

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



Πτυχιακή εργασία

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΜΕΣΩ
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Τερέζα Κυπριανού

Λεμεσός 2016

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

(Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών / Τοπογράφων Μηχανικών και
Μηχανικών Γεωπληροφορικής)

Πτυχιακή εργασία

**ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΜΕΣΩ
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ**

Τερέζα Κυπριανού

Σύμβουλος καθηγητής
Καθηγητής Διόφαντος Χατζημιτσής

Λεμεσός 2016

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Τερέζα Κυπριανού, 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.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας Καθηγητή Διόφαντο Χατζημιτσή, Αντιπρύτανη του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου αυτή την εργασία. Επίσης θα ήθελα να αναφέρω ότι η επιλογή του θέματος με αναφορά στην Τηλεπισκόπηση οφείλεται σε αυτόν, γιατί μέσα από τον τρόπο διδασκαλίας του, από προηγούμενα έτη, μου κίνησε το ενδιαφέρον για περαιτέρω έρευνα σε αυτόν τον κλάδο. Ταυτόχρονα ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον κύριο Χριστόδουλο Μεττά μέλος της ερευνητικής ομάδας του Καθ. Χατζημιτσή, για την δική του συνεισφορά, η οποία ήταν ιδιαίτερα σημαντική για την ολοκλήρωση της πτυχιακής αυτής, με τις παρατηρήσεις του και της εισηγήσεις του όσον αφορά τη βελτίωση της. Η καθοδήγηση καθώς και η συνεχής επικοινωνία του συγκεκριμένου συμβούλου καθηγητή, με βοήθησε στην αντιμετώπιση και λύση δυσκολιών και προβλημάτων που υπήρξαν κατά τη διάρκεια της μελέτης. Την μεγαλύτερη ευγνωμοσύνη όμως οφείλω να την εκφράσω στους γονείς μου για τη συνεχή υποστήριξη που μου έδειξαν καθ'όλη τη διάρκεια της ζωής μου. Η πίστη τους στις δυνατότητες μου αποτέλεσαν καθοριστικό ρόλο για την επίτευξη όλων των στόχων μου αλλά και των προσδοκιών μου, αφού με ανέθρεψαν με τις απαραίτητες ηθικές αξίες και κάνοντας με πάνω από όλα ένα πειθαρχημένο άνθρωπο στην κοινωνία. Χωρίς τη συμπαράσταση τους και την ψυχική τους ηρεμία, σε στιγμές άγχους για την παρούσα μελέτη, πιστεύω πως δεν θα ολοκληρωνόταν, γι' αυτό και τους οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ. Αφιερώνω την παρούσα εργασία στη μεγαλύτερη μου αδυναμία, στην οικογένεια μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα συχνό φαινόμενο των οδικών δικτύων είναι η παρουσία ελαττωματικών ασφαλικών επιφανειών. Η συνεχής παρακολούθηση τους μπορεί να οδηγήσει στη μείωση των ελαττωμάτων τους και συγκεκριμένα στη μείωση εμφάνισης αστοχιών. Οι τεχνικές της τηλεπισκόπησης δίνουν τη δυνατότητα μιας αποτελεσματικής και μη επεμβατικής μεθόδου για την έγκαιρη ανίχνευση των κατεστραμμένων οδοστρωμάτων. Η παρούσα διπλωματική παρουσιάζει μια σειρά διαφορετικών μεθοδολογιών τηλεπισκόπησης που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των ασφαλικών επιφανειών. Αυτή η σειρά συμπληρώνεται με τη χρήση επίγειων φασματικών δεδομένων εξετάζοντας ελαττωματικές ασφαλικές επιφάνειες διαφορετικής ηλικίας. Ως αποτελέσματα λήφθηκαν οι φασματικές διαφορές μεταξύ των ηλικιών κατασκευής, αλλά και διαφορές μεταξύ ελαττωματικών και ακέραιων οδοστρωμάτων. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν αρκετοί δείκτες διαχωρισιμότητας μέχρι να βρεθεί ο κατάλληλος που θα μπορούσε να διακρίνει τα ελαττώματα των οδοστρωμάτων της ασφάλτου. Κάθε ασφαλική επιφάνεια παρουσιάστηκε σε ένα κάρναβο φωτογραφικής απεικόνισης, επιλέγοντας τον κατάλληλο δείκτη διαχωρισιμότητας, τη φασματική διαφορά 1750 - 460nm, ο οποίος μπορούσε να διακρίνει την παρουσία ρωγμών στο οδόστρωμα. Τέλος, αρκετοί ήταν οι εξωτερικοί παράγοντες που επηρέασαν τα αποτελέσματα της απεικόνισης, όπως οι κηλίδες λαδιών από τα αυτοκίνητα ή ακαθαρσίες που δεν απομακρύνονταν εντελώς από τις περιοχές μελέτης.

Λέξεις κλειδιά: φασματική βιβλιοθήκη, δείκτης διαχωρισιμότητας, ελαττώματα ασφαλικών επιφανειών, φασματοραδιόμετρο

ABSTRACT

A frequent phenomenon of road networks is the presence of defective asphalt surfaces. Their continuous monitoring can lead to the reduction of defects, namely the reduction of fault occurrence. Remote sensing techniques allow an effective and a non-disturbing method for the early detection of damaged road surfaces. This thesis discloses a number of different sensing techniques that could be used to monitor bituminous surfaces. This review has been completed with the use of terrestrial spectral data examining faulty asphalt surfaces of different ages. The data have been obtained through the spectral differences of the ages of construction, and differences between defective and intact pavements. Then several separability indicators have been created till the appropriate indicator is found and defects of asphalt pavements can be indicated. Each asphalt surface has been presented in a grid of photographic imaging, by selecting an appropriate separability index, the spectral difference 1750 - 460nm, which can discern the presence of cracks in pavement. Finally, there have been many external factors that affected the results of imaging, which are either oil stains from cars or impurities not completely removed from the study areas.

Keywords: spectral library, index separability, asphalt surface defects, spectro-radiometer

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ABSTRACT	v
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	vii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	x
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ	xi
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	xii
2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	1
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	7
3.1 Περιοχή μελέτης.....	7
3.2 Συλλογή Δεδομένων.....	9
3.3 Στάδια Μελέτης.....	10
4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	13
4.1 Σύγκριση φασματικών δεδομένων	13
4.2 Φωτογραφική απεικόνιση δεδομένων.....	17
4.2.1 Επιλογή κατάλληλου δείκτη.....	17
4.2.2 Εφαρμογή κατάλληλου δείκτη στις τέσσερις ασφατικές επιφάνειες διαφορετικού έτους κατασκευής.....	22
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ / ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	29
6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	31

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Αποτελέσματα ANOVA της HyperSpectir VIS2 διαφοράς έναντι της πρότασης διαχείρισης CALTRANS	5
Πίνακας 2: Σχετικές πληροφορίες για τις τέσσερις κατηγορίες ασφαλτικών επιφανειών που ερευνήθηκαν στην επαρχία Λεμεσού	8

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1:Κύριες κατηγορίες αστοχιών των ασφαλικών επιφανειών, <i>πάνω αριστερά</i> εγκάρσια ρωγμή, <i>πάνω δεξιά</i> ρωγμές από μπαλώματα ασφαλικών επιφανειών, <i>κάτω αριστερά</i> λακκούβες σε δρόμους και <i>κάτω δεξιά</i> αυλακώσεις.....	xiii
Εικόνα 2: Φασματικές συνέπειες των διάφορων διαρθρωτικών ζημιών που υπήρχαν στις ασφαλικές επιφάνειες από φασματικές μετρήσεις του ASD (οι μεγαλύτερες ζώνες απορρόφησης υδρατμών παρεμβάλλονται), Πηγή: (Herold et al. 2004b)	3
Εικόνα 3: Επαρχία Λεμεσού. <i>Μπλέ χρώμα</i> είναι οι ασφαλική επιφάνεια ηλικία 0-5 ετών, <i>κόκκινο χρώμα</i> η ασφαλική επιφάνεια 5-10 ετών, <i>πράσινο χρώμα</i> η ασφαλική επιφάνεια 10-15 ετών και <i>λιλά χρώμα</i> η ασφαλική επιφάνεια από 15-20 ετών.	7
Εικόνα 4: <i>Πάνω αριστερά</i> είναι οι ασφαλική επιφάνεια ηλικία 0-5 ετών, <i>πάνω δεξιά</i> η ασφαλική επιφάνεια 5-10 ετών, <i>κάτω αριστερά</i> η ασφαλική επιφάνεια 10-15 ετών και <i>κάτω δεξιά</i> η ασφαλική επιφάνεια από 15-20 ετών.	8
Εικόνα 5: Φασματοραδιόμετρο SVC 1024. Μετρήσεις από ύψος περίπου 1,10m και ακτίνα στόχου 0,04m.	9
Εικόνα 6: Αναπαράσταση καννάβου περιοχής μελέτης, με κόκκινη διαγράμμιση είναι η περιοχή ασφάλειας και οι κόκκινοι κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις επιφάνειες που καλύπτει κάθε λήψη του φασματοραδιομέτρου.	11
Εικόνα 7: Στάδια Μελέτης της μεθοδολογίας.....	12
Εικόνα 8: Μεταβολές στην ανακλαστικότητα με βάση την ηλικία των ακέραιων ασφαλικών επιφανειών.....	14
Εικόνα 9: Ηλικία κατασκευής 0-5 χρόνια, μεταβολές ανακλαστικότητας μεταξύ άθικτων ασφαλικών επιφανειών και επιφανειών με ρωγμή	15
Εικόνα 10: Ηλικία κατασκευής 5-10 χρόνια, μεταβολές ανακλαστικότητας μεταξύ άθικτων ασφαλικών επιφανειών, επιφανειών με ρωγμή και επιφανειών με κηλίδες από λάδια.....	16
Εικόνα 11: Ηλικία κατασκευής 10-15 χρόνια, μεταβολές ανακλαστικότητας μεταξύ άθικτων ασφαλικών επιφανειών, επιφανειών με ρωγμή και επιφανειών με κηλίδες από λάδι.....	16
Εικόνα 12: Ηλικία κατασκευής 15-20 χρόνια, μεταβολές ανακλαστικότητας μεταξύ άθικτων ασφαλικών επιφανειών και επιφανειών με ρωγμή	17

Εικόνα 13: Ασφαλτική επιφάνεια ηλικίας 5-10 ετών, <i>αριστερά</i> φασματική διαφορά μεταξύ 740-460nm (δείκτης Mei), <i>δεξιά</i> φασματική διαφορά 830-490nm (VIS2-diff).....	20
Εικόνα 14: Ασφαλτική επιφάνεια ηλικίας 5-10 ετών, <i>αριστερά</i> φασματική διαφορά μεταξύ 1514 - 430nm, <i>δεξιά</i> φασματική διαφορά 1590-490nm.....	20
Εικόνα 15: Ασφαλτική επιφάνεια ηλικίας 5-10 ετών, <i>πάνω</i> κατάλληλος δείκτης για την παρούσα εργασία με φασματική διαφορά μεταξύ 1750 - 460 nm, <i>κάτω</i> κάρναβος με εικονοστοιχεία που αντιπροσωπεύει τα σημεία που συλλέχτηκαν με το ραδιόμετρο	21
Εικόνα 16: Ασφαλτική επιφάνεια ηλικία 0-5 ετών, (α) φωτογραφία από την περιοχή μελέτης, (β) κάρναβος που παρουσιάζει τη ρωγμή σε λογισμικό σχεδίασης AutoCAD, (γ) κάρναβος με εικονοστοιχεία που αντιπροσωπεύει τα σημεία που συλλέχτηκαν με το ραδιόμετρο και (δ) κάρναβος φωτογραφικής απεικόνισης.....	23
Εικόνα 17: Ασφαλτική επιφάνεια ηλικία 5-10 ετών, (α) φωτογραφία από την περιοχή μελέτης, (β) κάρναβος που παρουσιάζει τη ρωγμή σε λογισμικό σχεδίασης AutoCAD, (γ) κάρναβος με εικονοστοιχεία που αντιπροσωπεύει τα σημεία που συλλέχτηκαν με το ραδιόμετρο και (δ) κάρναβος φωτογραφικής απεικόνισης	25
Εικόνα 18: Ασφαλτική επιφάνεια ηλικία 10-15 ετών, (α) φωτογραφία από την περιοχή μελέτης, (β)κάρναβος που παρουσιάζει τη ρωγμή σε λογισμικό σχεδίασης AutoCAD, (γ) κάρναβος με εικονοστοιχεία που αντιπροσωπεύει τα σημεία που συλλέχτηκαν με το ραδιόμετρο και (δ) κάρναβος φωτογραφικής απεικόνισης	27
Εικόνα 19: Ασφαλτική επιφάνεια ηλικία 15-20 ετών, (α) φωτογραφία από την περιοχή μελέτης, (β)κάρναβος που παρουσιάζει τη ρωγμή σε λογισμικό σχεδίασης AutoCAD, (γ) κάρναβος με εικονοστοιχεία που αντιπροσωπεύει τα σημεία που συλλέχτηκαν με το ραδιόμετρο και (δ) κάρναβος φωτογραφικής απεικόνισης	28

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Παρουσιάζονται πιο κάτω συνοπτικά όλες οι σημαντικές συντομογραφίες που έχουν χρησιμοποιηθεί στο κείμενο της εν λόγω πτυχιακής:

VIS	Ορατό φάσμα
IR	Υπέρυθρο φάσμα
MIVIS	Multispectral Infrared and Visible Spectrometer
ΤΕΠΑΚ.:	Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
SAM	Spectral Angle Mapper
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
TIR	Θερμικό Υπέρυθρο φάσμα
HST	HyperSpectir
ANOVA	Analysis of variance
EAI	Exposed Aggregate Index

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

Παρουσιάζονται πιο κάτω συνοπτικά όλες οι ξενόγλωσσες ορολογίες οι οποίες δεν έχουν αποδοθεί επισήμως στην ελληνική γλώσσα:

Spectralon Panel	Πάνελ μέτρησης ανακλαστικότητας
Reflectance	Ανακλαστικότητα
Landsat 7 ETM	Πολυφασματικός Δορυφόρος
HyperSpectir	Υπερφασματικός Αισθητήρας
VIS-2 diff	Δείκτης φασματικής διαφοράς 830 – 490nm
DIP	Επεξεργαστής Ψηφιακής Απεικόνισης
Lambertian surface	Διάχυτη ανακλαστική επιφάνεια

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Υπό ακραίες συνθήκες, η φύση μπορεί να είναι επιβλαβής για το αστικό περιβάλλον. Οι περιβαλλοντικοί και φυσικοί κίνδυνοι επιταχύνουν την επιδείνωση των ασφαλτοστρωμένων επιφανειών. Μερικοί φυσικοί κίνδυνοι που επηρεάζουν αρνητικά τα οδοστρώματα είναι οι υψηλές θερμοκρασίες και ξηρές συνθήκες κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου, οι σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα και οι απότομες εναλλαγές θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας. Σύμφωνα με το Τμήμα Μετεωρολογίας η πιο ψηλή θερμοκρασία που έχει καταγραφεί μέχρι στιγμής στην Κύπρο, ήταν 45.6 βαθμούς Κελσίου, στην 1^η Αυγούστου το 2010. Επίσης οι διαφορές μεταξύ της υψηλότερης θερμοκρασίας ημέρας και της χαμηλότερης θερμοκρασίας νύχτας είναι επίσης μεγάλες κυρίως στις εσωτερικές περιοχές το καλοκαίρι. Το χειμώνα οι διαφορές αυτές είναι 8-10 βαθμούς Κελσίου στις πεδινές περιοχές και 5-6 βαθμούς Κελσίου στις ορεινές. Το καλοκαίρι αυτές αυξάνονται σε 16 βαθμούς Κελσίου στην κεντρική πεδιάδα και σε 9-12 βαθμούς Κελσίου στις άλλες περιοχές (Τμήμα Μετεωρολογίας 2016). Άλλοι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν αρνητικά τις ασφαλικές επιφάνειες είναι οι σεισμικές δραστηριότητες της Κύπρου, όπου σύμφωνα με το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης η Κύπρος βρίσκεται στη Μεσογειακή ζώνη διάρρηξης, η οποία αποτελεί το όριο σύγκρουσης της Αφρικανικής και την Ευρασιατική Πλάκα και συγκεκριμένα, μέσα στην οποία εκδηλώνονται το 15% των σεισμών παγκοσμίως (Research and Development Center Intercollege Unit of Environment Studies 2004). Επιπλέον οι έντονες βροχοπτώσεις μεταξύ Οκτώβρη μέχρι Γενάρη και οι πλημμύρες, κυρίως στην περιοχή της Λεμεσού πιθανόν να οδηγήσουν σε διάφορα είδη αστοχιών της ασφάλτου, τα οποία αναφέρονται και ενδείκνυται Εικόνα 1στη συνέχεια (Mettas et al. 2016).

Σύμφωνα με το «Pavement Distress Identification Manual», οι κατηγορίες αστοχιών των ασφαλικών επιφανειών διακρίνονται σε ρωγμές (cracks), αυλακώσεις (rutting), λακκούβες (potholes) , μπαλώματα (patching), τραχύτητα (roughness) και στίλβωση (polishing). Οι κατηγορία των ρωγμών περιλαμβάνει τρεις υποκατηγορίες, οι οποίες είναι εγκάρσια (transverse cracks) και διάμηκες ρωγμή (longitudinal crack) και alligator ρωγμές. Η ανίχνευση των ελαττωμάτων ασφάλτου είναι μια σημαντική ανησυχία για τους δημόσιους οργανισμούς, δεδομένου ότι συνήθως δαπανούν ένα πολύ μεγάλο χρηματικό ποσό για την παρακολούθηση των οδοστρωμάτων, κάθε χρόνο (Mettas et al. 2015).



Εικόνα 1:Κύριες κατηγορίες αστοχιών των ασφαλτικών επιφανειών, *πάνω αριστερά* εγκάρσια ρωγμή, *πάνω δεξιά* ρωγμές από μπαλώματα ασφαλτικών επιφανειών, *κάτω αριστερά* λακκούβες σε δρόμους και *κάτω δεξιά* αυλακώσεις.

