

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Ανίχνευση εκβολών πόσιμων υδάτων στη
θάλασσα της Δυτικής Κρήτης με θερμικές
εικόνες και με μη-επανδρωμένα συστήματα»

Μιχαλόπουλος Αλέξανδρος

Εξεταστική Επιτροπή:

κ. Μερτίκας Στέλιος, Καθηγητής (Επιβλέπων)

κ. Παρτσινέβελος Παναγιώτης, Επίκουρος Καθηγητής

κα. Κολοκοτσά Διονυσία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2018

Περίληψη

Αντικείμενο της διπλωματικής είναι η αξιολόγηση και η εφαρμογή θερμικών εικόνων για την ανίχνευση και τον εντοπισμό πηγών πόσιμων υδάτων σε παράκτιες περιοχές στη Δυτική Κρήτη. Θερμικές εικόνες (8-12,5 μm) από δορυφόρους και από μη επανδρωμένα αεροσκάφη χρησιμοποιήθηκαν για να αποδειχθεί η ανάβλυση γλυκού νερού σε παράκτιες ζώνες. Ψηφιακή επεξεργασία και ενίσχυση χαρακτηριστικών στοιχείων των θερμικών αυτών εικόνων ανέδειξε ζώνες με διαφορετικές θερμικές ιδιότητες εντός της θαλάσσης και ύπαρξη τέτοιων πηγών.

Η ανάγκη για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας πηγάζει από την έντονη και συνεχή υπεράντληση υπόγειων υδάτων προς άρδευση, π.χ., κοιλάδα Μεσαράς, Κρήτη, ενώ ταυτόχρονα ένα ποσοστό υδάτων από υπόγειες πηγές καταλήγει, από μαρτυρικές αποδείξεις, ανεκμετάλλευτο στη θάλασσα. Περίπου 77,3 εκατομμύρια m^3 νερού ανά έτος (15% του συνόλου) προορίζονται για οικιακές και λοιπές χρήσεις (βιομηχανική, κτηνοτροφία, κ.λπ.), ενώ 85% (458,4 εκατομμύρια m^3) εξ αυτών χρησιμοποιούνται στην άρδευση. Με την ραγδαία αύξηση της γεωργικής παραγωγής είναι επιτακτική η εξοικονόμηση πόσιμων υδάτων στην περιοχή. Θερμικές καταγραφές στη θάλασσα μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό τέτοιων περιοχών ανάβλυσης υδάτων αλλά και να βοηθήσουν στον προγραμματισμό και το στρατηγικό σχεδιασμό προς ενίσχυση της αποθηκευτικής ικανότητας των εδαφών της Κρήτης.

Τα υπόγεια γλυκά νερά διατηρούν σταθερή (17-18° C) και κατά κανόνα χαμηλότερη θερμοκρασία από εκείνης της θαλάσσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Εντονότερες διαφορές παρουσιάζονται κατά την θερινή περίοδο. Το θαλασσινό νερό μεταβάλλει τη θερμοκρασία του έντονα ανάλογα με την εποχή και την ώρα της ημέρας που καταγράφεται. Οι διαφορές αυτές είναι ανιχνεύσιμες από θερμικούς αισθητήρες.

Έγινε αναζήτηση δορυφόρων με ελεύθερη πρόσβαση στα δεδομένα τους και με χωρική διακριτική ικανότητα κάτω από 100 m. Τελικά χρησιμοποιήθηκαν θερμικές εικόνες από τους δορυφόρους Landsat-7, Landsat-8, και ASTER (στις φασματικές ζώνες 10,4-12,5 μm , 10,6-12,51 μm και 8,125-11,65 μm αντίστοιχα) και σύγχρονοι θερμικοί αισθητήρες νέας τεχνολογίας (FLIR Vue Pro R, 7,5-13,5 μm) από μη επανδρωμένα αεροσκάφη στις περιοχές των Γλυκών Νερών

Σφακίων και στην Κυανή Ακτή, στα Χανιά για την καταγραφή τέτοιων θαλάσσιων περιοχών. Δορυφορικές εικόνες έδωσαν εποπτική εικόνα των θερμοκρασιακών αντιθέσεων ενώ οι εναέριοι θερμικοί αισθητήρες προσδιόρισαν και κατέγραψαν τις λεπτομέρειες. Οι περιοχές αυτές στη θάλασσα ήταν της τάξης των 2 km σε έκταση και επιλέχτηκαν μετά από υποδείξεις υδραυλικών μηχανικών αλλά και πρότερης εμπειρίας.

Ελέγχθηκαν εικόνες για διάφορες εποχές και χρονολογίες για τη βεβαίωση ύπαρξης πηγών, μετατράπηκαν οι εντάσεις των εικονοστοιχείων σε θερμοκρασίες, απομονώθηκαν οι περιοχές ενδιαφέροντος στις εικόνες με ψηφιακές μεθόδους, βελτιώθηκε η ποιότητα των καταγραφών, έγινε κατάτμηση των ιστογραμμάτων της εικόνας, ενισχύθηκαν οι θερμοκρασιακές αντιθέσεις του νερού και αποδόθηκαν χρώματα στις εντάσεις των διαφόρων θερμοκρασιών των εικόνων. Μετά από λεπτομερή επεξεργασία των εικόνων προσδιορίστηκαν στις περιοχές μελέτης εμφανείς ζώνες στις οποίες παρουσιάζονται νερά με μικρότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τη θάλασσα. Μετρήθηκαν οι θερμοκρασίες του νερού με ειδικό θερμόμετρο στο πεδίο και στις περιοχές μελέτης και επιβεβαιώθηκαν τα αποτελέσματα των θερμικών απεικονίσεων και των αποτελεσμάτων.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας κατασκευάστηκαν θεματικοί χάρτες με πιθανές περιοχές εκβολών πόσιμων υδάτων στη θάλασσα. Οι εξαγόμενες πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οδηγός για επιπλέον επιστημονική έρευνα. Συνίστανται μεθοδολογίες για τον εντοπισμό υπόγειων ταμιευτήρων ύδατος και την πιθανότητα μελλοντικής αξιοποίησης, όπως γεωλογική έρευνα και γεωφυσικές διασκοπήσεις για την αξιολόγηση των υφιστάμενων σχηματισμών, καθώς και διεξαγωγή ερευνητικών γεωτρήσεων σε περιοχές που καταδεικνύονται από την συγκεκριμένη μελέτη.

Abstract

The aim of this thesis is the evaluation and use of thermal images towards the search for and detection of potable water sources at coastal areas in Western Crete. Thermal images (8-12,5 μm) from satellites and unmanned aerial vehicles were used to demonstrate the existence of freshwater in coastal zones. Digital processing and enhancement of the characteristics of those thermal images showed zones with different thermal properties within the sea and the existence of such sources.

The need for such a thesis to be carried out stems from the intense and continuous over-pumping of underground water for irrigation purposes, e.g., valley of Mesara, Crete, while simultaneously a percentage of water from underground sources ends up, according to testimony evidence, unexploited at sea. About 77.3 million m^3 of water per year (15% of total consumption) are intended for household and other uses (industry, livestock, etc.), while 85% (458.4 million m^3) of the total amount is intended for irrigation. With the rapid increase in agricultural production saving up on fresh water is imperative. Thermal recordings at sea can help with the localization of such water source areas but can also help towards the programming and strategic design towards the enhancement of the storing capacity of soils.

Underground freshwater maintains a stable (17-18° C) and as a general rule of thumb a lower temperature compared to the sea's throughout the year. More intense differences can be noticed during the summer period. Seawater's temperature changes intensely according to the season and time of day it is being recorded. These differences can be detected by the use of thermal sensors.

For these purposes satellites were needed with free access to their data and with a spatial resolution of less than 100 m. In the end thermal images from the satellites Landsat-7, Landsat-8 and ASTER (in the spectral areas 10.4-12.5 μm , 10.6-12.51 μm and 8.125-11.65 μm respectively) and modern thermal sensors (FLIR Vue Pro R, 7,5-13,5 μm) flown by unmanned aerial vehicles were used in the areas of Glika Nera in Sfakia and Kiani Akti in Chania for the recording of such locations at sea. Satellite images gave an overall picture of the thermal differences of the water while the aerial sensors identified and recorded the details. These areas at sea where on the scale of about 2 km wide and were

chosen after the suggestions of hydraulic engineers but also with previous experiences and knowledge.

Images from different seasons and years were processed to confirm the existence of freshwater sources, the intensities of the pixels got converted to temperatures, interest areas got singled out on the images through digital methods, image quality enhancement, aimed splitting of the histograms of the images, enhancement of the thermal differences within the water and the attribution of colors to the intensities of the various temperatures in the images. After detailed image processing visible zones were identified in the areas where zones with lower temperatures within the sea can be noticed. Water temperatures were calculated in situ in the areas of interest and confirmed the thermal imaging and its results.

In the context of this study thematic maps of probable areas with estuaries of drinking water at sea were created. The extracted information can be used as a guide for further scientific research. Methodologies for the detection of underground water reservoirs are advised, such as geological research and geophysical surveys for the evaluation of the underlying formations, but also the creation of exploratory drilling in areas demonstrated by this study.

Περιεχόμενα

Περίληψη	i
Abstract.....	iii
Κατάλογος Πινάκων και Σχημάτων	vi
Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 1: Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα και Τηλεπισκόπηση	2
1.1 Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση	2
1.2 Βασικές έννοιες	4
1.3 Εφαρμογές των θερμικών εικόνων	9
Κεφάλαιο 2: Περιγραφή των περιοχών υπό μελέτη	13
2.1 Κυανή Ακτή και Γλυκά Νερά	13
2.2 Γεωλογικά Χαρακτηριστικά της Κρήτης και των Επιλεγμένων Περιοχών	15
2.2.1 Λεκάνες Απορροής και Γεωλογία της Κρήτης	15
2.2.2 Τα Υδροφόρα Συστήματα της Σούδας και των Γλυκών Νερών	20
Κεφάλαιο 3: Ιστορική Αναδρομή και Επιλογή Δορυφορικών Δεδομένων	22
3.1 Δορυφόροι	22
3.2 Μη Επανδρωμένα Εναέρια Μέσα	23
3.3 Λήψη δεδομένων μέσω δορυφόρων	25
3.4 Δορυφόρος Landsat 8	27
3.5 Ο δορυφόρος ASTER	30
3.6 Διάκριση κι Επιλογή Δορυφόρων	32
Κεφάλαιο 4: Επεξεργασία δορυφορικών εικόνων	35
4.1 Επεξεργασία και Παρουσίαση Δεδομένων	35
4.2 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα	47
Κεφάλαιο 5: Επεξεργασία Εικόνων Μη Επανδρωμένου Εναερίου Οχήματος.....	51
5.1 Χαρακτηριστικά της κάμερας	51
5.2 Μετρήσεις πεδίου	52
5.3 Επεξεργασία θερμικών εικόνων	52
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και προτάσεις	63
Βιβλιογραφία	65
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	66
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	72

Κατάλογος Πινάκων και Σχημάτων

I. Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1 Κατάλογος δορυφόρων εξοπλισμένοι με θερμικούς αισθητήρες.....	26
Πίνακας 3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του Landsat 8.....	29
Πίνακας 3.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά του ASTER 1/2.....	31
Πίνακας 3.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά του ASTER 2/2.....	32

Πίνακας 5.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά της Κάμερας FLIR Vue Pro R 640.....	51
--	----

II. Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1.1 Ηλεκτρομαγνητικό κύμα.....	5
Σχήμα 1.2 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα	5
Σχήμα 1.3 Το Υπέρυθρο Φάσμα	6
Σχήμα 1.4 Θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη Γη στην περιοχή του νομού Χανίων.....	9
Σχήμα 1.5 Οι δίοδοι ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα (Μερτίκας, 1999).....	10
Σχήμα 1.6 Φασματικές ταυτότητες ορισμένων υλικών (Μερτίκας, 1999)	11

Σχήμα 2.1 Σταθμοί μέτρησης επιφανειακών παροχών και παροχών πηγών (Νικολαΐδης, 2016).....	14
Σχήμα 2.2 Λεκάνες Απορροής του ΥΔ Κρήτης (Π.Δ.Υ.Π.Κ.).....	15
Σχήμα 2.3 Υδρολιθικός χάρτης ΥΔ Κρήτης (Π.Δ.Υ.Π.Κ.)	19
Σχήμα 2.4 Περιοχές καρστικών σχηματισμών στην Κρήτη (Τσάνης, 2011)	21

Σχήμα 3.1 Δορυφόρος του ASTER, καλλιτεχνική απόδοση (NASA)	31
Σχήμα 3.2 Σύγκριση ποιότητας ανάλυσης εικόνας Landsat 8 (αριστερά, διάυλος 10) με εικόνα ASTER (δεξιά, διάυλος 14)	33

Σχήμα 4.1 Ιστόγραμμα θερμικής εικόνας όπου υπάρχει σαφής διαχωρισμός εικονοστοιχείων εδάφους και νερού.	38
Σχήμα 4.2 Εικόνα πριν την εφαρμογή της μάσκας, με το ιστόγραμμα της	39
Σχήμα 4.3 Η μάσκα που χρησιμοποιήθηκε για την αποκοπή των εικονοστοιχείων της ξηράς	39
Σχήμα 4.4 Θερμική εικόνα στην οποία έχει εφαρμοστεί μάσκα εδάφους, με το ιστόγραμμά της.....	40
Σχήμα 4.5 Εικόνα ASTER αποθηκευμένη ως native (χωρίς απώλειες συμπίεσης)	41
Σχήμα 4.6 Εικόνα αποθηκευμένη με εμφανείς απώλειες λόγω συμπίεσης.....	42
Σχήμα 4.7 Εικόνα με, κατασκευασμένο από το χρήστη, πίνακα αντιστοιχίας	43
Σχήμα 4.8 Εικόνες με διαφορετικούς πίνακες αντιστοιχίας.....	44
Σχήμα 4.9 Εισαγωγή των σημείων ελέγχου (Control Points)	45
Σχήμα 4.10 Εικόνα υποβάθρου συγχωνευμένη με μία επεξεργασμένη εικόνα του ASTER (Πρώτη Περιοχή, Κυανή Ακτή, Ν. Χανίων).....	46

Σχήμα 4.11 Εικόνα υποβάθρου συγχωνευμένη με μία επεξεργασμένη εικόνα του ASTER (Δεύτερη Περιοχή, Γλυκά Νερά, Σφακιά, Ν. Χανίων).....	47
Σχήμα 4.12 Περιοχή της Σούδας με ασπρόμαυρο πίνακα αντιστοιχίας.....	48
Σχήμα 4.13 Περιοχή της Σούδας με τον πίνακα αντιστοιχίας jet	48
Σχήμα 4.14 Περιοχή των Γλυκών Νερών στα Σφακιά με ασπρόμαυρο πίνακα αντιστοιχίας ..	50
Σχήμα 4.15 Περιοχή των Γλυκών Νερών στα Σφακιά με πίνακα αντιστοιχίας jet	50
Σχήμα 5.1 Εικόνα #2331 από την εικονοληψία του UAV	53
Σχήμα 5.2 Εικόνα #2332 από την εικονοληψία του UAV	53
Σχήμα 5.3 Ιστόγραμμα πριν την εφαρμογή της γραμμικής επέκτασης (αριστερά), Μη επεξεργασμένη εικόνα από την πτήση στην Κυανή Ακτή (δεξιά)	54
Σχήμα 5.4 Ιστόγραμμα μετά την εφαρμογή της γραμμικής επέκτασης (αριστερά), Εικόνα μετά την εφαρμογή της γραμμικής επέκτασης (δεξιά).....	54
Σχήμα 5.5 Σύνθετη εικόνα, στη μέση φαίνεται το ποτάμι το οποίο αποφορτίζεται στη θάλασσα	56
Σχήμα 5.6 Ιστόγραμμα της εικόνας του Σχήματος 5.5	57
Σχήμα 5.7 Τιμές φωτεινότητας του νερού μετά την αφαίρεση των εικονοστοιχείων του εδάφους.....	58
Σχήμα 5.8 Ιστόγραμμα της εικόνας του Σχήματος 5.7	58
Σχήμα 5.9 Τελική εικόνα από την επεξεργασία των δεδομένων του μη επανδρωμένου οχήματος με 64 χρώματα.....	59
Σχήμα 5.10 Τελική εικόνα από την επεξεργασία των δεδομένων του μη επανδρωμένου οχήματος με 32 χρώματα.....	60
Σχήμα 5.11 Τελική εικόνα από την επεξεργασία των δεδομένων του μη επανδρωμένου οχήματος με 128 χρώματα.....	61
Σχήμα β.1 Εικόνες από τα Γλυκά Νερά στα Σφακιά	74
Σχήμα β.2 Σύνθετες εικόνες από τα Γλυκά Νερά στα Σφακιά.....	75

Εισαγωγή

Βασικός στόχος της εργασίας αυτής, είναι η πραγματοποίηση μελέτης στις περιοχές της Σούδας και των Γλυκών Νερών στα Σφακιά, για την αναζήτηση υπογείων πηγών γλυκού νερού που εκβάλλουν στη θάλασσα.

Το πρώτο βήμα για την κατανόηση της μελέτης αυτής, και των μεθοδολογιών που ακολουθούνται παρακάτω, είναι η κατανόηση των περιοχών αυτών, της ιστορίας τους και του γεωλογικού τους υποβάθρου. Από μια τέτοια ανάλυση είναι, πολλές φορές, δυνατή η διάκριση χαρακτηριστικών που οδηγούν σε πηγές υπογείου νερού, με αύξηση των πιθανοτήτων εντοπισμού γλυκού νερού που χάνεται στη θάλασσα.

Στη συνέχεια περιγράφονται οι βασικές αρχές του ορισμού της Τηλεπισκόπησης, της γενικευμένης μεθοδολογίας για τη μελέτη μιας περιοχής και των βασικών χαρακτηριστικών τα οποία κρίνουν την ποιότητα μιας εικόνας.

Συνεπώς, είναι απαραίτητη η ανάλυση των κατάλληλων πληροφοριών που αφορούν την Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, με την ανάλυση των εννοιών του μήκους κύματος, του φάσματος, της υπέρυθρης ακτινοβολίας και των θερμικών ιδιοτήτων των υλικών.

Στις επόμενες ενότητες αναλύονται οι αρχές λειτουργίας των δορυφόρων και των μη επανδρωμένων εναέριων μέσων, ενώ επίσης γίνεται παρουσίαση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την επιλογή των δορυφορικών δεδομένων και του εξοπλισμού του μη επανδρωμένου εναέριου μέσου.

Επιπλέον, πραγματοποιείται σύγκριση των τεχνικών χαρακτηριστικών της κάμερας FLIR Vue Pro R που χρησιμοποιήθηκε στην πτήση του μη επανδρωμένου εναερίου μέσου.

Στα τελευταία κεφάλαια πραγματοποιείται αναλυτική παρουσίαση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων, με στόχο την παρουσίαση και ερμηνεία των τελικών εικόνων που προέκυψαν από τις δορυφορικές εικόνες και το μη επανδρωμένο εναέριο μέσο.

Κεφάλαιο 1: Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα και Τηλεπισκόπηση

1.1 Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται μια εισαγωγή στην έννοια της Τηλεπισκόπησης, των βασικών αρχών της και του τρόπου με τον οποίο χρησιμοποιούνται οι αρχές αυτές για τη βέλτιστη αξιοποίηση των πληροφοριών που μπορούν να εξαχθούν από αυτές. Τα στοιχεία αυτά είναι απαραίτητα για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των συστημάτων που χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία αλλά παράλληλα παρέχουν και τη δυνατότητα καλύτερης ανάγνωσης των δεδομένων που προκύπτουν.

Ο όρος της **Τηλεπισκόπησης (remote sensing)** χρησιμοποιείται για την περιγραφή της μεθοδολογίας συλλογής πληροφοριών από την ανακλώμενη από τη Γη ακτινοβολία, την ανάλυσή τους και την ερμηνεία τους από απόσταση. Κύριος δηλαδή σκοπός της Τηλεπισκόπησης, είναι η μέτρηση και η απεικόνιση της επιφάνειας της Γης, η κατανομή των αντικειμένων και φαινομένων στο χώρο, καθώς και ο καθορισμός της θέσης και των ιδιοτήτων τους.

Η καταγραφή των δεδομένων αυτών μπορεί να γίνει μέσω της χρήσης διαφόρων εργαλείων τα οποία διακρίνονται σε επίγεια, όπως οι φωτογραφικές μηχανές, εναέρια, όπως τα αεροπλάνα και τα μη επανδρωμένα εναέρια μέσα (Unmanned Aerial Vehicles, UAVs) αλλά και συστήματα εγκατεστημένα πάνω σε δορυφόρους. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν, δέχονται κατάλληλη επεξεργασία ανάλογα με το είδος της χρήσης για την οποία προορίζονται αυτά, και εν τέλει μετατρέπονται σε ψηφιακές εικόνες.

Οι ψηφιακές αυτές εικόνες καλύπτουν ένα ευρύ πεδίο χρήσεων στις επιστήμες και είναι απαραίτητες για την κατανόηση πολλών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια της Γης. Η μέτρηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του νερού και της Γης, χαρτογράφηση του θαλάσσιου πυθμένα, παρακολούθηση περιβαλλοντικών προβλημάτων, ταχύτερη ανταπόκριση σε πυρκαγιές, η ταχύτητα των ανέμων, το ύψος των κυμάτων και η πρόγνωση του

καιρού είναι μόνο μερικοί από τους τομείς στους οποίους βρίσκουν εφαρμογή οι μέθοδοι της Τηλεπισκόπησης.

Η Τηλεπισκόπηση βασίζεται σε συγκεκριμένα και σημαντικά βήματα για την πραγματοποίηση της μελέτης μιας περιοχής.

- Ανίχνευση και απομόνωση της περιοχής στην οποία πρόκειται να γίνουν οι μετρήσεις
- Χρήση των κατάλληλων ή και απαραίτητων οργάνων για την παρατήρηση του υπό μελέτη φαινομένου, όπως αναφέρονται αναλυτικότερα παρακάτω
- Ανάλυση του στόχου και ερμηνεία των δεδομένων που προκύπτουν.

Στην Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιούνται μεθοδολογίες οι οποίες εξαρτώνται από τα όργανα που χρησιμοποιούνται. Η κάθε μεθοδολογία περιγράφεται από τα θετικά και τα αρνητικά της χαρακτηριστικά τα οποία, αν χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό, μπορούν να αποδώσουν βέλτιστα αποτελέσματα.

Η πιο διαδεδομένη μεθοδολογία είναι αυτή της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης. Όπως προτείνει κι ο όρος, πρόκειται για Τηλεπισκόπηση μέσω χρήσης δορυφόρων σε τροχιά γύρω από τη Γη, εξοπλισμένοι με αισθητήρες για τη λήψη εικόνων.

Μία ακόμη μεθοδολογία που ακολουθείται πέρα της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης είναι η αεροφωτογράφιση. Ως αεροφωτογραφία ορίζεται κάθε φωτογραφία της επιφάνειας της Γης, η οποία όμως έχει ληφθεί μέσω χρήσης αερίων μέσων. Γίνεται να διαχωριστούν τα διάφορα είδη των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται σε φωτογραφικούς, που λειτουργούν στο ορατό φάσμα, και μη φωτογραφικούς, που λειτουργούν στις υπόλοιπες φασματικές ζώνες. Η έννοια των φασματικών ζωνών αναλύεται σε επόμενη ενότητα.

Επιπλέον, πριν γίνει λήψη μετρήσεων, είναι απαραίτητη η λήψη επιπλέον πληροφοριών όπως τα διάφορα είδη διακριτικής ικανότητας τα οποία θα ορίσουν την ποιότητα αλλά αναλογικά και την ποσότητα των δεδομένων. Συγκεκριμένα υπάρχουν τέσσερα είδη διακριτικής ικανότητας.

Η φασματική διακριτική ικανότητα, αφορά την δυνατότητα του δέκτη να λαμβάνει πληροφορίες σε διαφορετικά μήκη κύματος. Τα διαστήματα του ηλεκτρομαγνητικού (H/M) φάσματος στα οποία ένας δέκτης μπορεί να καταγράψει

μετρήσεις ακτινοβολίας ονομάζεται διάυλος (κανάλι) της τηλεσκοπικής απεικόνισης.

Η χωρική διακριτική ικανότητα, ορίζεται ως η ελάχιστη επιφάνεια πάνω στο έδαφος στην οποία μπορεί να παρατηρηθεί μεταβολή της έντασης της Η/Μ ακτινοβολίας, ή για ευκολότερη εξήγηση, το μέγεθος του εικονοστοιχείου πάνω στη Γήινη επιφάνεια.

Η ραδιομετρική διαχωριστική ικανότητα, είναι ο αριθμός των διαβαθμίσεων της έντασης της ακτινοβολίας οι οποίες γίνεται να καταγραφούν, ορίζεται από τον αριθμό των ψηφιακών τιμών (bits) που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της μέγιστης τιμής. Η σχέση μεταξύ των επιπέδων διαβάθμισης και του αριθμού των bit δίνεται από τη σχέση :

$$DN = 2^k$$

όπου DN είναι τιμή του επιπέδου του γκρι και k ο αριθμός των bit.

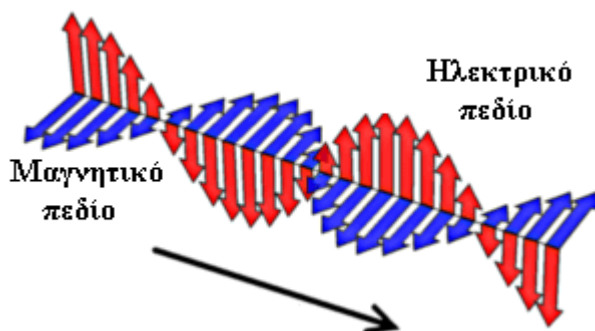
Για δύο επίπεδα διαβαθμίσεων ο αριθμός των bit είναι k=1. Ανάλογα για 4, 16, 64 και 128 τα απαιτούμενα bit είναι 2, 4, 6 και 7.

Τέλος, η χρονική διαχωριστική ικανότητα, ορίζεται από τη συχνότητα λήψης μετρήσεων της ίδιας περιοχής. Για παράδειγμα ο δορυφόρος ASTER διέρχεται από την ίδια περιοχή κάθε 16 ημέρες άρα η χρονική του διαχωριστική ικανότητα είναι 16 ημέρες.

1.2 Βασικές έννοιες

Σημαντική σε αυτό το υποκεφάλαιο, είναι η κατανόηση των φυσικών νόμων στους οποίους στηρίζεται η Τηλεπισκόπηση, ώστε να γίνει πιο κατανοητή η διαδικασία εξαγωγής πληροφοριών από τα δεδομένα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας όπως θα περιγραφούν σε παρακάτω κεφάλαια.

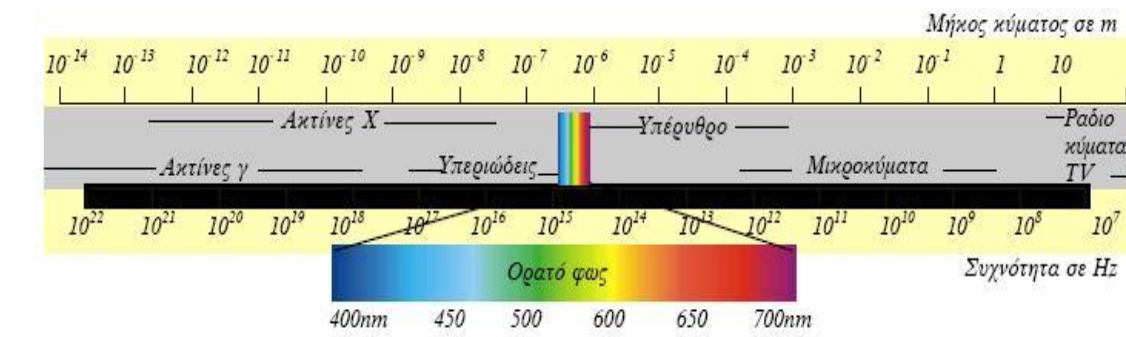
Ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ορίζεται η ενέργεια που εκπέμπεται από τα άτομα και τα ηλεκτρόνιά τους. Ως φάσμα ορίζεται η ταξινόμηση της ακτινοβολίας σύμφωνα με το μήκος κύματος, τη συχνότητα ή την ενέργεια. Το σημαντικότερο τμήμα του φάσματος για τον τομέα της Τηλεπισκόπησης παρέχεται από την ακτινοβολία του Ήλιου. Στο σχήμα 1.1 φαίνεται η φυσική απεικόνιση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος.



