

## **Μορφομετρική ανάλυση του Δέλτα του Πηνειού (Θεσσαλία)**

*Γ. Στουρνάρας και Χ. Γαλάνη*

*Τομέας Δυναμικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας,  
Πανεπιστήμιο Αθηνών, 157 84 Αθήνα*

### **Περίληψη**

Μελετώνται τα βασικά γεωλογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία του δέλτα του Πηνειού (Θεσσαλία) και της λεκάνης απορροής του και επιχειρείται η μορφομετρική ανάλυση της δελταϊκής προεξοχής. Το δέλτα, του οποίου η γένεση συμπίπτει με τη διάνοιξη της κοιλάδας των Τεμπών, είναι ένα δέλτα τύπου Ροδανού, με επάρκεια, πρωτογενώς, στερεοπαροχής και τον κυματισμό μοναδικό, επίσης πρωτογενώς, θαλάσσιο μηχανισμό διευθέτησης. Τα στοιχεία αυτά προκύπτουν από τη θεώρηση της έκτασης, αναγλύφου, υδρολογίας και γεωλογίας της λεκάνης απορροής, καθώς και των γεωλογικών και άλλων παρατηρήσεων στην ίδια την περιοχή του δέλτα. Η μορφομετρική ανάλυση επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα αυτά και προσφέρει νέα, μέσα στα πλαίσια της μελέτης της εσωτερικής δομής, της σχετικής ενεργότητας βόρειου και νότιου τμήματος και μετατόπισης των εκβολών από Β. και Ν. Επισημαίνονται ακόμη δευτερογενή φαινόμενα, που δεν συμβιβάζονται με τις προηγούμενες ερμηνείες και εντοπίζεται ο εκτός ελέγχου παράγοντας των ισχυρών θαλάσσιων ρευμάτων, που απομακρύνουν μέρος των μεταφερόμενων, στην ακτή, ιζημάτων και προκαλούν δευτερογενείς μεταβολές στις γεωμορφές της μορφομετρικής ανάλυσης.

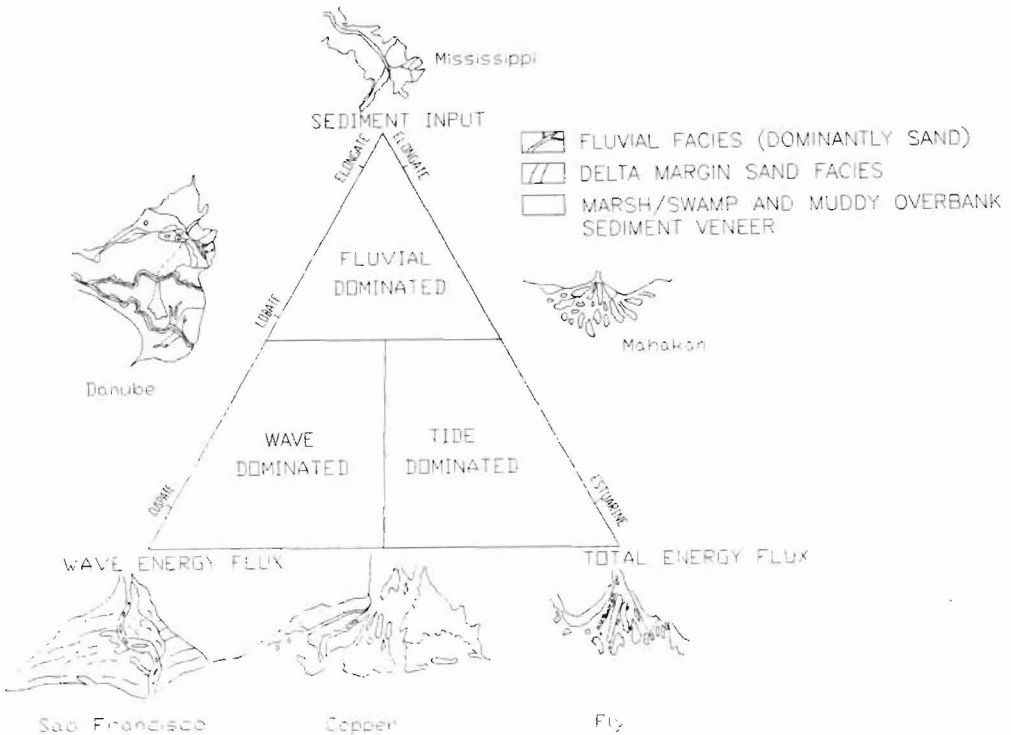
### **Abstract**

The present paper concerns the essential geological and geomorphological data of Pinios delta (Thessaly, Greece) and its basin. These data are completed by the morphometrical analysis of the deltaic prominence. The Pinios delta, whose origin coincides with the Tempi valley origin, is a Rhone-type delta, characterised by initial adequacy of transported material, the wave action being the essential sea mechanism. The above data arise from the consideration of some parameters, including the surface, the relief, the hydrology and the geology of the river basin and of the delta itself. The morphometrical analysis confirms the consideration resul-

