

Μορφομετρική ανάλυση της δελταϊκής προεξοχής του ποταμού Αχελώου

Ελισσάβητ Γ. Φελώνη^(1,2), Παναγιώτης Θ. Νάστος⁽¹⁾, Σεραφείμ Ε. Πούλος⁽¹⁾

¹Τομέας Γεωγραφίας και Κλιματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου 157 84, Αθήνα

²Τομέας Υδατικών πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 5, 157 73, Αθήνα

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στη μορφομετρική ανάλυση της δελταϊκής προεξοχής του ποταμού Αχελώου, στη νοτιοδυτική Αιτωλοακαρνανία. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας, μελετώνται τα κύρια γεωλογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής, δηλαδή η λιθολογική δομή, η τεκτονική, η σεισμικότητα, η υδρογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών που τη συνθέτουν, παράλληλα με το ρόλο των δελταϊκών αποθέσεων για την φρεατία υδροφορία, καθώς και τα κύρια γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της. Ακόμα, εξετάζονται λεπτομερώς τα υδρολογικά δεδομένα της λεκάνης απορροής, ενώ αναλύονται τα διαθέσιμα μετεωρολογικά στοιχεία και επιχειρείται ο προσδιορισμός του κλίματος της, βασιζόμενοι στα δεδομένα των αντιπροσωπευτικών σταθμών της Ε.Μ.Υ.. Για της εφαρμογή της μεθοδολογίας της μορφομετρικής ανάλυσης, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πακέτο ArcGIS 10, με τη βοήθεια του οποίου υπολογίστηκαν και οι περισσότερες μορφομετρικές παράμετροι. Η συγκεκριμένη ανάλυση στο δέλτα του Αχελώου επιβεβαιώνει τα γενικά χαρακτηριστικά των δέλτα τύπου Ροδανού, ενώ φέρνει στην επιφάνεια ορισμένες ιδιαιτερότητες της περιοχής, όπως αυτές απεικονίζονται μέσα από τις προκύπτουσες τιμές των άμεσων και έμμεσων μορφομετρικών παραμέτρων.

Λέξεις κλειδιά: Αχελώος, Δέλτα, Μορφομετρική ανάλυση, τύπου Ροδανού, Σ.Γ.Π.

Morphometric analysis of Acheloos river delta

Elissavet G. Feloni^(1,2), Panagiotis T. Nastos⁽¹⁾, Serafim E. Poulos⁽¹⁾

¹Department of Geography and Climatology, Faculty of Geology and Geoenvironment, University of Athens, University Campus 157 84, Athens, Greece

²Department of Water Resources, Hydraulic and Maritime Engineering, Faculty of Civil Engineering, National Technical University of Athens, 5 Iroon Polytechniou, 157 73, Athens, Greece

Abstract

This study refers to a quantitative morphometric analysis of the Acheloos river deltaic protrusion, in the southwestern Aetolia-Acarmania. In the context of this work, the major geological – geomorphological features of this region and the available meteorological data from the station within the river basin are analyzed. GIS software is used entirely for the implementation of the methodology of the morphometric analysis and calculation of the morphometric parameters

The lithological structure of the region consists mainly of Quaternary deposits of various phases, and secondarily from Pliocene fossils lacustrine and river-lacustrine phases, and restricted alpine formations of the Ionian zone.

The major aquifer in the region is evidenced by the existence of several springs. The limestone hills within the current delta functioned as open sea karst systems, leading to accept strong salinization, while the gradual sea setback led to the aquifers sanitation. The Neogene sediments in the east of the delta form and hydro-geomorphological deltaic boundary exhibit an intermediate aquifer within the sandstone horizons. The Quaternary deposits are generally characterized as reduced transmittance with salinized areas because of messy structure and aquifer.

From the geomorphological point of view, the area is part of the southern basin of Acheloos, which is characterized by moderate morphological slopes and a hydrographic network of small order and long length individual disciplines leading to the main river (order 6 according to Strahler). In the coastal

area there are two parts, the western sandy-clay composition and the south generally milder morphological, which consists of sandy deposits – dunes. This coastal area is influenced by the action of the sea, with a characteristic sandy barrier, a high-hydrodynamic product in the southern part of the delta, which is still significantly expands until today.

The meteorological analysis showed that the mean annual air temperature ranges between 18 - 19 °C, the mean annual precipitation in coastal and lowland is 700mm, the mean annual relative humidity is 68%, while the prevailing winds are of the west sector with middle intensity. The climate is estimated as hot – Mediterranean type with very intense dry season with respect to the Emberger-Sauvage climatic classification.

The conclusions of the analysis confirm the diversified form of the Acheloos delta compared to the usual deltaic symmetry on both sides of a central axis, mainly due to the Alpine formations, even at the embouchure at the Ionian Sea, but also due to other factors, mainly the sea waves. This specific analysis in the Acheloos delta confirms the general features of the Rhone type delta and reveals some peculiarities of this area, as reflected in the resulting values of the direct and indirect morphometric parameters.

The general findings show that the mild relief of the coastal and seafloor offers the ideal scheme for sedimentation and structuring the deltaic salience. The adequacy of sediments certified by the existent data rate evolution of the coastal zone of the delta and individual geomorphes, such as the sandy barrier. From the deltaic protrusion characteristics, the meanders, old riverbeds, sandy barriers, dunes and deltaic sediments and the wave zone are mainly labeled. In contrast to the above, the scheme of marine dynamics is the only negative factor in the deltaic evolution that affects the sediment deposition and causes a relevant imbalance and asymmetry between the two deltaic parts.

Key words: Acheloos, Deltas, Morphometric analysis, Rhône type, G.I.S.

1. Εισαγωγή

Ο Ελλαδικός χώρος χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη ευνοϊκών συνθηκών για την ανάπτυξη δελταϊκών γεωμορφών. Τουλάχιστον το 44,66% του συνόλου της ακτογραμμής της Ελλάδας καταλαμβάνεται από δέλτα ποταμών, δελταϊκά ριπίδια και παράκτιες πεδιάδες (Gaki - Papanastassiou et al., 1997). Τα περισσότερα δέλτα της Μεσογείου είναι τύπου Ροδανού. Τα δέλτα του τύπου αυτού χαρακτηρίζονται από επάρκεια προσφερόμενων χερσαίων φερτών υλικών με τον κυματισμό να αποτελεί τον κύριο υπεράκτιο παράγοντα ρύθμισης (Galloway, 1975). Τα ελληνικά δέλτα ανήκουν εξολοκλήρου στον συγκεκριμένο τύπο (Stoumparas, 1999), ενώ κατά τους Καρύμπαλης κ.α. (2001), η πλειοψηφία των ελληνικών δέλτα ανήκει σε αυτά με κυρίαρχη θαλάσσια διεργασία τον κυματισμό, μιας και τα εύρη παλίρροιας κατά μήκος των ελληνικών ακτών είναι πολύ μικρά, τόσο που δεν παίζουν ιδιαίτερο ρόλο στη διαμόρφωσή τους. Η παρούσα εργασία επιβεβαιώνει τους παραπάνω ισχυρισμούς και για την περίπτωση του Δέλτα Αχελώου, όπου παρουσιάζονται αμφότερα τα βασικά φυσιογραφικά, γεωλογικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Καθώς και η μορφομετρική ανάλυση στη δελταϊκή προεξοχή του που πραγματοποιήθηκε με χρήση Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών.

