



ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΟ ΔΕΛΤΙΟ

ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΥ
ΣΥΛΛΟΓΟΥ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΩΝ
ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ
ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τεύχος 241

Ιανουάριος - Φεβρουάριος 2019



ΕΝΤΥΠΟ ΜΕΙΣΤΟ ΑΡ. ΔΑΔΕΙΑΣ 1630/01 ΚΕΜΠΑ
ΕΡΕΥΡΟΦΕΣ Σ.Α.Τ.Μ. Ε.Μ.Π. - Ήρωων Πολυτεχνείου 9
157 80 ΣΩΡΑΦΟΥ

CivilShop
Εμπόριο μετρητικών Οργάνων

www.civilshop.gr

Λαμία - Τηλ.: 22310 53044



STONEX S900



UAV RTK LA 500



STONEX R2 PLUS 1" 1000m

Ανάπτυξη λογισμικού για τον εντοπισμό εσφαλμένων βαθυμετρικών μετρήσεων από ηχοβολιστική συσκευή απλής δέσμης

Καμπουράκης Σταύρος, Μπαντόλα Μαθαματή-Δήμητρα, Γρηγοριάδης Βασίλειος

Εργαστήριο Εφαρμογών και Μελέτης του Πεδίου Βαρύτητας
Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

(stavkamp@hotmail.com, dimitradexter@hotmail.com, nezoz@topo.auth.gr)

Εισαγωγή

Οι βυθομετρικές αποτυπώσεις καλύπτουν ένα μεγάλο φάσμα τεχνικών και επιστημονικών μελετών. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται κυρίως με ηχοβολιστικές συσκευές απλής ή πολλαπλής δέσμης σε συνδυασμό με δέκτες των Παγκόσμιων Δορυφορικών Συστημάτων Πλοήγησης (Global Navigation Satellite Systems – GNSS) για τον προσδιορισμό της θέσης του σκάφους. Η επιλογή ηχοβολιστικής συσκευής εξαρτάται από τις ανάγκες της εκάστοτε μελέτης αλλά και από τον διαθέσιμο εξοπλισμό ή/και οικονομικό προϋπολογισμό. Σε σχέση με τις συσκευές απλής δέσμης, οι πολλαπλής δέσμης είναι σημαντικά υψηλότερου κόστους, καλύπτουν μεγαλύτερες περιοχές με μετρήσεις σε λιγότερο χρόνο, απαιτούν εμπειρία αλλά και περισσότερο χρόνο για την επεξεργασία των μετρήσεων και η εγκατάστασή τους στο σκάφος είναι πιο περίπλοκη, κυρίως όταν τοποθετούνται μονίμως επί του σκάφους. Κοινό πρόβλημα και για τα δύο είδη ηχοβολιστικών συσκευών αποτελεί η απομάκρυνση εσφαλμένων μετρήσεων. Οι εσφαλμένες τιμές μπορεί να οφείλονται σε πολυανάκλαση του σήματος, στη θαλάσσια χλωρίδα, τη σύσταση του πυθμένα και άλλους λόγους. Για τον εντοπισμό των πιθανών εσφαλμένων τιμών (outliers) βάθους από μετρήσεις με ηχοβολιστική συσκευή απλής δέσμης αναπτύχθηκε στο πλαίσιο διπλωματικής εργασίας (Καμπουράκης και Μπαντόλα 2018) κατάλληλος αλγόριθμος, ο οποίος και υλοποιήθηκε προγραμματιστικά. Ο αλγόριθμος και το νέο λογισμικό περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια και δίνονται παραδείγματα εφαρμογής τους με μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή του Ν. Μαρμαρά Χαλκιδικής.

