

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



ARISTOTLE
UNIVERSITY OF THESSALONIKI

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ
ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ
541 24, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

FACULTY OF SCIENCES
SCHOOL OF GEOLOGY
DEPT. OF GEOPHYSICS
LABORATORY OF EXPLORATION
GEOPHYSICS
GR 541 24, THESSALONIKI, GREECE

Γεωφυσική έρευνα στο Κόκκινο Βουνό και βορείως της
ανασκαφής στο Ακρωτήριο στη Σαντορίνη



Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 2024

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ**

**Γεωφυσική έρευνα στο Κόκκινο Βουνό και βορείως της
ανασκαφής στο Ακρωτήριο στη Σαντορίνη**

Ερευνητική Ομάδα

Τσόκας Γρηγόριος, Καθηγητής ΑΠΘ (Επιστημονικά Υπεύθυνος)
Βλαχόπουλος Ανδρέας, Καθηγητής Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
Σταμπολίδης Αλέξανδρος, Δρ. Γεωφυσικός, ΠΕ Γεωτεχνικός ΑΠΘ
Ξενάκη Ανδριάννα, Υπ. Διδάκτωρ Αρχαιολογίας, University of Cambridge
Πολυδωρόπουλος Κωνσταντίνος, Μεταπτυχιακός Φοιτητής ΑΠΘ
Τζήμα Ελένη, Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια ΑΠΘ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
2	ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ	6
2.1	Η μαγνητική μέθοδος διασκόπησης.	6
2.2	Η μαγνητική χαρτογράφηση ως μέθοδος εντοπισμού και χαρτογράφησης θαμμένων αρχαιοτήτων.	7
2.3	Όργανα μέτρησης.	8
3	ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.	12
4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗΣ.	16
4.1	Έρευνα στο Κόκκινο Βουνό	16
4.2	Έρευνα στο βορείως της ανασκαφής	19
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	21
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	22
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	23
	ΚΟΚΚΙΝΟ ΒΟΥΝΟ	23
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	30
	ΒΟΡΕΙΩΣ ΤΗΣ ΑΝΑΣΚΑΦΗΣ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ	30

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη Σαντορίνη, το καλοκαίρι του 2024, πραγματοποιήθηκε γεωφυσική διασκόπηση με τη μαγνητική μέθοδο χαρτογράφησης στο Κόκκινο Βουνό και σε θέση μέσα στον περιφραγμένο αρχαιολογικό χώρο του Ακρωτηρίου. Σκοπό είχε τη διερεύνηση της ύπαρξης ή μη θαμμένων αρχαίων κτηριακών λειψάνων.

Οι εργασίες πεδίου πραγματοποιήθηκαν σε δύο φάσεις τον Ιούνιο του 2024, διάρκειας 3 και 4 ημερών αντίστοιχα. Τα πρωτογενή δεδομένα υπέστησαν επεξεργασία και οπτικοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των επόμενων τριών εβδομάδων.

Γενικά, εντοπίστηκαν ανωμαλίες στην κατανομή της μαγνήτισης στο υπέδαφος, οι οποίες αποδόθηκαν σε θαμμένα λείψανα αρχαίων κατασκευών. Σε μερικές δε περιπτώσεις παρουσιάζουν σαφή γραμμική μορφή.

Στις επόμενες σελίδες παρουσιάζεται, τόσο ο τρόπος διεξαγωγής των μετρήσεων πεδίου, όσο και η επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων αλλά και τα συνακόλουθα συμπεράσματα.

Η έρευνα αυτή αποτελεί ερευνητικό έργο του Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης και πραγματοποιήθηκε με ανάθεση από την Πανεπιστημιακή Έρευνα Πεδίου στο Κόκκινο Βουνό Ακρωτηρίου Θήρας, η οποία τελεί υπό την αιγίδα του Τομέα Αρχαιολογίας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και την οποία διευθύνει ο καθ. Ανδρέας Βλαχόπουλος (Βλαχόπουλος 2019). Χρηματοδοτήθηκε δε από την αστική μη κερδοσκοπικής εταιρείας πολιτιστικού και κοινωφελούς έργου Αιγέας με διακριτικό τίτλο «Αιγέας ΑΜΚΕ πολιτιστικού και κοινωφελούς έργου» και από το Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. Για την πραγματοποίησή της ευχαριστούμε θερμά τους δύο φορείς.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται επιγραμματικά οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για να εξερευνηθεί το υπέδαφος στο συγκεκριμένο χώρο. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον τρόπο συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων της μαγνητικής χαρτογράφησης. Στη συνέχεια, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας και η ερμηνεία τους και διατυπώνονται κάποια συμπεράσματα. Σύνοψη των συμπερασμάτων παρουσιάζεται στο τελευταίο κεφάλαιο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, η παρέμβαση έγινε χωρίς να επηρεαστεί το παραμικρό στον χώρο, δηλαδή με πλήρως μη καταστροφικό τρόπο.

Για τη διενέργεια της έρευνας ευχαριστούμε θερμά την Εφορεία Αρχαιοτήτων Κυκλάδων (ΕΦΑ Κυκλάδων), η οποία, διά της αρχαιολόγου κας Μ. Ευσταθίου επόπτευσε το έργο και προσέφερε σημαντική βοήθεια, τόσο σε επιστημονικό, όσο και σε πρακτικό επίπεδο.

2 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

Οι μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης εφαρμόζονται στην εξερεύνηση αρχαιολογικών χώρων σε παγκόσμια κλίμακα και αναφέρονται σ' όλα τα βιβλία εισαγωγής στην αρχαιολογική επιστήμη. Στηρίζονται στο γεγονός ότι οι αρχαιότητες αποτελούν διαταράξεις στην ομοιογένεια των ανωτέρων στρωμάτων της Γης και επομένως προκαλούν ανωμαλίες σε φυσικά ή τεχνητά πεδία. Οι ανωμαλίες αυτές καταγράφονται με τη βοήθεια κατάλληλων οργάνων, επεξεργάζονται βάσει διεθνώς παραδεκτών μεθόδων και τελικά παρουσιάζεται μια χαρτογράφηση των υπεδάφιων αρχιτεκτονικών λειψάνων.

Η χρησιμότητα των χαρτών αυτών στην αρχαιολογική έρευνα είναι προφανής. Ο ανασκαφέας αρχαιολόγος μπορεί να κατευθύνει επιλεκτικά τη έρευνά του, να εξάγει συμπεράσματα και στη συνέχεια να τα προεκτείνει για όλη την περιοχή που μελετά στηριζόμενος στο γεωφυσικό χάρτη. Η εφαρμογή των μεθόδων αυτών γίνεται σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα και με μικρό κόστος. Καλύπτονται δε με τον τρόπο αυτό μεγάλες σχετικά εκτάσεις.

Συνήθως, από τις μεθόδους αυτές επιλέγονται οι καταλληλότερες ανάλογα με τον χώρο έρευνας και τα χαρακτηριστικά των στόχων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, θεωρήθηκε ως καταλληλότερη η μαγνητική μέθοδος λόγω της ξηρότητας του εδάφους κατά το χρόνο διεξαγωγής των μετρήσεων πεδίου. Στην προσέγγιση αυτή κατέληξε η ερευνητική ομάδα μετά από συζητήσεις και μελέτη των δορυφορικών εικόνων από το Google Earth. Έτσι, εκτιμήσαμε τις συνθήκες της συγκεκριμένης περιοχής, πράγμα που επέτρεψε τον καθορισμό και των παραμέτρων εφαρμογής της μεθόδου. Δηλαδή, ορίστηκαν το βήμα της χωρικής δειγματοληψίας, κ.λ.π. Σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των παραμέτρων αυτών έπαιξε και η συζήτηση σχετικά με τις αναμενόμενες υπεδάφειες δομές.

2.1 Η μαγνητική μέθοδος διασκόπησης.