2. Υλικά και μέθοδοι

Σε Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας εισήχθησαν χάρτες της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000 και 1:5.000 καθώς και οι γεωλογικοί χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε κλίμακας 1:50.000, Φύλλο Εχινάδες (σύνταξη: Κουρής, Χ., 1986) και Φύλλο Μεσολόγγιον (σύνταξη: Κουρής, Χ., 1990), προκειμένου να κατασκευασθούν τα απαραίτητα για την ανάλυση θεματικά επίπεδα. Μέσω των χωρικών οντοτήτων των υψομετρικών καμπυλών και σημείων καθώς και του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής κατασκευάστηκε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) με σκοπό τον αυτόματο υπολογισμό των μορφομετρικών παραμέτρων που απαιτούνται για την ανάλυση.

Για τη μελέτη των κλιματολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των δεδομένων των μετεωρολογικών σταθμών Αιτωλικού-Μεσολογγίου και Αγρινίου προκειμένου να επιτευχθεί η κλιματική ταξινόμηση κατά Emberger-Sauvage για την περιοχή.

πορώδες είναι πληρωμένο από εβαποριτικό υλικό. Η σημαντική υδροφορία πιστοποιείται και από την λειτουργία αρκετών πηγών υψηλής παροχής στην περιοχή. Αξίζει να επισημανθεί πως στο παρελθόν οι ασβεστολιθικοί λόφοι που βρίσκονται εντός του σημερινού δέλτα λειτούργησαν ως ανοικτά στη θάλασσα καρστικά συστήματα, με αποτέλεσμα να δεχτούν ισχυρή υφαλμύριση, που όμως, με τη σταδιακή υποχώρηση της θαλάσσιας στάθμης, άρχισε και η εξυγίανση των συγκεκριμένων υδροφορέων. Τα νεογενή ιζήματα στα ανατολικά του δέλτα, τα οποία αποτελούν και υδρογεωλογικό – μορφολογικό όριο για το δέλτα, εμφανίζουν ενδιάμεση υδροφορία εντός ψαμμιτικών οριζόντων. Τέλος, οι τεταρτογενείς αποθέσεις που καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα της έκτασης χαρακτηρίζονται από γενικά ακατάστατη δομή και άρα η υδροφορία τους διαφοροποιείται έντονα από θέση σε θέση, ενώ γενικά μπορούν να χαρακτηριστούν ως σχηματισμός μειωμένης περατότητας με εντοπισμένες υφαλμυρυσμένες περιοχές, ιδίως γύρω από τον Παλαιοπόταμο, μιας και τα αδρόκοκκα υλικά της κοίτης ευνοούν τη διείσδυση θαλασσινού νερού.

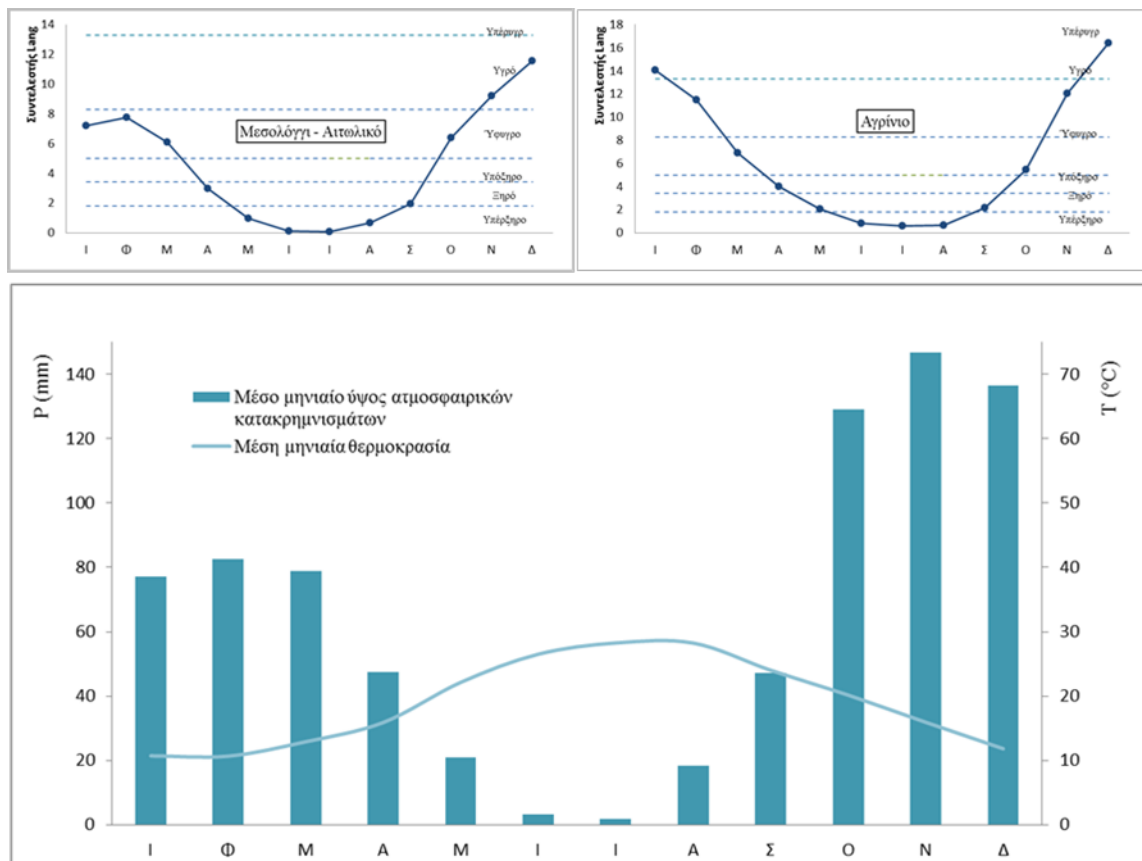
3.4 Γεωμορφολογία, Υδρολογία και Κλίμα

Από γεωμορφολογικής άποψης, η περιοχή ανήκει στο νότιο τμήμα της λεκάνης απορροής του Αχελώου, το οποίο χαρακτηρίζεται από ήπιες μορφολογικές κλίσεις και υδρογραφικό δίκτυο μεμονωμένων κλάδων μικρής τάξης και μεγάλου μήκους που καταλήγουν στον κύριο ποταμό (6^{ης} τάξης κατά Strahler). Στην παράκτια περιοχή, διακρίνουμε το δυτικό τμήμα αργιλοαμμούχου σύστασης και το νότιο και ανατολικό, το οποίο είναι ηπιότερο μορφολογικά και αποτελείται από αμμώδεις αποθέσεις. Η συγκεκριμένη ζώνη υψηλής ενέργειας έχει επηρεασθεί από τη δράση της θάλασσας, με χαρακτηριστική γεωμορφή το βραχίονα αμμώδους σύστασης στο νότιο τμήμα του δέλτα, ο οποίος διευρύνεται σε σημαντικό βαθμό ακόμα και σήμερα (Τζανετάτου, κ.α., 2002).

