

ACTIONS
FOR THE CONSERVATION
OF COASTAL DUNES WITH
JUNIPERUS spp. IN CRETE
AND THE SOUTH AEGEAN
(GREECE)

LIFE07NAT/GR/000296



CIHEAM
MAI CHANIA

International Centre for Advanced
Mediterranean Agronomic Studies
Mediterranean Agronomic
Institute of Chania



National and Kapodistrian
University of Athens (NKUA)
Department of Botany,
Faculty of Biology



Region of Crete,
Regional Development Fund
Forest Directorate of Chania
Forest Directorate of Lasithi

Δράση A.1
Παραδοτέο A.1.1

ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΑΜΜΟΘΙΝΩΝ ΜΕ ΕΙΔΗ ΚΕΔΡΩΝ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ

Υπεύθυνος δικαιούχος: Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων

Συντάκτης : Παναγιώτης Νύκτας

Με τη συνεργασία του

Πολυτεχνείου Κρήτης

Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής

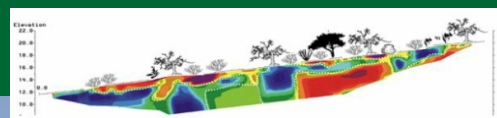
Αντώνης Βαφείδης

Hamdan Hamdan

Ομάδα εργασίας: Γιώργος Καζάκης

Dany Ghosn

Ηλεκτρα Ρεμούνδου



ΧΑΝΙΑ - ΙΟΥΝΙΟΣ 2010

LIFE07NAT/GR/000296

**“Δράσεις για την προστασία των παράκτιων αμμοθινών με είδη
Juniperus στην Κρήτη και στο Νότιο Αιγαίο (Ελλάδα)”**

- JUNICOAST -

Δράση Α.1: Γεωμορφολογία και διεργασίες υποβάθμισης παράκτιων αμμοθινών

Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών

Παραδοτέο Α.1.2: Γεωμορφολογικοί χάρτες

Υπεύθυνος εταίρος: Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων (ΜΑΙΧ)

Συντάκτης: Παναγιώτης Νύκτας

Σε συνεργασία με το Εργαστήριο Γεωφυσικής Πολυτεχνείου Κρήτης:

Αντώνιος Βαφείδης

Hamdan Hamdan

Ομάδα εργασίας: Γιώργος Καζάκης

Dany Ghosn

Ηλέκτρα Ρεμούνδου

Χανιά Ιούνιος 2010

Περιεχόμενα

Executive summary.....	4
1. Εισαγωγή	7
1.1 Γεωμορφολογία	7
1.2 Μεταφορά της άμμου από τον άνεμο	10
1.2.1 Ταχύτητα πρόσκρουσης	11
1.2.2 Κίνηση της άμμου	11
1.3 Παράγοντες διάβρωσης	12
1.3.1 Επίδραση των κυμάτων	12
1.3.2 Επίδραση των βροχών	13
1.3.3 Επίδραση του ανέμου.....	13
2. Περιοχές μελέτης.....	15
2.1 Κεδρόδασος.....	15
2.2 Γαύδος	16
2.3 Χρυσή.....	16
2.4 Φαλάσαρνα	17
3. Μεθοδολογία.....	19
3.1 Ερμηνεία αεροφωτογραφιών.....	19
3.2 Εργασία πεδίου	19
3.3 Αναλύσεις εδάφους και νερού.....	20
3.4 Γεωφυσική διασκόπηση (διατομές)	20
3.5 Καταγραφή κάλυψης γης και βλάστησης	22
4. Αποτελέσματα	23
4.1 Γεωμορφολογικές ενότητες.....	23
4.1.1 Ελαφονήσι - Κεδρόδασος	23
4.1.2 Σαρακήνικο	24
4.1.3 Άγιος Ιωάννης	24
4.1.4 Λαβρακάς.....	25
4.1.5 Ανατολική περιοχή Χρυσής	26
4.1.6 Δυτική περιοχή Χρυσής	27
4.1.7 Φαλάσαρνα.....	27
4.2 Αναλύσεις εδάφους και νερού.....	28
4.3 Γεωφυσική διασκόπηση (διατομές).....	29
4.3.1 Ελαφονήσι - Κεδρόδασος	30
4.3.2 Νήσος Γαύδος.....	40
4.3.3 Περιοχή Σαρακήνικου	40
4.3.4 Περιοχή Αγίου Ιωάννη	57
4.3.5 Νήσος Χρυσή	70
4.3.6 Ανατολική περιοχή μελέτης.....	70
4.3.7 Δυτική περιοχή μελέτης.....	93
4.3.8 Φαλάσαρνα.....	105
5. Συμπεράσματα	108
Παραρτήματα	111

Executive summary

The aim of Action A.1 was to map and describe the landforms and the geomorphological processes that take place in the 2250* priority habitat “Coastal sand dune with *Juniperus* spp.” in Crete. Coastal sand dunes consist some of the most dynamic and at the same time vulnerable geomorphological systems. The interactions between the non biotic environment and vegetation in these areas are very delicate and fragile. Disturbances in either of these components can cause irreversible changes. The destruction of the vegetation in a dune area leaves the unconsolidated surface exposed to wind erosion. The same way the removal of sand from the surface degrades its capacity to support natural vegetation such as *Juniperus* spp.

The specific objectives of this action were:

- To map and describe the status of the geo-environment of all designated 2250* habitats in Crete
- To interpret and contribute to the understanding of potential threats and pressures in the study areas
- To propose and document actions for the protection of ecosystem functions and the geo-environment
- To present the results from the Cretan case studies as examples to improve the understanding, management and protection of rest of the habitats in South Aegean.

A sand dune can be defined simply as a hill or ridge of sand piled up by the wind. Wind is the primary agent of dune erosion. The bare sand surface is readily disturbed even by winds of quite low velocity. It follows that any factor which destroys the protective vegetation cover, like plant disease, over-grazing, cropping, trampling, or fire, allows higher velocity winds to reach the sand surface and erode the sand.

All designated 2250* habitats within Natura 2000 sites in Crete were studied. These habitats are found in Elafonisi-Kedrodasos, in Gavdos (Sarakiniko, Agios Ioannis and Lavrakas), in Chrysi (East and West sites) and in Falasarna.

The objectives of geomorphological mapping (A.1.2) and description in the field were:

- a) To detect the boundaries of geomorphological units,
- b) To describe the form and dimensions of the sand dunes,
- c) To classify the depth of the interdune areas,

- d) To identify the pathways of sand flowing in and out of the dune system,
- e) To assess the type and intensity of land degradation processes

The identifiers that were used for the classification of the geomorphological units (Deliverable A.1.2) were: a) dune height and type, b) sandy layer depth, c) surface parent material and d) type and intensity of landscape processes.

Methodologies that were used to attain the objectives of this action consisted of:

- Air photo interpretation
- Field investigations
- Soil and water sampling and analysis
- Geophysical methods (Electric Resistivity Tomography and Ground Penetrating Radar)
- Vegetation and land cover mapping

Laboratory soil analysis showed that there was little variability in the sand layer properties. Sand dunes were alkaline (average pH=8.9), very poor in organic matter (0.7%) and with 60% CaCO₃ in all study sites. Additionally, all minerals were found in very low concentrations with the exception of Mg and in some cases K.

Water Analysis in Lavrakas revealed that all mineral compounds are within the limits for drinking water with the exception of Cl. Sampling of two locations within 2250* habitat in Chrysi were on saline water.

Twenty-five (25) Electrical Resistivity Tomography (ERT) transects as well as sixteen (16) transects using Ground Penetrating Radar (GPR) were performed in order to investigate the structure of sand dunes below the surface covering 1368m (ERT) and 677m (GPR) in total length. All shrub and tree species as well as surface cover was recorded in minimum 5m buffer zone around the transects.

All soil/substrate profiles achieved with geophysical methods showed variable sand depth and no relation between the presence of *Juniperus* spp. and the water table. Furthermore, the geophysical transect profiles revealed that *Juniperus macrocarpa* trees grow on sandy layers that are up to 2m deep and retain some moisture below ground. On the contrary its competitors namely pine trees do not grow on deep sandy layer or sandstone substrate.

The state of the sand dunes in relation to aeolian erosion is considered satisfactory on average at all study areas. The study area receiving the highest pressure is the East

Chrysi site. At this site, high velocity North winds dominate with the highest intensity from all sites. The high number of visitors has a significant impact on these phenomena due to the pressure on the vegetation of the northern part. Trampling inhibits the formation and development of embryonic dunes and diminishes the capacity of vegetation to stabilize the sand thus allowing for a net transport of sand from the north to the south. Restoration of the front dunes is proposed for the mitigation of this pressure through sand stabilizing fencing and planting of sand fixing keystone species. Furthermore, demarcation of visitor paths and minimizing vehicle access only for waste removal is proposed. Another area where natural vegetation needs to be restored is the lowest parts of Sarakiniko site. In this area overgrazing has destroyed natural vegetation and front dunes allowing for erosional phenomena to take place.

Last but not least, public education remains the most important action towards mitigating threats and minimizing pressures in all study areas. Guidelines, information panels and/or signposts should inform visitors about best practices and codes of conduct.

1. Εισαγωγή

Ο σκοπός της παρούσας δράσης είναι η χαρτογράφηση και η περιγραφή των γεωμορφολογικών σχηματισμών και των αβιοτικών διεργασιών στον οικότοπο προτεραιότητας των αμμοθινών με είδη *Juniperus* (2250*). Οι παράκτιες αμμοθίνες αποτελούν ένα από τα πλέον δυναμικά αλλά και ευαίσθητα γεωμορφολογικά συστήματα. Οι σχέσεις της βλάστησης με το γεω-περιβάλλον στις περιοχές αυτές στηρίζεται σε λεπτές ισορροπίες η διατάραξη των οποίων συχνά επιφέρει μη αναστρέψιμες αλλαγές. Η καταστροφή της φυσικής κάλυψης σε ένα αμμοθινικό σύστημα αφήνει το αμμώδες και μη συνεκτικό έδαφος εκτεθειμένο στη αιολική διάβρωση και τη δράση της βροχής. Αντίστοιχα, αμμώδη εδάφη που έχουν υποβαθμιστεί από τη διάβρωση ή άλλες ανθρωπογενείς επιδράσεις (π.χ. αμμοληψίες) αδυνατούν να υποστηρίξουν φυτοκοινωνίες όπως π.χ. αυτές των ειδών *Juniperus*.

Σε ότι αφορά στο ευρύτερο πλαίσιο του προγράμματος Junicoast η παρούσα δράση στοχεύει να:

- Καταγράψει και χαρτογραφήσει την υπάρχουσα κατάσταση του γεω-περιβάλλοντος των επτά περιοχών μελέτης στην Κρήτη
- Ερμηνεύσει και συνεισφέρει στην κατανόηση των πιθανών κινδύνων και πιέσεων στις περιοχές μελέτης
- Προτείνει και τεκμηριώσει δράσεις για την προστασία του γεω-περιβάλλοντος και των οικοσυστημικών λειτουργιών των περιοχών αυτών
- Παρουσιάσει τις επτά μελέτες των οικοτόπων της Κρήτης ως παράδειγμα για την κατανόηση, διαχείριση και προστασία των υπόλοιπων περιοχών του οικοτόπου 2250* στο νότιο Αιγαίο.

1.1 Γεωμορφολογία

Ως αμμοθίνη μπορούμε να ορίσουμε ένα ανάχωμα, λοφίσκο ή μια ράχη από άμμο που έχει συγκεντρωθεί από τη δράση του ανέμου (Ranwell και Boar, 1986). Το μήκος μιας θίνης μπορεί κυμαίνεται από μικρότερο του ενός μέτρου ως μερικές δεκάδες χιλιόμετρα ενώ το ύψος μπορεί να κυμανθεί από μερικές δεκάδες εκατοστά ως περισσότερο από 150 μέτρα. Εκτεταμένες θίνες οι οποίες βρίσκονται κάτω από

μικρότερες αναφέρονται ως μεγα-θίνες ή ντραας (megadunes or draas). Συχνά, δυο ή και περισσότερες θίνες συνδέονται μεταξύ τους σχηματίζοντας αλυσίδες ή δίκτυα θινών (Pye and Tsoar, 2009).

Η μελέτη της μορφής και της δομής των αμμοθινών είναι το αντικείμενο της επιστήμης της γεωμορφολογίας. Οι αμμοθίνες απαντώνται σε τριών ειδών τοπία: σε παραθαλάσσιες ακτές και όχθες λιμνών, στις κοιλάδες ποταμών και σε ερήμους. Οι παράκτιες αμμοθίνες δημιουργούνται σε παραθαλάσσιες περιοχές πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, σε αμμώδεις ακτές. Απαντώνται σε περιοχές και των δυο ημισφαιρίων από την Αρκτική και Ανταρκτική ως τον ισημερινό καθώς σε ξηρά και ημι-ξηρά κλίματα (Martinez et al., 2004). Οι παράκτιες αμμοθίνες είναι αρκετά συνηθισμένες σε στις εύκρατες κλιματικές ζώνες αλλά λιγότερο κοινές στις τροπικές και υποτροπικές ζώνες (Maun, 2009).

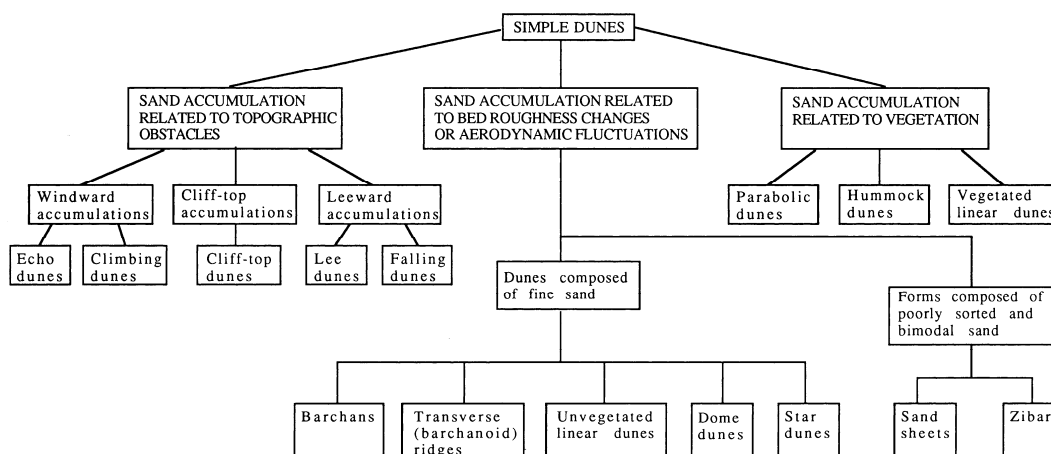
Αμμοθίνες επίσης συναντώνται συχνά στις εκβολές ποταμών όπου και εναποτίθεται η μεταφερόμενη από τα ποτάμια άμμος (Carter et al. 1990). Κατά την διάρκεια πλημμυρικών γεγονότων οι κοίτες των ποταμών υπερχειλίζουν εναποθέτοντας ποσότητες άμμου στις παρακείμενες περιοχές. Όταν οι αποθέσεις αυτές ξηραθούν, παρασύρονται από τον άνεμο σχηματίζοντας αμμοθίνες.

Οι αμμοθίνες στα ξηρά κλίματα (με ετήσια βροχόπτωση <200mm) συνήθως προέρχονται από την διάβρωση ψαμιτιτικών και άλλων πετρωμάτων. Η άμμος, ελλείψει βλάστησης που θα μπορούσε να τη συγκρατήσει, παρασύρεται από την δράση των ανέμων σχηματίζοντας κινούμενες θίνες.

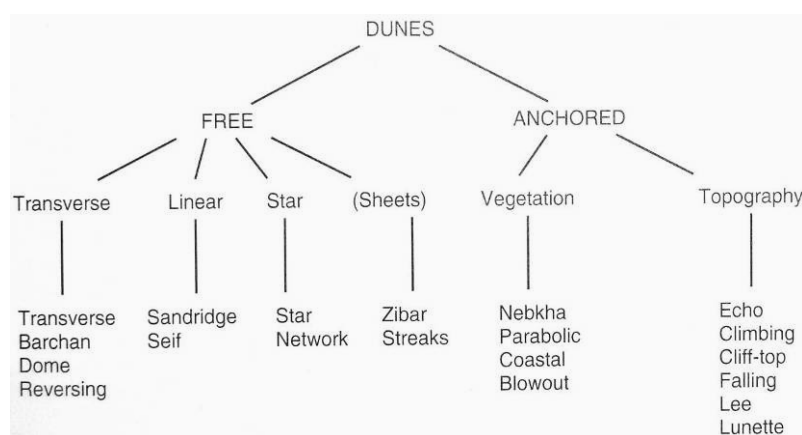
Υπάρχουν πολλές ομοιότητες στις διεργασίες σχηματισμού, στη μορφή και στη δομή των αμμοθινών στα τρία περιβάλλοντα που αναφέρθηκαν. Παρόλα αυτά, έμφαση πρέπει να δοθεί ότι κάθε περιοχή έχει τα δικά της χαρακτηριστικά και ιδιαιτερότητες που επι τω πλείστον αποκλίνουν από ευρύτερα πρότυπα και κανόνες. Συνεπώς, σε ότι αφορά την διαχείριση, την προστασία και την αποκατάσταση των αμμοθινικών συστημάτων είναι σημαντικό να ακολουθούνται μέθοδοι και τεχνικές σχεδιασμένες και προσαρμοσμένες στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής.

Στο παρελθόν, έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για τη συστηματική ταξινόμηση των αμμοθινών με βάση το σχήμα, τον αριθμό και τον προσανατολισμό των πλευρών ολίσθησης, τη σχέση με τους επικρατείς ανέμους, την συνισταμένη της μετακίνησης της άμμου καθώς και τον βαθμό και τη μορφή της κίνησης τους (π.χ.

Aufrère 1931, 1933, Bryan 1932, Melton 1940, Hack 1941, Smith 1946, 1953, 1963, Kuhlman 1960, Holm 1968, Mainguet & Callot 1974, Mabbutt 1977, p. 225, McKee 1979b, 1983, McKee & Breed 1974, McKee et al. 1977, Breed & Grow 1979, Hunter et al. 1983, Mainguet 1983, 1984b, Wasson & Hyde 1983a, El-Baz 1986, Thomas 1989). Μια πρώτη κατηγοριοποίηση μπορεί να γίνει μεταξύ των απλών, σύνθετων και πολύπλοκων (ή μέγα-) θινών (McKee 1979). Οι απλές αποτελούνται από διακεκριμένες μορφές θινών οι οποίες είναι χωρικά διαχωρισμένες από τις γειτονικές τους. Οι σύνθετες θίνες αποτελούνται από δύο ή περισσότερες θίνες του ίδιου τύπου οι οποίες έχουν συνενωθεί ή αλληλεπικαλυφθεί. Οι πολύπλοκες θίνες αποτελούνται από θίνες δύο ή περισσότερων διαφορετικών τύπων οι οποίες έχουν συνενωθεί ή αλληλεπικαλυφθεί. Δύο από τα πιο ολοκληρωμένα συστήματα ταξινόμησης των αμμοθινών έχουν προταθεί από τους Pye και Tsoar (2009) και από τους Livingstone και Warren (1996) όπως φαίνονται στο Σχήμα 1.



α



β

Σχήμα 1: Ταξινόμηση θινών σε τύπους α) Pye και Tsoar (2009) και β) Livingstone και Warren (1996).

1.2 Μεταφορά της άμμου από τον άνεμο

Πλήθος εξισώσεων και μοντέλων έχουν δημιουργηθεί για τον υπολογισμό της ετήσιας ποσότητας άμμου που μεταφέρεται από τον άνεμο σε μια ακτή (οι Ranwell και Boar, 1986 αναφέρουν τους: Kawamura 1951, Kadib 1964, Adriani και Terwindt 1974). Παρόλα αυτά τα μοντέλα συχνά έχουν μικρή πρακτική αξία καθώς απαιτούν πολλά και λεπτομερή δεδομένα για την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου τα οποία στις περισσότερες περιπτώσεις στην Ελλάδα δεν είναι διαθέσιμα ή αξιόπιστα. Επιπλέον, τα μοντέλα αυτά δεν λαμβάνουν υπόψη την ποσότητα της άμμου που αποτίθεται στην ακτή από τα κύματα που προκαλούν οι καταιγίδες. Ένα παράδειγμα που δίνει μια εικόνα της τάξης μεγέθους της μετακίνησης της άμμου προς μια ακτή αναφέρεται από τον Kadib (1964, αναφέρεται από τους Ranwell και Boar, 1986) ο οποίος υπολόγισε ότι σε 3 χλμ μήκους παραλίας με δυτικό προσανατολισμό στην

νότια Καλιφόρνια η ποσότητα της άμμου που μεταφέρθηκε προς τη ξηρά ήταν ίση με $8174 \text{ m}^3/\text{yr}$. Η δυσκολία της εφαρμογής παρόμοιων μοντέλων υπολογισμού φαίνεται από το γεγονός ότι η μεταφορά σε διαφορετικά τμήματα της ίδιας παραλίας στο παραπάνω παράδειγμα διέφερε ως και 3000 φορές.

Η άμμος των ακτών δέχεται την επίδραση ενός πλήθους φυτικών και ζωικών μικροοργανισμών οι οποίοι επηρεάζουν τη σταθερότητα της επιφάνειας της. Μικροποσότητες ιλύος ή αργίλου ακόμα και σε μικρές ποσότητες (π.χ. 1%) αυξάνουν σημαντικά τους πληθυσμούς των μικροβίων. Η δραστηριότητα των οργανισμών αυτών δημιουργεί συσσωματώματα μεγαλύτερου μεγέθους τα οποία παρασύρονται δυσκολότερα από τον άνεμο συμβάλλοντας έτσι στη σταθερότητα της επιφάνειας της άμμου (Ranwell και Boag, 1986). Η αύξηση των ποσοστών της ιλύος μπορεί επίσης να επιτρέψει τη εμφάνιση φυτών σε ακτές που υπό άλλες συνθήκες θα ήταν πολύ ασταθείς για εγκατάσταση τους.

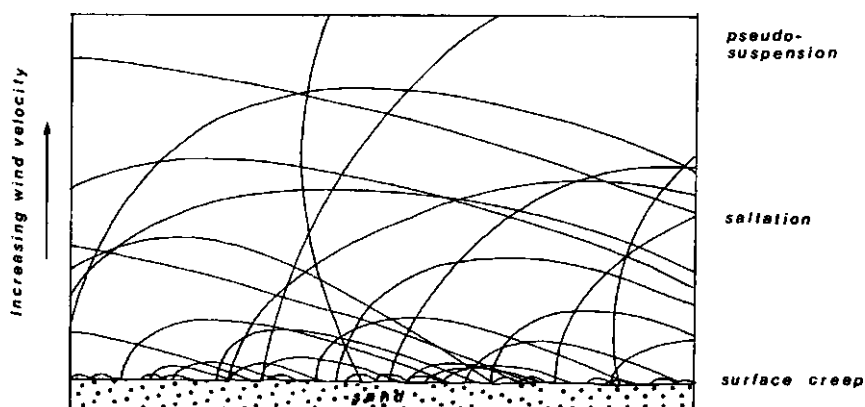
1.2.1 Ταχύτητα πρόσκρουσης

Ο άνεμος δεν μπορεί να παρασύρει την άμμο μιας παραλίας ακόμα και αν είναι ξηρή εωσότου η ταχύτητα του να φτάσει μια συγκεκριμένη τιμή-κατώφλι. Όταν η ένταση των ανέμων ξεπεράσει την τιμή αυτή οι κόκκοι της άμμου αρχίζουν να μετακινούνται. Για κόκκους μετρίου μεγέθους αυτό συμβαίνει σε ταχύτητες που ξεπερνούν τα 4 m/s (Bagnold 1941). Η δράση των μικροοργανισμών σε μια αμμουδιά μπορεί να προκαλέσει τη συνένωση κόκκων αυξάνοντας σημαντικά την ελάχιστη τιμή αυτής της ταχύτητας. Η τραχύτητα της επιφάνειας της άμμου, λόγω της τριβής, είναι η αιτία που η ταχύτητα του ανέμου είναι χαμηλότερη στην επιφάνεια του εδάφους.

1.2.2 Κίνηση της άμμου

Από τη στιγμή που ένας κόκκος άμμου αφήνει την επιφάνεια του εδάφους και εισέρχεται στην ροή του αέρα επιδρούν επάνω του δύο δυνάμεις: η ώθηση από τον άνεμο και η βαρύτητα. Καθώς οι κόκκοι επιστρέφουν στην επιφάνεια λόγω του βάρους τους, συγκρούονται με τους κόκκους στην επιφάνεια προκαλώντας την αναπήδηση τους σε ψηλότερες ζώνες που η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη και μπορούν να μεταφερθούν παραπέρα. Η αναπήδηση αυτή των κόκκων της άμμου δρα αθροιστικά και η διεργασία αυτή λέγεται μεταφορά της άμμου με αναπήδηση

(saltation, Σχήμα 2). Πάνω από την ταχύτητα διαφυγής των 4 m/s, ο ρυθμός της ροής της άμμου είναι ανάλογο του κύβου της ταχύτητας του ανέμου (Bagnold 1941). Ως συνέπεια, μόνο μεγάλες ταχύτητες ανέμου καταφέρνουν να προκαλέσουν σημαντική μεταφορά άμμου. Σε ταχύτητες της τάξης των 20 m/s ή και μεγαλύτερες η άμμος μπορεί να ανυψωθεί στο ύψος ενός ανθρώπου αν και το μεγαλύτερο ποσοστό της μεταφοράς συμβαίνει στα πρώτα 30 εκατοστά από την επιφάνεια.



Σχήμα 2: Κίνηση της άμμου στην επιφάνεια του εδάφους. Όπου η επιφάνεια είναι μόνο άμμος η κίνηση είναι κυρίως κοντά στην επιφάνεια μέσω ολίσθησης (creep) με άλματα (saltation). Όπου το έδαφος έχει διάσπαρτα βότσαλα ή οι ταχύτητες του ανέμου είναι μεγαλύτερες μέρος των κόκκων αναπηδά ή παρασύρονται ψηλότερα από τον άνεμο υπό μορφή ψευδο-αιώρησης (Bagnold 1941).

1.3 Παράγοντες διάβρωσης

1.3.1 Επίδραση των κυμάτων

Από τους πιο σημαντικούς παράγοντες διάβρωσης των παράκτιων αμμοθινών είναι η δράση των κυμάτων. Σε ορισμένες περιοχές είναι σύνηθες οι θίνες να υποσκάπτονται από τα κύματα το χειμώνα και να επανέρχονται στην αρχική τους μορφή το καλοκαίρι. Σε γενικές γραμμές, τη χειμερινή περίοδο η δράση τείνει να μειώσει τις αμμοθίνες ενώ την καλοκαιρινή περίοδο η ζημιά αποκαθίσταται με την εκ νέου εναπόθεση άμμου. Στις περιοχές που η άμμος απομακρύνεται από τον βυθό η θάλασσα γίνεται βαθύτερη κοντά στην ακτή προκαλώντας την ανάπτυξη ισχυρότερων κυμάτων που κατακλύζουν του παράκτιους αμμόλοφους. Έντονα καιρικά φαινόμενα, μπορούν να ισοπεδώσουν τα αμμοθινικά συστήματα πολλά μέτρα προς την ξηρά μέσα σε λίγες ώρες (π.χ. το 1953 στην ανατολική ακτή της Αγγλίας, Ranwell και Boar, 1986).

Όταν η θάλασσα εισβάλλει στις παράκτιες θίνες, τα κύματα διαβρώνουν τη βάση των αμμοθινών υποσκάπτοντας έτσι το ανώτερο μέρος των θινών το οποίο καταρρέει αφήνοντας μια κατακόρυφη επιφάνεια. Η επιφάνεια αυτή είναι πολύ ασταθής για την εγκατάσταση των φυτών και παραμένει μια συνεχώς διαβρωμένη επιφάνεια υπό την επήρεια της δράσης του ανέμου. Τα πρανή των αμμοθινών χωρίς βλάστηση δεν έχουν καμία συνεκτικότητα, και γι αυτό καταρρέουν σχεδόν αμέσως μόλις υποσκαφθούν από τα κύματα. Οι πλαγιές με βλάστηση είναι έως και 50 φορές πιο ανθεκτικές και συμπεριφέρονται σαν μια συνεκτική μάζα χαλώντας περιοδικά υπό μορφή μικρών κυκλικών ολισθήσεων (Carter 1980a). Με δεδομένο ότι μια παραλία είναι επαρκώς καλυμμένη με βλάστηση πριν από μια καταστροφική καταιγίδα, μετά από αυτή τμήματα φυτών τείνουν να ξαναφυτρώσουν ανακτώντας το χαμένο έδαφος και δημιουργώντας ξανά αμμόλοφους. Δηλαδή, τα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών έχουν ένα ενσωματωμένο μηχανισμό επιστροφής σε μια κατάσταση ισορροπίας και ομοιόστασης .

1.3.2 Επίδραση των βροχών

Οι πολύ έντονες βροχοπτώσεις μπορούν να προκαλέσουν τη διάβρωση των αμμοθινών αν και αυτό είναι πολύ πιο δύσκολο απ' ό τι σε βαρύτερα και συνεκτικά εδάφη λόγω της ταχύτατης κατείσδυσης του νερού στην άμμο. Όταν αυτό συμβεί, προκαλούνται ασταθείς χαραδρώσεις που μπορούν να φτάσουν σε βάθος πάνω από τα 2 μέτρα. Οι χαραδρώσεις αυτές αργότερα εξαφανίζονται υπό την επίδραση του ανέμου και την εναπόθεση της άμμου. Σε γενικές γραμμές, η βροχή έχει μια σταθεροποιητική επίδραση στην επιφάνεια της άμμου στις αμμοθίνες, αφού η υγρή άμμος, δεν μπορεί να μετακινηθεί από τον άνεμο ακόμη και σε υψηλές ταχύτητες του ανέμου.

1.3.3 Επίδραση του ανέμου

Ο άνεμος είναι πρωταρχικός παράγοντας στη διάβρωση των αμμοθινών. Όπου η επιφάνεια δεν καλύπτεται από βλάστηση η άμμος παρασύρεται ακόμη και από ανέμους με χαμηλή ταχύτητα. Κατά συνέπεια, κάθε παράγοντας που καταστρέφει την προστατευτική για τις αμμοθίνες βλάστηση, όπως ασθένειες των φυτών,

υπερβόσκηση, καλλιέργειες, ποδοπάτηση ή φωτιές, επιτρέπουν σε ανέμους με μεγαλύτερη ταχύτητα να φτάνουν στην επιφάνεια της άμμου και να τις διαβρώσουν.

Πριν την εγκατάσταση τη βλάστησης σε μια περιοχή η αιολική διάβρωση και εναπόθεση βρίσκονται σε ισορροπία. Η ανάπτυξη των φυτών ευνοεί την εναπόθεση της μεταφερόμενης άμμου μέσω της μείωσης της έντασης των ανέμων ανάμεσα στα κλαδιά και φύλλα τους (accretion). Καθώς το ύψος των θινών αυξάνεται, η διαθέσιμη υγρασία μειώνεται και αυξάνονται οι μηχανικές βλάβες στα φυτά μειώνοντας την ανάπτυξη και τη λειτουργία τους ως αμμοπαγίδες. Έτσι, οι θίνες φτάνουν ένα συγκεκριμένο ύψος στο οποίο η διάβρωση εξισώνεται εκ νέου με την εναπόθεση. Στο στάδιο αυτό οι ακάλυπτες κορυφές των θινών μετατρέπονται σε ζώνες διάβρωσης δημιουργώντας θίνες σε σχήμα U ή παραβολικές θίνες. Υπό την επίδραση των ανέμων οι ακάλυπτες πλευρές των θινών μπορούν να μετακινηθούν σε μεγάλες αποστάσεις ανεξάρτητα από ύπαρξη της ακτής.

2. Περιοχές μελέτης

Στα πλαίσια της παρούσας Δράσης μελετήθηκαν και χαρτογραφήθηκαν όλες της περιοχές του δικτύου Natura 2000 που έχουν χαρακτηριστεί ως οικοτόπος προτεραιότητας «παράκτιες θίνες με είδη *Juniperus* (2250*)» στην περιοχή της Κρήτης. Οι οικοτόποι αυτοί βρίσκονται στο Ελαφονήσι, σε τρεις τοποθεσίες στο νησί της Γαύδου (Σαρακήνικο, Άγιος Ιωάννης και Λαβρακάς), σε δύο τοποθεσίες στο νησί της Χρυσής και στα Φαλάσαρνα (Σχήμα 3).

2.1 Κεδρόδασος

Το Κεδρόδασος βρίσκεται στο άκρο της νοτιοδυτικής Κρήτης (35 ° 16'09, 15"N και 23 ° 33'31, 56"E), ανατολικά της νησίδας του Ελαφονησίου. Διοικητικά ανήκει στο Δήμο Πελεκάνου του νομού Χανίων. Το κλίμα της περιοχής είναι μεσογειακό, με μέτριες βροχοπτώσεις και μακρά, ξηρά και θερμά καλοκαίρια με σχετικά υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 19.6°C, με μέση θερμοκρασία που φτάνει έως και 27.7 °C τον Ιούλιο και τον Αύγουστο και 12.2 °C το Φεβρουάριο. Η ετήσια βροχόπτωση είναι 477 χιλιοστά και το 90% των βροχοπτώσεων εμφανίζεται κατά τη χειμερινή περίοδο (στοιχεία αναφέρονται για το έτος 2005 από τον μετεωρολογικό σταθμό της Κουντούρας). Τα δέντρα του είδους *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* αναπτύσσονται σε βραχώδες υπόστρωμα που καλύπτεται από παχιά άμμο. Η κυρίαρχη βλάστηση στο Κεδρόδασος είναι θαμνώδεις και δασικές εκτάσεις με *Juniperus oxycedrus* spp. *macrocarpa*, *Juniperus phoenicea*, *Pistacia lentiscus*, *Ceratonia siliqua* και *Coridothymus capitatus*. Η περιοχή δέχεται μεγάλο αριθμό επισκεπτών, ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες και χρησιμοποιείται κυρίως για αναψυχή και κατασκήνωση. Μετά την εφαρμογή της ευρωπαϊκής οδηγίας για τους οικοτόπους, η περιοχή του Ελαφονησίου έχει χαρακτηριστεί ως περιοχή Natura 2000 (με κωδικό GR4340015 «Παραλία Από Χρυσосκαλίτισσα μέχρι Ακρωτήριο Κριός»). Ο οικοτόπος των παράκτιων αμμοθινών με είδη *Juniperus* spp στο Κεδρόδασος έχει χαρακτηριστεί ως οικοτόπος προτεραιότητας. στα πλαίσια του δικτύου Natura 2000 του Ελαφονησίου και καλύπτει συνολική έκταση 113 στρέμματα.

2.2 Γαύδος

Η νήσος Γαύδος βρίσκεται 28 ναυτικά μίλια νότια της δυτικής Κρήτης και απέχει 150 μίλια από τις ακτές της βόρειας Αφρικής (34°52'36"N και 24°05'25"E). Διοικητικά υπάγεται στο νομό Χανίων. Είναι το νοτιότερο Ελληνικό αλλά και Ευρωπαϊκό άκρο και έχει έκταση περίπου 30 τετραγωνικά χιλιόμετρα και μεγαλύτερο υψόμετρο 362 μέτρα. Με βάση την Εθνική Απογραφή του 2001, η Γαύδος έχει πληθυσμό 80 κατοίκους εκ των οποίων 50 ζουν μόνιμα στο νησί (Οίκος, 2008). Το νησί συνδέεται ακτοπλοϊκά με τη Χώρα Σφακίων και την Παλαιόχωρα. Το κλίμα της Γαύδου είναι μεσογειακό, με μέτριες βροχοπτώσεις και μακρά, ξηρά και θερμά καλοκαίρια με σχετικά υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Οι βροχοπτώσεις είναι περιορισμένες με ετήσιο μέσο όρο 400mm που εμφανίζονται κυρίως τους μήνες από Οκτώβριο μέχρι Μάρτιο (Bergmeier, 2001). Η βλάστηση της Γαύδου κυριαρχείται θαμνώδεις και δασικές εκτάσεις από *Juniperus oxycedrus* spp. *macrocarpa*, *Juniperus phoenicea*, *Pinus halepensis* subsp. *brutia*. Μετά την εφαρμογή της ευρωπαϊκής οδηγίας για τους οικοτόπους, η Γαύδος έχει χαρακτηριστεί ως περιοχή Natura 2000 (με κωδικό GR4340013 «νήσοι Γαύδος και Γαυδοπούλα»). Ο οικότοπος των παράκτιων αμμοθινών με είδη *Juniperus* spp. απαντάται σε 3 περιοχές στο Σαρακήνικο, στην παραλία του Άγιου Ιωάννη και του Λαυρακά και καλύπτει συνολική έκταση 1020 εκταρίων (Σχήμα 3). Οι περιοχές του οικότοπου 2250* αποτελούν δημοφιλή προορισμό επισκεπτών κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες και χρησιμοποιούνται κυρίως για κατασκήνωση.

2.3 Χρυσή

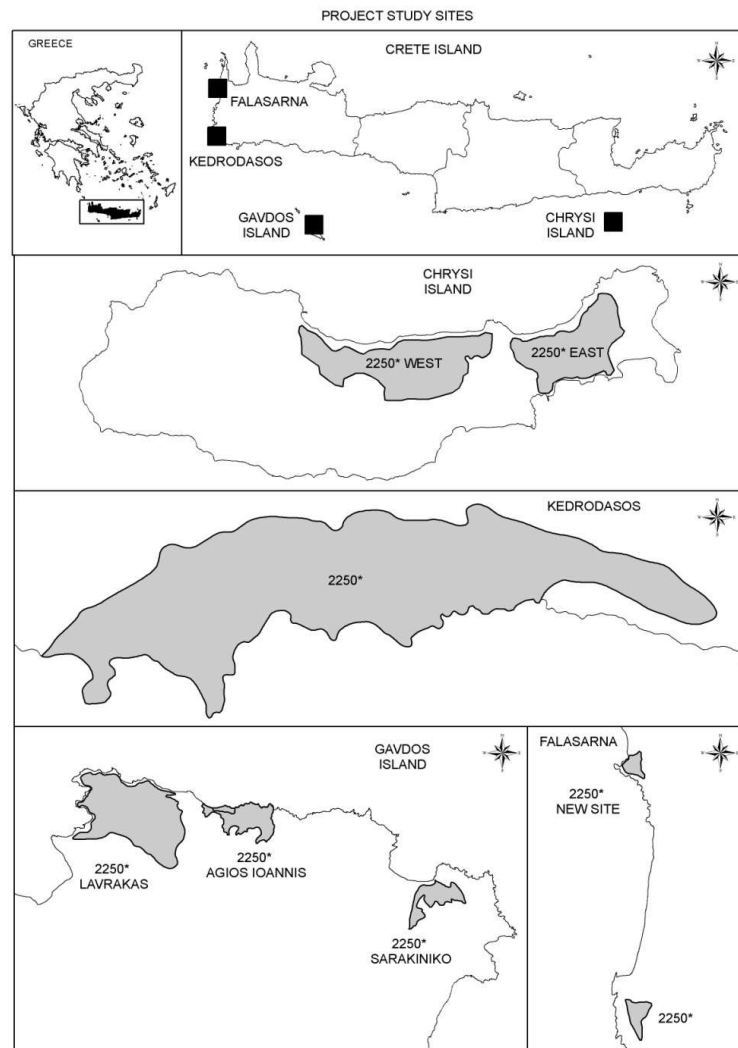
Η νήσος Χρυσή βρίσκεται νοτιοανατολικά της Κρήτης (34°51'40"N και 25°42'50"E), 15 χλμ. νότια της Ιεράπετρας του Νομού Λασιθίου. Η Χρυσή έχει έκταση 5 km² περίπου και είναι σχετικά επίπεδη με μέγιστο υψόμετρο 31 μ. Το κλίμα της Χρυσής είναι μεσογειακό, με μέτριες βροχοπτώσεις και μακρά, ξηρά και θερμά καλοκαίρια και σχετικά υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Οι βροχοπτώσεις είναι περιορισμένες με ετήσιο μέσο όρο 550 mm (περίοδος 1938-1975), που εμφανίζονται κυρίως τους μήνες από Οκτώβριο έως Μάρτιο (Πέννας, 1977). Σε πιο πρόσφατη μελέτη των Rackham και Moody (1996) αναφέρεται ότι το ότι οι ετήσιες βροχοπτώσεις στο νησί της Χρυσής δεν ξεπερνούν τα 450 mm ετησίως. Η

Χρυσή επίσημα θεωρείται ακατοίκητη, αλλά υπάρχουν πρόχειρες οικιστικές κατασκευές σε διάφορα σημεία του νησιού. Τους καλοκαιρινούς μήνες δέχεται μεγάλο αριθμό επισκεπτών που καταφτάνουν ακτοπλοϊκώς μέσω Ιεράπετρας (καθημερινή σύνδεση Ιεράπετρας-Χρυσής με τουριστικά πλοιάρια).

Η βλάστηση της Χρυσής περιλαμβάνει θαμνώδεις και δασικές εκτάσεις από *Juniperus oxycedrus* spp. *macrocarpa*, *Juniperus phoenicea* και *Pinus halepensis* subsp. *brutia*. Η βόσκηση από αιγοπρόβατα, αν και ήταν έντονη στο παρελθόν, σήμερα έχει σταματήσει λόγω της απουσίας γλυκού νερού (Bergmeier et al., 2001). Μετά την εφαρμογή της ευρωπαϊκής οδηγίας για τους οικοτόπους, η Χρυσή έχει χαρακτηριστεί ως περιοχή Natura 2000 (με κωδικό GR4320003 «Νήσος Χρυσή»). Οι παράκτιες αμμοθίνες με είδη *Juniperus* spp. εντοπίζονται σε δύο τοποθεσίες του νησιού. ανατολικά και δυτικά και καλύπτουν συνολική έκταση 700 στρεμμάτων.

2.4 Φαλάσαρνα

Η Φαλάσαρνα βρίσκεται στις δυτικές ακτές της Κρήτης και έχει χαρακτηριστεί ως "τοπίο ιδιαίτερου φυσικού κάλλους". Διοικητικά ανήκει στο Δήμο Κισσάμου του Νομού Χανίων. Το κλίμα είναι μεσογειακό, με μέτριες βροχοπτώσεις και μακρά, ξηρά και θερμά καλοκαίρια με σχετικά υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Μετά την εφαρμογή της ευρωπαϊκής οδηγίας για τους οικοτόπους, η περιοχή της Φαλάσαρνας έχει χαρακτηριστεί ως περιοχή Natura 2000 με κωδικό GR4340001 «Ήμερη και Άγρια Γραμβούσα - Τηγάνι και Φαλάσαρνα - Ποντικονήσι, Όρμος Λιβάδια-Βιγλα». Φιλοξενεί σπάνια οικοσυστήματα όπως τα Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία και τις παράκτιες αμμοθίνες με είδη *Juniperus* καθώς σημαντικά φυτικά είδη όπως το σπάνιο είδος προτεραιότητας *Androcymbium rechingeri*. Η γεωλογία της περιοχής αποτελείται κυρίως από ασβεστολιθικά πετρώματα και νεογενείς αποθέσεις στα χαμηλότερα υψόμετρα. Ο οικότοπος προτεραιότητας των παράκτιων αμμοθινών με είδη *Juniperus* είναι κατακερματισμένος και διασχίζεται από δρόμο που χωρίζει τον οικότοπο σε 2 κομμάτια. Γύρω από την περιοχή του οικοτόπου υπάρχουν εκτεταμένες γεωργικές καλλιέργειες (κυρίως θερμοκηπιακές). Η Φαλάσαρνα αποτελεί δημοφιλή προορισμό επισκεπτών κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες.



Σχήμα 3: Τοποθεσία των οικοτόπων προτεραιότητας 2250* στη Χρυσή, Κεδρόδασος-Ελαφονήσι, Γαύδος και Φαλάσαρνα

3. Μεθοδολογία

3.1 Ερμηνεία αεροφωτογραφιών

Για τους σκοπούς της παρούσας δράσης χρησιμοποιήθηκαν στερεοζεύγη αεροφωτογραφιών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού διαφορετικών κλιμάκων και χρονολογιών λήψης. Για όλες τις περιοχές αποκτήθηκαν οι αεροφωτογραφίες του έτους 1968 σε κλίμακα 1:15.000 ενώ για τη Γαύδο και τη Χρυσή, όπου πιο σύγχρονες και πιο λεπτομερείς αερ/φίες ήταν διαθέσιμες, αποκτήθηκαν επίσης λήψεις των ετών 1992 (Γαύδος) και 2005 (Χρυσή). Η ερμηνεία έγινε με τη χρήση στερεοσκοπίου στο εργαστήριο όπου έγινε η αρχική αναγνώριση των γεωμορφολογικών ενοτήτων. Συμπληρωματικά χρησιμοποιήθηκαν και ορθοφωτογραφίες λήψης 1999 από το Υπ. Γεωργίας καθώς και δορυφορικές εικόνες. Η ορθοαναγωγή των αερ/φιών έγινε με χρήση σημείων ελέγχου στο πεδίο (Ground Control Points) και τους τοπογραφικούς χάρτες 1:5.000 της κάθε περιοχής. Το φωτογραμμετρικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Leica Photogrammetry Suite 9.1. Για την ορθοαναγωγή απαραίτητα ήταν επίσης τα δεδομένα της πτήσης (ύψος) και πληροφορίες που αφορούν στην κάμερα (π.χ. εστιακή απόσταση). Με εξαίρεση το ύψος πτήσεις για τις αερ/φίες του 1968 τα οποία έχουν αποκοπεί από τις αερ/φίες, όλες οι υπόλοιπες πληροφορίες εισήχθησαν στο πρόγραμμα από τα φύλλα βαθμονόμησης των οργάνων.