Σχήμα 1.1 Ηλεκτρομαγνητικό κύμα

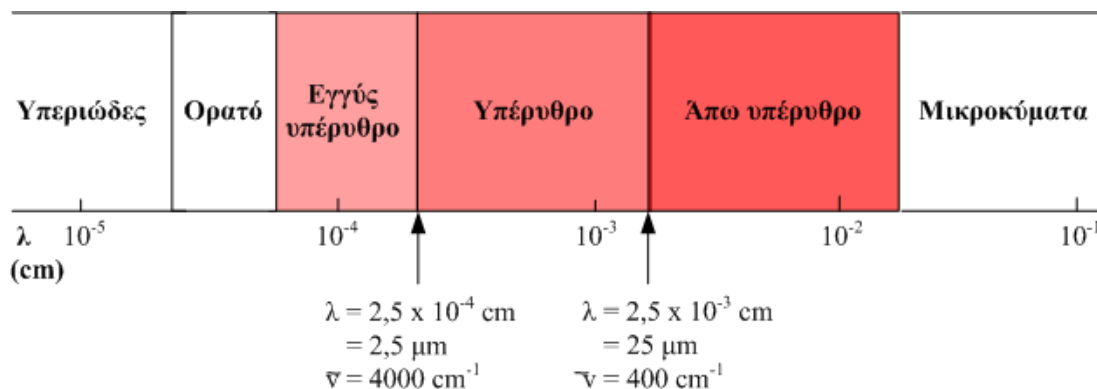
Οι βασικές ιδιότητες που ορίζουν ένα κύμα είναι η περίοδος του, το πλάτος του και το μήκος κύματός του. Όλα τα είδη ακτινοβολίας καταμερίζονται από σχεδόν μηδενικό μήκος κύματος έως το άπειρο, ενώ χωρίζονται επιμέρους σε φασματικές ζώνες, οι οποίες παρουσιάζουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά μεταξύ τους και χρησιμοποιούνται κάθε φορά για τη μελέτη των φασματικών ιδιοτήτων των υλικών.

Η περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που καλύπτει το φάσμα από μήκος κύματος 0,76 μm μέχρι 1000 μm αντιστοιχεί στο υπέρυθρο (IR). Πολλά πειράματα έχουν γίνει από όταν ανακαλύφθηκε, μέχρι και σήμερα. Η υπέρυθρη ακτινοβολία ανακαλύφθηκε από τον Sir Frederick William Herschel, ο οποίος πραγματοποίησε πειράματα το 1800 με θερμόμετρα υδραργύρου, τα οποία δέχονταν ηλιακή ακτινοβολία, διερχόμενη μέσω ενός υάλινου πρίσματος. Εκεί παρατήρησε πως τα θερμόμετρα κατέγραφαν θερμότητα για ακτινοβολία πέρα της ορατής (<http://rfrench.org/astro/papers/P44-HET607-RobertFrench.pdf>). Στο σχήμα 1.2 εμφανίζεται το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα με έμφαση στο ορατό τμήμα του.



Σχήμα 1.2 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Η υπέρυθρη ακτινοβολία που προέρχεται από τη Γη μπορεί να διαχωριστεί σε δύο διακριτά είδη ακτινοβολίας, την ακτινοβολία που προέρχεται από τον Ήλιο και ανακλάται από την επιφάνεια της Γης και τη θερμική υπέρυθρη που προέρχεται από τη θερμική ενέργεια του πλανήτη και έχει μήκη κύματος μεταξύ των 3 μm έως και 1000 μm . Επιπλέον, η υπέρυθρη περιοχή του φάσματος είναι δυνατόν να μοιραστεί σε τρεις επιπλέον ζώνες : στο εγγύς, στο μέσο και στο άνω υπέρυθρο όπως παρουσιάζονται και στο Σχήμα 1.3.



Σχήμα 1.3 Το Υπέρυθρο Φάσμα

Η ζώνη του εγγύς υπέρυθρου καταλαμβάνει μήκη κύματος από 0,76 μm έως 3,0 μm και δε χρησιμοποιείται σε θερμικές καταγραφές επειδή τα θερμά σώματα συνήθως, εκτός κι αν είναι στόχοι πολύ υψηλής θερμοκρασίας, δεν εκπέμπουν σε αυτά τα μήκη κύματος.

Το μέσο υπέρυθρο καταλαμβάνει μήκη κύματος από 3 μm έως 5 μm και έχει αποδειχθεί ιδιαίτερος χρήσιμο στην ανίχνευση πυρκαγιών και γενικά έντονων πηγών θερμότητας, γύρω στους 600 K (Μερτίκας, 1999).

Η ζώνη του άνω υπέρυθρου, τέλος, καλύπτει τα μήκη κύματος από 8 μm έως 14 μm και χρησιμοποιείται για την επιτήρηση και παρατήρηση δασών, αυτοκινητόδρομων, αεροδρομίων που βρίσκονται σε θερμοκρασίες, οι οποίες κυμαίνονται γύρω στους 27 °C (Μερτίκας, 1999). Η ζώνη αυτή είναι η ζώνη που αναλύεται περεταίρω στα κεφάλαια που ακολουθούν και χρησιμοποιείται για τη λήψη των ψηφιακών εικόνων της παρούσης εργασίας.

Για να γίνει πιο εύκολη η κατανόηση των δεδομένων που λαμβάνονται μέσω ανιχνευτών υπέρυθρων, είναι απαραίτητη η γνώση των θερμικών ιδιοτήτων των υλικών και ειδικότερα των φυσικών νόμων που διέπουν τις αλληλεπιδράσεις της υπέρυθρης ακτινοβολίας με την ύλη.

Όταν δύο σώματα με διαφορετική θερμοκρασία, ένα πιο ψυχρό κι ένα πιο θερμό, έρθουν σε επαφή, τότε θερμότητα ή αλλιώς ενέργεια $[Q]$, μεταφέρεται από το θερμότερο σώμα στο ψυχρότερο. Η ταχύτητα όμως κι ο τρόπος με τον οποίο θα μεταφερθεί η ενέργεια αυτή εξαρτάται από τα παρακάτω χαρακτηριστικά του κάθε σώματος :

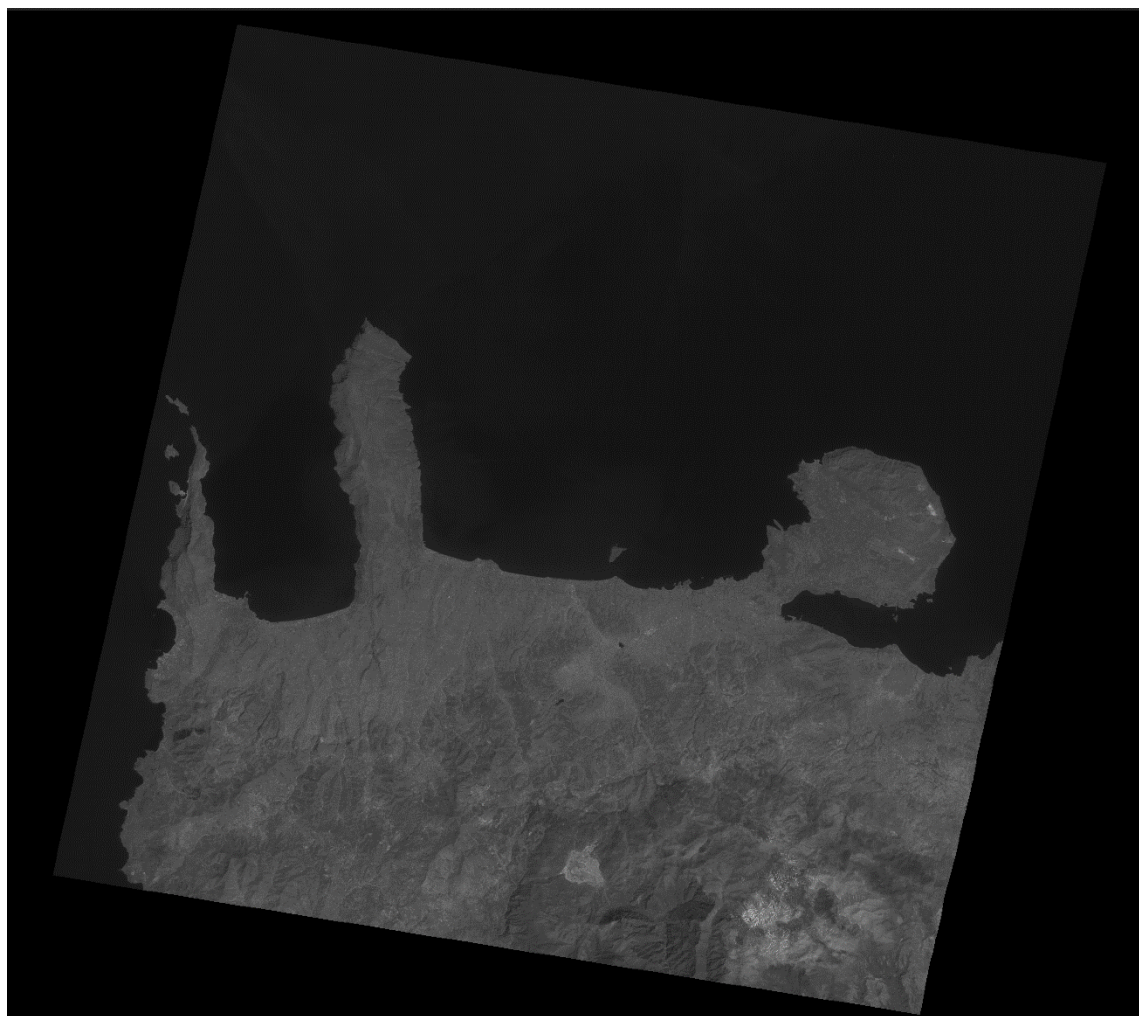
- Θερμίδα $[cal]$, ορίζεται ως το ποσό της θερμικής ενέργειας που απαιτείται για να αυξηθεί κατά $1\text{ }^{\circ}C$ η θερμοκρασία 1 g καθαρού νερού.
- Πυκνότητα $[\rho]$ ενός σώματος είναι η μάζα ανά μονάδα όγκου $[g/cm^3]$
- Η θερμοχωρητικότητα $[c]$, εκφράζει τον αριθμό των θερμίδων που απαιτούνται για να αυξηθεί η θερμοκρασία σώματος 1 g κατά $1\text{ }^{\circ}C$ και συνεπώς μετράται σε $cal/(gr\text{ }^{\circ}C)$. Ουσιαστικά είναι η ικανότητα του σώματος να αποθηκεύει θερμότητα. Το νερό, σε σχέση με τα περισσότερα υλικά, έχει υψηλή θερμοχωρητικότητα.
- Η θερμική αγωγιμότητα $[K]$ εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο ένα υλικό μεταφέρει θερμότητα. Μετράται σε $cal\text{ cm}^{-1}\text{ sec}^{-1}\text{ }^{\circ}C^{-1}$ και μετράει δηλαδή τις απαιτούμενες θερμίδες για τη μεταφορά μιας διαφοράς θερμοκρασίας σε σχέση με το χρόνο και την απόσταση.
- Ανακλαστικότητα $[R]$, εκφράζει το ποσοστό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας το οποίο ανακλάται από μια επιφάνεια.
- Η θερμική αδράνεια $[P]$, συμβολίζει την τάση ενός υλικού να αντιστέκεται σε αλλαγές της θερμοκρασίας του και εκφράζεται σε $cal/(cm^2\text{ sec}^{1/2}\text{ }^{\circ}C)$.
- Θερμική διαχυτικότητα $[K]$, εκφράζει το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας ενός υλικού από τη θερμή του πλευρά στην ψυχρή του και ορίζεται ως το πηλίκο της θερμικής αγωγιμότητας προς την πυκνότητα και την ειδική θερμοχωρητικότητα του υλικού (cm^2/s).
- Η ειδική θερμότητα $[C_p]$, ενός υλικού είναι το μέτρο της ποσότητας της θερμικής ενέργειας Q που απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία κατά $1\text{ }^{\circ}C$ μάζας 1 kg υλικού. Τυπικές τιμές για την ειδική θερμότητα C_p πετρωμάτων είναι της τάξεως περίπου των $200\text{ cal}/(kg\text{ }^{\circ}C)$.

Η θερμότητα έχει τρεις βασικούς τρόπους μεταφοράς της, ονομαστικά μέσω αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας.

1. Κατά τη μεταφορά θερμότητας με αγωγή, ενέργεια μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο, εφόσον αυτά είναι στερεά, μέσω επαφής τους.

2. Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή επιτυγχάνεται εφόσον στη μεταβίβαση ενέργειας από ένα στερεό σώμα σε ένα ρευστό. Όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο, η θερμότητα που απορροφάται από το ρευστό γρήγορα διαχέεται στην έκταση της μάζας του και έτσι οι διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ στερεού και ρευστού παραμένουν μέγιστες και άρα και ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας στο ρευστό. Η διάχυση της ενέργειας σε ένα ρευστό δημιουργεί ζώνες με διαφορετική πυκνότητα σε αυτό καθώς οι πιο ψυχρές περιοχές του βυθίζονται και οι πιο θερμές ανέρχονται.
3. Όλα τα σώματα εκπέμπουν Η/Μ ακτινοβολία η οποία εξαρτάται από την ενέργειά τους της οποίας ένα μέρος μπορεί να μεταφραστεί ως θερμοκρασία. Σε ατομικό επίπεδο η ακτινοβολία που εκπέμπεται από το ένα σώμα προσπίπτει σε ένα άλλο δίνοντας ενέργεια στην ατομική δομή του δεύτερου, αυξάνοντας έτσι την κινητική ενέργεια των σωματιδίων του και συνεπώς και τη θερμοκρασία του. Παράδειγμα τέτοιας λειτουργίας είναι η θερμότητα της ακτινοβολίας που προέρχεται από τον Ήλιο.

Στο σχήμα 1.4 παρακάτω εμφανίζεται μια θερμική εικόνα η οποία λήφθηκε στο κοντινό υπέρυθρο φάσμα, στα 0.76-0.86 μm , του δορυφόρου ASTER από το νομό Χανίων Κρήτης.



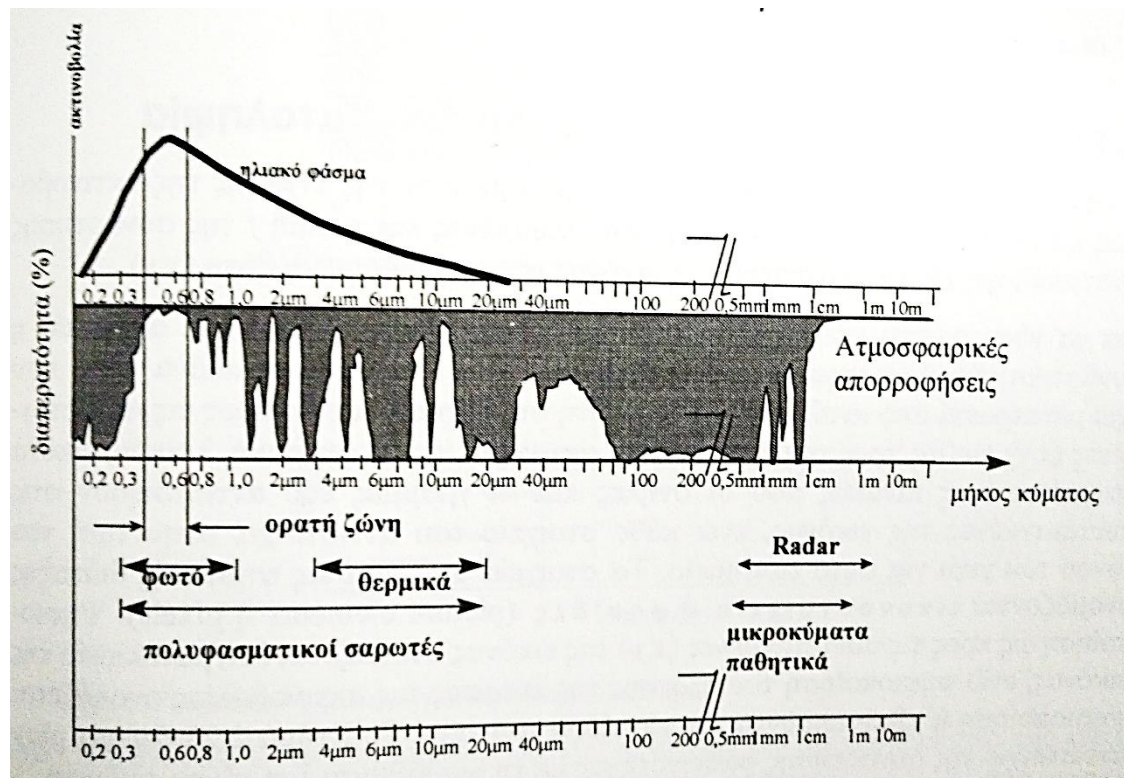
Σχήμα 1.4 Θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη Γη στην περιοχή του νομού Χανίων

1.3 Εφαρμογές των θερμικών εικόνων

Οι θερμικές εικόνες μπορούν να καλύψουν πολλές ανάγκες λόγω του ευρέως φάσματος εφαρμογών τους. Ανάλογα με το μήκος κύματος της παρατηρούμενης ακτινοβολίας μπορούν να εφαρμοστούν μέχρι και στην ανίχνευση στόχων υψηλών θερμοκρασιών όπως πυρκαγιών και λάβας. Οι χρήσεις όμως εκτείνονται και στην παρατήρηση δασών, αυτοκινητοδρόμων, αεροδιαδρόμων και για τον έλεγχο απώλειας θερμότητας κατοικιών, δηλαδή στόχων με θερμοκρασίες κοντά στους 300 K, για τα μήκη κύματος στο άνω υπέρυθρο.

Ο λόγος για τον οποίο υπάρχουν διαυλοι, οι οποίοι ορίζονται από συγκεκριμένα τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, συμβαίνει διότι ένα μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας, κατά τη διέλευσή της από την ατμόσφαιρα, απορροφάται από τα αέρια της ατμόσφαιρας (κυρίως διοξείδιο του άνθρακα, όζον

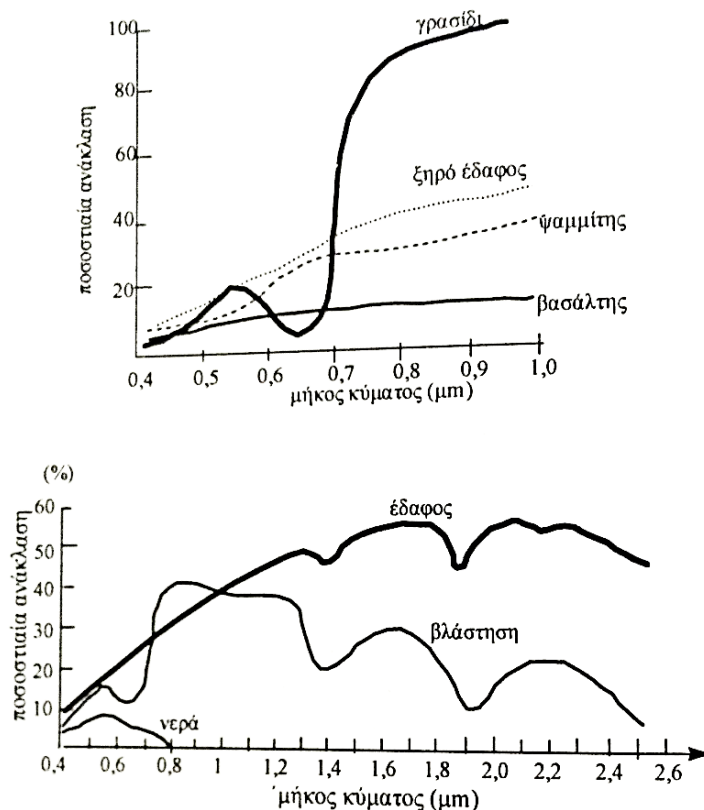
και υδρατμοί), τα οποία δεν επιτρέπουν τη διάδοση της ακτινοβολίας αυτής, εξαιτίας της απορρόφησης και της σκέδασής της. Υπάρχουν όμως μήκη κύματος τα οποία απορροφώνται μόνο εν μέρη (ατμοσφαιρικά παράθυρα, Σχήμα 1.5).



Σχήμα 1.5 Οι δίοδοι ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα (Μερτίκας, 1999)

Ανάλογα με το στόχο που μελετάται, θα παρατηρηθεί ανάλογα και μια διαφορά στο ποσοστό της ακτινοβολίας που ανακλάται από το υλικό ανάλογα με το μήκος κύματός της. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να είναι πολύ χρήσιμο στην κατανόηση μιας θερμικής εικόνας εφόσον διαφορετικά υλικά ανακλούν διαφορετικά ποσοστά ακτινοβολίας για ένα δεδομένο μήκος κύματος. Αυτό το χαρακτηριστικό ονομάζεται φασματική ταυτότητα ενός υλικού και παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.6 παρακάτω.

Επιπλέον μεγάλη σημασία έχει και η ώρα λήψης της εικόνας, καθώς τα διάφορα υλικά παρουσιάζουν διαφορετικές αντιστάσεις στη μεταβολή της θερμοκρασίας τους (θερμοχωρητικότητα). Συνεπώς δύο υλικά, υπάρχει η πιθανότητα να μπορούν να διαχωριστούν μεταξύ τους εφόσον πραγματοποιηθεί λήψη της εικόνας σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Αυτές οι γνώσεις επηρεάζουν πολύ την τελική ερμηνεία των θερμικών εικόνων.



Σχήμα 1.6 Φασματικές ταυτότητες ορισμένων υλικών (Μερτίκας, 1999)

Αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η παράκτια παρατήρηση των θερμοκρασιακών διαφορών της ευρύτερης περιοχής των Χανίων για τον πιθανό εντοπισμό υπόγειων πηγών γλυκού νερού που εκβάλλουν στη θάλασσα. Αυτό γίνεται δυνατόν χάρη στην εκμετάλλευση των χαρακτηριστικών του υπερύθρου φάσματος που αναφέρθηκαν παραπάνω και τη συλλογή δορυφορικών δεδομένων για το νομό.

Οι εικόνες του θερμικού υπερύθρου φάσματος είναι ιδανικές για τέτοιου είδους εφαρμογές, καθώς το νερό των υπογείων πηγών διατηρεί μια σχετικά σταθερή θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του χρόνου (περίπου 17-18 °C), ενώ η θερμοκρασία του νερού της θάλασσας μεταβάλλεται πολύ περισσότερο λόγω της αλλαγής των εποχών του χρόνου. Αυτό σημαίνει πως το καλοκαίρι θα εμφανίζεται θερμότερο (πιο ανοιχτόχρωμο στην εικόνα) σε σύγκριση με το νερό από το υπέδαφος στις θερμικές καταγραφές η οποίες έχουν ληφθεί σε θερμές περιόδους και ψυχρότερο κατά της ψυχρές περιόδους.

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύθηκαν ο ορισμός της Τηλεπισκόπησης, οι έννοιες της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, των θερμικών ιδιοτήτων των υλικών, της μεταφοράς θερμότητας και των θερμικών εικόνων. Στη συνέχεια μελετήθηκαν τα πεδία εφαρμογών της, τα είδη εικόνων Τηλεπισκόπησης και οι ιδιότητες οι οποίες καθορίζουν την ποιότητα μιας εικόνας. Το επόμενο κεφάλαιο πραγματεύεται με την παρουσίαση του γεωλογικού υποβάθρου των περιοχών μελέτης για τις οποίες πραγματοποιήθηκε επεξεργασία δορυφορικών εικόνων.

Κεφάλαιο 2: Περιγραφή των περιοχών υπό μελέτη

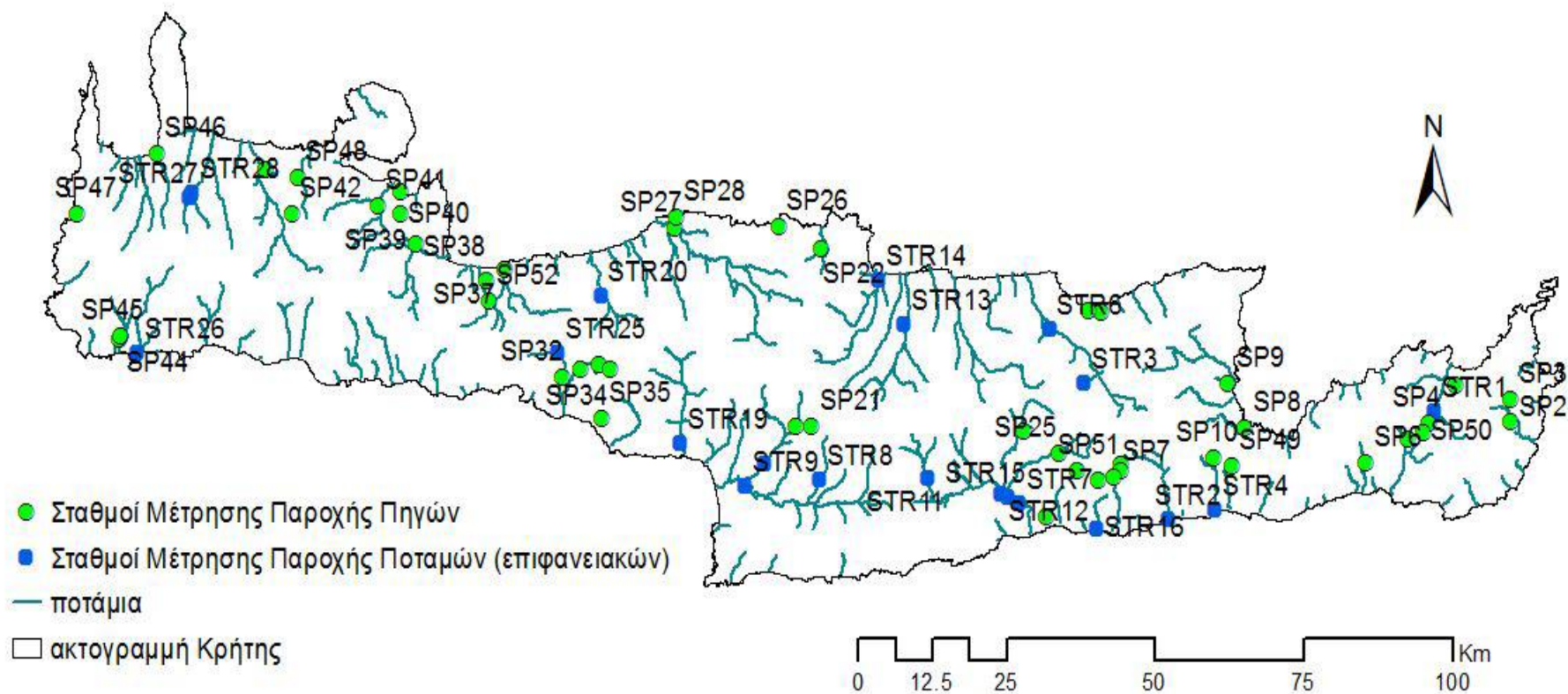
2.1 Κυανή Ακτή και Γλυκά Νερά

Η περιοχή της Σούδας βρίσκεται μόλις 6 χιλιόμετρα ανατολικά από το κέντρο της πόλης των Χανίων και βρίσκεται αμέσως κάτω από τη χερσόνησο του Ακρωτηρίου. Η περιοχή των Γλυκών Νερών, βρίσκεται 77 χιλιόμετρα νότια του Νομού Χανίων και 4 χιλιόμετρα δυτικά των Σφακίων.

Σύμφωνα με πηγές (Ο.Α.ΔΥ.Κ., Π. Παυλάκης), ο κόλπος της Σούδας και η περιοχή των Γλυκών νερών είναι δύο από τις πολλές περιοχές της Κρήτης στις οποίες υπόγειο νερό χάνεται στη θάλασσα. Λόγω της ύπαρξης της βάσης του ΝΑΤΟ στη Σούδα είναι δύσκολη η πραγματοποίηση ολοκληρωμένης μελέτης της περιοχής. Εξαιτίας αυτού η περιοχή που επιλέχθηκε, για την πραγματοποίηση των πτήσεων με μη επανδρωμένα μέσα, βρίσκεται στην Κυανή Ακτή, μόλις μερικά χιλιόμετρα ανατολικά από το λιμάνι της Σούδας.

Σε αντίθεση με τη Σούδα τα Γλυκά Νερά δεν παρουσιάζουν δυσκολία μελέτης με τον ίδιο τρόπο όπως η Σούδα. Είναι μια γενικώς δυσπρόσιτη περιοχή για μελέτες, εφόσον η παραλία είναι κρυμμένη μέσα στο ανάγλυφο της περιοχής και οι μόνοι τρόποι για να προσεγγίσει κανείς την παραλία είναι με τη χρήση του Ευρωπαϊκού Μονοπατιού Ε4.14, είτε αλλιώς με βάρκα από τα Σφακιά ή το Λουτρό. Η περιοχή πήρε το όνομά της από τις πηγές πόσιμου νερού αναβλύζουν σε διάφορα σημεία της ακτής.

Το 2016 πραγματοποιήθηκε μια μελέτη για το Προσχέδιο Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Κρήτης (Π.Δ.Υ.Π.Κ.), με θέμα τη διαχείριση της ξηρασίας για την Περιφέρεια Κρήτης, όπου δημιουργήθηκε θεματικός χάρτης που εμφανίζει τους σταθμούς μέτρησης των επιφανειακών παροχών και επιφανειακών πηγών που είναι κατανεμημένοι σε όλη την έκταση της Κρήτης. Στην εικόνα αυτή (Σχήμα 2.1) φαίνεται πως υπάρχουν καλές πιθανότητες και στις δύο περιοχές που έχουν επιλεγεί, για τη μελέτη της διπλωματικής αυτής, να περιέχονται υπόγειες πηγές γλυκού νερού. Συγκεκριμένα στην Κυανή Ακτή υπάρχει ο σταθμός μέτρησης παροχής πηγών SP41 και στην περιοχή των Γλυκών Νερών εμφανίζονται πολλά ποτάμια τα οποία πολύ πιθανόν να εκβάλλουν στη θάλασσα.



