

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



Πτυχιακή εργασία

ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΡΧΑΙΑΣ ΣΚΩΡΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΡΑΔΙΟΜΕΤΡΟΥ

Μαρία Χατζηνικοδήμου

Λεμεσός 2016

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΡΧΑΙΑΣ ΣΚΩΡΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΡΑΔΙΟΜΕΤΡΟΥ

Μαρία Χατζηνικοδήμου

Σύμβουλος καθηγητής
Διόφαντος Χατζημιτσής

Λεμεσός 2016

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Μαρία Χατζηνικοδήμου, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Άθω Αγαπίου για την καθοδήγηση και τη βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνας και εργασίας μου επί της παρούσας μελέτης, καθώς επίσης και τον Δρ. Julien Beck που μου έδωσε την ευκαιρία να συμμετέχω και εγώ με τον τρόπο μου στην τόσο μεγάλη έρευνα του. Επιπλέον, ευχαριστώ όλους τους καθηγητές του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου για όσα μου πρόσφεραν κατά τη διάρκεια της φοίτησης μου. Τέλος, να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου για την στήριξη και την εμπιστοσύνη τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική Μελέτη έγινε στα πλαίσια της συνεργασίας του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου με το Πανεπιστήμιο της Γενεύης και τον αρχαιολόγο Δρ. Julien Beck, για τον εντοπισμό σκωρίας στη περιοχή Καταλιόντας – Κούρβελλος με τη χρήση υπερφασματικών εικόνων. Η περιοχή Καταλιόντας Κούρβελλος βρίσκεται στους ανατολικούς πρόποδες της οροσειράς του Τροόδους, είκοσι περίπου χιλιόμετρα από τη Λευκωσία και η θέση της περιοχής χρονολογείται στην Ακεραμική Νεολιθική περίοδο. Η ανάγκη για επαλήθευση των υποθέσεων που γίνονταν σχετικά με την περίοδο που ανήκει η περιοχή οδήγησε στην έρευνα και ανασκαφή της από αρχαιολόγους. Αρχικά, επισκεφτήκαμε τη περιοχή για συλλογή δειγμάτων και τα δείγματα που συγκεντρώθηκαν είναι πέτρες, χώμα, ξηρά χόρτα (άχυρο) και σκωρία. Αφού έγινε η συλλογή και η μεταφορά των δειγμάτων στο εργαστήριο, χρησιμοποιήσαμε το φασματοραδιόμετρο SVC HR 1024 για να πάρουμε τις φασματικές υπογραφές κάθε δείγματος που θα χρησιμοποιούνταν στην μετέπειτα επεξεργασία αλλά και μελέτη για την δημιουργία δεικτών. Αφού συλλέχθηκαν οι φασματικές υπογραφές για κάθε δείγμα, μέσω του λογισμικού Excel έγιναν διάφορες γραφικές παραστάσεις αλλά και πίνακες που μας βοήθησαν να εξάγουμε τα συμπεράσματα μας. Δημιουργήσαμε γραφικές παραστάσεις με τις φασματικές υπογραφές κάθε δείγματος από τις οποίες μπορούμε να δούμε πως κάθε δείγμα αντανακλά σε διάφορα μήκη κύματος αλλά και σε κάθε κανάλι του δορυφόρου LANDSAT. Στη συνέχεια έγιναν πίνακες στους οποίους μπορούσαμε να συγκρίνουμε και να συσχετίσουμε την τιμή ανακλαστικότητας ενός δείγματος με την τιμή ανακλαστικότητας κάποιου άλλου δείγματος. Οι πίνακες συσχέτισης ονομάζονται πιο κάτω και πίνακες ελάχιστης απόστασης. Επιπλέον, αφού μελετήθηκαν οι φασματικές υπογραφές των δειγμάτων και έγιναν οι συσχετίσεις των ανακλάσεων μεταξύ των δειγμάτων που είχαμε στη διάθεση μας, δημιουργήσαμε τους δείκτες οι οποίοι θα μας βοηθήσουν στην ανίχνευση διαφόρων αντικειμένων μέσω των αεροφωτογραφιών. Με τη δημιουργία των δεικτών, ο εντοπισμός πιθανών ιχνών σκωρίας χαλκού (και άλλων επιμέρους αντικειμένων που αφορούν την εκμετάλλευση ή τη μεταφορά, των ορυκτών πόρων από τους προϊστορικούς χρόνους) στη περιοχή μελέτης μας, θα είναι πιο εύκολος αλλά και οικονομικός, αφού μέσα από μια ψηφιακή δορυφορική εικόνα ή μια αεροφωτογραφία θα μπορούν να εντοπιστούν με μεγάλη ευκολία. Τέλος, δημιουργήθηκε ένας καινούργιος προτεινόμενος δείκτης ο οποίος προέκυψε από τις διάφορες παρατηρήσεις που είχαμε από τους πίνακες ελάχιστης απόστασης.

ABSTRACT

This Thesis was part of the cooperation of Cyprus University of Technology with the University of Geneva and the archaeologist Dr. Julien Beck to detect slag in the area of Kataliondas – Kourvellos, using hyperspectral images. The area Kataliondas - Kourvellos is located on the eastern slopes of the Troodos mountain range, about twenty kilometers from Nicosia. The position of the area dates back to the Pre-Pottery Neolithic period. The need for verification of the assumptions made about the period who the area belongs, led to the investigation and excavation by archaeologists. First, we visited the area for collection of samples which are stones, soil, straw and slags. After the collection and transport of samples to the laboratory, we used the spectroradiometer SVC HR 1024 to obtain the spectral signatures of each sample. The spectral signatures were used in subsequent processing and study for the creation of indicators. After the spectral signatures were collected for each sample, we used the Excel software to compose various graphs and tables that helped us to export our conclusions. We created graphs with the spectral signatures of each sample from which we can see how each sample reflects in different wavelengths and each channel of LANDSAT satellite. Then we created tables to help us compare and correlate the reflectance values of a sample with the reflectance values of another sample. Moreover, since the spectral signatures were studied and the reflections between the samples were correlated, we created the indicators that will help us in detecting various objects through aerial. With the creation of indicators, the identification of possible slag traces (and other individual items relating to the exploitation or transfer, mineral resources since prehistoric times) in our study area, it is easier and much economical, since through a digital satellite image or aerial photograph can be easily detected. Finally, we created a new proposed indicator which emerged from the various points we had from the tables of minimum distance.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 Τηλεπισκόπηση	9
1.2 Τηλεπισκόπηση στην Αρχαιολογία.....	9
1.3 Σκοπός.....	17
ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	17
2.1 Θέση περιοχής Καταλιόντας Κούρβελλος.....	17
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	20
3.1 Μετρήσεις.....	25
3.1.1 Μετρήσεις πεδίου.....	25
3.1.2 Μετρήσεις εργαστηρίου	25
3.2 Φασματικές Υπογραφές	28
3.2.1 Φασματικές υπογραφές εργαστηρίου ανά κατηγορία	29
3.3 Δείκτες Βλάστησης.....	35
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	39
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	41
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	42

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Μ.Ο ανάκλασης κάθε καναλιού για όλα τα δείγματα εδάφους.....	35
Πίνακας 2: Μ.Ο ανάκλασης κάθε καναλιού για όλα τα δείγματα σκωρίας.....	35
Πίνακας 3: Μ.Ο ανάκλασης κάθε καναλιού για όλα τα δείγματα πέτρας.	35
Πίνακας 4: Δείκτες και Φόρμουλες.....	36
Πίνακας 5: Πίνακας ελάχιστης απόστασης μεταξύ δειγμάτων εδάφους 1 και σκωρίας 1.....	36
Πίνακας 6: Πίνακας ελάχιστης απόστασης μεταξύ δειγμάτων εδάφους 2 και σκωρίας 2.....	37
Πίνακας 7: Πίνακας δεικτών για κάθε δείγμα.	37
Πίνακας 8: Σχετικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των δεικτών του κάθε δείγματος	38

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Διάγραμμα Μεθοδολογίας.....	25
Διάγραμμα 2: Φασματικές υπογραφές νερού, βλάστησης, ξηρού εδάφους.....	28
Διάγραμμα 3: Φασματικές υπογραφές όλων των δειγμάτων.....	29
Διάγραμμα 4: Φασματικές υπογραφές σκωρίας 1.....	30
Διάγραμμα 5: Φασματικές υπογραφές σκωρίας 2.....	30
Διάγραμμα 6: Φασματικές υπογραφές εδάφους 1.....	31
Διάγραμμα 7: Φασματικές υπογραφές εδάφους 2.....	32
Διάγραμμα 8: Φασματικές υπογραφές εδάφους 4.....	32
Διάγραμμα 9: Φασματικές υπογραφές για άχυρο.....	33
Διάγραμμα 10: Φασματικές υπογραφές κόκκινης πέτρας.....	34
Διάγραμμα 11: Φασματικές υπογραφές κανονικής πέτρας.....	34

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Τηλεπισκόπηση

Με τον όρο τηλεπισκόπηση εννοούμε τη παρατήρηση ενός αντικειμένου από απόσταση, χωρίς να υπάρχει φυσική επαφή με αυτό. Η όρασή μας είναι ένα είδος τηλεπισκόπησης. Όταν το μάτι μας παρατηρεί ένα αντικείμενο, αυτό που κάνει είναι να καταγράφει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, το φως δηλαδή που ανακλάται από την επιφάνεια του αντικειμένου. Η ακτινοβολία αυτή περιέχει πληροφορίες σχετικά με την επιφάνεια του αντικειμένου και μας βοηθά να διακρίνουμε το χρώμα και τη μορφή του. Παρομοίως, οι σαρωτές των δορυφόρων καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με τον ίδιο τρόπο.

Μια λευκή επιφάνεια αντανακλά ίσα ποσά ακτινοβολίας από όλα τα μήκη κύματος του ορατού φωτός, ενώ ένα πράσινο φύλλο ανακλά λιγότερη ακτινοβολία στην περιοχή του ερυθρού και του κυανού του ορατού φάσματος, από ότι στην περιοχή του πράσινου. Έτσι, το πράσινο υπερέχει έναντι των άλλων χρωμάτων (σε σύγκριση με το κόκκινο και το μπλε) και τα φύλλα φαίνονται πράσινα. Συνεπώς, η σύνθεση της ηλεκτρομαγνητικής ανάκλασης ή η φασματική υπογραφή, μας δίνει πληροφορίες για το αν μια επιφάνεια εκπέμπει ή αντανακλά την ακτινοβολία.

Η ικανότητα των δορυφόρων να διαχωρίζουν τις φασματικές υπογραφές των διαφόρων αντικειμένων έχει μεγάλη σημασία στις χαρτογραφικές τους ικανότητες, όπου είναι ζωτική η ικανότητα διάκρισης ανάμεσα σε διάφορους τύπους επιφανειών και περιοχών.

Το ανθρώπινο μάτι μπορεί να αντιληφθεί την ακτινοβολία μόνο σε μια περιορισμένη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Συνεπώς τα όργανα τηλεπισκόπησης που λειτουργούν σε μήκη κύματος πέρα από την περιοχή του ορατού, συνιστούν μια επέκταση του οπτικού μας πεδίου και μας δίνουν πρόσθετες πληροφορίες για τον φυσικό κόσμο που μας περιβάλλει.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μιας επιφάνειας οφείλεται είτε σε ανάκλαση (π.χ. το ανακλώμενο φως) είτε σε εκπομπή (ακτινοβολία που εκπέμπεται από την ίδια την επιφάνεια). Προφανώς το ανακλώμενο ηλιακό φως μπορεί να μετρηθεί μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ η εκπεμπόμενη ακτινοβολία μπορεί να μετρηθεί οποιαδήποτε ώρα.

1.2 Τηλεπισκόπηση στην Αρχαιολογία

Η επεξεργασία ψηφιακών δορυφορικών εικόνων και η ανάλυση των αντίστοιχων αποτελεσμάτων με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) τα τελευταία χρόνια, στα πλαίσια αρχαιολογικών ερευνών, έχει αποφέρει σημαντικά αποτελέσματα στη δημιουργία ολοκληρωμένων γεωγραφικών τραπεζών πολιτιστικής πληροφορίας. Η σύγχρονη ανάπτυξη Συστημάτων Παγκόσμιας Πλοήγησης και Εντοπισμού (GIS) μεγάλης ακρίβειας σε συνδυασμό με την αναβάθμιση των δορυφορικών λήψεων σε επίπεδο συστημάτων καταγραφής, ανάγουν την πάραπανω τεχνολογία σε ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο που μπορεί με επιτυχία να συνεισφέρει στον εντοπισμό και στην αντιμετώπιση προβλημάτων που

απορρέουν από τον μεγάλο όγκο αρχαιολογικών δεδομένων και την ανάγκη σωστής διαχείρισης των πολιτιστικών μνημείων υπό την πίεση των σύγχρονων αναπτυξιακών έργων.

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών παίζουν σημαντικό ρόλο στον εντοπισμό νέων αρχαιολογικών θέσεων, τη δημιουργία θεματικών αρχαιολογικών χαρτών διαφορετικών περιόδων, τη μελέτη της διαχείρισης του χώρου και της χρήσης γης, τη μοντελοποίηση των οικιστικών τάσεων μιας περιοχής και σε πολλά άλλα.

Οι ψηφιακές δορυφορικές εικόνες χρησιμοποιούνται ευρέως για την αποτύπωση των αρχαιολογικών χώρων και μνημείων, προσφέροντας πολυφασματικές πληροφορίες για μεγάλες εκτάσεις. Η καταγραφή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε διαφορετικά μήκη κύματος, που αντανακλάται από τα διάφορα αντικείμενα στην επιφάνεια της γης, προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές αεροφωτογραφίες. Οι πληροφορίες που προέρχονται από τα διαφορετικά μήκη κύματος, απεικονίζουν διαφορετικές πληροφορίες και δίνουν την δυνατότητα συσχέτισης και ταξινόμησης αυτών. Η ανάπτυξη των δορυφορικών τεχνικών της τηλεπισκόπησης (βελτίωση των συστημάτων καταγραφής ως προς τη χωρική ανάλυση, την φασματική και ραδιομετρική τους ικανότητα και εξέλιξη των λογισμικών επεξεργασίας των ψηφιακών δορυφορικών εικόνων) έχει δώσει νέα δεδομένα σε σχέση με την αρχαιολογική έρευνα, την περιβαλλοντική διαχείριση και παρακολούθηση των οικοσυστημάτων. Η δορυφορική τηλεπισκόπηση προσφέρει ένα μεγάλο όγκο περιβαλλοντικών δεδομένων, καλύπτοντας μεγάλες εκτάσεις με οικονομικό τρόπο. Τα περισσότερα αρχαιολογικά ερευνητικά προγράμματα που χρησιμοποιούν ψηφιακές δορυφορικές εικόνες στοχεύουν κυρίως σε δύο κατευθύνσεις: την εξαγωγή περιβαλλοντικών πληροφοριών και το συσχετισμό τους με τη θέση των αρχαιολογικών μνημείων (Ebert 1978), και τη συσχέτιση των φασματικών υπογραφών των αρχαιολογικών θέσεων με την καταγραφή της έντασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τους πολυφασματικούς δέκτες των δορυφορικών συστημάτων (Madry 1987). Η δορυφορική τηλεπισκόπηση αποτελεί μια νέα τεχνική απόκτησης αρχαιολογικών πληροφοριών, χωρίς να απαιτείται ανασκαφή στην περιοχή των αρχαιολογικών χώρων (Steven 1999).

Τα τελευταία σαράντα χρόνια αναπτύχθηκε η αρχαιολογία του Τοπίου και η Επιφανειακή Έρευνα χωρίς την ουσιαστική συμμετοχή αρχαιολόγων. Για παράδειγμα, οι επιφανειακές έρευνες της Κρήτης για τη μελέτη της Βυζαντινής και Μεταβυζαντινής περιόδου, δεν ξεκίνησαν από αρχαιολόγους που ασχολούνταν με αυτές τις περιόδους και ούτε η συμμετοχή τους είναι ιδιαίτερα εμφανής σε κάποια από αυτές. Κύριος λόγος ήταν ότι στη Βυζαντινή Αρχαιολογία το πλήθος των γραπτών πηγών αποσπούσε τους αρχαιολόγους από τις αυτοψίες, αλλά και λόγω του ότι η Διαχείριση των Μνημείων από τον κρατικό φορέα απορροφά τους περισσότερους πόρους της έρευνας. Από την άλλη όμως, η πλήρης απουσία των αρχαιολόγων από τις νεώτερες επιστημονικές προσεγγίσεις θεωρείται προβληματική.

Αρχαιολογικές εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορικής έχουν πραγματοποιηθεί και στον ελλαδικό χώρο από διάφορους ερευνητές. Αξίζει να αναφερθούμε στην εργασία της Κατηφόρη (2005) στην οποία γίνεται καταγραφή και μοντελοποίηση των βενετικών μοναστηριών, των οικιστικών εγκαταστάσεων και του οδικού δικτύου κατά την περίοδο Βενετοκρατίας στη περιοχή Μεράμπελου, με τη χρήση ΓΣΠ. Για τους σκοπούς της συγκεκριμένης εργασίας δημιουργήθηκε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών που αποτέλεσε το μέσο για τη χαρτογραφική αποτύπωση της περιοχής Μεράμπελου, και για τη μελέτη της οργάνωσης και χρήσης του χώρου. (“Χαρτογραφική μελέτη του μεραμπελλου στα χρόνια της βενετοκρατίας τα μοναστηρια στη χρήση και οργάνωση του χωρου” 2005)

Επιπλέον, η δορυφορική τηλεπισκόπηση χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη των γεωμορφολογικών αλλαγών στην περιοχή Baux Valley της Γαλλίας, όπου εικόνες SPOT και Landsat φανέρωσαν ένα λεπτομερές σχέδιο της χρήσης γης και του δικτύου μετακινήσεων της αρχαιότητας κατά την διάρκεια της γεωλογικής περιόδου του Ολόκαινου. Δορυφορικές εικόνες, βιοφυσικές παράμετροι και ιστορικές πηγές χρησιμοποιήθηκαν επίσης από το πρόγραμμα MARWP (Minnesota Archaeological Researches in the Western Peloponnese) για τη μελέτη των αρχιτεκτονικών μνημείων και των ιστορικών θέσεων της Πελοποννήσου, καλύπτοντας την περίοδο 1400 π.Χ. έως 1950 μ.Χ. (Journal et al. 2016). Στην περίπτωση αυτή, με χρήση εικόνων LANDSAT αναπτύχθηκαν μεθοδολογίες στον τομέα της φυτοαρχαιολογίας και στη συνέχεια ενσωματώθηκαν στην έρευνα έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια σχέση μεταξύ συγκεκριμένων τύπων βλάστησης και σωζόμενων αρχαιολογικών καταλοίπων. Με λίγα λόγια, μέθοδοι επιβλεπόμενης ταξινόμησης των εικόνων Landsat είχαν ως αποτέλεσμα τον εντοπισμό οικισμών, οχυρών, λατομείων και πύργων. Από την άλλη πλευρά όμως, οι τεχνικές ταξινόμησης και επεξεργασίας ψηφιακών εικόνων SPOT στη περιοχή γύρω από το Καβούσι (Α. Κρήτη) που είχαν ως στόχο τη διερεύνηση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών των Μινωικών θέσεων, δεν έδωσαν τα αποτελέσματα που αναμενόταν όσον αφορά τον διαχωρισμό της φασματικής υπογραφής τους. Παρόμοια προβλήματα τα οποία οφείλονται κυρίως στη μικρή έκταση των αρχαιολογικών θέσεων, τις απότομες εναλλαγές της γεωμορφολογίας του εδάφους και το βαθμό διάβρωσης του εδάφους και διατήρησης των μνημείων μπορούν να προσεγγισθούν με τον συνδυασμό δορυφορικών εικόνων, αρχαιολογικών και περιβαλλοντικών πληροφοριών και επίγειων τοπογραφικών και γεωφυσικών μετρήσεων στα πλαίσια ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών.

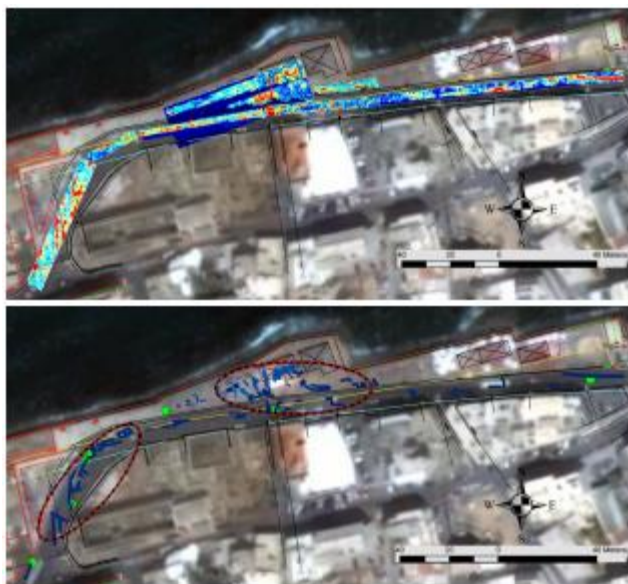
Το αστικό και ημιαστικό κέντρο της αρχαίας Νικόπολης αποτέλεσε επίσης αντικείμενο γεωφυσικής έρευνας με στόχο την διαχείριση των μνημείων και την δημιουργία ενός αρχαιολογικού πάρκου που σχεδιάστηκε από την Επιστημονική Επιτροπή Νικόπολης. Οι στόχοι της έρευνας εστιάστηκαν στην διερεύνηση του αστικού πλέγματος της αρχαίας πόλης, τη φύση και λειτουργία των υπεδάφινων μνημείων και την κατάσταση διατήρησης αυτών, αλλά και την διερεύνηση του ημιαστικού χώρου της πόλης. Οι γεωφυσικές έρευνες που διενεργήθηκαν με την συνεργασία της Επιστημονικής Επιτροπής Νικόπολης (2008) κάλυψαν μία έκταση περίπου 80.000m² και έδωσαν πολύτιμα συμπεράσματα για πολλά υπεδάφια μνημεία και την σχέση αυτών με τα αντίστοιχα επιφανειακά. Στον Κάμπο, υψηλές τιμές ηλεκτρικής αντίστασης και μαγνητικών μετρήσεων (έντονες ενδείξεις καύσης/θέρμανσης) επιβεβαίωσαν την επέκταση του συγκροτήματος των βόρειων Θερμών. Το νέο συγκρότημα αποτελείται από γραμμικές και καμπυλόγραμμες τοιχοδομές. Προς το κέντρο της πόλης, πλησίον της ρωμαϊκής οικίας του Αντωνίνου, ένας μεγάλος αριθμός εκτεταμένων γραμμικών χαρακτηριστικών που απεικονίζουν τμήματα δρόμων που εκτείνονται Β-Ν και Α-Δ διασχίζει αμφότερες τις πλευρές των Παλαιοχριστιανικών Βυζαντινών τειχών. Τα σήματα του γεωραντάρ ήταν ακόμα πιο αποκαλυπτικά, αφού η πυκνή κατανομή θραυσμάτων κεραμικής και τούβλων κοντά στα τείχη δημιούργησε υψηλά επίπεδα θορύβου στις μαγνητικές μετρήσεις. Οριζοντιογραφίες του γεωραντάρ με αυξανόμενο βάθος αποκάλυψαν ένα στενό δρόμο, ενώ σε μεγαλύτερο βάθος ένας πλατύς δρόμος επεκτείνεται για τουλάχιστον 64m και αποτελεί επέκταση των βασικών κεντρικών αρτηριών που είχαν ανασκαφεί πρόσφατα στα ανατολικά της περιοχής. Έχοντας διαθέσιμες πληροφορίες των επιφανειακών μνημείων και με βάση τα αποτελέσματα των γεωφυσικών διασκοπήσεων που μεταξύ άλλων χαρτογράφησαν σε μεγάλη έκταση τις βασικές κεντρικές αρτηρίες και άλλους δευτερεύοντες δρόμους, ήταν εφικτό να γίνει μία ανακατασκευή του πολεοδομικού σχεδίου της Νικόπολης

μέσω της γεωαναφοράς δορυφορικών, γεωφυσικών και τοπογραφικών χαρτών σε περιβάλλον GIS. Παρόμοια αποτελέσματα εξήχθησαν και για την συσχέτιση μεταξύ του αστικού και ημιαστικού πλέγματος της πόλης με τα επιφανειακά μνημεία που βρίσκονται διάσπαρτα στο χώρο.