3.2 Εργασία πεδίου

Η εργασία του καθορισμού και χαρτογράφησης της φυσιογραφίας των γεωμορφολογικών ενοτήτων συμπληρώθηκε από παρατηρήσεις στο πεδίο. Οι παρατηρήσεις αφορούσαν:

- α) στα ακριβή όρια του οικοτόπου και των γεωμορφολογικών ενοτήτων,
- β) στην μορφή και διαστάσεις των θινών,
- γ) το βάθος του αμμώδους υποστρώματος μεταξύ των θινών,
- δ) τον τρόπο εμπλουτισμού και εκροές άμμου από το σύστημα,

ε) τον τύπο και την ένταση των διεργασιών δημιουργίας και διάβρωσης των θινών. Σε ότι αφορά στο τελευταίο, ως δείκτης χρησιμοποιήθηκε η έκθεση του ριζικού συστήματος των κέδρων και καταγράφηκαν τα σημεία επιφανειακών

απορροών και οι χαραδρώσεις. Στο σύνολο ψηφιοποιήθηκαν 774 σημειακές παρατηρήσεις και στις 7 περιοχές (με χρήση GPS ακριβείας) ενώ οι επιπλέον παρατηρήσεις σχεδιάστηκαν στο πεδίο σε εκτυπώσεις των αερ/φίων.

3.3 Αναλύσεις εδάφους και νερού

Αντιπροσωπευτικά δείγματα εδάφους συλλέχθηκαν τις περιοχές του Κεδροδάσους (Ελαφονήσι), της Γαύδου (Άγιος Ιωάννης και Σαρακήνικο) και της Χρυσής (ανατολική και δυτική περιοχή). Τα 23 στο σύνολο δείγματα λήφθηκαν με διάτρηση του εδάφους ως 120 εκατ. βάθος. Τα βάθη στα οποία έγιναν οι δειγματοληψίες είναι 0-10, 10-30, 30-60, 60-120 εκατοστά. Για τα δείγματα αυτά έγιναν οι εξής αναλύσεις στο εργαστήριο: μηχανική σύσταση, pH, οργανική ουσία %, ολικό CaCO_3 , ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα, άζωτο ($\text{NO}_3\text{-N}$), φωσφόρος (P), κάλιο (K), Μαγνήσιο (Mg), σίδηρος (Fe), μαγγάνιο (Mn), ψευδάργυρος (Zn), χαλκός (Cu), νάτριο (Na) και ασβέστιο (Ca).

Αναλύσεις νερού έγιναν σε τρία πηγάδια που βρίσκονταν στις περιοχές του οικοτόπου 2250 του Λαβρακά και των δύο περιοχών της Χρυσής στις 15 και 26 Απριλίου 2010 αντίστοιχα. Τα χαρακτηριστικά για τα οποία έγινε ανάλυση ήταν τα: pH, ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα, σκληρότητα, σύνολο αλάτων, ασβέστιο, μαγνήσιο, κάλιο, νάτριο, SAR, βόριο, χλώριο (Cl), θειικά (SO_4), ανθρακικά (CO_3), διττανθρακικά (HCO_3), νιτρικά (NO_3), χαλκός, σίδηρος, ψευδάργυρος, λίθιο, μαγγάνιο, φωσφόρος.

Τέλος, κατά την λήψη των δειγμάτων συμπληρώνονταν επίσης ειδική προσαρμοσμένη φόρμα με τις πληροφορίες της δειγματοληψίας, τις συντεταγμένες και τα χαρακτηριστικά της περιοχής (Παράρτημα 1). Τόσο οι αναλύσεις εδάφους όσο και του νερού έγιναν στο Εργαστήριο Εδαφολογίας και Φυλλοδιαγνωστικής του Μεσογειακού Αγρονομικού Ινστιτούτου Χανίων.

3.4 Γεωφυσική διασκόπηση (διατομές)

Η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας ανήκει στις μεθόδους της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, με τις οποίες επιδιώκεται ο καθορισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της κατανομής των τιμών της μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης. Αυτό επιτυγχάνεται με την δημιουργία τεχνητών

ηλεκτρικών πεδίων. Το ηλεκτρικό πεδίο επηρεάζεται από τη δομή του υπεδάφους και επομένως, από τις μετρήσεις του δυναμικού, είναι δυνατός ο καθορισμός της γεωηλεκτρικής δομής. Η βασική αρχή λειτουργίας, καθώς και η θεωρία για την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας περιγράφεται στο Παράρτημα 2.

Το γεωραντάρ είναι μια ηλεκτρομαγνητική μέθοδος υψηλής ευκρίνειας η οποία αναπτύχθηκε τα τελευταία 30 χρόνια, κυρίως για τη μελέτη ρηχών στόχων. Η μέθοδος στηρίζεται στην ανάκλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Ένας πομπός παράγει ηλεκτρομαγνητικό παλμό, ο οποίος κατά την διάδοση του στο υπέδαφος ανακλάται από οποιαδήποτε επιφάνεια ή υλικό με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες. Μια μονάδα ελέγχου καταγράφει το χρόνο διαδρομής του παλμού και το πλάτος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Η διάδοση του κύματος εξαρτάται από τις ηλεκτρικές ιδιότητες του υπό μελέτη υλικού, καθώς και από τη συχνότητα εκπομπής της κεραίας του πομπού. Η βασική αρχή λειτουργίας καθώς και η θεωρία του γεωραντάρ περιγράφεται στο Παράρτημα 3.

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης διασκοπήθηκαν 25 γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας, συνολικού μήκους 1368 m και 16 γραμμές γεωραντάρ, συνολικού μήκους 677 m. Για τον ορθό σχεδιασμό της γεωφυσικής διασκόπησης (επιλογή κατάλληλης διάταξης, αποστάσεις μεταξύ ηλεκτροδίων, τρόπος επεξεργασίας, συχνότητες κεραιών, το βήμα μετρήσεων κλπ) πραγματοποιήθηκε αρχικά μια δοκιμαστική γραμμή μελέτης στην περιοχή του Ελαφονησίου. Αναλυτική περιγραφή των μεθόδων που δοκιμάστηκαν και των αποτελεσμάτων της σύγκρισης παρατίθενται στο παράρτημα 4. Βάσει του αποτελέσματος των συγκρίσεων στη συγκεκριμένη γραμμή, όλες οι γραμμές μελέτες πραγματοποιήθηκαν με τα εξής χαρακτηριστικά:

Ηλεκτρική τομογραφία:

Διάταξη: διπόλου-διπόλου

Αριθμός ηλεκτροδίων: 55

Απόσταση μεταξύ ηλεκτροδίων: 1 m

Αριθμός επιπέδων βάθους: 18 επίπεδα

Πρόγραμμα επεξεργασίας: Res2Dinv

Μέθοδος αντιστροφής: Αντιστροφή με την ελαχιστοποίηση της νόρμας L1
(Blocky ή Robust inversion)

Υπεδάφιο ραντάρ:

Κεραίες: 225MHz

Διάστημα δειγματοληψίας κατά μήκος γραμμής: 0.1 m

Διάστημα δειγματοληψίας στο χρόνο: 0.4 ns

Διάρκεια καταγραφής: 200 ns

Φίλτρο ενίσχυσης AGC: 40

Πρόγραμμα επεξεργασίας: GPR-pro (αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Πολυτεχνείου Κρήτης)

Η επεξεργασία δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας, σε όλες σχεδόν τις γραμμές μελέτης, πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των δεδομένων που αντιστοιχούν μέχρι το βάθος των 5 m, προκειμένου να προκύψουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, εφόσον η διάταξη ηλεκτροδίων που χρησιμοποιήθηκε (διπόλου – διπόλου) είναι ευαίσθητη στο θόρυβο σε μεγαλύτερα βάθη. Στο δεύτερο στάδιο, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία όλων των δεδομένων (μέγιστο βάθος 10 m) για τον προσδιορισμό των γεωλογικών σχηματισμών σε μεγαλύτερα βάθη.

3.5 Καταγραφή κάλυψης γης και βλάστησης

Κατά μήκος των διατομών γεωφυσικής διασκόπησης έγινε καταγραφή των χαρακτηριστικών στην επιφάνεια του εδάφους. Σε ότι αφορά στα φυτά, καταγράφηκαν όλα τα θαμνώδη φυτά σε ακτίνα τουλάχιστον 5 μέτρων εκατέρωθεν της διατομής μαζί με πληροφορίες για το ύψος και μέγεθος τους.

4. Αποτελέσματα

4.1 Γεωμορφολογικές ενότητες

Στην ενότητα αυτή γίνεται περιγραφή των γεωμορφολογικών ενοτήτων που αναγνωρίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν στις περιοχές μελέτης (Παραδοτέο Α.1.2) μέσω της ερμηνείας αεροφωτογραφιών, δορυφορικών εικόνων και παρατηρήσεων στο πεδίο. Τα τελικά κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση των ενοτήτων ήταν ο τύπος και το ύψος των θινών, το βάθος της άμμου, το μητρικό πέτρωμα (στην επιφάνεια) καθώς και το είδος και ένταση των διεργασιών που επενεργούν στο τοπίο.

4.1.1 Ελαφονήσι - Κεδροδάσος

Η περιοχή του Κεδροδάσους είναι η μοναδική από τις επτά περιοχές μελέτης με νότιο προσανατολισμό. Έτσι, λόγω της επικράτησης των βορείων ανέμων στην Κρήτη η περιοχή είναι λιγότερο εκτεθειμένη στην δράση των βοριάδων και των κυμάτων που προκαλούν. Αυτό αφενός σημαίνει ότι η διαβρωτική δράση των κυμάτων στο Κεδροδάσος είναι μικρότερη και αφετέρου ότι η τροφοδοσία με άμμο από την θάλασσα δεν είναι τόσο έντονη.

Η περιοχή του Κεδροδάσους αποτελεί το δυτικό κομμάτι της κατώτερης θαλάσσιας αναβαθμίδας που αναδύθηκε λόγω της ανύψωσης της δυτικής Κρήτης. Το μεγαλύτερο μέρος της ακτής είναι βραχώδης ενώ στο ανατολικό τμήμα της εκτείνεται μια παραλία μήκους 300 περίπου μέτρων. Πίσω από την παραλία βρίσκεται πλαγιά με μεγάλη κλίση η οποία εμποδίζει την απομάκρυνση της άμμου από τους νότιους ανέμους δημιουργώντας τοπογραφικές, ανερχόμενες θίνες μετρίου ύψους (climbing dunes). Δυτικότερα, την αμμώδη παραλία διαδέχεται έκταση με βράχια κροκαλοπαγών και ογκόλιθους που έχει χαρακτηριστικά εκβολής χειμάρρου.

Προς τα δυτικά η κλίσεις των πλαγιών που βρίσκονται πίσω από το Κεδροδάσος γίνονται μικρότερες. Έτσι, το πλάτος της ζώνης των αμμοθινών να είναι μεγαλύτερο, οι αμμοθίνες μικρότερες σε ύψος και βάθος ενώ οι οικοτόνοι είναι πλατύτεροι με δυσδιάκριτα όρια.

4.1.2 Σαρακήνικο

Η γεωμορφολογία της περιοχής του Σαρακήνικου είναι το αποτέλεσμα της επίδρασης του έντονου ανέμου, της τοπογραφίας και σε μικρότερο βαθμό του ρέματος που εκβάλλει στο κέντρο του οικοτόπου προτεραιότητας. Οι βόρειοι άνεμοι που πνέουν στην περιοχή σε συνδυασμό με την μεγάλη παροχή άμμου από τον κόλπο του Σαρακήνικου έχουν δημιουργήσει το ψηλότερο σύστημα ανερχόμενων θινών (climbing dunes) από τις επτά περιοχές μελέτης.

Στην ανατολική πλαγιά οι θίνες ανέρχονται ως την κορυφογραμμή 56 μέτρα από τη στάθμη της θάλασσας. Κατά τόπους το στρώμα της άμμου που καλύπτει τις δύο πλαγιές της λεκάνης έχει βάθος που δεν επιτρέπει την εγκατάσταση βλάστησης. Στα βαθύτερες αυτές περιοχές εκατέρωθεν παρατηρήθηκαν ξερά *Juniperus macrocarpa*. Από τις παρατηρήσεις των αεροφωτογραφιών φαίνεται ότι τα δέντρα ξεράθηκαν μεταξύ του 1999 και 2007. Τα αίτια θα μπορούσαν να είναι παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας.

Στην ανατολική πλευρά της περιοχής οι αμμοθίνες υπέρκεινται οφιολιθικών πετρωμάτων ενώ η γεωλογία της δυτικής πλαγιάς αποτελείται από νεογενείς σχηματισμούς μάργων και αργίλων. Η διαφορά αυτή αντικατοπτρίζεται στην βλάστηση των περιοχών γύρω από τον οικότοπο και στη μορφή των απορροών της βροχής στις δυο περιοχές. Στην ανατολική πλαγιά οι επιφανειακές απορροές που καταλήγουν στον οικότοπο είναι εντονότερες και δημιουργούν χαραδρώσεις στα όρια του οικοτόπου τα οποία είναι σαφή. Στην δυτική πλευρά οι άργιλοι εκτός του οικοτόπου αφενός υποστηρίζουν πυκνότερη και ψηλότερη βλάστηση (πεύκα), αφετέρου συγκρατούν περισσότερο νερό. Έτσι, η επίδραση της βροχής δεν έχει τόσο έντονες διαβρωτικές επιπτώσεις.

Από το κατώτερο σημείο της περιοχής μελέτης διέρχεται ρέμα. Το έδαφος στη περιοχή αυτή είναι αλλουβιακής προέλευσης και έχει πηλοαμμώδης σύσταση. Προς τη θάλασσα η βλάστηση έχει υποστεί καταστροφή από τις κατσίκες εξηγώντας την παντελή έλλειψη θινών.

4.1.3 Άγιος Ιωάννης

Η γεωμορφολογία των αμμοθινών του οικοτόπου στον Άγιο Ιωάννη χαρακτηρίζεται από την επίδραση του έντονου ανάγλυφου που τον περιβάλλει. Οι

απότομες κλίσεις των λόφων από νεογενείς σχηματισμούς γύρω από τον οικότοπο έχουν ως αποτέλεσμα την προστασία του συστήματος από την αιολική διάβρωση. Σε ότι αφορά την επίδραση των βροχοπτώσεων, αντίθετα, οι γύρω λόφοι συγκεντρώνουν τις επιφανειακές απορροές οι οποίες την περίοδο των βροχοπτώσεων δημιουργούν έντονες χαραδρώσεις στις παρυφές του οικοτόπου.

Κατά την επίσκεψη της περιοχής μετά από τις καταστροφικές βροχοπτώσεις του 2009 παρατηρήθηκε ότι η σύγκλιση των υδάτων συμβαίνει και στο εσωτερικό των αμμοθινών στην επιφάνεια μεταξύ της άμμου και του υποκείμενου ψαμμιτικού πετρώματος. Η εσωτερική αυτή ροή οδήγησε στην ολίσθησή της εκ των έσω στο κέντρο του μεγαλύτερου αμμώδους όγκου του οικοτόπου. Η χαράδρωση που δημιουργήθηκε είχε σχήμα Υ, μέγιστο μήκος πάνω από 200 μέτρα και βάθος 2 μέτρα. Παρόμοια μικρής έκτασης φαινόμενα παρατηρήθηκαν στο ανατολικό και στο νοτιοδυτικό άκρο της αμμώδους παραλίας. Παρά την ένταση του φαινομένου είναι σημαντικό ότι η άμμος δεν παρασύρεται εκτός συστήματος. Η επίσκεψη στην ίδια περιοχή μετά το καλοκαίρι έδειξε ότι η άμμος αφού έχασε την υγρασία της, παρασύρθηκε από τους καλοκαιρινούς ανέμους μειώνοντας σε μεγάλο βαθμό το βάθος των χαραδρώσεων.

Στο δυτικό τμήμα της περιοχής, την παραλία διαδέχονται ανερχόμενες θίνες ενδιάμεσου βάθους ως το ύψος των 20 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας. Στο κεντρικό τμήμα του οικοτόπου οι κλίσεις γίνονται ηπιότερες και η βλάστηση αντικαθιστά, τον ρόλο που παίζει η τοπογραφία στην δημιουργία και συγκράτηση των θινών. Το μέγεθος των θινών καθώς και το βάθος του αμμώδους υποστρώματος μειώνεται στα ανατολικά του οικοτόπου και καθώς μεγαλώνει η απόσταση από τη θάλασσα αφενός γιατί η ακτή στα δυτικά είναι βραχύδης και αφετέρου γιατί προς το εσωτερικό μειώνεται η εναπόθεση.

4.1.4 Λαβρακάς

Ο οικότοπος 2250* του Λαβρακά είναι ο μεγαλύτερος σε έκταση από τις επτά περιοχές μελέτης του παρόντος προγράμματος. Η θέση του στο βορειοδυτικό άκρο της Γαύδου αφήνει την περιοχή αυτή εκτεθειμένη στα κύματα και την δράση των ανέμων κάθε διεύθυνσης. Έτσι, λόγω των ήπιων κλίσεων της περιοχής, η άμμος από την ακτή μεταφέρεται σε μεγάλη απόσταση δημιουργώντας αμμώδεις αποθέσεις και

θίνες με βάθος που ελαττώνεται με τη απόσταση από την ακτή. Ως συνέπεια οι οικοτόνοι της περιοχής καλύπτουν μεγάλες ζώνες με δυσδιάκριτα όρια.

Στην βόρεια πλευρά η ακτή στο μεγαλύτερο της μέρος είναι αμμώδης με εμπρόσθιες θίνες και κατά τόπους εμφανίσεις βράχων στην ακτή. Στη δυτική πλευρά η ξηρά κατέρχεται απότομα στη θάλασσα σχηματίζοντας απότομα πρηνή και γκρεμνά. Εκτός από τη τροφοδοσία της περιοχής με άμμο από την ακτή δύο ρέματα καταλήγουν στη βόρεια παραλία αφού διασχίσουν νεογενείς σχηματισμούς με μάργες, αργίλους και ψαμμιτικά πετρώματα.

4.1.5 Ανατολική περιοχή Χρυσής

Η γεωμορφολογία των περιοχών της Χρυσής χαρακτηρίζεται και έχει διαμορφωθεί από το έντονο αιολικό δυναμικό της ανατολικής Κρήτης και το ήπιο ανάγλυφο του νησιού. Ο ανατολικός οικότοπος 2250* του νησιού καλύπτει μια περιοχή 371 στρεμμάτων που ξεκινά από το βόριο τμήμα του νησιού και καταλήγει στο νότιο. Στη βόρεια παραλία βρίσκονται διάσπαρτες εμβρυακές θίνες οι οποίες όμως είναι περιορισμένες κατά τόπους λόγω της πίεσης που δέχεται ο οικότοπος από τους χιλιάδες επισκέπτες και τροχοφόρα την καλοκαιρινή περίοδο.

Μέρος της άμμου της παραλίας προέρχεται από τα κελύφη οστρακόδερμων που ξεβράζονται στην ακτή της βόρειας παραλίας. Μαρτυρίες ντόπιων αναφέρουν ότι η παραλία παλιότερα καλυπτόταν σε μεγάλο βαθμό από κελύφη και κογχύλια τα οποία έχουν σχεδόν εξαφανιστεί λόγω της μαζική συλλογής τους. Αν αυτό ισχύει, πιθανόν να έχει επηρεάσει και την ανθεκτικότητα της επιφάνειας της παραλίας στην αιολική διάβρωση η οποία μεγαλώνει καθώς μικραίνει η μέση διάμετρος των σωμάτων στην επιφάνεια της άμμου.

Στο εσωτερικό ο οικότοπος αποτελείται από ένα σύστημα υπερυψωμένων θινών που φτάνει ως τα 13,8 μέτρα υψόμετρο πάνω σε ψαμμιτικούς λοφίσκους. Στο βόρειο μέτωπο των δευτερογενών αυτών θινών παρατηρούνται και τα εντονότερα σημάδια αιολικής διάβρωσης η οποία έχει δημιουργήσει χαρακτηριστικούς «διαδρόμους» διάβρωσης μήκους δεκάδων μέτρων με διεύθυνση προς το εσωτερικό του οικοτόπου. Η απουσία βλάστησης στις περιοχές αυτές επιτρέπει στους ανέμους να αυξάνουν σε ένταση καθώς ανέρχονται τις θίνες εντείνοντας τη διάβρωση. Σε βάθος χρόνου στην περιοχή παρατηρείται μετακίνηση άμμου στη διεύθυνση των

επικρατούντων ανέμων δηλαδή (από τη βόρεια προς τη νότια παραλία). Το φαινόμενο αυτό ενισχύεται από τη καταστροφή της βλάστησης από τους επισκέπτες, και ιδιαίτερα την καταστροφή των χαμηλών κλαδιών των κέδρων που μειώνουν την ταχύτητα των ανέμων κοντά στην επιφάνεια των θινών. Μέτρα περιορισμού του φαινομένου πρέπει να βασίζονται στη αποκατάσταση των θινών στην βόρεια παραλία και της βλάστησης στους «διαδρόμους» διάβρωσης προς το εσωτερικό.

Η ζώνη των οικοτόνων στα ανατολικά και δυτικά όρια της περιοχής αποτελείται από θίνες μικρού ως μέτριου ύψους οι οποίες έχουν δημιουργηθεί στις χαμηλότερες περιοχές των παρυφών του οικοτόπου. Η επικράτηση εντονότερων δυτικών απ' ότι ανατολικών ανέμων είναι ο λόγος που η ζώνη των οικοτόνων (αποθέσεις) είναι αισθητά μεγαλύτερη από την ανατολική πλευρά απ' ότι στη δυτική.

4.1.6 Δυτική περιοχή Χρυσής

Η δυτική περιοχή του οικοτόπου 2250* της Χρυσής είναι η δεύτερη μεγαλύτερη περιοχή μελέτης μετά την περιοχή του Λαβρακά της Γαύδου. Η δημιουργία των θινών σε αυτή την περιοχή είναι αποτέλεσμα του ανέμου πάνω στην άμμο που εναποτίθεται στην ακτή από τη θάλασσα. Έτσι, η περιοχή αυτή παρουσιάζει τυπική εμφάνιση αμμοθινικού συστήματος που αποτελείται από τρεις ζώνες παράλληλες προς την ακτή και κάθετες προς την διεύθυνση των ανέμων.

Η πρώτη ζώνη αποτελείται από εμπρόσθιες, εμβρυακές θίνες μικρού ύψους την οποία διαδέχεται μια ζώνη μεγαλύτερων θινών που συγκρατούνται από είδη *Juniperus (macrocarpa)*. Την ζώνη αυτή διαδέχεται η τρίτη και μεγαλύτερη ζώνη που ουσιαστικά αποτελεί τον οικοτόνο της περιοχής δηλαδή την ζώνη εναπόθεσης της άμμου που διαφεύγει από τη βλάστηση των πρώτων δύο ζωνών. Στη ζώνη αυτή η άμμος βρίσκεται μόνο κατά τόπους σε λεπτά στρώματα πάνω από τα αργιλικά εδάφη και στις βάσεις της θαμνώδους βλάστησης.

4.1.7 Φαλάσαρνα

Η περιοχή του οικοτόπου στα Φαλάσαρνα καλύπτει ένα μικρό κομμάτι σε σχέση με την δυνητική εξάπλωση των κέδρων όπως υποδηλώνει το γεωπεριβάλλον της περιοχής. Τα όρια των γεωμορφολογικών ενοτήτων στην περιοχή της Φαλάσαρνας έχουν αλλοιωθεί λόγω της έντονης παρέμβασης των επισκεπτών και

κυρίως των χρήσεων γης που σε ορισμένες περιοχές φτάνει ως τις εμπρόσθιες θίνες (κτίσματα, καλλιέργειες, θερμοκήπια κ.α.).

Προς την θάλασσα, η παράκτια περιοχή αποτελείται από μια εκτεταμένη αμμώδης παραλία και μερικές μικρότερες που χωρίζονται μεταξύ τους από πιο βραχώδη τμήματα τα οποία προστατεύουν κάποιες εναπομένουσες θίνες. Πίσω από την πρώτη αυτή ζώνη βρίσκεται μια ζώνη δευτερογενών θινών με βράχους την οποία διαδέχεται μια ζώνη σταθεροποιημένων θινών. Σε αυτές καταλήγουν τα προϊόντα αποσάθρωσης των πρανών που ανυψώνονται ως το επίπεδο της θαλάσσιας αναβαθμίδας που αποτελείται από αργιλικά εδάφη.

4.2 Αναλύσεις εδάφους και νερού

Το χαρακτηριστικό των αποτελεσμάτων των αναλύσεων του εδάφους είναι η ομοιογένεια των δειγμάτων στις περισσότερες παραμέτρους που μετρήθηκαν (τελευταία στήλη Πίνακας 1). Μοναδική εξαίρεση ήταν τα δείγματα που ληφθήκαν από τις αλλουβιακές αποθέσεις στο Σαρακήνικο (πηλοαμμώδες) και στην εσωτερική ζώνη (οικοτόνους) της δυτικής περιοχής στη Χρυσή (πηλοαμμώδες). Στις υπόλοιπες περιοχές οι αναλύσεις έδειξαν ότι οι ορίζοντες της άμμου είναι αλκαλικές (μέσο pH=8,9), πολύ φτωχοί σε οργανική ουσία (0.7%) και 60% ολικό CaCO₃. Επιπλέον, όλα τα θρεπτικά και ιχνοστοιχεία βρέθηκαν σε χαμηλές συγκεντρώσεις με εξαίρεση το μαγνήσιο (273,6 mg/l) και σε ορισμένες περιπτώσεις το Κάλιο (μεγάλη τυπική απόκλιση).

Πίνακας 1: Μέσες τιμές βασικών εδαφικών παραμέτρων και θρεπτικών ανά περιοχή μελέτης

		Τοποθεσία					Στατιστικά (N=23)	
		Κεδρόδασος-Ελαφονήσι	Σαρακήνικο	Αγ. Ιωάννης	Ανατολική Χρυσή	Δυτική Χρυσή	Average	St. Deviation
pH		8,96	8,88	9,44	8,63	8,3	8,94	0,4
Οργανική ουσία	%	1,1	0,8	0,2	1,4	1,1	0,71	0,6
Ολικό CaCO ₃	%	60,86	58,1	55,6	85,5	71,3	60,04	9,6
Ειδ. Ηλεκτρ. Αγωγ.	mS/cm	0,04	0,02	0,03	0,12	0,3	0,2	0,5
NO ₃ -N	mg/kg	0,02			0		0,0	0,0
P	mg/kg	4,5	2	0	2,4	6	2,4	1,8
K	mg/kg	42,1	63,2	47,4	47,3	173	87,2	83,7
Mg	mg/kg	382	190	253	392	195	273,6	96,5
Fe	mg/kg	2,35	2,71	2,76	1,84	4,93	2,9	1,4
Mn	mg/kg	2,22	2,42	1,07	1,08	3,74	2,6	1,6

Zn	mg/kg	0,411	0,268	0,123	0,14	0,212	0,2	0,1
Cu	mg/kg	0,085	0,141	0,153	0,05	0,215	0,2	0,1
B	mg/kg	0,392	0,126	0,198	0,63	0,522	0,2	0,2

Σε ότι αφορά τις αναλύσεις του νερού στο πηγάδι του Λαβρακά η συγκέντρωση των ανόργανων συστατικών, με εξαίρεση το χλώριο, είναι εντός των ορίων για πόσιμο παρ' ότι βρίσκεται σε απόσταση λίγων μόνο μέτρων από τη θάλασσα. Αντίθετα, και τα δυο πηγάδια της Χρυσής τα οποία βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση από τη θάλασσα έχουν υφάλμυρο νερό (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Αποτελέσματα ανάλυσης νερού για τις περιοχές του Λαβρακά και της Χρυσής.

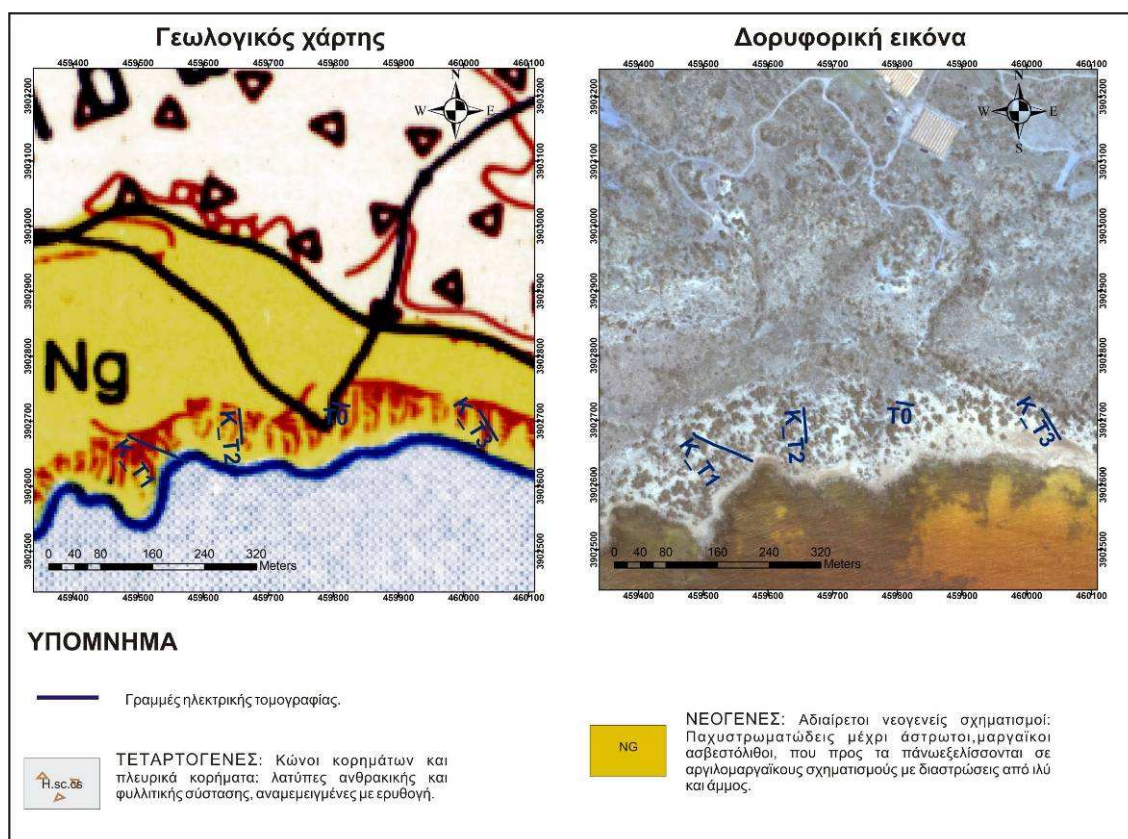
		Τοποθεσία		
		Chrysi-West	Chrysi-East	Lavrakas-Gavdos
PH		7,57	7,76	7,35
Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα	μS/cm	17410	9400	1110
Σκληρότης, Γερμ. βαθμοί	mg CaO/100ml	255,69	64,17	13,61
Σκληρότης, Γαλλ. βαθμοί	mg CaO/100ml	456,58	114,58	24,31
Σύνολο Αλάτων	Υπολογ. mg/l	11142,4	6016	710,4
Ασβέστιο	mg/l	478	130	39,4
Μαγνήσιο	mg/l	809	197	34,7
Κάλιο	mg/l	51,4	47,4	6,79
Νάτριο	mg/l	2850	1800	129
SAR	mg/l	18,34	23,12	3,6
Βόριο	mg/l			0,134
Χλώριο (Cl)	mg/l	6967,8	3169	425
Θειικά (SO ₄)	mg/l			200
Διττανθρακικά (HCO ₃)	mg/l	349,225	334,951	311,951
Νιτρικά (NO ₃)	mg/l	2,2	0,1	6,4429
Χαλκός	mg/l			0,001
Σίδηρος	mg/l			0,062
P	mg/l			0,015
Κατηγορία νερού		C4-S4	C4-S4	C3-S1
Κίνδυνος Αλατότητας		μεγάλος	Πολύ μεγάλος	μεγάλος
Κίνδυνος Νατρίου		Πολύ μεγάλος	Πολύ μεγάλος	χαμηλός
Καταλληλότητα προς Βόριο				Πολύ καλή

4.3 Γεωφυσική διασκόπηση (διατομές)

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης που πραγματοποιήθηκαν με τις μεθόδους της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ στις τέσσερις περιοχές μελέτης. Τα αποτελέσματα της διασκόπησης αυτής αναλύονται ακολούθως για κάθε περιοχή ξεχωριστά.

4.3.1 Ελαφονήσι - Κεδροδάσος

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα της Κρήτης, και ανήκει στο δήμο Καντάνου-Σελίνου. Συγκεκριμένα, οι γραμμές μελέτης βρίσκονται στην περιοχή του Κεδροδάσους ανατολικά του Ελαφονησίου. Πραγματοποιήθηκαν τέσσερις γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας (συμπεριλαμβανομένης της δοκιμαστικής γραμμής μελέτης) συνολικού μήκους 234 m και τρεις γραμμές γεωραντάρ συνολικού μήκους 128 m, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4: Απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη Φύλλο Παλαιόχωρας (1:50.000) και δορυφορικής εικόνας της περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζονται οι θέσεις των γραμμών μελέτης.

Γραμμή μελέτης K_T1

Η γραμμή K_T1 πραγματοποιήθηκε τον Μάιο του 2009 και βρίσκεται στο δυτικό τμήμα του Κεδροδάσους. Η αρχή της γραμμής βρίσκεται σε απόσταση μερικών μέτρων από την ακτογραμμή. Το μήκος της γραμμής μελέτης είναι 100 m και έχει διεύθυνση νοτιοανατολικά - βορειοδυτικά. Στην ίδια θέση πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με την μέθοδο του γεωραντάρ, αλλά σε διαφορετική περίοδο (Φεβρουάριος 2010). Η αρχή της τομής του γεωραντάρ ξεκινάει 40 m μετά από την αρχή της γραμμής της ηλεκτρικής τομογραφίας.

Ηλεκτρική τομογραφία

Η αρχή της γραμμής μελέτης βρίσκεται πολύ κοντά στην ακτογραμμή και σε σχετικά μικρό υψόμετρο (2 m), ενώ το τέλος της βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο κοντά στα 7 m. Επιφανειακά, στα πρώτα 16 m της γραμμής μελέτης, παρατηρείται εμφάνιση συνεκτικών σχηματισμών (αργιλικόι ψαμμίτες ή κροκαλοπαγές), ενώ από τα 16 m μέχρι τα 32 m παρατηρήθηκε έντονη βλάστηση (δέντρα κέδρων).

Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 5), τη γεωλογία της περιοχής μελέτης (Σχήμα 4), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις, προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα επιφανειακό στρώμα με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που ξεπερνούν τα 1000 Ωm, και πάχος 1-3 m. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο.
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα που χαρακτηρίζεται από μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μικρότερες από 100-400 Ωm) στα πρώτα 50 m της γραμμής μελέτης. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε κορεσμένους συμπαγείς σχηματισμούς (ανθρακικό λατυποπαγές ή αργιλικό ψαμμίτη). Στα πρώτα 50 m της γραμμής μελέτης το στρώμα αυτό χαρακτηρίζεται από πολύ μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (<80 Ωm), ενδεχομένως λόγω της παρουσίας υφάλμυρου νερού.
- Σε βάθη μεγαλύτερα των 4 m από την επιφάνεια απαντάται ένα γεωηλεκτρικό στρώμα με υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (> 1500 Ωm). Το στρώμα αυτό εντοπίζεται μόνο σε δύο σημεία της γραμμής μελέτης (32 - 50 m και 64 - 70 m) και αποδίδεται σε συμπαγή αδιαπέρατο σχηματισμό.

Γεωραντάρ

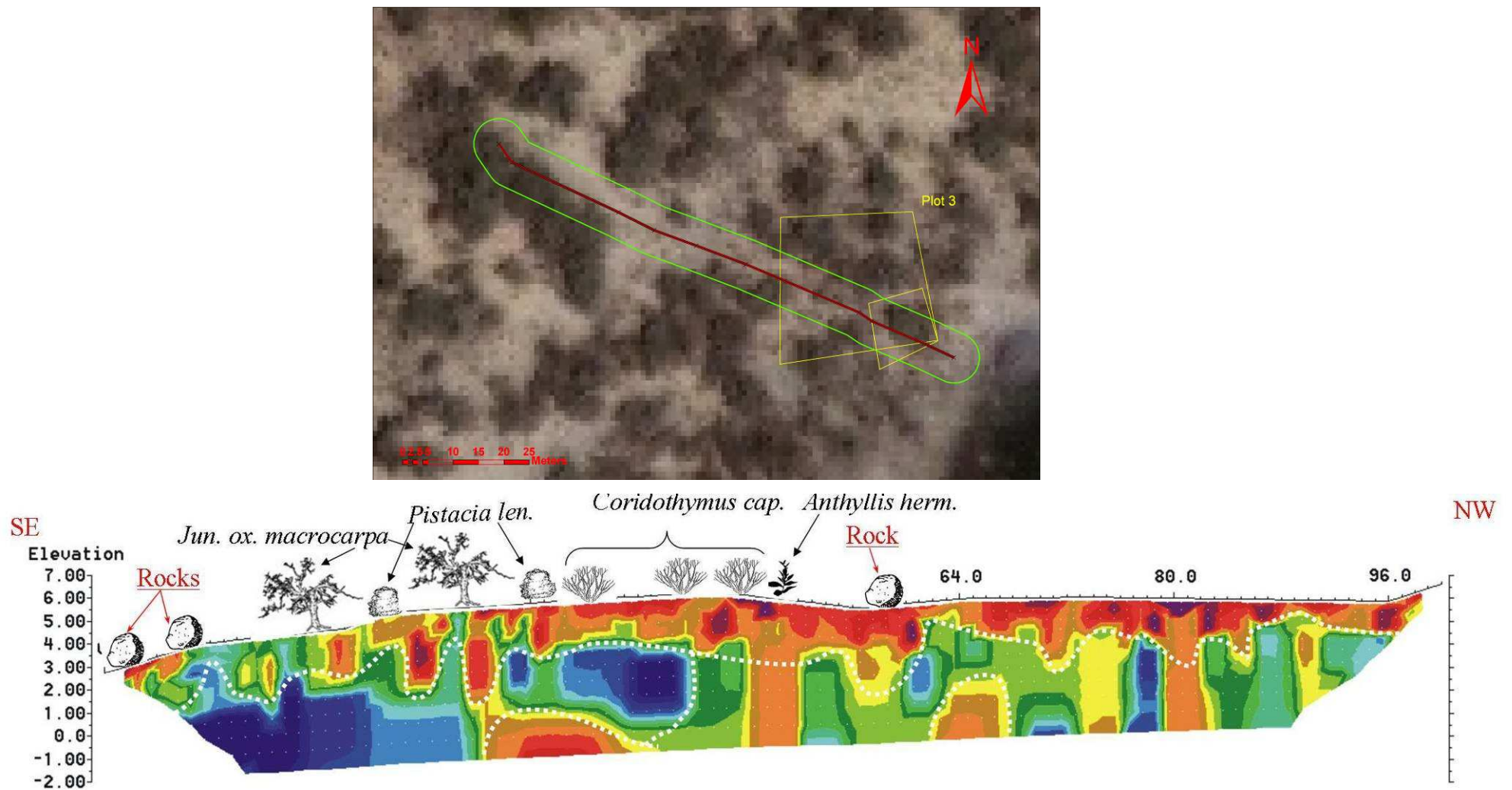
Η τομή γεωραντάρ (Σχήμα 6) δείχνει την ύπαρξη τριών γεωλογικών σχηματισμών, όπως παρατηρήθηκε και στην μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας. Χαρακτηριστική είναι η μεγάλη απόσβεση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο δεύτερο στρώμα, που αποτελεί και ένδειξης αυξημένης υγρασίας.

Υπέρθεση αποτελεσμάτων ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ

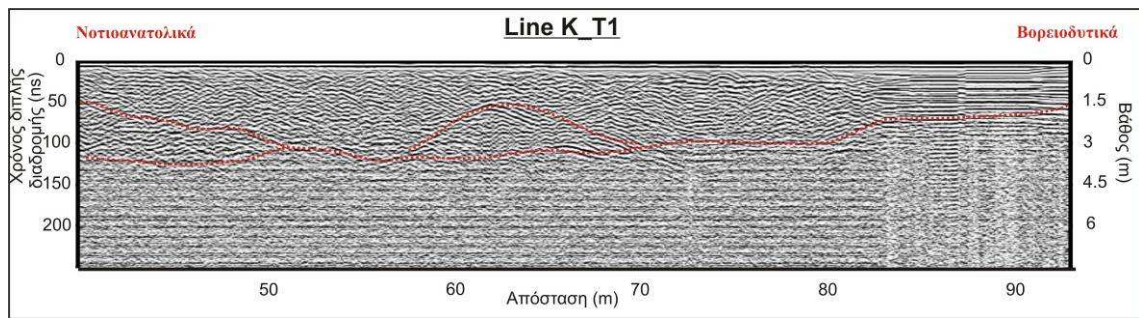
Οι τομές της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ, συνδυάστηκαν για πιο αξιόπιστη ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων (Σχήμα 7). Γενικότερα, παρατηρούνται διαφορές ανάμεσα στις τομές των δύο μεθόδων, οι οποίες πιθανόν να οφείλονται στην ταχύτητα που χρησιμοποιήθηκε για την μετατροπή της τομής χρόνου σε τομή βάθους του γεωραντάρ (0.06 m/ns). Παρόλο αυτά το πάχος του πρώτου στρώματος (άμμος) εκτιμάται στα 1-3 m. Από τον συνδυασμό αυτών των στοιχείων προκύπτουν τα εξής:

- Το πάχος του επιφανειακού στρώματος της άμμου κυμαίνεται από 3 m στην αρχή της γραμμής μελέτης μέχρι 1.5-2 m στο τέλος της.
- Κάτω από τη άμμο βρίσκεται ένα στρώμα από κορεσμένο συμπαγή σχηματισμό που αποδίδεται σε λατυποπαγές ή αργιλικό ψαμμίτη.
- Οι κέδροι παρατηρούνται στα 16 έως 32 m της γραμμής μελέτης όπου η άμμος έχει σχετικά μικρό πάχος (0.5-1 m), ενώ οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι αρκετά μικρές στις αντίστοιχες θέσεις.

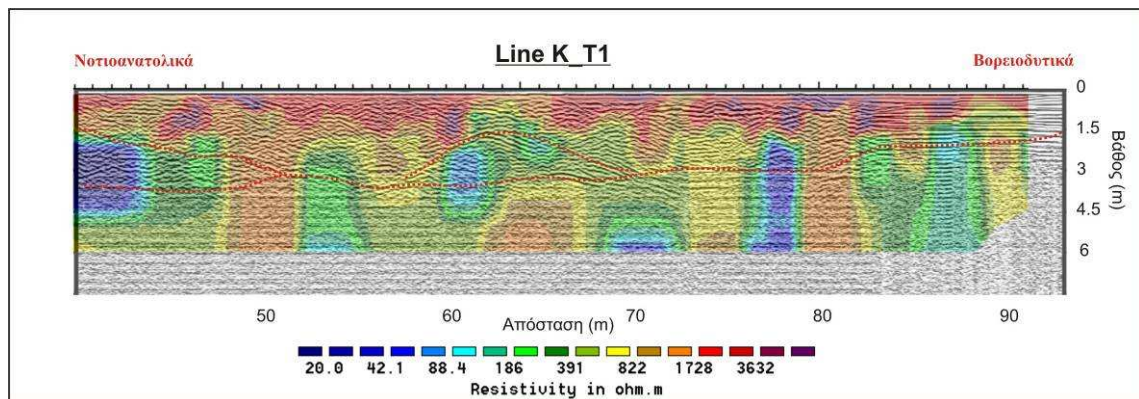
Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών



Σχήμα 5: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο) και δειγματοληπτική επιφάνεια της δράσης A2 (κίτρινο). Κάτω: η γεωηλεκτρική τομή Line K_T1 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου μέχρι βάθος 5 m με υπέρθεση των θαμνωδών ειδών που καταγράφηκαν κατά μήκος της διατομής. Με διακεκομμένη λευκή γραμμή διαχωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα.



Σχήμα 6: Τομή γεωραντάρ K_T1. Η διακεκομμένη γραμμή τονίζει την πιθανή θέση του υδροφόρου αλλά και την αλλαγή γεωλογικού στρώματος.



Σχήμα 7: Υπέρθεση των τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ για την γραμμής μελέτης K_T1. Η διακεκομμένη γραμμή τονίζει την διεπιφάνεια μεταξύ των δύο στρωμάτων όπως αυτά εντοπίστηκαν από την ερμηνεία του γεωραντάρ.

Γραμμή μελέτης K_T2

Η γραμμή K_T2 βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης (Σχήμα 4). Η αρχή της γραμμής βρίσκεται σε απόσταση 60 m περίπου από την ακτογραμμή. Το μήκος της γραμμής μελέτης είναι 54 m, με διεύθυνση από νότο προς βορά, ενώ δεν ήταν εφικτή η πραγματοποίηση μετρήσεων γεωραντάρ σε αυτήν την θέση.

