



«Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών»

«Αποτύπωση Μνημείων και Αρχαιολογικών Χώρων»

Διπλωματική Εργασία

«Η συμβολή των γεωφυσικών διασκοπήσεων στον εντοπισμό και την διαχείριση
αρχαιολογικών χώρων. Η περίπτωση του αρχαιολογικού χώρου της Ιτάνου.»

Φωτιάδου Ραφαηλία-Χριστίνα

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Αικατερίνη Θεοδωρακόπουλου

Πάτρα, Ιούλιος, 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του/της φοιτητή/φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

«Η συμβολή των γεωφυσικών διασκοπήσεων στον εντοπισμό και την διαχείριση
αρχαιολογικών χώρων. Η περίπτωση του αρχαιολογικού χώρου της Ιτάνου.»

Φωτιάδου Ραφαηλία-Χριστίνα

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Αικατερίνη Θεοδωρακόπουλου

Μέλος ΣΕΠ

Τμήμα Εφαρμοσμένων Τεχνών και

Βιώσιμου Σχεδιασμού

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Συν-Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Ελισάβετ Τσιλιμάντου

Μέλος ΣΕΠ

Τμήμα Εφαρμοσμένων Τεχνών και

Βιώσιμου Σχεδιασμού

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Πάτρα, Ιούλιος, 2026

Φωτιάδου Ραφαηλία Χριστίνα, *«Η συμβολή των γεωφυσικών
διασκοπήσεων στον εντοπισμό και την διαχείριση αρχαιολογικών χώρων. Η περίπτωση του
αρχαιολογικού χώρου της Ιτάνου.»*

«Αφιερωμένη στους γονείς μου Αγάπη και Αλέξανδρο»

διασκοπήσεων στον εντοπισμό και την διαχείριση αρχαιολογικών χώρων. Η περίπτωση του αρχαιολογικού χώρου της Ιτάνου.»

Περίληψη

Η παρούσα εργασία μελετά τη συμβολή των γεωφυσικών διασκοπήσεων στην ανακάλυψη, χαρτογράφηση και προστασία των αρχαιολογικών χώρων εστιάζοντας στην περίπτωση της αρχαίας Ιτάνου, μιας σημαντικής αρχαίας πόλης-κράτους που βρίσκεται στο ανατολικό άκρο της Κρήτης. Επρόκειτο για μια ιδιαίτερη περίπτωση μελέτης καθώς το εδαφικό περιβάλλον θεωρείται πολύπλοκο εξαιτίας των προσχωσιγενών αποθέσεων, των αμμοθινών και της άμεσης επίδρασης του θαλασσινού νερού. Για να αντιμετωπίσουν οι ερευνητές αυτήν την περίπτωση, χρησιμοποίησαν έναν συνδυασμό μεθόδων που περιελάμβανε την ηλεκτρική τομογραφία (ERT), το Γεωραντάρ (GPR), τη μαγνητομετρία και τις σεισμικές μεθόδους.

Τα αποτελέσματα της έρευνας οδήγησαν στην ανασύνθεση της τοπογραφίας της αρχαίας πόλης μέσω του εντοπισμού οικιστικών συγκροτημάτων, οδικών δικτύων, νεκροταφείων. Παράλληλα, κατέστη δυνατή η αποκάλυψη της επιχωματωμένης λιμενολεκάνης -του αρχαίου λιμανιού και των αιτιών που οδήγησαν στην εξαφάνιση του αρχαίου λιμένα. Βέβαια το σημαντικότερο σημείο της μελέτης αποτελεί η επαλήθευση των αποτελεσμάτων των γεωφυσικών μεθόδων, μέσω της ανασκαφής των χώρων που υπέδειξαν οι γεωφυσικές ανωμαλίες. Τέλος, μέσω της μελέτης αυτής τονίστηκε η σημασία των μη καταστρεπτικών μεθόδων έρευνας στα πλαίσια της αρχαιολογίας και αναδείχθηκε ως ένα μέσο προστασίας αλλά και ανάδειξης των αρχαιολογικών χώρων.

Συμπερασματικά, η γεωφυσική έρευνα αποτελεί ένα σύγχρονο μέσο έρευνας στην αρχαιολογία του σήμερα, που μπορεί να οδηγήσει στην πλήρη ανασύνθεση και κατανόηση ολόκληρων αρχαιολογικών χώρων.

Λέξεις – Κλειδιά

Αρχαία Ίτανος, Γεωφυσική έρευνα, Ηλεκτρική τομογραφία, Γεωραντάρ, Μαγνητόμετρο

διασκοπήσεων στον εντοπισμό και την διαχείριση αρχαιολογικών χώρων. Η περίπτωση του αρχαιολογικού χώρου της Ιτάνου.»

«The contribution of geophysical prospection to the detection and management of archaeological sites: The case of the archaeological site of Itanos.»

Rafailia Christina Fotiadou

Abstract

This paper studies the contribution of geophysical prospection to the discovery, mapping, and protection of archaeological sites, focusing on the case of ancient Itanos, an important ancient city-state located at the eastern edge of Crete. It represents a unique case study, as the ground environment is considered complex due to alluvial depositions, sand dunes, and the direct impact of seawater. To address this challenge, researchers utilized a combination of methods that included Electrical Resistivity Tomography (ERT), Ground Penetrating Radar (GPR), magnetometry, and seismic methods.

The research results led to the reconstruction of the ancient city's topography through the detection of residential complexes, street networks, and cemeteries. Furthermore, it was possible to reveal the silted harbor basin—the ancient port—as well as the causes that led to the disappearance of the ancient harbor. Naturally, the most significant point of the study is the verification of the geophysical results through the excavation of the areas indicated by the geophysical anomalies. Finally, this study highlights the importance of non-destructive research methods within the framework of archaeology, establishing them as a mean for both the protection and promotion of archaeological sites.

In conclusion, geophysical research constitutes a modern mean of research in contemporary archaeology, capable of leading to the comprehensive reconstruction and understanding of entire archaeological sites.

Φωτιάδου Ραφαηλία Χριστίνα, *«Η συμβολή των γεωφυσικών διασκοπήσεων στον εντοπισμό και την διαχείριση αρχαιολογικών χώρων. Η περίπτωση του αρχαιολογικού χώρου της Ιτάνου.»*

Keywords

Ancient Itanos , Geophysical prospection, Electrical Resistivity Tomography (ERT), Ground Penetrating Radar (GPR), Magnetometry

διασκοπήσεων στον εντοπισμό και την διαχείριση αρχαιολογικών χώρων. Η περίπτωση του αρχαιολογικού χώρου της Ιτάνου.»

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	8
Abstract	9
Περιεχόμενα	11
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων.....	14
Κατάλογος Πινάκων.....	16
Συνοτομογραφίες & Ακρωνύμια	17
1. Εισαγωγή.....	16
1.1 Ερευνητικά ερωτήματα	17
1.2 Μεθοδολογικό Πλαίσιο.....	17
1.3 Περιορισμοί της έρευνας.....	18
2. Η γεωφυσική στην αρχαιολογική έρευνα	18
3. Παρουσίαση των βασικών γεωφυσικών τεχνικών	21
3.1.Μαγνητομετρία	21
3.1.1 Παράδειγμα χρήσης της Μαγνητομετρίας.....	23
3.2. Ηλεκτρική αντίσταση / Ηλεκτρική τομογραφία (ERT)	23
3.2.1 Παράδειγμα χρήσης Ηλεκτρικής αντίστασης/ ηλεκτρικού τομογράφου.....	25
3.3. Γεωραντάρ (GPR-Ground Penetrating Radar).....	25
3.3.1 Παράδειγμα χρήσης του Γεωραντάρ (GPR).....	27
3.4 Σεισμικές τεχνικές.....	27
3.4.1 Παράδειγμα χρήσης σεισμικών τεχνικών	28
3.5 Τηλεπισκόπηση	29
3.5.1 Παράδειγμα χρήσης της τηλεπισκόπησης (Lidar)	31
3.6. Υποβρύχιες τεχνικές.....	32
3.6.1 Κυρίες μέθοδοι σάρωσης	33
3.6.2. Παράδειγμα χρήσης Υποβρύχιων Τεχνικών	34
4.Μεθοδολογία των γεωφυσικών μετρήσεων	36
4.1 Κριτήρια επιλογής κατάλληλων γεωφυσικών μεθόδων.....	36

διασκοπήσεων στον εντοπισμό και την διαχείριση αρχαιολογικών χώρων. Η περίπτωση του αρχαιολογικού χώρου της Ιτάνου.»

4.2 Σχεδιασμός μελέτης της έκτασης, χωρική αναφορά και διαίρεση της έκτασης με την χρήση πλέγματος- κανάβου	37
4.3 Επεξεργασία δεδομένων και ψηφιακή απεικόνιση	38
4.4 Ερμηνεία των γεωφυσικών ανωμαλιών	39
5. Η περίπτωση μελέτης του αρχαιολογικού χώρου της αρχαίας Ιτάνου.....	40
5.1 Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά και τοπογραφία της αρχαιολογικής θέσης.....	41
5.2 Γεωλογικό- Γεωμορφολογικό υπόβαθρο της Ιτάνου	42
5.3 Προκλήσεις κατά την γεωφυσική έρευνα	43
6. Αρχαιολογικά δεδομένα για τη θέση.....	44
6.1 Ιστορικό των αρχαιολογικών ερευνών στην αρχαία Ίτανο.....	45
7. Αναλυτική παρουσίαση των γεωφυσικών μεθόδων που ακολουθήθηκαν στην έρευνα της αρχαίας Ιτάνου και των αποτελεσμάτων τους.....	47
7.1 Σχεδιασμός της έρευνας και στρατηγική πολλαπλών μεθόδων.....	47
7.2 Μαγνητική Χαρτογράφηση, Εφαρμογή μεθόδου, ψηφιακή επεξεργασία και ευρήματα έρευνας	48
7.2.1 Αποτελέσματα και ερμηνεία των μαγνητικών χαρτών	49
7.3 Ηλεκτρική Τομογραφία/Διασκόπηση (ERT).....	51
7.3.1 Αποτελέσματα και ερμηνεία της Ηλεκτρικής Διασκόπησης/Τομογραφίας	52
7.4 Μέθοδος του Γεωραντάρ (GPR).....	53
7.4.1 Αποτελέσματα του Γεωραντάρ GPR	54
7.5 Σεισμικές τεχνικές.....	55
7.5.1 Αποτελέσματα σεισμικών τεχνικών	55
7.6 Μέθοδοι τηλεπισκόπησης και αποτελέσματα	57
7.7 Τρισδιάστατη απεικόνιση της Αρχαίας Ιτάνου	58
7.8 Συνδυασμός μεθόδων και συνθέτη ερμηνεία των αποτελεσμάτων	60
7.9 Σύγκριση με αρχαιολογικά δεδομένα.....	61
7.10 Επιβεβαίωση από ανασκαφές ή άλλες πηγές.....	62
8. Συμβολή των γεωφυσικών μεθόδων στη διαχείριση του αρχαιολογικού χώρου - Κριτική αποτίμηση των ερευνών.....	63

διασκοπήσεων στον εντοπισμό και την διαχείριση αρχαιολογικών χώρων. Η περίπτωση του αρχαιολογικού χώρου της Ιτάνου.»

8.1 Προτάσεις περαιτέρω έρευνας	64
9. Συμπεράσματα	66
Βιβλιογραφία.....	68
Ελληνική Βιβλιογραφία	71

διασκοπήσεων στον εντοπισμό και την διαχείριση αρχαιολογικών χώρων. Η περίπτωση του αρχαιολογικού χώρου της Ιτάνου.»

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Εικόνα 1: Χρήση μαγνητομέτρου στο πεδίο	22
Εικόνα 2: Ηλεκτρική αντίσταση στο πεδίο.....	24
Εικόνα 3: Γεωραντάρ (GPR).....	26
Εικόνα 4: Σεισμική τεχνική.....	27
Εικόνα 5: Σεισμική σφύρα βάρους 5kg.....	28
Εικόνα 6:Χρήση lidar σε drone	31
Εικόνα 7: Ηχοβολιστής πυθμένα.....	33
Εικόνα 8: Τοπογραφικό της αρχαίας Ιτάνου.....	41
Εικόνα 9: Χάρτης της Κρήτης	41
Εικόνα 10: Αεροφωτογραφία του αρχαιολογικού χώρου της Ιτάνου.....	42
Εικόνα 11 :Χάρτης με τις βασικές αλπικές ενότητες της Κρήτης	43
Εικόνα 12: Χάρτης χρήσης γεωφυσικών τεχνικών.. ..	49
Εικόνα 13 :Μαγνητικός χάρτης.....	50
Εικόνα 14: Χάρτης μαγνητικής διαβάθμισης, σε συνδυασμό με αεροφωτογραφία	52
Εικόνα 15: Κάτοψη της κοιλάδας-αεροφωτογραφία.....	53
Εικόνα 16: Συνδυασμός ηλεκτρικής τομογραφίας και αντίστασης	54
Εικόνα 17: Λεπτομέρεια κάτοψης του οικισμού των περιοχών χρήσης του Γεωραντάρ...55	
Εικόνα 18: Χρονικές φέτες με μαγνητικές ανωμαλίες.....	56
Εικόνα 19: Κατανομή βάθους.....	57
Εικόνα 20: Αποτύπωση της παλαιολεκάνης με σεισμικές μεθόδους.....	58
Εικόνα 21: Το βόρειο νεκροταφείο-3d σχεδιασμός.....	59
Εικόνα 22: Η αρχαία νεκρόπολη-3d σχεδιασμός.....	60
Εικόνα 23: Περιοχές ανασκαφής.....	61

Φωτιάδου Ραφαηλία Χριστίνα, *«Η συμβολή των γεωφυσικών
διασκοπήσεων στον εντοπισμό και την διαχείριση αρχαιολογικών χώρων. Η περίπτωση του
αρχαιολογικού χώρου της Ιτάνου.»*

διασκοπήσεων στον εντοπισμό και την διαχείριση αρχαιολογικών χώρων. Η περίπτωση του αρχαιολογικού χώρου της Ιτάνου.»

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Γεωφυσικές μέθοδοι και τα χαρακτηριστικά τους.....	14
Πίνακας 2: Μαγνητικές ανωμαλίες που προέκυψαν και η ερμηνεία τους.....	24
Πίνακας 3: Μοντέλο τριών διακριτών στρωμάτων στο υπέδαφος της κοιλάδας.....	58

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

ERT Electrical Resistivity Tomography

GPR Ground Penetrating Radar

1. Εισαγωγή

Η Αρχαιολογία ως επιστήμη τα τελευταία χρόνια έχει αλλάξει ριζικά. Από μία επιστήμη που είχε ως βάση την χειρονακτική εργασία και την παρατήρηση των ευρημάτων, έχει μετατραπεί σε ένα πεδίο διεπιστημονικότητας, όπου συνεργάζεται με τις θετικές επιστήμες. Σημαντικότερο ρόλο σε αυτό το πεδίο έχει η γεωφυσική έρευνα, η οποία μέσα από την φυσική, την πληροφορική και την γεωλογία βοηθάει στον εντοπισμό, την αποτύπωση και την ερμηνεία αρχαιολογικών καταλοίπων που βρίσκονται στο υπέδαφος (Gaffney & Gater, 2003).

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τη χρήση των γεωφυσικών διασκοπήσεων στον εντοπισμό και τη διαχείριση αρχαιολογικών χώρων, με μη-καταστροφικό τρόπο. Γίνεται σταδιακή ανάλυση της χρήσης αυτών των μεθόδων κατά την διάρκεια των χρόνων και πώς αυτές συνέβαλαν στην αρχαιολογία και την βοήθησαν στον επιστημονικό τομέα. Έπειτα, γίνεται αναλυτική παρουσίαση διαφόρων μεθόδων (πώς λειτουργούν και πώς εφαρμόζονται στην αρχαιολογία, σε συνδυασμό με την χρήση παραδειγμάτων για την κάθε μια). Οι μέθοδοι που θα αναλυθούν είναι η μαγνητομετρία, η ηλεκτρική αντίσταση, το γεωραντάρ, η τηλεπισκόπηση, οι σεισμικές και υποβρύχιες τεχνικές.

Στην συνέχεια, παρουσιάζεται η γενικότερη μεθοδολογία των μετρήσεων αυτών. Από ποιους παράγοντες επηρεάζονται, πώς συλλέγονται τα δεδομένα, ποιοι περιορισμοί προκύπτουν, ποιά λογισμικά προτιμούνται για την επεξεργασία των δεδομένων και πώς συσχετίζονται με τα ήδη υπάρχοντα αρχαιολογικά δεδομένα. Επιπλέον, θα παρουσιαστεί η περίπτωση μελέτης, η οποία αφορά τον αρχαιολογικό χώρο της Ιτάνου. Θα ακολουθήσει περιγραφή των αρχαιολογικών δεδομένων του χώρου και πώς οι τεχνικές αυτές βοήθησαν στην ανάδειξη του χώρου, αλλά και της αναγκαιότητας τους για την έρευνα. Έπειτα, γίνεται λεπτομερής περιγραφή των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν ενώ θα ακολουθήσει παρουσίαση των αποτελεσμάτων τους και ανάλυση τους (π.χ. παρουσίαση χαρτών, σύγκριση δεδομένων, ερμηνεία ανωμαλιών).

Τέλος, θα γίνει μια γενική αποτίμηση της χρήσης των γεωφυσικών διασκοπήσεων και μία προσωπική κριτική επί του θέματος, και προτάσεις για μελλοντικές εφαρμογές.

1.1 Ερευνητικά ερωτήματα

Η συγκεκριμένη εργασία έχει στόχο την αξιολόγηση των γεωφυσικών δεδομένων που αντλήθηκαν κατά την γεωφυσική έρευνα στον αρχαιολογικό χώρο της Ιτάνου, η οποία στόχο είχε την ανασύσταση της χωροταξικής και παλαιοπεριβαλλοντικής εξέλιξης. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός θα πρέπει να απαντηθούν τα παρακάτω ερωτήματα:

- Πώς αποτυπώνεται ο αρχαίος οικισμός στην κεντρική κοιλάδα;
- Ποιά είναι τα ακριβή όρια των νεκροπόλεων και με ποιες τεχνικές αναγνωρίζονται τα είδη των ταφών;
- Ποια ήταν η γεωμετρία και ποιο το βάθος της λιμενολεκάνης πριν την επίχωση της και ποιοι παράγοντες συνέβαλαν σε αυτό;
- Κατά πόσο οι γεωφυσικές ανωμαλίες ανταποκρίνονται στην πραγματική στρωματογραφία, μετά την αρχαιολογική-ανασκαφική επαλήθευση;

1.2 Μεθοδολογικό Πλαίσιο

Για την απάντηση των παραπάνω ερωτημάτων εφαρμόστηκε ένας συνδυασμός μεθόδων που χωρίστηκε ως εξής:

- Μακροκλίμακα: όπου χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι τηλεπισκόπησης, αερομεταφερόμενο Lidar, αεροφωτογράφιση, για την χαρτογράφηση του ευρύτερου αναγλύφου.
- Μικροκλίμακα: όπου έλαβε χώρα η χρήση επίγειων γεωφυσικών διασκοπήσεων υψηλής ανάλυσης, όπως μαγνητομετρία, Γεωραντάρ για τον εντοπισμό ανθρωπογενών δομών σε μικρό βάθος.
- Βαθύτερη υποεπιφανειακή δομή: χρησιμοποιήθηκαν σεισμικές μέθοδοι και ηλεκτρικής τομογραφίας για τον προσδιορισμό του γεωλογικού υποβάθρου και των ιζηματολογικών φάσεων του αρχαίου λιμανιού.
- Ψηφιακή σύνθεση: όπου ενοποιήθηκαν τα δεδομένα σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), όπου διασταυτώθηκαν τα δεδομένα με τα αρχαιολογικά τεκμήρια.

1.3 Περιορισμοί της έρευνας

Για την ερμηνεία των δεδομένων της αρχαίας Ιτάνου ληφθήκαν υπόψιν ορισμένοι περιορισμοί προκειμένου να αποφευχθούν εσφαλμένα συμπεράσματα. Συγκεκριμένα οι περιορισμοί ήταν οι εξής: ο υφάλμυρος υδροφόρος ορίζοντας, όπου η υψηλή αγωγιμότητα του αλμυρού νερού μειώνει το βάθος διείσδυσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων του Γεωραντάρ και αλλοιώνει τις τιμές της ηλεκτρικής αντίστασης, κάνοντας απαραίτητη την χρήση των σεισμικών μεθόδων. Οι γεωμορφολογικές μεταβολές και οι επιχώσεις έχουν προκαλέσει την άνιση επίχωση των αρχιτεκτονικών καταλοίπων, γεγονός που δυσκολεύει την ομοιόμορφη χαρτογράφηση με μεμονωμένες μεθόδους. Επίσης οι σύγχρονες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (π.χ. περιφράξεις) περιορίζουν την δυνατότητα διασκόπησης σε κάποιες περιοχές. Τέλος, η αναγνώριση των αρχαιολογικών ιχνών με αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες επηρεάζεται άμεσα από την εποχή και από την υγρασία του εδάφους.