Η διαχείριση και η συντήρηση των υποδομών μεταφοράς βασίζονται σε λεπτομερείς και ακριβείς πληροφορίες σχετικά με το οδικό δίκτυο. Ο τύπος του οδοστρώματος (μπετόν ή μίγμα ασφάλτου) και η κατάσταση των ασφαλτικών επιφανειών είναι οι πιο κοινές μεταβλητές που απαιτούνται για την παροχή λεπτομερής χαρτογράφησης του οδικού δικτύου. Τα δεδομένα αυτά είναι κρίσιμης σημασίας όσον αφορά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων διαχείρισης, γιατί περιλαμβάνει δισεκατομμύρια ευρώ των περιουσιακών στοιχείων και προϋπολογισμούς εκατομμυρίων ευρώ για συντήρηση κάθε χρόνο. Επιπλέον, οι εργασίες συντήρησης δρόμων φαίνονται ακόμα και σήμερα σαν κάτι που ρίχνεται βιαστικά και βασίζεται μόνο σε επιτόπου παρακολούθηση των ασφαλτικών επιφανειών (Pascucci et al. 2008).

Τη λύση για τη χαρτογράφηση της κατάστασης των ασφαλτικών επιφανειών μπορεί να τη δώσει η τηλεπισκόπηση με την εφαρμογή σχετικά φθηνών μεθόδων αξιολόγησης των επιφανειακών ελαττωμάτων του οδοστρώματος (Pascucci et al. 2008). Επιπλέον η τηλεπισκόπηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συνεχή παρακολούθηση των

οδοστρωμάτων και εκτενέστερα στη διαχείριση τους. Ωστόσο, έχει χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των υλικών (Manzo et al. 2014) και για την ανίχνευση του υλικού σύνθεσης και γήρανσης του οδοστρώματος (Mei et al. 2012).

Για τους σκοπούς της εργασίας αυτής, συλλέχθηκαν επιτόπου και αναλύθηκαν φασματοραδιομετρικές μετρήσεις για τον προσδιορισμό των συνθηκών των ασφαλικών επιφανειών και για να διακρίνει τις διαφορές μεταξύ επιφανειών που περιλαμβάνουν ρωγμές και επιφάνειες που είναι άθικτες. Οι πληροφορίες αυτές μπορεί να παρέχονται στις τοπικές αρχές με ένα αποτελεσματικό, ταχύ και ακριβή εργαλείο χαρτογράφησης δρόμων, που θα μπορεί να δείξει τα συστήματα οδοστρωμάτων που χρειάζονται να υποβληθούν σε συντήρηση.

Ακολουθεί η ανασκόπηση με μια σειρά διαφορετικών μεθοδολογιών τηλεπισκόπησης που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των ασφαλικών επιφανειών. Στη συνέχεια γίνεται η ανάλυση δεδομένων της παρούσας έρευνας, με τη σύγκριση των φασματικών δεδομένων διαφορετικής ηλικίας κατασκευής και μεταξύ άθικτων και ελαττωματικών ασφαλικών επιφανειών. Τέλος, η μελέτη ολοκληρώνεται με την επιλογή του κατάλληλου δείκτη διαχωρισιμότητας, ο οποίος μέσα από μια φωτογραφική απεικόνιση θα μπορούσε να διακρίνει τα ελαττώματα των οδοστρωμάτων της ασφάλτου.

2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Μέχρι στιγμής διάφορες προσεγγίσεις και εφαρμογές της τηλεπισκόπησης, αξιολογήθηκαν για τη χαρτογράφηση των φυσικών και χημικών παραμέτρων των οδοστρωμάτων. Πέραν της χαρτογράφησης, οι προσεγγίσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν ωστόσο, και για τον έλεγχο των οδοστρωμάτων και πιο εκτενέστερα στη διαχείριση τους. Σε αυτήν την ενότητα παρέχεται μια επισκόπηση των εν λόγω μεθόδων.

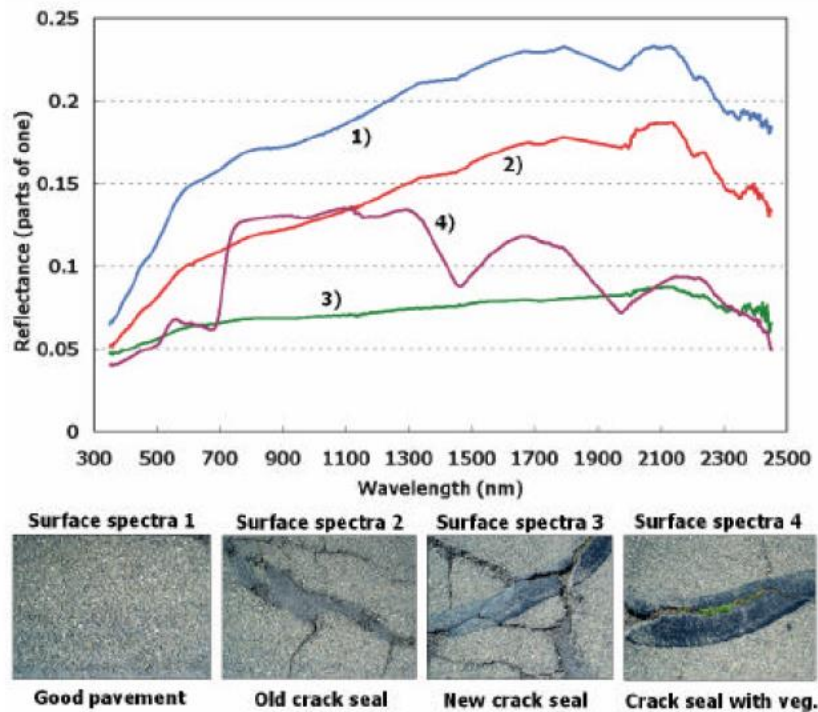
Αρχικά, στην Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιήθηκαν διεξοδικά τα κανάλια του ορατού (VIS) και του εγγύς υπέρυθρου (IR) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ως οι κύριες φασματικές ζώνες ανίχνευσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα κανάλια αυτά παρουσιάζουν τον μέγιστο ηλιακό φωτισμό, καθώς και στο ότι υπάρχουν διαθέσιμοι ανιχνευτές αυτής της ακτινοβολίας, όπως οι ηλεκτροπτικοί και οι φωτογραφικοί. Με τους ανιχνευτές της Τηλεπισκόπησης παρέχεται η δυνατότητα ανίχνευσης της ηλεκτρομαγνητικής (HM) ενέργειας από κάποια επιφάνεια και καταγράφεται η ένταση της σε διαφορετικά κανάλια του φάσματος. Εάν συγκριθούν μεταξύ τους τα ραδιομετρικά και φασματικά χαρακτηριστικά της ανακλώμενης αυτής ακτινοβολίας με τα χαρακτηριστικά της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, προκύπτει η ανακλαστικότητα του συγκεκριμένου στόχου, που στην περίπτωση της παρούσας διπλωματικής οι στόχοι είναι οι ασφαλικές επιφάνειες. Ακολούθως η ανακλαστικότητα αναλύεται ώστε να καθοριστούν οι χημικές και φυσικές ιδιότητες της επιφάνειας. Επίσης, η ανακλαστικότητα επηρεάζεται από την χημική σύσταση και τη κρυσταλλική δομή του επιφανειακού υλικού του στόχου, λόγω των μοριακών και ηλεκτρικών διεργασιών που πραγματοποιούνται με την αλληλεπίδραση HM και ύλης. Παράλληλα η ανακλαστικότητα επηρεάζεται και από τις φυσικές ιδιότητες της επιφάνειας, οι οποίες είναι η τραχύτητα και η κλίση, εξαιτίας των γεωμετρικών παραγόντων που σχετίζονται με τον γεωμετρικό σχηματισμό πηγή-επιφάνεια-ανιχνευτής. Επομένως, η πληροφορία που αφορά τις ιδιότητες της επιφάνειας συλλέγεται μετρώντας τη διαμόρφωση που αποτυπώνεται κυρίως στο ανακλώμενο κύμα με τη διαδικασία της αλληλεπίδρασης HM ακτινοβολίας και ύλης (Μερτίκας Π. 1999).

Η τιμή της ανακλαστικότητας των οδοστρωμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της κατάστασης μιας ασφαλικής επιφάνειας. Οι τιμές αυτές αυξάνονται στις περιπτώσεις όπου οι δρόμοι είναι μεγαλύτερης ηλικίας. Σύμφωνα με τον Herold et al. (2004b), η φυσική γήρανση στις ασφαλικές επιφάνειες έχει ως αποτέλεσμα τρεις κυρίαρχες

διεργασίες: την απώλεια ελαιωδών συστατικών, μεταβολές στη σύνθεση από την οξείδωση και μοριακή δόμηση που επηρεάζει το ιξώδες του ασφαλτομίγματος. Η απώλεια των ελαιωδών συστατικών είναι σχετικά βραχυπρόθεσμη, ενώ οι άλλες δύο εργασίες είναι πιο μακροπρόθεσμες. Όπως φαίνεται στην πιο κάτω εικόνα (Εικόνα 2) οι καινούριες ασφατικές επιφάνειες, που αντιπροσωπεύονται στη φασματική υπογραφή 1 (μπλε καμπύλη) έχουν χαμηλότερη ανακλαστικότητα, σε αντίθεση με την περίπτωση, που όταν η ηλικία και η κατάσταση τους επιδεινώνεται, η ανακλαστικότητα αυξάνεται σε όλα τα τμήματα του φάσματος. Με βάση το φάσμα 2 (κόκκινη καμπύλη) η στεγανότητα του ασφαλτομίγματος ξεκινά να διαβρώνεται εκθέτοντας τα βραχύδη συστατικά της ασφατικής επιφάνειας. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται έως ότου τα βραχύδη συστατικά κυριαρχήσουν στην επιφάνεια της ασφάλτου. Με τη διάβρωση του ασφαλτομίγματος η επιφάνεια του δρόμου είναι λιγότερη ιξώδες και πιο επιρρεπή σε δομικές βλάβες, όπως για παράδειγμα τις ρωγμές. Αυτό μειώνει τις απορροφήσεις στο μίγμα της ασφάλτου με αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση στη φωτεινότητα του αντικειμένου. Η διαδικασία της οξείδωσης και έκθεσης των βραχύδη συστατικών φαίνεται σαφώς από την εμφάνιση των χαρακτηριστικών απορρόφησης του σιδηρικού-οξειδίου στα 520, 670 και 870nm των φασματικών υπογραφών 2 (κόκκινη καμπύλη) και 3 (πράσινη καμπύλη) στην Εικόνα 2. Τα χαρακτηριστικά υδρογονανθράκων είναι διακριτά μόνο στις καινούριες ασφατικές επιφάνειες και εξαφανίζονται όσο παλαιώνει το οδόστρωμα ή χειροτερεύει η κατάσταση της ασφατικής επιφάνειας (Herold et al. 2004b). Η έρευνα δείχνει μια αύξηση στην ανακλαστικότητα με ορισμένες αλλαγές σε διακριτά χαρακτηριστικά απορρόφησης λόγω της σταδιακής μετάβασης των υδρογονανθράκων σε ορυκτά χαρακτηριστικά απορρόφησης (Herold and Roberts 2005; Herold et al. 2004b, 2008; Manzo et al. 2014; Mei et al. 2012, 2014a; b; Noronha et al. 2002; Puttonen et al. 2009; Salvaggio et al. 2005).

Τα φασματικά χαρακτηριστικά των ασφατικών επιφανειών είναι ποικίλα και πολύπλοκα, εξαιτίας του υψηλού αριθμού χωρικών και φασματικών ετερογενειών των πολλών τεχνητών και φυσικών αστικών υλικών (Herold et al. 2004a). Ωστόσο οι Herold et al. (2004) και Ben-Dor et al. (2001), χρησιμοποίησαν υπερφασματικά δεδομένα για τη βελτίωση της φασματικής και χωρικής αστικής χαρτογράφησης, συμπεριλαμβανομένων των ασφατικών επιφανειών. Πρόσθετες τεχνικές τηλεπισκόπησης που έχουν χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των οδοστρωμάτων, περιλαμβάνουν χαρτογράφηση των αστικών αδιαπέραστων επιφανειών που είναι πολύ χρήσιμες για τη διαχείριση των πλημμυρών (Ridd 1995; Schueler 1994) και χαρτογράφηση της κατάστασης και ηλικίας των ασφατικών επιφανειών που

βοηθά στη διαχείριση της οδικής κυκλοφορίας, την ασφάλεια και το κόστος συντήρησης (Herold et al. 2004b).



Εικόνα 2: Φασματικές συνέπειες των διάφορων διαρθρωτικών ζημιών που υπήρχαν στις ασφαλτικές επιφάνειες από φασματικές μετρήσεις του ASD (οι μεγαλύτερες ζώνες απορρόφησης υδρατμών παρεμβάλλονται), Πηγή: (Herold et al. 2004b)

Για τον προσδιορισμό της κατάστασης των ασφαλτικών επιφανειών χρειάζονται αισθητήρες υψηλής χωρικής ανάλυσης. Συγκεκριμένα, με εναέριο φασματοραδιόμετρο IR/VIS απεικόνισης (αισθητήρας AVIRIS), τυπικά μπορούν να αποκτηθούν εικόνες με μέγεθος εικονοστοιχείου 20 μέτρα, από ένα αεροσκάφος της NASA ER-2, που βρίσκεται σε υψόμετρο 20 χιλιόμετρα, ή αντίστοιχα μπορούν να αποκτηθούν εικόνες από ένα αεροσκάφος με χαμηλότερο υψόμετρο σε χωρικές αναλύσεις της τάξης του 1-4 μέτρα, βέβαια με μειωμένο πλάτος λωρίδας. Ωστόσο ο Herold et al. (2004) υποστηρίζει ότι, η χαμηλή χωρική ανάλυση του αισθητήρα AVIRIS, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη χαρτογράφηση των ασφαλτικών επιφανειών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, η χονδροειδής χωρική ανάλυση των δεδομένων AVIRIS, επιτρέπεται μόνο για την πολύ γενική χρήση των φασματικών χαρακτηριστικών, για παράδειγμα μικρές απορροφήσεις χαρακτηριστικών έχουν αποκλειστεί από την υπερφασματική ανάλυση των δεδομένων. Ένας άλλος αισθητήρας, το

φασματοραδιόμετρο πολυφασματικής IR/VIS απεικόνισης (MIVIS), εξοπλισμένο με δεδομένα θερμικού υπέρυθρου (TIR), ο Pascucci et al. (2008) κατέληξε ότι είναι πιο αποδοτικός και ακριβής στην αναγνώριση όλων των ασφαλικών επιφανειών. Ο Herold et al. (2004b, 2008) χρησιμοποίησε δεδομένα από ένα Υπερφασματικό αισθητήρα (HyperSpectir, HST), ο οποίος επικεντρώθηκε στη διαφορά του δείκτη VIS2 (δηλαδή φασματική διαφορά μεταξύ των καναλιών στα 830nm και 490nm), με αποτέλεσμα την αξιόπιστη χαρτογράφηση της καλής κατάστασης ασφαλικών επιφανειών. Αξίζει να σημειωθεί, ότι το εύρος μήκους κύματος που εφαρμόστηκε στη συγκεκριμένη έρευνα ήταν 450-900nm. Ο Mei et al. (2014b) χρησιμοποίησε δορυφορικές εικόνες του MIVIS, Quickbird και του Ikonos. Από τα διαγράμματα που λήφθηκαν με επίγεια δεδομένα, εφαρμόστηκαν τα μήκη κύματος 460nm και 740nm, με αναφορά στα κανάλια 2 και 16 του MIVIS και κανάλια 1 και 4 του Quickbird και του Ikonos. Σε αυτά, εντοπίστηκαν εικονοστοιχεία που αντιστοιχούν σε ασφαλικές επιφάνειες και υπολογίστηκε η κλίση των γραμμών παρεμβολής τους, θεωρώντας τις ως γραμμές ασφάλτου. Οι κλίσεις χρησιμοποιήθηκαν ως οριακές τιμές στον ταξινομητή Spectral Angle Mapper (SAM), με αποτέλεσμα να ληφθεί ολική ακρίβεια της τάξης των 95% για τον Ikonos, 98% για τον Quickbird και 93% για τον MIVIS.

Επιπλέον, οι δορυφορικές εικόνες μπορούν να παρέχουν μια εκτίμηση για την ηλικία αλλά και τον τύπο των ασφαλικών επιφανειών, δηλαδή το υλικό κατασκευής, όπως την άσφαλτο ή το σκυρόδεμα. Λόγω πολυπλοκότητας των ασφαλικών επιφανειών, μερικά ελαττώματα όπως πυρόλυση και αυλάκωση δεν ανιχνεύθηκαν μέσω της χωρικής ανάλυσης των 4 μέτρων του δορυφόρου (Mettas et al. 2016; Mohammadi 2012; Noronha et al. 2002).

Μια άλλη εφαρμογή τηλεπισκόπησης, είναι τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV), που είναι συσκευές οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή πληροφοριών σε εκτεταμένες περιοχές με πολύ υψηλή χωρική ανάλυση εικονοστοιχείου σε σχέση με τα δορυφορικά δεδομένα. Με τη χρήση αυτής της μεθόδου οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις ελαχιστοποιούνται. Ο Herold et al. (2004, 2008) χρησιμοποίησε δεδομένα από αισθητήρα HST, ο οποίος συνδέεται με ένα UAV που υποβάλλεται σε επεξεργασία μέσα από την ανάλυση της διακύμανσης (ANOVA). Σκοπός της εφαρμογής αυτής ήταν να προσδιοριστεί κατά πόσον οι VIS2 διαφορές μεταξύ των κατηγοριών «δεν χρειάζεται συντήρηση» και των άλλων τριών κατηγοριών διαχείρισης, ήταν στατιστικά σημαντικές. Η ANOVA πραγματοποιήθηκε αρχίζοντας με την πρώτη κατηγορία διαχείρισης «δεν χρειάζεται συντήρηση». Με βάση τον πιο κάτω Πίνακα 1 αυτή η κατηγορία έχει μέση τιμή 3,13 για τη

VIS2 διαφορά. Σε σύγκριση με την κατηγορία αυτή η πρόταση διαχείρισης «Συντήρηση» είναι σημαντικά διαφορετική και υποδεικνύεται από την μέση τιμή των 5,73. Η στατιστική διαφορά μεταξύ των δύο κατηγοριών είναι 2,6% ανακλαστικότητα στη διαφορά VIS2. Η ανάλυση αυτή οδήγησε σε αξιόπιστη χαρτογράφηση της καλής κατάστασης ασφαλτικών επιφανειών.