Η αρχή της μεθόδου της μαγνητικής διασκόπησης βασίζεται στον εντοπισμό μεταβολών της μαγνήτισης στο υπέδαφος από την καταγραφή τοπικών ανωμαλιών του γήινου μαγνητικού πεδίου στην επιφάνεια της Γης. Δηλαδή, ανιχνεύονται τοπικές

μεταβολές της έντασης του γεωμαγνητικού πεδίου τις οποίες αποδίδουμε στην ύπαρξη διαφοράς μαγνήτισης στα υλικά του φλοιού της Γης. Η καταγραφή των ανωμαλιών αυτών πραγματοποιείται με μεγάλης ακρίβειας μετρήσεις σε κατά το δυνατόν λεπτομερή κάναβο.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε την ύπαρξη δομής στο υπέδαφος η οποία έχει μαγνητική επιδεκτικότητα της τάξης του 10^{-3} και βρίσκεται θαμμένη σε περιβάλλον με επιδεκτικότητα 10^{-5} . Τότε, το γήινο μαγνητικό πεδίο, που συμβολίζεται με το γράμμα **H**, δημιουργεί εξ επαγωγής μαγνήτιση

$$\mathbf{M} = \Delta\kappa \times \mathbf{H}$$

στη δομή, όπου $\Delta\kappa=10^{-2}$. Επομένως δημιουργείται ένα νέο πεδίο **H'** το οποίο συντίθεται με το επάγον αίτιο, **H**, και δίνει συνισταμένη, τη μαγνητική επαγωγή, **B**. Το μέτρο του διανύσματος **B** είναι αυτό που μετράται κατά την πραγματοποίηση μαγνητικής διασκόπησης. Επειδή οι περισσότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί παρουσιάζονται παραμαγνητικοί, η ένταση της μαγνήτισης είναι σχετικά ασθενής. Αυτό εύκολα συνάγεται από έναν απλό πολλαπλασιασμό των τιμών του $\Delta\kappa$ με τη μέση ένταση του γήινου μαγνητικού πεδίου που είναι της τάξης των 0.5 Oe.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι μέτρησης των μαγνητικών πεδίων. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιήθηκε διαφορικό μαγνητόμετρο ρυθμιζόμενης μαγνητικής ροής, η αρχή λειτουργίας του οποίου θα περιγραφεί σε επόμενη παράγραφο.

2.2 Η μαγνητική χαρτογράφηση ως μέθοδος εντοπισμού και χαρτογράφησης θαμμένων αρχαιοτήτων.

Στην περίπτωση εξερεύνησης αρχαιολογικών χώρων, οι δομές στόχοι που ευρίσκονται στο υπέδαφος και πρέπει να ανιχνευθούν, είναι γενικά μικρών διαστάσεων. Το γεγονός αυτό καθιστά τις μαγνητικές ανωμαλίες που αυτές παράγουν, μικρού πλάτους και μικρού μήκους κύματος, σε σύγκριση με τα σήματα που καταγράφονται σε άλλες εφαρμογές της μαγνητικής μεθόδου (π.χ. μεταλλευτική έρευνα).

Επομένως, οι ανωμαλίες που καταγράφονται κατά την μαγνητική διασκόπηση αρχαιολογικών χώρων είναι γενικά ασθενείς. Τα όργανα όμως που τις μετρούν έχουν υψηλή ακρίβεια η οποία είναι συνήθως της τάξης του 0.1-1nT. Επίσης απαιτείται μεγάλη

προσοχή κατά τη λήψη των μετρήσεων γιατί πολύ συχνά υπεισέρχονται θόρυβοι οι οποίοι μπορεί να αποτελέσουν σημαντικό ποσοστό του σήματος (χρήσιμης πληροφορίας) ή ακόμα και να το υπερβούν σε απόλυτη τιμή. Επιπλέον, οι ανωμαλίες αυτές έχουν εξαιρετικά περιορισμένη έκταση στο χώρο. Δηλαδή, θεωρούμενες ως σήματα που προέρχονται από το υπέδαφος παρουσιάζουν μικρό μήκος κύματος. Συνεπώς για να καταγραφούν πλήρως και χωρίς φαινόμενα δίπλωσης (aliasing) θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί λεπτομερής κάνναβος μετρήσεων (Τσόκας 1990). Είναι φανερό, ότι η λεπτομέρεια του καννάβου μετρήσεων αντισταθμίζεται από τα διαθέσιμα μέσα και τον απαιτούμενο χρόνο. Έτσι, η τελική απόφαση για τη λεπτομέρεια του καννάβου λαμβάνεται συνεκτιμώντας τα μέσα με το επιθυμητό επιστημονικό αποτέλεσμα.

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι υπεδάφια λείψανα της ανθρώπινης δραστηριότητας, με μαγνητικές ιδιότητες διαφορετικές από αυτές του περιβάλλοντος που φιλοξενούνται, αλλάζουν σε μικρό γενικά βαθμό το τοπικό μαγνητικό πεδίο. Αυτή η μικρή παραμόρφωση του μαγνητικού πεδίου παρατηρείται σαν μία “ανωμαλία” στις μετρήσεις.

Περιοχές με αυξημένη μαγνήτιση (εξ επαγωγής ή παραμένουσας) σε σύγκριση με αυτή του περιβάλλοντος εδάφους αποτυπώνονται στους χάρτες κατανομής της μαγνητικής επαγωγής (καλούμενη επίσης «ολικό πεδίο»), ή της πρώτης κατακόρυφης διαφοράς της κατακόρυφης συνιστώσας της, ως θετικές ανωμαλίες, ενώ περιοχές με μειωμένη μαγνήτιση παρουσιάζονται ως αρνητικές ανωμαλίες. Και τα δύο είδη μαγνητικών ανωμαλιών είναι ενδιαφέροντα στην διαδικασία ερμηνείας των μαγνητικών δεδομένων. Τάφροι, εστίες καύσης, αρχιτεκτονικές δομές ή συγκεντρώσεις οργανικού υλικού μπορούν να δημιουργήσουν ισχυρές (θετικές ή αρνητικές) μαγνητικές ανωμαλίες.

Η εφαρμοσιμότητα της μεθόδου ελέγχθηκε πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του 1950 (Aitken 1974) και έκτοτε αποτελεί βασική και κλασική μέθοδο εξερεύνησης αρχαιολογικών χώρων.

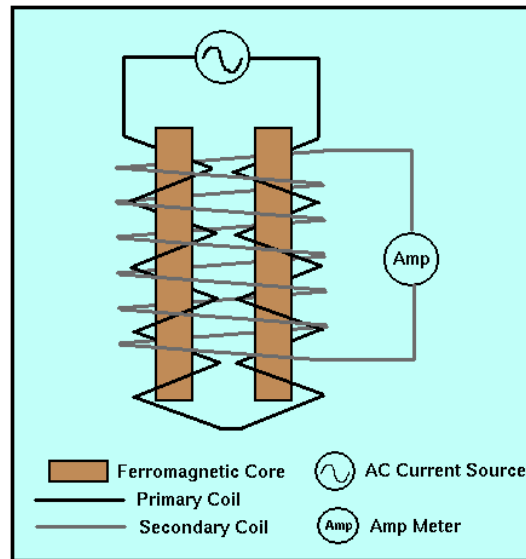
2.3 *Όργανα μέτρησης.*

Στην παρούσα έρευνα έγινε χρήση συστοιχίας διαφορικών μαγνητομέτρων ρυθμιζόμενης μαγνητικής ροής. Κάθε ένα τέτοιο όργανο μετρούσε την διαφορά της έντασης της κατακόρυφης συνιστώσας του γήινου μαγνητικού πεδίου ταυτόχρονα σε δύο

διαφορετικά επίπεδα (ύψη) από την επιφάνεια του εδάφους. Με την μέθοδο αυτή έγινε εφικτή η εξομάλυνση των γεωλογικών τάσεων και αποφεύχθηκαν οι διορθώσεις λόγω της ημερήσιας μεταβολής της έντασης του ολικού μαγνητικού πεδίου.

Το μαγνητόμετρο του τύπου αυτού ανήκει στην κατηγορία των ηλεκτρονικών μαγνητομέτρων. Αρχικά σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια του Δεύτερου Παγκόσμιου πολέμου με στόχο την ανίχνευση υποβρυχίων από αεροπλάνα που πραγματοποιούσαν χαμηλές πτήσεις. Σήμερα χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση αερομαγνητικών μετρήσεων επίσης, αλλά και σε επίγειες μετρήσεις. Την τελευταία 20 ετία χρησιμοποιείται κατά κόρο στην εξερεύνηση αρχαιολογικών χώρων.