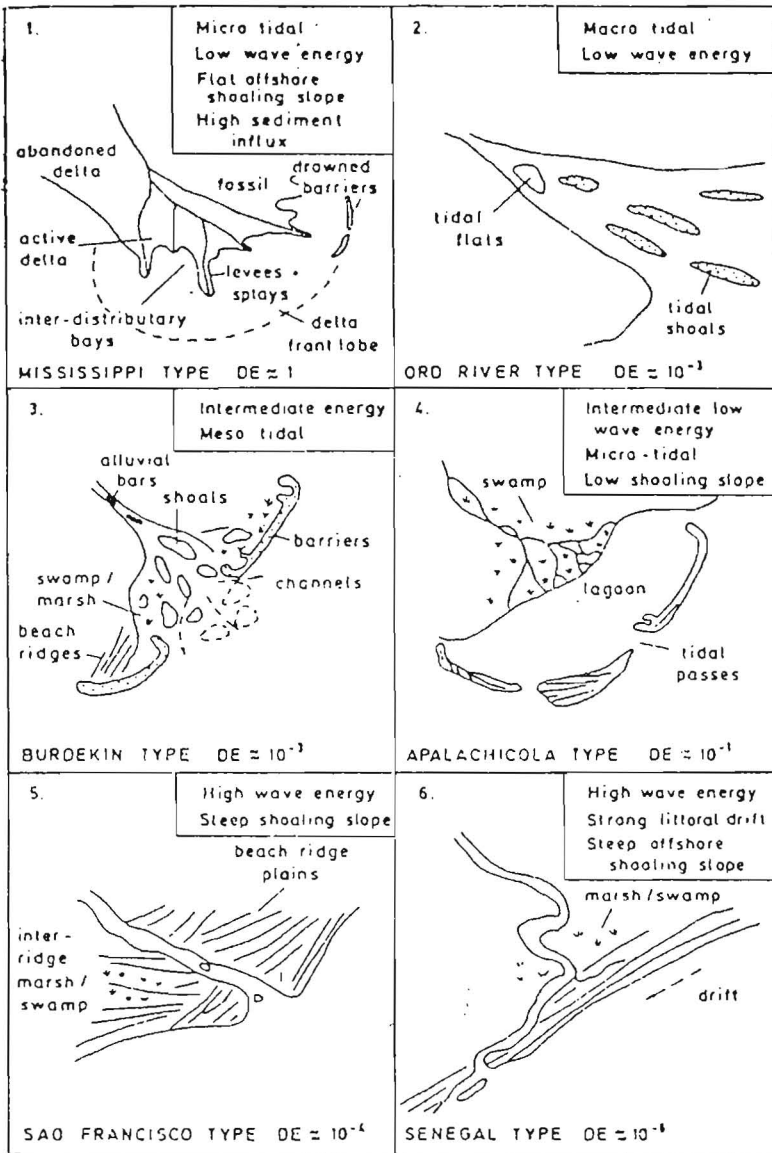
ting by the above data and, furthermore, offers additional information within the frame of the internal structure study, the respective activity between the N. and S. section of the deltaic prominence and the removal of the river mouths from N. to the S. Epigenetic phenomena are also noted, not in accordance with the initial results. Finally, the factor of sea currents is considered. Those currents remove a certain quantity of the transported materials and cause secondary modifications of the deltaic configuration, used by the morphometrical analysis.

## Εισαγωγή

Το δέλτα του Πηνειού είναι το τρίτο δέλτα τύπου Ροδανού, που μελετάται στην Ελλάδα με τη βοήθεια και της μορφομετρικής ανάλυσης (Στουρνάρας, 1984, 1990). Τα δέλτα του τύπου αυτού χαρακτηρίζονται από επάρκεια προσφερόμενων χερσαίων μεταφερόμενων υλικών, ενώ η



Σχ. 1. Κατάταξη των δέλτα κατά Galloway (1975).



Σχ. 2. Κατάταξη των δέλτα κατά Coleman και Wright (Wright, 1978).

θαλάσσια διεργασία επεξεργασίας και ταξινόμησης των υλικών αυτών περιορίζεται ουσιαστικά στη δράση του κυματισμού με την παλίρροια να μην έχει ουσιαστικό ρόλο (Galloway, 1975). Είναι προφανές ότι η κατάταξη αυτή, όπως και άλλες ανάλογες (Σχ. 1 & 2) θεωρούν την εξέλιξη

και το σχηματισμό των δελταικών προεξοχών για όλο το εκείνο το χρονικό διάστημα στο οποίο δεν υπάρχουν ανθρωπογενείς επεμβάσεις στο δέλτα, στον ποταμό και στη λεκάνη απορροής, επεμβάσεις που θα μπορούσαν να διαταράξουν την υπάρχουσα σχέση ανάμεσα στη μεταφορική ικανότητα του ποταμού και στις θαλάσσιες διεργασίες στις εκβολές του. Είναι, επομένως, επίσης προφανές ότι η γεωμορφολογική και μορφομετρική μελέτη μιας τέτοιας περιοχής θα πρέπει να απομονώσει τους επιγενετικούς παράγοντες, ανθρωπογενούς προέλευσης, που συμμετέχουν στη σημερινή διαμόρφωση της δελταικής προεξοχής, για να αναδειχτεί το περιβάλλον και ο τρόπος σχηματισμού και εξέλιξης του δέλτα.

### Γεωμορφολογία - Υδρολογία

Ο Πηνειός είναι ο τρίτος σε μήκος ποταμός της Ελλάδας και ο πλουσιώτερος σε νερά απ' αυτούς που ρέουν αποκλειστικά σε Ελληνικό έδαφος. Η μέση ετήσια παροχή του είναι της τάξης των  $2,529 \times 10^6 \text{ m}^3$ , η λεκάνη απορροής του έχει έκταση  $7.081 \text{ km}^2$  και η μέση ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται από 500 mm στην πεδιάδα μέχρι 1800 mm στα ορεινά.