Πίνακας 1: Αποτελέσματα ANOVA της HyperSpectir VIS2 διαφοράς έναντι της πρότασης διαχείρισης CALTRANS

Category	Value (%)	Std. error	Difference
Do nothing	3.13	0.44	
Maintenance	5.73	0.16	2.60
Minor Rehab	6.18	0.51	0.45
Major Rehab	6.05	0.36	0.13

Multiple R-squared: 0.46.
F-statistic 11.24.

Πηγή: (Herold et al. 2008)

Ψηφιακές εικόνες έχουν επίσης, χρησιμοποιηθεί τόσο για την επικύρωση ασφαλτικών χαρακτηριστικών πεδίου (Mei et al. 2014b), όσο και για να βρεθεί η σχέση ανάμεσα στις εικόνες και στα επιτόπου φασματικά δεδομένα. Σε έρευνα του ο Manzo et al. (2014) χρησιμοποίησε φασματικά δεδομένα που συγκρίθηκαν με τα εκτεθειμένα αδρανή υλικά, προκειμένου να προσδιοριστεί το Exposed Aggregate Index (EAI). Μια σειρά από νέους φασματικούς δείκτες, έδειξε ότι υπήρχε στατιστική και φυσική συσχέτιση των αλλαγών στην άσφαλο και των εκτεθειμένων αδρανών υλικών, σε ένα εύρος κύματος 400-900nm. Παρομοίως, οι Radopoulou και Brilakis (2015) ανίχνευσαν μπαλώματα που υπήρχαν στους δρόμους, με τη βοήθεια ψηφιακών εικόνων, οι οποίες συλλέχθηκαν από φωτογραφικές μηχανές πακτωμένες σε αυτοκίνητα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι αυτή η μέθοδος είναι γρήγορη, φθηνή και με υψηλή ακρίβεια.

Πέραν αυτών, μια άλλη έρευνα του Mei et al. (2014a), που είχε ως στόχο να καθορίσει την αποτελεσματική και γρήγορη ποσοτικοποίηση της απομακρυσμένης πίσσας από την ασφαλτική επιφάνεια, πραγματοποιήθηκε μέσα από επεξεργασία ψηφιακής απεικόνισης (DIP) και φασματικής ανάλυσης. Βασικά, χρησιμοποίησε DIP ώστε να βρεθεί το Exposed Aggregate Index που υπολογίζει την απομάκρυνση της πίσσας από την ασφαλτική επιφάνεια και την έκθεση των αδρανών υλικών. Είναι μια διαδικασία που βασίζεται σε μη-παραμετρική

διαδικασία κατάταξης των ψηφιακών εικόνων, η οποία δίνει μια γρήγορη απόκριση του EAI. Με όλα τα πιο πάνω καταλήγει στο συμπέρασμα ότι το EAI συνδέεται άμεσα με τους φασματικούς δείκτες των ασφαλικών επιφανειών.

Η ενεργή υπέρυθη θερμογραφία και η παλμική θερμογραφία είναι δύο εργαστηριακές μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση των επιμέρους ελαττωμάτων που λαμβάνουν χώρα στις ασφαλικές επιφάνειες. Μέσα από δείγματα ασφαλικών επιφανειών, τα ελαττώματα μπορούν να ταυτοποιηθούν με τη χρήση της μεθόδου *square heating*. Συγκεκριμένα, συνδυάζοντας την χωρική ανάλυση με τις επιδόσεις των μετρήσεων, τα ελαττώματα μπορούν να οδηγήσουν σε μεταβολές της θερμικής συμπεριφοράς της ασφάλτου. Η τεχνική για την ανίχνευση των ελαττωμάτων έχει αποδειχθεί ότι δεν επηρεάζεται από την ετερογένεια των υλικών, που χρησιμοποιούνται στα οδοστρώματα, ή από το πορώδες (Dumoulin et al. 2011; Marchetti et al. 2008).

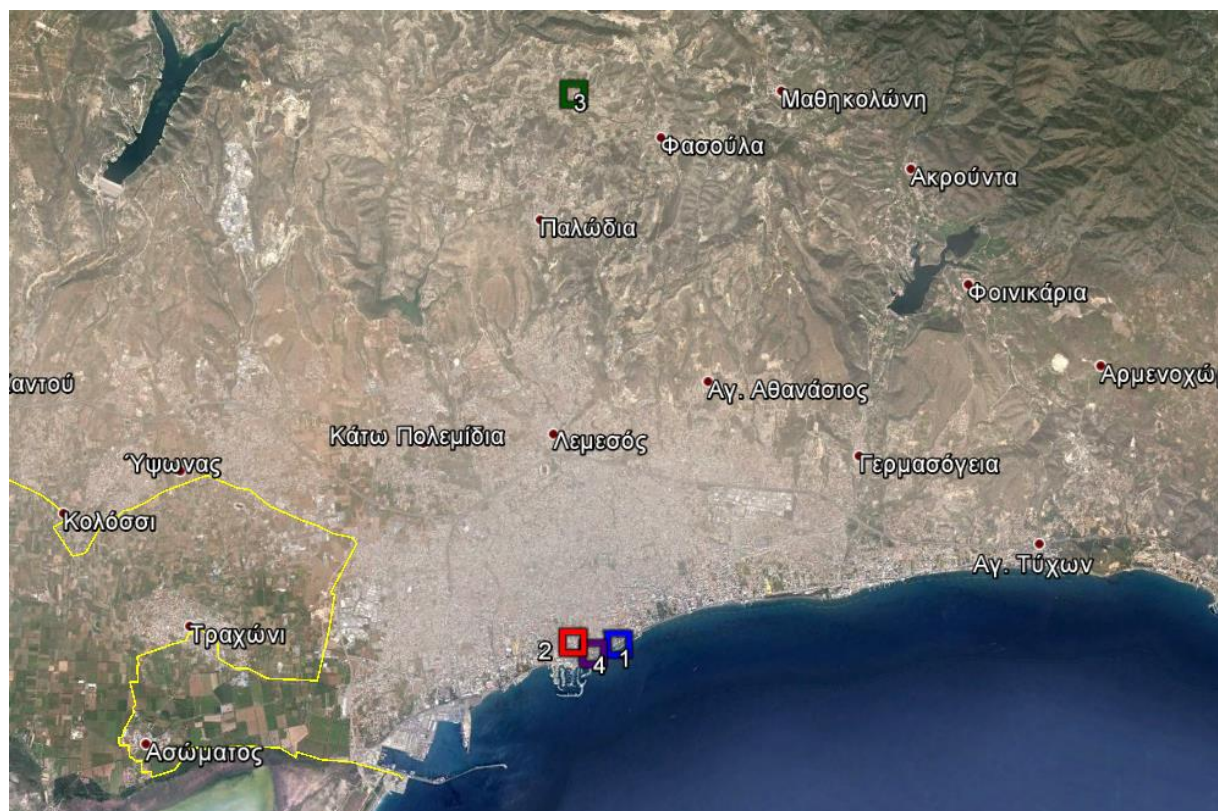
Μια τελευταία εφαρμογή τηλεπισκόπησης, είναι η φασματοσκοπία πεδίου η οποία έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε διάφορες άλλες μελέτες και διαφορετικές εφαρμογές, με σκοπό να υποστηρίξει την παρακολούθηση φαινομένων (Agariou et al. 2012; Alexakis et al. 2012). Τα φασματοραδιόμετρα πεδίου αξιολογήθηκαν ως κατάλληλα εργαλεία για τον προσδιορισμό των φασματικών περιοχών, κατά τα οποία η παράμετρος μπορεί να ανακτηθεί καλύτερα, βέβαια αυτό δεν χρησιμοποιείται εκτενώς για την ανίχνευση ελαττωμάτων σε ασφαλτοστρωμένο οδικό δίκτυο. Ως εκ τούτου, η ολοκλήρωση των συστημάτων θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό και την χαρτογράφηση των ελαττωμάτων των ασφαλικών επιφανειών.

Με όσα έχουν αναφερθεί πιο πάνω, είναι προφανές ότι υπάρχει ένα κενό στη βιβλιογραφία όσον αφορά την αναγνώριση των διάφορων ελαττωμάτων που λαμβάνουν χώρα στις ασφαλικές επιφάνειες. Έτσι, η διπλωματική αυτή μελέτη έχει ως σκοπό να αναλύσει μια μεθοδολογία που θα μπορέσει να χρησιμοποιηθεί για την εκπλήρωση αυτού του κενού.

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης λαμβάνει χώρα στην επαρχία της Λεμεσού, η οποία βρίσκεται στο νοτιότερο τμήμα της Κύπρου. Όλες οι μετρήσεις έγιναν μεταξύ Γενάρη και Απρίλη, κάτω από συνθήκες καθαρού ουρανού, δηλαδή μέρες τις οποίες δεν υπήρχαν σύννεφα ή σκόνη αλλά κυριαρχούσε ηλιοφάνεια. Η Εικόνα 3 δείχνει τις περιοχές των ασφαλτικών επιφανειών και η Εικόνα 4 του συγκεκριμένου κάναβους που ελέγχθηκαν με τη χρήση του Spectral Vista Corporation (SVC) 1024. Τα διαφορετικά χρώματα στην εικόνα αντιπροσωπεύουν τις ασφαλτικές επιφάνειες των διαφορετικών ηλικιών, ενώ αναφέρουν επίσης και την προσεγγιστική τοποθεσία τους (Πίνακας 2) από τις περιοχές μελέτης.



Εικόνα 3: Επαρχία Λεμεσού. Μπλέ χρώμα είναι οι ασφαλτική επιφάνεια ηλικία 0-5 ετών, κόκκινο χρώμα η ασφαλτική επιφάνεια 5-10 ετών, πράσινο χρώμα η ασφαλτική επιφάνεια 10-15 ετών και λιλά χρώμα η ασφαλτική επιφάνεια από 15-20 ετών.

Πίνακας 2: Σχετικές πληροφορίες για τις τέσσερις κατηγορίες ασφαλτικών επιφανειών που ερευνήθηκαν στην επαρχία Λεμεσού

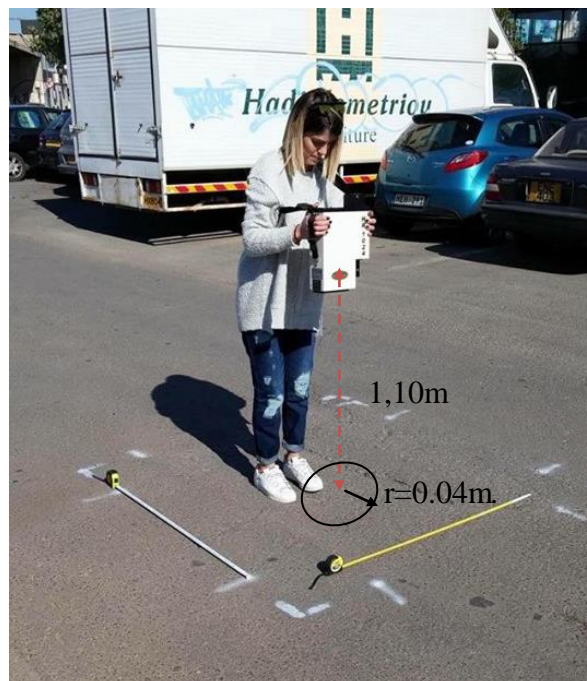
<i>A/A</i>	<i>Ηλικία Κατασκευής</i>	<i>Γεωγραφικό Πλάτος</i>	<i>Γεωγραφικό Μήκος</i>
1	0-5 χρόνια	34° 40' 31.48" B	33° 2' 53.02" A
2	5-10 χρόνια	34° 40' 24.97" B	33° 2' 20.06" A
3	10-15 χρόνια	34° 45' 53.60" B	33° 0' 23.50" A
4	15-20 χρόνια	34° 40' 21.66" B	33° 2' 36.84" A



Εικόνα 4: Πάνω αριστερά είναι οι ασφαλτική επιφάνεια ηλικία 0-5 ετών, πάνω δεξιά η ασφαλτική επιφάνεια 5-10 ετών, κάτω αριστερά η ασφαλτική επιφάνεια 10-15 ετών και κάτω δεξιά η ασφαλτική επιφάνεια από 15-20 ετών.

3.2 Συλλογή Δεδομένων

Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το φασματοραδιόμετρο SVC 1024, το οποίο καλύπτει μια φασματική περιοχή μεταξύ 350nm έως 2500nm. Χαρακτηριστικό αυτού του φασματοραδιομέτρου είναι οι φακοί fore-optic που έχουν οπτικό πεδίο των 4°. Σε συνδυασμό με το ύψος που συλλέχθηκαν τα δεδομένα, δηλαδή 1,10 μέτρα, αυτό σημαίνει ότι καλύπτει ένα κύκλο πάνω στο στόχο με διάμετρο 0,08 μέτρα (Εικόνα 5). Το όργανο περιλαμβάνει αισθητήρες που ανιχνεύουν ακτινοβολία στο ορατό, εγγύς υπέρυθρο και short wave infrared με εύρος ζώνης των: $\leq 3,5\text{nm}$ για 350-1000nm, $\leq 3,8\text{nm}$ για 1000-1885nm και $\leq 2,5\text{nm}$ για 1885-2500nm (Mettas et al. 2016). Όλες οι μετρήσεις λήφθηκαν μεταξύ 10:00π.μ. – 14:00μ.μ. τοπική ώρα (Local Time = Universal Time Coordinate + 2h). Αξίζει να σημειωθεί ότι στις 27 Μαρτίου υπήρξε αλλαγή της ώρας για τη θερινή περίοδο, κάτι το οποίο δεν λήφθηκε υπόψη και οι μετρήσεις συνέχισαν να γίνονται με βάση το ωράριο της χειμερινής περιόδου, δηλαδή μεταξύ των ωρών που αναφέρθηκαν προηγουμένως, χωρίς να επηρεαστούν τα αποτελέσματα. Επίσης ένα βαθμονομημένο πάνελ μέτρησης της ανακλαστικότητας (spectralon) χρησιμοποιήθηκε ως αναφορά του λευκού χρώματος με την υπόθεση ότι είναι μία Lambertian επιφάνεια.



Εικόνα 5: Φασματοραδιόμετρο SVC 1024. Μετρήσεις από ύψος περίπου 1,10m και ακτίνα στόχου 0,04m.

3.3 Στάδια Μελέτης

Βασικότερος σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η συλλογή πληροφοριών ώστε να γίνει η χαρτογράφηση και ο εντοπισμός της κατάστασης των ασφαλικών επιφανειών. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα, τα οποία φαίνονται στην πιο κάτω εικόνα (Εικόνα 7) και αναλύονται στη συνέχεια. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι τα δύο πρώτα στάδια αφορούν κυρίως εργασίες πεδίου, ενώ τα υπόλοιπα ανάλυσης.

Σαν πρώτο στάδιο χρειάστηκε να εντοπιστούν οι ελαττωματικές ασφαλικές επιφάνειες που να αντιστοιχούν στις τέσσερις κατηγορίες: 0-5 έτη κατασκευής, 5-10, 10-15 και 15-20. Οπότε με τη βοήθεια κάποιων πληροφοριών από το Δημαρχείο Λεμεσού άρχισε η έρευνα για τον εντοπισμό τους. Υπήρξαν σε διάθεση περίπου εννέα ασφαλικές επιφάνειες, εκ των οποίων οι τέσσερις κρίθηκαν ως οι πιο κατάλληλες.

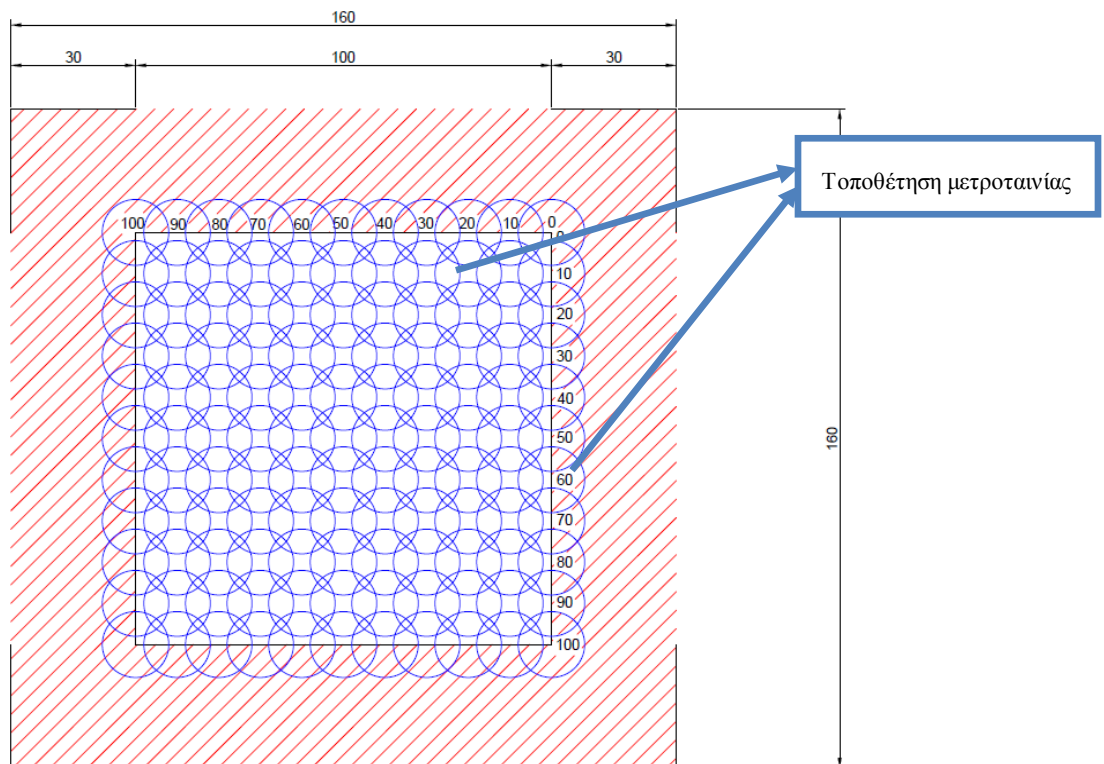
Στη συνέχεια, αφού εντοπίστηκαν και ελέγχθηκαν επιτόπου οι κατάλληλες ασφαλικές επιφάνειες, ήταν αναγκαίο να σχεδιαστεί ένας κάρναβος με σπρέι, διαστάσεων 100cmx100cm, όπου θα βοηθούσε στην πραγματοποίηση των μετρήσεων με το φασματοραδιόμετρο SVC 1024. Στον κάρναβο δεν ήταν σχεδιασμένα τα 122 σημεία που πάρθηκαν οι μετρήσεις, αλλά το περίγραμμα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δύο μετροταινίες ώστε όλες οι μετρήσεις να γίνονται ανά 10cm οριζόντια και στη συνέχεια 10cm κάθετα (Εικόνα 6). Επιπλέον για κάθε ασφαλική επιφάνεια έπρεπε να πραγματοποιηθούν μετρήσεις τρεις φορές, δηλαδή τρεις διαφορετικές μέρες. Ο κάρναβος λοιπόν, εξυπηρετούσε στο να ληφθούν οι ίδιες μετρήσεις κάθε φορά αφού η τοποθέτηση των μετροταινιών γινόταν στο ίδιο σημείο. Για τη διεκπεραίωση αυτού του σταδίου χρειάστηκε ο περισσότερος χρόνος, γιατί οι μετρήσεις έπρεπε να ληφθούν μετά από κάποιους περιορισμούς: να υπάρχει ηλιοφάνεια και όχι σύννεφα, συγκεκριμένες ώρες, να μην υπήρχε σκιά πάνω από το στόχο και άλλοι περιορισμοί η οποίοι καθυστερούσαν την εργασία αυτή.

