

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΥΔΑΤΙΝΗ ΚΑΙ ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΙΤΑ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΖΩΝΗΣ

Σ. Πούλος*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι 17 μεγαλύτεροι ποταμοί που αποστραγγίζουν την Ελληνική ενδοχώρα μεταφέρουν προς την Ελληνική παράκτια ζώνη περισσότερους από $45.000 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ νερού και $100 \cdot 10^6 \text{ t}$ (τόνους) ιζήματος που παρασύρονται, είτε σε αιώρηση, είτε υπό διάλυση, είτε ως φορτίο πυθμένα. Όμως, τις τελευταίες δεκαετίες έχουν κατασκευαστεί (και συνεχίζουν να κατασκευάζονται) μια σειρά από υδροηλεκτρικά και αρδευτικά φράγματα κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου των σημαντικότερων ποταμών, που εκβάλλουν κατά μήκος της Ελληνικής ακτογραμμής. Η παρουσία των φραγμάτων έχει τροποποιησει ποσοτικά και ποιοτικά την φυσική ροή του νερού ενώ έχουν μειώσει δραστικά την στερεοπαροχή των ποταμών. Υπολογίζεται μάλιστα ότι στο τμήμα της λεκάνης απορροής, ανάντη των φραγμάτων, σε 9 Ελληνικά ποτάμια αντιπροσωπεύει από 30% μέχρι και το 98% της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής των, που σημαίνει ότι πίσω από αυτά δεσμεύονται περισσότερα από τα 2/3 της υδάτινης παροχής των και των φερτών υλικών τους.

Η παρέμβαση αυτή των φραγμάτων στην φυσική υδάτινη παροχή και στερεοπαροχή έχει μια σειρά από περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην παράκτια ζώνη και ιδιαίτερα στην παρακείμενη των εκβολών των ποταμών. Η παρακράτηση του μεγαλύτερου τμήματος των φερτών υλικών πίσω από τα φράγματα σε συνδυασμό με την έλλειψη των πλημμυρικών παροχών έχει ως αποτέλεσμα την καθίζηση των δελταϊκών πεδίων, την εξαφάνιση των υδροβιότοπων, την υποχώρηση της ακτογραμμής. Επιπλέον, η δέσμευση ή η ετεροχρονισμένη παροχή σε νερό επηρεάζει την στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, προκαλώντας συχνά διείσδυση του θαλασσινού νερού, αυξάνει την συγκέντρωση των ρυπαντών, μειώνει την προσφορά θρεπτικών στοιχείων που οδηγεί και σε μείωση του ιχθυολογικού δυναμικού στην ευρύτερη θαλάσσια περιοχή των εκβολών.

ABSTRACT

The 17 most important rivers that drain the Greek mainland transfer to the Greek coastal zone more than $45,000 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ of freshwater and $100 \cdot 10^6$ tonnes of sediment; the latter is transferred in suspension and/or in dilution and as bed-load. However, the last decades many dams (hydroelectric, or for irrigation) have been constructed along the route of 9 rivers that discharge along the Greek coastline. This activity results into both the drastic alteration (quantitatively and qualitatively) of their water discharge and the reduction of their sediment fluxes. It has been calculated that the part of the catchment area upstream of the lower dam (relatively to its mouth) in 9 Greek rivers represents an area from 30% up to 98% of its total area. Similarly, some 2/3 of the water/sediment fluxes of the dammed rivers is retained within the reservoirs.

The intervene of the dams in the natural water and sediment flow, causes a series of environmental problems to the coastal zone and, in particular, to that part located close to their river-mouths. The blockage of most of the sediment load behind the dams in combination with the lack of flood events, enhances the subsidence of the deltaic plains, the deterioration of the wetlands and, in general, the retreat of the coastline. In addition, the alteration of the natural water flow (in terms of quantity and time-wise) influences the level of the ground aquifers, causes the underground intrusion of seawater, increases the concentration of pollutants, decreases the amount of nutrients and, consequently, reduces the fish-production in the neighbouring coastal waters.

* Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη, Ζωγράφου 157 84, Αθήνα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες οι ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις του ανθρώπου για ηλεκτρική ενέργεια, για νερό, για οικιακή, βιομηχανική χρήση, αλλά κυρίως για άρδευση γεωργικών καλλιεργειών, έχουν οδηγήσει στην κατασκευή πολλών φραγμάτων κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου των ποταμών, τόσο της Ελλάδας, όσο και παγκόσμια. Σύμφωνα δε με την Διεθνή Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων (ICOLD), σήμερα στον κόσμο υπάρχουν περισσότερα από 35.000 φράγματα, ενώ ο ρυθμός κατασκευής τους το διάστημα 1951-1982 ανήρχετο περίπου σε 900 φράγματα τον χρόνο, από τα οποία περίπου το 1/3 αφορούν την Κίνα (Van der Laeden et al., 1990). Στην Ελλάδα από το 1931, οπότε κατασκευάστηκε το φράγμα του Μαραθώνα για την υδροδότηση της πόλης των Αθηνών, μέχρι σήμερα έχουν κατασκευαστεί ή βρίσκονται υπό κατασκευή περί τα 20 φράγματα (Χάρτης 1), τα περισσότερα για παραγωγή ενέργειας (Πίνακας 1). Ο αριθμός αυτός (2 φράγματα ανά 1 εκατομμύριο κατοίκους) δεν θεωρείται υψηλός για τα διεθνή δεδομένα όταν στην Ευρώπη αντιστοιχούν 10 φράγματα σε κάθε εκατομμύριο κατοίκων. Στην βόρεια Αμερική συναντάμε την μέγιστη αναλογία (22,5 φρ./εκατ. κατ.), ενώ την μικρότερη στην Αφρική (1,4 φρ./εκατ. κατ.).