Σχήμα 2.1 Σταθμοί μέτρησης επιφανειακών παροχών και παροχών πηγών (Νικολαΐδης, 2016)

2.2 Γεωλογικά Χαρακτηριστικά της Κρήτης και των Επιλεγμένων Περιοχών

2.2.1 Λεκάνες Απορροής και Γεωλογία της Κρήτης

Το Π.Δ.Υ.Π.Κ. δηλώνει πως: Σύμφωνα με την Απόφαση 706/16-7-2010 (ΦΕΚ 1383B/2-9-2010 & ΦΕΚ 1572B/28-9-2010), της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων «περί καθορισμού των Λεκανών Απορροής Ποταμών της χώρας και ορισμού των αρμόδιων Περιφερειών για τη διαχείριση και προστασία τους» επικυρώθηκαν οι σαράντα-πέντε (45) Λεκάνες Απορροής Ποταμών, οι οποίες υπάγονται σε δεκατέσσερις (14) Περιοχές Λεκανών Απορροής Ποταμών (που αντιστοιχούν στον όρο Υδατικά Διαμερίσματα του Άρθρου 3 του ΠΔ 51/2007). Το Υδατικό Διαμέρισμα (ΥΔ) Κρήτης, περιλαμβάνει τρεις (3) Λεκάνες Απορροής οι οποίες και εμφανίζονται στο Σχήμα 2.2:

- Ρεμάτων Βορείου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου - Ηρακλείου (GR39),
- Ρεμάτων Νοτίου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου - Ηρακλείου (GR40),



Σχήμα 2.2 Λεκάνες Απορροής του ΥΔ Κρήτης (Π.Δ.Υ.Π.Κ.)

- Ρεμάτων Ανατολικής Κρήτης (GR41)

Ως «Λεκάνη απορροής ποταμού» ορίζεται η εδαφική έκταση από την οποία αποστραγγίζεται το σύνολο της απορροής (βροχόπτωση ή/ και χιονόπτωση) μιας περιοχής, μέσω του υδρογραφικού δικτύου της (διαδοχικών ρευμάτων, χειμάρρων, ποταμών, και πιθανώς λιμνών) και παροχετεύεται στη θάλασσα μέσω της εκβολής (ή δέλτα) ποταμού (Π.Δ.Υ.Π.Κ.).

Η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας και ένα από τα μεγαλύτερα της Μεσογείου. Με συνολική έκταση 8.335,9 τετραγωνικών χιλιομέτρων, εκτείνεται σε μήκος 260 χιλιομέτρων περίπου και πλάτος που κυμαίνεται από τα 60 έως τα 12 χιλιόμετρα στο στενότερο σημείο της, τον Ισθμό της Ιεράπετρας. Οι ακτές της, που παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία, έχουν μήκος που φτάνει τα 1.065 χιλιόμετρα περίπου.

Γύρω από την Κρήτη υπάρχουν διάσπαρτες νησίδες οι οποίες είναι ακατοίκητες με εξαίρεση τη Γαύδο η οποία, μαζί με τη Γαυδοπούλα, βρίσκονται νότια της και σε αρκετή απόσταση, στο δυτικό τμήμα της.

Το νησί διαθέτει έντονο ανάγλυφο και τέσσερα μεγάλα ορεινά συγκροτήματα με πολλά κοινά χαρακτηριστικά. Στα δυτικά βρίσκονται τα Λευκά Όρη ή Μαδάρες, με τουλάχιστον 20 κορυφές που ξεπερνούν τα 2.200 μέτρα και την ψηλότερη, τις Πάχνες, να αγγίζει τα 2.453 μέτρα και τα οροπέδια του Ομαλού, στα ανατολικά τα οροπέδια του Ασκούφου και στο νότιο τμήμα του νησιού σχηματίζονται απόκρημνες μεγάλες κλίσεις και φαράγγια προς τη νότια ακτή, που συνεχίζονται και ανατολικά και με ηπιότερα πρόβουνα, προς τη δυτική και βόρεια ακτή. Στο κεντρικό μέρος της εκτείνεται ο Ψηλορείτης ή Ίδη, που είναι και το ψηλότερο ορεινό συγκρότημα του νησιού, με ψηλότερη κορυφή τον Τίμιο Σταυρό στα 2.456 μέτρα. Στα βόρειά του, με μεγαλύτερες και απόκρημνες κλίσεις, σχηματίζεται η κοιλάδα του Μυλοπόταμου και ακόμη βορειότερα ο ορεινός όγκος του Κουλούκωνα (μέγιστο υψόμετρο 1083 m) που καταλήγει, με απότομες κλίσεις, στη βόρεια ακτή. Στα νότια και ανατολικά του, με ηπιότερες κλίσεις, σχηματίζονται η κοιλάδα της Μεσαράς και αυτή του Ηρακλείου, που περικλείεται νοτιότερα, από τον επιμήκη ορεινό όγκο των Αστερουσίων (μέγιστο υψόμετρο 1231 m), ο οποίος καταλήγει με λιγότερο απότομες κλίσεις στη νότια ακτή. Ανατολικά του Ψηλορείτη βρίσκεται η Δίκτη με υψόμετρο 2.148 μέτρα, με το Οροπέδιο Λασιθίου στο βορειοδυτικό τμήμα της, να καταλαμβάνει όλο το εύρος του νησιού, με πιο απότομες κλίσεις στα νότια και ηπιότερες προς τις άλλες κατευθύνσεις, ενώ, τέλος, ακόμη πιο ανατολικά εκτείνονται τα Λασιθιώτικα Όρη ή Όρη της Θρυπτής ή Όρη της Σητείας, με υψόμετρο 1.476 μέτρα. Τις μεγάλες οροσειρές πλαισιώνουν μικρότεροι ορεινοί όγκοι. Τα ποσοστά κατανομής του εδάφους του σε πεδινές, ημιορεινές και ορεινές περιοχές, σύμφωνα με την ΕΣΥΕ, είναι 22,7%, 27,9% και 49,4%, αντίστοιχα.

Στους πρόποδες και τα πρόβουνα των αναφερόμενων ορεινών όγκων διαμορφώνονται τα πεδινά, εύφορα τμήματα του διαμερίσματος.

Βόρεια των Λευκών Ορέων και της Ίδης, αναπτύσσεται εκτεταμένη επιμήκης πεδιάδα, από το δυτικότερο άκρο του νησιού, την περιοχή Καστελλίου Κίσσαμου, έως και την περιοχή της Αζού, στο Μυλοπόταμο, η οποία περιλαμβάνει στο εσωτερικό της πολλές λοφώδεις εξάρσεις (Π.Δ.Υ.Π.Κ.).

Εκείνο που συνιστά ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του κρητικού περιβάλλοντος, είναι η μεγάλη ποικιλία των γεωλογικών σχηματισμών. Σπήλαια, φαράγγια και οροπέδια αποτελούν βασικά συστατικά του κρητικού τοπίου. Είναι χαρακτηριστικό ότι στην Κρήτη έχουν καταγραφεί 5.200 σπήλαια και καρστικοί σχηματισμοί, εκ των οποίων τα 3.100 έχουν δικό τους τοπωνύμιο.

Λόγω του μικρού της πλάτους, η Κρήτη δε διαθέτει μεγάλα ποτάμια. Τα περισσότερα από αυτά είναι εποχικά και το καλοκαίρι είναι τελείως ξηρά. Μόνον δέκα από τα ποτάμια της διαθέτουν νερό σε όλη τη διάρκεια του έτους κι αυτά συνήθως ξεκινούν από κάποια πηγή.

Σύμφωνα με στοιχεία της μελέτης «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων Κρήτης (2001)» η μέση ετήσια βροχόπτωση (περιόδου επαναφοράς 2 ετών) ανέρχεται σε 927mm που αντιστοιχεί σε 7,69 δισ. κυβικά μέτρα κατακρημνισμάτων σε ετήσια βάση (πάνω από το 60% της ποσότητας αυτής χάνεται ως εξατμισοδιαπνοή). Η μέση μηνιαία βροχόπτωση είναι μέγιστη τον Δεκέμβριο ή τον Ιανουάριο και ελάχιστη τον Ιούλιο και τον Αύγουστο οι οποίοι είναι σχεδόν άνομβροι σε ολόκληρη την πεδινή Κρήτη. Το 25% περίπου της ετήσιας βροχόπτωσης συμβαίνει στους περισσότερους σταθμούς της Κρήτης στη διάρκεια του βροχερότερου μήνα.

Η γεωλογία της Κρήτης χαρακτηρίζεται από μια «λεπιοειδή» διάταξη των διαφορετικής ηλικίας φάσεων και σχηματισμών που συμμετέχουν στη δομή της νήσου.

Η Κρήτη αποτελείται από ένα αυτόχθονο έως παραυτόχθονο σύστημα πετρωμάτων που περιλαμβάνει την ημιμεταμορφωμένη ενότητα των πλακωδών ασβεστόλιθων και τους υποκείμενους ασβεστόλιθους, δολομίτες, με παρεμβολές σχιστόλιθων, ένα αλλόχθονο σύστημα επωθημένο πάνω στο αυτόχθονο και από τα νεότερα ιζήματα του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς.

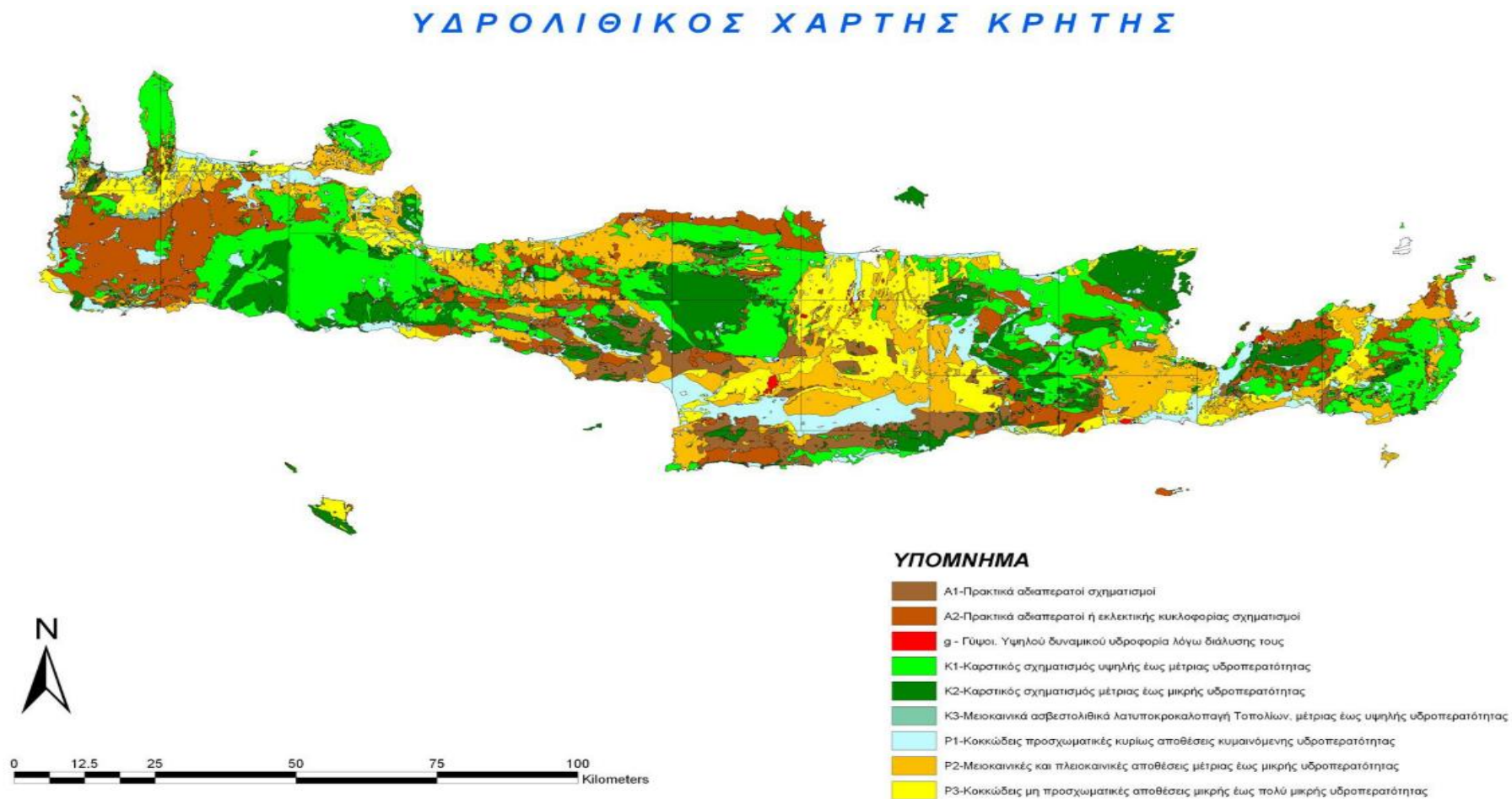
Το αλλόχθονο σύστημα αποτελείται από αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα επωθημένα το ένα πάνω στο άλλο με την ακόλουθη σειρά, από το κατώτερο προς το ανώτερο:

- Ανθρακικό κάλυμμα Ομαλού – Τρυπαλίου
- Τεκτονικό κάλυμμα Φυλλιτών – Χαλαζιτών
- Ζώνη Τρίπολης
- Ζώνη Πίνδου
- Πελαγονική ζώνη – Οφιολιθικό κάλυμμα

Το ισχυρό ανάγλυφο του Υδατικού Διαμερίσματος, οι μεγάλες ποσότητες ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, η έκταση του νησιού και η πολύπλοκη γεωλογική δομή του δημιουργούν ποικιλία στην διακίνηση του νερού τόσο του επιφανειακού όσο και του υπόγειου. Ως αποτέλεσμα αυτών παρατηρείται η ανάπτυξη πολλών υδρολογικών λεκανών που η έκτασή τους δεν ξεπερνά τα 600 km². Το πυκνό υδρογραφικό δίκτυο, χειμαρρώδους χαρακτήρα, παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση των παροχών του. Η συνολική απορροή που διακινείται ετησίως επιφανειακά από τα κυριότερα υδατορεύματα του νησιού ανέρχεται σε 500 x 10⁶ m³/έτος περίπου. Η απορροή αυτή περιλαμβάνει τόσο πηγαία νερά που εκφορτίζονται εντός των αντίστοιχων λεκανών απορροής όσο και την καθαυτό επιφανειακή απορροή. Υπολογίζεται δε ότι μια επιπλέον ποσότητα 450 x 10⁶ m³ διακινείται ετησίως μέσω των τριών μεγάλων καρστικών πηγών με υφάλμυρο νερό του νησιού (Αλμυρός Γεωργιούπολης, Αλμυρός Ηρακλείου και Αλμυρός Αγ. Νικολάου).

Στο σχήμα 2.3 εμφανίζεται ο υδρολιθικός χάρτης της Κρήτης ο οποίος αντιστοιχεί τα είδη των πετρωμάτων που εμφανίζονται σε ολόκληρη την Κρήτη και κατανέμει την περατότητά τους σε 9 είδη.

Συνολικά στην Κρήτη διακινούνται υπογείως 2.233 x 10⁶ m³ νερού κατ' έτος. Από τις καρστικές λεκάνες ένα τμήμα των ανωτέρω διακινούμενων υπογείως ποσοτήτων αναφέρεται σε υφάλμυρα νερά. Οι κύριες υφάλμυρες πηγές διακινούν ετησίως περί τα 450 x 10⁶ m³/έτος. Εκτιμάται ότι η συνολική ποσότητα υφάλμυρου νερού μαζί με τις υποθαλάσσιες εκφορτίσεις ανέρχεται σε 800 - 1.000 x 10⁶ m³/έτος. Συνολικά η Κρήτη διακρίνεται σε 86 υδροφόρα συστήματα τα οποία αποτελούνται από 44 καρστικά, 34 πορώδη και 8 ρωγμώδη (Π.Δ.Υ.Π.Κ.).



Σχήμα 2.3 Υδρολιθικός χάρτης ΥΔ Κρήτης (Π.Δ.Υ.Π.Κ.)

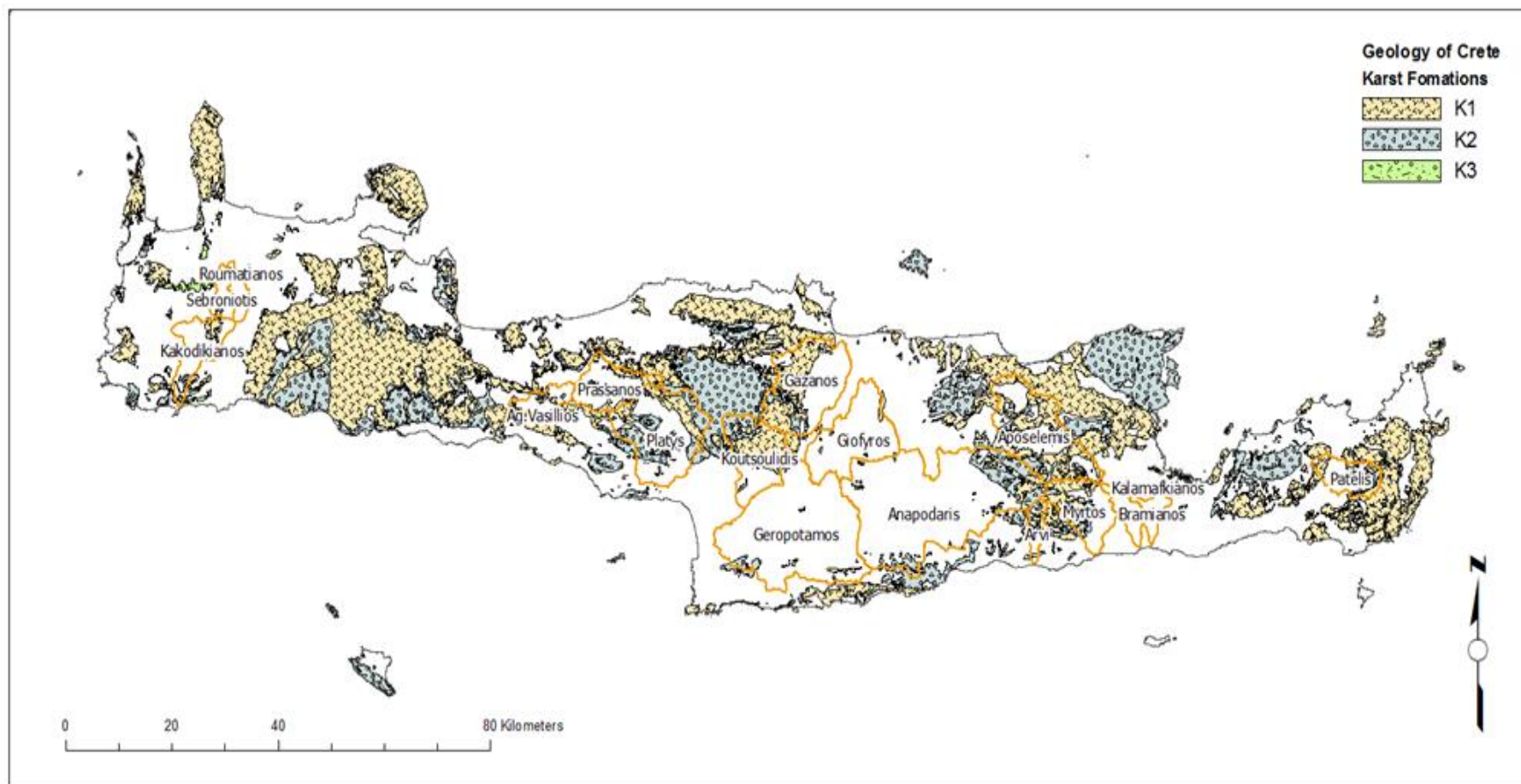
2.2.2 Τα Υδροφόρα Συστήματα της Σούδας και των Γλυκών Νερών

Το Πορώδες Υδροφόρο σύστημα των Βορείων Χανίων διακρίνεται στα παρακάτω επί μέρους συστήματα, τα οποία αποτελούν μέρος των 86 συστημάτων της Κρήτης:

- GR1300021 περιλαμβάνει τις υδροφορίες που αναπτύσσονται στον προσχωματικό και νεογενή υδροφορέα της περιοχής του Κισιάμου
- GR1300022 περιλαμβάνει τις υδροφορίες που αναπτύσσονται στον προσχωματικό και νεογενή υδροφορέα του κάμπου Χανίων και Σούδας (κύρια υδρορέματα Κερίτη - Ταυρωνίτη)
- GR1300023 περιλαμβάνει τις υδροφορίες που αναπτύσσονται στον προσχωματικό και νεογενή υδροφορέα Αποκορώνου (κύρια υδρορέματα Κοιλιάρη και Βρυσών)

Η περιοχή των Σφακίων χαρακτηρίζεται γενικά από καρστικά πετρώματα μικρής έως μέτριας και μέτριας έως υψηλής διαπερατότητας όπως φαίνεται και παρακάτω στο Σχήμα 2.4.

Στο κεφάλαιο αυτό, έγινε μια αναλυτική περιγραφή των περιοχών της Κρήτης, από άποψη της γεωλογίας και της υδρογεωλογίας τους, που επρόκειτο να μελετηθούν. Για να φτάσει κανείς όμως στο τελικό στάδιο της ανάλυσης κι ερμηνείας των αποτελεσμάτων όπως αυτή περιγράφεται στα μετέπειτα κεφάλαια, απαραίτητη είναι η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των εναερίων και δορυφορικών συστημάτων, τα οποία και περιγράφονται στο επόμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 2.4 Περιοχές καρστικών σχηματισμών στην Κρήτη (Τσάνης, 2011)

Κεφάλαιο 3: Ιστορική Αναδρομή και Επιλογή Δορυφορικών Δεδομένων

3.1 Δορυφόροι

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύθηκαν διεξοδικά οι αρχές της Τηλεπισκόπησης, οι θερμικές εικόνες και η λειτουργία των συστημάτων λήψης. Στην συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για τη λήψη εικόνων, μέσω της ιστορίας τους, των μεθόδων λειτουργίας τους και των εφαρμογών τους. Επιπλέον αναλύεται η μεθοδολογία επιλογής των κατάλληλων εικόνων καθώς και οι τεχνικές που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία και ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Ο δορυφόρος είναι ένα αντικείμενο το οποίο βρίσκεται σε τροχιά γύρω από ένα άλλο σώμα στο διάστημα, είτε το σώμα σε τροχιά είναι πλανήτης, φεγγάρι ή τεχνητός δορυφόρος κατασκευασμένος ειδικά για τη συλλογή δεδομένων ή διευκόλυνση των επικοινωνιών.

Η ιδέα να σταλεί ένα αντικείμενο σε τροχιά γύρω από τη Γη είναι μια ιδέα η οποία υπάρχει εδώ και αρκετούς αιώνες. Συγκεκριμένα, ο Νεύτωνας πρότεινε αυτή την ιδέα δημιουργώντας μια υποθετική βολή από κανόνι, η οποία θα είχε ταχύτητα και κλίση τέτοια ώστε να βρισκόταν σε τέλεια ισορροπία γύρω από τη Γη η οποία θα συντηρούνταν μόνο από την τελική ταχύτητα της βολής και τη βαρυτική έλξη της Γης.

Οι πρώτοι που κατάφεραν να υλοποιήσουν την ιδέα αυτή ήταν οι Ρώσοι, το 1957 με το Sputnik 1, σχεδόν 230 χρόνια μετά την ιδέα του Νεύτωνα. Από τότε υπολογίζεται πως έχουν σταλεί σε τροχιά δεκάδες χιλιάδες δορυφόροι γύρω από τη Γη. (Έθνος, 1997)

Ενώ οι περισσότεροι δορυφόροι διαφέρουν σε μέγεθος, εξοπλισμό και τρόπο κατασκευής, όλοι οι δορυφόροι έχουν μερικά σημαντικά κοινά μεταξύ τους. Αποτελούνται από έναν μεταλλικό σκελετό ως «σώμα», έχουν έναν κεντρικό υπολογιστή για να επεξεργάζονται όλες τις απαραίτητες πληροφορίες και πομπούς ραδιοκυμάτων για να μπορούν να στέλνουν πληροφορίες πίσω στη Γη. Επιπλέον οι δορυφόροι Τηλεπισκόπησης έχουν χαμηλή τροχιά ανάμεσα στα ύψη των 500 – 900

km, με πολυ-φασματικούς αισθητήρες για την κάλυψη των διαφόρων μεταβολών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος της Γης (Μερτίκας, 1999).

Όπως έχει αναφερθεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο ο κάθε δορυφόρος κατασκευάζεται για διαφορετικούς σκοπούς από τους άλλους και άρα προορίζεται για τον εντοπισμό συγκεκριμένων πληροφοριών. Υπάρχουν μετεωρολογικοί δορυφόροι οι οποίοι μπορούν να ελέγχουν τις κινήσεις των σύννεφων και τα αποτελέσματα της μόλυνσης στην ατμόσφαιρα, μπορούν όμως να εντοπίσουν και αμμοθύελλες, χιονοκάλυψη και θαλάσσια ρεύματα.

Οι δορυφόροι υπεύθυνοι για τις επικοινωνίες επιτρέπουν την αποστολή πληροφοριών, από τηλεφωνικές συσκευές, σε όλα τα μέρη της Γης. Το σημαντικό χαρακτηριστικό αυτών των δορυφόρων είναι ότι είναι τοποθετημένοι σε «γεωστατική» τροχιά, παρατηρώντας συνέχεια το ίδιο σημείο της Γης. Η συγκεκριμένη ιδιότητα είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τους δορυφόρους τηλεπικοινωνιών, αφού πρέπει να δρουν ως αναμεταδότες ηλεκτρομαγνητικών σημάτων και να είναι έτσι ορατοί συνεχώς από συγκεκριμένους πομπούς επί της επιφάνειας της Γης. Επιπλέον υπάρχουν οι δορυφόροι ναυσιπλοΐας και εντοπισμού. Οι συγκεκριμένοι σχηματισμοί δορυφόρων έχουν αναπτυχθεί από διάφορες χώρες και υπηρεσίες (Αμερικανικό GPS, Ρωσικό GLONASS, Ευρωπαϊκό Galileo κ.α.) και κάθε σύστημα αποτελείται από 24 – 30 δορυφόρους σε τροχιές περίπου στα 20.000 km.

Άλλοι δορυφόροι, όπως αυτοί που χρησιμοποιούνται για την εργασία αυτή, χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση της επιφάνειας της Γης σε διάφορα μήκη κύματος και σαρώνουν τη Γη ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Βασικός σκοπός αυτών των δορυφόρων είναι η χρήση αισθητήρων για τη λήψη εικόνων που εκπέμπονται είτε από την επιφάνεια της Γης είτε προέρχονται από ανακλάσεις της ηλιακής ακτινοβολίας. Εφόσον οι περισσότεροι είναι πολυ-φασματικοί, μπορούν δηλαδή να συλλέξουν ταυτόχρονα πληροφορίες σε διάφορα μήκη κύματος.

Υπάρχουν κι άλλα είδη δορυφόρων τα οποία χρησιμοποιούνται όπως οι δορυφόροι με τεχνολογία Radar. Όλες όμως αυτές οι τεχνολογίες που μπορούν να σταλούν στο διάστημα μπορούν και να χρησιμοποιηθούν πάνω στη Γη μέσω αεροσκαφών με ειδικό εξοπλισμό και drones.

3.2 Μη Επανδρωμένα Εναέρια Μέσα

Τα drones, αναφερόμενα αλλιώς και ως UAV (Unmanned Aerial Vehicles) ή στα ελληνικά «μη επανδρωμένα υπάμενα οχήματα», είναι συστήματα τα οποία

έχουν δημιουργηθεί για την πραγματοποίηση πτήσεων χωρίς την ανάγκη ύπαρξης πιλότου στο εσωτερικό τους. Έχουν τη δυνατότητα είτε να πραγματοποιούν αυτόνομες πτήσεις, είτε με τη βοήθεια ενός πιλότου-χειριστή στο έδαφος. Οι χρήσεις τους κυμαίνονται, όπως και στους δορυφόρους, από στρατιωτικές σε καθημερινές για έρευνα ή για ψυχαγωγία.

Ο όρος αυτός μπορεί να αναφέρεται σε διαφόρων ειδών μη επανδρωμένα οχήματα όπως αεροπλάνα, τετρακόπτερα και πολυκόπτερα. Τα τελευταία βασίζονται στην ίδια τεχνολογία με τα ελικόπτερα αλλά παράγονται σε μικρότερα μεγέθη και με περισσότερες έλικες για μεγαλύτερη σταθερότητα κατά την πτήση και πιο εύκολο χειρισμό.

Τα πρώτα μη επανδρωμένα συστήματα δημιουργήθηκαν ελαφρώς μετά τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο κατά το 1930, αυτά τα συστήματα όμως δεν είχαν εξελιχθεί ακόμη και οι χρήσεις τους ήταν περιορισμένες. Σταδιακά άρχισαν να εξοπλίζονται με κάμερες, είτε για παρακολούθηση στόχων, είτε για έρευνα, μέχρι τη σημερινή ημέρα όπου και χρησιμοποιούνται όλο και πιο συχνά για αυξανόμενο πλήθος εργασιών (<https://www.nesta.org.uk/drones-history-flying-robots>).

Όλα τα θετικά στοιχεία των συστημάτων αυτών, που παρουσιάζονται παρακάτω, είναι ο λόγος για τον οποίο εμφανίζεται μια αυξανόμενη τάση χρήσης τους. Αρχικά, εφόσον διαθέτουν αυξημένη σταθερότητα από τις έλικές τους, είναι δυνατή η χρήση τους σε πολλές καιρικές συνθήκες. Ένα ακόμη θετικό στοιχείο τους είναι πως είναι μη επανδρωμένα συνεπώς ακόμη και στην ύπαρξη επιπλοκών, δεν τίθενται σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές. Επίσης, έχουν τη δυνατότητα να εξοπλιστούν με πολλά είδη συσκευών καθώς, με την εξέλιξη της τεχνολογίας, μπορούν να μεταφέρουν όλο και μεγαλύτερα φορτία για μεγαλύτερες αποστάσεις και χρονικά διαστήματα.