Παρόμοιες γεωφυσικές διασκοπήσεις έγιναν και εντός του αστικού δικτύου στο Μπεντενάκι του Ηρακλείου στην Κρήτη. Το Μπεντενάκι βρίσκεται κατά μήκος της βόρειας ακτής στο κεντρικό τμήμα της πόλης του Ηρακλείου. Στην περιοχή σώζεται ο Βενετικής περιόδου Ναός του Αγίου Πέτρου που εκτείνεται προς τα δυτικά ανάμεσα στην παραλιακή λεωφόρο. Κατά τις εργασίες ανάπλασης του παραλιακού μετώπου του Ηρακλείου, αποκαλύφθηκε μία παλαιοχριστιανική εκκλησία που εκτιμάται ότι κατασκευάστηκε τους προβυζαντινούς χρόνους. Οι γεωφυσικές διασκοπήσεις, που επικεντρώθηκαν κατά μήκος της Λεωφόρου, διενεργήθηκαν με την συνεργασία του Οργανισμού Λιμένος Ηρακλείου. Στην περιοχή έρευνας εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι της τρισδιάστατης γεωηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ. Τα αποτελέσματα των γεωφυσικών μετρήσεων γεωαναφέρθηκαν με βάση τις μετρήσεις GPS και η υπέρθεση αυτών στην δορυφορική εικόνα της περιοχής πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Στους χάρτες, εντοπίστηκαν σε διαφορετικά σημεία, περιοχές υψηλών αντιστάσεων και έντονων ανακλαστήρων, που συσχετίστηκαν με υπεδάφειους στόχους/δομές αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Πιο συγκεκριμένα, δόθηκαν ενδείξεις για την οριοθέτηση του παλαιότερου μοναστηριού καθώς και την επέκταση του συγκροτήματος της παλαιοχριστιανικής εκκλησίας για τουλάχιστον 30m από το αρχικά ανεσκαμμένο τμήμα της. Η ανασκαφή συγκεκριμένων περιοχών επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα των γεωφυσικών διασκοπήσεων.

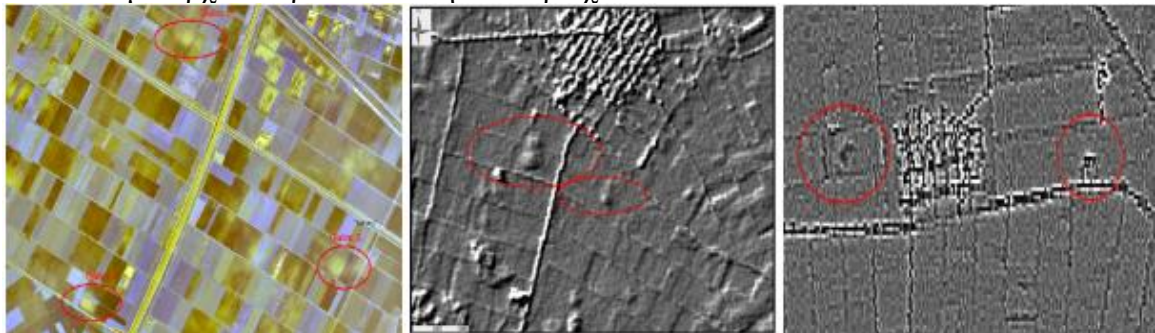
Ακόμα, στην περιοχή της Κρήτης κατά την διάρκεια ανέγερσης οικοδομής σε ιδιοκτησία πλησίον της Λεωφόρου Κνωσού πραγματοποιήθηκε γεωφυσική έρευνα με στόχο να διερευνηθεί η συνοχή και στατικότητα του υπεδάφους αλλά και η πιθανή παρουσία στόχων αρχαιολογικού ενδιαφέροντος αφού στην ευρύτερη περιοχή έχουν βρεθεί μεμονωμένοι τάφοι (Γεωμετρικής περιόδου), εργαστηριακές εγκαταστάσεις και οργανωμένα νεκροταφεία.

Μετρήσεις που έγιναν τον Ιούλιο 2009 με τις μεθόδους του γεωραντάρ, της Ηλεκτρικής Τομογραφίας και της μαγνητικής επιδεκτικότητας είχαν ως αποτέλεσμα τον εντοπισμό περιοχών υψηλών αντιστάσεων και έντονων ανακλαστήρων που σχετίζονται με τα θεμέλια μιας προϋπάρχουσας κατασκευής, ενώ σε γενικές γραμμές η ποιότητα και η συνοχή του εδάφους ήταν ικανοποιητική για την ανέγερση της νέας προγραμματιζόμενης οικοδομής. Επίσης εντοπίστηκαν μεμονωμένα αρχαιολογικά χαρακτηριστικά που ήρθαν στο φως από τις ανασκαφές που ακολούθησαν.



Εικόνα 1: Περιοχή παραλιακού μετώπου Ηρακλείου

Μια ακόμα παρόμοια έρευνα έγινε στα πλαίσια της ανασύστασης της κατοίκησης της Νεολιθικής Θεσσαλίας. Οι ερευνητές, έχοντας ως στόχο την επανεξέταση της ανασύστασης της κατοίκησης στη Νεολιθική Θεσσαλία, έκαναν συστηματική χρήση τεχνικών Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Έχοντας μία ολοκληρωμένη βάση αρχαιολογικών δεδομένων, χωρικών πληροφοριών (ψηφιακά μοντέλα εδάφους, τοπογραφικά και γεωλογικά στοιχεία, κ.α.) και δορυφορικών εικόνων (Landsat ETM, ASTER, EO1 - HYPERION & IKONOS) πραγματοποιήθηκαν διάφορες χωρικές αναλύσεις, μοντέλα ανασύστασης του ανάγλυφου με βάση προηγούμενες γεωτρήσεις καθώς και μοντελοποίηση σε περιβάλλον GIS. Η περιοχή της Θεσσαλίας προσεγγίστηκε διαφορετικά, δημιουργώντας ένα μοντέλο του ανάγλυφου που διαφοροποιείται με την χρονική φάση. Έμφαση δόθηκε στην επεξεργασία δορυφορικών εικόνων μέσω ψευδοχρωματικών συνθέσεων, αναλύσεων PCA, NDVI, εξαγωγή φασματικών υπογραφών, εφαρμογή φίλτρων, με στόχο την επαλήθευση των μετρήσεων της επιφανειακής έρευνας με μονάδες GPS. Η ταξινόμηση των εικόνων έκανε χρήση αλγορίθμων ασάφειας. Στο τελικό στάδιο δημιουργήθηκαν μοντέλα πρόγνωσης των προϊστορικών μαγούλων για τον εντοπισμό αρχαιολογικά ευαίσθητων περιοχών.



Εικόνα 2: Εικόνες από την έρευνα ανασύστασης της Νεολιθικής Θεσσαλίας.

Για την δημιουργία και ανάπτυξη ενός έμπειρου συστήματος για την παρακολούθηση, διαχείριση και προστασία του φυσικού τοπίου και του περιβάλλοντος της Κρήτης αναλύθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν γεωγραφικά δεδομένα από επεξεργασία χαρτογραφικού υλικού, δορυφορικών εικόνων (SPOT, ASTER, LANDSAT & QUICKBIRD), καθώς και πρωτογενών γεωφυσικών και περιβαλλοντικών μετρήσεων και μοντέλων για την κατασκευή της βάσης πληροφοριών που αφορά τόσο στον αγροτικό όσο και στο δομημένο χώρο της Κρήτης.

Γεωφυσικές μετρήσεις (σεισμικές, ηλεκτρομαγνητικές, ηλεκτρικής τομογραφίας, κ.α.) διεξήχθησαν σε διαφορετικά σημεία προκειμένου να ορίσουν τις γεωλογικές ιδιότητες του χώρου των αστικών κέντρων και να συσχετίσουν τις γεωμορφικές ιδιότητες του νησιού με πιθανά ρήγματα. Ο συνδυασμός αυτοψιών, ανάλυσης της φασματικής υπογραφής από εικόνες Landsat διαφορετικών περιόδων και πολυπαραμετρικής ανάλυσης είχε ως αποτέλεσμα τη μέτρηση της χωρικής πολυπλοκότητας και τη κατανόηση της εξέλιξης της βλάστησης και των χρήσεων γης. Το πληροφοριακό σύστημα αποτελείται από βάσεις δεδομένων (μετεωρολογικά, στατιστικά στοιχεία), τεχνικές εκθέσεις γεωφυσικών ερευνών, βιβλιογραφικές αναφορές, δορυφορικές εικόνες, ψηφιακό ανάγλυφο, επίκεντρα σεισμών, κατανομή βλάστησης, ιστορικά στοιχεία πυρκαγιών, χρήσεις γης, κ.α. Στατιστικά στοιχεία είναι επίσης διαθέσιμα σε σχέση με τα κλιματολογικά στοιχεία, τον πληθυσμό και τις αγροτικές πυρκαγιές. Ανάμεσα στις δράσεις του προγράμματος συμπεριλαμβάνεται η δημιουργία ψηφιακών γεωγραφικών και τοπογραφικών χαρτών της Κρήτης και η δημιουργία

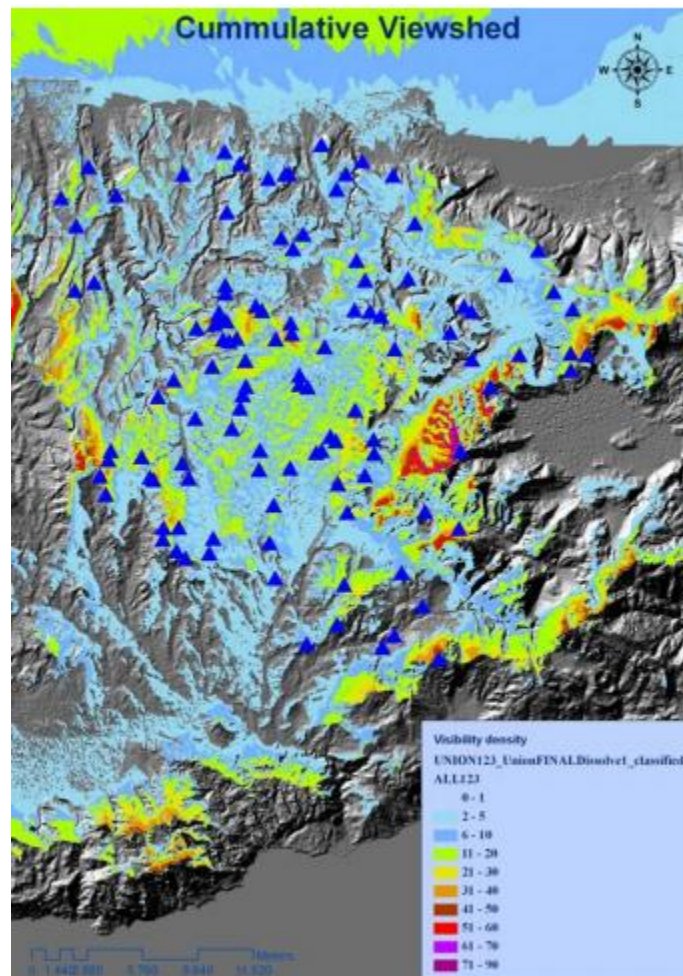
νέας γενιάς χαρτογραφικού υλικού για τα μεγάλα αστικά κέντρα της Κρήτης μέσω δορυφορικών εικόνων, η ανάπτυξη μιας εξελισσόμενης βάσης δεδομένων περιβαλλοντικών, κλιματολογικών, γεωμορφολογικών και στατιστικών στοιχείων, η δημιουργία θεματικών περιβαλλοντικών χαρτών (πυρκαγιές, ρήγματα, σεισμική δραστηριότητα), η μοντελοποίηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων και οριοθέτηση περιοχών επικινδυνότητας και προστασίας του περιβάλλοντος. Η ελεύθερη διάθεση των παραπάνω πληροφοριών μέσω ειδικά διαμορφωμένων ιστοσελίδων σε περιβάλλον WEB_GIS μπορούν να παρέχουν τη δυνατότητα διαδραστικής διαχείρισης των διαφορετικών επιπέδων πληροφοριών και υπέρθεσης πολλαπλών περιβαλλοντικών και στατιστικών παραμέτρων, εγγυάται το υψηλό επίπεδο αντίκτυπου στους τελικούς χρήστες, κάνοντας δυνατή την πιθανή χρήση των παραπάνω δεδομένων σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως η διαχείριση των φυσικών πόρων ή της γεωλογικής επικινδυνότητας.



Εικόνα 3: Περιοχή Κρήτης

Μια παρόμοια έρευνα με χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορικής και δορυφορικών εικόνων με μελέτη φασματικών υπογραφών έγινε ξανά στην Κρήτη κατά την διάρκεια της επιφανειακής έρευνας της γεωγραφικής ενότητας Πεδιάδας στο Ηράκλειο. Το Εργαστήριο που διενεργούσε την έρευνα, είχε αναλάβει το σχεδιασμό και την υλοποίηση ηλεκτρονικής βάσης πληροφοριών για τη καταχώρηση των τοπωνυμίων των αρχαιολογικών θέσεων καθώς και την επεξεργασία τους μέσα από αυτή την βάση. Επίσης ανέλαβε τη δημιουργία ενός συστήματος GIS για τη χαρτογραφική αποτύπωση των αρχαιολογικών θέσεων. Οι πληροφορίες που είχαν εισαχθεί στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών περιλάμβαναν γεωλογικούς, τοπογραφικούς και περιβαλλοντικούς χάρτες, δορυφορικές εικόνες Landsat, ASTER & SPOT, τα οποία βρίσκονται σε διαδικασία επεξεργασίας σε άμεση συσχέτιση με τις νέες αρχαιολογικές πληροφορίες. Οι δορυφορικές εικόνες διερευνήθηκαν ως προς το φασματικό χαρακτηρισμό των αρχαιολογικών θέσεων. Η χωρική συνοχή των οικιστικών τάσεων εξετάστηκε διαχρονικά και συγκριτικά με τα σημερινά δεδομένα και μοντέλα τυχαίας κατανομής. Τα μέχρι σήμερα αποτελέσματα φανερώνουν μία αυξημένη συνοχή των θέσεων σε όλες τις εποχές με εξαίρεση την Πρωτομινωική και την Γεωμετρική Εποχή. Αυξημένη συνοχή παρατηρήσαμε και στις μινωικές φρυκτωρίες που αποτελούν μέχρι σήμερα το πρωιμότερο σύστημα επικοινωνίας στο χώρο του Αιγαίου. Στόχος του προγράμματος ήταν η κατανόηση και η ανασύσταση της ανθρώπινης

δραστηριότητας στην περιοχή της Πεδιάδας από την νεολιθική περίοδο μέχρι σήμερα και η αλληλεπίδραση αυτής με το φυσικό περιβάλλον.



Εικόνα 4: Φασματική ανάλυση εικόνας που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα

Μια αρκετά παρόμοια μελέτη με τη δική μας έγινε τον Μάιο του 2011 στο Παλαμάρι Σκύρου όπου πραγματοποιήθηκε μια γεωφυσική έρευνα για την χαρτογράφηση του οικισμού της Πρώιμης και της Μέσης Εποχής του Χαλκού. Συγκεκριμένα η έρευνα εστιάστηκε στο τμήμα του αρχαιολογικού χώρου που βρίσκεται εντός των τειχών του οικισμού, ενώ διερευνήθηκαν και κάποιες ακόμα περιοχές εκτός των τειχών. Σκοπός των ερευνών ήταν ο εντοπισμός οικοδομικών κτισμάτων του οικισμού. Οι γεωφυσικές μελέτες πραγματοποιήθηκαν με τις μεθόδους γεωραντάρ, μαγνητικών μετρήσεων και τρισδιάστατης ηλεκτρικής τομογραφίας, δίνοντας έμφαση στη λεπτομερή χαρτογράφηση του χώρου. Η ύπαρξη οικιακών φούρνων, εργαστηριακών εγκαταστάσεων, το πλήθος μεταλλικών σκευών και σκωρίων, καθώς και οι διαφορετικές φάσεις κατοίκησης που συνεχίστηκαν για πάνω από μια χιλιετία, δημιούργησαν υψηλά επίπεδα θορύβου σε όλες τις γεωφυσικές μετρήσεις αλλά ιδιαίτερα στις μαγνητικές καταγραφές. Οι μετρήσεις ηλεκτρικής τομογραφία έδωσαν και αυτές κάποια γραμμικά στοιχεία που χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές ηλεκτρικής αντίστασης και οι οποίες μπορούν να συσχετιστούν με αρχιτεκτονικές κατασκευές ή και συγκεντρώσεις λίθων που έχουν καταρρεύσει από τις τοιχοδομές αυτών. Η μεγαλύτερη όμως πληροφορία σχετικά με

τα αρχιτεκτονικά κατάλοιπα του οικισμού προήλθε από τις μετρήσεις του γεωραντάρ που πραγματοποιήθηκαν με πολύ υψηλή ακρίβεια και ανάλυση. Για την καλύτερη ερμηνεία των γεωφυσικών ανωμαλιών και την συσχέτιση τους με την γεωμορφολογία της περιοχής, έγινε γεωαναφορά όλων των γεωφυσικών χαρτών στο τοπογραφικό σχέδιο των καννάβων και στη γεωαναφερόμενη αεροφωτογραφία της περιοχής. (“αρχαιοτηλεπισκοπικά Νέα” n.d.)



Εικόνα 5: Εικόνες γεωραντάρ της περιοχής Παλαμύρι Σκύρου

Η αεροφωτογράφιση, η δορυφορική τηλεπισκόπηση, οι γεωφυσικές διασκοπήσεις και η αποτύπωση με μεθόδους laser (LIDAR) είναι αναγνωρισμένες στην αρχαιολογική έρευνα σε πολλές χώρες της Ευρώπης και στο εξωτερικό. Όμως, ακόμα και σήμερα, η χρήση των μεθόδων αυτών δεν είναι υποχρεωτική ή διαδεδομένη σε όλες τις ευρωπαϊκές χώρες. Μερικές φορές αυτό οφείλεται στην έλλειψη εξειδικευμένης γνώσης ή την ελλιπή αναγνώριση των δυνατοτήτων των τεχνικών αυτών ή ακόμα και στη διαφοροποίηση των εθνικών στρατηγικών μέσω των οποίων γίνεται η διαχείριση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Όλα αυτά μπορούν να εμποδίσουν την εκτεταμένη χρήση και εφαρμογή των μεθόδων αυτών με αποτέλεσμα πολλές φορές να χάνεται σημαντική πληροφορία σχετικά με αρχαιολογικά ευρήματα, παρατηρήσεις χρήσεων γης, μελέτες για καταστροφές περιοχών λόγω φυσικών δεδομένων κ.α. Πολλές φορές μπορούν να αποφευχθούν καταστροφές περιοχών και μεγάλων εκτάσεων από πλημύρες ή σεισμούς. Γι' αυτό το λόγο καλό θα ήταν να υπάρχει η απαραίτητη ενημέρωση και εκπαίδευση εξειδικευμένων ατόμων στις μεθόδους αυτές αλλά και στον τρόπο εφαρμογής τους, είτε μέσω σεμιναρίων, συνεδρίων ή άλλων εκπαιδευτικών προγραμμάτων.

1.3 Σκοπός

Στα πλαίσια της συνεργασίας του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου με το Πανεπιστήμιο της Γενεύης και τον αρχαιολόγο, Δρ. Julien Beck, για τον «εντοπισμό σκωρίας στη περιοχή Καταλιόντας – Κούρβελλος, χρησιμοποιώντας υπερφασματικές εικόνες», ασχοληθήκαμε με τις φασματικές υπογραφές διαφόρων αντικείμενων και δειγμάτων που πήραμε από το πεδίο με σκοπό την προετοιμασία μελλοντικών πτήσεων αερομεταφερόμενων υπερφασματικών σαρωτών.

Σκοπός μας ήταν, μέσα από εργαστηριακές μετρήσεις, να αποκτήσουμε τις φασματικές υπογραφές του κάθε δείγματος που πήραμε από το πεδίο (σκωρία, χώμα, πέτρες, ξηρά χόρτα), να τις συγκρίνουμε μεταξύ τους και να δημιουργήσουμε δείκτες οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για ανίχνευση σκωριών.

Με τη δημιουργία των δεικτών, ο εντοπισμός πιθανών ιχνών σκωρίας χαλκού (και άλλων επιμέρους αντικειμένων που αφορούν την εκμετάλλευση ή τη μεταφορά, των ορυκτών πόρων από τους προϊστορικούς χρόνους μέχρι τον 20ο αιώνα) στη περιοχή μελέτης μας, θα είναι πιο εύκολος αλλά και οικονομικός, αφού μέσα από μια ψηφιακή δορυφορική εικόνα ή μια αεροφωτογραφία θα μπορούν να εντοπιστούν.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η θέση της περιοχής μελέτης, στοιχεία για τις περιόδους από τις οποίες πέρασε στην αρχαιότητα καθώς και το πώς ανακαλύφθηκαν.

2.1 Θέση περιοχής Καταλιόντας Κούρβελλος

Η περιοχή Καταλιόντας Κούρβελλος βρίσκεται στους ανατολικούς πρόποδες της οροσειράς του Τροόδους, περίπου είκοσι χιλιόμετρα από τη Λευκωσία. Η θέση της περιοχής χρονολογείται στην Ακεραμική Νεολιθική εποχή και είχε επισκοπηθεί το 1972 αλλά ποτέ δεν ανασκάφηκε αφού θεωρήθηκε τότε ότι δε θα διατηρείτο στρωματογραφημένο υλικό εξαιτίας της διάβρωσης του εδάφους. Η ανάγκη για επαλήθευση τέτοιων υποθέσεων αποτέλεσε πρωταρχικό στόχο της πρώτης ερευνητικής περιόδου του Πανεπιστημίου της Γενεύης στη θέση αυτή. Συνεπώς, διανοίχτηκαν ανασκαφικές τομές στις πλαγιές του γνωστού αυτού λόφου, στην κορυφή του οποίου προεξέχει βραχώδες έξαρμα, το οποίο και έδωσε το όνομά του στη θέση. Στο χώρο αποκαλύφθηκαν εκατοντάδες κροκάλες ποταμού οι οποίες σίγουρα είχαν μεταφερθεί από κάποια απόσταση.