Όμως η παρουσία των φραγμάτων εκτός από τις θετικές οικονομικές τους συνέπειες έχουν και μια σειρά από περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που είναι ιδιαίτερα σημαντικές, αν όχι μερικές φορές και καθοριστικές στην φυσική εξέλιξη της ευρύτερης παρακτιας ζώνης, όπου φιλοξενούνται οι εκβολές των ποταμών. Έτσι η ποσοτική και ποιοτική αλλαγή στην παροχή γλυκού νερού και ιζημάτων επιφέρει γενικότερες περιβαλλοντικές αλλαγές, τόσο στο χερσαίο (π.χ. δελταϊκό πεδίο), όσο και στο θαλάσσιο τμήμα (παράκτια νερά και ιζήματα, βένθος) της παράκτιας ζώνης, που συχνά σχετίζονται και με σοβαρές κοινωνικό-οικονομικές συνέπειες. Για παράδειγμα, μετά την κατασκευή του φράγματος του Aswan στον Νείλο Ποταμό το 1964, λόγω της μείωσης της απορροής γλυκού νερού άρα και θρεπτικών στοιχείων, η αλιεία της σαρδέλας στην θαλάσσια περιοχή των εκβολών του μειώθηκε δραματικά κατά 95% (Smith and Abdel-Kadar, 1988). Παρόμοιο φαινόμενο παρατηρήθηκε και στον Ινδό Ποταμό, όπου η αλιευτική δραστηριότητα μειώθηκε στο 1/3 μετά από την κατασκευή του φράγματος του Korti το 1956 (Milliman et al., 1984).

Η κατασκευή όμως και η λειτουργία των φραγμάτων έχει μεγαλύτερη επίπτωση στην τροφοδοσία της παράκτιας ζώνης με φερτά υλικά καθώς δεσμεύουν το μεγαλύτερο μέρος της στερεοπαροχής των ποταμών. Έτσι, σήμερα ο Νείλος και ο Κολοράδο δεν προσφέρουν σχεδόν καθόλου ίζημα στην παράκτια ζώνη τους, ο Ινδός μόνο το 1/5 από τους 250 10⁶ τόνους ετησίως και ο Ροδανός μόλις το 5^ο των ιζημάτων πριν φραχθεί (Milliman και Syvitski 1992). Η έλλειψη αυτή των φερτών υλικών έχει ως επακόλουθο την μη αναπλήρωση με φερτά υλικά της φυσικής καθίζησης, λόγω συμπύκνωσης των ιζημάτων, του δελταϊκού πεδίου που σε συνδυασμό με τις επικρατούσες θαλάσσιες διεργασίες να προκαλεί διάβρωση των δελταϊκών ακτών τους. Τέτοια παραδείγματα παράκτιας διάβρωσης έχουν μελετηθεί διεξοδικά στο δέλτα του Νείλου (Fanos, 1995), του Έβρου (Ισπανίας) (Guillen et al., 1992) και του Νίγηρα (Milliman and Syvitski, 1992) μετά την κατασκευή των φραγμάτων του Aswan (1964), του Flix (1948) και του Korti (1956), αντιστοίχως.

ΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΚΑΙ ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ

1. Υδάτινο (επιφανειακό) δυναμικό

Κατά μήκος της Ελληνικής ακτογραμμής εκβάλλουν 17 μεγάλοι και 8 μικρότεροι ποταμοί ενώ σε αυτούς πρέπει να προστεθούν και δεκάδες μικροί χείμαρροι που αποστραγγίζουν μικρότερες παράκτιες λεκάνες. Οι μέσες ετήσιες υδάτινες παροχές των μεγαλύτερων ποταμών κυμαίνεται μεταξύ 7 m³/s το 188 m³/s ενώ για τους μικρότερους είναι γενικά από 1 m³/s μέχρι και 7 m³/s (Θεριανός, 1974). Οι προαναφερόμενες τιμές παροχής σε νερό συνθέτουν μια συνολική ετήσια απορροή που ξεπερνά τα 35.000 10⁶ m³. Στον Πίνακα 2 δίνονται οι τιμές του υδάτινου δυναμικού των 17 μεγαλύτερων ποταμών σε κυβικά μέτρα ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο της λεκάνης απορροής των, οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 118 10³ m³/km² (Έβρος) και 1454 10³ m³/km² (Αχελώος). Η δε μέση τιμή που είναι ίση με 725 10³ m³/km², είναι συγκρίσιμη με εκείνες που αναφέρονται σε πολύ μεγαλύτερα ποτάμια της Μεσογείου (Poulos et al., 1996) όπως του Νείλου (29,75 10³ m³/km²), του Έβρου Ισπανίας (198,5 10³ m³/km²) και του Ιταλικού Πάδου (651 10³ m³/km²).

Οι απορροές γλυκού νερού των ελληνικών ποταμών παρουσιάζουν μια εποχιακή διακύμανση παρουσιάζοντας τις υψηλότερες τιμές τους από τα τέλη του φθινοπώρου μέχρι την αρχή της άνοιξης ενώ οι χαμηλότερες τιμές τους συμπίπτουν με το τέλος της καλοκαιρινής περιόδου. Μάλιστα τα ποτάμια της δυτικής Ελλάδας ανταποκρινόμενα στα μεγαλύτερα ύψη βροχής που δέχονται οι λεκάνες απορροής τους παρουσιάζουν τις μέγιστες απορροές τους τον Δεκέμβριο, τα ποτάμια της κεντρικής Ελλάδας (Πηνειός, Σπερχειός) τον Ιανουάριο, ενώ τέλος τα ποτάμια της βορείου Ελλάδος (όπως ο Αξιός, Αλιάκμονας, Νέστος) στα μέσα της άνοιξης, λόγω και του λιώσιμου του χιονιού στα μεγάλα υψόμετρα των λεκανών απορροής τους.

