει μηδέν, το φαινόμενο της προσρόφησης έχει περατωθεί και έχει επιτευχθεί ισορροπία.

Συμφωνία πειραματικών δεδομένων με ισόθερμη Langmuir δεν σημαίνει ότι αυτές οι δυο υποθέσεις παραμένουν εν ισχύ - ενδέχεται οι διεργασίες που τις παραβιάζουν να έχουν αντίθετα αποτελέσματα ώστε η μια να αναιρεί την άλλη

Ισόθερμη Freundlich: εμπειρική, προσρόφηση πολλών μοριακών στρωμάτων

$$q = \frac{x}{m} = KC_e^{1/n}$$

q : συγκέντρωση προσροφημένης ουσίας (πηλίκο μάζας ουσίας που έχει προσροφηθεί, x , προς μάζα στερεού προσροφητή, m) (g/g)

C_e : συγκέντρωση ισορροπίας (μετά την ολοκλήρωση της προσρόφησης) της ουσίας στο διάλυμα (g/m³)

K, n : σταθερές

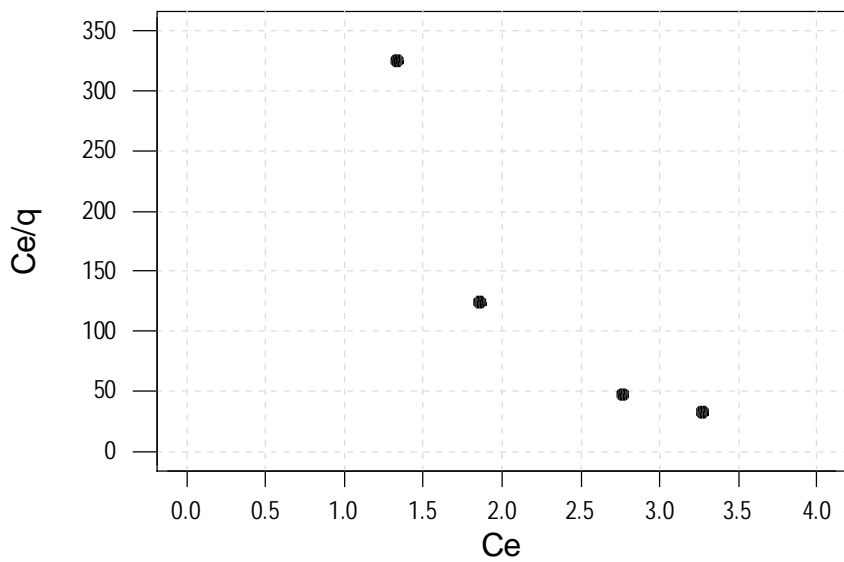
$$\log_{10} q = (\log_{10} K) + \left(\frac{1}{n}\right) \log_{10} C_e$$

Παράδειγμα 1

Μάζα ενεργοποιημένου άνθρακα (g)	Συγκέντρωση ισορροπίας προσροφούμενης ουσίας (mg/L)
0.0	3.37
0.001	3.27
0.01	2.77
0.1	1.86
0.5	1.33

C_0	C_e	x	m	q	$C_e \cdot q$	\log_q	\log_{C_e}
3.37	3.27	0.10	0.001	0.100	32.700	-1.00000	0.514548
3.37	2.77	0.60	0.010	0.060	46.167	-1.22185	0.442480
3.37	1.86	1.51	0.100	0.015	123.179	-1.82102	0.269513
3.37	1.33	2.04	0.500	0.004	325.980	-2.38934	0.123852

