

Η συμβολή της κατανομής των γεωηλεκτρικών παραμέτρων στην διερεύνηση της παλαιογεωγραφικής εξέλιξης του Δελταϊκού πεδίου του Πηνειού ποταμού (Θεσσαλία)

Αλεξόπουλος Δ. Ι.¹

¹ Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη – Ζωγράφου, 15784, Αθήνα, (jalخورoulos@geol.uoa.gr)

Περίληψη

Στην ευρύτερη περιοχή του Δελταϊκού πεδίου του Πηνειού ποταμού, στη Θεσσαλία και στα πλαίσια εφαρμοσμένη γεωπεριβαλλοντικής έρευνας, αναπτύχθηκε προκαταρκτική γεωφυσική έρευνα. Στην κατεύθυνση αυτή καταβλήθηκε προσπάθεια να αναπτυχθεί ένας κánaβος θέσεων-μετρήσεων ικανός να καλύψει το σύνολο του πεδίου, έτσι ώστε να αναδειχθεί μια γνώση που θα συμβάλλει στην αποτύπωση των γεωφυσικών χαρακτηριστικών. Στην παρούσα εργασία και στην κατεύθυνση αποτίμησης των γεωηλεκτρικών παραμέτρων των λιθολογιών που απαντώνται στο δελταϊκό πεδίο, παρουσιάζονται απεικονίσεις την οριζόντιας και κατακόρυφης κατανομής της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης. Η γνώση αυτή συμβάλλει στην ανάδειξη νέων στοιχείων και πληροφοριών για την υπεδαφική δομή του πεδίου της δελταϊκής πεδιάδας. Εφαρμόστηκε η γεωηλεκτρική μέθοδος κατακόρυφης κατανομής της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης με τη διάταξη *Schlumberger*. Αναπτύχθηκαν τριάντα επτά διασκοπήσεις σε έναν σχεδόν ‘κανονικοποιημένο’ κánaβο, με στόχο όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βάθος διερεύνησης. Προς την κατεύθυνση αυτή και παρά τις πολύ δύσκολες συνθήκες προσπελασιμότητας, η ευθύγραμμη ανάπτυξη που επιβάλλουν οι περιορισμοί της τεχνικής, επιτεύχθηκε στις περισσότερες των θέσεων με ανάπτυγμα ηλεκτροδίων ρεύματος (ΑΒ ή C1C2) 1.100 μέτρων και βάθος διερεύνησης >250 μέτρων. Από τις τομές και τους χάρτες που κατασκευάστηκαν, αναδεικνύονται γεωηλεκτρικά αγωγιμες κατανομές (δομές), με ειδικές αντιστάσεις που κυμαίνονται στα 5-30 Ωμ, σε όλο σχεδόν το υπεδαφικό πεδίο της δελταϊκής πεδιάδας. Διαφοροποιούνται η περιοχή του παραλιακού μετώπου για μικρά βάθη (<4-5 μ.) διερεύνησης, οι περιοχές των νότιων κρασπέδων της δελταϊκής πεδιάδας με μεγαλύτερες τιμές ειδικών αντιστάσεων για μεγάλα βάθη (>100 μ.) και η δυτική περιοχή (Πυργετός), με υψηλές γενικά τιμές ακόμη και από μικρά βάθη διερεύνησης. Τέλος, από την γενικότερη εικόνα της κατανομής των γεωηλεκτρικών παραμέτρων στο πεδίο μελέτης, φαίνεται να σκιαγραφούνται πιθανοί παλαιογεωγραφικοί χώροι ανάπτυξης του δέλτα του Πηνειού ποταμού.

Λέξεις - Κλειδιά

Γεωφυσικά χαρακτηριστικά, γεωηλεκτρικές παράμετροι, κατανομή ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης.