Η μελέτη των υδρολογικών παραμέτρων για τη λεκάνη απορροής του Αχελώου αρχικά διαμορφώνει ένα πλαίσιο επάρκειας της παροχής του ποταμού, πράγμα που σημαίνει πως καλύπτονται οι αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών στην πεδινή περιοχή του δέλτα (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2006), με ποιοτικά χαρακτηριστικά επιφανειακών υδάτων τέτοια που επιτρέπουν την αξιοποίηση τους ακόμα και υπό τις πιθανά δυσμενέστερες συνθήκες.

Ως προς τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, η μέση ετήσια θερμοκρασία εκτιμάται μεταξύ 18 – 19 °C, ενώ το θερμοκρασιακό εύρος είναι της τάξης των 16 βαθμών. Το δέλτα του Αχελώου βρίσκεται στην ομβροπλευρά της χώρας κι έτσι χαρακτηρίζεται από σημαντικό ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, όπου στα παράκτια και πεδινά κυμαίνεται στα 700mm. Η πιο βροχερή περίοδος είναι από τον Οκτώβριο ως το Φεβρουάριο (Εικ. 2), ενώ οι πιο ξηροί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος, ενώ τέλος, στις πεδινές εκτάσεις δεν παρατηρούνται χιονοπτώσεις. Στην περιοχή του Μεσολογγίου, όπου πραγματοποιήθηκαν οι καταγραφές, η μέση ετήσια σχετική υγρασία κυμαίνεται γύρω από το 68%, ενώ οι άνεμοι που επικρατούν είναι κυρίως δυτικοί και μέτριας έντασης.

Για το χαρακτηρισμό του κλίματος της ευρύτερης περιοχής επιλέχθηκε η μέθοδος Lang - Gracamin. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η κατάταξη γίνεται με τη βοήθεια του δείκτη ξηρασίας Lang (Trewartha and Horn, 1980), ο οποίος εκφράζει το λόγο της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης σε mm προς την αντίστοιχη μηνιαία θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου. Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται ο τύπος τοπικού κλίματος ανάλογα με τη μηνιαία διακύμανση στην τιμή του συντελεστή. Για τις περιοχές που χαρακτηρίζονται από μεσογειακό κλίμα, καθορίστηκαν οι βιοκλιματικοί όροφοι οι οποίοι ισχύουν μόνο για το συγκεκριμένο κλίμα (Emberger 1955, Sauvage 1963). Ο προσδιορισμός του βιοκλίματος κατά Emberger - Sauvage πραγματοποιήθηκε υπολογίζοντας το ομβροθερμικό πηλίκο βάσει του τύπου Emberger. Τελικά προέκυψε πως ο χαρακτήρας του βιοκλίματος είναι θερμός – μεσογειακός, στην υποδιαίρεση έντονος με μεγάλη ξηρή περίοδο (δείκτης X=138 ημέρες).



Εικόνα 2. Συντελεστής Lang (2a) και ομβροθερμικό διάγραμμα για την περιοχή (2b)
 Figure 2. Factor Lang (2a) and mean monthly air temperature and precipitation diagram for the study area (2b)

3.5 Μορφομετρική ανάλυση

Για την μορφομετρική ανάλυση της δελταϊκής προεξοχής του Αχελώου, σε Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας εισήχθησαν χάρτες της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000 και 1:5.000 καθώς και οι γεωλογικοί χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε κλίμακας 1:50:000, Φύλλο Εχινάδες και Φύλλο Μεσολόγγιον. Από τους χάρτες αυτούς κατασκευάστηκαν τα απαραίτητα για την έρευνα θεματικά επίπεδα μέσω των οποίων υπολογίστηκαν οι άμεσες μορφομετρικές παράμετροι, όπως αυτές καταγράφονται στον Πίνακα 1. Ακόμα, κατασκευάστηκε ένα ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DEM), από το οποίο υπολογίστηκαν αυτόματα ορισμένες από τις έμμεσες μορφομετρικές παραμέτρους.

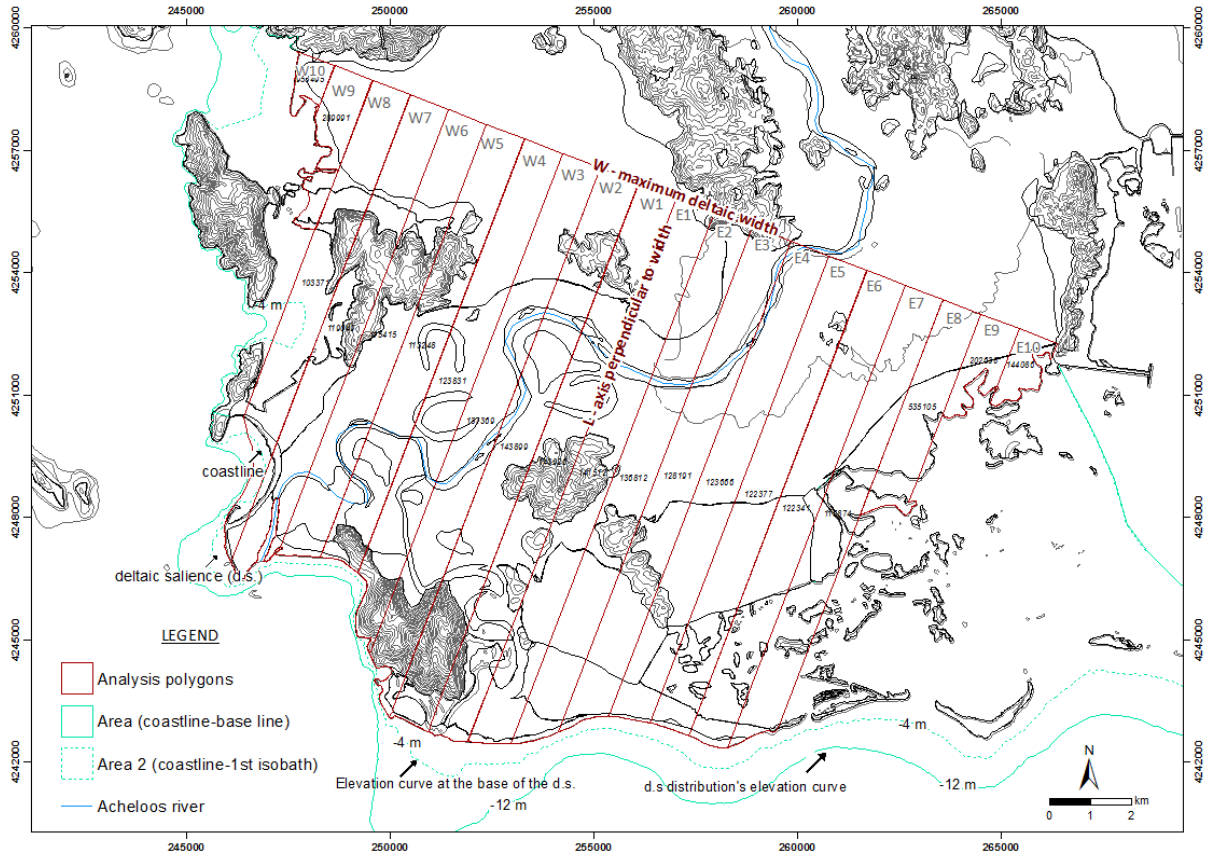
Ο σχεδιασμός της υποδομής για τη μορφομετρική ανάλυση στην περιοχή διακρίνει δύο τμήματα, το ανατολικό και δυτικό, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 3. Οι ισοβαθείς καμπύλες που αποτέλεσαν όρια για την περιοχή ανάλυσης επιλέχθηκαν με βάση βιβλιογραφικά και στατιστικά δεδομένα αντίστοιχων αναλύσεων για δέλτα ποταμών εντός της Μεσογείου (Stournaras, 1984).