Χάρτης 1: Χάρτης περιοχής απ' όπου πάρθηκαν τα δείγματα.

Οι ανασκαφές έδειξαν ότι η περιοχή δεν είχε καλυφθεί μόνο στην προ - κεραμικής Νεολιθικής περιόδου, όπως πιστευόταν παλαιότερα, αλλά και στην Κύπρο - Κλασική περίοδο. Η φύση της τελευταίας είναι δύσκολο να εξακριβωθεί, αλλά τώρα φαίνεται όλο και πιο σαφές, λόγω των ευρημάτων από την περιοχή, τα οποία δείχνουν ότι έχουμε να κάνουμε με ένα ιερό κάποιου είδους. Το ερώτημα παραμένει ως προς το σκοπό της ύπαρξης ενός ιερού. Αν δηλαδή, αποτελούσε ένα ορόσημο λόγω του ασυνήθιστου βράχου, αν ήταν τοποθετημένο εκεί λόγω των συνόρων μεταξύ των εδαφών από τις αρχαίες πόλεις της Ταμασσού και Ιδαλίου, ή συνδέεται με την εκμετάλλευση και τη μεταφορά πόρων σε κοντινή απόσταση. Σε αυτή την περίπτωση μια δραστηριότητα που συνδέεται με το χαλκό (την εξόρυξη, τη σύντηξη, ή το εμπόριο) φαίνεται η πιο πιθανή επιλογή, λόγω του τοπικού γεωλογικού πλαισίου.

Τα τελευταία χρόνια, μια νέα, μη - επεμβατική τεχνική για την αρχαιολογία έχει προκύψει η οποία είναι η υπερφασματική απεικόνιση. Η γενική ιδέα αυτής της απεικόνισης είναι η χρήση μιας ειδικά προσαρμοσμένης, αερομεταφερόμενης κάμερας για τη λήψη πληροφοριών από ολόκληρο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα όπως στη περίπτωση της ανθρώπινης όρασης. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το ανθρώπινο μάτι βλέπει ορατό φως σε τρεις ζώνες (κόκκινο, πράσινο και μπλε), η υπερφασματική απεικόνιση χωρίζει το φάσμα σε περισσότερες από εκατό ζώνες, επιτρέποντας μας έτσι, να δούμε τι είναι συνήθως ορατό.

Στην αρχαιολογία, η υπερφασματική απεικόνιση χρησιμοποιείται συνήθως για την ανίχνευση υπόγειων εγκαταστάσεων, αλλά σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιορίσει μεμονωμένα αντικείμενα στην επιφάνεια (όπως για παράδειγμα όστρακα ή σκωρία). Με αυτή την τεχνική μας δίνεται η ευκαιρία να ελέγξουμε την περιοχή Καταλιόντας – Κούρβελλος για ίχνη τήξης χαλκού (σκωρίας) χωρίς να χρειάζεται να περάσει από την παραδοσιακή έρευνα του αρχαιολογικού χώρου.

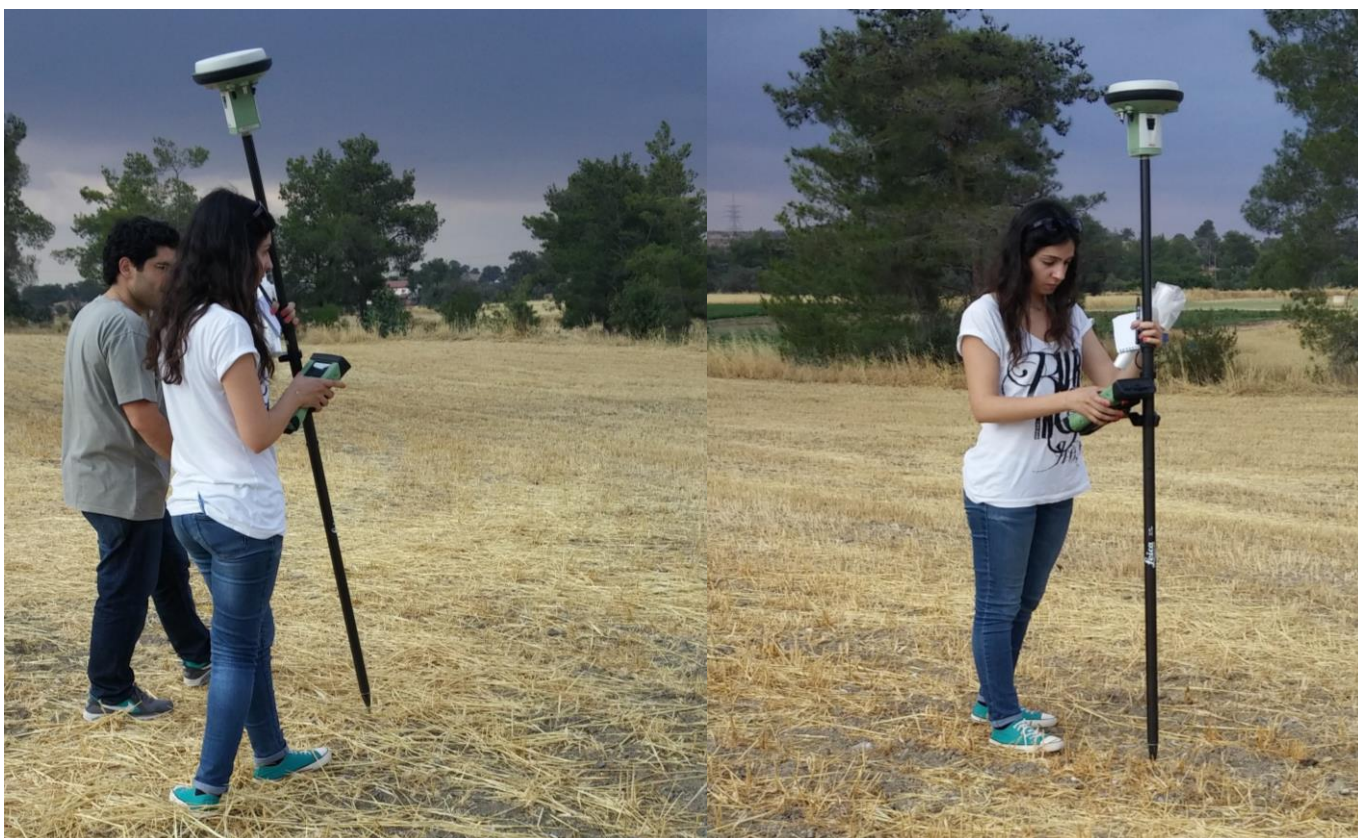


Εικόνα 6: Περιοχή Καταλιόντας-Κούρβελλος

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Το πρώτο πράγμα που έγινε αφού μας ανατέθηκε η εργασία, ήταν η μελέτη και η αναγνώριση των ενεργειών που θα χρειαζόταν να γίνουν έτσι ώστε να φέρουμε εις πέρας τα απαραίτητα αποτελέσματα. Μεταξύ άλλων καταλήξαμε στο ότι η καλύτερη λύση ήταν η δημιουργία δεικτών οι οποίοι θα εφαρμοστούν σε μετέπειτα στάδιο σε υπερφασματικές εικόνες έτσι ώστε να γίνει εύκολα η εύρεση ιχνών σκωρίας στη περιοχή. Καταλήξαμε σε αυτή τη λύση, λόγω του ότι είναι κατά τη γνώμη μου η λιγότερο χρονοβόρα και η πιο συμφέρουσα οικονομικά από τις υπόλοιπες.

Αυτό που έγινε σε αρχικό στάδιο ήταν να επισκεφτούμε την περιοχή Καταλιόντας-Κούρβελλος μαζί με τον Δρ. Julien Beck ο οποίος μας έκανε μια σύντομη περιγραφή της έρευνας του σχετικά με τον πολιτισμό που πιθανώς να βρισκόταν στην περιοχή μελέτης μας κατά την Ακεραμική Νεολιθική εποχή. Επίσης, ο κύριος Julien μας επισήμανε τον σημαντικό ρόλο που θα είχε στην έρευνα του η εύρεση σκωρίας στην περιοχή. Η περιοχή, η οποία βρίσκεται ανατολικά της οροσειράς του Τροόδου και κοντά στο χωριό Αγία Βαρβάρα, περίπου είκοσι χιλιόμετρα έξω από τη Λευκωσία, είναι μια μεγάλη πεδιάδα με ακαλλιέργητο έδαφος. Εκτιμάται ότι ο λόγος για τον οποίο το έδαφος δεν είναι καλλιεργήσιμο στη περιοχή, είναι ο μεγάλος αριθμός σκωριών που βρίσκονται σε αυτό. Από τη πεδιάδα λοιπόν, πήραμε τα δείγματα τα οποία θα μας χρησίμευαν στην συνέχεια της έρευνας μας. Τα δείγματα, όπως προαναφέρθηκε, είναι δείγματα από έδαφος (χώμα), πέτρες, ξηρά χόρτα (άχυρο) και σκωρία. Επιπλέον, φωτογραφίσαμε την περιοχή και πήραμε συντεταγμένες σε διάφορα σημεία του χωραφιού, έτσι ώστε να έχουμε μία πιο γενική εικόνα της περιοχής στο εργαστήριο, αλλά και για να αποφευχθεί μια επιπλέον επίσκεψη σε περίπτωση που θα είχαμε κάποια αμφιβολία ή απορία σχετικά με την περιοχή κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών μετρήσεων.



Κάποιος θα έλεγε ότι θα μπορούσαμε να πάρουμε τις φασματικές υπογραφές που χρειαζόμαστε απευθείας από το πεδίο και έτσι θα εξοικονομούσαμε χρόνο αλλά και κόπο αφού δεν θα χρειαζόταν η μεταφορά των δειγμάτων στο εργαστήριο. Στην περίπτωση όμως, που θα κάναμε αυτή την ενέργεια, τα σφάλματα μας θα ήταν πάρα πολύ μεγάλα και δύσκολα θα εξαλείφονταν. Θα είχαμε να αντιμετωπίσουμε τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις, αλλά και το γεγονός ότι τα δείγματα μας δεν θα ανακλούσαν στο μέγιστο. Αν παίρναμε τις φασματικές υπογραφές ενός δείγματος στο πεδίο, η ανακλαστικότητα που θα μας επέστρεφε πίσω δεν θα ήταν αποκλειστικά του δείγματος που θα μας ενδιέφερε, αλλά θα ανακλούσαν και τα γύρω αντικείμενα επηρεάζοντας την φασματική υπογραφή του δείγματος μας. Έτσι, δεν θα είχαμε μια καθαρή εικόνα για τις φασματικές υπογραφές των δειγμάτων μας και συνεπώς, δεν θα ήμασταν εξ ολοκλήρου σίγουροι για το πώς αντιδρά το κάθε δείγμα στο φως του ήλιου. Έτσι, μεταφέροντας τα δείγματα μας στο πεδίο και κάνοντας τις απαραίτητες ενέργειες μπορούσαμε να πάρουμε όλες τις φασματικές υπογραφές που μας ενδιέφεραν, χωρίς ιδιαίτερα σφάλματα και χωρίς γειτονικές ανακλάσεις από άλλα αντικείμενα.



Εικόνα 7: Δείγματα

Για να το επιτύχουμε αυτό, έπρεπε στο εργαστήριο να γίνουν οι απαραίτητες ενέργειες και έλεγχοι. Έπρεπε να γίνει ο έλεγχος φωτισμού, δηλαδή να γίνει η τοποθέτηση ενός λαμπτήρα που θα έπαιζε το ρόλο του ήλιου στην περίπτωση μας. Επίσης, φροντίσαμε στο εργαστήριο να μην υπάρχουν ανοικτά παράθυρα για να αποφεύγονται οι άνεμοι και συνεπώς και οι περιβαλλοντικές επιδράσεις, αλλά και η θερμοκρασία να είναι ελεγχόμενη για αποφυγή των ατμοσφαιρικών επιδράσεων. Μια επιπλέον σημαντική παρατήρηση που έπρεπε να γίνει ήταν ο φωτισμός στο δωμάτιο. Έπρεπε να υπάρχει απόλυτο σκοτάδι έτσι ώστε το μόνο πράγμα που θα έκπεμπε φως να ήταν ο λαμπτήρας. Τέλος, η βάση του οργάνου στην οποία θα ακουμπούσαμε τα δείγματα μας, έπρεπε να είναι καλυμμένη με μαύρο ρούχο ώστε να απορροφά όλη την ακτινοβολία και το μόνο που θα αντανακλά το φως του τεχνητού ήλιου να είναι το δείγμα μας. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγουμε τα σφάλματα που θα είχαμε αν παίρναμε τις μετρήσεις μας στο πεδίο.

Αφού ρυθμίσαμε και ελέγξαμε το περιβάλλον του εργαστηρίου μας, έπρεπε να ρυθμίσουμε και το όργανο με το οποίο θα παίρναμε τις μετρήσεις μας. Αρχικά, ενώσαμε το φασματοραδιόμετρο με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και το στηρίξαμε στην ειδική βάση για

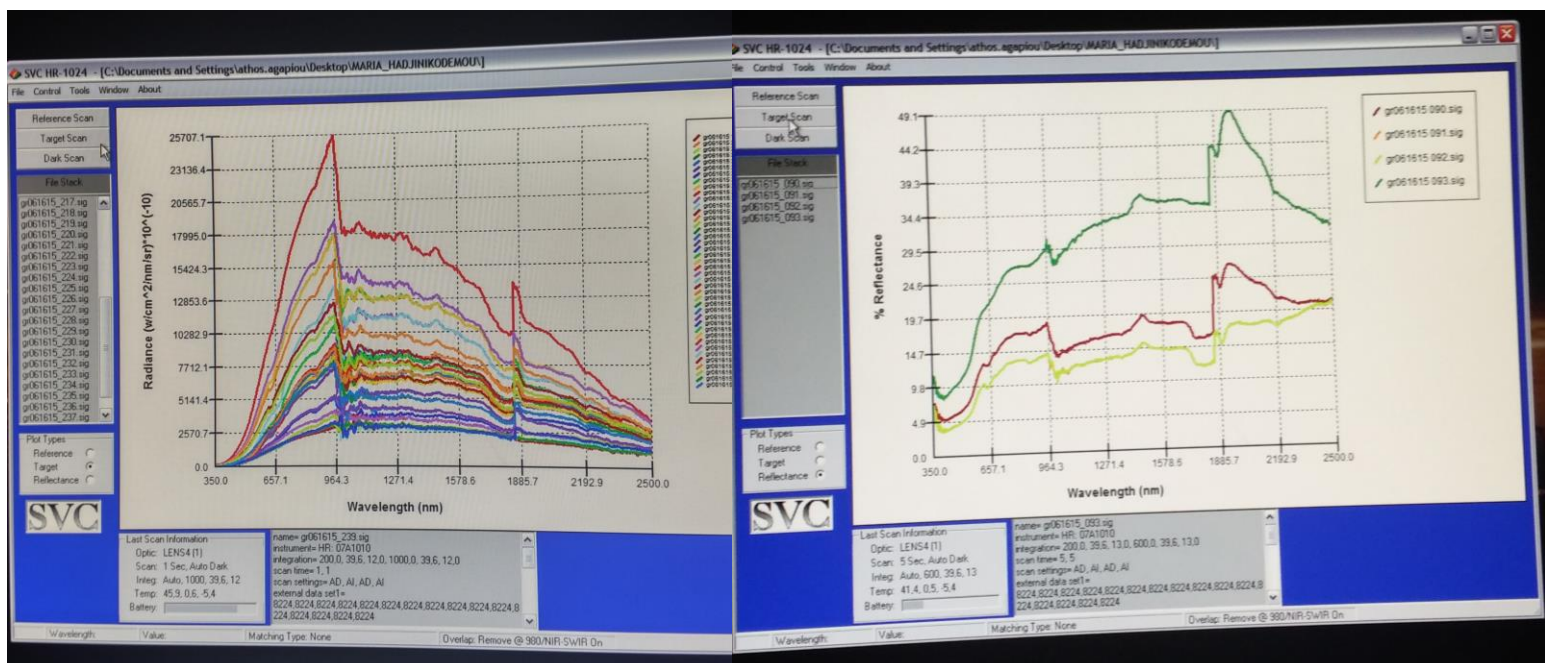
μετρήσεις. Στην συνέχεια, βαθμονομήσαμε το όργανο μας με την βοήθεια του spectralon panel. Το spectralon panel είναι ένα λευκό πλαίσιο το οποίο χρησιμοποιείται για να πάρουμε την μέτρηση αναφοράς (reference) με το όργανο μας, και στη συνέχεια να προχωρήσουμε με τους στόχους μας (target). Με την μέτρηση reference γνωρίζουμε την συνολική ακτινοβολία που πέφτει από το τεχνητό φως στο αντικείμενο μας, αφού λόγω του λευκού πλαισίου, όλη ή το μεγαλύτερο μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανακλάται ισότροπα προς την αντίθετη κατεύθυνση. Με αυτό τον τρόπο είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε πόση από την προσπίπτουσα ακτινοβολία απορροφά το κάθε δείγμα, και πόση αντανακλά πίσω στην ατμόσφαιρα.

Κάνοντας όλες τις πιο πάνω ενέργειες και ελέγχους του εργαστηρίου και του οργάνου, ξεκινήσαμε να παίρνουμε τις μετρήσεις φασματικών υπογραφών για κάθε δείγμα ξεχωριστά. Για να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την φασματική υπογραφή και την ανακλαστικότητα του κάθε δείγματος, για κάθε ένα παίρναμε μετρήσεις από διαφορετικές πλευρές έτσι ώστε να καλύψουμε όλες τις πλευρές του. Το φασματοραδιόμετρο ρυθμίστηκε ώστε να παίρνει δέκα μετρήσεις κάθε φορά και να μας επιστρέφει τον μέσο όρο των δέκα αυτών μετρήσεων. Από τις τιμές ανακλαστικότητας του κάθε νανόμετρου για κάθε δείγμα, προέκυψαν οι γραφικές παραστάσεις των φασματικών υπογραφών, οι οποίες απεικονίζουν ανακλαστικότητα (άξονας X) με μήκος κύματος (άξονας Y).



Εικόνα 8: Δείγματα στο εργαστήριο

Το επόμενο βήμα ήταν η επεξεργασία των φασματικών υπογραφών και των τιμών ανακλαστικότητα. Έχοντας ένα υποθετικό παράδειγμα του πώς καταγράφεται στους αισθητήρες του LANDSAT το νερό, η γλωρίδα και το ξηρό έδαφος μπορέσαμε να παρατηρήσουμε και να συγκρίνουμε τις φασματικές υπογραφές που πήραμε με το παράδειγμα αλλά και μεταξύ τους. Ξέρουμε από το παράδειγμα μας, ότι η αντανάκλαση από το ξηρό έδαφος αυξάνεται βαθμιαία από την περιοχή του ορατού, κανάλι μπλε, πράσινο και κόκκινο στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου φάσματος και το νερό αντανάκλα την ακτινοβολία μόνο στην περιοχή του ορατού φάσματος, δηλαδή μόνο στο μπλε, πράσινο και κόκκινο κανάλι. Επομένως, καθώς το νερό δεν αντανάκλα σχεδόν καθόλου στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου, μπορεί να διακριθεί εύκολα από άλλες επιφάνειες αφού σε μια υπερφασματική εικόνα οι υδάτινες επιφάνειες θα έχουν σκούρο χρώμα (χαμηλές τιμές εικονοστοιχείου). Ιδιαίτερα χαρακτηριστική είναι και η φασματική υπογραφή των φυτών. Η χλωροφύλλη των αναπτυσσόμενων φυτών απορροφά την ακτινοβολία στην περιοχή του ορατού και ιδιαίτερα στο κόκκινο, ενώ ανακλάται σχεδόν πλήρως η ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο. Κατά συνέπεια, η αντανάκλαση της βλάστησης στην περιοχή του ορατού φάσματος και στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου διαφέρουν σημαντικά. Έτσι, σε μια υπερφασματική εικόνα η βλάστηση θα έχει κόκκινο χρώμα και θα μπορεί να διακριθεί από άλλες επιφάνειες.



Εικόνα 9:Φασματικές υπογραφές από το εργαστήριο

Αφού βγάλαμε τα συμπεράσματα μας από τις φασματικές υπογραφές, προχωρήσαμε στην επεξεργασία των τιμών ανακλαστικότητα για να καταλήξουμε στην δημιουργία των δεικτών μας. Από τις τιμές που πήραμε με το φασματοραδιόμετρο κάναμε κάποιες συσχετίσεις και δημιουργήσαμε τους πίνακες ελάχιστης απόστασης. Οι πίνακες ελάχιστης απόστασης είναι πίνακες στους οποίους συσχετίσαμε τις ανακλαστικότητες των δειγμάτων του εδάφους και της σκωρίας. Δηλαδή, έγινε μια αφαίρεση μεταξύ των ανακλαστικότητων του κάθε δείγματος για όλα τα μήκη κύματος, γεγονός που θα μας βοηθήσει να αντιληφθούμε μεταξύ ποιων μηκών κύματος γίνεται καλύτερη συσχέτιση και συνεπώς η σκωρία θα είναι καλύτερα

αντιληπτή. Η διαφορά ανακλαστικότητας μεταξύ των μηκών 450nm της σκωρίας και 900nm του εδάφους είχε τη μεγαλύτερη τιμή, πράγμα που μας δείχνει ότι μεταξύ αυτών των μηκών η σκωρία αντανακλά εντονότερα και συνεπώς θα φαίνεται καλύτερα απ' ό,τι το έδαφος σε μια υπερφασματική εικόνα. Επιπλέον, βρέθηκε ο μέσος όρος αντανάκλασης του κάθε καναλιού για τα δείγματα σκωρίας, εδάφους και πετρών. Από τους πίνακες του μέσου όρου παρατηρήσαμε ότι στο εγγύς υπέρυθρο έχουμε πιο έντονη αντανάκλαση για όλα τα δείγματα απ' ό,τι στα υπόλοιπα κανάλια.

Έχοντας πλέον μια γενική εικόνα για τις τιμές ανακλαστικότητας και τις φασματικές υπογραφές του κάθε δείγματος προχωρήσαμε στη δημιουργία των δεικτών βλάστησης. Οι δείκτες βλάστησης είναι διάφοροι αλγόριθμοι που έχουν αναπτυχθεί από τους ερευνητές έτσι ώστε να βελτιώσουν τα αποτελέσματα ενός φαινομένου σε σχέση με μια εικόνα ή να κάνουν αντιληπτά κάποια φαινόμενα που μπορεί να υπάρχουν στην εικόνα, όπως για παράδειγμα βλάστηση ή καμένη γη.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα δεικτών είναι οι δείκτες βλάστησης οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση υγιούς βλάστησης σε μια περιοχή. Στηρίζονται σε απλούς συνδυασμούς του υπέρυθρου και ορατού φάσματος και συνεπώς στο χαρακτηριστικό γνώρισμα της υγιούς βλάστησης που είναι η χαμηλή αντανάκλαση του φυτού στο ορατό φάσμα και η υψηλή ανακλαστικότητα στο υπέρυθρο.

Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο προκύπτουν, μπορεί να προέρχονται από λόγους καναλιών, τη κλίση ή άλλους συνδυασμούς.

