

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



Πτυχιακή Διατριβή

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ
ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΟΛΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΤΟΥ
ΑΣΠΡΟΚΡΕΜΜΟΥ ΣΤΗΝ ΠΑΦΟ ΜΕ ΕΠΙΓΕΙΕΣ
ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Ελένη Κωνσταντίνου

Λεμεσός 2012

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

Πτυχιακή διατριβή

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ
ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΟΛΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΤΟΥ
ΑΣΠΡΟΚΡΕΜΜΟΥ ΣΤΗΝ ΠΑΦΟ ΜΕ ΕΠΙΓΕΙΕΣ
ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Ελένη Κωνσταντίνου

Επιβλέπων καθηγητής :

Δρ. Διόφαντος Χατζημιτσής

Λεμεσός 2012

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Ελένη Κωνσταντίνου, 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Στους γονείς μου, Μαρία και Χριστάκη Κωνσταντίνου,
και στον αδερφό μου Παύλο, που με στήριξαν και μου
συμπαραστάθηκαν μέχρι το τέλος των σπουδών μου....

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου, τον υπεύθυνο της πτυχιακής μου εργασίας Δρ. Διόφαντο Χατζημιτσή, Αναπληρωτή Καθηγητή και Πρόεδρο του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου την εργασία αυτή αλλά και για την καθοδήγηση και τη βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια μέχρι να εκπονηθεί η εργασία αυτή και κυρίως για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα πολύ ενδιαφέρον αντικείμενο. Θερμές ευχαριστίες, θέλω να εκφράσω και στην ερευνητική συνεργάτιδα του Δρ. Διόφαντου Χατζημιτσή, κα. Χριστιάνα Παπούτσα για την υποστήριξη που μου είχε προσφέρει κατά τη διάρκεια της εκπόνηση της διπλωματικής μου μελέτης. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Τμήμα Υδάτων καθώς και την κα. Χριστιάνα Παπούτσα για τη βοήθεια που μου παρείχαν στις επίγειες μετρήσεις. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω, το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου και το εργαστήριο Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης για την παροχή όλων των διαθέσιμων πόρων και εξοπλισμού για την εκπόνηση της εν λόγω πτυχιακής μελέτης. Την ευγνωμοσύνη μου, θα ήθελα να εκφράσω στους φίλους μου για τη διαρκή τους υποστήριξη και στην οικογένεια μου για την αγάπη που μου πρόσφεραν και την υπομονή που υπέδειξαν μέχρι να διεκπεραιωθούν οι σπουδές μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Ευρωπαϊκή Ένωση και όλες οι αναπτυγμένες χώρες έχουν θεσμοθετήσει σχετική υποχρεωτική νομοθεσία που να εξασφαλίζει αποδεκτά όρια των παραμέτρων των υδάτων. Γι' αυτό είναι υποχρεωμένα όλα τα Κράτη μέλη να συμμορφώνονται με την Οδηγία 2000/60/EK και να προβαίνουν σε δειγματοληπτικούς ελέγχους στους ενδοχώρους όπως είναι τα φράγματα νερού. Η παραδοσιακή μέθοδος δειγματοληψίας αποτελεί χρονοβόρα διαδικασία και πολύ δαπανηρή. Γι αυτό έχουν αναπτυχθεί σύγχρονες τεχνικές όπως η τηλεπισκόπηση για συστηματική παρακολούθηση της ποιότητας νερού. Η παρούσα πτυχιακή εργασία περιλαμβάνει μεθόδους για την παρακολούθηση της θολότητας των υδάτων του φράγματος του Ασπρόκρεμμου στην Πάφο με χρήση Τηλεπισκόπησης (δορυφορικά και φασματοραδιομετρικά δεδομένα) και επίγειων μετρήσεων. Σκοπός της μέτρησης της θολότητας των υδάτων του φράγματος είναι η παρακολούθηση της ποιότητας τους και η ανάπτυξη μιας εξίσωσης που να συνδέει την παράμετρο αυτή της θολότητας με την ανακλαστικότητα από τα δορυφορικά δεδομένα. Από την ανάλυση γραμμικής συσχέτισης των τιμών ανακλαστικότητας από το φασματοραδιόμετρο που αντιστοιχούν στα κανάλια 1,2,3,4 των Landsat TM/ETM+ και των αντίστοιχων τιμών θολότητας βρέθηκε ότι η υψηλότερη συσχέτιση (με πιο ψηλό συντελεστή προσδιορισμού) είναι στο κανάλι 4 (Band 4). Γίνεται εκτίμηση των χωρικών και χρονικών μεταβολών της ποιότητας του νερού μέσω της ανακλαστικότητας (που καταγράφεται στο δορυφόρο). Επίσης δεικνύεται η επίδραση της ατμόσφαιρας στις τιμές ανακλαστικότητας στο φράγμα όπως καταγράφονται στον δορυφόρο.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	x
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xii
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ.....	xiii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	xiv
1 Θεωρητικό υπόβαθρο.....	1
1.1 Ποιότητα υδάτων	1
1.1.1 Κριτήρια ποιότητας υδάτων.....	1
1.1.2 Βασικές παράμετροι ποιότητας υδάτων	2
1.1.3 Φράγματα Κύπρου – Υδατική κατάσταση	11
1.1.4 Οδηγία Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ – Ευρωπαϊκή Νομοθεσία.....	13
2 Τηλεπισκόπηση και χρήση της	18
2.1 Τηλεπισκόπηση.....	18
2.2 Διόρθωση δορυφορικών εικόνων	21
2.2.1 Γεωμετρική διόρθωση δορυφορικών εικόνων.....	21
2.2.2 Ραδιομετρική διόρθωση.....	22
2.3 Δορυφόροι και χαρακτηριστικά.....	22
2.3.1 Δορυφόρος Landsat	23
3 Ανασκόπηση.....	25
4 Μεθοδολογία.....	32