Εκτός από τις προαναφερόμενες εποχιακές διακυμάνσεις στην παροχή των ποταμών, πλημμυρικά φαινόμενα που διαρκούν λίγες ημέρες και συμβαίνουν μια με δύο φορές ανά δεκαετία είναι εξίσου σπουδαία στην διαμόρφωση του υδρογραφικού τους δικτύου αλλά και των εκβολών τους καθώς συχνά συνδέονται με εκτροπή της θέσης των ενεργών κυτών τους στο δέλτα τους. Έτσι, τους μήνες από Νοέμβριο μέχρι και Φεβρουάριο, ο Αξιός ποταμός λόγω αυξημένων βροχοπτώσεων και απότομου λιωσίματος των χιονιών παρουσίασε παροχές από 1000 m³/s (1979) μέχρι και 3480 m³/s (1935) (Κωνσταντινίδης, 1989), όταν οι αντίστοιχες μέσες μηνιαίες τιμές του ήταν 115 m³/s (Νοέμβριος) και 200 m³/s (Φεβρουάριος) (Θεριανός, 1974). Παρομοίως και οι ποταμοί Αλιάκμονας και ο Σπερχειός έχει δώσει κατά καιρούς πλημμυρικές παροχές της τάξης των 3280 m³/s (12/1935) (Κωνσταντινίδης, 1989) και 800 m³/s (6/1939) (Zamani and Maroukian, 1979) όταν οι αντίστοιχες μέσες μηνιαίες τιμές τους είναι για μεν τον Αλιάκμονα 113 m³/s, για δε τον Σπερχειό 34,5 m³/s.

2. Ιζηματολογικό δυναμικό

Η παροχή σε ιζημα των Ελληνικών ποταμών παίζει έναν ουσιαστικό ρόλο στην δημιουργία και εξέλιξη της ελληνικής παράκτιας ζώνης και ειδικότερα των δελταϊκών και των παρακείμενων σε αυτές ακτών. Μετρήσεις που έχουν γίνει σε διάφορα ελληνικά ποτάμια έχουν δείξει ότι η μέση ετήσια παροχή σε ιζημα (υπό αιώρηση) ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο (ιζηματολογικό δυναμικό) κυμαίνεται μεταξύ 65 t/km² και 3950 t/km² (Poulos and Chronis, 1997), όταν μερικοί από τους μεγαλύτερους ποταμούς του κόσμου όπως ο Νείλος, ο Αμαζόνιος και ο Μισισσιπής έχουν αντίστοιχες τιμές που κυμαίνονται από 31 t/km²/yr μέχρι και 1080 t/km²/yr (Milliman and Syvitski, 1992). Αυτή δε, η αυξημένη στερεοπαροχή τους ευνοείται από τους υψηλούς ρυθμούς αποσάθρωσης που οφείλονται στις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες (εύκρατες, υγρές ηπειρωτικές) σε συνδυασμό με την σχετικά εύκολη στην διάβρωση λιθολογία, το απότομο ανάγλυφο, και την ιδιαίτερα αραιή φυτοκάλυψη (Poulos et al., 1996). Μάλιστα, τα ελληνικά ποτάμια όπως και τα υπόλοιπα ποτάμια που αποστραγγίζουν την ορεινή Αλπική ζώνη έχουν την δυνατότητα να προσφέρουν μεγαλύτερα ποσά ιζημάτων στην παράκτια ζώνη τους, λόγω της γειτονίας των λεκανών απορροής τους σε σχέση με την ακτογραμμή και την ορμητικότητα των παροχών τους εξ' αιτίας των μεγάλων κλίσεων των πρηνών του υδρογραφικού τους δικτύου, όπως εύστοχα παρατήρησαν οι Milliman και Syvitski (1992) μελετώντας τις στερεοπαροχές ορεινών όγκων σε παγκόσμια κλίμακα.

Ο μέσος όρος του ετήσιου ιζηματολογικού δυναμικού των 17 κυριότερων ελληνικών ποταμών ξεπερνά τους 1100 τόνους ανά km² (ή 110 10⁶ t/yr), από τα οποία περίπου τα 2/3 μεταφέρονται σε αιώρηση, ενώ το υπόλοιπο 1/3 μεταφέρεται υπό διάλυση και με κύλιση κοντά στον πυθμένα. Συγκριτικά αναφέρεται, ότι οι Milliman και Syvitski (1992), υπολόγισαν, ότι τα διάφορα ποτάμια που αποστραγγίζουν την νότια Αλπική Ευρώπη, μεταφέρουν σε αιώρηση περί τους 350 10⁶ τόνους ιζήματος ετησίως, χωρίς να έχουν συνυπολογίσει την στερεοπαροχή των Ελληνικών ποταμών που ξεπερνά τους 110 10⁶ τόνους. Στο ποσό αυτό θα πρέπει να προστεθούν και τα ποσά που μεταφέρονται από τα μικρότερα ποτάμια (όπως αυτά της βορείου Πελοποννήσου) και των αναρίθμητων μικρών και μεγάλων χειμάρρων που εκβάλλουν κατά μήκος της ακτογραμμής της ηπειρωτικής Ελλάδας αλλά και των νησιών. Έτσι λοιπόν, τα ελληνικά ποτάμια και οι χειμάρροι μεταφέρουν προς την παράκτια ζώνη έναν τεράστιο όγκο ιζημάτων τα οποία παίζουν καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση της ακτογραμμής. Όμως ο ρόλος τους δεν περιορίζεται μόνο στην εγγύς της ακτής παράκτιας ζώνης, αλλά εκτείνεται και στον ευρύτερο χώρο του ηπειρωτικού περιθωρίου συμβάλλοντας στην σύγχρονη ιζηματογένεση της ηπειρωτικής υφαλοκρηπίδας, όπως στην περίπτωση του Θερμαϊκού Κόλπου (Lykousis and Chronis, 1989), είτε σχηματίζοντας εκτεταμένους υποθαλάσσιους κώνους (fan aprons), όπως στην περίπτωση του απότομου νότιου περιθωρίου του Κορινθιακού Κόλπου (Ferentinos et al., 1988).

