

6.1 Πηγές παράκτιων ιζηµάτων

Το χαλαρό υλικό της παράκτιας ζώνης από το οποίο σχηµατίζονται οι παράκτιες γεωµορφές απόθεσης ως επί το πλείστον είναι προϊόν της αποσάθρωσης και διάβρωσης των πετρωµάτων χερσαίων περιοχών. Το ιζηµα αυτό μεταφέρεται στην παράκτια ζώνη είτε µε τη βοήθεια του νερού (ποτάµια, χείµαρροι) και του πάγου (παγετώνες) είτε µε τη δράση του ανέµου. Η διαµόρφωση των παράκτιων γεωµορφών απόθεσης (όπως είναι οι αιγιαλοί, οι θίνες, οι παράκτιες συγκεντρικές ζώνες χαλαρών υλικών, οι ηµισεληνοειδείς αµµώδεις σχηµατισµοί) οφείλεται στην επεξεργασία και αναδιανοµή των ιζηµάτων της παράκτιας ζώνης από τις διάφορες µορφές ενέργειας που δρουν στην ακτή. Η ενέργεια που δρα στην παράκτια ζώνη περιλαµβάνει κυρίως τον κυµατισµό, τα παράκτια ρεύµατα, την παλίρροια και τον άνεµο.

Η διάβρωση που πραγµατοποιείται στην παράκτια ζώνη είναι υπεύθυνη για ένα πολύ µικρό ποσοστό των ιζηµάτων που εισέρχονται στη θάλασσα. Ο Inman (1960) διαπίστωσε ότι ακόµη και σε εύκρατες περιοχές της γης, όπου εμφανίζεται η µεγαλύτερη κυµατική ενέργεια, ένα ποσοστό µικρότερο από το 5% των παράκτιων ιζηµάτων είναι αποτέλεσµα της διάβρωσης των παράκτιων κρηµνών. Το συµπέρασµα αυτό ενισχύθηκε αργότερα και από άλλους ερευνητές. Ο Valentin (1954) έδειξε ότι, παρά το γρήγορο ρυθµό διάβρωσης των ακτών της ανατολικής Αγγλίας που ανέρχεται σε 1,5 m/έτος, µια ποσότητα µικρότερη από το 3 % του υλικού που προέκυψε από τη διάβρωση αυτή, βοήθησε στη δηµιουργία ή τον εμπλουτισµό των γειτονικών αιγιαλών. Οι Emery & Milliman (1978) υπολόγισαν ότι ένας μέσος ρυθµός διάβρωσης 5 cm/έτος του συνόλου των παράκτιων κρηµνών των ακτών όλου του κόσµου, (µήκους περίπου 50.000 km), θα παρείχε µόνο το 0,04% της συνολικής ποσότητας των ιζηµάτων που προσφέρονται στους ωκεανούς από τα ποτάµια.

Τα ποτάµια και οι χείµαρροι προσφέρουν πάνω από το 90% του συνόλου των ιζηµάτων που καταλήγουν στους ωκεανούς. Αµέσως µετά είναι οι παγετώνες και τέλος οι βιογενείς πηγές.

6.2 Χαρακτηριστικά και ιδιότητες των ιζηματογενών κόκκων

Το ιζηµα της παράκτιας ζώνης, από το οποίο αποτελούνται οι παράκτιες γεωµορφές, ποικίλει αρκετά σε ότι αφορά το µέγεθος, τη µορφή, και το σχήµα των κόκκων

του. Μπορεί να κυµαίνεται από αποστρογγυλωµένους ογκόλιθους (boulders), που φθάνουν σε µέγεθος παρόµοιο µε αυτό ενός αυτοκινήτου, µέχρι κόκκους που δύσκολα είναι ορατοί µε γυµνό µάτι. Κάθε κόκκος ιζηµατος, µπορεί να περιγραφεί µε την προέλευση, το µέγεθος και το σχήµα - µορφή του.

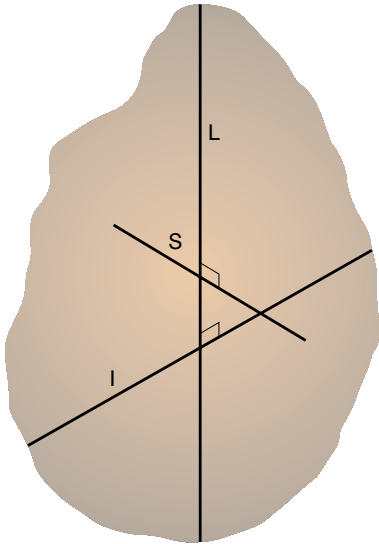
6.2.1 Προέλευση των κόκκων

Οι ιζηματογενείς κόκκοι ανάλογα µε την προέλευσή τους µπορούν να διακριθούν σε:

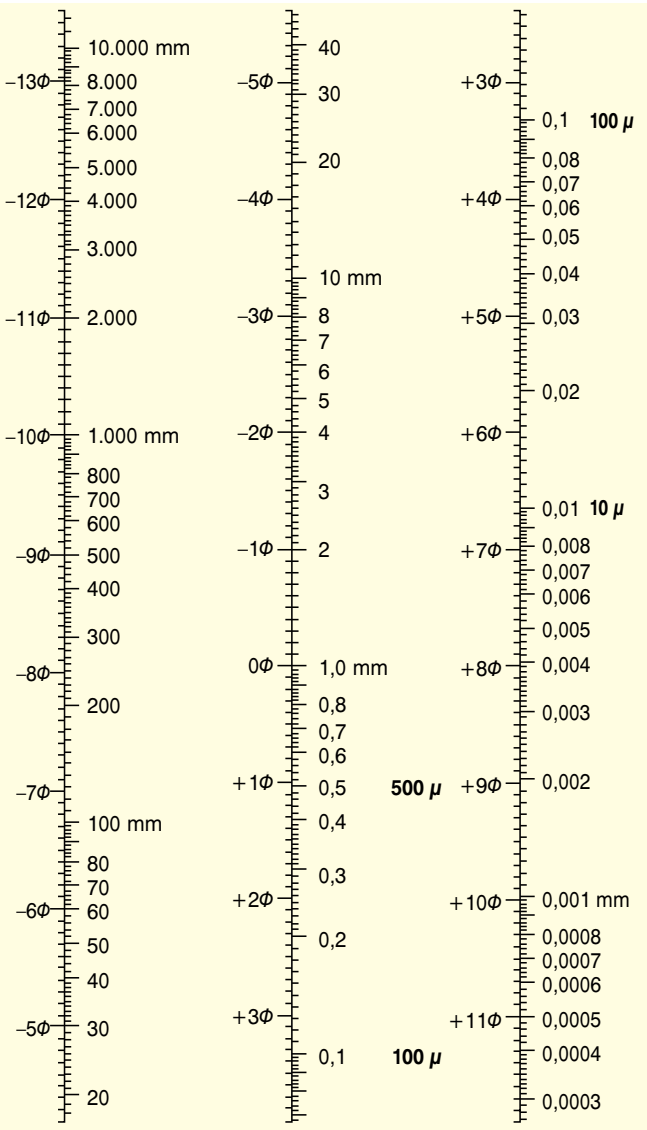
- **Κόκκους που έχουν προκύψει από τον θρυμματισµό πετρωµάτων (lithogenic).** Οι κόκκοι που έχουν µέγεθος κροκάλας ή ακόµη και µεγαλύτερες διαστάσεις συνήθως αποτελούν τεµάχια διαβρωµένου πετρώµατος.
- **Κόκκους που αποτελούνται από ένα µόνο ορυκτό (minerogenic).** Είναι κόκκοι ορυκτών όπως ο χαλαζίας, οι άστριοι, οι μαρµαρυγίες που έχουν προκύψει από την αποσάθρωση και τον θρυμματισµό των πετρωµάτων.
- **Κόκκους βιογενούς προέλευσης (biogenic).** Πρόκειται για κόκκους που αποτελούν κελύφη ή θραύσµατα κελυφών θαλάσσιων οργανισµών ή υπολείµµατα οστράκων και κοραλλιών.

6.2.2 Μέγεθος κόκκων

Το µέγεθος των κόκκων είναι η σηµαντικότερη ιδιότητα των ιζηµάτων καθώς είναι καθοριστική για πολλές παράκτιες γεωµορφολογικές διεργασίες. Ένας κόκκος που έχει διπλάσια διάµετρο από έναν άλλο έχει και οκταπλάσια µάζα σε σχέση µε αυτόν γεγονός που διαφοροποιεί σηµαντικά τη δυναµική και κινητική τους κατάσταση. Η απλούστερη µέτρηση που µπορεί να γίνει για τον προσδιορισµό του µεγέθους ενός κόκκου είναι τα µήκη των τριών αξόνων του (µέγιστου (L), ενδιάµεσου (I) και µικρού (S)) (σχήµα 6.1). Οι ενδιάµεσος (I) και µικρός (S) άξονες µετρώνται κάθετα στον µέγιστο άξονα (L). Οι διαστάσεις αυτές για τους µεγάλους κόκκους µπορούν να µετρηθούν άµεσα µε παχύµετρο ενώ για τους µικρότερους κόκκους η µέτρηση γίνεται έµμεσα µε τη διαδικασία του κοσκινίσµατος, µε την παρατήρησή τους στο µικροσκόπιο ή µε µεθόδους που σχετίζονται µε το ρυθµό καθίζησής τους σε υγρό µέσο γνωστού ιξώδους. Όταν η µέτρηση του µεγέθους γίνεται µε την µέθοδο του κοσκινίσµατος, όπου οι κόκκοι υποχρεούνται να περάσουν µέσα από τις οπές ενός πλέγµατος, είναι προφανές ότι η έννοια του µεγέθους ταυτίζεται µε



Σχήμα 6.1 Οι τρεις άξονες ενός κόκκου ιζήματος. L είναι ο μέγιστος, I ο ενδιάμεσος και S ο μικρός άξονας. Τόσο ο ενδιάμεσος (I) όσο και ο μικρός (S) άξονας μετρώνται κάθετα στον μεγιστο (L).



Σχήμα 6.2 Σχέση μεταξύ των κλιμάκων του μεγέθους των ιζηματογενών κόκκων σε mm και σε μονάδες Φ.

Πίνακας 6.1 Γενική ονοματολογία των κόκκων των ιζημάτων ανάλογα με τη διάμετρό τους (σε mm)

Διάμετρος κόκκου	Ονομασία
>2 mm	χάλικες (gravel)
2 mm – 0,0625 mm	άμμος (sand)
0,0625 mm – 0,0020 mm	ιλύς (silt)
<0,0020 mm	άργιλος (clay)

το μήκος του ενδιάμεσου (I) άξονα των τρισδιάστατων κόκκων. Αν η ανάλυση του μεγέθους γίνεται με μεθόδους καθίζησης το μέγεθος εκφράζεται με την ογκοδιάμετρο, τη διάμετρο δηλαδή μιας σφαίρας που έχει τον ίδιο όγκο με τον όγκο του υπό μέτρηση κόκκου.

Η ταξινόμηση και η ονοματολογία των κόκκων γίνεται σε σχέση με το μήκος του ενδιάμεσου (I) άξονά τους.

Το μέγεθος των κόκκων των ιζημάτων μετράται χρησιμοποιώντας γεωμετρική ή αριθμητική κλίμακα. Στη γεωμετρική (κλασματική σε mm) κλίμακα οι βαθμίδες των μεγεθών ακολουθούν γεωμετρική πρόοδο ενώ η αριθμητική (λογαριθμική σε μονάδες Φ) κλίμακα περιλαμβάνει ακέραιους αριθμούς θετικούς και αρνη-

Πίνακας 6.2 Ταξινόμηση και ονοματολογία ιζηματογενών κόκκων κατά Udden-Wentworth (1922)

Διάμετρος κόκκων mm Φ		Ονοματολογία τάξης μεγέθους	
4096	-12	ΚΡΟΚΑΛΕΣ - ΧΑΛΙΚΕΣ	ογκόλιθος (boulders)
2048	-11		
1024	-10		
512	-9		
256	-8		
128	-7		κροκάλες (cobbles)
64	-6		
32	-5		βότσαλα (pebbles)
16	-4		
8	-3		
4	-2	ΨΗΦΙΔΕΣ (granules)	
2	-1		
1	0		
0,5	+1		πολύ χονδρόκοκκη άμμος (sand)
0,25	+2		
0,125	+3		
0,062	+4		
0,031	+5		
0,016	+6	ΑΜΜΟΣ	χονδρόκοκκη άμμος (sand) μεσόκοκκη άμμος λεπτόκοκκη άμμος πολύ λεπτόκοκκη άμμος
0,0078	+7		
0,0040	+8		
0,0020	+9		
0,00098	+10		
0,00049	+11	ΙΛΥΣ	χονδρόκοκκη ιλύς μεσόκοκκη ιλύς λεπτόκοκκη ιλύς
0,00024	+12		
		ΑΡΓΙΛΟΣ	άργιλος (clay)

τικούς. Η κλίμακα μεγεθών σε μονάδες Φ προτάθηκε από τον Krumbein το 1934 και ως Φ ορίζεται ο αρνητικός λογάριθμος με βάση το 2 της διαμέτρου του κόκκου (σε mm) δηλαδή:

$$\Phi = -\log_2 d$$

όπου d είναι η διάμετρος του κόκκου σε mm.