Μία σχηματική παράσταση της λειτουργίας του μαγνητομέτρου ρυθμιζόμενης μαγνητικής ροής παρουσιάζεται παρακάτω στο σχήμα (2.3.1).



Σχ. 2.3.1. Σχηματική παράσταση του μαγνητομέτρου ρυθμιζόμενης μαγνητικής ροής.

Η λειτουργία του βασίζεται στο φαινόμενο κατά το οποίο κάθε μαγνητικό υλικό μεγάλης μαγνητικής επιδεκτικότητας αποκτάει μέγιστη τιμή μαγνήτισης κάτω από την επίδραση ισχυρού μαγνητικού πεδίου. Η τιμή αυτή λέγεται «μαγνήτιση κόρου».

Αποτελείται από δύο όμοιες παράλληλες ράβδους που είναι κατασκευασμένες από υλικό μεγάλης μαγνητικής επιδεκτικότητας που βρίσκονται μέσα σε δύο πηνία. Η μαγνητική επιδεκτικότητα των δύο ράβδων είναι αρκετά μεγάλη έτσι ώστε το σχετικά αδύναμο μαγνητικό πεδίο της γης να μπορεί να παράγει τον μαγνητικό κορεσμό στις ράβδους. Κάθε ράβδος περιβάλλεται από ένα πηνίο (πρωτεύον), αλλά η φορά περιέλιξης

στη μια ράβδο είναι αντίστροφη αυτής της άλλης ράβδου. Το πρωτεύον πηνίο διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα, το οποίο παράγει ισχυρό μαγνητικό πεδίο που επάγει με τη σειρά του ισχυρό μαγνητικό πεδίο στις δύο ράβδους. Το πεδίο των ράβδων είναι ίσης έντασης αλλά αντίθετης φοράς.

Ένα εξωτερικό δευτερεύον πηνίο περιβάλλει επίσης τόσο τις δύο ράβδους όσο και το πρωτεύον πηνίο. Τα μαγνητικά πεδία που παράγονται στις ράβδους από το πρωτεύον πεδίο παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα στο δευτερεύον πηνίο. Εν απουσία εξωτερικού μαγνητικού πεδίου (π.χ. αν η Γη δεν είχε καθόλου μαγνητικό πεδίο) το δυναμικό που παράγεται στο δευτερεύον πηνίο θα ήταν μηδενικό λόγω του ότι τα μαγνητικά πεδία που διαρρέουν τις δύο ράβδους έχουν την ίδια ένταση αλλά αντίστροφη φορά και αλληλοεξουδετερώνονται.

Όμως, όταν οι ράβδοι είναι προσανατολισμένοι παράλληλα με μια συνιστώσα ενός εξωτερικού ασθενούς πεδίου, η μία ράβδος παράγει μαγνητικό πεδίο στην ίδια φορά με το εξωτερικό πεδίο. Στην άλλη ράβδο παράγεται επαγόμενο πεδίο που είναι αντίθετο με το εξωτερικό πεδίο. Η διαφορά αυτή είναι αρκετή για να παραχθεί μετρήσιμο δυναμικό στο δευτερεύον πηνίο που είναι ανάλογο του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου στην διεύθυνση των ράβδων. Έτσι, το μαγνητόμετρο ρυθμιζόμενης μαγνητικής ροής είναι ικανό να μετρήσει την ένταση κάθε συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου της γης με τον προσανατολισμό του οργάνου έτσι ώστε οι ράβδοι να είναι παράλληλοι με την συγκεκριμένη συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου.

Κάθε ένα διαφορικό μαγνητόμετρο της συστοιχίας που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα (φωτ. 2.3.Ι), περιλαμβάνει δύο αισθητήρες του τύπου που περιγράφηκε παραπάνω. Τα όργανα αυτά έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι εύχρηστα, αδιάβροχα, σχετικά εύρωστα και εξαιρετικά αξιόπιστα. Βασικό μέλημα του σχεδιασμού του ήταν η ικανότητα ταχύτατης λήψης μετρήσεων. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε ευρύ φάσμα εφαρμογών (αρχαιολογικών, περιβαλλοντικών, γεωλογικών και στρατιωτικών). Οι αρχαιολογικοί στόχοι περιλαμβάνουν εντοπισμό λειψάνων θαμμένων πυρίμαχων δομών όπως φούρνοι και οικιακές εστίες, και δομών από υλικά μεγάλης μαγνητικής επιδεκτικότητας (λείψανα τοίχων από τούβλα, φάσεις καταστροφών) (Tsokas et al. 1994, Τσόκας και συνεργάτες 2006). Επίσης, η μέθοδος είναι κατάλληλη για τον εντοπισμό αρχαίων λαξευμάτων (τάφρων, αποθετών, αυλακιών κτλ). Οι λιθόκτιστες κατασκευές

παράγουν συνήθως αρνητικές ανωμαλίες εφ' όσον συνίστανται από τεμάχια ασβεστολιθικού ή κροκαλοπαγούς υλικού. Δηλαδή, το έδαφος που φιλοξενεί αυτές τις δομές είναι συνήθως περισσότερο μαγνητισμένο απ' ό τι το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή τους. Υπάρχει όμως περίπτωση, οι θαμμένοι αργοί ή δομημένοι λίθοι να αποτελούνται από υλικά με υψηλότερη μαγνήτιση απ' ό τι το περιβάλλον που ευρίσκονται και να εμφανίζουν έτσι θετικές ανωμαλίες. Γενικά, οι δομές που αναφέρθηκαν παράγουν μετρήσιμες ανωμαλίες, και η πυκνή λήψη μετρήσεων στην επιφάνεια του εδάφους, επιτρέπει την χαρτογράφηση και πολλές φορές την απεικόνισή τους. Από δε το σχήμα της ανωμαλίας, είναι πιθανόν να μπορούμε να εξάγουμε σημαντικά συμπεράσματα για το είδος των υπεδάφινων αρχιτεκτονικών λειψάνων.



Φωτογραφία 2.3.Ι. Συστοιχία διαφορικών μαγνητομέτρων ρυθμιζόμενης μαγνητικής ροής κατά τη διάρκεια των μετρήσεων πεδίου.

3 ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.

Η συστοιχία των διαφορικών μαγνητομέτρων που χρησιμοποιήθηκε φέρει και κεραία γεωγραφικού συστήματος πλοήγησης και χωροθέτησης (GPS) και επομένως δεν υπάρχει ανάγκη κατάτμησης του χώρου σε μικρά τετράγωνα (κελιά). Η τελευταία βρίσκεται σε σύζευξη με τοπικό σταθμό, ο οποίος εγκαθίσταται δίπλα στον εκάστοτε χώρο έρευνας. Η συστοιχία που χρησιμοποιήθηκε έφερε 4 ή 3 διαφορικά μαγνητόμετρα κατά περίπτωση, σε συγγραμμική διάταξη και με απόσταση 0,5 m το ένα από το άλλο. Κατά μήκος της εκάστοτε όδευσης, οι μετρήσεις ελήφθησαν ανά 0,05 m.

Χρησιμοποιήθηκε συστοιχία μαγνητομέτρων ρυθμιζόμενης μαγνητικής ροής FEREX της εταιρείας FORSTER. Η συστοιχία χρησιμοποιήθηκε είτε εποχούμενη σε καρότσι ή μειωμένη κατά ένα φωρατή και αναρτημένη στον χειριστή. Στις φωτογραφίες (3.I) και (3.II) φαίνονται μέλη του συνεργείου κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου. Στην πρώτη περίπτωση ενώ ωθούν το καρότσι της συστοιχίας, ενώ στη δεύτερη έχοντας τη συστοιχία αναρτημένη σε ένα χειριστή. Ο δεύτερος τρόπος λήψης των μετρήσεων επιβλήθηκε εξ' αιτίας του έντονου αναγλύφου στο Κόκκινο Βουνό.

Οι κατώτεροι φωρατές των οργάνων τοποθετήθηκαν σε ύψος 0.2 m από το έδαφος και οι ανώτεροι 0,50 m υψηλότερα. Η συγκεκριμένη διάταξη των οργάνων προτιμήθηκε με σκοπό την κατά το δυνατόν απομάκρυνση των ανωμαλιών (σημάτων) που θα δημιουργούσαν οι αρόσεις και διάφορες άλλες μικρές ανομοιογένειες του αναγλύφου.