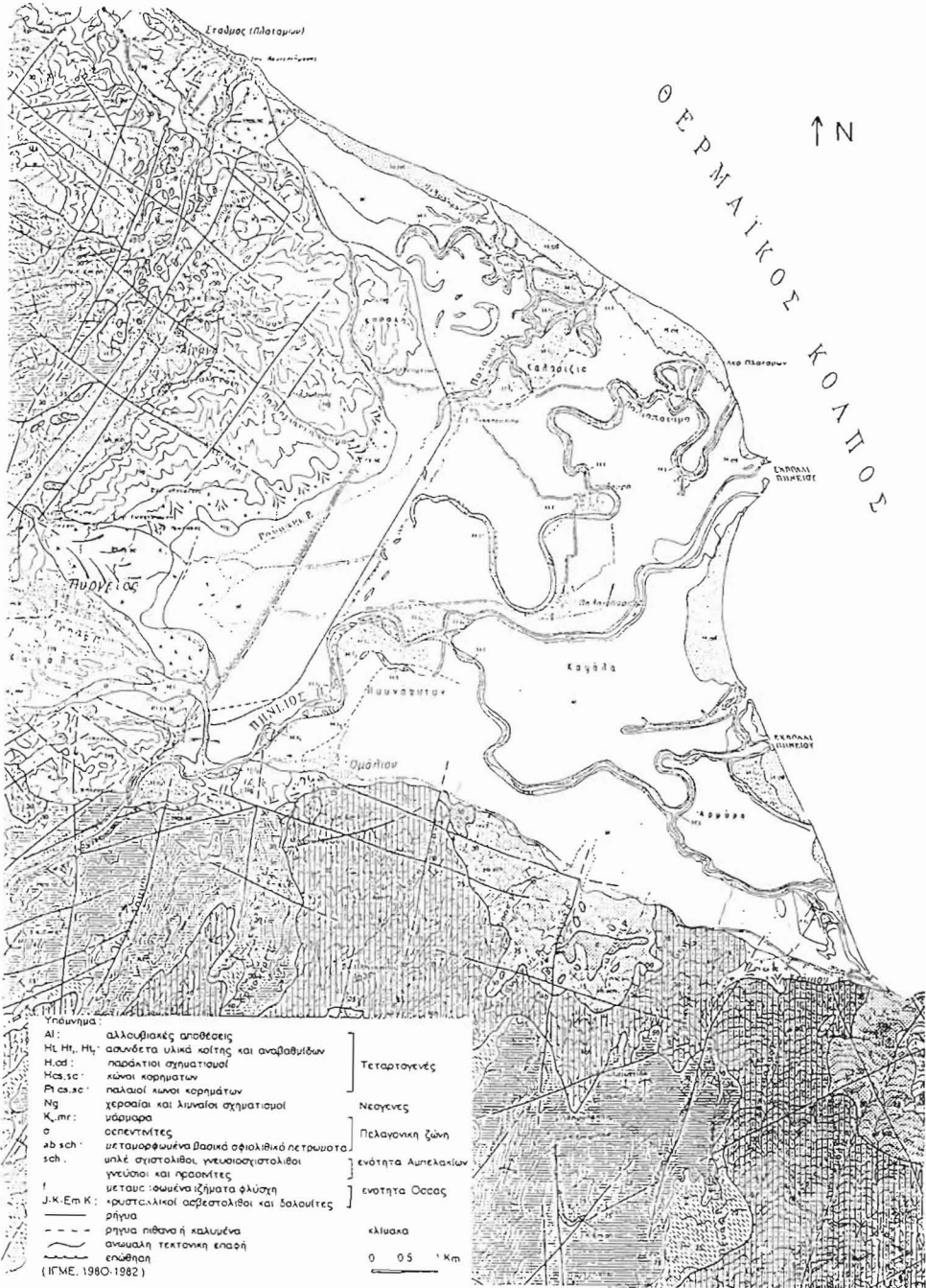
Ο Πηνειός εκβάλλει στο εξωτερικό πλατώ του Θερμαϊκού κόλπου (Λυκούσης, 1990) όπου οι μορφολογικές κλίσεις του βυθού είναι πολύ μικρές και τα βάθη μικρότερα από 100 m. Η υποθαλάσσια βαθυμετρία είναι, επομένως, πολύ ευνοϊκή για την ανάπτυξη της δελταικής προεξοχής. Ο Θερμαϊκός κόλπος, σε σχέση με τα δέλτα του Πηνειού, χαρακτηρίζεται από μια έντονη αριστερόστροφη κίνηση των υδάτων, πολύ πιο έντονη κοντά στην επιφάνεια. Το παλλιροϊκό εύρος είναι εξαιρετικά μικρό και κυμαίνεται από 30 cm περίπου κατά τη διάρκεια των συζυγιών μέχρι 5 cm περίπου κατά τους τετραγωνισμούς (Wilding et als, 1980). Το κύριο χαρακτηριστικό των επιφανειακών κυμάτων βαρύτητας είναι η συχνή εμφάνιση κυμάτων μικρού μήκους από τα Δ. και μεγάλου μήκους από τα Ν.Α. (Lykoussis et als, 1981). Τα δέλτα του Πηνειού, του οποίου η έναρξη σχηματισμού τοποθετείται στο Ολόκαινο έχει έκταση  $72 \text{ km}^2$  και μέγιστο υψόμετρο της δελταικής προεξοχής της τάξης των 10 m. Η δελταική πεδιάδα, που καλύπτεται εξ' ολοκλήρου από αλουβιακές αποθέσεις, χαρακτηρίζεται από τα χαμηλά υψόμετρα και την εμφάνιση μαιάνδρων. Παλαιότερες κοίτες, αποκοπέντες λοβοί που αντιπροσωπεύουν εγκαταλειμμένους μαιάνδρους, καθώς και μηνοειδείς λίμνες (με πιο σημαντική αυτή στη θέση Κουλούρες) παρατηρούνται σε μεγάλη έκταση, κυρίως στο βόρειο και κεντρικό τμήμα του δέλτα, γεγονός που δείχνει μια μετατόπιση της καίτης του ποταμού προς το νότιο τμήμα, κάτι που αποτελεί την πρώτη μαρτυρία για τη σχετική ενεργότητα του Β. τμήμα-

τος, που θα πιστοποιηθεί στη συνέχεια από τη μορφομετρική ανάλυση. Οι αλλαγές στη ροή του ποταμού έχουν δημιουργήσει αναβαθμίδες σε πολλά σημεία, ενώ κατά μήκος της ακτογραμμής εμφανίζονται σχηματισμοί άμμων και ζώνη κυματισμού με παρουσία παράκτιας αναβαθμίδας. Η ισοβαθής των 20 m απέχει 2 km από την ακτή και η κλίση του πυθμένα κυμαίνεται από 1,15 έως 1,7% (Λειβαδίτης, 1991).

## Γεωλογία

Η λεκάνη απορροής του Πηνειού (Σχ. 3) αποτελείται από μια ποικιλία γεωλογικών σχηματισμών, διαφορετικής προέλευσης και λιθολογικής σύστασης. Οι σχηματισμοί αυτοί ποικίλουν από πλευράς επιδεκτικότητας σε διάβρωση και αποσάθρωση, φαινόμενα που συνδέονται με τη μεταφορά και απόθεση των ιζημάτων στην περιοχή του δέλτα. Οι ευαποσάθρωτοι σχηματισμοί είναι ο φλύσχης της ζώνης Πίνδου (η ίδια ζώνη εμφανίζει ακόμη την ασβεσταλιθική της φάση), τα μολασσικά ιζήματα της μεσοελληνικής αύλακας, ο φλύσχης της Πελαγονικής ζώνης (η ίδια ζώνη εμφανίζει ακόμη τις μεταμορφωμένες φόσεις της), το Νεογενές και το Τεταρτογενές, ενώ συμμετέχουν ακόμη η οφιαλιθική σειρά, και η ενότητα της Όσσας (Ι.Γ.Μ.Ε., 1983).