Σε τρίτο στάδιο ακολούθησε η σύγκριση των δεδομένων που συλλέχθηκαν με προηγούμενες βιβλιογραφίες, όπου εξετάστηκαν οι φασματικές ιδιότητες των διαφορετικών τύπων των ελαττωμάτων. Επειδή οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τρεις φορές, για κάθε κατηγορία ασφάλτου υπολογίστηκε η μέση τιμή της ανακλαστικότητας σε κάθε μήκος κύματος (από 350nm – 2500nm). Αυτό είχε ως σκοπό την κατασκευή γραφικών παραστάσεων ώστε να μπορούν να συγκριθούν τα φάσματα ανάλογα με την ηλικία κατασκευής, ή τις ιδιότητες του

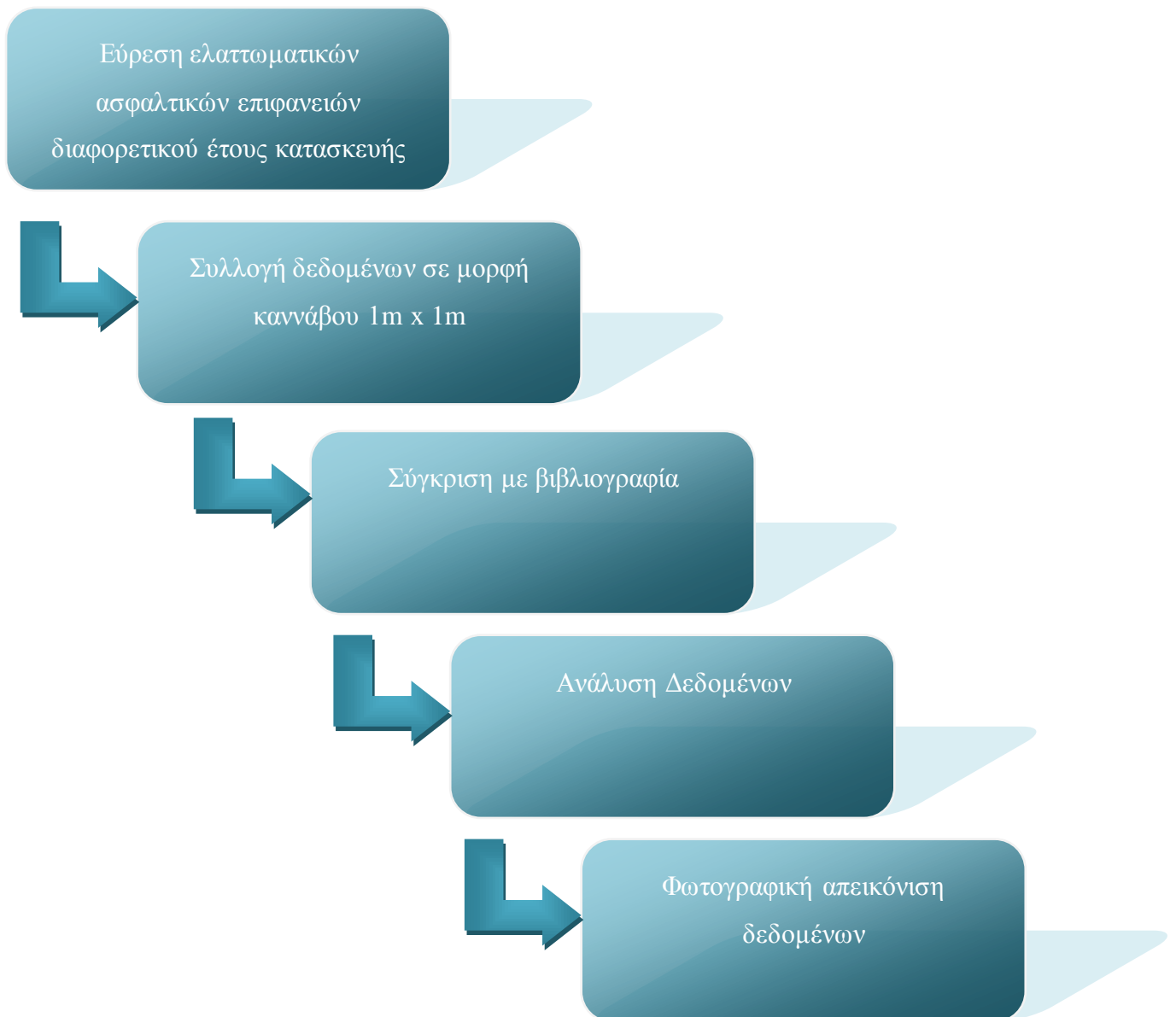
γραφήματος σε περίπτωση που υπήρχε ρωγμή στην ασφαλτο και στην περίπτωση που δεν υπήρχε.

Επόμενο βήμα ήταν η ανάλυση των δεδομένων δημιουργώντας διάφορους δείκτες μέχρι να βρεθεί ο κατάλληλος για τη φωτογραφική απεικόνιση των δεδομένων. Το εύρος των τιμών που επικεντρώθηκε η ανάλυση αφορούσε τα κανάλια 5 και 1 του Landsat 7 ETM, δηλαδή 1514-1791nm και 435-520nm αντίστοιχα. Επίσης για τον προσδιορισμό του καταλλήλου δείκτη χρησιμοποιήθηκε κυριώς η αφαίρεση και η διαίρεση μεταξύ του μήκους κυμάτων, χωρίς να επεκτείνεται η ανάλυση σε πιο σύνθετους δείκτες.

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική εργασία έγινε η φωτογραφική απεικόνιση των δεδομένων για κάθε κατηγορία ασφαλτικής επιφάνειας. Με τον προσδιορισμό του κατάλληλου δείκτη διαχωρισιμότητας, επιτεύχθηκε η διάκριση μεταξύ άθικτων και ελαττωματικών επιφανειών, απεικονίζοντας αυτές τις διαφορές με εντάσεις του χρώματος μπλε, σε ένα κάρναβο που δημιουργήθηκε στο λογισμικό *Surfer9*. Σχεδόν σε όλες τις ασφαλτικές επιφάνειες διαφορετικής ηλικίας παρουσιάστηκαν ελαττώματα που οφείλονταν σε εξωτερικούς παράγοντες όπως οι κηλίδες από τα λάδια αυτοκινήτων.



Εικόνα 6: Αναπαράσταση κάρναβου περιοχής μελέτης, με κόκκινη διαγράμμιση είναι η περιοχή ασφάλειας και οι κόκκινοι κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις επιφάνειες που καλύπτει κάθε λήψη του φασματοραδιόμετρου.



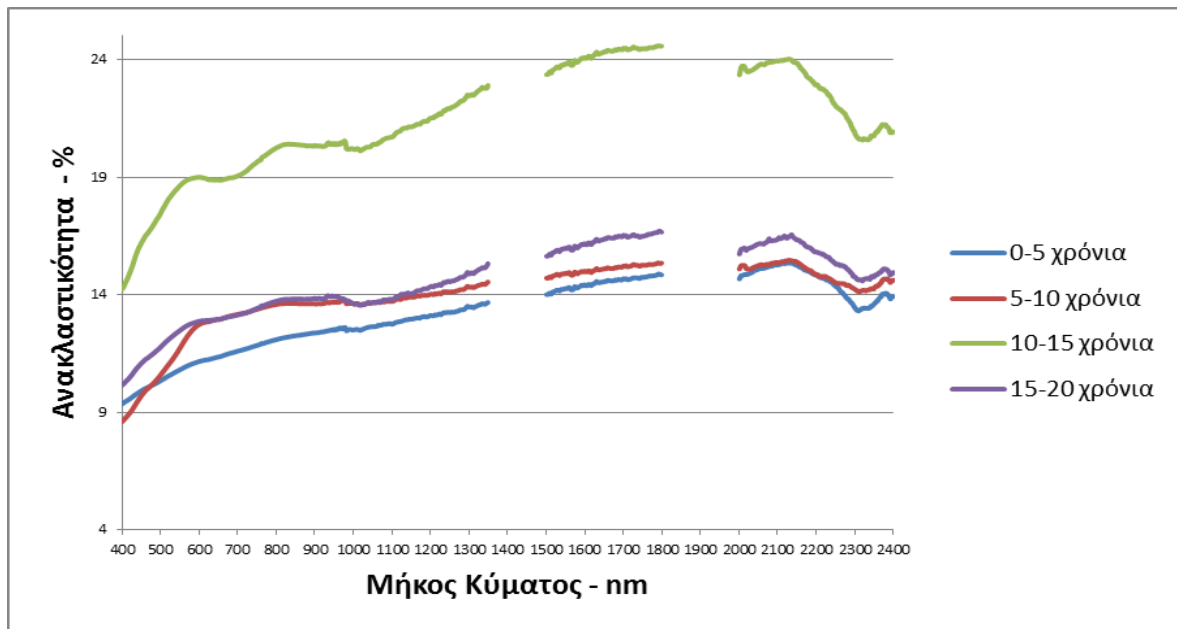
Εικόνα 7: Στάδια Μελέτης της μεθοδολογίας

4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 Σύγκριση φασματικών δεδομένων

Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης των αποτελεσμάτων, εξαιρέθηκαν οι κλίμακες μήκους κύματος από 1350-1500nm και 1800-2000nm, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως θόρυβος, λόγω του ότι επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από σωματίδια νερού (υγρασία) και διοξείδιο του άνθρακα που υπάρχουν στο περιβάλλον της ατμόσφαιρας (Mettas et al. 2016). Η Εικόνα 8 παρουσιάζει πως η ανακλαστικότητα ασφαλτικών επιφανειών αλλάζει, όσο αυξάνονται τα χρόνια κατασκευής της ασφάλτου, φυσικά με κάποια ανωμαλία στην ασφαλτική επιφάνεια 10-15 ετών, για την οποία υπάρχει λογική εξήγηση στη συνέχεια. Η γήρανση (αύξηση των χρόνων κατασκευής) είναι μια διαδικασία σκλήρυνσης της ασφάλτου. Η απώλεια ελαιωδών συστατικών, η οξειδωση και η στερεοχημική σκλήρυνση προκαλούν μια αύξηση στην ανακλαστικότητα των ασφαλτοστρωμένων επιφανειών. Οι τέσσερις καμπύλες αντιπροσωπεύουν άθικτους (ακέραιους) ασφάλτους. Η μπλε καμπύλη συμβολίζει την πρόσφατα κατασκευασμένη ασφαλτική επιφάνεια και έχει το χαμηλότερο συντελεστή ανακλαστικότητας σχεδόν σε όλες τις ζώνες μήκους κύματος. Παρ'όλο που παρουσιάζει την πιο χαμηλή ανακλαστικότητα στη συγκεκριμένη εικόνα, σύμφωνα με άλλες βιβλιογραφίες (Mettas et al. 2016), ακόμη και αυτή η ανακλαστικότητα είναι υψηλή κάτι που οφείλεται σε μοιαιές που μεταφέρθηκαν από τη σχεδίαση των χώρων στάθμευσης. Η κόκκινη καμπύλη αντιπροσωπεύει τις ασφαλτικές επιφάνειες μεταξύ 5-10 ετών παρουσιάζοντας σημαντική αύξηση σε σχέση με την πρόσφατα κατασκευασμένη άσφαλο, ειδικά στα μικρότερα μήκη κύματος του φάσματος. Στα μήκη κύματος από 400-500nm φαίνεται να έχει χαμηλότερη ανακλαστικότητα από ότι η μπλε καμπύλη, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι οι περιοχές μελέτης ήταν χώροι στάθμευσης με αποτέλεσμα να υπάρχουν αρκετές κηλίδες από λάδια αυτοκινήτων. Αυτές οι κηλίδες λαδιών επηρέασαν τη συγκεκριμένη φασματική υπογραφή. Η πράσινη καμπύλη που αντιστοιχεί σε 10-15 χρόνια κατασκευής, ενώ θα έπρεπε να βρίσκεται αμέσως μετά την κόκκινη καμπύλη, έχει την υψηλότερη ανακλαστικότητα σε ολόκληρη τη φασματική περιοχή. Η συγκεκριμένη καμπύλη δε συμφωνεί με προηγούμενες βιβλιογραφίες (Herold et al. 2004b, 2008; Mettas et al. 2016; Mohammadi 2012), γιατί η περιοχή μελέτης επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες όπως για παράδειγμα: κοντά στο σημείο που συλλέχθηκαν οι μετρήσεις υπήρχε άσπρο χρώμα, το οποίο ενώ καθαρίστηκε, δεν απομακρύνθηκε εντελώς. Τέλος η καμπύλη με λιλά χρώμα αντιπροσωπεύει τις ασφαλτικές

επιφάνειες ηλικίας 15-20 ετών και παρουσιάζει υψηλότερη ανακλαστικότητα σε όλα τα μήκη κύματος σε σχέση με τις προηγούμενες φασματικές υπογραφές που συμφωνούν με τη βιβλιογραφία (0-5 έτη και 5-10). Επίσης αυτή η καμπύλη αναμενόταν να έχει υψηλότερη ανακλαστικότητα απ' ό,τι λήφθηκε, αφού μέσα στο διάστημα μεταξύ μπλε και λιλά καμπύλης θα έπρεπε να συμπεριλαμβανόταν η πράσινη καμπύλη. Με βάση τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αυτό το διάστημα μεταξύ τους είναι πολύ μικρό, κάτι που σημαίνει ότι η φασματική υπογραφή της ασφαλικής επιφάνειας (15-20) επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες, όπου στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι και πάλι οι κηλίδες λαδιών από τα αυτοκίνητα, οι οποίες προκαλούν χαμηλότερες τιμές ανακλαστικότητας.