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

1. Τροφοδοσία (γλυκό νερό, φερτά υλικά) της παράκτιας ζώνης

Όπως είναι φυσικό είναι άμεση η επίπτωση της ύπαρξης και λειτουργίας των φραγμάτων στην φυσική ροή, τόσο του νερού, όσο και στην μεταφορά των φερτών υλικών τους. Μάλιστα ενώ για την υδάτινη παροχή αναμένεται το μεγαλύτερο μέρος της, έστω και ετεροχρονισμένα (με βάση την λειτουργία του φράγματος) θα φθάσει στις εκβολές των ποταμών, για δε τα ιζήματα δεν συμβαίνει το ίδιο, καθώς όλο το φορτίο που μεταφέρεται με κύλιση και το συντριπτικό ποσοστό του υλικού που μεταφέρεται σε αιώρηση θα συσσωρευτεί στον ταμιευτήρα του φράγματος. Δυστυχώς μετρήσεις υδάτινης και στερεής παροχής δεν υπάρχουν μετά την λειτουργία των Ελληνικών φραγμάτων. Έτσι με βάση το ποσοστό του εμβαδόν της λεκάνης απορροής που βρίσκεται ανάντη του φράγματος σε σχέση με την συνολική έκταση της λεκάνης απορροής και χρησιμοποιώντας τις τιμές του υδάτινου (m^3/km^2) και ιζηματολογικού (t/km^2) δυναμικού του Πίνακα 2 μπορούμε να κάνουμε έναν πρώτο υπολογισμό για το ποσόν του νερού και ιζήματος που δεσμεύεται, είτε προσωρινά (κυρίως το νερό), είτε μόνιμα (όπως τα ιζήματα) ανάντη κάθε φράγματος, αλλά και συνολικά.

Με βάση τους υπολογισμούς του Πίνακα 2, η μικρότερη ποσοστιαία αλλαγή στην υδάτινη και ιζηματολογική παροχή λόγω της παρουσίας των φραγμάτων συμβαίνει στην περίπτωση του ποταμού Εύηνου (35%) και η μεγαλύτερη στον ποταμό Αλφειό (98%), με βάση την απόσταση του φράγματος από τις εκβολές. Γενικά για τα Ελληνικά ποτάμια προκύπτει ότι περί το 70% της αποστραγγιζόμενης επιφάνειάς τους βρίσκεται ανάντη των φραγμάτων. Τούτο σημαίνει ότι ένας συνολικός όγκος νερού $18 \cdot 10^9 m^3$ θα φθάσει μειωμένος και ετεροχρονισμένα στην παράκτια ζώνη, ενώ το μεγαλύτερο μέρος από τους $23 \cdot 10^6 t$ (τόνους) των μεταφερτών ιζημάτων δεν θα φθάσει ποτέ σε αυτήν.

Στους προαναφερόμενους ποταμούς πρέπει να συμπεριληφθεί και ο Αξιός ποταμός, του οποίου η φυσική του ροή παρεμποδίζεται ή άλλως μεταβάλλεται από την παρουσία 12 μικρότερων αρδευτικών φραγμάτων, που είναι εγκαταστημένα σε διάφορα σημεία του υδρογραφικού του δικτύου, έξω από τα Ελληνικά σύνορα. Έτσι στην περίπτωση του Αξιού ενώ η υδάτινη απορροή του, ως όγκος δεν έχει μειωθεί ουσιαστικά, όπως δείχνουν πρόσφατες παρατηρήσεις (Skoulikides, 1993), η στερεοπαροχή του θα πρέπει να έχει παρουσιάσει μια σημαντική μείωση ιδίως στην μεταφορά του φορτίου πυθμένα, αλλά και λόγω του καλύτερου ελέγχου των πλημμυρικών φαινομένων.

2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην ευρύτερη παράκτια ζώνη από την παρουσία των φραγμάτων είναι ποικίλες και σχετίζονται, τόσο με τον όγκο του νερού, όσο και με την ποσότητα των μεταφερόμενων ιζημάτων. Η μείωση της παροχής νερού ή ακόμη και η ετεροχρονισμένη και ομαλοποιημένη ροή του (απουσία πλημμύρων) έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την δραστική μείωση της μεταφορικής του ικανότητας σε ιζήμα, αλλά και άλλων θρεπτικών στοιχείων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα πεδινά τμήματα της παράκτιας ζώνης και πρωτίτως οι καλλιεργούμενες δελταϊκές εκτάσεις αφενός να στερούνται θρεπτικών στοιχείων (π.χ. νιτρικά, φωσφορικά άλατα) και αφετέρου τα νερά που τελικά φθάνουν στην θάλασσα να παρουσιάζουν μεγάλες συγκεντρώσεις χημικών στοιχείων που προέρχονται από την χρήση φυτοφαρμάκων στις αγροτικές καλλιέργειες αλλά και στην απόρριψη ακατέργαστων οικιακών και βιομηχανικών αποβλήτων.

Στην περίπτωση λοιπόν του Θερμαϊκού Κόλπου από μετρήσεις (Baloroulos and Friligos, 1993) που έχουν γίνει για τα επίπεδα των θρεπτικών στοιχείων (PO_4 , SiO_4 , NH_4 , NO_3) κοντά στις εκβολές του Αξιού, οι τιμές των θρεπτικών αλάτων βρέθηκαν συγκριτικά μεγαλύτερες από αυτές στην περιοχή των εκβολών του Αλιάκμονα. Η διαφορά αυτή αποδίδεται στην ύπαρξη των 4 φραγμάτων του Αλιάκμονα, ενώ ο Αξιός διατηρεί μια συνεχόμενη ροή, καθώς η ροή του δεν διακόπτεται πίσω από τα μικρότερα αρδευτικά φράγματα, ενώ λαμβάνει εκτός από τα υπολείμματα των γεωργικών καλλιεργειών και τα οικιακά απόβλητα της πόλης της Θεσσαλονίκης (περίπου $150.000 m^3$ ημερησίως). Μάλιστα η μη ουσιαστική μείωση (ή ακόμη και έλλειψη) θρεπτικών στοιχείων από την ευρύτερη περιοχή των εκβολών του Αλιάκμονα αποδίδεται στην μικρή σχετικά απόσταση που απέχουν οι εκβολές των ποταμών αυτών αλλά και στην θαλάσσια κυκλοφορία που έχει φορά από βόρεια (εκβολές Αξιού) προς ανατολικά-νοτιοανατολικά (εκβολές Αλιάκμονα). Ανάλογες επιπτώσεις

στην προσφορά θρεπτικών στοιχείων, αλλά και στην κατανομή του λεπτόκοκκου υλικού και των συσχετιζόμενων μεταλλικών στοιχείων (δείκτες ρύπανσης) έχουν μελετηθεί στην περιοχή των εκβολών του Αχελώου ποταμού και ιδιαίτερα στην περιοχή ανάμειξης των γλυκών νερών με το θαλάσσιο από τους Dassenakis et al. (1997), ως αποτέλεσμα της δραστηκής μείωσης της υδάτινης παροχής του ποταμού (από 140 m³/s σε τιμές 10-40 m³/s) μετά την κατασκευή των φραγμάτων.