4.1	Σκοπός.....	32
4.2	Περιοχή μελέτης	32
4.3	Διαθέσιμα και Δεδομένα.....	33
4.3.1	Δορυφορικές Εικόνες.....	33
4.3.2	Λογισμικά	33
4.3.3	Επίγειες μετρήσεις / Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε.....	34
4.4	Μέθοδος.....	38
5	Αποτελέσματα.....	46
5.1	Αποτελέσματα συσχέτισης ανακλαστικότητας με θολότητα	46
5.2	Επεξεργασία Δορυφορικών Δεδομένων	49
5.2.1	Χωρικές μεταβολές ανακλαστικότητας στο φράγμα.....	52
5.2.2	Χρονικές μεταβολές ανακλαστικότητας στο φράγμα.....	54
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	57
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	67

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Είδη ρύπων και επιδράσεις τους.....	9
Πίνακας 2: Ταξινόμηση οικολογικής κατάστασης με χρωματικούς κώδικες.....	16
Πίνακας 3: Ταξινόμηση οικολογικού δυναμικού με χρωματικούς κώδικες.....	17
Πίνακας 4: Ταξινόμηση της χημικής κατάστασης με χρωματικούς κώδικες.....	17
Πίνακας 5: Σταθερές βαθμονόμησης για την Δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat TM με ημερομηνία λήψης 27/08/2010	42
Πίνακας 6: Συντελεστές προσδιορισμού για κάθε Φάσμα.....	46
Πίνακας 7: Καταγραφή της ανακλαστικότητας πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 7 με ημερομηνία λήψης 29/06/2009.....	49
Πίνακας 8: Καταγραφή της ανακλαστικότητας πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 7 με ημερομηνία λήψης 16/08/2009.....	50
Πίνακας 9: Καταγραφή της ανακλαστικότητας πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 5 με ημερομηνία λήψης 31/05/2010.....	50
Πίνακας 10: Καταγραφή της ανακλαστικότητας πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 7 με ημερομηνία λήψης 16/06/2010.....	50
Πίνακας 11: Καταγραφή της ανακλαστικότητας πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 5 με ημερομηνία λήψης 10/07/2010.....	51
Πίνακας 12: Καταγραφή της ανακλαστικότητας πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 5 με ημερομηνία λήψης 27/08/2010.....	51
Πίνακας 13: Καταγραφή της ανακλαστικότητας πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 7 με ημερομηνία λήψης 09/12/2010.....	51
Πίνακας 14: Επίδραση της ατμόσφαιρας στη λήψη δορυφορικών εικόνων.....	52
Πίνακας 15: Τιμές ανακλαστικότητας μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση (OUTLET) ανά ημερομηνία λήψης των δορυφορικών εικόνων.....	54
Πίνακας 16 Τιμές ανακλαστικότητας μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση (INLET) ανά ημερομηνία λήψης των δορυφορικών εικόνων.....	55
Πίνακας 17: Καταγραφή των Digital Numbers πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 7 με ημερομηνία λήψης 29/06/2009.....	70
Πίνακας 18: Καταγραφή των Digital Numbers πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 7 με ημερομηνία λήψης 16/08/2009.....	70