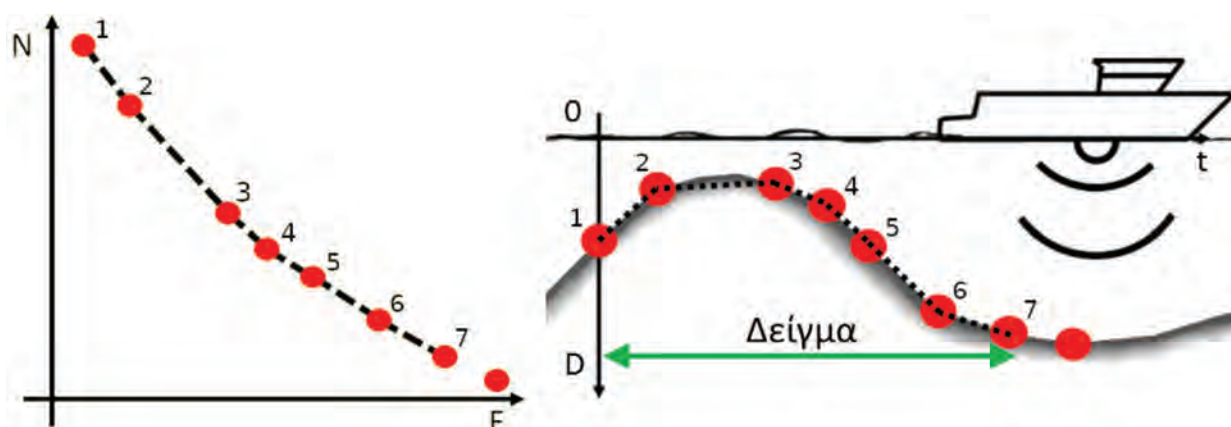
Μεθοδολογία

Οι βαθυμετρικές αποτυπώσεις συνήθως διεξάγονται ακολουθώντας ηχοβολιστικές γραμμές (Παλληκάρης 1988, Τζαβός 2002), οι οποίες προσδιορίζονται κατά το στάδιο του σχεδιασμού των μετρήσεων. Στις ηχοβολιστικές αυτές γραμμές συγκαταλέγονται και οι λεγόμενες γραμμές ελέγχου, οι οποίες τέμνουν τις κύριες γραμμές με απώτερο στόχο τον έλεγχο των μετρήσεων στα σημεία «τομής». Οι γραμμές ελέγχου είναι λιγότερο πυκνές σε σχέση με τις κύριες γραμμές, διαφορετικά αυξάνεται σημαντικά το κόστος και ο χρόνος διάρκειας των μετρήσεων. Έχοντας λοιπόν ορίσει τις κύριες γραμμές και τις γραμμές ελέγχου πραγματοποιούνται οι μετρήσεις στην περιοχή μελέτης. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων συνηθίζεται να ελέγχονται σε πραγματικό χρόνο τα σημεία «τομής», ώστε να εντοπιστούν εγκαίρως σφάλματα στις μετρήσεις. Κατόπιν, και κατά το στάδιο της επεξεργασίας των μετρήσεων (βλ. π.χ., Γρηγοριάδης κ.α. 2015), εφαρμόζονται – εάν δεν έχουν εφαρμοστεί σε πραγματικό χρόνο – οι απαραίτητες διορθώσεις στις μετρήσεις, π.χ., λόγω κυματισμών, παλινροιών κ.λπ., και ακολουθεί ο συνολικός έλεγχος των μετρήσεων με διάφορες μεθόδους, όπως, για παράδειγμα, με τη δημιουργία ενός μοντέλου βαθυμετρίας, τον οπτικό έλεγχο των τιμών μέσω ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών κ.λπ. Με την παραπάνω διαδικασία, αν και προβλέπεται ο περιοδικός έλεγχος των μετρήσεων στη θάλασσα μέσω των τιμών βάθους στα σημεία «τομής», η χαμηλότερη πυκνότητα κάλυψης των γραμμών ελέγχου δεν εξασφαλίζει τον έλεγχο των ενδιάμεσων μετρήσεων. Επίσης, ο έλεγχος στα σημεία «τομής» προϋποθέτει τον υπολογισμό των απαραίτητων διορθώσεων σε πραγματικό χρόνο, το οποίο δεν είναι πάντοτε τεχνικά εφικτό και εξαρτάται και από τη μέθοδο επίλυσης. Τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα είτε να μην ελεγχθούν οι ενδιάμεσες μετρήσεις είτε οποιεσδήποτε από αυτές κριθούν εκ των υστέρων ως εσφαλμένες να απορρίπτονται και να υπάρχει το ενδεχόμενο να δημιουργηθούν κενά στην κάλυψη με μετρήσεις της περιοχής μελέτης. Σε ένα τέτοιο ενδεχόμενο θα ήταν απαραίτητη η εκτέλεση συμπληρωματικών μετρήσεων με αύξηση του συνολικού απαιτούμενου χρόνου και κόστους της εκάστοτε μελέτης. Προκειμένου να αποφευχθεί μία τέτοια κατάσταση, στην παρούσα εργασία προτείνεται ένα επιπλέον ενδιάμεσο στάδιο ελέγχου πριν ολοκληρωθούν οι μετρήσεις στη θάλασσα. Πιο συγκεκριμένα, με την ολοκλήρωση των μετρήσεων κατά μήκος των κύριων ηχοβολιστικών γραμμών και των γραμμών ελέγχου εφαρμόζεται ο αλγόριθμος που περιγράφεται στη συνέχεια, προκειμένου να εντοπιστούν πιθανώς εσφαλμένες τιμές βάθους. Εφόσον ο εντοπισμός είναι επιτυχής, τότε επαναλαμβάνονται οι πραγματοποιούνται επιπλέον στοχευμένες μετρήσεις, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την πιθανότητα ύπαρξης αμφιβολιών και ελλείψεων κατά το στάδιο της επεξεργασίας των μετρήσεων.