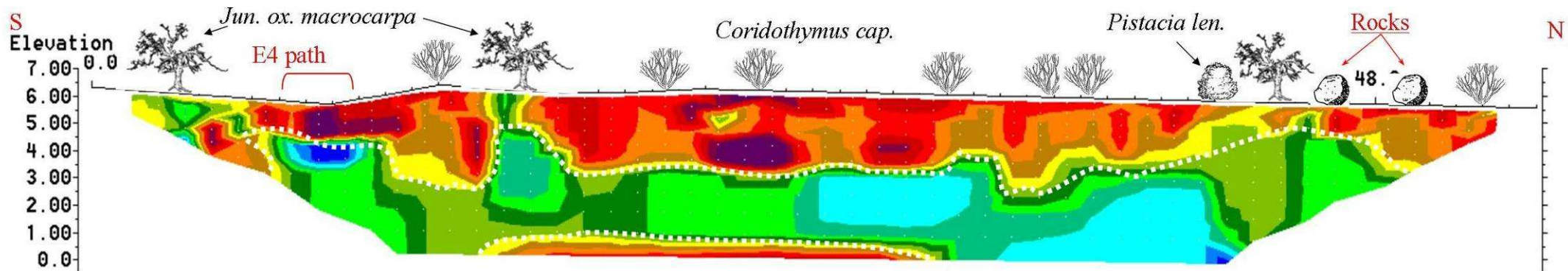
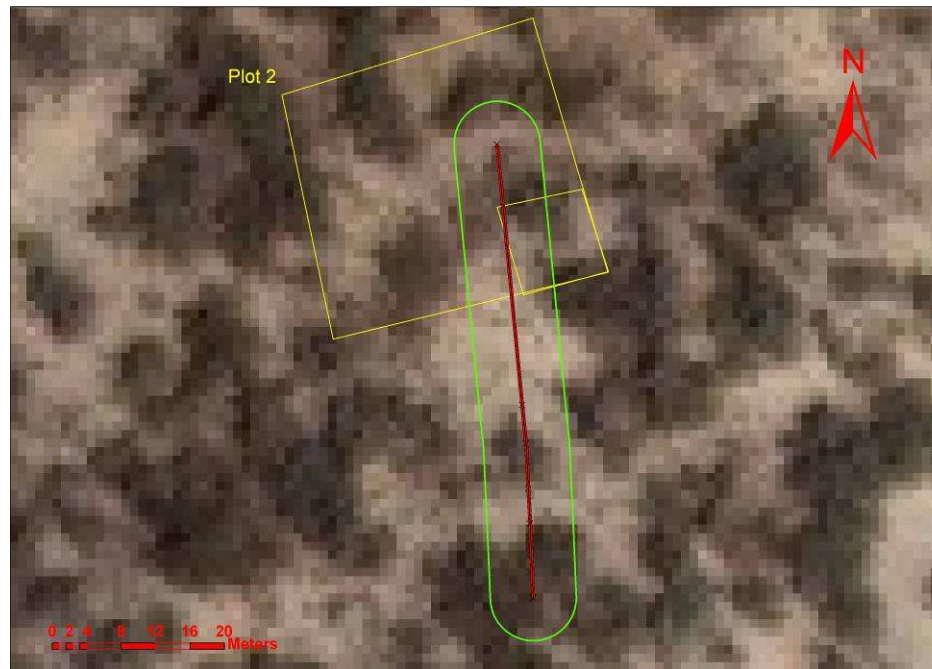
Ηλεκτρική τομογραφία

Η αρχή και το τέλος της γραμμής μελέτης βρίσκονται στο ίδιο υψόμετρο (7 m περίπου). Επιφανειακά, παρατηρείται βλάστηση (δέντρα κέδρων) στην αρχή και κεντρικά της γραμμής (στα 30 m περίπου). Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 8), τη γεωλογία της περιοχής μελέτης (Σχήμα 4), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις, προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα επιφανειακό στρώμα με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που ξεπερνούν τα 1000 Ωm, και πάχος 1 m – 3 m. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο.

- Ένα ενδιάμεσο γεωηλεκτρικό στρώμα που χαρακτηρίζεται από μικρές σχετικά τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ($100 \Omega\text{m} - 400 \Omega\text{m}$). Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε κορεσμένο βραχώδες πέτρωμα (ανθρακικός λατυποπαγής ή μαργαϊκός ασβεστόλιθος).
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα βρίσκεται σε βάθη μεγαλύτερα των 5m από την επιφάνεια, με υψηλές τιμές της ειδικής αντίστασης (μεγαλύτερες των $150 \Omega\text{m}$). Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε συμπαγές αδιαπέρατο πέτρωμα.

Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών



Σχήμα 8: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο) και δειγματοληπτική επιφάνεια της δράσης A2 (κίτρινο). Κάτω: η γεωηλεκτρική τομή Line K_T2 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου μέχρι βάθος 5 m με υπέρθεση των θαμνωδών ειδών που καταγραφήκαν κατά μήκος της διατομής . Με διακεκομμένη λευκή γραμμή διαχωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα.

Γραμμή μελέτης K_T3

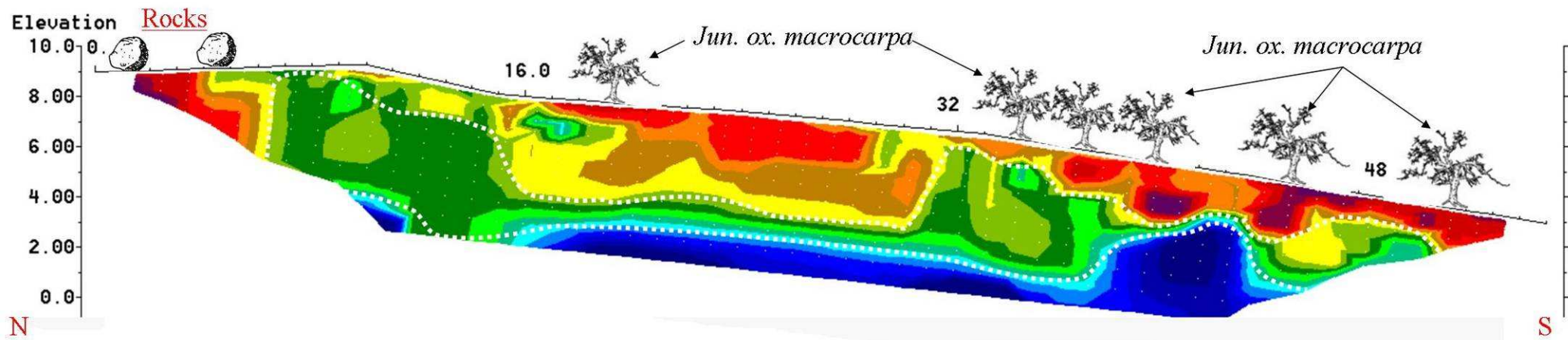
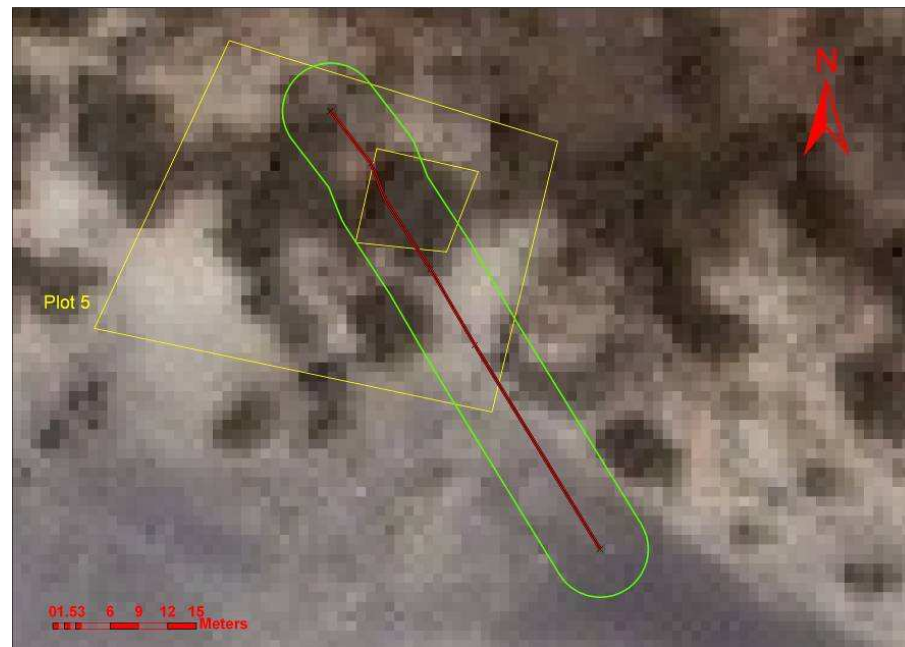
Η γραμμή K_T3 βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του Κεδρόδασους. Η αρχή της γραμμής βρίσκεται σε απόσταση 30 m περίπου από την ακτογραμμή. Το μήκος γραμμής μελέτης είναι 54 m, με διεύθυνση από βορά προς νότο. Στην ίδια θέση πραγματοποιήθηκε μια γραμμή μελέτης με την μέθοδο του γεωραντάρ, αλλά σε διαφορετική περίοδο (Φεβρουάριο 2010).

Ηλεκτρική τομογραφία

Η αρχή της γραμμής μελέτης βρίσκεται σε σχετικά μεγάλο υψόμετρο (10 m περίπου), ενώ το τέλος της δεν ξεπερνά τα 3 m. Επιφανειακά, παρατηρείται βλάστηση (δέντρα κέδρων) κυρίως στην αρχή της γραμμής. Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 9), τη γεωλογία της περιοχής μελέτης (Σχήμα 4), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα επιφανειακό στρώμα με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που ξεπερνούν τα 1000 Ωm, πάχους 1 m – 4 m. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο.
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα που χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μικρότερες των 100 Ωm). Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε κορεσμένο βραχώδη σχηματισμό (ανθρακικό λατυποπαγές ή μαργαϊκό ασβεστόλιθο).

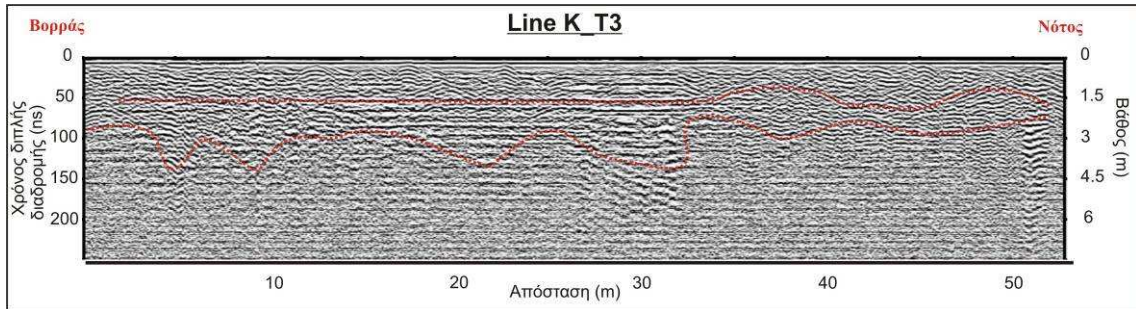
Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών



Σχήμα 9: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο) και δειγματοληπτική επιφάνεια της δράσης A2 (κίτρινο). Κάτω: η γεωηλεκτρική τομή Line K_T3 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου μέχρι βάθος 5 m με υπέρθεση των θαμνωδών ειδών που καταγραφήκαν κατά μήκος της διατομής. Με διακεκομμένη λευκή γραμμή διαχωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα.

Γεωραντάρ

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται η τομή γεωραντάρ της γραμμής Line K_T3. παρατηρείται ένας ανακλαστήρας σε βάθος περίπου 1.5 m από την επιφάνεια. Η απόσβεση του ηλεκτρομαγνητικού σήματος παρατηρείται σε βάθος 2-3.5 m από την επιφάνεια και αποτελεί ένδειξη αυξημένης υγρασίας.



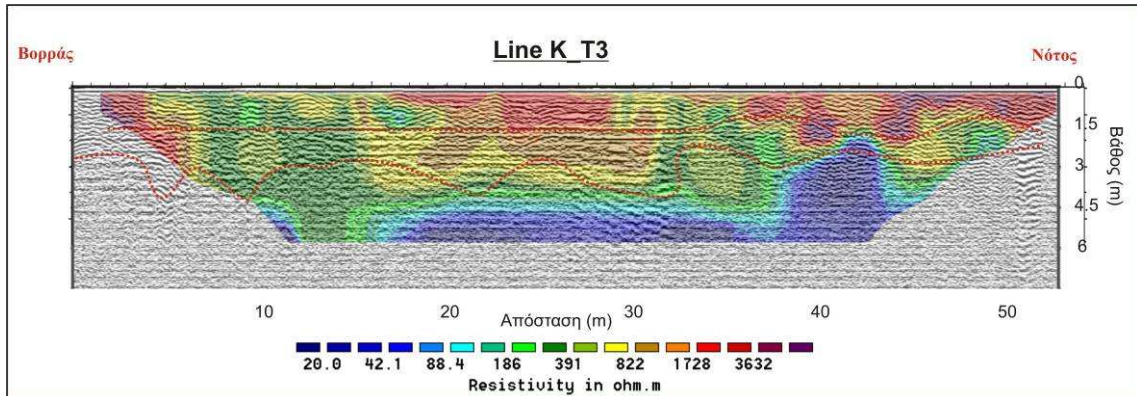
Σχήμα 10: Αποτελέσματα επεξεργασίας της γραμμής γεωραντάρ K_T3. Οι διακεκομμένες γραμμές τονίζουν τα πιθανά όρια των γεωλογικών στρωμάτων.

Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ

Στο Σχήμα 11 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα υπέρθεσης της τομής του γεωραντάρ πάνω στην γεωηλεκτρική τομή. Γενικώς, παρατηρείται καλή συμφωνία ανάμεσα στα αποτελέσματα των δύο μεθόδων, αν και το στρώμα που εντοπίζεται στην τομή του γεωραντάρ, σε βάθος 1.5 m περίπου από την επιφάνεια, δεν φαίνεται καθαρά στην τομή της ηλεκτρικής τομογραφίας. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι το επιφανειακό στρώμα της άμμου χωρίζεται σε δύο ζώνες, τις οποίες η ηλεκτρική τομογραφία αδυνατεί να ξεχωρίσει. Παρόλα αυτά, στο κεντρικό και νότιο τμήμα της γεωηλεκτρικής τομής εντοπίζονται μεγάλες διαφοροποιήσεις στις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (από 2000 Ω m επιφανειακά έως 500 Ω m βαθύτερα), οι οποίες ενδεχομένως να οφείλονται στις εν λόγω ζώνες της άμμου. Από τον συνδυασμό αυτών των στοιχείων προκύπτουν τα εξής:

- Το πάχος του επιφανειακού στρώματος της άμμου κυμαίνεται από 4 m στην αρχή της γραμμής μελέτης έως 1.5 m στο τέλος της (κοντά στην θάλασσα).
- Κάτω από τη άμμο βρίσκεται ένα στρώμα από συμπαγή κορεσμένο σχηματισμό.
- Το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται στο όριο μεταξύ της άμμου και του συμπαγούς σχηματισμού.
- Οι κέδροι βρίσκονται στο πρώτο τμήμα της γραμμής μελέτης, όπου παρατηρούνται σχετικά χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, που

πιθανότητα να οφείλονται σε αύξηση της υγρασίας ή σε ανύψωση του συμπαγούς σχηματισμού στις αντίστοιχες θέσεις.



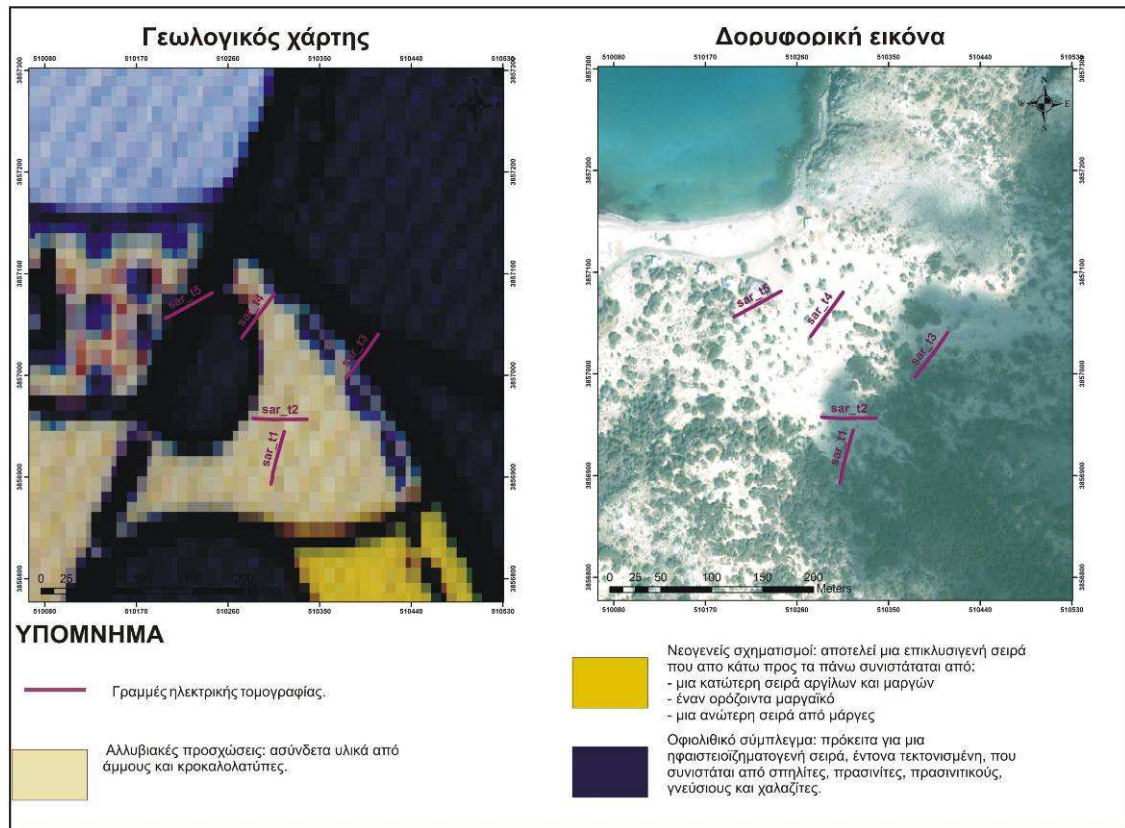
Σχήμα 11: Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ για την γραμμής μελέτης K_T3. Η διακεκομμένη γραμμή τονίζει την διεπιφάνεια μεταξύ των δύο στρωμάτων όπως αυτά εντοπίστηκαν από την ερμηνεία του γεωραντάρ.

4.3.2 Νήσος Γαύδος

Το νησί της Γαύδου βρίσκεται νοτιοδυτικά της Κρήτης, και ανήκει στο δήμο Γαύδου του νομού Χανίων. Η γεωφυσική διασκόπηση πραγματοποιήθηκε σε δύο περιοχές: στο Σαρακήνικο και στον Αγ. Ιωάννη. Συνολικά, πραγματοποιήθηκαν εννέα γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας συνολικού μήκους 486 m και έξι γραμμές γεωραντάρ συνολικού μήκους 289 m. Όλες γραμμές μελέτης πραγματοποιήθηκαν τον Μάιο του 2009.

4.3.3 Περιοχή Σαρακήνικου

Το Σαρακήνικο βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα το νησιού (Σχήμα 12) και χαρακτηρίζεται γεωλογικά από το οφιολιθικό σύμπλεγμα που καλύπτεται από νεογενείς σχηματισμούς (άργιλοι, μάργες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι). Επιφανειακά, η περιοχή μελέτης καλύπτεται από τεταρτογενείς σχηματισμούς, κυρίως άμμους. Στην εν λόγω περιοχή διασκοπήθηκαν πέντε γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας, συνολικού μήκους 270 m και τρεις γραμμές γεωραντάρ, συνολικού μήκους 140 m (Σχήμα 12).



Σχήμα 12: Απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη «Φύλλο Γαύδος» (1:50000) και μιας δορυφορικής εικόνας της περιοχής μελέτης (Σαρακήνικο), όπου απεικονίζονται οι θέσεις των γραμμών μελέτης.

Γραμμή μελέτης Sar_T1

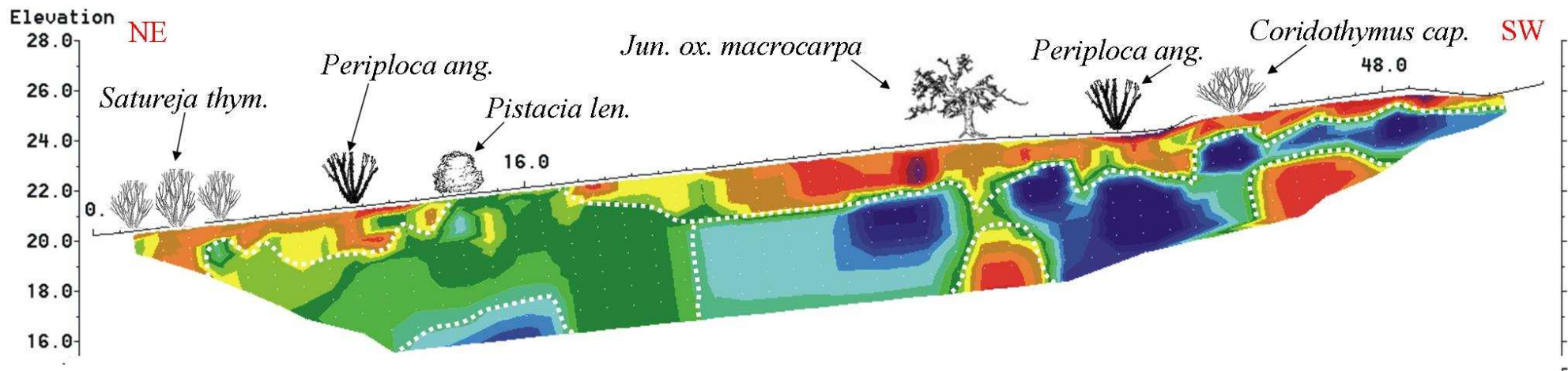
Η γραμμή Sar_t1 βρίσκεται νοτιοανατολικά του Σαρακήνικου. Η αρχή της γραμμής βρίσκεται σε απόσταση περίπου 230 m από την ακτογραμμή σε απόλυτο υψόμετρο που ξεπερνά τα 20 m. Το μήκος της γραμμής αυτής είναι 54 m και έχει διεύθυνση βορειοανατολικά - νοτιοδυτικά. Στην ίδια θέση, πραγματοποιήθηκε ηλεκτρική τομογραφία και (στα πρώτα 38 m) γεωραντάρ.

Ηλεκτρική τομογραφία

Η αρχή της γραμμής μελέτης βρίσκεται σε σχετικά μεγάλο υψόμετρο (20 m περίπου), ενώ το τέλος φτάνει και τα 26m. Επιφανειακά, παρατηρείται βλάστηση (δέντρα κέδρων) στο δεύτερο μισό της γραμμής μελέτης (μετά από τα πρώτα 27m). Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 13), τη γεωλογία της περιοχής μελέτης (Σχήμα 12), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα επιφανειακό στρώμα με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που ξεπερνούν τα 1000 Ωm, και πάχος 1 – 2 m. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο.
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα που χαρακτηρίζεται από μικρές σχετικά τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μικρότερες των 100 Ωm – 500 Ωm) κυρίως στο βορειοανατολικό τμήμα της γραμμής μελέτης (τα πρώτα 30m). Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο αυξημένης περιεκτικότητας σε υγρασία ή σε μαργαϊκό ασβεστόλιθο, ενώ το πάχος του ξεπερνά τα 4-5 m.
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα με πολύ μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μικρότερες των 40 Ωm) κυρίως στο νοτιοδυτικό τμήμα της γραμμής μελέτης (μετά τα 30 m). Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε αργίλους και μάργες.
- Κάποιες εξάρσεις με μεγάλες τιμές της ειδικής αντίστασης (άνω των 1000 Ωm) σε βάθη μεγαλύτερα των 3 m από την επιφάνεια, κυρίως στο νοτιοδυτικό τμήμα. Αυτές οι τιμές πιθανόν να οφείλονται σε εξάρσεις του ασβεστόλιθου ή του οφιολιθικού συμπλέγματος που εμφανίζονται και επιφανειακά κοντά στην γραμμή μελέτης.

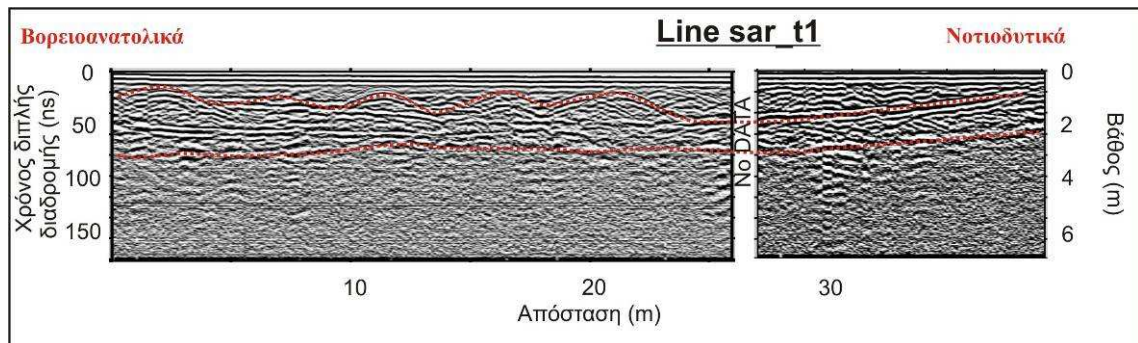
Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών



Σχήμα 13: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (μπλέ). Κάτω: η γεωηλεκτρική τομή **Line Sar_T1** με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου μέχρι βάθος 5 m με υπέρθεση των θαμνωδών ειδών που καταγραφήκαν κατά μήκος της διατομής. Με διακεκομμένη λευκή γραμμή διαχωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα.

Γεωραντάρ

Οι μετρήσεις γεωραντάρ πραγματοποιήθηκαν στην ίδια θέση με αυτήν της ηλεκτρικής τομογραφίας, στα πρώτα 38 m της γραμμής μελέτης Sar_t1. Στο Σχήμα 14 παρουσιάζεται η τομή γεωραντάρ. Επιφανειακά, σε βάθος περίπου 1-2 m, παρατηρείται ένας ανακλαστήρας, ενώ το σήμα του γεωραντάρ εξασθενεί σε βάθος 2-3 m, γεγονός που αποτελεί ένδειξη αυξημένης υγρασίας στις συγκεκριμένες θέσεις.



Σχήμα 14: Τομή γεωραντάρ Sar_t1. Η. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν τα πιθανά όρια των γεωλογικών στρωμάτων.

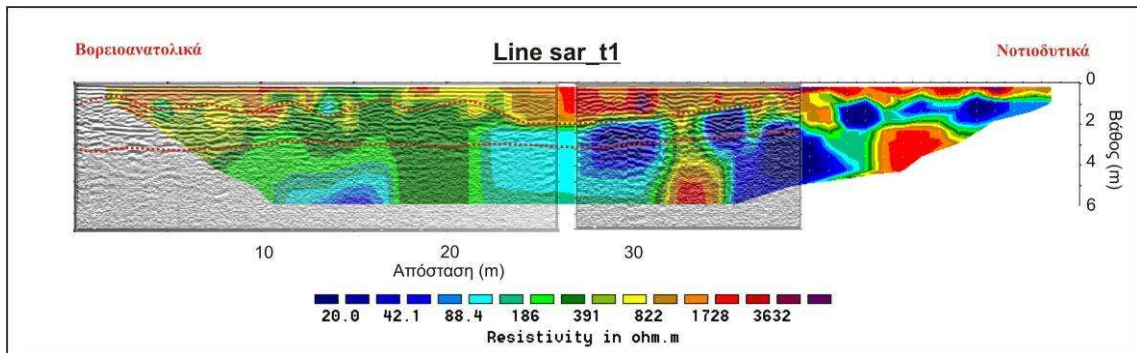
Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ

Στο Σχήμα 15 απεικονίζεται η υπέρθεση των τομών της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ. Ως υπόβαθρο, έχει χρησιμοποιηθεί η γεωηλεκτρική τομή, πάνω στην οποία τοποθετήθηκε η αντίστοιχη τομή του γεωραντάρ ως ημιδιαφανής εικόνα. Οι διακεκομμένες κόκκινες γραμμές οριοθετούν τα όρια των στρωμάτων σύμφωνα με την ερμηνεία του γεωραντάρ.

Στο σχήμα αυτό, παρατηρείται μεγάλη συμφωνία στο πάχος του πρώτου στρώματος που οριοθετεί την άμμο (1-2 m). Ο δεύτερος ανακλαστήρας κάτω από τον οποίο αποσβένει το σήμα του γεωραντάρ, ταυτίζεται με τις πολύ χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στα αντίστοιχα σημεία. Από τον συνδυασμό αυτών των στοιχείων προκύπτουν τα εξής:

- Το πάχος του επιφανειακού στρώματος της άμμου κυμαίνεται από 1 m στην αρχή της γραμμής μελέτης, στο κέντρο της έχει την μέγιστη τιμή (2m), ενώ στο τέλος της, το πάχος της άμμου δεν υπερβαίνει τα 0.5 m.
- Στα πρώτα 20 m της γραμμής μελέτης παρατηρείται ένα στρώμα με ενδιάμεσες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Το στρώμα αυτό πιθανότατα να οφείλεται σε κορεσμένη άμμο ή σε μαργαϊκό ασβεστόλιθο.

- Κάτω από τη άμμο βρίσκεται ένα στρώμα πάχους 2-4 m, που χαρακτηρίζεται από μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και πιθανότατα αποδίδεται σε άργιλο ή μάργα.
- Έντονη βλάστηση δέντρων παρατηρείται στο νοτιοδυτικό τμήμα της γραμμής μελέτης όπου το πάχος της άμμου είναι πολύ μικρό (<1 m) και οι μάργες απαντώνται σε μικρό βάθος.



Σχήμα 15: Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ για την γραμμή μελέτης Sar_t1. Οι διακεκομμένες γραμμές τονίζουν τις διεπιφάνειες μεταξύ των στρωμάτων όπως αυτά ερμηνεύθηκαν στην τομή του γεωραντάρ.

Γραμμή μελέτης Sar_T2

Η γραμμή Sar_t2 βρίσκεται νοτιοανατολικά του Σαρακήνικου, κοντά και κάθετα στην γραμμή Sar_t1. Η γραμμή αυτή βρίσκεται σε απόσταση περίπου 220 m από την ακτογραμμή σε απόλυτο υψόμετρο που ξεπερνά τα 20m. Το μήκος της γραμμής μελέτης είναι 54 m και έχει διεύθυνση ανατολικά - δυτικά. Στην ίδια θέση, πραγματοποιήθηκε ηλεκτρική τομογραφία και (στα πρώτα 52 m) γεωραντάρ.

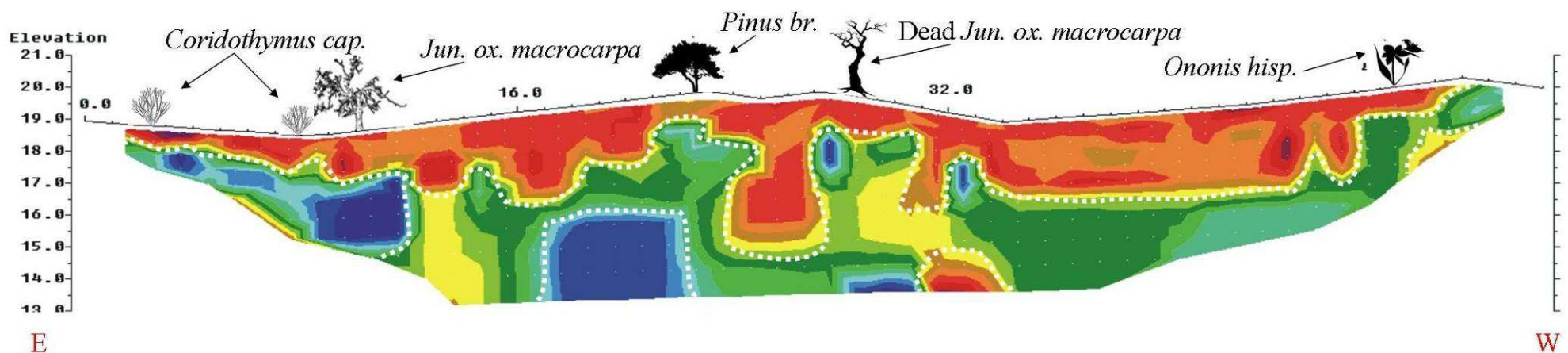
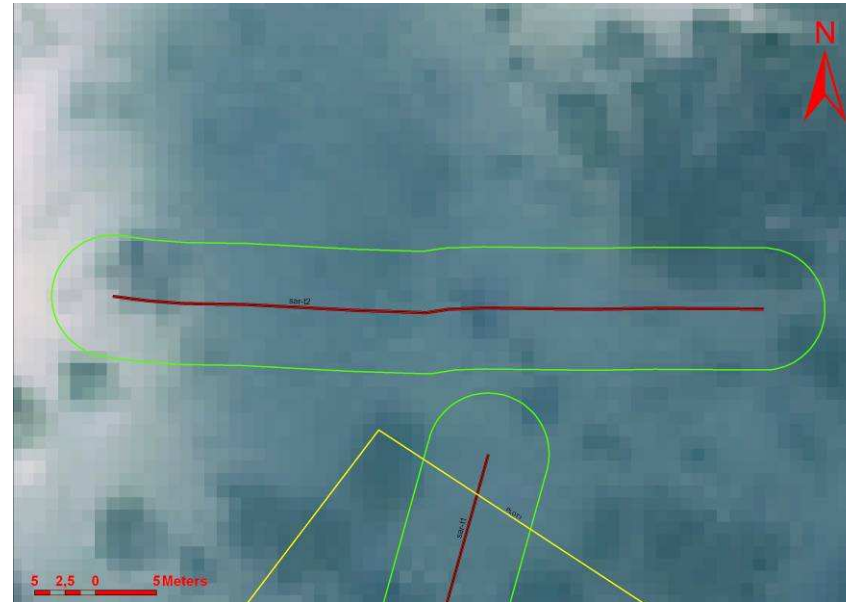
Ηλεκτρική τομογραφία

Η αρχή της γραμμής μελέτης βρίσκεται κοντά στο μέτωπο του πρανούς ενός ρέματος. Επιφανειακά, παρατηρείται βλάστηση (δέντρα κέδρων) στα πρώτα 8m της γραμμής μελέτης, ενώ κάποιοι θάμνοι βρίσκονται κεντρικά (27-31m). Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 16), τη γεωλογία της περιοχής μελέτης (Σχήμα 12), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα επιφανειακό στρώμα πάχους 1 – 3 m με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που ξεπερνούν τα 1000 Ωm. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο.

- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα που χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ($100 \Omega\text{m} - 500 \Omega\text{m}$), κυρίως στο δυτικό τμήμα της γραμμής μελέτης (μετά από τα 25 m). Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο αυξημένης περιεκτικότητας σε υγρασία ή σε μαργαϊκό ασβεστόλιθο και το πάχος του ξεπερνά τα 4-5 m.
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα με πολύ μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μικρότερες από $40 \Omega\text{m}$) κυρίως στο ανατολικό τμήμα της γραμμής μελέτης (τα πρώτα 20 m). Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε αργίλους και μάργες.
- Στο Σχήμα 16 υπάρχει ένδειξη εμφάνισης του οφιολιθικού υποβάθρου σε βάθος περίπου 9-10 m από την επιφάνεια, καθώς σε αυτά τα βάθη εμφανίζονται μεγάλες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (άνω των $1000 \Omega\text{m}$).

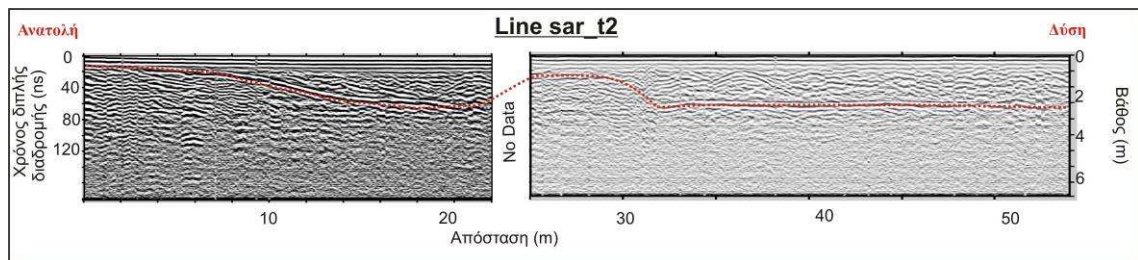
Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών



Σχήμα 16: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο). Κάτω: η γεωηλεκτρική τομή Line Sar_T2 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου μέχρι βάθος 5 m με υπέρθεση των θαμνωδών ειδών που καταγραφήκαν κατά μήκος της διατομής. Με διακεκομμένη λευκή γραμμή διαχωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα.

Γεωραντάρ

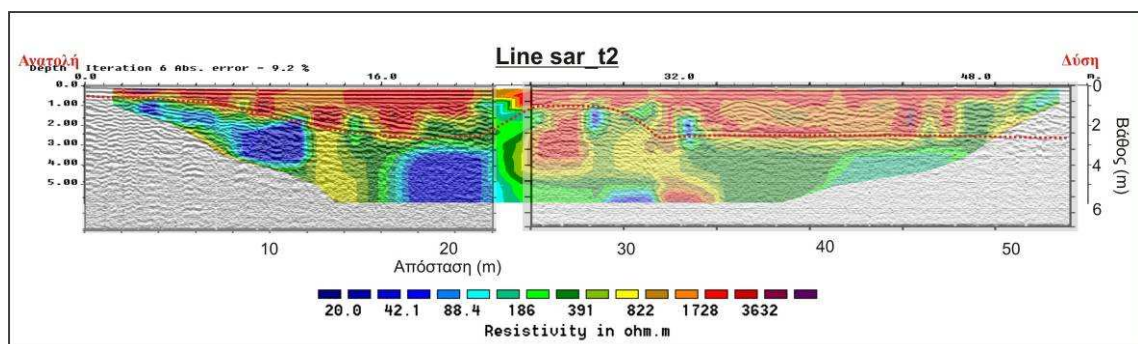
Οι μετρήσεις γεωραντάρ πραγματοποιήθηκαν στην ίδια θέση με αυτήν της ηλεκτρικής τομογραφίας, στα πρώτα 52 m της γραμμής μελέτης Sar_t2. Στο Σχήμα 17 παρουσιάζεται η τομή γεωραντάρ. Το κενό ανάμεσα στα δύο τμήματα της τομής οφείλεται σε αδυναμία πραγματοποίησης μετρήσεων στην θέση αυτή. Παρατηρείται ένας ανακλαστήρας σε βάθος 1-2 m περίπου από την επιφάνεια. Η απόσβεση του ηλεκτρομαγνητικού σήματος παρατηρείται σε βάθος 3 m από την επιφάνεια και αποτελεί ένδειξης αυξημένης υγρασίας.



Σχήμα 17: Τομή γεωραντάρ Sar_t2. Η διακεκομμένη γραμμή οριοθετεί πιθανότατα το πάχος της άμμου.

Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ

Στο Σχήμα 18 απεικονίζονται η υπέρθεση των τομών της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ. Ως υπόβαθρο, έχει χρησιμοποιηθεί η γεωηλεκτρική τομή, πάνω στην οποία τοποθετήθηκε η αντίστοιχη τομή του γεωραντάρ ως ημιδιαφανής εικόνα. Η διακεκομμένη κόκκινη γραμμή οριοθετεί τα στρώματα, σύμφωνα με την ερμηνεία της τομής του γεωραντάρ.



Σχήμα 18: Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ για την γραμμής μελέτης Sar_t1. Η διακεκομμένη γραμμή οριοθετεί πιθανότατα το πάχος της άμμου.

Στις δύο τομές, παρατηρείται μεγάλη συμφωνία ως προς το πάχος του πρώτου στρώματος που αποδίδεται στην άμμο. Το συγκεκριμένο στρώμα έχει μικρό πάχος στην αρχή της γραμμής μελέτης (όπου η βλάστηση είναι εντονότερη), φτάνει τα 3 m στο κέντρο της γραμμής μελέτης, ενώ σε απόσταση 20 – 30 m από την αρχή της

γραμμής, το πάχος του δεν ξεπερνά το 1 m. Στο τελευταίο τμήμα της γραμμής μελέτης το στρώμα αυτό αποκτά το μέγιστο πάχος του (περίπου 3 m). Από τον συνδυασμό αυτών των στοιχείων προκύπτουν τα εξής:

- Το πάχος του επιφανειακού στρώματος της άμμου κυμαίνεται από 0.5 m στην αρχή της γραμμής μελέτης και αυξάνεται προς τα δυτικά, φτάνοντας τα 3 m στο τέλος της γραμμής.
- Κάτω από τη άμμο βρίσκεται ένα στρώμα που χαρακτηρίζεται από μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Πιθανώς να οφείλεται σε άργιλο ή μάργα.
- Έντονη βλάστηση (δέντρα κέδρων) παρατηρείται στο ανατολικό τμήμα της γραμμής μελέτης όπου το πάχος της άμμου είναι πολύ μικρό (<1 m) και η άργιλος ή οι μάργες βρίσκονται σε μικρό βάθος.

Γραμμή μελέτης Sar_t3

Η γραμμή Sar_t3 βρίσκεται ανατολικά του Σαρακήνικου, σε απόσταση 220 m περίπου από την ακτογραμμή και σε απόλυτο υψόμετρο περίπου 10-14 m. Το μήκος της γραμμής αυτής είναι 54 m, με διεύθυνση νοτιοδυτικά - βορειοανατολικά. Η πραγματοποίηση μετρήσεων γεωραντάρ δεν ήταν εφικτή σε αυτήν την θέση.

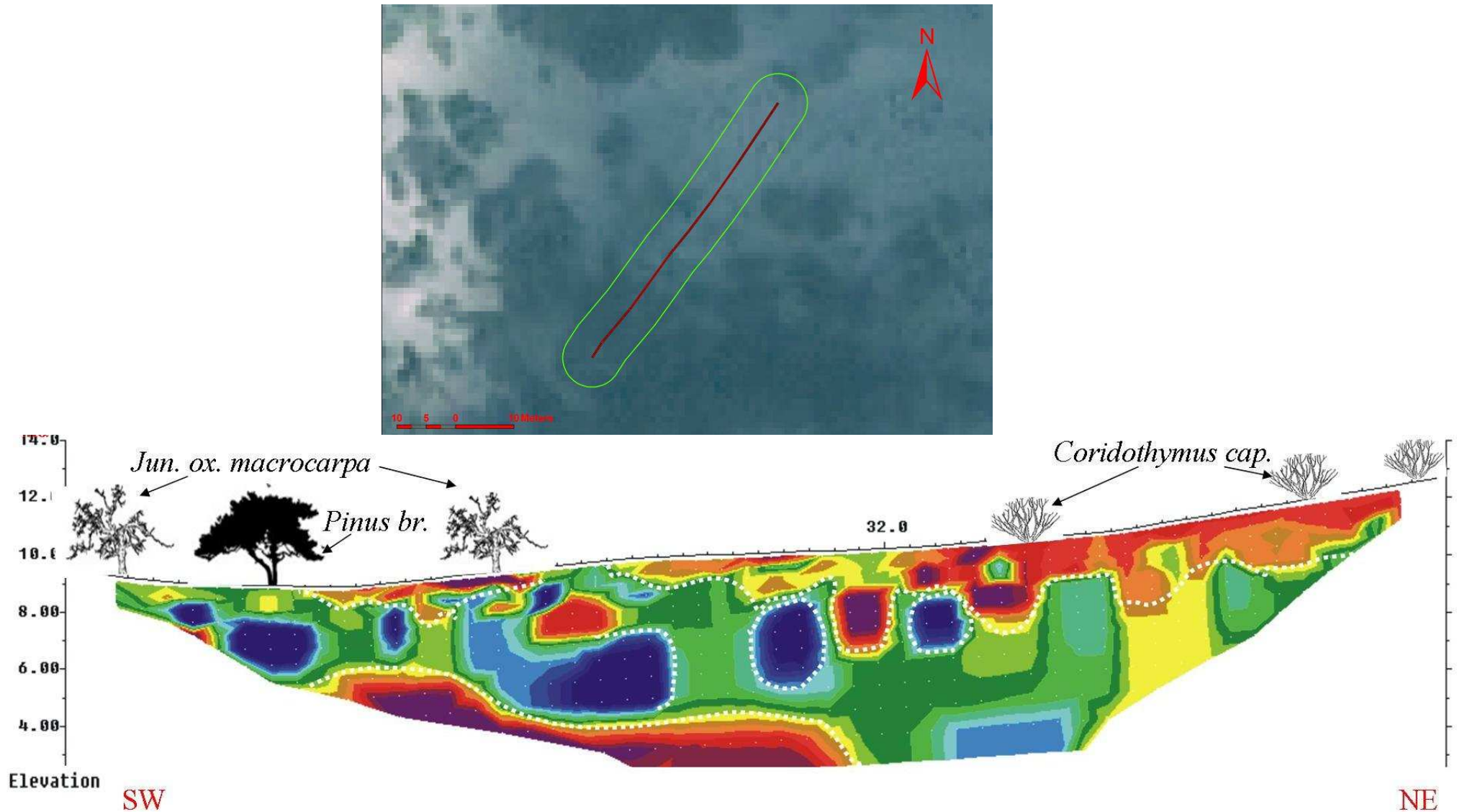
Ηλεκτρική τομογραφία

Η αρχή της γραμμής μελέτης (0–13 m) βρίσκεται μέσα σε ένα ρέμα, όπου παρατηρείται πυκνή βλάστηση (δέντρα κέδρων), ενώ κεντρικά (16-30 m), απαντώνται θάμνοι. Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 19), τη γεωλογία της περιοχής μελέτης (Σχήμα 12), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα επιφανειακό στρώμα με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που ξεπερνούν τα 1000 Ωm και πάχος 1- 4 m, κυρίως μετά από τα πρώτα 30 m. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο. Στα πρώτα 30 m το στρώμα αυτό έχει μικρότερες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (300 Ωm – 500 Ωm) που δικαιολογείται από την συγκράτηση υγρασίας σε αυτές τις θέσεις λόγω του ρέματος αλλά και της πυκνής βλάστησης.

Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα που χαρακτηρίζεται από ενδιάμεσες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (100 Ωm – 500 Ωm) κυρίως σε απόσταση 35 –

Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών



Σχήμα 19: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο). Κάτω: η γεωηλεκτρική τομή Sar_T3 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου μέχρι βάθος 5 m με υπέρθεση των θαμνωδών ειδών που καταγράφηκαν κατά μήκος της διατομής. Με διακεκομμένη λευκή γραμμή διαχωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα.

