

9.1 Δέλτα ποταμών (river delta)

Ο όρος δέλτα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Ηρόδοτο, γύρω στο 450 π.Χ., για να περιγράψει τις αλλουβιακές αποθέσεις του ποταμού Νείλου στο στόμιο της εκβολής του (φωτο 9.1). Σήμερα ο όρος περιλαμβάνει χαρακτηριστικές μορφές απόθεσης που δημιουργούνται σε περιοχές ποτάμιων εκβολών, όταν ο ρυθμός προσφοράς ιζήματος από το ποτάμι είναι ταχύτερος από το ρυθμό απομάκρυνσής του από τις θαλάσσιες διεργασίες.

Η κοινωνικοοικονομική σπουδαιότητα των δέλτα είναι πολύ μεγάλη. Απετέλεσαν πόλο έλξης για την εγκατάσταση πληθυσμών από την αρχαιότητα. Σήμερα συνιστούν παγκοσμίως περιοχές που συγκεντρώνουν σημαντικό μέρος της γεωργικής, τουριστικής και αλιευτικής δραστηριότητας. Επιπλέον οι δελταϊκές αποθέσεις συγκεντρώνουν το συνδυασμό ευνοϊκών συνθηκών για το σχηματισμό των υγρών και αέριων υδρογονανθράκων. Τα δελταϊκά ιζήματα συχνά εμπεριέχουν οργανικές αποθέσεις, όπως τύρφη και ορυκτούς άνθρακες, που μπορούν να αποτελέσουν την πηγή για τη δημιουργία πετρελαίου και φυσικού αερίου. Επίσης υπάρχουν μεγάλου πάχους αποθέσεις άμμου με ικανοποιητικό αριθμό κενών (πορώδες) που μπορούν να λειτουργή-

σουν σαν παγίδες (φυσικοί χώροι αποθήκευσης) υδρογονανθράκων. Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η περιβαλλοντική σπουδαιότητα των ποτάμιων δέλτα καθώς φιλοξενούν υγρότοπους μεγάλης οικολογικής σημασίας που συγκεντρώνουν σπάνια είδη χλωρίδας και πανίδας.

9.1.1 Παράγοντες διαμόρφωσης των ποτάμιων δέλτα

Ο σχηματισμός των ποτάμιων δέλτα είναι το αποτέλεσμα του συνδυασμού πολλών παραγόντων. Για να δημιουργήσει ένας ποταμός δέλτα στις εκβολές του πρέπει να πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις (σχήμα 9.1). Αφενός είναι η μεγάλη προσφορά ιζήματος από το ποτάμι που έχει να κάνει με τις συνθήκες που επικρατούν στο χώρο της λεκάνης απορροής (κλιματικές συνθήκες, είδος και πυκνότητα της βλάστησης, ανθρωπίνες ενέργειες όπως κατασκευή φραγμάτων, λιθολογική σύσταση και τεκτονική καταπόνηση των γεωλογικών σχηματισμών που εμφανίζονται στην περιοχή), αφετέρου η ύπαρξη κατάλληλων συνθηκών στη θαλάσσια λεκάνη "υποδοχής" των ιζημάτων (χαμηλή κυματική ενέργεια, μικρό σχετικά βάθος, μικρό εύρος παλίρροιας, ευνοϊκά παράκτια ρεύματα και γεωμετρία κλειστού κόλπου).

Τα δέλτα αποτελούν φυσικά συστήματα που μεταβάλλονται δυναμικά και ανταποκρίνονται άμεσα ή έμμεσα σε κάθε μεταβολή που συντελείται τόσο εντός των λεκανών απορροής, όσο και στην ένταση και το ρυθμό δράσης των παράκτιων διεργασιών.

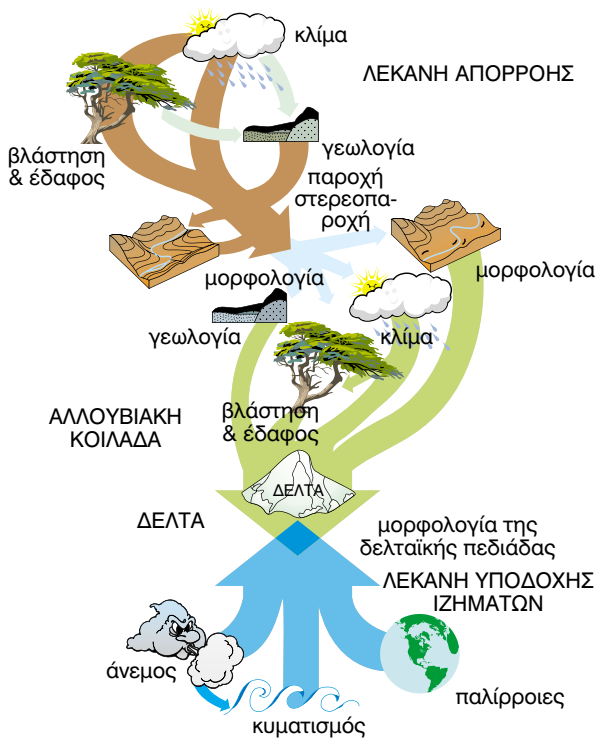
Έχει εκτιμηθεί ότι κάθε χρόνο μεταφέρονται και καταλήγουν στη θάλασσα παγκοσμίως 15×10^9 τόνοι ιζήματος. Το είδος (κοκκομετρία, ορυκτολογία) και η ποσότητα του ιζήματος που καταλήγει στην ακτή μέσω ενός ποταμού εξαρτάται από:

- την έκταση της λεκάνης απορροής και την τραχύτητα του αναγλύφου της,
- τη λιθολογία (ευδιάβρωτη ή δυσδιάβρωτη που σχετίζεται με το είδος των πετρωμάτων και γεωλογικών σχηματισμών) και τον τεκτονισμό της λεκάνης απορροής,
- τις κλιματικές συνθήκες, το είδος του εδάφους και τη βλάστηση εντός της λεκάνης απορροής και
- το είδος και την ένταση των ανθρωπογενών επεμβάσεων εντός της λεκάνης.

Μεγάλοι ποταμοί που αποστραγγίζουν μεγάλης έκτασης λεκάνες με μικρές μορφολογικές κλίσεις εμφανίζουν υψηλές και σταθερές παροχές και τροφοδοτούν τις ακτές με μεγάλο όγκο λεπτόκοκκων ιζημάτων (Reading & Collinson, 1996). Σε τέτοιους ποταμούς συνήθως τα χον-



Φωτο 9.1 Δορυφορική εικόνα του δέλτα του ποταμού Νείλου στις αφρικανικές ακτές της ανατολικής Μεσογείου. (πηγή: N.A.S.A. Visible Earth)



Σχήμα 9.1 Οι παράγοντες και οι διεργασίες που παίζουν κύριο ρόλο στη διαμόρφωση των ποτάμιων δέλτα. (τροποποιημένο από Coleman & Wright, 1975)

δροκόκκα υλικά δεν καταλήγουν στην ακτή διότι μπλοκάρονται και παραμένουν στις κοίτες του υδρογραφικού δικτύου. Σε τεκτονικά ενεργές περιοχές τα ποτάμια έχουν χειμαρρώδη χαρακτηριστικά και αποστραγγίζουν μικρής έκτασης λεκάνες απορροής με έντονο ανάγλυφο. Το υλικό που καταλήγει στην ακτή μέσω αυτών των ποταμών είναι στο μεγαλύτερο ποσοστό του χονδρόκοκκο.

Είναι γνωστό ότι οι κλιματολογικές συνθήκες καθορίζουν το είδος και την ένταση της αποσάθρωσης των πετρωμάτων της λεκάνης απορροής. Σε περιοχές με ημίξηρο κλίμα το υλικό που καταλήγει στην ακτή συνήθως είναι αμμώδες ενώ σε υγρές τροπικές περιοχές το υλικό είναι πιο λεπτομερές (ιλύς και άργιλος) που προέρχεται από διεργασίες χημικής αποσάθρωσης.

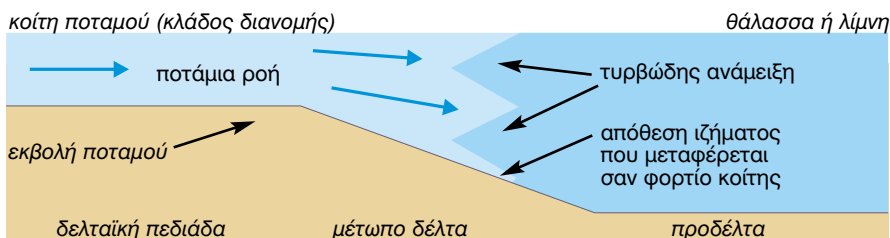
9.1.2 Χαρακτηριστικά ποτάμιας παροχής

Ο τρόπος με τον οποίο το νερό και το ιζήμα του ποταμού εισέρχεται και αναμειγνύεται με το νερό της λεκάνης υποδοχής (θάλασσα ή λίμνη) καθορίζεται από την αλληλεπίδραση πολλών παραγόντων όπως είναι:

- η διαφορά πυκνότητας μεταξύ του γλυκού νερού του ποταμού και του αλμυρού νερού της θάλασσας ή του νερού της λίμνης στην οποία εκβάλλει,
- το είδος του ιζήματος και η συγκέντρωσή του,

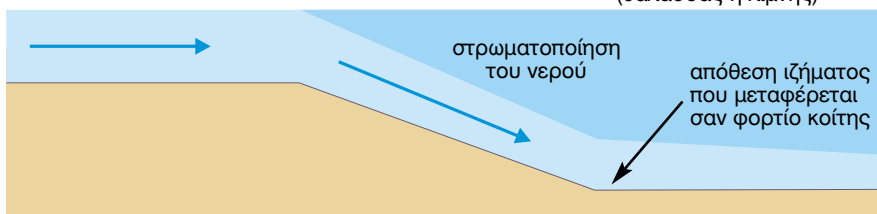
(1) Ομόπυκνη ροή (homopycnal flow)

$$\text{πυκνότητα νερού ποταμού} = \text{πυκνότητα νερού λεκάνης υποδοχής (θάλασσας ή λίμνης)}$$



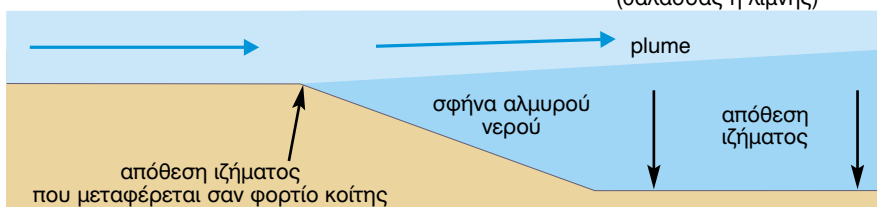
(2) Υπέρπυκνη ροή (hyperpycnal flow)

$$\text{πυκνότητα νερού ποταμού} > \text{πυκνότητα νερού λεκάνης υποδοχής (θάλασσας ή λίμνης)}$$



(3) Υπόπυκνη ροή (hypopycnal flow)

$$\text{πυκνότητα νερού ποταμού} < \text{πυκνότητα νερού λεκάνης υποδοχής (θάλασσας ή λίμνης)}$$



Σχήμα 9.2 Οι τρεις τύποι ροής που παρατηρούνται στις εκβολές των ποταμών ανάλογα με τις διαφορές πυκνότητας μεταξύ του νερού του ποταμού και του νερού της λεκάνης υποδοχής των ποτάμιων ιζημάτων, που μπορεί να είναι μια λίμνη ή μια θαλάσσια λεκάνη - ωκεανός.

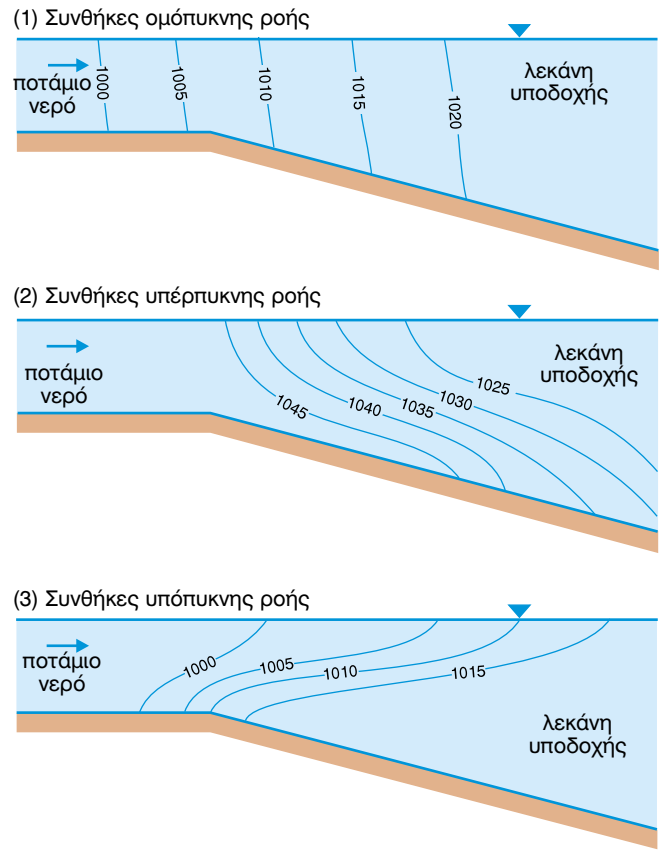
- τα βάθη του νερού,
- ο όγκος της παροχής του νερού και
- η ταχύτητα ροής του ποταμού (Reading & Collinson, 1996).

Αυτά με τη σειρά τους επηρεάζουν:

- **Την αδράνεια (*inertia*)** της ποτάμιας ροής, που είναι η ικανότητα του νερού του ποταμού να συνεχίζει να ρέει εντός της θάλασσας πριν σταματήσει να κινείται.
- **Την τριβή (*friction*)** μεταξύ του ρέοντος νερού και του δαπέδου και των πλευρών της κοίτης του ποταμού και του θαλάσσιου πυθμένα πέρα από τις εκβολές.
- **Την άνωση - ικανότητα επίπλευσης (*buoyancy*)** του νερού του ποταμού, που καθορίζεται από την πυκνότητα και/ή τις διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ του νερού του ποταμού και της λεκάνης υποδοχής.