Λόγω της ευελιξίας αυτών των συστημάτων, υπάρχει η δυνατότητα χρήσης τους για πολλούς σκοπούς. Από τη στιγμή που έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν συστήματα αντίστοιχα με αυτά εγκατεστημένα στις δορυφορικές πλατφόρμες, συνεπάγεται πως είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και στις αντίστοιχες επίγειες εφαρμογές.

Μία από τις πιο σημαντικές χρήσεις τους είναι σε αποστολές έρευνας και διάσωσης. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την εύρεση ανθρώπων που έχουν χαθεί σε μια δασική έκταση ή κατά τη διάρκεια μιας φυσικής καταστροφής. Σε τέτοιου είδους πτήσεις χρησιμοποιούνται θερμικές κάμερες, για τον εντοπισμό της θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος που εκπέμπει διαφορετική ακτινοβολία

από το περιβάλλον του, ή και οπτικές κάμερες σε περίπτωση που δεν είναι δυνατή η χρήση θερμικών συστημάτων. Άλλες χρήσεις μπορούν να γίνουν στους τομείς της αρχαιολογίας, ανίχνευσης πυρκαγιών με τους κατάλληλους αισθητήρες, αλλά και χειρωνακτικών εργασιών όπως μεταφορά προμηθειών.

Λόγω της άνθησης της αγοράς των UAV, και άρα της δημιουργίας ανταγωνισμού, οι τιμές για την αγορά ενός UAV και μιας θερμικής κάμερας γίνονται όλο και πιο προσιτές για τους καταναλωτές. Μέχρι πρόσφατα (2015) οι τιμές ήταν προσιτές μόνο σε άτομα διατεθειμένα να ξοδέψουν ποσά γύρω στα \$4000 για συστήματα με ανάλυση στα 320x240 εικονοστοιχεία και γύρω στα \$1000 για ανάλυση στα 80x60. Οι τιμές τώρα έχουν φτάσει γύρω στα \$3200 για μια κάμερα FLIR VUE με ανάλυση 640x512 (Lincoln, 2018).

Είναι φανερό πως, τα τελευταία χρόνια, η χρήση των UAVs έχει αρχίσει να γίνεται απαραίτητη σε όλο και περισσότερους τομείς, το οποίο σημαίνει πως μπορεί να επεκταθεί ακόμη και στο γνωστικό πεδίο των Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Όπως και στα δορυφορικά συστήματα, έτσι και στα μη επανδρωμένα είναι δυνατή η παρακολούθηση και καταγραφή συγκεκριμένων χαρακτηριστικών και λεπτομερειών του περιβάλλοντος.

Πιο συγκεκριμένα, τα UAVs μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ανίχνευση και εντοπισμό πετρωμάτων ή ορυκτών, σε εφαρμογές της τοπογραφίας, για παρακολούθηση της βλάστησης και έλεγχο των εδαφομηχανικών συνθηκών μιας περιοχής, όπως η ανίχνευση ρηγμάτων.

3.3 Λήψη δεδομένων μέσω δορυφόρων

Για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας ήταν απαραίτητη η αναζήτηση δεδομένων από διάφορες πηγές / δορυφόρους. Για την απόκτηση των δεδομένων και τον εντοπισμό των κατάλληλων δορυφόρων, χρειάστηκε να τεθούν συγκεκριμένες προϋποθέσεις :

- να έχει αισθητήρες που να λειτουργούν κοντά στο φάσμα των 10-12 μm
- καλή χωρική ανάλυση, τουλάχιστον κάτω από 100 μέτρα
- καλή χρονική διαχωριστική ικανότητα
- εικόνες με χαμηλή νεφοκάλυψη
- λήψη των εικόνων σε κατάλληλες ώρες της ημέρας, στις οποίες δημιουργούνται οι πιο ακραίες τιμές θερμοκρασίας (πριν την ανατολή του ηλίου και μερικές ώρες μετά το μεσημέρι)

Στη συνέχεια, έγινε έρευνα για όλους τους δορυφόρους που διαθέτουν αισθητήρες για θερμική καταγραφή και δεδομένα ελεύθερα προς το κοινό, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1. Αρχικά πραγματοποιήθηκε αναζήτηση για όλους τους δορυφόρους με θερμικούς αισθητήρες, που να λειτουργούν στην περιοχή των 10-12 μm . Η αναζήτηση αυτή είχε ως αποτέλεσμα έναν κατάλογο από 71 δορυφόρους, κατά την επιλογή τους όμως δε λήφθηκαν όλοι υπόψη με κύριους λόγους την έλλειψη ελεύθερης πρόσβασης στα δεδομένα τους και της μικρής τους χωρικής διαχωριστικής ικανότητας.

Η παρακάτω λίστα περιέχει τους δορυφόρους οι οποίοι πληρούσαν τις προϋποθέσεις, οι εικόνες του Landsat 7 όμως περιείχαν θόρυβο και οπότε απορρίφθηκαν χωρίς περεταίρω ανάλυση.

Σύμφωνα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά, λήφθηκαν εικόνες από τους δορυφόρους Landsat 8 και Aster, των οποίων η ποιότητα και η ποσότητα των δεδομένων ήταν ικανοποιητική, συγκριτικά με την εργασία επρόκειτο να διεκπεραιωθεί.

Στις παρακάτω ενότητες αναφέρονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των δορυφόρων για τους οποίους έγινε έρευνα, σύμφωνα με τις επίσημες ιστοσελίδες τους.

Πίνακας 3.1 Κατάλογος δορυφόρων εξοπλισμένοι με θερμικούς αισθητήρες

Όνομα	Επέκταση Ακρωνύμου	Αριθμός Καναλιών	Δορυφόρος	Κανάλια Θερμικού Υπερύθρου	Μήκη Κύματος Καναλιών (μm)	Χωρική Διακριτική Ικανότητα (m)
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer	14	Terra	10	8.125-8.475	90
				11	8.475-8.825	90
				12	8.925-9.275	90
				13	10.25-10.95	90
				14	10.95-11.65	90
ETM	Enhanced	8	Landsat 7	6	10.4-12.5	60

	Thematic Mapper					
TIRS	Thermal Infrared Sensor	2	Landsat 8	10	10.6-11.19	100
				11	11.5-12.51	100

3.4 Δορυφόρος Landsat 8

Ο δορυφόρος Landsat 8, είναι ο πιο πρόσφατος της αμερικανικής αποστολής Landsat ο οποίος εκτοξεύθηκε τις 11 Φεβρουαρίου του 2013 με τα πρώτα δεδομένα του να γίνονται διαθέσιμα τις 30 Μαΐου του 2013 και υπολογίζεται να συνεχίσει να αποστέλλει δεδομένα μέχρι και το 2028. Το 2020 προγραμματίζεται και η εκτόξευση του Landsat 9 (<https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-9/>).

Οι αποστολές Landsat ξεκίνησαν από το 1972 με τους δορυφόρους Landsat 1, 2 και 3, οι οποίοι ήταν ενεργοί μέχρι και το 1983. Τα δεδομένα που κατάφεραν να συλλέξουν υπήρξαν πολύ σημαντικά για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και ιδιαίτερα στις γεωεπιστήμες.

Η επόμενη γενιά δορυφόρων της Landsat εμφανίζεται με τους δορυφόρους Landsat 4 και 5. Ο Landsat 4 εκτοξεύθηκε το 1982 αλλά είχε παρουσιάσει προβλήματα με τα ηλεκτρονικά του και τέθηκε εκτός λειτουργίας το 1984 με τον Landsat 5 να παίρνει τη θέση του αμέσως μετά. Οι δορυφόροι αυτοί και ο μετέπειτα Landsat 7 είχαν επαναληπτικότητα 16 ημερών σε αντίθεση με την προηγούμενη γενιά που είχε 18, αυτό σημαίνει πως η τροχιά της πρώτης μέρας συνέπιπτε με την τροχιά της δέκατης-έκτης και συνεπώς σάρωναν την επιφάνεια της Γης σε μικρότερο χρονικό διάστημα.

Δύο ακόμη σημαντικά εργαλεία των αποστολών Landsat είναι το Σύστημα Πολυφασματικής Σάρωσης (Multispectral Scanning System, MSS), για τους Landsat 1, 2 και 3, και ο Θεματικός Χαρτογράφος (Thematic Mapper, TM), για τους Landsat 4, 5 και 7. Είναι πολυφασματικοί σαρωτές οι οποίοι, με ένα περιστρεφόμενο κάτοπτρο, ανακατευθύνουν την ακτινοβολία που λαμβάνουν προς τους αισθητήρες για να σαρώσουν γραμμές πάνω στην επιφάνεια της Γης. Ο TM, ή αλλιώς Θεματικός Χαρτογράφος, έχει την ίδια αρχή λειτουργίας όπως και ο MSS αλλά διαθέτει βελτιωμένα φασματικά και ραδιομετρικά χαρακτηριστικά. Έχει 7 ζώνες καταγραφής σε αντίθεση με τις 4 που διέθετε ο MSS και διαθέτει 256 διαβαθμίσεις του γκρι αντί για 128 (8-bit αντί για 7-bit) (Μερτίκας, 1999).

Ο Landsat 8 είναι εξοπλισμένος με δύο είδη αισθητήρων τον Operational Land Imager (OLI) και τον Thermal Infrared Sensor (TIRS). Μπορεί να παρατηρήσει μια περιοχή μήκους 185 χιλιομέτρων από Ανατολή προς Δύση και 170 χιλιομέτρων από Νότο προς Βορρά πάνω στη Γη, όπως και οι προηγούμενοι δορυφόροι Landsat 4, 5 και 7, με χωρική ανάλυση 15 ή 30 μέτρα (OLI) αλλά και 100 μέτρα (TIRS), παρέχοντας έτσι μεγάλη εδαφοκάλυψη με ικανή διαχωριστική ικανότητα. Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα χαρακτηριστικά του Landsat 8.

Κεφάλαιο 3: Ιστορική Αναδρομή και Επιλογή Δορυφορικών Δεδομένων

Πίνακας 3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του Landsat 8

Χαρακτηριστικά των Αισθητήρων του Δορυφόρου LANDSAT 8		
Επεξεργασία: Level 1 T		
Ζώνες:		
Όνομα Ζώνης	Μήκος Κύματος Ζώνης (μm)	Χωρική Ανάλυση (m)
Ζώνη 1 Coastal	0.43 – 0.45	30
Ζώνη 2 Blue	0.45 – 0.51	30
Ζώνη 3 Green	0.53 – 0.59	30
Ζώνη 4 Red	0.63 – 0.67	30
Ζώνη 5 NIR	0.85 – 0.88	30
Ζώνη 6 SWIR 1	1.57 – 1.65	30
Ζώνη 7 SWIR 2	2.11 – 2.29	30
Ζώνη 8 Pan	0.50 – 0.68	15
Ζώνη 9 Cirrus	1.36 – 1.38	30
Ζώνη 10 TIRS 1	10.60 – 11.19	30 (100)
Ζώνη 11 TIRS 2	11.50 – 12.51	30 (100)
Μέγεθος Εικονοστοιχείων	• OLI πολύ-φασματικές ζώνες 1-7,9: 30-μέτρα	
	• OLI παγχρωματική ζώνη 8: 15-μέτρα	
	• TIRS ζώνες 10-11: συλλέγονται στα 100 μέτρα αλλά γίνεται επαναδειγματοληψία στα 30 μέτρα για να ταιριάζουν με τις πολύ-φασματικές ζώνες του OLI	
Χαρακτηριστικά των Δεδομένων	• GeoTIFF format δεδομένων	
	• Προσανατολισμός εικόνων προς το Βορρά	
	• Μερκατορική προβολή χάρτη (UTM, Πολική Στερεογραφική Προβολή για την Ανταρκτική)	
	• Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (WGS) 84	
	• Ραδιομετρική διαχωριστική ικανότητα 16-bit	

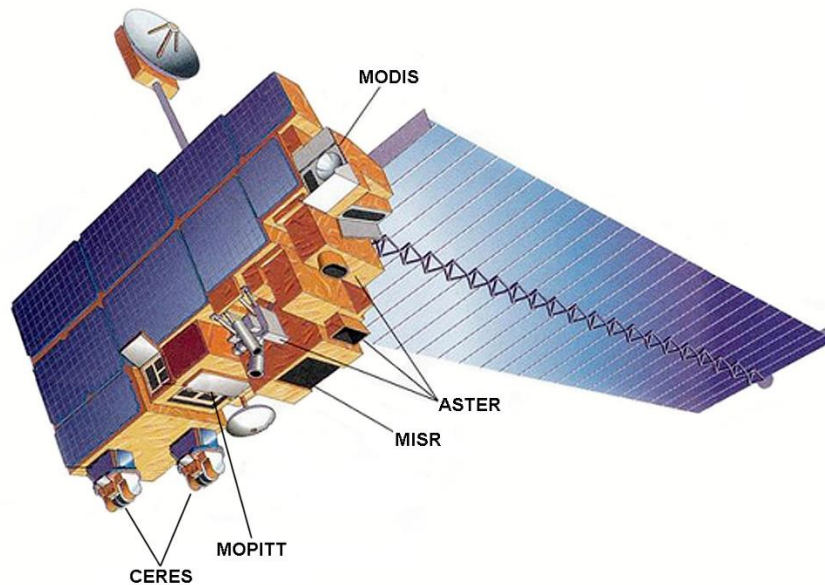
Ο αισθητήρας OLI συλλέγει εικόνες χρησιμοποιώντας 9 διαφορετικές φασματικές ζώνες σε ξεχωριστά μήκη κύματος του ορατού φάσματος, Near Infrared (NIR) και του εγγύς υπερύθρου (Short Wave Infrared (SWIR)). Σε αυτές τις ζώνες είναι διακριτές λεπτομέρειες όπως αστικά κέντρα, αγροκτήματα, δάση και άλλα σημεία ενδιαφέροντος.

Η προσθήκη του TIRS θεωρήθηκε αναγκαία όταν παρατηρήθηκε πως η παροχή νερού μιας χώρας βασίζεται στις ακριβείς μετρήσεις θερμικής ενέργειας που εκπέμπεται από τη Γη, μέσω των προκατόχων του (Landsat 5 & 7), για να παρατηρηθεί ο τρόπος χρήσης νερού και εδάφους. Η ανάλυση αυτών των αισθητήρων είναι πιο μικρή (100 μέτρα), αλλά, όπως θα περιγραφεί αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο, γίνεται επαναδειγματοληψία της εικόνας στα 30 μέτρα για να μπορούν να ταιριάζουν οι εικόνες αυτές με τις εικόνες του OLI.

Ο δορυφόρος ολοκληρώνει μία τροχιά του γύρω από τη Γη κάθε 99 λεπτά σε υψόμετρο 705 χιλιομέτρων. Επιστρέφει στο ίδιο σημείο στη Γη, την ίδια στιγμή της ημέρας κάθε 16 μέρες. Επιπλέον συλλέγει περίπου 400 εικόνες κάθε μέρα οι οποίες αντιστοιχούν περίπου σε 400 GB δεδομένων ανά ημέρα, όλα τα δεδομένα γίνονται διαθέσιμα στο κοινό εντός 24 ωρών.

3.5 Ο δορυφόρος ASTER

Ο δορυφόρος ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) εκτοξεύθηκε τις 18 Δεκεμβρίου του 1999 και είναι ένας πολυφασματικός δορυφόρος, με 14 φασματικές ζώνες, που μπορεί να λαμβάνει εικόνες με χωρική ανάλυση 15 μέτρων για το ορατό φάσμα (πράσινο και κόκκινο) και το εγγύς υπέρυθρο (Near Infrared, NIR), 30 μέτρων για το μικροκυματικό υπέρυθρο (Short-Wave Infrared, SWIR) και 90 μέτρων για το θερμικό υπέρυθρο (Thermal Infrared, TIR). Τα δεδομένα που παρέχει χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία λεπτομερών χαρτών θερμοκρασίας, ανακλαστικότητας και Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους (DEM, Digital Elevation Models) της επιφάνειας της Γης. (Σχήμα 3.1)



Σχήμα 3.1 Δορυφόρος του ASTER, καλλιτεχνική απόδοση (NASA)

Πίνακας 3.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά του ASTER 1/2

Χαρακτηριστικά του Αισθητήρα του Δορυφόρου ASTER			
Ημερομηνία Εκτόξευσης	18 Δεκεμβρίου 1999 στο Vandenberg Air Force Base, California, USA		
Διασταύρωση με τον Ισημερινό	10:30 π.μ. (Βορρά προς Νότο)		
Τροχιά	705 χιλιόμετρα υψόμετρο, συγχρονισμένη με τον Ήλιο		
Περίοδος Τροχιάς	98.88 λεπτά		
Επανάληψη εικονοληψίας για το ίδιο σημείο	16 ημέρες		
Ανάλυση	15 έως 90 μέτρα		
Ο ASTER έχει 14 φασματικές ζώνες για συλλογή δεδομένων			
Σύστημα	VNIR	SWIR	TIR
Ζώνες	1 – 3	4 – 9	10 – 14
Χωρική Ανάλυση	15 μέτρα	30 μέτρα	90 μέτρα
Bits	8	8	12

Κεφάλαιο 3: Ιστορική Αναδρομή και Επιλογή Δορυφορικών Δεδομένων

Οι δορυφορικές εικόνες του ASTER συνεισφέρουν και στη συλλογή δεδομένων περιβαλλοντικών αλλαγών όπως τη δυναμική βλάστησης και οικοσυστημάτων, παρακολούθηση κινδύνων, γεωλογία και εδαφική κάλυψη, κλιματολογία, υδρολογία και μεταβολές εδαφικών εκτάσεων.

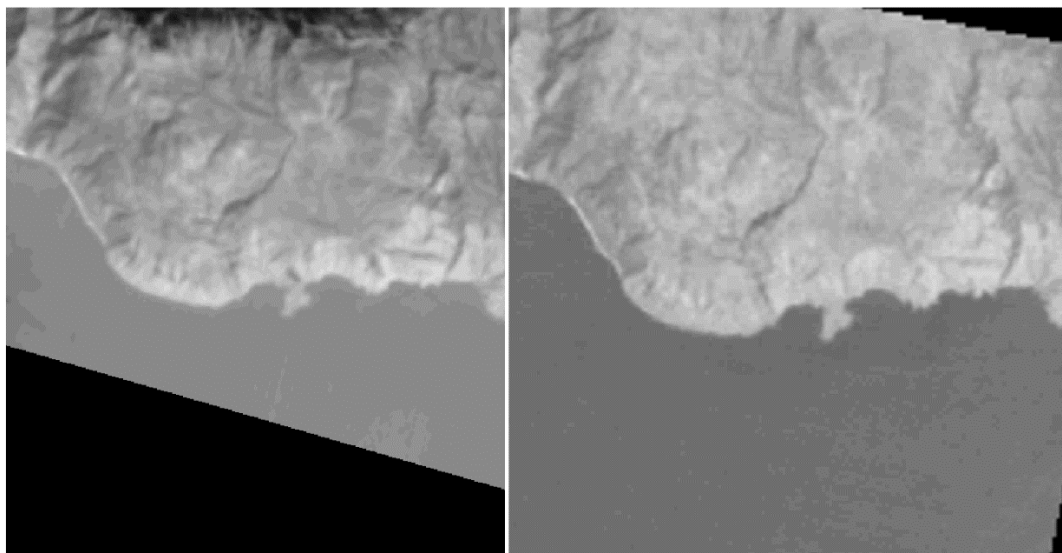
Πίνακας 3.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά του ASTER 2/2

Ζώνες ASTER			
Ζώνη	Ονομασία	Μήκος Κύματος Ζώνης (μm)	Ανάλυση (m)
B1	VNIR_Band1	0.52 – 0.60	15
B2	VNIR_Band2	0.63 – 0.69	15
B3	VNIR_Band3N	0.76 – 0.86	15
B4	VNIR_Band3B	0.76 – 0.86	15
B5	SWIR_Band4	1.60 – 1.70	30
B6	SWIR_Band5	2.145 – 2.185	30
B7	SWIR_Band6	2.185 – 2.225	30
B8	SWIR_Band7	2.235 – 2.285	30
B9	SWIR_Band8	2.295 – 2.365	30
B10	SWIR_Band9	2.36 – 2.43	30
B11	TIR_Band10	8.125 – 8.475	90
B12	TIR_Band11	8.475 – 8.825	90
B13	TIR_Band12	8.925 – 9.275	90
B14	TIR_Band13	10.25 – 10.95	90
B15	TIR_Band14	10.95 – 11.65	90

3.6 Διάκριση κι Επιλογή Δορυφόρων

Λαμβάνοντας υπόψη, τα παραπάνω δεδομένα για τους δορυφόρους στη συνέχεια γίνεται λήψη μερικών εικόνων από τον κάθε ένα στο θερμικό φάσμα και συγκρίνονται μεταξύ τους. Η ποιότητα των εικόνων που προέκυψαν και στις δύο εικόνες, έδειξε πως οι εικόνες του ASTER είχαν καλύτερη χωρική ανάλυση από του Landsat 8, οπότε και τελικά επιλέχθηκαν.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2, η εικόνα του Landsat 8 εμφανίζεται ελαφρώς πιο θολή συγκριτικά με του ASTER, πράγμα που μπορεί να συμβαίνει είτε λόγω χειρότερης χωρικής διακριτικής ικανότητας (ο Landsat 8 διαθέτει εικονοστοιχεία μεγέθους 100 μέτρων ενώ ο ASTER αντίστοιχα, 90 μέτρων) είτε λόγω της επαναδειγματοληψίας που γίνεται στην εικόνα, για να προσαρμοστεί από τα αρχικά 100 μέτρα στα 30 μέτρα.



Σχήμα 3.2 Σύγκριση ποιότητας ανάλυσης εικόνας Landsat 8 (αριστερά, δίαυλος 10) με εικόνα ASTER (δεξιά, δίαυλος 14)

Για την επεξεργασία των εικόνων είναι απαραίτητο να ακολουθηθούν κάποια βασικά βήματα τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικότερα στο επόμενο Κεφάλαιο.

Συγκεκριμένα, η επεξεργασία των εικόνων γίνεται ως εξής. Αρχικά πραγματοποιείται μετατροπή των εντάσεων των εικονοστοιχείων σε τιμές θερμοκρασίας, όπως αυτή ορίζεται στο εγχειρίδιο του ASTER, απομονώνονται οι περιοχές που έχουν επιλεγεί και αποκόπτονται ως ξεχωριστές εικόνες, οι οποίες στη συνέχεια επεξεργάζονται εφαρμόζοντας πίνακες αντιστοιχίας (colormaps) και, ελέγχοντας ξεχωριστά κάθε μία από τις εικόνες, παρατηρείται η ύπαρξη ή μη διαφοροποίησης της θερμοκρασίας της θαλάσσιας επιφάνειας.

Εφόσον όντως παρατηρηθούν διαφορές σημειώνεται η ώρα και η ημερομηνία που πραγματοποιήθηκε η λήψη της εικόνας από το δορυφόρο, ως μέτρο σύγκρισης, για την επιβεβαίωση αν πρόκειται για πραγματική διαφορά θερμοκρασίας από ανάμιξη του θαλασσινού νερού με υπόγειες πηγές γλυκού νερού, ή σφάλμα που να οφείλεται σε κακή ανάλυση της εικόνας ή και λήψη της εικόνας σε ώρα όπου δεν εμφανίζονται εξίσου καλά οι θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ τους.

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε ανάλυση και σύγκριση των συστημάτων που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή αυτής της διπλωματικής εργασίας. Στα επόμενα κεφάλαια θα γίνει αναλυτική παρουσίαση της διαδικασίας επεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων και των δεδομένων του UAV καθώς και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν μετά την επεξεργασία τους.

Κεφάλαιο 4: Επεξεργασία δορυφορικών εικόνων

4.1 Επεξεργασία και Παρουσίαση Δεδομένων

Στη συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων, τα αποτελέσματα της επεξεργασίας καθώς και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Για την επιτυχή επεξεργασία των εικόνων του δορυφόρου ASTER στο θερμικό υπέρυθρο φάσμα είναι απαραίτητο να ακολουθηθούν συγκεκριμένα βήματα τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω :

- Ανάγνωση των δεδομένων από HDF (Hierarchical Data Format) αρχεία. Πρόκειται για συμπιεσμένα αρχεία τα οποία περιέχουν επιστημονικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται στις περιβαλλοντικές επιστήμες, μη καταστρεπτικές δοκιμές, διασπορά νετρονίων και αεροδιαστημικές εφαρμογές
- Μετατροπή των εντάσεων των εικονοστοιχείων σε θερμοκρασίες.

Για τη μετατροπή των δεδομένων των εικόνων σε πραγματικές θερμοκρασίες, χρειάζεται η ανάγνωση συγκεκριμένων δεδομένων από το ειδικό εγχειρίδιο του ASTER και η ακολουθία μιας σειράς υπολογισμών.

Αρχικά γίνεται μετατροπή των ψηφιακών τιμών των εικόνων σε τιμές φασματικής ακτινοβολίας (L_{radj}) με τη χρήση των σταθερών UCC (συντελεστής μετατροπής μονάδων) και εφαρμόζοντας τη σχέση : $L_{\text{radj}} = (DN_j - 1) * UCC_j$, όπου το j αντιστοιχεί στον αριθμό της φασματικής ζώνης. Τα μέτρα L_{radj} και UCC έχουν τις ίδιες μονάδες μέτρησης ($W * m^{-2} * sr^{-1} * \mu m^{-1}$).

Μετατροπή των τιμών φωτεινότητας σε τιμές θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας την εξίσωση του Planck :

$$B_{\lambda}(T) = \frac{C_1}{\lambda^5 * (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)} \quad (4.1)$$

όπου οι τιμές C_1 και C_2 δίνονται ως σταθερές, με μονάδες μέτρησης $W * m^2$ και $m * K$ αντίστοιχα. Η σχέση 4.1 μετασχηματίζεται ως εξής :

$$T = \frac{C_2}{\lambda \ln \left[\frac{C_1}{\lambda^5 B_\lambda(T)} + 1 \right]}$$

(4.2)

και αν τεθούν $K_1 = C_1/\lambda^5$, $K_2 = C_2/\lambda$ και $B_\lambda(T) = L_\lambda$ η μετρούμενη ένταση ακτινοβολίας του δορυφόρου τότε η σχέση 4.2 μετατρέπεται στην απλοποιημένη της μορφή

$$T = \frac{K_2}{\ln \left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1 \right)}$$

(4.3)

Έτσι οι σταθερές K_1 και K_2 μετατρέπονται σε μεταβλητές που εξαρτώνται μόνο από το μήκος κύματος του αισθητήρα ενός δορυφόρου και είναι δυνατόν να αντικατασταθούν οι κατάλληλες τιμές για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του κάθε εικονοστοιχείου.

- Εφαρμογή μάσκας εδάφους στις εικόνες (Σχήμα 4.4).

Μάσκα εφαρμόζεται στις εικόνες, στις περιπτώσεις που χρειάζεται να κρυφτούν συγκεκριμένες τιμές οι οποίες υπάρχουν ως περιττές πληροφορίες στην εικόνα.

Η μάσκα εδάφους ονομάζεται έτσι καθώς στην εφαρμογή της μηδενίζει, όταν εφαρμοστεί σωστά, όλες τις τιμές φωτεινότητας του εδάφους. Το σκεπτικό το οποίο ακολουθείται για την εφαρμογή μιας τέτοιας μάσκας στηρίζεται στον τρόπο με τον οποίο δομούνται τα ιστογράμματα των εικόνων.

Στα ιστογράμματα των θερμικών εικόνων υπάρχει σαφής διαχωρισμός των εικονοστοιχείων που αντιστοιχούν σε έδαφος από τα εικονοστοιχεία που αντιστοιχούν σε νερό (σχήμα 4.1). Η καμπύλη που αντιπροσωπεύει τα εικονοστοιχεία που απαρτίζουν το νερό, βρίσκεται στις πιο χαμηλές φωτεινότητες ενώ η καμπύλη που αντιπροσωπεύει τα εικονοστοιχεία του εδάφους βρίσκεται στις υψηλότερες τιμές φωτεινότητας. Αυτό συμβαίνει λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ τους.

Μερικές φορές τα δεδομένα ενός ιστογράμματος συσσωρεύονται σε μία περιοχή του γραφήματος. Συνεπώς, σε τέτοιες περιπτώσεις απαραίτητη είναι η εφαρμογή μιας διόρθωσης που ονομάζεται γραμμική επέκταση του ιστογράμματος. Κατά τη γραμμική επέκταση ενός ιστογράμματος επιλέγονται οι δύο ακραίες τιμές των δεδομένων έντασης (μέγιστη και ελάχιστη), οι οποίες μεταφέρονται μαθηματικά στα άκρα 0 και το μέγιστο άκρο σύμφωνα με τη ραδιομετρική διαχωριστική ικανότητα της εικόνας (16 bit για τον ASTER) του νέου διαγράμματος που προκύπτει. Με τον τρόπο αυτό όλα τα δεδομένα που βρίσκονται μεταξύ των δύο ακραίων αυτών τιμών γίνονται πολύ πιο ευανάγνωστα με τη

δυνατότητα και του εντοπισμού του σημείου διαχωρισμού μεταξύ εδάφους και νερού.