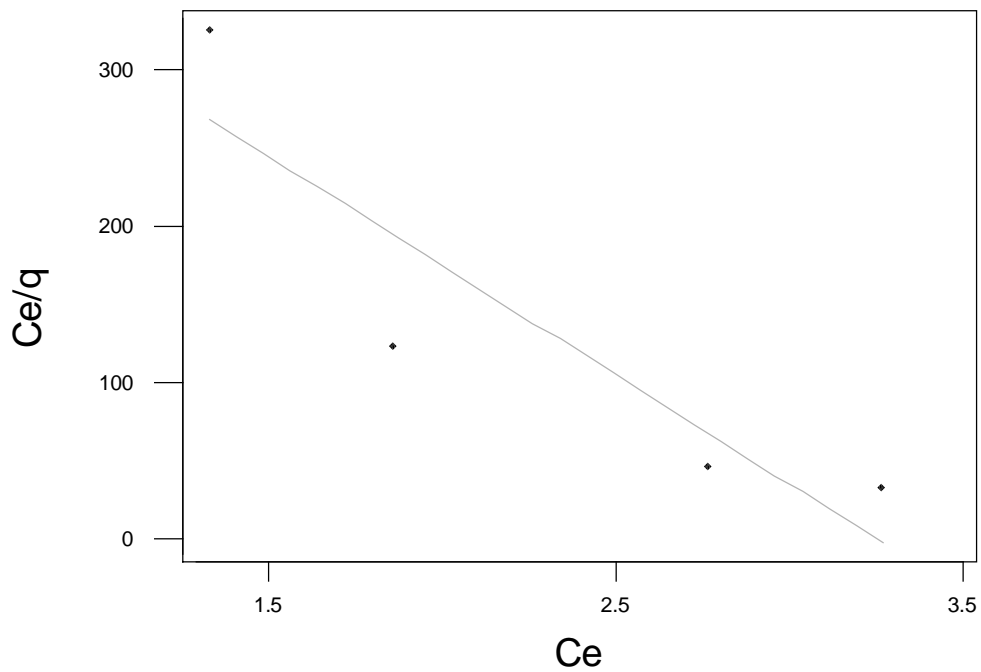
Ισόθερμη Langmuir



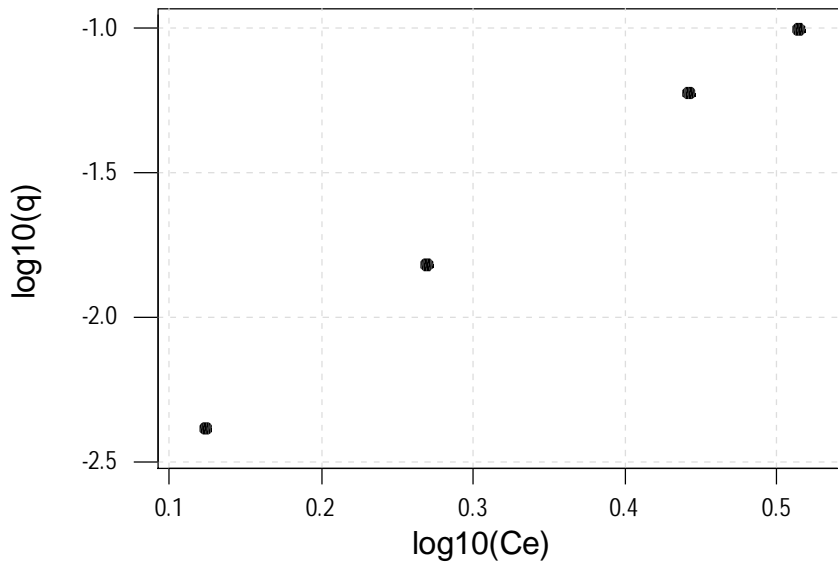
Regression Plot

$$Y = 454.546 - 139.779X$$

$$R-Sq = 81.7 \%$$



Ισόθερμη Freundlich



Regression Analysis

The regression equation is
 $\log_q = - 2.81 + 3.56 \log_{Ce}$

4 cases used 1 cases contain missing values

Predictor	Coef	StDev	T	P
Constant	-2.80924	0.03772	-74.47	0.000
log_Ce	3.5580	0.1019	34.93	0.001

S = 0.03100 R-Sq = 99.8% R-Sq(adj) = 99.8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1.1727	1.1727	1220.03	0.001
Residual Error	2	0.0019	0.0010		
Total	3	1.1746			

$$\alpha_0 = -2.81 = \log_{10}(K) \Rightarrow K = 0.00155$$
$$\alpha_1 = 3.56 = \frac{1}{n} \Rightarrow n = 0.281$$