Είναι γνωστό πως οι διάφορες μεταβολές στο ανάγλυφο του θαλάσσιου πυθμένα δεν συχετίζονται μεταξύ τους και κατά συνέπεια δεν είναι δυνατό να μοντελοποιηθούν μαθηματικά. Εντούτοις, καθώς οι μετρήσεις βάθους με ένα σκάφος γίνονται κατά μήκος της γραμμής πλεύσης του, οποιεσδήποτε απότομες μεταβολές στις τιμές βάθους θα μπορούσαν να αποτελέσουν ένδειξη για προβληματικές μετρήσεις, με την παραδοχή πως ένα δείγμα διαδοχικών μετρήσεων αποτελεί μία κατά μήκος τομή (προφίλ) του πυθμένα. Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο νέος αλγόριθμος εντοπισμού των πιθανών εσφαλμένων τιμών βασίζεται στην προσαρμογή ενός δείγματος τιμών σε ένα πολυώνυμο (δεύτερου ή τρίτου βαθμού) μέσω της τεχνικής των ελαχίστων τετραγώνων και την αξιολόγηση αυτής. Αναλυτικότερα, από το σύνολο των τιμών βάθους επιλέγονται αρχικά k διαδοχικές τιμές, ξεκινώντας από την αρχή των μετρήσεων και βάσει της μεταξύ τους απόστασης (βλ. Σχήμα 1). Από τις k τιμές γίνεται βέλτιστη εκτίμηση, με τη χρήση του κριτηρίου των ελαχίστων τετραγώνων, των παραμέτρων του πολυωνύμου n -βαθμού, που προσαρμόζεται στις μετρήσεις. Στην συνέχεια, χρησιμοποιούνται οι παράμετροι του πολυωνύμου n -βαθμού που προσδιορίστηκαν, για την πρόγνωση τιμών βαθών στις θέσεις των k -τιμών. Ο λόγος της απόλυτης διαφοράς μεταξύ της μετρούμενης τιμής (d) και της εκτίμησης (\hat{d}) του βάθους ως προς την μετρούμενη τιμή χρησιμοποιείται ως δείκτης αξιολόγησης (ΔA) της κάθε μέτρησης, δηλαδή:

$$\Delta A = 1 - |d - \hat{d}|d^{-1}$$

Έπειτα, επιλέγεται ένα νέο δείγμα τιμών, το οποίο περιλαμβάνει και ορισμένες από τις προηγούμενες τιμές που ελέγχθηκαν και επαναλαμβάνεται εκ νέου η διαδικασία που περιγράφηκε προηγουμένως, έως ότου εξεταστούν όλες οι μετρήσεις. Ο τρόπος διεξαγωγής του ελέγχου ακολουθεί τη λογική της σάρωσης δεδομένων, δηλαδή η κάθε παρατήρηση μπορεί να συμμετέχει σε περισσότερες από μια επαναλήψεις. Σε περίπτωση που για μία παρατήρηση ο ΔA λάβει μία υπερβολικά μικρή τιμή, π.χ. αρνητική, τότε η παρατήρηση αυτή θεωρείται πιθανώς εσφαλμένη και απομακρύνεται, ενώ η επανάληψη για τα υπόλοιπα σημεία θεωρείται ως μη γενόμενη. Αφού ολοκληρωθεί ο έλεγχος όλων των μετρήσεων, στη συνέχεια αξιολογείται η κάθε μέτρηση λαμβάνοντας υπόψη όλους τους δείκτες αξιολόγησης που υπολογίστηκαν σε κάθε επανάληψη που συμμετείχε και αν έχει ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο όριο η μέτρηση χαρακτηρίζεται ως πιθανώς εσφαλμένη. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί πως για να εκτελεστεί σωστά ο αλγόριθμος θα πρέπει οι συντεταγμένες θέσης του σκάφους να αναφέρονται σε προβολικό επίπεδο και οι μετρήσεις να είναι ταξινομημένες σύμφωνα με τον χρόνο λήψης τους, ενώ θεωρείται πως οι μετρήσεις έχουν την ίδια ακρίβεια.



Σχήμα 1. Αριστερά: Η πορεία του σκάφους και οι θέσεις μέτρησης βάθους (κόκκινοι κύκλοι) στο προβολικό επίπεδο (E,N) – Δεξιά: Τα μετρούμενα βάθη σε προφίλ (βάθος D, χρόνος t) και η επιλογή δείγματος (αριθμημένες τιμές).