Ακολουθάται διαδικασία η οποία εκμηδενίζει τις τιμές φωτεινότητας όλων των εικονοστοιχείων πάνω από μία τιμή φωτεινότητας, στην οποία υπάρχει καθαρός διαχωρισμός μεταξύ νερού με του εδάφους στο ιστόγραμμα, και δίνει τιμή 1 στα εικονοστοιχεία της θάλασσας. Τελικά, για να εφαρμοστεί η μάσκα εδάφους που δημιουργήθηκε, πολλαπλασιάζεται με τις αρχικές εικόνες, με αποτέλεσμα όλα τα εικονοστοιχεία που αντιστοιχούν σε έδαφος να εμφανίζονται ως μαύρα και του νερού να εμφανίζονται αναλλοίωτα. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται σχηματικά στα σχήματα 4.2, 4.3 και 4.4.

Η μάσκα εδάφους χρησιμεύει διότι, εάν εφαρμοστεί σωστά, μηδενίζει όλες τις τιμές του εδάφους και επιτρέπει την εμφάνιση μόνο των τιμών της θάλασσας, οι οποίες στη συνέχεια γίνονται πιο ευδιάκριτες για το ανθρώπινο μάτι και επιτρέπει την ακριβή εμφάνιση των εικονοστοιχείων που πρόκειται να επεξεργαστούν.

Κατάλληλη αποθήκευση των εικόνων χωρίς απώλειες ποιότητας για την καλύτερη μεγέθυνση και ευκρίνεια των περιοχών ενδιαφέροντος.

- Εφαρμογή πινάκων αντιστοιχίας στις τελικές εικόνες για μεγαλύτερη ευκολία στην οπτική ερμηνεία των εικόνων που προκύπτουν.
- Συρραφή μιας εικόνας υποβάθρου με τις εικόνες που προκύπτουν από τις παραπάνω διαδικασίες για τη δημιουργία εικόνων που επιτρέπουν την καλύτερη κατανόηση των υπό μελέτης περιοχών.

Για το τελικό αυτό βήμα είναι η απαραίτητη η χρήση σημείων ελέγχου (Ground Control Points, GCPs) που θα χρησιμοποιηθούν για να ενωθούν οι επεξεργασμένες εικόνες μας με μία εικόνα υποβάθρου. Ο αλγόριθμος μετακινεί και περιστρέφει την εικόνα που βρίσκεται σε πρώτο πλάνο (οι επεξεργασμένες εικόνες) για να την τοποθετήσει (register) στην εικόνα υποβάθρου πάνω στα σημεία που έχουν επιλεγεί. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται ονομάζεται Προβολικός Μετασχηματισμός (Projective), είναι γεωμετρικός μετασχηματισμός και συνιστά την επιλογή τουλάχιστον τεσσάρων σημείων.

Ο προβολικός μετασχηματισμός ορίζεται ως εξής:

$$x = \frac{a_{11}X + a_{12}Y + a_{13}}{a_{31}X + a_{32}Y + 1} \quad y = \frac{a_{21}X + a_{22}Y + a_{23}}{a_{31}X + a_{32}Y + 1} \quad (4.4)$$

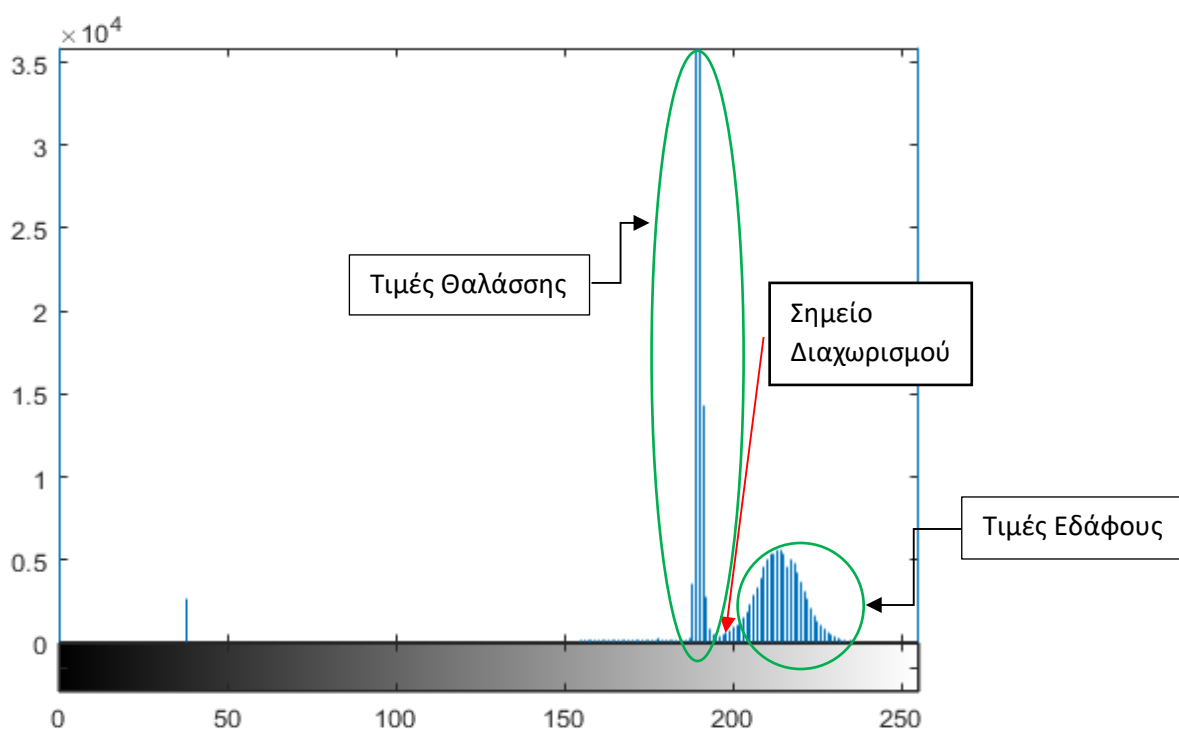
με τις οποίες συνδέονται οι χωρικές συντεταγμένες XY με τις εικονοσυντεταγμένες xy. Ο μετασχηματισμός αυτός είναι αμφιμονοσήμαντος, λειτουργεί δηλαδή και για

τη μετάβαση από εικονοσυντεταγμένες σε χωρικές συντεταγμένες. Οι συντελεστές μετασχηματισμού a κατατάσσονται σε πίνακα 3×3 ως εξής:

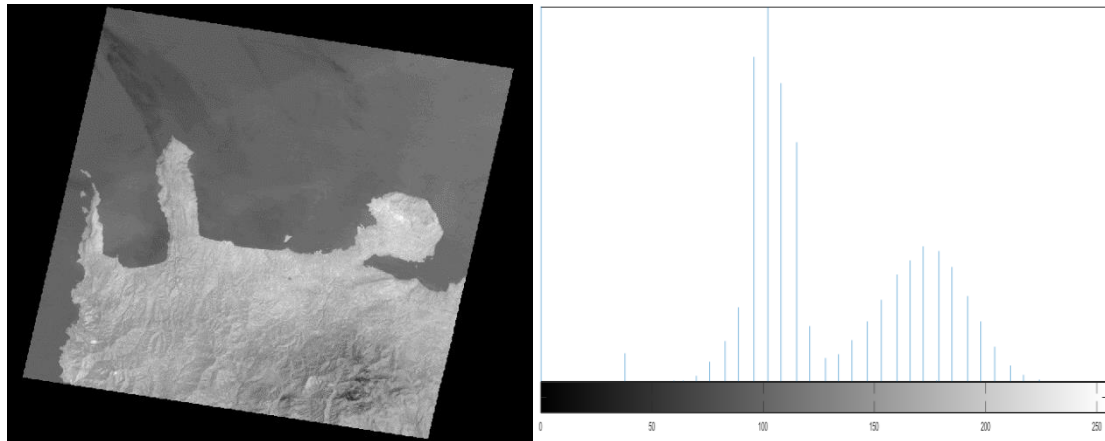
$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} \\ a_{13} & a_{23} & 1 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Μετά την ανάγνωση των δεδομένων, επόμενο βήμα είναι η εφαρμογή ατμοσφαιρικής διόρθωσης, σύμφωνα με το εγχειρίδιο του ASTER. Εδώ ορίζονται οι κατάλληλες σταθερές (K1 και K2) και οι συντελεστές μετατροπής (UCC) για τον κάθε αισθητήρα, τα δεδομένα των οποίων και πάλι λαμβάνονται από το εγχειρίδιο του ASTER, και στη συνέχεια υπολογίζονται οι τιμές της φασματικής φωτεινότητας (L). Υπό κανονικές συνθήκες θα χρειαζόταν και ο υπολογισμός της διόρθωσης για διαθλάσεις λόγω της ατμόσφαιρας και της επιφάνειας της Γης, αλλά για τους συγκεκριμένους αισθητήρες δε δίνονται τιμές για τέτοιους υπολογισμούς.

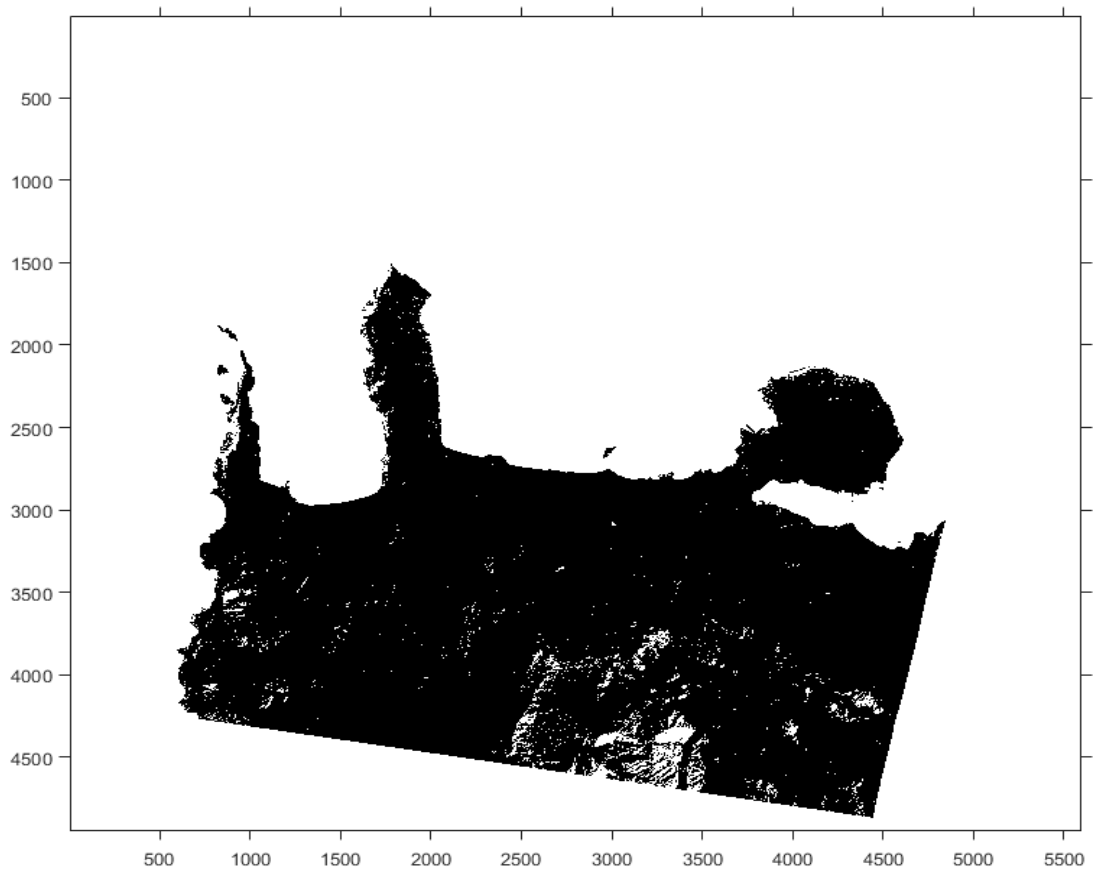
Μετά από αυτή την επεξεργασία δημιουργούνται 5 εικόνες για τις 5 φασματικές ζώνες του ASTER στο Θερμικό Υπέρυθρο (TIR) φάσμα, των οποίων οι τιμές έντασης έχουν μετατραπεί πλέον σε τιμές θερμοκρασίας.



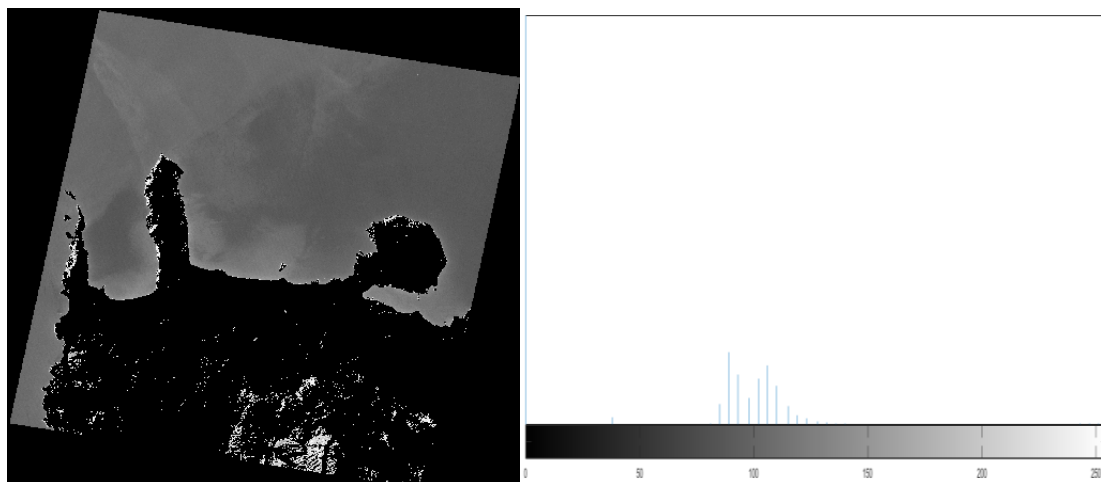
Σχήμα 4.1 Ιστόγραμμα θερμικής εικόνας όπου υπάρχει σαφής διαχωρισμός εικονοστοιχείων εδάφους και νερού.



Σχήμα 4.2 Εικόνα πριν την εφαρμογή της μάσκας, με το ιστόγραμμα της



Σχήμα 4.3 Η μάσκα που χρησιμοποιήθηκε για την αποκοπή των εικονοστοιχείων της ξηράς



Σχήμα 4.4 Θερμική εικόνα στην οποία έχει εφαρμοστεί μάσκα εδάφους, με το ιστόγραμμα της

Στη συνέχεια, για την απομόνωση συγκεκριμένων περιοχών πάνω στις εικόνες και για την επιτυχή εγγραφή τους, γίνεται περικοπή της κάθε εικόνας για να γίνει εστίαση στις περιοχές ενδιαφέροντος.

Επόμενο βήμα της επεξεργασίας είναι η κοπή των εικόνων στις περιοχές ενδιαφέροντος και η χρήση των κατάλληλων πινάκων αντιστοιχίας, που επιτρέπουν την καλύτερη ανάγνωση των δεδομένων των εικόνων. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται δύο πίνακες αντιστοιχίας, των οποίων τα χρώματα θα εμφανίζονται στο πλάι των εικόνων, αλλά κατασκευάστηκε και ένας νέος πίνακας αντιστοιχίας τιμών του γκρι (grayscale) μέσω κατάτμησης ιστογράμματος, με μικρότερο πλήθος τιμών, στην προσπάθεια να εμφανιστούν θερμοκρασιακές μεταβολές που θα μπορούσαν να περάσουν απαρατήρητες με τη χρήση παραπάνω χρωμάτων.

Απαραίτητη είναι επίσης και η κατάλληλη αποθήκευση των εικόνων που προκύπτουν από την επεξεργασία, καθώς υπάρχει απώλεια ευκρίνειας λόγω συμπίεσής τους. Κατά την αποθήκευση μιας εικόνας σε κάποια μορφή (όπως .jpg και .bmp) η εικόνα συμπιέζεται ελαφρώς με συνέπεια την απώλεια κάποιων στοιχείων της. Αυτό το στοιχείο μπορεί να επηρεάσει τη μετέπειτα εμφάνιση των δεδομένων αποτρέποντας τη βέλτιστη ανάγνωσή τους.

Οι παρακάτω εικόνες (4.5 και 4.6) δείχνουν τη σημαντική διαφορά μεταξύ αποθηκευμένων εικόνων με και χωρίς απώλειες συμπίεσης.



Σχήμα 4.5 Εικόνα ASTER αποθηκευμένη ως native (χωρίς απώλειες συμπίεσης)



Σχήμα 4.6 Εικόνα αποθηκευμένη με εμφανείς απώλειες λόγω συμπίεσης

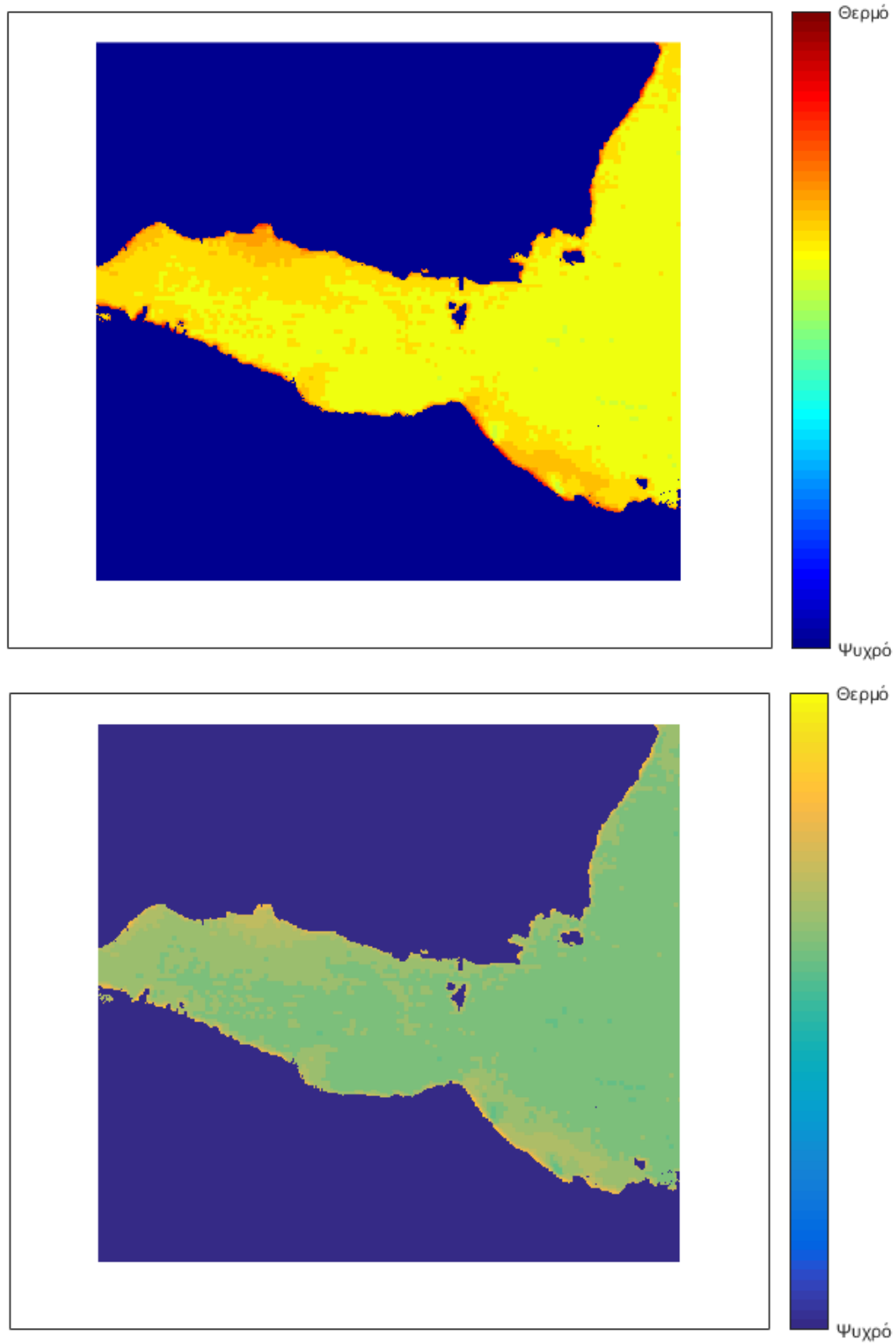
Από τη στιγμή που κατασκευαστούν οι εικόνες και εφαρμοστούν οι κατάλληλοι πίνακες αντιστοιχίας, επόμενο βήμα είναι η επιλογή σημείων ελέγχου, ώστε ο αλγόριθμος να μπορέσει να εγγράψει τις εικόνες με την εικόνα υποβάθρου που έχει οριστεί στην αρχή της επεξεργασίας. Εφόσον όμως, στην προκειμένη περίπτωση είναι απαραίτητη η λειτουργία σε υψηλές τιμές μεγέθυνσης, ήταν απαραίτητη η χρήση επιπλέον κώδικα για την επιτυχή αποθήκευση της εικόνας στην αρχική της ανάλυση, χωρίς απώλειες.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται χειροκίνητη επιλογή των κοινών σημείων μεταξύ των εικόνων. Ο αλγόριθμος που εφαρμόζεται συνιστά 4 τουλάχιστον σημεία αλλά μετά από πολλές δοκιμές, φάνηκε πως για καλύτερα αποτελέσματα εγγραφής των εικόνων προτιμητέα είναι η επιλογή τουλάχιστον 10-15 σημείων.

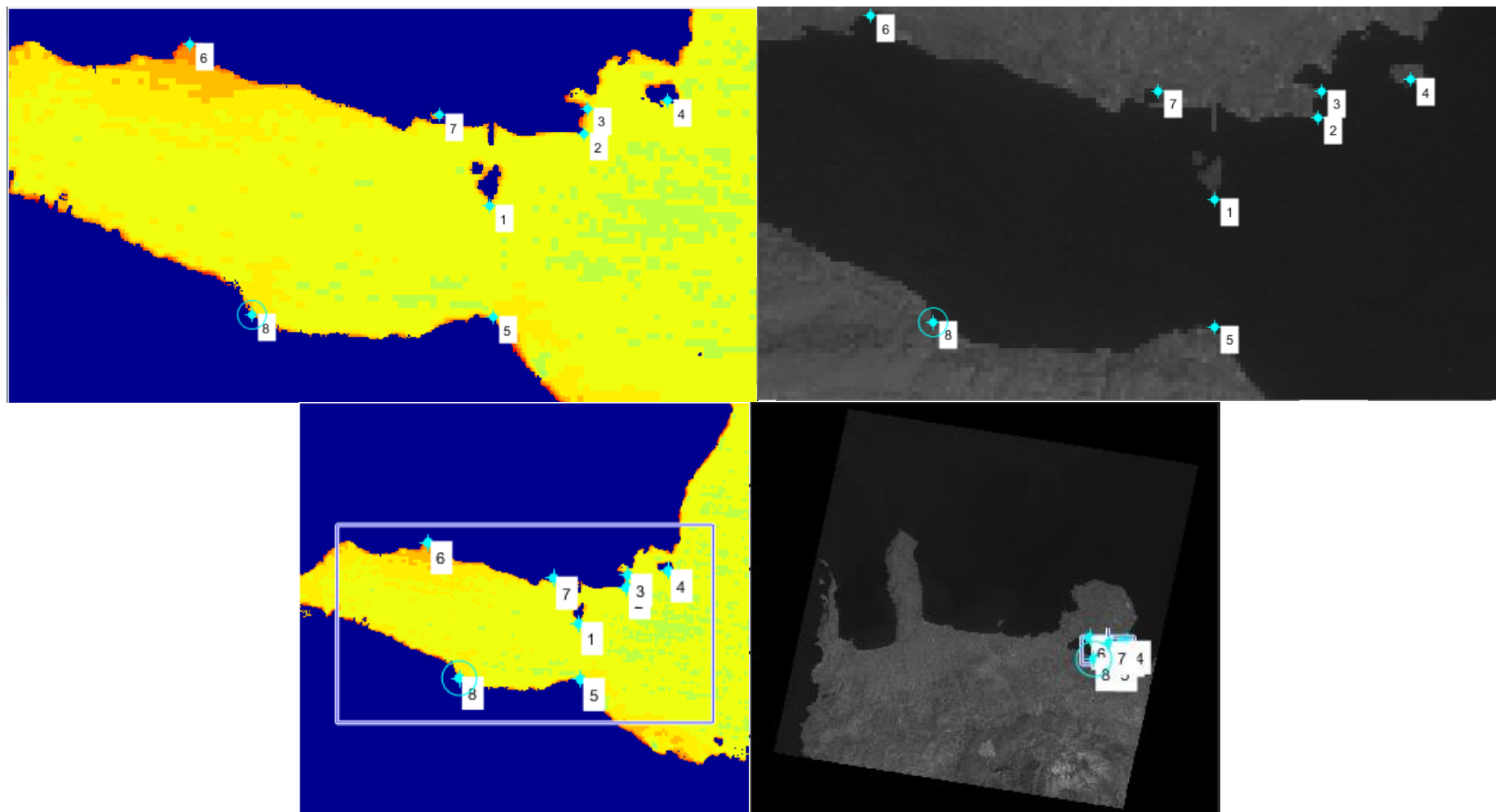
Στα παρακάτω σχήματα (4.7 – 4.9) εμφανίζονται οι εικόνες με εφαρμοσμένες τις χρωματικές κλίμακες που αναφέρθηκαν παραπάνω και εμφανίζεται και το παράθυρο για την επιλογή των σημείων ελέγχου.



Σχήμα 4.7 Εικόνα με, κατασκευασμένο από το χρήστη, πίνακα αντιστοιχίας

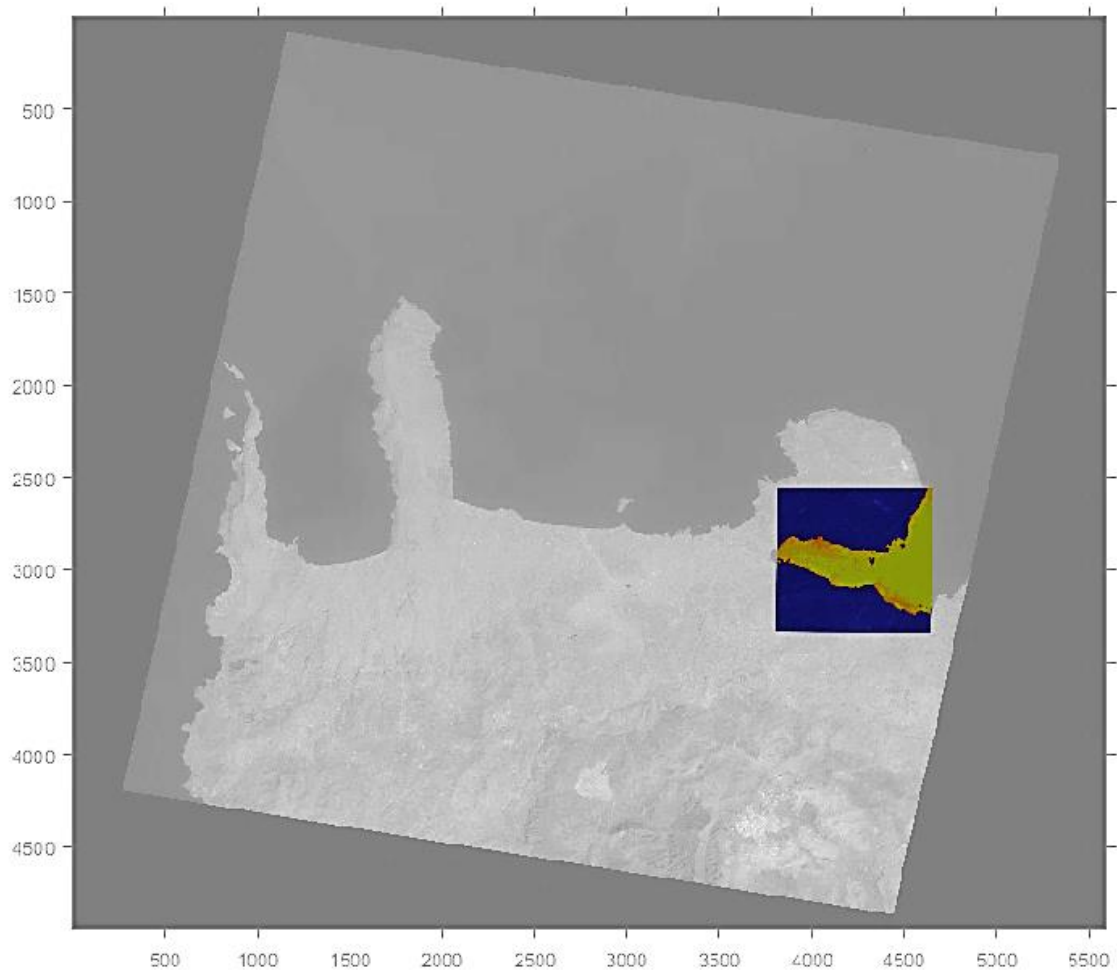


Σχήμα 4.8 Εικόνες με διαφορετικούς πίνακες αντιστοιχίας

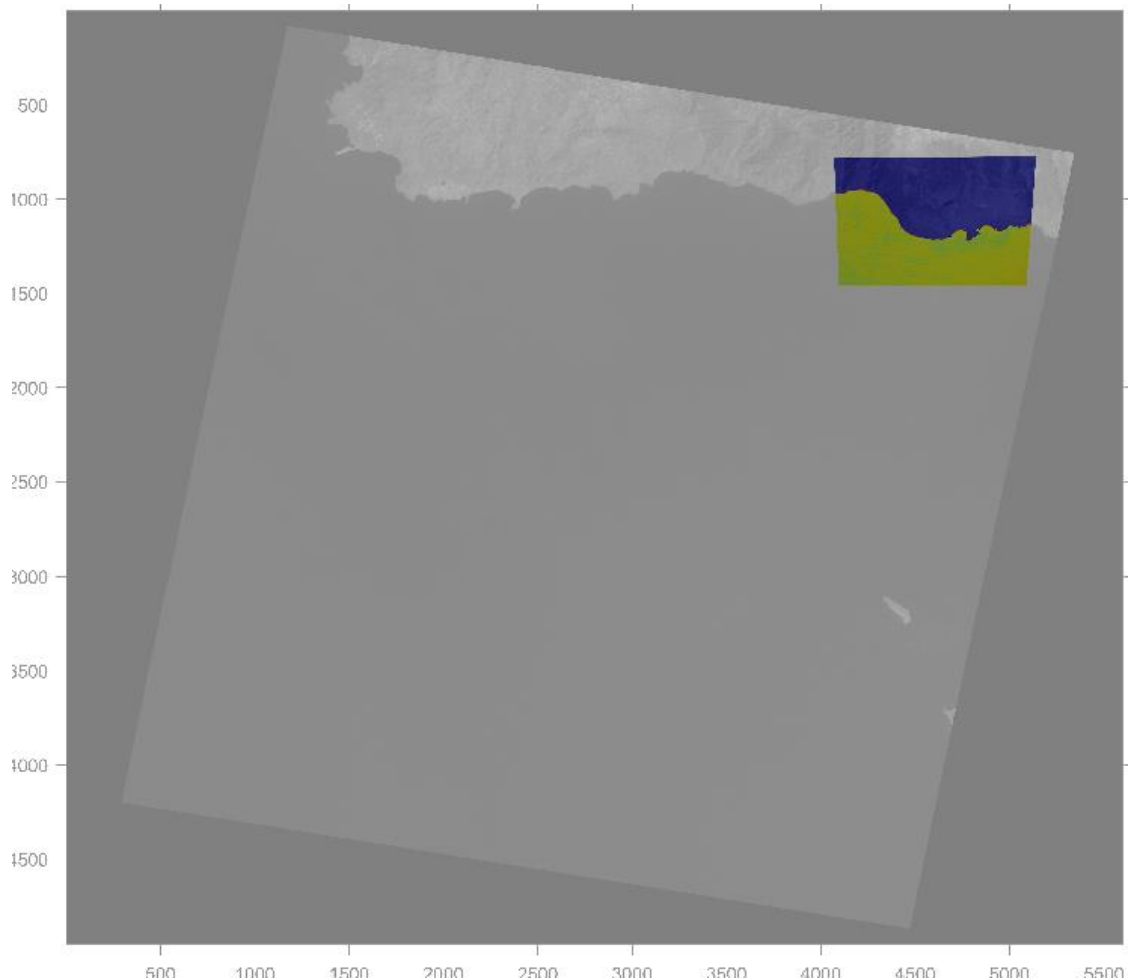


Σχήμα 4.9 Εισαγωγή των σημείων ελέγχου (Control Points)

Τέλος με τη σωστή εφαρμογή της παραπάνω διαδικασίας, ο αλγόριθμος εγγράφει τις εικόνες με την κατάλληλη περιστροφή και αλλαγή μεγέθους, δημιουργώντας έτσι μια νέα εικόνα που αποτελείται από την ένωση της εικόνας υποβάθρου με την επεξεργασμένη εικόνα (Σχήματα 4.10 και 4.11).