Η άνωση - επίπλευση θεωρείται μεγάλης σημασίας για την ανάπτυξη των δέλτα στις εκβολές των ποταμών. Έχουν αναγνωριστεί τρία καθεστώτα ροής που ελέγχονται από την άνωση - επίπλευση (σχήμα 9.2). Αυτά τα είδη ροής είναι τα ακόλουθα:

- **Ομόπυκνη ροή (*homopycnal flow*)**. Συμβαίνει όταν η πυκνότητα του νερού του ποταμού και του νερού της υδάτινης λεκάνης υποδοχής είναι σχεδόν ίδια (σχήμα 9.3). Το ιζημα υφίσταται στροβιλώδη ανάμειξη στις ποτάμιες εκβολές και η απόθεση της μεγαλύτερης ποσότητας των ποτάμιων ιζημάτων, ιδιαίτερα αυτών που μεταφέρονται σαν φορτίο κοίτης (*bedload*), συμβαίνει κυρίως σ' αυτή την περιοχή (σχήμα 9.2). Αυτό το είδος ροής είναι χαρακτηριστικό στα δέλτα που σχηματίζονται σε λίμνες γλυκών νερών ενώ είναι σπάνιο σε θαλάσσια περιβάλλοντα.
- **Υπέρπυκνη ροή (*hyperpycnal flow*)**. Στην περίπτωση αυτή το νερό του ποταμού είναι μεγαλύτερης πυκνότητας από το νερό της λεκάνης υποδοχής των ποτάμιων ιζημάτων (σχήμα 9.3). Σε αυτό το είδος ροής το νερό του ποταμού ρέει κατά μήκος του βυθού. Είναι χαρακτηριστικό των δέλτα που σχηματίζονται σε λίμνες γλυκού νερού όπου η θερμοκρασία του νερού του ποταμού είναι μικρότερη από την αντίστοιχη θερμοκρασία του νερού της λίμνης στην οποία εκβάλλει και συχνά περιέχει μεγάλη ποσότητα ιζήματος. Η διαφορά θερμοκρασίας προκαλεί τη στρωματοποίηση των νερών στην περιοχή των εκβολών (σχήμα 9.2). Ο διαχωρισμός ανάμεσα στην κρύα ροή του πυθμένα και τα θερμά ανώτερα νερά είναι περισσότερο έντονος, όταν το ποτάμι εισέρχεται σε νερά μεγάλου βάθους. Στην περίπτωση όμως που το ποτάμι εκβάλλει σε ρηχά νερά οι δύο υδάτινες ζώνες αναμειγνύονται κατά ένα βαθμό, οπότε μετριάζεται η στρωματοποίηση.
- **Υπόπυκνη ροή (*hypopycnal flow*)**. Λαμβάνει χώρα όταν το ποτάμιο νερό είναι μικρότερης πυκνότητας



Σχήμα 9.3 Χαρακτηριστικά της πυκνότητας του νερού στο χώρο της εκβολής των ποταμών για τους τρεις διαφορετικούς τύπους ροής. Η πυκνότητα απεικονίζεται με τις ισόπυκνες καμπύλες που θεωρείται ότι ενώνουν σημεία που το νερό έχει την ίδια πυκνότητα. Οι ενδεικτικές τιμές πυκνότητας είναι σε kg/m^3 .

από αυτό του σώματος υποδοχής (σχήμα 9.3). Αυτό το είδος ροής είναι συχνό σε περιπτώσεις ποταμών που εκβάλλουν σε θάλασσα και συνεπώς θεωρείται τυπικό των θαλάσσιων ποτάμιων δέλτα. Το νερό του ποταμού εκτείνεται στη θάλασσα σαν προεξέχουσα ροή που επιπλέει (*buoyant jet*) πάνω από το θαλάσσιο νερό το οποίο έχει μεγαλύτερη πυκνότητα (σχήμα 9.2). Το νερό του ποταμού αφήνοντας τις ποτάμιες εκβολές διαχωρίζεται από τον πυθμένα δημιουργώντας μια σφήνα αλμυρού νερού (*salt wedge*) ενώ επιπλέον διαχωρίζεται το φορτίο κοίτης (*bedload*) από το εν αιωρήσει ιζημα. Στην περίπτωση αυτή το χονδρόκοκκο υλικό της κοίτης αποτίθεται στην άκρη - μύτη της αλμυρής σφήνας όπου το νερό του ποταμού διαχωρίζεται από το βυθό ενώ το λεπτόκοκκο εν αιωρήσει ιζημα μεταφέρεται προς τη θάλασσα εντός του *plume* του νερού του ποταμού που επιπλέει.

Το ποιο είδος ροής θα επικρατήσει στις εκβολές ενός ποταμού καθορίζεται από τον αριθμό μέτρησης πυκνότητας του Froude (*Densimetric Froude Number*) F'_r (Masselink & Hughes, 2003):

$$F_r' = \frac{u}{\sqrt{gh' \left(1 - \frac{p_R}{p_C}\right)}}$$

όπου u είναι η ταχύτητα ροής του ποτάμιου ρεύματος (ή η ταχύτητα ροής του plume στην περίπτωση υπόπυκνης ροής),

g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας (ίση με $9,81 \text{ m/s}^2$),

h' είναι το βάθος της ροής (ή το πάχος του plume στην υπόπυκνη ροή) και

p_R και p_C είναι η πυκνότητα του ποτάμιου νερού και του νερού της λεκάνης υποδοχής (θάλασσα ή λίμνη) αντίστοιχα.

Για υψηλές τιμές του F_r' η είσοδος του ποτάμιου νερού στη λεκάνη υποδοχής έχει τα χαρακτηριστικά της υπέρπυκνης ροής ενώ για χαμηλές τιμές η ροή είναι υπόπυκνη.

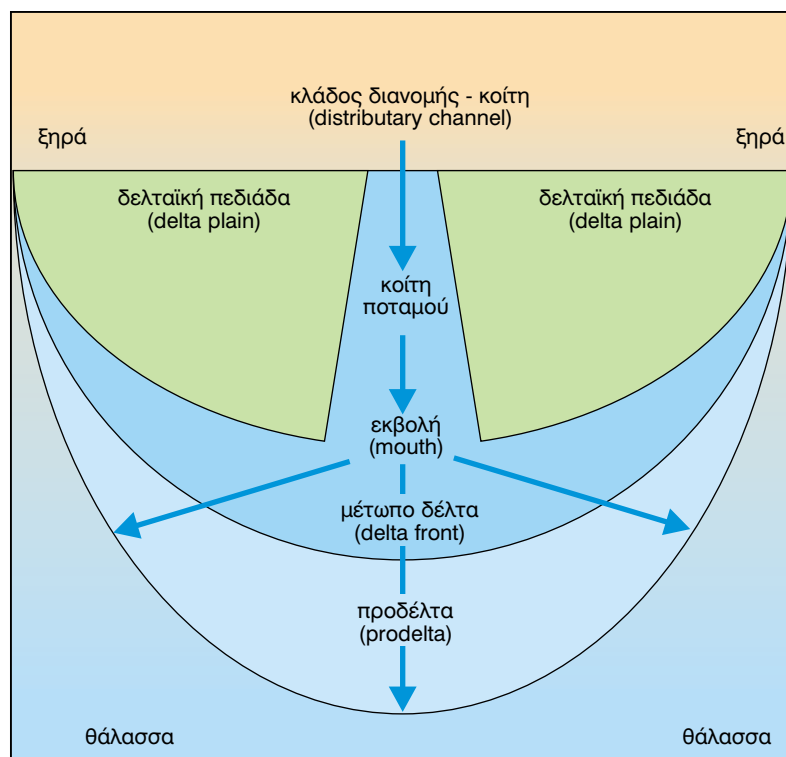
9.1.3 Μορφολογικά χαρακτηριστικά των δέλτα

Τα ποτάμια δέλτα περιλαμβάνουν ένα επιφανειακό τμήμα και ένα υποθαλάσσιο. Η έκταση των δύο τμημάτων είναι άνιση και διαφορετική για κάθε δέλτα και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες με κυριότερο τις θαλάσσιες διεργασίες (κύματα, παλίρροιες, θαλάσσια ρεύματα) και την υποθαλάσσια μορφολογία. Τα κύρια μορφολογικά χαρακτηριστικά των δέλτα είναι η δελταϊκή πεδιάδα, το μέτωπο του δέλτα και το προδέλτα

(σχήμα 9.4). Το τμήμα που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας αποτελεί τη δελταϊκή πεδιάδα που ουσιαστικά είναι η προς τη θάλασσα συνέχεια της αλλουβιακής κοιλάδας του ποταμού. Το μέτωπο περιλαμβάνει την εκβολή, την ακτογραμμή και ένα μικρό τμήμα του υποθαλάσσιου δέλτα. Το τμήμα που βρίσκεται υποθαλάσσια ονομάζεται προδέλτα.

9.1.3.1 Δελταϊκή πεδιάδα (delta plain)

Η δελταϊκή πεδιάδα είναι ένα εκτεταμένο χαμηλό περιβάλλον που διαρρέεται από μία ή περισσότερες κοίτες, διακλαδιζόμενου ή μαιανδρικού τύπου, που ονομάζονται κλάδοι διανομής (distributary channels). Εάν η κλίση του δέλτα είναι μεγάλη, οι κλάδοι διανομής είναι διακλαδιζόμενου τύπου ενώ αν η κλίση είναι πολύ μικρή, οι κοίτες αποκτούν μαιανδρική μορφή (φωτο 9.2). Οι κοίτες οριοθετούνται από φυσικά αναχώματα (natural levees). Σε πλημμυρικές παροχές του ποταμού τα φυσικά αναχώματα συχνά υποχωρούν και η δελταϊκή πεδιάδα καλύπτεται με νερό πλούσιο σε λεπτομερή υλικά (ιλύ και άργιλο). Όταν τα νερά υποχωρούν, τα λεπτόκοκκα αυτά ιζήματα αποτίθενται αποτελώντας τις υπερόχθιες αποθέσεις (over-bank deposits). Η διεργασία αυτή κάνει τα δέλτα εύφορες περιοχές για την ανάπτυξη καλλιιεργειών. Αποτέλεσμα της υποχώρησης των φυσικών αναχωμάτων είναι συχνά η εγκατάλειψη της κοίτης και η αλλαγή της ροής του ποταμού με τη δημιουργία νέων κοιτών. Οι δελταϊκή πεδιάδα συχνά διασχίζεται από εγκαταλελειμμένες κοίτες (abandoned channels), που αποτελούν τα παλαιά ίχνη ροής του ποταμού (φωτο 9.3).



Σχήμα 9.4 Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά ενός δέλτα.



Φωτο 9.2 Τμήμα της δελταϊκής πεδιάδας του Πηνειού ποταμού στη Θεσσαλία. Διακρίνεται η μαιανδρική μορφή του κύριου κλάδου διανομής.



Φωτο 9.3 Αεροφωτομωσαϊκό του δέλτα του Εύηνου ποταμού που έχει προκύψει από τη γεωαναφορά αεροφωτογραφιών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) έτους λήψης 1945. Διακρίνεται η μοναδική ενεργός κοίτη του ποταμού καθώς και τα ίχνη των παλαιών ροών του (εγκαταλελειμμένες κοίτες και αποκομμένοι μαϊάνδροι).

Η δελταϊκή πεδιάδα φιλοξενεί ένα μεγάλο αριθμό υπο-περιβαλλόντων όπως αλμυρά εδάφη, περιοδικά ή μόνιμα έλη γλυκού, υφάλμυρου ή αλμυρού νερού (ανάλογα με την απόστασή τους από τη θάλασσα), πεδία παλίρροιας (tidal flats). Διακρίνεται στην άνω (ή εσωτερική) και την κάτω (ή εξωτερική) δελταϊκή πεδιάδα. Η άνω ή εσωτερική δελταϊκή πεδιάδα αποτελεί το παλαιό εγκαταλελειμμένο ή ανενεργό τμήμα του δέλτα και κυριαρχείται από τις ποτάμιες διεργασίες. Αντίθετα το κάτω ή εξωτερικό τμήμα κυριαρχείται από τη δράση των θαλάσσιων διεργασιών (κυματισμός, παράκτια ρεύματα, δράση παλίρροιας) και είναι μια δυναμικά μεταβαλλόμενη περιοχή. Δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη σημαντικής υψομετρικής διαφοράς μεταξύ των δύο αυτών τμημάτων.

9.1.3.2 Μέτωπο δέλτα (delta front)

Το μέτωπο του δέλτα περιλαμβάνει την εκβολή του ποταμού, τη δελταϊκή ακτογραμμή και την περιοχή που εκτείνεται από την ακτογραμμή προς τη θάλασσα. Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της ζώνης αυτής καθορίζονται από τις θαλάσσιες διεργασίες. Συγκεκριμένα:

- Τα δέλτα με κυριαρχία των ποτάμιων διεργασιών χαρακτηρίζονται από την παρουσία αμμωδών φραγμάτων στην εκβολή, που είναι προσανατολισμένα κάθετα στη ροή του ποταμού. Άλλο μορφολογικό χαρακτηριστικό είναι η ύπαρξη φυσικών αναχωμάτων που συχνά εκτείνονται κάτω από τη στάθμη της θάλασσας, ορίζοντας μια υποθαλάσσια κοιτή.
- Τα δέλτα που διαμορφώνονται από τις παλίρροιες χαρακτηρίζονται από την παρουσία μικρών κόλπων που διαχωρίζονται μεταξύ τους από αμμώδη φράγματα που είναι ευθυγραμμισμένα παράλληλα με τη διεύθυνση ροής των νερών της παλίρροιας.
- Τα δέλτα που επηρεάζονται από τον κυματισμό χαρακτηρίζονται από την παρουσία αιγιαλών, γλωσσοειδών βραχιόνων και επιμηκών αμμωδών φραγμάτων εκεί που ο κυματισμός μεταφέρει και αποθέτει ίζημα στην ακτή. Άλλες χαρακτηριστικές γεωμορφές στο μέτωπο των δέλτα αυτού του τύπου είναι οι παράκτιες αμμώδεις θίνες και οι παραλιακές αμμώδεις ράχες που, όπως έχει αναφερθεί, είναι επιμήκεις αποθέσεις υλικών αιγιαλού που καλύπτονται από αιολικές άμμους.