2. Η γεωφυσική στην αρχαιολογική έρευνα

Μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο ανακαλύφθηκαν νέες ερευνητικές κατευθύνσεις στο τομέα της αρχαιολογίας με μια από τις βασικότερες τη χρήση γεωφυσικών μεθόδων στην ανασκαφική διαδικασία, με βασικά παραδείγματα την ηλεκτρική και μαγνητική διασκόπηση του υπεδάφους. Οι δύο αυτές μέθοδοι έκαναν την πρώτη τους εμφάνιση στην Αγγλία και συγκεκριμένα η ηλεκτρική αντίσταση δοκιμάστηκε συστηματικά από τον Richard Atkinson το 1946, ενώ η χρήση μαγνητόμετρων την δεκαετία του 1950 (Aspinall et al., 2009). Από τότε και στο εξής παρατηρήθηκε πιο εντατική χρήση τους, χάρη στην εξέλιξη της τεχνολογίας (ηλεκτρονικοί υπολογιστές, συστήματα GPS αλλά και ανάπτυξη λογισμικών) και κατά συνέπεια της αυτοματοποίησης του τρόπου συλλογής των δεδομένων.

Οι γεωφυσικές έρευνες στον τομέα της αρχαιολογίας βασίζονται στην αρχή της ύπαρξης φυσικών ανωμαλιών στο φυσικό υπέδαφος, δηλαδή στο περιβάλλον έδαφος στο

οποίο εντοπίζονται οι αρχαιολογικές δομές. Ουσιαστικά, καταγράφονται οι μεταβολές που εντοπίζονται και μετατρέπονται σε τιμές και δεδομένα.

Με το πέρασμα του χρόνου, η χρήση των γεωφυσικών μεθόδων δεν θεωρείται απλώς ένα βοηθητικό εργαλείο στην αρχαιολογική έρευνα, αλλά αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι, ως το αρχικό στάδιο σε οποιαδήποτε αρχαιολογική δράση (Sarris, 2015). Βέβαια, η ερμηνεία των δεδομένων από τις έρευνες αυτές δεν είναι πάντα εύκολη, εξαιτίας μεταγενέστερων παρεμβάσεων και εξαιτίας παρερμηνείας των δεδομένων. Για τον λόγο αυτόν θεωρείται σημαντική η συνεργασία μεταξύ αρχαιολόγων και άλλων ειδικοτήτων. Τέλος, όπως αναφέρουν και οι Gaffbey και Gater (2003), η γεωφυσική δεν ανακαλύπτει τα ίδια τα αρχαία κατάλοιπα, αλλά φυσικές ανωμαλίες, οι οποίες πρέπει να ερμηνευθούν για να οδηγηθούμε σε ασφαλή αποτελέσματα.

Η χρήση αυτών των μεθόδων στην Αρχαιολογία προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, με κυριότερο την ανάλυση αρχαιολογικών θέσεων και την εξαγωγή δεδομένων από τις ίδιες, χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση παραδοσιακών μεθόδων ανασκαφής. Με την διαδικασία αυτή μπορεί να εξοικονομηθούν τόσο χρήματα όσο και κόπος, καθώς η έρευνα θα είναι πιο στοχευμένη αφού πλέον θα είναι γνωστά βασικά χαρακτηριστικά της ανασκαφικής θέσης. Χαρακτηριστικά, θα είναι πιο συγκεκριμένα τα σημεία που θα επιλεγθούν για το πού θα γίνει η ανασκαφή, θα είναι πιο εύκολο να οργανωθεί το εργατικό δυναμικό που χρειάζεται, χωρίς να υπάρχουν ελλείψεις και τέλος με την διαδικασία της γεωφυσικής διασκόπησης θα είναι πιο στοχευμένα τα επιχειρήματα που αφορούν στην έρευνα. Ένα ακόμη πλεονέκτημα θα μπορούσε να θεωρηθεί η χρήση των μεθόδων αυτών κατά τη διάρκεια της έρευνας σε αστικές περιοχές, όπου η περιοχή καλύπτεται από κτήρια και δεν είναι δυνατή η ανασκαφή. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση της σωστικής αρχαιολογίας. Τέλος, θα μπορούσε να ειπωθεί πως οι γεωφυσικές έρευνες αποτελούν την λύση στην έλλειψη χρόνου, την πίεση που δέχονται οι αρχαιολόγοι, αλλά και στην έλλειψη κονδυλίων για ανασκαφικές έρευνες, καθώς είναι αποτελεσματικές σε μεγάλο βαθμό και μπορούν να δώσουν αποτελέσματα σχεδόν άμεσα.

Βέβαια προκύπτουν και κάποιοι περιορισμοί στην χρήση των γεωφυσικών μεθόδων στην αρχαιολογία, η κατανόηση των οποίων βοηθάει σημαντικά στην σωστή ερμηνεία των δεδομένων αλλά και στον σωστό σχεδιασμό της έρευνας. Αρχικά, οι φυσικοί και περιβαλλοντικοί περιορισμοί μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση των αισθητήρων.

Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της φυσικοχημικής ιδιότητας του εδάφους, όπου σε περιπτώσεις με άργιλο και με υψηλά επίπεδα αλατότητας οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι ιδιαίτερα υψηλές. Αυτό για παράδειγμα μπορεί να επιφέρει γρήγορη απόσβεση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων του Γεωραντάρ, μην επιτρέποντας την βαθιά διείσδυση στο έδαφος (Conyers, 2013).

Επίσης, οι έντονες κλίσεις του αναγλύφου, η έντονη βλάστηση ακόμη και η ξηρότητα του εδάφους μπορούν να επηρεάσουν τις μετρήσεις και να εμποδίσουν την σάρωση (π.χ. ηλεκτρική τομογραφία) (Loke, 2001). Στην συνέχεια, στους περιορισμούς που προκύπτουν μπορούν να ενταχθούν οι ανθρώπινες παρεμβάσεις και οι νεότερες αλλοιώσεις που μπορούν να προκαλέσουν ηλεκτρομαγνητικά και μεταλλικά παράσιτα, εξαιτίας διάφορων μεταλλικών στοιχείων. Οι ερμηνευτικοί περιορισμοί είναι εξίσου ένας από τους προβληματισμούς. Συγκεκριμένα υπάρχουν διαφορετικά υλικά τα οποία μπορούν να δώσουν τα ίδια αποτελέσματα κατά την μέτρηση. Για παράδειγμα, μπορεί μια ανωμαλία να είναι είτε ένας αρχαίος τοίχος ή ακόμη και μία συγκέντρωση ριζών.

Σημαντικός περιορισμός είναι εξίσου η αδυναμία άμεσης χρονολόγησης με την χρήση γεωφυσικών μεθόδων, καθώς αυτές έχουν την δυνατότητα να καταγράφουν τις φυσικές ιδιότητες των υλικών (Gaffney & Gater, 2003).

Τέλος, για την συλλογή, την επεξεργασία και την ερμηνεία των δεδομένων χρειάζεται εξειδικευμένο προσωπικό (φυσικοί, γεωλόγοι κ.ά) και ειδικός εξοπλισμός, που μπορούν να επιφέρουν τεράστιο κόστος στο πρόγραμμα της έρευνας.

Συμπερασματικά, η γεωφυσική διασκόπηση νοείται ως μια έμμεση μέθοδος και δεν μπορεί να αντικαταστήσει την αρχαιολογική ανασκαφή, καθώς τα αποτελέσματα της είναι υποθέσεις οι οποίες επαληθεύονται ή όχι μέσα από την ανασκαφή και άλλες μεθόδους.

3. Παρουσίαση των βασικών γεωφυσικών τεχνικών

Κατά την διάρκεια της έρευνας, σημαντικό βήμα είναι η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου- τεχνικής , η οποία επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους, όπως οι συνθήκες που επικρατούν στο σημείο, το ανάγλυφο του εδάφους, ο προϋπολογισμός της έρευνας ακόμη και ο χρόνος που δίνεται για την ολοκλήρωση της έρευνας. Οι γεωφυσικές τεχνικές χωρίζονται σε παθητικές και ενεργητικές. Οι πρώτες χρησιμοποιούνται για την καταγραφή των φυσικών πεδίων (π.χ η μαγνητομετρία) και οι δεύτερες ουσιαστικά διοχετεύουν ενέργεια στο έδαφος και μετράνε την απόκριση αυτού (π.χ. γεωραντάρ) (Πιν.1).

3.1.Μαγνητομετρία

Η μαγνητομετρία είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος γεωφυσικών ερευνών που χρησιμοποιείται στην αρχαιολογία (Aspinall et al.,2009). Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει ως βάση την μέτρηση των τοπικών διαταραχών του μαγνητικού πεδίου της Γης, οι οποίες είναι αποτέλεσμα της παρουσίας αντικειμένων που βρίσκονται εντός του υπεδάφους και έχουν σιδηρομαγνητικές ιδιότητες ή αυξημένη μαγνητική επιδεκτικότητα (magnetic susceptibility).

Οι μαγνητικές αυτές ανωμαλίες προκαλούνται με την χρήση δύο κύριων μηχανισμών: την θερμο-παραμένουσα μαγνήτιση και την μαγνητική επιδεκτικότητα του εδάφους. Στην πρώτη περίπτωση τα αντικείμενα, στα οποία εμπεριέχονται οξείδια του σιδήρου (πηλός), όταν θερμανθούν σε υψηλούς βαθμούς (π.χ. κεραμικός κλίβανος), οι μαγνητικοί πόλοι των ορυκτών ευθυγραμμίζονται με το μαγνητικό πεδίο της γης. Όταν η θερμοκρασία πέσει η ευθυγράμμιση αυτή διατηρείται και έτσι δημιουργείται η μαγνητική ανωμαλία (Scolla et al.,1990). Στην δεύτερη περίπτωση μέσω της ανθρώπινης δραστηριότητας (π.χ. καύση) υποβοηθάται η μετατροπή των ασθενών οξειδίων του σιδήρου που βρίσκονται στο έδαφος σε μορφές με μεγαλύτερη μαγνήτιση. Με αυτόν τον τρόπο, ανθρώπινα δημιουργήματα όπως οι τάφοι (κλίβανοι κυρίως) , οι λάκκοι απόρριψης

και άλλα εμφανίζουν έντονη μαγνητική αντίθεση σε σχέση με το φυσικό υπέδαφος που δεν έχει αναταραχθεί (Gaffney & Gater, 2003).

Σε αντίθεση με τα παραπάνω υλικά, οι κατασκευές από ασβεστόλιθο ή μάρμαρο έχουν έλλειψη σιδηρομαγνητικών στοιχείων και εμφανίζονται ως αρνητικές μαγνητικές ανωμαλίες. Για να γίνουν οι μετρήσεις αυτές, χρησιμοποιούνται μαγνητόμετρα (gradiometers) , τα οποία φέρουν δυο αισθητήρες σε κατακόρυφη διάταξη και με αυτόν τον τρόπο αφαιρούνται οι διακυμάνσεις του μαγνητικού πεδίου και απομονώνονται τα σήματα που προκύπτουν από το υπέδαφος. (Εικ. 1)



Εικόνα 1: Χρήση μαγνητομέτρου στο πεδίο.

<https://www.sciencesource.com/2159327-flux-gate-magnetometer-in-use-stock-image-rights-managed.html>

3.1.1 Παράδειγμα χρήσης της Μαγνητομετρίας

Ένα από τα πιο γνωστά και σημαντικά παραδείγματα χρήσης της μαγνητομετρίας στην Ελλάδα είναι η Αρχαία Ευρωπός, όπου έγινε συστηματική γεωφυσική διασκόπηση από το εργαστήριο γεωφυσικής του ΑΠΘ. Πρόκειται για μια σημαντική αρχαία πόλη, η οποία λόγω της μεγάλης έκτασης της, η οποία ήταν καλυμμένη από καλλιέργιες δεν θα μπορούσε να αποκαλυφθεί σύντομα. Χρησιμοποιήθηκαν λοιπόν μαγνητικά βαθμιδόμετρα με τα οποία σαρώθηκε η τεράστια έκταση. Αποκαλύφθηκε ένα οργανωμένο υποδομικό πολεοδομικό σύστημα. Οι δρόμοι του συστήματος αυτού και οι κατοψεις των κατοικιών αποτυπώθηκαν ως γραμμικές ανωμαλίες χαμηλής έντασης. Στην συνέχεια, η διαδικασία της ανασκαφής έγινε με τεράστια ακρίβεια χάρη στους χάρτες που δημιουργήθηκαν και ήρθαν στο φως τα ευρήματα, τα οποία επιβεβαίωσαν την αξιοπιστία της μεθόδου (Vargemezis et al.,2012).

3.2. Ηλεκτρική αντίσταση / Ηλεκτρική τομογραφία (ERT)

Η μέθοδος αυτή έχει ως βάση τον νόμο του Ohm και τη μέτρηση της φαινομενικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους, όσο γίνεται διοχέτευση συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος χαμηλής συχνότητας με την χρήση ηλεκτροδίων.

Για να ολοκληρωθεί η διαδικασία της ηλεκτρικής αντίστασης είναι απαραίτητη η επαφή με το έδαφος και για τον λόγο αυτόν χρησιμοποιούνται ένα ζευγάρι μεταλλικών ηλεκτροδίων για να διοχετευθεί το ηλεκτρικό ρεύμα και ένα ακόμη για να υπολογισθεί η προκύπτουσα διαφορά δυναμικού (Clark,1996).

Η αγωγιμότητα του εδάφους επηρεάζεται από την υγρασία και το ποσοστό ηλεκτρολυτών στους πόρους αυτού. Έτσι, οι θαμμένες δομές που είναι συμπαγείς και όχι πορώδεις (λίθινοι τοίχοι, τάφοι, δρόμοι κ.ά) εμφανίζουν υψηλή αντίσταση (high resistance) διότι βρίσκονται ανάμεσα στη ροή του ρεύματος, σαν φυσικά εμπόδια. Από την άλλη πλευρά, οι κατασκευές-αντικείμενα που περιλαμβάνουν νερό και έχουν χαλαρή σύσταση (π.χ. πηγάδια, λάκκοι), εμφανίζουν ανωμαλίες χαμηλής αντίστασης (low resistance) (Schmidt,2013).

Αρχικά, στις έρευνες χρησιμοποιήθηκαν σταθερές διατάξεις ηλεκτροδίων, τις οποίες μετακινούσαν χειροκίνητα στον σχεδιασμένο κάναβο, κατασκευάζοντας έτσι δισδιάστατους χάρτες, όπου ήταν ορατή η κατανομή της αντίστασης, που αφορούσε σε ένα συγκεκριμένο βάθος διείσδυσης.

Με την εξέλιξη της μεθόδου αυτής δημιουργήθηκε η Ηλεκτρική Δισδιάστατη και Τρισδιάστατη τομογραφία (ERT-Electrical Resistivity Tomography). Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται πολυηλεκτροδικά συστήματα, τα οποία έχουν συνδεθεί με έναν κεντρικό μεταγωγέα, και μέσω των οποίων γίνονται μετρήσεις σε διαφορετικές αποστάσεις και έτσι είναι εφικτή η δημιουργία κατακόρυφης τομής του εδάφους έπειτα από την χρήση αλγόριθμων. Τέλος, πρόκειται για μια από τις πολυτιμότερες μεθόδους καθώς με την χρήση της είναι δυνατός ο ακριβής υπολογισμός του βάθους των θεμελίων, του πάχους τους ακόμη και της στρωματογραφίας (Vafidis et al., 2005).



Εικόνα 2: Ηλεκτρική αντίσταση στο πεδίο.

<https://el.wikipedia.org/wiki/>

[Έρευνα ηλεκτρικής αντίστασης](#)

3.2.1 Παράδειγμα χρήσης Ηλεκτρικής αντίστασης/ ηλεκτρικού τομογράφου

Στις έρευνες που έγιναν στον τύμβο Καστά στην Αμφίπολη, η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας συνέβαλε σημαντικά στην αντίληψη της δομής του λόφου πριν και κατά την διαδικασία της ανασκαφής. Εξαιτίας του μεγέθους του μνημείου, οι υπόλοιπες τεχνικές δεν ήταν ιδιαίτερα βοηθητικές. Οι ερευνητές από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης χρησιμοποίησαν γραμμές ηλεκτροδίων γύρω και πάνω στον λόφο. Έτσι αποκαλύφθηκαν το σχήμα του υποβάθρου και η διαδικασία δημιουργίας των επιχώσεων του τύμβου. Τέλος, εξαιτίας της υψηλής ηλεκτρικής αντίστασης σε ορισμένα σημεία, εντοπίστηκε ο περίβολος που ήταν κατασκευασμένος από μάρμαρο Θάσου και άλλα λίθινα αρχιτεκτονήματα, ο εντοπισμός των οποίων ενίσχυσε τις πληροφορίες που αφορούσαν στην στατική επάρκεια και την ακριβή θέση των αρχιτεκτονημάτων (Tsokas et al., 2018).

3.3. Γεωραντάρ (GPR-Ground Penetrating Radar)

Πρόκειται για την πιο ανεπτυγμένη τεχνολογικά και υψηλής ανάλυσης μέθοδο που χρησιμοποιείται στις αρχαιολογικές έρευνες και την γεωφυσική (Conyers, 2013). Σε αντίθεση με την μαγνητομετρία, η μέθοδος του γεωραντάρ εξαρχής δίνει τρισδιάστατη χωρική πληροφορία και με αυτόν τον τρόπο δίνει την ευκαιρία προσδιορισμού του σχήματος, ακόμη και του βάθους των αρχιτεκτονημάτων που βρίσκονται στο υπέδαφος. Βασίζεται στην εκπομπή βραχέων ηλεκτρομαγνητικών παλμών υψηλής συχνότητας στο υπέδαφος με την χρήση μιας κεραίας που μπορεί και σαρώνει την επιφάνεια του εδάφους. Στην περίπτωση των αρχαιολογικών ερευνών χρησιμοποιούνται συχνότητες από 200 MHz έως και 900 MHz, με κύρια αυτή των 400 MHz. Κατά την διάρκεια της μέτρησης το ηλεκτρομαγνητικό κύμα απλώνεται στο υπέδαφος και η συμπεριφορά του επηρεάζεται από τις διηλεκτρικές ιδιότητες των υλικών και την φαινομενική διηλεκτρική σταθερά.

Κατά την μέτρηση με το γεωραντάρ, παράγεται ένα κατακόρυφο διάγραμμα ανακλάσεων (ραδιογράφημα), στο οποίο τα αντικείμενα που βρίσκονται στο υπέδαφος

παρουσιάζονται ως υπερβολές ανάκλασης. Μετά την συλλογή των δεδομένων δημιουργούνται και έπειτα επεξεργάζονται τα ραδιογραφήματα, μέσα από τα διάφορα λογισμικά και στο τέλος το τρισδιάστατο μπλοκ που προκύπτει χωρίζεται οριζόντιες τομές βάθους . Οι τομές αυτές δείχνουν σε κάτοψη τις ανακλάσεις σε συγκεκριμένα βάθη, δίνοντας έτσι την ευκαιρία στους ερευνητές να διαχωρίσουν στρωματογραφικές φάσεις. Τέλος, ένας από τους περιορισμούς που έχει αυτή η μέθοδος είναι τα πηλώδη εδάφη ή αυτά με υψηλά ποσοστά αλατότητας διότι εκμηδενίζουν το βάθος διείσδυσης του σήματος, λόγω της απορρόφησης της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας (Conyers, 2013). (Εικ:3)



Εικόνα 3: Γεωραντάρ (GPR)

<https://www.topomarket.gr/el/γεωραντάρ-gpr/1152-radiodetection-lmx150™-findar®-gpr-γεωραντάρ.html>

3.3.1 Παράδειγμα χρήσης του Γεωραντάρ (GPR)

Ένα από τα γνωστότερα παραδείγματα χρήσης της μεθόδου του Γεωραντάρ είναι αυτό της ρωμαϊκής οχυρωμένης πόλης Falerii Novi στην Ιταλία, η οποία έλαβε χώρα από ομάδες του Πανεπιστημίου του Cambridge και της Γάνδης. Χρησιμοποίησαν ένα σύστημα με πολλές κεραίες, το οποίο συνέλεγε πληροφορίες ανά 12,5 εκατοστά. Μετά την επεξεργασία των δεδομένων κατάφεραν να δημιουργήσουν ένα τρισδιάστατο σχέδιο της πόλης χωρίς να την ανασκάψουν. Η πόλη αποτελούνταν από εγκαταστάσεις όπως θέατρο, την αγορά, ένα δημόσιο λουτρό και ακόμη κατέστη δυνατή η αποτύπωση του υδρευτικού δικτύου αλλά και της γενικότερης διάταξης της πόλης. Το συγκεκριμένο παράδειγμα μελέτης αναδεικνύει σημαντικά την αξία της συγκεκριμένης μεθόδου για την επιστήμη της αρχαιολογίας και όχι μόνο (Verdonck et al., 2020).

3.4 Σεισμικές τεχνικές



Εικόνα 4: Σεισμική τεχνική.
Ντε λα Κρουζ-Καρνάβας, 2016

Αυτές οι τεχνικές αποτελούν μια άλλη κατηγορία ενεργητικών γεωφυσικών τεχνικών, οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως για τον εντοπισμό μεγάλων αρχιτεκτονημάτων (Παπαζάχος & Καρακάσης, 2002).