Με βάση το μήκος (L) και το πλάτος (W) της οριοθετημένης προς ανάλυση περιοχής, διακρίθηκαν 20 τμήματα ίσου πλάτους ($x = 1 \text{ km}$), στα οποία εκτιμήθηκε με τη βοήθεια του Σ.Γ.Π. η έκταση, ο όγκος των ιζημάτων που φιλοξενούν και το μέσο υψόμετρο, ενώ παράλληλα υπολογίστηκαν και τα αθροιστικά μεγέθη που απαιτεί η διαδικασία της μορφομετρικής ανάλυσης, όπως και οι έμμεσα υπολογιζόμενες παράμετροι (Πίν. 1).

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των βασικών παραμέτρων που υπολογίστηκαν για καθένα από τους 20 τομείς του δέλτα.

Πίνακας 1. Άμεσα και έμμεσα υπολογιζόμενες μορφομετρικές παράμετροι
Table 1. Directly and indirectly calculated morphometric parameters

Άμεσες παράμετροι	Περιγραφή	Τιμή Αχελώου
W	Μέγιστο πλάτος δελταϊκής προεξοχής	20.00 km
L	Μήκος της δελταϊκής προεξοχής μετρηθείς κάθετα στο πλάτος	14.31 km
L _s	Μήκος της ακτογραμμής - η παράμετρος εξαρτάται από την κλίμακα	102.95 km
N	Αριθμός των ευθύγραμμων τμημάτων ίδιου πλάτους	20.00
X	Πλάτος κάθε ευθύγραμμου τμήματος	1.00 km
a _s	Εμβαδό περιοχής μεταξύ πρώτης ισοβαθούς και ακτογραμμής	91.93 km ²
A _s	Εμβαδό περιοχής μεταξύ ακτογραμμής και βασικής οριακής γραμμής	129.00 km ²
z	Κατακόρυφη απόσταση πάνω από τη βασική οριακή γραμμή και ακτογραμμή - εισαγωγή υψομέτρου αναφοράς	8.00 m
Z	Συνολική κατακόρυφη απόσταση από την βασική οριακή γραμμή μέχρι την ακτογραμμή	12.00 m
A _{0-h}	Εμβαδόν περιοχής μεταξύ της ακτογραμμής και μιας ισούψους καμπύλης (συνήθως των 0,5 m, 1m και 4 m)	35.41 km ²
Έμμεσες παράμετροι	Περιγραφή	Τιμή Αχελώου
R _p	Λόγος προέκτασης της δελταϊκής προεξοχής προς την θάλασσα.	0.72
R _c	Λόγος δελταϊκής ακτογραμμής - εκφράζει την αντικανονικότητα της και εξαρτάται άμεσα από την κλίμακα	5.15
v _j	Όγκος των ιζημάτων σε κάθε τμήμα, (Υπολογισμός μέσω του ΨΜΕ)	Πίνακας 2
V _j	Αθροιστικός όγκος των δελταϊκών κλαστικών ιζημάτων από τον άξονα του δέλτα μέχρι το διάστημα j	Πίνακας 2
V _j '	Αθροιστικός αδιάστατος όγκος	Πίνακας 2
S _k	Λόγος ασυμμετρίας - εκφράζει το βαθμό της ασυμμετρίας της δελταϊκής προεξοχής.	0.65
β _w	Διανομή ασυμμετρίας για το δυτικό τμήμα της δελταϊκής προεξοχής, η οποία αναφέρεται στην αδιάστατη απόσταση της ακτογραμμής x _j ', όπου V _j ' ο αθροιστικός αδιάστατος όγκος των ιζημάτων έχει την τιμή 0,5 - υπολογίζεται αυτόματα.	0.28
β _e	Διανομή ασυμμετρίας για το ανατολικό τμήμα της δελταϊκής προεξοχής, η οποία αναφέρεται στην αδιάστατη απόσταση της ακτογραμμής x _j ', όπου V _j ' ο αθροιστικός αδιάστατος όγκος των ιζημάτων έχει την τιμή 0,5 - υπολογίζεται αυτόματα.	0.22
B	Αριθμητικός μέσος της διανομής της δελταϊκής προεξοχής - εκφράζει αριθμητικά τη διανομή του όγκου των ιζημάτων	0.25
HI	Υποθαλάσσιο υψομετρικό διάστημα που υποδεικνύει την γενική κλίση και την καμπυλότητα του υποθαλάσσιου δελταϊκού προφίλ	0.48
R _v	Λόγος τρωτότητας - εκφράζει την περιοχή που θα αντιμετωπίσει σοβαρά προβλήματα, λόγω της προβλεφθείσας αύξησης της στάθμης της θάλασσας. Το υψόμετρο h εκφράζει την προβλεπόμενη αύξηση της στάθμης της θάλασσας και εισάγεται από τον χρήστη. Το Ad εκφράζει την δελταϊκή προεξοχή μεταξύ της ακτογραμμής και τον άξονα του πλάτους του δέλτα.	0.18



Εικόνα 3. Δελταϊκή προεξοχή ποταμού Αχελώου διαιρημένη σε 20 τομείς πλάτους 1 km.
 Figure 3. The Acheloos river deltaic protrusion divided into 20 segments of 1 km width.