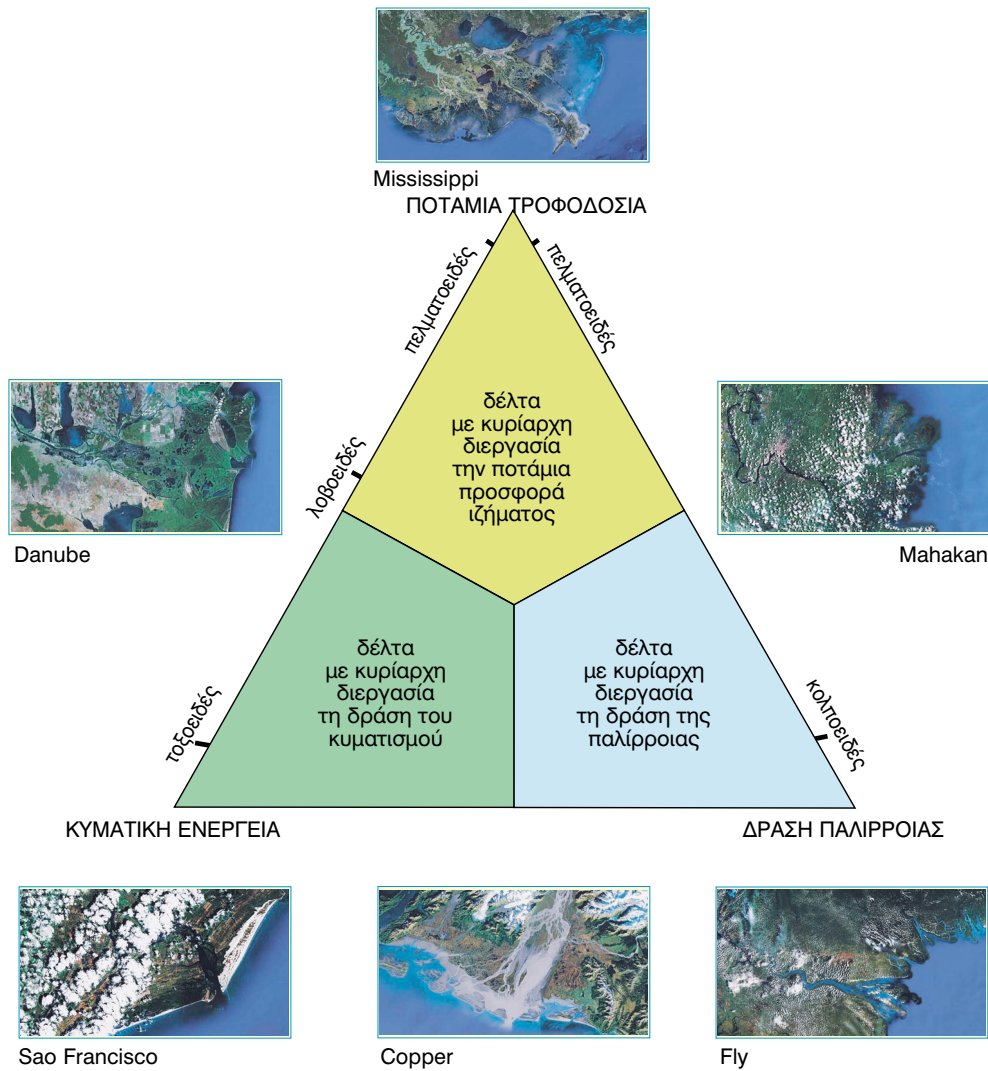
9.1.3.3 Προδέλτα (prodelta)

Προδέλτα ονομάζεται το υποθαλάσσιο τμήμα του δέλτα. Αποτελείται από λεπτόκοκκα ιζήματα που αποτίθενται από το εν αιωρήσει υλικό του ποταμού που εισέρχεται στη θάλασσα. Το προδέλτα βρίσκεται κάτω από τη βάση των κυμάτων και συνεπώς δεν επηρεάζεται άμεσα από τον κυματισμό ενώ και η επίδραση της παλίρροιας είναι αμελητέα. Συχνά τα ιζήματα του προδέλτα εμφανίζουν εναλλαγές στρωμάτων με διαφορετική κοκκομετρία που αντιστοιχούν σε διαφορετικά ενεργειακά καθεστώτα του ποταμού. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού υπάρχει χαμηλή ενέργεια και μικρή παροχή και στερεοπαροχή ενώ κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου συμβαίνει το αντίθετο. Η συσσώρευση μεγάλου πάχους χαλαρών λεπτόκοκκων ιζημάτων στο προδέλτα αρκετά συχνά προκαλεί υποθαλάσσιες κατολισθήσεις και ροές υλικών. Η αποσταθεροποίηση των κλιτύων του προδέλτα πολλές φορές πυροδοτείται από σεισμικές δονήσεις και αποτελεί μια από τις κύριες αιτίες πρόκλησης θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας (tsunami).

9.1.4 Ταξινόμηση των ποτάμιων δέλτα

Κατά καιρούς έχουν προταθεί πολλές ταξινομήσεις των δέλτα ανάλογα με το σχήμα, τη μορφή της ακτογραμμής τους, τον αριθμό και τη μορφή των κοιτών που διαρρέουν τη δελταϊκή πεδιάδα κ.α. Ο Galloway (1975) ταξινόμησε τα δέλτα με κριτήριο το ποια διεργασία είναι κυρίαρχη και υπεύθυνη για την τελική τους διαμόρφωση. Στο τριγωνικό διάγραμμα του σχήματος 9.5, κάθε μία από τις κορυφές του τριγώνου αντιπροσωπεύει δέλτα ποταμών με συγκεκριμένα μορφολογικά χαρακτηριστικά που έχουν διαμορφωθεί με κυρίαρχη διεργασία την ποτάμια τροφοδοσία, την κυματική ενέργεια και την δράση της παλίρροιας αντίστοιχα. Κάθε ποτάμιο δέλτα απεικονίζεται σαν ένα σημείο του τριγωνικού διαγράμματος του σχήματος 9.5 ανάλογα με το ποσοστό συμμετοχής καθεμιάς από τις τρεις κύριες διεργασίες στην τελική του διαμόρφωση.

Στη συνέχεια περιγράφονται τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των τριών κύριων κατηγοριών των ποτάμιων δέλτα.



Σχήμα 9.5 Ταξινόμηση των δέλτα βάσει των τριών κύριων διεργασιών διαμόρφωσής τους που είναι η ποτάμια τροφοδοσία, η κυματική ενέργεια και οι παλίρροιες. (τροποποιημένο από Galloway, 1975)



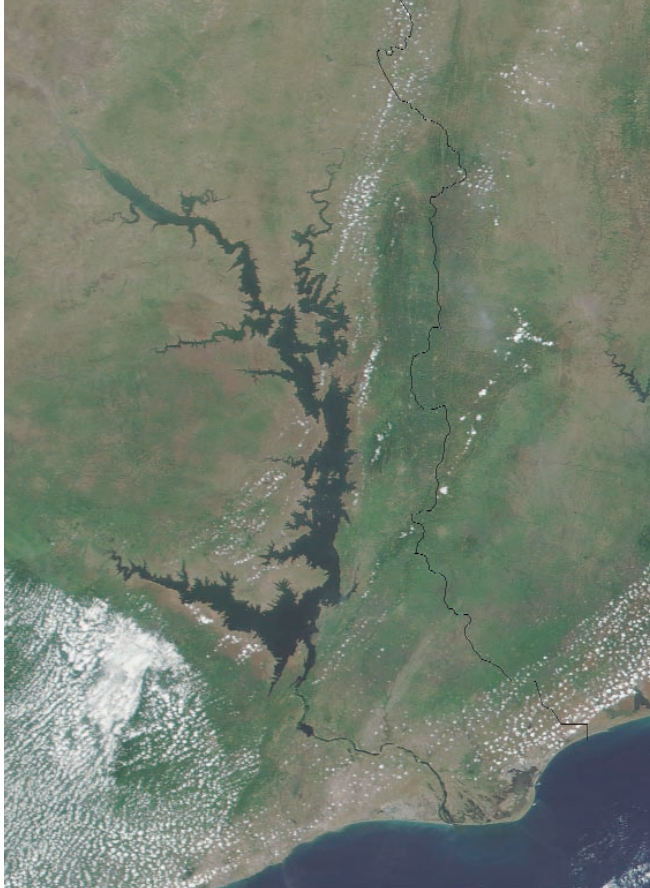
Φωτο 9.4 Δορυφορική εικόνα του δέλτα του ποταμού Mississippi. Θεωρείται αντιπροσωπευτικό δέλτα μορφής πέλματος πτηνού (bird's foot delta) με κυρίαρχη διεργασία διαμόρφωσης την ποτάμια τροφοδοσία. (πηγή: N.A.S.A. Visible Earth)

9.1.4.1 Δέλτα με κυρίαρχο παράγοντα διαμόρφωσης τις ποτάμιες διεργασίες

Το κύριο χαρακτηριστικό των ποταμών που σχηματίζουν δέλτα αυτού του τύπου είναι η μεγάλη στερεοπαροχή (ποσότητα μεταφερόμενου ιζήματος). Τα μεταφερόμενα υλικά σχηματίζουν φυσικά αναχώματα που οριοθετούν τις κοίτες. Τα αναχώματα εκτείνονται εντός της θάλασσας δημιουργώντας μια μορφολογία που θυμίζει πέλμα πτηνού. Για το λόγο αυτό έχει καθιερωθεί η ονομασία δέλτα πέλματος πτηνού (birds foot delta) για τα δέλτα αυτού του τύπου. Το πιο αντιπροσωπευτικό αυτής της κατηγορίας είναι το δέλτα του ποταμού Mississippi, που βρίσκεται στις νοτιοανατολικές Η.Π.Α. (φωτο 9.4).

9.1.4.2 Δέλτα με κυρίαρχο παράγοντα διαμόρφωσης τον κυματισμό

Στα δέλτα της κατηγορίας αυτής το ιζημα που μεταφέρεται από το ποτάμι και καταλήγει στην ακτή αναδιανέμεται από τη δράση του κυματισμού. Το κύριο μορφολογικό χαρακτηριστικό αυτών των δέλτα είναι η ομαλή σχε-



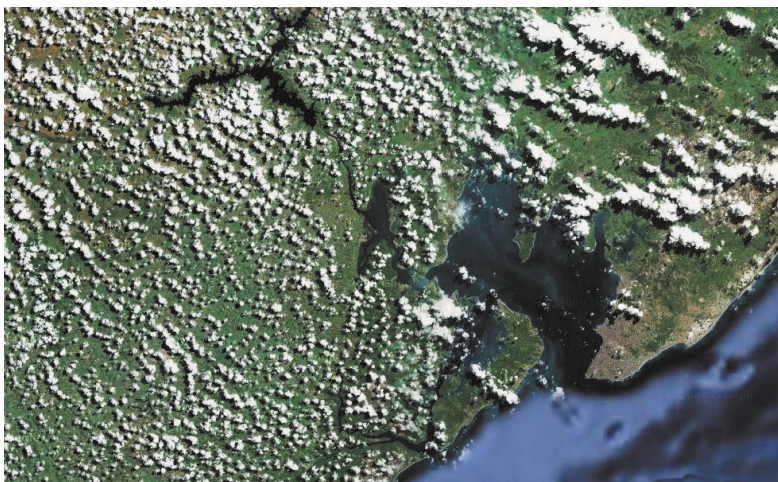
Φωτο 9.5 Δορυφορική εικόνα του δέλτα του ποταμού Volta στην Ghana. Φαίνεται η τεχνητή λίμνη (έκτασης 8.482 km²) που έχει σχηματισθεί από το φράγμα του Akosombo η κατασκευή του οποίου περιόρισε σημαντικά την προσφορά ιζημάτων στο δέλτα με αποτέλεσμα την υποχώρηση της ακτογραμμής του. Η εικόνα ελήφθη στις 31 Μαρτίου 2002. (πηγή: N.A.S.A. Visible Earth)

δόν ευθεία ακτογραμμή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του τύπου είναι το δέλτα του ποταμού Sao Francisco στη Βραζιλία (φωτο 9.6). Στην περίπτωση που τα κύματα θραύονται παράλληλα προς την ακτογραμμή, το δέλτα αναπτύσσεται συμμετρικά εκατέρωθεν των εκβολών. Όταν τα κύματα προσεγγίζουν την ακτογραμμή υπό γωνία, το δέλτα εμφανίζει μια μορφολογία έντονα ασύμμετρη διότι τα επιμήκη παράκτια ρεύματα, που δημιουργούνται από τη δράση του κυματισμού, μεταφέρουν το ποτάμιο ιζημα πλευρικά των εκβολών. Το δέλτα του ποταμού Volta στη δυτική Αφρική αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα ασύμμετρα ανεπτυγμένου δέλτα (φωτο 9.5). Η διαμόρφωσή του έχει επηρεαστεί σημαντικά από τη δράση του κυματισμού και των επιμήκων παράκτιων ρευμάτων. Η μια πλευρά της δελταϊκής ακτογραμμής υφίσταται έντονη διάβρωση από τις θαλάσσιες διεργασίες (Anthony & Blivi, 1999). Τα προϊόντα της διάβρωσης παρασύρονται και μεταφέρονται κατά μήκος των ακτών του Togo και της Ghana σχηματίζοντας ένα σύστημα από αμμώδη φράγματα (sand bars) και λιμνοθάλασσες (lagoons). Μέχρι το 1961 το τμήμα της ακτογραμμής που διαβρωνόταν τροφοδοτούταν, μέσω του κλάδου διανομής, με μεγάλες ποσότητες ιζημάτων που προέκυπταν από την ποτάμια διάβρωση των ορεινών περιοχών της λεκάνης απορροής. Μετά την κατασκευή του φράγματος του Akosombo, στο άνω τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Volta, το 1961 περιορίστηκε σημαντικά η ποσότητα των ποτάμιων ιζημάτων που καταλήγουν στην ακτή, προκαλώντας την υποχώρηση του δέλτα και τη σταδιακή εξαφάνιση των αμμωδών φραγμάτων από τη δράση των θαλάσσιων διεργασιών.

9.1.4.3 Δέλτα με κυρίαρχο παράγοντα διαμόρφωσης τις παλίρροιας

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει δέλτα ποταμών όπου το ποτάμιο ιζημα που καταλήγει στην ακτή αναδιανέμεται από τη δράση της παλίρροιας.

Στο μέτωπο των δέλτα της κατηγορίας αυτής έχουν διαμορφωθεί κοίτες παλίρροιας (tidal channels) μέσω



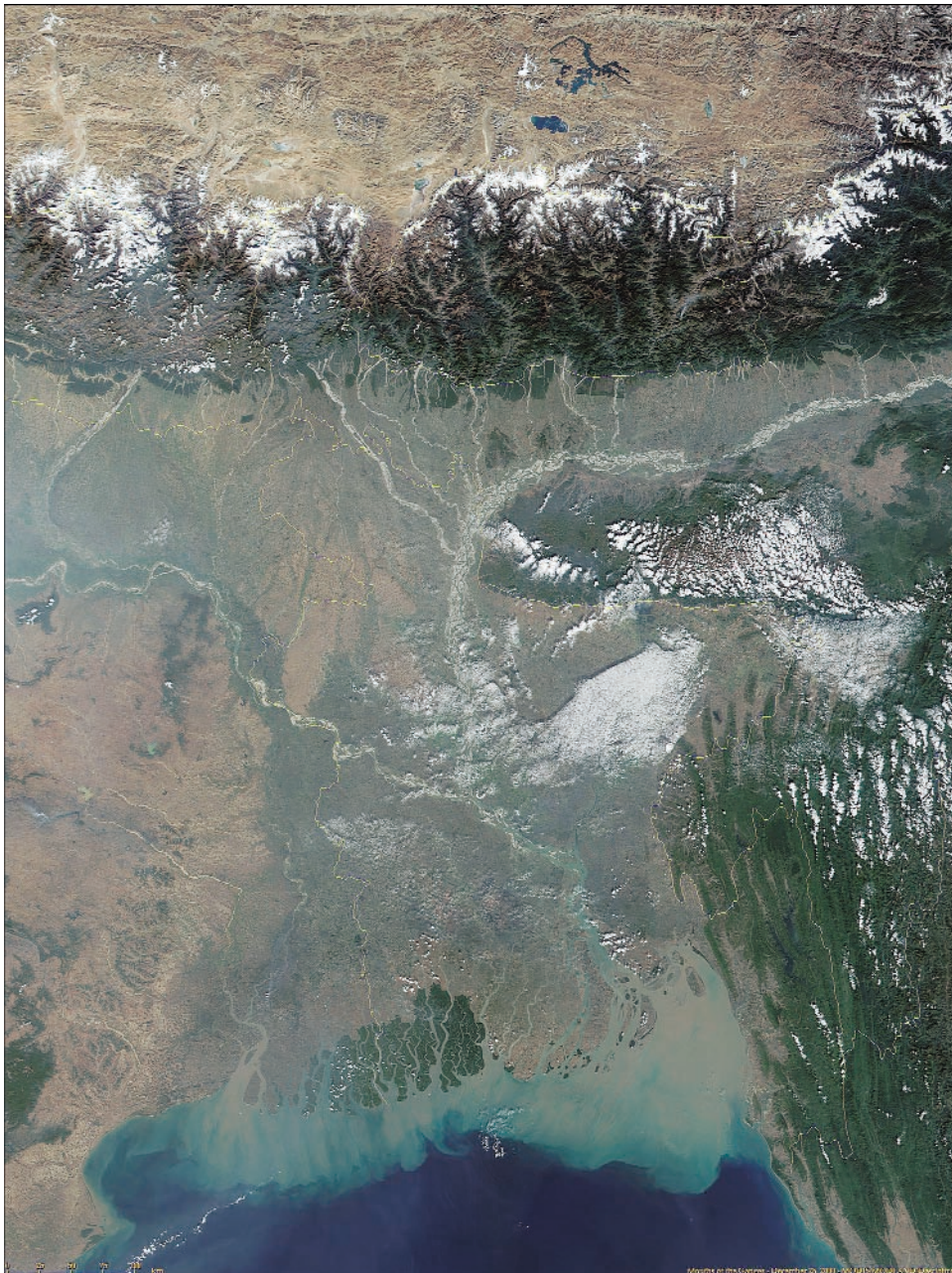
Φωτο 9.6 Δορυφορική εικόνα του δέλτα του ποταμού Sao Francisco, στη Βραζιλία. Θεωρείται τυπικό δέλτα με κυρίαρχο παράγοντα διαμόρφωσης τον κυματισμό. (πηγή: N.A.S.A. Visible Earth)

των οποίων κινείται το νερό κατά την πλημμυρίδα και την άμπωτη. Οι κοίτες αυτές διακόπτουν την συνέχεια της ακτογραμμής η οποία αποτελείται από κολπίσκους και αμμώδη φράγματα διατεταγμένα κάθετα στην ακτή. Στην κατηγορία αυτή ανήκει το δέλτα που έχει διαμορφωθεί στις εκβολές των ποταμών Γάγγη και Βραχμαπούτρα (Ganges and Brahmaputra) στην Ινδία και το Μπαγκλαντές (φωτο 9.7).