Πίνακας 19: Καταγραφή των Digital Numbers πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 5 με ημερομηνία λήψης 31/05/2010.....	71
Πίνακας 20: Καταγραφή των Digital Numbers πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 7 με ημερομηνία λήψης 16/06/2010.....	71
Πίνακας 21: Καταγραφή των Digital Numbers πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 5 με ημερομηνία λήψης 10/07/2010.....	72
Πίνακας 22: Καταγραφή των Digital Numbers πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 5 με ημερομηνία λήψης 27/08/2010.....	72
Πίνακας 23: Καταγραφή των Digital Numbers πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 7 με ημερομηνία λήψης 09/12/2010.....	73

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Το φαινόμενο του ευτροφισμού.....	4
Εικόνα 2: Απλοποιημένη παρουσίαση της τροφικής πυραμίδας και της ανακύκλωσης των θρεπτικών συστατικών.....	7
Εικόνα 3: Ο κύκλος του αζώτου	8
Εικόνα 4: Μέση ετήσια βροχόπτωση στην Κύπρο (mm) \	11
Εικόνα 5: Φράγματα της Κύπρου	12
Εικόνα 6: Προσδιορισμός κατάστασης υδάτινων σωμάτων	15
Εικόνα 7: Διάγραμμα Ροής Τηλεπισκόπησης (α)	19
Εικόνα 8: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	20
Εικόνα 9: Διάγραμμα ροής τηλεπισκόπησης (β).....	21
Εικόνα 10: Τροχιές.....	23
Εικόνα 11: Ο δορυφόρος Landsat 5	24
Εικόνα 12: Χρονοσειρά Δορυφόρου Landsat	24
Εικόνα 13: Περιοχή μελέτης	33
Εικόνα 14: Το φασματοραδιόμετρο GER 1500	34
Εικόνα 15: Καταγραφή των δεδομένων και χρήση του φασματοραδιομέτρου	35
Εικόνα 16: Ο δίσκος Secchi	35
Εικόνα 17: Μέτρηση του βάθους Secchi	36
Εικόνα 18: Ψηφιακό μέτρο θολότητας.....	36
Εικόνα 19: Καταγραφή επιτόπου μετρήσεων θολότητας και θερμοκρασίας υδάτων στο φράγμα.....	37
Εικόνα 20: Χρήση GPS για ακριβή καθορισμό των σταθμών δειγματοληψίας	37
Εικόνα 21: Γραφική αναπαράσταση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε	38
Εικόνα 22: Τιμή reference με τη χρήση άσπρου στόχου	39
Εικόνα 23: Δημιουργώντας την εικόνα με την εντολή stack layers.....	41
Εικόνα 24: Δημιουργία Εικόνας	41
Εικόνα 25: Μοντέλο μετατροπής των Digital Number σε Ανακλαστικότητα.....	43