Όπως έχει ήδη ειπωθεί, το δέλτα του Αχελώου αποτελεί μια ιδιαίτερη γεωμορφή καθώς χαρακτηρίζεται από εκτεταμένες εμφανίσεις του αλπικού υποβάθρου (σχηματισμοί της Ιόνιας ενότητας), ακόμα και γύρω από τη στενή περιοχή των εκβολών του στο Ιόνιο πέλαγος. Για την ορθότητα των αποτελεσμάτων, αφαιρέθηκε το εμβαδό που αναφέρεται στις εμφανίσεις των ασβεστολιθικών όγκων, οι οποίοι βρίσκονται διάσπαρτοι στην περιοχή κι ως εκ τούτου, οι συγκεκριμένοι υπολογισμοί, που αφορούν τα 20 επιμέρους τμήματα του δέλτα, λαμβάνουν υπόψη αποκλειστικά την επιφάνεια των τεταρτογενών - ολοκαινικών αποθέσεων. Ακόμα, σε σχέση με τα όρια προς βορρά, τα κριτήρια ήταν γεωμορφολογικά και λιθολογικά. Η περιοχή που αναλύθηκε χαρακτηρίζεται από ομαλή μορφολογική κλίση, χωρίς έντονες εξάρσεις, κατά κανόνα απουσία αναγλύφου, νεογενών και μεγάλων αλπικών εμφανίσεων. Συμπίπτει με το χώρο απόθεσης των δελταϊκών ιζημάτων, που χαρακτηρίζονται για τις πολλές διαφορετικές λιθολογικές – κοκκομετρικές εκδοχές τους και για τις δελταϊκές γεωμορφές που διαμορφώνουν.

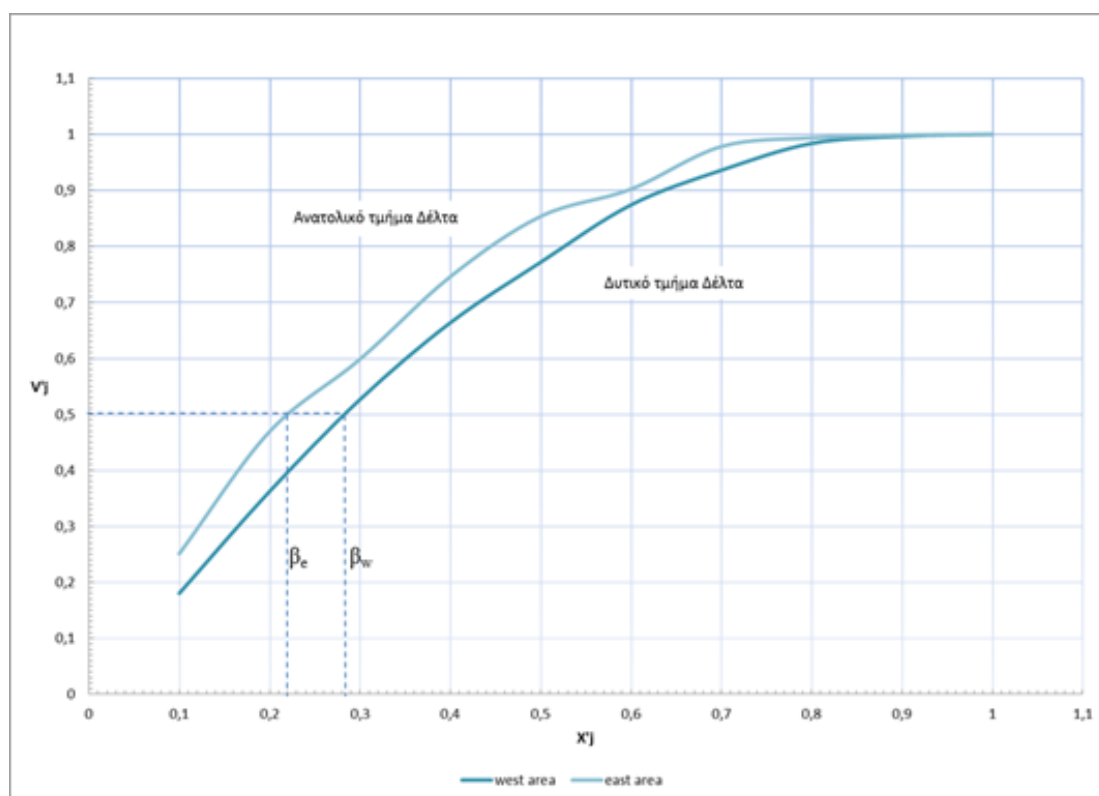
Τέλος, κατασκευάστηκε το διάγραμμα $V'_j - X'_j$ (Εικ. 4) για τα δύο τμήματα του δέλτα, όπου και σημειώνονται γραφικά οι τιμές των παραμέτρων β_e και β_w .

Πίνακας 2. Τιμές μορφομετρικών παραμέτρων για κάθε τομέα, σε ανατολικό και δυτικό τμήμα
 Table 2. Morphometric parameters values for any segment, in the western and eastern part

Δυτικό τμήμα	α (km ²)	v_j (km ³)	V_j (km ³)	V_j' (km ³)	x_j (km)	x_j' (km)	υψόμετρο (km)
W ₁	14.393	0.285	0.285	0.180	1	0.100	0.020
W ₂	14.390	0.288	0.573	0.362	2	0.200	0.020
W ₃	13.737	0.259	0.832	0.526	3	0.300	0.019
W ₄	12.383	0.217	1.049	0.664	4	0.400	0.018
W ₅	11.325	0.171	1.220	0.772	5	0.500	0.015
W ₆	11.542	0.162	1.382	0.874	6	0.600	0.014
W ₇	11.905	0.098	1.479	0.936	7	0.700	0.008
W ₈	10.337	0.076	1.555	0.984	8	0.800	0.007
W ₉	2.900	0.020	1.575	0.996	9	0.900	0.007
W ₁₀	0.954	0.006	1.581	1.000	10	1.000	0.006
Ανατολικό τμήμα	α (km ²)	v_j (km ³)	V_j (km ³)	V_j' (km ³)	x_j (km)	x_j' (km)	υψόμετρο (km)
E ₁	14.151	0.258	0.258	0.251	1	0.100	0.018
E ₂	13.681	0.224	0.482	0.469	2	0.200	0.016
E ₃	12.819	0.133	0.615	0.598	3	0.300	0.010
E ₄	12.367	0.152	0.767	0.746	4	0.400	0.012
E ₅	12.238	0.111	0.878	0.853	5	0.500	0.009
E ₆	12.234	0.050	0.928	0.902	6	0.600	0.004
E ₇	11.687	0.078	1.006	0.978	7	0.700	0.007
E ₈	5.351	0.016	1.022	0.994	8	0.800	0.003
E ₉	2.026	0.005	1.027	0.999	9	0.900	0.003
E ₁₀	1.441	0.001	1.028	1.000	10	1.000	0.001