- 50 m από την αρχή της γραμμής μελέτης. Το στρώμα αυτό αποδίδεται πιθανότατα σε μαργαϊκό ασβεστόλιθο .
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα με πολύ μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μικρότερες από 40 Ωm) κυρίως στα πρώτα 35 m και κάτω από το στρώμα της υγρής άμμου. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε αργίλους ή/και μάργες.
- Στα πρώτα 30 m της γραμμής μελέτης και σε βάθη μεγαλύτερα των 5 m από την επιφάνεια, παρατηρούνται μεγάλες τιμές της ειδικής αντίστασης (άνω των 1000 Ωm). Οι τιμές αυτές πιθανόν να οφείλονται στο οφιολιθικό υπόβαθρο που, σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής, εμφανίζεται και επιφανειακά στα βορειανατολικά της γραμμής μελέτης.
- Έντονη βλάστηση δέντρων (κέδροι) παρατηρείται στο νοτιοδυτικό τμήμα της γραμμής μελέτης όπου το πάχος της άμμου είναι πολύ μικρό (<1 m) και οι αργίλοι-μάργες βρίσκονται σε μικρό βάθος.

Γραμμή μελέτης Sar_t4

Η γραμμή Sar_t4 βρίσκεται ανατολικά του Σαρακήνικου, σε απόσταση 120 m περίπου από την ακτογραμμή και σε απόλυτο υψόμετρο περίπου 5-6 m. Το μήκος της γραμμής αυτής είναι 54 m και έχει διεύθυνση βορειοανατολικά - νοτιοδυτικά, Στην ίδια θέση και σε όλο το μήκος της γραμμής, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ.

Ηλεκτρική τομογραφία

Η αρχή της γραμμής μελέτης (0–23m) βρίσκεται μέσα σε ένα ρέμα, ενώ δεν παρατηρείται βλάστηση κατά μήκος της γραμμής. Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 20), τη γεωλογία της περιοχής μελέτης (Σχήμα 12), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα επιφανειακό στρώμα πάχους 1-2 m με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που ξεπερνούν τα 1000 Ωm , κυρίως μετά από τα πρώτα 20 m. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο. Στα πρώτα 30 m το στρώμα αυτό έχει μικρότερες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (300 Ωm – 500 Ωm) που

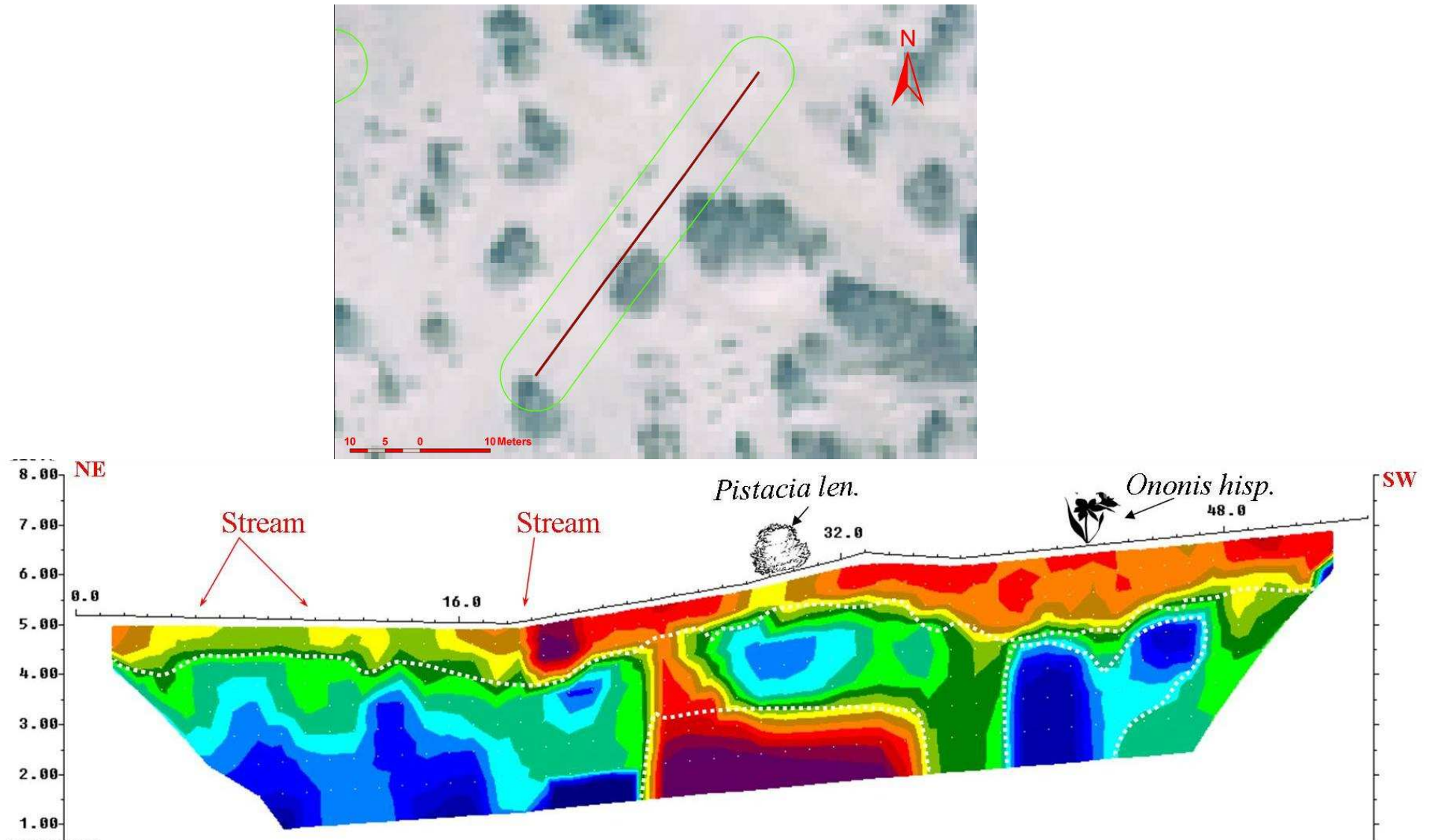
δικαιολογείται από την συγκράτηση υγρασίας σε αυτές τις θέσεις λόγω του ρέματος.

- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα με πολύ μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μικρότερες των 40 Ωm) που βρίσκεται κάτω από το στρώμα της άμμου. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε αργίλους ή/και μάργες.
- Το οφιολιθικό υπόβαθρο εντοπίζεται σε βάθος 2 m περίπου από την επιφάνεια σε απόσταση 25-32 m από την αρχή της γραμμής μελέτης, όπου παρατηρούνται μεγάλες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (άνω των 1000 Ωm). Τονίζεται ότι η απότομη αλλαγή των ειδικών αντιστάσεων σε απόσταση 27 m περίπου αποτελεί ένδειξη ύπαρξης ρήγματος το οποίο ανυψώνει το υπόβαθρο, το οποίο παρατηρείται και επιφανειακά, δυτικά της γραμμής μελέτης.

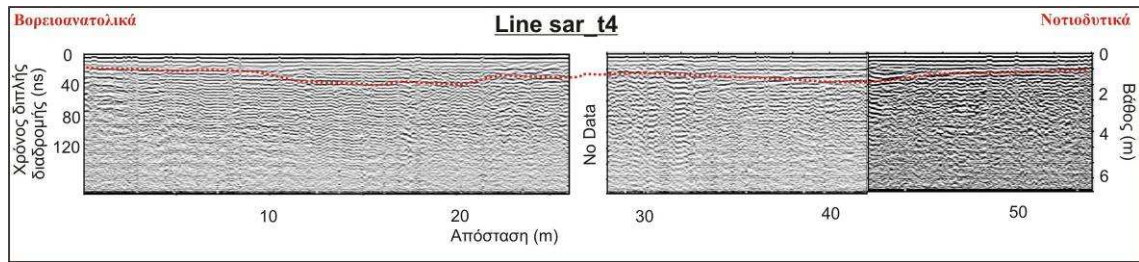
Γεωραντάρ

Οι μετρήσεις γεωραντάρ πραγματοποιήθηκαν στην ίδια θέση με αυτήν της ηλεκτρικής τομογραφίας, κατα μήκος της γραμμής μελέτης Sar_t4. Στο Σχήμα 21 παρουσιάζεται η τομή γεωραντάρ. Το κενό ανάμεσα στα δύο τμήματα της τομής οφείλεται σε αδυναμία πραγματοποίησης μετρήσεων στην θέση αυτή. Παρατηρείται ένας ανακλαστήρας σε βάθος περίπου 0.5-1.5 m από την επιφάνεια, που οριοθετεί πιθανότητα το πάχος της άμμου στην συγκεκριμένη θέση.

Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών



Σχήμα 20: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο). Κάτω: η γεωηλεκτρική τομή Sar_T4 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου μέχρι βάθος 5 m με υπέρθεση των θαμνωδών ειδών που καταγράφηκαν κατά μήκος της διατομής. Με διακεκομμένη λευκή γραμμή διαχωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα.



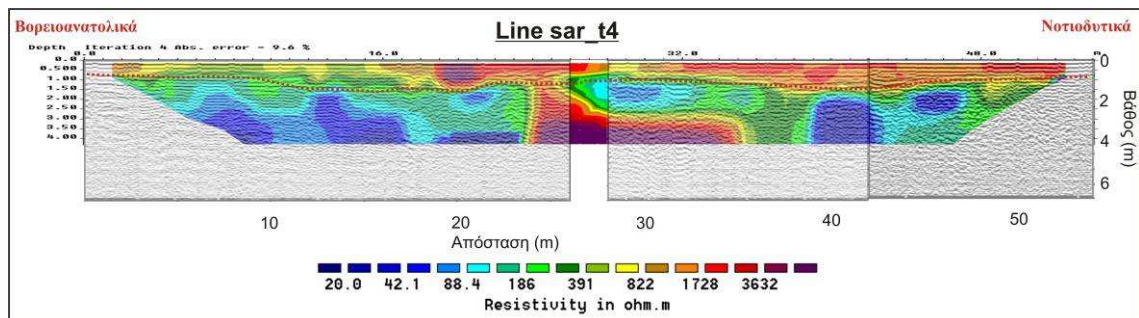
Σχήμα 21: Τομή γεωραντάρ Sar_t4. Η διακεκομμένη γραμμή οριοθετεί πιθανότατα το πάχος της άμμου.

Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ

Στο Σχήμα 22 απεικονίζονται η υπέρθεση των τομών της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ. Ως υπόβαθρο, έχει χρησιμοποιηθεί η γεωηλεκτρική τομή, πάνω στην οποία τοποθετήθηκε η αντίστοιχη τομή του γεωραντάρ ως ημιδιαφανής εικόνα. Η διακεκομμένη κόκκινη γραμμή οριοθετεί την διεπιφάνεια της άμμου με το επόμενο γεωλογικό στρώμα (πιθανότατα μάργα).

Στις δύο τομές, παρατηρείται μεγάλη συμφωνία ως προς το πάχος του πρώτου στρώματος που αποδίδεται στην άμμο. Το συγκεκριμένο στρώμα έχει μικρό πάχος στην αρχή της γραμμής μελέτης (0.5 m), φτάνει τα 1.5 m στο κέντρο της γραμμής μελέτης, ενώ στο τέλος της γραμμής δεν ξεπερνά το 0.5 m. Από τον συνδυασμό αυτών των στοιχείων προκύπτουν τα εξής:

- Το πάχος του επιφανειακού στρώματος της άμμου κυμαίνεται από 0.5 m στην αρχή της γραμμής, στο κέντρο της έχει την μέγιστη τιμή (1.5m), ενώ στο τέλος της γραμμής το πάχος της άμμου δεν ξεπερνά το 0.5 m.
- Κάτω από τη άμμο βρίσκεται ένα στρώμα που χαρακτηρίζεται από μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Πιθανότατα αποδίδεται σε άργιλο ή μάργα.



Σχήμα 22: Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ για την γραμμής μελέτης Sar_t4. Η διακεκομμένη γραμμή οριοθετεί πιθανότατα το πάχος της άμμου.

Γραμμή μελέτης Sar_t5

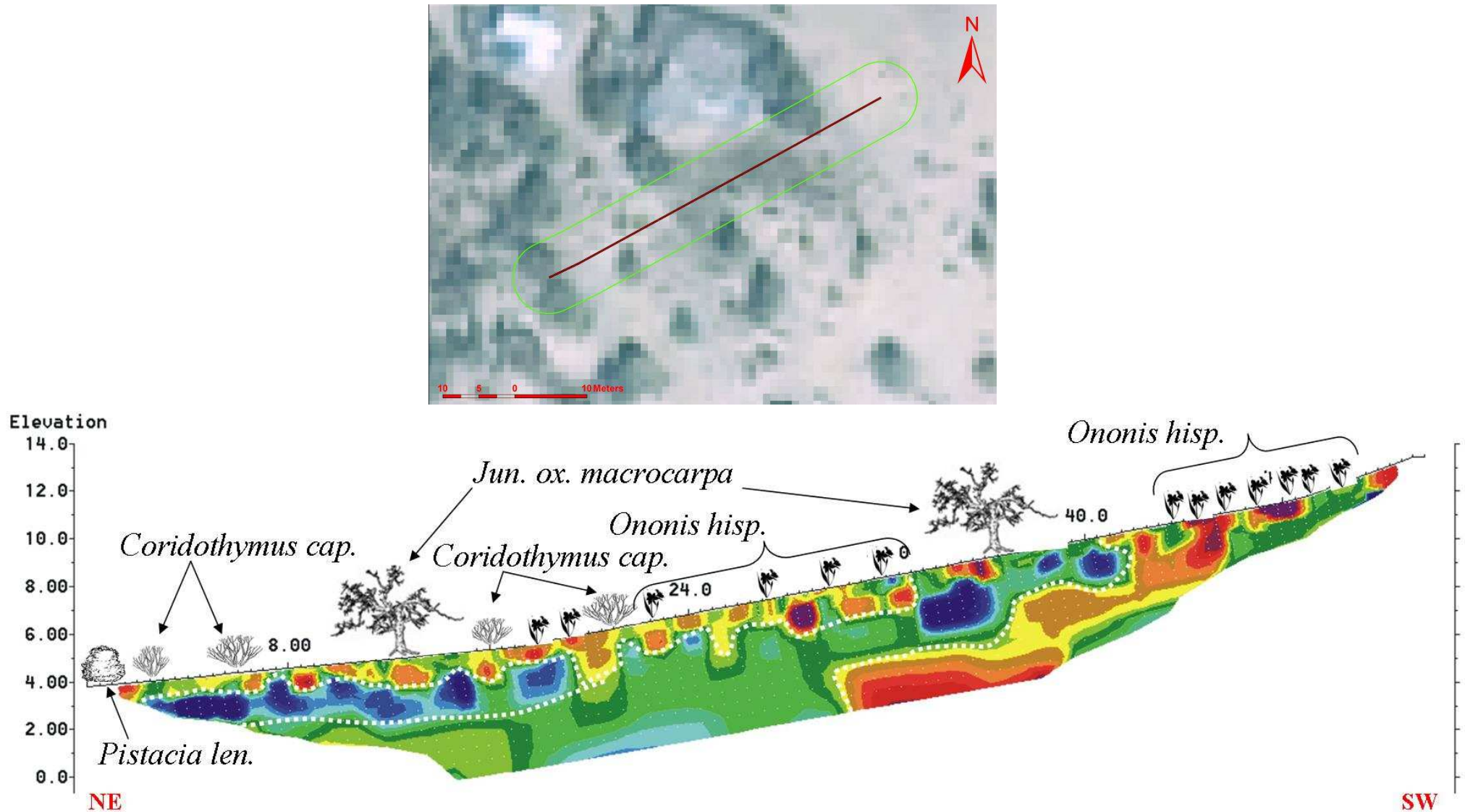
Η γραμμή Sar_t5 βρίσκεται ανατολικά του Σαρακήνικου, σε απόσταση 80 m περίπου από την ακτογραμμή και το απόλυτο υψόμετρο της κυμαίνεται από 4 m στην αρχή της μέχρι 14 m στο τέλος της. Το μήκος γραμμής μελέτης είναι 54 m και έχει διεύθυνση βορειοανατολικά - νοτιοδυτικά.. Δεν ήταν εφικτή η πραγματοποίηση μετρήσεων γεωραντάρ σε αυτήν την θέση.

Ηλεκτρική τομογραφία

Η γραμμή μελέτης βρίσκεται κατά μήκος μιας έντονης πλαγίας. Επιφανειακά, παρατηρείται εμφάνιση του οφιολιθικού υπόβαθρου της περιοχής, ενώ η βλάστηση κέδρων παρατηρείται μόνο κοντά στην αρχή και στο τέλος της γραμμής αυτής. Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 23), τη γεωλογία της περιοχής μελέτης (Σχήμα 12) αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα επιφανειακό στρώμα μικρού πάχους (0.5 m – 1 m) με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που ξεπερνούν τα 1000 Ωm. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο.
- Κάτω από το επιφανειακό στρώμα, εντοπίζεται ένα γεωηλεκτρικό στρώμα με πολύ μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μικρότερες των 40 Ωm) στα πρώτα 40 m. Το πάχος του στρώματος αυτό δεν ξεπερνά το 1 m, και αποδίδεται σε μάργες ή/και αργίλους.
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα που χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (100 Ωm – 500 Ωm). Αυτό το στρώμα παρατηρείται μόνο κεντρικά της γραμμής μελέτης (17 – 27 m) και αποδίδεται σε πιθανή ζώνη ρηγμάτωσης μέσα στο συμπαγές πέτρωμα το υποβάθρου (οφιολιθικό σύμπλεγμα).
- Το υπόβαθρο (οφιολιθικό σύμπλεγμα) εντοπίζεται σε βάθος 1-2 m περίπου από την επιφάνεια του εδάφους.
- Εντονότερη βλάστηση δέντρων (κέδρων) παρατηρείται στην αρχή της γραμμής μελέτης όπου το πάχος της άμμου είναι πολύ μικρό (<1 m) και οι αργίλοι-μάργες απαντώνται σε μικρό βάθος.

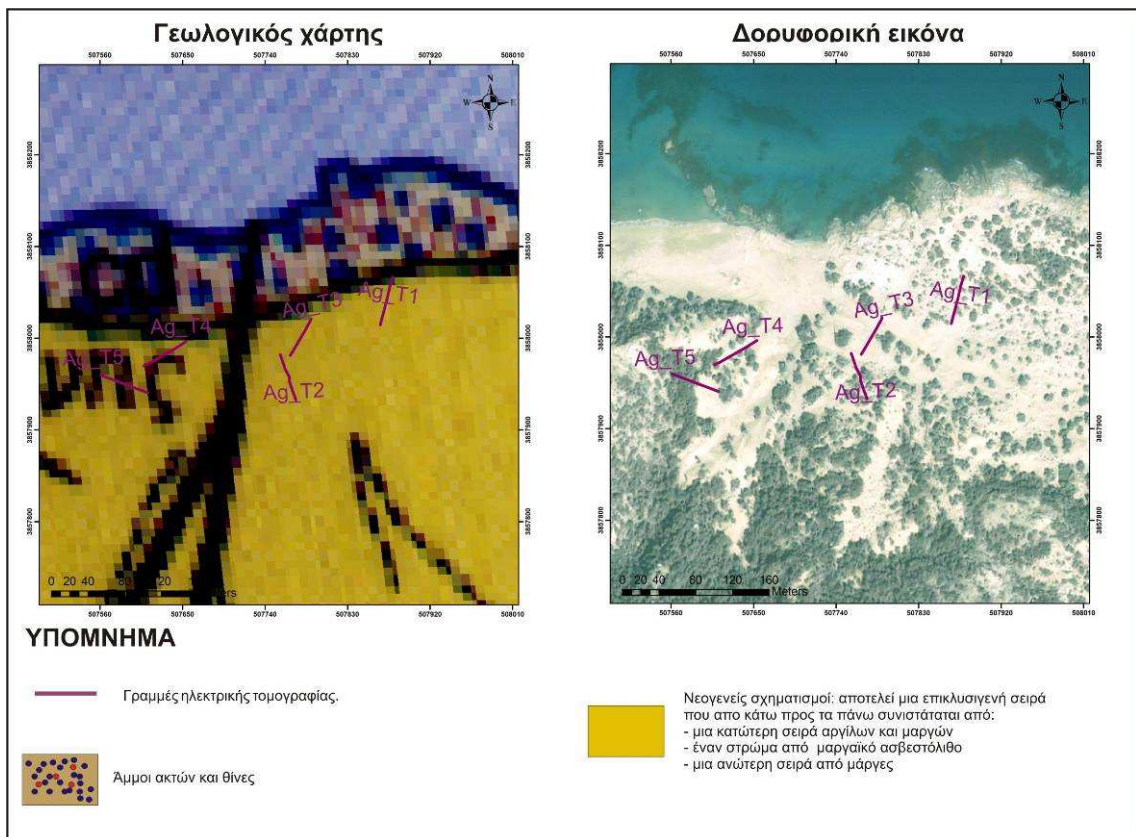
Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών



Σχήμα 23: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο). Κάτω: αποτελέσματα επεξεργασίας της γεωηλεκτρική τομή Sar_T5 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου μέχρι βάθος 5 m με υπέρθεση των θαμνωδών ειδών που καταγράφηκαν κατά μήκος της διατομής. Με διακεκομμένη λευκή γραμμή διαχωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα.

4.3.4 Περιοχή Αγίου Ιωάννη

Ο Αγ. Ιωάννης βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα το νησιού (Σχήμα 24), και χαρακτηρίζεται γεωλογικά από νεογενείς σχηματισμούς (άργιλοι, μάργες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι). Επιφανειακά, η περιοχή μελέτης καλύπτεται από τεταρτογενείς σχηματισμούς, κυρίως άμμους. Στην εν λόγω περιοχή πραγματοποιήθηκαν τέσσερις γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας, συνολικού μήκους 216 m και τρεις γραμμές γεωραντάρ, συνολικού μήκους 149 m (Σχήμα 24).



Σχήμα 24: Απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη «Φύλλο Γαύδος» (1:50000) και δορυφορική εικόνας της περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζονται οι θέσεις των γραμμών μελέτης.

Γραμμή μελέτης Ag_T1

Η γραμμή Ag_T1 βρίσκεται ανατολικά της παραλίας του Αγ. Ιωάννη, σε απόσταση 100m περίπου από την ακτογραμμή και σε απόλυτο υψόμετρο περίπου 9-12 m. Το μήκος της γραμμής αυτής είναι 54 m και έχει διεύθυνση από νότο προς βορρά. Στην ίδια θέση πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ηλεκτρικής τομογραφίας και (στα πρώτα 50m) γεωραντάρ.

Ηλεκτρική τομογραφία

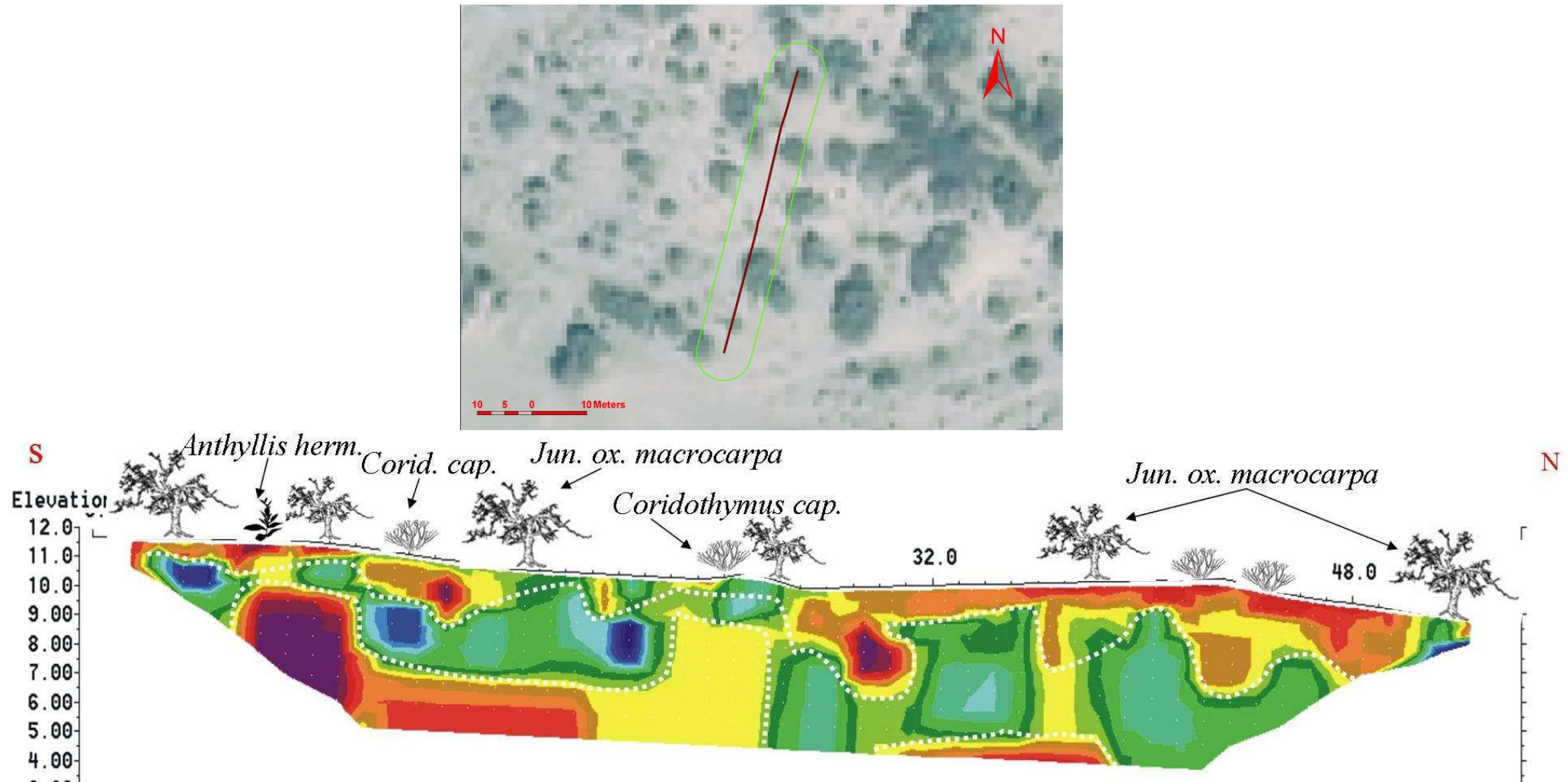
Η αρχή της γραμμής μελέτης βρίσκεται σε περίπου 10 m υψόμετρο, ενώ το τέλος της στα 12 m. Επιφανειακά, παρατηρείται βλάστηση (δέντρα κέδρων) κυρίως στα 17 m, στα 38 m και στο τέλος της γραμμής. Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 25), τη γεωλογία της περιοχής μελέτης (Σχήμα 24) αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα επιφανειακό στρώμα πάχους 1 – 3 m με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που ξεπερνούν τα 1000 Ωm. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο.
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα με μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μικρότερες των 100 Ωm), το οποίο εμφανίζεται και επιφανειακά στο κεντρικό τμήμα της τομής (17 - 28m). Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε μάργες ή αργιλικούς ψαμμίτες.
- Στα άκρα της τομής και σε βάθη μεγαλύτερα των 4 m από την επιφάνεια παρατηρείται ένα γεωηλεκτρικό στρώμα με μεγάλες τιμές της ειδικής αντίστασης (άνω των 1000 Ωm). Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε ένα συμπαγή σχηματισμό (πιθανότατα ανθρακικό) που λόγω έλλειψης γεωλογικών στοιχείων δεν μπορεί να προσδιοριστεί.

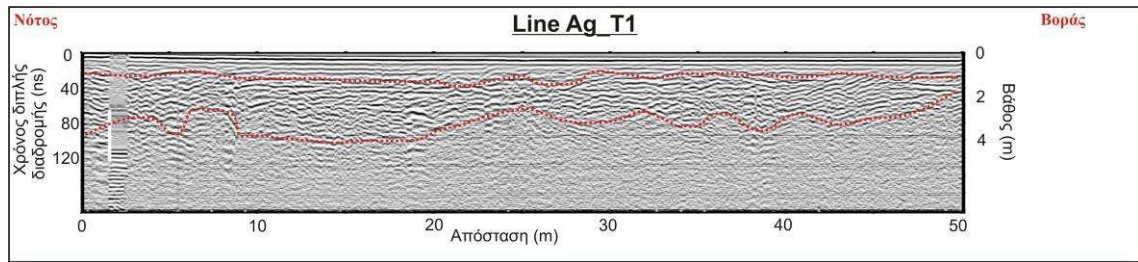
Γεωραντάρ

Οι μετρήσεις γεωραντάρ πραγματοποιήθηκαν στην ίδια θέση με αυτήν της ηλεκτρικής τομογραφίας, στα πρώτα 50 m της γραμμής Ag_T1. Στο Σχήμα 26 παρουσιάζεται η τομή του γεωραντάρ. Παρατηρούνται δύο ανακλαστήρες: ένας σε βάθος περίπου 1 m, ο οποίος εκτείνεται κατά μήκος της γραμμής μελέτης και οριοθετεί πιθανότατα το πάχος της άμμου. Ο δεύτερος, απαντάται σε βάθος που κυμαίνεται από 4 m στην αρχή, έως 2 m, στο τέλος της γραμμής μελέτης.

Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών



Σχήμα 25: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο). Κάτω: γεωηλεκτρική τομή Line Ag_T1 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου μέχρι βάθος 5m και τα θαμνώδη είδη που καταγράφηκαν στην διατομή. Με διακεκομμένες λευκές γραμμές διαχωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα.



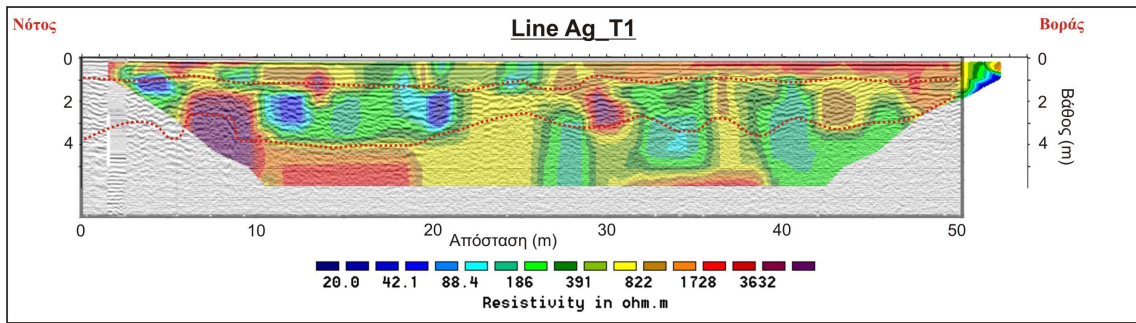
Σχήμα 26: Τομή γεωραντάρ Ag_T1. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν τα πιθανά γεωλογικά στρώματα.

Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ

Στο Σχήμα 27 απεικονίζονται η υπέρθεση των τομών της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ. Ως υπόβαθρο, έχει χρησιμοποιηθεί η γεωηλεκτρική τομή, πάνω στην οποία τοποθετήθηκε η αντίστοιχη τομή της γεωραντάρ ως ημιδιαφανής εικόνα. Οι διακεκομμένες κόκκινες γραμμές οριοθετούν τα στρώματα που προέκυψαν από την ερμηνεία της τομής του γεωραντάρ.

Στις τομές αυτές, παρατηρείται μεγάλη συμφωνία ως προς το πάχος του πρώτου στρώματος που αποδίδεται στην άμμο. Το συγκεκριμένο στρώμα έχει πάχος περίπου 1 m κατά μήκος της γραμμής μελέτης, με εξαίρεση το κεντρικό της τμήμα, όπου το πάχος το στρώματος αυτού μειώνεται, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής τομογραφίας. Από τον συνδυασμό αυτών των στοιχείων προκύπτουν τα εξής:

- Το πάχος του επιφανειακού στρώματος της άμμου είναι 1 m περίπου.
- Κάτω από τη άμμο βρίσκεται ένα στρώμα που χαρακτηρίζεται από μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Το συγκεκριμένο στρώμα παρατηρείται και επιφανειακά στο κέντρο της γραμμής μελέτης και αποδίδεται σε μάργες ή αργιλικούς ψαμμίτες.
- Το τελευταίο στρώμα χαρακτηρίζεται από μεγάλες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και αποδίδεται σε συμπαγή γεωλογικό σχηματισμό.
- Εντονότερη βλάστηση δέντρων (κέδροι) παρατηρείται στις θέσεις όπου το πάχος της άμμου είναι πολύ μικρό (<1 m) και οι μάργες-αργιλικόι ψαμμίτες βρίσκονται σε μικρό βάθος.



Σχήμα 27: Υπέρθυση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ για την γραμμής μελέτης Ag_T1. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν τους πιθανούς γεωλογικούς σχηματισμούς.

Γραμμή μελέτης Ag_T2

Η γραμμή Ag_T2 βρίσκεται νοτιοανατολικά της παραλίας του Αγ. Ιωάννη, σε απόσταση 130 m περίπου από την ακτογραμμή και σε απόλυτο υψόμετρο 12-21 m περίπου. Το μήκος γραμμής μελέτης είναι 54 m και έχει διεύθυνση από βορρά προς νότο. Δεν ήταν εφικτή η λήψη μετρήσεων γεωραντάρ σε αυτήν την θέση.

Ηλεκτρική τομογραφία

Η αρχή της γραμμής μελέτης βρίσκεται περίπου σε 10 m υψόμετρο, ενώ το τέλος της βρίσκεται σε αρκετά μεγαλύτερο υψόμετρο (21 m). Επιφανειακά, παρατηρείται βλάστηση (δέντρα κέδρων) κυρίως μετά από τα 25 m από την αρχή της γραμμής. Τονίζεται ότι η αρχή της γραμμής βρίσκεται σε έναν σύγχρονο ρέμα όπου παρατηρούνται μάργες ή/και αργιλοκοί ψαμμίτες.

Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 28), τη γεωλογία της περιοχής μελέτης (Σχήμα 24), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα επιφανειακό στρώμα πάχους μικρότερου του 1 m με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που ξεπερνούν τα 1000 Ωm. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο.
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα με μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (< 100 Ωm), το οποίο εμφανίζεται και επιφανειακά στην αρχή της γραμμής μελέτης με πάχος περίπου 4 m, ενώ μειώνεται σταδιακά προς το τέλος της. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε μάργες ή αργιλικούς ψαμμίτες.
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα με μεγάλες τιμές της ειδικής αντίστασης (άνω των 1000 Ωm), που παρατηρείται πιο ρηχά στο τέλος της, και αποδίδεται σε συμπαγή γεωλογικό σχηματισμό.

- Εντονότερη βλάστηση δέντρων (κέδροι) παρατηρείται στις θέσεις όπου το πάχος της άμμου είναι πολύ μικρό (<1 m) και οι μάργες - αργιλικοί ψαμμίτες απαντώνται σε μικρό βάθος.

Γραμμή μελέτης Ag_T3

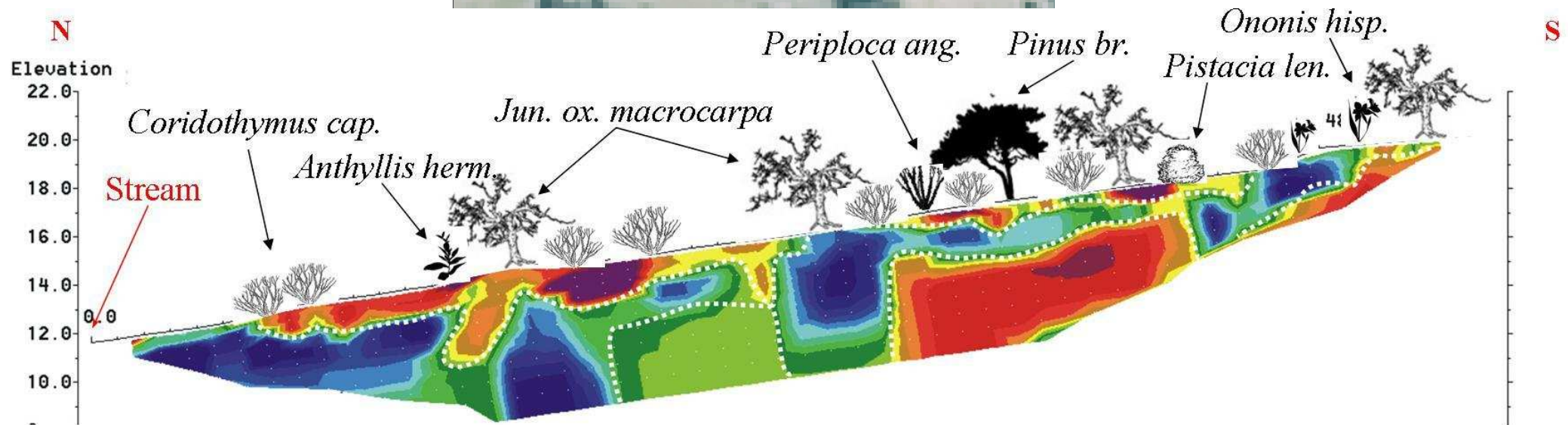
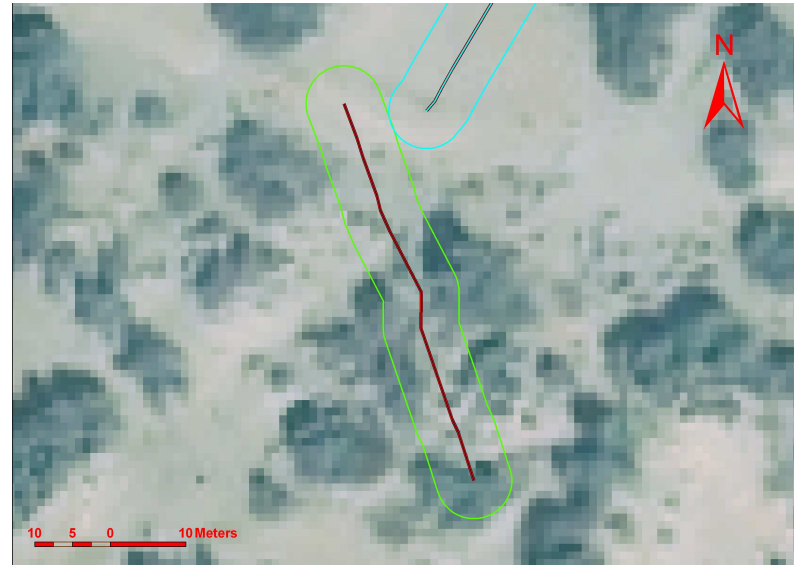
Η γραμμή Ag_T3 βρίσκεται νοτιοανατολικά της παραλίας του Αγ. Ιωάννη, σε απόσταση 100 m περίπου από την ακτογραμμή και σε απόλυτο υψόμετρο περίπου 12 m. Το μήκος γραμμής μελέτης είναι 45 m και έχει διεύθυνση βορειοανατολικά - νοτιοδυτικά. Σε αυτή τη θέση, πραγματοποιήθηκαν μόνο μετρήσεις γεωραντάρ.

Γεωραντάρ

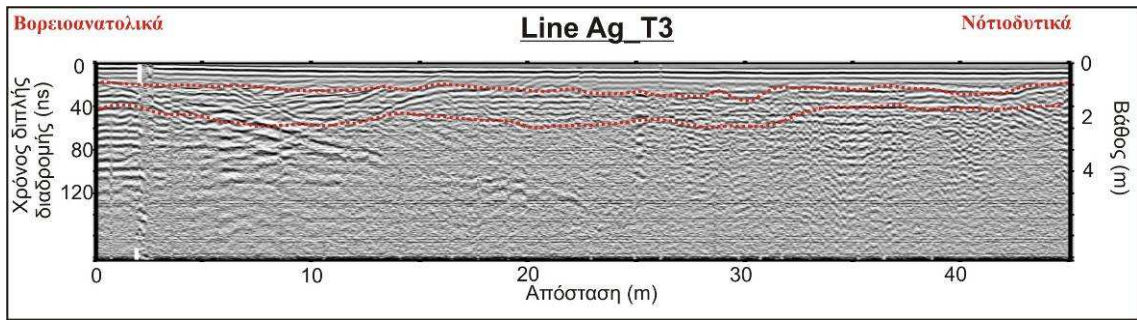
Η γραμμής μελέτης βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο περίπου 12 m, ενώ επιφανειακά δεν παρατηρείται βλάστηση κοντά της. Η συγκεκριμένη γραμμή βρίσκεται ανάμεσα σε δύο ρέματα που καταλήγουν, στα βορειοδυτικά της γραμμής, στην θάλασσα. Στο Σχήμα 4.31 παρουσιάζεται η τομή του γεωραντάρ, από την οποία προκύπτει το εξής:

- Ένα επιφανειακό στρώμα το πάχος του οποίου δεν ξεπερνά τα 0.8 m. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε ακόρεστη άμμο. Το στρώμα αυτό εμφανίζεται ανάμεσα από δύο ρέματα στην αρχή και στο τέλος της γραμμής μελέτης.
- Κάτω από το στρώμα της άμμου απαντάται ένα δεύτερο στρώμα που το πάχος του κυμαίνεται από 0.5 -1.5 m. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε μάργα ή αργιλικούς ψαμμίτες, που παρατηρούνται επιφανειακά μέσα στα πρηνή των δύο ρεμάτων.
- Σε βάθος μεγαλύτερο από τα 2 m το σήμα του γεωραντάρ εξασθενεί, γεγονός που αποτελεί ένδειξη της αύξησης της υγρασίας.

Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών



Σχήμα 28: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο) . Κάτω: η γεωηλεκτρική τομή Line Ag_T2 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου μέχρι βάθος 5 m με υπέρθεση των θαμνωδών ειδών που καταγράφηκαν κατά μήκος της διατομής. Με διακεκομμένη λευκή γραμμή διαχωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα.



Σχήμα 29: Τομή γεωραντάρ Ag_T3. Οι διακεκομμένες γραμμές τονίζουν τα όρια των πιθανών γεωλογικών στρωμάτων.

Γραμμή μελέτης Ag_T4

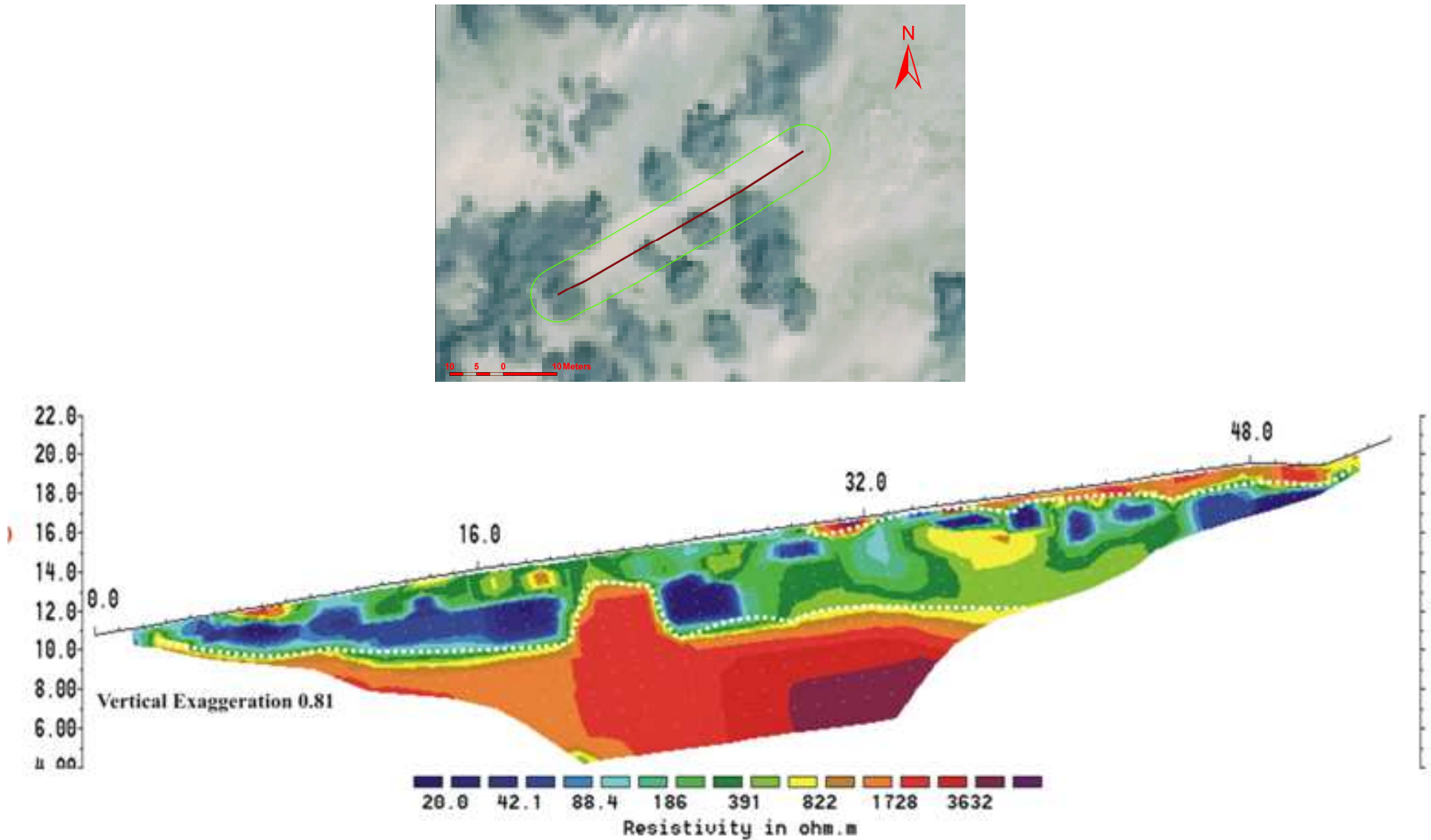
Η γραμμή Ag_T4 βρίσκεται νότια της παραλίας του Αγ. Ιωάννη, σε απόσταση 110 m περίπου από την ακτογραμμή και σε απόλυτο υψόμετρο περίπου 12-21 m. Το μήκος της γραμμής αυτής είναι 54 m και έχει διεύθυνση βορειοανατολικά - νοτιοδυτικά. Στην ίδια θέση πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ.