Οι δείκτες μπορεί να διακριθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

1. σε απλούς λόγους (π.χ. SR και NDVI) οι οποίοι κάνουν χρήση μόνο την φασματική ακτινοβολία.
2. δείκτες που κάνουν χρήση τη γραμμή του εδάφους (soil-line related indices), οι οποίοι περιλαμβάνουν παραμέτρους της γραμμής εδάφους όπως είναι ο PVI, WDVI, SAVI TSAVI, MSAVI κ.ά, και
3. οι ατμοσφαιρικά διορθωμένοι δείκτες όπως είναι ο ARVI και ο GEMI.

Συνολικά δημιουργήσαμε οκτώ δείκτες οι οποίοι μας έδιναν μια τιμή ο κάθε ένας για κάθε δείγμα. Οι οκτώ δείκτες μας είναι ο Green NDVI που κάνει χρήση της ανακλαστικότητας του πράσινου καναλιού, ο NDVI που χρησιμοποιεί την ανακλαστικότητα του κόκκινου καναλιού, ο SR, ARVI, RDVI, IRG, RVI και ο OSAVI. Επιλέξαμε να δημιουργήσουμε έναν ακόμα δείκτη, τον προτεινόμενο δείκτη, ο οποίος προέκυψε από τους πίνακες ελάχιστης απόστασης που δημιουργήθηκαν. Παρατηρώντας λοιπόν, από τους πίνακες ελάχιστης απόστασης ότι η διαφορά ανακλαστικότητας μεταξύ των μηκών 450nm της σκωρίας και 900nm του εδάφους είχε τη μεγαλύτερη τιμή, επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε τις τιμές ανακλαστικότητας των δύο αυτών μηκών και να φτιάξουμε μια συσχέτιση που θα μας οδηγούσε στον προτεινόμενο δείκτη. Η συσχέτιση που προτείναμε ήταν η εξής: $(p900 - p450) / (p900 + p450)$, η οποία μας έδωσε μία λογική τιμή για τον προτεινόμενο μας δείκτη.

Τελειώνοντας, έχουμε πλέον όλα τα απαραίτητα στοιχεία και τις απαραίτητες τιμές από τους δείκτες που δημιουργήσαμε μπορούμε να τα προτείνουμε ώστε να χρησιμοποιηθούν από τους μελετητές και αρχαιολόγους στις υπερφασματικές φωτογραφίες που διαθέτουν για να

συνεχίσουν και να ολοκληρώσουν την έρευνα τους. Τέλος, φαίνονται πιο περιληπτικά οι εργασίες που εκτελέσαμε σε ένα διάγραμμα εργασιών.



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα Μεθοδολογίας

3.1 Μετρήσεις

3.1.1 Μετρήσεις πεδίου

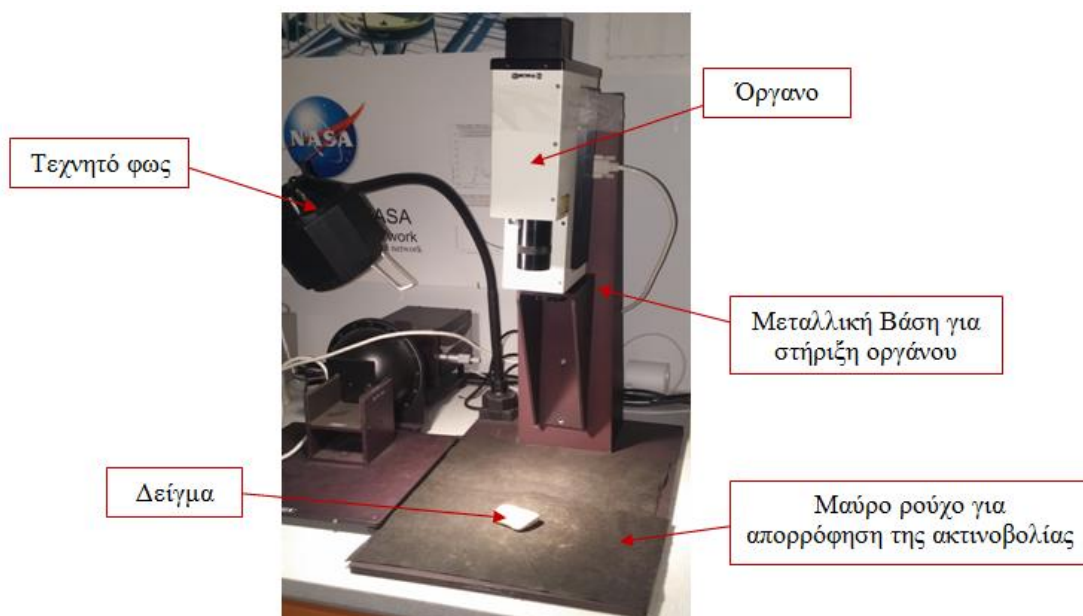
Όπως προαναφέρθηκε, στο πεδίο έγινε η αναγνώριση και μελέτη της περιοχής, καθώς επίσης και η συλλογή των δειγμάτων τα οποία θα μας χρησίμευαν στην συνέχεια της έρευνας μας. Τα δείγματα μας είναι δείγματα από έδαφος (χώμα), πέτρες, ξηρά χόρτα (άχυρο) και σκωρία. Έγινε μια φωτογράφιση της περιοχής και πήραμε συντεταγμένες σε διάφορα σημεία του χωραφιού, έτσι ώστε να έχουμε μία πιο γενική εικόνα της περιοχής στο εργαστήριο, αλλά και για αποφυγή μιας επιπλέον επίσκεψης στο πεδίο καθώς κάτι τέτοιο δεν θα ήταν οικονομικά εφικτό.

3.1.2 Μετρήσεις εργαστηρίου

Αφού μεταφέραμε τα δείγματα του πεδίου στο εργαστήριο, πήραμε τις φασματικές υπογραφές του κάθε δείγματος για να τις χρησιμοποιήσουμε στην μετέπειτα επεξεργασία για δημιουργία δεικτών. Προτού όμως ξεκινήσουμε με την ανάκτηση των φασματικών υπογραφών έπρεπε να γίνουν οι απαιτούμενοι έλεγχοι στο εργαστήριο ώστε να έχουμε το κατάλληλο περιβάλλον. Πρωταρχικός έλεγχος ήταν ο έλεγχος φωτισμού. Φροντίσαμε στο δωμάτιο να επικρατεί απόλυτο σκοτάδι έτσι ώστε το μόνο που θα εκπέμπει φως να είναι ο λαμπτήρας που τοποθετήσαμε που στην περίπτωση έχει το ρόλο του ήλιου. Επίσης, φροντίσαμε στο εργαστήριο να μην υπάρχουν ανοικτά παράθυρα για να αποφεύγονται οι άνεμοι και συνεπώς και οι περιβαλλοντικές επιδράσεις, αλλά και η θερμοκρασία να είναι ελεγχόμενη για αποφυγή των ατμοσφαιρικών επιδράσεων. Τέλος, η βάση του οργάνου στην

οποία θα ακουμπούσαμε τα δείγματα μας, έπρεπε να είναι καλυμμένη με μαύρο ρούχο ώστε να απορροφά όλη την ακτινοβολία και το μόνο που θα αντανακλά το φως του τεχνητού ήλιου να είναι το δείγμα μας.

Αφού ρυθμίσαμε και ελέγξαμε το περιβάλλον του εργαστηρίου μας, ρυθμίσαμε και το όργανο με το οποίο θα πάρουμε τις μετρήσεις μας. Αρχικά, ενώσαμε το φασματοραδιόμετρο με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και το στηρίξαμε στην ειδική βάση για μετρήσεις. Στην συνέχεια, βαθμονομήσαμε το όργανο μας με την βοήθεια του spectralon panel. Το spectralon panel είναι ένα λευκό πλαίσιο το οποίο χρησιμοποιείται για να πάρουμε την μέτρηση αναφοράς (reference) με το όργανο μας, και στη συνέχεια να προχωρήσουμε με τους στόχους μας (target). Με την μέτρηση reference γνωρίζουμε την συνολική ακτινοβολία που πέφτει από το τεχνητό φως στο αντικείμενο μας, αφού λόγω του λευκού πλαισίου, όλη ή το μεγαλύτερο μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανακλάται ισότροπα προς την αντίθετη κατεύθυνση. Με αυτό τον τρόπο είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε πόση από την προσπίπτουσα ακτινοβολία απορροφά το κάθε δείγμα, και πόση αντανακλά πίσω στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα 10: Βάση για στήριξη οργάνου

Κάνοντας όλες τις πιο πάνω ενέργειες και ελέγχους του εργαστηρίου και του οργάνου, ξεκινήσαμε να παίρνουμε τις μετρήσεις φασματικών υπογραφών για κάθε δείγμα ξεχωριστά. Για να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την φασματική υπογραφή και την ανακλαστικότητα του κάθε δείγματος, για κάθε ένα παίρναμε μετρήσεις από διαφορετικές πλευρές έτσι ώστε να καλύψουμε όλες τις πλευρές του. Το φασματοραδιόμετρο ρυθμίστηκε ώστε να παίρνει δέκα μετρήσεις κάθε φορά και να μας επιστρέφει τον μέσο όρο των δέκα αυτών μετρήσεων. Από τις τιμές ανακλαστικότητας του κάθε νανόμετρου για κάθε δείγμα, προέκυψαν οι γραφικές παραστάσεις των φασματικών υπογραφών, οι οποίες απεικονίζουν ανακλαστικότητα (άξονας X) με μήκος κύματος (άξονας Y). Οι φασματικές υπογραφές των δειγμάτων πάρθηκαν με το φασματοραδιόμετρο SVC HR 1024, ενώ η επεξεργασία τους

έγινε μέσω του λογισμικού Excel. Οι προδιαγραφές του οργάνου που χρησιμοποιήθηκε φαίνονται πιο κάτω.

Specifications	
Spectral Range	350 nm- 2500 nm
Internal Memory	500 scans
Spectral Resolution	≤ 3.5 nm, 700 nm ≤ 9.5 nm, 1500 nm ≤ 6.5 nm, 2100 nm
Bandwidth (nominal)	≤ 1.5 nm, 350 - 1000 nm ≤ 3.8 nm, 1000 - 1890 nm ≤ 2.5 nm, 1890 - 2500 nm
Detectors	512 Si array 350 - 1000 nm 256 InGaAs array 1000 - 1890 nm 256 Ext InGaAs array 1890 - 2500 nm
FOV - Standard	4° standard
FOV - Optional	8° or 14° optional foreoptic 25° optional armored fiber optic Irradiance Sphere Reflectance Probe
Stray Light	< 0.1% @ 500 nm
Noise Equivalent Radiance 1.0 sec. integration time	$\leq 8.0 \times 10^{-10}$ W/cm ² /nm/sr @ 700 nm $\leq 1.5 \times 10^{-9}$ W/cm ² /nm/sr @ 1500 nm $\leq 3.0 \times 10^{-9}$ W/cm ² /nm/sr @ 2100 nm
Maximum Radiance	1.3×10^{-4} W/cm ² /nm/sr @ 700 nm
Calibration Accuracy (NIST Traceable)	± 5 % @ 400 nm ± 4 % @ 700 nm ± 7 % @ 2200 nm

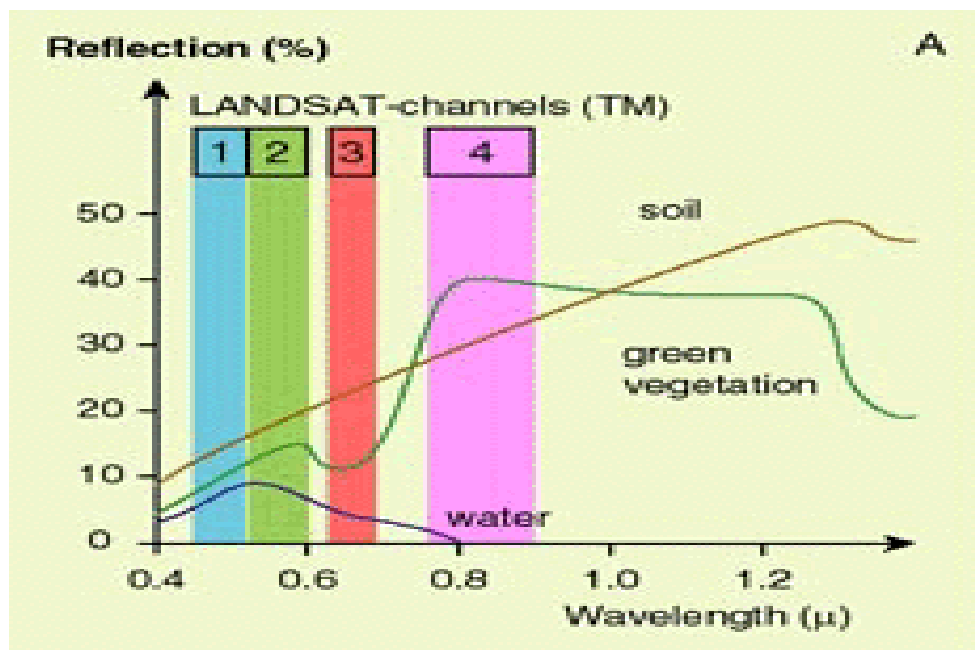
Εικόνα 11: Χαρακτηριστικά Φασματοραδιόμετρου SVC HR1024.

Αφού βαθμονομήσαμε το όργανο μας, εκτελέσαμε τις μετρήσεις για τα δείγματα μας. Για κάθε δείγμα παίρναμε μετρήσεις από διαφορετικές πλευρές έτσι ώστε να καλύψουμε όλες τις πλευρές του δείγματος και να έχουμε μια πιο καλή εικόνα για την ανακλαστικότητα του κάθε αντικειμένου. Το όργανο ρυθμίστηκε ώστε να παίρνει δέκα (10) μετρήσεις για κάθε δείγμα και να μας δίνει το μέσο όρο των δέκα αυτών για καλύτερη ακρίβεια.

Επειδή θέλουμε να συλλέξουμε φάσματα ανακλαστικότητας για ένα συγκεκριμένο υλικό και τους παρακείμενους τύπους κάλυψης γης (π.χ. χώμα, ξηρή βλάστηση, πέτρες), χρειάστηκε να μετρηθεί η φασματική ανακλαστικότητα των υλικών σε όλη την περιοχή μηκών κύματος από 350 nm έως 2500 nm.

3.2 Φασματικές Υπογραφές

Η φασματική υπογραφή μιας επιφάνειας ονομάζεται η ακτινοβολία που αντανακλάται από αυτή, στα διάφορα μήκη κύματος. Οι διάφοροι τύποι επιφανειών, όπως το νερό, τα χερσαία εδάφη ή η βλάστηση, ανακλούν την ακτινοβολία με διαφορετικό τρόπο στα διάφορα κανάλια, και άρα έχουν διαφορετικές φασματικές υπογραφές.



Διάγραμμα 2: Φασματικές υπογραφές νερού, βλάστησης, ξηρού εδάφους

Το γράφημα μας δείχνει ένα υποθετικό παράδειγμα του πώς καταγράφεται στους αισθητήρες του Landsat το νερό, η χλωρίδα και το ξηρό έδαφος.

Η αντανάκλαση από το ξηρό έδαφος αυξάνεται βαθμιαία από την περιοχή του ορατού, μπλε, πράσινο, κόκκινο (κανάλι 1, 2, 3), στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου φάσματος (κανάλι 4). Υπάρχουν μεγάλες διαφορές ανάμεσα στους διάφορους τύπους εδάφους. Διαφορετικοί συνδυασμοί μετάλλων στην επιφάνεια της γης έχουν διαφορετικές φασματικές υπογραφές. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται μόνο μια μέση καμπύλη του ξηρού εδάφους.

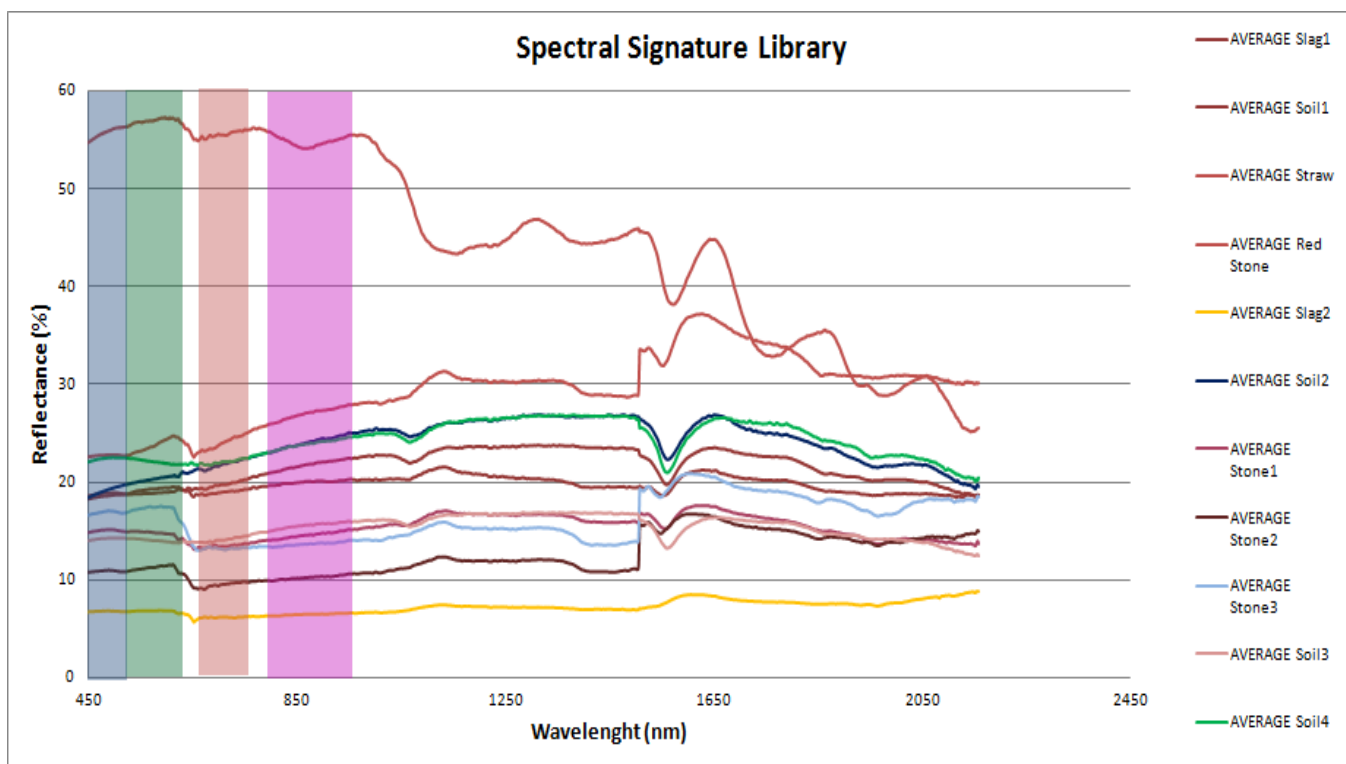
Κατά κανόνα, το νερό αντανακλά την ακτινοβολία μόνο στην περιοχή του ορατού φάσματος, δηλαδή μόνο στο μπλε, πράσινο και κόκκινο κανάλι. Καθώς το νερό δεν αντανακλά σχεδόν καθόλου στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου, μπορεί να διακριθεί εύκολα από άλλες επιφάνειες. Επομένως οι υδάτινες επιφάνειες μπορούν να διακριθούν εύκολα επειδή έχουν σκούρο χρώμα (χαμηλές τιμές εικονοστοιχείου) στις απεικονίσεις που καταγράφονται στο εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος.

Ιδιαίτερα χαρακτηριστική είναι η φασματική υπογραφή των φυτών. Η χλωροφύλλη των αναπτυσσόμενων φυτών απορροφά την ακτινοβολία στην περιοχή του ορατού και ιδιαίτερα στο κόκκινο που χρησιμοποιείται για τη φωτοσύνθεση, ενώ ανακλάται σχεδόν πλήρως η ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο, καθώς είναι άχρηστη για το φυτό. Με τον τρόπο αυτό τα

φυτά αποφεύγουν την άσκοπη θέρμανση και την απώλεια υγρών λόγω της εξάτμισης. Κατά συνέπεια, η αντανάκλαση της βλάστησης στην περιοχή του ορατού φάσματος και στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου διαφέρουν σημαντικά. Το μέγεθος της διαφοράς φανερώνει πόσο μεγάλο είναι το τμήμα της απεικονιζόμενης περιοχής που καλύπτεται από πράσινα φύλλα (δείκτης φυλλώδους περιοχής).

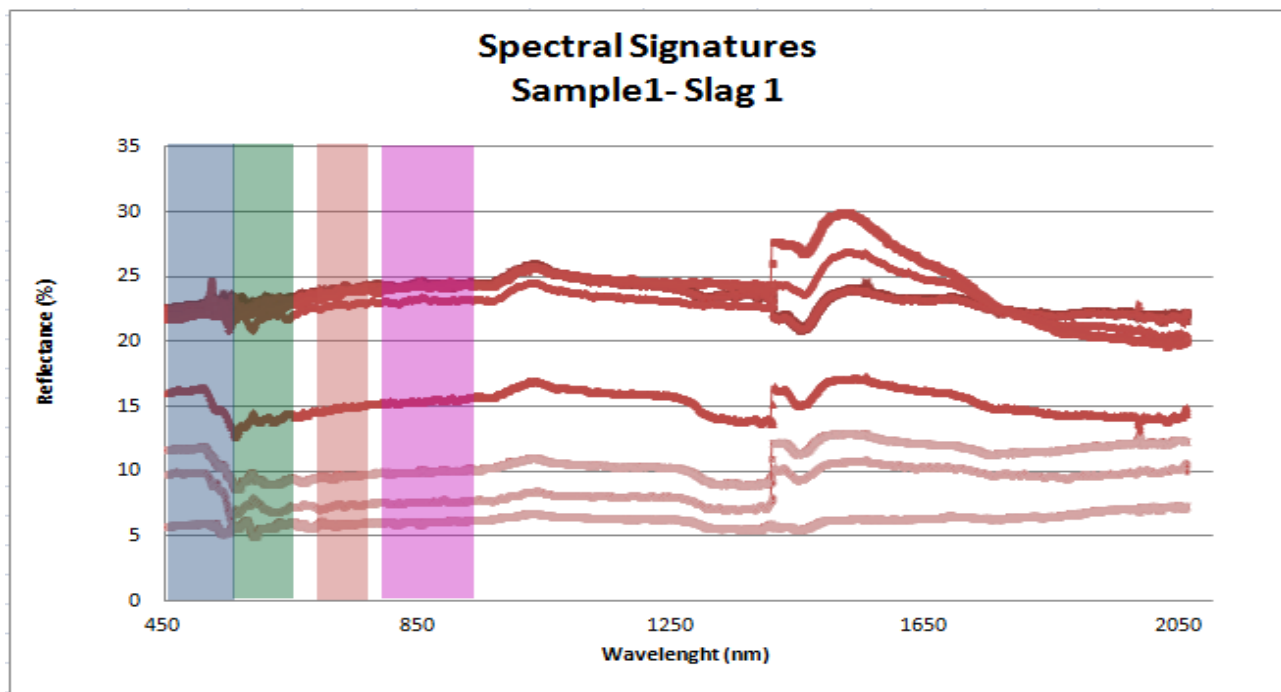
3.2.1 Φασματικές υπογραφές εργαστηρίου ανά κατηγορία

Από το Διάγραμμα 3 στο οποίο απεικονίζονται μαζεμένες όλες οι φασματικές υπογραφές των δειγμάτων μας, παρατηρούμε ότι όλα τα δείγματα αντανακλούν περίπου με τον ίδιο τρόπο. Δηλαδή, στο εγγύς υπέρυθρο η ακτινοβολία έχει μεγαλύτερη τιμή απ' ό τι στο ορατό φάσμα (Blue, Green, Red). Στο μπλε κανάλι (450-520nm) η ακτινοβολία είναι σχεδόν σταθερή ενώ στο πράσινο (520-600nm) μειώνεται σταδιακά μέχρι να φτάσει στο κόκκινο όπου ξεκινά να αυξάνεται.