Όπως έχει ήδη ειπωθεί, το δέλτα του Αχελώου αποτελεί μια ιδιαίτερη γεωμορφή καθώς χαρακτηρίζεται από εκτεταμένες εμφανίσεις του αλπικού υποβάθρου (σχηματισμοί της Ιόνιας ενότητας), ακόμα και γύρω από τη στενή περιοχή των εκβολών του στο Ιόνιο πέλαγος. Για την ορθότητα των αποτελεσμάτων, αφαιρέθηκε το εμβαδό που αναφέρεται στις εμφανίσεις των ασβεστολιθικών όγκων, οι οποίοι βρίσκονται διάσπαρτοι στην περιοχή κι ως εκ τούτου, οι συγκεκριμένοι υπολογισμοί, που αφορούν τα 20 επιμέρους τμήματα του δέλτα, λαμβάνουν υπόψη αποκλειστικά την επιφάνεια των τεταρτογενών - ολοκαινικών αποθέσεων. Ακόμα, σε σχέση με τα όρια προς βορρά, τα κριτήρια ήταν γεωμορφολογικά και λιθολογικά. Η περιοχή που αναλύθηκε χαρακτηρίζεται από ομαλή μορφολογική κλίση, χωρίς έντονες εξάρσεις, κατά κανόνα απουσία αναγλύφου, νεογενών και μεγάλων αλπικών εμφανίσεων. Συμπίπτει με το χώρο απόθεσης των δελταϊκών ιζημάτων, που χαρακτηρίζονται για τις πολλές διαφορετικές λιθολογικές – κοκκομετρικές εκδοχές τους και για τις δελταϊκές γεωμορφές που διαμορφώνουν.

Τέλος, κατασκευάστηκε το διάγραμμα $V'_j - X'_j$ (Εικ. 4) για τα δύο τμήματα του δέλτα, όπου και σημειώνονται γραφικά οι τιμές των παραμέτρων β_e και β_w .



Εικόνα 4. Μορφομετρική ανάλυση Δέλτα Αχελώου. Διάγραμμα $V'_j - X'_j$.
Figure 4. Morphometric analysis of Acheloos river delta. $V'_j - X'_j$ chart.

4. Ανάλυση Αποτελεσμάτων - Συζήτηση

Ο σχεδιασμός της υποδομής για την προσέγγιση της μεθοδολογίας της μορφομετρική ανάλυση της δελταϊκής προεξοχής του ποταμού Αχελώου (Εικ. 3) δημιουργεί δύο τμήματα, το δυτικό και το ανατολικό, παρουσιάζοντας το καθένα τις δικές του ιδιαιτερότητες, οι οποίες διαμορφώθηκαν στα πλαίσια της γενικότερης εξέλιξης του δέλτα μέσα στο Τεταρτογενές- Ολόκαινο. Οι τιμές των συγκεκριμένων ισοβαθών καμπυλών επιλέχθηκαν με βάση βιβλιογραφικά και στατιστικά δεδομένα μορφομετρικών αναλύσεων για αντίστοιχες δελταϊκές περιοχές της Μεσογείου (Stourmparas, 1984).

Η υψομετρική καμπύλη στη βάση της δελταϊκής προεξοχής οριοθετεί την αρχή του τμήματος του προδέλτα και η υψομετρική καμπύλη διανομής της δελταϊκής προεξοχής σημειώνει τη μέγιστη απόσταση από την ακτή, όπου φτάνει το μεγαλύτερο μέρος των μεταφερόμενων ιζημάτων. Το πλάτος της δελταϊκής προεξοχής (W) και το μήκος (L), δίνουν την πρώτη ποσοτική παράμετρο της ανάλυσης, το λόγο $L/W = 0,716$. Η σχετικά χαμηλή τιμή του λόγου σημαίνει κανονικότητα δημιουργίας των ακτών, η οποία αφορά την τελική διαμόρφωση της δελταϊκής προεξοχής. Αυτή η τελική διαμόρφωση είναι που εξομαλύνει τις διαφορές στην εξέλιξη μεταξύ ανατολικού και δυτικού τμήματος, διαφορές που αναλύονται και στη συνέχεια.

Ο δείκτης κατανομής των ιζημάτων της δελταϊκής προεξοχής (β), για το δυτικό τμήμα υπολογίστηκε ίσος με 0,283 και για το ανατολικό τμήμα ίσος με 0,220. Η απόκλιση μεταξύ των δύο τιμών ερμηνεύεται από τη διαφορά στην εξέλιξη των δύο τμημάτων του δέλτα. Σύμφωνα με τις αρχές της μορφομετρικής ανάλυσης, η τιμή του δείκτη β ίση με 0,5 αντιστοιχεί σε ευθεία ακτογραμμή, που σημαίνει πλήρη ισορροπία ανάμεσα στις αφίξεις στερεών υλικών και στις θαλάσσιες διεργασίες διευθέτησης των υλικών αυτών, ενώ η τιμή 0,0 ερμηνεύει μια ακτή οξεία και δακτυλιοειδή. Στην περίπτωση του Αχελώου, η τιμή του δείκτη ($\sim 0,25$) οδηγεί στο συμπέρασμα της ανεπάρκειας προσφερόμενου υλικού και με δεδομένη τη σταθερή δράση του κυματισμού και των ρευμάτων, την είσοδο της εξέλιξης του Δέλτα σε φάση αποικοδόμησης.

Πρόκειται για αριθμητικές τιμές ιδιαίτερα χαμηλές, συγκρινόμενες με τις τιμές άλλων, Ελληνικών και μη, δελταϊκών περιοχών (Στουρνάρας, 1985), καθώς και σε σχέση με τις τιμές που προκύπτουν από τη μορφομετρική ανάλυση του δέλτα του Μόρνου (Stoumgaras, 1990). Οι χαμηλές τιμές του συντελεστή β δείχνουν ότι πέρα από την ενέργεια του κυματισμού ως βασική διαδικασία κατανομής 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 οι σχηματισμοί του υποβάθρου, στα άκρα της δελταϊκής προεξοχής. Αυτή η ερμηνεία στηρίζεται αφενός στην ικανότητα του ποταμού να μεταφέρει μεγάλες ποσότητες υλικού, λόγω και της μεγάλης έκτασης της λεκάνης απορροής που αποτελείται σε μεγάλο μέρος από ευαποσάθρωτα υλικά, και αφετέρου στη βαθυμετρία της δελταϊκής προεξοχής, μια περιοχή με ήπιες μορφολογικές κλίσεις, με ευνοϊκή υποθαλάσσια βαθυμετρία για την ανάπτυξη της δελταϊκής προεξοχής. Σύμφωνα με τους Τζανετάτου κ.α. (2002) οι εκβολές του Αχελώου επηρεάζονται κυρίως από κύματα Δ και ΝΔ προέλευσης, όπου τα δεύτερα μάλιστα προσπίπτουν κάθετα στην ακτή στο μέσον της περιοχής βόρεια του στομίου. Τα κύματα αυτά αρχίζουν να θραύονται από ένα βάθος νερού περίπου 3.5 m και προκαλούν μια μέγιστη ανύψωση της στάθμης της θάλασσας στην ακτογραμμή κατά 0.61 m, με συνέπεια την κινητοποίηση μεγάλου όγκου ιζημάτων. Ακόμα, βόρεια του στομίου τα κύματα ΒΔ, Δ και ΝΔ προέλευσης δημιουργούν ρεύματα που αποκλίνουν με διεύθυνση Β-Ν κατά μήκος της ακτής. Στα ρεύματα αυτά και την επακόλουθη στερεομεταφορά, οφείλεται η παρατηρούμενη στροφή του ΒΔ τμήματος των εκβολών, ενώ επιβεβαιώνεται και η λογική τιμή του δείκτη κατανομής ιζημάτων ($\sim 0,283$ στα δυτικά).