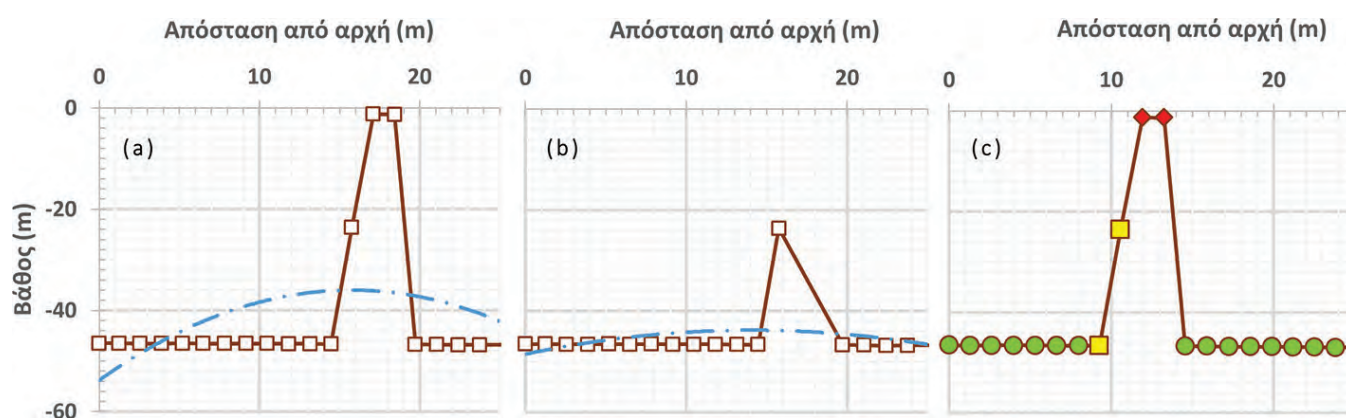
Λογισμικό και εφαρμογές

Για την εφαρμογή του αλγορίθμου αναπτύχθηκε το πρόγραμμα SoundFi (βλ. Σχήμα 2) σε γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic, το οποίο διατίθεται ηλεκτρονικά μέσω του συνδέσμου: <http://users.auth.gr/nezos/#Software>. Το πρόγραμμα δέχεται ως δεδομένα τις μετρήσεις της ηχοβολιστικής συσκευής σε κατάλληλη μορφή, ενώ απαιτείται και η εισαγωγή από τον χρήστη πέντε βασικών παραμέτρων: Α) Το πλήθος των τιμών που θα αποτελούν το δείγμα που θα εξετάζεται σε κάθε επανάληψη. Β) Ο βαθμός του πολυωνύμου (δευτέρου ή τρίτου βαθμού) που θα χρησιμοποιηθεί στην προσαρμογή και στην πρόγνωση (το πολυώνυμο δευτέρου βαθμού οδηγεί σε αυστηρότερο έλεγχο). Γ) Το μέγιστο μήκος του προφίλ εντός του οποίου θα συλλέγονται τιμές για το δείγμα (η τιμή αυτή εξαρτάται από το ρυθμό καταγραφής των μετρήσεων και την ταχύτητα κίνησης του σκάφους). Δ) Η τιμή του ΔA , σύμφωνα με την οποία ηχοβολίσσεις με μικρότερη τιμή θεωρούνται πιθανώς εσφαλμένες. Ε) Το ελάχιστο δυνατό βάθος μέτρησης της ηχοβολιστικής συσκευής ή το ελάχιστο βάθος για την περιοχή μελέτης, όπου μικρότερες τιμές θα απορρίπτονται αυτόματα από το πρόγραμμα.

Σχήμα 2. Το γραφικό περιβάλλον του SoundFi μετά την ολοκλήρωση ελέγχου μετρήσεων.

Με το πέρας της εισαγωγής των δεδομένων και των παραμέτρων της αξιολόγησης και την εκτέλεση του αλγόριθμου, παρουσιάζονται στον χρήστη τα στατιστικά στοιχεία για τα αποτελέσματα, τα οποία περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων, το πλήθος των σημείων που: α) πέρασαν τον έλεγχο, β) που θεωρούνται ως πιθανώς ασφαλή και γ) που δεν ελέγχθηκαν γιατί δεν μπορούσε να δημιουργηθεί το απαραίτητο δείγμα σύμφωνα με τα κριτήρια του χρήστη. Σε αυτό το σημείο, ο χρήστης μπορεί να δει και τα στατιστικά στοιχεία για τις τιμές του **ΔΑ** που υπολογίστηκαν. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα, υπάρχει η δυνατότητα άμεσης τροποποίησης των παραμέτρων και εκ νέου εκτέλεσης του προγράμματος προκειμένου να πραγματοποιηθεί λιγότερο ή περισσότερο αυστηρή αξιολόγηση.

Για τον έλεγχο του αλγόριθμου και της λειτουργίας του προγράμματος αξιοποιήθηκαν δεδομένα από βυθομετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από τους συγγραφείς σε παράκτια περιοχή στο Νέο Μαρμαρά Χαλκιδικής. Οι μετρήσεις έγιναν με τη χρήση ηχοβολιστικής συσκευής απλής δέσμης και προβολέα συχνότητας 200 kHz, ο οποίος έχει τη δυνατότητα μέτρησης βαθών έως 100 m με ακρίβεια μέτρησης έως και 2 cm. Η περιοχή μελέτης έχει μέσο βάθος περίπου 31 m και μέγιστο περίπου 91 m. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αποτελεί η ύπαρξη έντονης θαλάσσιας χλωρίδας σε βάθη μεγαλύτερα από 70 m, η οποία και δυσκόλεψε τη λήψη μετρήσεων με τη συγκεκριμένη συχνότητα προβολέα. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων καταγράφηκαν συνολικά 42333 τιμές βάθους, οι οποίες και ελέγχθηκαν με το πρόγραμμα SoundFi. Στο Σχήμα 3 παρατίθεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εντοπισμού πιθανώς ασφαλών τιμών σε αυτές τις μετρήσεις. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, δίνεται το αρχικό δείγμα 19 τιμών (Σχήμα 3a) στο οποίο παρατηρείται μία απότομη έξαρση του πυθμένα, ενώ δίνεται και το πολυώνυμο 2^{ου} βαθμού που προσαρμόζεται σε αυτές τις μετρήσεις. Στο Σχήμα 3b, αφού το πρόγραμμα έχει εκτελέσει κατά την πρώτη επανάληψη τον έλεγχο των τιμών, απομακρύνονται δύο τιμές ως πιθανώς ασφαμένες λόγω της υπερβολικής διαφοράς στο **ΔΑ**. Οι τιμές αυτές θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως χονδροειδή σφάλματα. Ο έλεγχος επαναλαμβάνεται εκ νέου και με την ολοκλήρωση όλων των επαναλήψεων και την κατηγοριοποίησή τους εντοπίζονται ακόμη δύο τιμές ως πιθανώς ασφαμένες. Στο Σχήμα 3c παρουσιάζονται τα τελικά αποτελέσματα της αξιολόγησης.