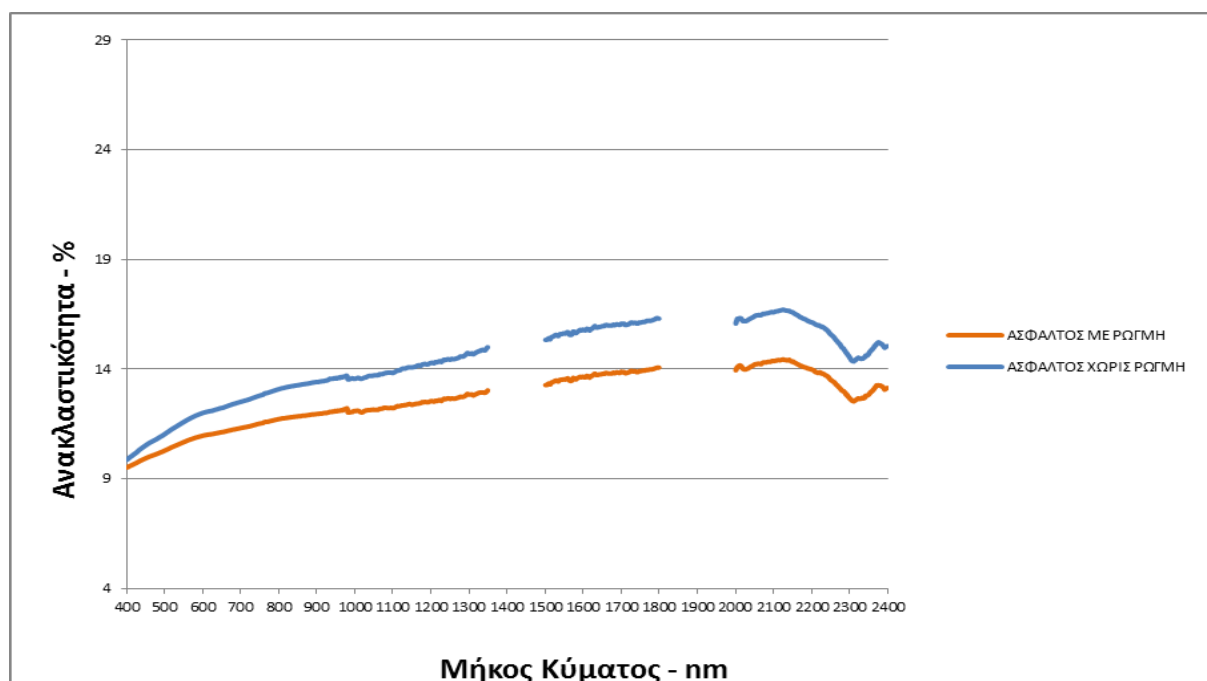


Εικόνα 8: Μεταβολές στην ανακλαστικότητα με βάση την ηλικία των ακέραιων ασφαλικών επιφανειών

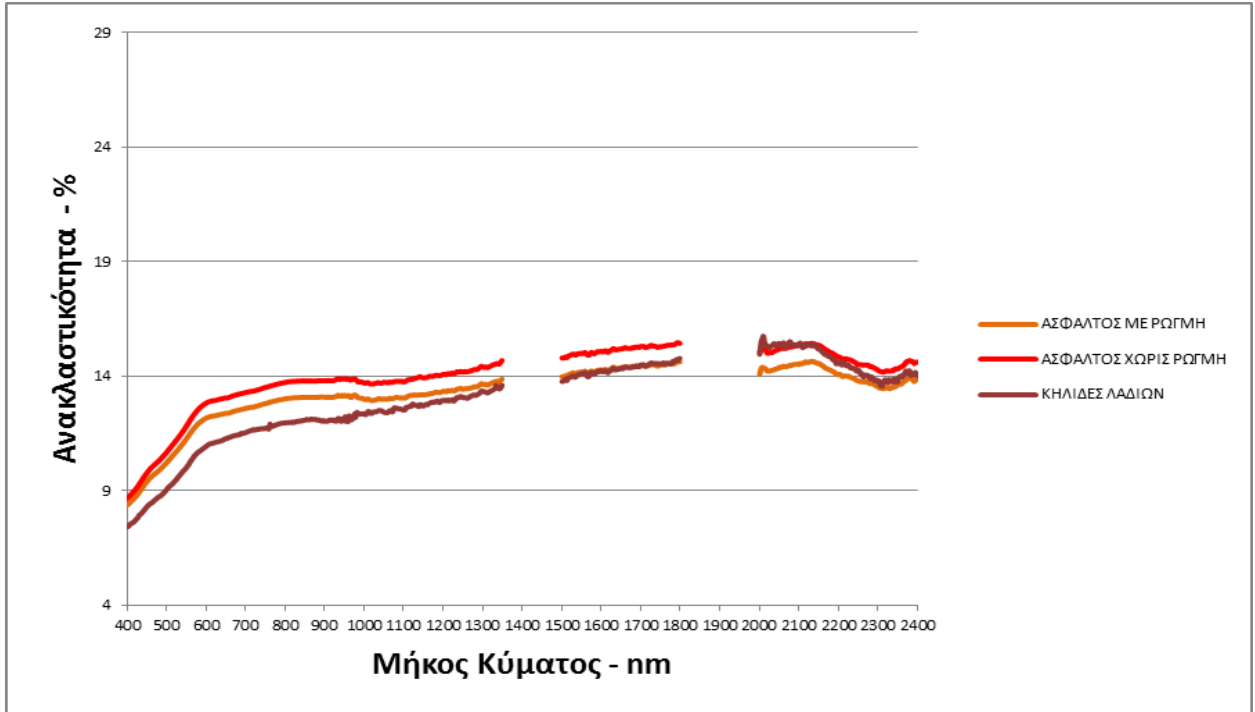
Περαιτέρω, για κάθε ασφαλική επιφάνεια διαφορετικού έτους κατασκευής συγκρίθηκαν οι άθικτες επιφάνειες και οι επιφάνειες που περιλάμβαναν ρωγμή (εικόνες 9,10,11,12). Επίσης για τις ασφάλτους 5-10 ετών και 10-15 συλλέχθηκαν δεδομένα που περιλάμβαναν κηλίδες λαδιών από τα αυτοκίνητα, γι' αυτό και ενδεικνύονται στα παρακάτω γραφήματα (εικόνες 10,11). Και στις τέσσερις περιπτώσεις υπήρξε μια σαφής διαφορά μεταξύ των τιμών ανακλαστικότητας. Η άθικτη ασφαλική επιφάνεια, η οποία παρουσιάζεται με τα ίδια χρώματα του προηγούμενου γραφήματος (εικόνα 8) και διαφέρουν με βάση την ηλικία κατασκευής, έχει την υψηλότερη καμπύλη ανακλαστικότητας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός

ότι σε σημεία που παρουσιάζεται ρωγμή υπάρχουν σκιές που δημιουργούνται λόγω βάθους. Οι επιφάνειες που αποτελούνται από μίγμα ασφάλτου και δεν έρχονται σε επαφή με τον αέρα ή τον ήλιο καθ' όλη τη διάρκεια κατασκευής τους, τις καθιστά λιγότερο ευάλωτες σε γήρανση. Κατά συνέπεια, η ακέραια ασφάλτος έχει υψηλότερες τιμές ανακλαστικότητας από τις ραγισμένες επιφάνειες της ίδιας ασφάλτου. Επίσης οι ρωγμές (πορτοκαλί καμπύλη) φαίνεται να έχει υψηλότερη ανακλαστικότητα από τις επιφάνειες που παρουσιάζονται κηλίδες λαδιών (εικόνες 10,11). Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι οι κηλίδες λαδιών έχουν χαμηλότερη ανακλαστικότητα σε σχέση με τη ανακλαστικότητα της σκιά που υπάρχει στις ρωγμές. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι οι κηλίδες λαδιών υπήρχαν σε άθικτες ασφατικές επιφάνειες και όχι σε σημεία που υπήρχαν ρωγμές. Για το λόγο αυτό σε κάποιο σημείο της καμπύλης στην εικόνα 8, η φασματική υπογραφή των λαδιών συμπίπτει με τη φασματική υπογραφή της άθικτης ασφατικής επιφάνειας.

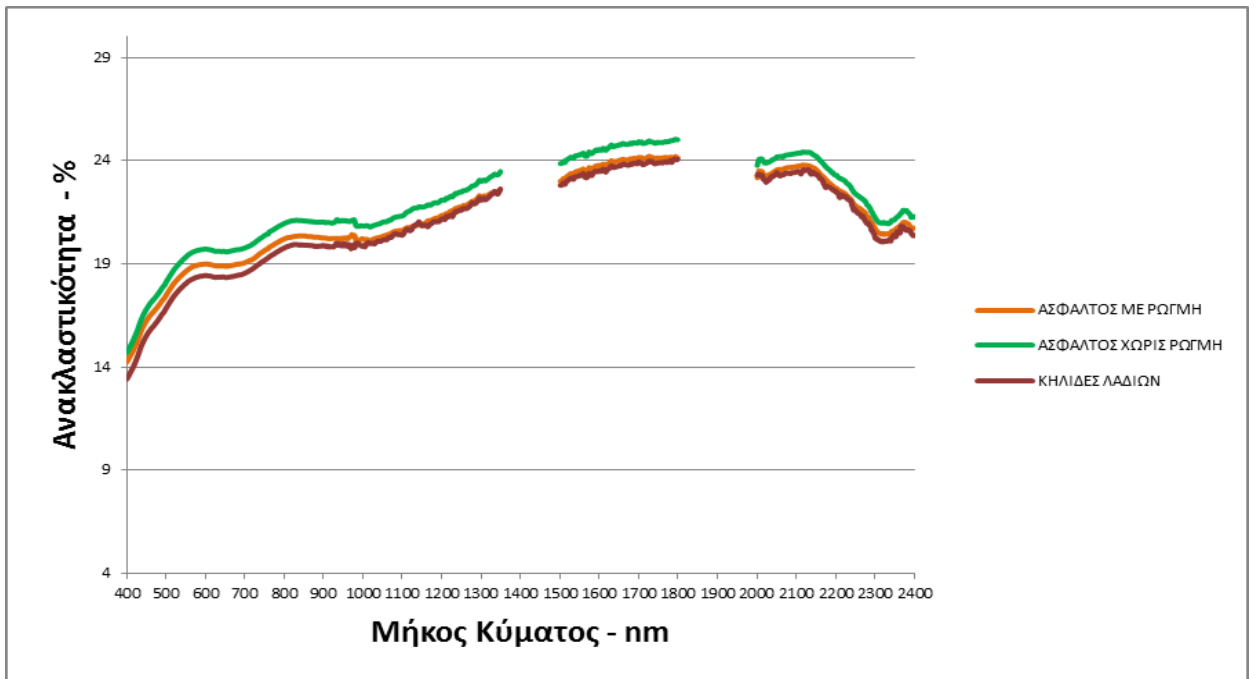
Οι φασματικές υπογραφές των ασφατικών επιφανειών είτε με ρωγμή είτε είναι άθικτη φαίνεται να συμπίπτουν αρκετά με προηγούμενες βιβλιογραφίες γι' αυτό το επόμενο βήμα ήταν η φωτογραφική απεικόνιση τους μέσα από το λογισμικό *Surfer9*, κάτι το οποίο δεν έχει προηγηθεί σε άλλες έρευνες.



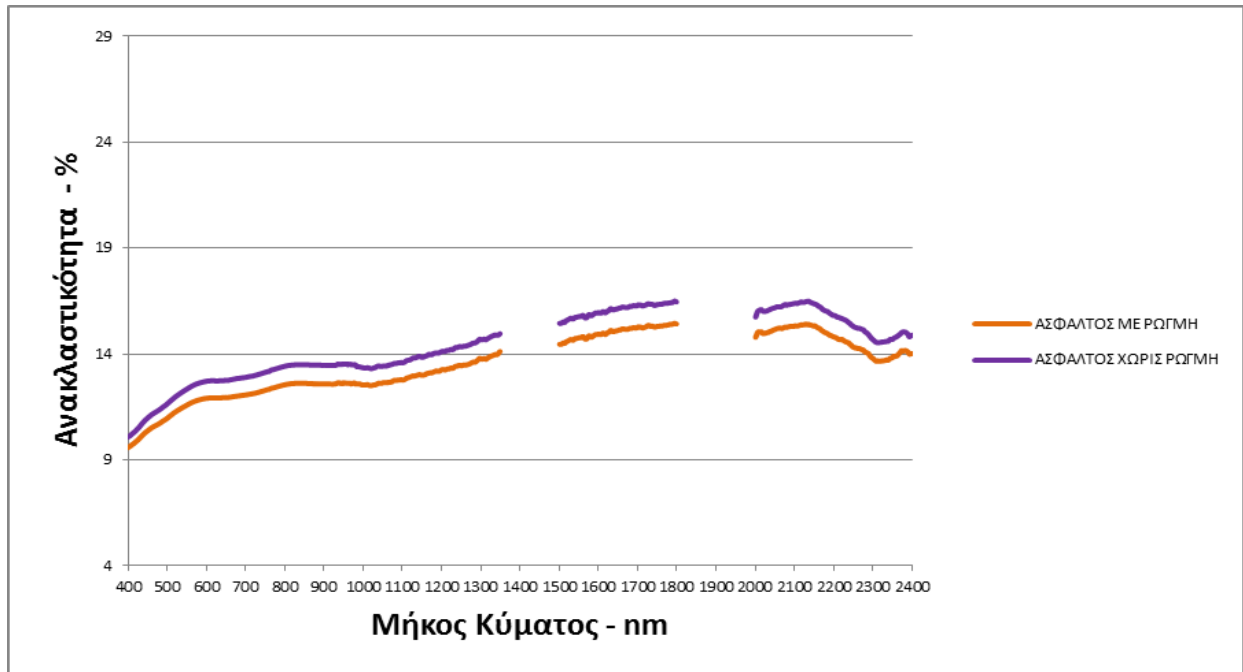
Εικόνα 9: Ηλικία κατασκευής 0-5 χρόνια, μεταβολές ανακλαστικότητας μεταξύ άθικτων ασφατικών επιφανειών και επιφανειών με ρωγμή



Εικόνα 10: Ηλικία κατασκευής 5-10 χρόνια, μεταβολές ανακλαστικότητα μεταξύ άθικτων ασφαλτικών επιφανειών, επιφανειών με ρωγή και επιφανειών με κηλίδες από λάδια



Εικόνα 11: Ηλικία κατασκευής 10-15 χρόνια, μεταβολές ανακλαστικότητα μεταξύ άθικτων ασφαλτικών επιφανειών, επιφανειών με ρωγή και επιφανειών με κηλίδες από λάδι



Εικόνα 12: Ηλικία κατασκευής 15-20 χρόνια, μεταβολές ανακλαστικότητας μεταξύ άθικτων ασφαλτικών επιφανειών και επιφανειών με ρωγμή

4.2 Φωτογραφική απεικόνιση δεδομένων

4.2.1 Επιλογή κατάλληλου δείκτη

Οι φασματικές υπογραφές των οδοστρωμάτων ασφάλτου (Εικόνα 8-11) παρουσιάζουν διάφορα χαρακτηριστικά που έχουν χρησιμότητα για φασματική αναγνώριση της ηλικίας αλλά και της κατάστασης των ασφαλτικών επιφανειών. Ένα κοινό πρόβλημα είναι ότι τα επίγεια φάσματα και οι παρατηρήσεις τηλεπισκόπησης αντιπροσωπεύουν διαφορετικές χωρικές και φασματικές κλίμακες. Ένας δορυφόρος δεν μπορεί να αναγνωρίσει τη ρωγμή ή οτιδήποτε παρουσιάζεται με μικρή έκταση σε μια ασφαλτική επιφάνεια, ωστόσο τα δεδομένα συλλέχθηκαν σε μορφή κάναβου που καλύπτει μια επιφάνεια με αστοχία 100 τετραγωνικών μέτρων (10m*10m). Τα δεδομένα συλλέχθηκαν με το φασματοραδιόμετρο SVC 1024 το οποίο θεωρείται «ως τέλειος δορυφόρος» αφού το εύρος για την ανάλυση του, αρχίζει από τα 400nm και φτάνει στα 2500nm, επίσης σημαντικό είναι και το γεγονός ότι μέσα στο εύρος του μπορούν να ληφθούν εκατοντάδες μετρήσεις, που στη συγκεκριμένη περίπτωση ήταν πάνω από 600 μετρήσεις.

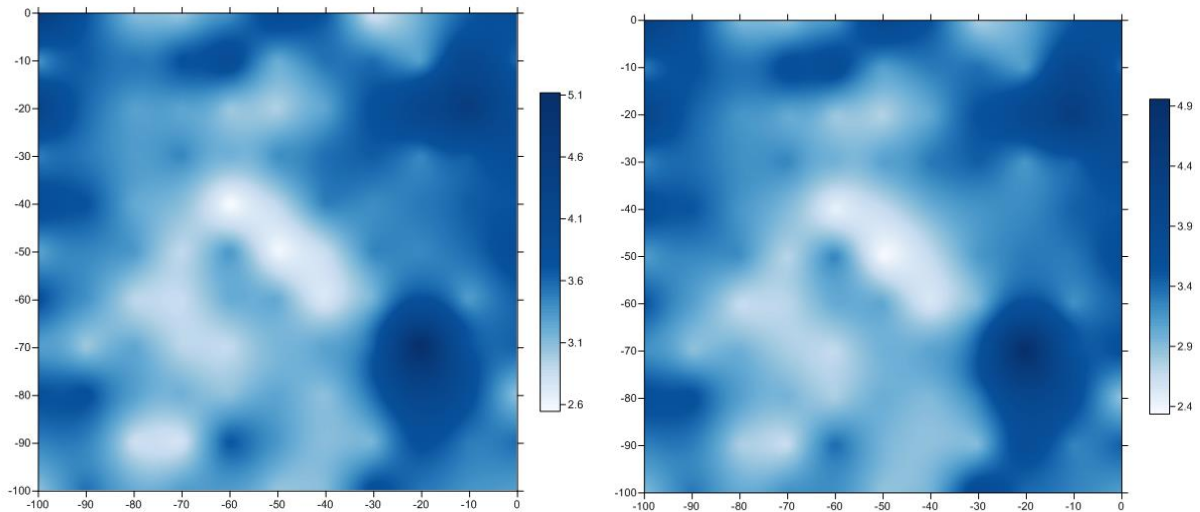
Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το ευρύ φάσμα, η ανάλυση των δεδομένων για φωτογραφική απεικόνιση επικεντρώνεται μέσα από τη δημιουργία διαφόρων δεικτών. Για τη διεκπεραίωση της τελικής απεικόνισης των ασφαλικών επιφανειών με τρόπο που να μοιάζει στην πραγματικότητα χρειάστηκε να δημιουργηθούν είκοσι δείκτες, εκ των οποίων οι πέντε καλύτεροι φαίνονται πιο κάτω (Εικόνα 13, Εικόνα 14, Εικόνα 15), με τον καταλληλότερο δείκτη που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη, να παρουσιάζεται στη τελευταία εικόνα (Εικόνα 15). Επίσης η επιλογή του δείκτη έγινε με βάση όλων των επιφανειών, όμως για αποφυγή των επαναλαμβανόμενων σχολιασμών, πιο κάτω στις εικόνες (Εικόνα 13, Εικόνα 14, Εικόνα 15) φαίνεται η απεικόνιση της ασφαλικής επιφάνειας ηλικίας 5-10 ετών, η οποία υπάγεται στην επαρχία Λεμεσού και έχει περίπου τις συντεταγμένες $34^{\circ} 40' 24.97'' \text{ B}$, $33^{\circ} 2' 20.06'' \text{ A}$. Αυτή η επιφάνεια οδοστρώματος έδινε τα πιο σωστά αποτελέσματα για όλους τους δείκτες που εξετάστηκε. Εξαιτίας του μεγάλου φάσματος των δεδομένων η επιλογή των τιμών που θα λάμβαναν χώρα στο συγκεκριμένο στάδιο, έγινε με βάση προηγούμενων βιβλιογραφιών (Herold et al. 2008; Mei et al. 2014b; Mettas et al. 2016), αν και ο τελικός δείκτης δεν αναφέρεται συγκεκριμένα σε κάποια άλλη έρευνα.