Για την ίδια περιοχή του δέλτα (Σχ. 3) οι γεωλογικές ενότητες που εντοπίζονται είναι (Ι.Γ.Μ.Ε., 1987) οι εξής: η ενότητα της Όσσας, η ενότητα των Αμπελακίων, οι σχηματισμοί της Πελαγονικής ζώνης, οι Νεογενείς αποθέσεις και το Τεταρτογενές. Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις χωρίζονται σε Πλειστοκαινικές και Ολοκαινικές. Οι πρώτες είναι αποθέσεις κλειστών θαλασσών σε εσωτερικές λεκάνες και αντιπροσωπεύουν χερσαίες και λιμναίες αποθέσεις. Αντιπροσωπεύουν επίσης παλιούς κώνους κορημάτων, πλευρικά κορήματα και παλιές αναβαθμίδες. Εντοπίζονται συνήθως στα κράσπεδα των αλλουβιακών πεδίων σαν αδρομερή υλικά με κροκαλολατυποπαγή ποικίλου μεγέθους. Οι Ολοκαινικές αποθέσεις αποτελούνται από άμμους, κροκαλολατύπες και αργίλους. Οι φάσεις είναι ποτάμιες και ποταμολιμναίες. Οι παράκτιοι σχηματισμοί αποτελούνται κυρίως από άμμους με παρουσία αργιλικού υλικού και κελυφών αρτίγονων οργανισμών. Υπάρχουν, τέλος, ασύνδετα υλικά κοίτης (τόσο του κυρίου ποταμού και των κλάδων του, ενεργών και εγκαταλειμμένων, όσο και των χειμάρρων που εισέρχονται απ' ευθείας στην πεδινή περιοχή από τα κράσπεδα) και αναβαθμίδων χειμάρρων, κώνοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα και υλικά εσωτερικών μικρολεκανών από αργίλους, κοκκινοχώματα και κροκαλολατύπες.



Σχ. 3. Γεωλογία του δέλτα του Πηνειού και των περιθωρίων του (Ι.Γ.Μ.Ε. 1987).

## Βασικά γεωλογικά και γεωμορφολογικά συμπεράσματα

Τα υδρολογικά στοιχεία του ποταμού και τη λεκάνης απορροής του δημιουργούν ένα *πλαίσιο επάρκειας* παροχής στην περιοχή των εκβολών. Τέτοια στοιχεία είναι η μέση ετήσια παροχή, η έκταση της λεκάνης απορροής και τα ύψη και κατανομές των κατακρημνισμάτων από την πεδινή ως την ορεινή περιοχή. Παράλληλα, εμφανίζεται και ένα πλαίσιο που συνηγορεί για *επάρκεια στερεοπαροχής*. Η επάρκεια αυτή προκύπτει, κατ' αρχήν, θεωρητικά από τη φύση της λεκάνης απορροής, μέσα στην οποία κυριαρχούν γεωλογικοί σχηματισμοί ευαποσάθρωτοι, όπως οι Τεταρτογενείς, το Νεογενές, οι φλυσχικές διαπλάσεις και τα μολασσοικά ιζημάτα της μεσοελληνικής αύλακας. Αλλά και οι υπόλοιποι γεωλογικοί σχηματισμοί (γνεύσιοι, σχιστόλιθοι, μάρμαρα, ασβεστόλιθοι, δολομίτες κ.λπ.) δεν υστερούν σε προσφορά υλικού για τη δομή της δελταϊκής περιοχής, δεδομένου ότι εμφανίζονται, κυρίως, στις ορεινές περιοχές που χαρακτηρίζονται από μεγάλο ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (παρά το γεγονός ότι η λεκάνη απορροής του Πηνειού τοποθετείται ανατολικά της οροσειράς της Πίνδου) και από έντονο ανάγλυφο και μεγάλες κλίσεις. Τα χαρακτηριστικά αυτά προσφέρουν συνθήκες έντονης διάβρωσης, αποσάθρωσης και στερεομεταφοράς. Οι μικρές, τέλος, κλίσεις και βάθη της θάλασσας στην περιοχή των εκβολών προσφέρουν ιδανικές συνθήκες ιζηματοαπόθεσης και δόμησης της δελταϊκής προεξοχής. Η επάρκεια, όμως, της στερεοπαροχής στοιχειοθετείται και από υπαρκτά και όχι υποτιθέμενα στοιχεία, όπως είναι ο ρυθμός εξέλιξης του δέλτα και τα χαρακτηριστικά της δελταϊκής προεξοχής. Για το πρώτο επισημαίνεται η ανάπτυξη του δέλτα σε μήκος, περίπου, 10 km σ' ένα διάστημα 10.000 ετών, αφού η αρχή γένεσης του δέλτα τοποθετείται στις αρχές του Ολοκαίνου και συμπίπτει με τη διάνοιξη της κοιλάδας των Τεμπών. Από τα χαρακτηριστικά της δελταϊκής προεξοχής επισημαίνονται οι μαϊάνδροι, οι παλιές κοίτες, οι αποκοπέντες λοβοί, οι μηνοειδείς λίμνες, οι αναβαθμίδες και η ζώνη κυματισμού με δημιουργία παράκτιας αναβαθμίδας.

Σε αντίθεση με όλα τα παραπάνω, ο μοναδικός ορατός παράγοντας αρνητικής εξέλιξης του δέλτα είναι το καθεστώς της θαλάσσιας δυναμικής. Το εξαιρετικά μικρό παλιρροϊκό εύρος αποτελεί απλώς έναν καθοριστικό παράγοντα διαμόρφωσης της εσωτερικής και εξωτερικής δομής του δέλτα, όμως η έντονη αριστερόστροφη κίνηση των υδάτων του Θερμαϊκού κόλπου αποτελεί έναν παράγοντα απομάκρυνσης και διασκορπισμού μέρους των ιζημάτων που φτάνουν στις εκβολές του ποταμού (Σχ. 6).

## Η μορφομετρική ανάλυση - συζήτηση

Η μορφομετρική ανάλυση των δελταϊκών προεξοχών προτάθηκε από τους Wright και Coleman (Coleman et als, 1975) και προσφέρει μια ποσοτική περιγραφή της εξέλιξης και του σχηματισμού του δέλτα, με βάση μια τυποποιημένη διαδικασία προσαρμοσμένη κάθε φορά στις ιδιαιτερότητες του συγκεκριμένου δέλτα.

Η εφαρμογή της έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις των δέλτα τύπου Ροδανού, όπου η επάρκεια της στερεοπαροχής και οι ομαλές θαλάσσιες διεργασίες, δημιουργούν ένα πλαίσιο κανονικού σχηματισμού της δελταϊκής προεξοχής. Στην Ελλάδα η ίδια αυτή μέθοδος εφαρμόστηκε με πολύ καλά αποτελέσματα για τα δέλτα του Νέστου και Μόρνου (Στουρνάρας, 1984, 1990).