Ποιο σημαντική βέβαια είναι η επίπτωση των φραγμάτων στην μεταφορά των ιζημάτων και τελικά στην τροφοδοσία της παράκτιας ζώνης με ιζήματα. Όπως είναι προφανές οι παράκτιες περιοχές που πλήττονται περισσότερο είναι οι δελταϊκές ακτές. Η λειτουργία των φραγμάτων, είτε είναι υδροηλεκτρικά, είτε είναι αρδευτικά, έχει πολλαπλό ρόλο στην στερεομεταφορά που λαμβάνει χώρα στην λεκάνη απορροής κατάντη της θέσης των, καθώς: (α) συγκρατεί το σύνολο των ιζημάτων που μεταφέρονται ως φορτίο πυθμένα, (β) μειώνει την συγκέντρωση του αιωρούμενου υλικού, καθώς μειώνεται αν δεν σταματά τελείως (έστω και προσωρινά), η ροή του νερού, λόγω του φράγματος, (γ) μειώνει την διαβρωτική ικανότητα του ποταμού στα κατάντη του φράγματος και λόγω της μειωμένης ποσότητας αιωρούμενου υλικού (μείωση τριβών), αλλά και λόγω της αποφυγής μεγάλων πλημμυρών, που συνήθως μεταφέρουν τον κύριο όγκο των ιζημάτων προς την θάλασσα. Αυτό έχει ως φυσικό επακόλουθο την επικράτηση των θαλάσσιων διεργασιών (παράκτια κύματα, ρεύματα) στις χερσαίες διεργασίες (προσφορά ιζήματος-απόθεση) με αποτέλεσμα την διάβρωση της παράκτιας ζώνης, την εξαφάνιση (επικάλυψη από την θάλασσα) των υπαρχουσών λιμνοθαλασσών και γενικά την οπισθοχώρηση της ακτογραμμής.

Ένα από τα πλέον χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι αυτό που αναφέρεται στην παράκτια ζώνη των εκβολών του Αλιάκμονα, ο οποίος ενώ είχε ένα φυσικό ρυθμό προέλασης του δέλτα του 1,1 km²/yr την περίοδο (1850-1956), την περίοδο που ακολουθεί μέχρι το 1987 και μετά την λειτουργία των φραγμάτων (Πολύφυτο το 1974, Ιλαρίωνα το 1985 και Σφηκιάς το 1985) ο ρυθμός προέλασης μειώθηκε σε 0,6 km²/yr (Ρουλος et al., 1994). Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι η μείωση θα ήταν ακόμη μεγαλύτερη, αν το φράγμα του Πολυφύτου υπήρχε καθόλη την περίοδο των 31 ετών (1957-1987) και όχι μόνο τα τελευταία 11 χρόνια. Έτσι σήμερα η προέλαση του δέλτα αναμένεται να είναι πάρα πολύ μικρότερη, ενώ η αποφυγή σημαντικών μεταβολών της ακτογραμμής του αποδίδεται στην ανάπτυξη του σε έναν προστατευμένο γενικά κόλπο από την ισχυρή δράση των κυμάτων και των σχετιζόμενων με αυτά παράκτια ρεύματα. Αντιθέτως, από παρατηρήσεις αεροφωτογραφιών, πριν (1945) και μετά (1972) της κατασκευής του φράγματος του Λάδωνα το 1955, προέκυψε ότι η περιοχή των εκβολών του Αλφειού υπόκειται σε διάβρωση, λόγω της έκθεσης των στην ισχυρή κυματική ενέργεια του ανοικτού Ιονίου Πελάγους (Φερεντίνος κ.ά., 1987). Αναμένεται, λοιπόν, και στα υπόλοιπα Ελληνικά ποτάμια, όπου έχουν κατασκευαστεί ή βρίσκονται υπό κατασκευή φράγματα, θα προκύψουν ανάλογα φαινόμενα διάβρωσης της ακτογραμμής τους, η ένταση των οποίων θα εξαρτάται τόσο από το ποσοστό μείωσης των μεταφερόμενων ιζημάτων, όσο και από την ένταση των θαλάσσιων διεργασιών.