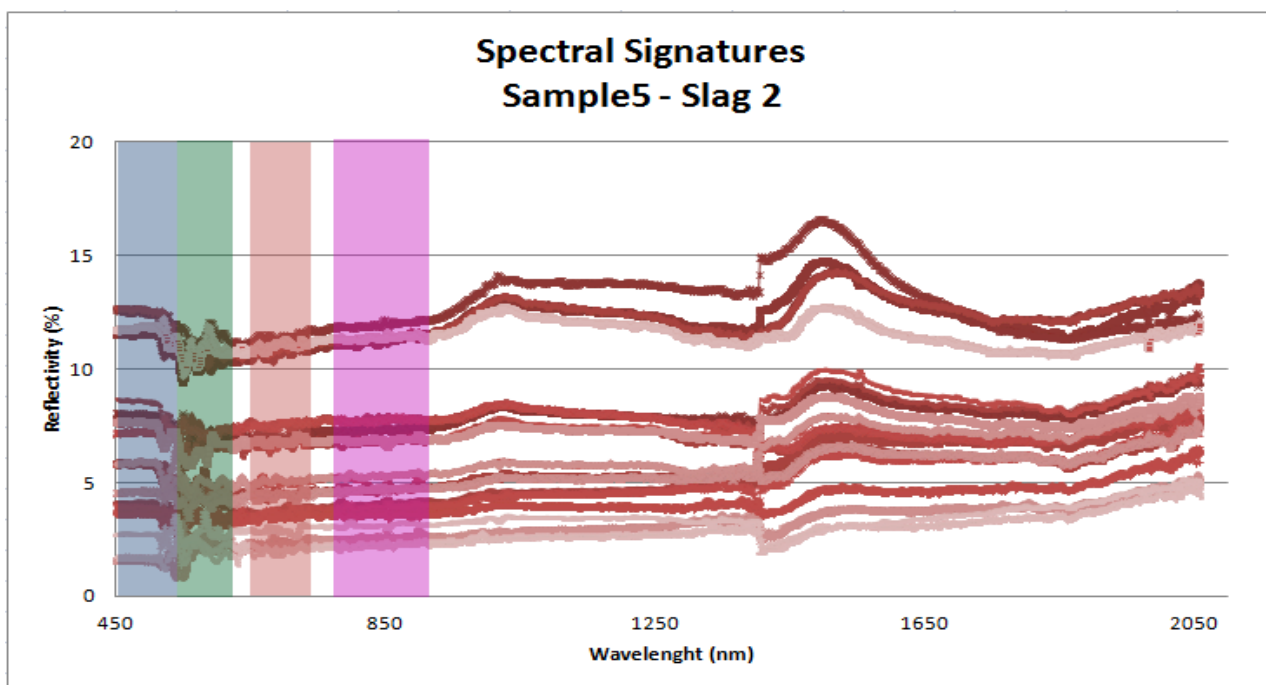
Διάγραμμα 3: Φασματικές υπογραφές όλων των δειγμάτων

Στο Διάγραμμα 4 απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές του δείγματος 1, της πρώτης σκωρίας, από τις διάφορες πλευρές του δείγματος. Παρατηρούμε ότι στο μπλε κανάλι η αντανάκλαση του δείγματος είναι ελαφρώς ψηλότερη απ' ό τι στο πράσινο κανάλι, για όλες τις πλευρές. Επιπλέον, στο κόκκινο και στο εγγύς υπέρυθρο η ακτινοβολία αυξάνεται με πολύ αργό ρυθμό. Είναι δηλαδή σχεδόν σταθερή, γεγονός που συμβαίνει και στην ανακλαστικότητα της δεύτερης σκωρίας (Διάγραμμα 5).



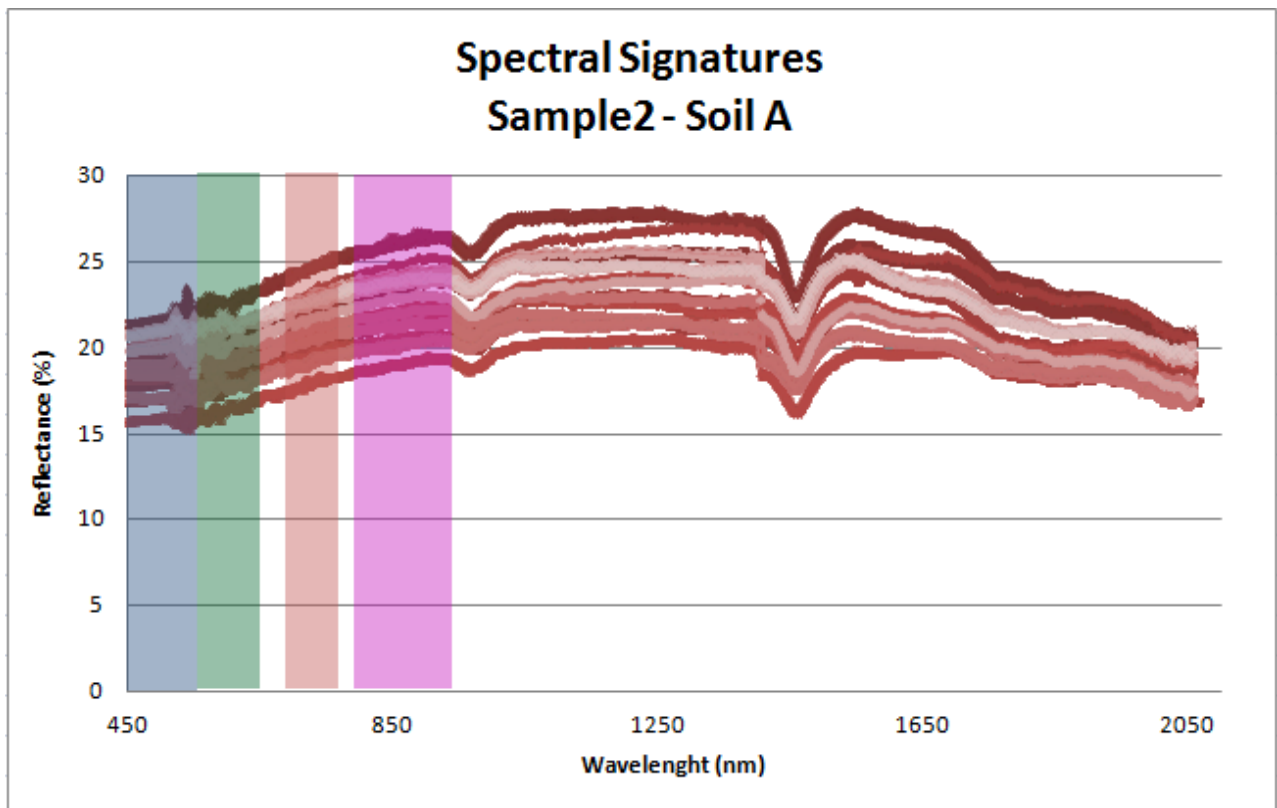
Διάγραμμα 4: Φασματικές υπογραφές σκωρίας 1

Οι φασματικές υπογραφές του δείγματος 5, της δεύτερης σκωρίας (Διάγραμμα 5), είναι κατανομημένες με τον ίδιο τρόπο όπως και οι φασματικές υπογραφές της πρώτης σκωρίας. Δηλαδή, αντανακλά έντονα στο μπλε κανάλι, χαμηλότερα στο πράσινο, και αυξάνεται σταδιακά στο κόκκινο κανάλι και στο εγγύς υπέρυθρο. Έτσι, από τις δύο αυτές γραφικές παραστάσεις, μπορούμε να πάρουμε την γενική εικόνα ανάκλασης των σκωριών. Μπορούμε δηλαδή να αντιληφθούμε το πώς γενικά η σκωρία (όχι μόνο τα 2 δείγματα μας) αντιδρά στην ακτινοβολία του ήλιου. Επιπλέον, γνωρίζοντας πώς η σκωρία αντανακλά το φως του ήλιου, θα μπορούμε σε μετέπειτα στάδιο, έχοντας μια υπερφασματική εικόνα μιας περιοχής, να αντιληφθούμε εύκολα και γρήγορα πιθανά σημάδια σκωρίας πάνω σε αυτή.

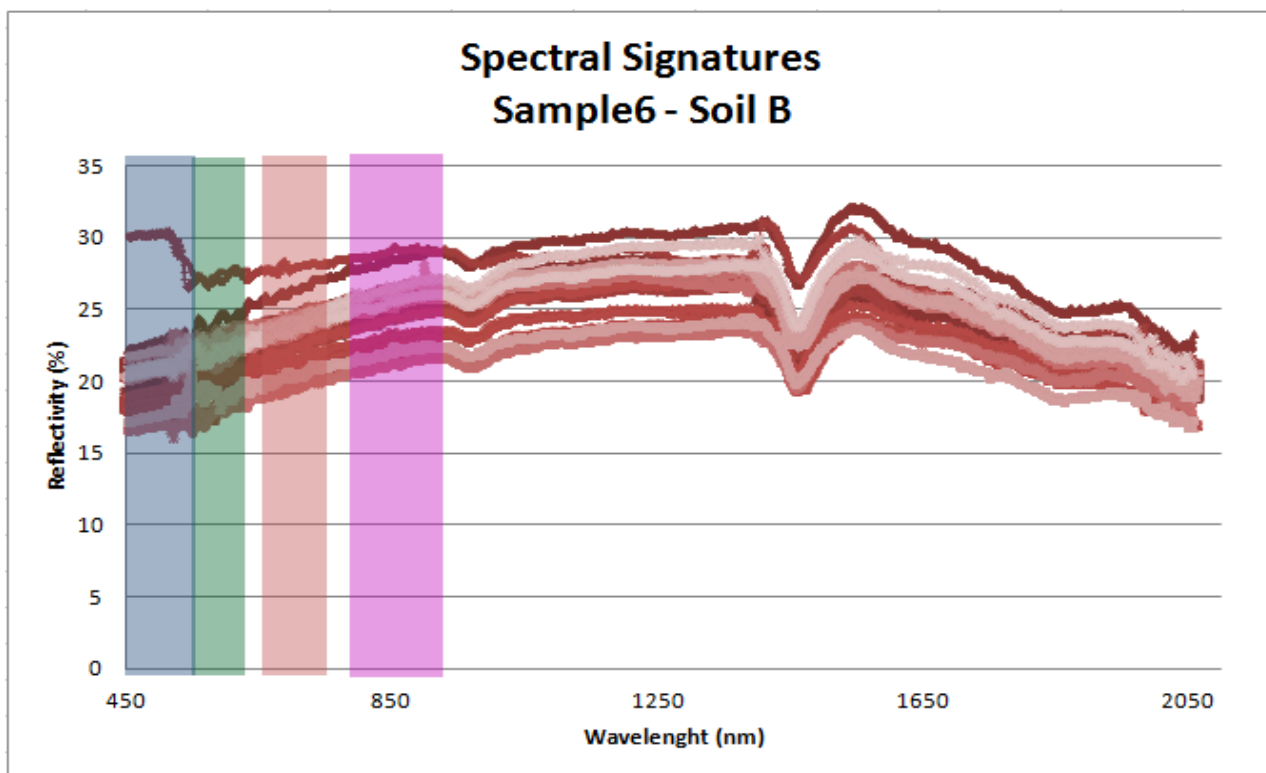


Διάγραμμα 5: Φασματικές υπογραφές σκωρίας 2

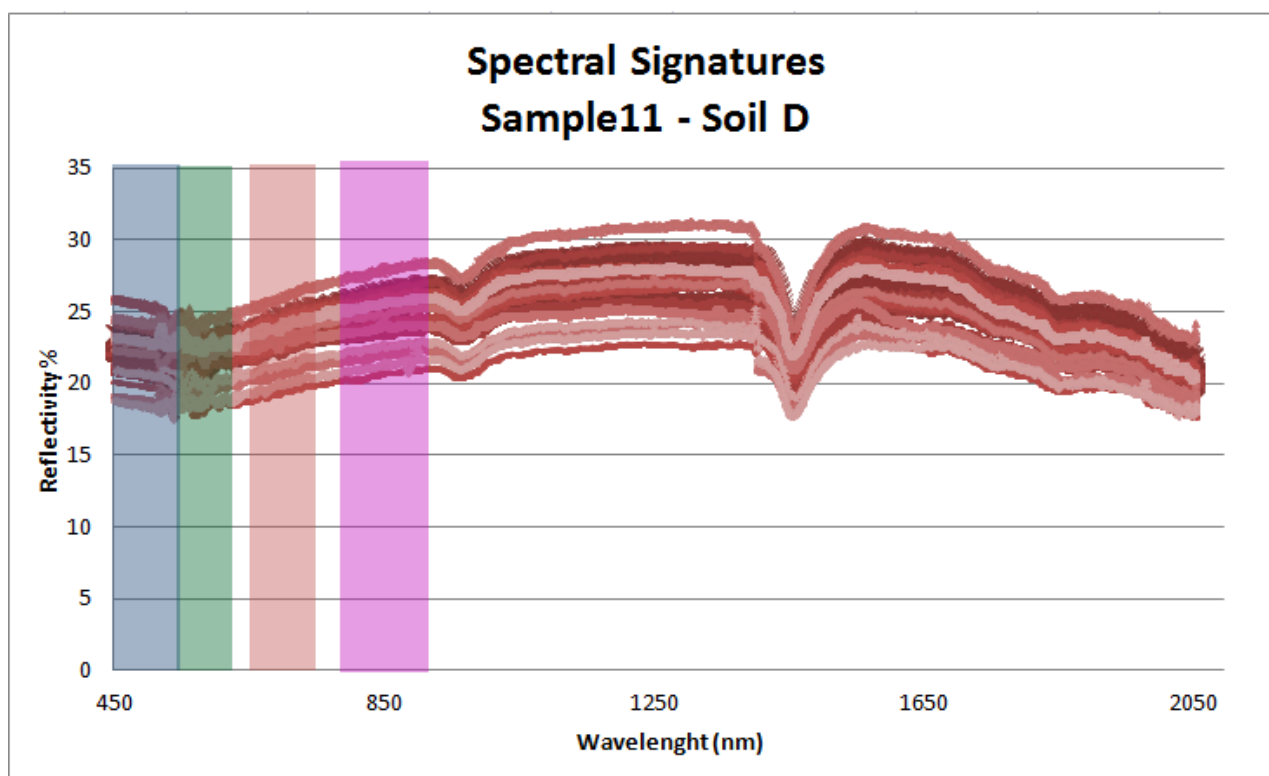
Από το πιο κάτω διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές ενός από τα δείγματα του εδάφους που πήραμε, βλέπουμε ότι το έδαφος αντανακλά εντελώς διαφορετικά από τη σκωρία. Η ανακλαστικότητα του εδάφους είναι ψηλότερη από αυτή των σκωριών, με πιο έντονη αύξηση στα κανάλια του κόκκινου και εγγύς υπέρυθρου, ενώ στα διαγράμματα των σκωριών η αύξηση των καναλιών κόκκινου και εγγύς υπέρυθρου είναι πιο ομαλή. Όλα τα δείγματα του εδάφους που πήραμε από το πεδίο, αντανακλούν την ακτινοβολία όπως αναμέναμε, όπως δηλαδή απεικονίζεται και στο Διάγραμμα 2 των γενικών φασματικών υπογραφών. Έτσι μπορούμε με σιγουριά να αντιληφθούμε το έδαφος σε μια υπερφασματική φωτογραφία. Επιπλέον φασματικές υπογραφές από τα δείγματα του εδάφους απεικονίζονται στα πιο κάτω διαγράμματα (Διάγραμμα 6, 7 και 8).



Διάγραμμα 6: Φασματικές υπογραφές εδάφους 1

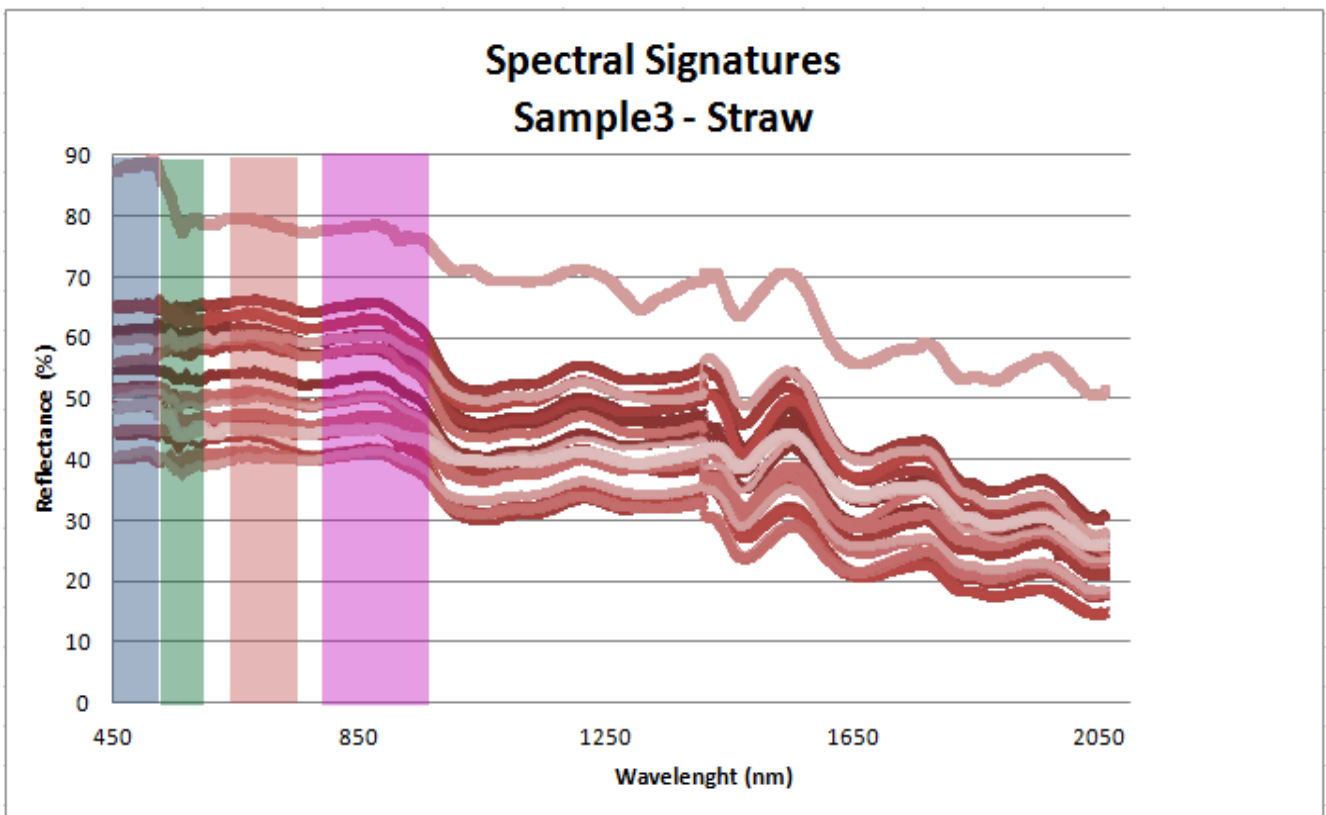


Διάγραμμα 7: Φασματικές υπογραφές εδάφους 2



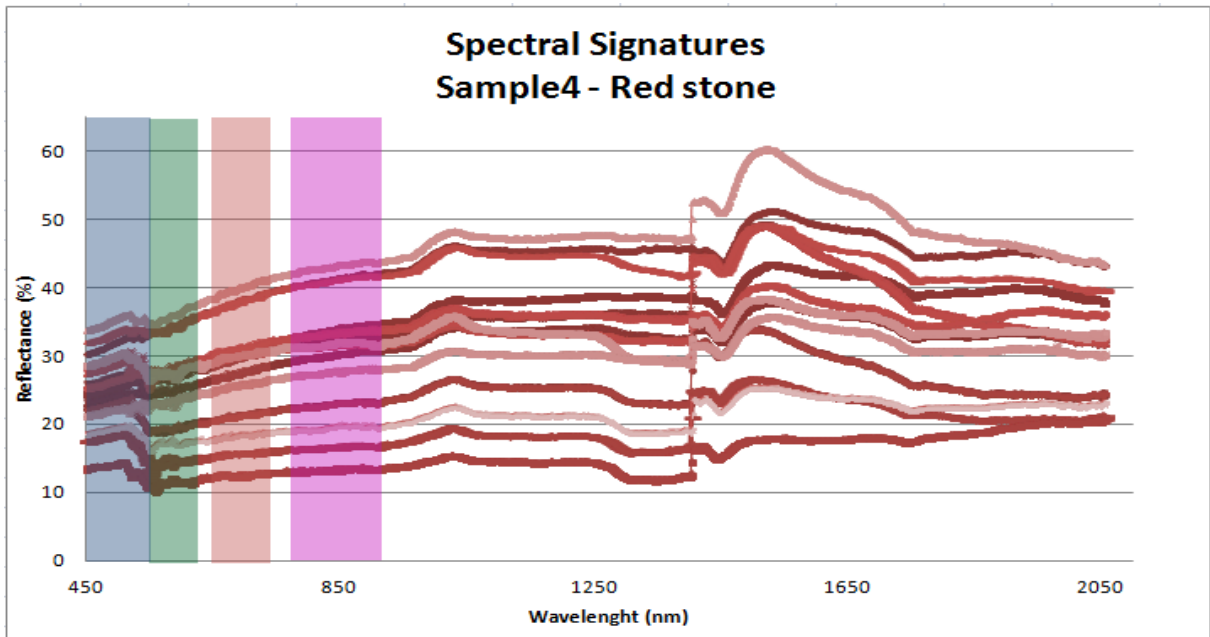
Διάγραμμα 8: Φασματικές υπογραφές εδάφους 4

Το άχυρο, λόγω του ότι είναι ξηρή βλάστηση, αντανακλά το φως του ήλιου εντελώς διαφορετικά απ' ότι η πράσινη βλάστηση που απεικονίζεται στο Διάγραμμα 2. Η υγιής πράσινη βλάστηση έχει μια ιδιαίτερα χαρακτηριστική φασματική υπογραφή. Η χλωροφύλλη των υγιών φυτών απορροφά την ακτινοβολία στην περιοχή του ορατού και ιδιαίτερα στο κόκκινο που χρησιμοποιείται για την φωτοσύνθεση, ενώ ανακλάται σχεδόν όλη η ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο, αφού είναι άχρηστη για το φυτό. Με αυτό τον τρόπο τα φυτά αποφεύγουν την άσκοπη θέρμανση και την απώλεια υγρών λόγω εξάτμισης. Συνεπώς, η αντανάκλαση της βλάστησης στη περιοχή του ορατού φάσματος και στη περιοχή του εγγύς υπέρυθρου διαφέρουν σημαντικά, πράγμα που δεν συμβαίνει και με την αντανάκλαση του άχυρου στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο φάσμα. Δηλαδή, αντί η ακτινοβολία να μειώνεται στο κόκκινο κανάλι και να αυξάνεται στο εγγύς υπέρυθρο, μειώνεται ελαφρώς στο πράσινο κανάλι, είναι σχεδόν σταθερή στο κόκκινο και στο εγγύς υπέρυθρο, ενώ στα μέσα σχεδόν του εγγύς υπέρυθρου αρχίζει να μειώνεται ξανά. Αν δεν γνωρίζαμε το είδος της βλάστησης, από τις φασματικές υπογραφές θα μπορούσαμε με σιγουριά να πούμε ότι το δείγμα μας δεν είναι χλωρή βλάστηση.