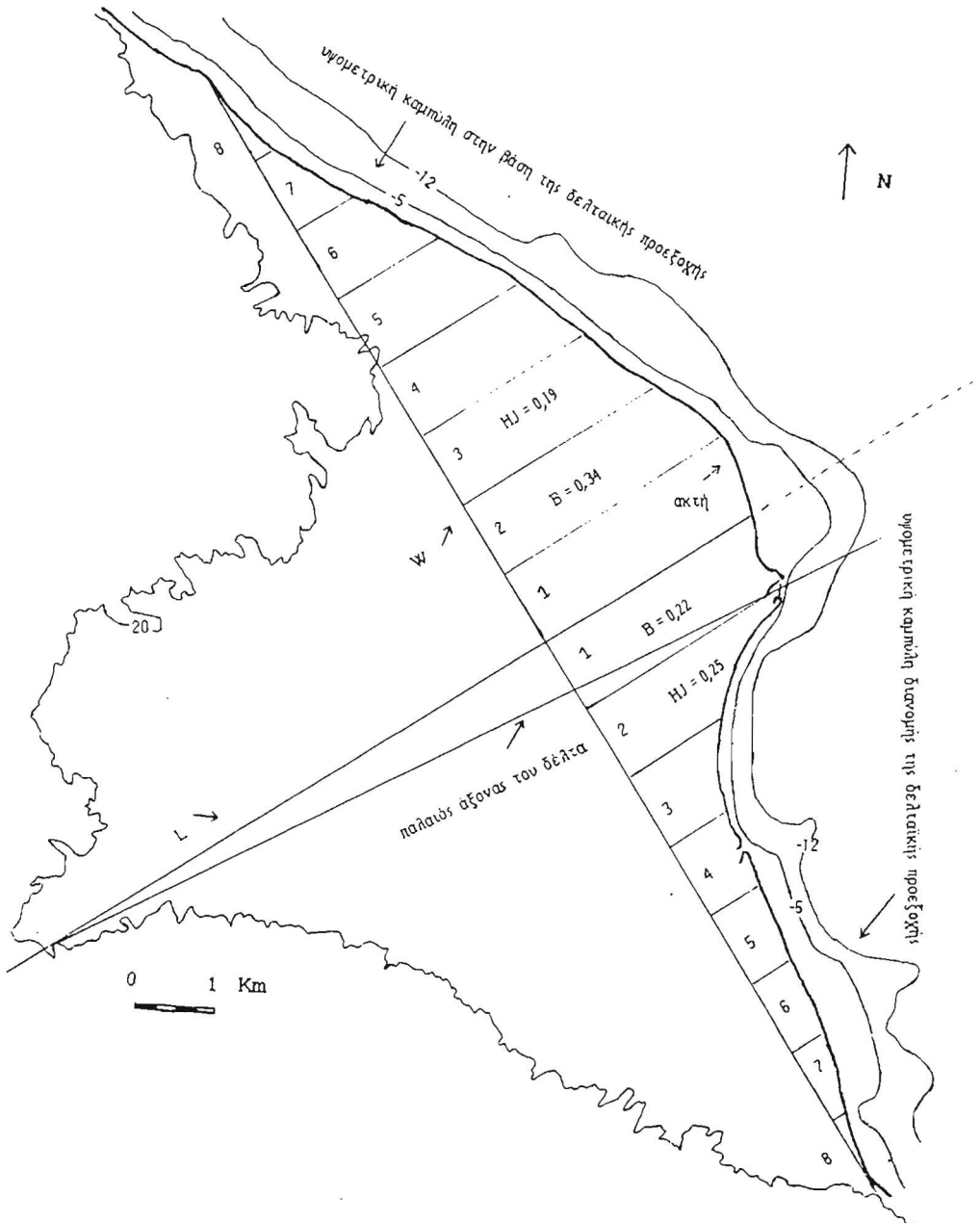
Ο σχεδιασμός της υποδομής για την προσέγγιση στη μορφομετρική ανάλυση της δελταϊκής προεξοχής (Σχ. 4) δημιουργεί δύο τμήματα, το βόρειο και το νότιο, που το καθένα παρουσιάζει τις ιδιαιτερότητές του, μέσα στα πλαίσια της συνολικής εξέλιξης του δέλτα (Γαλάνη, 1995).

Οι τιμές των συγκεκριμένων ισοβαθών καμπυλών επιλέγονται με βάση βιβλιογραφικά και στατιστικά δεδομένα μορφομετρικών αναλύσεων για δέλτα του τύπου αυτού και μάλιστα για περιοχές της Μεσογείου. Η υψομετρική καμπύλη στη βάση της δελταϊκής προεξοχής οριοθετεί την αρχή της ζώνης του προδέλτα και η υψομετρική καμπύλη διανομής της δελταϊκής προεξοχής σημειώνει τη μέγιστη απόσταση από την ακτή, όπου φτάνει το μεγαλύτερο μέρος των μεταφερομένων ιζημάτων.

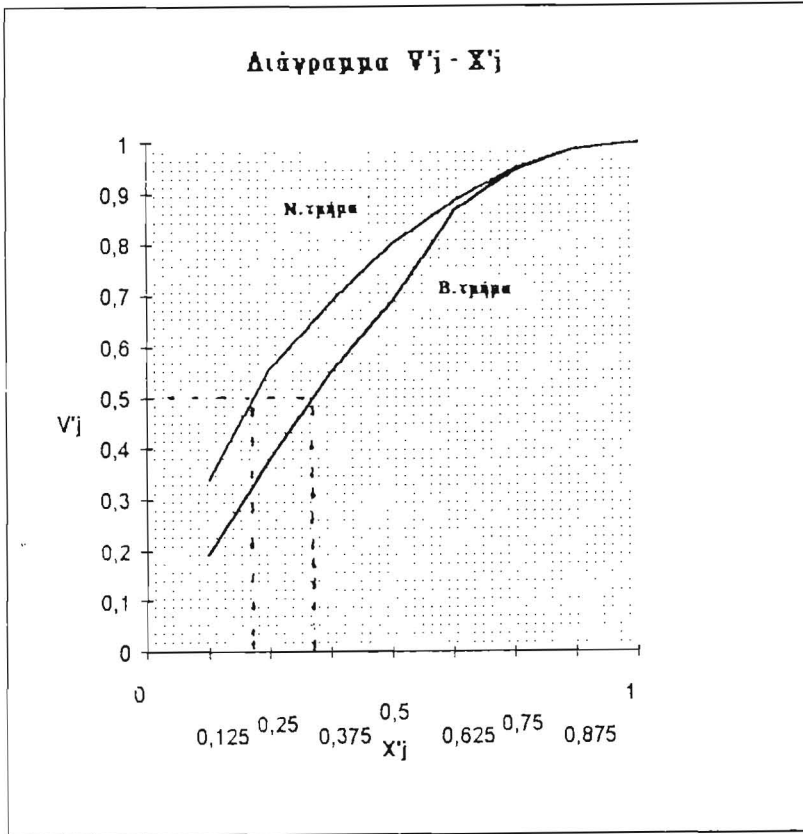
Το πλάτος της δελταϊκής προεξοχής ( $W$ ) και τα μήκας ( $L$ ), κάθετο στην προηγούμενη ευθεία, δίνουν την πρώτη ποσοτική παράμετρο της ανάλυσης, το λόγο  $L/W = 0,646$ . Η χαμηλή τιμή του λόγου δείχνει σχετική κανονικότητα δημιουργίας των ακτών, κανονικότητα που αφορά την τελική διαμόρφωση της δελταϊκής προεξοχής. Η τελική διαμόρφωση έχει εξομαλύνει τις διαφορές εξέλιξης ανάμεσα στο Β. και στο Ν. τμήμα του δέλτα, διαφορές που εμφανίζονται στη συνέχεια της μορφομετρικής ανάλυσης.