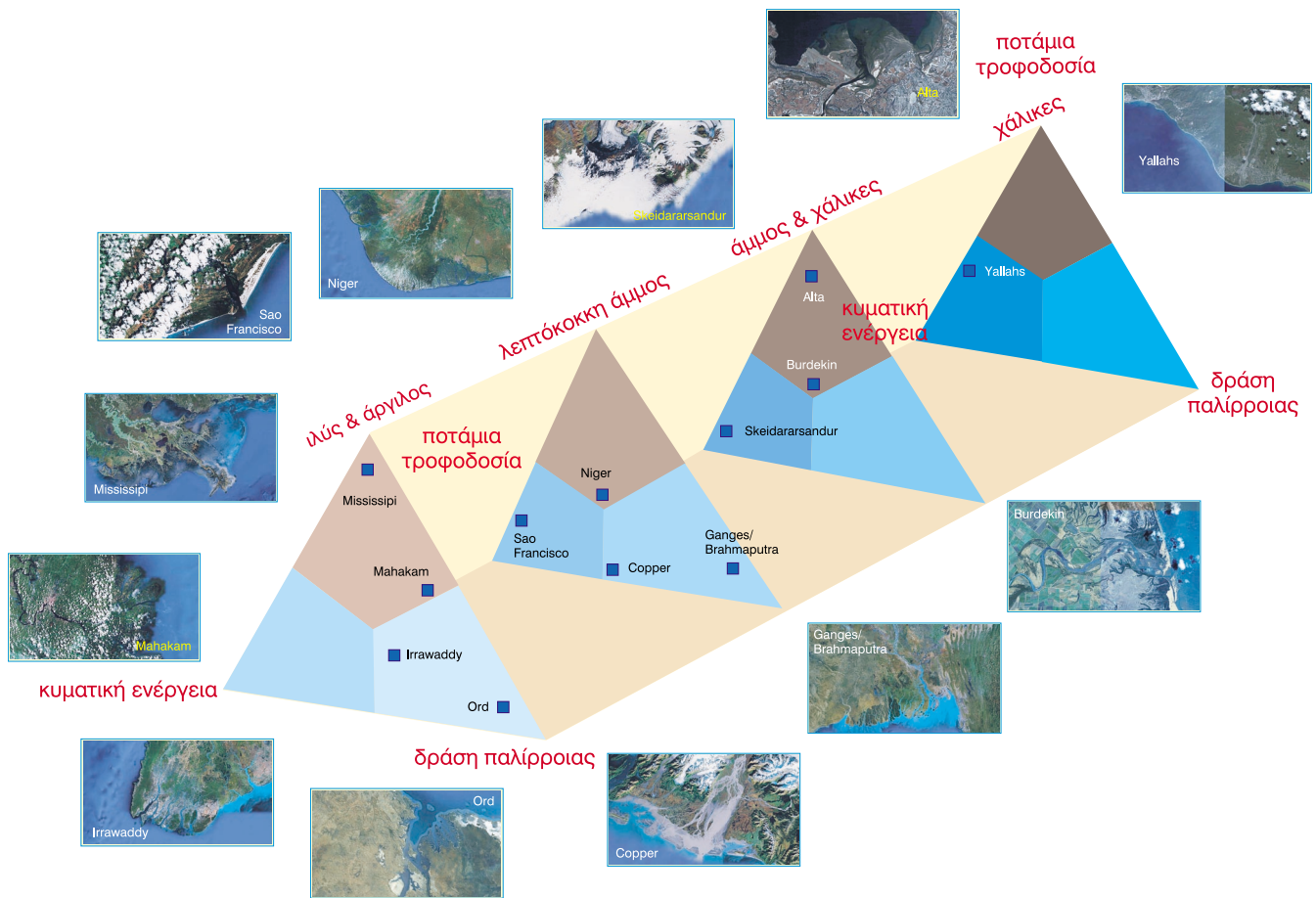
Ο αριθμός των δέλτα που επηρεάζονται αμιγώς από μία μόνο διεργασία, που προβάλλονται δηλαδή κοντά στις κορυφές του τριγωνικού διαγράμματος του Galloway (σχήμα 9.5), είναι πολύ μικρός. Τα περισσότε-

ρα δέλτα επηρεάζονται και διαμορφώνονται από συνδυασμό διεργασιών. Για παράδειγμα το δέλτα του ποταμού Νίγηρα που βρίσκεται στις δυτικές ακτές της Αφρικής επηρεάζεται ταυτόχρονα και από τις τρεις παραπάνω διεργασίες. Παρουσιάζει μια εσωτερική ζώνη, που κυριαρχεί η ποτάμια τροφοδοσία, μια εξωτερική ζώνη, όπου κυριαρχεί ο κυματισμός, και μια μεταβατική περιοχή όπου κυριαρχούν οι παλίρροιες.

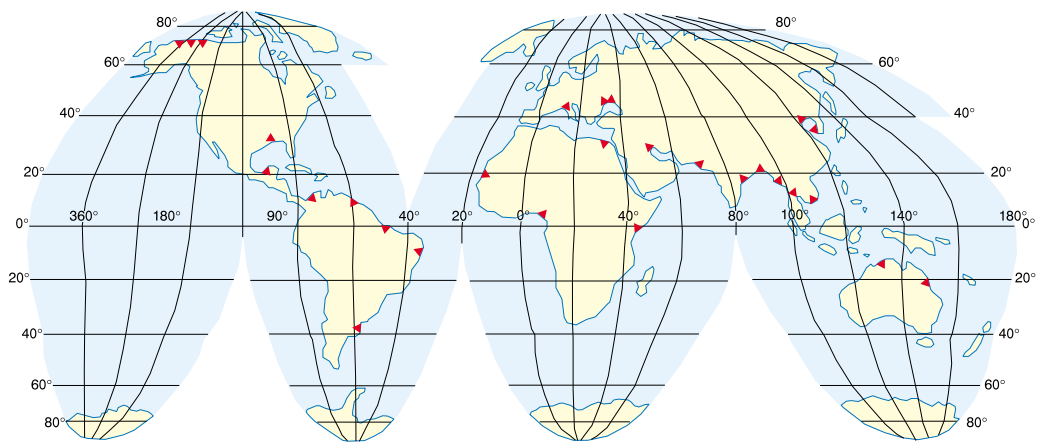
Τα περισσότερα δέλτα του ελλαδικού χώρου ταξινομούνται μεταξύ αυτών που κυρίαρχη διεργασία είναι η ποτάμια τροφοδοσία και αυτών που κυριαρχεί ο κυματισμός (Karymbalis et al., 2001). Τα εύρη παλίρροιας κατά



Φωτο 9.7 Δορυφορική εικόνα του δελταϊκού συμπλέγματος των ποταμών Γάγγη και Βραχμαπούτρα (Ganges and Brahmaputra). Το ανατολικό δέλτα είναι ενεργό ενώ το δυτικό έχει εγκαταλειφθεί. Είναι ο μεγαλύτερος δελταϊκός σχηματισμός στον κόσμο και θεωρείται τυπικό δέλτα με κυρίαρχη διεργασία διαμόρφωσης τις παλίρροιες. Φαίνεται η τεράστια προσφορά αιωρούμενου ιζήματος στον κόλπο της Βεγγάλης εξαιτίας των μουσωνικών βροχοπτώσεων και της τήξης του χιονιού των Ιμαλαΐων. (πηγή: N.A.S.A. Visible Earth)



Σχήμα 9.6 Το πρισματικό διάγραμμα ταξινόμησης δέλτα των Orton & Reading (1993). Στην ταξινόμηση αυτή εκτός των διεργασιών διαμόρφωσης λαμβάνεται υπόψη και το μέγεθος των κόκκων των δελταϊκών αποθέσεων. (τροποποιημένο από Reading & Collinson, 1996)



Σχήμα 9.7 Γεωγραφική κατανομή των μεγαλύτερων δελταϊκών σχηματισμών της γης. Ποτάμια δέλτα σχηματίζονται σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη και σε όλες τις κλιματικές ζώνες της γης.

μήκος των ελληνικών ακτών είναι πολύ μικρά με αποτέλεσμα οι παλίρροιες να μην παίζουν ιδιαίτερο ρόλο στη διαμόρφωση των ελληνικών δέλτα.

Οι Orton & Reading (1993) πρότειναν μια ταξινόμηση όπου, εκτός από τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των δέλτα, λαμβάνει υπόψη και την κοκκομετρία των δελταϊκών αποθέσεων. Στην ταξινόμηση αυτή αντί για

το τριγωνικό διάγραμμα των διεργασιών του Galloway χρησιμοποιείται το πρίσμα του σχήματος 9.6. Τα δύο άκρα της πλευράς που αφορά την κοκκομετρία είναι οι χάλικες και η ιλύς με ενδιάμεσες κατηγορίες τις άμμους με χάλικες και τις λεπτόκοκκες άμμους.

Δέλτα σχηματίζονται σε όλες τις κλιματικές ζώνες του πλανήτη, όπως δείχνει ο χάρτης του σχήματος 9.7

Πίνακας 9.1 Χαρακτηριστικά των μεγαλύτερων δέλτα της γης και των αντίστοιχων ποτάμιων λεκανών απορροής

Ποταμός/χώρα	Έκταση λεκάνης απορροής (X10 ³ km ²)	Βροχόπτωση (mm)	Παροχή (m ³ /sec)	Έκταση δέλτα (km ²)	Λόγος μήκος/πλάτος δέλτα
Amazon (Brazil)	5.877,5	1.701	149.736,0	467.078	1,20
Burdekin (Australia)	266,7	662	475,7	2.112	1,66
Chao Phraya (Thailand)	92,2	1.317	831,4	11.329	1,15
Colville (Alaska)	59,5	116	491,7	1.687	1,73
Danube (Romania)	712,6	792	6.250,1	2.740	1,65
Dneiper (Russia)	801,3	489	1.370,0	-	1,82
Ebro (Spain)	89,8	583	552,0	624	2,89
Ganges - Brahmaputra (Bangladesh)	1.597,2	1.814	34.500,0	105.641	1,51
Godavari (India)	305,3	1.512	3.180,0	6.322	1,76
Grijalva (Mexico)	112,0	1.585	-	17.028	1,26
Hwang Ho (China)	865,1	431	2.571,0	36.272	1,36
Indus (W. Pakistan)	887,7	720	4.274,0	29.524	1,42
Irrawaddy (Burma)	341,8	2.192	12.558,0	20.571	1,65
Klang (Malaysia)	0,9	2.135	1.100,0	1.817	1,35
Lena (Russia)	2.421,4	253	1.402,0	43.563	1,85
Mackenzie (Canada)	1.448,4	257	8.583,0	8.506	-
Magdalena (Columbia)	251,7	1.777	7.500,0	1.689	1,02
Mekong (Vietnam)	517,5	1.530	14.168,0	93.781	2,20
Mississippi (USA)	3.344,6	1.018	15.631,0	28.568	2,03
Niger (Nigeria)	1.112,7	1.062	8.769,0	19.135	1,24
Nile (Egypt)	2.715,6	870	1.480,0	12.512	1,20
Ord (Australia)	78,0	528	166,0	3.896	2,28
Orinoco (Venezuela)	951,3	1.434	25.200,0	20.642	1,80
Parana (Brazil)	2.871,8	1.205	12.658,0	5.440	1,81
Pechora (Russia)	300,7	446	3.362,0	-	1,46
Po (Italy)	71,7	847	1.484,0	13.398	1,39
Red (N. Vietnam)	143,9	1.282	3.913,0	11.908	1,33
Sagavanirktok (Alaska)	11,8	116	-	1.178	1,64
Sao Francisco (Brazil)	602,3	1.223	3.420,0	734	1,08
Senegal (Senegal)	196,4	1.381	867,8	4.254	1,02
Shat-al-Arab (Iraq)	461,7	148	1.300,0	18.497	1,30
Tana (Kenya)	63,5	733	172,0	3.659	1,12
Volga (Russia)	1.614,4	527	7.736,0	27.224	1,93
Yangtze-Kiang (China)	1.354,2	1.215	-	66.669	1,50

που περιλαμβάνει τους μεγαλύτερους δελταϊκούς σχηματισμούς της γης. Ο πίνακας 9.1 περιλαμβάνει τα κύρια χαρακτηριστικά όπως έκταση λεκάνης απορροής, βρο-

χόπτωση, ποτάμια παροχή, έκταση δέλτα και το λόγο μήκους/πλάτος των δέλτα τριάντα τεσσάρων μεγάλων ποταμών σε ολόκληρο τον κόσμο.

9.1.5 Ανάπτυξη των δέλτα στο Ολόκαινο

Όπως ήδη αναφέρθηκε, κατά τη διάρκεια των παγετωδών περιόδων του Τεταρτογενούς η θαλάσσια στάθμη ήταν πολύ χαμηλότερη από τη σημερινή. Κατά το μέγιστο της τελευταίας παγετώδους περιόδου 18.000 έτη πριν από σήμερα η παγκόσμια θαλάσσια στάθμη βρέθηκε περίπου 120 m χαμηλότερα από τη σημερινή και οι τότε ακτογραμμές σε όλες τις ηπείρους βρίσκονταν κοντά στο άκρο της σημερινής ηπειρωτικής υφαλοκρηπίδας. Κατά τη διάρκεια της περιόδου του Ολόκαινου, που ακολούθησε την τελευταία παγετώδη περίοδο, η θαλάσσια στάθμη ανυψώθηκε με αρχικά μεγάλο ρυθμό έως περίπου 6.000 έτη πριν από σήμερα και κατόπιν η άνοδος της πραγματοποιήθηκε με πιο αργό ρυθμό. Ορισμένα από τα δέλτα που ήταν ενεργά κατά την τελευταία παγετώδη περίοδο και σχηματίστηκαν στο άκρο του ηπειρωτικού περιθωρίου κατακλύστηκαν από τη γρήγορη ανύψωση της θαλάσσιας στάθμης του Ολόκαινου. Υπήρχαν και ορισμένοι δελταϊκοί σχηματισμοί που ο ρυθμός προσφοράς ιζήματος από τα ποτάμια υπερέβαινε το ρυθμό της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης με αποτέλεσμα την ανύψωση της επιφάνειας των δέλτα και την προέλασή τους. Αυτά τα δέλτα κατάφεραν να διατηρηθούν και ονομάστηκαν δέλτα του άκρου των ηπειρωτικών περιθωρίων (shelf margin deltas επίσης είναι γνωστά σαν shelf edge delta) και συνήθως αναπτύσσονται σε βαθιά νερά. Τα δέλτα που δεν ανυψώθηκαν με γρηγορότερο ρυθμό από τον ρυθμό ανόδου της θαλάσσιας στάθμης μετανάστευσαν προς την ξηρά και είναι γνωστά σαν δέλτα αβαθών νερών (shoal water deltas επίσης γνωστά και σαν inner shelf deltas) διότι έχουν αναπτυχθεί σε νερά μικρού βάθους.