Οι τεχνικές αυτές μελετούν την διάδοση μηχανικών και ελαστικών κυμάτων στο υπέδαφος. Αυτά τα κύματα δημιουργούνται στην επιφάνεια με μια ελεγχόμενη δυναμική κρούση. Τα κύματα αυτά διαδίδονται ακτινικά στο υπέδαφος και η ταχύτητα τους επηρεάζεται από τις μηχανικές ιδιότητες των στρωμάτων, την πυκνότητα τους και την ελαστικότητά τους.

Στην αρχαιολογία, η τεχνική της σεισμικής διάθλασης (seismic refraction) είναι μια από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες αλλά και η σύγχρονη ανάλυση επιφανειακών κυμάτων (MASW-Multichannel Analysis of Surface

Waves). Για να ολοκληρωθεί η τεχνική αυτή τοποθετούνται στην επιφάνεια του εδάφους ακουστικοί αισθητήρες, τα λεγόμενα γεώφωνα, τα οποία καταγράφουν με μεγάλη ακρίβεια τον χρόνο πρώτης άφιξης των κυμάτων. Επίσης να αναφερθεί ότι με το σεισμικό



Εικόνα 5: Σεισμική σφύρα βάρους 5kg

Ντε λα Κρουζ-Καρνάβας, 2016

σφυρί δημιουργείται τεχνικά ένας σεισμός και έπειτα καταγράφονται τα κύματα. (Εικ:4)

Οι σεισμικές τεχνικές δεν μπορούν μεν να εντοπίσουν μικρές κατασκευές σε αντίθεση με το γεωραντάρ και την μαγνητομετρία, είναι δε πολύ χρήσιμες για τον προσδιορισμό του βάθους του στέρεου γεωλογικού υποβάθρου, δηλαδή δείχνουν μέχρι ποιο βάθος μπορεί να βρεθεί ανθρώπινη δραστηριότητα. Επίσης,

με τις τεχνικές αυτές μπορούν να βρεθούν υπόγεια κενά, όπως μεγάλα σπήλαια, θολωτοί τάφοι, καθώς τα κενά αυτά επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τα σεισμικά κύματα. Τέλος, είναι χρήσιμες για την χαρτογράφηση αρχαίων αναγλύφων αλλά και για την ανασύσταση του αρχαίου τοπίου, με την ανακάλυψη π.χ. αρχαίων επιχώσεων ή κοιτών ποταμών (Τσόκας,1997).

3.4.1 Παράδειγμα χρήσης σεισμικών τεχνικών

Ένα από τα πιο γνωστά παραδείγματα χρήσης σεισμικών τεχνικών αποτελεί το παράδειγμα της Αρχαίας Υλίκης, μιας αρχαίας πόλης η οποία καταστράφηκε από τσουνάμι το 373 π.Χ., για τον εντοπισμό της οποίας χρησιμοποιήθηκε συγκεκριμένα η σεισμική διάθλαση. Η πόλη ήταν θαμμένη κάτω από στρώματα που προήλθαν από την παράκτια πεδιάδα, στρώματα που έφτασαν τα 15 μέτρα βάθος. Εξαιτίας του βάθους που βρισκόταν η πόλη θαμμένη, οι υπόλοιπες τεχνικές όπως το γεωραντάρ δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν. Μέσα από την ανάλυση των σεισμικών κυμάτων που δημιουργήθηκαν και με την χρήση σεισμικής σφύρας (εικ.5) κατάφεραν να δημιουργήσουν οι ερευνητές παλαιοτοπογραφικούς χάρτες της περιοχής. Τα στρώματα αυτά και οι τεκτονικές ρωγμές

προσδιορίστηκαν με ακρίβεια και έτσι έγιναν με επιτυχία οι γεωτρήσεις και οι δοκιμαστικές τάφροι, οι οποίες έδωσαν τα πρώτα στοιχεία της αρχαίας πόλης (Soter et al., 2011).

3.5 Τηλεπισκόπηση

Η τηλεπισκόπηση αποτελεί μια από τις πιο ισχυρές και αποτελεσματικές μεθόδους χαρτογράφησης, η οποία δίνει την δυνατότητα συλλογής δεδομένων από την επιφάνεια του εδάφους αλλά και από το υπέδαφος χωρίς την φυσική επαφή (Sarris, 2015). Είναι δηλαδή μια μέθοδος που χρησιμοποιείται από απόσταση μέσω αισθητήρων που βρίσκονται σε αεροσκάφη, σε δορυφόρους αλλά και σε drones (Lasaponara & Masini, 2012). Η μέθοδος αυτή ξεκίνησε από ασπρόμαυρες φωτογραφίες και πλέον χρησιμοποιεί υπερφασματικές τεχνολογίες σάρωσης και έχει λάβει σημαντικό ρόλο τόσο στην χαρτογράφηση, όσο και στην προστασία και ανάδειξη της πολιτιστικής κληρονομιάς (Shennan, 2020).

Η δορυφορική και η εναέρια τηλεπισκόπηση βασίζονται στην ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας, όμως οι νεότερες τεχνικές λειτουργούν διαφορετικά. Για παράδειγμα μια από αυτές τις τεχνικές είναι η τεχνολογία Lidar, η οποία βασίζεται στην εκπομπή παλμών λέιζερ από εναέριο μέσο (π.χ αεροπλάνο, drone) προς την επιφάνεια του εδάφους και στην χρονομέτρηση της επιστροφής του ανακλώμενου σήματος (Crutchley & Crow, 2018). Κύριο πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι η δυνατότητα της να διαπερνά την πυκνή βλάστηση. Μέσα από την επεξεργασία των δεδομένων προκύπτει ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους, το οποίο αποκαλύπτει το ανάγλυφο του εδάφους και κατ' επέκταση τα θαμμένα αρχιτεκτονήματα (τοίχοι, δρόμοι) που δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι (Bewley et al., 2005).

Η τεχνική της τηλεπισκόπησης βασίζεται συνεπώς στην ανακάλυψη αποτυπωμάτων στην επιφάνεια του εδάφους και στοιχείων, τα οποία δημιουργούνται από αρχιτεκτονήματα που είναι θαμμένα στο υπέδαφος και επηρεάζουν για παράδειγμα την

βλάστηση. Λειτουργεί σαν ένα εργαλείο κατανόησης της σχέσης περιβάλλοντος και ανθρώπου σε μακροϊστορική κλίμακα (Parcak,2009).

Συγκεκριμένα τα στοιχεία-ενδείξεις, χωρίζονται σε δυο κατηγορίες. Αρχικά, στην κατηγορία των βλαστικών ενδείξεων (crop marks) η οποία είναι η πιο συνηθισμένη και ισχυρότερη πηγή πληροφοριών, η οποία γίνεται ευδιάκριτη μέσα από τις αεροφωτογραφίες. Τα θαμμένα αρχιτεκτονήματα επηρεάζουν άμεσα την ανάπτυξη της βλάστησης που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους, καθώς επηρεάζουν την ανάπτυξη των ριζών, μην επιτρέποντας τους να αναπτυχθούν επαρκώς και έτσι η βλάστηση είναι πιο χαμηλή και αδύναμη και έτσι ξεραίνεται γρηγορότερα. Αυτή η κατηγορία ονομάζεται αρνητικός δείκτης βλάστησης (Sarris, 2015). Από την άλλη πλευρά στις περιπτώσεις των λάκκων για παράδειγμα, επειδή συγκρατείται περισσότερη υγρασία η βλάστηση είναι πιο πυκνή και έντονη (μέγεθος και χρώμα). Η κατηγορία αυτή ονομάζεται θετικός δείκτης βλάστησης (Agariou et al., 2013).

Στην συνέχεια η δεύτερη κατηγορία είναι αυτή των εδαφικών ενδείξεων όπου παρατηρούνται σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις συνήθως μετά από την διαδικασία του οργώματος, οι οποίες δεν φέρουν ιδιαίτερη βλάστηση. Παρατηρούνται δηλαδή στην επιφάνεια χρωματικές διαφοροποιήσεις που προκαλούνται από υλικά όπως πλίνθοι, λίθοι και μαρτυρούν έτσι θαμμένες δομές (Parcak,2009).

Η μέθοδος αυτή εκτός από τα πλεονεκτήματα, έχει και ορισμένους περιορισμούς. Είναι μια μέθοδος με έμμεσο χαρακτήρα. Ουσιαστικά δεν αντιλαμβάνεται άμεσα τα αρχαία κατάλοιπα, αλλά αναγνωρίζει τις επιπτώσεις αυτών στην βλάστηση που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους. Πολλές φορές ακόμη, μπορεί να μην εμφανιστούν οι απαραίτητες “αλλοιώσεις” για να εντοπιστούν οι αρχαιότητες (Sarris, 2015). Επίσης, οι δείκτες της βλάστησης που αναφέραμε παραπάνω δεν είναι ορατοί καθόλη την διάρκεια του χρόνου, εξαιτίας των εποχών και της ανάπτυξης των φυτών ανάλογα με αυτές. Για παράδειγμα σε μια περίοδο ξηρασίας ή πλημμύρας οι δείκτες δεν είναι ορατοί. Τέλος, υπάρχουν και οι ψευδείς ανωμαλίες (false positives), όπου νεότερες κατασκευές μπορούν να αποπροσανατολίσουν τους ερευνητές και να τις θεωρήσουν λανθασμένα αρχαία κατάλοιπα (Lillesand et al., 2015).

3.5.1 Παράδειγμα χρήσης της τηλεπισκόπησης (Lidar)

Το μεγαλύτερο παράδειγμα χρήσης του Lidar αποτελεί η περίπτωση αναζήτησης των χαμένων πόλεων των Μάγια στην Γουατεμάλα. Μέσα στην πυκνή ζούγκλα βρίσκονταν κρυμμένα τα κατάλοιπα του αρχαίου πολιτισμού των Μάγια, μια έρευνα που θα αποτελούσε ένα δύσκολο εγχείρημα. Η έρευνα έγινε με την χρήση αερομεταφερόμενου Lidar, μέσω του οποίου κατάφεραν να σαρώσουν πάνω από 2000 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Στην συνέχεια χρησιμοποιώντας αλγόριθμους ψηφιακής αφαίρεσης των φυτών δημιούργησαν το ανάγλυφο της ζούγκλας. Η έρευνα αυτή έφερε στο φως πάνω από 60000 άγνωστα αρχαιολογικά κατάλοιπα, όπως τείχη, πυραμίδες, κανάλια ύδρευσης και άρδευσης, ενώ αποκαλύφθηκε και ένα τεράστιο δίκτυο δρόμων που ένωνε διάφορες πόλεις μεταξύ τους. Η έρευνα αυτή και τα αποτελέσματα της διαμόρφωσαν μια νέα εικόνα για τον πολιτισμό των Μάγια (Garrison et al., 2019) (Εικ.5).



Εικόνα 6:Χρήση lidar σε drone.

<https://www.archaiologia.gr/blog/2025/10/08/αρχαιολογικό-πρόγραμμα-φιλιππαίων-έ/>

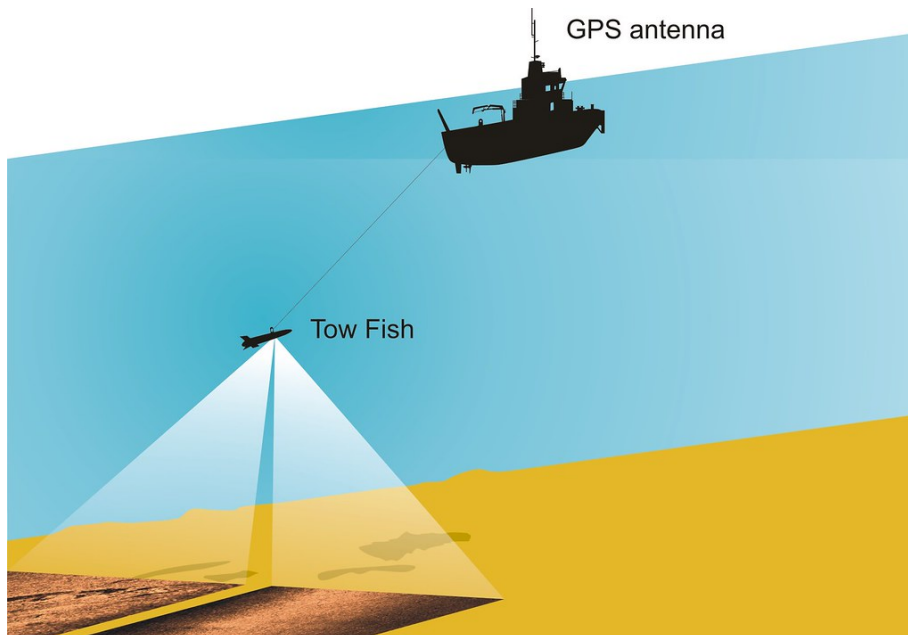
3.6. Υποβρύχιες τεχνικές

Η υποβρύχια αρχαιολογία ασχολείται με ανθρώπινα κατάλοιπα που εντοπίζονται σε υδρόβια περιβάλλοντα, όπως θάλασσες, λίμνες, δηλαδή για παράδειγμα με ναυάγια, βυθισμένα αρχιτεκτονήματα ή ακόμη και ολόκληρες πόλεις ή παλαιά λιμάνια (Plets et al., 2013). Εξαιτίας λοιπόν του διαφορετικού περιβάλλοντος που μελετά η αρχαιολογία και η εναλία αρχαιολογία χρησιμοποιούνται διαφορετικά μέσα και τεχνικές για την διασκόπηση. Συγκεκριμένα στο νερό το ορατό φως χάνεται γρήγορα και το ραντάρ αλλά και οι αισθητήρες υπερύθρων δεν μπορούν να φτάσουν σε βάθος εξαιτίας της υψηλής αγωγιμότητας του νερού και της απορρόφησης που εμφανίζει απέναντι στην ακτινοβολία (Mangerud et al., 2019). Έτσι, οι ερευνητές αντί των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων χρησιμοποιούν ακουστικά κύματα, τα οποία διαχέονται στο νερό καλύτερα (Lurton, 2010).

Κατά κύριο λόγο για τις υποβρύχιες έρευνες χρησιμοποιείται το Sonar (ηχοβολιστικά). Στην μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ένας μετατεροπέας, ο οποίος στέλνει έναν ακουστικό παλμό μιας συγκεκριμένης συχνότητας στο νερό. Αυτός ο παλμός χτυπάει σε κάποιο αντικείμενο και έπειτα ανακλάται προς την αντίθετη κατεύθυνση και καταγράφεται από τον τελικό δέκτη (Lurton, 2010). Για την διαδικασία αυτή είναι πολύ σημαντική η σωστή επιλογή συχνότητας. Συγκεκριμένα οι υψηλές συχνότητες έχουν μικρό μήκος κύματος και παρέχουν υψηλή ευκρίνεια και ανάλυση αλλά χάνονται γρήγορα και δεν μπορούν να φτάσουν στο υπέδαφος του πυθμένα αν βρίσκεται σε μεγάλο βάθος (Plets et al., 2013). Από την άλλη πλευρά, οι χαμηλότερες συχνότητες δεν εξασθενούν τόσο εύκολα και μπορούν να εισέλθουν σε ιζήματα του πυθμένα (Bates et al., 2011).

3.6.1 Κυρίες μέθοδοι σάρωσης

Μερικές από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην υποβρύχια σάρωση είναι ο ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης, ο ηχοβολιστής δέσμης και πολυδεσμικά συστήματα και ο τομογράφος υποδομής πυθμένα. Ο ηχοβολιστής πυθμένα (Side scan sonar- sss) μέσω του οποίου εντοπίζονται αντικείμενα στον πυθμένα της θάλασσας αποτελείται από ένα μηχάνημα, το λεγόμενο ψάρι, (εικ.7) το οποίο κινεί το σκάφος που χρησιμοποιείται από τους ερευνητές. Το σύστημα αυτό εκπέμπει δυο δέσμες δεξιά και αριστερά του και κατά την διάρκεια της κίνησης του σκάφους μετράει την ένταση του σήματος. Τα σκληρά



Εικόνα 7: Ηχοβολιστής πυθμένα.

<https://www.rwmt.se/surveying-tools/side-scan-sonar>

αντικείμενα αντανακλούν το σήμα έντονα και εμφανίζεται στην οθόνη έντονο φως, ενώ αργότερα εμφανίζεται η λεγόμενη ακουστική σκιά που προκύπτει από την γωνία πρόσκρουσης (Quinn et al., 2005). Μέσω της ανάλυσης της ακουστικής σκιάς και της τριγωνμετρίας, οι ερευνητές καταφέρνουν να υπολογίσουν με ακρίβεια το βάθος στο οποίο βρίσκονται τα αντικείμενα (Blondel, 2009).

Σε αντίθεση με το SSS που δημιουργεί δισδιάστατη εικόνα, το πολυδεσμικό σύστημα παράγει τρισδιάστατα μοντέλα του πυθμένα (Plets et al., 2011). Στην περίπτωση

του πολυδεσμικού συστήματος μετράται ο χρόνος διαδρομής των δεσμών και σε συνδυασμό με πληροφορίες και δεδομένα από τους αισθητήρες κίνησης και τα gps, δημιουργείται ένα νέφος από σημεία (Lurton, 2010). Η τεχνική αυτή δίνει στους αρχαιολόγους την δυνατότητα να δημιουργήσουν μια τοπογραφική αποτύπωση του πυθμένα και των βυθισμένων αρχαιολογικών καταλοίπων με μεγάλη ακρίβεια, ακόμη και αν οι συνθήκες είναι ιδιαίτερες δύσκολες (Plets et al., 2013).

Στην συνέχεια, ο τομογράφος υποδομής πυθμένα (Sub bottom profiler) βοηθάει σημαντικά στον εντοπισμό αρχαιοτήτων που βρίσκονται θαμμένες κάτω από τα ιζήματα του πυθμένα της θάλασσας (Bates et al., 2011).

Επίσης για την μελέτη του βυθού της θάλασσας γίνεται και η χρήση μαγνητικών μεθόδων. Μια από αυτές είναι το θαλάσσιο μαγνητόμετρο, το οποίο μετράει τις ανωμαλίες του μαγνητικού πεδίου της γης. Χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για τον εντοπισμό μεταλλικών αντικειμένων, τον εντοπισμό ναυαγίων αλλά και συσσωρευμένων αντικειμένων που προήλθαν ίσως από ναυάγια.

Μέσω αυτών των μεθόδων επιτυγχάνεται η γρήγορη κάλυψη μεγάλων εκτάσεων , ο εντοπισμός θαμμένων καταλοίπων και αρχαιοτήτων αλλά και η προστασία την ερευνητών καθώς δεν χρειάζεται να καταδυθούν σε πολύ μεγάλα βαθύ. Εκτός από τα πλεονεκτήματα υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα. Τα κύματα και οι άνεμοι προκαλούν πολλές κινήσεις με αποτέλεσμα να εμφανίζεται αρκετός “θόρυβος” στα αποτελέσματα των μετρήσεων και έτσι χρειάζεται περισσότερη επεξεργασία (Blondel, 2009). Επιπροσθέτως, όταν οι έρευνες γίνονται στα ρηχά, το ακουστικό σήμα δημιουργεί πολλαπλές ανακλάσεις επιφάνειας-πυθμένα και έτσι προκύπτουν λανθάνοντες στόχοι (Quinn et al., 2005).

Τέλος, να σημειωθεί ότι για να υπάρξει το βέλτιστο αποτέλεσμα γίνεται συνδυασμός μεθόδων και προκύπτει ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών του πυθμένα (Plets et al., 2013)

3.6.2. Παράδειγμα χρήσης Υποβρύχιων Τεχνικών

Η αποτύπωση και χαρτογράφηση της αρχαίας βυθισμένης πόλης Παυλοπέτρι που βρίσκεται στην Λακωνία είναι ένα από τα παραδείγματα χρήσης των σύγχρονων μεθόδων

υποβρύχιας γεωφυσικής και ακουστικής χαρτογράφησης από το Πανεπιστήμιο Nottingham και το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών.

Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε Ηχοβολιστής Πολλαπλής δέσμης σε συνδυασμό με συστήματα Scan Side Sonar υψηλής συχνότητας (SSS). Αναπαράχθηκε ένα ψηφιακό μοντέλο του πυθμένα με τεράστια ακρίβεια, στο οποίο αποκαλύφθηκε η κάτοψη ολόκληρου του προϊστορικού οικισμού, με τα θεμέλια και τους τοίχους των διαφόρων κτηρίων, τους δρόμους κ.ά. Μέσω αυτής της διαδικασίας κατέστη δυνατή η εικονική δημιουργία της πόλης, αναδεικνύοντας έτσι τις δυνατότητες των υποβρύχιας μεθόδων στην αρχαιολογία (Henderson et al., 2011).