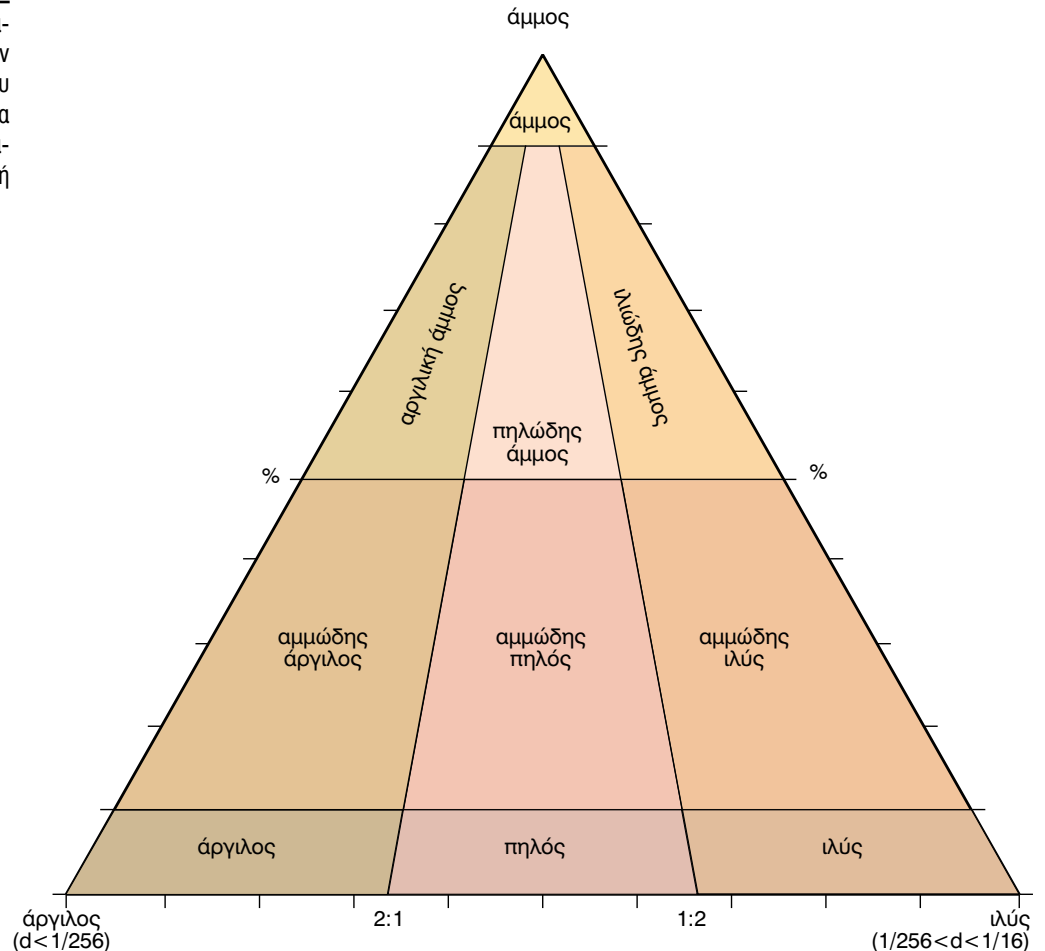
Στο σχήμα 6.2 παρατίθεται πίνακας που δείχνει τη σχέση μεταξύ των δύο κλιμάκων (mm και μονάδων Φ).

Ονομασίες όπως ογκόλιθος (boulder), χάλικας (gravel), άμμος (sand), ιλύς (silt), και άργιλος (clay) είναι όροι που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν το μέγεθος των κόκκων (σταδιακά από τις μεγαλύτερες προς τις μικρότερες διαστάσεις) (πίνακας 6.1).

Σύμφωνα με τους Udden & Wentworth (1992) οι κόκκοι ταξινομούνται όπως φαίνεται στον πίνακα 6.2. Τα όρια μεταξύ του εύρους μεγέθους για κάθε κατηγορία δίνονται τόσο σε mm όσο και σε μονάδες Φ .

Για την ονοματολογία των λεπτομερών (λεπτόκοκκων) ιζημάτων που αποτελούν μείγμα άμμου, ιλύος και αργίλου χρησιμοποιείται το τρίγωνο ταξινόμησης του σχήματος 6.3 (κατά Folk, 1980). Ανάλογα με την κατά βάρος συμμετοχή κάθε μιας κοκκομετρικής τάξης (άμμος, ιλύς, άργιλος) το ιζημα προβάλλεται ως ένα σημείο στο τρίγωνο και η ονομασία του προκύπτει από το πεδίο στο οποίο αντιστοιχεί.

Σχήμα 6.3 Ταξινόμηση και ονοματολογία των λεπτόκοκκων ιζημάτων κατά Folk (1980). Οι κορυφές του τριγώνου αντιστοιχούν σε ιζημα που αποτελείται σε ποσοστό μεγαλύτερο από 90% από άμμο, ιλύ ή άργιλο αντίστοιχα.



6.2.3 Κοκκομετρική ανάλυση ιζημάτων

Πολλές φορές για την κατανόηση των παράκτιων και όχι μόνο διεργασιών που είναι υπεύθυνες για το σχηματισμό συγκεκριμένων γεωμορφών απαιτείται η λήψη δειγμάτων ιζήματος από τα περιβάλλοντα απόθεσης και η κοκκομετρική τους ανάλυση. Έτσι δίνεται η δυνατότητα να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με το μέσο που μετέφερε το συγκεκριμένο ιζημα (θαλάσσιο ή ποτάμιο νερό, άνεμος κ.α.).

Ακολουθεί η περιγραφή του τρόπου δειγματοληψίας του ιζήματος, της προετοιμασίας των δειγμάτων και των μεθόδων κοκκομετρικής ανάλυσης που εφαρμόζονται για την άμμο (κοσκίνισμα) και για τα περισσότερα λεπτόκοκκα κλάσματα διαμέτρου μικρότερης των 0,063 mm (μέθοδος πιπέτας). Επιπλέον, περιγράφονται οι τρόποι απεικόνισης των αποτελεσμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης, ο υπολογισμός των ποσοτικών παραμέτρων και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

6.2.3.1 Δειγματοληψία – προετοιμασία δειγμάτων

Για την κοκκομετρική ανάλυση του ιζήματος τίθεται το θέμα της ποσότητας του δείγματος που πρέπει να ληφθεί. Από τη μία το δείγμα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό του ιζήματος της περιοχής από την οποία

λαμβάνεται, από την άλλη όμως να απλοποιεί, όσο είναι δυνατό, την τεχνική της κοκκομετρικής ανάλυσης. Για τη διαδικασία του κοσκινίσματος, όσο μικρότερη είναι η ποσότητα του δείγματος, τόσο περισσότερο ακριβής είναι η τεχνική, λιγότερο όμως αντιπροσωπευτικό το δείγμα. Για ιζήμα μεγέθους κόκκων άμμου θεωρείται επαρκές ένα δείγμα 100 gr ενώ για περισσότερο χονδρόκοκκο υλικό, ειδικά όταν περιλαμβάνει μεγάλο εύρος μεγέθους κόκκων, η κοκκομετρική ανάλυση απαιτεί τη λήψη μεγαλύτερης ποσότητας ιζήματος. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για ιζήμα που αποτελείται από κόκκους με διάμετρο μεγαλύτερη από 2,5 cm απαιτείται η λήψη δείγματος βάρους 5 kgf ενώ για υλικό διαμέτρου μεγαλύτερης των 5 cm απαιτείται δείγμα 35 kgf.

Πριν τη διαδικασία του κοσκινίσματος είναι απαραίτητη η ξήρανση και ο προσεκτικός διαχωρισμός (διασκόρπιση) των κόκκων του ιζήματος. Η απλούστερη μέθοδος διαχωρισμού των κόκκων είναι η συντριβή του δείγματος σε πήλινο γουδί με ένα γουδοχέρι λαστιχένιας απόληξης. Με τη μέθοδο αυτή υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να καταστραφούν τα εύθραυστα κλάσματα. Μια άλλη μέθοδος, που χρησιμοποιείται συχνότερα, είναι ο διαχωρισμός των κόκκων του δείγματος με νερό. Παρασκευάζεται ένα διάλυμα νερού με εξαμεταφωσφορικό νάτριο (Calgon) (σε περιεκτικότητα 1gr/ltr) ή Teepol (σε περιεκτικότητα 4 σταγόνες/ltr). Το δείγμα τοποθετείται εντός του διαλύματος, αναδεύεται και παραμένει εντός αυτού για μια νύχτα. Στη συνέχεια ξηραίνεται σε φούρνο για να απομακρυνθεί η υγρασία.

6.2.3.2 Κοκκομετρική ανάλυση άμμου

Η κοκκομετρική ανάλυση για ιζήμα με κόκκους διαμέτρου μεγαλύτερης των 0,063 mm, δηλαδή για το μέρος του δείγματος που ονομάζεται άμμος, πραγματοποιείται με κόσκινα. Ο εξοπλισμός που απαιτείται είναι μια σειρά από κόσκινα διαφορετικής διαμέτρου, ένας ηλεκτρονικός ζυγός ακριβείας και μια συσκευή δόνησης. Το βάρος του δείγματος, που πρέπει να υποστεί τη διαδικασία του κοσκινίσματος, συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 100 και 1000 gr ανάλογα με το αν πρόκειται για λεπτόκοκκη ή χονδρόκοκκη άμμο ή για μείγμα άμμου και χαλίκων αντίστοιχα. Συνοπτικά η διαδικασία έχει ως εξής:

Τα κόσκινα που θα χρησιμοποιηθούν τοποθετούνται διαδοχικά έτσι ώστε να σχηματίζουν μια κατακόρυφη στήλη των οποίων η διάμετρος των ανοιγμάτων ελαττώνεται, από την κορυφή προς τη βάση, κατά γεωμετρική πρόοδο με ορισμένο λόγο (φωτο 6.1). Οι διαστάσεις των ανοιγμάτων στα κόσκινα δεν ακολουθούν αριθμητική αλλά γεωμετρική πρόοδο, διότι για την ανάλυση του δείγματος ενδιαφέρουν οι σχετικές διαφορές και όχι οι απόλυτες τιμές των διαμέτρων των κόκκων. Έτσι τα κόσκινα τοποθετούνται κατά σειρά μειούμενου μεγέθους με το κόσκινο μεγαλύτερης διαμέτρου (που κατακρατά το περισσότερο χονδρόκοκκο κλάσμα) στην κορυφή της διάταξης.



Φωτο 6.1 Σειρά κοσκίνων Retsch με διαμέτρους 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,250 mm, 0,125 mm και 0,063 mm που χρησιμοποιούνται για την κοκκομετρική ανάλυση δειγμάτων άμμου. Τα κόσκινα έχουν τοποθετηθεί κατά σειρά μειούμενης διαμέτρου στη συσκευή δόνησης.

Το ξηρό δείγμα του ιζήματος ζυγίζεται και τοποθετείται στο πάνω κόσκινο. Στο κάτω μέρος της στήλης τοποθετείται πιάτο (τάσι) που συλλέγει το λεπτόκοκκο κλάσμα που διέρχεται από το κατώτερο, μικρότερον ανοιγμάτων, κόσκινο που συνήθως έχει διάμετρο ανοίγματος 0,063 mm που αποτελεί το όριο ιλύος - άμμου (πίνακας 6.1). Η σειρά των κοσκίνων τοποθετείται στη συσκευή δόνησης η οποία τίθεται σε λειτουργία ρυθμίζοντας τον χρονοδιακόπτη για 10 min. Μετά την παύση της λειτουργίας της συσκευής τα κόσκινα απομακρύνονται προσεκτικά ώστε να περιοριστούν κατά το δυνατόν οι απώλειες σε ιζήμα. Το ιζήμα που έχει κατακρατηθεί σε κάθε κόσκινο συλλέγεται προσεκτικά και ζυγίζεται με ζυγό ακριβείας και το βάρος του ιζήματος κάθε κόσκινου ανάγεται σε % του βάρους του αρχικού δείγματος.

Ο τρόπος αυτός της κοκκομετρικής ανάλυσης δεν είναι απόλυτα ακριβής διότι, όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι κόκκοι της άμμου δεν είναι σφαιρικοί και συνεπώς δεν έχουν μία διάμετρο αλλά τρεις άξονες. Στην περίπτωση κόκκων ωοειδούς σχήματος η μετρούμενη από το κόσκινο διάσταση είναι στην πραγματικότητα ο ενδιάμεσος άξονας (I) των κόκκων της άμμου ($L > I > S$). Έτσι επιμήκεις κόκκοι ορισμένης μάζας περνούν από ένα συγκεκριμένο κόσκινο, ενώ το ίδιο κόσκινο συγκρατεί κόκκους σφαιρικούς της ίδιας μάζας και μικρότερης διαμέτρου ($L = I = S$).

Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων είναι μικρή όταν τα κόσκινα είναι κατεστραμμένα ή φραγμένα σε σημαντικό βαθμό. Η παρουσία ιλύος και αργίλου στο δείγμα φράσσει τα ανοίγματα των κοσκίων. Συνεπώς απαραίτητη προϋπόθεση για την ακρίβεια της μεθόδου είναι ο καλός καθαρισμός των κοσκίων πριν τη χρήση τους.

6.2.3.3 Κοκκομετρική ανάλυση λεπτόκοκκων ιζημάτων (ιλύς και αργίλου)

Οι διαμέτροι των κόκκων των λεπτομερών ιζημάτων (τάξης μεγέθους <0,063 mm) λόγω του μικρού τους μεγέθους δεν μπορούν να μετρηθούν με τη διαδικασία του κοσκινίσματος. Έτσι αναπτύχθηκαν μέθοδοι έμμεσης μέτρησης που βασίζονται στην εκτίμηση του μεγέθους των σωματιδίων από το ρυθμό με τον οποίο καθιζάνουν σε υγρό μέσο. Στη συνέχεια περιγράφεται το σκεπτικό και η μεθοδολογία που ακολουθείται για την ανάλυση των λεπτόκοκκων ιζημάτων.

6.2.3.3.1 Μέθοδος της πιπέτας - Βασικές αρχές της μεθόδου

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται συχνότερα για την ανάλυση δειγμάτων που περιλαμβάνουν μεγάλο ποσοστό λεπτόκοκκων υλικών (ιλύ και αργίλο) ονομάζεται μέθοδος της πιπέτας. Ο υπολογισμός των διαμέτρων των κόκκων βασίζεται στη διαφορετική ταχύτητα καθίζησης των διαφορετικού μεγέθους κόκκων σε υγρό μέσο (γνωστού ιξώδους). Όταν η καθίζηση όλων των κόκκων του δείγματος αρχίσει την ίδια χρονική στιγμή, οι μεγαλύτερων διαστάσεων κόκκοι θα περάσουν από ένα ορισμένο σημείο πιο γρήγορα απ' ότι οι μικρότεροι. Υπολογίζοντας τον ακριβή χρόνο που θα περάσουν από το σημείο αυτό, λαμβάνεται μια ποσότητα από το εναιώρημα του ιζήματος και υπολογίζεται η αναλογία τους σε ολόκληρο το δείγμα. Αυτό μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

- μετρώντας τη συγκέντρωση των κόκκων που παραμένουν σε αιώρηση συναρτήσει του χρόνου, ή
- μετρώντας την ποσότητα του ιζήματος που καθιζάνει συναρτήσει του χρόνου.

Η ταχύτητα καθίζησης των υλικών σε υγρό μέσο, δίνεται από το νόμο του Stokes. Σύμφωνα με το νόμο αυτό, σε ένα σωματίδιο που πέφτει λόγω βαρύτητας (καθιζάνει) μέσα σε ένα ιξώδες υγρό, επενεργούν τρεις δυνάμεις: η δύναμη της βαρύτητας προς τα κάτω, η άνοση προς τα πάνω και η αντίσταση που προκαλεί το υγρό μέσο επάνω στο σωματίδιο. Η εξίσωση αυτής της κίνησης είναι:

$$m g - m_0 g - F_D = m_0 \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

όπου m είναι η μάζα του σωματιδίου,
 m_0 είναι η μάζα ενός όγκου υγρού ίσου με τον όγκο του σωματιδίου,
 g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας (ίση με 9,81 m/s²),

F_D είναι η δύναμη της αντίστασης,

v είναι η ταχύτητα του σωματιδίου και

t είναι ο χρόνος.

Τα μικρά σωματίδια φτάνουν σε μία σταθερή ή τελική ταχύτητα πολύ γρήγορα, δηλαδή το πηλίκο dv/dt γίνεται μηδέν. Η εξίσωση της κίνησης για σφαίρα διαμέτρου D και πυκνότητας ρ που πέφτει σε υγρό πυκνότητας ρ_0 γίνεται:

$$F_D = \frac{\pi (\rho - \rho_0) g D^3}{6} \quad (2)$$

Η ανάλυση στο χώρο μιας σταθερής κίνησης σωματιδίου σε υγρό μέσο ορίζει δύο αδιάστατα μέρη: τον αριθμό Reynolds (R_e) του σωματιδίου που δίνεται από τον τύπο:

$$R_e = \frac{D v \rho_0}{\eta} \quad (\eta: \text{ιξώδες υγρού}) \quad (3)$$

και ένα συντελεστή αντίστασης C_D :

$C_D = \text{δύναμη αντίστασης} / [(\text{εμβαδόν κάθετης τομής σωματιδίου})(\text{δυναμική πίεση πάνω στο σωματίδιο})] =$

$$= \frac{F_D}{[(\pi D^2/4) (\rho_0 v^2/2)]} \quad (4)$$

Η σχέση μεταξύ R_e και C_D για τυρβώδεις συνθήκες ροής (για μικρές τιμές του αριθμού Reynolds) ορίζεται πειραματικά ως εξής:

$$C_D = \frac{24}{R_e} \quad (5)$$

Σχετίζοντας τις εξισώσεις (2) και (5) προκύπτει:

$$D^2 = \frac{18 \eta v}{(p - p_0) g} \quad \text{ό} \quad D = \sqrt{\frac{(18 \eta)}{(p - p_0) g h/t}} \quad \text{ή}$$

$$v = \frac{2 (p - p_0) r^2 g}{9 \eta}$$

η οποία ορίζεται σαν "εξίσωση του νόμου του Stokes".

Ο νόμος του Stokes προϋποθέτει τη σφαιρική μορφή των κόκκων, τη λεία εξωτερική τους επιφάνεια, την ομοιογένεια, τη σταθερή θερμοκρασία και το σταθερό ιξώδες. Οι χρόνοι και τα αντίστοιχα βάθη, κάτω από τα οποία κόκκοι δεδομένης διαμέτρου (4Φ, 5Φ, κ.ο.κ.) καθιζάνουν συναρτήσει της θερμοκρασίας του αιωρήματος, υπολογίζονται μαθηματικά.

6.2.3.3.1 Περιγραφή της μεθόδου

Το δείγμα του ιζήματος, βάρους 15 gr, τοποθετείται σε beaker με απεσταγμένο νερό και στη συνέχεια σε συσκευή υπερήχων. Εάν κριθεί απαραίτητο αναδεύεται με ηλεκτρικό αναδευτήρα. Με τη βοήθεια σιδερένιου δακτυλίου και ενός σφιγκτήρα, τοποθετείται κόσκινο διαμέτρου 0,063 mm σε ένα χωνί και κάτω από αυτό τοποθετείται ένα δοχείο 1.000 ml. Το δείγμα μεταφέρε-

ται στο κόσκινο και πλένεται με τη βοήθεια υδροβολέα. Αν έχει γίνει καλή ανάδευση, τα λεπτόκοκκα υλικά θα περάσουν από το κόσκινο με σχετική ευκολία. Εάν υπάρχουν συσσωματώματα, το δείγμα μπορεί να δουλευτεί απαλά, με το δάχτυλο ή πλαστική σπάτουλα, και στη συνέχεια αναδεύεται ξανά. Το δείγμα στη συνέχεια φυγοκεντρείται, απομακρύνεται το νερό και τοποθετείται σε φούρνο. Η θερμοκρασία ξήρανσης του δείγματος εξαρτάται από το είδος των αναλύσεων που θα πραγματοποιηθούν στο λεπτόκοκκο υλικό. Αν π.χ. έχουν προγραμματιστεί αναλύσεις αργιλικών ορυκτών τα δείγματα ξηραίνονται σε θερμοκρασία όχι ανώτερη από 50°C. Το υλικό που έχει παραμείνει στο κόσκινο αποτελεί την άμμο του δείγματος. Η άμμος στεγνώνεται, ζυγίζεται και καταγράφεται το βάρος της. Η εμφάνιση συσσωματωμάτων αποτελεί ένδειξη παρουσίας κολλοειδών. Για να είναι αξιόπιστα τα αποτελέσματα είναι απόλυτη ανάγκη να αποφευχθεί η παρουσία συσσωματωμάτων ώστε να διατηρηθεί το γνωστό ιξώδες του υγρού μέσου. Η ανάλυση των δειγμάτων πρέπει να γίνεται χωρίς να αλλοιώνονται τα συστατικά του. Σε ορισμένες περιπτώσεις θεωρείται απαραίτητη η απομάκρυνση των οργανικών ή ανθρακικών συστατικών. Τα οργανικά συστατικά απομακρύνονται με ελαφρά θέρμανση του δείγματος με H_2O_2 . Αν τα οργανικά είναι παρόντα σε μεγάλη ποσότητα, γεγονός που γίνεται αντιληπτό από το έντονο αφρίσμα, προστίθεται επιπλέον H_2O_2 . Η θέρμανση συνεχίζεται για 20-30 min για να απομακρυνθεί το υπερβολικό H_2O_2 . Τα διαλυμένα ανθρακικά μπορούν επίσης να απομακρυνθούν με διάλυμα Complexon 10%. Το Ph καθίσταται ελαφρώς αλκαλικό με την προσθήκη NaOH. Στη συνέχεια το δείγμα πλένεται και φυγοκεντρείται. Σαν διασκορπιστικός παράγοντας προστίθεται εξαμεταφωφορικό νάτριο (Calgon). Η επιλογή του διασκορπιστικού παράγοντα και η συγκέντρωση στην οποία θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από την ποσότητα του δείγματος και την ορυκτολογική του σύσταση.

Σε όλα τα στάδια της ανάλυσης πρέπει να αποφευχθεί η εμφάνιση συσσωματωμάτων. Εάν διαπιστωθεί η παρουσία συσσωματωμάτων το ίζημα καθιζάνει, μεταγγίζεται το υγρό και επιχειρείται εκ νέου ο διασκορπισμός των κόκκων. Υπάρχει πιθανότητα η συσσωμάτωση να οφείλεται στην υψηλή συγκέντρωση του ιζήματος.

Στην περίπτωση αυτή το δείγμα αναδεύεται και η μισή του ποσότητα μεταφέρεται σε ογκομετρικό κύλινδρο, γεμίζεται μέχρι τα 1.000 ml με διασκορπιστικό, αναδεύεται και ελέγχεται η συσσωμάτωση. Η συγκέντρωση του ιζήματος δε θα πρέπει να είναι μικρότερη από 6-8 gr/lit. Στη συνέχεια το δείγμα μεταφέρεται σε κύλινδρο και συμπληρώνεται μέχρι τα 1.000 ml με απεσταγμένο νερό. Ζυγίζονται τα beakers (ένα για κάθε κοκομετρική τάξη) σε ζυγό ακριβείας και καταγράφονται τα αντίστοιχα βάρη. Σημειώνεται η θερμοκρασία του αιωρήματος και το αιώρημα αναδεύεται για ένα λεπτό.

Με το σιφώνι λαμβάνεται το πρώτο δείγμα στο δεδομένο χρόνο και βάθος, ανάλογα με τη θερμοκρασία του αιωρήματος. Κατά τη διάρκεια της ρόφησης, το σιφώνι πρέπει να παραμείνει, όσο είναι δυνατό, κατακόρυφο και ακίνητο. Αν απομακρυνθούν από τον κύλινδρο περισσότερα από 20 ml, δεν επιχειρείται η επαναφορά τους στον κύλινδρο αλλά το επιπλέον χύνεται. Πρέπει να αποφευχθεί η διατάραξη του αιωρήματος, πολύ δε περισσότερο δεν επιτρέπεται η μετακίνηση του κυλίνδρου. Το δείγμα μεταγγίζεται στο αντίστοιχο beaker. Με το σιφώνι προστίθεται απεσταγμένο νερό, ώστε να μη μείνει υλικό στα εσωτερικά τοιχώματα του beaker. Το beaker τοποθετείται στο φούρνο και θερμαίνεται στους 90°C για να στεγνώσει. Αν ζυγιστεί αμέσως πρέπει να γίνουν υπολογισμοί της υγρασίας που θα έχει απορροφηθεί από το αργιλικό υλικό. Τα βάρη θα πολλαπλασιαστούν επί 50 για να αναλογούν στα 1.000 ml του αιωρήματος, έτσι τυχόν σφάλμα στη ζύγιση θα πολλαπλασιαστεί και αυτό επί 50. Το βάρος καταγράφεται σε ένα φύλλο δεδομένων. Στη συνέχεια υπολογίζεται το κοκκομετρικό κλάσμα. Κατά τους υπολογισμούς πρέπει να αφαιρεθεί ο διασκορπιστής (π.χ. το Calgon). Η διαδικασία επαναλαμβάνεται προκειμένου να υπολογισθεί η συμμετοχή και των άλλων κοκκομετρικών τάξεων στο ίζημα. Για τη βασική ταξινόμηση του ιζήματος κατά Folk, λαμβάνονται από το δείγμα μόνο οι κοκκομετρικές τάξεις των 4Φ και 8Φ αντίστοιχα.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα της μεθόδου αυτής δημιουργείται από την ατελή διασκορπισση των κόκκων. Επιπλέον αιτίες δημιουργίας σφάλματος κατά τη διάρκεια της ανάλυσης μπορεί να είναι η ατελής αρχική ομογενοποίηση, η δημιουργία στροβιλισμών κατά τη ρόφηση και η διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού. Τα δύο πρώτα ελαχιστοποιούνται με την απόκτηση εμπειρίας ενώ το τελευταίο με τη χρησιμοποίηση λουτρού.