ισόθερμη Freundlich:

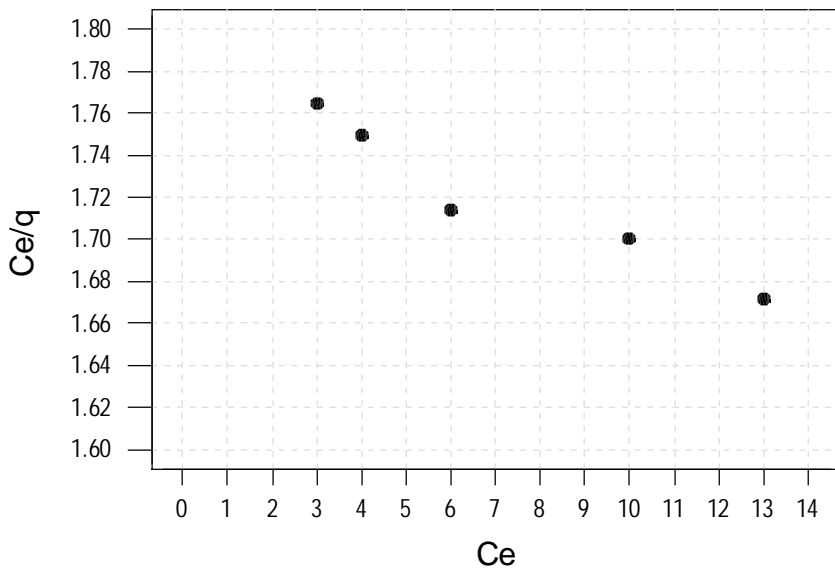
$$q = \frac{x}{m} = 0.0016 \times C_e^{3.6}$$

Παράδειγμα 2

Μάζα ενεργοποιημένου άνθρακα (g)	Συγκέντρωση προσροφούμενης ουσίας στην υδατική διάλυση (g/L)
0.0	20
0.9	13
1.7	10
4.0	6
7.0	4
10.0	3

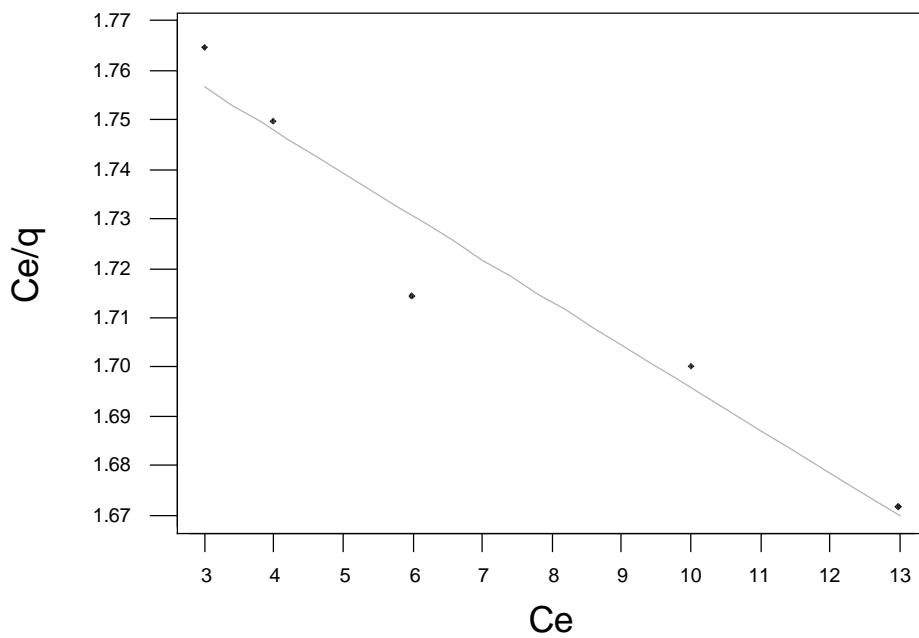
C0	Ce	x	m	q	Ce_q	log_q	log_Ce
20	13	7	0.9	7.8	1.67	0.890856	1.11394
20	10	10	1.7	5.9	1.70	0.769551	1.00000
20	6	14	4.0	3.5	1.71	0.544068	0.77815
20	4	16	7.0	2.3	1.75	0.359022	0.60206
20	3	17	10.0	1.7	1.76	0.230449	0.47712