Εικόνα 26: Το μοντέλο με το οποίο διορθώνω ατμοσφαιρικά την αρχική εικόνα.....	44
Εικόνα 27: Ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα.....	44
Εικόνα 28: Μοντέλο μετατροπής ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας από Digital Number σε Reflectance και δημιουργία Excel File με τα δεδομένα.....	45
Εικόνα 29: Συσχέτιση των τιμών ανακλαστικότητας ($\rho_{GER1500}$) στο κανάλι 4 με τις τιμές θολότητας που λήφθηκαν με το ψηφιακό μέτρο θολότητας (NTU).....	47
Εικόνα 30: Συσχέτιση των τιμών ανακλαστικότητας ($\rho_{GER1500}$) στο κανάλι 4 με τις τιμές θολότητας που λήφθηκαν με το δίσκο Secchi (SDD).....	48
Εικόνα 31: Συσχέτιση μεταξύ θολότητας που πάρθηκε ψηφιακά (NTU) και αυτής από το δίσκο Secchi (SDD).....	48
Εικόνα 32: Τιμές ανακλαστικότητας στα σημεία εισροής (INLET), μέσο, (MIDDLE) και εκροής (OUTLET) από δορυφορική εικόνα με ημερομηνία λήψης 31/05/2010.	53
Εικόνα 33: Τιμές ανακλαστικότητας στα σημεία εισροής (INLET), μέσο, (MIDDLE) και εκροής (OUTLET) από το φασματοραδιόμετρο με ημερομηνία λήψης 17/10/2011.....	53
Εικόνα 34: Γράφημα χρονικών μεταβολών ανακλαστικότητας (OUTLET)	56
Εικόνα 35: Γράφημα χρονικών μεταβολών ανακλαστικότητας (INLET)	56
Εικόνα 36: Συσχέτιση των τιμών ανακλαστικότητας ($\rho_{GER1500}$) στο κανάλι 1 με τις τιμές θολότητας που λήφθηκαν με το ψηφιακό μέτρο θολότητας (NTU).....	67
Εικόνα 37: Συσχέτιση των τιμών ανακλαστικότητας ($\rho_{GER1500}$) στο κανάλι 2 με τις τιμές θολότητας που λήφθηκαν με το ψηφιακό μέτρο θολότητας (NTU).....	67
Εικόνα 38: Συσχέτιση των τιμών ανακλαστικότητας ($\rho_{GER1500}$) στο κανάλι 3 με τις τιμές θολότητας που λήφθηκαν με το ψηφιακό μέτρο θολότητας (NTU).....	68
Εικόνα 39: Συσχέτιση των τιμών ανακλαστικότητας ($\rho_{GER1500}$) στο κανάλι 1 με τις τιμές θολότητας που λήφθηκαν με το δίσκο Secchi (SDD).....	68
Εικόνα 40: Συσχέτιση των τιμών ανακλαστικότητας ($\rho_{GER1500}$) στο κανάλι 2 με τις τιμές θολότητας που λήφθηκαν με το δίσκο Secchi (SDD).....	69
Εικόνα 41: Συσχέτιση των τιμών ανακλαστικότητας ($\rho_{GER1500}$) στο κανάλι 3 με τις τιμές θολότητας που λήφθηκαν με το δίσκο Secchi (SDD).....	69

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΤΕ.ΠΑ.Κ	Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
GPS	Παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης
DO	Διαλυμένο οξυγόνο
BOD	Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο
COD	Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο
TOC	Ολικός Οργανικός Άνθρακας
ICOLD	Διεθνής Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων (International Commission on Large Dams)
LiDAR	Light Detection and Ranging
LEO	Χαμηλή τροχιά περί τη γη (Low Earth Orbit)
MEO	Μεσαία τροχιά περί τη γη (Medium Earth Orbit)
GEO	Γεωσύγχρονη τροχιά (Geosynchronous Orbit)
NASA	National Aeronautics and Space Administration
MSS	Multispectral Scanner System
RBV	Return Beam Vidicon
DCS	Data Collection System
POC	Σωματίδια Οργανικού Άνθρακα
SWIR	Short Wave Infrared
AOI	Περιοχή ενδιαφέροντος (Area Of Interest)
NTU	Νεφελομετρικό Μέτρο Θολότητας (Nephelometric Turbidity Unit)
SDD	Βάθος του δίσκου Secchi (Secchi Disk Depth)