Στην Εικόνα 13 παρουσιάζονται οι φωτογραφικές απεικονίσεις μέσω του λογισμικού *Surfer9* με αναφορά στους δείκτες Imei (Mei et al. 2014b) και τη φασματική διαφορά VIS (Herold et al. 2008). Σε έρευνα του Mei et al. (2014b) έδειξαν ότι οι τιμές ανακλαστικότητας στα 740nm και 460nm, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν τις διαφορές στις επιφάνειες ασφάλτων. Λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές ανακλαστικότητας σε αυτά τα δύο μήκη κύματος, οι διαφορές μεταξύ των επιφανειών ασφάλτου ήταν εμφανής στα νέα οδοστρώματα που κυριαρχείται από απορροφήσεις υδρογονανθράκων και έχουν χαμηλότερες τιμές ανακλαστικότητας σε σχέση με παλαιότερα οδοστρώματα. Επιπλέον ο Herold et al. (2008), λόγω του ότι περιόρισε την ανάλυση του στο εύρος 450-900nm, επικεντρώθηκε στη φασματική διαφορά μεταξύ των καναλιών στα 830nm και 490nm (VIS2-diff). Η φασματική διαφορά μεταξύ των δύο καναλιών υπογραμμίζει την αυξανόμενη φασματική αντίθεση μεταξύ του οδοστρώματος που κυριαρχείται από απορροφήσεις υδρογονανθράκων (καινούριοι δρόμοι) με την αύξηση της φωτεινότητας. Αυτή η διαφορά είναι μικρή για νέες ασφαλικές επιφάνειες και αυξάνεται με την ηλικία και το επίπεδο φθοράς του οδοστρώματος. Εισάγοντας λοιπόν αυτούς τους δύο δείκτες, τα αποτελέσματα που προέκυψαν στην φωτογραφική απεικόνιση ήταν αρκετά κοντά με την πραγματικότητα αλλά όχι τα επιθυμητά. Στην Εικόνα 15 και συγκεκριμένα στην κάτω εικόνα παρουσιάζεται ένας κάρναβος με εικονοστοιχεία όπου αντιπροσωπεύει τις μετρήσεις που λήφθηκαν με το

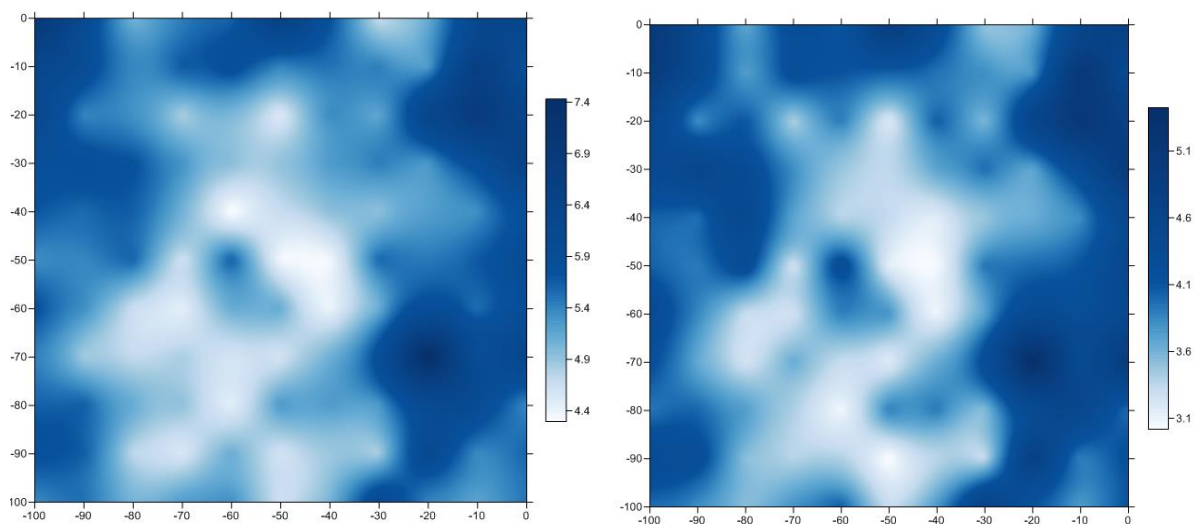
ραδιόμετρο. Με άλλα λόγια, ότι παρουσιάζεται σ' αυτόν τον κάρναβο αναμένεται να ληφθεί και σαν τελικό αποτέλεσμα. Με ροζ χρώμα είναι οι ελαττωματικές επιφάνειες οι οποίες μπορεί να περιλαμβάνουν ρωγμές ή κηλίδες από λάδια των αυτοκινήτων, ενώ με γαλάζιο χρώμα είναι οι άθικτες επιφάνειες. Στους καννάβους της φωτογραφικής απεικόνισης (Εικόνα 13) με σκούρο μπλε ενδύκνεται η άθικτη επιφάνεια και όσο μειώνεται η ένταση (προς λευκό) ενδύκνεται η ελαττωματική επιφάνεια. Άρα για τον προσδιορισμό του κατάλληλου δείκτη συγκρίθηκαν οι δύο αυτοί κάρναβοι της Εικόνα 13 με τον κάρναβο εικονοστοιχείων (Εικόνα 15). Η σύγκριση έδειξε ότι οι φωτογραφικές απεικονίσεις δεν συμφωνούν πλήρως με τον κάρναβο εικονοστοιχείων με αποτέλεσμα τη δημιουργία άλλων πιθανών κατάλληλων δεικτών.

Οι δύο προηγούμενοι δείκτες περιορίζονται σε ένα εύρος φάσματος μεταξύ 450-900nm, σε αντίθεση με τους δείκτες που ακολουθούν, οι οποίοι επεκτείνονται σε ένα μεγαλύτερο εύρος μήκους κύματος, στο κανάλι 5 και 1 του Landsat 7. Συγκεκριμένα σε άρθρο των Mettas et al. (2016), όταν έγινε η «In-Band» ανάλυση του Landsat 7, η διάκριση μεταξύ των άθικτων, ραγισμένων και γυαλισμένων ασφάλτων, έδειξε ότι η αναλογία του καναλιού 5 προς το κανάλι 1 είναι πιο κατάλληλη για να χρησιμοποιηθεί. Άρα με δεδομένη αυτήν την αναφορά και του εύρους ανάλυσης που καλύπτει το ραδιόμετρο SVC 1024, η επιλογή που θα οδηγούσε στον κατάλληλο δείκτη επικεντρώθηκε σε συνδυασμούς τιμών, αυτών των καναλιών, όπου για το κανάλι 1 οι τιμές είναι 435-520nm και για το κανάλι 5 του Landsat 7 1514-1791nm. Έμφαση δόθηκε κυρίως στη διαφορά μεταξύ των δύο καναλιών, δηλαδή αφαίρεση τιμών του καναλιού 1 από το 5. Λόγω του αυξημένου αριθμού συνδυασμών της διαφοράς, οι δείκτες που δημιουργήθηκαν ήταν περίπου ανά 100nm, δηλαδή 1790 – 520nm, 1790 – 460nm, 1690 – 520nm, 1690 – 460nm, κ.ο.κ ή χρησιμοποιώντας τη διαφορά μεταξύ των ελάχιστων και μέγιστων τιμών των καναλιών, όπως: 1514 - 435nm, κλπ. Για κάθε φορά που γινόταν πραγματοποίηση ενός δείκτη, εξεταζόταν ταυτόχρονα και η φωτογραφική απεικόνιση του μέσω του *surfer9*. Οι πιο κατάλληλοι δείκτες που δημιουργήθηκαν για τον κάρναβο της απεικόνισης φαίνονται στις Εικόνα 14 και Εικόνα 15, που χρησιμοποιούν τις φασματικές διαφορές 1514 – 435nm, 1590 – 490nm, και 1750 – 460nm. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι κάρναβοι της φωτογραφικής απεικόνισης συγκρίθηκαν με τον κάρναβο εικονοστοιχείων που φαίνεται στην κάτω εικόνα της Εικόνα 15. Τα ροζ εικονοστοιχεία που αντιπροσωπεύουν τις ελαττωματικές επιφάνειες των υπό μελέτη περιοχών φαίνεται να συμπίπτουν με τους καννάβους απεικόνισης στην Εικόνα 14, αλλά όχι τόσο, όσο ο κάρναβος που επιλέχτηκε ως ο καταλληλότερος, δηλαδή αυτός που παρουσιάζεται στην Εικόνα 15 και

χρησιμοποιεί τη φασματική διαφορά 1750 – 460nm. Ένα γενικό παράδειγμα είναι ότι το σκούρο μπλε που αντιπροσωπεύει τις άθικτες επιφάνειες καλύπτει περισσότερη έκταση στην Εικόνα 15, παρά στις υπόλοιπες κάτι το οποίο σημαίνει ότι ταυτίζεται ακόμη περισσότερο με τον κάρναβο εικονοστοχείων. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο καταλληλότερος δείκτης δεν επιλέχτηκε μόνο με βάση τη σύγκριση που έγινε για την ασφαλτική επιφάνεια 5-10 ετών, αλλά με βάση όλων των κατηγοριών που εξετάστηκαν στην παρούσα έρευνα.

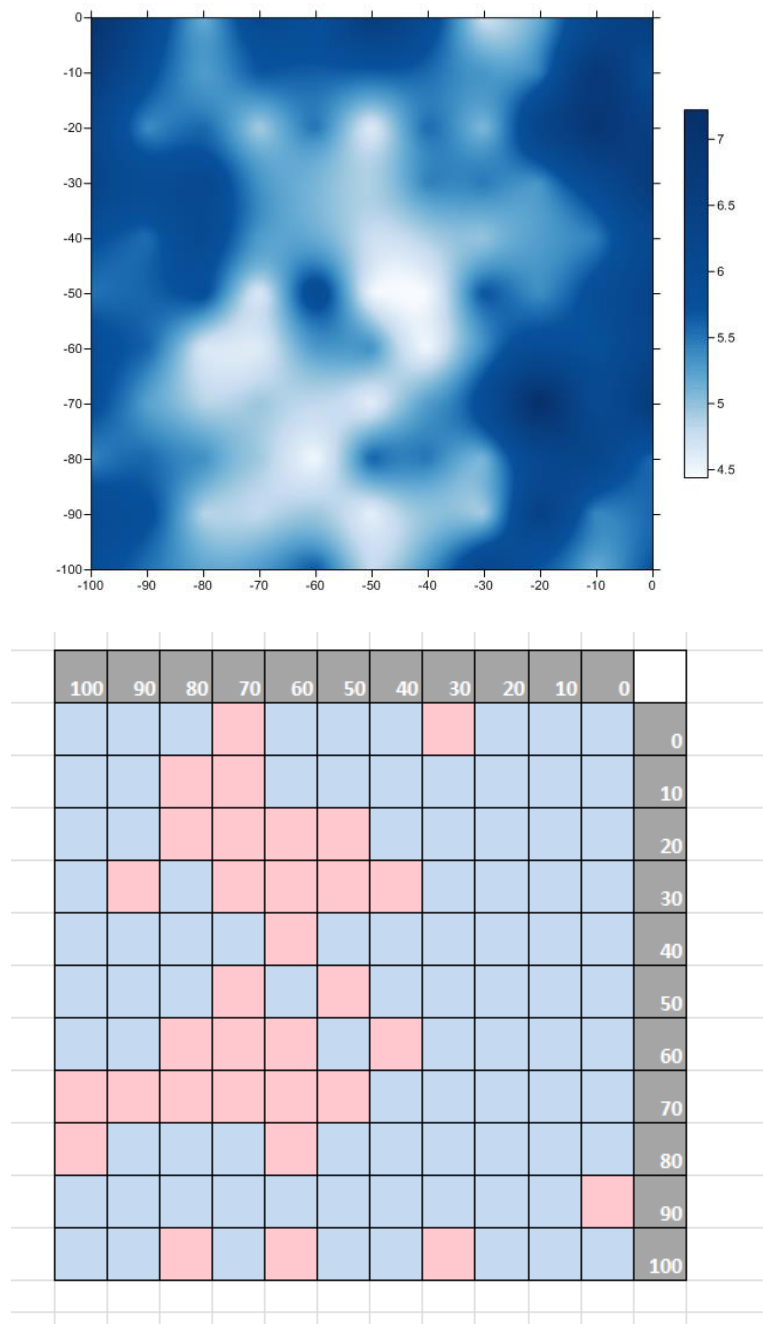


Εικόνα 13: Ασφαλτική επιφάνεια ηλικίας 5-10 ετών, *αριστερά* φασματική διαφορά μεταξύ 740-460nm (δείκτης Me1), *δεξιά* φασματική διαφορά 830-490nm (VIS2-diff)



Εικόνα 14: Ασφαλτική επιφάνεια ηλικίας 5-10 ετών, *αριστερά* φασματική διαφορά μεταξύ 1514 - 430nm, *δεξιά* φασματική διαφορά 1590-490nm

Η φωτογραφική απεικόνιση των υπόλοιπων κατηγοριών ασφάλτου βασίστηκε στην επιλογή του ίδιου δείκτη (1750 – 460nm). Στη συνέχεια ακολουθεί σχολιασμός της σύγκρισης μεταξύ των καννάβων εικονοστοιχείων, φωτογραφικής απεικόνισης, φωτογραφίας από την περιοχή μελέτης και καννάβου που σχεδιάστηκε στο λογισμικό *AutoCAD* παρουσιάζοντας τις ρωγμές.



Εικόνα 15: Ασφαλτική επιφάνεια ηλικίας 5-10 ετών, πάνω κατάλληλος δείκτης για την παρούσα εργασία με φασματική διαφορά μεταξύ 1750 - 460 nm, κάτω κάνναβος με εικονοστοιχεία που αντιπροσωπεύει τα σημεία που συλλέχτηκαν με το ραδιόμετρο

4.2.2 Εφαρμογή κατάλληλου δείκτη στις τέσσερις ασφαλικές επιφάνειες διαφορετικού έτους κατασκευής

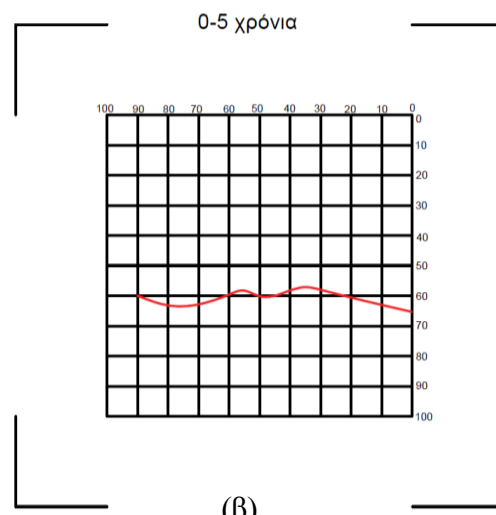
Περαιτέρω βήμα σε αυτή την πτυχιακή ήταν η ταύτιση των δεδομένων που συλλέχθηκαν στο πεδίο με τους καννάβους που κατασκευάστηκαν στο λογισμικό *Surfer9*. Για κάθε ασφαλική επιφάνεια διαφορετικού έτους κατασκευής παρουσιάζονται φωτογραφίες από την περιοχή μελέτης και συγκεκριμένα φαίνεται ο κάνναβος όπως σχεδιάστηκε με σπρέι στο πεδίο, ένα σκαρίφημα το οποίο σχεδιάστηκε στο λογισμικό σχεδίασης *AutoCAD* με έμφαση στην παρουσία της ρωγμής και ένας κάνναβος εικονοστοιχείων ο οποίος περιγράφει τα σημεία όπως συλλέχθηκαν με το επίγειο φασματοραδιόμετρο. Αυτός ο κάνναβος κατασκευάστηκε με τη βοήθεια των φασματικών υπογραφών κάθε σημείου, δηλαδή σημεία τα οποία παρουσίαζαν χαμηλή ανακλαστικότητα θεωρήθηκαν ότι αντιπροσωπεύουν ελαττωματική επιφάνεια ασφάλτου. Έχοντας ως υπόβαθρο αυτούς τους τρεις καννάβους, αξιολογήθηκε η καταλληλότητα του δείκτη 1760 – 450nm, ο οποίος αναφέρθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, για την εφαρμογή του σε όλες τις κατηγορίες ασφαλικών επιφανειών.

Στην Εικόνα 16(δ) φαίνεται η φωτογραφική απεικόνιση για την ασφαλική επιφάνεια ηλικίας 0-5 ετών. Ενώ ο αρχικός στόχος ήταν να παρουσιαστεί η άθικτη ασφαλική επιφάνεια με σκούρο μπλε και η ρωγμή με πιο ανοιχτόχρωμη ένταση χρώματος, δηλαδή προς λευκό, δεν επιτεύχθηκε. Πιο συγκεκριμένα αρχικός στόχος ήταν ως αποτέλεσμα της φωτογραφικής απεικόνισης να προκύψει ο ίδιος κάνναβος με αυτό που σχεδιάστηκε στο λογισμικό σχεδίασης *AutoCAD* (Εικόνα 16(β)). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα δεδομένα του ραδιομέτρου είναι πολύ ευαίσθητα σε εξωγενείς παράγοντες, κάτι το οποίο προκάλεσε το ενδιαφέρον ώστε να δημιουργηθεί και άλλος κάνναβος με εικονοστοιχεία ο οποίος θα έπαιρνε διαφορετικό χρώμα απεικόνισης σε ελαττωματικές επιφάνειες (Εικόνα 16(γ)). Οι περιοχές στις οποίες έγινε μελέτη είναι χώροι στάθμευσης, κάτι που σημαίνει ότι τα αυτοκίνητα δεν κυκλοφορούν σε όλη την έκταση της ασφαλικής επιφάνειας με την ίδια συχνότητα. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 16(α), η ασφαλική επιφάνεια δεν είναι ομοιόμορφη, αλλά στα αριστερά που γίνεται η κύρια κυκλοφορία των αυτοκινήτων η ανακλαστικότητα λήφθηκε με χαμηλότερες τιμές λόγω της αυξημένης κίνησης των λάστιχων, ενώ στη δεξιά πλευρά του καννάβου συλλέχθηκε υλικό υψηλής ανακλαστικότητας μέσα στο τραχύ μέρος του οδοστρώματος. Επίσης επιφάνειες οι οποίες περιλάμβαναν κηλίδες από λάδια των αυτοκινήτων προκαλούσαν και πάλι χαμηλή ανακλαστικότητα στα δεδομένα, ένα παράδειγμα γι' αυτό, είναι το σημείο (20,10) στον κάνναβο της φωτογραφικής απεικόνισης το

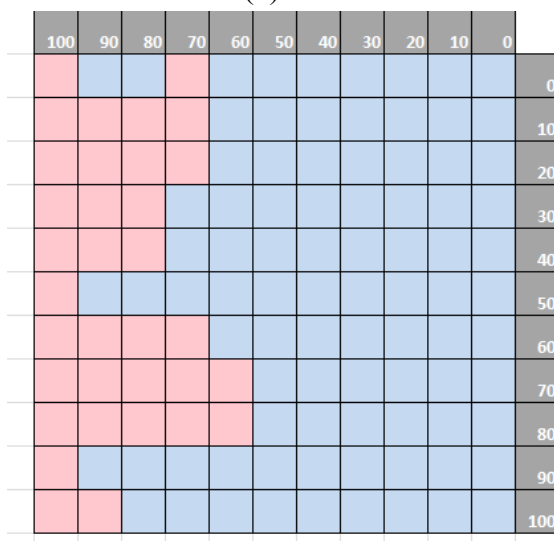
οποίο παρουσιάζεται με μειωμένη ένταση χρώματος (προς λευκό), άρα και ελαττωματική επιφάνεια. Αυτή η κηλίδα λαδιών δεν παρουσιάζεται στο κάνναβο εικονοστοιχείων (Εικόνα 16(γ)), είναι κάτι το οποίο έχει σημειωθεί κατά την συλλογή των δεδομένων. Αξίζει να σημειωθεί ότι το πρόσημο των διαβαθμίσεων του καννάβου φωτογραφικής απεικόνισης, πρέπει να αγνοηθεί, ο σκοπός για τον οποίο έγινε είναι για να συμπίπτει με τους αριθμούς των υπόλοιπων καννάβων (το ίδιο ισχύει για όλες τις ασφαλτικές επιφάνειες). Σε γενικές γραμμές η απεικόνιση της ασφαλτικής επιφάνειας ηλικίας 0-5 ετών φαίνεται να ταυτίζεται περισσότερο με τον κάνναβο εικονοστοιχείων, δηλαδή αυτόν που δημιουργήθηκε μέσω των τιμών ανακλαστικότητας για κάθε σημείο.