Ισόθερμη Langmuir



Regression Plot

$$Y = 1.78259 - 8.68E-03X$$
$$R-Sq = 93.8 \%$$



Regression Analysis

The regression equation is
 $Ce_q = 1.78 - 0.00868 C_e$

Predictor	Coef	StDev	T	P
Constant	1.78259	0.01050	169.77	0.000
Ce	-0.008681	0.001292	-6.72	0.007

S = 0.01088 R-Sq = 93.8% R-Sq(adj) = 91.7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0.0053356	0.0053356	45.11	0.007
Residual Error	3	0.0003548	0.0001183		
Total	4	0.0056904			

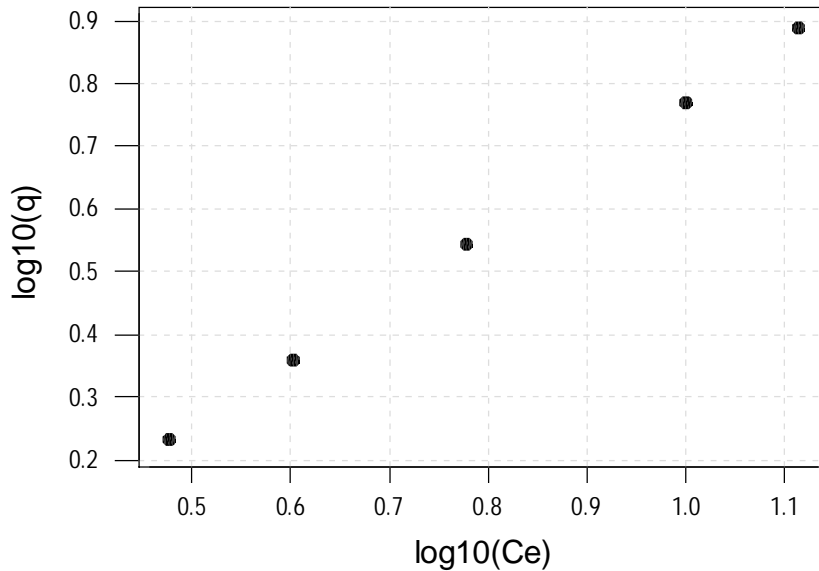
$$\alpha_1 = -0.00868 = \frac{1}{q_m} \Rightarrow q_m = -115$$

$$\alpha_0 = 1.78 = \frac{1}{\beta q_m} \Rightarrow \beta = \frac{1}{1.78 \times (-115)} = -0.00489$$

ισόθερμη Langmuir:

$$q = \frac{x}{m} = \frac{q_m \cdot \beta \cdot C_e}{1 + \beta \cdot C_e} = \frac{(-115) \times (-0.00489) \times C_e}{1 + (-0.00489) \times C_e} = \frac{0.56 \cdot C_e}{1 - 0.0049 \cdot C_e}$$

Ισόθερμη Freundlich



λογαριθμικό σχήμα: δεδομένα σε ευθεία γραμμή

Regression Analysis

The regression equation is
 $\log_{10} q = -0.264 + 1.04 \log_{10} C_e$

Predictor	Coef	StDev	T	P
Constant	-0.263534	0.002942	-89.58	0.000
log_Ce	1.03534	0.00355	291.75	0.000

S = 0.001886 R-Sq = 100.0% R-Sq(adj) = 100.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0.30261	0.30261	85116.80	0.000
Residual Error	3	0.00001	0.00000		
Total	4	0.30262			

$$\alpha_0 = -0.264 = \log_{10}(K) \Rightarrow K = 0.545$$
$$\alpha_1 = 1.04 = \frac{1}{n} \Rightarrow n = 0.962$$