Ο δείκτης κατανομής των ιζημάτων  $B$  της δελταϊκής προεξοχής, όπως προκύπτει από την επεξεργασία του πίνακα 1 και από το διάγραμμα του Σχ. 6 είναι, για μεν το Β. τμήμα ίσος με  $B(B) = 0,34$ , για δε το νότιο τμήμα ίσος με  $B(N) = 0,22$ . Από τις τιμές που υπαλαγίστηκαν και από τη μορφή των καμπυλών προκύπτει, πριν απ' όλα μια άνιση εξέλιξη των δύο δελταϊκών τμημάτων. Σύμφωνα με τις αρχές της μορφομετρικής ανάλυσης, η τιμή του δείκτη  $B$  ίση με 0,5 αντιστοιχεί σε ευθεία ακτογραμμή, που σημαίνει πλήρη ισορραπία ανάμεσα στις αφίξεις στερεών υλικών και στις θαλάσσιες διεργασίες διευθέτησης των υλικών αυ-





Σχ. 4. Μορφομετρική ανάλυση δέλτα Πηνειού. Σχεδιασμός υποδομής.



$$B_{B. \text{ τμήμα}} = 0,33$$

$$B_{N. \text{ τμήμα}} = 0,22$$

**Σχ. 5.** Μορφομετρική ανάλυση δέλτα Πηνειού. Διάγραμμα  $V'_j - X'_j$ .

τών. Οι τιμές και για τα δύο τμήματα είναι σημαντικά μικρότερες από την οριακή αυτή τιμή, γεγονός που υποδηλώνει ανεπάρκεια προσφερόμενου υλικού και, με δεδομένη τη σταθερή δράση του κυματισμού και των ρευμάτων, την είσοδο της εξέλιξης του δέλτα σε φάση αποικοδόμησης. Αυτό βεβαίως αναφέρεται στην τελείως πρόσφατη εξέλιξη του δέλτα, μετά τις κάθε είδους διευθετήσεις στη λεκάνη απορροής και στον ποταμό και τις άμεσες ή έμμεσες υδροληψίες από τον ποταμό. Η καμπύλη που αντιστοιχεί στο Β. τμήμα είναι λιγώτερο ομοιόμορφη σε σχέση με την καμπύλη του νότιου τμήματος. Αυτό σημαίνει, για το Β. τμήμα, συνθήκες απόθεσης και ταξινόμησης ιζημάτων σχετικά ακανόνιστες, σε αντίθεση με τις πιο ομαλές συνθήκες του νότιου τμήματος. Επομένως το Β. τμήμα υπήρξε πιο ενεργό με έντονες αλλαγές συνθη-

κών, γεγονός που πιστοποιείται από την παρουσία παλαιών κοιτών στο τμήμα αυτών.

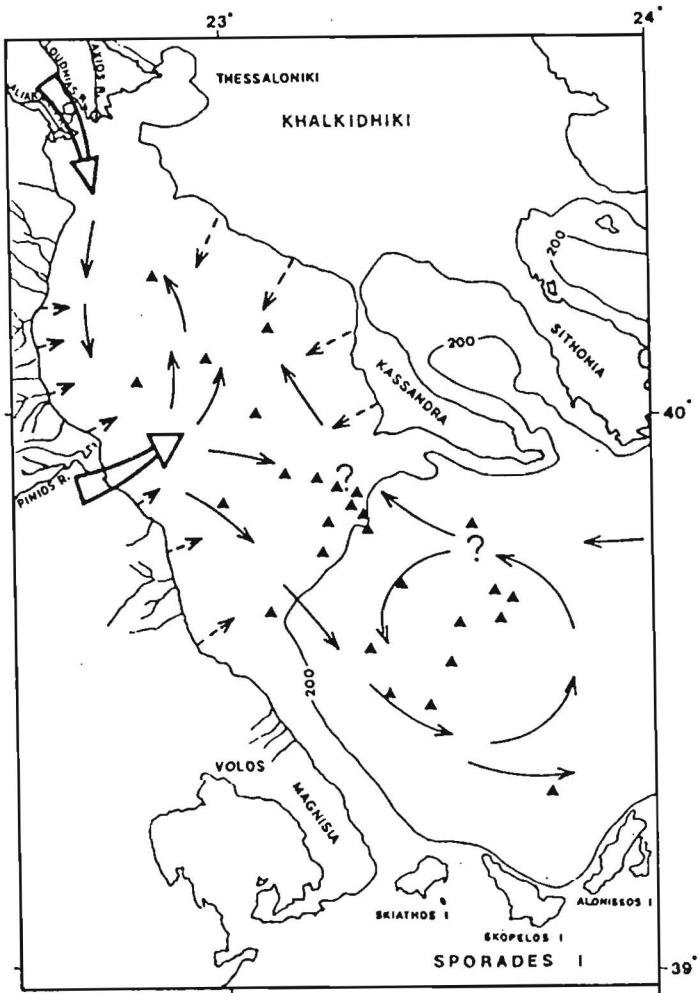
Οι χαμηλές τιμές του συντελεστή B δείχνουν ότι πέρα από την ενέργεια του κυματισμού, σαν βασική διαδικασία ταξινόμησης των ιζημάτων, υπήρχε και συμπληρωματικός μηχανισμός, που απομάκρυνε ένα μέρος των ιζημάτων και δεν επέτρεψε την προέλαση του δέλτα πέρα από τη γραμμή της ακτής που ορίζουν τα πετρώματα του υποβάθρου, στα άκρα της δελταικής προεξοχής. Η υπόθεση αυτή γίνεται στη βάση δύο δεδομένων καταστάσεων. Η πρώτη αφορά τη δυναμική ικανότητα του ποταμού να μεταφέρει μεγάλες ποσότητες υλικών, αφού η λεκάνη απορροής του είναι πολύ μεγάλη (σε σύγκριση με δέλτα άλλων ποταμών) και η παροχή του αναφέρεται σαν μεγάλη πρωτογενώς (σε ανάλογη σύγκριση) και η λιθολογία στη λεκάνη απορροής (Σχ. 3) ευνοεί ιδιαίτερα την διάβρωση και αποσάθρωση των σχηματισμών (φλύσχης, μόλασσα, Νεογενή κ.λπ.). Η δεύτερη δεδομένη κατάσταση αναφέρεται στη βαθυμετρία της θαλάσσιας περιοχής του δέλτα, η οποία είναι ιδανική για την ανεμπόδιστη προέλαση της δελταικής προεξοχής. Ο συμπληρωματικός θαλάσσιος μηχανισμός δεν μπορεί να είναι άλλος από τα ισχυρά αριστερόμορφα ρεύματα του Θερμικού, τα οποία διέρχονται από την περιοχή του δέλτα με διεύθυνση B-N και απομακρύνουν ένα μεγάλο μέρος των ιζημάτων των ποτάμιων εκβολών και των διαμορφωμένων ακτών (Σχ. 6).