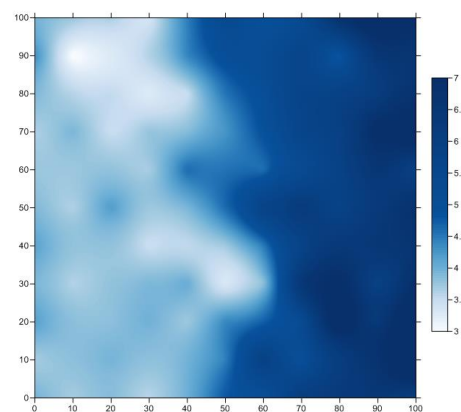
(α)



(β)



(γ)



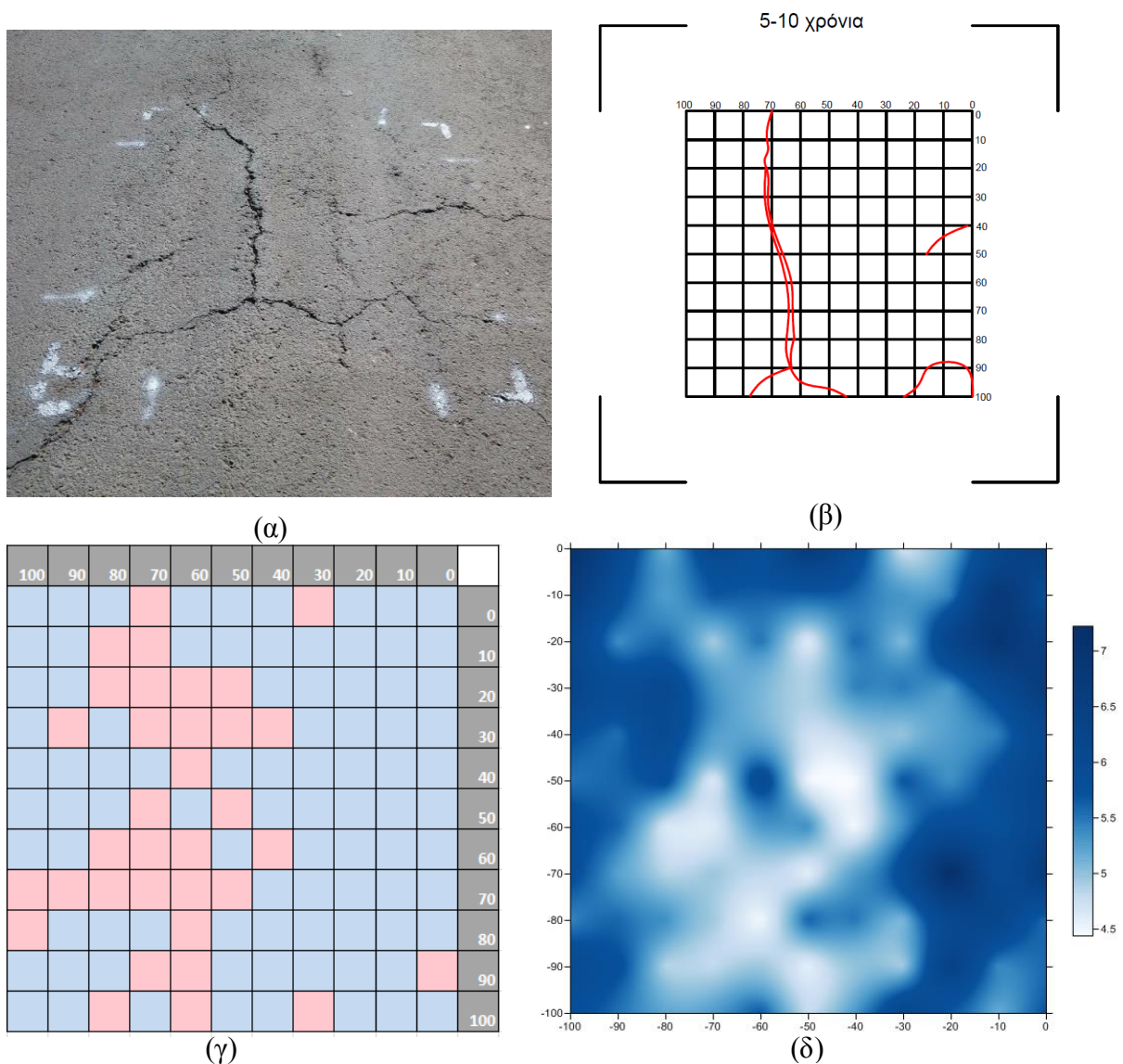
(δ)

Εικόνα 16: Ασφαλτική επιφάνεια ηλικία 0-5 ετών, (α) φωτογραφία από την περιοχή μελέτης, (β) κάνναβος που παρουσιάζει τη ρωγμή σε λογισμικό σχεδίασης AutoCAD, (γ) κάνναβος με εικονοστοιχεία που αντιπροσωπεύει τα σημεία που συλλέχτηκαν με το ραδιόμετρο και (δ) κάνναβος φωτογραφικής απεικόνισης

Επόμενη κατηγορία ήταν η ασφαλική επιφάνεια ηλικίας 5-10 ετών, στην οποία υπάρχει μια πιο σύνθετη ρωγμή αλλά και σχετικά μεγαλύτερη σε βάθος από ότι η προηγούμενη (ηλικίας 0-5 ετών). Στην φωτογραφική απεικόνιση (Εικόνα 17(δ)) αυτής της κατηγορίας είναι εμφανής η παρουσία των ρωγμών με τη διαφορά ότι η ρωγμή δεν ξεκινά από το σημείο (70,0) όπως φαίνεται στο σκαρίφημα και στον κάρναβο εικονοστοιχείων, αλλά αρχίζει από το (80,0). Γεγονός που οφείλεται στο ότι, η συλλογή των δεδομένων έγινε σε τρεις διαφορετικές μέρες, άρα ήταν αδύνατη η λήψη στο ίδιο ακριβώς σημείο κάθε φορά. Η ρωγμή (Εικόνα 17(β)) που βρίσκεται στο σημείο (100,70) ενώ θεωρήθηκε αμελητέα κατά την σχεδίαση του σκαριφήματος (λόγω του ότι βρίσκεται σχεδόν έξω από τον κάρναβο που καλύπτει την επιφάνεια 1m*1m) φαίνεται ότι κατά τη συλλογή των δεδομένων και αφού το ραδιόμετρο καλύπτει επιφάνεια με διάμετρο 0,08m, λήφθηκε υπόψη και μάλιστα με φασματική υπογραφή χαμηλής ανακλαστικότητας. Αυτό φαίνεται από τον κάρναβο εικονοστοιχείων (Εικόνα 17(γ)) που πήρε το ροζ χρώμα, άρα ελαττωματική επιφάνεια και στη συνέχεια στην απεικόνιση του κάρναβου της φωτογραφικής απεικόνισης με χαμηλή ένταση χρώματος (προς λευκό). Επιπλέον στα σημεία (50,20) και (30,20) τα οποία παρουσιάζουν ελαττωματική επιφάνεια στον κάρναβο της φωτογραφικής απεικόνισης (Εικόνα 17(δ)) επηρεάστηκαν από κηλίδες λαδιών των αυτοκινήτων και όχι από ρωγμή. Γενικά αυτή η ασφαλική επιφάνεια έδινε τα πιο σωστά αποτελέσματα τόσο στον κάρναβο εικονοστοιχείων (Εικόνα 17(γ)) όσο και στην φωτογραφική απεικόνιση (Εικόνα 17(δ)).

Τρίτη κατηγορία ήταν η ασφαλική επιφάνεια ηλικίας 10-15 ετών, στην οποία προέκυψαν τα πιο ανακριβή αποτελέσματα, τόσο στην σύγκριση των φασματικών δεδομένων όσο και στην φωτογραφική της απεικόνιση. Σε προηγούμενο κεφάλαιο, κατά τη σύγκριση της με τις υπόλοιπες ασφαλικές επιφάνειες έδειξε ότι έχει την ψηλότερη (κατά πολύ) ανακλαστικότητα σε όλο το φάσμα της, ενώ θα έπρεπε να βρισκόταν μεταξύ των κατηγοριών 5-10 ετών και 15-20 (Εικόνα 8). Η παρουσία της ρωγμής δεν φαίνεται στο κάρναβο της φωτογραφικής απεικόνισης (Εικόνα 18(β)) εκτός από ένα σημείο στο (100,40), βέβαια ούτε στον κάρναβο εικονοστοιχείων (Εικόνα 18(γ)) φαίνεται η συνέχεια της ρωγμής, που σε αυτή την περίπτωση έπρεπε να εμφανίζεται γιατί τα σημεία ρωγμών παρουσιάζουν χαμηλότερη ανακλαστικότητα. Άρα αφού λήφθηκαν αυτά τα σημεία με το ραδιόμετρο έπρεπε η φασματική τους υπογραφή να είναι χαμηλότερη σε σχέση με τις υπόλοιπες, κάτι το οποίο δεν έγινε. Πέραν της ρωγμής στον κάρναβο της φωτογραφικής απεικόνισης (Εικόνα 18(δ))

εμφανίζονται αρκετά σημεία με ελαττωματική επιφάνεια, αυτά δηλαδή που παρουσιάζονται με χαμηλή ένταση χρώματος (προς λευκό). Η ύπαρξη τους οφείλεται σε εξωτερικούς παράγοντες, που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ακαθαρσίες από δέντρα που βρίσκονται κοντά στην περιοχή μελέτης. Ενώ η περιοχή καθαρίστηκε δεν απομακρύνθηκαν εντελώς, με κατά συνέπεια να επηρεάζονται τα αποτελέσματα. Ολοκληρώνοντας αυτήν την κατηγορία, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι αυτή η περιοχή μελέτης είναι γενικότερα ελαττωματική και δεν μπορεί θεωρηθεί αντιπροσωπευτική για όλες τις ασφαλτικές επιφάνειες 10-15 ετών, αυτό άλλωστε φαίνεται και από τα αποτελέσματα της.



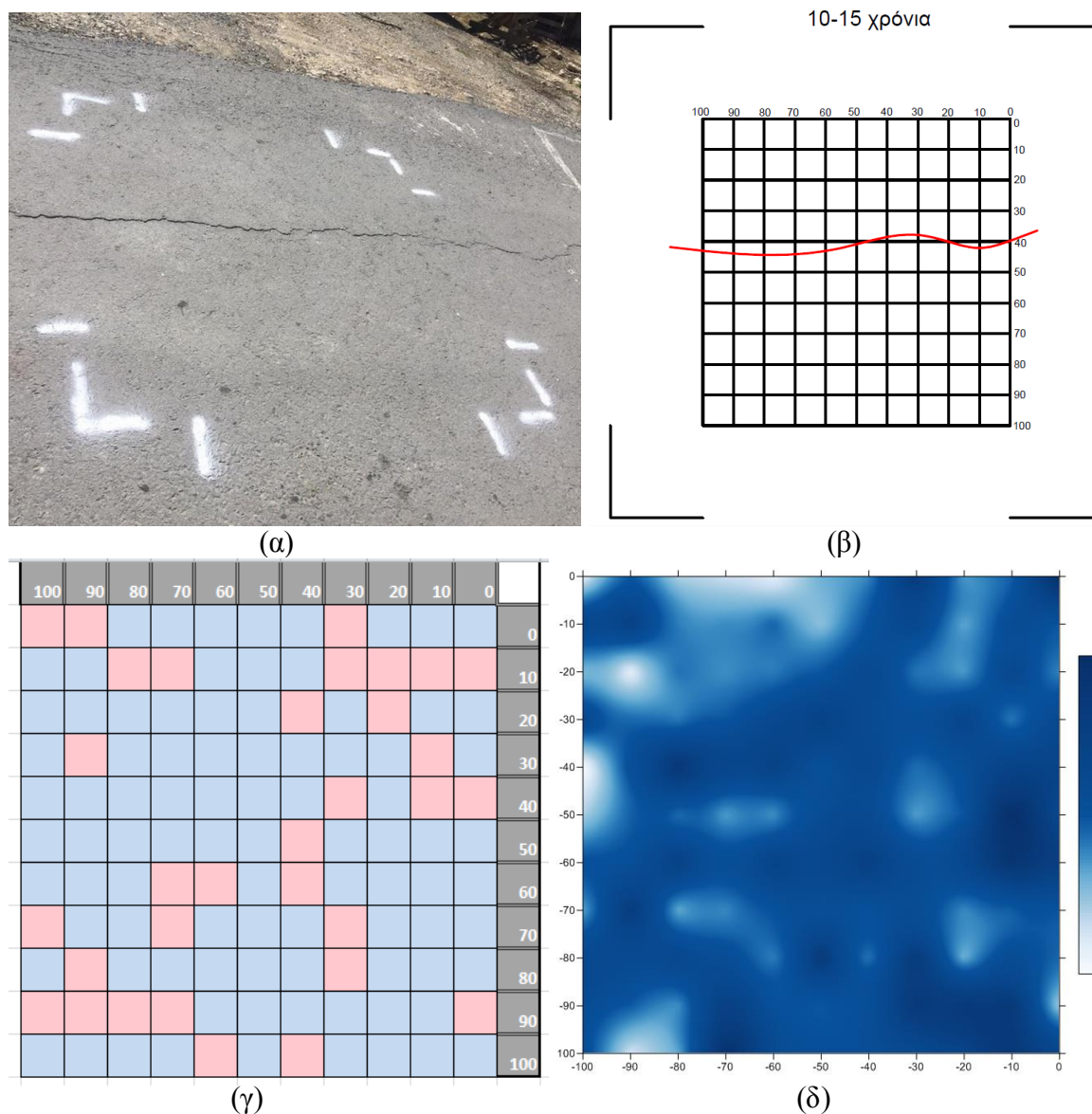
Εικόνα 17: Ασφαλτική επιφάνεια ηλικία 5-10 ετών, (α) φωτογραφία από την περιοχή μελέτης, (β) κάρναβος που παρουσιάζει τη ρωγή σε λογισμικό σχεδίασης AutoCAD, (γ) κάρναβος με εικονοστοιχεία που αντιπροσωπεύει τα σημεία που συλλέχτηκαν με το ραδιόμετρο και (δ) κάρναβος φωτογραφικής απεικόνισης

Η τελευταία κατηγορία ασφαλικής επιφάνειας, ηλικίας 15-20 ετών, φαίνεται στην πιο κάτω εικόνα (Εικόνα 19) και αντιπροσωπεύει το οδόστρωμα ασφάλτου με την μεγαλύτερη ηλικία κατασκευής. Και σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μια πιο σύνθετη ρωγμή η οποία φαίνεται να ανταποκρίνεται σε όλα τα σημεία της φωτογραφικής απεικόνισης (Εικόνα 19(δ)). Μερικά από αυτά ενώ θα έπρεπε να παρουσιάζονται με ροζ χρώμα στον κάνναβο εικονοστοιχείων (Εικόνα 19(γ)) γιατί αφορούν ελαττωματικές επιφάνειες, δεν έγινε. Από την άλλη όμως στον κάνναβο της απεικόνισης ο οποίος δημιουργήθηκε μέσω της διαφορά φάσματος (δείκτη) παρουσιάζονται και σχετικά με καλή ακρίβεια. Η κάθετη ρωγμή (Εικόνα 19(δ)) η οποία ξεκινά από το σημείο (20,10) και φτάνει στο (15,100) φαίνεται ξεκάθαρα στον κάνναβο φωτογραφικής απεικόνισης και μάλιστα μπορεί να ταυτιστεί και με το σκαρίφημα που σχεδιάστηκε. Επιπλέον η οριζόντια ρωγμή αρχίζοντας από το (100,10) φτάνοντας στο (20,10) φαίνεται μεν στο κάνναβο απεικόνισης αλλά όχι τόσο έντονα όσο η κάθετη ρωγμή. Σε αυτή την περίπτωση η ρωγμή ενδείκνυται με λίγο πιο έντονη ένταση χρώματος (ανοικτό γαλάζιο). Αυτό μάλλον οφείλεται σε εξωτερικούς παράγοντες και κυρίως στο ότι η ρωγμή δεν μπορούσε να καθαριστεί εντελώς από σκόνες που προκαλούν αυξήσεις στις τιμές ανακλαστικότητας. Άλλοι εξωτερικοί παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάζουν το υπόλοιπο μέρος της ασφαλικής επιφάνειας είναι οι κηλίδες λαδιών από τα αυτοκίνητα, γιατί και πάλι η περιοχή μελέτης είναι χώρος στάθμευσης των αυτοκινήτων. Εξάλλου οι κηλίδες λαδιών είναι κάτι που φαίνεται και στην φωτογραφία (Εικόνα 19(α)).