Σχήμα 4.10 Εικόνα υποβάθρου συγχωνευμένη με μία επεξεργασμένη εικόνα του ASTER (Πρώτη Περιοχή, Κυανή Ακτή, Ν. Χανίων)



Σχήμα 4.11 Εικόνα υποβάθρου συγχωνευμένη με μία επεξεργασμένη εικόνα του ASTER (Δεύτερη Περιοχή, Γλυκά Νερά, Σφακιά, Ν. Χανίων)

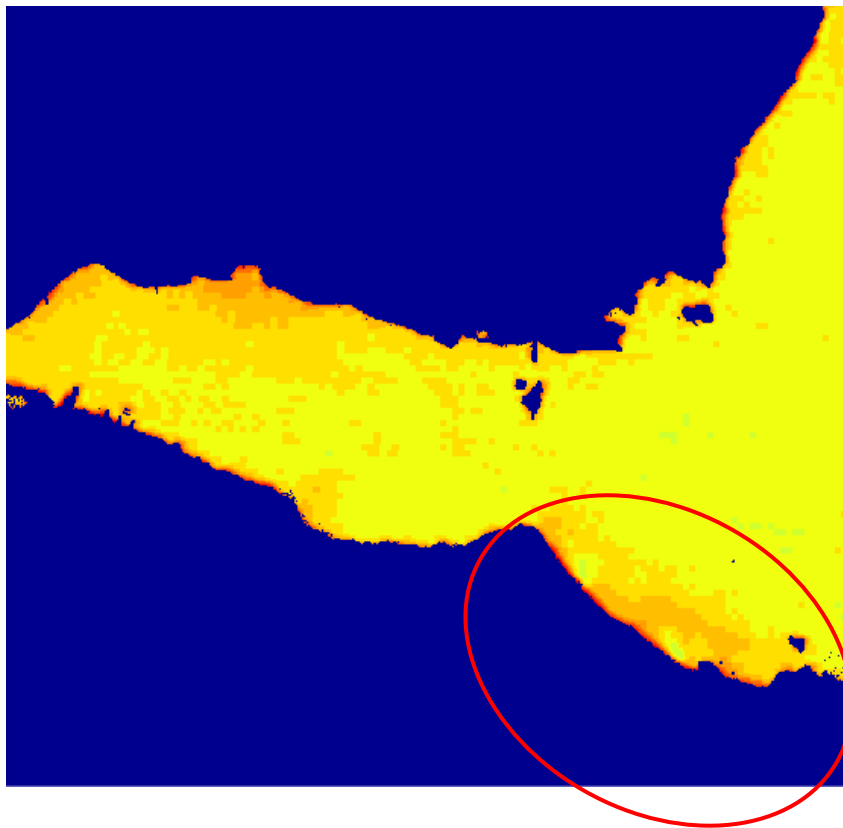
4.2 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα

Μετά την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων, είναι δυνατόν τελικά να παρουσιαστούν και να παραχθούν τα αντίστοιχα συμπεράσματα. Αρχικά θα αναλυθεί η περιοχή της Κυανής Ακτής και στη συνέχεια η περιοχή των Γλυκών Νερών κοντά στα Σφακιά.

Για εξοικονόμηση χώρου δεν θα εμφανιστούν όλες οι εικόνες που προέκυψαν από την επεξεργασία αλλά μόνο αυτές με τις πιο ευδιάκριτες θερμοκρασιακές διαφορές. Παρακάτω αναλύονται τα αποτελέσματα.



Σχήμα 4.12 Περιοχή της Σούδας με ασπρόμαυρο πίνακα αντιστοιχίας



Σχήμα 4.13 Περιοχή της Σούδας με τον πίνακα αντιστοιχίας jet

Από τις παραπάνω εικόνες φαίνεται, στη σημειωμένη περιοχή, μια εμφανής διαφορά θερμοκρασίας κοντά στην ακτή. Η συγκεκριμένη εικόνα λήφθηκε τις 15 Απριλίου του 2016, που θα μπορούσε να δικαιολογήσει τη διαφορά θερμοκρασίας του πιο ψυχρού νερού της θάλασσας με το πιο θερμό νερό να εισέρχεται μέσω της στεριάς. Αυτό εξηγείται σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο σχετικά με τις θερμοκρασιακές μεταβολές του νερού κατά τη διάρκεια του έτους. Δηλαδή το υπόγειο νερό διατηρεί μια περίπου σταθερή θερμοκρασία όλο το χρόνο, γύρω στους 18 °C, και η θερμοκρασία του νερού της θάλασσας μεταβάλλεται όλο το χρόνο ανάλογα με την εποχή.

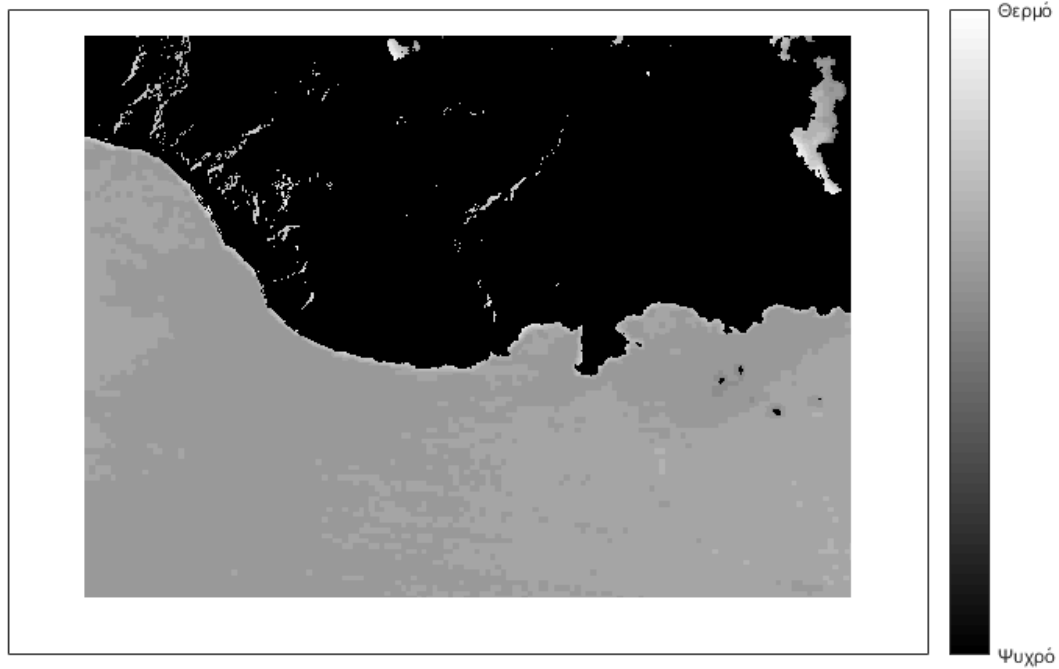
Άλλη πιθανή εξήγηση για την αυξημένη θερμοκρασία που εμφανίζεται στην περιοχή, θα μπορούσε να είναι ένα είδος μόλυνσης στο νερό, σημείο δηλαδή που διοχετεύονται απορρίμματα παράνομα ή συγκεντρώνονται στην περιοχή εξαιτίας των καραβιών μέσω ρευμάτων.

Επίσης μπορούμε να παρατηρήσουμε πως στην εικόνα με τον ασπρόμαυρο πίνακα αντιστοιχίας δε φαίνονται καλά οι διαφοροποιήσεις μέσα στην περιοχή, πράγμα το οποίο οφείλεται στο μικρότερο πλήθος χρωμάτων από τα οποία αποτελείται ο πίνακας αντιστοιχίας.

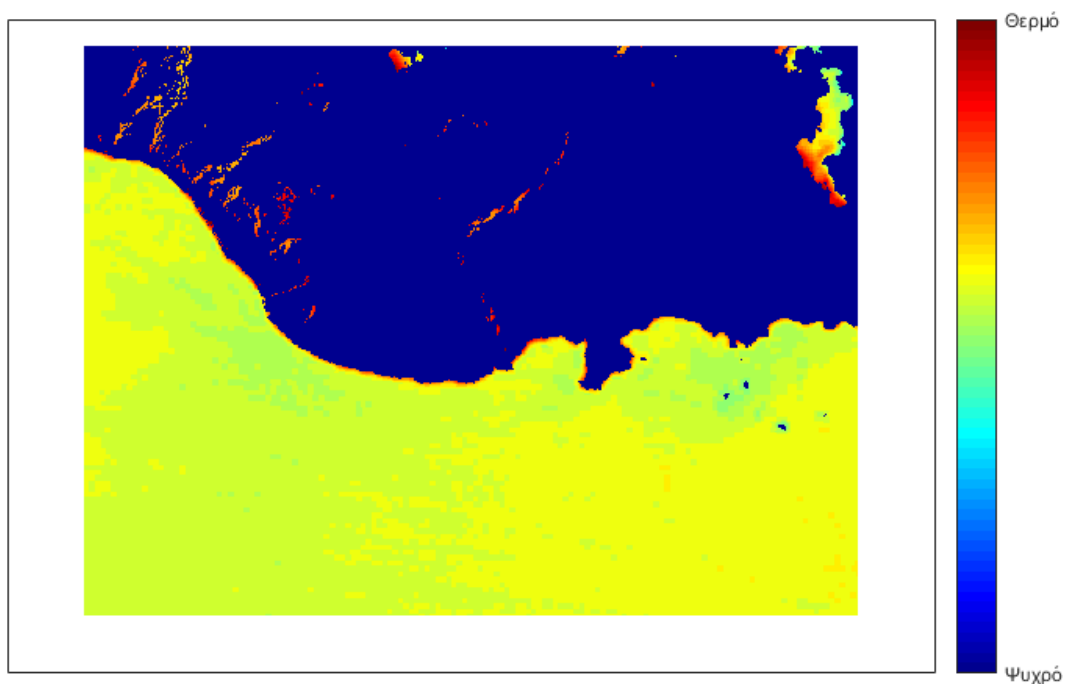
Και η περιοχή των Γλυκών Νερών στα Σφακιά όμως, παρουσιάζει ενδιαφέρον όπως φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν.

Οι εικόνες αυτές, σε σύγκριση με τις προηγούμενες, εμφανίζουν μια διαφορά στην εμφάνιση της θερμοκρασίας. Τα χρώματα έχουν αντιστραφεί, που μεταφράζεται ως ότι, τη χρονική αυτή στιγμή, η θερμοκρασία προερχόμενη από τη στεριά είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία της θάλασσας.

Αυτό θα μπορούσε να εξηγηθεί από το ότι οι εικόνες αυτές, λήφθηκαν τις 21 Ιουλίου του 2014, όταν το νερό στη θάλασσα είναι πιο θερμό συγκριτικά με το γλυκό νερό που εισέρχεται από τη στεριά. Επιπρόσθετη πληροφορία που θα μπορούσε να ισχυροποιήσει την άποψη αυτή είναι το δεδομένο πως έγιναν με θερμόμετρο ρευστών μετρήσεις θερμοκρασίας στο νερό στη θάλασσα περίπου στα 20 μέτρα από τη στεριά με θερμοκρασία περίπου 19,8 °C και σε απόσταση κοντά στα 200 μέτρα από τη στεριά θερμοκρασία γύρω στους 23 °C.



Σχήμα 4.14 Περιοχή των Γλυκών Νερών στα Σφακιά με ασπρόμαυρο πίνακα αντιστοιχίας



Σχήμα 4.15 Περιοχή των Γλυκών Νερών στα Σφακιά με πίνακα αντιστοιχίας jet

Ανακεφαλαιώνοντας, στο κεφάλαιο αυτό περιγράφηκε αναλυτικά η μεθοδολογία επεξεργασίας των δεδομένων από τους δορυφόρους και παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της επεξεργασίας.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των εικόνων του UAV και τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

Κεφάλαιο 5: Επεξεργασία Εικόνων Μη Επανδρωμένου Εναερίου Οχήματος

5.1 Χαρακτηριστικά της κάμερας

Για τη λήψη των εικόνων μέσω μη επανδρωμένου οχήματος, χρησιμοποιήθηκε εξοπλισμός της Μονάδας Χωρικών Πληροφοριακών Συστημάτων του Εργαστηρίου Γεωδαισίας & Πληροφορικής των Γεωεπιστημών του Πολυτεχνείου Κρήτης, η κάμερα που χρησιμοποιήθηκε είναι η FLIR Vue Pro R 640 της οποίας τα χαρακτηριστικά παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά της Κάμερας FLIR Vue Pro R 640

Μοντέλο	Vue Pro R 640
Ανάλυση	640 × 512
Ρυθμίσεις Φακού (FOV for Full-Sensor Digital Output)	13 mm; 45° × 37°
Ρυθμίσεις Φακού (FOV for NTSC Analog Output)	13 mm; 45° × 35°
Φασματική Ζώνη	7.5 - 13.5 μm
Πλήρης Ρυθμός Πλαισίων (Full Frame Rates)	30 Hz (NTSC); 25 Hz (PAL)
Ακρίβεια Μετρήσεων	+/-5°C ή 5% της αναγνωσμένης τιμής μεταξύ του εύρους -25°C και +135°C +/-20°C ή 20% της αναγνωσμένης τιμής μεταξύ του εύρους -40°C και +550°C
Περιβαλλοντικά	
Ραδιομετρικό Εύρος Θερμοκρασιών	0 °C έως +40 °C
Εύρος Θερμοκρασιών Λειτουργίας	-20 °C έως +50 °C
Εύρος Θερμοκρασιών Μη Λειτουργίας	-55 °C έως +95 °C
Λειτουργικό Υψόμετρο	+40,000 πόδια

5.2 Μετρήσεις πεδίου

Η περιοχή που επιλέχθηκε αρχικά για τη λήψη των εικόνων ήταν τα Γλυκά Νερά στα Σφακιά αλλά λόγω προβλημάτων και σφαλμάτων κατά την εικονοληψία οι εικόνες που προέκυψαν από τη διαδικασία αυτή δεν ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθούν. Συνεπώς χρειάστηκε να επιλεγθεί νέα περιοχή δειγματοληψίας, που να παρείχε προσβασιμότητα και δεδομένα διαφοράς θερμοκρασίας σε μεγαλύτερη ευκολία. Για το λόγο αυτό η επόμενη περιοχή ήταν η Κουανή Ακτή δίπλα στη Σούδα στην οποία βρίσκονται οι εκβολές ενός μικρού ποταμιού.

Στην Κουανή Ακτή πραγματοποιήθηκε πτήση του UAV πάνω από την παραλία σε κατεύθυνση παράλληλη με την παραλία και κάθετη στη ροή του ποταμού. Καλύφθηκε μια οριζόντια απόσταση περίπου ενός χιλιομέτρου και διακόσια μέτρα σε οριζόντιο βάθος πάνω από τη θάλασσα.

Αφού ολοκληρώθηκε η πτήση, λήφθηκαν οι συντεταγμένες με δέκτες GNSS μερικών εύκολα εντοπιζόμενων σημείων από τις θερμικές εικόνες. Τα σημεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν στην συνέχεια ως σημεία ελέγχου (GCP's) για την συνένωση και συρραφή των διαδοχικών εικόνων.

5.3 Επεξεργασία θερμικών εικόνων

Για την επιτυχή επεξεργασία των εικόνων της κάμερας, απαραίτητη είναι η ακολουθία μερικών βασικών βημάτων για τη δημιουργία μιας τελικής εικόνας της περιοχής.

- Απομόνωση των απαραίτητων εικόνων για τη σύνθεση μιας νέας ολικής εικόνας. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω της χρήσης εικόνων οι οποίες έχουν μεταξύ τους έως 40% επικάλυψη.
- Ραδιομετρική διόρθωση των εικόνων ώστε να κυμαίνονται όλες στις ίδιες τιμές θερμοκρασίας, πράξη η οποία επιτρέπει την πιο εύκολη συγχώνευσή τους.
- Δημιουργία μιας σύνθετης εικόνας από όλες τις επιλεγμένες εικόνες.
- Δημιουργία μάσκας αποκοπής του εδάφους ώστε να απεικονιστούν με μεγαλύτερη ευκρίνεια οι θερμοκρασιακές διαφοροποιήσεις της θάλασσας.
- Τελικά εφαρμογή πινάκων χρωματικής αντιστοιχίας για τη δημιουργία μιας σύνθετης εικόνας στην οποία παρουσιάζονται οι θερμοκρασιακές διαφορές με διαφορετικά χρώματα.

Παρακάτω στα σχήματα 5.1 και 5.2 εμφανίζονται δύο διαδοχικές εικόνες για την επίδειξη της μεγάλης επικάλυψης της εικονοληψίας του UAV, όπου γίνεται προφανής η ανάγκη αφαίρεσης ενός μεγάλου μέρους των εικόνων που αλληλεπικαλύπτονται.



Σχήμα 5.1 Εικόνα #2331 από την εικονοληψία του UAV

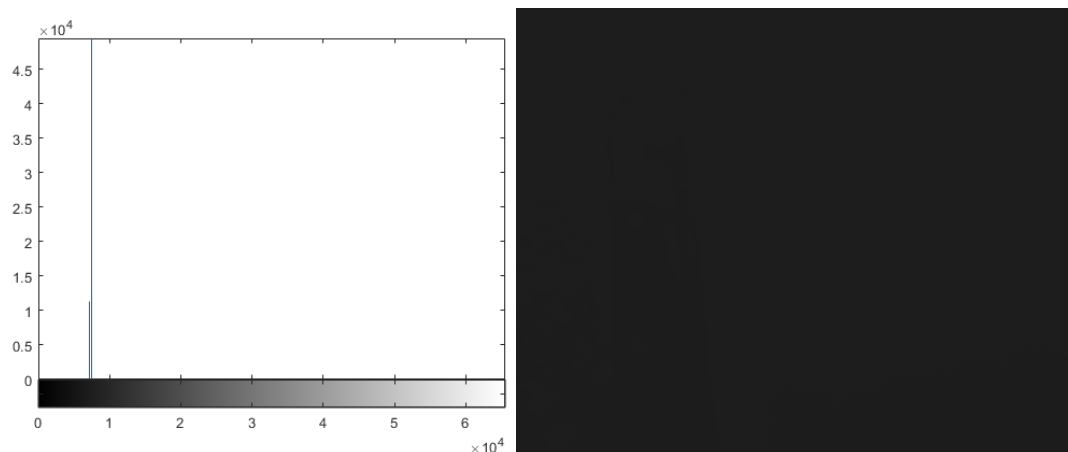


Σχήμα 5.2 Εικόνα #2332 από την εικονοληψία του UAV

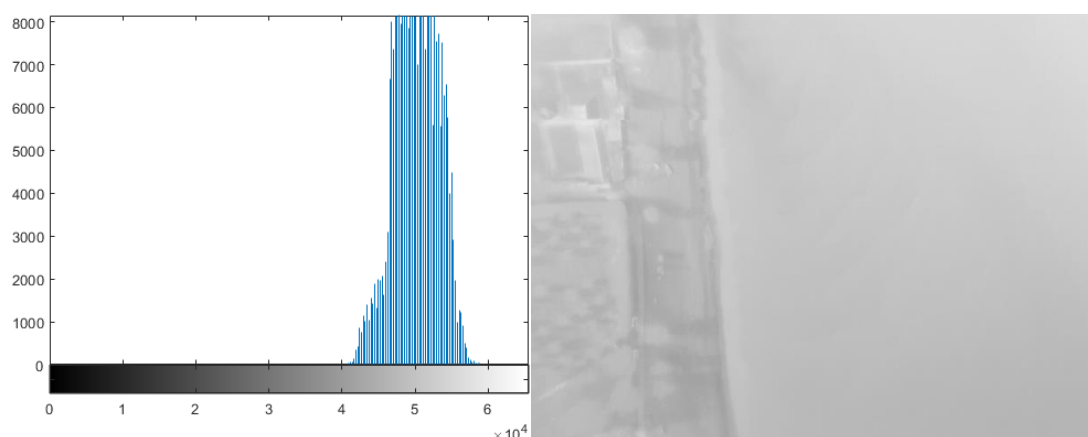
Η διαδικασία επεξεργασίας των εικόνων που ακολουθήθηκε περιγράφεται λεπτομερώς παρακάτω.

Μετά την πραγματοποίηση της πτήσης απαραίτητη ήταν η επεξεργασία των δεδομένων πριν γίνει δυνατή η συγχώνευση των εικόνων για την παραγωγή μιας τελικής σύνθετης εικόνας. Αρχικά, εφόσον οι τιμές φωτεινότητας των εικόνων είχαν πολύ μικρή διακύμανση συγκριτικά με το συνολικό εύρος φωτεινοτήτων (οι τιμές κυμαίνονταν σε τιμές φωτεινότητας 6,500-7,500 από το συνολικό εύρος 65,536, 16-bit εικόνες), ήταν αδύνατον να διακριθούν χαρακτηριστικά στις εικόνες οι οποίες εμφανίζονται όπως η εικόνα του Σχήματος 5.3.

Συνεπώς ήταν απαραίτητη η εφαρμογή κάποιας διόρθωσης σε όλες τις εικόνες. Γι' αυτόν τον λόγο εντοπίστηκαν οι μέγιστες ελάχιστες τιμές φωτεινότητας όλων των εικόνων και εφαρμόστηκε γραμμική επέκταση ιστογράμματος (linear histogram stretch) σε κάθε εικόνα. Στα παρακάτω σχήματα εμφανίζονται χαρακτηριστικά ιστογράμματα εικόνων πριν και μετά τη γραμμική τους επέκταση.



Σχήμα 5.3 Ιστόγραμμα πριν την εφαρμογή της γραμμικής επέκτασης (αριστερά), Μη επεξεργασμένη εικόνα από την πτήση στην Κυανή Ακτή (δεξιά)



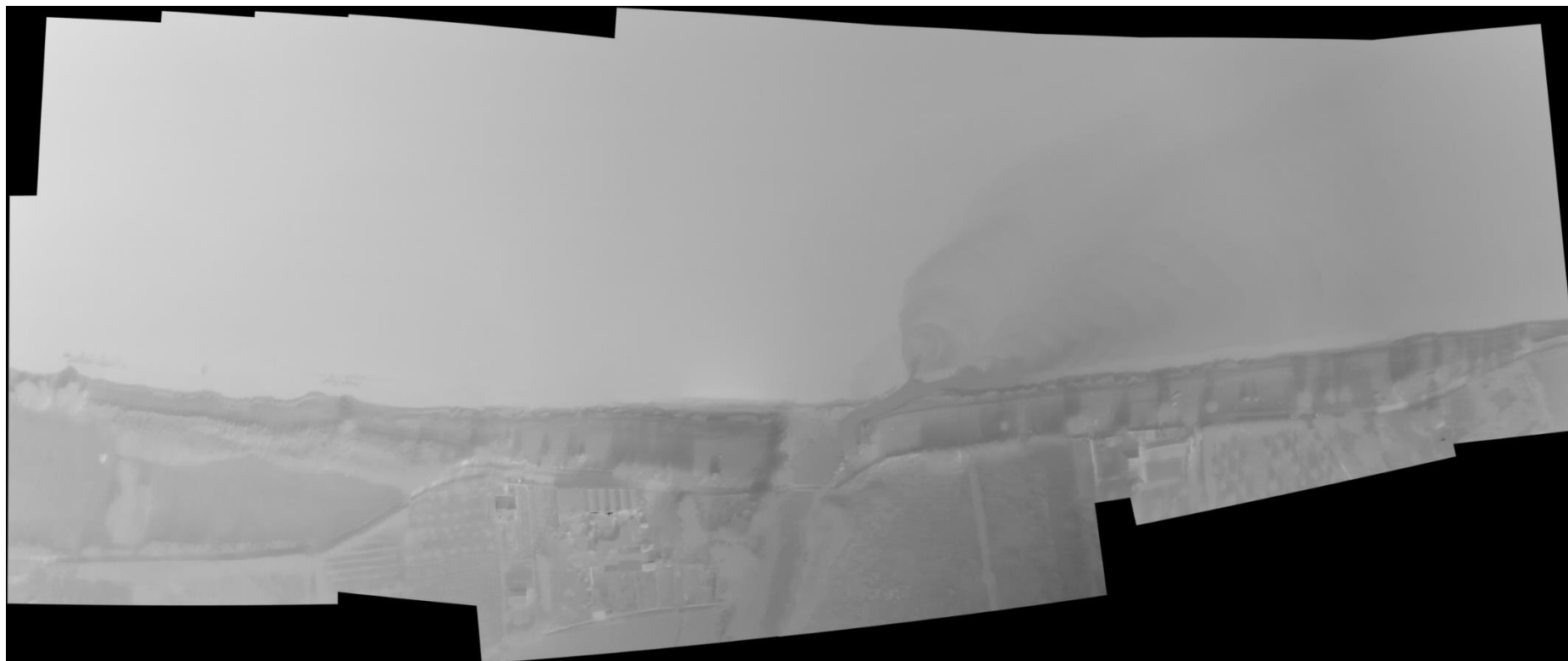
Σχήμα 5.4 Ιστόγραμμα μετά την εφαρμογή της γραμμικής επέκτασης (αριστερά), Εικόνα μετά την εφαρμογή της γραμμικής επέκτασης (δεξιά)

Ως γραμμική επέκταση αναφέρεται η διαδικασία κατά την οποία επιλέγονται η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή φωτεινότητας μιας εικόνας οι οποίες θα αντιστοιχηθούν στην ελάχιστη (0, μαύρο) και στην μέγιστη (65,535, λευκό) διαθέσιμη τιμή του εύρους φωτεινότητας. Όλες οι ενδιάμεσες τιμές ανακατανέμονται γραμμικά και λαμβάνουν τις νέες διακυμάνσεις του γκρι. Ακολουθώντας την συγκεκριμένη διαδικασία προέκυψαν εικόνες όπως αυτή του Σχήματος 5.5. Γνωρίζοντας πως κάθε τιμή φωτεινότητας των εικόνων αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη τιμή θερμοκρασίας, αυτό σημαίνει πως όλες οι εικόνες θα έχουν την ίδια μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία.