Η ολική υποθαλάσσια υψομετρία (HJ) εκφράζει τη γενική κλίση της υποθαλάσσιας κλιτύος, συνδέεται, όπως είναι προφανές, με το καθεστώς ταξινόμησης των ιζημάτων κατά μήκος της ακτογραμμής και δίνεται από τη σχέση

$$HJ = \int_{-12}^0 (a/A) d(z/Z)$$

όπου  $a$  είναι η επιφάνεια μεταξύ της ισοβαθούς -5 (δεδομένη ισοβαθής καμπύλη) και της ακτογραμμής,  $A$  η επιφάνεια μεταξύ της ισοβαθούς -12 (ισοβαθής βάσης για τα δέλτα τύπου Ροδανού) και της ακτογραμμής,  $Z = 12$  m και  $z = 7$  m (διαφορά μεταξύ των ισοβαθών -12 και -5). Η ολική θαλάσσια υψομετρία υπολογίστηκε αντίστοιχα για τα δύο τμήματα του δέλτα  $HJ(B) = 0,19$  και  $HJ(N) = 0,25$  (Πιν. 2). Η τιμή της παραμέτρου HJ και για τα δύο τμήματα του δέλτα δείχνει κοιλότητα (concavity), που σημαίνει μικρότερη ποσότητα προσφερομένων χερσαίων ιζημάτων από όση οι θαλάσσιες διεργασίες (κυματισμός για την εδώ περίπτωση) μπορούν να επεξεργαστούν και να ταξινομήσουν στην ακτογραμμή. Μόνο στο κεντρικό τμήμα παρατηρείται μια σχετική κυρτότητα (convexity), που όμως είναι δευτερογενές φαινόμενο που οφείλεται στο μοναδικό, σήμερα,

υπάρχον στόμιο του ποταμού. Δευτερογενές φαινόμενο είναι όμως και η κοιλότητα της ακτογραμμής, που οφείλεται στους ίδιους λόγους για τους οποίους και ο δείκτης Β παρουσιάζει μειωμένες τιμές (διευθετήσεις στη λεκάνη απορροής, υδροληψίες, θαλάσσια ρεύματα). Η σχετική ευθυγραμμία της Β. ακτής, σε σχέση με τη Ν. πιστοποιεί, εκ νέου, ότι το τμήμα αυτό του δέλτα υπήρξε το σχετικά πιο ενεργό. Το συμπέρασμα αυτό, που προκύπτει και από το δείκτη Β είναι, σε κάποιο βαθμό, αποτέλεσμα και της μεταφοράς ιζημάτων από τους χειμάρρους των κρασπέδων του βόρειου τμήματος απ' ευθείας στη θάλασσα, χωρίς τη μεσολάβηση του ποταμού.



Σχ. 6. Σχηματική μετακίνηση των διευθύνσεων μετακίνησης λεπτόκοκκων και χοντρόκοκκων ιζημάτων στην περιοχή του Β.Δ. Αιγαίου (Lykousis et al., 1981).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.** Μορφομετρική ανάλυση Δέλτα Πηνειού.  
Επεξεργασία δεδομένων

**Β. ΤΜΗΜΑ**

Ζώνες	a (Km <sup>2</sup> )	hmax (m)	h' (Km)	V <sub>j</sub> (Km <sup>3</sup> ) (ah')	Σ V <sub>j</sub> (Km <sup>3</sup> ) (j=i)	V' <sub>i</sub> (Km <sup>3</sup> ) Σ/V <sub>n</sub>	x <sub>j</sub> (Km)	X' <sub>i</sub> (Km <sup>3</sup> )
1	3,27	2,7	0,00735	0,024035	0,024035	0,192076	1	0,125
2	3,3	2,2	0,0071	0,02343	0,047465	0,379322	2	0,25
3	2,85	3	0,0075	0,021375	0,06884	0,550144	3	0,375
4	2,44	2,4	0,0072	0,017568	0,086408	0,690542	4	0,5
5	1,99	10	0,011	0,02189	0,108298	0,86548	5	0,625
6	1,42	2	0,007	0,00994	0,118238	0,944917	6	0,75
7	0,76	1,9	0,00695	0,005282	0,12352	0,987129	7	0,875
8	0,23	2	0,007	0,00161	0,12513	1	8	1

**Ν. ΤΜΗΜΑ**

Ζώνες	a (Km <sup>2</sup> )	hmax (m)	h' (Km)	V <sub>j</sub> (Km <sup>3</sup> ) (ah')	Σ V <sub>j</sub> (Km <sup>3</sup> ) (j=i)	V' <sub>i</sub> (Km <sup>3</sup> ) Σ/V <sub>n</sub>	x <sub>j</sub> (Km)	X' <sub>i</sub> (Km <sup>3</sup> )
1	3,1	2,2	0,0071	0,02201	0,02201	0,339095	1	0,125
2	2,05	1,8	0,0069	0,014145	0,036155	0,557019	2	0,25
3	1,21	1,9	0,00695	0,00841	0,044565	0,686579	3	0,375
4	0,93	4,2	0,0081	0,007533	0,052098	0,802656	4	0,5
5	0,74	2,5	0,00725	0,005365	0,057463	0,885291	5	0,625
6	0,58	2,4	0,0072	0,004176	0,061639	0,949629	6	0,75
7	0,37	1,1	0,00655	0,002424	0,064062	0,986966	7	0,875
8	0,12	2,1	0,00705	0,000846	0,064908	1	8	1

όπου a: η επιφάνεια κάθε ζώνης, hmax: η μέγιστη ισούψη κάθε ζώνης,  
 $h' = (h + 12/2)/1000$  σε km,  $V_j = a \cdot h'$ ,  $\Sigma V_j (j = 1 \cdot 8)$ ,  
 $V'_i = \Sigma V_j / 0,12513$  (Β. Τμήμα) &  $V'_i = \Sigma V_j / 0,064908$  (Ν. Τμήμα),  
 $x_j$ : απόσταση κάθε ζώνης από την ευθεία του μήκους και  $X'_i = x_j / 8$ .