Ο χρόνος και το βάθος των δειγματοληψιών δίνεται από τον ακόλουθο τύπο του Folk (1980):

$$T(\text{min}) = \frac{\text{Depth (cm)}}{1500 A d^2 (\text{mm})}$$

όπου T είναι ο χρόνος σε min,

A είναι μια σταθερά που εξαρτάται από το ιξώδες του νερού (θερμοκρασία), την επιτάχυνση της βαρύτητας και την πυκνότητα του σωματιδίου (πίνακας 6.3) και

d είναι η διάμετρος του σωματιδίου σε mm.

Πίνακας 6.3 Οι τιμές της σταθεράς A για διάφορες θερμοκρασίες και πυκνότητες κόκκων

Θερμοκρασία (°C)	Χαλαζίας, άργιλοι	Αμφίβολοι
0	2,65	3,35
16	3,23	4,60
20	3,57	5,08
24	3,93	5,60
28	4,30	6,21
32	4,68	6,60

6.2.3.3.2 Σύγχρονες τεχνικές

Κατά καιρούς αναπτύχθηκαν διάφορες τεχνικές κοκκομετρικής ανάλυσης ιζημάτων από τις οποίες η περισσότερο εξελιγμένη είναι η μέτρηση του μεγέθους των κόκκων με ακτίνες Χ. Ένα τέτοιο σύστημα τελευταίας τεχνολογίας είναι το SEDIGRAPH που χρησιμοποιεί μια πολύ λεπτή ακτίνα Χ χαμηλής ενέργειας και έναν ανιχνευτή που προσδιορίζει την κατανομή των μεγεθών των κόκκων σε ένα "κελί" που περιέχει το αιώρημα. Η λειτουργία του βασίζεται στην καθίζηση των κόκκων με συνεχή μέτρηση της απορρόφησης της προσπίπτουσας δέσμης. Η πηγή των ακτίνων Χ και ο ανιχνευτής παραμένουν ακίνητα ενώ το κελί κινείται κατακόρυφα ανάμεσά τους. Στο κελί υπάρχει ένα διαφανές γυαλί, μέσα από το οποίο διαχέεται η ακτίνα Χ που ξεκινάει από την πηγή και καταλήγει στον ανιχνευτή. Η κατανομή της μάζας των σωματιδίων μέσα σε διάφορα σημεία, επηρεάζει τον αριθμό των παλμών της ακτίνας Χ που φθάνει στον ανιχνευτή. Ο λόγος της μεταδιδόμενης ακτίνας Χ μέσω του αιωρήματος προς την αντίστοιχη ακτίνα μέσω του καθαρού υγρού είναι συνάρτηση της κατά βάρος συγκέντρωσης του εν αιωρήσει υλικού. Η μέθοδος αυτή θεωρείται ιδεώδης, καθώς η ακτίνα Χ μπορεί να είναι πάρα πολύ μικρή ώστε να μην επηρεάζει το αιώρημα.

6.2.3.4 Απεικόνιση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης

Κάθε δείγμα ιζήματος χαρακτηρίζεται από ένα συγκεκριμένο φάσμα μεγέθους κόκκων. Τα διάφορα δείγματα είναι δυνατό να συγκριθούν μεταξύ τους και να ερμηνευτούν οι διαφορές στην κοκκομετρία τους. Μετά την ολοκλήρωση του κοσκινίσματος και της μεθόδου της πιπέτας, που περιγράφηκαν παραπάνω, λαμβάνονται τα αθροιστικά επί τοις εκατό (%) ποσοστά κατά βάρος των κόκκων του κάθε δείγματος. Με τα ποσοστά αυτά σχεδιάζονται διαγράμματα που απεικονίζουν την κοκκομετρία των δειγμάτων και υπολογίζονται διάφορες παράμετροι που αφορούν το μέσο μέγεθος των κόκκων, την ταξινόμηση κ.α. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με δύο μεθόδους, τη γραφική μέθοδο και τη στατιστική (ή μαθηματική) μέθοδο.

6.2.3.4.1 Γραφικές μέθοδοι απεικόνισης των αποτελεσμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης

Για να γίνει εύκολη η ερμηνεία των κοκκομετρικών αναλύσεων τα αποτελέσματά τους απεικονίζονται γραφικά. Για το σκοπό αυτό τα αθροιστικά επί τοις εκατό (%) ποσοστά κατά βάρος τοποθετούνται σε ένα διάγραμμα δύο αξόνων. Ο οριζόντιος άξονας απεικονίζει το μέγεθος των κόκκων και είναι αριθμητικός, αν χρησιμοποιούνται οι μονάδες Φ, ή λογαριθμικός, όταν για το μέγεθος των κόκκων χρησιμοποιείται η διάμετρος τους

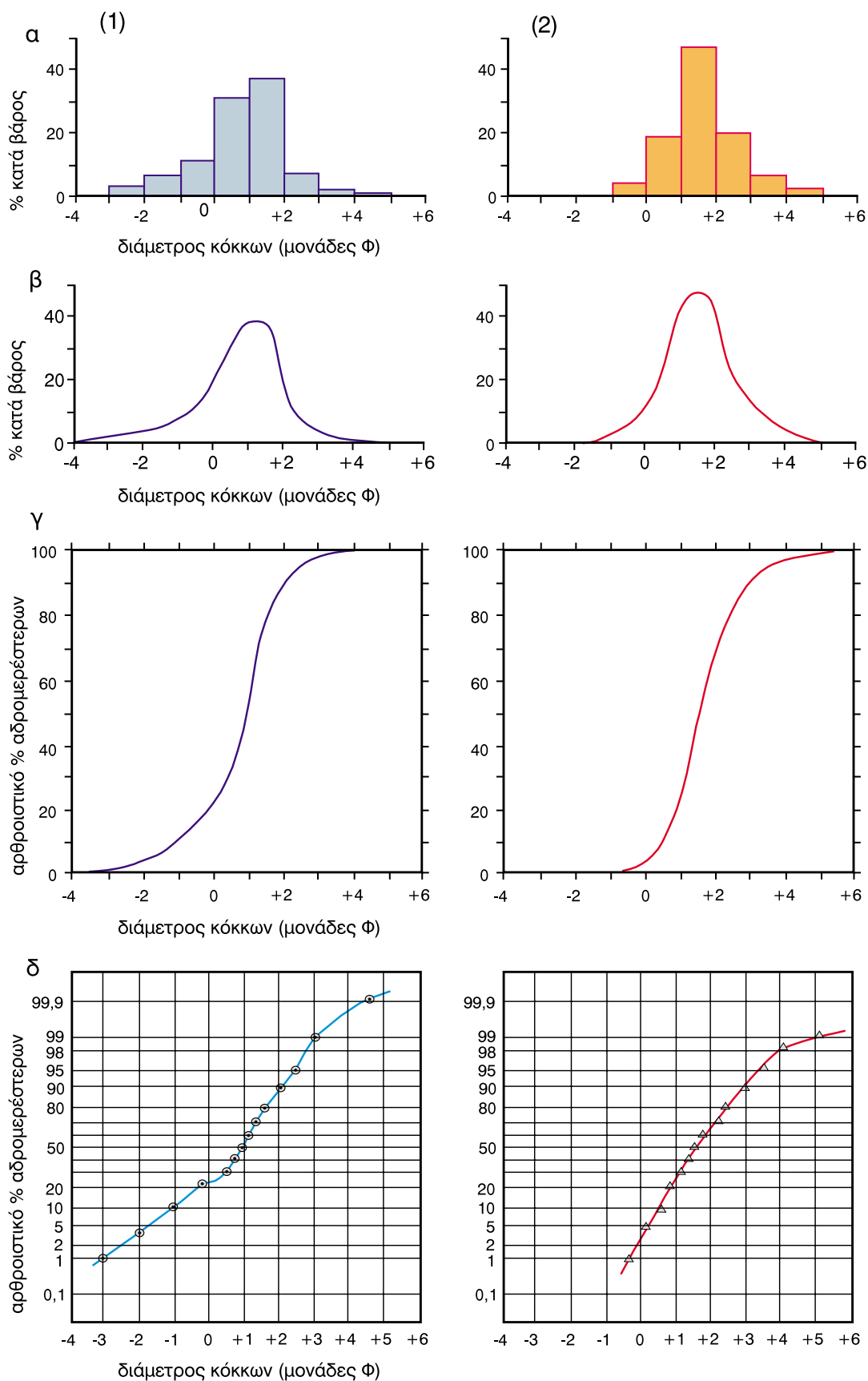
σε mm. Στον κατακόρυφο άξονα τοποθετούνται τα αθροιστικά % ποσοστά ή τα ποσοστά κατά κλάσμα (κατά διάστημα δηλαδή διαμέτρου κόκκων) κ.λ.π. Τα σημεία που προκύπτουν στο διάγραμμα ενώνονται με μικρές ευθείες γραμμές.

Οι τύποι των διαγραμμάτων που μπορούν να σχεδιαστούν είναι οι εξής (σχήμα 6.4):

■ **Ιστογράμμοι συχνότητας:** Είναι το απλούστερο διάγραμμα απεικόνισης της κοκκομετρίας ενός δείγματος ιζήματος. Στον οριζόντιο άξονα τοποθετούνται τα διάφορα κοκκομετρικά μεγέθη (σε mm ή σε μονάδες Φ) και στον κατακόρυφο άξονα τοποθετούνται τα ποσοστά κλάσματος (%). Για κάθε δεδομένο διάστημα διαμέτρου κόκκου τοποθετείται το αντίστοιχο ποσοστό (%) των κόκκων στο δείγμα, με τη μορφή ραβδογράμματος (σχήμα 6.4α). Στην περίπτωση απεικόνισης των αποτελεσμάτων με τον τρόπο αυτό θα πρέπει το εύρος των κοκκομετρικών τάξεων απεικόνισης στον οριζόντιο άξονα να διατηρείται σταθερό. Το απλό ιστογράμμο έχει το πλεονέκτημα ότι καθιστά εύκολα αντιληπτή την κατανομή των κόκκων στο ίζημα με μια μόνο ματιά. Η μορφή του ιστογράμματος και κυρίως η λεπτομέρεια σχετικά με την κοκκομετρία του δείγματος ιζήματος, που μπορεί να αντληθεί από αυτό, επηρεάζεται άμεσα από την επιλογή του εύρους των κοκκομετρικών διαστημάτων του οριζόντιου άξονα. Από το ιστογράμμο συχνότητας δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός στατιστικών παραμέτρων όπως για παράδειγμα της μέσης τιμής του μεγέθους των κόκκων.

■ **Καμπύλη κατανομής ή καμπύλη συχνότητας:** Πρόκειται για ένα ομαλοποιημένο ιστογράμμο συχνότητας. Μπορεί να θεωρηθεί ότι η καμπύλη αποτελεί τα άνω όρια του περιγράμματος του ιστογράμματος συχνότητας, όταν όλα τα διαστήματα των κοκκομετρικών κλάσεων τείνουν στο 0 (σχήμα 6.4β). Δίνει καλύτερη εικόνα της κατανομής απ' ό,τι το ιστογράμμο γιατί σε αντίθεση με αυτό ο τρόπος παρουσίασης των αποτελεσμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης δεν εξαρτάται από την επιλογή του εύρους του κοκκομετρικού διαστήματος του οριζόντιου άξονα. Ωστόσο και σε αυτό τον τύπο διαγράμματος δεν είναι δυνατή η ανάγνωση στατιστικών παραμέτρων. Αποτελεί την καλύτερη απεικόνιση για την αναγνώριση και τη διάκριση αναμειγμένων πληθυσμών κόκκων σε ένα δείγμα.

■ **Καμπύλη αθροιστικής συχνότητας (αριθμητική):** Αν το μέγεθος των κόκκων μετράται σε mm, για την κατασκευή της αθροιστικής καμπύλης θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ημιλογαριθμικό χαρτί (λογαριθμική η οριζόντια κλίμακα και αριθμητική η κατακόρυφη) ενώ, εάν η διάμετρος των κόκκων μετράται σε μονάδες Φ πρέπει να χρησιμοποιηθεί τετραγωνισμένο χαρτί (χαρτί μιλιμετρέ) (σχήμα 6.4γ). Από την αθροιστική καμπύλη μπορούν να υπολογιστούν διάφορες στατιστικές παράμετροι όπως το μέσο μέγεθος, η σταθερή απόκλιση, καθώς και οι παράμετροι λοξό-



Σχήμα 6.4 Διαφορετικοί τρόποι απεικόνισης των αποτελεσμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης (α: ιστόγραμμα συχνότητας, β: καμπύλη κατανομής ή καμπύλη συχνότητας, γ: καμπύλη αθροιστικής συχνότητας και δ: αθροιστική καμπύλη πιθανοτήτων) δειγμάτων από δύο διαφορετικά αποθετικά περιβάλλοντα: (1) αιγιαλό και (2) θίνες. Τα πρωτογενή δεδομένα για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων προέρχονται από την ακτή του Yorkshire. (πηγή δεδομένων: Pethick, 1984)

τητας ή ασυμμετρίας και κύρωσης για τις οποίες γίνεται λόγος στη συνέχεια. Ο υπολογισμός των παραμέτρων αυτών είναι χρήσιμος για την ερμηνεία των διεργασιών που έλαβαν χώρα κατά το παρελθόν ή δρουν σήμερα στην περιοχή λήψης των δειγμάτων.