Τέλος η μείωση της υδάτινης και στερεής παροχής των ποταμών βάζει σε κίνδυνο και ορισμένα ευαίσθητα οικοσυστήματα, όπως είναι οι παράκτιοι υγροβιότοποι, των οποίων συχνά η πανίδα και η χλωρίδα έχουν αναγνωριστεί ως έχοντες παγκόσμια σημασία για την φυσική ισορροπία του ευρύτερου γήινου οικοσυστήματος. Μάλιστα όσον αφορά την Ελλάδα, η Συνθήκη του Ramsar (1971) προστατεύοντας τα υδρόβια πτηνά (waterfowl habitat) της Ελλάδος έχει χαρακτηρίσει τμήματα της παράκτιας ζώνης ως περιοχές διεθνούς σημασίας που είναι ο όρμος της Άρτας (εκβολές Άραχθου), τα Δέλτα των ποταμών Έβρου, Αξιού, Αλιάκμονα, Λουδία, η λιμνοθάλασσα του Γκουμπουρνού (παλαιο-εκβολές του Νέστου) και τον παράκτιο χώρο του Μεσολογγίου (εκβολές Αχελώου). Όπως είναι προφανές, όλες οι παράκτιες περιοχές που περιλαμβάνονται στην συνθήκη του Ramsar ανήκουν σε ποτάμια δέλτα, που σημαίνει ότι κάθε δραστηκή μεταβολή στην παροχή ιζήματος και νερού θα έχει καταστροφικές συνέπειες στο οικοσύστημά τους. Ιδιαίτερη λοιπόν προσοχή χρειάζεται και κατά την εκτροπή του Αχελώου ποταμού, όπου μια περαιτέρω ουσιαστική μείωση της απορροής γλυκού νερού σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση της στερεοπαροχής (ήδη υπάρχουν 5 φράγματα) βάζει σε κίνδυνο την διατήρηση του υδροβιότοπου της λιμνοθάλασσας του Μεσολογγίου της οποίας οι υδρολογικές συνθήκες απειλούνται με την επικράτηση των αμιγώς θαλασσιών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρουσία των φραγμάτων κατά μήκος του ρου των περισσότερων Ελληνικών ποταμών έχει ως άμεσο αποτέλεσμα η παράκτια ζώνη και ιδιαίτερα οι δελταϊκές και οι γειτονικές των να δέχονται αφενός διαφοροποιημένες (ποσοτικά και χρονικά) εισροές γλυκού νερού και αφετέρου μειωμένες δραστικά ποσότητες ιζημάτων. Τούτο προκαλεί μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα, που σχετίζονται τόσο με την χωρική της, όσο και με την ποιοτική της υπόσταση. Στην πρώτη περίπτωση παρατηρείται παύση της προέλασης των δέλτα ή ακόμη και οπισθοχώρηση της ακτογραμμής, λόγω παράκτιας διάβρωσης, εκεί όπου έχουμε έντονες θαλάσσιες διεργασίες, ενώ στην δεύτερη έχουμε φαινόμενα ολιγοτροφισμού, χημική ρύπανση, ταπείνωση και υφαλμύρωση υπόγειου παράκτιου υδροφόρου ορίζοντα, αλλά και σημαντικές επιπτώσεις στην υφιστάμενη πανίδα και χλωρίδα του χερσαίου και θαλάσσιου οικοσυστήματος.

Για όλους τούς προαναφερόμενους λόγους, η απόφαση κατασκευής, η επιλογή της θέσης σε σχέση με την απόσταση από τις εκβολές αλλά και η λειτουργία των φραγμάτων θα πρέπει να εντάσσεται σε μια γενικότερη περιβαλλοντική αντίληψη, η οποία να συνυπολογίζει την φυσική λειτουργία τόσο του ποταμού όσο και της παράκτιας ζώνης, που είναι και ο τελικός αποδέκτης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά την σχεδιάστρια Kate Davis για την καλλιτεχνική παρουσίαση των σχημάτων και τον Ευστάθιο Πούλο για την φιλολογική συμβολή του στην τελική παρουσίαση του κειμένου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Balopoulos, E.Th. and Friligos, N.Ch., 1993. Water circulation and eutrophication in the northwestern Aegean Sea: Thermaikos Gulf. *J. Envir. Sci. Health*, A28(6): 1311-1329.
- CIGB/ICOLD, 1988. World Register of Dams.- Internacional Commission on Large Dams, Paris, 366 pp.
- Guillen J., Diaz J.I. and Palanques A., 1992. Quantification and evolution of the Ebro River bedload sediment supplies during the XX century. *Rev. soc. Geol. Espana*, 5: 27-37 (Ισπανικά)
- Dassenakis M., Scoulios M. and Gaitis A., 1997. Trace metals transport and Behaviour in the Mediterranean Estuary of Acheloos River. *Marine pollution Bulletin*, 34(2): 103-111.
- Zamani A., Maroukian H., 1979. A morphological study of an old delta of the Sperchios River. *Proc. 6th Colloquium on Geol. of Aegean Region*, Athens, 1: 417-423.
- Θεριανός, Α.Δ. (1974): Η γεωγραφική κατανομή της παροχής νερού των Ελληνικών ποταμών Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, ΧΑ:28-58
- Κωνσταντινίδης Κ.Α., 1989. Τα εγγειοβελτιωτικά έργα στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης. Έκδοση Γεωτεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Θεσσαλονίκη 1989, 217 σελ.
- Λιάκουρης, Δ. (1995): Η Γεωλογία και τα Φράγματα της Δ.Ε.Η. Δημοσία Επιχείρηση Ηλεκτρισμού. Δ/ση Εκπαίδευσης, 349 σελ.
- Lykousis, V. and Chronis, G., 1989. Mechanisms of sediment transport and deposition: sediment sequences and accumulation during the Holocene on the Thermaikos Plateau, the continental slope, and basin (Sporades Basin), northwestern Aegean Sea, Greece. *Mar. Geol.*, 87, 15-26
- Milliman, J.D and Syvitski P.M., 1992. Geomorphic/Tectonic Control of sediment Discharge to the Ocean: The Importance of Small Mountainous Rivers. *J. Geol.*, 100: 525-544.
- Milliman J.D., Quaraishee G.S. and Beg, M.A.A., 1984. Sediment discharge from the Indus River to the Ocean: Past, present and future. (In:) B.U. Haq and J.D. Milliman (eds) *Marine Geology and Oceanography of the Arabian Sea and Coastal Pakistan*, van Nostrand Reinhold, New York, p.p. 65-70.
- Poulos, S. and Chronis, G., 1997. The Importance of the Greek River Systems in the Evolution of the Greek coastline". (In:) , F. Briandand A. Maïdoľado (Editors), *Transformations and Evolution of*