Μέθοδος Γεωφυσικής Διασκόπησης	Φυσική Ιδιότητα Μέτρησης	Κύριοι Αρχαιολογικοί Στόχοι	Μέγιστο Βάθος Διείσδυσης	Κύριοι Περιορισμοί / Θόρυβος
Μαγνητομετρία	Μαγνητική Επιδεκτικότητα & Παραμένουσα Μαγνητισμός	Κλίβανοι, εστίες, καμένα υλικά, τάφροι, πλίνθινα τείχη	1,0 - 2,0 μέτρα	Ευαίσθητη σε μεταλλικά απορρίμματα, σύγχρονα δίκτυα ΔΕΗ/περίφραξης
Ηλεκτρική Τομογραφία (ERT)	Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση του εδάφους	Λίθινα τείχη, θεμέλια, τάφοι, κενά, γεωλογικό υπόβαθρο	Μεταβλητό (έως δεκάδες μέτρα)	Χρονοβόρα τοποθέτηση ηλεκτροδίων, εξάρτηση από την υγρασία
Γεωραντάρ (GPR)	Διηλεκτρική Σταθερά & Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	Τοίχοι, δάπεδα, κρύπτες, οδικά δίκτυα, κενά	1,5 - 4,0 μέτρα (ανάλογα την κεραία)	Πλήρης απόσβεση σήματος σε αργιλικά εδάφη και υφάλμυρο ορίζοντα

Σεισμική Διάθλαση	Ταχύτητα Διάδοσης Ελαστικών Κυμάτων	Μεγάλα θαμμένα μνημεία, βάθος υποβάθρου, παλαιοτοπογραφία	> 10 μέτρα	Χαμηλή οριζόντια διακριτική ικανότητα, ανάγκη ισχυρής πηγής
LiDAR (Τηλεπισκόπηση)	Χρόνος επιστροφής παλμού λέιζερ	Μικρο-ανάγλυφο, αναβαθμίδες, οχυρώσεις κάτω από δάση	Επιφανειακό (Υψομετρία)	Αδυναμία εντοπισμού Targets χωρίς επιφανειακό αποτύπωμα
Πολυφασματική Δορυφορική	Φασματική Ανάκλαση Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας	Crop marks, soil marks, αρχαία οδικά δίκτυα, tells	Επιφανειακό (Έμμεσο)	Εξάρτηση από την εποχικότητα της βλάστησης και τα σύννεφα

Πίνακας 1: Γεωφυσικές μέθοδοι και τα χαρακτηριστικά τους

4. Μεθοδολογία των γεωφυσικών μετρήσεων

4.1 Κριτήρια επιλογής κατάλληλων γεωφυσικών μεθόδων

Η γεωφυσική έρευνα στην αρχαιολογία είναι μια ιδιαίτερη διαδικασία, η οποία επηρεάζεται άμεσα από την προετοιμασία των βημάτων που θα ακολουθηθούν. Η επιλογή της μεθόδου βασίζεται σε 3 παράγοντες, οι οποίοι είναι το ζητούμενο, οι ιδιότητες των αρχαίων καταλοίπων και οι συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή (γεωλογικές-περιβαλλοντικές). Συνεπώς, δεν γίνεται τυχαία και ούτε καθορίζεται από την διαθεσιμότητα ή την πρόσβαση στα διάφορα όργανα (Sarris, 2015).

Σήμερα, η χρήση μόνο μιας μεθόδου κατά την διάρκεια της γεωφυσικής έρευνας δεν είναι αρκετή για την σωστή χαρτογράφηση ενός τόπου. Συγκεκριμένα, η διεθνής πρακτική υποχρεώνει τους ερευνητές να ακολουθήσουν τη στρατηγική πολλαπλών μεθόδων (Gaffney & Gater, 2003). Η στρατηγική αυτή βασίζεται στην αρχή της

συμπληρωματικότητας, δηλαδή στην λογική ότι η κάθε μέθοδος είναι κατάλληλη για μια διαφορετική φυσική ιδιότητα του εδάφους και κατά συνέπεια ο συνδυασμός αυτός των μεθόδων οδηγεί στην πλήρη κάλυψη των περιορισμών που εμφανίζει η κάθε μέθοδος.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της χρήσης της στρατηγικής πολλαπλών μεθόδων είναι η μείωση των ψευδών ενδείξεων, η καλύτερη τρισδιάστατη κατανόηση και η καλύτερη ανταπόκριση στα περιβάλλοντα με μεταβαλλόμενες συνθήκες (όπως η περίπτωση της Ιτάνου, που θα αναλυθεί παρακάτω). Στην πρώτη περίπτωση της μείωσης των ψευδών ενδείξεων μπορεί να επιβεβαιωθεί αν μια ανωμαλία οφείλεται πράγματι σε ένα αρχαίο κατάλοιπο και όχι σε μια σύγχρονη επέμβαση (π.χ. γεωργική παρέμβαση) ή σε έναν γεωλογικό σχηματισμό. Εάν αυτή η ανωμαλία συνεχίσει να εμφανίζεται ως περιοχή υψηλής αντίστασης και από τις υπόλοιπες μεθόδους τότε η πιθανότητα μετατρέπεται σε βεβαιότητα (Kvamme, 2006).

Στην δεύτερη περίπτωση της καλύτερης τρισδιάστατης κατανόησης υπάρχουν μέθοδοι που μπορούν να δώσουν γρήγορη οριζόντια χαρτογράφηση (2D), όπως η μαγνητομετρία, αλλά δεν δίνουν πληροφορίες για το ακριβές βάθος των ευρημάτων. Έτσι, χρησιμοποιώντας το γεωραντάρ για παράδειγμα ή την ηλεκτρική τομογραφία στις μαγνητικές ανωμαλίες που εντοπίζονται είναι δυνατή η δημιουργία τρισδιάστατου σχεδίου (Tsokas et al., 2008). Τέλος, η καλύτερη ανταπόκριση σε περιβάλλοντα με μεταβαλλόμενες συνθήκες, όπως για παράδειγμα με έντονη ποικιλομορφία μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση πολλαπλών μεθόδων καθώς μια μέθοδος δεν είναι κατάλληλη και δεν δίνει αποτελέσματα σε μια τέτοιου τύπου έκταση.

4.2 Σχεδιασμός μελέτης της έκτασης, χωρική αναφορά και διαίρεση της έκτασης με την χρήση πλέγματος- κανάβου

Κύριο στάδιο της αρχαιολογικής έρευνας αποτελεί η χωρική αναφορά των γεωφυσικών μετρήσεων, καθώς χωρίς αυτήν και την ακρίβεια οι γεωφυσικοί χάρτες δεν έχουν κάποια αξία, εξαιτίας της ανικανότητας χωροθέτησης της ανασκαφής (Gaffney &

Gater, 2003). Η πιο γνωστή και συνηθισμένη μέθοδος οργάνωσης είναι η δημιουργία ενός συστήματος grid- πλέγματος (κανάβου). Ο χώρος της έρευνας χωρίζεται σε τετράγωνα , με την βοήθεια γεωδαιτικών σταθμών ή δορυφορικών συστημάτων και έτσι εξασφαλίζεται η μέγιστη ακρίβεια (Sarris, 2015). Η συλλογή των ευρημάτων εντός του πλέγματος γίνεται συνήθως με δύο τρόπους: με την παράλληλη οδοιοπορία και με την ζιγκ ζαγκ οδοιοπορία. Στην πρώτη περίπτωση ο ερευνητής κινείται σε ευθεία κατεύθυνση και χωρίζει την διαδρομή σε γραμμές, έτσι μειώνονται οι πιθανότητες σφάλματος, αλλά χρειάζεται χρόνο. Στην δεύτερη περίπτωση ο ερευνητής κινείται στις γραμμές εναλλάξ. Είναι μεν πιο σύντομη μέθοδος αλλά είναι πιο πιθανόν να δημιουργηθούν σφάλματα , τα οποία μπορούν να διορθωθούν ψηφιακά (David et al., 2008).

4.3 Επεξεργασία δεδομένων και ψηφιακή απεικόνιση

Τα στοιχεία που συλλέγονται από τον χώρο έρευνας χρειάζονται επεξεργασία για να καταφέρουν να ερμηνευθούν. Περιέχουν τον λεγόμενο θόρυβο, ο οποίος είναι ουσιαστικά παρεμβολές ή ανθρώπινα σφάλματα κατά την διάρκεια της έρευνας και των μετρήσεων. Η ψηφιακή επεξεργασία των στοιχείων συμβάλλει στην αφαίρεση αυτού του θορύβου (Ciminale & Loddo, 2001).

Η διαδικασία αυτή αποτελείται από ορισμένα βήματα. Συνήθως οι ερευνητές ξεκινούν από την διόρθωση της γεωμετρίας, όπου εισάγονται τα πλέγματα στο λογισμικό και γίνεται η γεωγραφική τους τοποθέτηση με ακρίβεια. Στο βήμα αυτό λαμβάνει χώρα και η εξάλειψη των σφαλμάτων που προκύπτουν αν χρησιμοποιηθεί η ζιγκ ζαγκ οδοιοπορία (David et al., 2008). Έπειτα ακολουθεί η ισοστάθμιση του υποβάθρου, η οποία γίνεται στην περίπτωση χρήσης της μαγνητομετερίας, όπου εξαλείφονται οι διαφορές της ρύθμισης του οργάνου. Ακριβώς μετά αφαιρείται ο θόρυβος, είτε με χωρικά φίλτρα χαμηλής διέλευσης, είτε με υψηλής διέλευσης. Τα πρώτα αφαιρούν τον θόρυβο από τις εικόνες και τα δεύτερα αφαιρούν τις γεωλογικές τάσεις υποβάθρου, τονίζοντας τις ανωμαλίες που αφορούν στις αρχαιότητες (Sarris, 2015).

Τέλος, για να ολοκληρωθεί η ψηφιακή απεικόνιση τα δεδομένα γίνονται χάρτες δισδιάστατοι γκριζας κλίμακας ή ψευδοχρωματικοί. Στην περίπτωση του Γεωραντάρ, η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται τρισδιάστατα και έτσι είναι εφικτή η δημιουργία οριζόντιων τομών βάθους, μέσω των οποίων γίνεται ορατή η μεταβολή που έχει η εικόνα των ευρημάτων κατά την ανασκαφή και την μετακίνηση σε βαθύτερα στρώματα (Conyers, 2013).

4.4 Ερμηνεία των γεωφυσικών ανωμαλιών

Ένα από τα πιο βασικά σημεία της μεθοδολογίας των γεωφυσικών ερευνών είναι αυτό της επεξήγησης των ανωμαλιών που προκύπτουν από τις μετρήσεις. Η αρχαιολογική ερμηνεία είναι πολύ σημαντική καθώς δεν έχουν αξία τα ευρήματα χωρίς αυτήν. Βασίζεται στην μελέτη των μορφών και της γεωμετρίας. Για παράδειγμα τα κατάλοιπα των ανθρώπων έχουν χαρακτηριστική γεωμετρία. Όταν οι ερευνητές συναντούν γραμμές ή ορθογώνιες ανωμαλίες, τότε αυτές μάλλον είναι θεμέλια, τείχη ή δίκτυα δρόμων. Όταν συναντώνται κυκλικές ανωμαλίες πιθανότατα έχουν εντοπιστεί τάφοι, βωμοί ακόμη και πηγάδια. Τέλος, όταν εμφανίζονται δίπολες μαγνητικές ανωμαλίες τότε μάλλον πρόκειται για ευρήματα που έχουν λάβει υψηλές θερμοκρασίες στην περίοδο χρήσης τους, όπως εστίες ή κλίβανοι (Gaffney & Gater, 2003).

Τελικό βήμα της επεξεργασίας των δεδομένων αποτελεί η τοποθέτηση τους σε ένα κοινό γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (GIS), που αποτελείται από στρώματα πληροφοριών (γεωφυσικοί και ιστορικοί χάρτες, τοπογραφικά διαγράμματα, στοιχεία από την επιφανειακή έρευνα κ.ά). Έτσι οι μελετητές- ερευνητές δημιουργούν τον τελικό χάρτη της αρχαιολογικής ερμηνείας, μέσω του οποίου λαμβάνουν σημαντικά στοιχεία για τον χώρο και καθοδηγούνται με ακρίβεια για την επερχόμενη ανασκαφική διαδικασία ή την προστασία του χώρου (Sarris, 2015; Schmidt et al., 2020).

5. Η περίπτωση μελέτης του αρχαιολογικού χώρου της αρχαίας Ιτάνου

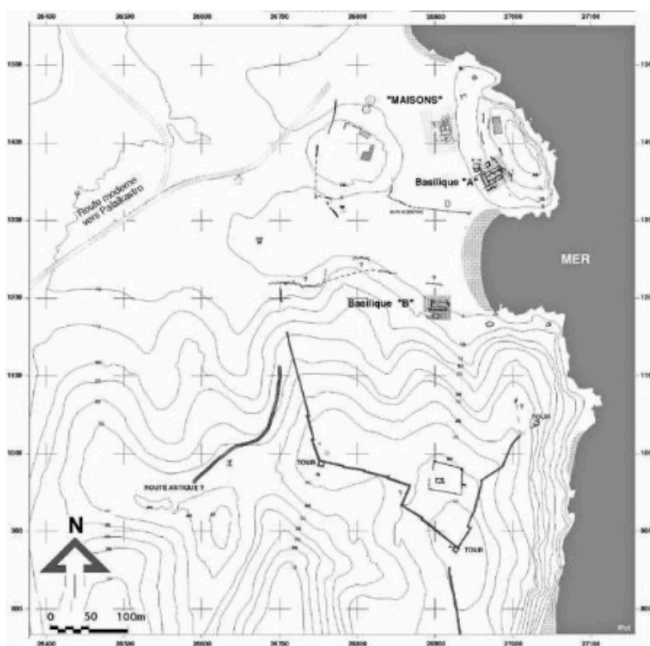
Ο αρχαιολογικός χώρος της αρχαίας Ιτάνου είναι μια από τις σημαντικότερες και εντυπωσιακότερες αρχαιολογικές θέσεις της Κρήτης. Βρίσκεται στο βορειοανατολικό άκρο της Κρήτης, στην περιοχή της Σητείας. Πρόκειται για μια θέση που επιλέχθηκε με στρατηγική, καθώς είναι τέτοιο το σημείο που ενώνει το Αιγαίο με την ανατολική μεσόγειο, την Αίγυπτο και την Μικρά

Ασία (Sarris et al., 2002).

Η ιστορία της αρχαίας αυτής πόλης ξεκινάει πολλούς αιώνες πριν, από τους Προϊστορικούς χρόνους, συνεχίζει στους Γεωμετρικούς χρόνους έως και την Βυζαντινή περίοδο. Κατά την Κλασική και Ελληνιστική περίοδο η Ίτανος έγινε μια αυτόνομη πόλη-κράτος, με μεγάλη δύναμη και ανεξαρτησία.

Η δύναμη της συνδέθηκε με το εμπόριο, τη ναυτιλία και την εκμετάλλευση του θαλάσσιου τομέα.

Η δύναμη της αποδεικνύεται μέσα



Εικόνα 8: Τοπογραφικό της αρχαίας Ιτάνου.

Τσιγωνάκη (2009).

από τα ευρήματα αυτής, όπως νομίσματα τα οποία κόπηκαν εκεί και φέρουν επάνω τους θεούς και είδη της θάλασσας (Σπυριδάκης, 1970; Chaniotis, 1996).

Η θέση της αυτή βέβαια την οδηγούσε σε ανταγωνισμούς με γειτονικές πόλεις-κράτη, όπως την Ιεράπυτνα (σημερινή Ιεράπετρα), με βασικό λόγο διαμάχης τον έλεγχο του Ιερού του Δικταίου Διός στο Παλαίκαстро. Η πόλη της Ιτάνου ανέπτυξε συμμαχικές σχέσεις με την Αίγυπτο στην Ελληνιστική περίοδο. Έτσι, η Αίγυπτος έφερε φρουρά στην Ίτανο κάνοντάς την ναυτικό οχυρό. Επίσης, η ίδια κατάσταση συνεχίστηκε και στους Ρωμαϊκούς χρόνους, όπου ενώ έχασε την αυτονομία της, είχε ισχυρή οικονομία. Το τέλος

της ήρθε στον 7ο-8ο αιώνα μ.Χ. εξαιτίας ισχυρών σεισμών, αλλά και επιδρομών από τους Σαρακηνούς πειρατές στην περιοχή της Μεσογείου.(εικ 8-9)



Εικόνα 9: Χάρτης της Κρήτης <https://www.thehotel.gr/info/el/Κρήτη/Αρχαιολογικοί-χώροι>

5.1 Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά και τοπογραφία της αρχαιολογικής θέσης



Εικόνα 10: Αεροφωτογραφία του αρχαιολογικού χώρου της Ιτάνου.

Τσιγωνάκη (2009).

Η αρχαία Ίτανος αναπτύσσεται μέσα σε ένα ιδιαίτερο φυσικό ανάγλυφο το οποίο επηρέασε την πολεοδομική διάταξη της πόλης (εικ.8).

Είναι τοποθετημένη σε μια κοιλάδα ενώ παράλληλα βρίσκεται ανάμεσα σε δύο λόφους που χρησιμοποιούνται σαν ακροπόλεις (Sarris et al., 2002).

Η ανατολική ακρόπολη είναι κατασκευασμένη σε

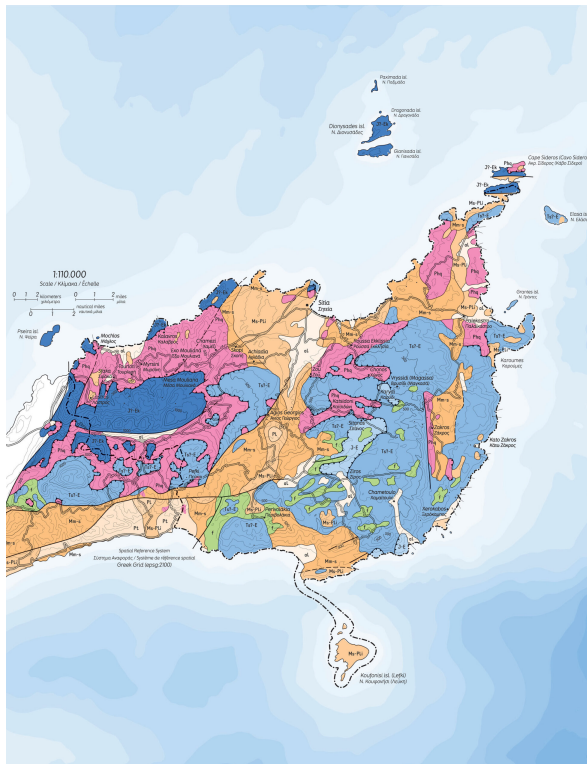
ένα βραχώδες και απόκρημνο σημείο κοντά στην θάλασσα, όπου εντοπίζονται τα πρώτα

ίχνη κατοίκησης και τα κατάλοιπα των τειχών από την Κλασική και Ελληνιστική περίοδο. Στην κορυφή της ακρόπολης εντοπίστηκαν τα θεμέλια ενός ναού, ίσως προς τιμήν της θεάς Αθηνάς Ιτανίας. Η δυτική ακρόπολη με τη θέση της προσέφερε τη δυνατότητα εποπτείας της ενδοχώρας. Στις πλαγιές του λόφου εντοπίζονται οικιστικά λείψανα, κατάλοιπα από διάφορα κτίσματα και εγκαταστάσεις που χρονολογούνται μέχρι και τα Παλαιοχριστιανικά χρόνια, με χαρακτηριστικό την επαναχρησιμοποίηση σπολίων (Εικ.10).

Τέλος, εντοπίστηκαν και χώροι νεκροπόλεων έξω από τα οχυρωματικά τείχη της πόλης, όπου εντοπίζονται διαφορετικά είδη τάφων: από απλούς τάφους έως μνημειώδη κτίσματα πλούσιων οικογενειών.

5.2 Γεωλογικό- Γεωμορφολογικό υπόβαθρο της Ιτάνου

Για την σωστή επιλογή των γεωφυσικών μεθόδων είναι σημαντική η αντίληψη και η κατανόηση του γεωλογικού- γεωμορφολογικού υποβάθρου της περιοχής (εικ.11). Το ευρύτερο υπόβαθρο της Κρήτης αποτελείται από έντονο τεκτονικό ανάγλυφο, το οποίο



οφείλεται στην γεωδυναμική εξέλιξη. Η Κρήτη δημιουργήθηκε έπειτα από μία σειρά τεκτονικών μετακινήσεων στην αρχή της τεταρτογενούς περιόδου πριν από 40-20 εκατομμύρια χρόνια και αποτελείται από τρεις τεκτονικές πλάκες. Οι τεκτονικές τάφροι ανά διαστήματα γέμιζαν με θαλάσσιες επιχώσεις, οι οποίες σήμερα έχουν μετατραπεί σε ασβεστολιθικά πετρώματα και ασβεστολιθικά, αργιλικά εδάφη.