Η ολική υποθαλάσσια υψομετρία (HI) εκφράζει τη γενική κλίση της υποθαλάσσιας κλιτύς, που συνδέεται με το καθεστώς ταξινόμησης των ιζημάτων κατά μήκος της ακτογραμμής. Με τη βοήθεια του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών, προσδιορίστηκαν τα εμβαδά για τις επιφάνειες που οριοθετούν οι ισοβαθείς $z = 8m$ και $Z = 12m$, ενώ η ολική τιμή του υποθαλάσσιου υψομετρικού ολοκληρώματος υπολογίστηκε ως $HI=0,4751$.

Ο συγκεκριμένος συντελεστής εκφράζει την κυρτότητα (> 0.50), αντιπροσωπεύοντας τις κλαστικές αφίξεις που ξεπερνούν τη δυνατότητα του κυματισμού να τις καταλείψει και, στην αντίθετη κατάσταση, εκφράζει την κοιλότητα (< 0.50). Στην περίπτωση της περιοχής των εκβολών του Αχελώου, η τιμή του HI δηλώνει οριακά κοίλη μορφολογία, που σημαίνει μικρότερη ποσότητα προσφερόμενων χερσαίων ιζημάτων από όση οι θαλάσσιες διεργασίες μπορούν να επεξεργαστούν και να ταξινομήσουν στην ακτογραμμή (ήδη αναλύθηκε η δράση στο δυτικό τμήμα και συμφωνεί με την τιμή του δείκτη). Ωστόσο, η τιμή είναι ιδιαίτερα οριακή και στο κεντρικό τμήμα εκατέρωθεν του στομίου παρατηρείται έντονη κυρτότητα. Ακόμα, δευτερογενές φαινόμενο είναι και η κοιλότητα στα ιζήματα της ακτογραμμής, κάτι που οφείλεται στους ίδιους λόγους για τους οποίους και ο δείκτης β παρουσιάζει μειωμένη τιμή, δηλαδή σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις εντός της λεκάνης απορροής (όπως φράγματα, υδροληψίες) ή ακόμα και σε θαλάσσια ρεύματα.

Η σχετική ευθυγραμμία της ακτογραμμής του δυτικού τμήματος σε σχέση με το ανατολικό, πιστοποιεί πως το συγκεκριμένο τμήμα αποτελεί το σχετικά πιο ενεργό. Βέβαια, η μορφή της ακτογραμμής για το συγκεκριμένο Δέλτα δεν μπορεί να είναι απόλυτα ενδεικτική για τη διαδικασία εξέλιξης και την ερμηνεία των μηχανισμών που δρουν, καθώς η παρουσία αλπικού υποβάθρου κοντά στην περιοχή των εκβολών «περιορίζει» σε κάποιο βαθμό τις δυνατότητες εξάπλωσης των δελταϊκών ιζημάτων στις διευθύνσεις που κανονικά ορίζει το νερό ή έστω, δευτερογενώς και τοπικά, είναι σαν να κατευθύνει τα ιζήματα που οδηγούνται προς αυτές τις εμφανίσεις σε απόθεση περιμετρικά αυτών.

Το διάγραμμα $V'_j - X'_j$ δείχνει μια παράλληλη και ανάλογη ανάπτυξη μεταξύ ανατολικού και δυτικού τμήματος. Αναλύοντας λεπτομερέστερα τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις τιμές του Πίνακα 2 παρατηρείται αφενός ταύτιση στην ανάπτυξη περιοχών με μεγαλύτερο υψόμετρο και όγκο ιζημάτων, αφετέρου απόκλιση στις ζώνες γύρω από την ακτογραμμή όπου το δυτικό τμήμα αντιστοιχεί με χαμηλότερες τιμές όγκου ιζημάτων, κάτι που συμφωνεί με την έντονη δράση κυματισμού.

Συγκρίνοντας γενικότερα τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης εφαρμογής στο δέλτα Αχελώου με αντίστοιχες μορφομετρικές αναλύσεις άλλων δελταϊκών περιοχών, ενδεικτικά αναφέρεται ότι στο δέλτα του Μόρνου (Stoumgaras, 1990), οι δείκτες προετοιμάζουν για μια κυρτή (convexe) υποθαλάσσια μορφολογία, με δευτερογενή διαμόρφωση λόγω θαλασσιών ρευμάτων και απότομης κλίσης του προδέλτα, σε αντίθεση με την περίπτωση του Αχελώου όπου η κοιλότητα είναι και προβλεπόμενη και πραγματική. Το ίδιο αποτέλεσμα προκύπτει και από τη μορφομετρική ανάλυση στο δέλτα του Νέστου που δίνει αποκλειστικά κυρτή μορφολογία. Παρά τις ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής, γίνεται για μια φορά ακόμα φανερό ότι τα δέλτα του τύπου Ροδανού, κατηγορία που

αντιπροσωπεύει τα Ελληνικά δέλτα, διατηρούν τους γενικούς κανόνες διαμόρφωσής τους, με δυνατότητα πρόβλεψης και της εσωτερικής λιθολογικής και κοκκομετρικής δομής, πράγμα που έχει να κάνει τόσο με τη διαμόρφωση του υδρογεωλογικού καθεστώτος της δελταϊκής προεξοχής, όσο και με τη συμπεριφορά των δελταϊκών ακτών στο πεδίο της Ακτομηχανικής (Stournaras, 1999).

Τέλος, όλες οι γεωμορφές που χαρακτηρίζουν την περιοχή (παλαιοκοίτες, αναβαθμίδες κλπ) επιβεβαιώνονται και ποσοτικά από τη μορφομετρική ανάλυση, η οποία καταλήγει σε κοινά συμπεράσματα με αυτά της βασικής, ποιοτικής γεωμορφολογίας.