Abstract

In the region of the deltaic field of Pinios River in Thessaly and under an applied geoenvironmental research, a preliminary geophysical survey was developed. In this direction, an attempt was made to develop a grid of positions-measurements that would be able to cover the whole field in order to adumbrate the general “image” of the geoelectric parameters. From the conducted bibliographic research, it seems that it is the first time that such a coordinated and extensive geophysical survey has been made in the area. In this project and in the direction of the evaluation of the geoelectric parameters of lithology present in the deltaic area, displays of the horizontal and vertical distribution of electrical resistivity are presented. This knowledge will contribute to the emergence of new data and information on the subsurface structure of the field of the deltaic plain. The geoelectrical method with the Schlumberger array was applied, for the vertical investigation of the distribution of electrical resistivity, in order to investigate the geoelectrical parameters. These arrays are best suited, as

a preliminary subsurface investigation method in such geo-environments. Thirty seven soundings were developed in an almost 'normalized' grid, aiming to the greatest possible depth of investigation. Towards this direction, despite the very difficult condition of accessibility, the development of the electrode current (AB or C1C2) reached 1.100 meters, with an investigation depth >250 meters. From the sections and the constructed maps, conductive geoelectric distributions structures detected, with a resistivity ranging in 5-30 Ohm.m, in almost the whole subsurface field of deltaic plain. From this general view, seems to differentiate the coastal zone for shallow depths (<4.5 m) of investigation, the regions of the southern part of the deltaic plain with larger resistivity values for large depths (> 100 m) and the western region (Pyrgetos), with generally high values even from the shallow depths of investigation. Finally, the overall picture of the distribution of the geoelectric parameters in the field of study appears to outline potential area of the palaeogeographic development of the Pinios River delta.