Με σκοπό να κατανοηθούν οι μηχανισμοί που προκαλούν τις μαγνητικές ανωμαλίες που κατεγράφησαν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της μαγνητικής επιδεκτικότητας, τόσο σε δείγματα του αρχαίου δομικού υλικού που ευρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους, όσο και του εδάφους, στο οποίο φιλοξενούνται τα λείψανα. Οι μετρήσεις αυτές καταχωρήθηκαν και αναφέρονται κατά περίπτωση σε πίνακες.

Για τις μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας χρησιμοποιήθηκε το όργανο SM-20 της εταιρείας Gf Instruments, s.r.o.



Φωτ. 3.1.1. Αρχαιολογικός χώρος Ακρωτηρίου. Μετρήσεις της βαθμίδας του ολικού μαγνητικού πεδίου με συστοιχία εποχούμενη και αποτελούμενη από 4 διαφορεικά μαγνητόμετρα.



Φωτ. 3.1.II. Κόκκινο Βουνό. Μετρήσεις της βαθμίδας του ολικού μαγνητικού πεδίου με συστοιχία μαγνητομέτρων αναρτημένη στον χειριστή. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν 3 διαφορεικά μαγνητόμετρα..

Η επεξεργασία των μαγνητικών μετρήσεων άρχισε στο πεδίο αμέσως μετά τη διεξαγωγή των μετρήσεων. Συγκεκριμένα, έγινε καταχώρηση των μετρήσεων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, επαλήθευση αυτών και μία αρχική επεξεργασία έτσι ώστε να γίνει έλεγχος της πορείας της έρευνας και της ποιότητας των αποτελεσμάτων. Η τελική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Α.Π.Θ.

Η επεξεργασία των μετρήσεων περιελάμβανε τα ακόλουθα βήματα:

- Στατιστική ανάλυση των μετρήσεων σε κάθε όδευση και αναγωγή όλων έτσι ώστε να έχουν μηδενικό μέσο όρο.
- Ισοστάθμιση των τιμών κάθε όδευσης έτσι ώστε να έχουν μέσο όρο μηδέν.
- Μικροϊσοστάθμιση των τιμών βάσει των αλγορίθμου του Mauring και των συνεργατών του (2002).
- Εφαρμογή φίλτρου απομάκρυνσης πολύ μικρών κυματαρίθμων.
- Απομάκρυνση ακραίων τιμών με εφαρμογή φίλτρου γεωμετρικού διαμέσου.
- Εφαρμογή φίλτρου απομάκρυνσης των πολύ μεγάλων κυματαρίθμων.
- Συμπίεση του δυναμικού εύρους των μετρήσεων με εφαρμογή συνάρτησης τόξου εφαπτομένης.
- Μεγέθυνση του πίνακα των τιμών με παρεμβολή και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις (συνάρτηση παρεμβολής $\sin X/X$).
- Δημιουργία ασπρόμαυρων χαρτών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως σχήματα τόνων του τεφρού χρώματος (Schollar et al., 1986) έτσι, ώστε να δίδεται μια εικόνα η οποία προσομοιάζει την κάτοψη των δομών που προκαλούν την ανώμαλη κατανομή των αντιστάσεων.

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗΣ.

4.1 Έρευνα στο Κόκκινο Βουνό

Οι μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας, τόσο σε διάφορα τμήματα του εδάφους, όσο και επί του δομικού υλικού των αρχαίων κτισμάτων, φαίνονται στον Πίνακα 4.1.Ι.

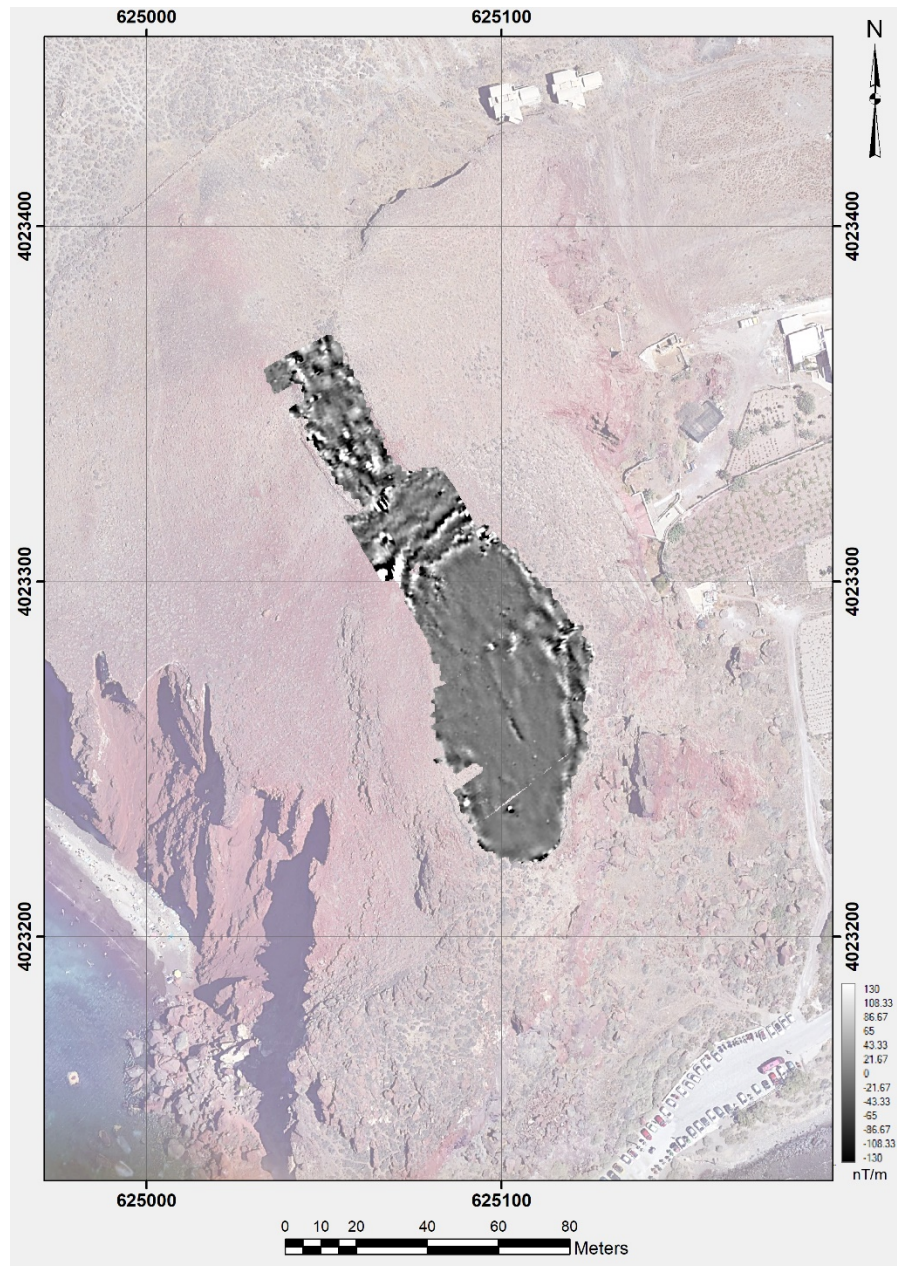
ΕΙΔΟΣ ΥΛΙΚΟΥ	Αριθμός μετρήσεων	Μέσος όρος (S.I.) $\times 10^{-3}$
Έδαφος	5	5,95
Μαύρο Ηφαιστιακό Πέτρωμα	5	21,24
Ελαφρόπετρα	4	1,73
Κόκκινο Ηφαιστιακό Πέτρωμα	4	5,69
Ψαμμίτης	2	0,765

Πίνακας 4.1.Ι. Μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας στο κόκκινο βουνό.

Από τις μετρήσεις του πίνακα (4.1.Ι) συνάγεται ότι δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά στην τιμή της μαγνητικής επιδεκτικότητας μεταξύ εδάφους και των λοιπών υλικών.