Σε πολλά σύγχρονα δέλτα οι κάθετες ακολουθίες των ιζημάτων των δελταϊκών αποθέσεων αντανακλούν τη σταδιακή μετανάστευση των περιβαλλόντων του δέλτα προς την ξηρά. Μια τυπική Ολοκαινική ακολουθία δελταϊκών ιζημάτων συνήθως στη βάση εμφανίζει ένα στρώμα από ποτάμια ιζήματα, όπως αποθέσεις πλημμυρικής πεδιάδας (floodplain deposits) που από πάνω καλύπτονται από αποθέσεις κοίτης των κλάδων διανομής και αποθέσεις των περιοχών μεταξύ των κοιτών, που ονομάζονται υπερόχθιες αποθέσεις, και προς τα πάνω περνούν σε ιζήματα αποθέσεων που οφείλονται στη δράση της παλίρροιας και τελικά σε παράκτιες αποθέσεις που μπορεί να περιλαμβάνουν άμμους παράκτιων θινών. Αυτή η ακολουθία ιζημάτων αντανακλά την προς τα πάνω και προς την ξηρά μετανάστευση των διαφόρων περιβαλλόντων απόθεσης του δέλτα.

Οι Aslan & Autin (1999) σκιαγραφούν τις αλλαγές που παρατηρούνται στα περιβάλλοντα απόθεσης σε μια ακολουθία ιζημάτων του Ολόκαινου, πάχους 15-30 m, σε μια περιοχή 300 km ανάντη των εκβολών του ποταμού στο δέλτα του Mississippi. Διέκριναν δύο ιζηματολογικές ενότητες:

- Μία κατώτερη Ολοκαινική ενότητα που αποτέθηκε πριν τα 5.000 έτη πριν από σήμερα, που αποτελείται από ιζήματα που αντιστοιχούν σε αποθέσεις έλους και ρηχής λίμνης και αποθέσεις από πολυάριθμες κοίτες μικρών ρευμάτων. Οι ενδείξεις για σχηματισμό εδαφών στο ποτάμιο περιβάλλον αυτής της εποχής είναι λίγες.
- Μια ανώτερη ενότητα του Ολόκαινου που αποτέθηκε μετά τα 5.000 έτη πριν από σήμερα που αποτελείται από αποθέσεις άμμου που αντιστοιχούν σε μαιανδρικές κοίτες του ποταμού, ιλύς από σχηματισμούς φυσικών αναχωμάτων και ενδείξεις σχηματισμού εδαφών.

Τα ιζήματα συνεπώς δείχνουν ότι 5.000 έτη πριν από σήμερα συνέβη μια μεγάλη αλλαγή στο περιβάλλον απόθεσης που ερμηνεύτηκε ότι αντιπροσωπεύει την επιβράδυνση του ρυθμού ανόδου της θαλάσσιας στάθμης του Ολόκαινου. Κατά τη διάρκεια της γρήγορης ανόδου της θαλάσσιας στάθμης η πλημμυρική πεδιάδα του Mississippi αναπτύχθηκε γρήγορα. Η ανάπτυξη της όμως μειώθηκε, όταν η θαλάσσια στάθμη σταθεροποιήθηκε μετά τα 6.000 έτη πριν από σήμερα, γεγονός που επέτρεψε τη διαμόρφωση μαιάνδρων και το σχηματισμό εδαφών. Είναι εντυπωσιακό ότι αυτή η περιοχή που σήμερα βρίσκεται 300 km εσωτερικά (από την ακτογραμμή) έχει επηρεαστεί από της παράκτιες διεργασίες. Γίνεται λοιπόν κατανοητό πόσο μεγάλο είναι το εύρος της παράκτιας ζώνης ειδικά σε δελταϊκές περιοχές και εκβολικά συστήματα.

9.1.6 Δέλτα και ανθρώπινη δραστηριότητα

Οι περιοχές των ποτάμιων δέλτα προσέλκυαν ανέκαθεν τον άνθρωπο. Αυτό οφείλεται σε πολλούς λόγους μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται:

- **Η ήπια τοπογραφία.** Τα δέλτα χαρακτηρίζονται από ένα ομοιόμορφο, χαμηλό και ομαλό ανάγλυφο, το οποίο καθιστούσε ανέκαθεν εύκολη την επικοινωνία μεταξύ των περιοχών εντός του δέλτα.
- **Η ανάπτυξη εύφορων εκτάσεων.** Οι πλημμύρες στη δελταϊκή πεδιάδα τροφοδοτούν το έδαφος με ιλύ κάνοντάς το όλο και πιο εύφορο. Για το λόγο αυτό τα δέλτα αποτελούν περιοχές που προσφέρονται για γεωργικές καλλιέργειες. Η οικονομία πολλών χωρών βασιζόταν ανέκαθεν στη γεωργική εκμετάλλευση δελταϊκών περιοχών. Παράδειγμα αποτελεί το δέλτα του Νείλου που στηρίζε και συντηρούσε τις δυναστείες των Αιγυπτίων για χιλιάδες έτη.
- **Η δυνατότητα κατασκευής εγχειοβελτιωτικών έργων.** Η σχεδίαση και υλοποίηση έργων αποξήρανσης και αποστράγγισης των υγρών περιοχών της δελταϊκής πεδιάδας, όπως είναι τα έλη, οι βάλτοι, οι αβαθείς λίμνες και οι λιμνοθάλασσες, μπορεί να αυξήσει σημαντικά την έκταση της εύφορης γεωργικής γης.

■ **Το εμπόριο.** Τα ποτάμια που δημιουργούν τα μεγαλύτερα δέλτα του κόσμου συνήθως είναι, σε ένα μεγάλο μήκος της διαδρομής τους, πλωτά λόγω του μεγάλου τους μήκους και πλάτους. Μεγάλα λιμάνια έχουν εγκατασταθεί σε δελταϊκές περιοχές για τη μεταφορά προϊόντων και κυρίως των αγαθών που παράγονται στο ίδιο το δέλτα. Αυτό δεν ισχύει για τη χώρα μας, όπου τα ποτάμια είναι ορεινού χαρακτήρα με μεγάλη κλίση κοίτης και σημαντικές εποχιακές διακυμάνσεις στην παροχή, οπότε δεν είναι δυνατή η χρησιμοποίησή τους για τη διακίνηση και μεταφορά προϊόντων.

9.1.7 Ανθρωπογενείς επεμβάσεις στα δέλτα

Οι επιπτώσεις των ενεργειών του ανθρώπου στο φυσικό περιβάλλον των δέλτα ήρθαν στο φως κυρίως τη δεκαετία του 1970. Οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις στα ποτάμια δέλτα διακρίνονται σε άμεσες και έμμεσες. Οι έμμεσες ανθρωπίνες ενέργειες αφορούν κυρίως επεμβάσεις στα ποτάμια συστήματα που τροφοδοτούν τα δέλτα με νερό και ιζημα και περιλαμβάνουν:

- Την αλματώδη αύξηση και εντατικοποίηση των γεωργικών καλλιεργειών εντός των λεκανών απορροής των ποταμών. Αυτή η εντατικοποίηση περιλαμβάνει την αποψίλωση εκτεταμένων περιοχών, ενέργεια που μπορεί να προκαλέσει τη διάβρωση των εδαφών και συνεπώς την υπερ-προσφορά ιζήματος στο δέλτα μέσω των κοιτών του υδρογραφικού δικτύου. Αυτή η επέμβαση μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση τόσο της συχνότητας, όσο και της έντασης των πλημμυρικών φαινομένων στη δελταϊκή πεδιάδα. Εάν το ιζημα φθάσει στις εκβολές του ποταμού, μπορεί να ενισχύσει την ιζηματογένεση στην ακτογραμμή και να προκαλέσει την προέλαση του μετώπου του δέλτα.
- Η κατασκευή φραγμάτων στις λεκάνες απορροής, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την άρδευση ή την υδροδότηση περιοχών, επηρεάζει σοβαρά τη δυναμική των δέλτα. Ανεξάρτητα του σκοπού που εξυπηρετούν τα φράγματα, ο ρόλος τους είναι ανασταλτικός για την ανάπτυξη και τη φυσική εξέλιξη των δελταϊκών σχηματισμών αλλά και καταστροφική για τις λεπτές ισορροπίες που απαιτούνται σε ευαίσθητα περιβάλλοντα υγρότοπων όπως αυτά που αναπτύσσονται στις εκβολές αρκετών ποταμών



Φωτο 9.8 Προσπάθειες διατήρησης της δελταϊκής ακτογραμμής και των εκβολών του ποταμού Νείλου στη θέση Rosetta, Egypt. Τα προβλήματα υποχώρησης του δέλτα εντάθηκαν μετά την κατασκευή του φράγματος του Aswan.

(Πούλος, 1999). Τα φράγματα δεσμεύουν το σύνολο σχεδόν των υλικών που μεταφέρονται με κύλιση και ένα σημαντικό ποσοστό αυτών που μεταφέρονται με αιώρηση ενώ διαταράσσουν εντελώς το ρυθμό άφιξης των ποσοτήτων γλυκού νερού στο χώρο των εκβολών. Μειώνονται τόσο η παροχή, όσο και η στερεοπαροχή του ποταμού και συνεπώς περιορίζεται η προσφορά ιζήματος στο μέτωπο του δέλτα γεγονός που συχνά οδηγεί σε διάβρωση και υποχώρηση της ακτογραμμής από τη δράση των θαλάσσιων διεργασιών.

Οι επιπτώσεις από την κατασκευή και λειτουργία φραγμάτων στον άνω ρου των ποταμών είναι αξιοσημείωτες σε πολλά μεγάλα δέλτα παγκοσμίως. Αρκετές πόλεις που είναι χτισμένες κατά μήκος δελταϊκών ακτογραμμών απειλούνται από την παράκτια διάβρωση και την κατάκλυση. Τα ιζήματα κατά μήκος της ακτογραμμής του δέλτα του Νείλου στην Αίγυπτο αναδιανέμονται από τη δράση του κυματισμού σαν συνέπεια της μείωσης της στερεοπαροχής εξαιτίας του φράγματος του Aswan, που κατασκευάστηκε το 1964 και δέσμευσε σημαντικές ποσότητες ιζήματος του ποταμού που πριν το φράγμα κατέληγε στην ακτή και συνέβαλε στην προέλαση του δέλτα (φωτο 9.8). Η διάβρωση και υποχώρηση της δελταϊκής ακτογραμμής έχει σοβαρές φυσικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις οι οποίες πρόκειται να ενταθούν με τη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (El Raey et al., 1999).

Γίνεται λοιπόν φανερό ότι τα δελταϊκά συστήματα είναι πολύ ευαίσθητα στις ανθρωπογενείς επεμβάσεις και ότι ακόμη και ενέργειες που γίνονται αρκετά μακριά από την ακτή, και αφορούν τις λεκάνες απορροής στο εσωτερικό της ξηράς, επηρεάζουν το φυσικό περιβάλλον και τους ανθρώπους που κατοικούν στις ακτές.

Εξαιτίας του μεγέθους της ανθρωπογενούς επέμβασης στα δέλτα πολλές μελέτες διεθνώς εστιάζουν στην παρακολούθηση (monitoring). Αρκετά χρήσιμες είναι οι τεχνικές τηλεπισκόπησης (remote sensing) οι οποίες ίσως αποτελούν τον μοναδικό τρόπο αποτελεσματικής και ακριβούς καταγραφής της διάβρωσης, της προέλασης και γενικά των μεταβολών στη δελταϊκή ακτογραμμή διαμέσου του χρόνου (White & El Asman, 1999).

Εξίσου σημαντικές είναι και οι άμεσες ανθρωπογενείς επεμβάσεις στο χώρο της δελταϊκής πεδιάδας και της παράκτιας ζώνης όπως ευθυγράμμιση και περιορισμός της κοίτης, κατασκευή εγγειοβελτιωτικών έργων, εκτεταμένες αμμοληψίες από την κοίτη, ανεξέλεγκτη βόσκηση, αποξηράνσεις περιοχών κ.α. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, μια επιπλέον απειλή για τις περιοχές των εκβολών αποτελεί η αναμενόμενη μελλοντική αύξηση της μέσης θαλάσσιας στάθμης, κατά περίπου 50 cm μέχρι το έτος 2100, εξαιτίας της αντίστοιχης μέσης αύξησης της θερμοκρασίας σε παγκόσμιο επίπεδο κατά 1,2 έως 5,7°C (I.P.C.C., 2007). Έχει εκτιμηθεί ότι το ποσο-

στό των ελληνικών δελταϊκών εκτάσεων που θα κατακλυστεί από τη θάλασσα αντιστοιχεί στο 13,16 % της συνολικής τους έκτασης (Gaki-Papanastassiou et al., 1997).

9.1.8 Τα δέλτα της Ελλάδας

Τα ποτάμια της Ελλάδας, που ως επί το πλείστον έχουν μικρό μήκος και αποστραγγίζουν ορεινές περιοχές με έντονο ανάγλυφο, εμφανίζουν σημαντικά υψηλές στερεοπαροχές (σχήμα 9.8). Οι Poulos et al., (1996) πρότειναν την ακόλουθη σχέση για την εκτίμηση του αιωρούμενου ιζηματογενούς φορτίου, δηλαδή της ποσότητας του ιζήματος που μεταφέρεται σε αιώρηση από ένα ποτάμι:

$$S = 1954 A^{0,88}$$

όπου S είναι το αιωρούμενο ιζηματογενές φορτίο (σε τόνους) και

A είναι η έκταση της λεκάνης απορροής (σε km²).

Η σχέση αυτή ισχύει για τα ορεινά ποτάμια της Ελλάδας καθώς και άλλων περιοχών της νοτιοανατολικής ορεινής Ευρώπης. Ο πίνακας 9.2 περιλαμβάνει τη στερεοπαροχή μερικών από τα μεγάλα ελληνικά ποτάμια. Οι υψηλές τιμές στερεοπαροχής σε πολλά από αυτά αποδίδεται στην ικανότητα που έχουν να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες ιζήματος εξαιτίας των μεγάλων κλίσεων του αναγλύφου και της μεγάλης κλίσης των κοιτών, στις υψηλές τιμές της ετήσιας βροχόπτωσης, ιδιαίτερα σε μεγάλα υψόμετρα και κυρίως στη δυτική Ελλάδα και σε ορισμένες περιπτώσεις στην ευδιάβροτη λιθολογία των σχηματισμών που καλύπτουν τις λεκάνες απορροής.