Σχήμα 3. Παράδειγμα εντοπισμού πιθανώς ασφαλών τιμών βάθους με προσαρμογή πολυωνύμου (μπλε γραμμή): (a) Αρχικό προφίλ τιμών βάθους, (b) το αρχικό προφίλ μετά την πρώτη επανάληψη της διαδικασίας αξιολόγησης με πολυώνυμο 2^{ου} βαθμού και την απομάκρυνση δύο τιμών και (c) τα τελικά αποτελέσματα της αξιολόγησης - αποδεκτές τιμές (πράσινοι κύκλοι), πιθανώς ασφαμένες τιμές μετά την 1^η επανάληψη (κόκκινοι κύκλοι) και μετά το τέλος της αξιολόγησης (κίτρινοι κύκλοι).

Ιδιαίτερο πλεονέκτημα του αλγόριθμου που παρουσιάστηκε αποτελεί η βήμα προς βήμα προσέγγιση μέσω της επαναληπτικής διαδικασίας των ελέγχων. Η διαδικασία αυτή καθιστά ασφαλέστερο τον έλεγχο των παρατηρήσεων χωρίς να επηρεάζεται άμεσα από χονδροειδή σφάλματα. Εξίσου σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί και ο τρόπος ελέγχου μέσω της δημιουργίας δειγμάτων τιμών. Τα δείγματα αυτά έχουν μετρηθεί σε παραπλήσιες συνθήκες και κατά συνέπεια δεν απαιτείται η εφαρμογή όλων των διορθώσεων πριν την εκτέλεση των υπολογισμών, όπως για παράδειγμα η διόρθωση λόγω παλιρροιών. Το λογισμικό που αναπτύχθηκε είναι απλό στη χρήση με δυνατότητα παραμετροποίησης των ελέγχων ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη και οι υπολογισμοί ολοκληρώνονται πολύ γρήγορα (ο χρόνος εκτέλεσης για 40 χιλιάδες τιμές είναι περίπου 1 sec). Συμπερασματικά, το SoundFi αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την εύρεση πιθανώς ασφαλών τιμών κατά τη διεξαγωγή βυθομετρικών αποτυπώσεων με ηχοβολιστικές συσκευές απλής δέσμης.

Βιβλιογραφία

- Γρηγοριάδης Β.Ν., Τζαβός Η.Ν., Βέργος Γ.Σ., Νατσιόπουλος Δ.Α. (2015), *Μελέτη παγκόσμιων μοντέλων δεδομένων ηχοβολισμών στην περιοχή του δέλτα Αξιού-Λουδία-Αλιάκμονα*. Αρβανίτης Α., Λαφάζνη Π., Μπάσμπας Σ., Παπαδοπούλου Μ., Παρασχάκης Ι., Ρωσσικόπουλος Δ. (εκδ.), «Αφιέρωμα στον Ομότιμο Καθηγητή Μύρωνα Μυριδή – Χαρτογραφίες Νου, Ψυχής και Γνώσης», Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 829-841.
- Καμπουράκης Σ., Μπαντόλα Μ.Δ. (2018), «Αξιολόγηση παγκόσμιων μοντέλων βαθυμετρίας, ακτογραμμών και αναγωγών της βαρύτητας από δεδομένα παράκτιας υδρογραφικής αποτύπωσης στην περιοχή του Νέου Μαρμαρά Χαλκιδικής», Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Εφαρμογών και Μελέτης του Πεδίου Βαρύτητας, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Παλληκάρης Α.Η. (1988), *Υδρογραφία*, Έκδοση 2^η, Σχολή Ναυτικών Δοκίμων.
- Τζαβός Η.Ν. (2002), «Υδρογραφία και Θαλάσσια Γεωδαισία», Διδακτικές σημειώσεις, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.