Στο σχήμα (4.1.1) δίνεται απεικόνιση της κατανομής των πρώτων κατακόρυφων διαφορών του ολικού μαγνητικού πεδίου στο χώρο που ερευνήθηκε στο Κόκκινο Βουνό. Επίσης στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι δίδονται διαφορετικές εκδοχές του ιδίου αποτελέσματος. Το αποτέλεσμα της διασκόπησης έχει υπερτεθεί επί της δορυφορικής εικόνας της πλατφόρμας Google Earth. Οι ανωμαλίες που προέρχονται από δομές στο υπέδαφος που έχουν μεγαλύτερη μαγνήτιση από το περιβάλλον στο οποίο είναι επιχωμένες θεωρούνται θετικές και φαίνονται στο σχήμα με προεξάρχοντες τους λευκότερους τόνους του τεφρού χρώματος. Οι αρνητικές ανωμαλίες, δηλαδή αυτές που προκαλούνται από δομές με λιγότερη μαγνήτιση από το περιβάλλον τους, εμφανίζονται αντίστροφα, δηλαδή με προεξάρχοντες τους σκούρους τόνους.

Στην καταγραφή της κατακόρυφης βαθμίδας του μαγνητικού πεδίου του σχήματος (4.1.1) παρουσιάζονται πολλές γραμμικές ή καμπυλόγραμμες ανωμαλίες. Σε μερικές περιπτώσεις, οι ανωμαλίες αυτές συναρθρώνονται και τείνουν να σχηματίσουν ορθογώνια σχήματα. Η ερμηνεία των ανωμαλιών αυτών είναι ότι πρόκειται για πιθανά θαμμένα λείψανα κατασκευών.

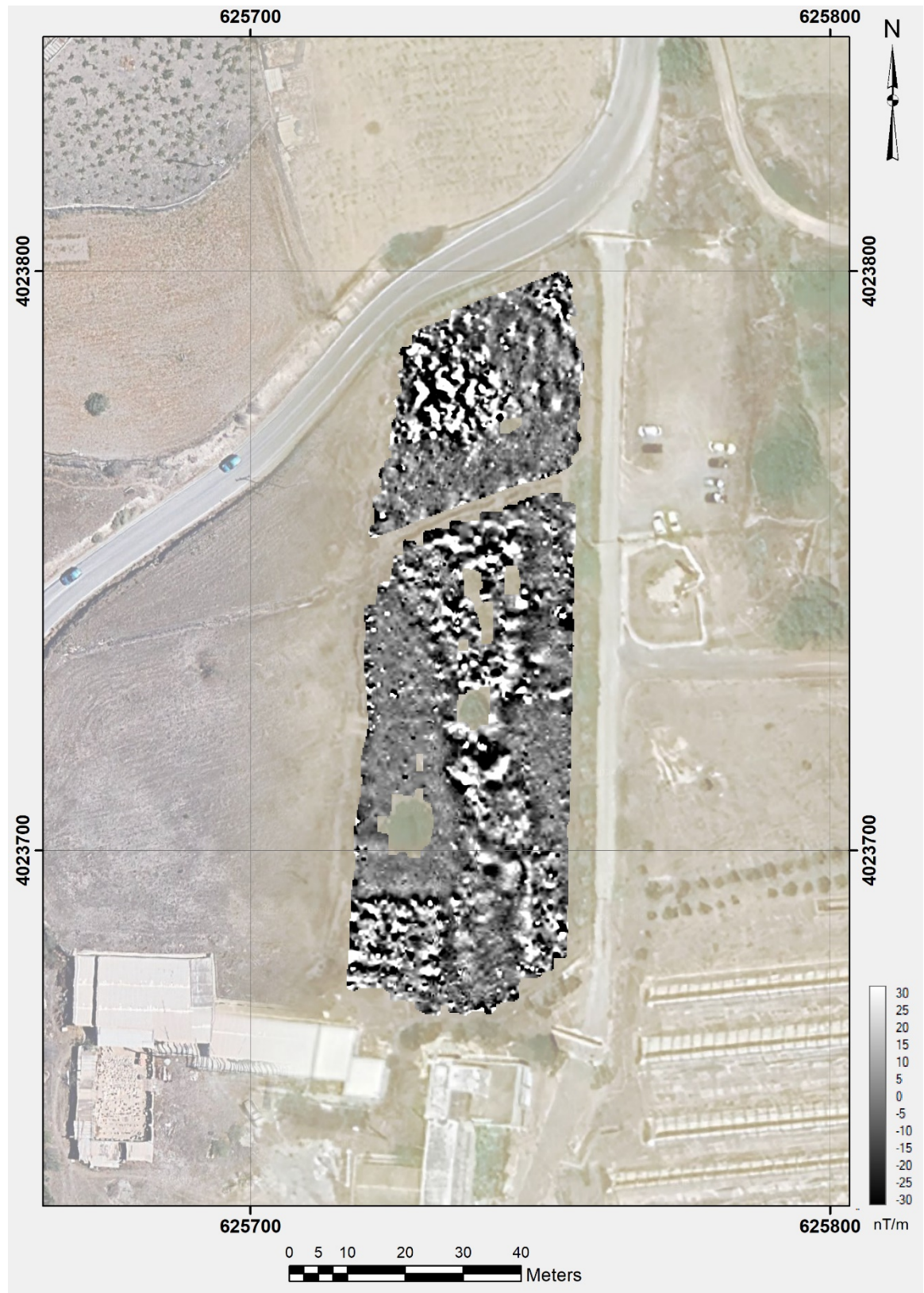


Σχ. 4.1.1. Κατανομή των τιμών της πρώτης κατακόρυφης διαφοράς του ολικού μαγνητικού πεδίου στο Κόκκινο Βουνό σε κλίμακα τόνων του τεφρού χρώματος.

4.2 Έρευνα βορείως της ανασκαφής

Στο σχήμα (4.2.1) και το ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II δίνονται διαφορετικές εκδοχές του αποτελέσματος της έρευνας βορείως της ανασκαφής.

Στην καταγραφή της κατακόρυφης βαθμίδας του μαγνητικού πεδίου του σχήματος (4.1.1) παρουσιάζονται πολλές γραμμικές οι οποίες συναρθρώνονται και τείνουν να σχηματίσουν ορθογώνια γεωμετρικά σχήματα. Η ερμηνεία των ανωμαλιών αυτών είναι ότι πρόκειται για πιθανά θαμμένα λείψανα κατασκευών. Επίσης είναι γεγονός ότι η κατεύθυνσή τους είναι σε συμφωνία με τις δομικές κατευθύνσεις που παρατηρούνται στα αποκαλυμμένα ερείπια του προϊστορικού οικισμού



Σχ. 4.2.1. Κατανομή των τιμών της πρώτης κατακόρυφης διαφοράς του ολικού μαγνητικού πεδίου στο χώρο έρευνας βορείως της ανασκαφής στο Ακρωτήριο.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο πλαίσιο της έρευνας που περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια εφαρμόστηκε η μέθοδος της μαγνητικής χαρτογράφησης. Ο στόχος στην περίπτωση αυτή ήταν η ανίχνευση και η κατά το δυνατόν χαρτογράφηση θαμμένων αρχιτεκτονικών καταλοίπων και η χωροταξική συσχέτισή τους με τα ορατά λείψανα.

Εντοπίστηκαν ανωμαλίες στην κατανομή της μαγνήτισης στο υπέδαφος, οι οποίες αποδίδονται σε θαμμένα αρχαία οικοδομικά κατάλοιπα. Ιδιαίτερα στο χώρο βορείως της Ανασκαφής Ακρωτηρίου, πολλές από τις ανωμαλίες αυτές έχουν γραμμική μορφή και συναρθρώνονται σχηματίζοντας γεωμετρικά σχήματα.

Τα αποτελέσματα μελλοντικών ανασκαφών θα συμπληρώσουν την εικόνα που έδωσε η γεωφυσική διασκόπηση και θα οδηγήσουν στην πλήρη ερμηνεία της.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Aitken, M.J. Physics and Archaeology. Clarendon Press, Oxford, 1974.

Βλαχόπουλος, Α.Γ. Κόκκινο Βουνό: μία *πέριξ του άστεως* εγκατάσταση στο Ακρωτήρι. *ΑΛΣ. Περιοδική Έκδοση της Εταιρείας Στήριξης Προϊστορικής Θήρας*, 8 (2012-2012), 154-170, 2019.