Μετά τη διόρθωση των εικόνων, απαραίτητη είναι η αφαίρεση μερικών από αυτές επειδή κατά την πτήση του μη επανδρωμένου οχήματος συλλέχθηκαν παραπάνω από 3,000 εικόνες. Συνεπώς για λόγους ευκολίας αφαιρέθηκε ο μέγιστος επιτρεπτός αριθμός εικόνων όπως ορίζεται παρακάτω.

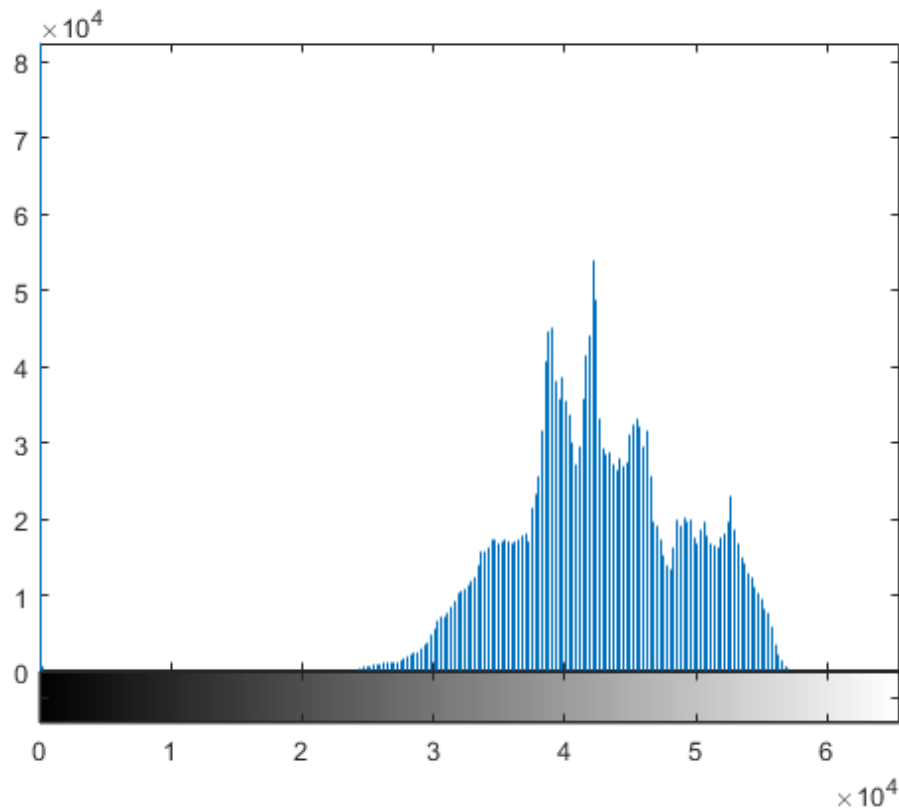
Το σκεπτικό που ακολουθείται για την αφαίρεση περιττών εικόνων είναι, να υπάρχει αλληλοεπικάλυψη μεταξύ των συνεχόμενων εικόνων περίπου 40%, η αφαίρεση εικόνων που επαναλαμβάνονται κατά τη διαδρομή του μη επανδρωμένου οχήματος καθώς και οι εικόνες από τις φάσεις ανόδου και καθόδου του μη επανδρωμένου οχήματος.

Μετά από τις διορθώσεις αυτές ακολουθεί η συρραφή των εικόνων. Γίνεται ανάγνωση και συρραφή των εικόνων με τον εντοπισμό κοινών σημείων μεταξύ των διαδοχικών εικόνων, για την παραγωγή μιας τελικής εικόνας όπως αυτή στο Σχήμα 5.5.



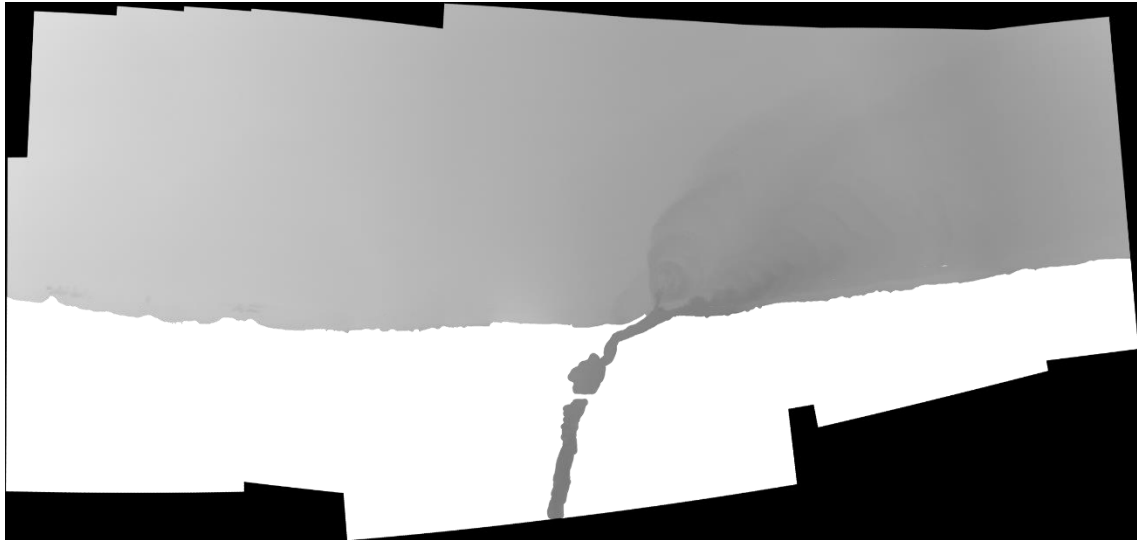
Σχήμα 5.5 Σύνθετη εικόνα, στη μέση φαίνεται το ποτάμι το οποίο αποφορτίζεται στη θάλασσα

Το επόμενο βήμα είναι η εφαρμογή μάσκας αποκοπής του εδάφους όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 4. Δυστυχώς όμως, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.6 όπου φαίνεται το ιστόγραμμα της εικόνας, δεν ήταν δυνατή η χρήση αυτής της μεθοδολογίας εφόσον δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός των εικονοστοιχείων που αντιστοιχούν σε ξηρά από αυτά της θάλασσας. Έτσι πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός ορίζοντας χειροκίνητα το όριο διαχωρισμού της ξηράς από την θάλασσα.

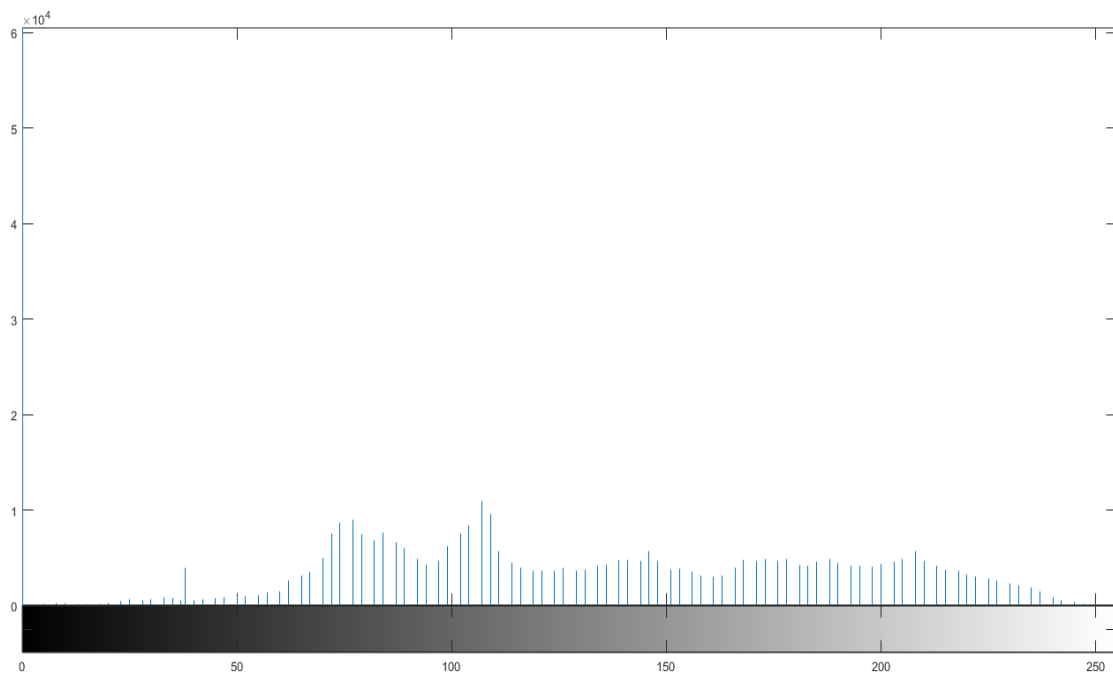


Σχήμα 5.6 Ιστόγραμμα της εικόνας του Σχήματος 5.5

Μετά την εφαρμογή της μάσκας εδάφους δημιουργείται η εικόνα που εμφανίζεται στο Σχήμα 5.7 με το αντίστοιχο ιστόγραμμα να εμφανίζεται στο Σχήμα 5.8.



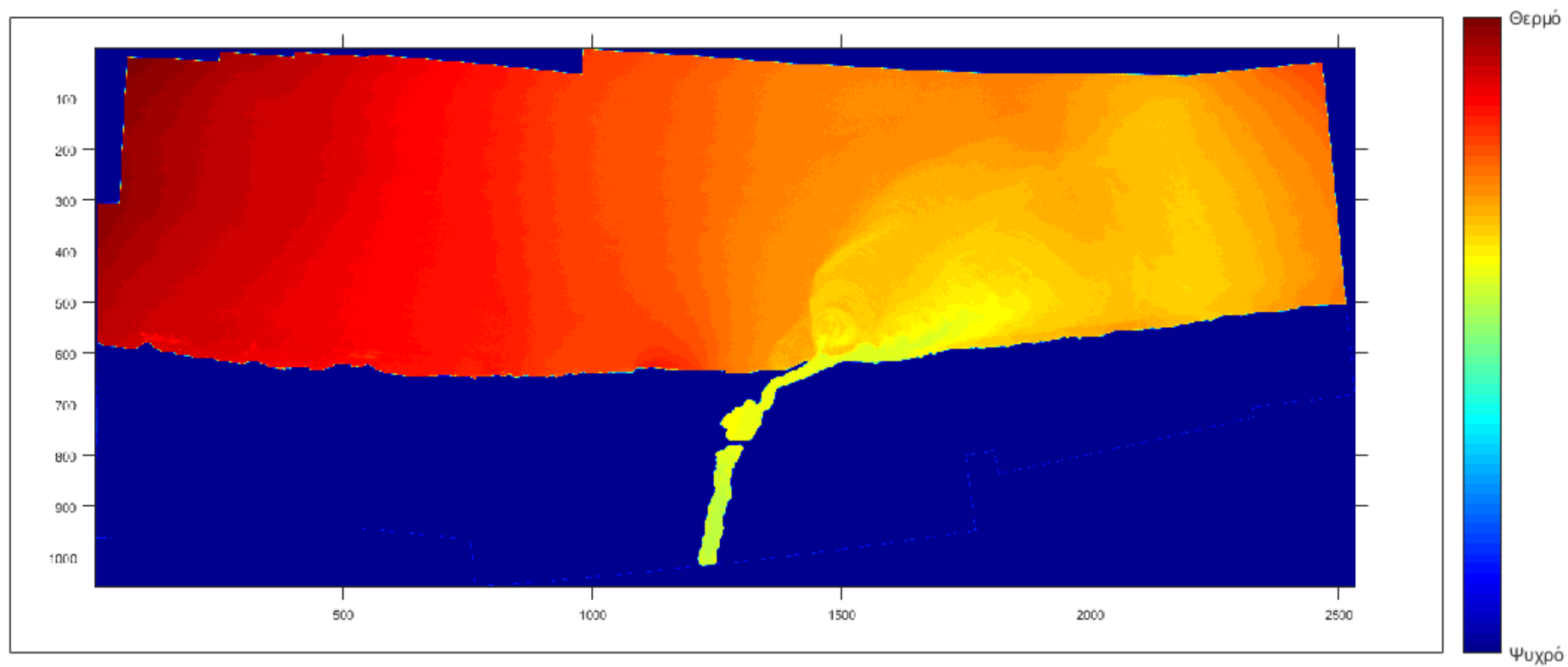
Σχήμα 5.7 Τιμές φωτεινότητας του νερού μετά την αφαίρεση των εικονοστοιχείων του εδάφους



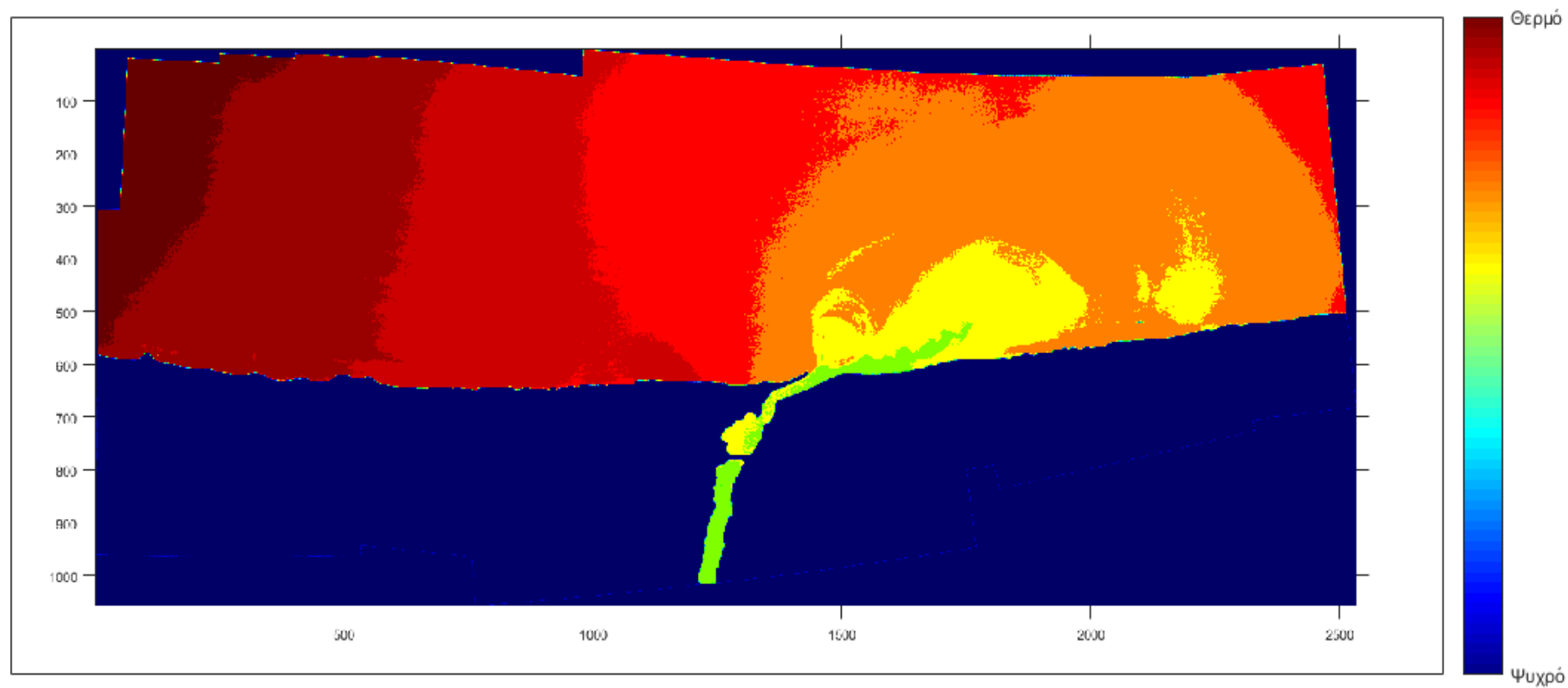
Σχήμα 5.8 Ιστόγραμμα της εικόνας του Σχήματος 5.7

Τελικά χρησιμοποιούνται και πάλι πίνακες αντιστοιχίας όπως και με τις δορυφορικές εικόνες προκύπτουν νέες εικόνες όπου μπορούν να φανούν όλες οι θερμοκρασιακές μεταβολές στην επιφάνεια της θάλασσας (Σχήμα 5.9).

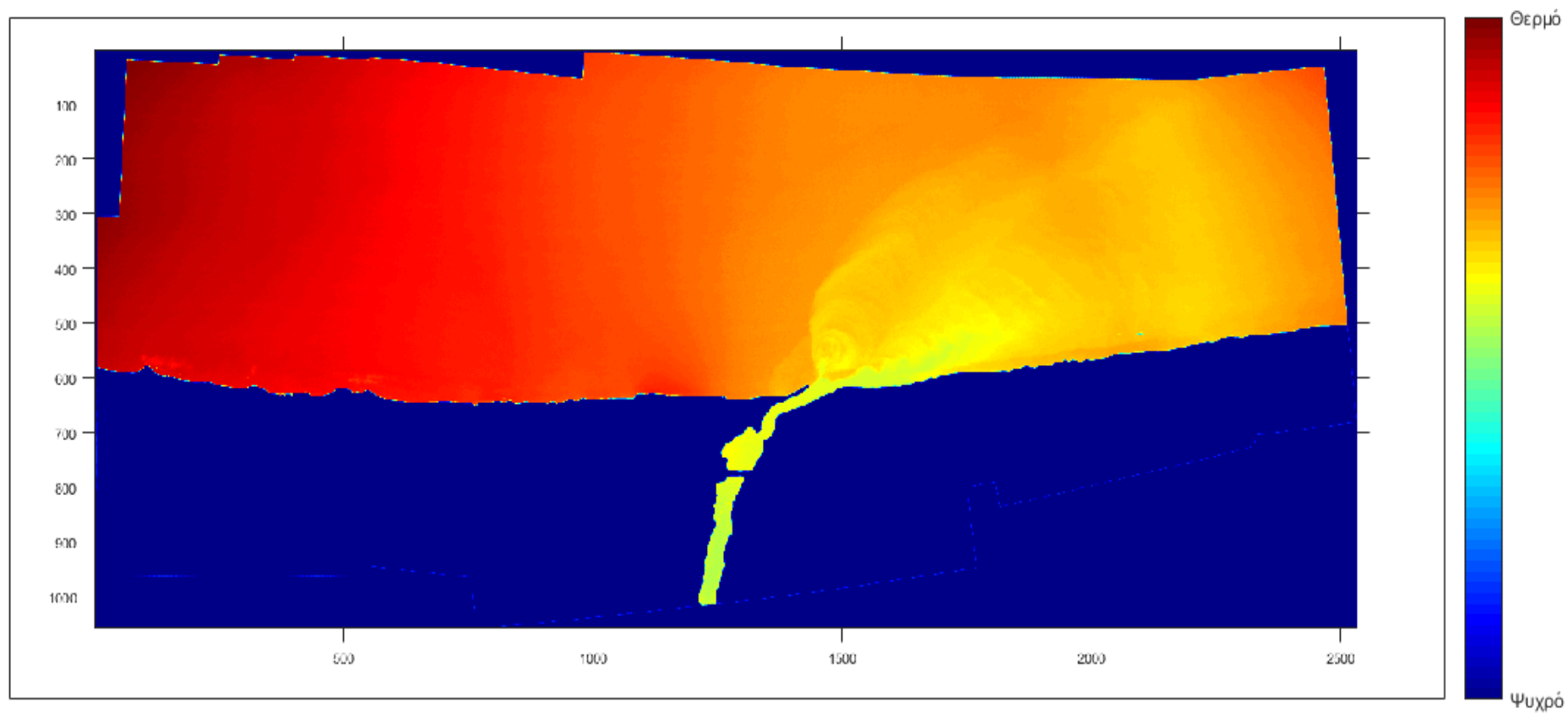
Για τη δημιουργία της εικόνας του Σχήματος 5.9 αρχικά χρησιμοποιήθηκαν πίνακες αντιστοιχίας με μεγαλύτερο και μικρότερο αριθμό χρωμάτων μέχρι να θεωρηθεί πως η τελική εικόνα εμφανίζει τις κατάλληλες πληροφορίες. Η συγκεκριμένη εικόνα αποτελείται από 64 διαφορετικά χρώματα και θεωρήθηκε πιο ευανάγνωστη από ότι η ίδια εικόνα με 32 αλλά και 128 χρώματα (Σχήματα 5.10 και 5.11 αντίστοιχα).



Σχήμα 5.9 Τελική εικόνα από την επεξεργασία των δεδομένων του μη επανδρωμένου οχήματος με 64 χρώματα



Σχήμα 5.10 Τελική εικόνα από την επεξεργασία των δεδομένων του μη επανδρωμένου οχήματος με 32 χρώματα



Σχήμα 5.11 Τελική εικόνα από την επεξεργασία των δεδομένων του μη επανδρωμένου οχήματος με 128 χρώματα

Από τις παραπάνω εικόνες είναι φανερό η ανάμιξη ψυχρότερου υπογείου και επιφανειακού νερού με το πιο θερμό θαλασσινό νερό. Οι θερμοκρασιακές μεταβολές που φαίνονται στις εικόνες από το UAV παρατηρήθηκαν και στις εικόνες από το δορυφόρο. Αυτό είναι θετικό στοιχείο για την αξιοπιστία της διαδικασίας που εκτελέστηκε κατά την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων και των εικόνων του UAV. Επειδή οι εικόνες του δορυφόρου λήφθηκαν σε διαφορετική χρονική περίοδο, (οι εικόνες του δορυφόρου είναι από τον Απρίλη ενώ οι εικόνες του UAV είναι από το Νοέμβρη) αλλά παρά αυτά παρουσιάζονται θερμοκρασιακές διαφορές, σημαίνει πως πιθανόν να υπάρχει μια σταθερή ροή γλυκού νερού καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου στην περιοχή αυτή.

Μπορεί να παρατηρηθεί η ροή και η εξάπλωση του νερού στο θαλασσινό, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζει τη θερμοκρασία της θάλασσας. Το ψυχρό νερό που φαίνεται στις εικόνες είναι το γλυκό νερό του ποταμού που πηγάζει από κάποιο βουνό. Επίσης μπορεί να παρατηρηθεί και μια επιπλέον περιοχή με ψυχρότερο νερό συγκριτικά με το θαλασσινό. Η περιοχή αυτή παρατηρείται πιο εύκολα στις εικόνες με τα 32 και 64 χρώματα και βρίσκεται στα δεξιά του ποταμού. Από τις εικόνες αυτές φαίνεται πως πιθανώς επίσης να υπάρχει μια υπόγεια περιοχή ανάβλυσης γλυκού νερού.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και προτάσεις

Ο στόχος της μελέτης αυτής ήταν η έρευνα και εξερεύνηση για την ύπαρξη και τον εντοπισμό υπογείων υδάτων που αναβλύζουν στη θάλασσα, με τη χρήση εικόνων από δορυφόρους και UAV. Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας μπορούν να αξιοποιηθούν σε διάφορους τομείς και γίνονται προτάσεις στο τέλος του κεφαλαίου αυτού.

Έγινε έλεγχος του γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής μετά από συζήτηση με ειδικούς στο πεδίο αυτό. Αρχικά, επιλέχθηκαν οι καλύτερες δυνατές ψηφιακές εικόνες από τους δορυφόρους με δεδομένα ελεύθερα προς το κοινό. Στη συνέχεια, έγινε ανάλυση των εικόνων για τη βελτίωση της ευκρίνειάς τους και αναζήτηση τοποθεσιών που να πληρούσαν τις προϋποθέσεις. Έγινε έλεγχος των εικόνων σε διαφορετικές χρονικές περιόδους για την επιβεβαίωση ύπαρξης πηγών νερού.

Τελικά, επιλέχθηκαν δύο περιοχές οι οποίες εμφάνιζαν κατά τη διάρκεια του χρόνου ανωμαλίες στις θερμοκρασιακές διαφορές του νερού κοντά στην ξηρά, τα Γλυκά Νερά Σφακίων και η Κυανή Ακτή Χανίων. Τέλος, πραγματοποιήθηκαν πτήσεις με UAV για τη λήψη εικόνων με πολύ καλύτερη χωρική διακριτική ικανότητα και την απόκτηση αναλυτικότερων πληροφοριών. Δυστυχώς όμως ήταν δυνατόν να συλλεχθούν αξιόπιστα δεδομένα μόνο από την Κυανή Ακτή στα Χανιά.

Από τις επεξεργασμένες εικόνες φανερώνονται δύο πηγές νερού που βαίνουν στη θάλασσα, το ποτάμι και μια υπόγεια πηγή. Οι εικόνες του δορυφόρου λήφθηκαν τον Απρίλη ενώ του UAV το Νοέμβρη αλλά παρατηρείται ύπαρξη ροής νερού και στις δύο περιπτώσεις. Μόνη διαφορά μεταξύ των εικόνων είναι τα αντεστραμμένα χρώματα τα οποία εμφανίζονται έτσι ακριβώς λόγω της διαφοράς της εποχής. Μπορεί συνεπώς να εξαχθεί συμπέρασμα πως στην περιοχή το νερό ρέει καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Επίσης φαίνονται και η επιρροή της θερμοκρασίας του γλυκού νερού στο θαλασσινό καθώς και ο χώρος στον οποίο εξαπλώνεται.

Σε περίπτωση που ήταν γνωστές εξ αρχής οι δυσκολίες που θα απαντώνταν κατά τη λήψη των εικόνων στα Γλυκά Νερά Σφακίων, πολύ πιθανόν να είχε ακολουθηθεί μια πιο συνετή πορεία αποφάσεων. Οι εικόνες που προέκυψαν είχαν πολλά προβλήματα από τη γενική έλλειψη πληροφόρησης και οργάνωσης για την πραγματοποίηση της πτήσης και έλλειψη σταθερών σημείων για την καλύτερη συρραφή τους στη μετέπειτα επεξεργασία. Η περιοχή αποδείχτηκε πιο απρόσιτη και δύσκολη από το αναμενόμενο.

Δεδομένων αυτών των γνώσεων, θα ήταν καλύτερη η δημιουργία ενός σχεδίου πτήσης πριν την αναχώρηση και η επιλογή απαραίτητων στοιχείων όπως το ύψος πτήσης και τη δημιουργία πλάνου πτήσης για το UAV για την κάλυψη της επιθυμητής περιοχής. Επιπλέον, χρήσιμη θα ήταν η λήψη συντεταγμένων σταθερών σημείων μέσω δεκτών GNSS για τον ευκολότερο εντοπισμό της χωρικής τοποθέτησης των εικόνων. Δηλαδή, κατά κύριο μέρος, η διαδικασία όπως αυτή ακολουθήθηκε κατά τη δεύτερη προσπάθεια λήψης εικόνων στην περιοχή της Κυανής Ακτής Χανίων.

Αν ήταν επιθυμητή η εκμετάλλευση μιας τέτοιας πηγής, θα ήταν προτιμητέα η διεκπεραίωση μελέτης για την ποιότητα του νερού και των στοιχείων που εμπεριέχονται σε αυτό. Θα μπορούσε να γίνει αναδρομή του ποταμού μέχρι το σημείο από το οποίο πηγάζει για την επί τόπου μέτρηση της περιεκτικότητας του νερού σε βλαβερά και άλλα απαραίτητα προς έλεγχο στοιχεία, τα οποία θα το καθιστούσαν μη πόσιμο.

Στην περίπτωση που το νερό από την πηγή του είναι χαμηλής ποιότητας θα ήταν δυνατόν να ερευνηθεί μια μεθοδολογία καθαρισμού του νερού αυτού ώστε να θεωρηθεί εκμεταλλεύσιμο για ύδρευση ή άρδευση. Εν αντιθέσει, σε περίπτωση που το νερό αυτό μολυνόταν κατά την κάθοδό του προς τη θάλασσα, θα μπορούσε να γίνει γεωλογική μελέτη της περιοχής γύρω από το ποτάμι για την εύρεση πιθανών σημείων, πριν το θεωρητικό σημείο μόλυνσης, στα οποία να γίνουν ερευνητικές γεωτρήσεις και, μετά από επιπλέον χημική του ανάλυση, να μετατραπεί σε εκμεταλλεύσιμη πηγή νερού.

Πέρα από εργασίες ελέγχου της ποιότητας του νερού και της εκμεταλλευσιμότητάς του, θα ήταν δυνατή η δημιουργία μελέτης με θέμα τον υπολογισμό του όγκου του νερού που εκβάλλει στη θάλασσα ανά το χρόνο με λήψη μετρήσεων θερμοκρασίας σε διάφορα βάθη και αποστάσεις από την παραλία. Οι αποστάσεις θα βασίζονταν στο μήκος εξάπλωσης όπως αυτό εμφανίζεται στην εικόνα που παράχθηκε από UAV στο προηγούμενο κεφάλαιο αυτής της διπλωματικής, ενώ ενδεικτικές τιμές βάθους θα μπορούσαν να εξαχθούν από το λόγο της έντασης διαφοράς θερμοκρασίας του γλυκού νερού με του νερού της θάλασσας προς το βάθος της θάλασσας στο σημείο αυτό. Θα ήταν απαραίτητος και ένας βαθυμετρικός χάρτης της περιοχής καλής ανάλυσης.