- **Αθροιστική καμπύλη (πιθανοτήτων):** Οι περισσότεροι κόκκοι είναι διατεταγμένοι γύρω από μια δεδομένη τιμή με μικρότερα ποσοστά εκατέρωθεν. Αν η αθροιστική καμπύλη, που παρουσιάζει μια συμμετρική κατανομή, αποτυπωθεί σε χαρτί πιθανοτήτων, το αποτέλεσμα θα είναι μια σχεδόν ευθεία γραμμή της οποίας η θέση εξαρτάται από το μέσο μέγεθος των κόκκων και η κλίση από τη διαβάθμιση (σχήμα 6.4δ). Αυτό οφείλεται στο ότι η κλίμακα πιθανοτήτων είναι πολύ συμπιεσμένη στο μέσο (30-70%) και πολύ εκτεταμένη στα άκρα (κάτω από 10% ή πάνω από 90%) και έτσι ευθυγραμμίζεται η αριθμητική αθροιστική καμπύλη. Ο τρόπος αυτός απεικόνισης δίνει τη δυνατότητα να μελετηθεί η απόκλιση της κοκκομετρίας των ιζημάτων από το νόμο των πιθανοτήτων. Επιπλέον, επειδή οι ουρές της καμπύλης ευθυγραμμίζονται η κοκκομετρία των δειγμάτων απεικονίζεται σαν ευθεία γραμμή, οπότε είναι εύκολη η ανάγνωση των στατιστικών παραμέτρων με μεγαλύτερη ακρίβεια.

6.2.3.4.2 Γραφική μέθοδος επεξεργασίας των αποτελεσμάτων

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης διαφορετικών δειγμάτων ιζήματος με την απλή οπτική παρατήρηση των αθροιστικών κοκκομετρικών καμπυλών δε διευκολύνει και δε βοηθάει την εξαγωγή ποσοτικών συμπερασμάτων. Οι Folk & Ward (1957) αλλά και άλλοι ερευνητές όπως ο Inman (1952) χρησιμοποίησαν στατιστικές παραμέτρους που περιγράφουν ποσοτικά ορισμένα χαρακτηριστικά των καμπυλών. Οι παράμετροι αυτές μπορούν να συγκριθούν άμεσα, ενώ ορισμένοι συνδυασμοί των τιμών τους είναι ενδεικτικοί των περιβαλλόντων απόθεσης της περιοχής λήψης των δειγμάτων. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος για την εκτίμηση των στατιστικών παραμέτρων είναι η κατασκευή της κοκκομετρικής καμπύλης αθροιστικών συχνοτήτων και η ανάγνωση διαφόρων αθροιστικών ποσοστών. Ακριβέστερα αποτελέσματα λαμβάνονται όταν για τη σχεδίαση της καμπύλης χρησιμοποιηθεί λογαριθμικό χαρτί. Οι σημαντικότερες από τις γραφικές στατιστικές παραμέτρους που χρησιμοποιούνται συνηθέστερα αφορούν το μέσο μέγεθος, την ταξινόμηση, τη λοξότητα ή ασυμμετρία και την κύρωση.

6.2.3.4.2.1 Μέσο γραφικό μέγεθος M_z (Graphic Mean)

Η παράμετρος αυτή δίνεται από τους τύπους:

$$M_z = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3} \quad (\text{Folk \& Ward, 1957}) \quad \text{ή}$$

$$M_z = \frac{1}{2} (\Phi_{16} + \Phi_{54}) \quad (\text{Inman, 1952})$$

Όπου Φ_{16} , Φ_{50} , Φ_{84} και Φ_{54} είναι τα μεγέθη των κόκκων σε μονάδες Φ που αντιστοιχούν σε ποσοστό 16, 50, 84 και 54 % του δείγματος. Οι τιμές αυτές διαβάζονται από την αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη.

Η παράμετρος αυτή δίνει τη γενική και αντιπροσωπευτική εικόνα του ιζήματος αναφορικά με το μέγεθος των κόκκων από τους οποίους αποτελείται. Εκφράζει δηλαδή αν το δείγμα είναι χονδρόκοκκο ή λεπτόκοκκο. Η τιμή του M_z αντιπροσωπεύει την ενέργεια που επέδρασε κατά τη μεταφορά του ιζήματος δηλαδή τη συνισταμένη δύναμη στο νερό, στον πάγο ή στον άνεμο.

Δύο άλλες παράμετροι που μπορούν να υπολογιστούν από ένα διάγραμμα και είναι σχετικές με το μέσο γραφικό μέγεθος είναι η μέση τιμή (Median), που είναι η διάμετρος που αντιστοιχεί στο 50% του πληθυσμού, και η επικρατέστερη τιμή (Mode), που αντιστοιχεί στο πιο συχνά συναντούμενο μέγεθος κόκκων. Η μέση τιμή είναι η διάμετρος σε Φ που αντιστοιχεί στο 50% των κόκκων και μπορεί να διαβαστεί άμεσα από την αθροιστική καμπύλη. Η επικρατέστερη τιμή μπορεί γενικά να προσδιοριστεί τόσο στην καμπύλη αθροιστικών συχνοτήτων, όσο και σε μια απλή καμπύλη συχνότητας οπότε είναι το μέγεθος που αντιστοιχεί στην κορυφή της.

6.2.3.4.2.2 Γραφική αποκλειστική σταθερή απόκλιση σ_I (Inclusive Graphic Standard Deviation)

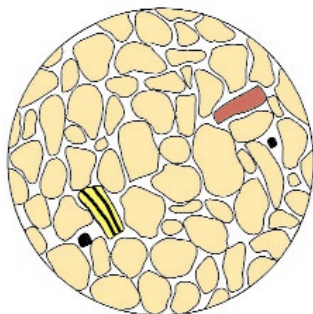
Η παράμετρος αυτή δίνεται από τους τύπους:

$$\sigma_I = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6,6} \quad (\text{Folk \& Ward, 1957}) \quad \text{ή}$$

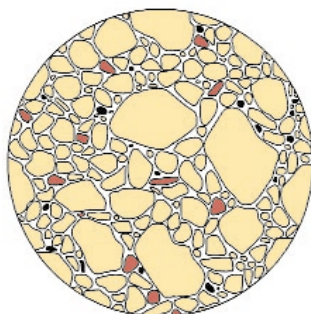
$$\sigma_I = \frac{1}{2} (\Phi_{84} - \Phi_{16}) \quad (\text{Inman, 1952})$$

Η γραφική αποκλειστική σταθερή απόκλιση μετράει τη συγκέντρωση των κόκκων του δείγματος γύρω από το μέσο όρο του. Παρέχει την καλύτερη συνολική εικόνα της διαβάθμισης ή ταξινόμησης ενός ιζήματος ως προς το μέγεθος των κόκκων από τους οποίους αποτελείται. Η ταξινόμηση έχει να κάνει με το πόσο ομοιογενές ή ανομοιογενές κοκκομετρικά είναι το ιζημα. Αν οι κόκκοι ενός ιζήματος έχουν όλοι την ίδια ή παρόμοια διάμετρο, το ιζημα είναι καλά ταξινομημένο, σε ό,τι αφορά το μέγεθος των κόκκων (σχήμα 6.5) ενώ αν αποτελείται από κόκκους διαφορετικής διαμέτρου, όπως για παράδειγμα ένα μίγμα ιλύος, άμμου και χαλίκων, τότε έχει φτωχή ταξινόμηση ως προς το μέγεθος των κόκκων (φωτο 6.2) (σχήμα 6.6).

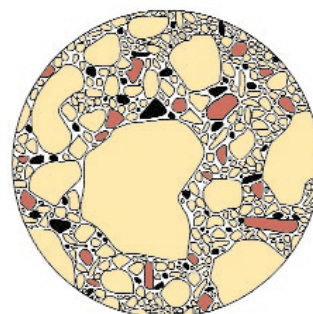
Είναι πολύ σημαντικό όταν γίνεται λόγος για την ταξινόμηση ενός ιζήματος να επισημαίνεται ποιο είναι το κριτήριο στο οποίο αναφέρεται καθώς, εκτός από το μέγεθος των κόκκων, υπάρχει και η ταξινόμηση που αφορά τη μορφή - σχήμα, ενώ μερικές φορές ο όρος ταξινόμηση



καλή ταξινόμηση



μέτρια ταξινόμηση

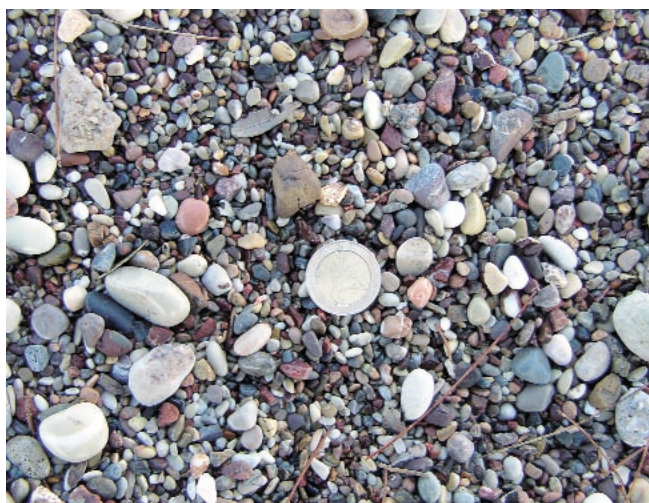


φτωχή ταξινόμηση

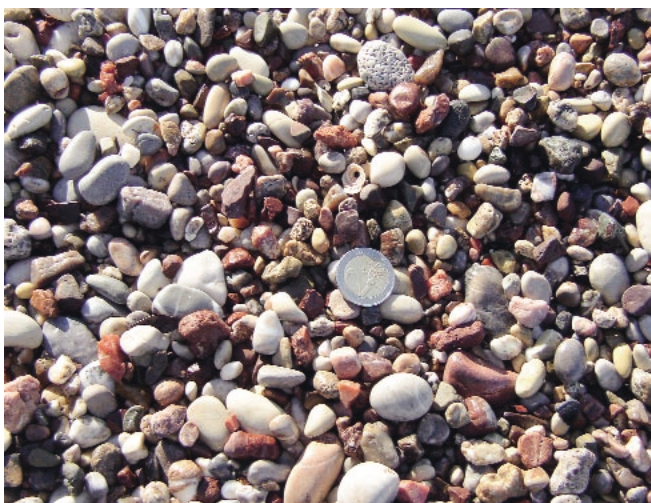
Σχήμα 6.5 Σχηματική απεικόνιση της μορφής που παρουσιάζει το σύνολο των κόκκων ενός ιζήματος που εμφανίζει καλή, μέτρια και φτωχή ταξινόμηση αντίστοιχα. Η ταξινόμηση αφορά τόσο το μέγεθος, όσο και το σχήμα και την προέλευση των κόκκων από τους οποίους αποτελείται το ιζημα.



(α)



(γ)

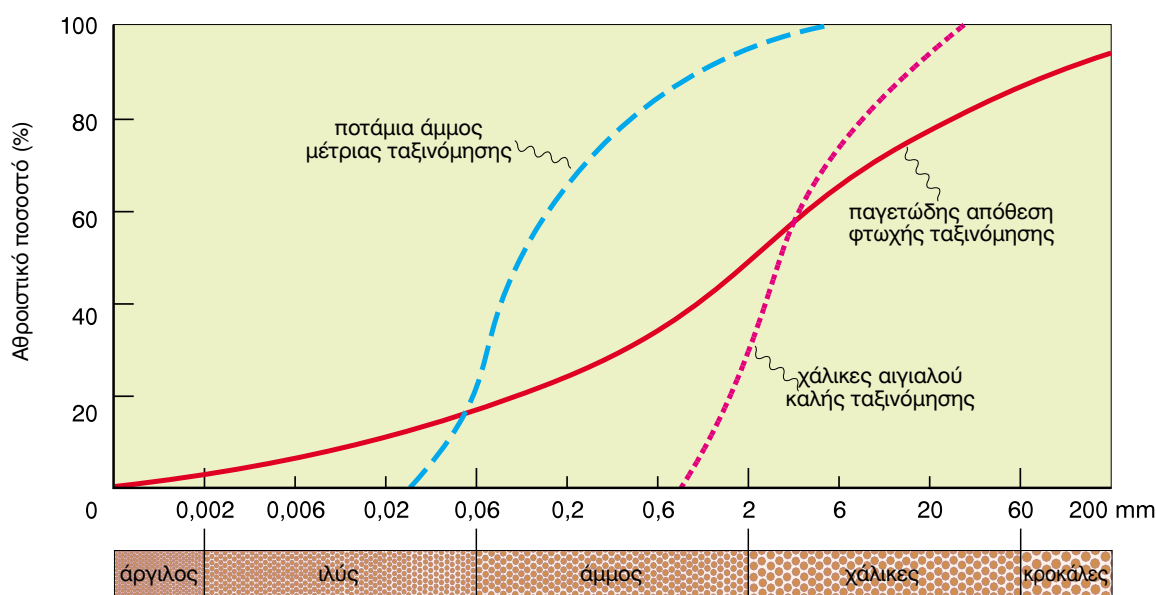


(β)



(δ)

Φωτο 6.2 Παράκτια ιζήματα διαφορετικής ταξινόμησης ως προς το μέγεθος, την προέλευση και το σχήμα – μορφή των κόκκων. (α) ιζημα καλής ταξινόμησης ως προς την προέλευση και το σχήμα και σχετικά καλής ταξινόμησης ως προς το μέγεθος (β) ιζημα μέτριας ταξινόμησης, (γ) ιζημα φτωχής ταξινόμησης, (δ) αμμώδες ιζημα καλής ταξινόμησης ως προς το μέγεθος και φτωχής ως προς την προέλευση των κόκκων.