Mauring, E., Beard, L.P., Kihle, O., Smethurst, M.A. A comparison of aeromagnetic levelling techniques with an introduction to median levelling. *Geophysical Prospecting*, 50, 43-54, 2002.

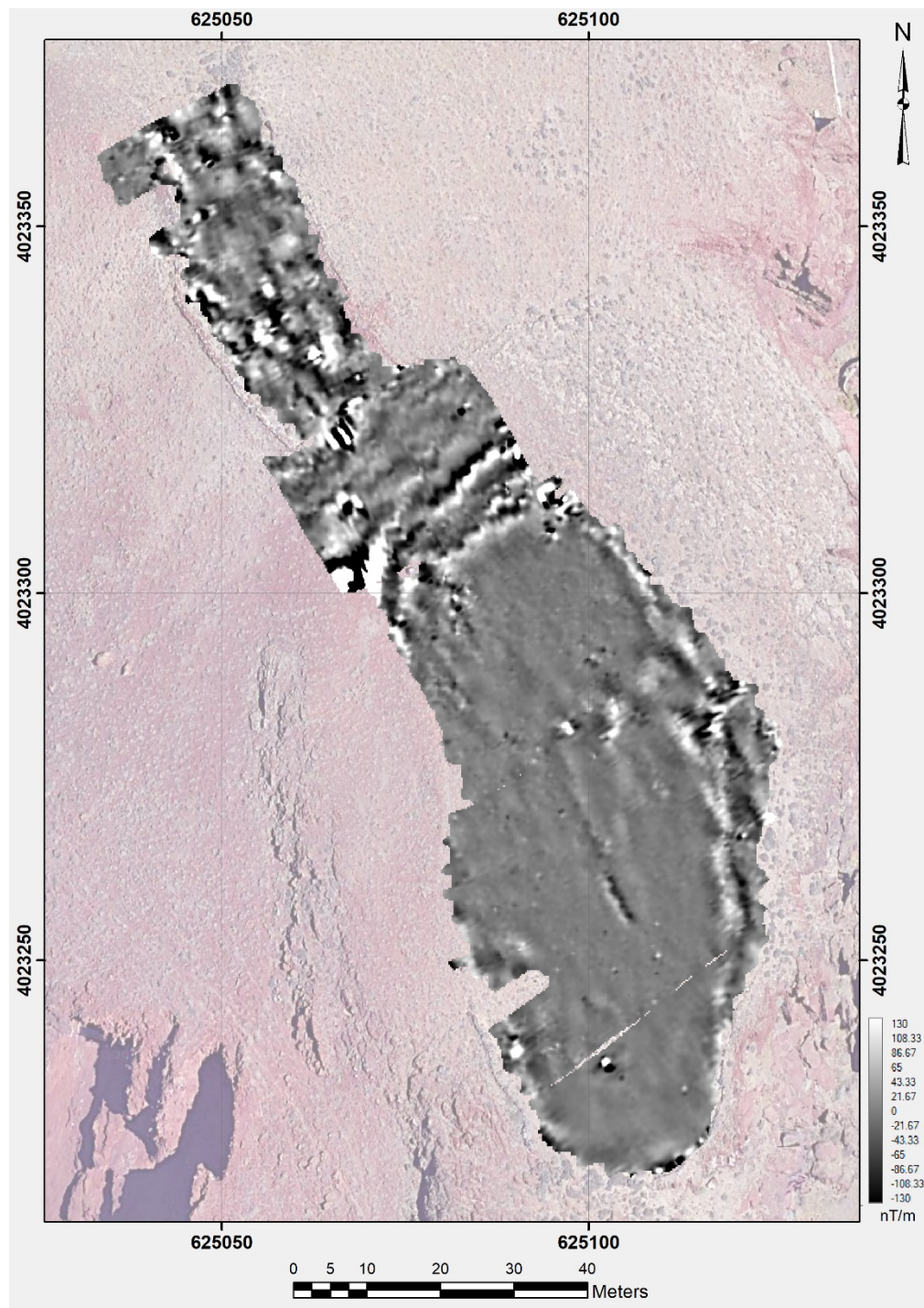
Scollar, I. Weidner, B. and Segeth, K. Display of archaeological magnetic data. *Geophysics*, 51, 3, 623-633, 1986.

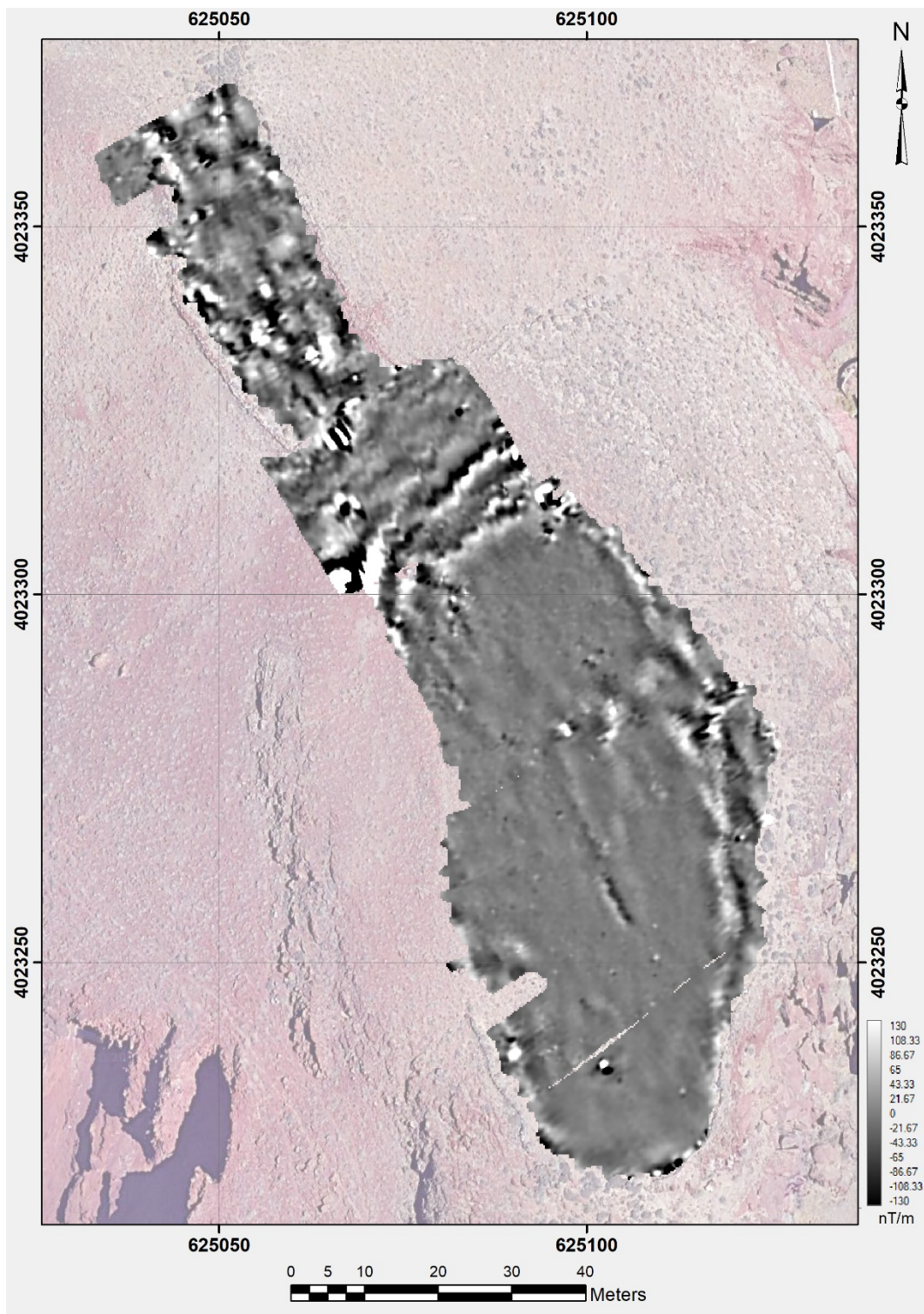
Τσόκας, Γ.Ν. Εισαγωγή στις μεθόδους ανάλυσης και ερμηνείας γεωλογικών παρατηρήσεων, Παν. Θεσ/νίκης, 1990.