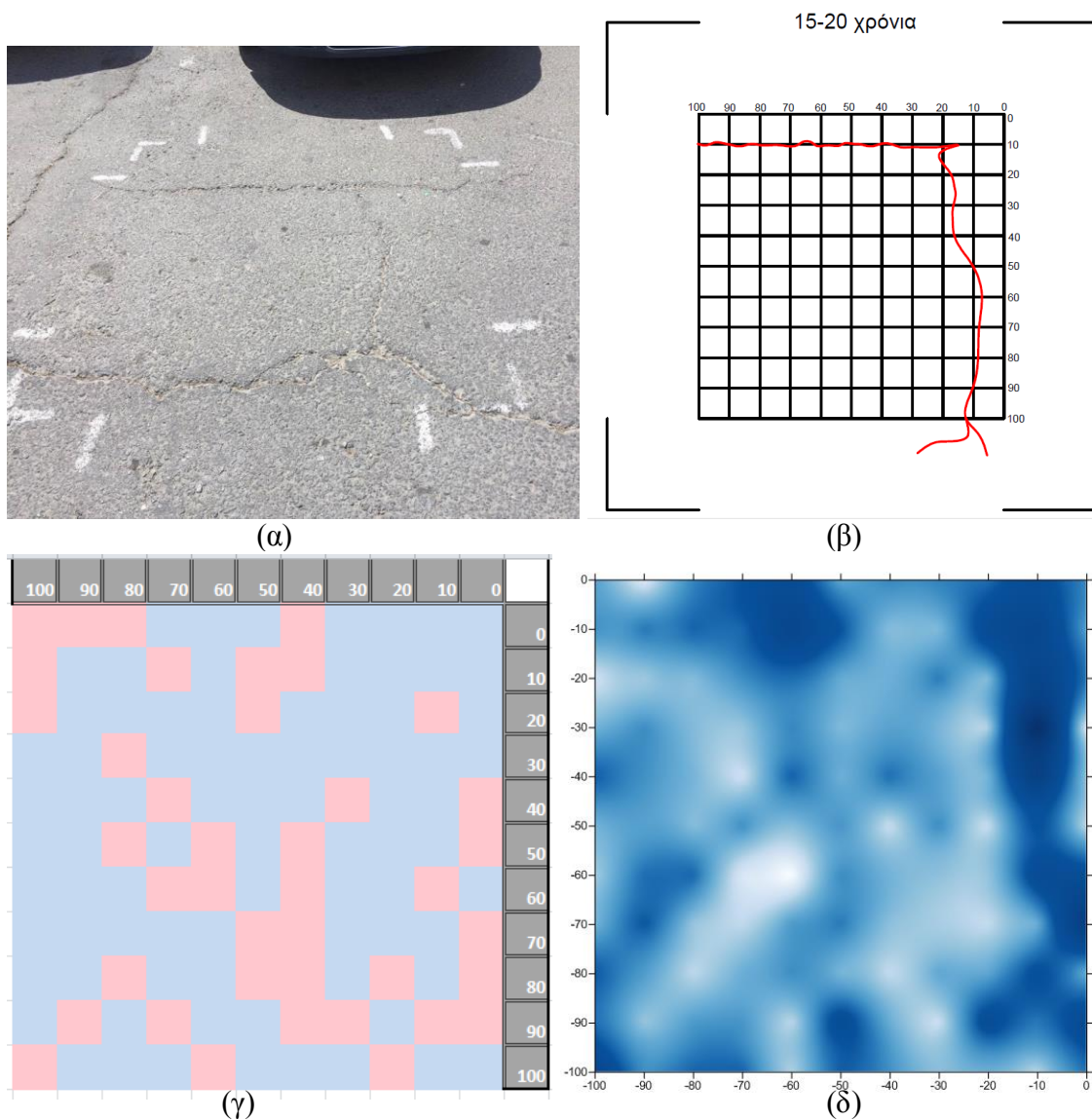
Με βάση τις πιο πάνω πληροφορίες, που αφορούν τη φωτογραφική απεικόνιση, το συμπέρασμα είναι ότι ενώ σε αρκετά σημεία εντοπίζονται οι αστοχίες, ο παραμικρός θόρυβος να υπάρχει στις ασφαλικές επιφάνειες επηρεάζει τα τελικά αποτελέσματα. Οι εξωτερικοί παράγοντες που ανάτρεψαν κατά κάποιο τρόπο τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης είναι κυρίως οι κηλίδες από τα λάδια των αυτοκινήτων, αφού οι περιοχές μελέτης ήταν χώροι στάθμευσης των αυτοκινήτων, επίσης ακαθαρσίες από δεντρά που βρίσκονταν κοντά στις περιοχές αλλά και στίγματα τα οποία αφήνουν τα λάστιχα των αυτοκινήτων όπως αναφέρθηκε στην περίπτωση της ασφαλικής επιφάνειας 0-5 ετών (Εικόνα 16).

Φαίνεται καθαρά ότι η γήρανση των ασφαλικών επιφανειών και τα ελαττώματά τους μπορούν να επηρεάζουν την ανακλαστικότητα, ενώ η χρήση των τεχνικών τηλεπισκόπησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό ορισμένων ασφαλικών αστοχιών. Ωστόσο περισσότερες φασματικές υπογραφές των διάφορων ασφαλικών ελαττωμάτων θα πρέπει να

συλλέγονται και να αναλύονται προκειμένου να υπάρξουν πλήρη στοιχεία των επιφανειών ασφαλτοτάπητα. Τέλος θα μπορούσε να υπάρξει βελτίωση της μεθόδου αν γινόταν χρήση κάποιου άλλου δείκτη, ο οποίος μπορεί να ήταν πιο σύνθετος.



Εικόνα 18: Ασφαλτική επιφάνεια ηλικία 10-15 ετών, (α) φωτογραφία από την περιοχή μελέτης, (β)κάνναβος που παρουσιάζει τη ρωγμή σε λογισμικό σχεδίασης AutoCAD, (γ) κάνναβος με εικονοστοιχεία που αντιπροσωπεύει τα σημεία που συλλέχτηκαν με το ραδιόμετρο και (δ) κάνναβος φωτογραφικής απεικόνισης



Εικόνα 19: Ασφαλτική επιφάνεια ηλικία 15-20 ετών, (α) φωτογραφία από την περιοχή μελέτης, (β)κάνναβος που παρουσιάζει τη ρωγμή σε λογισμικό σχεδίασης AutoCAD, (γ) κάνναβος με εικονοστοιχεία που αντιπροσωπεύει τα σημεία που συλλέχτηκαν με το ραδιόμετρο και (δ) κάνναβος φωτογραφικής απεικόνισης

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ / ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Αυτή η εργασία παρουσιάζει διάφορες τεχνικές τηλεπισκόπησης οι οποίες φαίνεται να ελαχιστοποιούν το κόστος αλλά και το χρόνο για τον έλεγχο των οδικών δικτύων, προκαλώντας το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών. Μερικές από τις μεθοδολογίες τηλεπισκόπησης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των ασφαλτικών επιφανειών κάνουν χρήση των: φασματικών βιβλιοθηκών, UAVs, δορυφορικών δεδομένων, ψηφιακών εικόνων και θερμικών δεδομένων. Γενικότερα οι αισθητήρες ανίχνευσης της τηλεπισκόπησης μπορούν να βοηθήσουν στην εξάλειψη κινδύνων και αστοχιών, που οφείλονται σε φυσικούς και περιβαλλοντικούς κινδύνους, μέσα από τη συνεχή παρακολούθηση των ασφαλτικών επιφανειών. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να γίνει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο, σε παγκόσμιο βαθμό, που να εξετάζει τις ελαττωματικές ασφαλτικές επιφάνειες οι οποίες επηρεάζονται από τις υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού αλλά και από τις απότομες εναλλαγές θερμοκρασίας μεταξύ μέρα και νύχτας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη δημιουργία φασματικής βιβλιοθήκης των οδοστρωμάτων και στην αναγνώριση των διαφόρων ελαττωμάτων της ασφάλτου με τη χρήση επίγειων φασματικών δεδομένων. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε ένα φασματοραδιόμετρο για να πάρει στοιχεία από ασφαλτικές επιφάνειες διαφορετικής ηλικίας, σε μορφή καννάβου, διαστάσεων 10m*10m. Η γήρανση είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος η οποία επηρεάζει εξαιρετικά την ανακλαστικότητα της ασφάλτου. Επίσης οι επιφάνειες που περιλάμβαναν ρωγμές συγκρίθηκαν με επιφάνειες που ήταν ακέραιες. Για όλες τις ηλικίες ασφαλτικής επιφάνειας αποδείχθηκε ότι οι επιφάνειες με ρωγμές έχουν χαμηλότερη ανακλαστικότητα σε σχέση με τις ακέραιες επιφάνειες. Στην συνέχεια, κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων, έγινε η επιλογή του κατάλληλου δείκτη που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την φωτογραφική απεικόνιση των διαφορών στις επιφάνειες ασφάλτου. Η επιλογή επικεντρώθηκε σε προηγούμενες βιβλιογραφίες και συγκεκριμένα σε περιοχές του μήκους κύματος των καναλιών 5 και 1 του Landsat 7 ETM. Ο τελικός δείκτης διαχωρισιμότητας ήταν η φασματική διαφορά 1750-460nm ο οποίος αποδείχθηκε ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλες τις ασφαλτικές επιφάνειες διαφορετικής ηλικίας και κατάστασης. Όλα τα αποτελέσματα της φωτογραφικής απεικόνισης συγκρίθηκαν με φωτογραφίες, σκαριφήματα που σχεδιάστηκαν από τις περιοχές μελέτης και από ένα καννάβο εικονοστοιχείων ο οποίος αντιπροσώπευε ελαττωματικά και ακέραια σημεία που λήφθηκαν από το ραδιόμετρο. Η

φωτογραφική απεικόνιση, είχε ως αποτέλεσμα ότι ενώ σε αρκετά σημεία εντοπίζονται οι αστοχίες, ο παραμικρός θόρυβος να υπήρχε στις ασφαλικές επιφάνειες επηρέαζε την τελική απεικόνιση του καννάβου. Οι εξωτερικοί παράγοντες που ανάτρεψαν κατά κάποιο τρόπο τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης είναι κυρίως οι κηλίδες από τα λάδια των αυτοκινήτων, αφού οι περιοχές μελέτης ήταν χώροι στάθμευσης των αυτοκινήτων, επίσης ακαθαρσίες από δέντρα που βρίσκονταν κοντά στις περιοχές αλλά και στίγματα τα οποία αφήνουν τα λάστιχα των αυτοκινήτων. Οι δορυφόροι έχουν μικρότερη ανάλυση από ότι τα ραδιόμετρα, γεγονός που καθιστά πολύ δύσκολη την αναγνώριση των ελαττωμάτων σε οδοστρώματα. Ωστόσο, όλες οι μετρήσεις λήφθηκαν σε μορφή καννάβου που καλύπτουν έκταση περίπου 100 τετραγωνικά μέτρα, για να μπορούν να αναγνωρίζονται από τους δορυφόρους.

Η διαδικασία που ακολουθείται στην παρούσα μελέτη μπορεί, επίσης, να επεκταθεί χρησιμοποιώντας άλλους δείκτες διαχωρισιμότητας, που ίσως να είναι πιο σύνθετοι ή να αναφέρονται σε περιοχές άλλων καναλιών. Η μελέτη αυτή επικεντρώθηκε κυρίως στη διαφορά μεταξύ δύο καναλιών (κανάλι 5 και 1). Ωστόσο, πρέπει να αναμένεται ότι διαφορετικά κανάλια από αυτά, χαρακτηρίζονται από διαφορετικά εύρη περιοχών, άρα και διαφορετικούς συνδιασμούς για την ανίχνευση ασφαλικών ελαττωμάτων.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Agapiou, A., Hadjimitsis, D. G., Georgopoulos, A., Sarris, A., and Alexakis, D. D. (2012). "Towards an archaeological index: Identification of the spectral regions of stress vegetation due to buried archaeological remains." *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*.
- Alexakis, D. D., Hadjimitsis, D. G., Agapiou, A., Themistocleous, K., and Retalis, A. (2012). "Monitoring urban land cover using satellite remote sensing techniques and field spectroradiometric measurements: case study of 'Yialias' catchment area in Cyprus." *J Appl Remote Sens*, 6:063603 – 1 – 063603 – 14.
- Ben-Dor, E., Levin, N., and Saaroni, H. (2001). "A spectral based recognition of the urban environment using the visible and near-infrared spectral region (0.4-1.1 μm)." *A case study over Tel-Aviv Israel. Int J Remote Sens*, 22: 2193–2218.
- Dumoulin, J., Ibos, L., Marchetti, M., and Mazioud, A. (2011). "Detection of non emergent defects in asphalt pavement samples by long pulse and pulse phase infrared thermography." *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 15(January 2015), 557–574.
- Herold, M., and Roberts, D. (2005). "Spectral characteristics of asphalt road aging and deterioration: implications for remote-sensing applications." *Applied optics*, 44(20), 4327–4334.
- Herold, M., Roberts, D. A., Gardner, M. E., and Dennison, P. E. (2004a). "Spectrometry for urban area remote sensing—Development and analysis of a spectral library from 350 to 2400 nm." *Remote Sensing of Environment*, 91(3-4), 304–319.
- Herold, M., Roberts, D., Noronha, V., and Smadi, O. (2008). "Imaging spectrometry and asphalt road surveys." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*.
- Herold, M., Roberts, D., Smadi, O., Noronha, V., and Barbara, S. (2004b). "ROAD CONDITION MAPPING WITH HYPERSPECTRAL REMOTE SENSING."
- Manzo, C., Mei, A., Salvatori, R., Bassani, C., and Allegrini, A. (2014). "Spectral modelling used to identify the aggregates index of asphalted surfaces and sensitivity analysis."

Construction and Building Materials.

- Marchetti, M., Ludwig, S., Dumoulin, J., Ibos, L., and Mazioud, A. (2008). "Active Infrared Thermography for Non-Destructive Control for Detection of Defects in Asphalt Pavements." *9th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography (QIRT)*, (c), 3–12.
- Mei, A., Fiore, N., Salvatori, R., D'Andrea, A., and Fontana, M. (2012). "Spectroradiometric Laboratory Measures on Asphalt Concrete: Preliminary Results." *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 53, 514–523.
- Mei, A., Manzo, C., Bassani, C., Salvatori, R., and Allegrini, A. (2014a). "Bitumen Removal Determination on Asphalt Pavement Using Digital Imaging Processing and Spectral Analysis." *Open Journal of Applied Sciences*, 04(06), 366–374.
- Mei, A., Salvatori, R., Fiore, N., Allegrini, A., and D'Andrea, A. (2014b). "Integration of field and laboratory spectral data with multi-resolution remote sensed imagery for asphalt surface differentiation." *Remote Sensing*.
- Mettas, C., Agapiou, A., Themistocleous, K., Neocleous, K., Hadjimitsis, D. G., and Silas, M. (2016). "Risk provision using field spectroscopy to identify spectral regions for the detection of defects in flexible pavements." *Natural Hazards*, Springer Netherlands, 2–6.
- Mettas, C., Themistocleous, K., Neocleous, K., Christofe, A., Pilakoutas, K., Hadjimitsis, D., and Engineering, S. (2015). "Monitoring asphalt pavement damages using remote sensing techniques." *Proc. SPIE 9535, Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2015)*, (April 2016), 0–12.
- Mohammadi, M. (2012). "Road classification and condition determination using hyperpectral imagery." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B7, 2012 XXII ISPRS Congress, XXXIX(September)*, 141–146.
- Noronha, V., Herold, M., Roberts, D., and Gardner, M. (2002). "SPECTROMETRY AND HYPERSPECTRAL REMOTE SENSING FOR ROAD CENTERLINE EXTRACTION AND EVALUATION OF PAVEMENT CONDITION."
- Pascucci, S., Bassani, C., Palombo, A., Poscolieri, M., and Cavalli, R. (2008). "Road Asphalt

- Pavements Analyzed by Airborne Thermal Remote Sensing: Preliminary Results of the Venice Highway.” *Sensors*, 8, 1278–1296.
- Puttonen, E., Suomalainen, J., Hakala, T., and Peltoniemi, J. (2009). “Measurement of Reflectance Properties of Asphalt Surfaces and Their Usability as Reference Targets for Aerial Photos.” *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*, 47(7).
- Radopoulou, S. C., and Brilakis, I. (2015). “Patch detection for pavement assessment.” *Automation in Construction*, Elsevier B.V., 53, 95–104.
- Research and Development Center Intercollege Unit of Environment Studies. (2004). “Cyprus Geological Heritage educational tool.” <http://www.cyprusgeology.org/greek/5_1_seismicity_gr.htm>.
- Ridd, M. K. (1995). “Exploring a V-I-S (vegetation-impervious surface-soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing: comparative anatomy for cities†.” *International Journal of Remote Sensing*, 16(12), 2165–2185.
- Salvaggio, C., Smith, L. E., and Antoine, E. J. (2005). “Spectral signature databases and their application/misapplication to modeling and exploitation of multispectral/hyperspectral data.” *Proceedings of SPIE*, 5806, 531–541.
- Schueler, T. (1994). “The importance of imperviousness.” *Watershed Prot Tech*, 1:100–111.
- Μερτίκας Π., Σ. (1999). *Τηλεπισκόπηση και ψηφιακή ανάλυση εικόνας*. Ιών.
- Τμήμα Μετεωρολογίας. (2016). “Το κλίμα της Κύπρου.” <http://www.moa.gov.cy/moa/ms/ms.nsf/DMLcyclimate_gr/DMLcyclimate_gr?OpenDocument>.