Συγκεκριμένα, το γεωλογικό υπόβαθρο της Ιτάνου αποτελείται από ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθο, δολομίτες) και

Εικόνα 11 :Χάρτης με τις βασικές αλπικές

από μεταμορφωμένα πετρώματα (σχιστόλιθους και φυλλίτες). Οι λόφοι που αναφέρθηκαν παραπάνω αποτελούνται από ασβεστόλιθο, ενώ η κοιλάδα είναι μια τεκτονική τάφρος που σταδιακά με το πέρασμα των αιώνων γέμισε με τεταρτογενή ιζήματα. Ιζήματα που μεταφέρθηκαν από χειμάρρους, όπως άμμο, άργιλο και λάσπη αλλά και από αιολικές αποθέσεις που δημιούργησαν ένα στρώμα άμμου (Vafidis et al., 2005).

Αυτή η διαφορά μεταξύ των υλικών δημιουργούν έντονες αντιθέσεις στις φυσικές ιδιότητες του υπεδάφους, δημιουργώντας τις κατάλληλες συνθήκες για γεωφυσική χαρτογράφηση. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα ιδιαιτερότητας είναι οι παλαιοπεριβαλλοντικές αλλαγές που έλαβαν χώρα στην ακτογραμμή της Κρήτης, εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας και των τεκτονικών κινήσεων. Η άνοδος αυτή είχε ως αποτέλεσμα την κάλυψη ενός μεγάλου τμήματος της πόλης (λιμάνι, οικιστικά κτήρια, τμήμα των τειχών κ.ά.). Προκειμένου να μελετήσουν οι ερευνητές τον χώρο αυτόν και να πετύχουν την ανασύστασή του επέλεξαν έναν συνδυασμό γεωφυσικών μεθόδων (Vafidis et al., 2003; Vafidis et al., 2005).

5.3 Προκλήσεις κατά την γεωφυσική έρευνα

Η διαδικασία των γεωφυσικών ερευνών ήταν ιδιαίτερα απαιτητική με αρκετές προκλήσεις για τους ερευνητές, οι οποίες τους οδήγησαν στην υποχρεωτική χρήση προηγμένων μεθόδων ψηφιακής επεξεργασίας. Αρχικά, μια από τις πρώτες προκλήσεις ήταν το πάχος των προσχώσεων και των αμμοθινών, που έφτανε μέχρι και τα 3 μέτρα σε ορισμένα σημεία. Εξαιτίας λοιπόν αυτού του πάχους ήταν αδύνατο να φτάσουν στα ευρήματα με απλές μεθόδους (π.χ. μαγνητομετρία) διότι το σήμα που εξέπεμπαν τα μηχανήματα εξασθενούσε όσο μεγάλωνε το βάθος. Για να καταφέρουν να διενεργήσουν τις μετρήσεις χρησιμοποίησαν μεθόδους με μεγαλύτερη ικανότητα διείσδυσης (γεωραντάρ και ηλεκτρική τομογραφία) (Sarris et al., 2002).

Μια δεύτερη πρόκληση ήταν αυτή της υγρασίας και της αλατότητας εξαιτίας της άμεσης σχέσης με την θάλασσα. Εξαιτίας της υψηλής αλατότητας αυξάνεται κατά μεγάλο βαθμό η ηλεκτρική αγωγιμότητα του υπεδάφους και κατά συνέπεια δεν μπορεί να λειτουργήσει η μέθοδος του Γεωραντάρ καθώς χάνονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα από τα πρώτα κιόλας εκατοστά του εδάφους (Vafidis et al., 2005).

Στην συνέχεια η πυκνή βλάστηση και το ίδιο το ανάγλυφο του εδάφους έκαναν πολύ δύσκολη την πρόσβαση των μελετητών αλλά και των ίδιων των μηχανημάτων στα επιθυμητά μέρη, ενώ ταυτόχρονα δεν επέτρεπαν την σταθερή βάδιση, με αποτέλεσμα να προκύπτει ιδιαίτερος θόρυβος στα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Τέλος, μια ιδιαίτερη πρόκληση ήταν το υποβρύχιο περιβάλλον όπου βρισκόταν μεγάλο τμήμα της αρχαίας πόλης, αλλά με μικρό βάθος, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεγάλα ωκεανογραφικά μηχανήματα. Έπρεπε να προσαρμοστούν σε μικρότερα σκάφη τα μηχανήματα των μετρήσεων, όπως ο ηχοβολιστής αλλά και το Sonar, κάτι που επηρεαζόταν από τον κύματα της θάλασσας αλλά και από διάφορα φύκια που βρισκόντουσαν στον πυθμένα (Vafidis et al., 2003).

Ο συνδυασμός των διάφορων μεθόδων οδήγησε στην ολοκληρωμένη γεωφυσική έρευνα του αρχαιολογικού χώρου της Ιτάνου και την μετατροπή του σε ένα πρότυπο ολοκληρωμένης έρευνας χρησιμοποιώντας γεωφυσικές μεθόδους.

6. Αρχαιολογικά δεδομένα για τη θέση

Η ιστορία κατοίκησης της αρχαίας Ιτάνου εκτείνεται σε περισσότερες από δυο χιλιετίες, παρουσιάζοντας μια συνέχεια με περιόδους τόσο ακμής, όσο καταστροφών αλλά και αναδιοργάνωσης.

Σύμφωνα με τα ευρήματα της ευρύτερης περιοχής φαίνεται πως η δημιουργία του οικιστικού πυρήνα του αρχαίου οικισμού ξεκίνησε από την Γεωμετρική περίοδο, ενώ την αστική του ταυτότητα την αποκτάει κατά την αρχαϊκή εποχή, όταν και ξεκινάει εμπορικές σχέσεις με τους Φοίνικες. Στην συνέχεια, κατά την κλασική και ελληνιστική περίοδο, η αρχαία Ίτανος αποκτάει πολιτική αλλά και στρατιωτική δύναμη. Κατά την ρωμαϊκή περίοδο η Ίτανος παραμένει αυτόνομη και αναπτύσσεται οικονομικά ως εμπορικό λιμάνι. Στην συνέχεια κατά την Παλαιοχριστιανική περίοδο, η πόλη εκχριστιανίζεται και γίνεται έδρα επισκοπής, κάτι που αποδεικνύεται από την κατασκευή βασιλικών εκκλησιών (Greco et al., 2002).

6.1 Ιστορικό των αρχαιολογικών ερευνών στην αρχαία Ίτανο.

Από τον 15ο έως και τον 19ο αιώνα, υπάρχουν μερικές αναφορές της αρχαίας Ιτάνου σε κείμενα ευρωπαίων περιηγητών, οι οποίοι είδαν τα ορατά ερείπια και τις επιγραφές που προεξείχαν του εδάφους.

Οι αρχαιολογικές έρευνες στον χώρο της αρχαίας Ιτάνου ξεκίνησαν από τα τέλη του 19ου αιώνα από τον Ιταλό αρχαιολόγο Federico Halbherr και τον Γάλλο Mariani με επιφανειακή έρευνα, περιγραφή και συλλογή ευρημάτων. Ενώ, η πρώτη ανασκαφική παρέμβαση έγινε το 1891 από τον αμερικανό αρχαιολόγο Anatole Frothingham, ο οποίος αποτύπωσε τα αρχιτεκτονικά κατάλοιπα αλλά και προχώρησε σε δοκιμαστικές τομές. Οι έρευνες του έδειξαν την σημασία της θέσης και έτσι ξεκίνησε αργότερα το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας (Demargne, 1902)

Όμως οι συστηματικές έρευνες ξεκίνησαν επίσημα το 1950 από την Γαλλική Αρχαιολογική Σχολή Αθηνών υπό την διεύθυνση των Gallet de Santerre και Deshayes, οι οποίοι ως κύριο στόχο είχαν την αποκάλυψη των καταλοίπων που ήταν ήδη ορατά στον ευρύτερο αρχαιολογικό χώρο (Gallet de Santerre, 1951). Οι εργασίες αυτές αποκάλυψαν σημαντικά μνημεία της αρχαίας πόλης. Αρχικά αποκαλύφθηκε πλήρως η παλαιοχριστιανική Βασιλική (5ο-6ο αι. μ.Χ). Εντοπίστηκαν τμήματα των οχυρωματικών περιβόλων και πολλές επιγραφές, οι οποίες συνέβαλαν στην ανασύνθεση της πολιτικής ιστορίας της πόλης (Spyridakis, 1970). Οι έρευνες αυτές όμως αφορούσαν αποκλειστικά τα μεγάλα μνημεία και όχι την κατανόηση του οικιστικού συνόλου.

Στην συνέχεια, οι έρευνες διακόπηκαν για μεγάλο χρονικό διάστημα και ξεκίνησαν πάλι το 1994 με το διεθνές πρόγραμμα “Itanos project”, όπου συνεργάστηκαν η Γαλλική Αρχαιολογική Σχολή, το Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών του ΙΤΕ Κρήτης και της Εφορείας Προϊστορικών και Κλασικών αρχαιοτήτων (Greco et al., 1997; Schnapp et al., 2000). Το συγκεκριμένο πρόγραμμα εφάρμοσε εντατική επιφανειακή έρευνα όλης της περιοχής για την κατανόηση της αγροτικής οικονομίας, χρησιμοποίησε μελέτες για την ανασύνθεση του παλαιοπεριβάλλοντος και της ακτογραμμής, αλλά και αργότερα τις γεωφυσικές μεθόδους, οι οποίες βοήθησαν στην στοχευμένη ανασκαφική έρευνα.

Ενώ το συγκεκριμένο πρόγραμμα είχε επιτυχές όσον αφορά την έρευνα, υπήρξε στιγμή όπου οι ερευνητές βρέθηκαν σε αδιέξοδο, όσον αφορά τις μεθόδους έρευνας.

Συγκεκριμένα, η ανασκαφή στην κεντρική κοιλάδα έδειξε ότι τα αρχαιολογικά στρώματα ήταν ιδιαίτερα πυκνά, καθώς τα ρωμαϊκά και βυζαντινά κατάλοιπα κατέστρεψαν τα παλαιότερα της κλασική και αρχαϊκής εποχής ή ενσωματώθηκαν μαζί τους. Επίσης, ένα τμήμα του οικισμού βρισκόταν κάτω από την επιφάνεια του νερού αλλά και κάτω από τον πυθμένα του βυθού, με συνέπεια την αδυναμία ανασκαφικής έρευνας (Tsigonaki et al., 2021). Έτσι, η ιστορική αναδρομή των ερευνών οδήγησε στην υιοθέτηση της συστηματικής γεωφυσικής διασκόπησης (Vafidis et al., 2005)

7. Αναλυτική παρουσίαση των γεωφυσικών μεθόδων που ακολουθήθηκαν στην έρευνα της αρχαίας Ιτάνου και των αποτελεσμάτων τους.

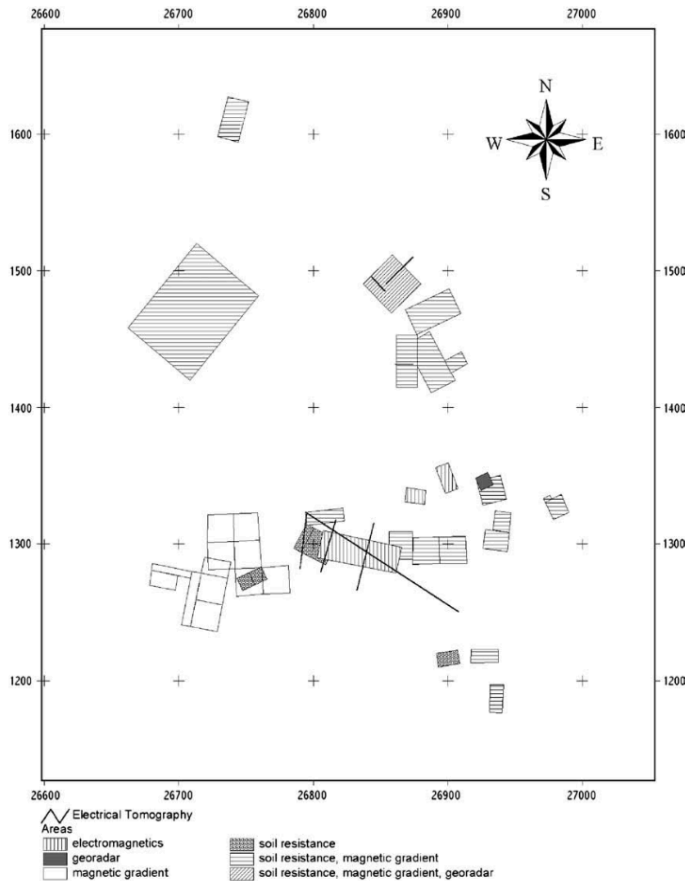
7.1 Σχεδιασμός της έρευνας και στρατηγική πολλαπλών μεθόδων

Η έρευνα της αρχαίας Ιτάνου έγινε στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος που αναφέρθηκε παραπάνω του “Itanos project” και σχεδιάστηκε με την στρατηγική των πολλαπλών μεθόδων. Λόγω της ιδιαιτερότητας του εδάφους η χρήση μιας μεθόδου θα οδηγούσε σε ψευδή αποτελέσματα και συγκεκριμένα οι ιδιαιτερότητες που παρουσίαζε η περιοχή ήταν οι εξής: οι αιολικές αποθέσεις οι οποίες είχαν χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, τα αργιλικά και λασπώδη ιζήματα που είχαν ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά υγρασίας και ο υφάλμυρος χαρακτήρας του υψηλού υδροφόρου ορίζοντα, ο οποίος αύξανε την ηλεκτρική αγωγιμότητα στο υπέδαφος.

Η γεωφυσική διασκόπηση που έλαβε χώρα στην Αρχαία Ίτανο συμπεριέλαβε περίπου 16.000 τετραγωνικά μέτρα, μια έκταση που χωρίστηκε σε πλέγματα. Τα δεδομένα που προέκυψαν επεξεργάστηκαν με ειδικά φίλτρα (κλίσης, πρώτης παραγώγου, Butterworth, ανοδικής συνέχισης). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάστηκαν σε οριζόντιους δισδιάστατους χάρτες (Geophysical maps), οι οποίοι παρουσίαζαν τις κατανομές των μαγνητικών και ηλεκτρικών ιδιοτήτων όλης της κοιλάδας.

Για να αντιμετωπιστούν οι παραπάνω ιδιαιτερότητες οι ερευνητές τοποθέτησαν αρχικά ένα γεωαναφερόμενο πλέγμα-κάναβο με την βοήθεια total station. Ο κάναβος χωρίστηκε σε τετράγωνα 20x20 μέτρα και χωρίστηκαν τρεις ζώνες ενδιαφέροντος : η κεντρική κοιλάδα, η βόρεια νεκρόπολη και οι δύο ακροπόλεις. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η Μαγνητική Χαρτογράφηση (Magnetic Prospection), η Ηλεκτρική Τομογραφία (Electrical Resistivity Tomography - ERT) ,το Γεωραντάρ (Ground Penetrating Radar - GPR), οι σεισμικές μέθοδοι και η τηλεπισκόπηση.

Τέλος, με τα δεδομένα από τις παραπάνω μεθόδους κατέστη δυνατή η τρισδιάστατη απεικόνιση και ψηφιοποίηση του χώρου.



Εικόνα 12: Χάρτης χρήσης γεωφυσικών τεχνικών
(Vafidis et al.,2005)

fluxgate (κυρίως FM256 της Geoscan Research). Η διάταξη βαθμίδας μετράει την διαφορά της κατακόρυφης συνιστώσας και του γήινου μαγνητικού πεδίου ανάμεσα σε δύο αισθητήρες οι οποίοι έχουν τοποθετηθεί σε απόσταση ενός μέτρου. Έτσι αφαιρείται ο αποπροσανατολισμός του γήινου πεδίου και δίνεται προσοχή στις ανωμαλίες που προκύπτουν. Τα δείγματα συλλέχθηκαν με πυκνότητα 4 δείγματα ανά μέτρο κατά μήκος των γραμμών σάρωσης.

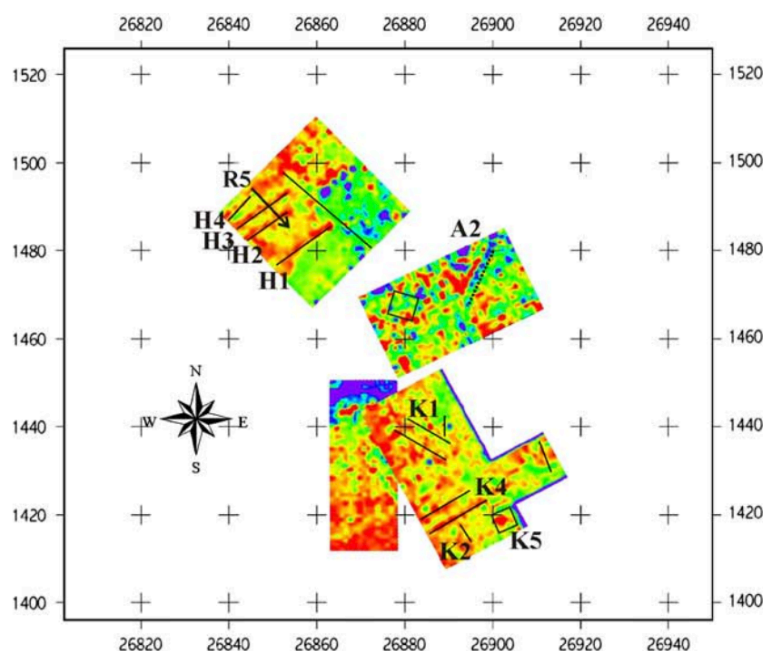
Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν είχαν μεγάλο ποσοστό θορύβου πιθανόν εξαιτίας της ανομοιομορφίας της κίνησης του χειριστή και των μεταβολών του προσανατολισμού του οργάνου. Για να βελτιωθεί η σχέση σήματος-θορύβου ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία. Αρχικά έγινε εξισορρόπηση των γραμμών σάρωσης

7.2 Μαγνητική Χαρτογράφηση, Εφαρμογή μεθόδου, ψηφιακή επεξεργασία και ευρήματα έρευνας

Η μέθοδος της μαγνητικής χαρτογράφησης χρησιμοποιήθηκε στην κεντρική κοιλάδα και στην βόρεια νεκρόπολη.

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ικανή να καλύψει τεράστιες εκτάσεις με ιδιαίτερα υψηλή ανάλυση (Sarris, 2015)(εικ12).

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων έγινε χρήση μαγνητομέτρων βαθμίδας τύπου



Εικόνα 13 :Μαγνητικός χάρτης
(Vafidis et al., 2005).

προκειμένου ο Μ.Ο. της κάθε γραμμής να είναι 0, σβήνοντας έτσι το φαινόμενο των λωρίδων.

Στην συνέχεια έγινε διόρθωση σφάλματος χρονισμού, ο οποίος προκύπτει από την αλλαγή στην ταχύτητα του βαδίσματος.

Έπειτα απομακρύνθηκαν ακραίες σημειακές τιμές, οι οποίες προέκυψαν από σύγχρονα σιδερένια αντικείμενα. Τέλος, έγινε μαθηματική παρεμβολή τύπου cubic spline προκειμένου να

μειωθεί το μέγεθος του pixel και να δημιουργηθούν πιο ομαλές τελικές εικόνες.

Γιατί όμως επιλέχθηκε η συγκεκριμένη μέθοδος; Αρχικά, διότι τα αρχιτεκτονήματα και οι κατασκευές παρουσιάζουν έντονη μαγνήτιση, η οποία δημιουργεί μαγνητικές ανωμαλίες αρκετά ορατές σε σχέση με το υπόλοιπο έδαφος. Επίσης χρησιμοποιήθηκε κατακόρυφη βαθμίδα ώστε να μην επηρεαστούν οι μετρήσεις από τις αλλαγές του μαγνητικού πεδίου, αλλά ούτε και από τις μαγνητικές ιδιότητες του εδάφους.

7.2.1 Αποτελέσματα και ερμηνεία των μαγνητικών χαρτών

Η μαγνητική χαρτογράφηση έφερε στο φως ένα πυκνό και οργανωμένο δίκτυο γραμμικών ανωμαλιών με δύο κύριες κατευθύνσεις, βορρά-νότο και ανατολή-δύση (Πίνακας 2). Οι ανωμαλίες αυτές δημιουργούσαν ορθογώνια σχήματα τα οποία επέτρεψαν την ανασύνθεση του πολεοδομικού ιστού της αρχαίας πόλης .