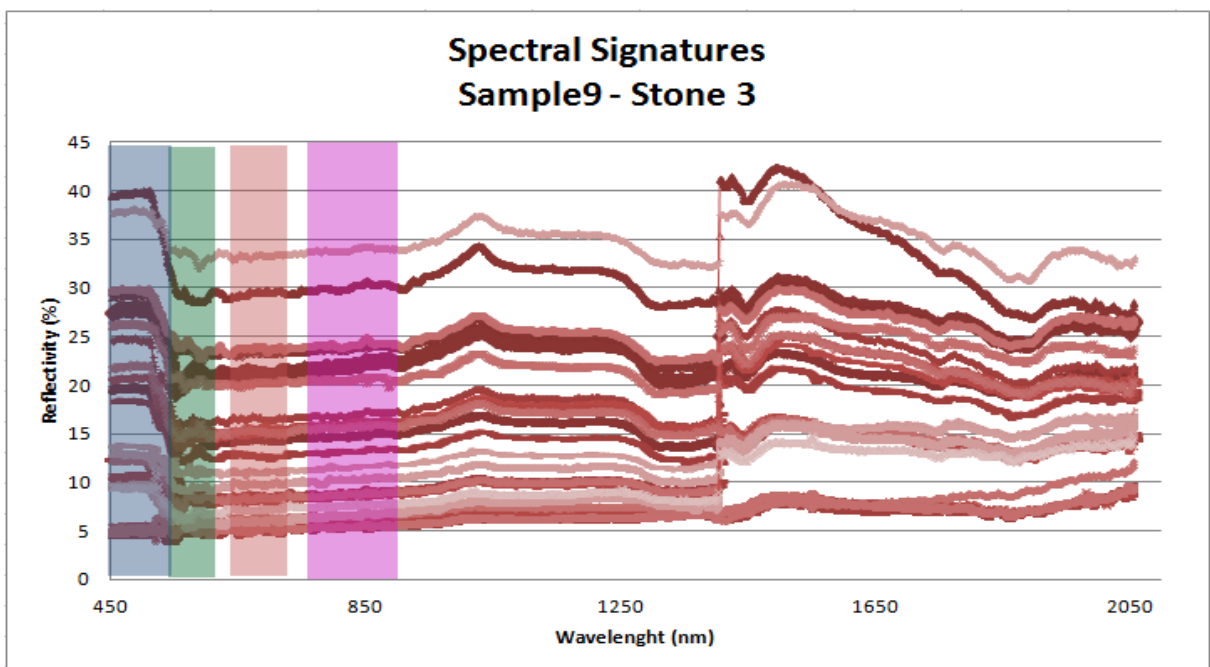


Διάγραμμα 9: Φασματικές υπογραφές για άχυρο

Στο Διάγραμμα 10 πιο κάτω, βλέπουμε τις φασματικές υπογραφές της κόκκινης πέτρας. Στο μπλε κανάλι η ακτινοβολία αυξάνεται, ενώ στην εναλλαγή μπλε με πράσινου καναλιού μειώνεται απότομα και στη συνέχεια αυξάνεται σταδιακά μέχρι και το εγγύς υπέρυθρο. Παρατηρούμε ότι η ανακλαστικότητα της κόκκινης πέτρας είναι παρόμοια με αυτή του εδάφους. Η μόνη διαφορά είναι ότι η ανακλαστικότητα του εδάφους βρίσκεται σε υψηλότερα επίπεδα απ' ό,τι η ανακλαστικότητα της κόκκινης πέτρας. Αντίθετα, το δείγμα της κανονικής πέτρας που πήραμε (Διάγραμμα 11), έχει υψηλή ακτινοβολία στο μπλε κανάλι και μειώνεται έντονα στην εναλλαγή του μπλε με πράσινου καναλιού. Από το πράσινο κανάλι μέχρι το εγγύς υπέρυθρο, η ακτινοβολία της πέτρας παραμένει σχεδόν σταθερή.



Διάγραμμα 10: Φασματικές υπογραφές κόκκινης πέτρας



Διάγραμμα 11: Φασματικές υπογραφές κανονικής πέτρας

3.3 Δείκτες Βλάστησης

Όπως προαναφέρθηκε, οι δείκτες βλάστησης είναι διάφοροι αλγόριθμοι που έχουν αναπτυχθεί έτσι ώστε να βελτιώσουν τα αποτελέσματα ενός φαινομένου σε σχέση με μια εικόνα ή να κάνουν αντιληπτά κάποια φαινόμενα που μπορεί να υπάρχουν στην εικόνα, όπως για παράδειγμα βλάστηση ή καμένη γη. Στην περίπτωση μας δημιουργήσαμε τους δείκτες αυτούς για να παρατηρήσουμε που ακριβώς γίνεται καλύτερα αντιληπτή η σκωρία.

Χρησιμοποιήσαμε απλούς δείκτες οι οποίοι κάνουν χρήση μόνο τη φασματική ακτινοβολία, όπως για παράδειγμα τον δείκτη NDVI και SR, αλλά και ατμοσφαιρικά διορθωμένους δείκτες όπως είναι ο ARVI.

Δημιουργήθηκαν δείκτες από τα δείγματα σκωρίας, εδάφους και πετρών. Αρχικά, βρέθηκε ο μέσος όρος αντανάκλασης του κάθε καναλιού για κάθε δείγμα αντίστοιχα όπως φαίνεται στους πιο κάτω πίνακες.

Πίνακας 1: Μ.Ο ανάκλασης κάθε καναλιού για όλα τα δείγματα εδάφους.

	BLUE(nm)	GREEN(nm)	RED(nm)	NIR(nm)
soil 1	8,8	12,7	15,3	18,0
soil 2	7,8	11,1	13,9	18,2
soil 3	6,5	9,3	11,4	13,7
soil 4	10,2	14,7	17,8	21,6

Πίνακας 2: Μ.Ο ανάκλασης κάθε καναλιού για όλα τα δείγματα σκωρίας.

	BLUE(nm)	GREEN(nm)	RED(nm)	NIR(nm)
slag 1	9,5	13,5	16,0	18,3
slag 2	4,0	5,1	5,9	6,6

Πίνακας 3: Μ.Ο ανάκλασης κάθε καναλιού για όλα τα δείγματα πέτρας.

	BLUE(nm)	GREEN(nm)	RED(nm)	NIR(nm)
stone 1	9,3	11,8	12,9	14,6
stone 2	4,6	6,5	8,0	10,5
stone 3	9,5	12,6	13,9	16,4

Από τους πίνακες του μέσου όρου παρατηρείται ότι στο εγγύς Υπέρυθρο έχουμε πιο έντονη αντανάκλαση για όλα τα δείγματα απ' ότι στα υπόλοιπα κανάλια. Επιπλέον, η αντανάκλαση για τα δύο δείγματα σκωρίων που έχουμε, διαφέρουν μεταξύ τους ενώ οι αντανάκλασεις στα δείγματα εδάφους και πετρών δεν έχουν τόση μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους.

Στον πιο κάτω πίνακα φαίνονται οι φόρμουλες που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των δεικτών.

Πίνακας 4: Δείκτες και Φόρμουλες

Δείκτης	Φόρμουλα
Green NDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index)	$(\text{NIR} - \text{Green}) / (\text{NIR} + \text{Green})$
NDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index)	$(\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$
SR (Simple Ration)	NIR / Red
ARVI (Atmospherically Resistant Vegetation Index)	$(\text{NIR} - \text{rb}) / (\text{NIR} + \text{rb})$, $\text{rb} = \text{Red} - \gamma (\text{Blue} - \text{Red})$
RDVI (Renormalized Difference Vegetation Index)	$(\text{NIR} - \text{Red}) / [(\text{NIR} + \text{Red})^{1/2}]$
IRG (Red Green Ratio Index)	$\text{Red} - \text{Green}$
RVI (Ratio Vegetation Index)	Red / NIR
OSAVI (Optimized Soil Adjusted Vegetation Index)	$(\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red} + 0.16)$
Προτεινόμενος Δείκτης	$(\rho_{900} - \rho_{450}) / (\rho_{900} + \rho_{450})$

Ο προτεινόμενος δείκτης δημιουργήθηκε από δικές μας παρατηρήσεις μέσω των πινάκων ελάχιστης απόστασης. Μερικοί από αυτούς τους πίνακες φαίνονται πιο κάτω (Πίνακας 5 και 6). Οι πίνακες ελάχιστης απόστασης είναι πίνακες στους οποίους συσχετίσαμε τις ανακλαστικότητες των δειγμάτων του εδάφους και της σκωρίας. Δηλαδή, έγινε μια αφαίρεση μεταξύ των ανακλαστικότητων του κάθε δείγματος για όλα τα μήκη κύματος γεγονός που θα μας βοηθήσει να αντιληφθούμε μεταξύ ποιων μηκών κύματος γίνεται καλύτερη συσχέτιση και συνεπώς η σκωρία θα γίνεται καλύτερα αντιληπτή. Η διαφορά ανακλαστικότητας μεταξύ των μηκών 450nm της σκωρίας και 900nm του εδάφους είχε τη μεγαλύτερη τιμή, πράγμα που μας δείχνει ότι μεταξύ αυτών των μηκών η σκωρία αντανακλά εντονότερα και συνεπώς φαίνεται καλύτερα.

Πίνακας 5: Πίνακας ελάχιστης απόστασης μεταξύ δειγμάτων εδάφους 1 και σκωρίας 1.

		soil 1									
	Waveleght	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
slag 1	450	-0,8	0,8	3,3	5,5	6,8	8,1	9,1	9,8	10,2	10,3
	500	-2,2	-0,6	1,9	4,1	5,4	6,7	7,7	8,4	8,8	8,9
	550	-4,9	-3,3	-0,8	1,4	2,7	4,0	5,0	5,7	6,1	6,2
	600	-7,1	-5,6	-3,0	-0,9	0,5	1,7	2,7	3,5	3,9	4,0
	650	-8,2	-6,7	-4,1	-1,9	-0,6	0,7	1,7	2,4	2,8	2,9
	700	-9,4	-7,8	-5,3	-3,1	-1,7	-0,5	0,5	1,3	1,6	1,7
	750	-10,4	-8,8	-6,3	-4,1	-2,7	-1,5	-0,5	0,3	0,6	0,7
	800	-10,9	-9,4	-6,8	-4,7	-3,3	-2,1	-1,1	-0,3	0,1	0,2
	850	-11,2	-9,6	-7,1	-4,9	-3,6	-2,3	-1,3	-0,6	-0,2	-0,1
	900	-11,5	-9,9	-7,4	-5,2	-3,8	-2,6	-1,6	-0,8	-0,5	-0,4

Πίνακας 6: Πίνακας ελάχιστης απόστασης μεταξύ δειγμάτων εδάφους 2 και σκωρίας 2.

		soil 2									
	Waveleght	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
slag 2	450	3,0	4,5	6,6	8,5	10,1	11,9	13,5	14,9	15,8	16,4
	500	2,5	4,1	6,1	8,1	9,7	11,4	13,1	14,4	15,4	16,0
	550	1,9	3,4	5,4	7,4	9,0	10,8	12,4	13,7	14,7	15,3
	600	1,2	2,7	4,8	6,7	8,3	10,1	11,7	13,1	14,0	14,6
	650	0,9	2,4	4,5	6,4	8,0	9,8	11,4	12,8	13,7	14,3
	700	0,5	2,0	4,0	6,0	7,6	9,4	11,0	12,4	13,3	13,9
	750	0,2	1,7	3,7	5,7	7,3	9,1	10,7	12,0	13,0	13,6
	800	0,0	1,5	3,5	5,5	7,1	8,9	10,5	11,9	12,8	13,4
	850	-0,1	1,5	3,5	5,4	7,1	8,8	10,4	11,8	12,8	13,4
	900	-0,1	1,4	3,5	5,4	7,0	8,8	10,4	11,8	12,8	13,3

Με αυτό τον τρόπο, ξέροντας πλέον σε ποια μήκη κύματος η σκωρία φαίνεται καλύτερα, δημιουργήσαμε ένα καινούργιο δείκτη χρησιμοποιώντας τις τιμές ανακλαστικότητας των δύο αυτών μηκών με τη φόρμουλα:

Εξίσωση 1: Φόρμουλα του προτεινόμενου δείκτη

$$(p900 - p450) / (p900 + p450)$$

Όλοι οι δείκτες που δημιουργήθηκαν φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα.

Πίνακας 7: Πίνακας δεικτών για κάθε δείγμα.

	Green NDVI	NDVI	SR	ARVI	RDVI	IRG	RVI	OSAVI	Προτεινόμενος Δείκτης
Slag	0,14	0,06	1,14	-0,09	0,03	1,62	0,88	0,06	0,34
Soil	0,20	0,10	1,23	-0,08	0,05	2,66	0,82	0,10	0,44
Stone	0,16	0,09	1,21	-0,05	0,05	1,29	0,83	0,09	0,36

Βλέπουμε ότι οι τιμές του δείκτη NDVI, OSAVI και του δείκτη RDVI είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους, σε αντίθεση με τους δείκτες SR και IRG οι οποίοι ξεπερνούν την μονάδα. Συγκρίνοντας τις τιμές των δεικτών που έχουμε για κάθε δείγμα και φτιάχνοντας ένα πίνακα σχετικών διαφοροποιήσεων (Πίνακας 8) μπορούμε εύκολα να δούμε με αυτό τον τρόπο πόσο διαφέρει η αντανάκλαση του ενός δείγματος από του άλλου με βάση τους δείκτες κάθε δείγματος και συνεπώς ποιος δείκτης είναι ο καταλληλότερος για χρήση στις υπερφασματικές εικόνες.

Εξίσωση 2: Εξίσωση σχετικών διαφοροποιήσεων μεταξύ δεικτών

$$(Stone-Slag) / Stone$$

Πίνακας 8: Σχετικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των δεικτών του κάθε δείγματος

	<i>Green NDVI</i>	<i>NDVI</i>	<i>SR</i>	<i>ARVI</i>	<i>RDMI</i>	<i>IRG</i>	<i>RVI</i>	<i>Προτεινόμενος Δείκτης</i>
Slag	43%	67%	8%	11%	67%	64%	7%	29%
Soil	20%	10%	2%	38%	0%	52%	1%	18%
Stone	13%	33%	6%	80%	40%	26%	6%	6%

Συγκρίνοντας τις τιμές του πίνακα σχετικών διαφοροποιήσεων μπορούμε να αποφασίσουμε ποιος δείκτης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στις εικόνες των ερευνητών, έτσι ώστε τα δείγματα να φαίνονται καλύτερα, αφού θα διαφέρουν μεταξύ τους.

Παρατηρούμε ότι τις μικρότερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δειγμάτων, έχουν οι δείκτες SR και ARVI, άρα η πιθανή χρήση ενός εξ αυτών των δύο δεικτών θα καθιστούσε αρκετά δύσκολη την αναγνώριση των δειγμάτων μεταξύ τους. Επίσης, ένας άλλος δείκτης ο οποίος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις εικόνες είναι ο δείκτης RDMI. Παρόλο που οι διαφοροποιήσεις των δεικτών μεταξύ των δειγμάτων σκωρίας-εδάφους και πέτρας-σκωρίας είναι αρκετά ικανοποιητικές, η διαφοροποίηση μεταξύ των δειγμάτων εδάφους-πέτρας είναι μηδενική γεγονός που καθιστά τον δείκτη ακατάλληλο για χρήση αφού δεν θα μπορεί να ξεχωρίσει το έδαφος από την πέτρα. Ο προτεινόμενος δείκτης έχει αρκετά καλές διαφοροποιήσεις μεταξύ των δειγμάτων αλλά δεν θα τον πρότεινα για χρήση λόγω του ότι η πέτρα από την σκωρία διαφέρουν μόνο 6% και πιθανώς να υπάρχει σύγχυση στην αναγνώριση. Αρκετά καλοί είναι και δείκτες NDVI, ARVI και IRG αφού οι τιμές τους είναι αρκετά ψηλές. Κατά την γνώμη μου όμως, ο δείκτης που εγώ θα πρότεινα στους ερευνητές για χρήση στις υπερφασματικές εικόνες, είναι ο δείκτης ARVI. Λόγω του ότι η πέτρα και η σκωρία έχουν πολύ παρόμοιο μέγεθος, μορφή και χρώμα, από ψηλά θα ήταν δύσκολο να ανιχνευθούν και να ξεχωρίσουν και γι'αυτό το λόγο μια τέτοια διαφορά (80%) θα βοηθούσε καλύτερα στην κατανόηση και στην διαφοροποίηση των δειγμάτων μεταξύ τους.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τέλος, μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι μετά από κάποιες απαραίτητες ενέργειες που πρέπει να γίνουν, όντως η σκωρία είναι ανιχνεύσιμη από υπερφασματικές ή ψηφιακές δορυφορικές εικόνες.

Αντιλαμβανόμαστε ότι η μέθοδος επιφανειακής αλλά και υπόγειας ανίχνευσης αντικειμένων με χρήση φασματοραδιόμετρου και εναέριων φωτογραφιών ή ψηφιακών δορυφορικών εικόνων μπορεί να αποβεί πολύ χρήσιμη και πρακτική. Σε πολλές περιπτώσεις όπως αυτή που μελετάται στην παρούσα πτυχιακή εργασία, έγινε χρήση υπερφασματικών εικόνων και φωτογραφιών με σκοπό την αναγνώριση ή και ανίχνευση αντικειμένων που πιθανώς να οδηγούν σε αρχαιολογικά και μη ευρήματα.

Επιπλέον, οι μέθοδοι αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στην γεωργία. Με την χρήση δηλαδή των μεθόδων αυτών, μπορεί να γίνει έλεγχος των καλλιεργήσιμων εκτάσεων γης. Μπορούν να ανιχνευθούν έγκαιρα αρρώστιες που προσβάλουν τα φυτά, και να αποφευχθεί η καταστροφή ολόκληρων καλλιεργειών. Αυτό μπορεί να γίνει με παρόμοιο τρόπο με τον οποίο εμείς εκτελέσαμε την δική μας μελέτη. Η μόνη διαφορά θα είναι ότι οι μετρήσεις με το φασματοραδιόμετρο θα παίρνονται απευθείας από το πεδίο αφού η μεταφορά των φυτών στο εργαστήριο δεν θα είναι εφικτή. Η διαδικασία είναι πολύ απλή και εύκολη. Δηλαδή, από το πεδίο (τις καλλιέργειες), θα παίρνονται μετρήσεις των φασματικών υπογραφών και των τιμών ανακλαστικότητας των φυτών με το φασματοραδιόμετρο και θα μεταφέρονται στο εργαστήριο για μελέτη. Στη συνέχεια θα παίρνονται φωτογραφίες UAV της περιοχής ή θα χρησιμοποιούνται ψηφιακές δορυφορικές εικόνες (προτείνονται εικόνες από δορυφόρο LANDSAT), στις οποίες θα γίνεται εφαρμογή των ήδη υφιστάμενων δεικτών βλάστησης ή καινούργιων δεικτών που πιθανώς να προκύψουν από την μελέτη των μετρήσεων. Έτσι, γνωρίζοντας κάποιος τις τιμές ανακλαστικότητας αλλά και τις φασματικές υπογραφές της υγιούς βλάστησης μπορεί να αντιληφθεί αν τα φυτά των συγκεκριμένων καλλιεργειών είναι υγιείς ή μολύνθηκαν από κάποια αρρώστια. Η έρευνα μπορεί να προχωρήσει και σε μετέπειτα στάδιο. Μπορεί δηλαδή να ανιχνευτεί πόσο προχωρημένη είναι η αρρώστια, αν μπορεί να εξαλείφει και με ποιους τρόπους. Συνεπώς, μπορεί να γίνεται εξ ολοκλήρου συνεχής έλεγχος και παρακολούθηση των καλλιεργειών, αποφεύγοντας έτσι περιττά έξοδα για φάρμακα, ψεκασμούς ή ακόμα και χάσιμο λεφτών λόγω καταστροφής ολόκληρης της καλλιέργειας.

Μια άλλη εφαρμογή που μπορεί να έχει η μέθοδος που χρησιμοποιήσαμε είναι η έρευνα και η μελέτη κατεστραμμένων εκτάσεων γης και ιδιοκτησιών από φυσικά αίτια όπως πλημύρες, σεισμούς ή πυρκαγιές. Έχοντας δορυφορικές εικόνες ή φωτογραφίες πριν και μετά από την καταστροφή, μπορεί να εντοπιστεί η περιοχή όπου έγινε η καταστροφή καθώς και το ακριβές μέγεθος της. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί όπως ακριβώς αναφέρθηκε και πιο πάνω, καθώς επίσης και με πολλούς άλλους τρόπους που μπορούν να βοηθήσουν. Όλα αυτά μπορούν να γλιτώσουν χρόνο και χρήμα από τις αρμόδιες αρχές λόγω μείωσης του ανθρώπινου δυναμικού που θα εργάζεται στο πεδίο για την μελέτη του χώρου αλλά και λόγω του ότι οι μέθοδοι αυτοί μπορούν να εφαρμοστούν άμεσα μετά το τέλος της καταστροφής. Δεν θα χρειάζεται δηλαδή να περάσει κάποιο χρονικό διάστημα μετά την καταστροφή και έτσι να υπάρχει η αμφιβολία αν χάθηκαν ή αλλοιώθηκαν κάποια από τα στοιχεία.

Αυτό είναι και ένα βασικό πλεονέκτημα των πιο πάνω μεθόδων. Μπορούν δηλαδή να εφαρμοστούν σε κατεστραμμένες περιοχές αμέσως μετά το πέρας της καταστροφής. Σε περιοχές όπου δεν είναι βατές από τον άνθρωπο και δύσκολα μπορεί να περάσει κάποιος για να τις ερευνήσει όπως περιοχές με υψηλή και πυκνή βλάστηση ή περιοχές με γκρεμούς και χαράδρες. Ακόμα μπορούν να εφαρμοστούν με επιτυχία και σε περιοχές μεγάλων εκτάσεων, όπου το ανθρώπινο δυναμικό θα ήταν πολύ δύσκολο να εκτελέσει εύκολα μια τέτοια μεγάλη έρευνα σε μικρό χρονικό διάστημα.