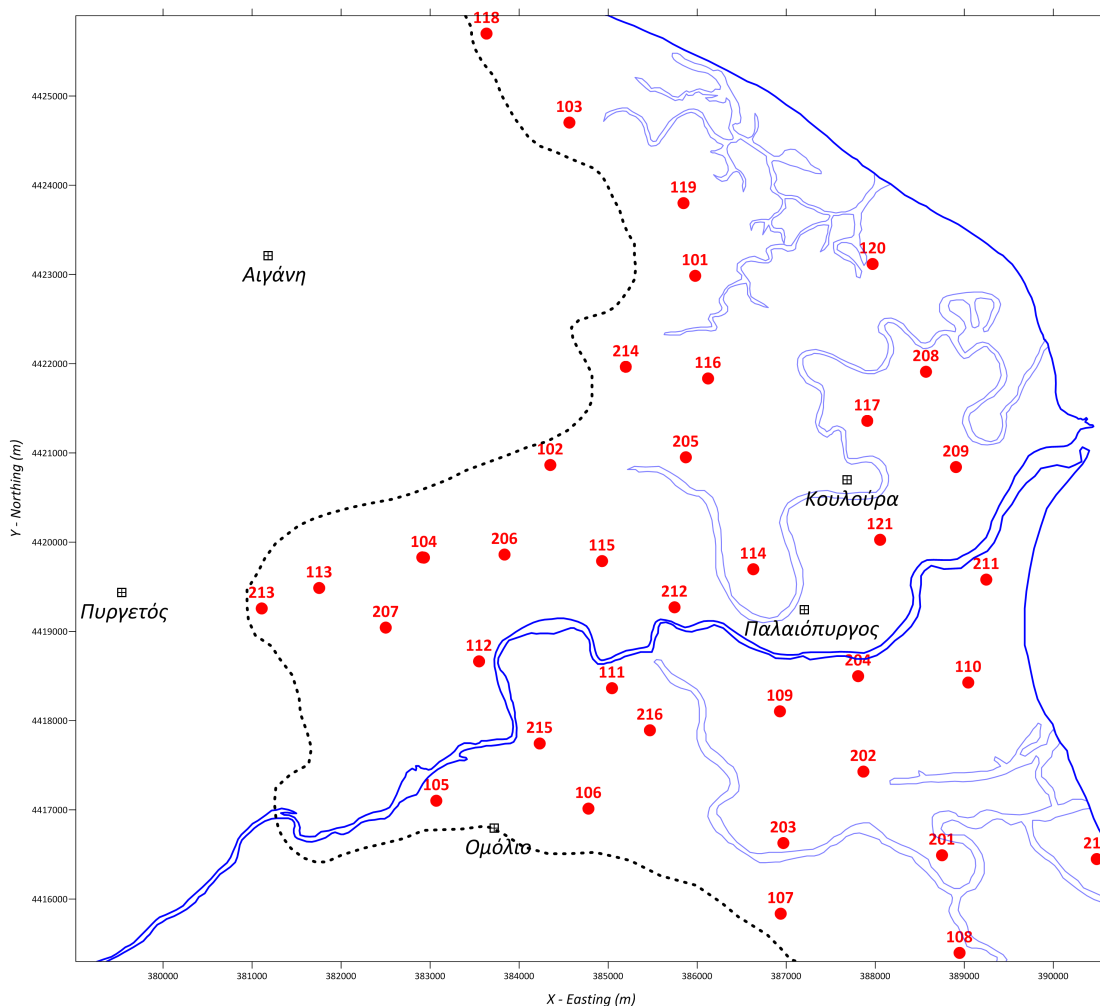
Keywords

Geophysical characteristics, geoelectrical parameters, resistivity distribution

Εισαγωγή

Στην ευρύτερη περιοχή του Δελταϊκού πεδίου του Πηνειού ποταμού, στη Θεσσαλία και στα πλαίσια εφαρμοσμένης γεωπεριβαλλοντικής έρευνας, αναπτύχθηκε προκαταρκτική γεωφυσική διασκόπηση με την εφαρμογή της γεωηλεκτρικής μεθόδου κατακόρυφης μεταβολής της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης. Στην κατεύθυνση αυτή καταβλήθηκε προσπάθεια να αναπτυχθεί αρχικά ένας εκτεταμένος κάναβος θέσεων-μετρήσεων γεωηλεκτρικών βαθυσκοπήσεων (Εικ. 1), ικανός να καλύψει το σύνολο του πεδίου έτσι ώστε να αναδειχθεί μια 'εικόνα' που θα συμβάλλει στην αποτύπωση των γεωηλεκτρικών παραμέτρων. Από την βιβλιογραφική έρευνα που διεξήχθη, πρώτη φορά φαίνεται να καταβάλλεται μία τόσο συντονισμένη και εκτεταμένη γεωφυσική επισκόπηση στο συγκεκριμένο πεδίο έρευνας.

Στην παρούσα εργασία και στην κατεύθυνση αποτίμησης των γεωηλεκτρικών παραμέτρων των lithολογιών που απαντώνται στο δελταϊκό πεδίο, παρουσιάζονται απεικονίσεις της οριζόντιας και κατακόρυφης κατανομής της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης. Η γνώση που αναδεικνύεται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, θα συμβάλλει στην καταγραφή νέων στοιχείων και πληροφοριών για την υπεδιαφική δομή του πεδίου της δελταϊκής πεδιάδας.



Εικόνα 1. Χάρτης των γεωφυσικών διασκοπήσεων στην περιοχή του Πηνειού ποταμού.

Μεθοδολογία

Για την ανάδειξη της γεωηλεκτρικής δομής, εφαρμόστηκε η διάταξη *Schlumberger*. Από την διεθνή εμπειρία, η συγκεκριμένη διάταξη είναι η πλέον ενδεδειγμένη ως μία προκαταρκτική, ευέλικτη και οικονομική τεχνική υπεδραφικής διερεύνησης, σε τέτοιου είδους γεωπεριβάλλοντα (Αλεξόπουλος 1998; Alexopoulos et al 2013).

Στη παρούσα φάση αναπτύχθηκαν συνολικά τριάντα επτά (37) βαθυσκοπήσεις, σε έναν σχεδόν 'κανονικοποιημένο' κάναβο, με στόχο όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βάθος διερεύνησης. Προς την κατεύθυνση αυτή και παρά τις πολύ δύσκολες συνθήκες προσπελασιμότητας που επικρατούν στην περιοχή, κατεβλήθη προσπάθεια προκειμένου να επιτευχθούν οι προδιαγραφές που επιβάλλουν οι περιορισμοί της τεχνικής. Στις περισσότερες των θέσεων πραγματοποιήθηκε μέγιστο ανάπτυγμα ηλεκτροδίων ρεύματος (AB ή C1C2) 1.400 μέτρων, με βάθος διερεύνησης >250 μέτρων.