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.** Μορφομετρική ανάλυση Δέλτα Πηνειού.  
Ολική υποθαλάσσια υψομετρία.

	<b>Β. ΤΜΗΜΑ</b>	<b>Ν. ΤΜΗΜΑ</b>
a (m <sup>2</sup> )	2195600	2973600
A (m <sup>2</sup> )	6597600	6870400
z (m)	7	7
Z (m)	12	12
$HJ = \int_{-12}^0 (a/A) d(z/Z)$	0,19	0,25

Οι γενικώτερες γεωμορφολογικές παρατηρήσεις (παλιές κοίτες, αποκομμένοι λοβοί και αναβαθμίδες) επιβεβαιώνονται από τη μορφομετρική ανάλυση, η οποία καταλήγει στα ίδια συμπεράσματα με ποσοτικά στοιχεία, σε σχέση με τα ποιοτικά της βασικής γεωμορφολογίας.

Συμπερασματικά, όλοι οι γεωλογικοί, γεωμορφολογικοί και μορφομετρικοί παράγοντες συνηγορούν, δυνητικά ή πραγματικά, για τις μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης και εξέλιξης του δέλτα, ενώ ο μοναδικός, αλλά ισχυρός, παράγοντας των θαλάσσιων ρευμάτων περιόρισε την ανάπτυξη αυτή (Σχ. 6), δημιουργώντας μάλιστα και πεδίο παρερμηνειών ή επιγενετικών μεταβολών που μπορούν να αποδυναμώσουν τη γεωμορφολογική μελέτη και την μορφομετρική ανάλυση. Εννοείται ότι όλα αυτά ισχύουν για τα χρονικά διάστημα κατά τα οποία δεν υπάρχουν αξιοσημείωτες ανθρωπογενείς επεμβάσεις, που τροποποιούν δραματικά, πλέον, την εξέλιξη του δέλτα και οι οποίες δεν είναι εύκολο να ενταχθούν σε ένα πλαίσιο ελέγχου, τουλάχιστον ποσοτικό.

## Βιβλιογραφία

- Van Straaten, L.M. (1959). «Littoral and submarine morphology of the Rhone delta» *Nat. Acad. Sci. Nat. Res. Council. 2nd Coastal Geography Conf.* 233.
- Van Straaten, L.M. (1960). «Some recent advances in the study of deltaic sedimentation» *Liverpool Manchester Geol. Journal*, v. 2, pp. 411-422.
- Γαλάνη, Χ. (1995). «Γεωμορφολογική και μορφομετρική μελέτη του δέλτα του Πηνειού ποταμού» *Μεταπτυχ. Ενδεικτ. Ωκεανογραφίας, Παν. Αθηνών*.
- Wilding, A.J., Collins, M.B., Ferentinos, G. (1980). «Analyses of water level fluctuations in Thermaic Gulf and Salonica Bay, N.W. Aegean Sea» *Estuarine Coastal Mar. Sci.*, 10, pp. 325-334.
- Galloway, W.E. (1975). «Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems» *Brusard M.L. (ed), Deltas. Models for exploration. Houston Geol. Soc. pp. 87-98*.
- Ι.Γ.Μ.Ε. (1983). «Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας» 1/500.000, Αθήνα.
- Ι.Γ.Μ.Ε. (1987). «Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας» 1/50.000, φύλλο Ραψάνη», Αθήνα.
- Coleman, J.M., Wright, M.L. (ed) *Deltas: Models for exploration. Houston Geol. Soc.*, pp. 99-114.
- Coleman, J.M. (1976). «Deltas: Processes of deposition and models for exploration» *Continuing Educational Publication Company Inc.*, pp. 1-93.
- Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

- Λειβαδίτης, Γ. (1991). «Σημειώσεις Γεωμορφολογίας Ελλάδος» Αθήνα.
- Lykousis, V. (1990). «Προδελταϊκές απαθέσεις. Σεισμική στρωματογραφία - Ιζηματολογία - Ευστάθεια πρανών». *Διδ. Διατρ. Πανεπ. Πατρών*.
- Lykousis, V., Collins, M.B. and Ferentinis, G. (1981). «Modern sedimentation in the N.W. Aegean sea». *Marine Geology*, 43, pp. 111-130.
- Lykousis, V., Chronis, M.B. (1989). «Mechanisms of sediment transport and deposition: Sediment sequences and accumulation during the Holocene of the Thermaikos Plateau, the continental slope and basin (Sporades basin), N.W. Aegean Sea, Greece» *Marine Geology, Elsevier*.
- Παπαπέτρου-Ζαμάνη, Α. (1993). «Γεωμορφολογία». Παν. Αθηνών.
- Wright, L.D. (1977). «Sediment transport and deposition of river mouths. A synthesis» *Bull. Geol. Soc. Amer.*, v. 8, pp. 857-868.
- Wright, L.D. (1978). «River deltas» IN Davis R.A. Jr (ed), *Coastal Sedimentary Environments*. Springer N.Y., Heidelberg, pp. 5-68.
- Scruton, P.C. (1960). «Delta building and the deltaic sequence» IN Shepard, F.B. and Van American Andel, T.H. (eds), *Recent sediments, northwest Gulf of Mexico*, Amer. Assoc. Petrol. Geol. pp. 82-102.
- Stournaras, G. (1984). «Evolution et comportement d' un systeme aquifere, heterogene. Geologie et hydrogeologie du delta du Nestos (Grece) et de ses bordures» *These, Univ. Grenoble*.
- Stournaras, G. (1990). «Etude geomorphologique et morphometrique, du delta du Mornos (Grece centrale). Possibilities de prevision du regime hydrogeologique» *Ann. Scient Univ. Fr. Compte, Besanscon*.