Ηλεκτρική τομογραφία

Η αρχή της γραμμής μελέτης βρίσκεται σε υψόμετρο περίπου 10 m, ενώ το τέλος της βρίσκεται σε αρκετά μεγαλύτερο υψόμετρο (21 m περίπου). Επιφανειακά, παρατηρείται βλάστηση (δέντρα κέδρων) στο κεντρικό τμήμα της γραμμής μελέτης (από τα 25 m - 35 m). Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 30), τη γεωλογία της περιοχής μελέτης (Σχήμα 24), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα (το πάχος του δεν ξεπερνά το 1 m) με υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ($> 1000 \Omega m$) που παρατηρείται μόνο στο τέλος της γραμμής μελέτης. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο.
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα πάχους 2 m - 5 m με μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μικρότερες των $100 \Omega m$), το οποίο εμφανίζεται επιφανειακά στην αρχή της γραμμής μελέτης. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε μάργες ή αργιλικούς ψαμμίτες.
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα με μεγάλες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ($> 1000 \Omega m$) που αποδίδεται σε συμπαγή γεωλογικό σχηματισμό.

Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών

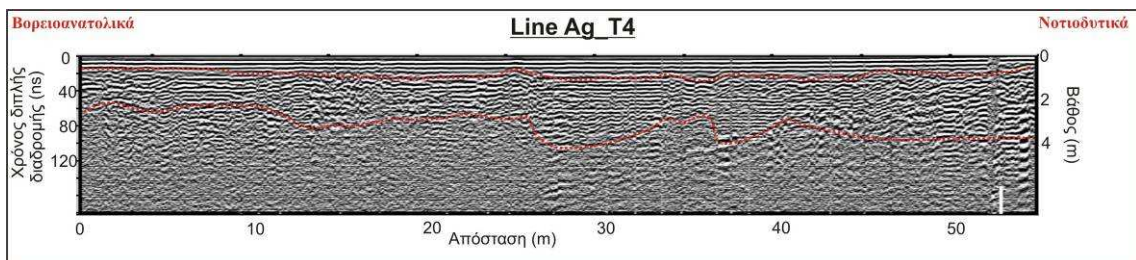


Σχήμα 30: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο). Κάτω: η γεωηλεκτρική τομή **Line Ag_T4** με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου μέχρι βάθος 5 m με υπέρθεση των θαμνωδών ειδών που καταγράφηκαν κατά μήκος της διατομής. Με διακεκομμένη λευκή γραμμή διαχωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα.

Γεωραντάρ

Οι μετρήσεις γεωραντάρ πραγματοποιήθηκαν στην ίδια θέση με αυτήν της ηλεκτρικής τομογραφίας, κατά μήκος της γραμμής Ag_T4. Στο Σχήμα 31 παρουσιάζεται η τομή του γεωραντάρ, σύμφωνα με την οποία παρατηρούνται τα εξής:

- Ένα επιφανειακό στρώμα με πάχος μικρότερο από 0.5 m στην αρχή της γραμμής που φτάνει το 1 m στο τέλος της. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε ακόρεστη άμμο.
- Κάτω από το στρώμα της άμμου εντοπίζεται ένα δεύτερο, του οποίου το πάχος κυμαίνεται από 2.5 έως 4 m. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε μάργες ή αργιλικούς ψαμμίτες.
- Τέλος, εντοπίζεται ένα τρίτο στρώμα, του οποίου η ανώτερη επιφάνεια δεν διακρίνεται ξεκάθαρα, λόγω εξασθένισης του σήματος.



Σχήμα 31: Τομή γεωραντάρ Ag_T4. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν τα πιθανά γεωλογικά στρώματα.

Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ

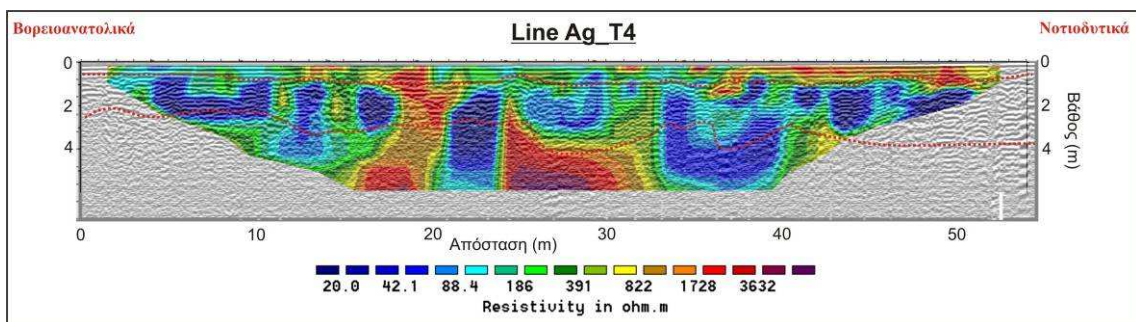
Στο Σχήμα 32 απεικονίζονται η υπέρθεση των τομών της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ. Ως υπόβαθρο, έχει χρησιμοποιηθεί η γεωηλεκτρική τομή, πάνω στην οποία τοποθετήθηκε η αντίστοιχη τομή του γεωραντάρ ως ημιδιαφανής εικόνα. Οι διακεκομμένες κόκκινες γραμμές οριοθετούν τα στρώματα που προέκυψαν από την ερμηνεία της τομής του γεωραντάρ.

Στις τομές αυτές, παρατηρείται μεγάλη συμφωνία ως προς το πάχος του πρώτου στρώματος που αποδίδεται στην άμμο. Το συγκεκριμένο στρώμα έχει πάχος που κυμαίνεται από 0.5 m στην αρχή της γραμμής μελέτης, έως 1 m στο τέλος της. Από τον συνδυασμό αυτών των στοιχείων προκύπτουν τα εξής:

- Το πάχος του επιφανειακού στρώματος της άμμου είναι περίπου 0.5 - 1 m.
- Κάτω από τη άμμο βρίσκεται ένα στρώμα που χαρακτηρίζεται από μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Το συγκεκριμένο στρώμα

παρατηρείται επίσης επιφανειακά στην αρχή και στο κέντρο της γραμμής μελέτης και αποδίδεται σε μάργες ή αργιλικούς ψαμμίτες.

- Το τελευταίο στρώμα χαρακτηρίζεται από μεγάλες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, και παρατηρείται κυρίως στο κεντρικό τμήμα της γραμμής μελέτης. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε συνεκτικό γεωλογικό σχηματισμό.
- Εντονότερη βλάστηση δέντρων (κέδροι) παρατηρείται στο κέντρο της γραμμής μελέτης όπου το πάχος της άμμου είναι πολύ μικρό (<0.5 m) και οι μάργες – αργιικοί ψαμμίτες βρίσκονται σε μικρό βάθος.



Σχήμα 32: Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ για την γραμμή μελέτης Ag_T4. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν τους πιθανούς γεωλογικούς σχηματισμούς.

Γραμμή μελέτης Ag_T5

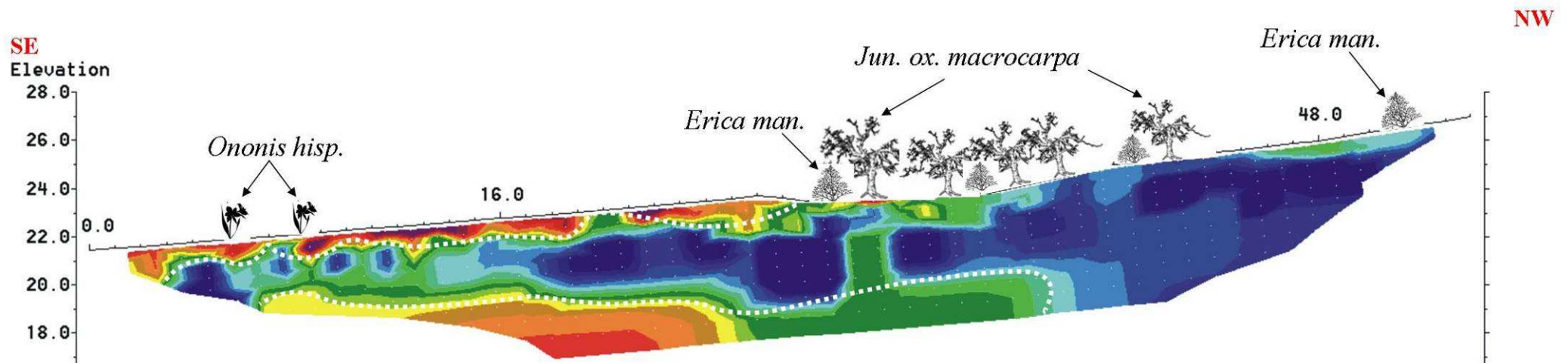
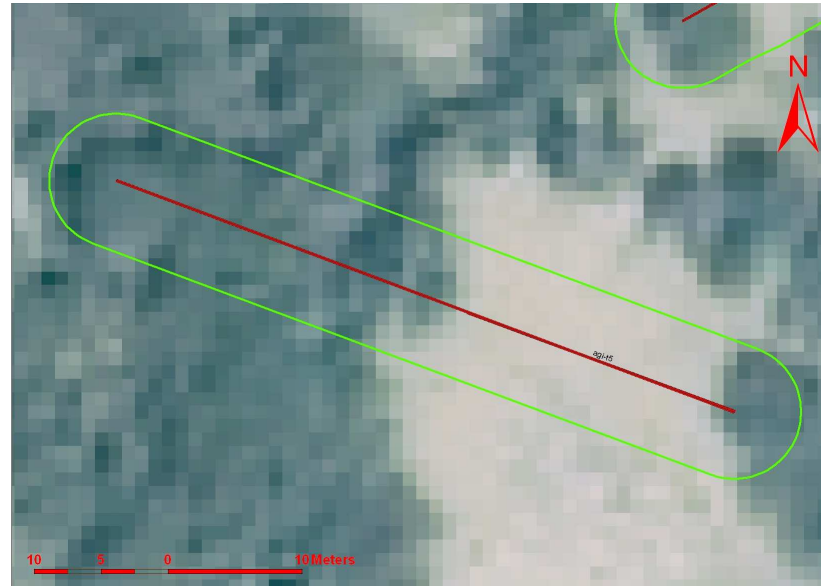
Η γραμμή Ag_T5 βρίσκεται νότια της παραλίας του Αγ. Ιωάννη και σε απόσταση 180m περίπου από την ακτογραμμή και σε απόλυτο υψόμετρο 22-28 m περίπου. Το μήκος γραμμής μελέτης είναι 54 m και έχει διεύθυνση νοτιοανατολικά - βορειοδυτικά, Δεν ήταν εφικτή η πραγματοποίηση μετρήσεων γεωραντάρ σε αυτήν την θέση.

Ηλεκτρική τομογραφία

Η αρχή της γραμμής μελέτης βρίσκεται σε υψόμετρο περίπου 22 m, ενώ το τέλος της βρίσκεται σε υψόμετρο περίπου 28 m. Επιφανειακά, παρατηρείται πυκνή βλάστηση (δέντρα πεύκων) μετά τα 28 m από την αρχή της γραμμής. Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 33), τη γεωλογία της περιοχής μελέτης (Σχήμα 24), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα (το πάχος του δεν ξεπερνά το 1 m) με υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ($> 1000 \Omega m$), το οποίο εμφανίζεται μόνο στην αρχή της γραμμής μελέτης. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο.
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα με μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μικρότερες των $100 \Omega m$), το οποίο εμφανίζεται επιφανειακά μετά από τα 28m της γραμμής μελέτης. Το πάχος του κυμαίνεται από 2 m μέχρι 5 m. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε μάργες ή αργιλικούς ψαμμίτες.
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα με μεγάλες τιμές της ειδικής αντίστασης (άνω των $1000 \Omega m$) που αποδίδεται σε συμπαγή γεωλογικό σχηματισμό.
- Εντονότερη βλάστηση δέντρων (πεύκα) παρατηρείται μετά από τα 28 m, όπου δεν εντοπίζεται άμμος, ενώ το πάχος των μάργων-αργιλικών ψαμμιτών ξεπερνά τα 4 m.

Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών



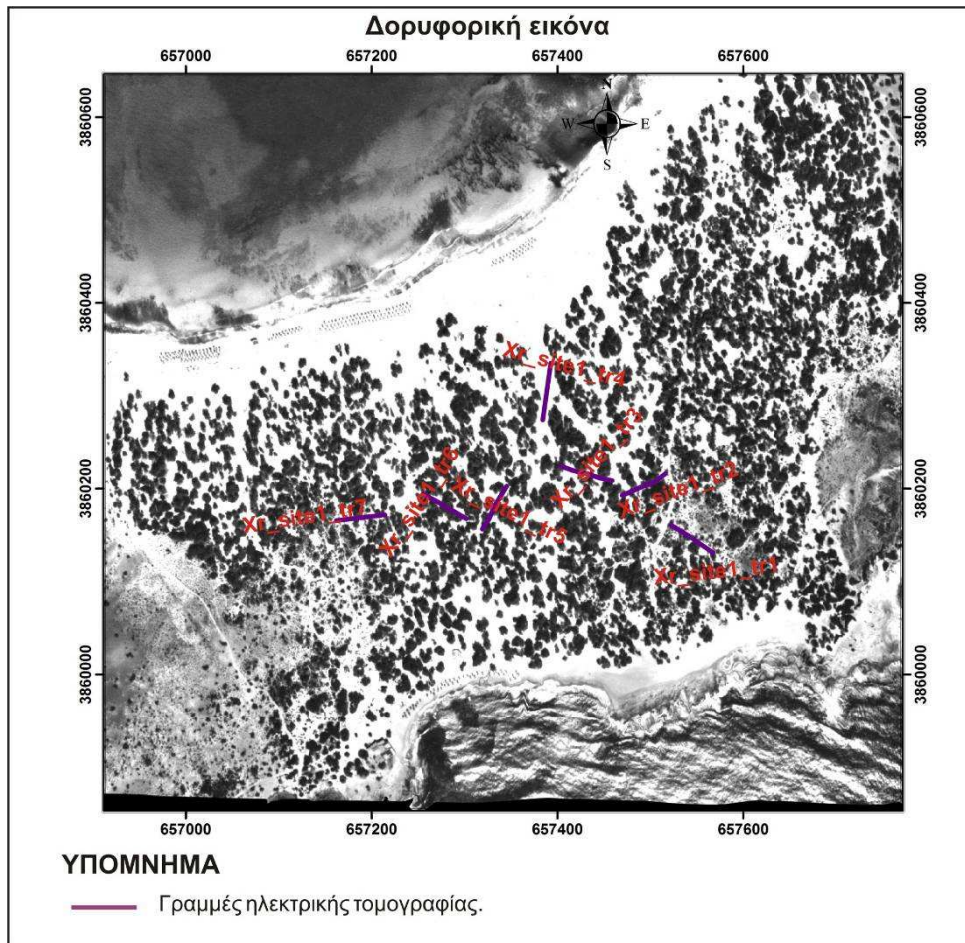
Σχήμα 33: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο). Κάτω: η γεωηλεκτρική τομή Line Ag_T5 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου μέχρι βάθος 5 m με υπέρθεση των θαμνωδών ειδών που καταγραφήκαν κατά μήκος της διατομής. Με διακεκομμένη λευκή γραμμή διαχωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα.

4.3.5 Νήσος Χρυσή

Το νησί της Χρυσής βρίσκεται νοτιοανατολικά της Κρήτης, και ανήκει στο δήμο Ιεράπετρας του νομού Λασιθίου. Η γεωφυσική διασκόπηση πραγματοποιήθηκε σε δύο περιοχές: η πρώτη περιοχή (Ανατολική) βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του νησιού, ενώ η δεύτερη (Δυτική) βρίσκεται στο βόρειο-κεντρικό τμήμα. Συνολικά, πραγματοποιήθηκαν έντεκα γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας συνολικού μήκους 594 m και επτά γραμμές γεωραντάρ συνολικού μήκους 260 m. Τονίζεται ότι η ποιότητα των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας ήταν αρκετά υποβαθμισμένη, λόγω της εποχής κατά οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις (19-23/6/09). Παρόλ' αυτά, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα του γεωραντάρ, βασικά συμπεράσματα που αφορούν το πάχος της άμμου ήταν δυνατό να εξαχθούν.

4.3.6 Ανατολική περιοχή μελέτης

Η πρώτη περιοχή μελέτης βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του νησιού. Δεν βρέθηκε γεωλογικός χάρτης για την συγκεκριμένη περιοχή συνεπώς η εκτίμηση των γεωλογικών σχηματισμών βασίζεται στις επιφανειακές παρατηρήσεις. Στην περιοχή αυτή πραγματοποιήθηκαν επτά γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας συνολικού μήκους 378 m και πέντε γραμμές γεωραντάρ συνολικού μήκους 169 m (Σχήμα 34).



Σχήμα 34: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζονται οι θέσεις των γραμμών μελέτης.

Γραμμή μελέτης Xr_site1_Tr1

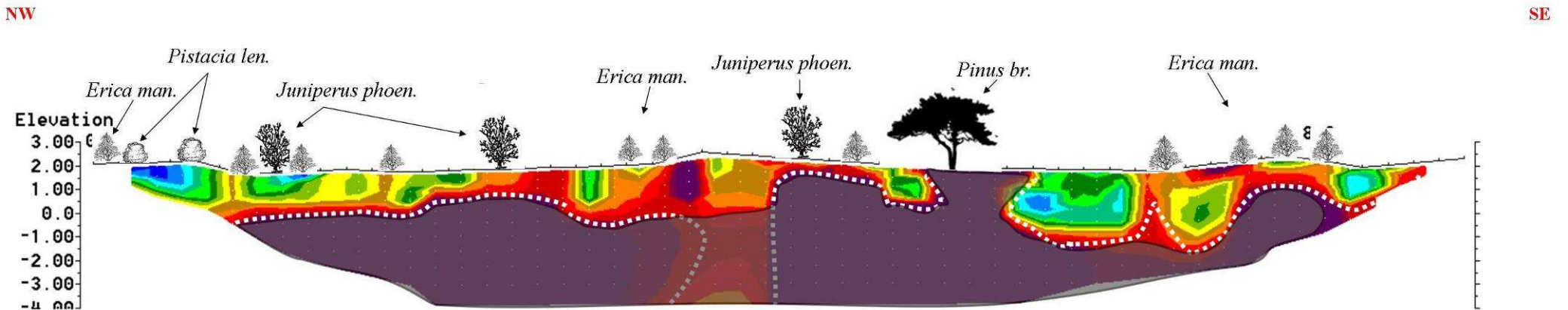
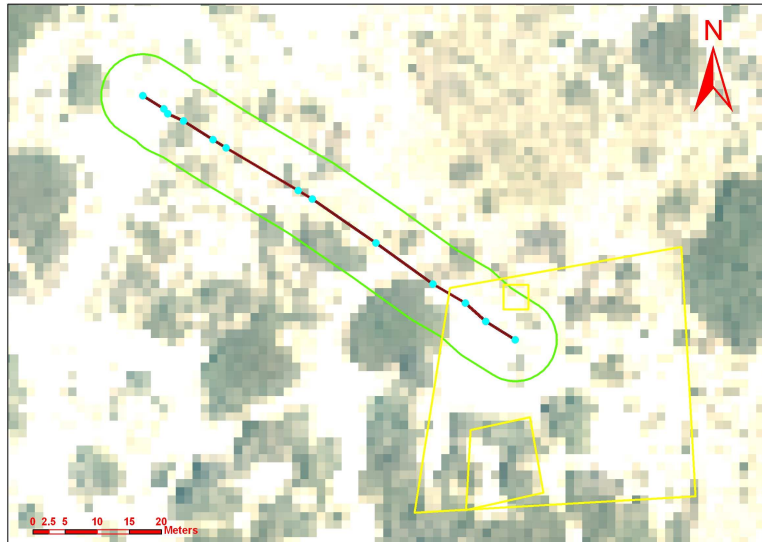
Η γραμμή Xr_site1_tr1 βρίσκεται νοτιοανατολικά του νησιού. Το τέλος της γραμμής βρίσκεται σε απόσταση περίπου 150 m από την ακτογραμμή και σε απόλυτο υψόμετρο περίπου 1-2.5 m. Το μήκος της γραμμής μελέτης είναι 54 m και έχει διεύθυνση βορειοδυτικά - νοτιοανατολικά,. Δεν ήταν εφικτή η πραγματοποίηση μετρήσεων γεωραντάρ σε αυτήν την θέση.

Ηλεκτρική τομογραφία

Η γραμμή μελέτης βρίσκεται σε υψόμετρο που κυμαίνεται από 1 ως 2.5 m περίπου. Επιφανειακά, στα πρώτα 22 m, αλλά και σε απόσταση 34-42 m από την αρχή της γραμμής μελέτης παρατηρούνται ψαμμιτικοί σχηματισμοί, ενώ εντονότερη βλάστηση (δέντρα κέδρων) παρατηρείται στα τελευταία 15 m της γραμμής μελέτης. Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 35), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα επιφανειακό στρώμα πάχους 0.5 – 1.5 m, που απαντάται στο κέντρο της γραμμής μελέτης από τα 16 μέχρι τα 34 m, με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που κυμαίνονται από 1500 μέχρι 5000 Ωm. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο.
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα του οποίου το πάχος κυμαίνεται από 1 m στην αρχή της γραμμής, έως και 3 m στο τέλος της και χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μικρότερες των 200 Ωm) κυρίως στην αρχή και στο τέλος της γραμμής μελέτης. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε ψαμμιτικό σχηματισμό.
- Το γεωηλεκτρικό στρώμα πολύ υψηλών αντιστάσεων (σκιασμένη περιοχή) δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις.
- Εντονότερη βλάστηση δέντρων (κέδροι) παρατηρείται στα τελευταία 15 m, όπου το πάχος της άμμου είναι πολύ μικρό.

Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών



Σχήμα 35: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο) και δειγματοληπτική επιφάνεια της δράσης A2 (κίτρινο). Κάτω: η γεωηλεκτρική τομή Line Xr_site1_Tr1 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου με υπέρθεση των θαμνωδών ειδών που καταγράφηκαν κατά μήκος της διατομής. Η διακεκομμένη λευκή γραμμή οριοθετεί την άμμο, ενώ η σκιασμένη περιοχή δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις.

Γραμμή μελέτης Xr_site1_Tr2

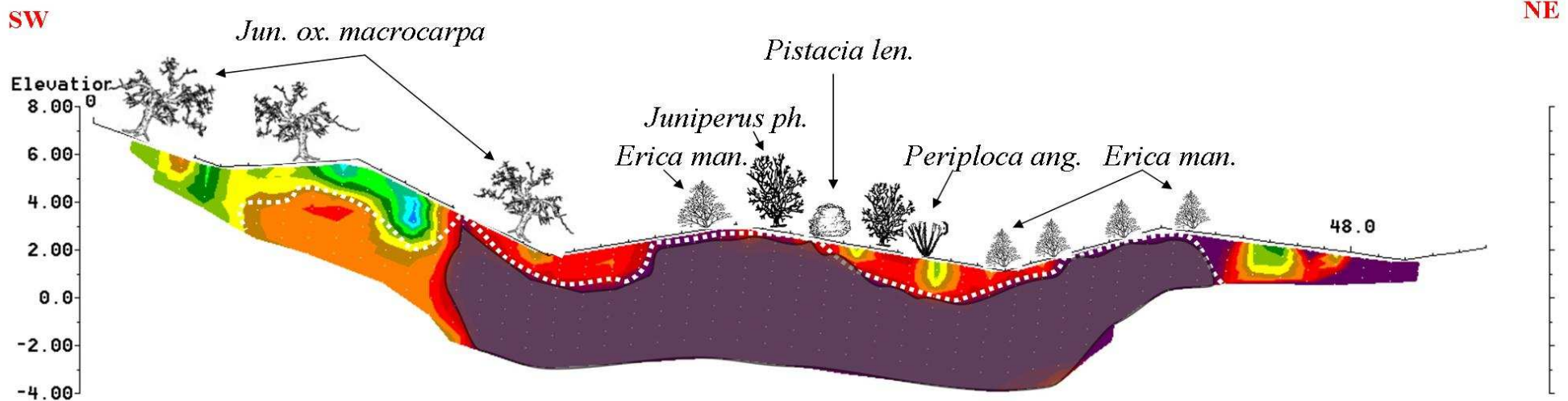
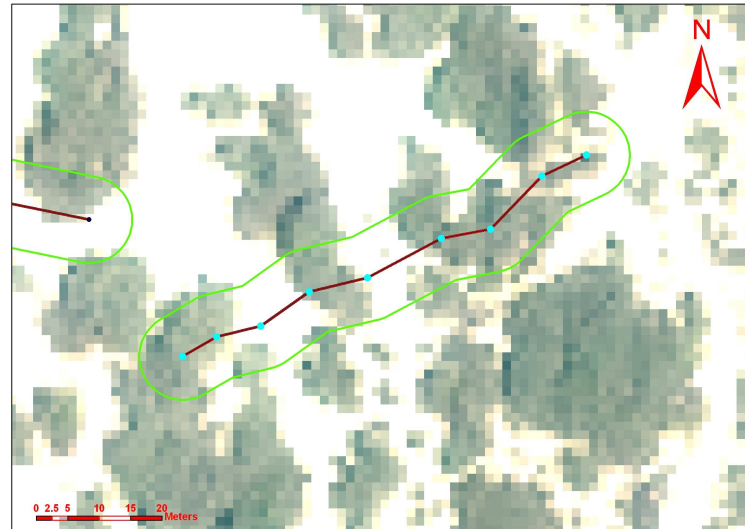
Η γραμμή Xr_site1_tr2 βρίσκεται νοτιοανατολικά του νησιού. Η γραμμή μελέτης βρίσκεται σε απόσταση περίπου 250 m από την ακτογραμμή και σε απόλυτο υψόμετρο που κυμαίνεται από τα 8 m στην αρχή της, έως τα 2 m προς το τέλος της. Το μήκος γραμμής μελέτης είναι 54 m και έχει διεύθυνση νοτιοδυτικά - βορειοανατολικά, Επιφανειακά, παρατηρείται έντονη βλάστηση κατά μήκος της γραμμής κυρίως στα πρώτα 7 m, καθώς και σε απόσταση 23-37 m από την αρχή της γραμμής Δεν ήταν εφικτή η πραγματοποίηση μετρήσεων γεωραντάρ σε αυτήν την θέση.

Ηλεκτρική τομογραφία

Η εν λόγω τομογραφία πραγματοποιήθηκε με δύο διατάξεις ηλεκτροδίων (Διπόλου-Διπόλου και Wenner-Schlumberger). Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 36), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις, προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα επιφανειακό στρώμα πάχους 0.5 m – 1.5 m, το οποίο απαντάται κυρίως από τα 16 μέχρι τα 23 m, καθώς και στο τέλος της γραμμής μελέτης, με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που κυμαίνονται από 1500 μέχρι 5000 Ωm. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο.
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα που χαρακτηρίζεται από μικρές σχετικά τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μικρότερες των 200 Ωm) κυρίως στην αρχή και σε απόσταση 25 - 35 m της γραμμής μελέτης. Το στρώμα αυτό αποδίδεται πιθανότατα σε ψαμμιτικό σχηματισμό, ενώ το πάχος του κυμαίνεται από 1 m στην αρχή της γραμμής, έως και 3 m στο τέλος της.

Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών



Σχήμα 36: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο). Κάτω: η γεωηλεκτρική τομή Xr_Site1_Tr2 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου μέχρι βάθος 5 m με υπέρθεση των θαμνωδών ειδών που καταγραφήκαν κατά μήκος της διατομής. Η διακεκομμένη λευκή γραμμή οριοθετεί το πάχος της άμμου, ενώ η σκιασμένη περιοχή δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις.

- Το γεωηλεκτρικό στρώμα με τις πολύ μεγάλες τιμές της ειδικής αντίστασης που εντοπίζεται με την διάταξη διπόλου-διπόλου (σκιασμένη περιοχή) δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις.
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα με πολύ μεγάλες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μεγαλύτερες των 2000-4000 Ωm) που εντοπίζεται με την διάταξη Wenner-Schlumberger. Το στρώμα αυτό αποδίδεται πιθανότατα σε ηφαιστειακά πετρώματα και βρίσκεται κυρίως στο κέντρο της γραμμής μελέτης, σε βάθη μεγαλύτερα των 2 m.
- Εντονότερη βλάστηση δέντρων (κέδροι) παρατηρείται στην αρχή και στο κέντρο της γραμμής μελέτης, όπου το πάχος της άμμου είναι πολύ μικρό και ο ψαμμιτικός σχηματισμός εντοπίζεται ρηχά.

Γραμμή μελέτης Xr_site1_Tr3

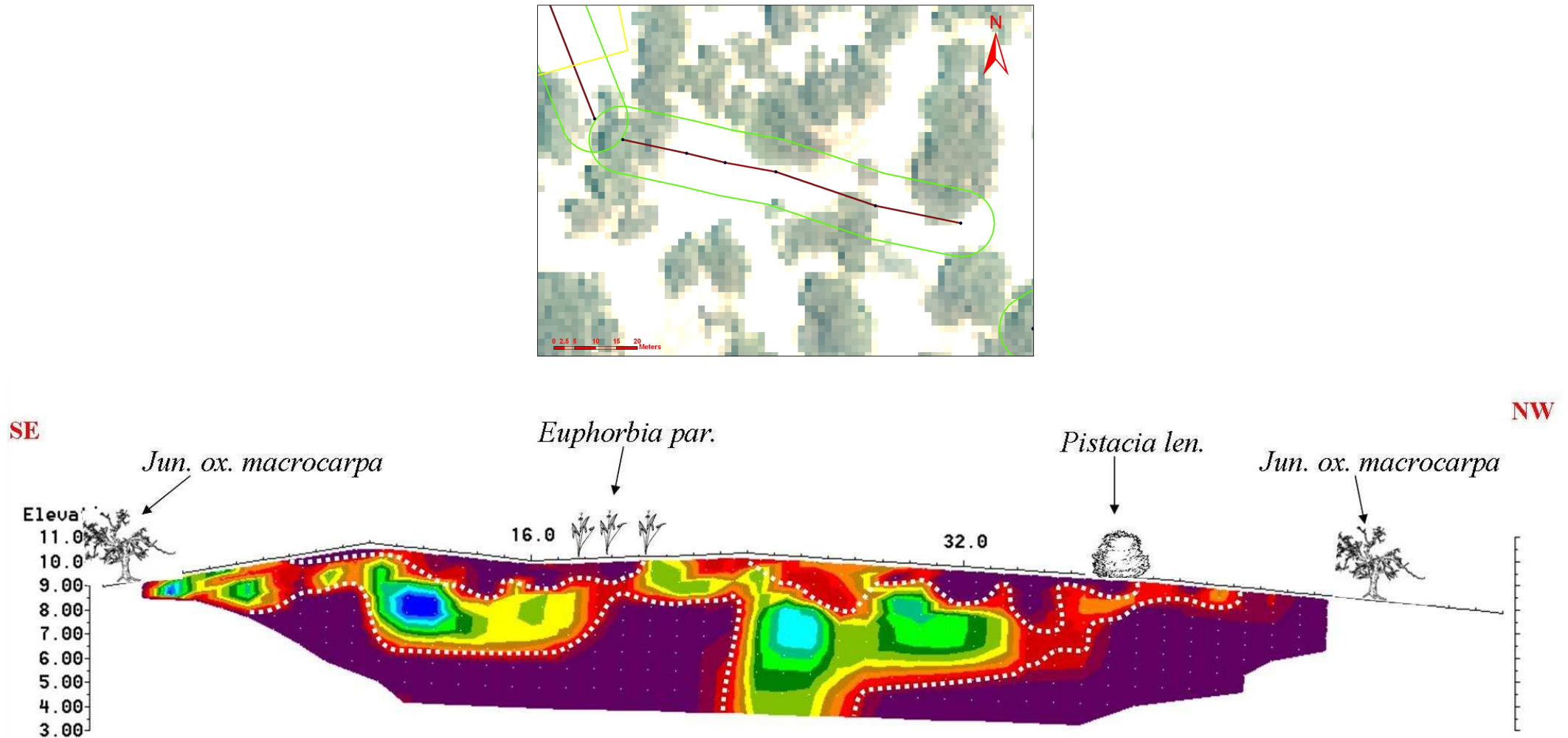
Η γραμμή Xr_site1_tr3 βρίσκεται ανατολικά του νησιού, σε απόσταση 250 m περίπου από την βόρεια και νότια ακτογραμμή και σε απόλυτο υψόμετρο 9 με 10 m περίπου. Το μήκος γραμμής μελέτης είναι 54 m και έχει διεύθυνση βορειοδυτικά - νοτιοανατολικά. Επιφανειακά, παρατηρείται βλάστηση στα πρώτα 4 m, στα 29-35 και στα τελευταία 8 m της γραμμής μελέτης. Τονίζεται ότι στη αρχή της γραμμής ο αργιλικός ψαμμίτης εμφανίζεται επιφανειακά. Στην ίδια θέση πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ.

Ηλεκτρική τομογραφία

Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 37) αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα επιφανειακό στρώμα πάχους 0.5 m – 2 m με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που κυμαίνονται από 1500 μέχρι 5000 Ωm . Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο.
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα που χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μικρότερες των 400 Ωm). Το στρώμα αυτό εμφανίζεται επιφανειακά στην αρχή και στο κέντρο της γραμμής. Το πάχος του φτάνει τα 5 m (στη αρχή και κεντρικά) και αποδίδεται σε ψαμμίτες.

Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών



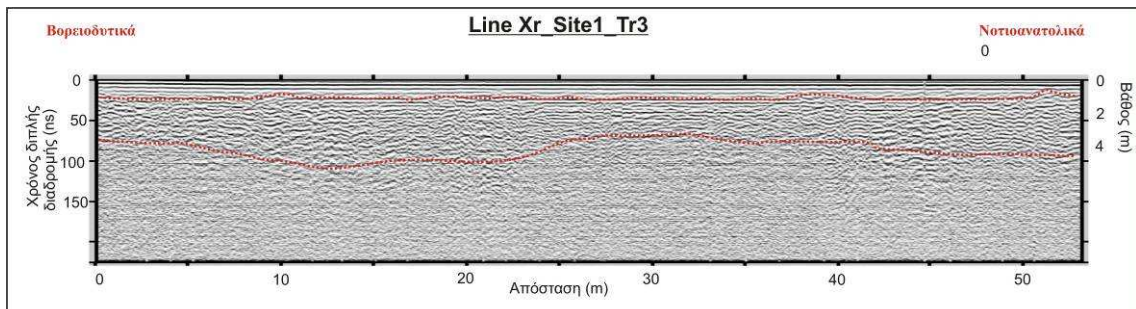
Σχήμα 37: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο). Κάτω: η γεωηλεκτρική τομή Xr_Site1_Tr3 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου μέχρι βάθος 5 m με υπέρθεση των θαμνωδών ειδών που καταγραφήκαν κατά μήκος της διατομής. Με διακεκομμένες λευκές γραμμές διαχωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα.

- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα με πολύ μεγάλες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μεγαλύτερες των 4000 Ωm). Το στρώμα αυτό αποδίδεται πιθανότατα σε σχηματισμούς ηφαιστειακής προέλευσης, βρίσκεται σε βάθη μεγαλύτερα των 5 m στην αρχή της γραμμής μελέτης, ενώ στο τέλος της εντοπίζεται σχεδόν επιφανειακά.

Γεωραντάρ

Οι μετρήσεις γεωραντάρ πραγματοποιήθηκαν στην ίδια θέση με αυτήν της ηλεκτρικής τομογραφίας κατά μήκος της γραμμής μελέτης Xr_Site1_Tr3. Στο Σχήμα 38 παρουσιάζεται η τομή του γεωραντάρ, σύμφωνα με την οποία παρατηρούνται τα εξής:

- Ένας ανακλαστήρας που βρίσκεται σε βάθος 1 m από την επιφάνεια και οριοθετεί την άμμο. Κάτω από την άμμο και σύμφωνα με τις επιφανειακές παρατηρήσεις βρίσκεται ο αργιλικός ψαμμίτης.
- Ο δεύτερος ανακλαστήρας εντοπίζεται σε βάθος 4 με 5 m και οριοθετεί το πάχος των ψαμμιτών, ή τουλάχιστον αλλαγή στην υφή των ψαμμιτών.



Σχήμα 38: Τομή γεωραντάρ Xr_Site1_Tr3. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν τα πιθανά γεωλογικά στρώματα.

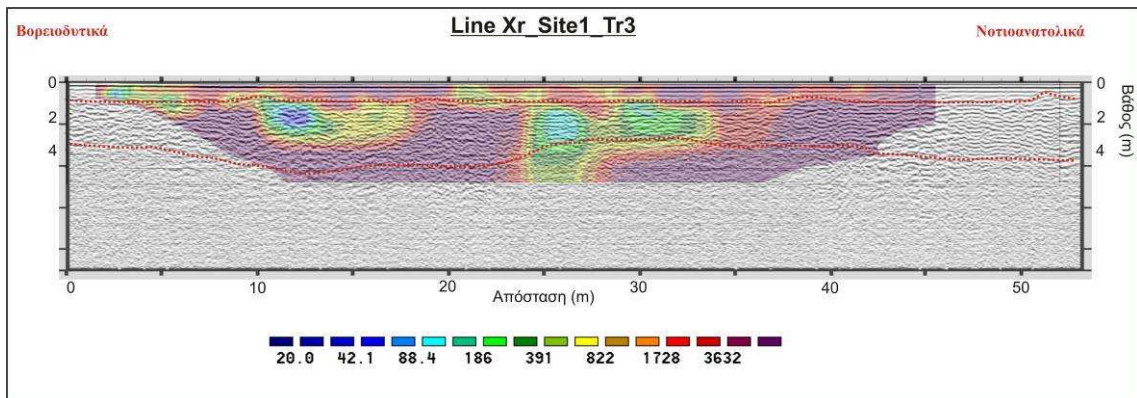
Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ

Στο Σχήμα 39 απεικονίζονται η υπέρθεση των τομών της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ. Ως υπόβαθρο, έχει χρησιμοποιηθεί η γεωηλεκτρική τομή, πάνω στην οποία τοποθετήθηκε η αντίστοιχη τομή του γεωραντάρ ως ημιδιαφανής εικόνα. Οι διακεκομμένες κόκκινες γραμμές αντιστοιχούν στις διεπιφάνειες ανάμεσα στα τρία στρώματα που εντοπίστηκαν σύμφωνα με την ερμηνεία του γεωραντάρ.

Στις τομές αυτές παρατηρείται μεγάλη συμφωνία ως προς το πάχος του πρώτου στρώματος που αποδίδεται σε άμμο. Το συγκεκριμένο στρώμα έχει πάχος που κυμαίνεται μεταξύ 0.5 και 1 m, αν και σε κάποια σημεία, σύμφωνα με την ηλεκτρική

τομογραφία φτάνει τα 2 m. Από τον συνδυασμό αυτών των στοιχείων προκύπτουν τα εξής:

- Το πάχος του επιφανειακού στρώματος της άμμου είναι περίπου 0.5 - 1 m.
- Κάτω από τη άμμο βρίσκεται ένα στρώμα που χαρακτηρίζεται από μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Το συγκεκριμένο στρώμα παρατηρείται και επιφανειακά στην αρχή της γραμμής μελέτης και αποδίδεται σε αργιλικούς ψαμμίτες.
- Το τελευταίο στρώμα χαρακτηρίζεται από μεγάλες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και παρατηρείται κυρίως σε βάθη 3 με 4 μέτρα από την επιφάνεια. Το στρώμα αυτό αποδίδεται πιθανότατα σε ηφαιστειακά πετρώματα.



Σχήμα 39: Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ για την γραμμής μελέτης Xr_Site2_Tr3. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν τους πιθανούς γεωλογικούς σχηματισμούς.

Γραμμή μελέτης Xr_site1_Tr4

Η γραμμή μελέτης βρίσκεται βορειοανατολικά του νησιού, σε απόσταση περίπου 150 m από την ακτογραμμή και σε απόλυτο υψόμετρο περίπου 10 m στην αρχή της γραμμής, ενώ στο τέλος της δεν ξεπερνά τα 2 m. Το μήκος γραμμής μελέτης είναι 54 m, με διεύθυνση νότο - βορρά. Επιφανειακά, δεν παρατηρείται βλάστηση κατά μήκος της γραμμής μελέτης, ενώ σε αρκετά σημεία της οι ψαμμίτες εμφανίζονται επιφανειακά. Στην ίδια θέση πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ηλεκτρικής τομογραφίας και (στα πρώτα 50 m) γεωραντάρ.

Ηλεκτρική τομογραφία

Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 40), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

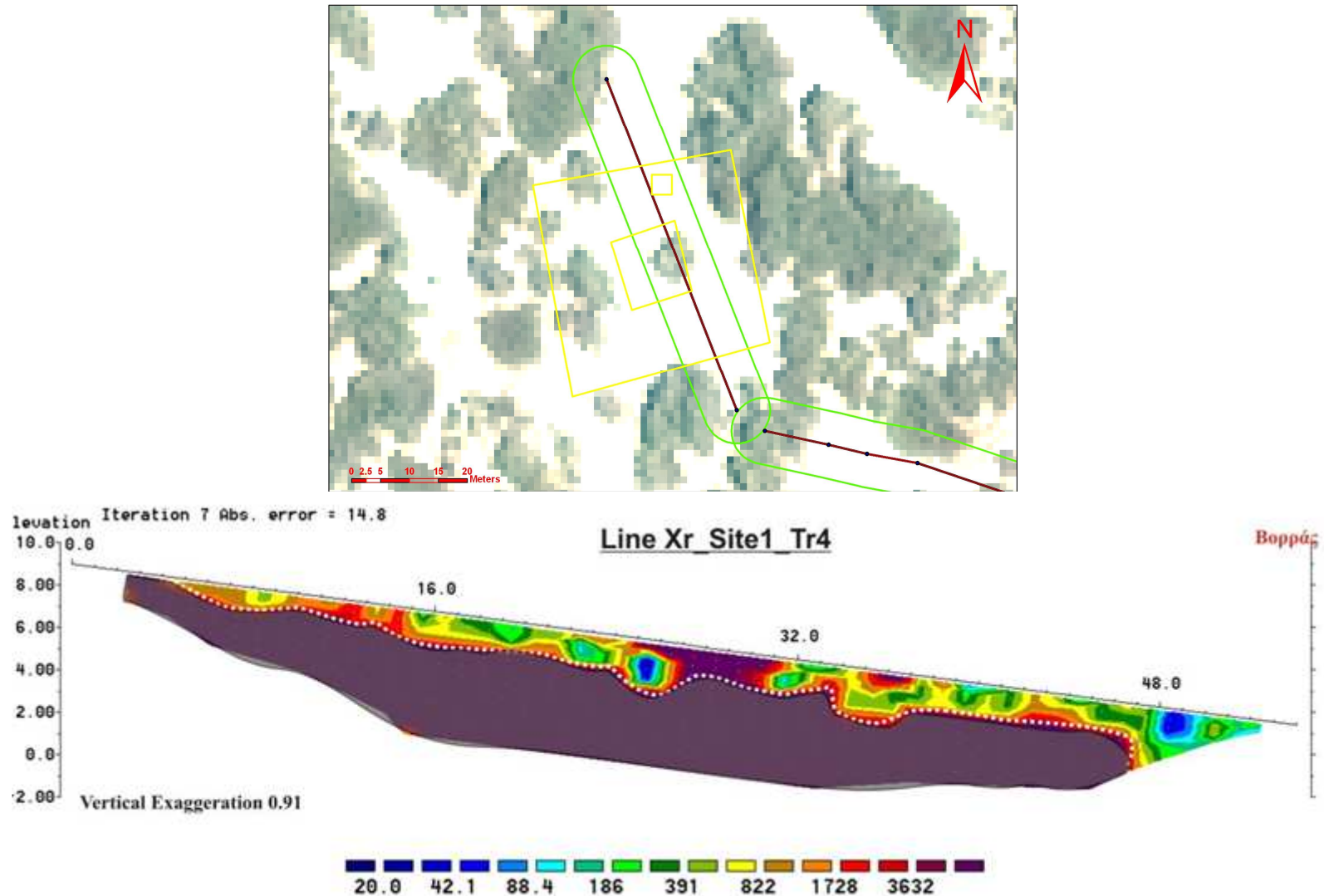
- Ένα επιφανειακό στρώμα πάχους 0.5 – 2 m με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που κυμαίνονται από 50 μέχρι 500 Ωm. Το στρώμα αυτό αποδίδεται κατά κανόνα σε αργιλικούς ψαμμίτες. Ωστόσο, οι θέσεις που η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ξεπερνά τα 1000 Ωm, αντιστοιχούν σε άμμο.
- Το γεωηλεκτρικό στρώμα κάτω από το επιφανειακό (σκιασμένη περιοχή) δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις.