5. Συμπεράσματα

Το ήπιο ανάγλυφο του παράκτιου και θαλάσσιου πυθμένα του δέλτα Αχελώου προσφέρει το ιδανικό καθεστώς για ιζηματοπόθεση και δόμηση της δελταϊκής προεξοχής. Η σημαντική στερεοπαροχή πιστοποιείται από τα υπαρκτά στοιχεία του ρυθμού εξέλιξης της παράκτιας ζώνης του δέλτα και των επιμέρους γεωμορφών, όπως ο βραχίονας, και άλλα χαρακτηριστικά της δελταϊκής προεξοχής (μαϊάνδροι, παλιές κοίτες), ενώ ο κυματισμός αποτελεί σημαντικό παράγοντα αρνητικής εξέλιξης του δέλτα που επηρεάζει την απόθεση των ιζημάτων και προκαλεί τη σχετική ασυμμετρία μεταξύ των δύο δελταϊκών τμημάτων.

Ο λόγος L/W ισούται με 0,716. Η σχετικά χαμηλή τιμή του λόγου σημαίνει κανονικότητα δημιουργίας των ακτών, η οποία αφορά την τελική διαμόρφωση της δελταϊκής προεξοχής.

Ο δείκτης κατανομής των ιζημάτων της δελταϊκής προεξοχής (β), για το δυτικό τμήμα υπολογίστηκε ίσος με 0,283 και για το ανατολικό τμήμα ίσος με 0,220. Η απόκλιση μεταξύ των δύο τιμών ερμηνεύεται από τη διαφορά στην εξέλιξη των δύο τμημάτων του δέλτα. Στην περίπτωση του Αχελώου, η μέση τιμή του δείκτη (~0.25) οδηγεί στο συμπέρασμα της ανεπάρκειας προσφερόμενου υλικού και με δεδομένη τη σταθερή ανταγωνιστική δράση του κυματισμού και των ρευμάτων, και με άλλα λόγια την είσοδο της εξέλιξης του Δέλτα σε φάση αποικοδόμησης.

Το διάγραμμα $V'_j - X'_j$ δείχνει μια αναλογική ανάπτυξη μεταξύ ανατολικού και δυτικού τμήματος. Λεπτομερέστερα, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις τιμές του Πίνακα 2 δηλώνουν αφενός ταύτιση στην ανάπτυξη περιοχών (στα ανατολικά και δυτικά) με μεγαλύτερο υψόμετρο και όγκο ιζημάτων, αφετέρου απόκλιση στις ζώνες γύρω από την ακτογραμμή όπου το δυτικό τμήμα αντιστοιχεί με χαμηλότερες τιμές όγκου ιζημάτων, κάτι που συμφωνεί με την έντονη δράση του κυματισμού.

Η ολική υποθαλάσσια υψομετρία (HI) εκφράζει τη γενική κλίση της υποθαλάσσιας κλιτύος, που συνδέεται με το καθεστώς ταξινόμησης των ιζημάτων κατά μήκος της ακτογραμμής. Η ολική τιμή του υποθαλάσσιου υψομετρικού ολοκληρώματος υπολογίστηκε ως $HI=0,4751$ (κυρτότητα > 0.50 / κοιλότητα < 0.50). Στην περίπτωση της περιοχής των εκβολών του Αχελώου, η τιμή του HI δηλώνει οριακά κοίλη μορφολογία, που σημαίνει μικρότερη ποσότητα προσφερόμενων χερσαίων ιζημάτων από όση οι θαλάσσιες διεργασίες μπορούν να επεξεργαστούν και να ταξινομήσουν στην ακτογραμμή. Ωστόσο, η τιμή είναι ιδιαίτερα οριακή και στο κεντρικό τμήμα εκατέρωθεν του στομίου παρατηρείται έντονη κυρτότητα, ενώ κοιλότητα παρατηρείται γενικά στα ιζήματα της ακτογραμμής, κάτι που συνδέεται με ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και παρουσία θαλάσσιων ρευμάτων.

Η μορφομετρική ανάλυση στο δέλτα Αχελώου επιβεβαιώνει ότι τα δέλτα τύπου Ροδανού (Rhône type deltas) διατηρούν τους γενικούς κανόνες σχηματισμού και διαμόρφωσής τους, και περιγράφουν στο σύνολο τα ελληνικά Δέλτα (Stournaras, 1999).

Βιβλιογραφία

- Gaki-Papanastasiou K., Maroukian H., Pavlopoulos, K., and Zamani A., 1997. The implications of the expected sea level rise on the low lying areas of continental Greece in the next century. Proc. International Symposium on Engineering Geology and the Environment, 121-126.
- Galloway W.E, 1975. Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems. Broussard ML (ed) Deltas. Houston Geol Soc Houston, 2n.
- Stournaras G., 1999. Assessment of morphometric parameters of Greek Rhône-type deltas. Hydrogeologic and environmental aspects. Environmental Geology, 38/1, 53-58.
- Trewartha G.T. and Horn L.H., 1980. An Introduction to Climate (fifth edition) McGraw-Hill, New York.

- Emberger L., 1955. Une classification bioclimatique des climats. Rec. Trav. Fac. Sc. Montpellier, série bot., 7, 3-45.
- Sauvage C., 1963. Etages bioclimatiques. Atlas du Maroc.
- Stournaras G., 1984. Evolution et comportement d'un système aquifère hétérogène. Géologie et hydrogéologie du delta du Nestos (Grèce) et des ses bordures. Thèse Spécialité Géologie Appliquée, Université Joseph Fourier (Grenoble 1).
- Stournaras G., 1990. Etude géomorphologique et morphométrique du delta du Mornos (Grèce centrale). Possibilités de prévision du régime hydrogéologique. Ann. Scient. Univ. Franche - Compté, fasc. 10. 4eme série, 59-67.
- Καρύμπαλης Ε., Τέγου Μ., και Τσαλκιτζής Ο., 2001. Διερεύνηση παραγόντων διαμόρφωσης των Δέλτα της Κεντρικής Ελλάδας, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, 34/1, 381-388.
- Στουρνάρας Γ., 1985. Πρόβλεψη υδροδυναμικού καθεστώτος υδροφορέων από τη γεωμορφολογική ανάλυση σε ιζηματογενείς λεκάνες με δεδομένους παράγοντες διαμόρφωσης. Το δέλτα του Νέστου. Β' Πανελλ. Συνεδρ. Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, Ξάνθη.
- Τζανετάτου, Β., Γκιώνης, Γ., Φερεντίνος, Γ., 2002. Μορφολογία και εξέλιξη της παράκτιας ζώνης του δέλτα του Αχελώου κατά το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα. 6^ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, 1, 363-370.
- ΥΠΕΧΩΔΕ, 2006. Σχέδιο διαχείρισης των λεκανών απορροής των ποταμών Αχελώου και Πηνειού Θεσσαλίας