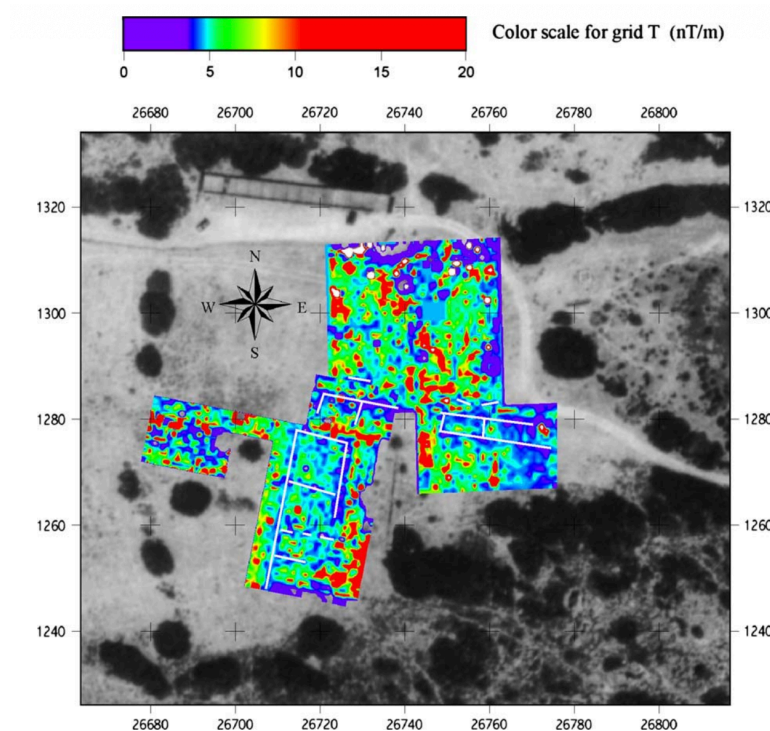
Συγκεκριμένα, αποκαλύφθηκαν παράλληλες επιμήκεις ανωμαλίες (H1,H2,H3,H4,H5) (εικ.13), οι οποίες με τις ανασκαφικές έρευνες επιβεβαιώθηκαν και αποκαλύφθηκαν

παράλληλοι τοίχοι. Στην συνέχεια, στο πλέγμα Κ αποκαλύφθηκε μια ανωμαλία Κ5, η οποία με την ανασκαφή επιβεβαιώθηκε, καθώς αποκαλύφθηκε ένα αρχαίο φρέαρ, που είχε κατασκευαστεί από κεραμικά τούβλα και λίθους, το οποίο περιβαλλόταν από καμμένο έδαφος. Εντοπίστηκαν επίσης και άλλες επιμήκειες ανωμαλίες όπως η (Κ4), η οποία σχετίζεται με αρχαίο δρόμο ή κάποιο πέρασμα(εικ.13).

Τέλος, στο πλέγμα Μ αποτυπώθηκε ένα σημαντικό τμήμα του ρυμοτομικού σχεδίου του αρχαίου οικισμού (εικ.14).

Τύπος Ανωμαλίας	Φυσικό/Μαγνητικό Προφίλ	Αρχαιολογική Ερμηνεία
Γραμμικές Αρνητικές Ανωμαλίες	Χαμηλές τιμές μαγνητικού πεδίου (-2 έως -10 nT) σε σχέση με το περιβάλλον.	Θεμέλια τοίχων από ασβεστόλιθο. Ο ασβεστόλιθος είναι διαμαγνητικό υλικό με σχεδόν μηδενική μαγνητική επιδεκτικότητα, επομένως «εκτοπίζει» το μαγνητικά πλούσιο αργιλικό έδαφος.
Γραμμικές Θετικές Ανωμαλίες	Υψηλές τιμές μαγνητικού πεδίου (+3 έως +15 nT).	Αρχαίοι δρόμοι, σοκάκια ή τάφροι αποστράγγισης. Οι χώροι αυτοί συγκέντρωναν επιφανειακά εδάφη και οργανικά υλικά πλούσια σε μαγνητικά οξείδια του σιδήρου (μαγνητίτης, μαγαιμίτης).
Διπολικές Σημειακές Ανωμαλίες	Απότομες μεταβολές με πολύ υψηλά μέγιστα (+80 nT) και ελάχιστα (-60 nT) σε επαφή.	Ταφικοί ή βιοτεχνικοί κλίβανοι (kilns) και εστίες έντονης καύσης. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας (>600°C), τα οξείδια του σιδήρου ευθυγραμμίστηκαν μόνιμα με το γήινο μαγνητικό πεδίο (θερμοπαραμεντικός μαγνητισμός).

Πίνακας 2: Μαγνητικές ανωμαλίες που προέκυψαν και η ερμηνεία τους.



Εικόνα 14: Χάρτης μαγνητικής διαβάθμισης, σε
συνδυασμό με αεροφωτογραφία
(Vafidis et al,2005)

Οι μαγνητικοί χάρτες έδωσαν εξαιρετική οριζόντια κάλυψη και έδειξαν ακριβώς τους στόχους. Όμως, λόγω της ιδιαιτερότητας του χώρου που εν μέρει βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του νερού, η μαγνητική μέθοδος δεν ήταν αρκετή. Οι ερευνητές μελετώντας αυτούς τους χάρτες, εντόπισαν τις ζώνες υψηλής ηλεκτρικής αντίστασης και εκεί εφάρμοσαν τις επόμενες μεθόδους.

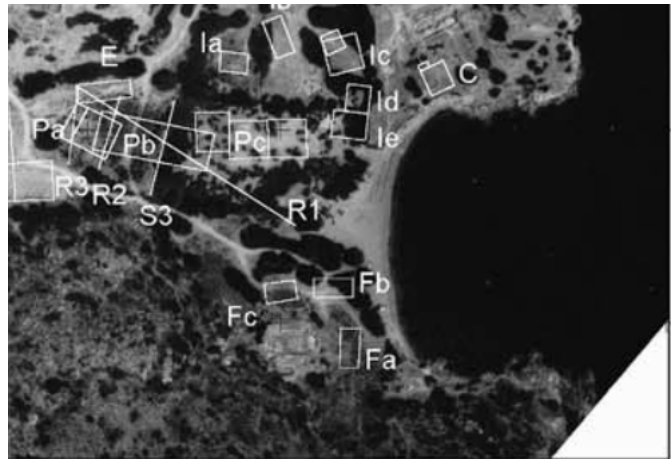
7.3 Ηλεκτρική Τομογραφία/Διασκόπηση (ERT)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω μέσω της μαγνητικής μεθόδου δημιουργήθηκε μια διςδιάστατη κάτοψη του χώρου, για τον λόγο αυτό προχώρησαν οι ερευνητές στην χρήση της ηλεκτρικής τομογραφίας (ERT) προκειμένου να δημιουργήσουν μια τριςδιάστατη εικόνα του χώρου και κυρίως να ερευνήσουν τον λιμένα του αρχαίου οικισμού και της στρωματογραφικής εξέλιξης του εδάφους.

Η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας βασίζεται στην διαδικασία διοχέτευσης συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος στο υπέδαφος μέσω ηλεκτροδίων και στην μέτρηση της διαφοράς δυναμικού μέσω ενός δεύτερου ζεύγους .

Στην αρχαία Ίτανο δημιουργήθηκαν παράλληλες γραμμές γεωηλεκτρικών τομογραφιών σε όλο το μήκος της κοιλάδας του οικισμού κάθετα στην ακτογραμμή.

Συγκεκριμένα έγινε χρήση πολυηλεκτροδιακών συστημάτων με μεταξύ τους αποστάσεις 1 με 2 μέτρα, δίνοντας έτσι την δυνατότητα για μέγιστη διείσδυση περίπου 6-8 μέτρα. Χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη γεωμετρικών διατάξεων οι οποίες είναι α) η διάταξη Wenner και β) η διάταξη dipole-dipole. Η πρώτη περίπτωση επειδή είναι ευαίσθητη στις κατακόρυφες μεταβολές, είναι



Εικόνα 15: Κάτοψη της κοιλάδας-
αεροφωτογραφία.

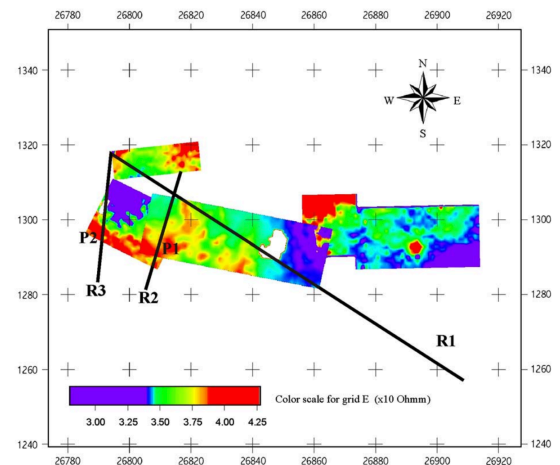
(Vafidis et al,2005)

κατάλληλη για την αποτύπωση οριζόντιων στρωματογραφιών, όπως της πρόσχωσης και του θαλάσσιου ιζήματος. Η δεύτερη περίπτωση όντας ευαίσθητη στις οριζόντιες μεταβολές , είναι κατάλληλη για την ανακάλυψη κατακόρυφων δομών όπως αρχιτεκτονικών καταλοίπων.

7.3.1 Αποτελέσματα και ερμηνεία της Ηλεκτρικής Διασκόπησης/Τομογραφίας

Τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής τομογραφίας της Ιτάνου έδωσαν τις απαντήσεις σε χρόνια ερωτήματα που αφορούσαν την μορφή του αρχαίου λιμανιού. Αρχικά οι τομογραφίες έδειξαν μια ζώνη με χαμηλή ηλεκτρική αντίσταση, η οποία δεν θα μπορούσε να αντιστοιχεί σε έδαφος ξηράς (Εικόνα 16: R1 γραμμή). Συγκεκριμένα η τομή R1 έφτασε σε μεγάλο βάθος και αποτύπωσε την γεωλογική δομή της λεκάνης. Έτσι κατέληξαν στο συμπέρασμα πως πρόκειται για την λεκάνη του αρχαίου λιμανιού και πως παρουσίαζε έντονο κοίλωμα σε βάθος πάνω από 12 μέτρα. Συγκεκριμένα, μετά την ερήμωση της

πόλης, το λιμάνι μπαζώθηκε σταδιακά με το πέρασμα του χρόνου από λεπτόκοκκα αργιολασπώδη ιζήματα, τα οποία εξαιτίας του θαλασσινού νερού δίνουν πολύ χαμηλές τιμές ηλεκτρικής αντίστασης. Μέσα σε αυτήν την λεκάνη οι μετρήσεις έδειξαν ασυνέχειες όπου η ηλεκτρική αντίσταση αυξανόταν κατακόρυφα. Αυτές οι ανωμαλίες είχαν καθαρή γεωμετρική μορφή και οι ερευνητές τις συνέδεσαν με τα χαμένα θεμέλια των αρχαίων αποβαθρών αλλά και του προστατευτικού τείχους που προστάτευε την πόλη από την θάλασσα (Apostolopoulos et al., 2014).

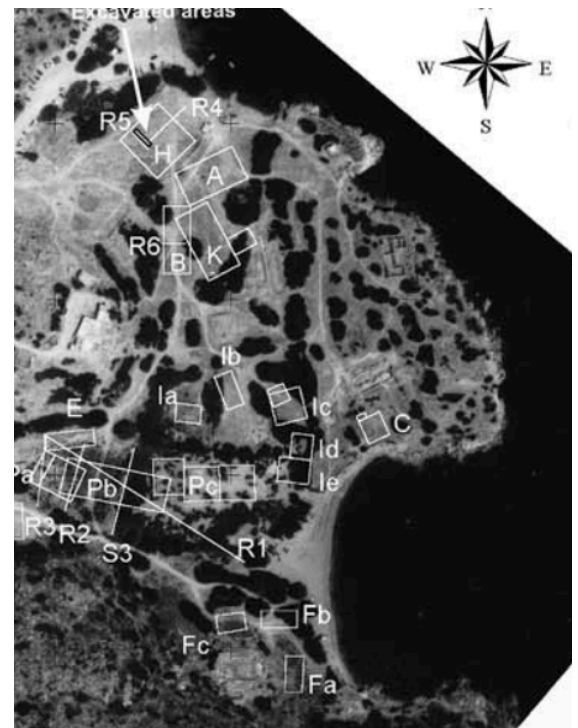


Εικόνα 16: Συνδυασμός ηλεκτρικής τομογραφίας και αντίστασης. (Vafidis et al., 2005).

7.4 Μέθοδος του Γεωραντάρ (GPR)

Η μέθοδος του Γεωραντάρ- Ground Penetrating Radar χρησιμοποιήθηκε για την τρισδιάστατη χαρτογράφηση τμημάτων με μεγάλο αρχαιολογικό ενδιαφέρον και συγκεκριμένα για την κεντρική κοιλάδα της αρχαίας πόλης αλλά και για την Νότια Ακρόπολη, όπου εντοπίστηκαν στοιχεία οίκησης (Vafidis et al., 2005). (Εικ.17)

Το Γεωραντάρ εκπέμπει παλμούς ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας με υψηλή συχνότητα και καταγράφει τον χρόνο επιστροφής των κυμάτων που ανακλώνται σε ευρήματα στο υπέδαφος. Αυτό συμβαίνει όταν το κύμα έρθει σε επαφή με υλικά τα οποία όμως έχουν διαφορετική διηλεκτρική σταθερά (relative dielectric permittivity - RDP).



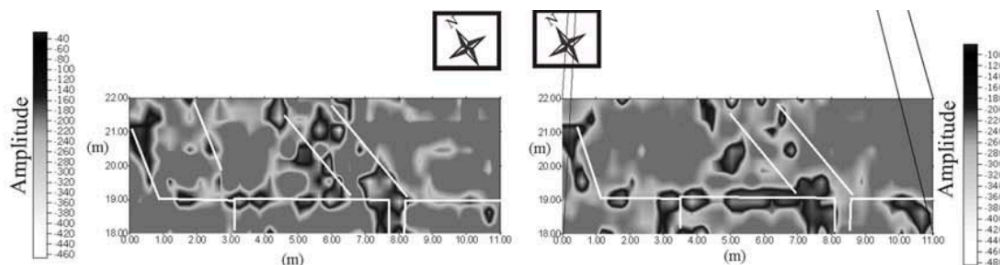
Εικόνα 17: Λεπτομέρεια κάτοψης του οικισμού των περιοχών χρήσης του Γεωραντάρ. (Vafidis et al., 2005).

Στον χώρο της αρχαίας Ιτάνου έγινε χρήση του Γεωραντάρ της Sensors & Software με την χρήση δυο διαφορετικών κεραίων. Με την κεραία των 225MHz χαρτογραφήθηκε γενικά ο χώρος σε βάθος έως 2,5 μέτρα και έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα για την ανακάλυψη τοίχων. Με την κεραία των 450MHz σαρώθηκαν συγκεκριμένα τετράγωνα με σκοπό τον εντοπισμό λεπτών στρωμάτων όπως δάπεδα, λιθόστρωτα και αντικείμενα μικρότερου μεγέθους, φτάνοντας όμως σε μικρότερο βάθος έως 1.5 μέτρο.

Οι γραμμές σάρωσης σχεδιάστηκαν με απόσταση 0,25 μέτρα μεταξύ τους, με αποτέλεσμα ένα πολύ πυκνό πλέγμα δεδομένων, με περισσότερες λεπτομέρειες κατάλληλο για την δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου (Vafidis et al., 2005).

7.4.1 Αποτελέσματα του Γεωραντάρ GPR

Τα δεδομένα που προέκυψαν από τις μετρήσεις μετατράπηκαν σε οριζόντιες τομές χρόνου/βάθους, μέσω των οποίων δημιουργήθηκε ψηφιακή ανασκαφή του χώρου σε διαφορετικά επίπεδα ανά βάθος. Στο ψηλότερο επίπεδο βάθους από 0 έως 40 εκατοστά εντοπίστηκαν ρίζες από την βλάστηση της περιοχής και διάσπαρτοι λίθοι χωρίς κάποια σύνδεση μεταξύ τους. Στο επόμενο επίπεδο από 25 έως 60-50 εκατοστά εμφανίστηκαν



Εικόνα 18: Χρονικές φέτες με μαγνητικές ανωμαλίες.

(Vafidis et al., 2005).

ανακλάσεις με ξεκάθαρο προσανατολισμό που ευθυγραμμίζονται με τις μαγνητικές ανωμαλίες. Έπειτα στο επόμενο επίπεδο βάθους από έως 70 εκατοστά γίνεται ξεκάθαρη η εικόνα και οι ανωμαλίες εμφανίζονται με μεγάλη ευκρίνεια, ενώ γίνεται και ορατό το περίγραμμα των κτισμάτων. Εντοπίστηκαν παράλληλοι τοίχοι, οι οποίοι συνέπεσαν με την ανασκαφή της θέσης. Το γεωραντάρ αποκάλυψε ότι δεν ήταν απλοί τοίχοι αλλά τμήματα που ενώνονται κάθετα σχηματίζοντας γωνίες. Καθώς πήγαιναν βαθύτερα, η ένταση

μειωνόταν επειδή έφταναν στα θεμέλια των τοίχων ή σε στρώματα βαθύτερα από το τελευταίο.(εικ.18).

Το Γεωραντάρ στην έρευνα της Αρχαίας Ιτάνου υπήρξε ιδιαίτερα σημαντικό καθώς ενώ η μαγνητική μέθοδος έδειξε την θέση των ανωμαλιών, οι χρονικές φέτες του Γεωραντάρ εμφάνισαν το σχήμα, τις γωνίες, δηλαδή την γεωμετρία των ελληνιστικών κτηρίων (Vafidis et al., 2005).

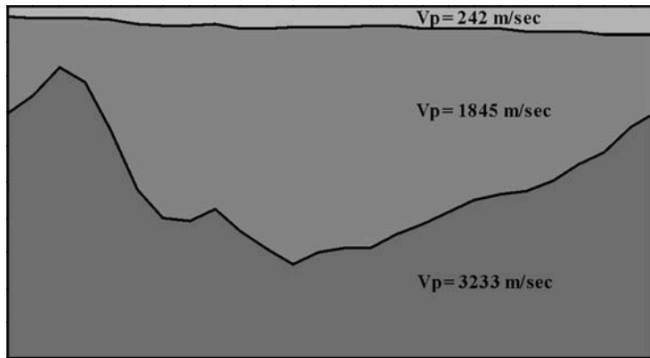
7.5 Σεισμικές τεχνικές

Ένα από τα κύρια ζητήματα στην έρευνα της νότιας κοιλάδας ήταν η κάλυψη του αρχαίου λιμένα από σύγχρονες προσχώσεις και η ύπαρξη ενός ρηχού υδροφόρου ορίζοντα. Οι συνθήκες αυτές προκαλούσαν εξασθένηση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, καθιστώντας αδύναμες τις προηγούμενες μεθόδους όπως το Γεωραντάρ. Έτσι εφαρμόστηκαν οι σεισμικές μέθοδοι υψηλής αντίστασης (διάθλαση και ανάκλαση). Στόχος ήταν η χαρτογράφηση του θαμμένου αναγλύφου του πυθμένα, η οριοθέτηση της αρχαίας λιμενολεκάνης και το βάθος των ανθρωπογενών στρωμάτων

Για την παραγωγή των κυμάτων χρησιμοποιήθηκαν σεισμικό όπλο εδάφους και βαριά χειροκίνητη σφύρα πάνω σε μεταλλική πλάκα. Αυτά τα εργαλεία επέτρεψαν την καταγραφή επιμήκων και εγκάρσιων κυμάτων. Τα κύματα καταγράφηκαν από ψηφιακό σειсмоγράφο 48 καναλιών. Για την σεισμική διάθλαση χρησιμοποιήθηκαν κατακόρυφα γεώφωνα χαμηλής συχνότητας, ενώ για την σεισμική ανάκλαση χρησιμοποιήθηκαν γεώφωνα υψηλής συχνότητας ώστε να απομονωθούν οι αναπλαστικοί ορίζοντες (Vafidis et al., 2003).

7.5.1 Αποτελέσματα σεισμικών τεχνικών

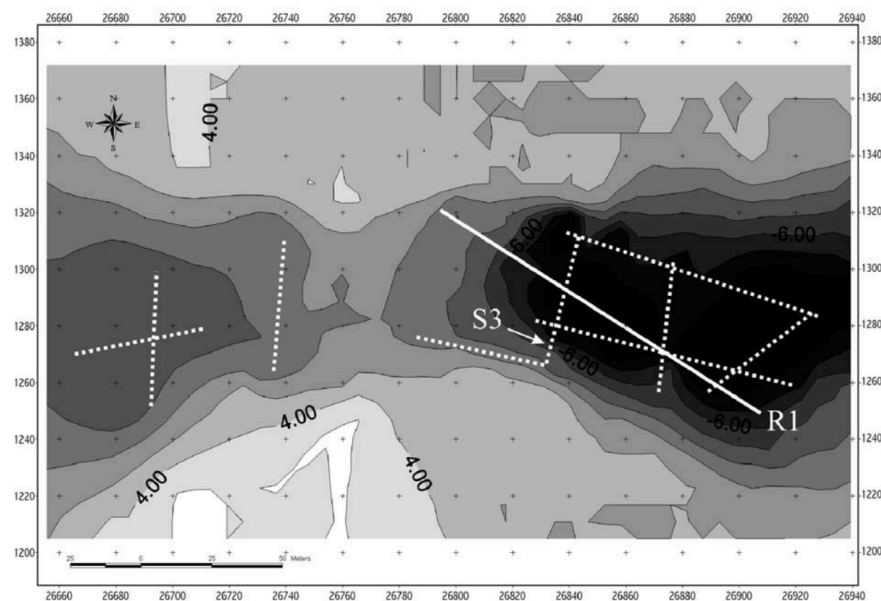
Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με εξειδικευμένο λογισμικό σεισμικής μηχανικής. Με την εφαρμογή της μεθόδου γενικευμένου αμοιβαίου χρόνου και του προσδιορισμού των χρόνων πρώτης άφιξης στην διάθλαση, προέκυψαν τα έξης στοιχεία(πίνακας 3).