Σχήμα 6.6 Κοκκομετρικές καμπύλες αθροιστικής συχνότητας στις οποίες απεικονίζεται η κατανομή των μεγεθών των κόκκων τριών ιζημάτων που έχουν διαφορετική ταξινόμηση ως προς το μέγεθος των κόκκων. Η πρώτη καμπύλη αντιστοιχεί σε ποτάμιο ιζημα διαμέτρου κόκκων άμμου που εμφανίζει μέτρια ταξινόμηση. Η δεύτερη καμπύλη αντιστοιχεί σε παγετώδες ιζημα πολύ φτωχής ταξινόμησης. Από το εύρος της καμπύλης φαίνεται ότι το ιζημα περιλαμβάνει κόκκους σχεδόν όλων των μεγεθών. Η τρίτη καμπύλη αντιστοιχεί σε παράκτιο χονδρόκοκκο (αδρομερές) ιζημα καλής ταξινόμησης (το εύρος μεγέθους των κόκκων είναι μικρό). (τροποποιημένο από Haslett, 2000)

αφορά τόσο το μέγεθος, όσο και το σχήμα - μορφή των κόκκων ταυτόχρονα. Επίσης η ταξινόμηση μπορεί να αφορά τη σύνθεση – προέλευση του ιζήματος, δηλαδή αν αυτό αποτελείται αποκλειστικά από κόκκους ορυκτών ή αν περιλαμβάνει επιπλέον τεμαχίδια πετρωμάτων και υλικά βιογενούς προέλευσης και σε ποιες αναλογίες.

Μεγάλες τιμές του σ_I σημαίνει ότι η ταξινόμηση ως προς το μέγεθος των κόκκων είναι φτωχή δηλαδή κατά τη μεταφορά και απόθεση του ιζήματος έλαβε χώρα περιορισμένη διαλογή των κόκκων του. Μικρές τιμές του σ_I σημαίνει καλή διαβάθμιση και άρα καλή ταξινόμηση δηλαδή έχει γίνει καλή διαλογή των κόκκων του ιζήματος από το μέσο μεταφοράς και απόθεσής του.

Η μέτρηση της τιμής της παραμέτρου σ_I σε μεγάλο αριθμό δειγμάτων ιζημάτων έδωσε την κατηγοριοποίηση κατά Folk του πίνακα 6.4 όπου δίνονται τα όρια των τιμών σ_I για τον χαρακτηρισμό ενός δείγματος ως προς

την ταξινόμησή του. Για τα αιολικά ιζήματα η ταξινόμηση είναι καλή, για τα ποτάμια ιζήματα είναι μέτρια μέχρι κακή, ενώ για τα παγετώδη και ποταμο-χειμάρια είναι συνήθως πολύ κακή (σχήμα 6.6).

6.2.3.4.2.3 Γραφική σταθερή απόκλιση σ_G (Graphic Standard Deviation)

Η γραφική σταθερή απόκλιση (σ_G) δίνεται από τον τύπο:

$$\sigma_G = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{2} \quad (\text{Folk \& Ward, 1957})$$

Είναι παρόμοια παράμετρος με την αποκλειστική σταθερή απόκλιση αλλά υπολογίζεται παίρνοντας δύο μόνο τιμές από την αθροιστική καμπύλη του δείγματος. Συνεπώς και αυτή η παράμετρος προσδιορίζει την ταξινόμηση του ιζήματος ως προς το μέγεθος των κόκκων.

6.2.3.4.2.4 Παράμετροι λοξότητας ή ασυμμετρίας

Δύο κοκκομετρικές καμπύλες μπορεί να είναι παρόμοιες ως προς το μέσο μέγεθος των κόκκων, ή ακόμη και ως προς τη διαβάθμιση, αλλά η μία καμπύλη να είναι συμμετρική και η άλλη ασύμμετρη. Η παράμετρος της λοξότητας (Skewness) μετρά το βαθμό της ασυμμετρίας ενώ επιπλέον εκφράζει το κατά πόσο μία καμπύλη έχει ασύμμετρη ουρά προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά. Είναι το μέτρο του βαθμού απόκλισης μιας κατανομής μεγέθους κόκκων από μια κανονική κατανομή, αναφέρεται δηλαδή στην παρουσία πιο αδρομερών ή πιο λεπτομερών κόκκων.

Πίνακας 6.4 Βαθμός ταξινόμησης ιζημάτων βάσει της τιμής της αποκλειστικής σταθερής απόκλισης σ_I

αποκλειστική σταθερή απόκλιση σ_I	Ταξινόμηση
< 0,35 Φ	Πολύ καλή
0,35 - 0,50 Φ	Καλή
0,50 - 0,71 Φ	Μετρίως καλή
0,71 - 1,0 Φ	Μέτρια
1,0 - 2,0 Φ	Κακή - φτωχή
2,0 - 4,0 Φ	Πολύ κακή - φτωχή
> 4,0 Φ	Εξαιρετικά κακή - φτωχή

Η γραφική λοξότητα S_{KG} (Graphic Skewness) δίνεται από τον τύπο:

$$S_{KG} = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{\Phi_{84} - \Phi_{16}} \quad (\text{Inman, 1952})$$

Η παράμετρος αυτή μετρά τη μετατόπιση του μέσου γραμμικού μεγέθους κόκκων από το μέσο των σημείων Φ_{16} και Φ_{84} , εκφρασμένη σαν ένα τμήμα της σταθεράς απόκλισης, οπότε είναι γεωμετρικά ανεξάρτητη της διαβάθμισης. Η γραφική λοξότητα S_{KG} καλύπτει μόνο το κεντρικό τμήμα (68%) της καμπύλης. Επειδή όμως η μεγαλύτερη λοξότητα παρατηρείται στις "ουρές" της καμπύλης, η παράμετρος αυτή δε θεωρείται αρκετά ευαίσθητη. Μια καλύτερη προσέγγιση αποτελεί η αποκλειστική γραφική λοξότητα S_{KI} (Inclusive Graphic Skewness) η οποία δίνεται από τους τύπους:

$$S_{KI} = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)} \quad (\text{Folk \& Ward, 1957})$$

και

$$S_{KI} = \frac{\frac{1}{2}(\Phi_5 + \Phi_{95}) - M_{d\Phi}}{\sigma_I} \quad (\text{με } M_{d\Phi} = \Phi_{50}) \quad (\text{Inman, 1952})$$

Η παράμετρος αυτή δίνει το μέσο της λοξότητας που λαμβάνεται χρησιμοποιώντας τα σημεία Φ_{16} και Φ_{84} με τη λοξότητα που λαμβάνεται χρησιμοποιώντας τα σημεία Φ_5 και Φ_{95} . Ο υπολογισμός της αποτελεί τον πλέον κατάλληλο τρόπο προσδιορισμού της λοξότητας διότι καθορίζει τη λοξότητα της "ουράς" της καμπύλης και όχι μόνο του κεντρικού της τμήματος. Τονίζεται ότι οι "ουρές" της καμπύλης είναι τα πιο κρίσιμα σημεία όπου παρατηρούνται οι διαφορές μεταξύ των δειγμάτων. Επιπλέον, είναι γεωμετρικά ανεξάρτητα της διαβάθμισης – ταξινόμησης του δείγματος. Ένα δείγμα μπορεί να είναι αρνητικής ή θετικής λοξότητας. Οι τιμές της λοξότητας είναι καθαροί αριθμοί και κυμαίνονται από -1 μέχρι +1. Μία κατανομή συμμετρικής καμπύλης έχει $S_{KI}=0,00$, οι καμπύλες με πλεονάζον λεπτόκοκκο υλικό (ουρά προς τα δεξιά) έχουν θετική λοξότητα ενώ εκείνες με πλεονάζον χονδρόκοκκο υλικό (ουρά προς τα αριστερά) παρουσιάζουν αρνητικές τιμές. Όσο περισσότερο η λοξότητα αποκλίνει από το 0,00, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός ασυμμετρίας. Η λοξότητα για τα

αιολικά ιζήματα είναι συνήθως θετική ενώ για τα παράκτια ιζήματα παίρνει αρνητικές τιμές. Τα όρια λοξότητας που προτείνονται από τον Folk δίνονται στον πίνακα 6.5.

6.2.3.4.2.5 Παράμετροι κύρτωσης

Στην κανονική καμπύλη των πιθανοτήτων (που ορίζεται από τον τύπο του Gauss), το διάστημα των διαμέτρων των κόκκων μεταξύ Φ_5 και Φ_{95} είναι 2,44 φορές το διάστημα διαμέτρων (σε μονάδες Φ) μεταξύ Φ_{25} και Φ_{75} . Αν η καμπύλη του δείγματος αποτυπώνεται στο χαρτί των πιθανοτήτων σαν μια ευθεία γραμμή (δηλαδή αν ακολουθεί την κανονική καμπύλη), ο παραπάνω λόγος θα επαληθευτεί και θεωρείται ότι η κύρτωση είναι κανονική (1,00). Απόκλιση όμως από την ευθεία γραμμή θα αλλάξει το λόγο αυτό. Η παράμετρος της κύρτωσης αποτελεί μια ποσοτική έκφραση που χρησιμοποιείται για να περιγραφεί η απόκλιση από την κανονικότητα. Μετρά δηλαδή το λόγο μεταξύ της διαβάθμισης στην ουρά της καμπύλης και της διαβάθμισης στο κεντρικό τμήμα αυτής. Αν το κεντρικό τμήμα είναι καλύτερα διαβαθμισμένο σε σχέση με τα άκρα, η καμπύλη είναι λεπτόκυρτη ενώ αν η ουρά είναι καλύτερα διαβαθμισμένη από το κεντρικό τμήμα, η καμπύλη είναι πλατύκυρτη. Συνεπώς λεπτόκυρτη καμπύλη σημαίνει μεγάλη συγκέντρωση κόκκων κοντά στο μέσο όρο, μεσόκυρτη καμπύλη σημαίνει κανονική κατανομή κόκκων γύρω από το μέσο όρο και πλατύκυρτη καμπύλη σημαίνει μεγάλη διασπορά κατανομής των κόκκων σε σχέση με το μέσο όρο.

Η παράμετρος που χρησιμοποιείται συνήθως είναι η γραφική κύρτωση (Graphic Kurtosis) K_G που δίνεται από τους τύπους:

$$K_G = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2,4(\Phi_{75} - \Phi_{25})} \quad (\text{Folk, 1980}) \quad \text{ή}$$

$$K_G = \frac{\frac{1}{2}(\Phi_{95} - \Phi_5) - \sigma_I}{\sigma_I} \quad (\text{Inman, 1952})$$

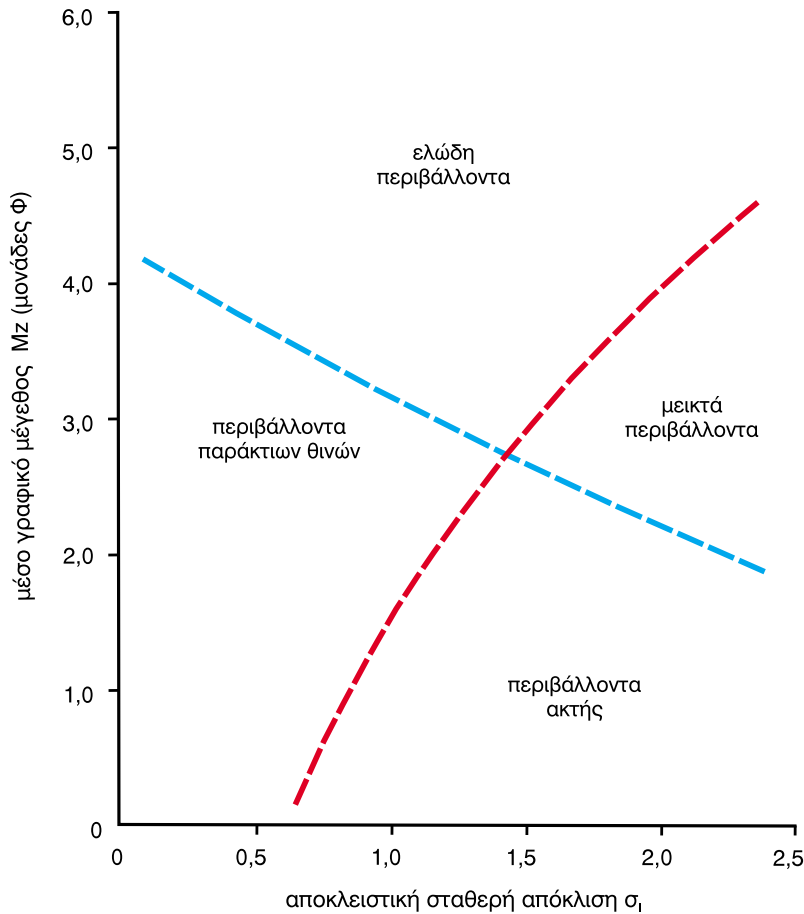
Οι απόλυτες μαθηματικές τιμές της παραμέτρου αυτής κυμαίνονται από 0,41 μέχρι το άπειρο, αλλά για τα περισσότερα δείγματα οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0,60 και 5,00. Ο χαρακτηρισμός των ιζημάτων ανάλογα με την τιμή κύρτωσης K_G δίνεται στον πίνακα 6.6.