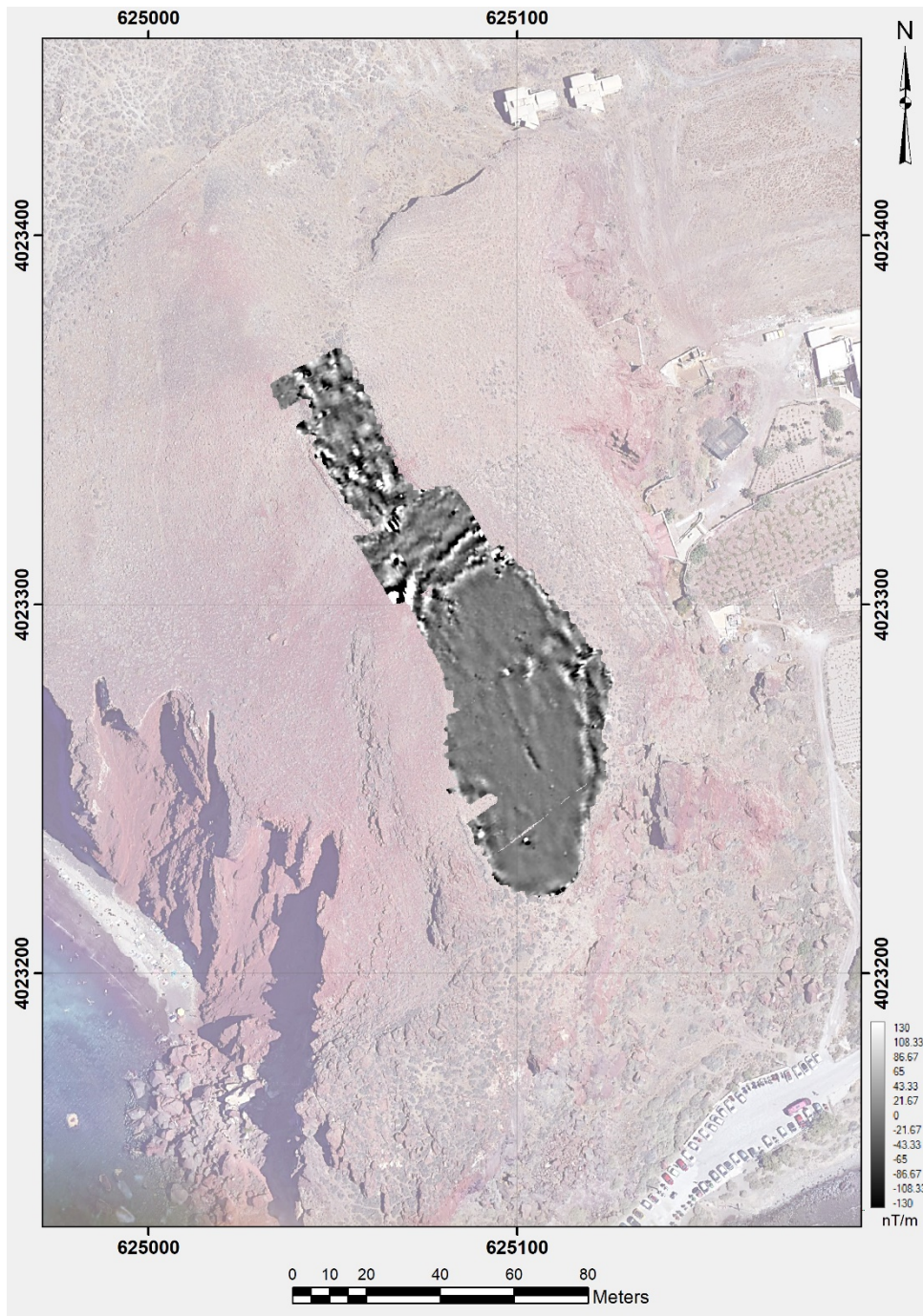
Tsokas, G.N., Giannopoulos, A., Tsourlos, P., Vargemezis, G., Tealby, J.M., Sarris, A., Papazachos, C.B. and Savopoulou, T. A large scale geophysical survey in the archaeological site of Europos (N. Greece) *Journal of Exploration Geophysics*, 32, 85-98, 1993.

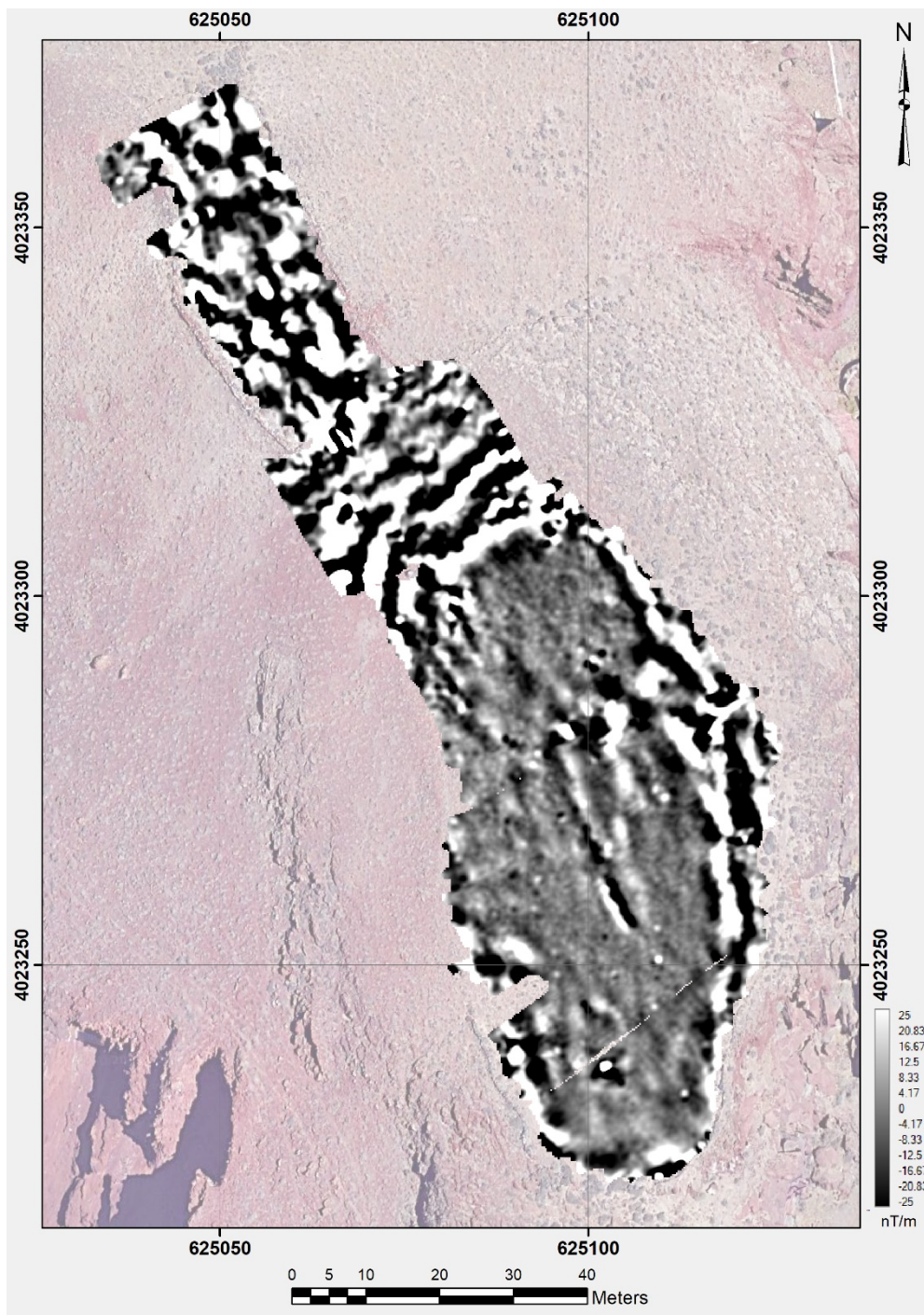
Τσόκας Γ.Ν., Βαργεμέζης Γ., Τσούρλος Π.Ι, Δρούγου Σ. και Σαατσόγλου-Παλιαδέλη, Χρ. Αρχαιολογία και Γεωφυσική: Εξερευνώντας τον Αρχαιολογικό χώρο της Βεργίνας (1984-2004). University Studio Press, σ. 107, 2006.