Γεωραντάρ

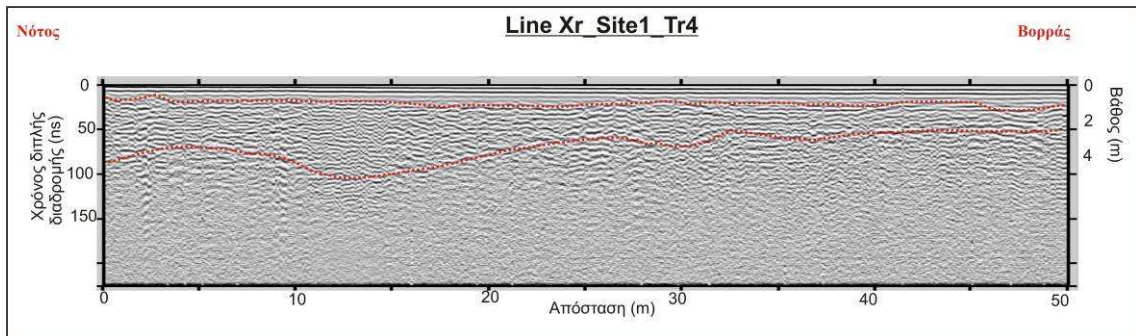
Οι μετρήσεις γεωραντάρ πραγματοποιήθηκαν στην ίδια θέση με αυτήν της ηλεκτρικής τομογραφίας, στα πρώτα 50 m της γραμμής μελέτης Xr_Site1_Tr4. Στο Σχήμα 41 παρουσιάζεται η τομή του γεωραντάρ, σύμφωνα με την οποία παρατηρούνται τα εξής:

- Ένας ανακλαστήρας που βρίσκεται σε βάθος 1 m από την επιφάνεια και αποδίδεται σε άμμο και ψαμμίτες, οι οποίοι παρατηρούνται και επιφανειακά κυρίως στο τέλος της γραμμής μελέτης.
- Το δεύτερο στρώμα αποδίδεται σε πιο συμπαγή ψαμμιτικό σχηματισμό.
- Παρατηρείται η ύπαρξη και δεύτερου ανακλαστήρα σε βάθος που κυμαίνεται από 4-5 m στην αρχή της γραμμής μελέτης, έως 2 m στο τέλος της. Το στρώμα αυτό πιθανότατα οριοθετεί το πάχος των ψαμμιτών, ή τουλάχιστον κάποια αλλαγή στην υφή των ψαμμιτών (ποσοστό υγρασίας ή περιεκτικότητα σε αργιλικά υλικά).

Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών



Σχήμα 40: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο) και δειγματοληπτική επιφάνεια της δράσης A2 (κίτρινο). Κάτω: η γεωηλεκτρική τομή Line Xr_site1_Tr4 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου με υπέρθεση των θαμνωδών ειδών που καταγραφήκαν κατά μήκος της διατομής. **Η διακεκομμένη λευκή γραμμή οριοθετεί την άμμο, ενώ η σκιασμένη περιοχή δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις.**



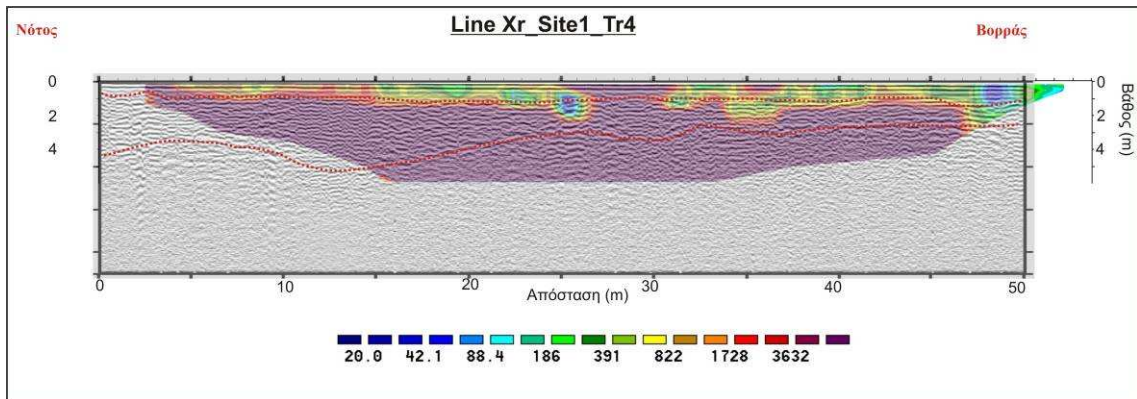
Σχήμα 41: Τομή γεωραντάρ Xr_Site1_Tr4. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν τα πιθανά γεωλογικά στρώματα.

Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ

Στο Σχήμα 42 απεικονίζεται η υπέρθεση των τομών της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ. Ως υπόβαθρο, έχει χρησιμοποιηθεί η γεωηλεκτρική τομή, πάνω στην οποία τοποθετήθηκε η αντίστοιχη τομή του γεωραντάρ ως ημιδιαφανής εικόνα. Οι διακεκομμένες κόκκινες γραμμές οριοθετούν τις διεπιφάνειες ανάμεσα στα τρία γεωλογικά στρώματα, όπως προέκυψαν από την ερμηνεία του γεωραντάρ.

Στις τομές αυτές, παρατηρείται μεγάλη συμφωνία ως προς το πάχος του πρώτου στρώματος που αποδίδεται στην άμμο και στους ψαμμίτες. Το συγκεκριμένο στρώμα έχει πάχος που κυμαίνεται μεταξύ 0.5 και 1 m. Από τον συνδυασμό αυτών των στοιχείων προκύπτουν τα εξής:

- Το πάχος του επιφανειακού στρώματος της άμμου είναι 0.5 - 1 m περίπου. Οι χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, που απαντώνται σε αρκετά σημεία του στρώματος αυτού, αντιστοιχούν σε αργλικούς ψαμμίτες.
- Κάτω από τη άμμο, σύμφωνα με την τομή του γεωραντάρ, βρίσκεται ένα στρώμα που έχει πάχος 3-4 m και αποδίδεται σε αργλικούς ψαμμίτες.
- Ένα τρίτο στρώμα εντοπίζεται στην τομή του γεωραντάρ, σε βάθος 4-5 m στην αρχή της γραμμής μελέτης, σε βάθος 2 m στο τέλος της. Το στρώμα αυτό πιθανότατα οριοθετεί το πάχος των ψαμμιτών, ή κάποια αλλαγή στην υφή των ψαμμιτών (ποσοστό υγρασίας ή περιεκτικότητα σε αργλικά υλικά).



Σχήμα 42: Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ για την γραμμής μελέτης Xr_Site2_Tr4. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν τους πιθανούς γεωλογικούς σχηματισμούς.

Γραμμή μελέτης Xr_site1_Tr5

Η γραμμή Xr_site1_tr5 βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του νησιού σε απόσταση περίπου 150 m από την νότια ακτογραμμή και 250 m από την βόρεια, σε απόλυτο υψόμετρο που κυμαίνεται από 5 σε 7 m. Το μήκος γραμμής μελέτης είναι 54 m και έχει διεύθυνση βορειοανατολικά - νοτιοδυτικά. Στην ίδια θέση πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ηλεκτρικής τομογραφίας και (όπου αυτό ήταν εφικτό) γεωραντάρ.

Ηλεκτρική τομογραφία

Τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής τομογραφίας για την συγκεκριμένη γραμμή (Σχήμα 43) δεν θεωρήθηκαν αξιόπιστα λόγω θορύβου και για το λόγο αυτό δεν αξιολογήθηκαν.

Γεωραντάρ

Οι μετρήσεις γεωραντάρ πραγματοποιήθηκαν στην ίδια θέση με αυτήν της ηλεκτρικής τομογραφίας, κατά μήκος της γραμμής μελέτης Xr_Site1_Tr5. Στο Σχήμα 44 παρουσιάζεται η τομή του γεωραντάρ, σύμφωνα με την οποία παρατηρούνται τα εξής:

- Ένας ανακλαστήρας που βρίσκεται σε βάθος 1 m από την επιφάνεια και οριοθετεί την άμμο.
- Το δεύτερο στρώμα, το πάχος του οποίου εκτιμάται στα 1-1.5 m, αποδίδεται σε αργιλικό ψαμμίτη.
- Ο δεύτερος ανακλαστήρας εντοπίζεται σε βάθος 2-3 m. Το στρώμα αυτό πιθανότατα οριοθετεί το πάχος των ψαμμιτών ή οφείλεται σε κάποια αλλαγή στην υφή των ψαμμιτών (ποσοστό υγρασίας ή περιεκτικότητα σε αργιλικά υλικά).

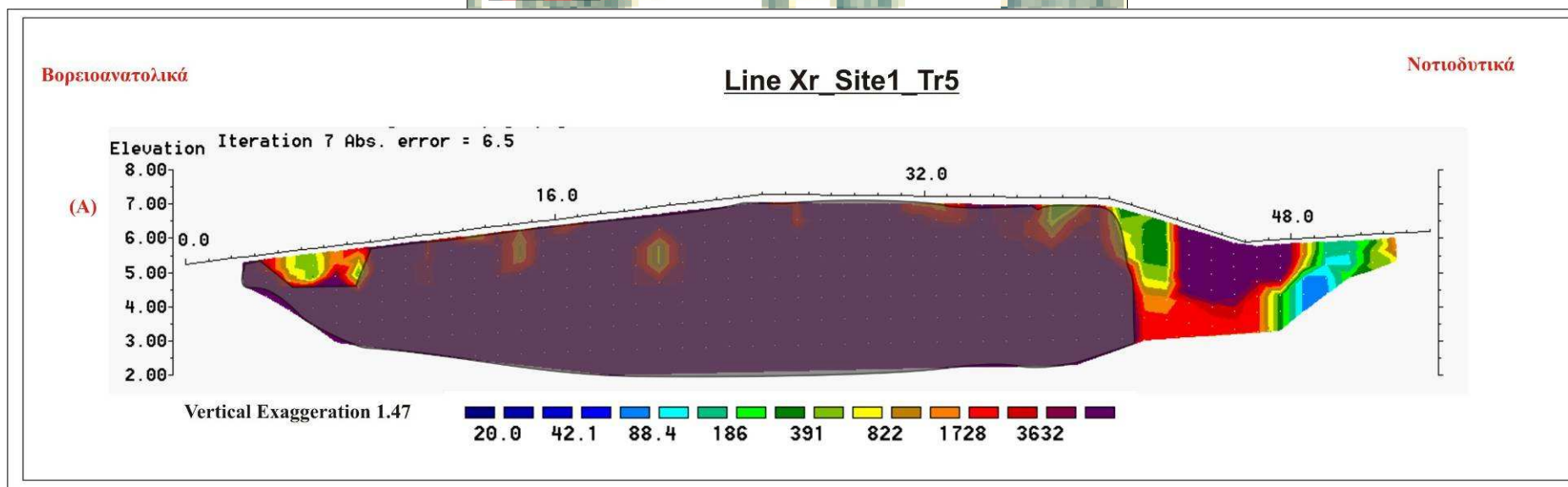
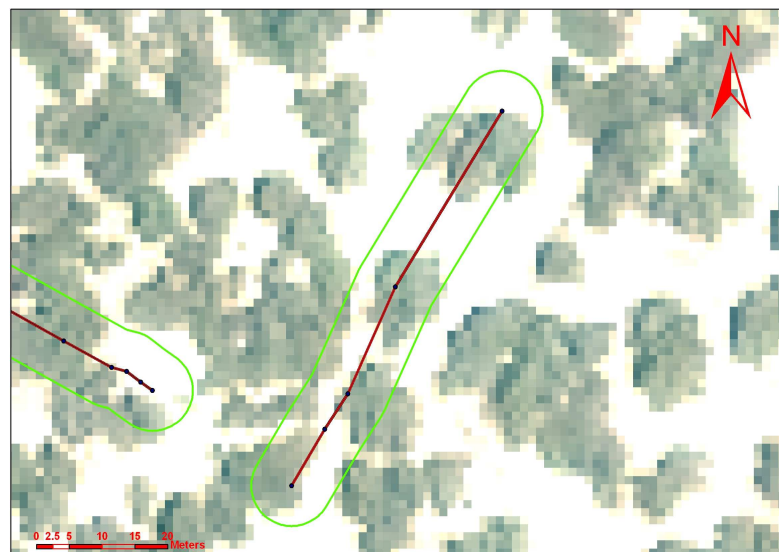
Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ

Στο Σχήμα 45 απεικονίζεται η υπέρθεση των τομών της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ. Ως υπόβαθρο, έχει χρησιμοποιηθεί η γεωηλεκτρική τομή, πάνω στην οποία τοποθετήθηκε η αντίστοιχη τομή του γεωραντάρ ως ημιδιαφανής εικόνα. Οι διακεκομμένες κόκκινες γραμμές οριοθετούν τις διεπιφάνειες ανάμεσα στα τρία γεωλογικά στρώματα, όπως προέκυψαν από την ερμηνεία του γεωραντάρ.

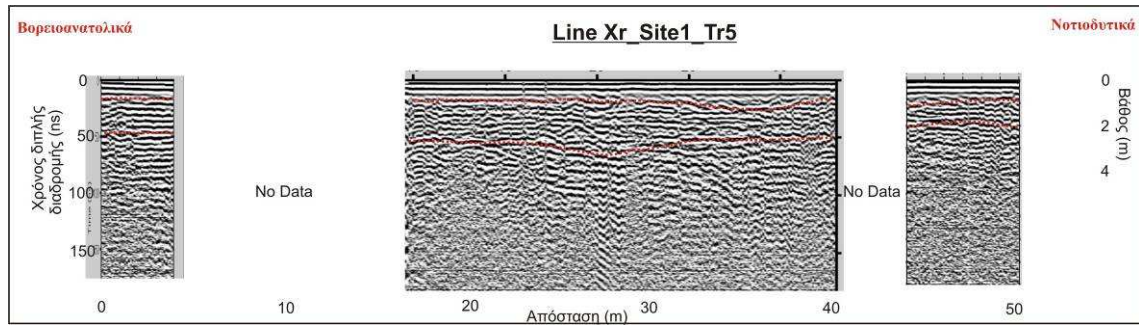
Επειδή τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής τομογραφίας δεν θεωρήθηκαν αξιόπιστα για την συγκεκριμένη γραμμή, τα συμπεράσματα που προκύπτουν για την εν λόγω γραμμή μελέτης προέρχονται μόνο από την τομή του γεωραντάρ:

- Το πάχος της άμμου εκτιμάται στο 1 m.
- Κάτω από την άμμο εντοπίζεται ο αργιλικός ψαμμίτης που έχει πάχος 1-1.5 m.
- Ένα τρίτο στρώμα εντοπίζεται 2-3 m. Το στρώμα αυτό πιθανότατα οριοθετεί το πάχος του αργιλικού ψαμμίτη, ή κάποια αλλαγή στην υφή των ψαμμιτών (ποσοστό υγρασίας ή περιεκτικότητα σε αργιλικά υλικά).

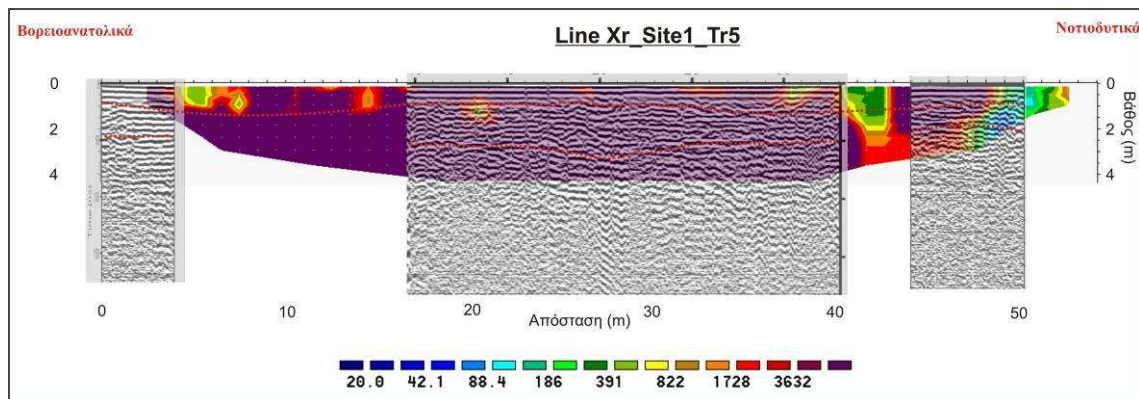
Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών



Σχήμα 43: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο). Κάτω: η γεωηλεκτρική τομή Line Xr_site1_Tr5 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου με υπέρθεση των θαμνωδών ειδών που καταγράφηκαν κατά μήκος της διατομής. Η σκιασμένη περιοχή δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις.



Σχήμα 44: Τομή γεωραντάρ Xr_Site1_Tr5. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν τα πιθανά γεωλογικά στρώματα. Τα κενά στην τομή αντιστοιχούν σε σημεία όπου δεν ήταν εφικτή η πραγματοποίηση μετρήσεων γεωραντάρ.



Σχήμα 45: Υπέρθωση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ για την γραμμής μελέτης Xr_Site2_Tr5. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν τους πιθανούς γεωλογικούς σχηματισμούς.

Γραμμή μελέτης Xr_site1_Tr6

Η γραμμή μελέτης βρίσκεται ανατολικά του νησιού σε απόσταση περίπου 250 m από την βόρεια ακτογραμμή και 200 m από την νότια ακτογραμμή, σε απόλυτο υψόμετρο 7-10 m. Το μήκος γραμμής αυτής είναι 54 m και έχει διεύθυνση νοτιοανατολικά - βορειοδυτικά. Επιφανειακά, σε όλο το μήκος της γραμμής μελέτης παρατηρείται βλάστηση (γρασίδι), ενώ σε απόσταση 28-38 m φύονται δέντρα κέδρων. Στην ίδια θέση πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ηλεκτρικής τομογραφίας και (στα πρώτα 52 m) γεωραντάρ.

Ηλεκτρική τομογραφία

Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 46), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις, προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα επιφανειακό στρώμα πάχους 0.5 – 1 m με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που κυμαίνονται από 500 μέχρι 1000 Ωm . Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο.

Το γεωηλεκτρικό στρώμα κάτω από το επιφανειακό (σκιασμένη περιοχή) δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις.

Γεωραντάρ

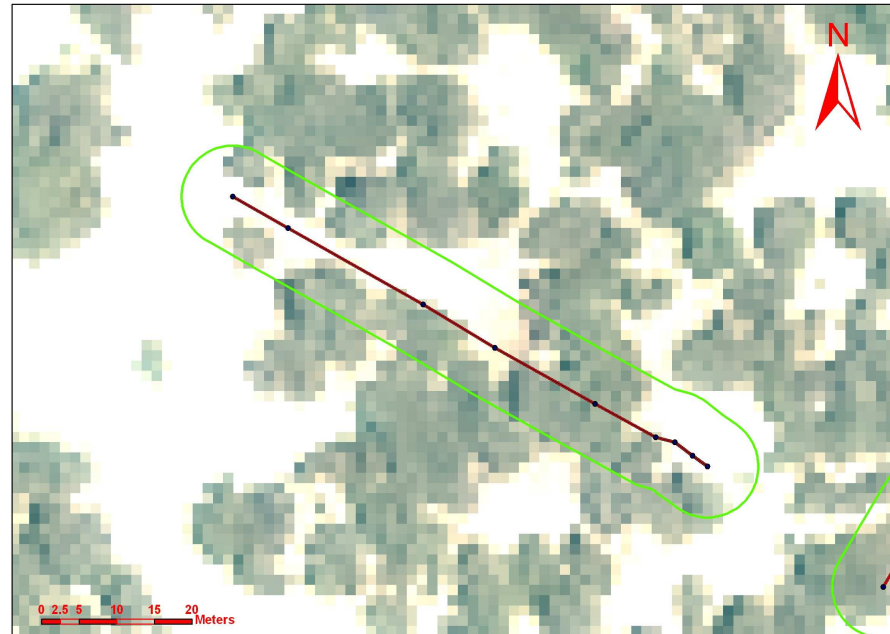
Οι μετρήσεις γεωραντάρ πραγματοποιήθηκαν στην ίδια θέση με αυτήν της ηλεκτρικής τομογραφίας, στα πρώτα 52 m της γραμμής μελέτης Xr_Site1_Tr6. Στο Σχήμα 47 παρουσιάζεται η τομή του γεωραντάρ, σύμφωνα με την οποία παρατηρούνται τα εξής:

- Ένας ανακλαστήρας που βρίσκεται σε βάθος 1 m από την επιφάνεια, ο οποίος αποδίδεται σε άμμο.
- Το δεύτερο στρώμα με πάχος 1-1.5 m αποδίδεται πιθανότατα σε αργιλικούς ψαμμίτες .
- Ένας δεύτερος ανακλαστήρας εντοπίζεται σε βάθος (στην αρχή της γραμμής μελέτης) 2-3 m. Ο ανακλαστήρας αυτός πιθανότατα οριοθετεί το πάχος των ψαμμιτών ή οφείλεται σε κάποια αλλαγή στην υφή τους (ποσοστό υγρασίας ή περιεκτικότητα σε αργιλικά υλικά).

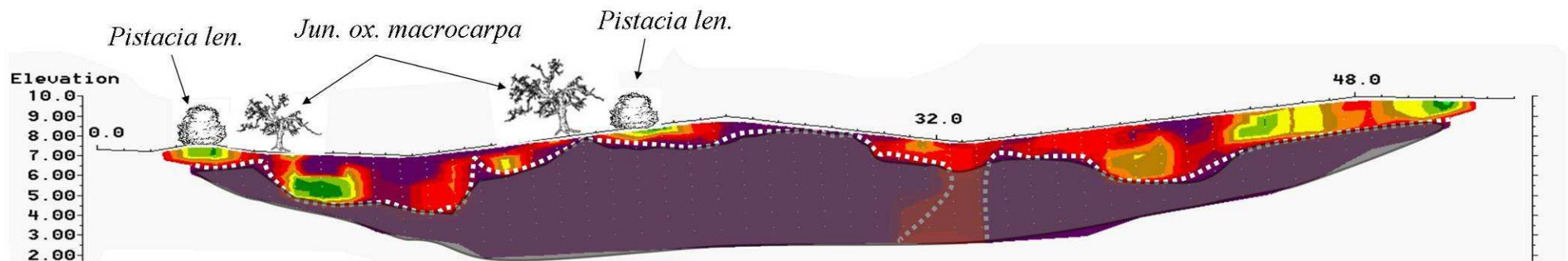
Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ

Στο Σχήμα 48 απεικονίζεται η υπέρθεση των τομών της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ. Ως υπόβαθρο, έχει χρησιμοποιηθεί η γεωηλεκτρική τομή, πάνω στην οποία τοποθετήθηκε η αντίστοιχη τομή του γεωραντάρ ως ημιδιαφανής εικόνα. Οι διακεκομμένες κόκκινες γραμμές οριοθετούν τις διεπιφάνειες ανάμεσα στα τρία γεωλογικά στρώματα, όπως αυτά προέκυψαν από την ερμηνεία του γεωραντάρ.

Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών

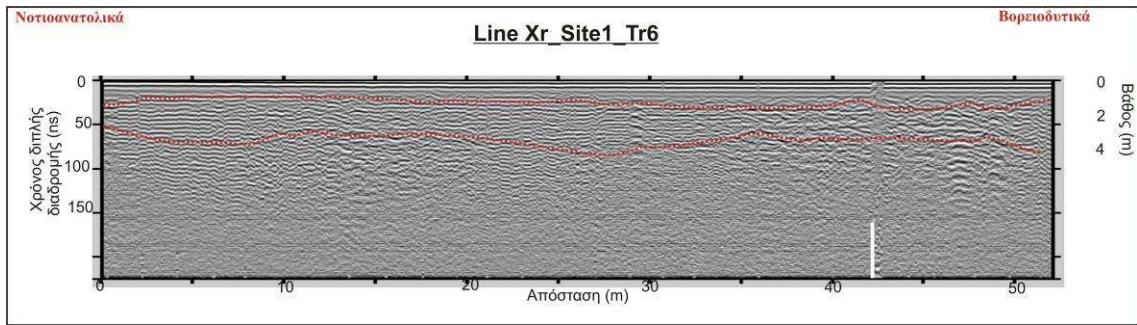


SE



NW

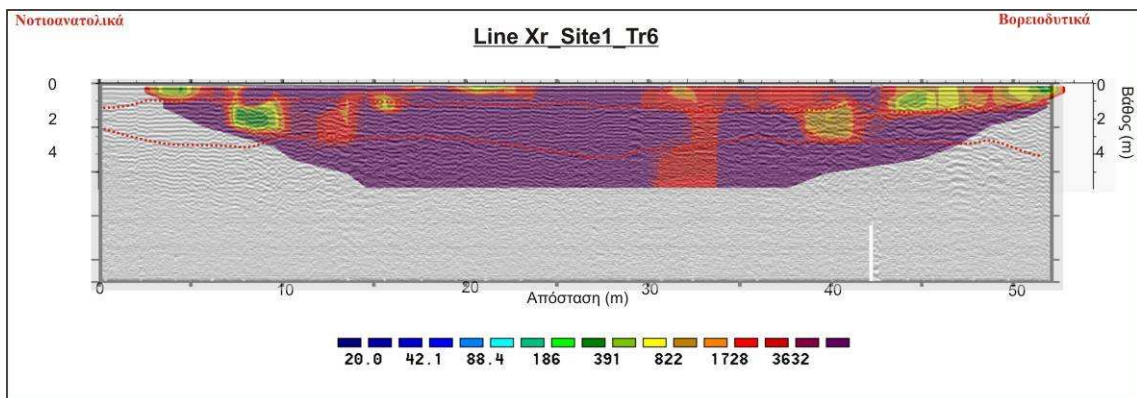
Σχήμα 46: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο) και τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο). Κάτω: η γεωηλεκτρική τομή Line Xr_site1_Tr6 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου με υπέρθεση των ϕ ειδών που καταγραφήκαν κατά μήκος της διατομής. Η διακεκομμένη λευκή γραμμή οριοθετεί την άμμο, ενώ η σκιασμένη περιοχή δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις.



Σχήμα 47: Τομή γεωραντάρ Xr_Site1_Tr6. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν τα πιθανά γεωλογικά στρώματα.

Στις τομές αυτές παρατηρείται αρκετά καλή συμφωνία ως προς το πάχος του πρώτου στρώματος που αποδίδεται στην άμμο. Κάτω από την άμμο, τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής τομογραφίας δεν αξιολογούνται. Από τον συνδυασμό αυτών των στοιχείων προκύπτουν τα εξής:

- Το επιφανειακό στρώμα της άμμου έχει πάχος 0.5-1 m
- Το δεύτερο στρώμα έχει πάχος 2-3 m και αποδίδεται σε ακόρεστο ψαμμιτικό σχηματισμό.
- Σε βάθος 3-4 m εντοπίζεται μια διεπιφάνεια, η οποία πιθανότατα οριοθετεί το στρώμα των υπερκείμενων ψαμμιτών, ή κάποια αλλαγή στην υφή του σχηματισμού αυτού (ποσοστό υγρασίας ή περιεκτικότητα σε αργιλικά υλικά)..



Σχήμα 48: Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ για την γραμμής μελέτης Xr_Site2_Tr6. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν τους πιθανούς γεωλογικούς σχηματισμούς.

Γραμμή μελέτης Xr_site1_Tr7

Η γραμμή μελέτης βρίσκεται σε απόσταση 250 m περίπου από την βόρεια και νότια ακτογραμμή σε υψόμετρο που κυμαίνεται από 7-8 m στην αρχή της γραμμής, έως 4-5 m στο τέλος της. Το μήκος γραμμής μελέτης είναι 54 m και έχει διεύθυνση

ανατολή - δύση. Επιφανειακά, παρατηρείται βλάστηση (θάμνοι) σε στα 28-34 m. Στην ίδια θέση πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ.

Ηλεκτρική τομογραφία

Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 49), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

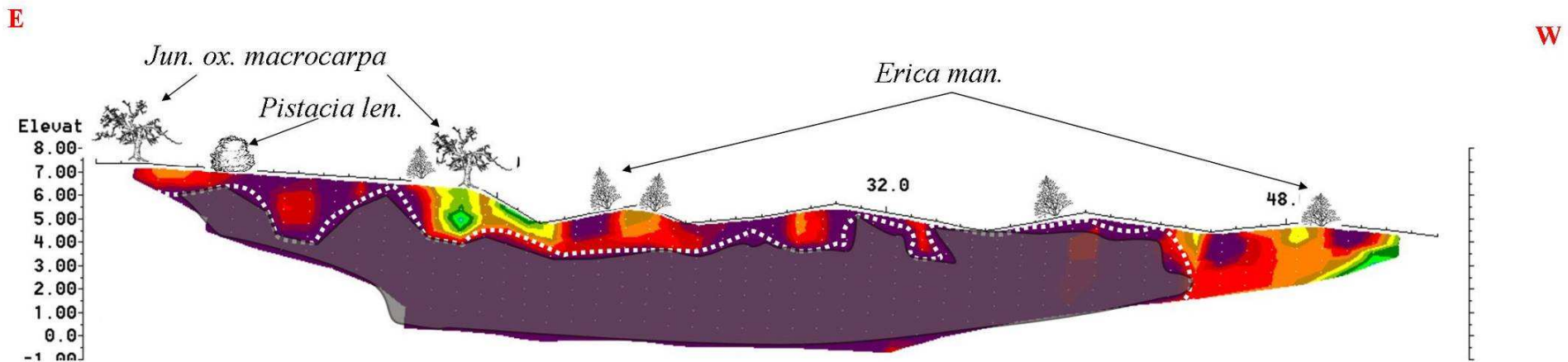
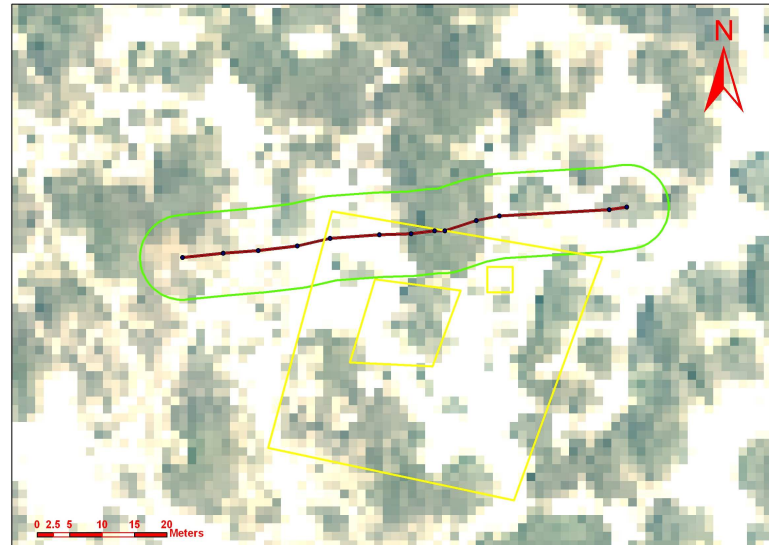
- Ένα επιφανειακό στρώμα πάχους περίπου 1 m (εκτός από τα τελευταία 10 m όπου το πάχος του ξεπερνά τα 2 m) με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που κυμαίνονται από 500 έως 3000 Ωm. Το στρώμα αυτό αποδίδεται κυρίως σε άμμο .
- Το γεωηλεκτρικό στρώμα κάτω από το επιφανειακό (σκιασμένη περιοχή) δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις.

Γεωραντάρ

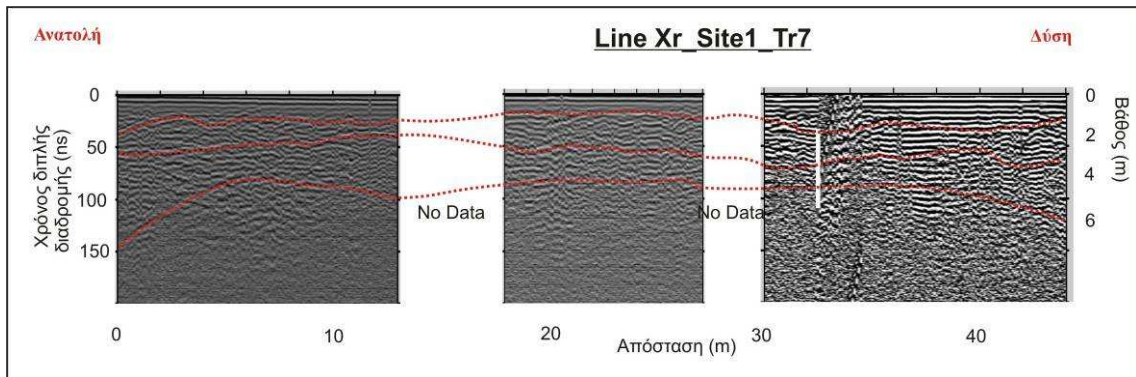
Οι μετρήσεις γεωραντάρ πραγματοποιήθηκαν στην ίδια θέση με αυτήν της ηλεκτρικής τομογραφίας, κατά μήκος της γραμμής Xr_Site1_Tr7. Τα κενά στην τομή οφείλονται σε αδυναμία πραγματοποίησης μετρήσεων στις συγκεκριμένες θέσεις. Στο Σχήμα 50 παρουσιάζεται η τομή του γεωραντάρ, σύμφωνα με την οποία παρατηρούνται τα εξής:

- Ένας ανακλαστήρας, που βρίσκεται σε βάθος 1 με 2 m από την επιφάνεια, οριοθετεί το στρώμα της άμμου.
- Ένας δεύτερος ανακλαστήρας εντοπίζεται σε βάθος 3 m περίπου. Το στρώμα κάτω από την άμμο αποδίδεται σε ψαμμίτες, ενώ ο δεύτερος ανακλαστήρας οριοθετεί αλλαγές στην υφή των ψαμμιτών (ποσοστό υγρασίας ή περιεκτικότητα σε αργιλικά υλικά).
- Υπάρχουν ενδείξεις και για έναν τρίτο ανακλαστήρα που πιθανότατα να αποδίδεται στην οροφή ηφαιστειακών πετρωμάτων.

Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών



Σχήμα 49: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο) και δειγματοληπτική επιφάνεια της δράσης A2 (κίτρινο). Κάτω: η γεωηλεκτρική τομή Line Xr_site1_Tr7 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου με υπέρθεση των θαμνωδών ειδών που καταγράφηκαν κατά μήκος της διατομής. Η διακεκομμένη λευκή γραμμή οριοθετεί την άμμο, ενώ η σκιασμένη περιοχή δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις.



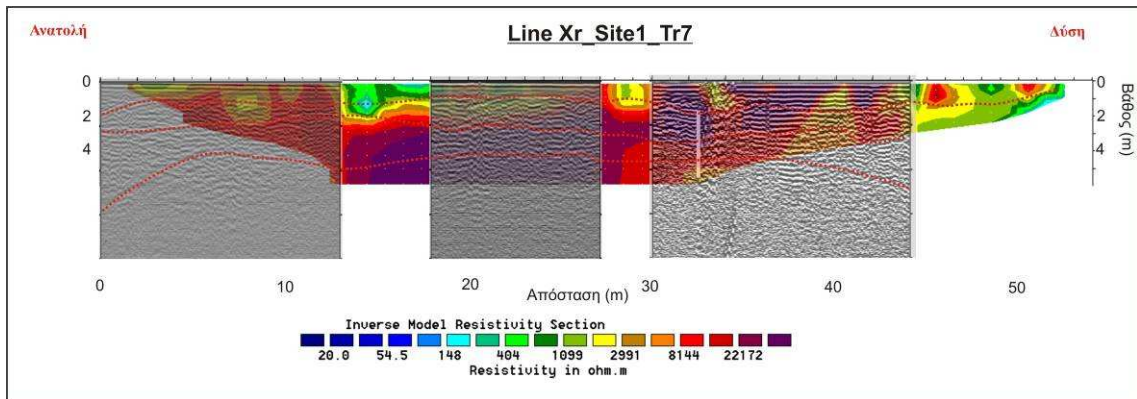
Σχήμα 50: Τομή γεωραντάρ Xr_Site1_Tr7. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν τα πιθανά γεωλογικά στρώματα. Τα κενά στην τομή οφείλονται σε αδυναμία πραγματοποίησης μετρήσεων στις συγκεκριμένες θέσεις.

Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ

Στο Σχήμα 51 απεικονίζονται η υπέρθεση των τομών της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ. Ως υπόβαθρο, έχει χρησιμοποιηθεί η γεωηλεκτρική τομή, πάνω στην οποία τοποθετήθηκε η αντίστοιχη τομή του γεωραντάρ ως ημιδιαφανής εικόνα. Οι διακεκομμένες κόκκινες γραμμές οριοθετούν τις διεπιφάνειες ανάμεσα στα τέσσερα γεωλογικά στρώματα που εντοπίστηκαν στην συγκεκριμένη θέση, όπως προέκυψαν από την ερμηνεία του γεωραντάρ.

Στην τομή υπέρθεσης, παρατηρείται αρκετά καλή συμφωνία ως προς το πάχος του πρώτου στρώματος που αποδίδεται στην άμμο. Κάτω από την άμμο, η ηλεκτρική τομογραφία ξεχωρίζει μόνο ένα στρώμα μεγάλων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων που θεωρείται αναξιόπιστο. Από τον συνδυασμό αυτών των στοιχείων προκύπτουν τα εξής:

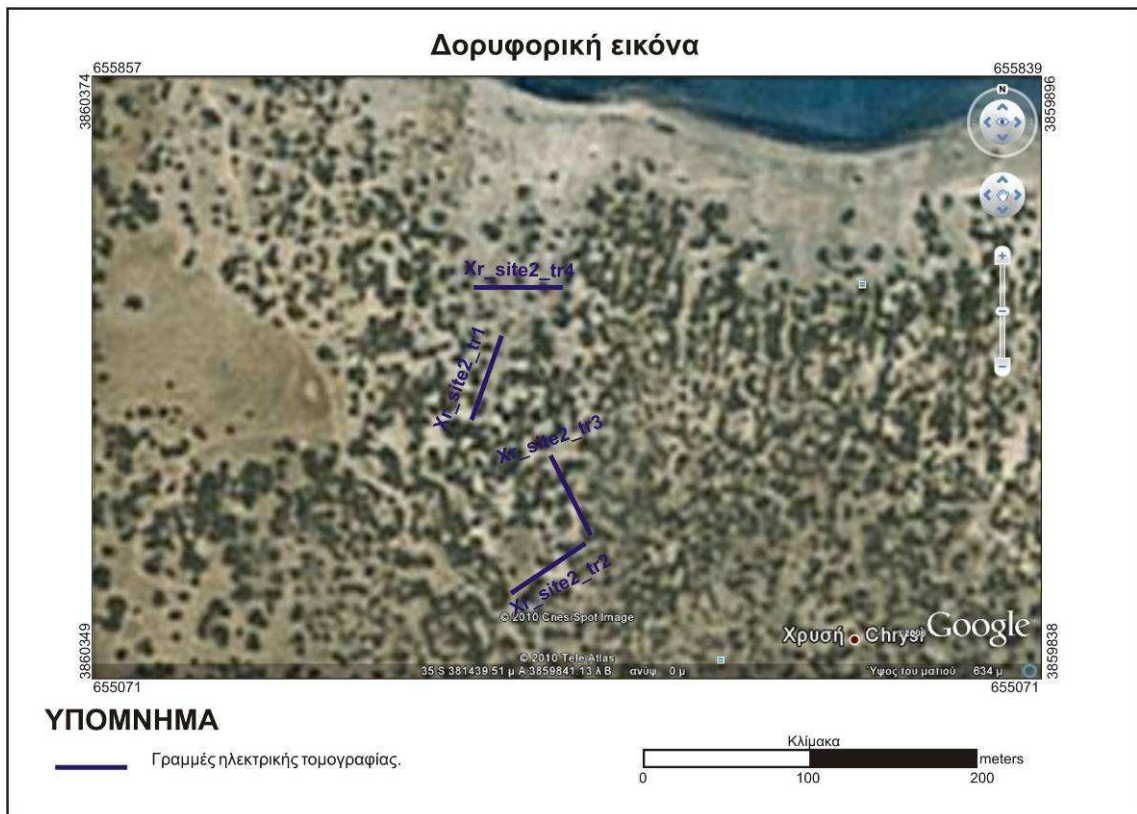
- Το επιφανειακό στρώμα της άμμου έχει πάχος 0.5-1 m
- Το δεύτερο στρώμα αποδίδεται σε ψαμμιτικό πέτρωμα και έχει πάχος 3 m περίπου.
- Το τρίτο στρώμα αποδίδεται επίσης σε ψαμμίτη διαφορετικής περιεκτικότητας σε υγρασία ή/και σε αργιλικά υλικά.
- Το τέταρτο στρώμα εντοπίζεται σε βάθος 4-5 m και πιθανότατα αποδίδεται σε ηφαιστειακούς σχηματισμούς.



Σχήμα 51: Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ για την γραμμές μελέτης Xr_Site2_Tr7. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν τους πιθανούς γεωλογικούς σχηματισμούς

4.3.7 Δυτική περιοχή μελέτης

Η δεύτερη περιοχή βρίσκεται στο βόρειο κεντρικό τμήμα του νησιού. Δεν βρέθηκε γεωλογικός χάρτης για την συγκεκριμένη περιοχή και η εκτίμηση των γεωλογικών σχηματισμών βασίζεται σε επιφανειακές παρατηρήσεις. Στην θέση αυτή πραγματοποιήθηκαν τέσσερις γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας συνολικού μήκους 216 m και δύο γραμμές γεωραντάρ συνολικού μήκους 91 m (Σχήμα 52).



Σχήμα 52: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης (Google Earth), όπου απεικονίζονται (κατά προσέγγιση) οι θέσεις των γραμμών μελέτης.

Γραμμή μελέτης Xr_site2_Tr1

Η γραμμή Xr_site2_Tr1 βρίσκεται στο βόρειο κεντρικό τμήμα του νησιού. Το τέλος της γραμμής βρίσκεται σε απόσταση περίπου 150 m από την βόρεια ακτογραμμή και σε απόλυτο υψόμετρο 3-4 m. Το μήκος γραμμής μελέτης είναι 54 m και έχει διεύθυνση από νότια προς βόρεια,. Επιφανειακά, κατά μήκος της γραμμής μελέτης, αν και δεν παρατηρούνται κέδροι, παρατηρείται πυκνή βλάστηση (θάμνοι). Στην ίδια θέση πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ.

Ηλεκτρική τομογραφία

Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 53), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα επιφανειακό στρώμα πάχους 0.5 – 1.5 m με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που κυμαίνονται από 50 μέχρι 3000 Ωm. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο. Οι ζώνες χαμηλής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (<300 Ωm) που εντοπίζονται σε αυτό, ειδικά στα πρώτα 30 m της γραμμής, αποδίδονται σε ανύψωση του αργλικού ψαμμίτη στις θέσεις αυτές.
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα που χαρακτηρίζεται από μικρές σχετικά τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (500-2000 Ωm) κυρίως στο πρώτο τμήμα της γραμμής. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε αργλικό ψαμμίτη.
- Το γεωηλεκτρικό στρώμα πολύ υψηλών αντιστάσεων κάτω από το επιφανειακό (σκιασμένη περιοχή) δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις.

Γεωραντάρ

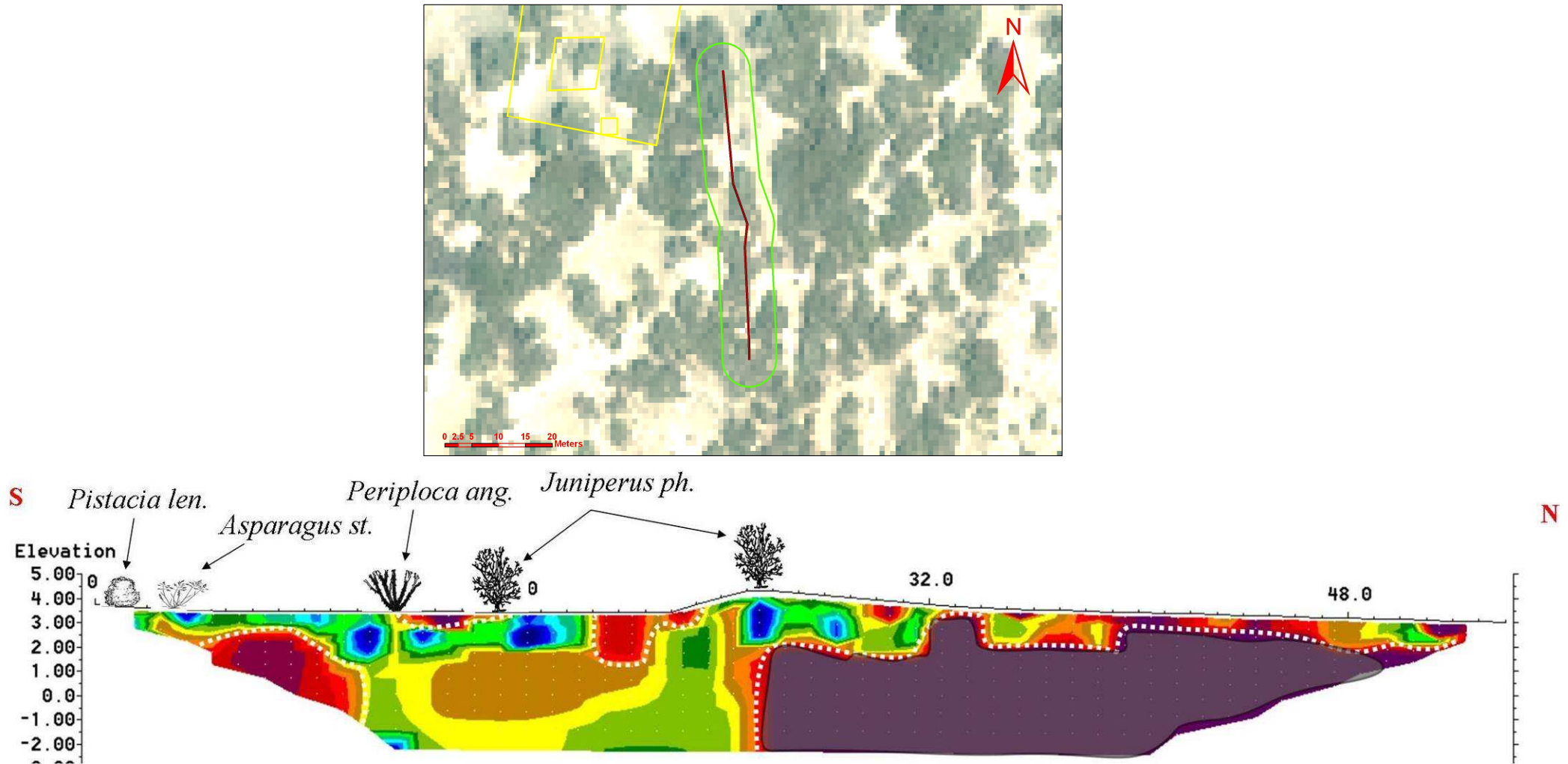
Οι μετρήσεις γεωραντάρ πραγματοποιήθηκαν στην ίδια θέση με αυτήν της ηλεκτρικής τομογραφίας, κατά μήκος της γραμμής Xr_Site2_Tr1. Στο Σχήμα 54 παρουσιάζεται η τομή του γεωραντάρ, σύμφωνα με την οποία παρατηρούνται τα εξής:

- Ένας ανακλαστήρας που βρίσκεται σε βάθος 1 με 1.5 m από την επιφάνεια, οριοθετεί το στρώμα της άμμου.
- Ένας δεύτερος ανακλαστήρας που βρίσκεται σε βάθος 2-3 m περίπου. Το στρώμα κάτω από την άμμο αποδίδεται σε αργλικούς ψαμμίτες, ενώ ο

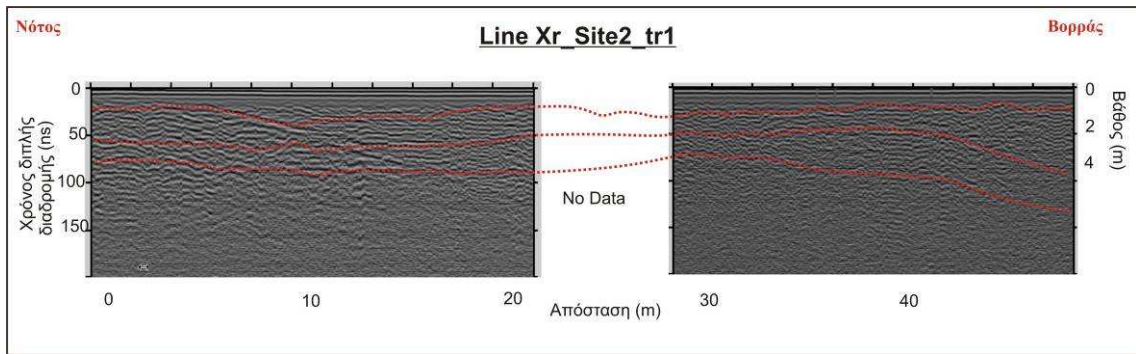
ανακλαστήρας αποτελεί ένδειξη για αλλαγή στην υφή των ψαμμιτών (διαφορετικής περιεκτικότητας σε υγρασία ή/και σε αργιλικά υλικά).