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

ICOLD	Διεθνής Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων (International Commission on Large Dams)
LiDAR	Light Detection And Ranging
TM	Θεματικός Χαρτογράφος (Thematic Mapper)
ETM+	Ενισχυμένος Θεματικός Χαρτογράφος (Enhanced Thematic Mapper)
RMSE	Τυπική Απόκλιση (Root Mean Square Error)
AISA	Αεροφερόμενο Φασματοραδιόμετρο απεικόνισης (Airbone Imaging Spectrometer for Applications)
Chl-α	Χλωροφύλλη-α
IRS- P6	Indian Remote Sensing Sattelite
LISS-III	Linear Imaging Self Scanning Sensor
R	Συντελεστής συσχέτισης
R ²	Συντελεστής προσδιορισμού

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ποιότητα των υδάτων σε γενικό επίπεδο, αποτελεί σήμερα ένα κεφάλαιο μελέτης πολλών επιστημόνων και μελετητών και είναι ένα θέμα υψίστης σημασίας μιας και ο πλανήτης μας είναι καλυμμένος στο μεγαλύτερο μέρος του από νερό το οποίο μπορεί να αποθηκευτεί είτε να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς άρδευσης και ύδρευσης είτε να γίνει παροχή του για πόσιμο. Αυτό απαιτεί την συνεχή παρακολούθηση και αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων αλλά και τη συνεχή μέτρηση των φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων του νερού. Η ποιότητα των υδάτων αναφέρεται στη χημική του σύσταση, στην ενεργειακή του κατάσταση και στα βιολογικά υλικά που περιέχει στον όγκο του.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση και όλες οι ανεπτυγμένες χώρες έχουν θεσμοθετήσει σχετική υποχρεωτική νομοθεσία που να εξασφαλίζει αποδεκτά επίπεδα στις διάφορες παραμέτρους ποιότητας των υδάτων, φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς με απώτερο στόχο την αναβάθμιση της ποιότητας ζωής. Η Ευρωπαϊκή Ένωση κατανοώντας τη σημασία του υδάτινου περιβάλλοντος, προχώρησε στην εκπόνηση μιας νέας Οδηγίας Πλαισίου (2000/60/EK) που θεσπίζει τις βασικές αρχές μιας βιώσιμης πολιτικής των υδάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Η βιβλιογραφία αναφέρει αρκετές προσπάθειες που έγιναν κατά καιρούς για την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων μέσω της μελέτης των παραμέτρων ποιότητας των υδάτων με χρήση Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης. Η Δορυφορική Τηλεπισκόπηση έχει χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές για διαχείριση και εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων σε ενδοχώρους, όπως για παράδειγμα σε δεξαμενές (Nellis et al, 1998) , σε λίμνες (Fraser, 1998) , ποταμούς (Smith, 1997), θάλασσες (Veneranda et al, 2011) κλπ. Όσο αφορά την εφαρμογή τεχνικών Τηλεπισκόπησης για εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων σε φράγματα, έχουν γίνει ορισμένες μελέτες σε περιορισμένο, όμως, βαθμό όπως δεικνύεται από τους Hadjimitsis et al (2006) και Alparlam et al (2010).

Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε αυτή, αναπτύσσονται πολύ ραγδαία και βρίσκει εφαρμογή σε πάρα πολλούς τομείς. Αποτέλεσμα της ανάπτυξης αυτής, είναι η αύξηση ενός πλήθους εφαρμογών, χρησιμοποιώντας νέες τεχνικές και μεθοδολογίες παρατήρησης γης. Το φάσμα της Τηλεπισκόπησης είναι αρκετά