Συγκρίνοντας τους λόγους μεταξύ της έκτασης της δελταϊκής πεδιάδας και της έκτασης της λεκάνης απορροής μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι, παρά την μικρή έκταση των λεκανών απορροής, πολλά ελληνικά ποτάμια έχουν καλά ανεπτυγμένα δέλτα. Αυτοί οι λόγοι για τα ποτάμια του πίνακα 9.2 έχουν μέση τιμή 6,55 και είναι συγκρίσιμοι με αντίστοιχους των μεγάλων ποταμών του κόσμου (Poulos et al., 1996). Οι ρυθμοί συγκέντρωσης ιζήματος ή προσαύξησης κατά τη διάρκεια των τελευταίων 6.000 - 7.000 ετών για τα ελληνικά ποτάμια δέλτα είναι ανάλογοι με αυτούς που έχουν υπολογισθεί για το δέλτα του ποταμού Νείλου, που είναι ο μεγαλύτερος δελταϊκός σχηματισμός της ανατολικής Μεσογείου (Poulos & Chronis, 1997).

Οι πιο ευδιάκριτες μεταβολές στις ακτογραμμές των δέλτα κατά τους δύο τελευταίους αιώνες εστιάζονται στην προέλαση της περιοχής των ενεργών εκβολών ή την υποχώρηση των εγκαταλελειμμένων (πίνακας 9.4). Συγκεκριμένα για το δέλτα του Μόρνου, που βρίσκεται στις βόρειες ακτές του Κορινθιακού κόλπου (σχήμα 9.9), η υποχώρηση εντοπίζεται στην περιοχή της παλαιάς εκβολής του ενός από τους δύο κλάδους διανομής (Piper et al., 1990) που εγκαταλείφθηκε σταδιακά μετά το 1980, οπότε κατασκευάστηκε και άρχισε να λειτουργεί το



Σχήμα 9.8 Χάρτης της ηπειρωτικής Ελλάδας με τις σημαντικότερες ανθρωπογενείς κατασκευές, τους υγρότοπους και τα μεγαλύτερα ποτάμια δέλτα.

φράγμα στον άνω ρου του ποταμού για την υδροδότηση της Αθήνας (φωτο 9.9). Οι ρυθμοί αυτοί κυμάνθηκαν από 3,3 έως 5,0 m/έτος για την περίοδο 1986 - 1998 (Karymbalis et al., 2007) ενώ για την περίοδο 1945 - 1986 ο ρυθμός υποχώρησης ήταν 2,14 m/έτος. Η περιοχή των σημερινών εκβολών ενώ παλαιότερα προήλανε κατά περίπου 4,0 m/έτος σήμερα υποχωρεί με μέσο ρυθμό 11,0 m/έτος.

Στο δέλτα του ποταμού Καλαμά οι μεταβολές στην ακτογραμμή σχετίζονται με τις ανθρωπογενείς επεμβάσεις με κυριότερη την κατασκευή το 1962 ενός χαμηλού φράγματος στην κορυφή του δέλτα για αρδευτικούς σκοπούς (σχήμα 9.10). Την κατασκευή του φράγματος ακολούθησε η εγκατάλειψη της ενεργού κοίτης που έρεε στη νότια δελταϊκή πεδιάδα και η διάνοιξη ενός τεχνητού καναλιού που εκβάλει βόρεια των φυσικών εκβολών

Πίνακας 9.2 Λόγοι εμβαδόν δέλτα/εμβαδόν λεκάνης και στοιχεία παροχής και στερεοπαροχής σε αιώρηση για οκτώ ελληνικά και τρία μεγάλα δέλτα της Μεσογείου

Ποταμός	Εμβαδόν λεκάνης απορροής (A _B) (km ²)	Εμβαδόν δέλτα (A _D) (km ²)	Λόγος A _D /A _B (10 ⁻²)	% της έκτασης της λεκάνης ανάντη του σταθμού μέτρησης σε σχέση με όλη την έκταση της λεκάνης	Μέση ετήσια παροχή (m ³ /sec)	Μέση ετήσια ποσότητα ιζηματος που μεταφέρεται σε αιώρηση (10 ⁶ t)
Εύηνος	1.070	90	8,40	59,3	27,6	15,74
Άραχθος	1.895	245	12,90	97,9	69,8	7,31
Λούρος	785	110	14,00	43,7	19,3	0,08
Αχελώος	5.470	270	4,90	75,3	188	2,53
Σπερχειός	1.780	104	5,80	65,1	62,0	2,10
Αλιάκμονας	9.250	120	1,30	65,7	73	2,80
Πηνειός	10.750	70	0,70	65,9	81,0	4,4
Καλαμάς	1.826	80	4,40	81,1	51	1,92
Νείλος (Αίγυπτος)	2.716*10 ³	12.512	0,46	89,0	2.830	110,0
Πάδος (Ιταλία)	71,7*10 ³	13.398	18,69	95,0	1.484	20,0
Έβρος (Ισπανία)	89,8*10 ³	624	0,69	90,0	552	2,8

του ποταμού (Maroukian et al., 1995). Αυτό είχε σαν συνέπεια οι παλαιές φυσικές εκβολές του νότιου δέλτα να εγκαταλειφθούν και να δημιουργηθούν νέες στο βόρειο τμήμα του. Η σημαντικότερη αλλαγή στο χώρο των παλαιών εκβολών ήταν η καθίζηση της δελταϊκής πεδιάδας και η σταδιακή διεύθυνση της θάλασσας προκαλώντας την κατάκλυση και καταστροφή σημαντικών

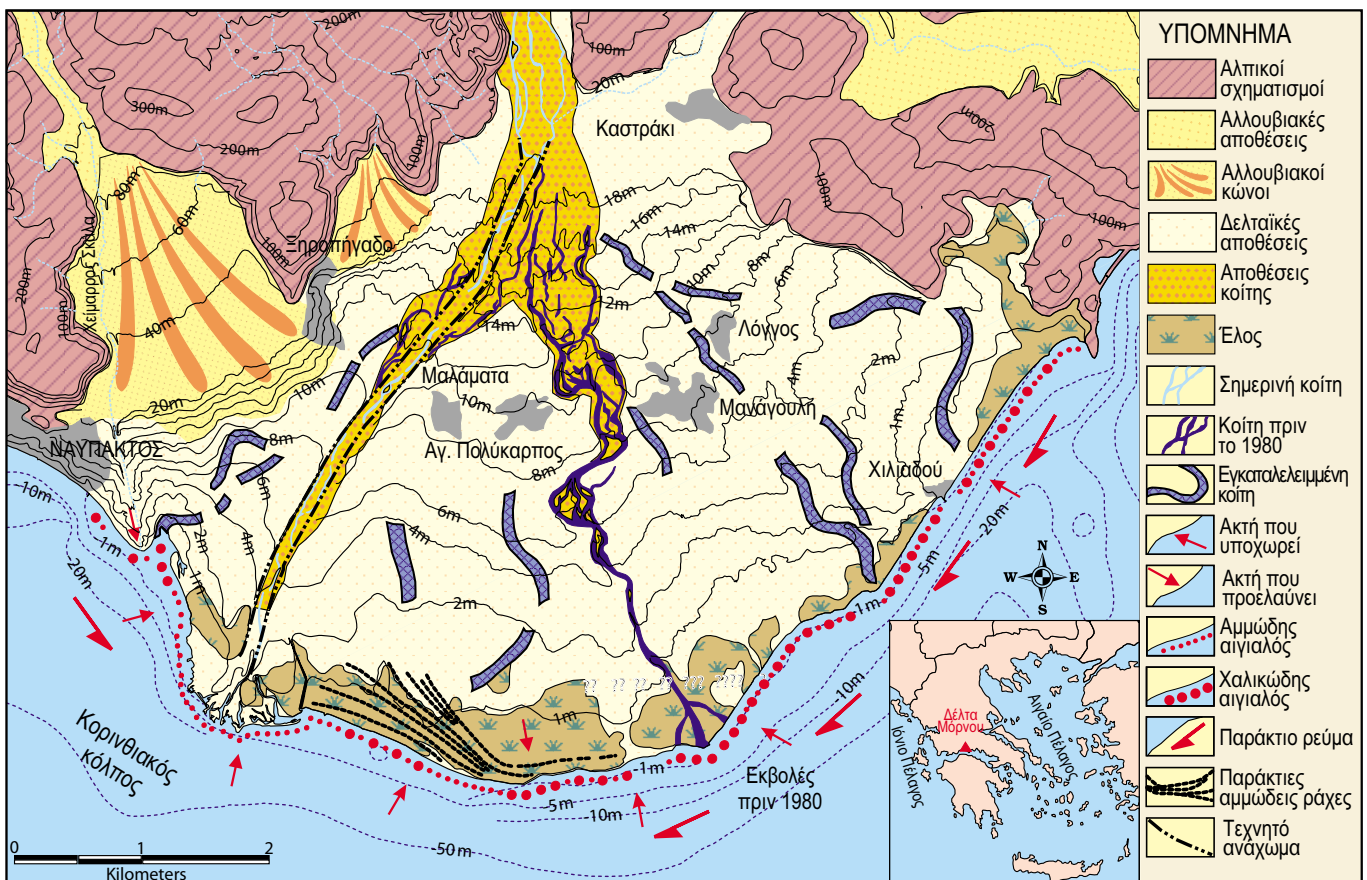
αρδευτικών έργων και καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Για την περίοδο 1945 - 1969 διαπιστώνεται ότι στις εκβολές του νότιου δέλτα μια σημαντική ελώδης έκταση που ανέρχεται σε 2,01 km² έχει αποξηρανθεί ενώ η ακτογραμμή έχει παραμείνει σχεδόν αμετάβλητη. Στο βόρειο δέλτα η περιοχή των νέων εκβολών (μετά το 1962) έχει προελάσει με ρυθμό 0,15 km²/έτος (Karymbalis et al.,

Πίνακας 9.3 Έκταση λεκάνης απορροής, έκταση δέλτα και μήκος δελταϊκής ακτογραμμής για τα μεγαλύτερα δέλτα του ελληνικού χώρου

Ποταμός	Εκβολές	Έκταση λεκάνης απορροής (km ²)	Έκταση δέλτα (km ²)	Μήκος δελταϊκής ακτογραμμής (km)
Αχελώος	Πατραϊκός κόλπος	5.470	270	80,0
Αλφειός	Ιόνιο πέλαγος	3.600	110	40,0
Αλιάκμονας	Θερμαϊκός κόλπος	9.250	120	16,0
Άραχθος	Αμβρακικός κόλπος	1.895	245	25,0
Αξιός	Θερμαϊκός κόλπος	23.750	400	35,0
Εύηνος	Πατραϊκός κόλπος	1.070	90	40,0
Έβρος	Β.Δ. Αιγαίο πέλαγος	52.900	190	20,0
Καλαμάς	Ιόνιο πέλαγος	1.826	80	30,0
Λούρος	Αμβρακικός κόλπος	785	110	15,0
Νέστος	Βόρειο Αιγαίο πέλαγος	6.178	435	62,5
Μόρνος	Κορινθιακός κόλπος	1.010	28	14,0
Πηνειός (Θεσσαλίας)	Θερμαϊκός κόλπος	10.750	70	20,0
Πηνειός (Πελοποννήσου)	Ιόνιο πέλαγος	913	85	22,5
Σπερχειός	Μαλιακός κόλπος	1.780	104	25,0
Στρυμόνας	Βόρειο Αιγαίο πέλαγος	16.550	10	10,5

Πίνακας 9.4 Προέλαση και/ή υποχώρηση των δελταϊκών πεδιάδων επτά ελληνικών δέλτα για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους παρατήρησης. Σε ορισμένους δελταϊκούς σχηματισμούς παρατηρείται τόσο προέλαση σε ορισμένα υποπεριβάλλοντα, όπως είναι οι ενεργές εκβολές, όσο και υποχώρηση κυρίως σε περιοχές εγκαταλελειμμένων παλαιών εκβολών. Η τελευταία στήλη περιέχει τους ρυθμούς προέλασης ή υποχώρησης για τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους παρατήρησης

Ποταμός	Χρονική περίοδος	Παλαιές εκβολές	Ρυθμός προέλασης (+) ή υποχώρησης (-)	Νέες εκβολές	Ρυθμός προέλασης (+) ή υποχώρησης (-)
Μόρνος	1945-1986	-88 m	-2,14 m/έτος	+164	+4 m/έτος
	1986-1998	-50 m	-4,17 m/έτος	-132 m	-11 m/έτος
Αχελώος	1945-1960	-600 m	-40 m/έτος	+1.000 m	+67 m/έτος
Αξιός	1956-1987	-95 Km ²	-3,1 km ² /έτος	+25 Km ²	+0,8 km ² /έτος
Νέστος	1945-1968	-450 m	-19,6 m/έτος	-	-
Εύηνος	1959-1995	-130 m	-3,6 m/έτος	+1.300 m	+36 m/έτος
Καλαμάς	1945-1969	αποξ. 2,010 km ²	-	+1,081 km ² από το 1962	+0,15 km ² /έτος
	1969-1989	-0,156 km ²	-0,008 km ² /έτος	+1,694 km ²	+0,085 km ² /έτος
	1989-2000	-0,024 km ²	-0,002 km ² /έτος	+0,223 km ²	+0,02 km ² /έτος
Πηνειός	1955-1995	-160 m	-4 m/έτος	+440 m	+11m/έτος



Σχήμα 9.9 Γεωμορφολογικός χάρτης του δέλτα του ποταμού Μόρνου στις βόρειες ακτές του δυτικού Κορινθιακού κόλπου. (τροποποιημένο από Karymbalis et al., 2007)



Φωτο 9.9 Προσπάθειες περιορισμού της διάβρωσης του δέλτα του Μόρνου στην περιοχή ανατολικά των παλαιών εκβολών του ποταμού. Η διάβρωση εντάθηκε μετά την κατασκευή και λειτουργία του φράγματος στον άνω ρου για την υδροδότηση της Αθήνας.

2006). Κατά την περίοδο 1969 - 1989 μια έκταση 0,156 km² του νότιου δέλτα έχει κατακλυσθεί από τη θάλασσα (ρυθμός που αντιστοιχεί σε 0,008 km²/έτος) ενώ αντίθετα στις νέες εκβολές η προέλαση είχε σαν αποτέλεσμα την πρόσχωση έκτασης 1,694 km² (ρυθμός 0,08 km²/έτος). Τέλος για την περίοδο 1989 - 2000 οι δελταϊκές εκτάσεις που χάθηκαν στο νότιο και δημιουργήθηκαν στο βόρειο δέλτα εκτιμήθηκαν αντίστοιχα σε 0,024 km² και 0,223 km².

Στο δέλτα του Πηνειού οι μετατοπίσεις της κοίτης στη δελταϊκή πεδιάδα και η σταδιακή αλλαγή της θέσης των εκβολών οφείλονται σε φυσικές διεργασίες που σχετίζονται με ακραίες πλημμυρικές παροχές του ποταμού (σχήμα 9.11). Η περιοχή των παλαιών εκβολών, που φαίνεται να εγκαταλείφθηκε το 1955, υποχωρεί με μέσο ρυθμό 4,0 m/έτος ενώ οι σημερινές εκβολές έχουν προελάσει με ρυθμό που φθάνει τα 11,0 m/έτος.