Για την επεξεργασία των δεδομένων υπαίθρου, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος αντιστροφής που προτείνει ο Zohdy (1989), η οποία καθορίζει τόσα στρώματα όσα είναι τα ψηφιοποιημένα σημεία της γεωηλεκτρικής καμπύλης. Είναι μία θεωρητικά απλή και ευφυής μέθοδος (Yungui 1996), η οποία παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα ιζηματογενών λεκανών. Βασίζεται στις παρατηρούμενες μορφολογικές σχέσεις μεταξύ των καμπύλων που προκύπτουν από τη σχέση της ειδικής αντίστασης με το βάθος από τη μία πλευρά και της φαινόμενης ειδικής αντίστασης σε σχέση με το ημιανάπτυγμα των ηλεκτροδίων ρεύματος (AB/2), από την άλλη. Οι δύο ομάδες δεδομένων είναι κατά προσέγγιση παράλληλες η μία ως προς την άλλη, αλλά τα χαρακτηριστικά σημεία μετατοπίζονται οριζόντια και κατακόρυφα μεταξύ τους. Οι διαδοχικές αυτές προσεγγίσεις τροποποιούν το μοντέλο προς την κατεύθυνση τέτοιων προβλεπόμενων μετατοπίσεων. Το αρχικό μοντέλο είναι εκείνο στο οποίο το βάθος είναι ίσο με AB/2. Ο αλγόριθμος του προγράμματος δεν απαιτεί την εισαγωγή κάποιου αρχικού μοντέλου, όπως συμβαίνει με τους περισσότερους συμβατικούς αλγόριθμους μονοδιάστατης αντιστροφής.

Το απαραίτητο γεωηλεκτρικό μοντέλο που απαιτείται για την έναρξη του προγράμματος λαμβάνεται απ' ευθείας από την ψηφιοποιημένη καμπύλη και δεν απαιτεί προέκταση του αρχικού και του τελικού κλάδου της γεωηλεκτρικής καμπύλης, στις αντίστοιχες ασύμπτωτες καμπύλες. Ο αριθμός των στρωμάτων θεωρείται ίσος με τον αριθμό των ψηφιοποιημένων σημείων και τα όρια των στρωμάτων τοποθετούνται ομοιόμορφα σε μια λογαριθμική κλίμακα βάθους. Το αρχικό μοντέλο διαδοχικά τροποποιείται μέχρις ότου η υπολογισθείσα καμπύλη ταυτιστεί με την καμπύλη υπαίθρου χρησιμοποιώντας μία βέλτιστη προσέγγιση ελαχίστων τετραγώνων. Η μέθοδος είναι σχετικά γρήγορη, τα δε αποτελέσματα κρίνονται ικανοποιητικά για τέτοιου είδους ομοιογενή γεωπεριβάλλοντα, ενώ παράλληλα απαλείφονται τα 'ανώμαλα' στρώματα που προκαλούνται από τυχόν 'θόρυβο' στα δεδομένα. Η μέθοδος παρέχει μία ακολουθία στρωμάτων και δίνει τη δυνατότητα τροποποίησης τους, ώστε να ικανοποιούνται οι υπάρχουσες υπεδραφικές γεωλογικές πληροφορίες, κατά περίπτωση.