- the Mediterranean coastline. Bulletin de l' Institut Oceanographique, no special 18. CIESM Science Series no 3, pp. 75-96.
- Poulos, S.E., Collins, M. and Evans, G., 1996. Water-sediment fluxes of Greek rivers, southeastern Alpine Europe: annual yields, seasonal variability, delta formation and human impact. *Z. Geomorph.*, 40(2):243-261
- Poulos, S.E., Papadopoulos, A. and Collins, M.B., 1994. Deltaic progradation in Thermaikos Bay, northern Greece and its socio- economical implications.- *J. Ocean & Shoreline Management*, 22: 229-247.
- Skoulikidis, N., 1993. Significance evaluation of factors controlling river water composition. *Environmental Geology*, 22: 178-185.
- Smith S.E., Abdel-Kadar A., 1988. Coastal erosion along the Egyptian Delta. *J. Coastal Res.*, 4: 245-255
- Fanos M.A., 1995. The Impact of Human Activities on the Erosion and Accretion of the Nile Delta Coast. *Journal of Coastal Research*, 11(3): 821-833
- Ferentinos G., Papatheodorou G. and Collins M.B., 1988. Sediment transport processes on an active submarine fault escarpment: Gulf of Corinth, Greece. *Mar. Geol.*, 83: 43-61.
- Φερεντίνος Γ., Κοντόπουλος Ν., Σαμπώ Β. και Βούλγαρης Γ., 1987. Κυματικές συνθήκες και μεταφορά κατά μήκος της ακτογραμμής του Κυπαρισσιακού Κόλπου. Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου της Ε.Υ.Ε., Θεσσαλονίκη 7-9/10/87, τόμος 3, 9σελ.
- Van der Laeden, F., Troise F.L., and Todd, D.K., 1990. *The water Encyclopaedia*, Lewis Publishers. Chelsea, Michigan, 808p.
- UNESCO, 1985. Recent developments in Erosion and Sediment Yield Studies. Unesco Technical Documents in Hydrology, Paris.

Πίν. 1. Μέσες ετήσιες τιμές του δυναμικού σε νερό και ίζημα των κυριοτέρων Ελληνικών ποταμών

ΠΟΤΑΜΟΣ	Ε (km ²)	Υ (10 ³ m ³ /km ²)	ΙΖ-Α ^(β) (t/km ²)	ΙΖ-Δ (t/km ²)	ΙΖ-Κ (t/km ²)	ΙΖ-Σ (t/km ²)
1 Αλιάκμων	9.455	377	460,1	128,1	51,1	639,3
2 Αλφειός	3.610	622	764,7	220,0	85,0	1069,7
3 Αξιός	23.747	224	1220,5	69,5	135,6	1425,6
4 Άραχθος	1.895	1.187	3940,7	401,1	437,9	4779,7
5 Αχελώος	5.350	1454	614,4	279,8	68,3	962,5
6 Αώος ^(α)	2046	1284	812,3	289,7	90,3	1192,3
7 Γαλλικός	930	853	4,9	508	0,5	513,4
8 Έβρος	27.465	118	309,9	52,1	34,4	396,4
9 Εύηνος	1070	1375	346,5	131,1	38,5	516,1
10 Καλαμάς	1826	1093	1296,4	371,7	144,0	1812,1
11 Λούρος	785	175	233,2	221,3	25,9	480,4
12 Μόρνος	1010	1118	12,7	379,6	1,4	393,7
13 Νέστος	6.178	569	160	127,6	17,8	305,4
14 Πηνειός (Θ)	10.750	357	621,4	152,6	69,0	843,0
15 Πηνειός (Π)	913	560	43,8	199,6	4,9	248,2
16 Σπερχειός	1780	642	1795	342,8	199,4	2337,2
17 Στρυμών	16.550	315	932,6	90,3	103,6	1126,5
Μέσος όρος		724,9	798,2	233,2	88,7	1120,1

Ε: Το εμβαδόν της λεκάνης απορροής του ποταμού.

Υ: Το μέσο ετήσιο υδάτινο δυναμικό από μετρήσεις παροχών νερού του Θεριανού (1974).

ΙΖ-Α: Το μέσο ετήσιο δυναμικό του αιωρούμενου υλικού. Με έντονους χαρακτήρες δίνονται πραγματικές μετρήσεις ενώ οι υπόλοιπες τιμές βασίζονται στην εξίσωση $Y=0,0007 X^{2,77}$ (Roulos and Chronis, 1997), όπου Υ είναι η μέση ετήσια παροχή αιωρούμενου υλικού σε 10³ t/s και Χ η παροχή νερού σε m³/s.

ΙΖ-Δ: Το μέσο ετήσιο δυναμικό του διαλελυμένου υλικού. Με έντονους χαρακτήρες δίνονται πραγματικές μετρήσεις από τον Skoulikidis (1996), ενώ οι υπόλοιπες τιμές βασίζονται στην εξίσωση $Y=0,0009 X^{0,93}$ ($r^2=0,82$), όπου Χ είναι το μέσο ετήσιο υδάτινο δυναμικό m³/km² που αντιστοιχεί στο δυναμικό του διαλελυμένου υλικού t/km².

ΙΖ-Κ: Το μέσο ετήσιο δυναμικό του κυλιόμενου στον πυθμένα υλικού που θεωρείται ότι ισούται με το 10% του συνολικού ποσού των μεταφερομένων ιζημάτων σε στερεή μορφή (UNESCO, 1985).