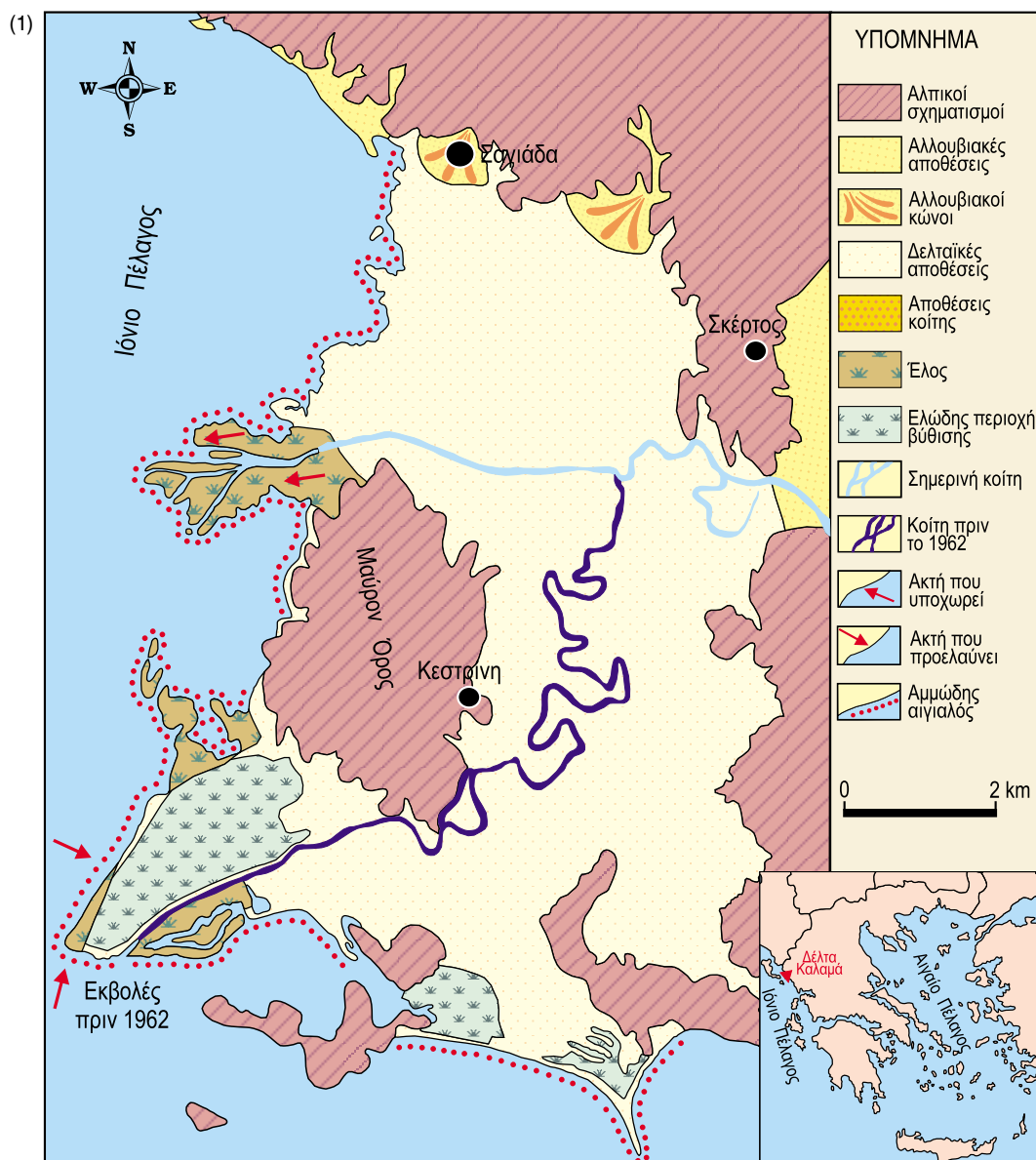
Ο ποταμός Αχελώος έχει προελάσει στην περιοχή των ενεργών εκβολών περισσότερο από 1 km μεταξύ των ετών 1945 και 1960. Ο ρυθμός προέλασης για το διάστημα αυτό ήταν 67 m/έτος. Ενώ για την ίδια χρονική περίοδο οι εγκαταλελειμμένες παλαιές εκβολές του ποταμού υποχώρησαν, λόγω θαλάσσιας διάβρωσης,

κατά 500 - 700 m που αντιστοιχεί σε μέσο ρυθμό υποχώρησης 40 m/έτος (Piper & Panagos, 1981).

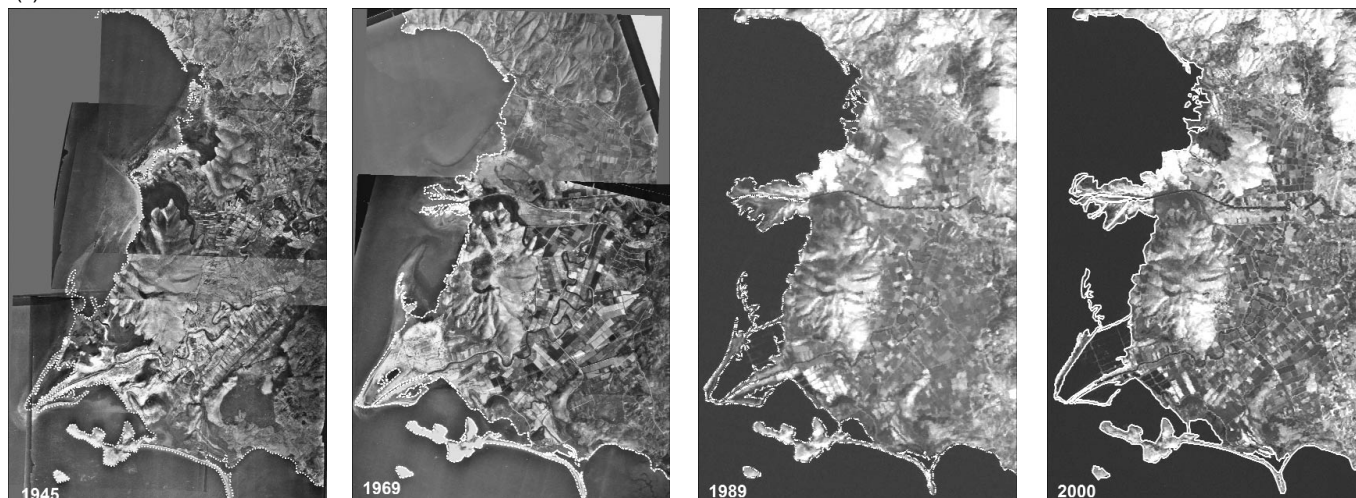
Η έκταση της δελταϊκής πεδιάδας του ποταμού Αξιού έχει ελαττωθεί κατά 95 km² μεταξύ των ετών 1956 και 1987 (ρυθμός υποχώρησης 3,1 km²/έτος) ενώ η περιοχή των ενεργών εκβολών έχει προελάσει κατά 25 km² που αντιστοιχεί σε ένα ρυθμό προέλασης 0,8 km²/έτος (Poulos et al., 1996).

Στις εκβολές του ποταμού Νέστου έχει παρατηρηθεί η διάβρωση και υποχώρηση ενός αμμώδους γλωσσοειδούς βραχίονα (spit) στο χώρο των παλαιών εκβολών κατά 400 - 500 m μεταξύ του 1945 και του 1968 δηλαδή με μέσο ρυθμό 19,6 m/έτος (Psilonikos et al., 1988).

Για το δέλτα του Εύηνου ποταμού στον Πατραϊκό κόλπο έχει υπολογισθεί ότι ο χώρος των παλαιών εκβολών έχει υποχωρήσει μεταξύ των ετών 1959 και 1995 με μέσο ρυθμό 3,6 m/έτος (σχήμα 9.12). Αντίθετα στην περιοχή των νέων εκβολών, που προέκυψαν μετά την τεχνητή ευθυγράμμιση της κοίτης στο χώρο της δελταϊκής πεδιάδας, έχει λάβει χώρα προέλαση περίπου 1.300 m για τη χρονική περίοδο 1959 - 1995 που αντιστοιχεί σε μέσο ρυθμό 36 m/έτος (Καρύμπαλης, 1996; Maroukian & Karymbalis, 2004).

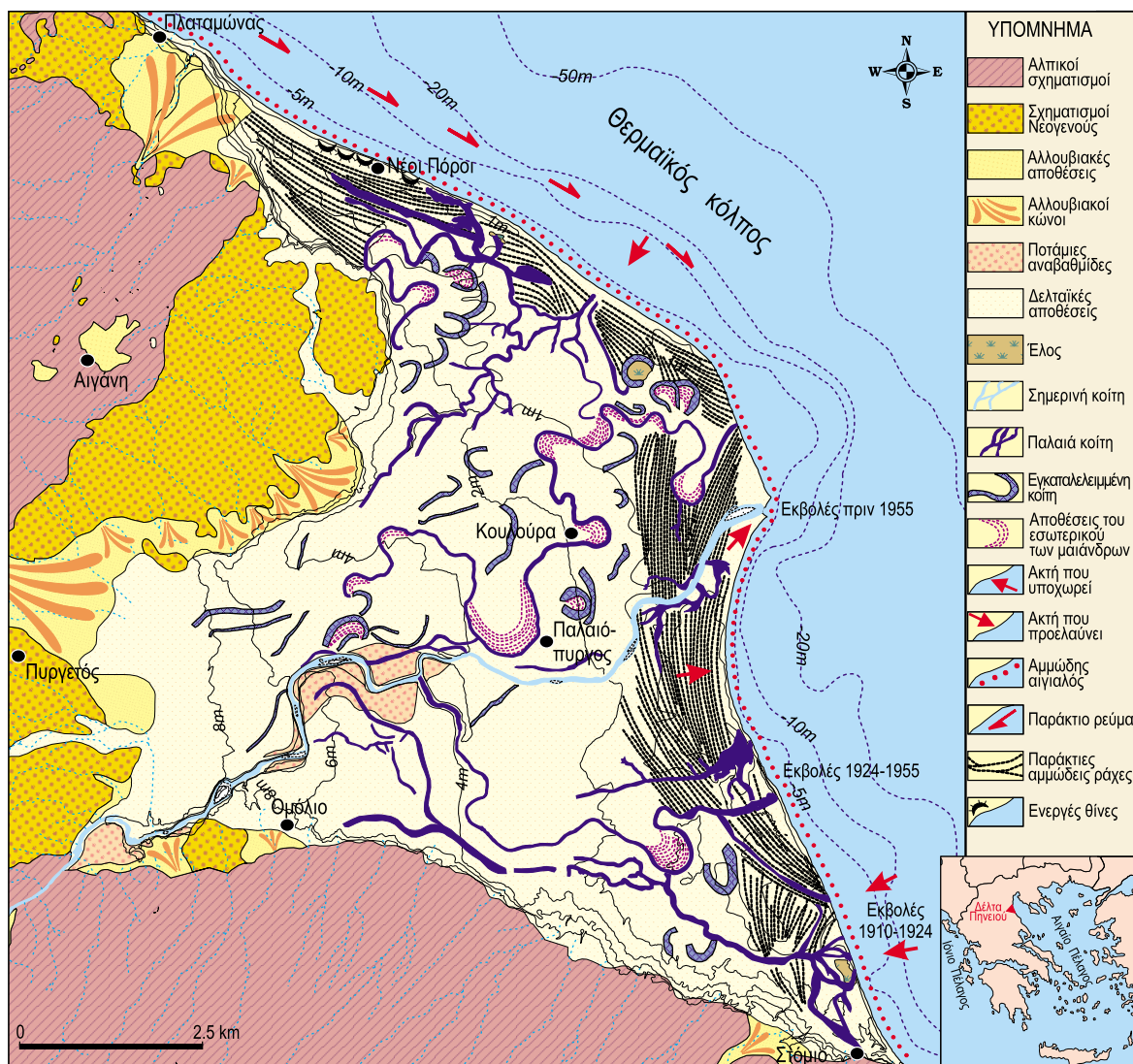


(2)

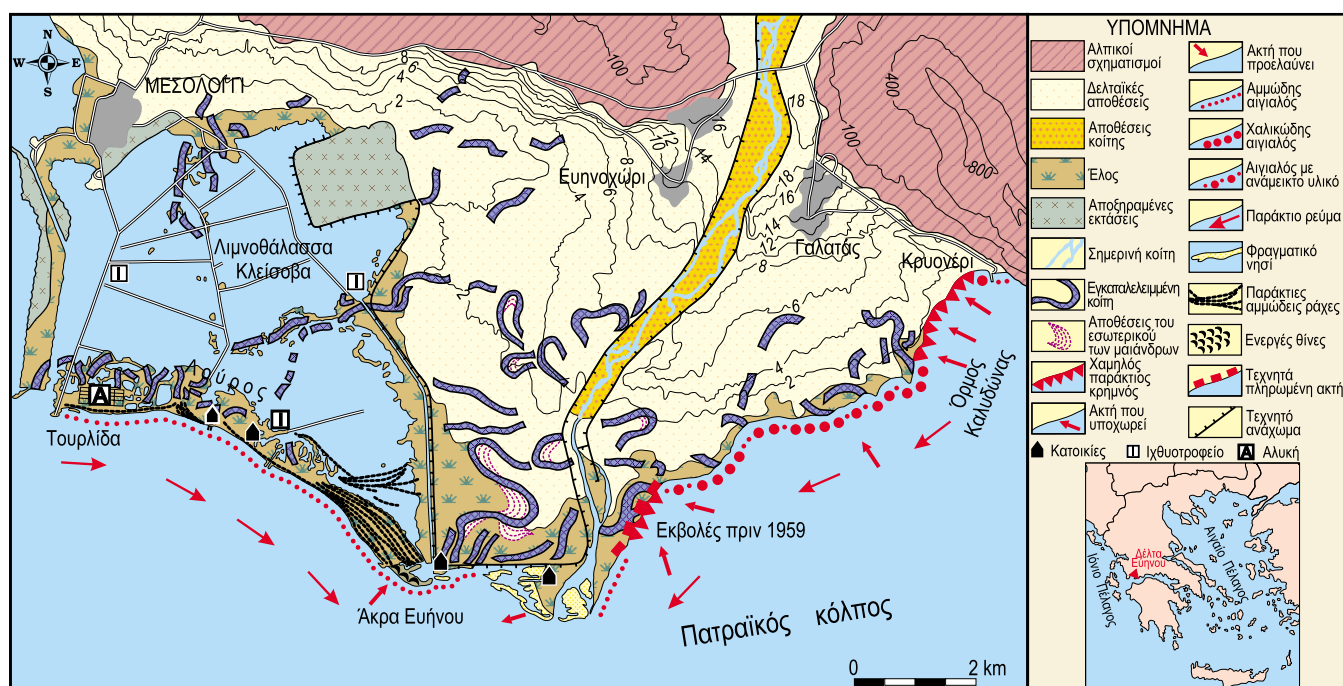


Σχήμα 9.10

- (1) Απλοποιημένος γεωμορφολογικός χάρτης του δέλτα του ποταμού Καλαμά στο Ιόνιο πέλαγος.
 (2) Αεροφωτομωσαϊκά που έχουν προκύψει από τη γεωαναφορά αεροφωτογραφιών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) ετών λήψης 1945 και 1969 και δορυφορικές εικόνες LANDSAT των ετών 1989 και 2000 του δέλτα του ποταμού Καλαμά. Είναι εμφανείς οι διαχρονικές μεταβολές της δελταϊκής ακτογραμμής.