Για αυτό τον λόγο πολλοί ερευνητές αλλά και πολλές Κυβερνητικές Αρχές επιλέγουν να συνεργαστούν με άτομα και οργανισμούς που μπορούν να εφαρμόσουν τις μεθόδους αυτές, ώστε να έχουν όσο το δυνατό καλύτερα και γρηγορότερα αποτελέσματα για τις μελέτες και έρευνες τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

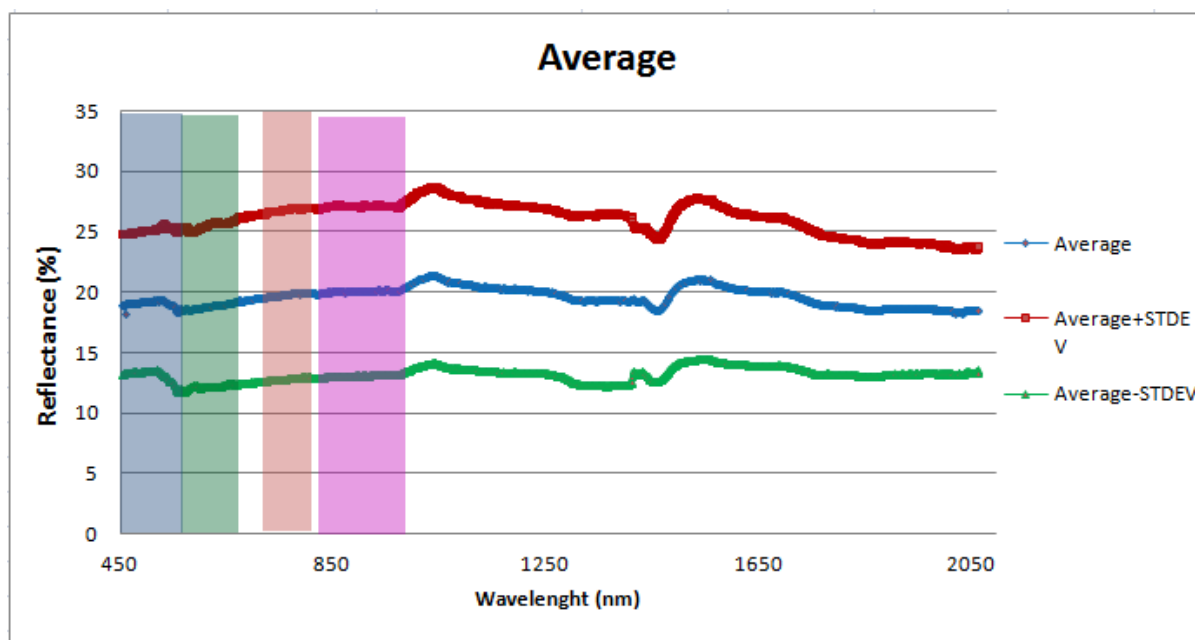
- Foundation, A. S. (2016). "GIS for Archaeology & Cultural Resources Management in Greece . Quo Vadis ?" (April).
- Walsh, S. J., Davis, F. W., and Peet, R. K. (1994). "Applications of remote sensing and geographic information system in vegetation science." *Journal of Vegetation Sciences*, 5(April), 609–756.
- Agapiou, A., Alexakis, D. D., Lysandrou, V., Sarris, A., Cuca, B., Themistocleous, K., and Hadjimitsis, D. G. (2015). "Impact of urban sprawl to cultural heritage monuments: The case study of Paphos area in Cyprus." *Journal of Cultural Heritage*, 16(5), 671–680.
- Και, Ε., and Αρχαιολογία, Δ. (n.d.). "Έναερια και δορυφορική αρχαιολογία."
- Αναγνωστοπουλος, Α. (2008). "«... Ειδικευμένη χωροθέτηση των διαφορετικών χρήσεων από αυτών της κατοικίας στις περιοχές «αμγούς κατοικίας» ή «γενικής κατοικίας»...»." 17–34
- "Χαρτογραφική μελέτη του Μεραμπελλου στα χρόνια της βενετοκρατίας τα μοναστήρια στη χρήση και οργάνωση του χώρου." (2005).
- McAdams, M. a, Kocaman, S., and Kara, F. (2010). "The use of remote sensing in the protection and management of archaeological sites: a case study of the Anastasian wall." *Scientific Research and Essays*, 5(1), 55–62.
- Journal, A., Foundation, J. D., and Foundation, A. S. (2016). "Evidence for Two Planned Greek Settlements in the Peloponnese from Satellite Remote Sensing." (April).
- Steven, S. (1999). "ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ Δ ΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ : ΜΙΑ ΝΕΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ Δ ΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ."
- "Αρ χ α ι ο τ η λ ε π ι σ κ ο π ι κ ά Ν έ α." (n.d.). .
- "Χαρτογραφική μελέτη του μεραμπελλου στα χρόνια της βενετοκρατίας τα μοναστήρια στη χρήση και οργάνωση του χώρου." (2005). .

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Δείγμα σκοριάς 1

WAVELENGTH	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	AVERAGE	AVERAGE + STDEV	AVERAGE - STDEV
450	2,71	8,48	11,19	5,78
500	3,18	9,90	13,08	6,71
550	4,11	12,58	16,69	8,47
600	4,81	14,84	19,65	10,02
650	5,16	15,90	21,07	10,74
700	5,39	17,06	22,45	11,68
750	5,63	18,06	23,69	12,43
800	5,73	18,64	24,36	12,91
850	5,77	18,89	24,66	13,11
900	5,83	19,17	25,00	13,35

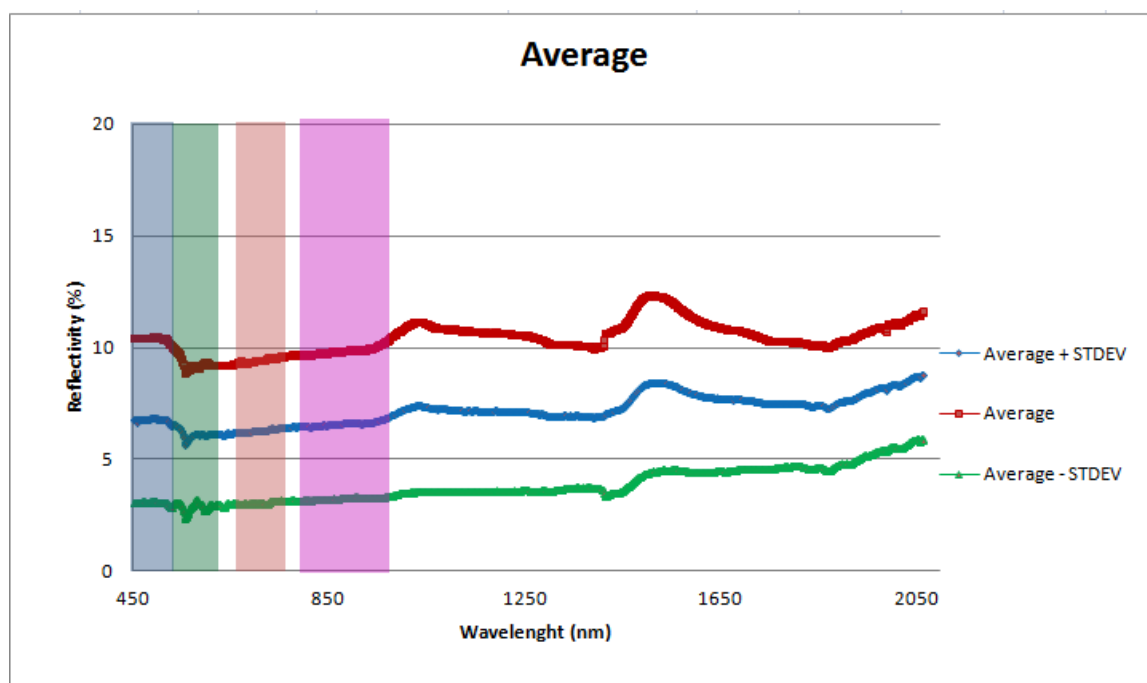
Waveleght	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
450	0,0	-1,4	-4,1	-6,4	-7,4	-8,6	-9,6	-10,2	-10,4	-10,7
500	1,4	0,0	-2,7	-4,9	-6,0	-7,2	-8,2	-8,7	-9,0	-9,3
550	4,1	2,7	0,0	-2,3	-3,3	-4,5	-5,5	-6,1	-6,3	-6,6
600	6,4	4,9	2,3	0,0	-1,1	-2,2	-3,2	-3,8	-4,1	-4,3
650	7,4	6,0	3,3	1,1	0,0	-1,2	-2,2	-2,7	-3,0	-3,3
700	8,6	7,2	4,5	2,2	1,2	0,0	-1,0	-1,6	-1,8	-2,1
750	9,6	8,2	5,5	3,2	2,2	1,0	0,0	-0,6	-0,8	-1,1
800	10,2	8,7	6,1	3,8	2,7	1,6	0,6	0,0	-0,3	-0,5
850	10,4	9,0	6,3	4,1	3,0	1,8	0,8	0,3	0,0	-0,3
900	10,7	9,3	6,6	4,3	3,3	2,1	1,1	0,5	0,3	0,0



Δείγμα σκωρίας 2

WAVELENGTH	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	AVERAGE	AVERAGE + STDEV	AVERAGE - STDEV
450	2,01	3,72	5,74	1,71
500	2,26	4,17	6,43	1,90
550	2,68	4,86	7,54	2,18
600	3,11	5,52	8,63	2,42
650	3,33	5,83	9,15	2,50
700	3,54	6,24	9,77	2,70
750	3,63	6,56	10,19	2,93
800	3,71	6,73	10,43	3,02
850	3,73	6,78	10,51	3,05
900	3,67	6,81	10,48	3,14

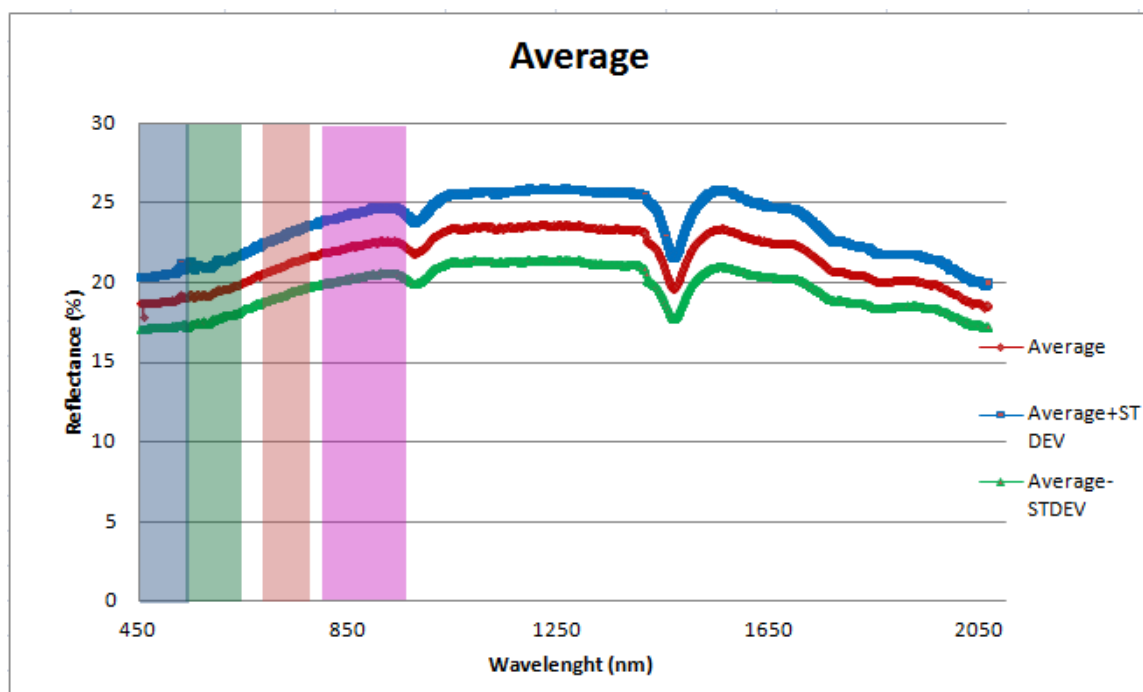
Wavelegth	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
450	0,0	-0,4	-1,1	-1,8	-2,1	-2,5	-2,8	-3,0	-3,1	-3,1
500	0,4	0,0	-0,7	-1,4	-1,7	-2,1	-2,4	-2,6	-2,6	-2,6
550	1,1	0,7	0,0	-0,7	-1,0	-1,4	-1,7	-1,9	-1,9	-1,9
600	1,8	1,4	0,7	0,0	-0,3	-0,7	-1,0	-1,2	-1,3	-1,3
650	2,1	1,7	1,0	0,3	0,0	-0,4	-0,7	-0,9	-1,0	-1,0
700	2,5	2,1	1,4	0,7	0,4	0,0	-0,3	-0,5	-0,5	-0,6
750	2,8	2,4	1,7	1,0	0,7	0,3	0,0	-0,2	-0,2	-0,2
800	3,0	2,6	1,9	1,2	0,9	0,5	0,2	0,0	-0,1	-0,1
850	3,1	2,6	1,9	1,3	1,0	0,5	0,2	0,1	0,0	0,0
900	3,1	2,6	1,9	1,3	1,0	0,6	0,2	0,1	0,0	0,0



Δείγμα εδάφους 1

WAVELENGTH	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	AVERAGE	AVERAGE + STDEV	AVERAGE - STDEV
450	0,63	7,69	8,32	7,06
500	0,81	9,25	10,06	8,45
550	0,98	11,79	12,77	10,82
600	1,11	13,97	15,08	12,87
650	1,22	15,33	16,55	14,11
700	1,27	16,57	17,85	15,30
750	1,37	17,57	18,94	16,20
800	1,47	18,33	19,80	16,85
850	1,54	18,69	20,24	17,15
900	1,60	18,81	20,41	17,20

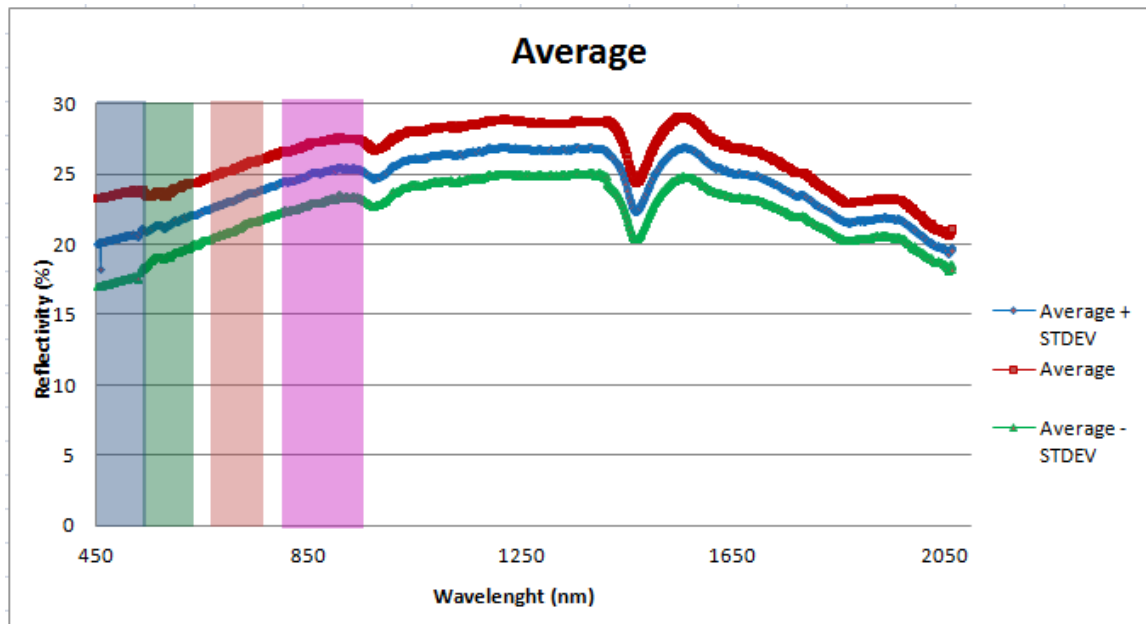
Waveleight	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
450	0,0	-1,6	-4,1	-6,3	-7,6	-8,9	-9,9	-10,6	-11,0	-11,1
500	1,6	0,0	-2,5	-4,7	-6,1	-7,3	-8,3	-9,1	-9,4	-9,6
550	4,1	2,5	0,0	-2,2	-3,5	-4,8	-5,8	-6,5	-6,9	-7,0
600	6,3	4,7	2,2	0,0	-1,4	-2,6	-3,6	-4,4	-4,7	-4,8
650	7,6	6,1	3,5	1,4	0,0	-1,2	-2,2	-3,0	-3,4	-3,5
700	8,9	7,3	4,8	2,6	1,2	0,0	-1,0	-1,8	-2,1	-2,2
750	9,9	8,3	5,8	3,6	2,2	1,0	0,0	-0,8	-1,1	-1,2
800	10,6	9,1	6,5	4,4	3,0	1,8	0,8	0,0	-0,4	-0,5
850	11,0	9,4	6,9	4,7	3,4	2,1	1,1	0,4	0,0	-0,1
900	11,1	9,6	7,0	4,8	3,5	2,2	1,2	0,5	0,1	0,0



Δείγμα εδάφους 2

WAVELENGTH	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	AVERAGE	AVERAGE + STDEV	AVERAGE - STDEV
450	1,20	6,72	7,92	5,51
500	1,71	8,26	9,97	6,55
550	2,10	10,28	12,37	8,18
600	2,39	12,23	14,62	9,84
650	2,54	13,85	16,39	11,30
700	2,81	15,61	18,42	12,81
750	2,99	17,23	20,22	14,24
800	3,03	18,60	21,63	15,57
850	3,08	19,56	22,64	16,49
900	3,11	20,15	23,26	17,04

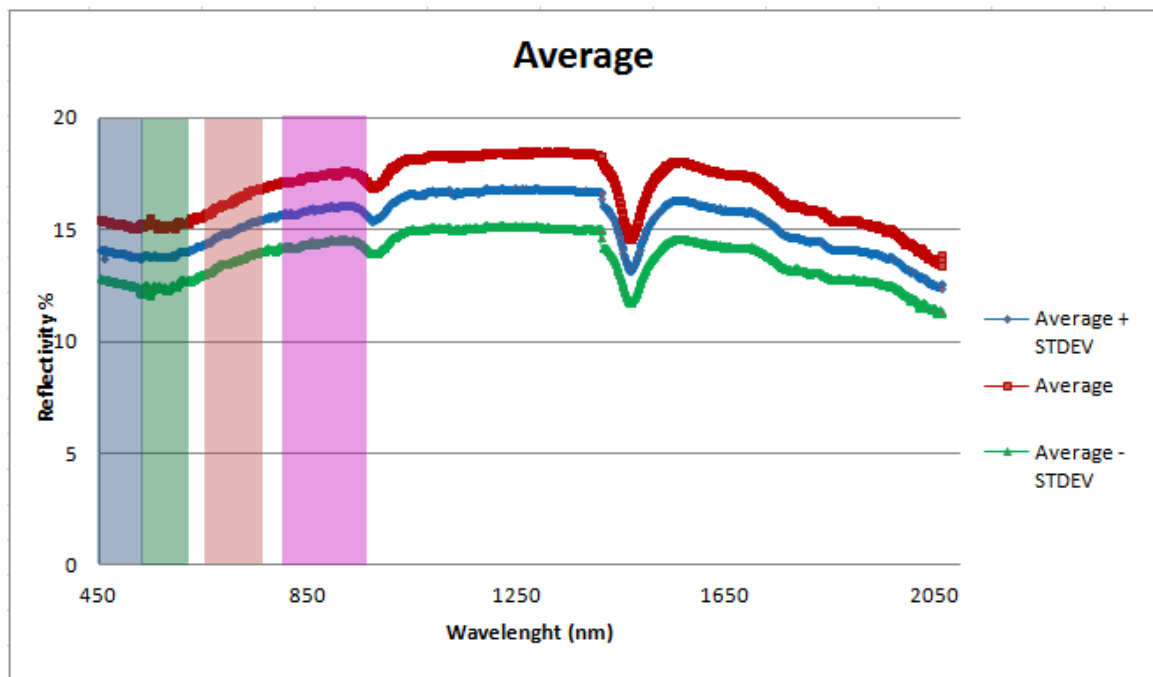
Waveleght	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
450	0,0	-1,5	-3,6	-5,5	-7,1	-8,9	-10,5	-11,9	-12,8	-13,4
500	1,5	0,0	-2,0	-4,0	-5,6	-7,4	-9,0	-10,3	-11,3	-11,9
550	3,6	2,0	0,0	-2,0	-3,6	-5,3	-7,0	-8,3	-9,3	-9,9
600	5,5	4,0	2,0	0,0	-1,6	-3,4	-5,0	-6,4	-7,3	-7,9
650	7,1	5,6	3,6	1,6	0,0	-1,8	-3,4	-4,8	-5,7	-6,3
700	8,9	7,4	5,3	3,4	1,8	0,0	-1,6	-3,0	-3,9	-4,5
750	10,5	9,0	7,0	5,0	3,4	1,6	0,0	-1,4	-2,3	-2,9
800	11,9	10,3	8,3	6,4	4,8	3,0	1,4	0,0	-1,0	-1,5
850	12,8	11,3	9,3	7,3	5,7	3,9	2,3	1,0	0,0	-0,6
900	13,4	11,9	9,9	7,9	6,3	4,5	2,9	1,5	0,6	0,0



Δείγμα εδάφους 3

WAVELENGTH	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	AVERAGE	AVERAGE + STDEV	AVERAGE - STDEV
450	0,47	5,69	6,15	5,22
500	0,55	6,76	7,31	6,22
550	0,69	8,58	9,27	7,88
600	0,84	10,27	11,11	9,42
650	0,95	11,34	12,29	10,39
700	1,07	12,45	13,52	11,38
750	1,17	13,38	14,55	12,22
800	1,25	14,01	15,26	12,76
850	1,30	14,23	15,53	12,93
900	1,31	14,09	15,40	12,78