Εικόνα 19: Κατανομή βάθους
(Vafidis et al., 2003)

Το πιο σημαντικό αποτέλεσμα αυτής της μελέτης ήταν η ανασύνθεση του αναγλύφου της παλαιολεκάνης. Αποκαλύφθηκε ότι το στέρεο υπόβαθρο σχημάτισε ένα βαθύ κλειστό φυσικό κοίλωμα, το οποίο φτάνει σε βάθος -10 με -12 μέτρα κάτω από την σημερινή στάθμη της θάλασσας. Η αποκάλυψη της γεωμετρίας του κοιλώματος έγινε η απόδειξη για την

θέση και την έκταση του αρχαίου λιμένα της Ιτάνου. Ήταν ένας καλά προστατευμένος όρμος βόρεια του οποίου βρισκόταν η βόρεια ακρόπολη, νότια προστατευόταν από υπερυψωμένο λόφο, ανατολικά συνδεόταν με άνοιγμα με την θάλασσα και δυτικά η λεκάνη δημιουργούσε την ακτογραμμή. (εικ.19-20)



Εικόνα 20: Αποτύπωση της παλαιολεκάνης με σεισμικές μεθόδους
(Vafidis et al., 2003)

Στρώμα	Σεισμική Ταχύτητα (Vp)	Γεωλογική / Υδρογεωλογική Ταυτότητα
1ο Στρώμα (Επιφανειακό)	300 - 550 m/s	Χαλαρές, ξηρές αλλουβιακές αποθέσεις, άμμος και επιφανειακά λιθορίμματα.
2ο Στρώμα (1ος Διαθλαστής)	1500 - 1700 m/s	Προσχωσιγενή υλικά κορεσμένα σε νερό. Η επιφάνεια αυτή ταυτίστηκε με τον υδροφόρο ορίζοντα (water table) .
3ο Στρώμα (2ος Διαθλαστής)	2300 - 3500 m/s	Συμπαγές, γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής, το οποίο αποτελείται από φυλλίτες (Permian-Triassic phyllites).

Πίνακας 3: Μοντέλο τριών διακριτών στρωμάτων στο υπέδαφος της κοιλάδας

7.6 Μέθοδοι τηλεπισκόπησης και αποτελέσματα

Η χρήση των τεχνικών Δορυφορικής τηλεπισκόπησης, αερομεταφερόμενων πολυαισθητηριακών δεδομένων και τρισδιάστατης ψηφιοποίησης άλλαξε σημαντικά το επίπεδο της έρευνας (Sarris et al, 2002). Ενώ οι γεωφυσικές μέθοδοι εστίασαν σε συγκεκριμένα σημεία όπως αναφέρεται παραπάνω, η τηλεπισκόπηση έδωσε την δυνατότητα της προβολής της αρχαίας Ιτάνου από ψηλά, της σύνδεσης των θαμμένων αρχιτεκτονημάτων με το ανάγλυφο, του εντοπισμού νέων αρχαιολογικών θέσεων στην ευρύτερη περιοχή και της προστασίας του χώρου.

Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν δεδομένα υψηλής ανάλυσης και αισθητήρων για τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων, από τα οποία είχε αφαιρεθεί η βλάστηση της περιοχής. Στην αρχαία ίτανο αποκαλύφθηκαν ανωμαλίες που ευθυγραμμίζονταν απόλυτα με τους θαμμένους δρόμους και τις προεκτάσεις των ελληνιστικών τοίχων που προαναφέρθηκαν. Μια από τις προκλήσεις που αντιμετώπισαν οι ερευνητές ήταν η φασματική σύγχυση. Τα αρχαία δομικά υλικά είχαν την ίδια σύσταση με τα βράχια και τις λιθοδομές των λόφων, κάτι που προκαλεί δυσκολία στον δορυφόρο να ξεχωρίσει τον αρχαίο τοίχο από τον φυσικό βράχο. Χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης από τους δορυφόρους Pleiades και WorldView-2.

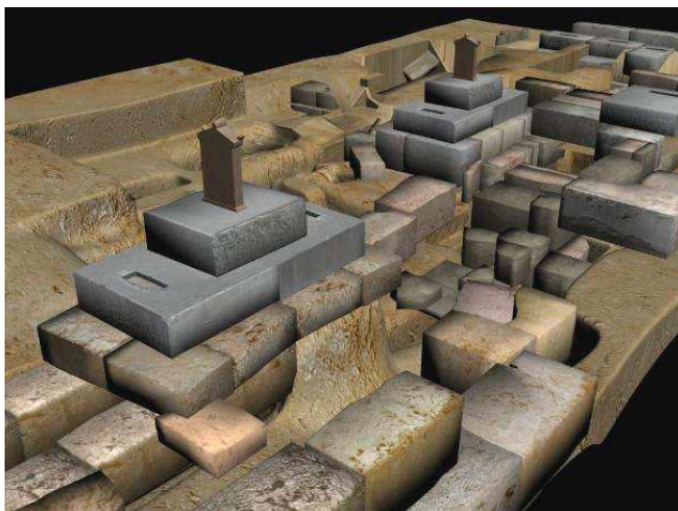
Μέσα από τις εικόνες που συλλέχθηκαν και την ανάλυση τους φαίνεται η ανεξέλεγκτη επέκταση των θερμοκηπίων και της γεωργίας στην ευρύτερη περιοχή, η τουριστική πίεση εξαιτίας της γειτνίασης με το προστατευόμενο φοινικόδασος του Βάι και η διάβρωση των ακτών, η οποία απειλεί τα τμήματα του αρχαίου λιμανιού που βρίσκονται κάτω από την στάθμη της θάλασσας. Μέσω της μελέτης αυτής δημιουργήθηκε ο πρώτος ολοκληρωμένος ψηφιακός χάρτης επικινδυνότητας για τη διαχείριση και προστασία του μνημείου. Όλη αυτή η πληροφορία επέτρεψε την τρισδιάστατη απεικόνιση της αρχαίας πόλης, μέσω της οποίας επετεύχθει η ψηφιακή αναστήλωση αλλά και η διατήρηση του αρχαιολογικού χώρου στον χρόνο, καθώς διασφαλίστηκε η αρχαία πληροφορία για μελλοντικές έρευνες.

Τέλος, η τηλεπισκόπηση λειτούργησε σαν μια ομπρέλα σύμφωνα με τους Sarris et al, κάτω από την οποία ενωποιήθηκαν όλα τα γεωφυσικά δεδομένα μέσα σε ένα κοινό γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών GIS. Η υπέρθεση (overlaying) των επιφανειακών crop marks, των 3D φωτογραμμετρικών μοντέλων των Ακροπόλεων, των 2D μαγνητικών χαρτών και του 3D σεισμικού ανάγλυφου της λιμενολεκάνης απέδειξε ότι η Ίτανος ήταν μια πόλη με άριστο γεωμετρικό οικιστικό σύστημα.

7.7 Τρισδιάστατη απεικόνιση της Αρχαίας Ιτάνου

Η χρήση της τρισδιάστατης μοντελοποίησης και της ψηφιοποίησης αυτής της θέσης λειτούργησε ως αναλυτικό επιστημονικό εργαλείο. Εξαιτίας της ιδιαιτερότητας αυτού του έργου, ήταν απαραίτητη η συνεργασία των αρχαιολόγων του CReA (Centre de Recherches Archéologiques του Ελεύθερου Πανεπιστημίου των Βρυξελλών) της Γαλλικής Σχολής Αθηνών και εξειδικευμένων μηχανικών 3D γραφικών. Συγκεκριμένα, επικεντρώθηκαν στο βόρειο τμήμα της Ιτάνου, δηλαδή στο βόρειο νεκροταφείο (εικ.21) (γεωμετρική-ελληνιστική εποχή) και σε ένα μνημειακό αρχαϊκό δημόσιο κτήριο (7ο-5ο αιώνα π.Χ.). Οι μελετητές χρησιμοποίησαν τα δισδιάστατα διανυσματικά σχέδια, τις στρωματογραφικές σημειώσεις και τις εικόνες των ανασκαφών για να δημιουργήσουν το τρισδιάστατο σχέδιο.

Το βόρειο νεκροταφείο είχε ιδιαίτερα έντονη χρήση, με τάφους που τέμνονταν ή κάλυπταν ο ένας τον άλλον. Γι' αυτό χρησιμοποίησαν ψηφιακά επίπεδα (layers) με



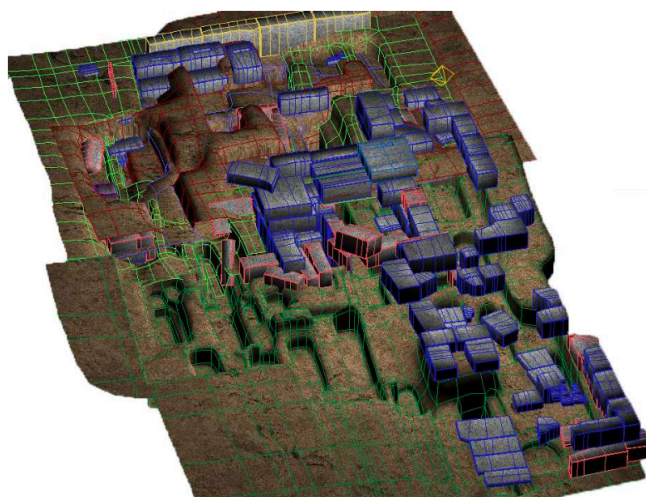
Εικόνα 21: Το βόρειο νεκροταφείο-3d σχεδιασμός.
(Erccek et al., 2010)

φωτογραφίες, ενώ στην συνέχεια τα 3D σχέδια ενσωματώθηκαν σε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους, που δημιουργήθηκε έπειτα από τοπογραφική αποτύπωση του αναγλύφου του χώρου. Αυτή η ακρίβεια επέτρεψε την διεξαγωγή αναλύσεων που αφορούσαν την ορατότητα από τις δύο ακροπόλεις και τον λιμένα. Τέλος, η μέθοδος αυτή προσέφερε βασικά πλεονεκτήματα. Λειτουργήσε ως εργαλείο επαλήθευσης αρχαιολογικών υποθέσεων, δημιουργήθηκε ένα μόνιμο τρισδιάστατο ψηφιακό σχέδιο που διαφυλάσσει τις πληροφορίες της ανασκαφής για μελλοντικές έρευνες, καθώς πρόκειται για έναν αρχαιολογικό χώρο που είναι εκτεθειμένος σε έντονη διάβρωση λόγω του θαλασσινού νερού και των καιρικών συνθηκών. Τέλος, το τρισδιάστατο περιβάλλον είναι ένα “μέρος” όπου μπορούν να τοποθετούνται τα δεδομένα της

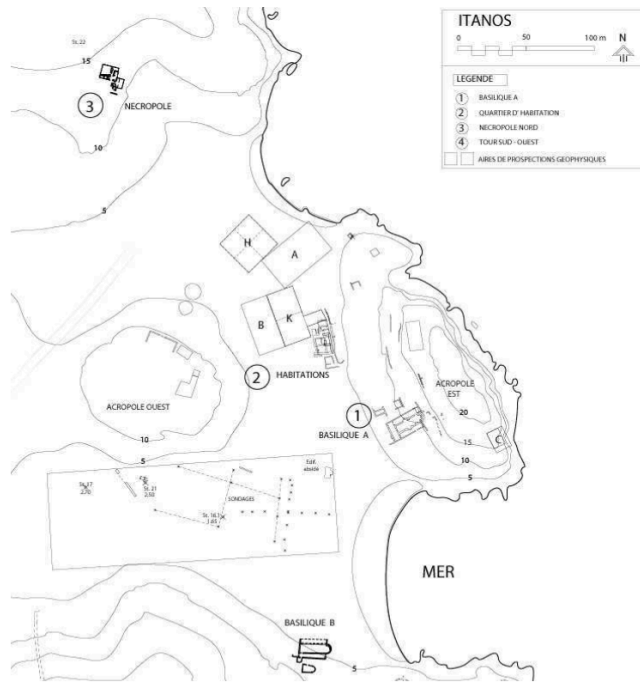
χρονολογικές φάσεις(εικ.22).

Αυτό βοήθησε στο να ξεχωρίζουν τις περιόδους και να εμφανίζουν επίσης όποια δεδομένα ήθελαν. Επίσης, έγινε κατανοητή η χρονική πορεία του νεκροταφείου με λεπτομέρεια, κάτι που δεν μπορεί να αποδοθεί με λεπτομέρεια με τις δισδιάστατες αποτυπώσεις.

Για την μεγαλύτερη ακρίβεια τα μοντέλα των αρχιτεκτονικών καταλοίπων επενδύθηκαν με αληθινές υφές από ψηφιακές



Εικόνα 22: Η αρχαία νεκρόπολη-3d σχεδιασμός
(Erccek et al., 2010)



Εικόνα 23: Περιοχές ανασκαφής
(Ercek et al., 2010)

γεωφυσικής διασκόπησης, δημιουργώντας μια ενιαία εικόνα της πόλης, τόσο αυτής που βρίσκεται στην επιφάνεια, όσο και αυτής που είναι ακόμη θαμμένη στο υπέδαφος (Ercek et al., 2010).

7.8 Συνδυασμός μεθόδων και συνθέτη ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα αυτά της γεωφυσικής έρευνας, που έλαβε χώρα στον αρχαιολογικό χώρο της Ιτάνου προέκυψαν

από τον συνδυασμό όλων των μεθόδων και την μελέτη τους συνολικά και όχι μεμονωμένα ενώ στο τέλος συγκεντρώθηκαν σε ένα κοινό γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών. Η διαδικασία που ακολούθησαν, συνδυάζοντας τις μεθόδους μεταξύ τους, έγινε για να διασταυρώσουν τα αποτελέσματα της κάθε μιας. Συγκεκριμένα, τα τμήματα που έδωσαν αρνητικές γραμμές με την μέθοδο της μαγνητικής χαρτογράφησης, ελέγχθηκαν έπειτα με το Γεωραντάρ ώστε να επιβεβαιωθούν το βάθος και το σχήμα των ευρημάτων. Σε πολλά σημεία το Γεωραντάρ εξαιτίας της υψηλής αγωγιμότητας του εδάφους δεν μπορούσε να ολοκληρώσει την διαδικασία της μέτρησης, για τον λόγο αυτόν, την σκυτάλη έπαιρνε η ηλεκτρική τομογραφία ώστε να αποτυπώσει τα βαθύτερα όρια. Τέλος, οι ανωμαλίες που προέκυψαν από τον εντοπισμό κλιβάνων συνδυάστηκαν με τις κατόψεις των αρχιτεκτονημάτων που προέκυψαν από το Γεωραντάρ και έτσι κατέστη δυνατός ο διαχωρισμός των εργαστηρίων της αρχαίας Ιτάνου και των ζωνών κατοίκησης. Ο χάρτης που προέκυψε από τον συνδυασμό όλων αυτών των μεθόδων άλλαξε τον τρόπο διαχείρισης του χώρου από την Γαλλική Σχολή, καθώς πλέον ανέσκαψαν τον χώρο με

απόλυτη ακρίβεια στα σημεία που υπέδειξαν τα συστήματα των μετρήσεων (Vafidis et al., 2005).

7.9 Σύγκριση με αρχαιολογικά δεδομένα

Η ερμηνεία των χαρτών και των ανωμαλιών χρησιμοποιήθηκε άμεσα και συνδυάστηκε με το ιστορικό πλαίσιο της αρχαίας Ιτάνου, δίνοντας έτσι την δυνατότητα διασταύρωσης των θαμμένων δομών με τα είδη υπάρχοντα αρχαιολογικά τεκμήρια. Η αρχαία πόλη της Ιτάνου όντας μια από τις σημαντικότερες πόλεις-κράτη της Κρήτης, η οποία κατοικούνταν από την Γεωμετρική έως και την Παλαιοχριστιανική εποχή, αποτελείται από πλούσια στρωματογραφία (Tsiporoulou, 2005). Ο συνδυασμός αυτός, των ερμηνειών και των ήδη υπάρχοντων τεκμηρίων, επέτρεψε την επίλυση δύσκολων ζητημάτων.

Αρχικά, οι ανωμαλίες που προέκυψαν από το Γεωραντάρ και από το μαγνητόμετρο βαθμίδας αποκάλυψαν μια πολεοδομική συνοχή και οικιστική οργάνωση, μέσω των οδικών αξόνων και των θαμμένων τοιχείων που αποκαλύφθηκαν. Αυτό οδήγησε στο συμπέρασμα ότι επρόκειτο για μια σημαντική πόλη με ενιαίο σχεδιασμένο πολεοδομικό σύστημα, χωρίς την ύπαρξη άναρχης δόμησης (Sarris et al., 2013).

Στην συνέχεια, τα γεωφυσικά δεδομένα συγκρίθηκαν με ανασκαφικά ευρήματα παλαιότερων χρόνων, τα οποία προέρχονταν από τμήμα της νεκρόπολης. Η χαρτογράφηση του χώρου επέτρεψε τον διαχωρισμό της πόλης με τον χώρο των ταφών και αυτό συνέβη χάρη στις έντονες μαγνητικές ανωμαλίες που προκλήθηκαν από τους τάφους και έτσι έγινε ξεκάθαρη οριοθέτηση (Vafidis et al., 2005; Sarris, 2015).

Τέλος, ο πιο σημαντικός προβληματισμός αφορούσε τον αρχαίο λιμένα, ο οποίος αναφέρεται στις πηγές ως η βάση της σημαντικής αυτής πόλης. Τα δεδομένα που προέκυψαν από την ηλεκτρική τομογραφία και τις σεισμικές τομές συγκρίθηκαν με γεωλογικές μελέτες που έγιναν στην περιοχή. Οι χαμηλές τιμές ηλεκτρικής αντίστασης που βρέθηκαν κάτω από σύγχρονες προσχώσεις ταυτίστηκαν με θαλάσσια ιζήματα (Apostolopoulos et al., 2014). Η αρχαιολογική αξιολόγηση επιβεβαίωσε ότι στην περιοχή της ξηράς υπήρχε βαθύς, εσωτερικός κόλπος που είχε την χρήση ναύσταθμου. Η εξήγηση αυτή έλυσε και το ερώτημα της παρακμής της πόλης, που προήλθε από τις

γεωμορφολογικές αλλαγές, την τεκτονική δραστηριότητα και την επίχωση του λιμένα από φερτά ιζήματα (Vafidis et al., 2005; Sarris et al., 2013).

7.10 Επιβεβαίωση από ανασκαφές ή άλλες πηγές

Στην περίπτωση της αρχαίας Ιτάνου η σχέση γεωφυσικών διασκοπήσεων και των ανασκαφών αποτελεί κλασικό παράδειγμα απόλυτης συνεργασίας και επιβεβαίωσης. Τα αποτελέσματα των γεωφυσικών διασκοπήσεων δεν έμειναν μόνο σε θεωρητικό επίπεδο αλλά έγινε και ο έλεγχος τους στο πεδίο. Η επιβεβαίωση πραγματοποιήθηκε μέσα από στοχευμένες αρχαιολογικές τομές και από γεωαρχαιολογικές γεωτρήσεις (στα βαθύτερα στρώματα). Συγκεκριμένα, οι χάρτες των μαγνητομέτρων και του Γεωραντάρ αποκάλυψαν γραμμικά ίχνη, τα οποία ερμηνεύτηκαν ως δρόμοι και θεμέλια κτηρίων. Πράγματι με τις δοκιμαστικές τομές που έκαναν οι αρχαιολόγοι, εντόπισαν τοιχοποιίες της ελληνιστικής και της ρωμαϊκής περιόδου. Το γεωραντάρ εκτός από την θέση είχε εντοπίσει και το βάθος των καταλοίπων, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις επιβεβαιώθηκε η κάτοψη ολόκληρων κτηριακών συγκροτημάτων.

Όσον αφορά στο αρχαίο λιμάνι, οι ηλεκτρικές και οι σεισμικές τομογραφίες είχαν δείξει μια ανωμαλία σχήματος U κάτω από την σημερινή πεδιάδα, η οποία ερμηνεύθηκε ως η αρχαία λιμενολεκάνη. Η επιβεβαίωση ήρθε με την χρήση δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, στα σημεία που υπέδειξαν οι σεισμικές τεχνικές. Η ανάλυση των ιζημάτων έδειξε θαλάσσια άμμο, κοχύλια, μικροαπολιθώματα θαλάσσιου περιβάλλοντος, τα οποία ήταν θαμμένα κάτω από αλλουβιανές αποθέσεις. Επιβεβαιώθηκε δηλαδή και το σταδιακό μπάζωμα του λιμανιού από διάφορες επιχώσεις (Dunn et al., 2005).

Οι περιοχές που εμφάνισαν μαγνητικές ενδείξεις υποδείκνυαν σημεία όπου το έδαφος είχε ψηθεί σε υψηλές θερμοκρασίες. Η ανασκαφή επιβεβαίωσε ξανά αυτές τις ενδείξεις καθώς ήρθαν στο φως κεραμική, σκωρίες και υπολείμματα από καμίνια, δείχνοντας τις περιοχές όπου στεγάζονταν τα εργαστήρια.