Σχήμα 9.11 Γεωμορφολογικός χάρτης του δέλτα του Πηνειού ποταμού στο νότιο Θερμαϊκό κόλπο.



Σχήμα 9.12 Γεωμορφολογικός χάρτης του δέλτα του Εύηνου ποταμού στον Πατραϊκό κόλπο. (τροποποιημένο από Καρύμπαλης, 1996)

9.2 Δελταϊκά ριπίδια (fan deltas)

Ο όρος δελταϊκό ριπίδιο (fan delta) χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει τα μικρής έκτασης και μεγάλης μορφολογικής κλίσης ποτάμια δέλτα που αποτελούνται κυρίως από χονδρόκοκκο ίζημα σε αντίθεση με τα ποτάμια δέλτα που αποτελούνται από λεπτομερές υλικό (φωτο 9.10, 9.11). Τα χονδρόκοκκα υλικά είναι ενδεικτικά της σχετικά υψηλής ποτάμιας ενέργειας που βοηθά τη μεταφορά του υλικού στην ακτή.

9.2.1 Σύστημα τροφοδοσίας των δελταϊκών ριπιδίων (feeder system)

Η πηγή των ποτάμιων υλικών από τα οποία σχηματίζονται τα δελταϊκά ριπίδια είναι γνωστή σαν σύστημα τροφοδοσίας (feeder system). Ο Postma (1990) έχει αναγνωρίσει τρία διαφορετικά είδη συστημάτων τροφοδοσίας.

- Ο πρώτος τύπος περιλαμβάνει ποταμούς ή χείμαρρους μεγάλης κλίσης, των οποίων το υδρογραφικό δίκτυο αποστραγγίζει μια περιοχή με έντονο και ορεινό ανάγλυφο που ανυψώνεται τεκτονικά. Σε



Φωτο 9.10 Δελταϊκό ριπίδιο μεγάλης μορφολογικής κλίσης στις βόρειες ακτές του Κορινθιακού κόλπου.



Φωτο 9.11 Το δελταϊκό ριπίδιο του χείμαρρου Χούρους στη νότια Στερεά Ελλάδα. Άποψη από την κορυφή του ριπιδίου. Η διαμόρφωση του σχετικά μεγάλης έκτασης, για τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, ριπιδίου αυτού οφείλεται στην κυματική σκιά που δημιουργεί στην περιοχή των εκβολών το νησί Τριζόνια (Karymbalis, 2007).

λεκάνες απορροής με τέτοια χαρακτηριστικά είναι αρκετά συχνά τοπικά φαινόμενα κατολισθήσεων καθώς και πλημμυρικά επεισόδια που τροφοδοτούν τις κοίτες με αρκετά χονδρόκοκκα υλικά. Τα αδρομερή αυτά υλικά (κροκάλες και χάλικες) συνήθως μεταφέρονται σαν φορτίο κοίτης (bedload) στο μέτωπο του ριπιδίου και μερικές φορές φθάνουν έως την περιοχή του προδέλτα (φωτο 9.12).

- Ο δεύτερος τύπος συστήματος τροφοδοσίας χαρακτηρίζεται από σχετικά μεγάλης κλίσης ποταμούς με διακλαδιζόμενες κοίτες (δηλαδή ποτάμια που χαρακτηρίζονται από μια ροή μέσω πολλών κοιτών οι οποίες διαχωρίζονται μεταξύ τους από νησίδες αλλουβιακών υλικών). Συνήθως τέτοια συστήματα τροφοδοσίας βρίσκονται τόσο σε παγετώδεις όσο και σε τεκτονικά ενεργές περιοχές. Στην περίπτωση παγετωδών περιοχών η παροχή του ποταμού προκύπτει από την τήξη του πάγου των παγετώνων. Το νερό αυτό συχνά έχει μεγάλη πυκνότητα με αποτέλεσμα η υπέρπυκνη ροή που παρατηρείται στις εκβολές του ποταμού να μεταφέρει το αδρομερές (χονδρόκοκκο) υλικό έως το μέτωπο του δέλτα ή ακόμη και στο προδέλτα.

- Ο τρίτος τύπος συστήματος τροφοδοσίας περιλαμβάνει ποταμούς με διακλαδιζόμενο τύπο κοίτης και ενδιάμεση κλίση, που συνήθως διαμορφώνονται σε παγετώδη περιβάλλοντα. Παρότι η ενέργεια του ποταμού είναι μικρότερη σε σχέση με τον δεύτερο τύπο συστήματος τροφοδοσίας λόγω της μικρότερης κλίσης, το ίζημα μεταφέρεται και στην περίπτωση αυτή σαν φορτίο κοίτης (bedload), αποτελείται όμως σε μεγαλύτερο ποσοστό από άμμο παρά από αδρομερείς χάλικες.

9.2.3 Μορφολογία των δελταϊκών ριπιδίων

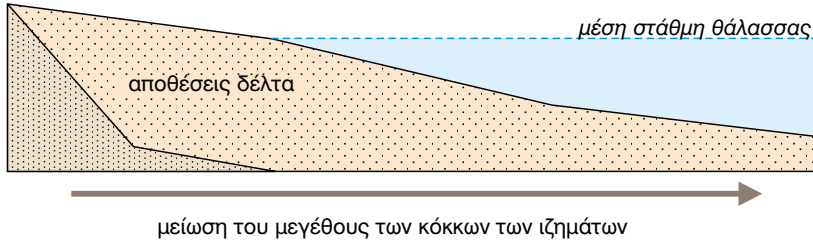
Τα δελταϊκά ριπίδια ποικίλουν σημαντικά ως προς τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά. Όπως ήδη αναφέρθηκε, συνήθως σχηματίζονται σε ακτές τεκτονικά ενεργών περιοχών από ποταμούς με διαφορετικό ενεργειακό καθεστώς που καθορίζεται κυρίως από την κλίση της κοίτης τους.

Με κριτήριο την κλίση και το βάθος της υφαλοκρηπίδας έχουν αναγνωρισθεί τρεις μεγάλες κατηγορίες δελταϊκών ριπιδίων (σχήμα 9.13) (Reading & Collinson, 1996):

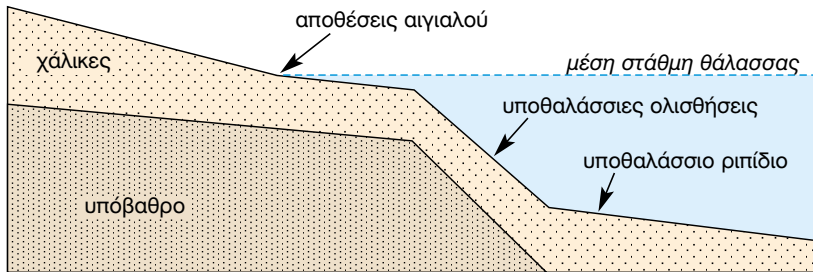


Φωτο 9.12 Σύστημα τροφοδοσίας (feeder system) δελταϊκού ριπιδίου της νότιας Στερεάς Ελλάδας. Ο χείμαρρος αποστραγγίζει μια αρκετά ορεινή περιοχή. Τα υλικά με τα οποία τροφοδοτεί την ακτή είναι αδρομερή και μεταφέρονται σαν φορτίο κοίτης. Η φωτογραφία έχει ληφθεί από την κορυφή του ριπιδίου προς τα ανάντη.

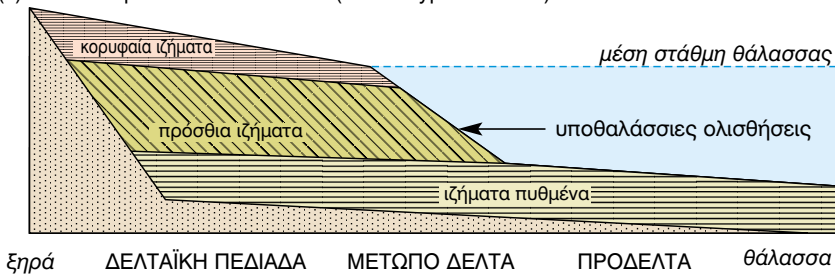
(1) Δελταϊκό ριπίδιο ρηχών νερών (shelf-type, shallow water, fan delta)



(2) Δελταϊκό ριπίδιο νερών μεγάλου βάθους (slope-type, deep water, fan delta)



(3) Δελταϊκό ριπίδιο τύπου Gilbert (Gilbert type fan delta)



Ξηρά ΔΕΛΤΑΪΚΗ ΠΕΔΙΑΔΑ ΜΕΤΩΠΟ ΔΕΛΤΑ ΠΡΟΔΕΛΤΑ Θάλασσα

■ **Δελταϊκά ριπίδια κρηπίδας (ρηχών νερών) (Shelf-type shallow water fan deltas)** που εκτείνονται μέχρι το βάθος των 200 m (σχήμα 9.13). Σχηματίζονται σε παράκτιες περιοχές που η υφαλοκρηπίδα έχει μικρή κλίση και τα νερά είναι ρηχά. Περιλαμβάνουν μια δελταϊκή πεδιάδα και ένα δελταϊκό μέτωπο που κλίνει προς τη θάλασσα και εκτείνεται ομαλά έως το προδέλτα. Σε αυτά τα δελταϊκά ριπίδια τα ιζήματα είναι γενικά χονδρόκοκκα παρατηρείται όμως μια σταδιακή μείωση στο μέγεθος των κόκκων από τη δελταϊκή πεδιάδα προς το προδέλτα. Εάν τα νερά στα οποία αναπτύσσεται το ριπίδιο δεν είναι πολύ ρηχά, το προδέλτα αποτελείται από σχετικά λεπτομερή ιζήματα.

■ **Δελταϊκά ριπίδια κατωφρείας ή ριπίδια νερών μεγάλου βάθους (Slope-type fan deltas)** που αναπτύσσονται σε βάθη μεγαλύτερα των 200 m (σχήμα 9.13). Χαρακτηρίζονται από μεγάλη μορφολογική κλίση μεταξύ του δελταϊκού μετώπου και του προδέλτα. Σε αρκετές περιπτώσεις είναι δυνατό στη βάση της απότομης κλιτύς να αναπτύσσεται ένα υποθαλάσσιο μικρό δελταϊκό ριπίδιο που τροφοδοτείται από υποθαλάσσιες ροές υλικών του δελταϊκού μετώπου. Γενικά η μορφολογία αυτού του δελταϊκού ριπιδίου χαρακτη-

Σχήμα 9.13 Τα μορφολογικά και ιζηματολογικά χαρακτηριστικά των τριών τύπων δελταϊκών ριπιδίων.

ρίζεται από μια δελταϊκή πεδιάδα που έχει μικρή έως ενδιαμέση κλίση και ένα δελταϊκό μέτωπο μεγάλης κλίσης. Σε ό,τι αφορά τα ιζηματολογικά του χαρακτηριστικά η δελταϊκή πεδιάδα αποτελείται από χάλικες που προς τη θάλασσα μεταπίπτουν σε εκτεταμένες αποθέσεις αιγιαλού που επικάθονται στην κορυφή του απότομου δελταϊκού μετώπου.

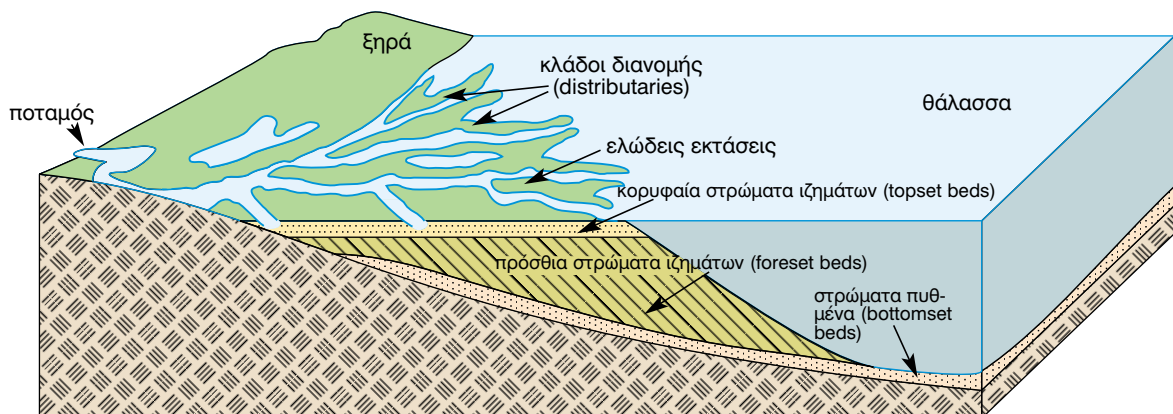
■ **Δελταϊκά ριπίδια τύπου Gilbert (Gilbert-type fan deltas)** (σχήμα 9.13). Ονομάζονται έτσι γιατί παρουσιάζουν τη στρωματογραφική διάρθρωση που για πρώτη φορά περιγράφηκε από τον Gilbert (1885). Η στρωματογραφική αυτή ακολουθία περιλαμβάνει τρεις ιζηματολογικές ενότητες. Τα πρόσθια στρώματα ιζημάτων (foreset), τα κορυφαία στρώματα ιζημάτων (topset) και τα στρώματα πυθμένα (bottomset) (σχήμα 9.14, φωτο 9.13). Τα δελταϊκά ριπίδια αυτού του τύπου είναι κεκλιμένα με απότομη κλίση σε όλο το μήκος τους από τη δελταϊκή πεδιάδα έως το προδέλτα και μπορούν να αναπτυχθούν τόσο σε βαθιά, όσο και σε ρηχά νερά. Στα δελταϊκά ριπίδια τύπου Gilbert, η κλίση των υποθαλάσσιων κλιτύων μπορεί να φθάσει τις 35° ενώ είναι αρκετά συχνά τα φαινόμενα διεργασιών κίνησης υλικών λόγω βαρύτητας.



Φωτο 9.13 Ανυψωμένες αποθέσεις παλαιών δελταϊκών ριπιδίων τύπου Gilbert στις νότιες ακτές του Κορινθιακού κόλπου, περιοχή Δερβένι, βόρεια Πελοπόννησος. Διακρίνονται τα πρόσθια στρώματα ιζημάτων (foresets) τα οποία σήμερα βρίσκονται πολύ πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας λόγω της σημαντικής τεκτονικής ανύψωσης που υπέστη η περιοχή της βόρειας Πελοποννήσου κατά τη διάρκεια της περιόδου του Τεταρτογενούς.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, τα δελταϊκά ριπιδία αποτελούνται από χονδρόκοκκα υλικά με αποτέλεσμα οι παλίρροιες να έχουν μικρή επίδραση στη μεταφορά και την επαν-επεξεργασία των ιζημάτων τους και συνεπώς στην τελική διαμόρφωση των μορφολογικών τους χαρα-

κτηριστικών. Ομοίως οι κυματικές συνθήκες αίθριου καιρού παίζουν περιορισμένο ρόλο σε αντίθεση με τα κύματα καταιγίδας και τα κύματα τσουνάμι που η επίδρασή τους στη μορφολογία των ριπιδίων μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντική.



Σχήμα 9.14 Τρισδιάστατη απεικόνιση της στρωματογραφικής διάρθρωσης των ιζημάτων ενός δελταϊκού ριπιδίου τύπου Gilbert. (τροποποιημένο από Haslett, 2000)