Πίνακας 6.5 Όρια τιμών λοξότητας και χαρακτηρισμός του ιζήματος κατά Folk

Όρια τιμών αποκλειστικής γραφικής λοξότητας (S_{KI})	Χαρακτηρισμός ιζήματος
1,00 έως 0,30	Πολύ θετική (λεπτόκοκκη) λοξότητα
0,30 έως 0,10	Θετική (λεπτόκοκκη) λοξότητα
0,10 έως -0,10	Συμμετρικό
-0,10 έως -0,30	Αρνητική (χονδρόκοκκη) λοξότητα
-0,30 έως -1,30	Πολύ αρνητική (χονδρόκοκκη) λοξότητα

Πίνακας 6.6 Κατάταξη και χαρακτηρισμός των δειγμάτων ιζημάτων ανάλογα με τις τιμές κύρτωσης

Όρια τιμών κύρτωσης K_G	Χαρακτηρισμός ιζήματος
$K_G < 0,67$	Πολύ πλατύκυρτο
$0,67 < K_G < 0,90$	Πλατύκυρτο
$0,90 < K_G < 1,11$	Μεσόκυρτο
$1,11 < K_G < 1,50$	Λεπτόκυρτο
$1,50 < K_G < 3,00$	Πολύ λεπτόκυρτο
$K_G > 3,00$	Πάρα πολύ λεπτόκυρτο



Σχήμα 6.7 Περιβάλλοντα απόθεσης ιζημάτων όπως καθορίζονται από το συνδυασμό των τιμών των παραμέτρων μέσου γραφικού μεγέθους και αποκλειστικής σταθερής απόκλισης. (πηγή: Psilovikos, 1979)

6.2.3.4.3 Χρησιμότητα των παραμέτρων

Η χρησιμότητα του χαρακτηρισμού των ιζημάτων ανάλογα με τις τιμές των παραπάνω παραμέτρων του μεγέθους των κόκκων έχει αποδειχθεί στην εφαρμοσμένη έρευνα. Από τις τιμές μιας παραμέτρου ή του συνδυασμού των τιμών πολλών παραμέτρων είναι δυνατός τόσο ο προσδιορισμός των περιβαλλόντων απόθεσης των ιζημάτων, όσο και η ερμηνεία των μηχανισμών μεταφοράς και απόθεσής τους. Καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται αν συνδυαστούν οι τιμές δύο παραμέτρων οπότε προκύπτει ο διαχωρισμός των πληθυσμών των ιζηματογενών κόκκων που προέρχονται από διαφορετικά περιβάλλοντα απόθεσης κάνοντας ευκολότερη την ερμηνεία των μηχανισμών που προκαλούν το διαχωρισμό αυτό (σχήμα 6.7).

6.2.4 Σχήμα – μορφή κόκκων

Το σχήμα και η μορφή των κόκκων είναι από τις παραμέτρους της υψής του ιζήματος που είναι δύσκολο τόσο να μετρηθούν, όσο και να εκφραστούν. Το σχήμα ενός κόκκου μπορεί να περιγραφεί με τη σφαιρικότητα (sphericity) ενώ η μορφή του με τη στρογγυλότητα (roundness). Οι δύο αυτοί όροι (στρογγυλότητα και σφαιρικότητα) αρκετά συχνά συγχέονται. Στην πραγματικότητα όμως δεν έχουν την ίδια έννοια (σχήμα 6.8). Για παράδειγμα ένας επιμήκης κόκκος με σχήμα που

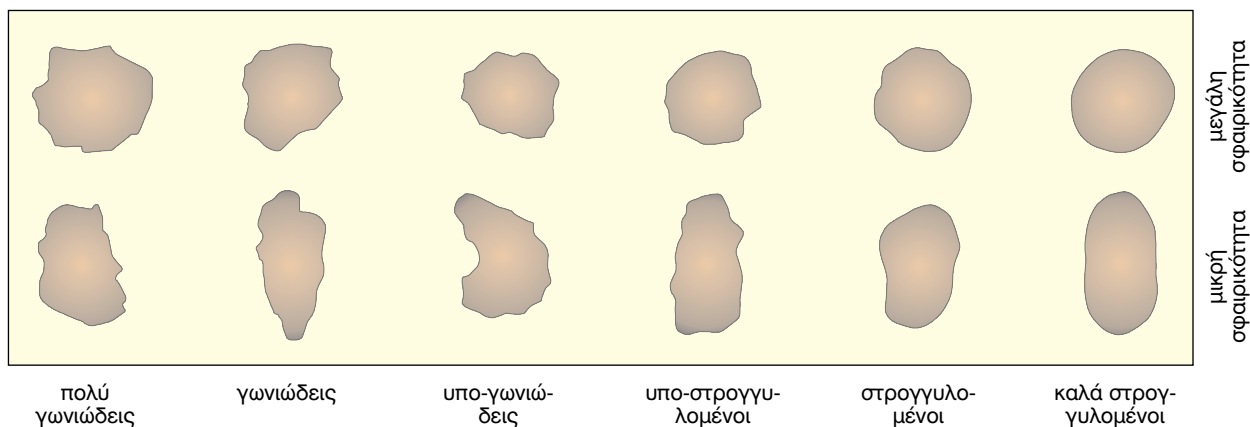
μοιάζει με αυτό της ράβδου (rod-shaped) έχει μικρή σφαιρικότητα, διότι το σχήμα του δεν προσεγγίζει καθόλου τη σφαίρα, μπορεί όμως να έχει πολύ καλά αποστρογγυλεμένες άκρες και πλευρές και άρα να έχει μεγάλη στρογγυλότητα. Το ιδανικό σχήμα και η ιδανική μορφή που μπορεί να αποκτήσει ένας κόκκος ιζήματος είναι αυτό της σφαίρας με λεία εξωτερική επιφάνεια.

Το σχήμα ενός κόκκου συνήθως προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας τον λόγο των μηκών των αξόνων του. Στο σχήμα 6.9 φαίνεται ο χαρακτηρισμός ενός ιζηματογενούς κόκκου ως προς το σχήμα, όταν έχουν μετρηθεί τα μήκη των τριών αξόνων του (μέγιστου (L), ενδιάμεσου (I) και μικρού (S)). Ο λόγος των αξόνων I και L δείχνει το βαθμό της επιμήκυνσης του κόκκου ενώ ο λόγος των αξόνων S και I αποτελεί ένα μέτρο της πλάτυνσης. Ένα επιπλέον μέτρο της πλάτυνσης του κόκκου είναι ο Παράγοντας Σχήματος του Corey (Corey Shape Factor) C.S.F. (Corey, 1949) που δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$C.S.F. = \frac{S}{\sqrt{LI}}$$

Η τιμή 0 του C.S.F. αντιστοιχεί σε κόκκο σχήματος επίπεδου δίσκου ενώ η τιμή 1 αντιστοιχεί σε κόκκο σχήματος τέλει σφαίρας.

Οι κύριες κατηγορίες κόκκων σε ό,τι αφορά το σχήμα τους είναι οι ακόλουθες:



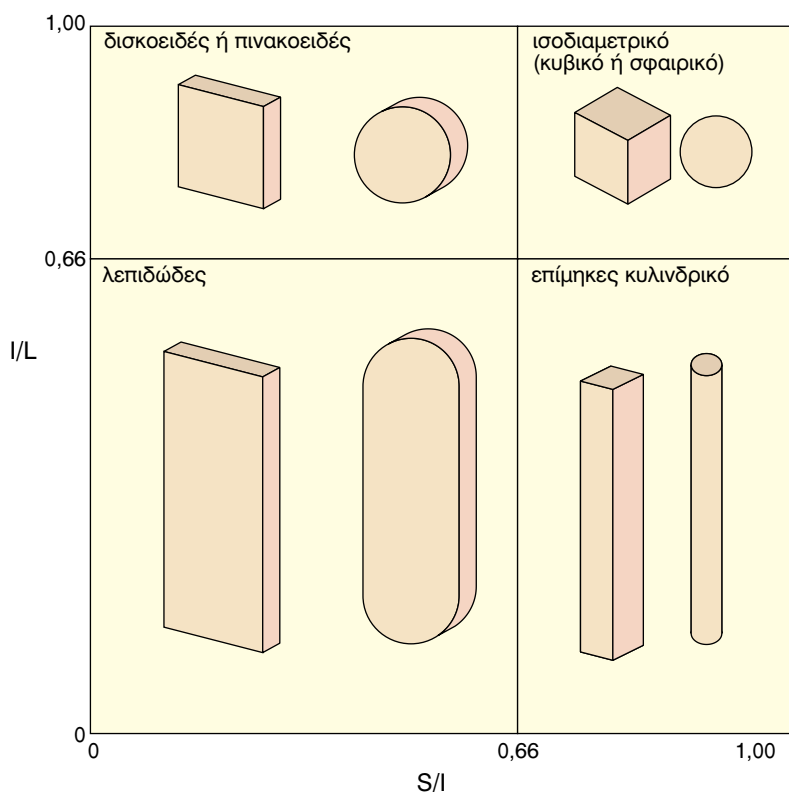
Σχήμα 6.8 Παραδείγματα κόκκων διαφορετικής στρογγυλότητας και σφαιρικότητας. Υπάρχουν κόκκοι που έχουν μεγάλη σφαιρικότητα αλλά είναι πολύ γωνιώδεις (άρα έχουν μικρή στρογγυλότητα) ενώ επίσης κάποιοι καλά στρογγυλωμένοι το σχήμα των οποίων όμως απέχει πολύ από αυτό της σφαίρας (άρα μικρής σφαιρικότητας).

- **Δισκοειδείς ή πινακοειδείς**, σχήματος δίσκου (discs) που είναι επίπεδοι και/ή μοιάζουν με νόμισμα.
- **Λεπιδώδεις**, σχήματος λεπίδας (blades) που έχουν αρκετά πεπλατυσμένη μορφή.
- **Επιμήκεις κυλινδρικοί**, σχήματος επιμήκους ράβδου (rods) που έχουν σχήμα μακρύ και λεπτό σαν αυτό ενός μολυβιού.
- **Ισοδιαμετρικοί (κυβικοί ή σφαιρικοί)**, σχήματος κύβου ή σφαίρας (spheres) που μοιάζουν με μπάλα.

Το σχήμα ενός κόκκου καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το σχήμα του αρχικού κρυστάλλου του ορυκτού από τον οποίο προέκυψε. Το αρχικό αυτό σχήμα έχει τροπο-

ποιηθεί σημαντικά από διεργασίες όπως είναι η διάλυση κατά την αποσάθρωση και η λείανση κατά τη μεταφορά του κόκκου - κρυστάλλου.

Το σχήμα αποτελεί ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που επηρεάζει τόσο την κινητικότητα ενός κόκκου όσο και την απόθεσή του. Οι επίπεδοι κόκκοι για παράδειγμα τίθενται σε κίνηση δύσκολα και αποτίθενται πιο αργά σε σχέση με τους σφαιρικούς κόκκους (Masselink & Hughes, 2003). Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τα αδρομερή ιζήματα όπως οι χάλικες και οι κροκάλες. Στους χαλικώδεις αιγιαλούς συνήθως παρατηρείται μια ταξινόμηση του υλικού σε σχέση με το σχήμα. Για παράδειγμα οι κροκάλες επιμήκους κυλινδρικού σχήματος συνήθως



Σχήμα 6.9 Διάφορα σχήματα κόκκων με βάση τους λόγους L/W και S/V των μηκών των αξόνων τους.

βρίσκονται στη βάση του μετώπου ενός αιγιαλού ενώ οι δισκοειδείς συγκεντρώνονται προς την κορυφή. Οι κυλινδρικού σχήματος κροκάλες μεταφέρονται εύκολα τόσο προς τα πάνω, όσο και προς τα κάτω στον αιγιαλό ενώ οι δισκοειδείς μεταφέρονται και αποτίθενται σε συνθήκες έντονου κυματισμού στο άνω μέρος του αιγιαλού και είναι πολύ δύσκολο να μετακινηθούν από τον αδύναμο κυματισμό επιστροφής.