- Υπάρχουν ενδείξεις για έναν τρίτο ανακλαστήρα σε βάθος 3-4 m που πιθανότατα οριοθετεί την οροφή ηφαιστειακών σχηματισμών.

Παραδοτέο Α.1.1: Περιγραφή των γεωμορφών και των διεργασιών στα συστήματα των παράκτιων αμμοθινών



Σχήμα 53: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο) και δειγματοληπτική επιφάνεια της δράσης A2 (κίτρινο). Κάτω: η γεωηλεκτρική τομή Line Xr_site2_Tr1 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου με υπέρθεση των θαμνωδών ειδών που καταγράφηκαν κατά μήκος της διατομής. Η διακεκομμένη λευκή γραμμή οριοθετεί την άμμο, ενώ η σκιασμένη περιοχή δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις.



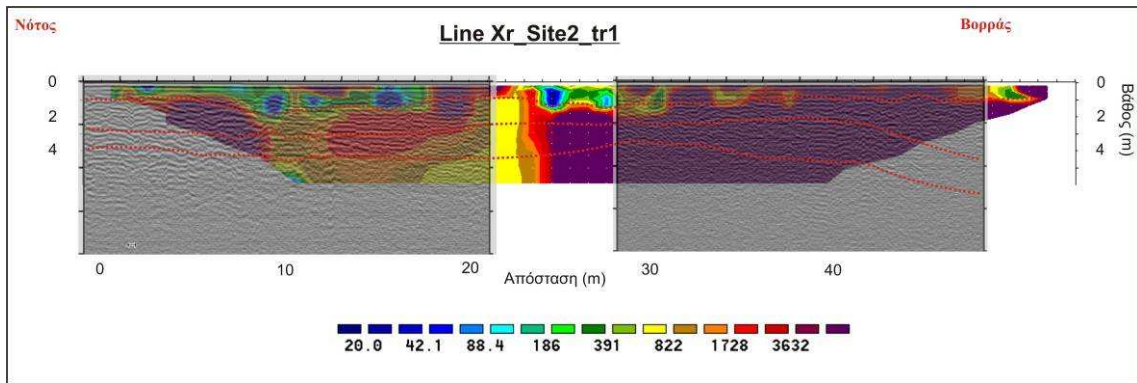
Σχήμα 54: Τομή γεωραντάρ Xr_Site1_Tr1. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν τα πιθανά γεωλογικά στρώματα. Τα κενά στην τομή οφείλονται σε αδυναμία πραγματοποίησης μετρήσεων στις συγκεκριμένες θέσεις

Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ

Στο Σχήμα 55 απεικονίζεται η υπέρθεση των τομών της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ. Ως υπόβαθρο, έχει χρησιμοποιηθεί η γεωηλεκτρική τομή, πάνω στην οποία τοποθετήθηκε η αντίστοιχη τομή του γεωραντάρ ως ημιδιαφανής εικόνα. Οι διακεκομμένες κόκκινες γραμμές οριοθετούν τις διεπιφάνειες ανάμεσα στα τέσσερα γεωλογικά στρώματα, όπως προέκυψαν από την ερμηνεία του γεωραντάρ.

Στις τομές αυτές παρατηρείται αρκετά καλή συμφωνία ως προς το πάχος του πρώτου στρώματος που αποδίδεται σε άμμο. Κάτω από την άμμο, η ηλεκτρική τομογραφία ξεχωρίζει μόνο ένα στρώμα μεγάλων αντιστάσεων που θεωρείται αναξιόπιστο, λόγω μεγάλων σφαλμάτων στις μετρήσεις. Από τον συνδυασμό αυτών των στοιχείων προκύπτουν τα εξής:

- Το επιφανειακό στρώμα της άμμου έχει πάχος 0.5-1 m
- Το δεύτερο στρώμα έχει πάχος περίπου 1-2 m και αποδίδεται σε ψαμμιτικό σχηματισμό.
- Το τρίτο στρώμα αποδίδεται επίσης σε ψαμμίτες (διαφορετικής περιεκτικότητας σε υγρασία ή/και σε αργιλικά υλικά).
- Ο τρίτος ανακλαστήρας που βρίσκεται σε βάθος 4 με 6 m πιθανότατα να οφείλεται ηφαιστειακά πετρώματα.



Σχήμα 55: Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ για την γραμμή μελέτης Xr_Site2_Tr1. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν τους πιθανούς γεωλογικούς σχηματισμούς.

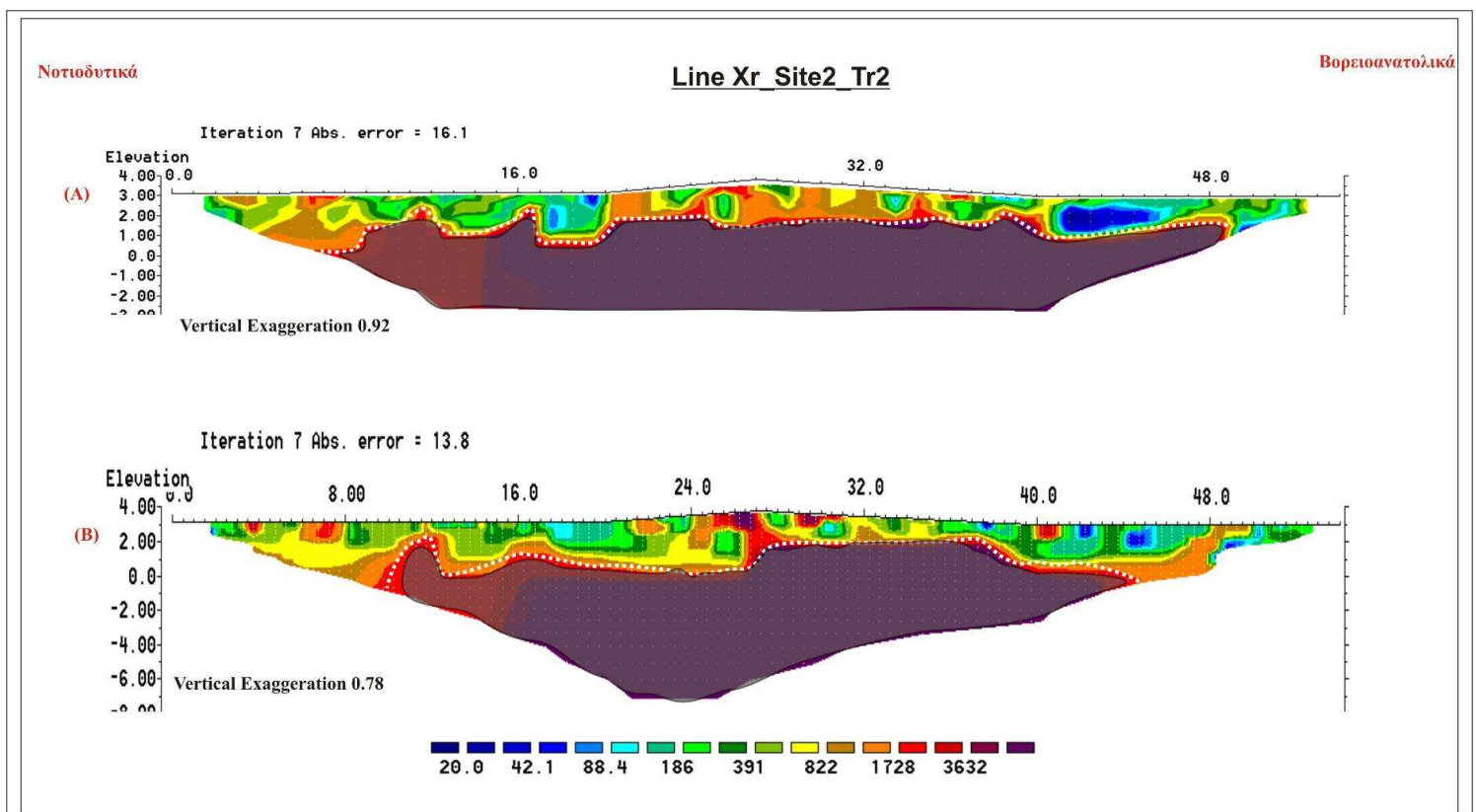
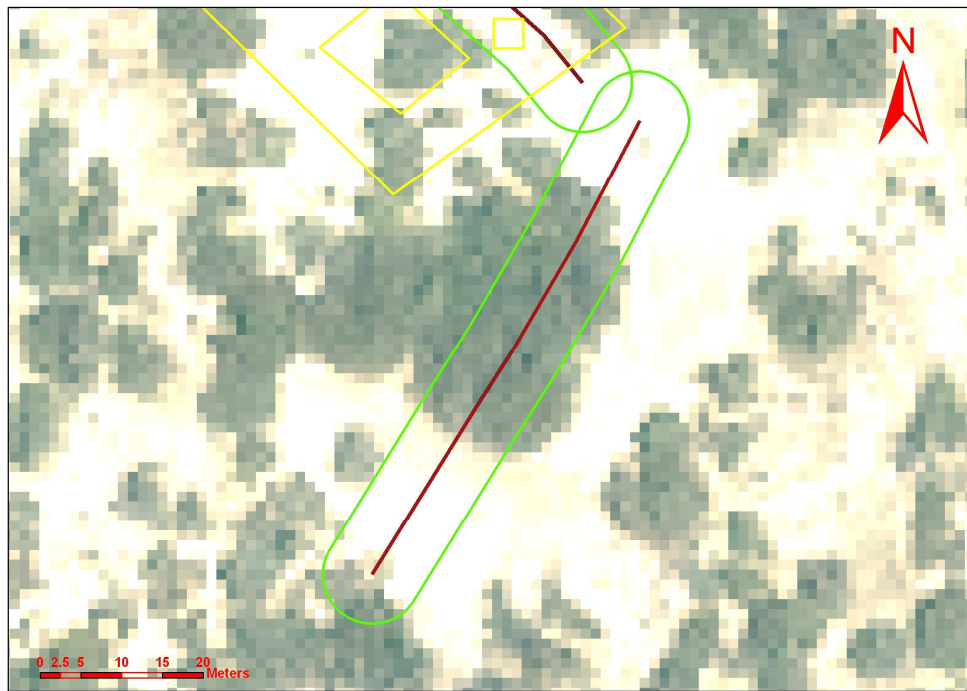
Γραμμή μελέτης Xr_site2_Tr2

Η γραμμή Xr_site2_Tr2 βρίσκεται νοτιοανατολικά της γραμμής μελέτης Xr_Site2_Tr1, σε απόσταση περίπου 300 m από την βόρεια ακτογραμμή και σε απόλυτο υψόμετρο 3-4 m. Το μήκος γραμμής μελέτης είναι 54 m και έχει διεύθυνση νοτιοδυτικά - βορειοανατολικά. Επιφανειακά, δεν παρατηρούνται κέδροι κατά μήκος της γραμμής μελέτης, ενώ στο κέντρο της (20-40 m) παρατηρείται βλάστηση (θάμνοι). Σε αυτή τη θέση, δεν ήταν εφικτή η πραγματοποίηση μετρήσεων γεωραντάρ.

Ηλεκτρική τομογραφία

Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 56), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις, προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα επιφανειακό στρώμα πάχους 1-1.5 m με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που κυμαίνονται από 50 μέχρι 1500 Ωm. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε ψαμμίτες. Το επιφανειακό στρώμα της άμμου έχει πολύ μικρό πάχος και για αυτό δεν εμφανίζεται στην ηλεκτρική τομογραφία, με εξαίρεση κεντρικά της γραμμής μελέτης, όπου οι ειδικές αντιστάσεις φτάνουν τα 1500 Ωm.
- Το υποκείμενο γεωηλεκτρικό στρώμα υψηλών αντιστάσεων (σκιασμένη περιοχή) δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις.



Σχήμα 56: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο) και τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο). Κάτω: Γεωηλεκτρική τομή Line Xr_Site2_Tr2 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου. Α) μέχρι βάθος 5m, Β) μέχρι βάθος 10m. Η διακεκομμένη λευκή γραμμή οριοθετεί την άμμο, ενώ η σκιασμένη περιοχή δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις.

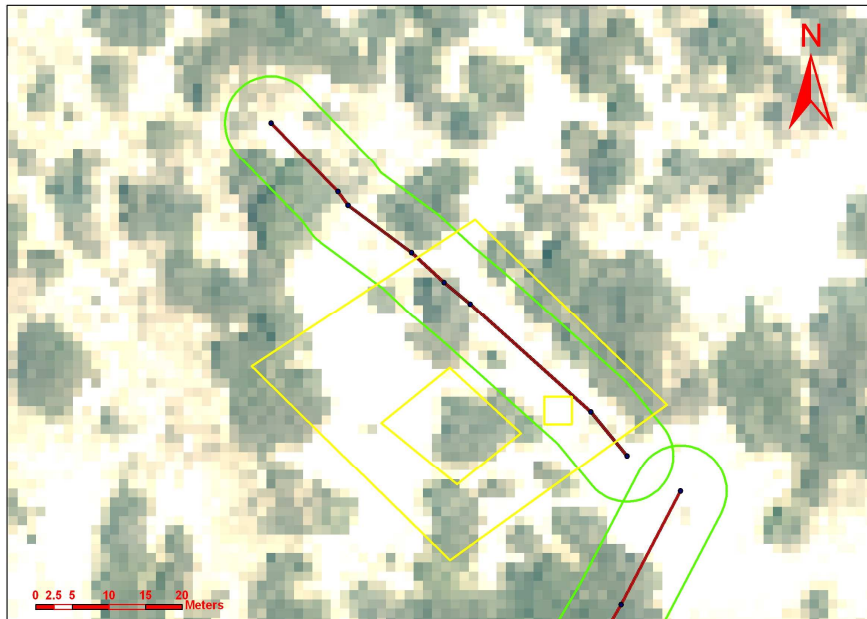
Γραμμή μελέτης Xr_site2_Tr3

Η γραμμή Xr_site2_Tr3 βρίσκεται βορειοδυτικά της γραμμής μελέτης Xr_Site2_Tr2, σε απόσταση 250 m περίπου από την βόρεια ακτογραμμή και σε απόλυτο υψόμετρο περίπου 3-4 m. Το μήκος γραμμής μελέτης είναι 54 m και έχει διεύθυνση νοτιοανατολικά - βορειοδυτικά. Επιφανειακά, στο κέντρο της γραμμής μελέτης (20-35 m) παρατηρείται πυκνή βλάστηση, ενώ σε καθ' όλο το μήκος της γραμμής, καθόλου κέδροι. Στην θέση αυτή, δεν ήταν εφικτή η πραγματοποίηση μετρήσεων γεωραντάρ.

Ηλεκτρική τομογραφία

Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 57), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

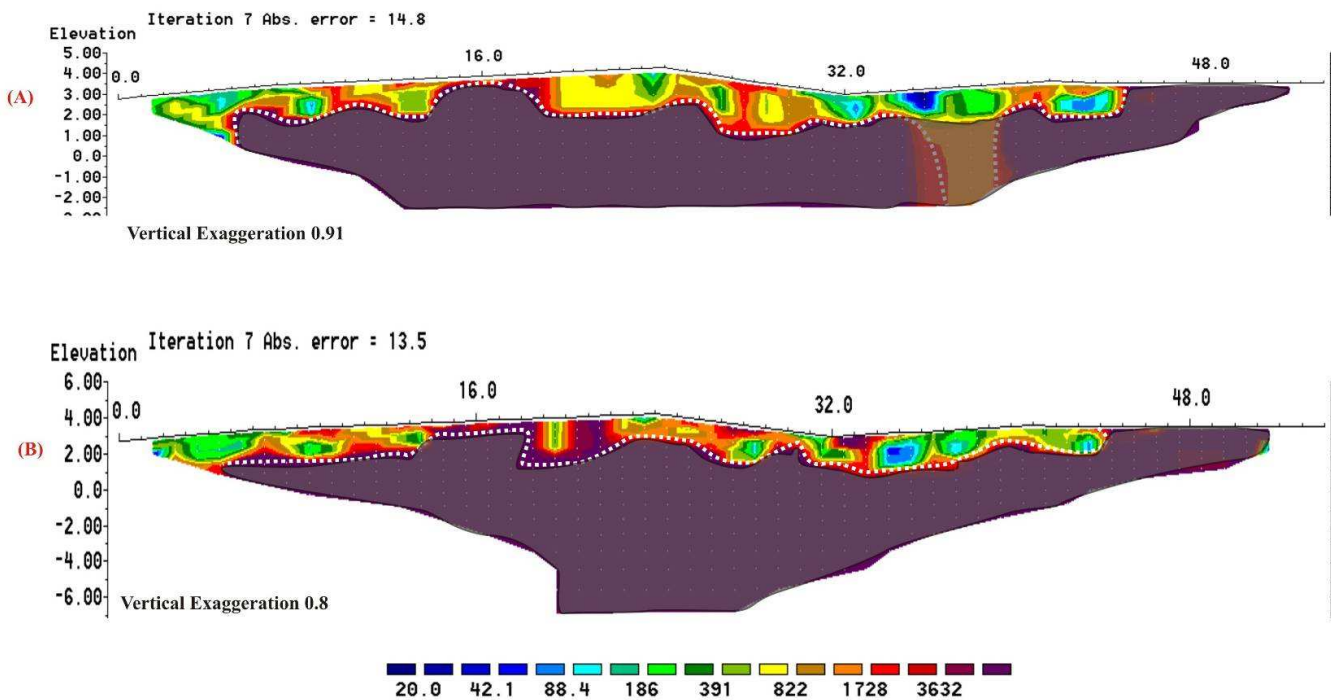
- Ένα επιφανειακό στρώμα πάχους 0.5 – 1.5 m με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που κυμαίνονται από 50 μέχρι 1500 Ωm. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε ψαμμιτικό σχηματισμό. Το επιφανειακό στρώμα της άμμου έχει πολύ μικρό πάχος και για αυτό δεν εμφανίζεται στην ηλεκτρική τομογραφία, με εξαίρεση κεντρικά της γραμμής μελέτης, όπου οι ειδικές αντιστάσεις φτάνουν τα 1500 Ωm.
- Το υποκείμενο γεωηλεκτρικό στρώμα υψηλών αντιστάσεων (σκιασμένη περιοχή) δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις.



Νοτιοανατολικά

Line Xr_Site2_Tr3

Βορειοδυτικά



Σχήμα 57: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο) και δειγματοληπτική επιφάνεια της δράσης A2 (κίτρινο). Κάτω: γεωηλεκτρική τομή Line Xr_Site2_Tr3 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου. Α) μέχρι βάθος 5m, Β) μέχρι βάθος 10m. Η διακεκομμένη λευκή γραμμή οριοθετεί την άμμο, ενώ η σκιασμένη περιοχή δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις.

Γραμμή μελέτης Xr_site2_Tr4

Η γραμμή Xr_site2_Tr4 βρίσκεται βόρεια της γραμμής μελέτης Xr_site2_Tr1 σε απόσταση περίπου 120 m από την βόρεια ακτογραμμή και σε απόλυτο υψόμετρο 2 m. Το μήκος γραμμής μελέτης είναι 54 m και έχει διεύθυνση από ανατολή προς δύση. Επιφανειακά, κατά μήκος της γραμμής μελέτης και σε απόσταση 35-40 m, αλλά και στο τέλος της γραμμής, παρατηρούνται δέντρα κέδρων. Στην ίδια θέση πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ.

Ηλεκτρική τομογραφία

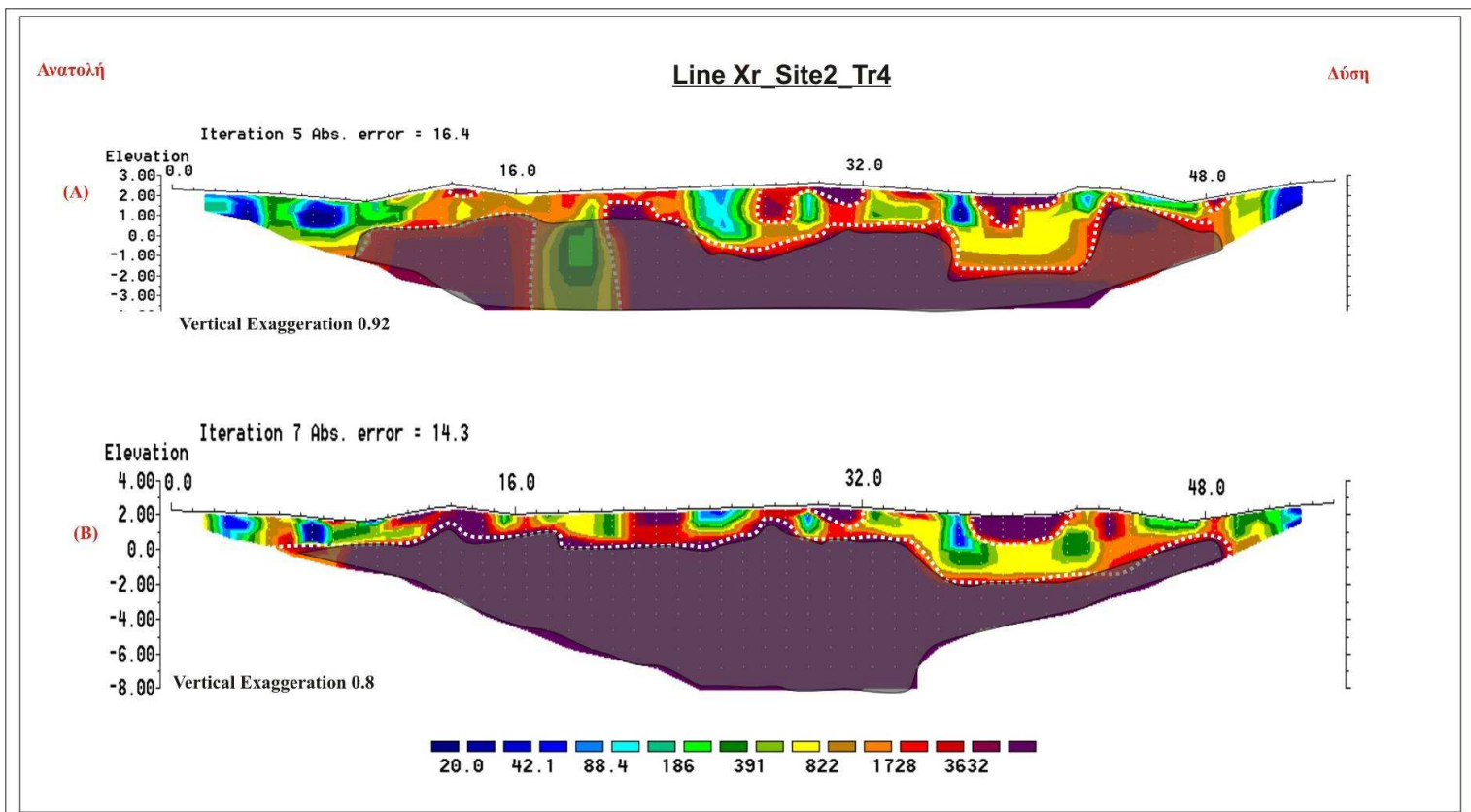
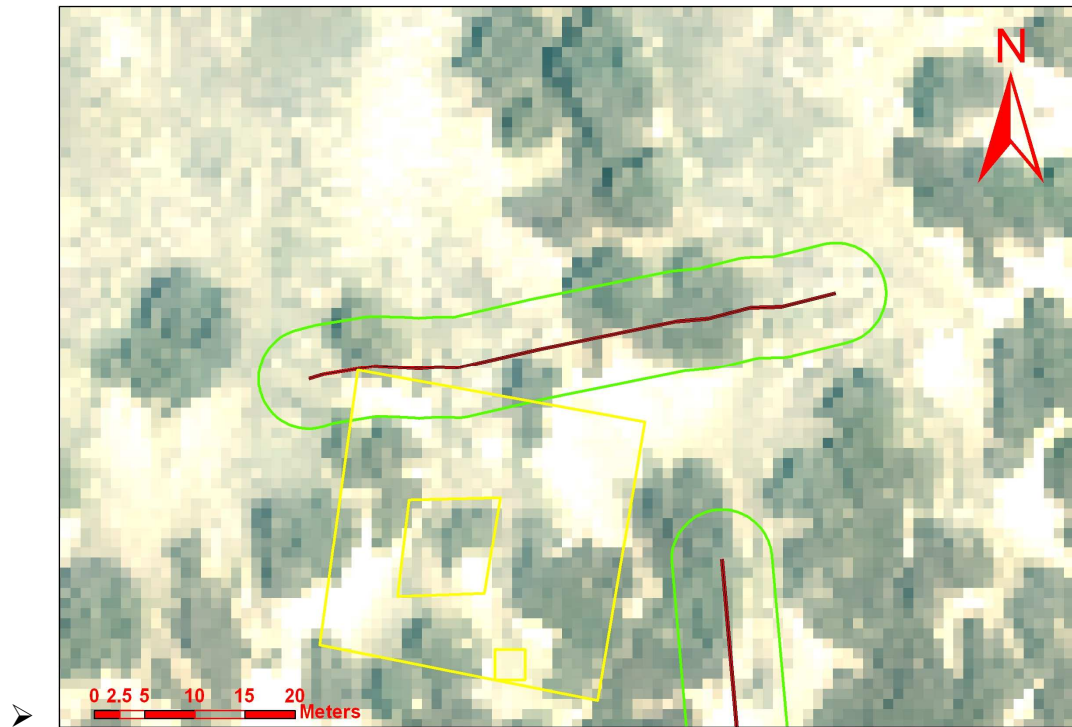
Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 58), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα επιφανειακό στρώμα πάχους 1 – 1.5 m με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που κυμαίνονται από 50 μέχρι 3000 Ωm. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο. Οι ζώνες χαμηλής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που εντοπίζονται σε αυτό (<300 Ωm), ειδικά στα πρώτα 10 m της γραμμής, αποδίδονται σε αύξηση της υγρασίας σε αυτά τα σημεία.
- Το γεωηλεκτρικό στρώμα υψηλών αντιστάσεων κάτω από το επιφανειακό (σκιασμένη περιοχή) δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις.

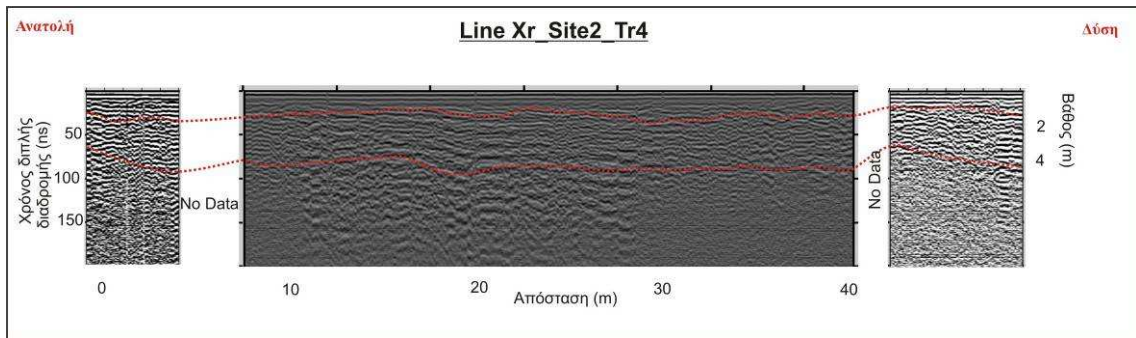
Γεωραντάρ

Οι μετρήσεις γεωραντάρ πραγματοποιήθηκαν στην ίδια θέση με αυτήν της ηλεκτρικής τομογραφίας κατά μήκος της γραμμής Xr_Site2_Tr4. Στο Σχήμα 59 παρουσιάζεται η τομή του γεωραντάρ, σύμφωνα με τα οποία παρατηρούνται τα εξής:

- Ένας ανακλαστήρας που βρίσκεται σε βάθος 1 με 2 m από την επιφάνεια, οριοθετεί το στρώμα της άμμου.
- Ένας δεύτερος ανακλαστήρας που βρίσκεται σε βάθος 4 m περίπου. Το στρώμα κάτω από την άμμο αποδίδεται σε ψαμμίτες. Ο δεύτερος ανακλαστήρας ενδεχομένως οριοθετεί το πάχος των ψαμμιτών, ή μια αλλαγή στην υφή των ψαμμιτών, ή ακόμα κάποια αύξηση της υγρασίας (διαφορετικής περιεκτικότητας σε υγρασία ή/και σε αργιλικά υλικά).



Σχήμα 58: Επάνω: δορυφορική εικόνα με την γεωηλεκτρική τομή (κόκκινο), τη ζώνη των 5m γύρω από αυτή (πράσινο) και δειγματοληπτική επιφάνεια της δράσης A2 (κίτρινο). Κάτω: γεωηλεκτρική τομή Line Xr_Site2_Tr4 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου. Α) μέχρι βάθος 5m, Β) μέχρι βάθος 10m. Η διακεκομμένη λευκή γραμμή οριοθετεί την άμμο, ενώ η σκιασμένη περιοχή δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις.



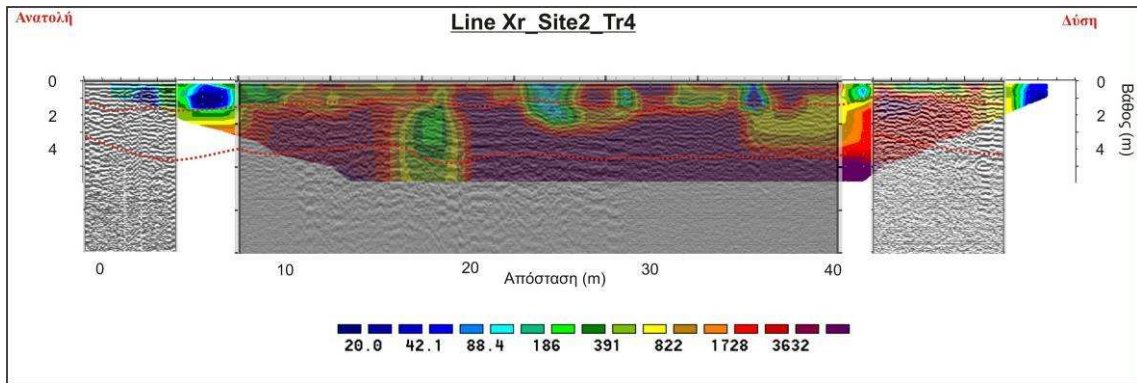
Σχήμα 59: Τομή γεωραντάρ Xr_Site2_Tr4. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν τα πιθανά γεωλογικά στρώματα. Τα κενά στην τομή οφείλονται σε αδυναμία πραγματοποίησης μετρήσεων στις συγκεκριμένες θέσεις

Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ

Στο Σχήμα 60 απεικονίζονται η υπέρθεση των τομών της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ. Ως υπόβαθρο, έχει χρησιμοποιηθεί η γεωηλεκτρική τομή, πάνω στην οποία τοποθετήθηκε η αντίστοιχη τομή του γεωραντάρ ως ημιδιαφανής εικόνα. Οι διακεκομμένες κόκκινες γραμμές αντιστοιχούν στις διεπιφάνειες ανάμεσα στα τρία γεωλογικά στρώματα, όπως προέκυψαν από την ερμηνεία του γεωραντάρ.

Στις τομές αυτές, παρατηρείται αρκετά καλή συμφωνία ως προς το πάχος του πρώτου στρώματος που αποδίδεται στην άμμο. Κάτω από την άμμο, η ηλεκτρική τομογραφία ξεχωρίζει μόνο ένα στρώμα μεγάλων αντιστάσεων που θεωρείται αναξιόπιστο. Από τον συνδυασμό αυτών των στοιχείων προκύπτουν τα εξής:

- Το επιφανειακό στρώμα της άμμου έχει πάχος 0.5-1 m
- Το δεύτερο στρώμα, πάχους περίπου 3 m, αποδίδεται σε ακόρεστο ψαμμιτικό σχηματισμό.
- Το τρίτο στρώμα αποδίδεται πιθανότατα σε κάποια αλλαγή της υφής των ψαμμιτών ή σε ηφαιστειακό πέτρωμα (διαφορετικής περιεκτικότητας σε υγρασία ή/και σε αργιλικά υλικά).



Σχήμα 60: Υπέρθυση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ για την γραμμή μελέτης Xr_Site2_Tr4. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν τους πιθανούς γεωλογικούς σχηματισμούς.

4.3.8 Φαλάσαρνα

Η περιοχή των Φαλασάρνων βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα της Κρήτης και ανήκει στο νομό Χανίων. Στην περιοχή αυτή πραγματοποιήθηκε μια γραμμή μελέτης με την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας συνολικού μήκους 54 m (Σχήμα 61) τον Μάιο του 2009. Γεωλογικά, η περιοχή χαρακτηρίζεται ανθρακικά πετρώματα της ζώνης Τρίπολης, που καλύπτεται από σχηματισμούς του Τεταρτογενούς (άμμοι, αλουβιακές αποθέσεις, ψαμμίτες, μάργες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι).



Σχήμα 61: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης (Google Earth), όπου απεικονίζεται η θέση της γραμμής μελέτης.

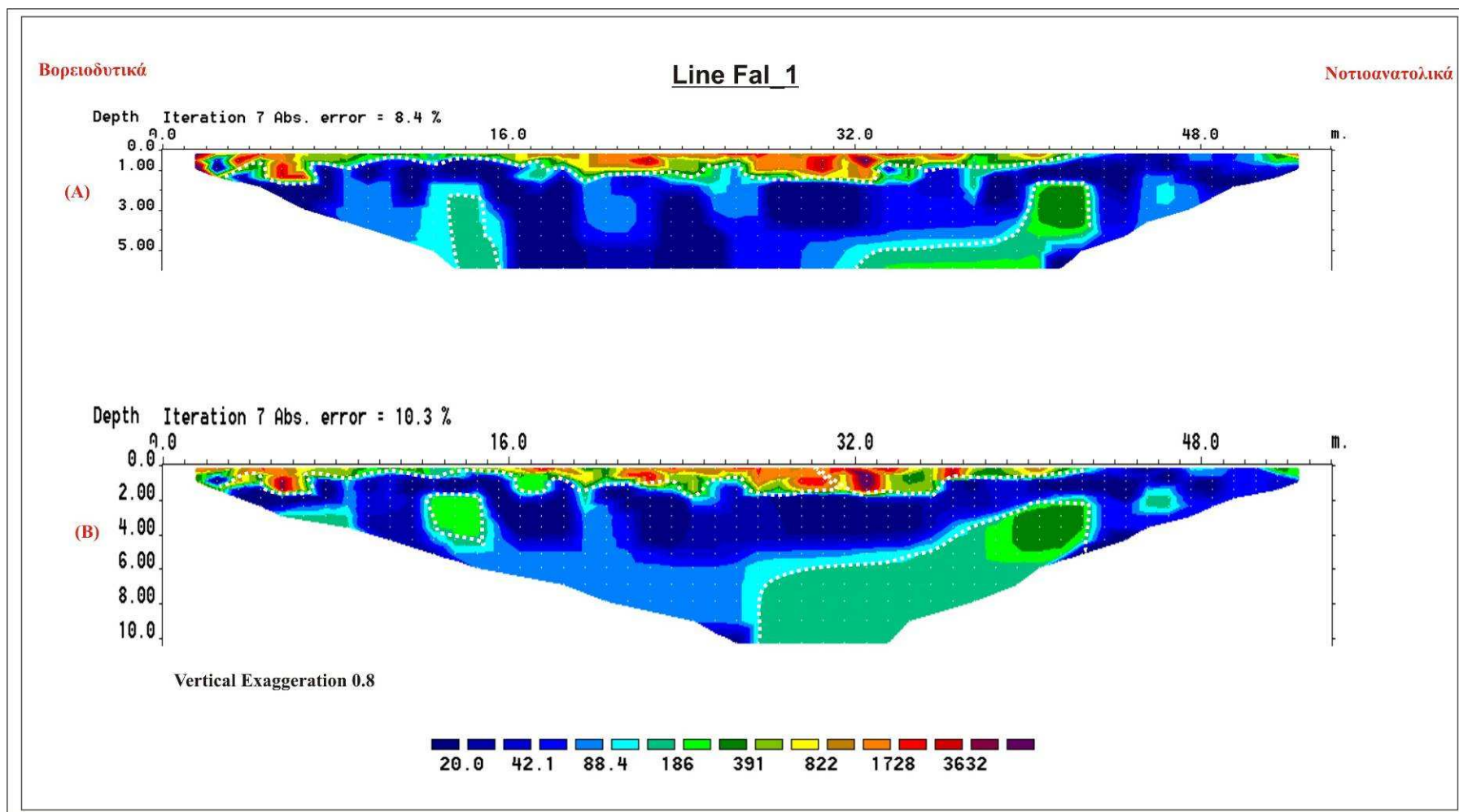
Γραμμή μελέτης Fal_site1_Tr1

Το τέλος της γραμμής μελέτης βρίσκεται σε απόσταση 150 m περίπου από την ακτογραμμή και σε απόλυτο υψόμετρο περίπου 1-2 m. Το μήκος της γραμμής αυτής είναι 54 m και έχει διεύθυνση βορειοδυτικά - νοτιοανατολικά. Επιφανειακά, παρατηρείται βλάστηση (δέντρα κέδρων) στα πρώτα 3 m, σε απόσταση 36-39 m και στο τέλος της γραμμής μελέτης. Σε αυτήν την θέση, δεν ήταν εφικτή η πραγματοποίηση μετρήσεων γεωραντάρ.

Ηλεκτρική τομογραφία

Με βάση τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 62), αλλά και τις επιφανειακές παρατηρήσεις προσδιορίστηκαν οι εξής γεωηλεκτρικές ζώνες:

- Ένα επιφανειακό στρώμα πάχους 0.5 m – 1.5 m με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που κυμαίνονται από 500 μέχρι 2000 Ωm. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε άμμο.
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα που χαρακτηρίζεται από πολύ μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μικρότερες των 20 Ωm). Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε ψαμμίτες κορεσμένους σε νερό. Το πάχος του ξεπερνά τα 8 m στο πρώτο μέρος της γραμμής, ενώ από τα 25 m και μετά το πάχος του μειώνεται φτάνοντας τα 2 m σε κάποιες θέσεις (40-45 m).
- Ένα γεωηλεκτρικό στρώμα που εμφανίζεται από τα 25 m και μετά, σε βάθος 2-6 m από την επιφάνεια. Το στρώμα αυτό έχει σχετικά μεγάλες τιμές (250 - 500 Ωm) και (σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής) αποδίδεται σε ανθρακικούς σχηματισμούς κορεσμένους σε νερό.
- Εντονότερη βλάστηση δέντρων (κέδροι) παρατηρείται στην αρχή και στο τέλος της γραμμής μελέτης, καθώς και στα 36 - 39 m, όπου το πάχος της άμμου είναι πολύ μικρό και οι ψαμμίτες απαντώνται κοντά στην επιφάνεια.



Σχήμα 62: Γεωηλεκτρική τομή Line Fal_1 με την μέθοδο Robust inversion και διάταξη διπόλου-διπόλου. Α) μέχρι βάθος 5m, Β) μέχρι βάθος 10m. Η διακεκομμένη λευκή γραμμή οριοθετεί την άμμο, ενώ η σκιασμένη περιοχή δεν αξιολογείται λόγω θορύβου στις μετρήσεις

5. Συμπεράσματα

Η μοναδικότητα του οικοτόπου 2250, όπως κατέδειξαν τα αποτελέσματα την παρούσας δράσης έγκειται στην ιδιαίτερη σχέση και αμοιβαία εξάρτηση των ειδών *Juniperus* με το γεω-περιβάλλον των παράκτιων θινών. Οι γεωφυσικές τομές έδειξαν ότι το είδος *Juniperus macrocarpa* αναπτύσσεται σε αμμώδες υπόστρωμα βάθους ως δύο μέτρων σε αντίθεση με τα ανταγωνιστικά του είδη (πεύκα) τα οποία αναπτύσσονται σε αργιλώδες υπόστρωμα. Τα ίδια αποτελέσματα δείχνουν ότι αν και οι κέδροι φύονται σε περιοχές που συγκρατούν υγρασία στο υπέδαφος, η εξάπλωση τους δεν εξαρτάται από την ύπαρξη υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

Σε ότι αφορά τη προστασία των αμμοθινών από την απώλεια της άμμου η κατάσταση των επτά περιοχών κρίνεται σε γενικές γραμμές ικανοποιητική. Η περιοχή που δέχεται εντονότερη πίεση είναι αυτή της ανατολικής Χρυσής όπου οι έντονοι άνεμοι τείνουν να παρασύρουν την άμμο από το βόριο τμήμα προς τον νότο. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στον μεγάλο αριθμό επισκεπτών που ασκούν πίεση στη φυσική βλάστηση εμποδίζοντας την ανάπτυξη και εξέλιξη των αμμοθινών στο εμπρόσθιο τμήμα του οικοτόπου. Για την ανάσχεση της απειλής προτείνεται η αποκατάσταση των εμπρόσθιων θινών στην βόρια παραλία μέσω φραχτών και φυτεύσεων σταθεροποιητικών ειδών, η οριοθέτηση διαδρόμων για τους επισκέπτες και ο περιορισμός της διέλευσης των τροχοφόρων μόνο για τις ανάγκες της αποκομιδής των απορριμμάτων

Μια άλλη περιοχή που χρήζει παρέμβασης μέσω της αποκατάστασης της φυσικής βλάστησης είναι η χαμηλότερες εκτάσεις της περιοχής του Σαρακήνικου όπου, λόγω της υπερβόσκησης, η φυσική βλάστηση τόσο του οικοτόπου όσο και των εμπρόσθιων θινών έχει καταστραφεί επιτρέποντας την ανάπτυξη επιφανειακών διαβρωτικών ανέμων.

Καταλήγοντας, τελευταίος αλλά ίσως σημαντικότερος παράγοντας για την μείωση των απειλών και των πιέσεων σε όλες τις περιοχές είναι η ενημέρωση τόσο των επισκεπτών όσο και των αρμόδιων για τη διαχείριση φορέων. Ελλείψει ενημέρωσης, ακόμα και όταν υπάρχει η ευαισθησία και διάθεση για προστασία οι επισκέπτες μπορεί να ακολουθούν λανθασμένες πρακτικές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η κοπή των χαμηλότερων, ξερών κλαδιών των δέντρων τα οποία όταν απομακρύνονται οδηγούν στη αύξηση της έντασης των ανέμων κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και την αιολική διάβρωση της άμμου.