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

1. Αγιουτάντης, Ζ. Γ. και Μερτίκας, Σ. Π. (2003). Ένας πρακτικός οδηγός για την Συγγραφή Τεχνικών Κειμένων, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.
2. Μερτίκας, Σ.Π. (2009). Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.
3. Προσχέδιο Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Κρήτης (Π.Δ.Υ.Π.Κ.) (2015).
4. Ζερβός, Π. (2014). Θερμική καταγραφή εισροής υδάτων στο τεχνητό φράγμα Ποταμών, Ρεθύμνου, με πρότυπο μη επανδρωμένο εναέριο όχημα, Χανιά ΠΚ.
5. Αγγέλη, Μ. Κ. (2013). Ανίχνευση και εντοπισμός διαρροών στο φράγμα «Ποταμών Αμαρίου Ρεθύμνης» με θερμικές εικόνες, Χανιά ΠΚ.
6. Τεχνική Έκθεση ΣΑΕ075/8 AQUAMAN (2016). Καινοτόμες Μεθοδολογίες Διαχείρισης Υδατικών Πόρων για την Προσαρμογή της Κλιματικής Αλλαγής και Διακυβέρνησης της Περιφέρειας Κρήτης.
7. Φουστέρης, Ε. (2012). Παρασκευή Συστημάτων Στερεών Διασπορών Φαρμακευτικών Ουσιών σε Κατάλληλους Πολυμερικούς Φορείς με την Τεχνική Ανάμιξης Τήγματος, Αθήνα ΕΜΠ, σ. 70.
8. Καρράς, Γ. (1998). Γραμμικοί Μετασχηματισμοί Συντεταγμένων στη Φωτογραμμετρία, Αθήνα ΕΜΠ.

Διεθνής βιβλιογραφία

1. Szeliski, R. (2010). Computer Vision: Algorithms and Applications.
2. Ghulam, A. (2009). How to calculate reflectance and temperature using ASTER data, Center for Environmental Sciences at Saint Louis University.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Στο μέρος αυτό του παραρτήματος βρίσκεται ο κώδικας που δημιουργήθηκε για την επεξεργασία των εικόνων από δορυφόρο και από το UAV. Λόγω του μήκους του χωρίζεται σε τμήματα για να είναι πιο κατανοητή η λειτουργία του.

Επεξεργασία εικόνων από το δορυφόρο ASTER

Εισαγωγή εικόνων και υπολογισμός σταθερών

```
b3n = double(hdfread('όνομα αρχείου'.hdf', '/VNIR/VNIR_Swath/Data
Fields/ImageData3N', 'Index', {[1 1],[1 1],[x1 y1]}));
b10 = double(hdfread('όνομα αρχείου'.hdf', '/TIR/TIR_Swath/Data
Fields/ImageData10', 'Index', {[1 1],[1 1],[x2 y2]}));
b11 = double(hdfread('όνομα αρχείου'.hdf', '/TIR/TIR_Swath/Data
Fields/ImageData11', 'Index', {[1 1],[1 1],[x2 y2]}));
b12 = double(hdfread('όνομα αρχείου'.hdf', '/TIR/TIR_Swath/Data
Fields/ImageData12', 'Index', {[1 1],[1 1],[x2 y2]}));
b13 = double(hdfread('όνομα αρχείου'.hdf', '/TIR/TIR_Swath/Data
Fields/ImageData13', 'Index', {[1 1],[1 1],[x2 y2]}));
b14 = double(hdfread('όνομα αρχείου'.hdf', '/TIR/TIR_Swath/Data
Fields/ImageData14', 'Index', {[1 1],[1 1],[x2 y2]}));
```

```
K110=3040.136402; %W/(m2*um)
K111=2482.375199; %W/(m2*um)
K112=1935.060183; %W/(m2*um)
K113=866.468575; %W/(m2*um)
K114=641.326517; %W/(m2*um)
```

```
K210=1735.337945; %W/(m2*um)
K211=1666.398761; %W/(m2*um)
K212=1585.420044; %W/(m2*um)
K213=1350.069147; %W/(m2*um)
K214=1271.221673; %W/(m2*um)
```

```
%UCC (Unit Conversion Coefficients)
```

```
UCC10=0.006822;
UCC11=0.006780;
UCC12=0.006590;
UCC13=0.005693;
UCC14=0.005225;
```

```
%Spectral Radiance Li
```

```
L10=(b10-1)*UCC10; %W/(m2*sr*um)
L11=(b11-1)*UCC11; %W/(m2*sr*um)
L12=(b12-1)*UCC12; %W/(m2*sr*um)
L13=(b13-1)*UCC13; %W/(m2*sr*um)
L14=(b14-1)*UCC14; %W/(m2*sr*um)
```

Μετατροπή φωτεινότητας των εικόνων σε τιμές θερμοκρασίας

```
T10=K210./(log((K110./L10)+1));  
T11=K211./(log((K111./L11)+1));  
T12=K212./(log((K112./L12)+1));  
T13=K213./(log((K113./L13)+1));  
T14=K214./(log((K114./L14)+1));
```

%Image with Temperature @°C

```
Temp10=uint8(T10-273.15);  
Temp11=uint8(T11-273.15);  
Temp12=uint8(T12-273.15);  
Temp13=uint8(T13-273.15);  
Temp14=uint8(T14-273.15);
```

Περικοπή των εικόνων και εφαρμογή μάσκας εδάφους

```
Temp10r=imresize(Temp10,[5071 5695]);  
Temp11r=imresize(Temp11,[5071 5695]);  
Temp12r=imresize(Temp12,[5071 5695]);  
Temp13r=imresize(Temp13,[5071 5695]);  
Temp14r=imresize(Temp14,[5071 5695]);
```

```
[m,n]=size(b3n);
```

```
hist1 = imread('untitled.tif');  
hist2 = hist1(:,:,1);  
figure; imhist(hist2)
```

```
land_mask=zeros(5071, 5695);
```

```
for i=1:m  
    for j=1:n  
        if b3n(i,j)<=60  
            land_mask(i,j)=1;  
        else  
            land_mask(i,j)=0;  
        end  
    end  
end
```

```
imshow(land_mask)
```

```
b10m=double(Temp10r).*land_mask;  
b11m=double(Temp11r).*land_mask;  
b12m=double(Temp12r).*land_mask;  
b13m=double(Temp13r).*land_mask;  
b14m=double(Temp14r).*land_mask;
```

Εφαρμογή πινάκων αντιστοιχίας

```
mymap=[0,0,0
        0.1,0.1,0.1
        0.2,0.2,0.2
        0.25,0.25,0.25
        0.3,0.3,0.3
        0.35,0.35,0.35
        0.4,0.4,0.4
        0.45,0.45,0.45
        0.5,0.5,0.5
        0.55,0.55,0.55
        0.6,0.6,0.6
        0.65,0.65,0.65
        0.7,0.7,0.7
        0.75,0.75,0.75
        0.8,0.8,0.8
        0.85,0.85,0.85
        0.9,0.9,0.9
        0.95,0.95,0.95
        1,1,1];

Temp10c=b10m(1489:2068,916:1500);
Temp11c=b11m(1489:2068,916:1500);
Temp12c=b12m(1489:2068,916:1500);
Temp13c=b13m(1489:2068,916:1500);
Temp14c=b14m(1489:2068,916:1500);

figure;imshow(Temp10c,[],'Colormap',mymap)
figure;imshow(Temp11c,[],'Colormap',mymap)
figure;imshow(Temp12c,[],'Colormap',mymap)
figure;imshow(Temp13c,[],'Colormap',mymap)
figure;imshow(Temp14c,[],'Colormap',mymap)

figure;imshow(Temp10c,[],'Colormap',parula)
figure;imshow(Temp11c,[],'Colormap',parula)
figure;imshow(Temp12c,[],'Colormap',parula)
figure;imshow(Temp13c,[],'Colormap',parula)
figure;imshow(Temp14c,[],'Colormap',parula)

figure;imshow(Temp10c,[],'Colormap',jet)
figure;imshow(Temp11c,[],'Colormap',jet)
figure;imshow(Temp12c,[],'Colormap',jet)
figure;imshow(Temp13c,[],'Colormap',jet)
figure;imshow(Temp14c,[],'Colormap',jet)
```

Αποθήκευση εικόνων χωρίς απώλειες συμπίεσης

```
hdftool

imshow(ImageData3N)
hold on
set(gcf, 'Position', [100 100 150 150]);
set(gcf, 'Color', 'w');
export_fig b3n4.png -native
```

Παράρτημα Α

Εγγραφή των εικόνων

```
%% Set Control Points

fixed = imread('b3n.png'); % set fixed image as b3n from .hdf file
moving = imread('C:\Users\Alexander\Desktop\Alex\Πολυτεχνείο  
Εγγραφα\Εξαμηνο 10ο\Διπλωματική\Aster Data\U\2016 vvg\S\jet\b11c  
jet.png');

iptsetpref('ImshowAxesVisible','on')
imshow(moving)
text(size(moving,2),size(moving,1)+30, ...
    'Image courtesy of mPower3/Emerge', ...
    'FontSize',7,'HorizontalAlignment','right');

cpselect(moving,fixed)

%% Transform and blend the images

tform = fitgeotrans(movingPoints, fixedPoints, 'projective');

registered = imwarp(moving, tform,'FillValues', 255);
figure, imshow(registered);

figure, imshowpair(fixed,registered,'blend');

Rfixed = imref2d(size(fixed));
registered1 = imwarp(moving,tform,'FillValues',
255,'OutputView',Rfixed);
figure, imshowpair(fixed,registered1,'blend');
```

Επεξεργασία των εικόνων του UAV

```
files = dir('*.tif');

for k = 1:length(files)
    image{k} = imread(files(k).name);
end

%% minmin

for k = 1:length(files)
    minmin{k} = min(min(image{k}));
end

mina = min(cell2mat(minmin));

maxa = max(cell2mat(minmin));

%% maxmax

for k = 1:length(files)
    maxmax{k} = max(max(image{k}));
end
```

Παράρτημα Α

```
minb = min(cell2mat(maxmax));

maxb = max(cell2mat(maxmax));

%% imadjust

for k = 1:length(files)
    J{k} = imadjust(image{k},[6673/(2^16-1); 7633/(2^16-1)],[0; 1]);
end

% imshow(J{300})

%% imwrite

for k = 1:1108
    imwrite(J{k},[files(k).name]);
end

figure;imshow(J{100})
axis off;

%% Save as RGB

files = dir('*.tiff');

for k = 1:length(files)
    image{k} = imread(files(k).name);
end

for k = 1:length(files)
    rgb{k} = image{k}(:,:, [1 1 1]);
end

for k = 1:length(files)
    imwrite(rgb{k},[files(k).name]);
end

im32 = imread
('C:\Users\Alessandro\Desktop\Thesis\2017_11_29\TIFF\U\FLIR_CORRECTED
\Stiching\32_stitch_sph.tiff');
im32l = imread
('C:\Users\Alessandro\Desktop\Thesis\2017_11_29\TIFF\U\FLIR_CORRECTED
\Stiching\32_seamask.png');
im32s = imread
('C:\Users\Alessandro\Desktop\Thesis\2017_11_29\TIFF\U\FLIR_CORRECTED
\Stiching\32_landmask.png');

im32a = im32(:,:,1);
im32sa = im32s(:,:,1);
im32la = im32l(:,:,1);

im32sb = imread
('C:\Users\Alessandro\Desktop\Thesis\2017_11_29\TIFF\U\FLIR_CORRECTED
\Stiching\New folder\adj_sea.tif');
im32lb = imread
('C:\Users\Alessandro\Desktop\Thesis\2017_11_29\TIFF\U\FLIR_CORRECTED
\Stiching\New folder\adj_land.tif');
```

Παράρτημα Α

```
imcontrast
```

```
figure;imshow(im32a)
figure;imshow(im32sa)
figure;imshow(im32la)
figure;imshow(im32sb(:,:,1))
figure;imshow(im32lb(:,:,1))
```

```
mymap = [0,0,0.4
         0,0,0.6
         0,0,0.8
         0,0,1
         0,0.5,1
         0,1,1
         0,1,0.5
         0,1,0
         0.5,1,0
         1,1,0
         1,0.5,0
         1,0,0
         0.8,0,0
         0.6,0,0
         0.4,0,0];
```

```
figure;imshow(im32a,[],'Colormap',jet)
figure;imshow(im32sa,[],'Colormap',jet)
colorbar('Ticks',[0,57535],...
        'TickLabels',{'?????', '?????'})
figure;imshow(im32la,[],'Colormap',jet)
```

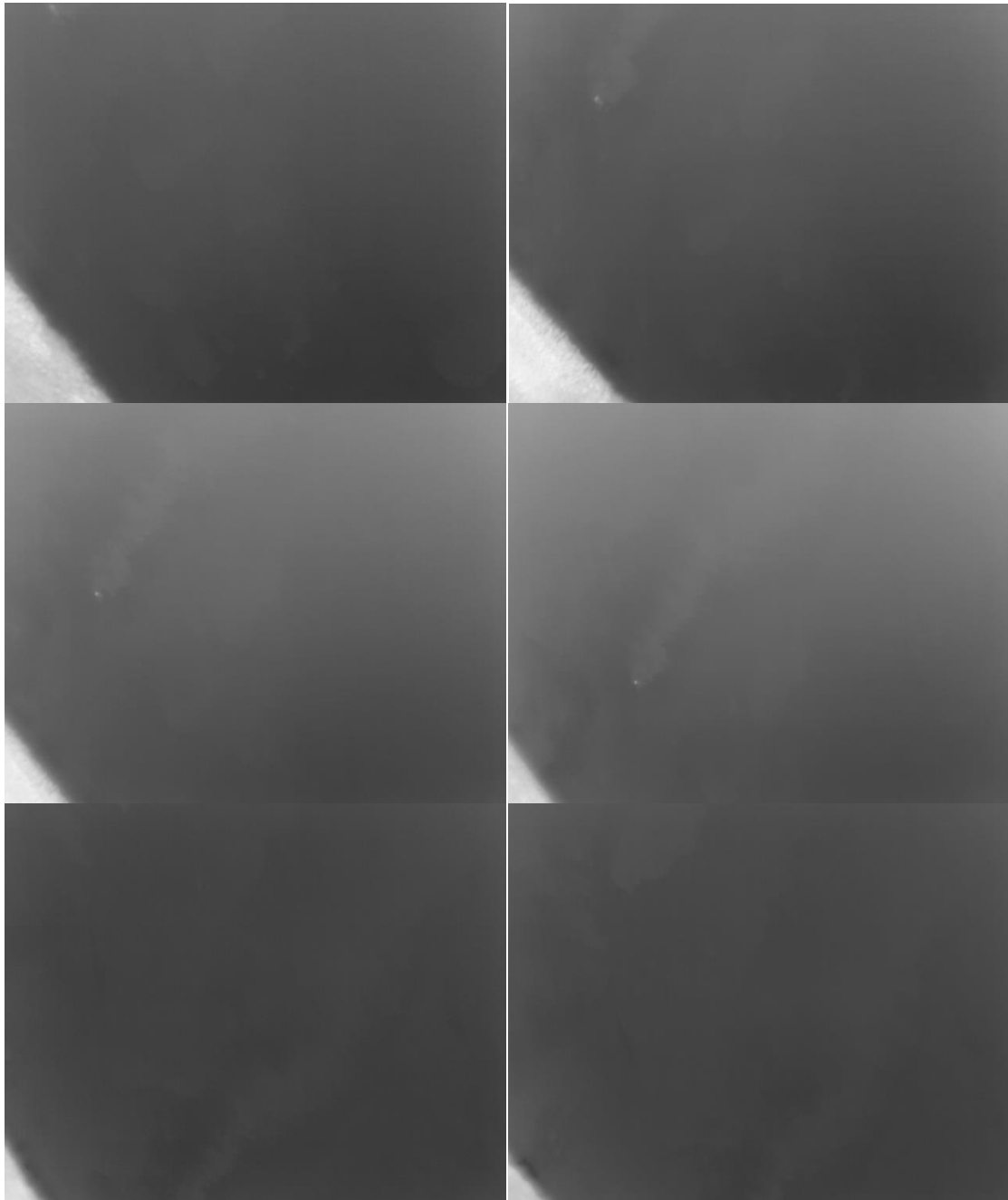
```
figure;imshow(im32a,[],'Colormap',jet(128))
figure;imshow(im32sa,[],'Colormap',jet(128))
figure;imshow(im32la,[],'Colormap',jet(128))
```

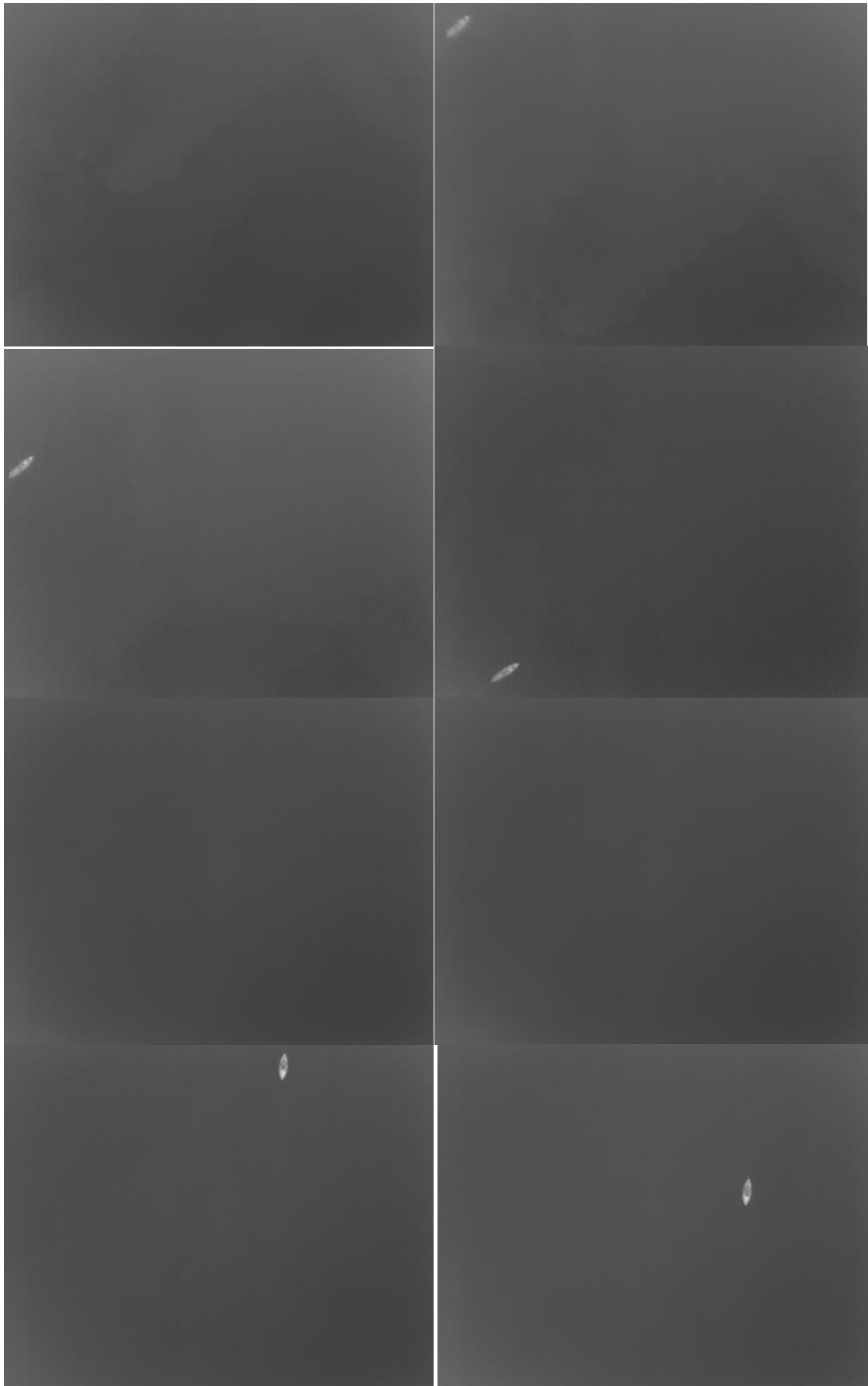
```
figure;imshow(im32a,[],'Colormap',mymap)
figure;imshow(im32sa,[],'Colormap',mymap)
figure;imshow(im32la,[],'Colormap',mymap)
```

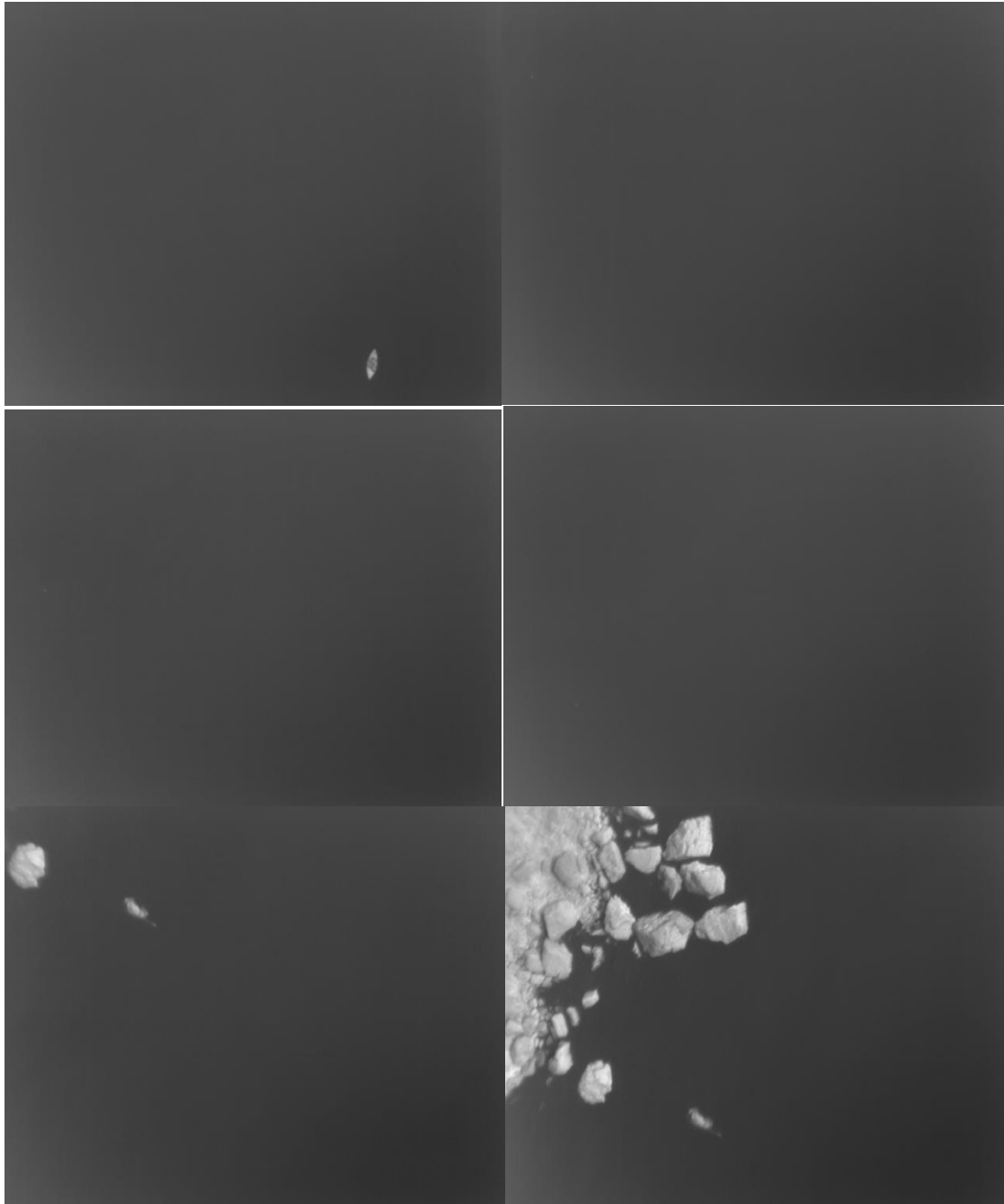
```
figure;imhist(im32a)
figure;imhist(im32sb(:,:,1))
figure;imhist(im32lb(:,:,1))
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Στο μέρος αυτό του παραρτήματος έχουν προστεθεί μερικές από τις εικόνες που λήφθηκαν με το UAV κατά την πραγματοποίηση της πτήσης στην περιοχή των Γλυκών Νερών στα Σφακιά.



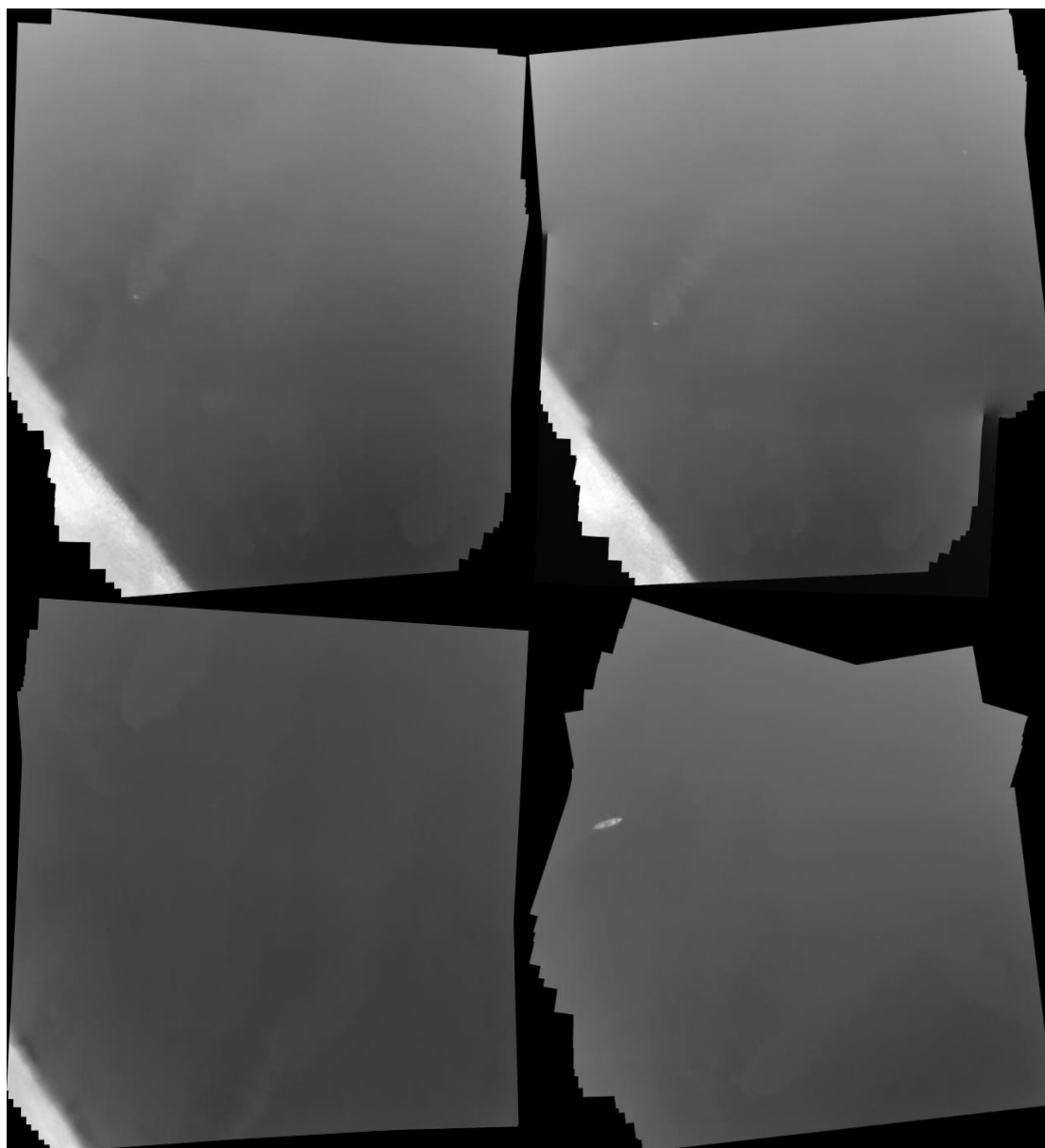




Σχήμα Β.1 Εικόνες από τα Γλυκά Νερά στα Σφακιά

Οι εικόνες αυτές ήταν και οι εικόνες που επιλέχθηκαν για την προσπάθεια συρραφής και τη δημιουργία μιας σύνθετης εικόνας που να αποτελείται από όλες τις εικόνες μαζί. Δεν υπάρχουν πολλές εικόνες εφόσον οι περισσότερες έχουν αφαιρεθεί όπως αναγράφεται και στο κεφάλαιο 5, αλλά και επειδή η πτήση ήταν σύντομη και το UAV πρόλαβε να διανύσει μόνο ένα τμήμα της απόστασης που είχε προγραμματιστεί.

Παρακάτω φαίνονται μερικές από τις προσπάθειες για τη δημιουργία μιας σύνθετης εικόνας.



Σχήμα β.2 Σύνθετες εικόνες από τα Γλυκά Νερά στα Σφακιά

Όπως ήταν αναμενόμενο, η δημιουργία της σύνθετης εικόνας δεν ήταν δυνατή εφόσον, όπως έχει συζητηθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, δεν υπήρχαν σταθερά σημεία ελέγχου στο έδαφος που να μεσολαβούν μεταξύ των εικόνων. Έτσι οι εικόνες που προέκυπταν από τη συρραφή ήταν συχνά τοποθετημένες εσφαλμένα η μία πάνω στην άλλη και όχι με την πραγματική τους αλληλουχία όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα.

Οπότε, για τους λόγους αυτούς, απορρίφθηκαν όλες οι εικόνες που είχαν ληφθεί στην περιοχή και έγινε πρόταση μεταφοράς της μελέτης στα Γλυκά Νερά των Σφακίων, των οποίων τα αποτελέσματα βρίσκονται στο κεφάλαιο 5.