Η στρογγυλότητα εκφράζεται με τις γωνίες που σχηματίζονται στην εξωτερική επιφάνεια των κόκκων. Μικρές και οξυλήκτες γωνίες αντιπροσωπεύουν μικρή στρογγυλότητα ενώ μεγάλες, ομαλές και κυρτές γωνίες αντιπροσωπεύουν μεγάλη στρογγυλότητα. Ο βαθμός της στρογγυλότητας συνήθως δείχνει την ευπάθεια του κόκκου στη χημική αποσάθρωση και/ή το βαθμό της μηχανικής λείανσης που έχει υποστεί. Γωνιώδεις κόκκοι συνήθως είναι ενδεικτικοί χημικά και μηχανικά ανθεκτικών ορυκτών ή ενός περιβάλλοντος απόθεσης που βρίσκεται κοντά στην πηγή του ιζήματος και άρα αποτελούν ένδειξη μικρής μεταφοράς. Οι αποστρογγυλωμένοι κόκκοι συχνά είναι ένδειξη χημικά ασταθών ορυκτών ή περιβαλλόντων μεγάλης ενέργειας όπου υπάρχει μια σταθερή μηχανική δράση λείανσης των κόκκων ή ακόμη ενός περιβάλλοντος απόθεσης που απέχει αρκετά από την πηγή παραγωγής του ιζήματος.

6.3 Το ισοζύγιο των ιζημάτων της παράκτιας ζώνης

Τα ιζήματα που, όπως αναφέρθηκε, μεταφέρονται με διάφορους τρόπους στην παράκτια ζώνη δεν εισέρχο-

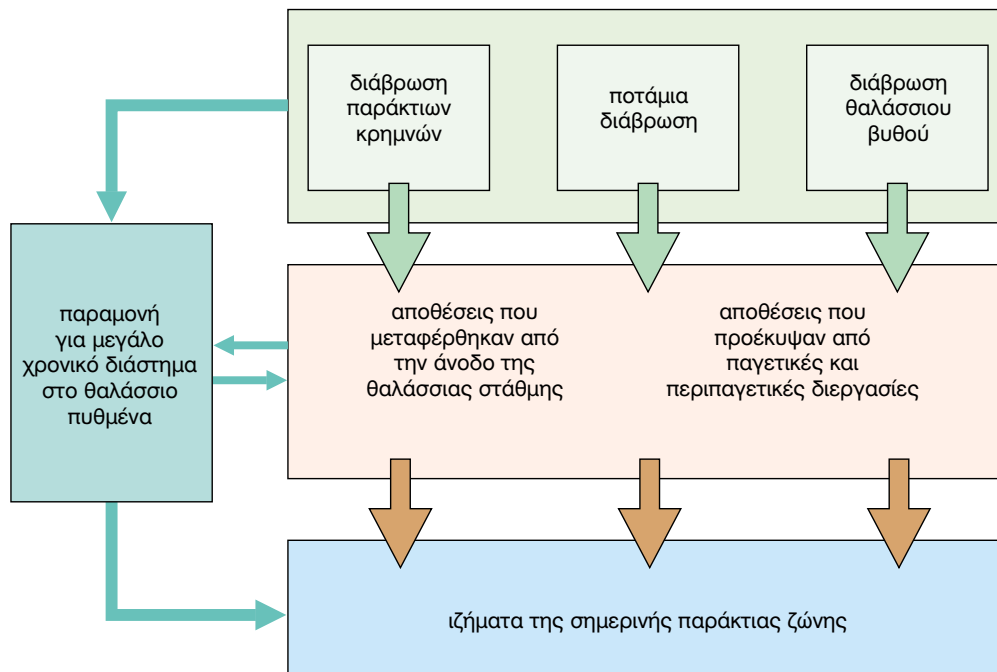
νται άμεσα (απευθείας) σε αυτή. Αντίθετα συμμετέχουν σε ένα μεγάλης κλίμακας ισοζύγιο ιζήματος σαν αυτό που απεικονίζεται στο σχήμα 6.10. Τα ιζήματα μετακινούνται μεταξύ δύο χώρων "αποθήκευσης" δηλαδή συγκέντρωσης και απόθεσης που είναι η υφαλοκρηπίδα (continental shelf) και οι διάφορες παράκτιες αποθέσεις όπως είναι οι αιγιαλοί, οι θίνες, και οι περιοχές των ποτάμιων εκβολών.

Το ισοζύγιο των ιζημάτων στην παράκτια ζώνη διαμορφώνεται από μία σειρά χειρσαίων και θαλάσσιων διεργασιών που διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες (σχήμα 6.11, πίνακας 6.7):

- αυτές που εισάγουν ιζημα και
- αυτές που απομακρύνουν ιζημα από την παραλία

Η επικράτηση διεργασιών της μιας ή της άλλης κατηγορίας σε μια ακτή, καθορίζει το αν θα λάβει χώρα πρόσχωση (προέλαση της ακτογραμμής) ή διάβρωση (υποχώρηση της ακτογραμμής). Στην περίπτωση που η δράση των διεργασιών είναι ισοδύναμη η θέση της ακτογραμμής παραμένει σταθερή.

Η μετακίνηση ιζήματος από τα μεγάλα βάθη προς την ακτή προκαλείται κυρίως από τα παλιροειδή ρεύματα ή τα κύματα καταιγίδας, που είναι ικανά να παράγουν στο βυθό τις απαραίτητες, για τη μεταφορά ιζήματος, ταχύτητες. Στα αβαθή νερά κυρίαρχος είναι ο ρόλος των κυμάτων και των παράκτιων ρευμάτων που οφείλουν τη γένεσή τους στα κύματα. Η μετακίνηση ιζήματος μακριά από την ακτή (offshore) μπορεί να λάβει χώρα σε συνθήκες καταιγίδας, ενώ μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί μέσω μεμονωμένων "οδών" – διαδρομών όπως η μεταφορά κατά μήκος της ακτής που μπορεί να οδηγή-

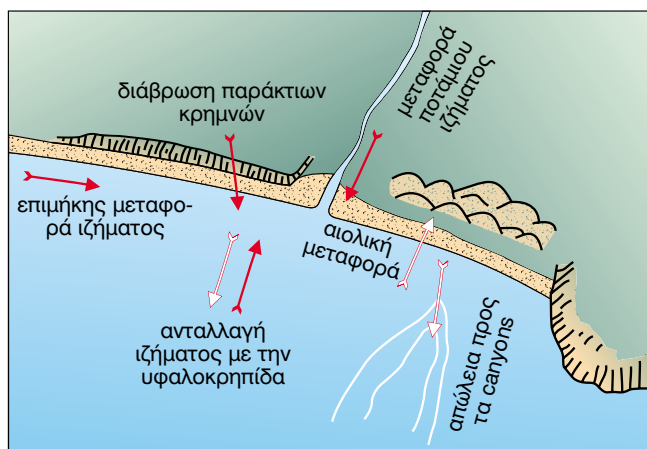


Σχήμα 6.10 Το ισοζύγιο των παράκτιων ιζημάτων. Τα ιζήματα μετακινούνται μεταξύ των δύο κύριων περιοχών απόθεσης που μπορούν να χαρακτηρισθούν σαν "αποθήκες ιζημάτων" και είναι ο θαλάσσιος πυθμένας και η παράκτια ζώνη. (πηγή: Pethic, 1984)

Πίνακας 6.7 Ισοζύγιο ιζημάτων της παράκτιας ζώνης

Εισαγωγή ιζήματος	Απομάκρυνση ιζήματος
• Παράκτια μεταφορά • Ποτάμια στερεοπαροχή (μεταφορά ιζήματος με τη δράση ποταμών και χειμάρρων) • Διάβρωση παράκτιων κρημνών • Μεταφορά ιζήματος από τη θάλασσα • Μεταφορά ιζήματος προς την παραλία με τη δράση του ανέμου (αιολική μεταφορά) • Βιογενής απόθεση • Δράση ανθρωπογενών διεργασιών (π.χ. τεχνητός εμπλουτισμός με ιζημα)	• Παράκτια μεταφορά • Μεταφορά ιζήματος προς την ανοικτή θάλασσα • Μεταφορά ιζήματος μακριά από την παραλία με τη δράση του ανέμου (διεργασία σχηματισμού παράκτιων θινών) • Παγίδευση και απομάκρυνση ιζήματος μέσω των υποθαλάσσιων canyons • Δράση ανθρωπογενών διεργασιών (π.χ. εξόρυξη ιζημάτων, αμμο-ληψίες)

σει το ιζημα σε περιοχές πολύ μεγάλου βάθους. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η περιοχή Sandy Hook στο N. Jersey, όπου η παράκτια μεταφορά κατά μήκος της ακτής μεταφέρει τα ιζήματα στο προς τη θάλασσα άκρο ενός γλωσσοειδούς βραχίονα (spit) που βρίσκεται πολύ κοντά σε νερά μεγάλου βάθους (Davies, 1980). Παρόμοιος τρόπος μεταφοράς ιζήματος από την ακτή προς την ανοικτή θάλασσα παρατηρείται στις ακτές της East Anglia όπου πλάγια κύματα άμμου που είναι γνωστά σαν "nesses" κατευθύνουν την παράκτια κυκλοφορία του ιζήματος κατά μήκος της ακτής στην ανοικτή θάλασσα (McCave, 1978). Επίσης η μεταφορά ιζήματος από την ακτή σε μεγάλα βάθη μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω των υποθαλάσσιων φαραγγίων (canyons). Για παράδειγμα το "Swatch of no Ground", που είναι ένα υποθαλάσσιο canyon που βρίσκεται στα ανοικτά του δέλτα του ποταμού Βραχμαπούτρα, στον Ινδικό ωκεανό, ευθύνεται για τη μεταφορά μεγάλης ποσότητας ιζήματος στον ωκεάνιο πυθμένα παρεμποδίζοντας με τον τρόπο αυτό την προέλαση του δέλτα (Stoddart & Pethic, 1983).



Σχήμα 6.11 Σχηματική απεικόνιση των διεργασιών που καθορίζουν το ισοζύγιο των ιζημάτων στην παράκτια ζώνη. Με κόκκινα βέλη σημειώνονται οι διεργασίες που προσφέρουν υλικό στην ακτογραμμή ενώ με λευκά βέλη εκείνες που απομακρύνουν το υλικό από την παραλιακή ζώνη. (τροποποιημένο από Komar, 1998)

Η αλληλεπίδραση μεταξύ των διεργασιών της μεταφοράς και της απόθεσης και αποθήκευσης του ιζήματος μπορεί να συντελείται σε μικρές κλίμακες χρόνου (της τάξης ενός έτους), καθώς η άμμος μετακινείται προς την ακτή κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού εξαιτίας της δράσης των ελεύθερων κυμάτων (swell waves), ή σε πολύ μεγαλύτερης διάρκειας χρονικά διαστήματα (της τάξης των χιλιάδων ετών) όπως είναι οι ακολουθίες παγετωδών και μεσοπαγετωδών περιόδων που σχετίζονται με τις μεγάλες μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που επιδρά στο ισοζύγιο των παράκτιων ιζημάτων είναι ο άνθρωπος. Η ολοένα αυξανόμενη οικιστική και τουριστική δραστηριότητα στις ακτές εντείνει τη διάβρωσή τους ενώ η κατασκευή μεγάλου αριθμού υδροηλεκτρικών και αρδευτικών φραγμάτων και αντιδιαβρωτικών έργων, για την προστασία των εδαφών από τη διάβρωση, προκαλεί τη δραστική μείωση της παροχής των χερσαίων φερτών υλών (Πούλος, 2001).

Για τη μελέτη της παράκτιας γεωμορφολογίας μιας περιοχής αλλά και για την κατασκευή τεχνικών έργων στην παράκτια ζώνη είναι απαραίτητη η ερμηνεία και η γνώση τόσο της προέλευσης του υλικού της ακτής, όσο και των μηχανισμών μεταφοράς του από την παράκτια κυκλοφορία. Σε μια μελέτη μεταφοράς ιζημάτων κατά μήκος της ακτογραμμής ιδιαίτερη σημασία έχει ο καθορισμός των πλευρικών ορίων του τμήματος της παράκτιας ζώνης, στο οποίο αναφέρεται ο ποσοτικός προσδιορισμός των διαφόρων διεργασιών προσφοράς και απομάκρυνσης ιζημάτων, ώστε να μην υποτιμηθεί κανένας παράγοντας (Πούλος, 2001). Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται στις εκβολές ποταμών και χειμάρρων, έστω και αν βρίσκονται μακριά από την υπό μελέτη περιοχή, καθώς και στους παράκτιους κρημνούς που αποτελούνται από μη συνεκτικά πετρώματα οπότε διαβρώνονται εύκολα παρέχοντας σημαντική ποσότητα ιζήματος στην παράκτια ζώνη. Επιπλέον σημαντικός είναι ο ρόλος τυχόν τεχνητών κατασκευών που τροποποιούν τις φυσικές διεργασίες διάβρωσης, μεταφοράς και απόθεσης.