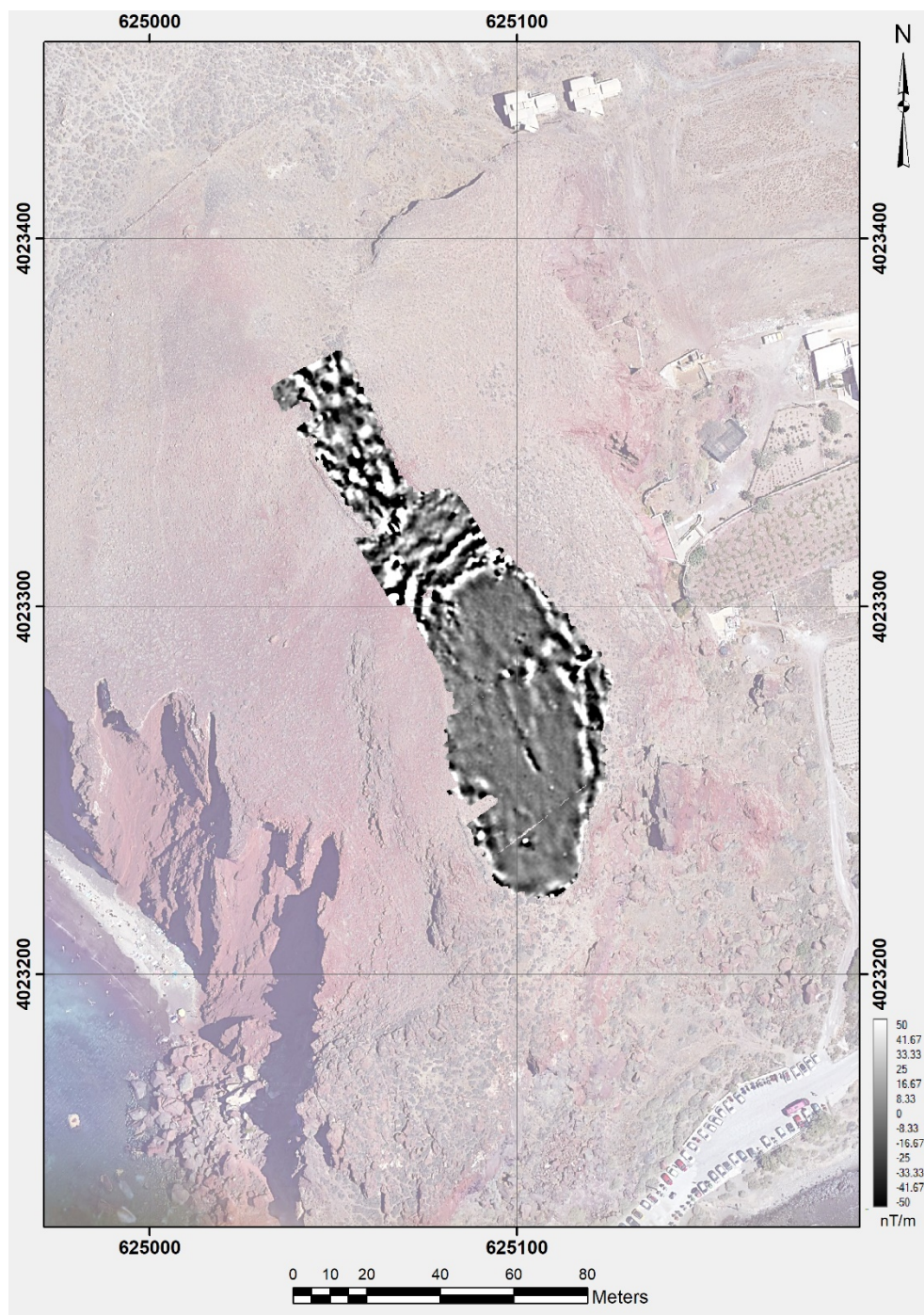
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι
ΚΟΚΚΙΝΟ ΒΟΥΝΟ

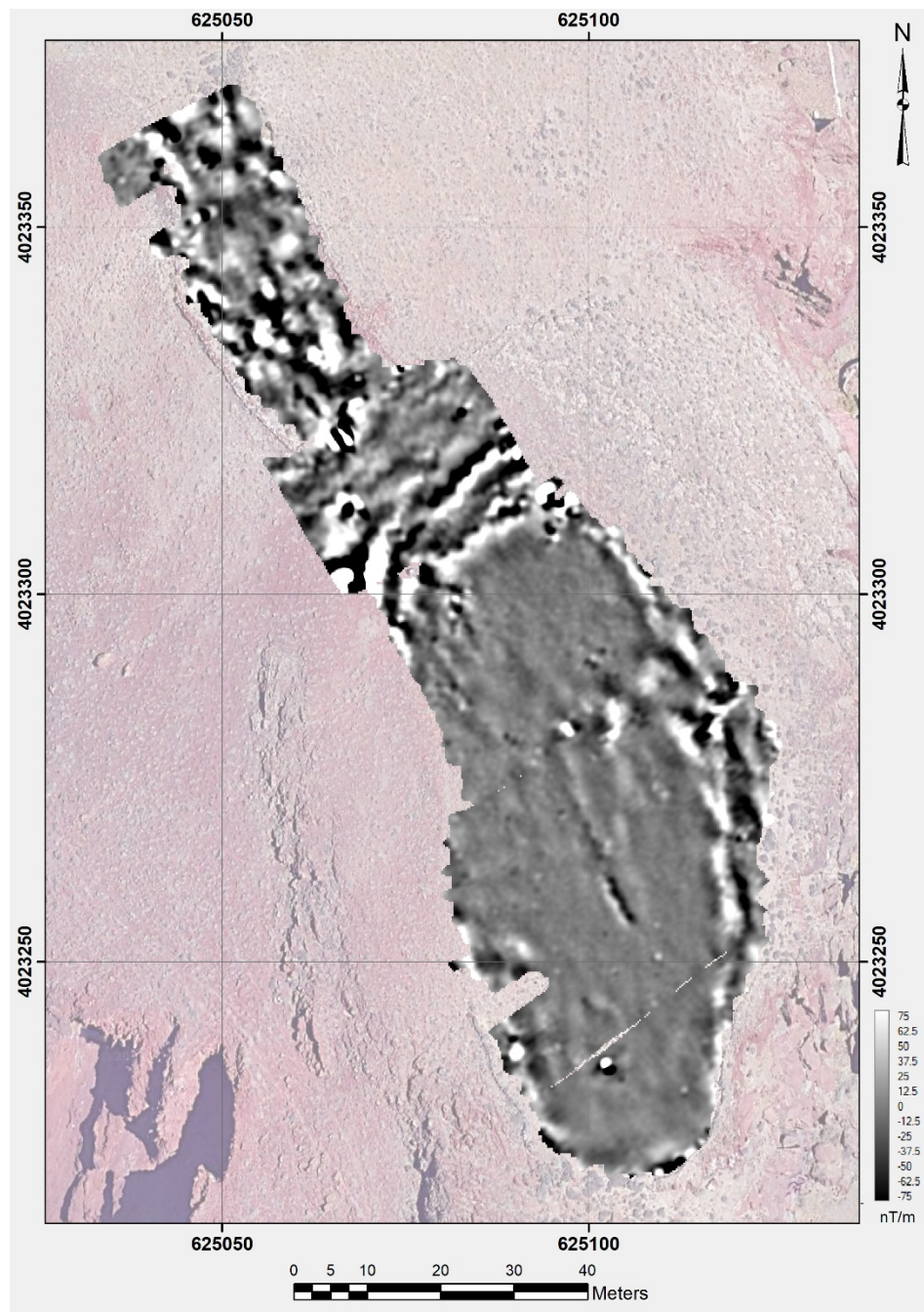












ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

ΒΟΡΕΙΩΣ ΤΗΣ ΑΝΑΣΚΑΦΗΣ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ