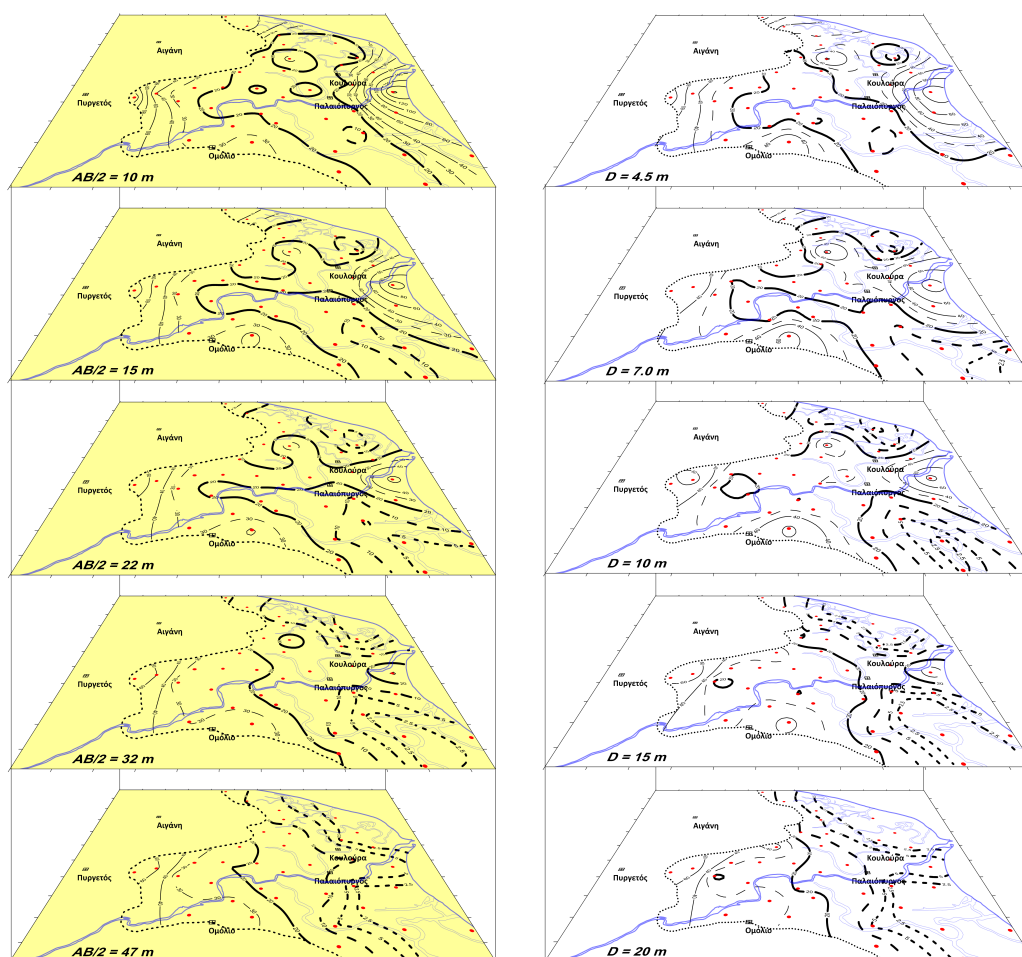
Στην προσπάθεια διερεύνησης της υπεδραφικής πλευρικής ανομοιογένειας των γεωλογικών σχηματισμών μίας περιοχής σε δύο ή/και τρεις διαστάσεις, είναι απαραίτητη η χάραξη τομών και χαρτών της μετρηθείσας φαινόμενης ειδικής αντίστασης. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μία πρώτη προσέγγιση (ποιοτική) των γεωηλεκτρικών κατανομών και εκτιμάται η αξιοπιστία επόμενου σταδίου επεξεργασίας (ποσοτική) της γεωηλεκτρικής διασκόπησης. Μετά την ποιοτική παρουσίαση, την απεικόνιση των αποτελεσμάτων της και τη σκιαγράφηση της κατανομής της, ακολουθεί η κατασκευή αντίστοιχων τομών και χαρτών της κατανομής της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης (πραγματική) μετά του βάθους, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ποσοτικής ανάλυσης 1-D που προκύπτουν από την επεξεργασία με το λογισμικό ATO (Zohdy 1989). Η κατασκευή τέτοιων παραστάσεων, διαχειριζόμενοι τα αποτελέσματα τροποποιημένων ρουτίνων του λογισμικού, και σε συνδυασμό με εκείνα της ποιοτικής παρουσίασης, αποδίδουν πληρέστερη εικόνα σε δύο (ψευδο-2D απεικόνιση) ή τρεις (ψευδο-3D απεικόνιση) διαστάσεις της κατανομής των γεωηλεκτρικών παραμέτρων και κατά συνέπεια της αναμενόμενης λιθοστρωματογραφικής δομής.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας κατασκευάστηκαν και παρουσιάζονται σε ψευδο-3D απεικόνιση χάρτες οριζόντιας κατανομής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για AB/2= 10, 15, 22, 32, 47, 70, 100, 150, 220 και 320 μέτρα και οι αντίστοιχοι χάρτες

οριζόντιας κατανομής της ηλεκτρικής ειδικής (πραγματικής) αντίστασης για τα βάθη των 4.5, 7.0, 10, 15, 20, 30, 45, 70, 100 και 150 μέτρων.

Συζήτηση - Συμπεράσματα

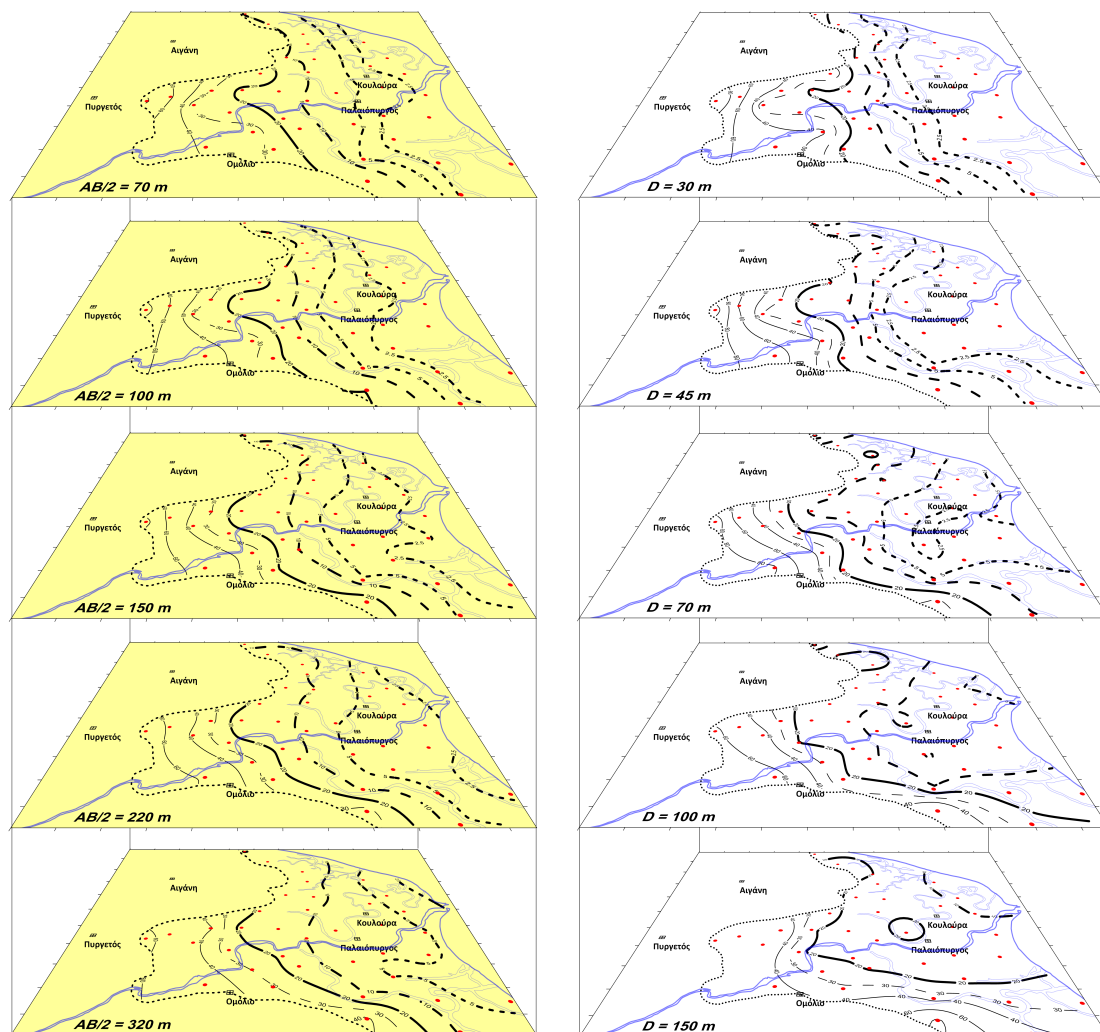
Από τις Εικόνες 2 και 3, αναδεικνύεται γενικότερα μία ομοιομορφία στις οριζοντιογραφικές κατανομές της φαινόμενης και της υπολογισθείσας ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης. Επικρατούν οι γενικά αγωγιμες δομές, με μικρές ειδικές αντιστάσεις που κυμαίνονται στα 5-30 Ωμ, σε όλο σχεδόν το υπεδαιφικό πεδίο του δελταϊκού χώρου.