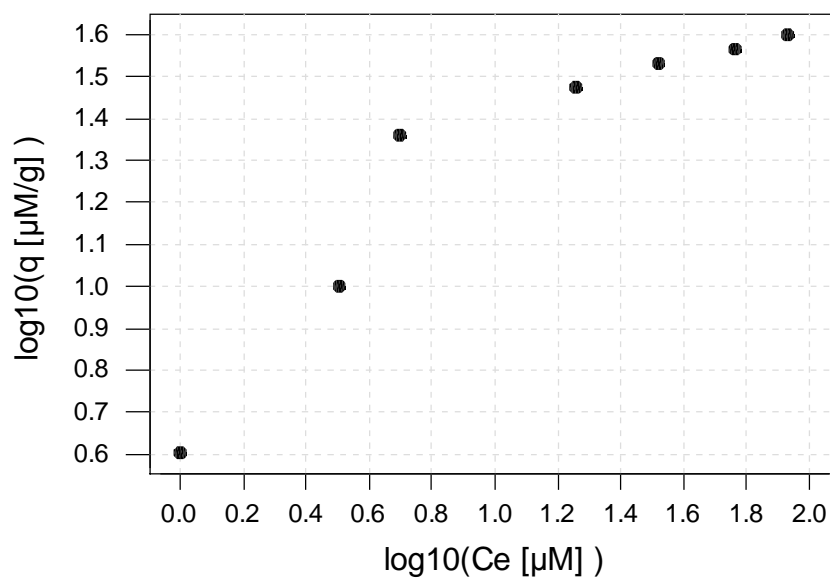
ισόθερμη Freundlich

$$q = \frac{x}{m} = K \cdot C_e^{1/n} = 0.55 \times C_e$$

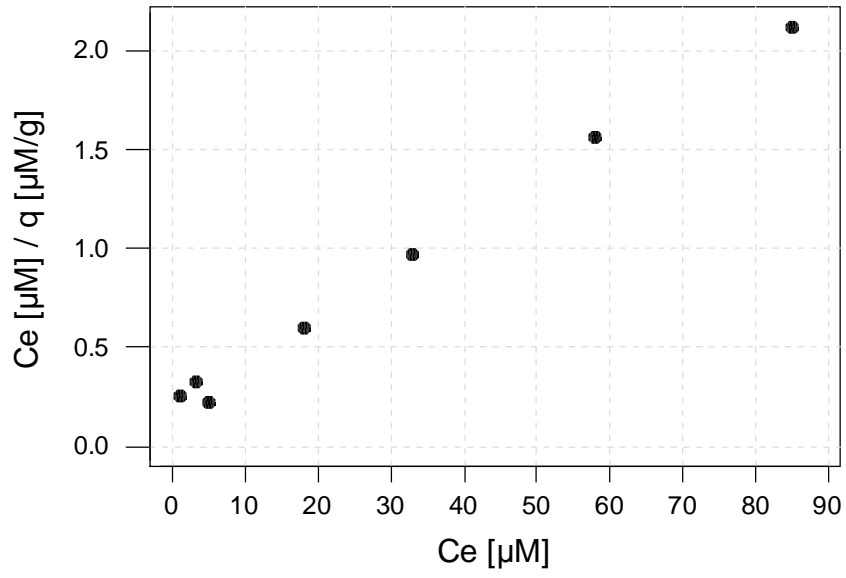
Παράδειγμα 3

Προσροφηθείσα ποσότητα φωσφορικών ($\mu\text{mol/g Al}_2\text{O}_3$)	Υπόλοιπο φωσφορικών εν διαλύσει (μM)
4.0	1.0
10	3.2
23	5.0
30	18
34	33
37	58
40	85

Ισόθερμη Freundlich



Ισόθερμη Langmuir



Regression Plot

$$Y = 0.197255 + 2.30E-02X$$
$$R\text{-Sq} = 99.5 \%$$