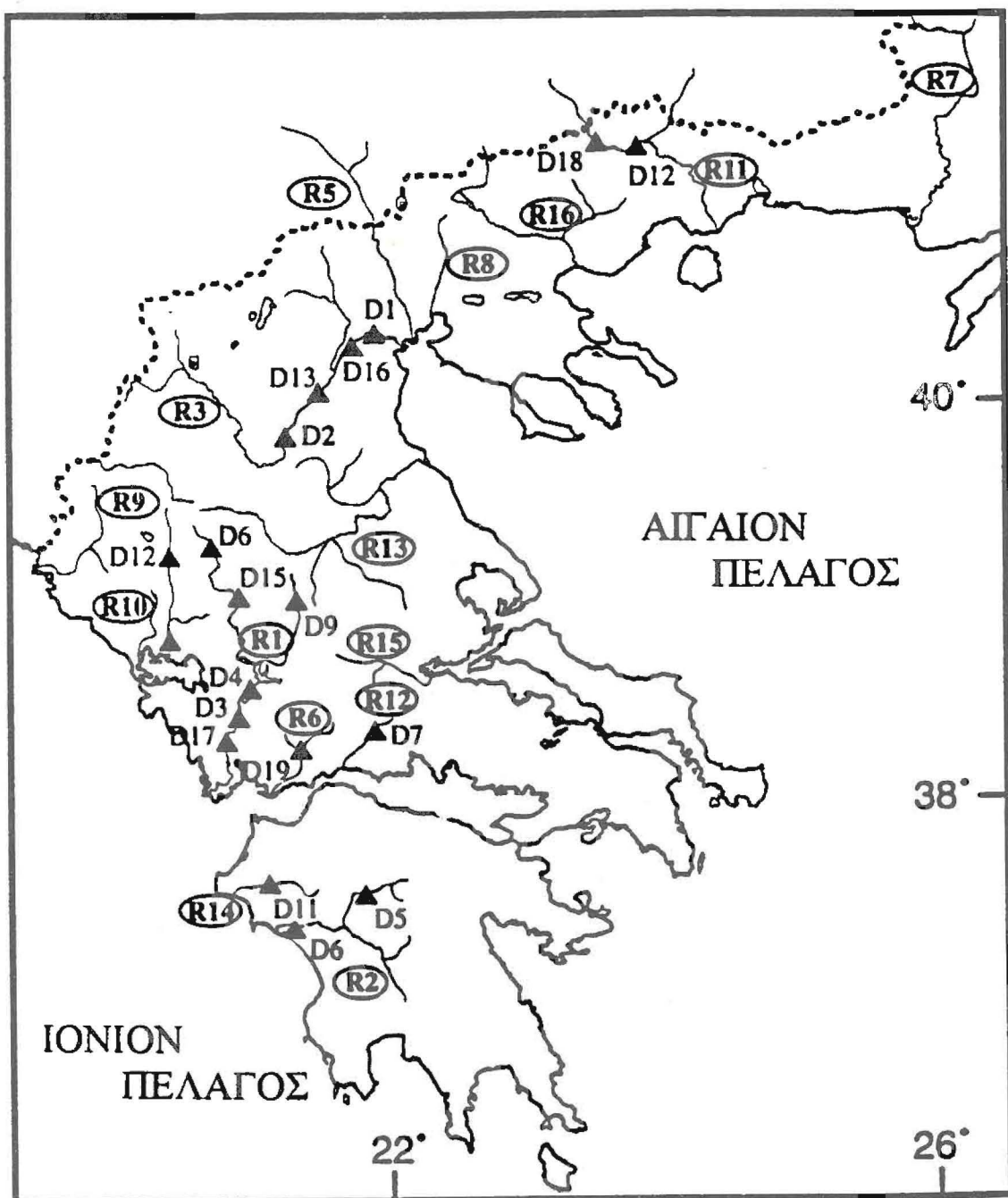
ΙΖ-Σ: Το συνολικό μέσο ετήσιο ιζηματολογικό δυναμικό που μεταφέρεται από το ποτάμι.

(α): Το εμβαδόν αντιστοιχεί στο τμήμα της λεκάνης απορροής του εντός των συνόρων της Ελλάδος

(β): Οι τιμές με έντονους χαρακτήρες αφορούν μετρήσεις υπαίθρου, ενώ οι υπόλοιπες τιμές προκύπτουν από υπολογισμούς.

Πίν. 2. Τα πλησιέστερα φράγματα στις εκβολές των ποταμών που εκβάλλουν κατά μήκος τη Ελληνικής ακτογραμμής, η έκταση της λεκάνης απορροής των ανάντη του φράγματος (EM-α), το ποσοστό της συνολικής έκτασης στο οποίο αντιστοιχεί (Α%) καθώς και οι αντίστοιχες ποσότητες νερού (NE-α) και ιζήματος (IZ-α) που δεσμεύονται πίσω από το φράγμα.

ΠΟΤΑΜΟΣ	ΦΡΑΓΜΑ	EM-α (km ²)	Α (%)	NE-α (m ³ 10 ⁹)	IZ-α (t 10 ⁶)
Αλιάκμων	Ασωμάτων	6084	64,3	2,29	3,9
Αλφειός	Αλφειούσας	3585	96,5	2,17	3,7
Άραχθος	Πουρναρίου	1814	95,7	2,15	8,7
Αχελώος	Στράτου	5350	94,9	7,38	4,9
Εύηνος	Αγ. Δημητρίου	225	21,0	0,31	0,1
Λούρος	Παντάνασσας	343	43,7	0,06	0,2
Μόρνος	Μόρνου	485	48,0	0,54	0,2
Νέστος	Πλατανόβρυσης	4652	75,3	2,65	1,4
Πηνειός (Π)	Πηνειού	913	96,4	0,51	0,2
Σύνολο		23.076		18,06	23,3
Μέσος όρος			70,7		



Σχ. 1. Οι γεωγραφικές θέσεις των κυριότερων Ελληνικών ποταμών (R_i) και των σημαντικότερων φραγμάτων (D_i) κατά μήκος του υδρογραφικού τους δικτύου. R1: Αχελώος, R2: Αλφειός, R3: Αλιάκμων, R4: Άραχθος, R5: Αξιός, R6: Εύηνος, R7: Έβρος, R8: Γαλλικός, R9: Καλαμάς, R10: Λούρος, R11: Νέστος, R12: Μόρνος, R13: Πηνειός (Θεσσαλίας), R14: Πηνειός (Πελοποννήσου), R15: Σπερχειός, R16: Στρυμών, D1: Φ. Ασωμάτων, D2: Φ. Ιλαρίωνα, D3: Φ. Καστρακίου, D4: Φ. Κρεμαστών, D5: Φ. Λάδωνα, D6: Φ. Αλφειούσας, D7: Φ. Μεσοχώρας, D8: Φ. Μόρνου, D9: Φ. Πλαστήρα, D10: Φ. Παντάνασας, D11: Φ. Πηνειού (Π), D12: Φ. Πλατανόβρυσης, D13: Φ. Πολυφύτου, D14: Φ. Πουρναρίου, D15: Φ. Συκιάς, D16: Φ. Σφηκιάς, D17: Φ. Στράτου, D18 Φ. Θησαυρού, D19: Φ. Αγ. Δημητρίου.