Βιβλιογραφία

- Βαφείδης, Α. και Αμολοχίτης, Γ., 1992, Γεωφυσική έρευνα με γεωηλεκτρικές και σεισμικές διασκοπήσεις στον οικισμό Άνω Μέρους, Ν. Ρεθύμνης, Έκθεση, Νομαρχιακό Ταμείο Ρεθύμνης, Πολυτεχνείο Κρήτης, σελ. 9.
- Βαφείδης, Α., Μονόπωλης, Δ., Αμολοχίτης, Γ. και Στειακάκης, Μ., 1991, Γεωφυσική έρευνα με γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις στην κοιλάδα του Κερίτη ποταμού, Έκθεση, ΓΓΕΤ, ΟΑΔΥΚ, Πολυτεχνείο Κρήτης, σελ. 11.
- Adriani, M. J., & Terwindt, J. H. J. 1974. Sand stabilization and dune building. The Hague: Government Publishing Office.
- Aufrere, L. 1931. Le cycle morphologique de dunes. Geogr. Ann. 40, 362-385.
- Aufrere, L. 1933. Classification des dunes. Int. Geogr. Congr. Paris C. R., Actes 2, 699-711.
- Bagnold, R. A. 1941. The physics of blown sand and desert dunes. London: Methuen.
- Bergmeier, E., 2001. Seasonal pools in the vegetation of Gavdos (Greece)—in situ conservation required. *Boccone* 13: 511–516.
- Breed, C. S., & Grow, T. 1979. Morphology and distribution of dunes in sand seas observed by remote sensing. In E. D. McKee (Ed.), *A study of global sand seas* (pp. 253-302). Prof. Pap. US Geol. Surv. (No. 1052)
- Bryan, K. 1932. Characteristic forms of dune fields. *Geogr. Rev.* 22, 325-327.
- Carter, R.W.G. and Wilson, P., 1990. The geomorphological, ecological and pedological development of coastal foredunes at Magilligan Point, North Ireland. In: NORDSTRON, K.F.; PSUTY, N.P., and CARTER, B. (eds.), *Coastal Dunes, Form and Processes*. Chichester, UK: Wiley & Sons Ltd., pp. 129–157.
- El-Baz, F. 1986. The formation and motion of dunes and sand seas. In F. El-Baz & M. H. A. Hassan (Eds.), *Physics of desertification* (pp. 70-93). Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- Hack, J. T. 1941. Dunes of the western Navajo country. *Geogr. Rev.* 31, 240-263.
- Holm, D. A. 1968. Sand dunes. In R. W. Fairbridge (Ed.), *The encyclopedia of geomorphology*. New York: Reinhold.
- Hunter, R. E., Richmond, B. M., & Alpha, T. R. 1983. Storm-controlled oblique dunes of the Oregon coast. *Bull. Geol. Soc. Am.* 94, 1450-1465.
- Kadib, A. 1964. Calculation procedure for sand transport by wind on natural beaches. (Misc. Pap. no. 2-64.) Fort Belvoir, VA: Coastal Engineering Research Center.
- Kawamura, R. 1951. Study of sand movement by wind. Rep. Inst. Sci. Technol., Tokyo, 5, 95-112.
- Kuhlman, H. 1960. The terminology of the geo-aeolian environment. *Geogr. Tidsskr.* 59, 70-88.
- Livingstone, I. and Warren, A. (1996) *Aeolian Geomorphology* (Addison Wesley Longman, Harlow, United Kingdom), p. 211.
- Mabbutt, J. A. 1977. *Desert landforms*. Cambridge: MIT Press.

- Mainguet, M., & Callot, Y. 1974. Air photo study of typology and interrelations between the texture and structure of dune patterns in the Fachi-Bilma Erg, Sahara. *Z. Geomorph. Suppl. Bd. 20*.
- Mainguet, M. 1983. Dunes vives, dunes fixées, dunes vetues: une classification selon le bilan d'alimentation, le régime éolien et la dynamique des édifices sableux. *Z. Geomorph. Suppl. Bd. 45*, 265-285.
- Mainguet, M. 1984b. A classification of dunes based on aeolian dynamics and the sand budget. In: F. El-Baz (Ed.), *Deserts and arid lands* (pp. 31-58). The Hague: Martinus Nijhoff.
- Martinez, M.L., and Psuty N.P. (eds.) 2004. *Coastal dunes: ecology and conservation*. 386 pp. Berlin: Springer-Verlag. (Ecological Studies 171.)
- McKee, E. D., & Breed, C. S. 1974. An investigation of major sand seas in desert areas throughout the world. In S. C. Freden, E. P. Mercanti, & M. A. Becker (Eds.), *Third Earth Resources Technology Satellite - 1. Symposium* (pp. 665-678). Washington, DC: NASA. (SP-351)
- McKee, E. D. 1979a. Introduction to a study of global sand seas. In E. D. McKee (Ed.), *A study of global sand seas* (pp. 1-19). Prof. Pap. US Geol. Surv. No. 1052.
- McKee, E. D. 1979b. Ancient sandstones considered to be eolian. In E. D. McKee (Ed.), *A study of global sand seas* (pp. 187-238). Prof. Pap. US Geol. Surv. No. 1052.
- McKee, E. D. 1983. Eolian sand bodies of the world. In M. E. Brookfield & T. S. Ahlbrandt (Eds.), *Eolian sediments and processes* (pp. 1-25). Amsterdam: Elsevier.
- McKee, E. D., Breed, C. S., & Fryberger, S. G. 1977. Desert sand seas. In *Skylab explores the Earth* (pp. 5-48). Washington, DC: NASA. (SP-380)
- Melton, F. A. 1940. A tentative classification of sand dunes - its application to dune history in the southern High Plains. *J. Geol.* 48, 113-174.
- Rackham, O. & J. Moody, 1996. *The Making of the Cretan Landscape*. Manchester University Press, Manchester.
- Ranwell, D. S., & Boar, R. 1986. *Coast dune management guide*. Monks Wood Experimental Station: Institute of Terrestrial Ecology.
- Smith, H. T. U. 1946. Sand dunes. *Trans. New York Acad. Sci.* 8, 197-199. (Ser. 2)
- Smith, H. T. U. 1953. Classification of sand dunes (abstr.). C.R. 19th Int. Geol. Congr. Algiers 1952, 105.
- Smith, H. T. U. 1963. Eolian geomorphology, wind direction and climatic change in north Africa. Final report, Bedford Geophysics Research Directorate, Air Force Cambridge Research Laboratories, AFCRL-63-443.
- Thomas, D. S. G. (Ed.). 1989a. *Arid zone geomorphology*. London: Belhaven Press.
- Thomas, D. S. G. 1989b. Aeolian sand deposits. In D. S. G. Thomas (Ed.), *Arid zone geomorphology* (pp. 232-261). London: Belhaven Press.
- Wasson, R. J., & Hyde, R. 1983a. Factors determining desert dune type. *Nature* 304, 337-339.

Παραρτήματα

Παράρτημα 1:
Φόρμα παρατηρήσεων στο πεδίο

Observation No:

Site:

Date:

Plot/Relevé

Coordinates:

Altitude:

Weather conditions/Time of Day:

Geomorphic description:

Main land. forming process:

Parent material:

Position:

Slope:

Aspect

Curvature: I) vertical

II) horizontal

Micro topography:

% of Bare rocks at surface

Evidence of cut, fill, compacted or disturbed areas

Flooding or run-on potential of site

Coarse fragments at surface (%):

Fine gravel (0.2-0.6cm)

Medium gravel (0.6-2.0cm)

Coarse gravel (2-6cm)

Stones (6-20cm)

Boulders (20-60cm)

Large boulders (60-200cm)

Erosion:

SOIL PROFILE DESCRIPTION

Sym.	Depth	Colour	Structure	Texture			Stoniness						HC1
				Sd	Cl	Lm	F	M	C	S	B	L	

Vegetation:

Comments

Παράρτημα 2:
Μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας

ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

1 Εισαγωγή

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι έχουν σαν στόχο τον προσδιορισμό των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης. Η μετρούμενη ποσότητα είναι η ηλεκτρική τάση, από την οποία επιδιώκεται ο καθορισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της κατανομής των τιμών της μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης.

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι η πιο διαδεδομένη από τις ηλεκτρικές μεθόδους τόσο από τη λειτουργική πλευρά όσο και από τη θεωρητική πλευρά. Έχει σκοπό τον καθορισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους, ή καλύτερα την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος που ονομάζεται γεωηλεκτρική δομή. Αυτό επιτυγχάνεται με την δημιουργία τεχνητών ηλεκτρικών πεδίων. Το ηλεκτρικό πεδίο επηρεάζεται από τη δομή του υπεδάφους επομένως από τις μετρήσεις του δυναμικού είναι δυνατός ο καθορισμός της δομής.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ , είναι η ηλεκτρική ιδιότητα των πετρωμάτων που υπολογίζεται από την σχέση:

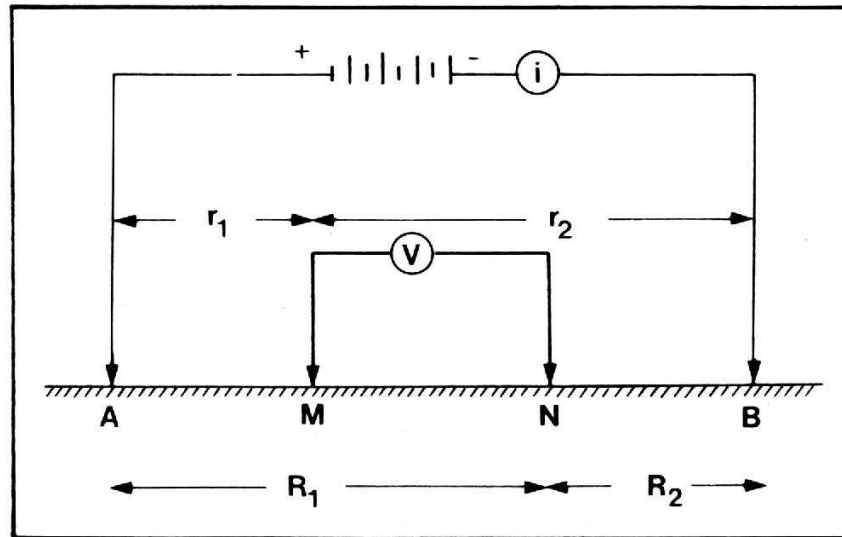
$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (\Sigma.1)$$

Η μονάδα μέτρησης της ειδικής αντίστασης στο διεθνές σύστημα μονάδων, SI, είναι το Ωm , μερικές φορές χρησιμοποιείται και η μονάδα $1 \Omega cm$ όπου $1 \Omega m = 100 \Omega cm$. Το αντίστροφο, $\sigma = 1/\rho$, της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα του πετρώματος, με μονάδα μέτρησης στο διεθνές σύστημα το Siemens/m.

Το Σχήμα Π.1 αντιπροσωπεύει μια τυπική διάταξη ηλεκτροδίων που χρησιμοποιείται στη μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Υπάρχουν τα ηλεκτρόδια ρεύματος AB που είναι συνδεδεμένα με το αμπερόμετρο για τον υπολογισμό της έντασης του ρεύματος που εισάγεται στο έδαφος, ενώ τα ηλεκτρόδια MN είναι τα ηλεκτρόδια τάσης, που συνδέονται με βολτόμετρο για τη μέτρηση της τάσης. Εφαρμόζοντας το νόμο του ohm προκύπτει ότι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\rho = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} \quad (\Sigma.2)$$

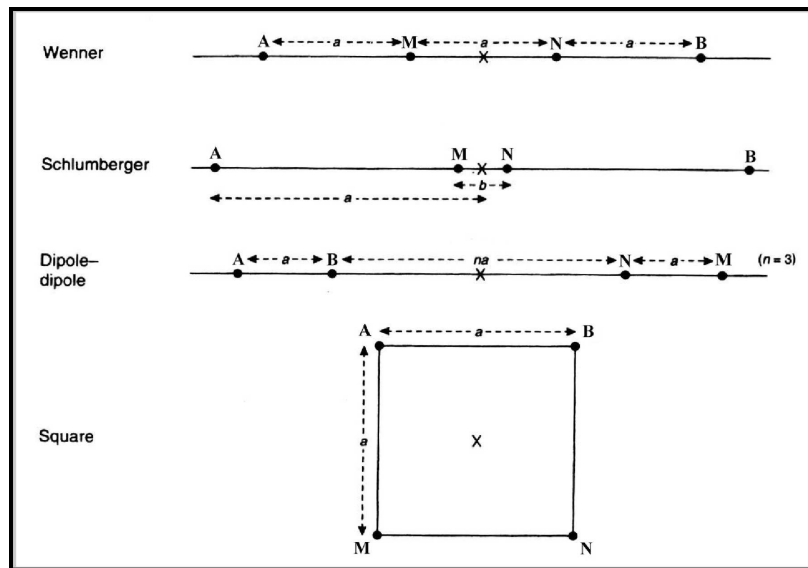
Η παραπάνω σχέση προέκυψε θεωρώντας ότι τα επιφανειακά στρώματα της Γης είναι ομογενή, αυτό όμως δεν ισχύει καθώς η ειδική ηλεκτρική αντίσταση δεν είναι σταθερή σε αυτά. Η αντίσταση που υπολογίζεται από την προηγούμενη σχέση εκφράζει το μέσο όρο των τιμών των αντιστάσεων των διαφόρων υλικών που βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα και ονομάζεται φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ_a).



Σχήμα Π.1: Τυπική διάταξη ηλεκτροδίων ρεύματος (A, B) και δυναμικού (M, N).

Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από την κατανομή της ειδικής αντίστασης στο υπέδαφος και από τη γεωμετρία των ηλεκτροδίων. Ο υπολογισμός της είναι πολύ σημαντικός και οδηγεί στον καθορισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους.

Υπάρχουν πολλές διατάξεις ηλεκτροδίων που εφαρμόζονται σήμερα στην ύπαιθρο (Σχήμα 5.2), ανάλογα με την περιοχή, το μέγεθος των δομών που αναμένονται, τον εξοπλισμό και την εξοικείωση του προσωπικού. Οι κυριότεροι παράγοντες κατά την επιλογή της διάταξης στην ηλεκτρική διασκόπηση είναι το μέγιστο βάθος διασκόπησης και η διακριτική ικανότητα τους. Οι διατάξεις στις οποίες χρησιμοποιούνται δίπολα (διπόλου – διπόλου, πόλου – διπόλου) έχουν μεγαλύτερο βάθος διασκόπησης για συγκεκριμένο ανάπτυγμα ηλεκτροδίων σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους. Χαρακτηρίζονται την μεγάλη πλευρική διακριτική ικανότητα. Οι διατάξεις Wenner και Schlumberger έχουν καλύτερη διακριτική ικανότητα στην κατακόρυφη διεύθυνση σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις.



Σχήμα Π.2 : Διατάξεις ηλεκτροδίων.

2 Ηλεκτρική τομογραφία

Η ηλεκτρική τομογραφία ανήκει στις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης και συμβάλλει στη λεπτομερή απεικόνιση του υπεδάφους, καθώς είναι μέθοδος υψηλής διακριτικής ικανότητας. Στην ηλεκτρική τομογραφία, η περιγραφή της γεωλογικής δομής βασίζεται στη μελέτη των μεταβολών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά την οριζόντια και την κατακόρυφη διεύθυνση, εντοπίζοντας έτσι ασυνέχειες κατά την οριζόντια ανάπτυξη των σχηματισμών, όπως ρήγματα ή έγκοιλα.

Μια σειρά από μετρήσεις της φαινόμενης ειδικής αντίστασης πραγματοποιείται μετακινώντας τη διάταξη των ηλεκτροδίων από θέση σε θέση κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται επεξεργασία των τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης χρησιμοποιώντας κάποιο λογισμικό πακέτο για τον υπολογισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Η ηλεκτρική τομογραφία χρησιμοποιείται για την χαρτογράφηση περιοχών περίπλοκης γεωλογικής δομής όπου η συμβατική μέθοδος της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης είναι ανεπαρκής. Τέτοιες διασκοπήσεις πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας 28 ηλεκτρόδια ή περισσότερα τα οποία τοποθετούνται πάνω στην γραμμή μελέτης με αύξουσα σειρά (το πρώτο ηλεκτρόδιο ακολουθείται από του δεύτερο και το κάθε εξής). Μια κεντρική μονάδα υπολογιστή επιλέγει αυτόματα τα ενεργά ηλεκτρόδια που θα χρησιμοποιηθούν για κάθε μέτρηση, αναλόγως της διάταξης που έχει επιλεγεί από την χρήση πριν από την έναρξη των μετρήσεων. Τα δεδομένα της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης από αυτές τις διασκοποήσεις

τακτοποιούνται σε μια ψευδοτομή που δίνει μια πρώτη εκτίμηση για την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος.

Το επόμενο βήμα είναι η αντιστροφή των τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε πραγματικές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την ορθή ερμηνεία και ακριβές προσδιορισμό επιθυμητών βαθών.

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται από το εργαστήριο εφαρμοσμένης γεωφυσικής είναι το RES2DINV. Το πρόγραμμα αυτό χωρίζει το υπέδαφος σε έναν αριθμό παραλληλογράμμων και θεωρεί σταθερή την πραγματική ειδική αντίσταση σε κάθε ορθογώνιο. Ξεκινώντας από αρχικό μοντέλο το οποίο προκύπτει θέτοντας κάποια τιμή για την πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση υπολογίζει τις τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης που αντιστοιχούν στο μοντέλο αυτό και τις συγκρίνει με τις μετρημένες τιμές της φαινόμενης αντίστασης.

Κάνοντας διαδοχικές επαναλήψεις μειώνεται συνεχώς το σφάλμα. Τελικά επιλέγεται ένα μοντέλο με μικρό σφάλμα όταν οι επόμενες επαναλήψεις δεν μειώνουν σημαντικά το σφάλμα αυτό, δηλαδή όταν η επαναληπτική διαδικασία παρουσιάζει σύγκλιση.

Προκύπτουν τρία μοντέλα, όπου το πρώτου παρουσιάζει το τις τιμές της μετρούμενης φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, το δεύτερο τις υπολογιζόμενες τιμές από το πρόγραμμα, ενώ το τελευταίο παρουσιάζει την κατανομή της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, δηλαδή την γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους

3 Ειδική ηλεκτρική αντίσταση εδαφών

Οι χαρακτηριστικές τιμές των ειδικών αντιστάσεων, οι οποίες προέκυψαν από γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις αναφοράς, από μετρήσεις της ειδικής αντίστασης σε θέσεις όπου τα πετρώματα εμφανίζονται στην επιφάνεια και από προηγούμενες μελέτες (Βαφείδης και συνεργάτες, 1991, Βαφείδης και Αμολοχίτης 1992), συνοψίζονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1 : Τιμές ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων πετρωμάτων.

ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ωm)
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ	80-250
ΝΕΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ	
Άργιλοι	2-20
Μάργες	20-60
Άμμοι και Χαλίκια κορεσμένα	50-500
Εβαπορίτες (Γύψοι)	200

Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι	150-500
Κροκαλοπαγή βάσεως	200-300
Ψαμμίτες	50-70
ΑΛΠΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ	
Φλύσχης	70-80
Σχιστόλιθοι-Οφιόλιθοι	100-300
Ασβεστόλιθοι	>500

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

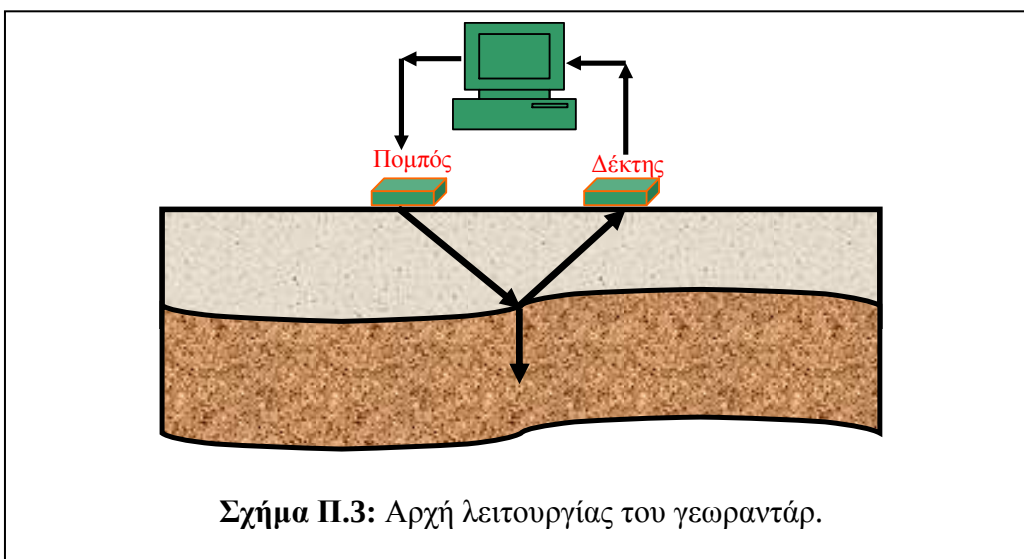
- Βαφείδης, Α. και Αμολοχίτης, Γ., 1992**, Γεωφυσική έρευνα με γεωηλεκτρικές και σεισμικές διασκοπήσεις στον οικισμό Άνω Μέρους, Ν. Ρεθύμνης, Έκθεση, Νομαρχιακό Ταμείο Ρεθύμνης, Πολυτεχνείο Κρήτης, σελ. 9.
- Βαφείδης, Α., Μονόπωλης, Δ., Αμολοχίτης, Γ. και Στειακάκης, Μ., 1991**, Γεωφυσική έρευνα με γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις στην κοιλάδα του Κερίτη ποταμού, Έκθεση, ΓΓΕΤ, ΟΑΔΥΚ, Πολυτεχνείο Κρήτης, σελ. 11.

Παράρτημα 3: Μέθοδος του Γεωραντάρ

ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ

1. ΒΑΣΙΚΗ ΑΡΧΗ

Το γεωραντάρ εκπέμπει μικρής διάρκειας ηλεκτρομαγνητικό παλμό από μια κεραία πομπό, ο οποίος ταξιδεύει στο υπέδαφος με ταχύτητα η οποία εξαρτάται κυρίως από την ηλεκτρική διαπερατότητα του υλικού (είναι αντιστρόφως ανάλογη με την τετραγωνική ρίζα της ηλεκτρικής διαπερατότητας). Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδίδεται στο υπέδαφος ωσότου συναντήσει αντικείμενο με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες σε σχέση με το περιβάλλον του. Το κύμα ανακλάται στο αντικείμενο και φτάνει στην κεραία δέκτη όπου και καταγράφεται (Σχήμα 1).



Ο χρόνος που χρειάζεται το ηλεκτρομαγνητικό κύμα να διαδοθεί από τον πομπό στο δέκτη ανεξαρτήτως της διαδρομής του, ονομάζεται χρόνος διαδρομής. Βασική μονάδα μέτρησης του χρόνου διαδρομής είναι το νάνο-δευτερόλεπτο ($1ns = 10^{-9}s$). Αν η κεραία δέκτη αρχίσει να καταγράφει τη στιγμή που εκπέμπει η κεραία πομπός, δυο κύρια είδη κυμάτων πρόκειται να καταγραφούν. Το πρώτο είδος αφορά το κύμα που ταξιδεύει απ' ευθείας από τον πομπό στον δέκτη μέσω του αέρα. Αυτό το κύμα αφενός μεν φτάνει πρώτο επειδή η ταχύτητα διάδοσης στον αέρα είναι μεγαλύτερη απ' ότι σε οποιοδήποτε υλικό, αφετέρου δε έχει μεγάλο πλάτος αφού δεν υφίσταται εξασθένιση. Το δεύτερο είδος κύματος που καταγράφεται αφορά αυτό που διαδίδεται στο υπέδαφος. Η καταγραφή του πλάτους των κυμάτων ονομάζεται ίχνος και αποτελεί το

ιστορικό της διαδρομής τους από τον πομπό στον δέκτη δια μέσου του υλικού, περιλαμβάνοντας όλες τις διαδρομές που ακολούθησε.

Όπως αναφέρθηκε, όταν το κύμα συναντήσει υλικό με διαφορετική ηλεκτρική διαπερατότητα αλλάζει κατεύθυνση δηλαδή διαθλάται ή ανακλάται. Περίθλαση συμβαίνει όταν το κύμα συναντήσει εμπόδια τα οποία το αναγκάζουν να διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις. Αντήχηση συμβαίνει όταν το κύμα παγιδευτεί σε κάποιο γεωλογικό στρώμα. Σε τέτοιες περιπτώσεις το κύμα ανακλάται πολλές φορές με συνέπεια τη δημιουργία πολλαπλών ανακλάσεων.

2 Εφαρμογές

Οι εφαρμογές του γεωραντάρ μπορούν να διακριθούν ουσιαστικά σε δύο κατηγορίες. Για γεωλογικούς σκοπούς, που το βάθος διασκόπησης είναι σημαντικότερο από την διακριτική ικανότητα και όπου χρησιμοποιούνται κεραίες των 50MHz ή και μεγαλύτερες. Για εφαρμογές στις επιστήμες των μηχανικών και στις μη καταστροφικές δοκιμές (Non Destructive Testing, NDT) όπου η διακριτική ικανότητα είναι το ζητούμενο, οι κεραίες που χρησιμοποιούνται είναι της τάξης των 500-2000MHz.

Η ικανότητα του γεωραντάρ να προσφέρει λεπτομερείς πληροφορίες για το ρηχό υπέδαφος έχει αναφερθεί σε πλήθος εφαρμογών. Αυτές αφορούν τον εντοπισμό ρωγμών και αστοχιών σε πετρώματα, τον προσδιορισμό την στρωματογραφίας, αρχαιολογική έρευνα, τον έλεγχο της ποιότητας ασφαλοτάπητα, , διάβρωση, προσδιορισμό της διαπερατότητας, εντοπισμό υγρών ρύπων στο υπέδαφος, τον εντοπισμό εγκοίλων και άλλες.

Παράρτημα 4:
Δοκιμαστική γραμμή Γεωφυσικής Διασκόπησης T0

Δοκιμαστική γραμμή Γεωφυσικής Διασκόπησης T0

Η γραμμή T0 βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης, σε απόσταση 100 m περίπου που από την ακτογραμμή, έχει μήκος 26 m και διευθύνεται από δύση προς ανατολή. Στην γραμμή αυτή πραγματοποιήθηκε ηλεκτρική τομογραφία και γεωραντάρ. Ειδικά για την ηλεκτρική τομογραφία, πραγματοποιήθηκε μια γραμμή μελέτης από τα 6 – 19 m με απόσταση a ανάμεσα από τα ηλεκτρόδια 0.5 m, για την εύρεση της βέλτιστης απόστασης ηλεκτροδίων.

Ηλεκτρική τομογραφία

Η δοκιμαστική γραμμή είχε ως στόχο τον καθορισμό της κατάλληλης διάταξης και γεωμετρίας που θα δώσει τα βέλτιστα αποτελέσματα με το μικρότερο πιθανό χρονικό κόστος. Δοκιμάστηκαν οι διατάξεις Wenner-Schlumberger (καλή αναλογία σήμα/θορύβου και κατακόρυφη ανάλυση, παράρτημα Α) και διπόλου-διπόλου (ευαίσθησία στο θόρυβο αλλά πολύ καλή πλευρική ανάλυση, παράρτημα Α), καθώς επίσης και 2 διαφορετικές αποστάσεις (a) των ηλεκτροδίων (0.5 m και 1 m).

Στα δεδομένα της ηλεκτρικής τομογραφίας πραγματοποιήθηκε επεξεργασία με δύο μεθόδους: (α) με τη μέθοδο ελάχιστων τετραγώνων και περιορισμό εξομάλυνσης (smoothness constrained inversion) όπου η αλλαγή της ειδικής αντίστασης ανάμεσα από διαφορετικές γεωηλεκτρικές ζώνες γίνεται με ομαλό τρόπο και (β) με την ελαχιστοποίηση της νόρμας L1 (robust inversion) που τονίζει την ύπαρξη απότομων ορίων μεταξύ των διαφορετικών γεωηλεκτρικών ζωνών.

Η γεωηλεκτρικές τομές που προέκυψαν με την χρήση του περιορισμού εξομάλυνσης και την ελαχιστοποίηση της νόρμας L1 φαίνονται στα Σχήματα 4.3 και 4.4, αντίστοιχα, όπου πάνω στην γραμμή μελέτης έχουν τοποθετηθεί, τόσο οι θέσεις των κέδρων (Σχήμα Π4.2), όσο και οι θέσεις λήψης δειγμάτων ($\Delta 1$ και $\Delta 2$) μέχρι βάθος 1 m.

Σε όλες τις τομές παρατηρείται μια επιφανειακή γεωηλεκτρική ζώνη πάχους 2-3m με τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης να κυμαίνονται από 400 έως 800 Ωm . Η ζώνη αυτή αποδίδεται σε άμμο. Οι σχετικά χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης της άμμου αποτελούν ένδειξη της μεγάλης περιεκτικότητας της σε υγρασία, παρόλο που βρίσκεται πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Αυτό δικαιολογείται από την εποχή που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις (24 Απριλίου 2009 και μετά από βροχή).

Σε μεγαλύτερα βάθη, παρατηρείται ένα γεωηλεκτρικό στρώμα με χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μικρότερες των 50 Ωm) και επειδή δεν ήταν εφικτή η λήψη δειγμάτων από το στρώμα αυτό λόγω της σκληρότητας του, αποδόθηκε σε κορεσμένο συνεκτικό σχηματισμό. Οι χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αποτελούν ένδειξη της παρουσίας νερού σε αυτό το στρώμα, ενώ λόγω έλλειψης γεωλογικών στοιχείων δεν είναι ξεκάθαρο αν το στρώμα αυτό αντιστοιχεί σε Τεταρτογενείς λατύπες ανθρακικής σύστασης ή σε αργιλικό ψαμμίτη του Νεογενούς. Ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται σε βάθος 2 με 3 m από την επιφάνεια, στην διεπιφάνεια μεταξύ άμμου και του βραχώδους στρώματος.

Στο επιφανειακό στρώμα, αξιοσημείωτη είναι η περιοχή που βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα της γραμμής (16 – 24 m από την αρχή της γραμμής) όπου οι επιφανειακές αντιστάσεις παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές (300-400 Ω m). Αυτό πιθανόν να οφείλεται, είτε σε μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε υγρασία, η οποία δικαιολογεί και την πιο έντονη βλάστηση στο τέλος της γραμμής μελέτης, είτε στην ανύψωση του βράχου σε αυτό τμήμα, καθώς ο βράχος παρατηρείται επιφανειακά κοντά στην γραμμή μελέτης σε αυτό το τμήμα. Τοπικές υψηλές αντιστάσεις (μεγαλύτερες από 1000 Ω m) παρουσιάζονται στο επιφανειακό στρώμα, οφείλονται πιθανόν σε ακόρεστο κροκαλοπαγές, το οποίο παρατηρείται και επιφανειακά στη περιοχή της γραμμής μελέτης. Συγκεκριμένα όμως, η γεωηλεκτρική ανωμαλία σε απόσταση 12-16 m από την αρχή της γραμμής μελέτης, ενδεχομένως συσχετίζεται με το ριζικό σύστημα των δέντρων.



Σχήμα Π4.2: Φωτογραφία της θέσης της δοκιμαστικής γραμμής T0, η οποία διέρχεται ανάμεσα από τα δέντρα των κέδρων.

Τονίζεται ότι τα αποτελέσματα της διάταξης διπόλου-διπόλου (Σχήματα Π4.3 και Π4.4 Β και D) παρέχουν περισσότερη πληροφορία για τις πλευρικές αλλαγές στο υπέδαφος και για αυτό προτιμήθηκε από την διάταξη Wenner-Schlumberger (Σχήματα Π4.3 και Π4.4 Α και C).

Η μικρότερη (0.5 m) απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων (Σχήματα Π4.3 και Π4.4 C και D) εξασφαλίζει καλύτερη ανάλυση σε σχέση με την μεγαλύτερη (1 m) (Σχήματα Π4.3 και Π4.4 Α και Β), δίνοντας πληροφορία και για το ριζικό σύστημα των δέντρων. Ωστόσο, οι διαφορές μεταξύ των αντίστοιχων γεωηλεκτρικών τομών δεν είναι τόσο μεγάλες ώστε να δικαιολογούν το χρονικό κόστος που θα απαιτούσε τόσο μεγάλη

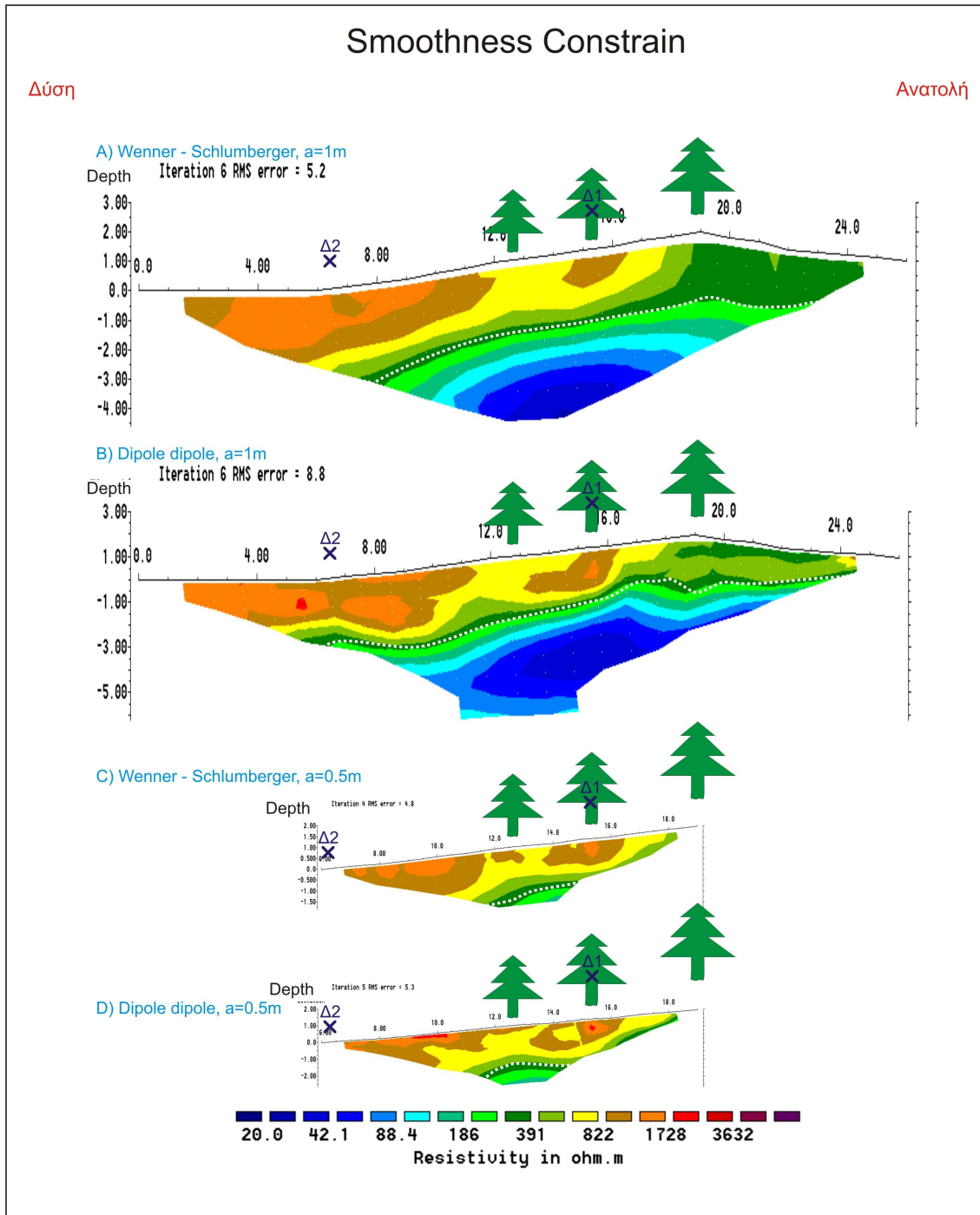
ανάλυση. Για το λόγο αυτό, κρίθηκε κατάλληλη η χρήση του 1 m ως απόσταση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια.

Όσον αφορά στην μέθοδο επεξεργασίας, είναι σαφές ότι η μέθοδος Robust inversion (Σχήμα Π4.4) τονίζει καλύτερα της τοπικές γεωηλεκτρικές ανωμαλίες σε σχέση με την μέθοδο smoothness constrained (Σχήμα Π4.3) και για αυτό χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των υπόλοιπων γραμμών μελέτης.

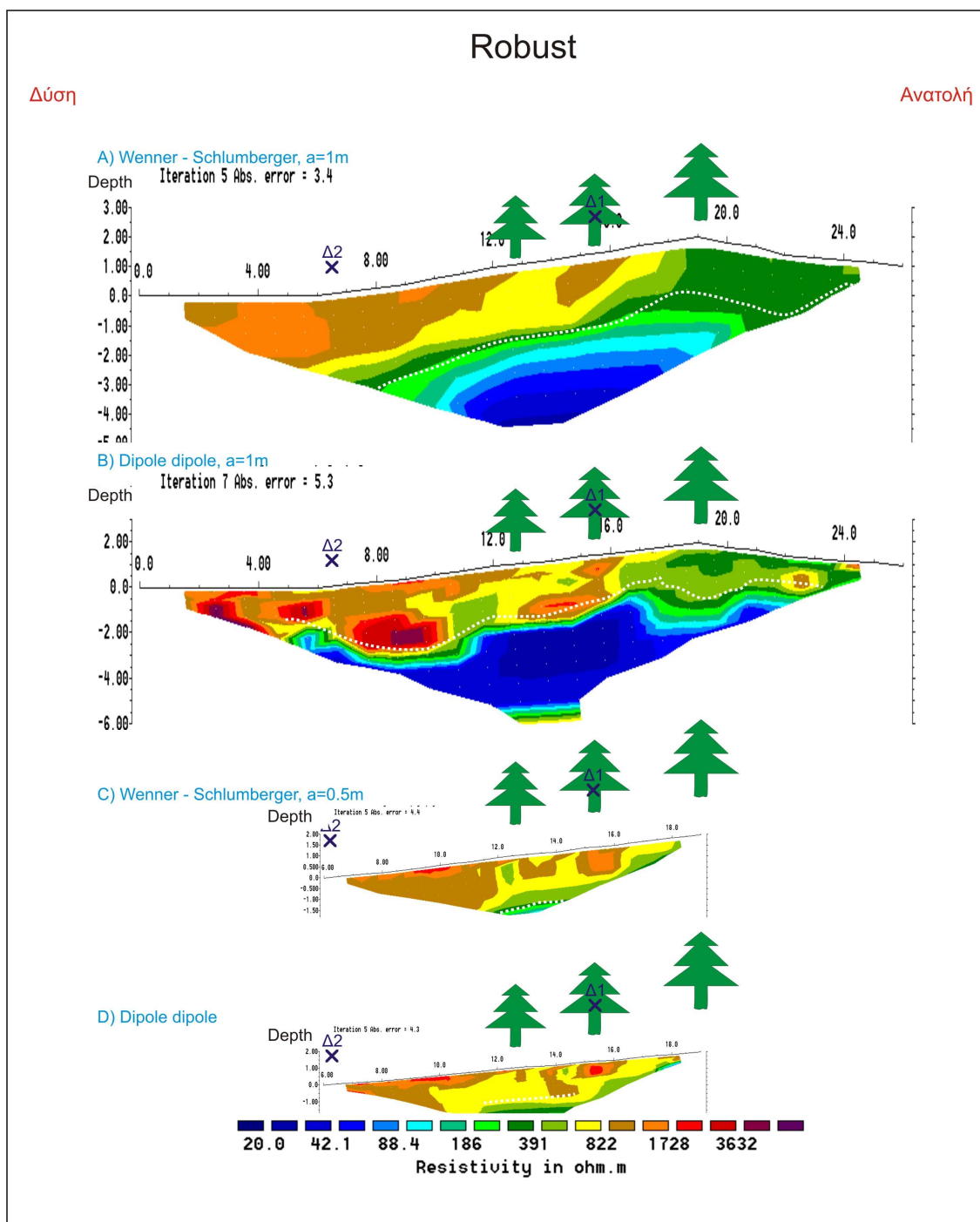
Γεωραντάρ

Η δοκιμαστική γραμμή γεωραντάρ διασκοπήθηκε, αφενός για να εξακριβωθεί η καταλληλότητα της χρήσης των κεραιών 225 MHz για την απεικόνιση των αναμενόμενων στόχων και αφετέρου για επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων της ηλεκτρικής τομογραφίας. Η επιλογής των συγκεκριμένων κεραιών έγινε με βάση το απαιτούμενο βάθος διασκόπησης. Το βήμα δειγματοληψίας κατά μήκος της γραμμής ήταν 0.1 m που θεωρείται κατάλληλο για τέτοιου είδους κεραίες. Η ταχύτητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του βάθους είναι 0.06 m/ns, η οποία θεωρείται χαρακτηριστική για την υγρή άμμο.

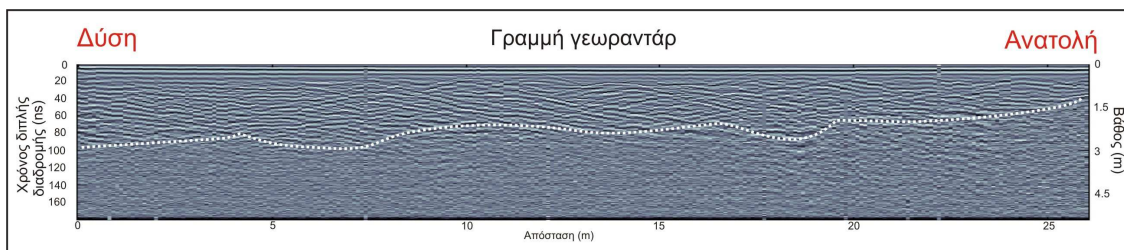
Η τομή γεωραντάρ (Σχήμα Π4.5) δείχνει την ύπαρξη δύο γεωλογικών σχηματισμών, όπως παρατηρήθηκε και στην μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας. Χαρακτηριστική είναι η μεγάλη απόσβεση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο δεύτερο στρώμα, που αποτελεί και ένδειξης αυξημένης υγρασίας.



Σχήμα Π4.3: Τομές ηλεκτρικής τομογραφίας της δοκιμαστικής γραμμής (Line T0) που προέκυψαν με την μέθοδο smoothness constrained inversion. Με διακεκομμένη λευκή γραμμή διαχωρίζονται τα δύο γεωηλεκτρικά στρώματα. Α) διάταξη Wenner-Schlumberger με $a=1\text{ m}$, Β) διάταξη διπόλου – διπόλου με $a=1\text{ m}$, Γ) διάταξη Wenner-Schlumberger με $a=0.5\text{ m}$ και Δ) διάταξη διπόλου – διπόλου με $a=0.5\text{ m}$.



Σχήμα Π4.4: Τομές ηλεκτρικής τομογραφίας της δοκιμαστικής γραμμής (Line T0) που προέκυψαν με την μέθοδο Robust inversion. Με διακεκομμένη λευκή γραμμή διαχωρίζονται τα δύο γεωηλεκτρικά στρώματα. Α) διάταξη Wenner-Schlumberger με $a=1\text{ m}$, Β) διάταξη διπόλου – διπόλου με $a=1\text{ m}$, Γ) διάταξη Wenner-Schlumberger με $a=0.5\text{ m}$ και Δ) διάταξη διπόλου – διπόλου με $a=0.5\text{ m}$.

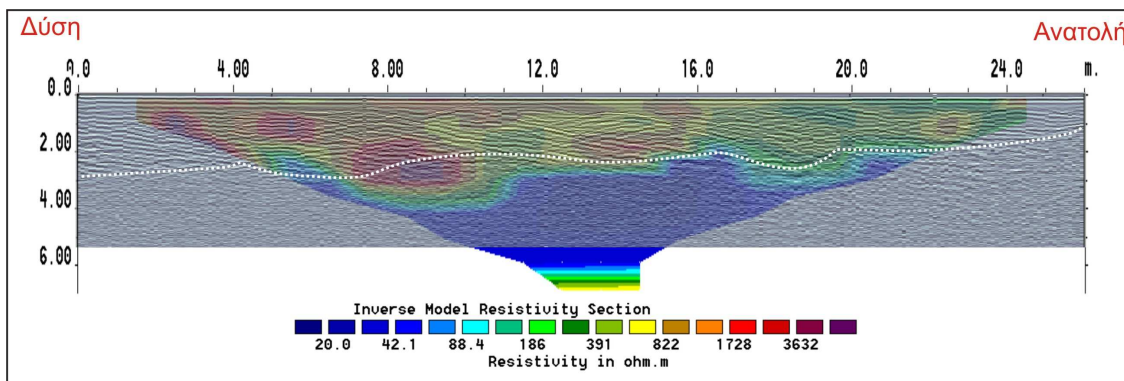


Σχήμα Π4.5: Τομή γεωραντάρ της δοκιμαστικής γραμμής (Line T0). Η διακεκομμένη γραμμή τονίζει την πιθανή θέση του υδροφόρου αλλά και την αλλαγή στρωμάτων.

Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ

Οι τομές της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ, συνδυάστηκαν για πιο αξιόπιστη ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων. Γενικότερα, υπάρχει μεγάλη συμφωνία ανάμεσα στα αποτελέσματα των δύο μεθόδων όσον αφορά στον προσδιορισμό του πάχους του πρώτου στρώματος (άμμος) που εκτιμάται στα 2-3 m. Εξαιρέση αποτελούν δύο μικρές τοπικές ανωμαλίες, στην αρχή και στο τέλος της γραμμής μελέτης, που εμφανίζονται λίγο μετατοπισμένες στα αποτελέσματα του γεωραντάρ σε σχέση με αυτά της τομογραφίας. Από τον συνδυασμό αυτών των στοιχείων προκύπτουν τα εξής:

- Το πάχος του επιφανειακού στρώματος της άμμου κυμαίνεται από 3 m στην αρχή της γραμμής μελέτης μέχρι 1.5-2 m στο τέλος της.
- Κάτω από τη άμμο απαντάται συμπαγής κορεσμένος σχηματισμός που αποδίδεται είτε σε λατυποπαγές, είτε σε αργιλικό ψαμμίτη.
- Το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται στο όριο μεταξύ της άμμου και του υποκείμενου σχηματισμού.



Σχήμα Π4.6: Υπέρθεση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ για την δοκιμαστική γραμμή Line T0. Η διακεκομμένη γραμμή τονίζει την διεπιφάνεια μεταξύ των δύο στρωμάτων όπως αυτά εντοπίστηκαν από την ερμηνεία του γεωραντάρ.