Εικόνα 2. Χάρτες οριζόντιας κατανομής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για $AB/2 = 10, 15, 22, 32,$ και 47 μέτρα (αριστερά) και οι αντίστοιχοι χάρτες οριζόντιας κατανομής της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης για τα βάθη των $4.5, 7.0, 10, 15$ και 20 μέτρων (δεξιά).

Από τη γενική αυτή κατάσταση φαίνεται να διαφοροποιούνται και επισημαίνονται:

- i. η ανατολική περιοχή (παραλιακό μέτωπο) όπου από μικρά ακόμα βάθη ($D < 4-5 \mu.$) διασκόπησης μετρήθηκαν και υπολογίστηκαν υψηλές τιμές ειδικής αντίστασης ($> 50 \text{ Ohm.m}$). Η αντιστατική αυτή ζώνη περιορίζεται με το βάθος στην περιοχή των εκβολών του Πηνειού ποταμού και φαίνεται να εξαφανίζεται για βάθη μεγαλύτερα των 10 μέτρων.
- ii. Τα νότια κρασπέδα της δελταϊκής πεδιάδας, όπου μετρήθηκαν και υπολογίστηκαν υψηλές τιμές ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης ($> 60 \text{ Ohm.m}$) με αυξητική τάση, από βάθη μεγαλύτερα των 100 μ., και
- iii. η δυτική περιοχή μελέτης (Πυργετός), όπου υψηλές τιμές ηλεκτρικών ειδικών αντιστάσεων ($> 60 \text{ Ohm.m}$) επικρατούν από μικρά βάθη (10 μέτρα) διερεύνησης. Η κατάσταση αυτή που φαίνεται να επεκτείνεται ανατολικότερα μέχρι την περιοχή των βαθοσκοπήσεων 104 και 207 (Εικ.1).



Εικόνα 3. Χάρτες οριζόντιας κατανομής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για $AB/2 = 70, 100, 150, 220$ και 320 μέτρα (αριστερά) και οι αντίστοιχοι χάρτες οριζόντιας κατανομής της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης για τα βάθη των $30, 45, 70, 100$ και 150 μέτρων (δεξιά).

Τέλος, από την γενικότερη εικόνα της κατανομής (πλευρικής και κατακόρυφης) των γεωηλεκτρικών παραμέτρων στο πεδίο μελέτης, φαίνεται να σκιαγραφούνται πιθανοί παλαιογεωγραφικοί χώροι ανάπτυξης του δέλτα του Πηνειού ποταμού.

Ευχαριστίες

Η ερευνητική εργασία υποστηρίχθηκε οικονομικά από το Ερευνητικό Έργο ΘΑΛΗΣ-DAPHNE (MIS375908) με τίτλο “ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΑ ΠΟΤΑΜΙΑ ΔΕΛΤΑ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΔΕΛΤΑ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΠΗΝΕΙΟΥ (ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ)” που συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο – ΕΚΤ) και από Εθνικούς Πόρους στα πλαίσια του ΕΣΠΑ 2007-2013.

Βιβλιογραφία

- Alexopoulos J., Vassilakis Em., Dilalos S., Pantelis Ch., Papadopoulos T., 2013. Identification of buried active structures with preliminary geophysical and morphotectonic analysis, at eastern Thessaly basin, Greece. 4th International INQUA Meeting on Paleoseismology, Active Tectonics and Archeoseismology (PATA), 4p., Aachen, Germany.
- Zohdy A.A.R., 1989. A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner soundings curves. *Geophysics*, 54 (2), 245-253.
- Zohdy A. A. R., and Bisdorf, R., 1989. A program for automatic processing and interpretation of Schlumberger sounding curves in Quick Basic 4.0. U. S. Geological Survey open - file report, 89-137.
- Zohdy A. A., & Bisdorf, R. J., 1990. Schlumberger soundings near Medicine Lake, California. *Geophysics*, 55 (8), 956-964.
- Yungul S.H., 1996. *Electrical Methods in Geophysical Exploration of Deep Sedimentary Basin*. Chapman & Hall, 197p.
- Αλεξόπουλος Ι., 1998. Συμβολή των γεωφυσικών μεθόδων στη διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών του οροπεδίου της Τρίπολης. *Διδακτορική διατριβή*, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Αθήνα, σ. 283.