Τέλος, όσον αφορά στην νεκρόπολη, η οποία βρίσκεται στην βόρεια περιοχή της πόλης, επιβεβαιώθηκαν οι γεωφυσικές ενδείξεις και η ανάλυση της βλάστησης, από τις ανασκαφές και τις τομές της Γαλλικής Σχολής που αποκάλυψαν ταφικούς περιβόλους (Galanaki et al., 1999-2000).

8. Συμβολή των γεωφυσικών μεθόδων στη διαχείριση του αρχαιολογικού χώρου - Κριτική αποτίμηση των ερευνών

Πάρα την επιτυχή έκβαση του προγράμματος θα πρέπει να αναφερθούν και να σχολιαστούν οι περιορισμοί και οι προκλήσεις που αντιμετώπισε η γεωφυσική έρευνα στον χώρο της αρχαίας Ιτάνου.

Το πρώτο μειονέκτημα που προκύπτει στην χρήση του Γεωραντάρ είναι η παρουσία του υφάλμυρου υδροφόρου ορίζοντα (θαλασσινό νερό) που έχει ως αποτέλεσμα την υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, η οποία απορροφά πολύ γρήγορα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα υψηλής συχνότητας. Αυτό οδήγησε στην αδυναμία των κεραιών να φτάσουν σε βάθος κάτω από 1 μέτρο, άρα κατέστη αδύνατη η αναγνώριση παλαιότερων χρονολογικά στρωμάτων του οικισμού.

Επίσης εξαιτίας της κατάστασης στην οποία βρίσκονταν οι πλαγιές των δύο ακροπόλεων (κατάρρευση τοίχων και παρουσία σύγχρονων μεταλλικών αντικειμένων) κατά την διάρκεια των μετρήσεων προέκυπτε έντονος μαγνητικός θόρυβος. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αδυναμία αντίληψης των μαγνητικών ανωμαλιών που προέκυπταν από τα αρχαία ασβεστολιθικά κατάλοιπα και άρα την χρονοβόρα διαδικασία αφαίρεσης του θορύβου από τα δεδομένα.

Τέλος οι γεωφυσικές διασκοπήσεις δεν παίρνουν την θέση της ανασκαφής αλλά την ολοκληρώνουν. Οι χάρτες που προέκυψαν καθοδήγησαν τους ανασκαφείς στα μέρη που έπρεπε να ερευνηθούν αλλά δεν παρείχαν καμία πληροφορία για την χρονολόγηση των καταλοίπων. Μια ανωμαλία υποδεικνύει μια αρχαιότητα αλλά η ταύτιση της με την αντίστοιχη χρονολογική φάση μπορεί να γίνει μετά την ανασκαφή και την μελέτη των υπόλοιπων ανασκαφικών ευρημάτων, όπως της κεραμικής που προσφέρει ασφαλή χρονολόγηση (Tsiporoulou, 2005).

8.1 Προτάσεις περαιτέρω έρευνας

Τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία έχει εξελιχθεί και τα γεωπληροφορικά σύστημα αλλά και τα όργανα των μετρήσεων έχουν αναπτυχθεί και μπορούν να προσφέρουν νέες δυνατότητες στην έρευνα γενικότερα και στην περιοχή της αρχαίας Ιτάνου ειδικότερα.

Συγκεκριμένα, αν και η χρήση της μαγνητομετρίας προσφέρει στους μελετητές διςδιάστατες κατόψεις, οι σημερινές τεχνικές μπορούν να δώσουν τρισδιάστατη αναστροφή των μαγνητικών δεδομένων . Αυτό θα τους δώσει την ευκαιρία να αναγνωρίσουν όχι μόνο την ακριβή θέση των καταλοίπων αλλά και το κατακόρυφο πάχος των θαμμένων ευρημάτων ή το βάθος των κλιβάνων , δίνοντας έτσι νέα μορφή στους ήδη υπάρχοντες χάρτες.

Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολυφασματικές και θερμικές κάμερες σε drones για την καλύτερη διεξαγωγή της τηλεπισκόπησης . Στην χώρα της Αρχαίας Ιτάνου θα μπορούσε να γίνει καταγραφή αποτυπωμάτων στην βλάστηση που υποδηλώνουν την ύπαρξη αρχαιοτήτων. Αυτό θα συνέβαινε διότι τα θαμμένα τοιχεία επηρεάζουν την υγρασία και άρα την ανάπτυξη των φυτών στην επιφάνεια του εδάφους. Η εναέρια έρευνα ιδιαίτερα στην περίοδο της άνοιξης θα έδινε την ευκαιρία χαρτογράφησης του πολεοδομικού δικτύου σε σημεία που δεν είναι δυνατή η πρόσβαση εξαιτίας της πυκνής βλάστησης.

Στην συνέχεια, η εναλία γεωφυσική έρευνα φαίνεται πως μπορεί να προσφέρει ιδιαίτερη βοήθεια στην μελέτη του χώρου, καθώς ένα μεγάλο τμήμα της αρχαίας πόλης βρίσκεται βυθισμένο κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, στον βυθό. Η χρήση τομογράφων υποδομής πυθμένα, πλευρικών ηχοβολιστών και θαλάσσιων μαγνητομέτρων κβαντικής κλίμακας θα δώσει την ευκαιρία χαρτογράφησης του πυθμένα όπου βρίσκονται κτίσματα, ναυάγια, τμήματα του αρχαίου λιμανιού, ολοκληρώνοντας έτσι την τρισδιάστατη απεικόνιση αυτής της σπουδαίας αρχαίας πόλης, που είχε μεγάλη διάρκεια στον χρόνο.

Τέλος, θα μπορούσαν να λάβουν χώρα πυρηνοληψίες ιζημάτων σε σημεία που έχουν υποδειχθεί από τις γεωφυσικές έρευνες και τα γεωφυσικά θαλάσσια ιζήματα, ώστε να γίνει ακριβής προσδιορισμός της παλαιογεωγραφίας της θέσης του αρχαίου λιμένα.

Μέσω αυτού του προσδιορισμού μπορεί να γίνει ακριβής εντοπισμός της αρχαίας ακτογραμμής και της λεκάνης του λιμένα. Επίσης, μπορεί να γίνει απόλυτη χρονολόγηση των φάσεων λειτουργίας του λιμένα, με την χρονολόγηση τυχόν οργανικών ευρημάτων (π.χ. με ραδιοχρονολόγηση άνθρακα C-14). Επίσης, μέσα από την ανάλυση των πυρήνων μπορεί να γίνει ανασύνθεση του παλαιοπεριβάλλοντος, χάρη στα μικροαπολιθώματα που μπορούν να εντοπιστούν σε αυτά ή ακόμη να γίνουν κατανοητές οι αιτίες της τελικής καταστροφής του λιμένα, οι οποίες μπορούν να είναι η τεκτονική καθίζηση και η πρόσχωση. Συμπερασματικά, οι πυρηνοληψίες μπορούν να γίνουν το συνδετικό μέσο της γεωφυσικής έρευνας και της ανασκαφής. Όλα αυτά τα δεδομένα που θα προκύψουν θα δώσουν απάντηση στα ερωτήματα της χρήσης του λιμένα, της εξέλιξης του ακόμη και της τελικής καταστροφής του.

9. Συμπεράσματα

Στην σημερινή εποχή η αρχαιολογική έρευνα στρέφεται όλο και περισσότερο στην διεπιστημονικότητα, καθώς έχει γίνει πλέον κατανοητό ότι η μελέτη του παρελθόντος χρειάζεται νέα εργαλεία. Η γεωφυσική έρευνα στην αρχαιολογία αποτελεί ένα από τα βασικότερα μέσα κατανόησης και διαχείρισης της πολιτιστικής κληρονομιάς σε παγκόσμιο επίπεδο. Η δυνατότητα που προσφέρει στους μελετητές να μπορούν να δουν τι κρύβεται στο υπέδαφος, χωρίς να διαταράσσουν την στρωματογραφία δίνει την δυνατότητα ισορροπίας μεταξύ γνώσης αλλά και διατήρησης των μνημείων στην φυσική τους θέση (in situ). Όμως η πρόκληση αυτή της μεθοδολογίας δεν βρίσκεται στην συλλογή δεδομένων από το πεδίο αλλά στην δυνατότητα συνδυασμού τους. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο καλύτερος τρόπος χρήσης των γεωφυσικών μεθόδων έρευνας είναι ο συνδυασμός τους και όχι η μεμονωμένη χρήση τους και έτσι μπορεί η γεωφυσική να γίνει μια αυτόνομη ερμηνευτική επιστήμη.

Στην περίπτωση της Αρχαίας Ιτάνου γίνεται εφαρμογή αυτής ακριβώς της αυτόνομης ερμηνευτικής επιστήμης, η οποία έδωσε απαντήσεις σε ερωτήματα που μόνη της η αρχαιολογική ανασκαφή δεν θα μπορούσε να λύσει. Ο συνδυασμός των δεδομένων του μαγνητομέτρου, του γεωραντάρ ,της ηλεκτρικής διασκόπησης/τομογραφίας, των σεισμικών μεθόδων και της τηλεπισκόπησης έδωσε στους μελετητές το έναυσμα να ξεπεράσουν τα φυσικά εμπόδια (βλάστηση, προσχώσεις) ανακαλύπτοντας ένα ολόκληρο οικιακό συγκρότημα και όχι μόνο στην κεντρική κοιλάδα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι η αρχαία Ίτανος υπήρξε μια σημαντική πόλη σε όλη την διάρκεια των χρόνων.

Εκτός από την αρχιτεκτονική οργάνωση της πόλης, οι μελέτες αποκάλυψαν σημαντικά στοιχεία για την εξέλιξη της παλαιογεωγραφίας , αποκαλύπτοντας έτσι τον αρχαίο λιμένα. Συγκεκριμένα έγινε γνωστό μέσα από τις ηλεκτρικές τομογραφίες ότι η κοιλάδα που μπορούμε να δούμε σήμερα ήταν κάποτε ο εσωτερικός ναύσταθμος, η οποία λεκάνη με το πέρασμα του χρόνου και λόγω των τεκτονικών μεταβολών μπαζώθηκε.

Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα από τις γεωφυσικές έρευνες επιβεβαιώθηκαν από τα ευρήματα των στοχευμένων ανασκαφών, γεγονός που αποδεικνύει την αξιοπιστία τους.

Οι χάρτες που δημιουργήθηκαν αποτελούν για τις αρχαιολογικές υπηρεσίες σημαντική βοήθεια, καθώς μπορούν να συμβάλουν στην προστασία του χώρου αλλά

ακόμη και στον σχεδιασμό ειδικών μονοπατιών για τους επισκέπτες, ενώ η εισαγωγή των νέων τεχνολογιών βοήθησε στην τρισδιάστατη απεικόνιση της Αρχαίας Ιτάνου.

Τέλος, η μελέτη της Ιτάνου αποδεικνύει ότι η γεωφυσική έρευνα στην αρχαιολογία δεν είναι απλώς ένα βοηθητικό εργαλείο, αλλά ένα απαραίτητο κομμάτι της σύγχρονης αρχαιολογίας, που μπορεί να ισορροπήσει την επιστημονική ανάπτυξη, την διατήρηση της αξίας του μνημείου αλλά και την σωστή διαχείριση αυτού αλλά και του περιβάλλοντος.

Βιβλιογραφία

- Agapiou, A., Alexakis, D. D., Lysandrou, V., Sarris, A., Cuca, B., Themistocleous, K., & Hadjimitsis, D. G. (2013). Impact of soil moisture on archaeological crop marks' detection. *Journal of Archaeological Science*, 40(11), 4005-4014.
- Aspinall, A., Gaffney, C., & Schmidt, A. (2009). *Magnetometry for Archaeologists*. AltaMira Press.
- Apostolopoulos, G., Amolochitis, G., & Pavlopoulos, K. (2014). Geophysical investigation of the ancient harbor of Itanos (Crete, Greece) using electrical resistivity tomography. *Journal of Applied Geophysics*, 105, 112-123.
- Bates, R., Lawrence, M., Forbes, M., Whitehead, J., & Wickler, S. (2011). High-resolution sub-bottom profiling for underwater archaeological prospecting. *International Journal of Nautical Archaeology*, 40(2), 422-431.
- Bewley, R., Crutchley, S., & Shell, C. (2005). New light on an ancient landscape: Airborne laser scanning in the Stonehenge World Heritage Site. *Antiquity*, 79(305), 636-647.
- Blondel, P. (2009). *The Handbook of Sidescan Sonar*. Springer Science & Business Media.
- Cammarosano, M., Deiana, G., & Piro, S. (2018). Ground Penetrating Radar and Magnetometry for archaeological prospecting: A combined approach. *Remote Sensing*, 10(4), 521.
- Chaniotis, A. (1996). *An Island in the Shades: Crete in the Hellenistic Period*. Franz Steiner Verlag.
- Ciminale, M., & Loddo, M. (2001). Aspects of data transformation in archaeological geophysics. *Archaeological Prospection*, 8(2), 69-82.
- Clark, A. (1996). *Seeing Beneath the Soil: Prospecting Methods in Archaeology*. Routledge.
- Conyers, L. B. (2013). *Ground-penetrating Radar for Archaeology* (3rd ed.). Rowman & Littlefield.
- Crutchley, S., & Crow, P. (2018). *The Light Fantastic: Using Airborne Laser Scanning in Archaeological Survey*. Historic England.
- David, A., Linford, J., & Linford, P. (2008). *English Heritage Geophysical Survey in Archaeological Field Evaluation*. English Heritage.

- Demargne, J. (1902). Antiquités de Khandia et d'Itanos. *Bulletin de Correspondance Hellénique*, 26, 303–332. <https://doi.org/10.3406/bch.1902.3364>
- Dunn, R. K., Sarris, A., & Kalpaxis, Th. (2004). *Geoarchaeological verification of geophysical anomalies at the ancient port of Itanos, Crete*. *Geoarchaeology: An International Journal*, 19(4).
- Ercek, R., Viviers, D., & Warzée, N. (2010). 3D reconstruction and digitalization of an archeological site, Itanos, Crete. *Virtual Archaeology Review*, 1(1), 71–75. <https://doi.org/10.4995/var.2010.4795>
- Galanaki, K., Kalpaxis, Th., Schnapp, A., & Viviers, D. (1996–2000). *Rapports sur τα travaux de la Mission de l'Ecole française d'Athènes à Itanos (Crète)*. *Bulletin de Correspondance Hellénique (BCH)*.
- Gaffney, C., & Gater, J. (2003). *Revealing the Buried Past: Geophysics for Archaeologists*. Tempus Publishing.
- Gallet de Santerre, H. (1951). Recherches archéologiques dans la région d'Itanos. *Bulletin de Correspondance Hellénique*, 75, 134-144.
- Garrison, T. T., Houston, S. D., Inomata, T., Fernandez-Diaz, J. C., & Tokovinine, A. (2019). Laser scanning (LiDAR) reveals large-scale Maya settlement and territoriality in the Petén, Guatemala. *Science*, 361(6409), 1356-1360.
- Greco, E., Kalpaxis, T., Schnapp, A., & Viviers, D. (2002). Itanos (Crète orientale). *Bulletin de Correspondance Hellénique*, 126(2), 577-582.
- Kvamme, K. L. (2006). Integrating geophysics and GIS. In *Digital Archaeology: Theoretical and Practical Applications* (pp. 160-174). Routledge.
- Lasaponara, R., & Masini, N. (2012). *Satellite Remote Sensing: A New Tool for Archaeology*. Springer.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation* (7th ed.). John Wiley & Sons.
- Loke, M. H. (2002). *Rapid 2D Resistivity & IP Inversion using the least-squares method*. Geotomo Software.
- Lurton, X. (2010). *An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications* (2nd ed.). Springer Science & Business Media.
- Mangerud, J., Jakobsson, M., & Hughes, A. L. (2019). Marine geophysical methods in underwater cultural heritage management. *Quaternary International*, 500, 34-47.
- Milsom, J., & Eriksen, A. (2011). *Field Geophysics* (4th ed.). Wiley-Blackwell.

- Parcak, S. H. (2009). *Satellite Archaeology: Making Maps a New Way*. Routledge.
- Plets, R., Dix, J., & Bates, R. (2013). *Marine Geophysics Data Acquisition, Processing and Interpretation*. English Heritage.
- Quinn, R., Forsythe, W., Breen, C., Dean, M., Lawrence, M., & Liscoe, S. (2005). Comparison of side-scan sonar and multibeam sonar imagery for marine archaeological surveys. *Journal of Archaeological Science*, 32(8), 1219-1230.
- Reynolds, J. M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Sarris, A. (Ed.). (2015). *Best Practices of Geoinformatic Technologies for the Mapping of Archaeological Landscapes*. Archaeopress Publishing Ltd.
- Sarris, A., Papadopoulos, N., Kokkinou, E., & Triantafyllidis, S. (2013). Joint interpretation of geophysical and geological data at the coastal site of Itanos, Crete. *Archaeological Prospection*, 20(2), 85-97.
- Scollar, I., Tabbagh, A., Hesse, A., & Herzog, I. (1990). *Archaeological Prospecting and Remote Sensing*. Cambridge University Press.
- Schmidt, A., Linford, P., Linford, N., David, A., Gaffney, C., Sarris, A., & Fassbinder, J. (2016). *EAC Guidelines for the Use of Geophysics in Archaeology: Questions to Ask and Points to Consider*. Europae Archaeologia Consilium (EAC).
- Schnapp, A., Greco, E., Kalpaxis, T., & Viviers, D. (2000). Itanos: un programme de recherches de l'École française d'Athènes, de l'Institut d'Etudes Méditerranéennes et de la 24ème Ephorie des Antiquités Préhistoriques et Classiques. *Archeologia*, 370, 44-53.
- Scollar, I., Tabbagh, A., Hesse, A., & Herzog, I. (1990). *Archaeological Prospecting and Remote Sensing*. Cambridge University Press.
- Shennan, S. (2020). *The First Farmers of Europe: An Evolutionary Perspective*. Cambridge University Press.
- Soter, S., & Katsonopoulou, D. (2011). Subsurface morphology and geoarchaeology of the Helike Delta, Coastal Achaea, Greece. *Quaternary International*, 242(1), 148-164.
- Spyridakis, S. (1970). *Itanos and her neighbors in Classical and Hellenistic Times*. Brill
- Tsigonaki, C., Sarris, A., & Cuenca-García, C. (2021). Mapping the urban layout of Early Byzantine Itanos (East Crete): Integration of archaeological and geophysical data. *Archaeological Prospection*, 28(3), 345–361. <https://doi.org/10.1002/arp.1812>

Tsokas, G. N., Kim, J. H., Tsourlos, P. I., & Peristeri, K. (2018). Structure of the Castas Tumulus at Amphipolis (Macedonia, Greece) revealed by electrical resistivity tomography. *Archaeological Prospection*, 25(2), 125-138.

Tsiporoulou, M. (2005). *Η Ανατολική Κρήτη στην Πρώιμη Εποχή του Σιδήρου*. Μονάδα Αρχαιολογίας και Τέχνης, Υπουργείο Πολιτισμού.

Vafidis, A., Manakou, M., Kaldeli, S., & Sarris, A. (2005). Integrated geophysical studies at Chania and Itanos Crete, Greece. *Journal of Archaeological Science*, 32(7), 1023-1036.

Vafidis, A., Economou, N., Ganiatsos, G., Manakou, M., Poulioudis, G., Panagopoulos, G., Soupios, P., Sarris, A., & Kalpaxis, A. (2003). Integrated geophysical studies at the archaeological site of Itanos (Greece). *Proceedings of the 5th International Conference on Archaeological Prospection*, 115-118.

Vargemezis, G., Tsokas, G. N., & Savvopoulou, T. (2012). Mapping the buried fortifications and the urban plan of ancient Europos in Macedonia (Northern Greece) using magnetometry. *Archaeological Prospection*, 19(4), 235-245.

Verdonck, L., Launaro, A., Vermeulen, F., & Millett, M. (2020). Ground-penetrating radar survey at Falerii Novi: A new approach to the study of Roman cities. *Antiquity*, 94(375), 705-723.

Witten, A. J. (2006). *Handbook of Geophysics and Archaeology*. Equinox Publishing.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Ντε λα Κρουζ-Καρνάβας, Ζ. (2016). *Εφαρμογή μεθόδου σεισμικής διάθλασης* [Ανέκδοτη πτυχιακή εργασία]. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Παπαζάχος, Κ. Β., & Καρακάσης, Γ. Φ. (2002). Εισαγωγή στη Γεωφυσική. Εκδόσεις Ζήτη. (Για τις φυσικές αρχές των μεθόδων).

Τσιγωνάκη, Χ. (2009). Ίτανος: ιστορία και τοπογραφία μιας παράκτιας θέσης της ανατολικής Κρήτης κατά την πρωτοβυζαντινή περίοδο. Στο Ό. Γκράτζιου & Χ. Λούκος (Επιμ.), *Ψηφίδες: Μελέτες Ιστορίας, Αρχαιολογίας και Τέχνης στη μνήμη της Στέλλας Παπαδάκη-Oekland* (σσ. 159–174). Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

Τσόκας, Π. Γ. (1997). Γεωφυσικές Διασκοπήσεις. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.