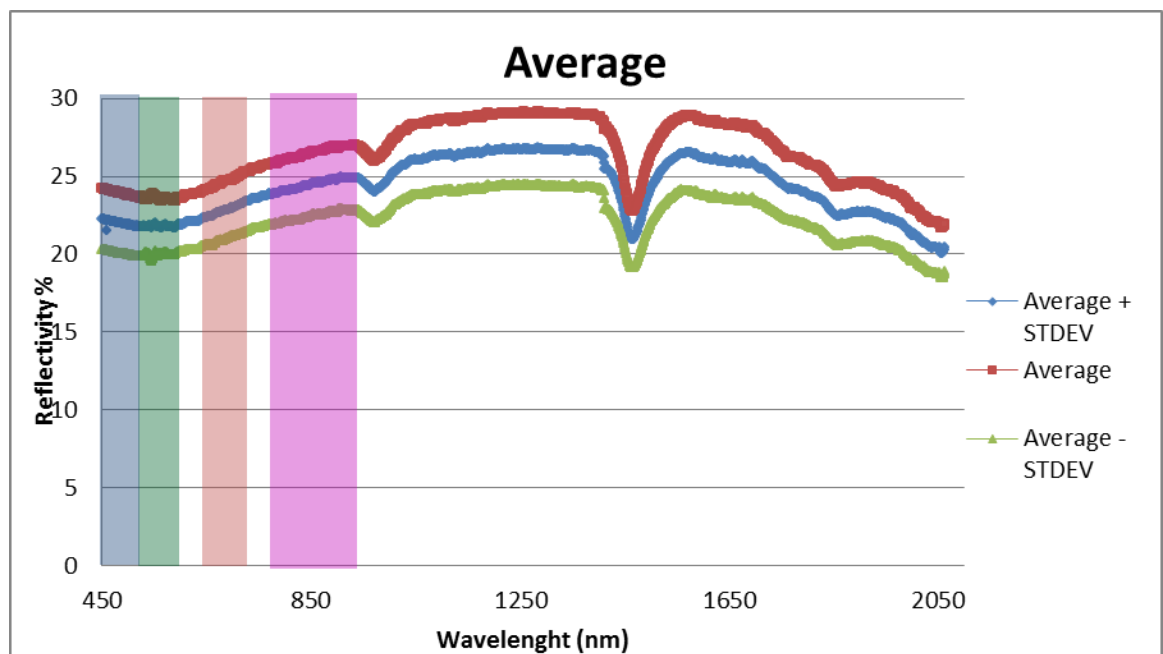
Wavelegth	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
450	0,0	-1,1	-2,9	-4,6	-5,7	-6,8	-7,7	-8,3	-8,5	-8,4
500	1,1	0,0	-1,8	-3,5	-4,6	-5,7	-6,6	-7,2	-7,5	-7,3
550	2,9	1,8	0,0	-1,7	-2,8	-3,9	-4,8	-5,4	-5,7	-5,5
600	4,6	3,5	1,7	0,0	-1,1	-2,2	-3,1	-3,7	-4,0	-3,8
650	5,7	4,6	2,8	1,1	0,0	-1,1	-2,0	-2,7	-2,9	-2,8
700	6,8	5,7	3,9	2,2	1,1	0,0	-0,9	-1,6	-1,8	-1,6
750	7,7	6,6	4,8	3,1	2,0	0,9	0,0	-0,6	-0,8	-0,7
800	8,3	7,2	5,4	3,7	2,7	1,6	0,6	0,0	-0,2	-0,1
850	8,5	7,5	5,7	4,0	2,9	1,8	0,8	0,2	0,0	0,1
900	8,4	7,3	5,5	3,8	2,8	1,6	0,7	0,1	-0,1	0,0



Δείγμα εδάφους 4

WAVELENGTH	Τυπική απόκλιση	AVERAGE	AVERAGE + STDEV	AVERAGE - STDEV
450	0,71	8,83	9,54	8,12
500	0,87	10,67	11,54	9,80
550	1,13	13,73	14,86	12,59
600	1,35	16,11	17,46	14,76
650	1,47	17,79	19,26	16,32
700	1,68	19,58	21,26	17,90
750	1,82	21,04	22,86	19,21
800	1,94	22,11	24,05	20,17
850	2,00	22,46	24,46	20,46
900	1,94	22,20	24,14	20,26

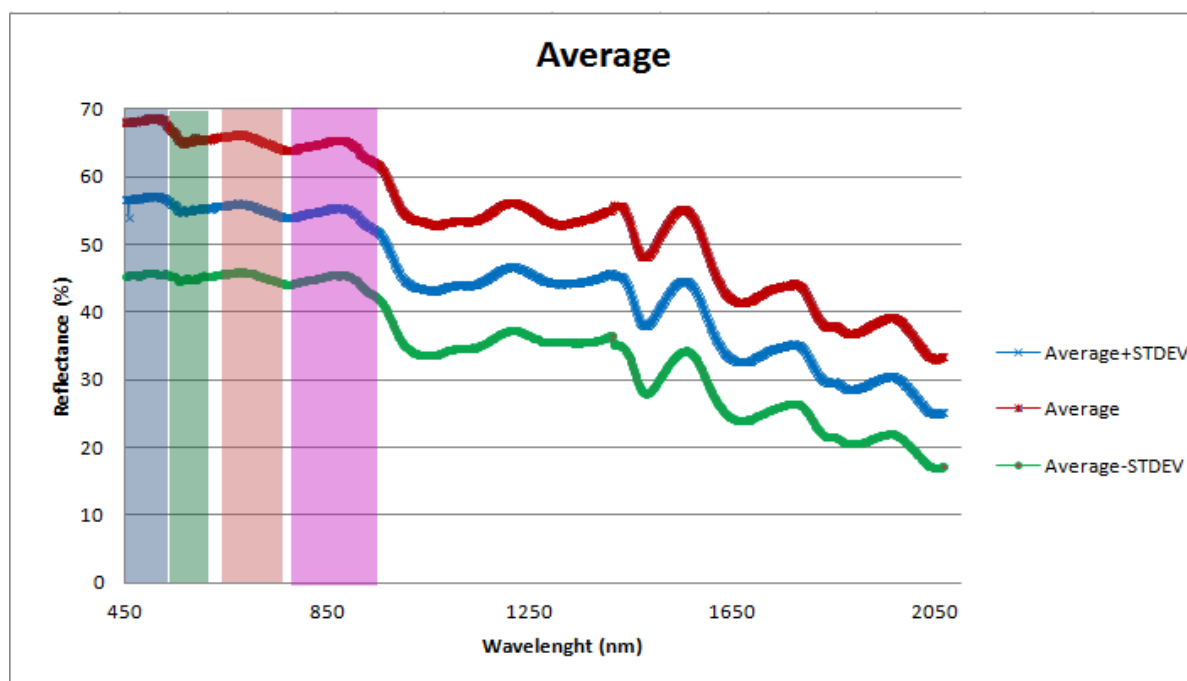
Wavelegth	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
450	0,0	-1,8	-4,9	-7,3	-9,0	-10,7	-12,2	-13,3	-13,6	-13,4
500	1,8	0,0	-3,1	-5,4	-7,1	-8,9	-10,4	-11,4	-11,8	-11,5
550	4,9	3,1	0,0	-2,4	-4,1	-5,9	-7,3	-8,4	-8,7	-8,5
600	7,3	5,4	2,4	0,0	-1,7	-3,5	-4,9	-6,0	-6,4	-6,1
650	9,0	7,1	4,1	1,7	0,0	-1,8	-3,2	-4,3	-4,7	-4,4
700	10,7	8,9	5,9	3,5	1,8	0,0	-1,5	-2,5	-2,9	-2,6
750	12,2	10,4	7,3	4,9	3,2	1,5	0,0	-1,1	-1,4	-1,2
800	13,3	11,4	8,4	6,0	4,3	2,5	1,1	0,0	-0,4	-0,1
850	13,6	11,8	8,7	6,4	4,7	2,9	1,4	0,4	0,0	0,3
900	13,4	11,5	8,5	6,1	4,4	2,6	1,2	0,1	-0,3	0,0



Δείγμα άχυρου

WAVELENGTH	Τυπική απόκλιση	AVERAGE	AVERAGE + STDEV	AVERAGE - STDEV
450	9,21	19,70	28,90	10,49
500	9,73	27,50	37,23	17,76
550	9,93	34,10	44,02	24,17
600	10,41	40,43	50,84	30,02
650	10,36	45,54	55,90	35,18
700	11,03	49,77	60,80	38,74
750	11,32	52,84	64,16	41,52
800	11,43	54,93	66,37	43,50
850	11,51	56,26	67,77	44,75
900	11,25	56,84	68,09	45,59

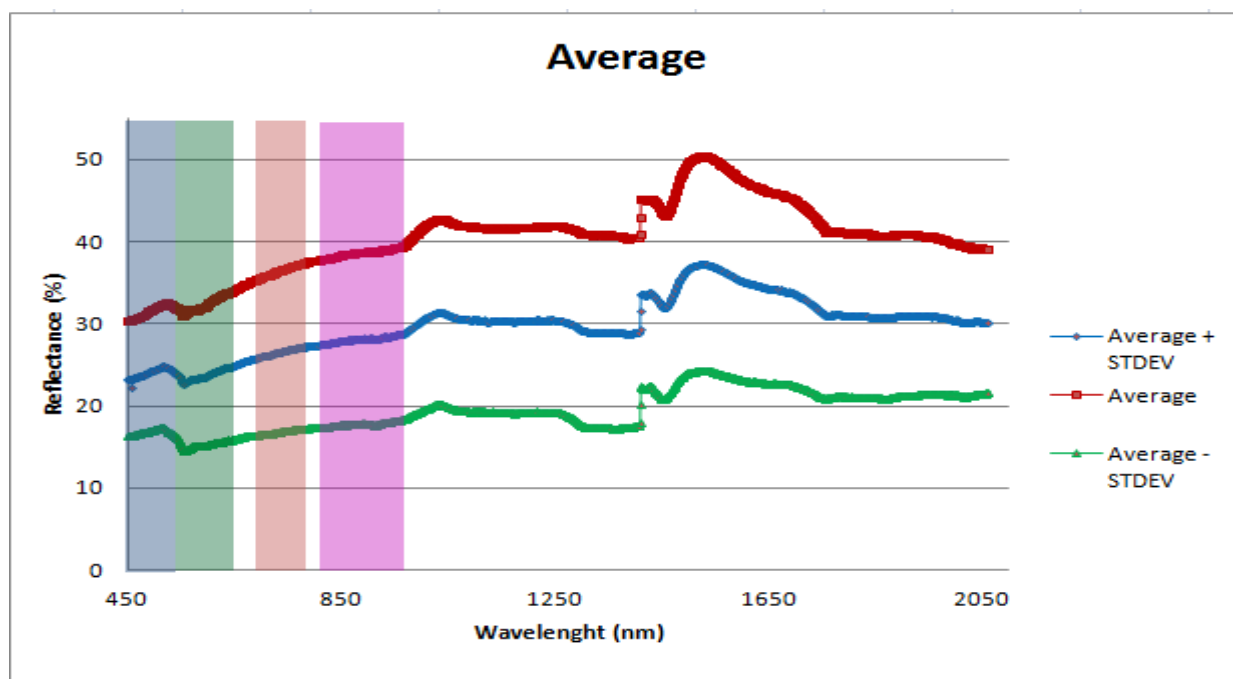
Waveleight	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
450	0,0	-7,8	-14,4	-20,7	-25,8	-30,1	-33,1	-35,2	-36,6	-37,1
500	7,8	0,0	-6,6	-12,9	-18,0	-22,3	-25,3	-27,4	-28,8	-29,3
550	14,4	6,6	0,0	-6,3	-11,4	-15,7	-18,7	-20,8	-22,2	-22,7
600	20,7	12,9	6,3	0,0	-5,1	-9,3	-12,4	-14,5	-15,8	-16,4
650	25,8	18,0	11,4	5,1	0,0	-4,2	-7,3	-9,4	-10,7	-11,3
700	30,1	22,3	15,7	9,3	4,2	0,0	-3,1	-5,2	-6,5	-7,1
750	33,1	25,3	18,7	12,4	7,3	3,1	0,0	-2,1	-3,4	-4,0
800	35,2	27,4	20,8	14,5	9,4	5,2	2,1	0,0	-1,3	-1,9
850	36,6	28,8	22,2	15,8	10,7	6,5	3,4	1,3	0,0	-0,6
900	37,1	29,3	22,7	16,4	11,3	7,1	4,0	1,9	0,6	0,0



Δείγμα κόκκινης πέτρας

WAVELENGTH	Τυπική απόκλιση	AVERAGE	AVERAGE + STDEV	AVERAGE - STDEV
450	2,47	7,72	10,19	5,25
500	2,73	8,84	11,58	6,11
550	3,38	11,27	14,65	7,88
600	4,96	16,09	21,05	11,13
650	5,72	17,92	23,64	12,20
700	6,27	20,14	26,41	13,87
750	6,81	21,98	28,79	15,17
800	6,98	22,71	29,69	15,73
850	6,95	22,87	29,83	15,92
900	7,04	23,32	30,36	16,28

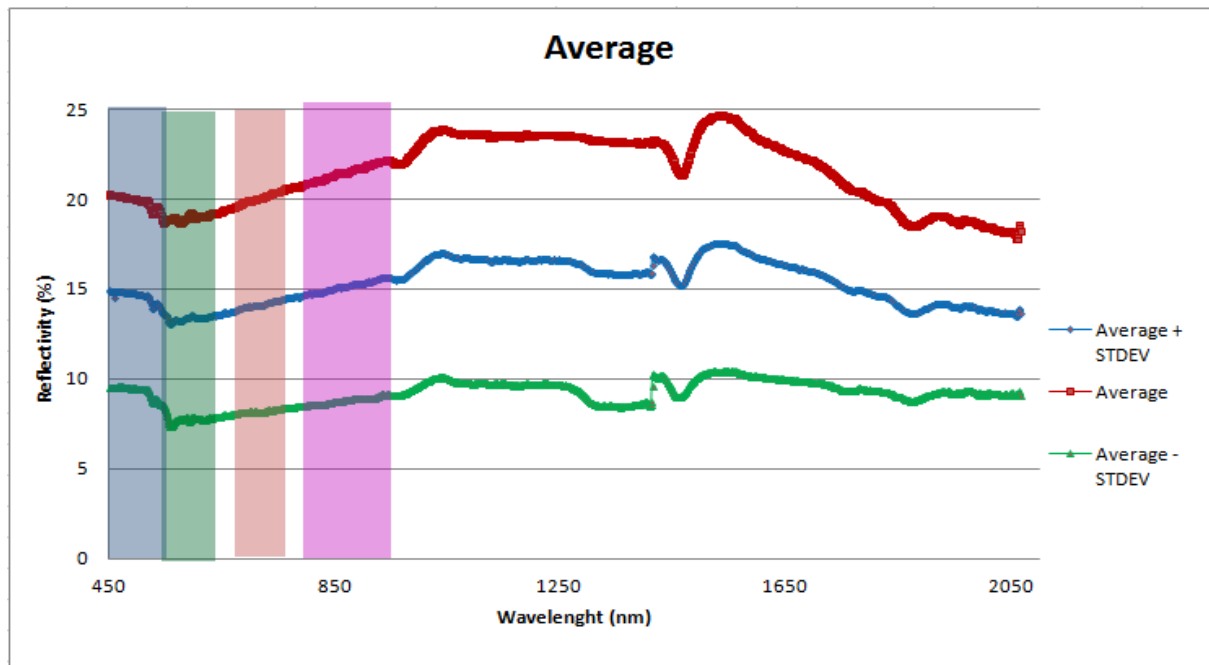
Waveleght	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
450	0,0	-1,1	-3,5	-8,4	-10,2	-12,4	-14,3	-15,0	-15,2	-15,6
500	1,1	0,0	-2,4	-7,2	-9,1	-11,3	-13,1	-13,9	-14,0	-14,5
550	3,5	2,4	0,0	-4,8	-6,7	-8,9	-10,7	-11,4	-11,6	-12,1
600	8,4	7,2	4,8	0,0	-1,8	-4,0	-5,9	-6,6	-6,8	-7,2
650	10,2	9,1	6,7	1,8	0,0	-2,2	-4,1	-4,8	-5,0	-5,4
700	12,4	11,3	8,9	4,0	2,2	0,0	-1,8	-2,6	-2,7	-3,2
750	14,3	13,1	10,7	5,9	4,1	1,8	0,0	-0,7	-0,9	-1,3
800	15,0	13,9	11,4	6,6	4,8	2,6	0,7	0,0	-0,2	-0,6
850	15,2	14,0	11,6	6,8	5,0	2,7	0,9	0,2	0,0	-0,4
900	15,6	14,5	12,1	7,2	5,4	3,2	1,3	0,6	0,4	0,0



Δείγμα πέτρας 1

WAVELENGTH	Τυπική απόκλιση	AVERAGE	AVERAGE + STDEV	AVERAGE - STDEV
450	3,65	8,27	11,92	4,62
500	4,16	9,68	13,85	5,52
550	4,65	11,37	16,02	6,72
600	4,89	12,46	17,35	7,57
650	4,97	12,74	17,71	7,77
700	4,99	13,55	18,54	8,56
750	5,13	14,25	19,37	9,12
800	5,35	14,90	20,25	9,55
850	5,40	15,06	20,46	9,67
900	5,31	14,91	20,22	9,60

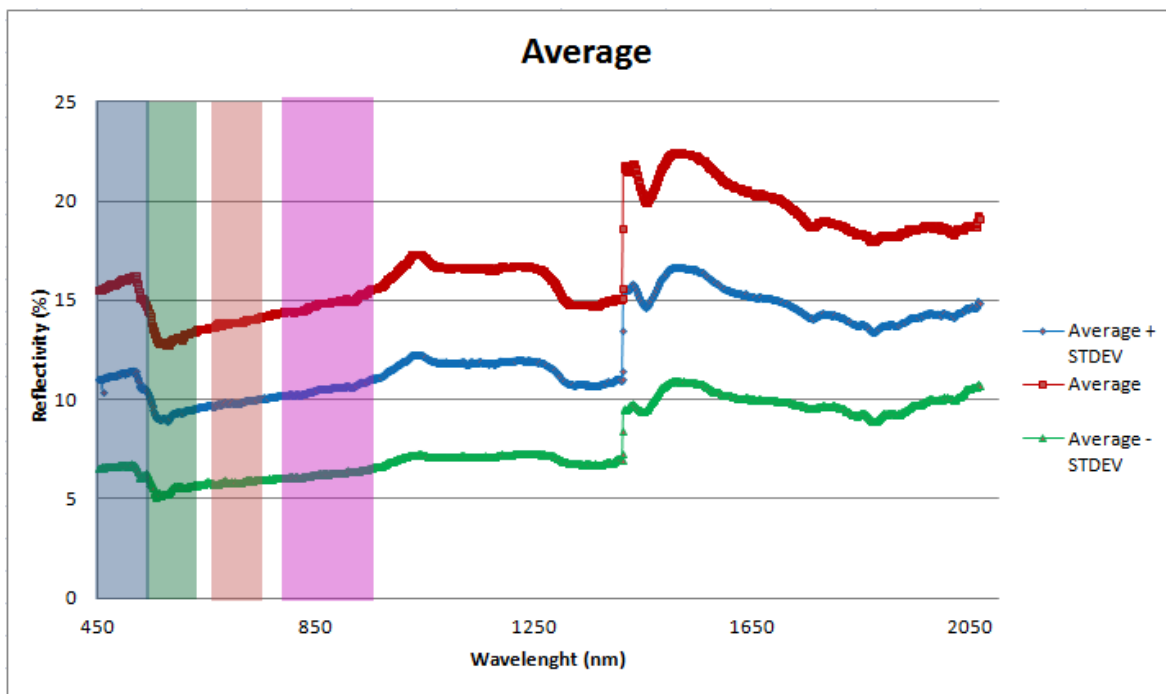
Wavelegth	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
450	0,0	-1,4	-3,1	-4,2	-4,5	-5,3	-6,0	-6,6	-6,8	-6,6
500	1,4	0,0	-1,7	-2,8	-3,1	-3,9	-4,6	-5,2	-5,4	-5,2
550	3,1	1,7	0,0	-1,1	-1,4	-2,2	-2,9	-3,5	-3,7	-3,5
600	4,2	2,8	1,1	0,0	-0,3	-1,1	-1,8	-2,4	-2,6	-2,4
650	4,5	3,1	1,4	0,3	0,0	-0,8	-1,5	-2,2	-2,3	-2,2
700	5,3	3,9	2,2	1,1	0,8	0,0	-0,7	-1,3	-1,5	-1,4
750	6,0	4,6	2,9	1,8	1,5	0,7	0,0	-0,7	-0,8	-0,7
800	6,6	5,2	3,5	2,4	2,2	1,3	0,7	0,0	-0,2	0,0
850	6,8	5,4	3,7	2,6	2,3	1,5	0,8	0,2	0,0	0,2
900	6,6	5,2	3,5	2,4	2,2	1,4	0,7	0,0	-0,2	0,0



Δείγμα πέτρας 2

WAVELENGTH	Τυπική απόκλιση	AVERAGE	AVERAGE + STDEV	AVERAGE - STDEV
450	0,88	4,29	5,17	3,41
500	1,05	4,75	5,80	3,70
550	1,57	5,80	7,37	4,23
600	2,48	7,43	9,91	4,95
650	2,61	7,84	10,45	5,23
700	3,40	9,15	12,55	5,75
750	4,14	10,33	14,48	6,19
800	4,42	10,83	15,24	6,41
850	4,44	10,91	15,35	6,47
900	4,50	11,16	15,65	6,66

Waveleght	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
450	0,0	-0,5	-1,5	-3,1	-3,6	-4,9	-6,0	-6,5	-6,6	-6,9
500	0,5	0,0	-1,1	-2,7	-3,1	-4,4	-5,6	-6,1	-6,2	-6,4
550	1,5	1,1	0,0	-1,6	-2,0	-3,4	-4,5	-5,0	-5,1	-5,4
600	3,1	2,7	1,6	0,0	-0,4	-1,7	-2,9	-3,4	-3,5	-3,7
650	3,6	3,1	2,0	0,4	0,0	-1,3	-2,5	-3,0	-3,1	-3,3
700	4,9	4,4	3,4	1,7	1,3	0,0	-1,2	-1,7	-1,8	-2,0
750	6,0	5,6	4,5	2,9	2,5	1,2	0,0	-0,5	-0,6	-0,8
800	6,5	6,1	5,0	3,4	3,0	1,7	0,5	0,0	-0,1	-0,3
850	6,6	6,2	5,1	3,5	3,1	1,8	0,6	0,1	0,0	-0,3
900	6,9	6,4	5,4	3,7	3,3	2,0	0,8	0,3	0,3	0,0



Δείγμα πέτρας 3

WAVELENGTH	Τυπική απόκλιση	AVERAGE	AVERAGE + STDEV	AVERAGE - STDEV
450	4,86	8,57	13,43	3,71
500	5,74	9,87	15,61	4,13
550	7,14	11,96	19,10	4,81
600	8,07	13,41	21,48	5,34
650	8,08	13,67	21,75	5,58
700	8,76	15,15	23,92	6,39
750	9,21	16,19	25,40	6,98
800	9,40	16,67	26,07	7,27
850	9,50	16,91	26,41	7,42
900	9,55	17,30	26,84	7,75

Wavelegth	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
450	0,0	-1,3	-3,4	-4,8	-5,1	-6,6	-7,6	-8,1	-8,3	-8,7
500	1,3	0,0	-2,1	-3,5	-3,8	-5,3	-6,3	-6,8	-7,0	-7,4
550	3,4	2,1	0,0	-1,5	-1,7	-3,2	-4,2	-4,7	-5,0	-5,3
600	4,8	3,5	1,5	0,0	-0,3	-1,7	-2,8	-3,3	-3,5	-3,9
650	5,1	3,8	1,7	0,3	0,0	-1,5	-2,5	-3,0	-3,2	-3,6
700	6,6	5,3	3,2	1,7	1,5	0,0	-1,0	-1,5	-1,8	-2,1
750	7,6	6,3	4,2	2,8	2,5	1,0	0,0	-0,5	-0,7	-1,1
800	8,1	6,8	4,7	3,3	3,0	1,5	0,5	0,0	-0,2	-0,6
850	8,3	7,0	5,0	3,5	3,2	1,8	0,7	0,2	0,0	-0,4
900	8,7	7,4	5,3	3,9	3,6	2,1	1,1	0,6	0,4	0,0