ευρύ. Παρόλα αυτά, περιορίζεται σε συστήματα απεικονίσεων ή εικόνων, όπως οι δορυφορικές εικόνες και οι αεροφωτογραφίες.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής μελέτης και των μετρήσεων είναι η παρακολούθηση της θολότητας του νερού στο φράγμα του Ασπρόκρεμμου στην Πάφο και παράλληλα η ανάπτυξη μιας μαθηματικής εξίσωσης που να συνδέει την θολότητα που μετράμε επί τόπου με την ανακλαστικότητα που δίνεται από το δορυφόρο αφού πρώτα διορθωθεί γεωμετρικά και ατμοσφαιρικά. Απώτερος σκοπός μετά την ανάπτυξη της εξίσωσης (σε μεγάλο πεδίο μετρήσεων) είναι να δοθεί η δυνατότητα μελλοντικής χρήσης της για συστηματική παρακολούθηση μέσω δορυφορικών εικόνων χωρίς τη χρήση επίγειων μετρήσεων.

1 Θεωρητικό υπόβαθρο

1.1 Ποιότητα υδάτων

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται σημασία στην ποιότητα των υδάτων και γίνεται επίσης, αναφορά στις βασικές παραμέτρους ποιότητας αυτών. Επιπλέον, περιγράφεται η νομοθεσία της Κύπρου στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης που διέπει την ποιότητα των υδάτων.

1.1.1 Κριτήρια ποιότητας υδάτων

Το νερό αποτελεί δημόσιο αγαθό και βασικό παραγωγικό συντελεστή του οικονομικού συστήματος. Η προσέγγιση λοιπόν με την οποία «συμπεριφερόμαστε» σε αυτό θα πρέπει να αναγνωρίζει το σπουδαίο του ρόλο.

Η ποιότητα των υδάτων αναφέρεται στη χημική του σύσταση, στην ενεργειακή του κατάσταση και στα βιολογικά υλικά που περιέχει στον όγκο του. Η ποιότητα καθορίζεται βάση ορισμένων παραμέτρων που είναι είτε ουσίες, είτε ομάδες ουσιών, είτε χαρακτηριστικά του νερού (φυσικά, χημικά, βιολογικά). Το νερό χαρακτηρίζεται ως καλής ή κακής ποιότητας βάση των τιμών των προαναφερθέντων παραμέτρων και βάση της χρήσης του.

Με την έννοια της ποιότητας των υδάτων εννοούμε το σύνολο των φυσικών, χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του νερού σε σχέση με ένα σύνολο προτύπων. Για τον έλεγχο της ποιότητας αλλά και της ρύπανσης των υδάτων, υπάρχουν κυρίως δύο βασικοί τύποι κριτηρίων. Ο πρώτος έχει σχέση με την ποιότητα των υδάτων σε πρότυπους ποταμούς ή αλλιώς αποδέκτες, για παράδειγμα λίμνες, ανοικτή θάλασσα κλπ. Ο δεύτερος έχει σχέση με την ποιότητα των υδάτων σε πρότυπα λύματα δηλαδή σε απόβλητα που παροχετεύονται από μια δεδομένη πηγή. Μεγαλύτερη σημασία έχουν τα πρότυπα της ποιότητας του αποδέκτη. (Κούγκολος, 2007)

1.1.2 Βασικές παράμετροι ποιότητας υδάτων

Η ποιότητα των υδάτων πρέπει να αποτελεί για τον άνθρωπο ένα θέμα υψίστης σημασίας μιας και ο πλανήτης μας είναι καλυμμένος στο μεγαλύτερο μέρος του από νερό. Αυτό απαιτεί την συνεχή παρακολούθηση και αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων αλλά και τη συνεχή μέτρηση των φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων του νερού.

Το φράγμα του Ασπρόκρεμμου στο οποίο αναφέρεται η παρούσα μελέτη είναι ένα από τα σημαντικότερα υδατικά συστήματα της Κύπρου. Έτσι, η μελέτη διάφορων φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων των υδάτων του, είναι πολύ σημαντική.

Πιο κάτω, ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των πιο βασικών παραμέτρων του νερού.

1.1.2.1 Φυσικές παράμετροι

Το νερό μπορούμε να το βρούμε στην ατμόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και τη λιθόσφαιρα, δηλαδή, σε όλα τα τμήματα της βιόσφαιρας. Μπορεί να βρεθεί σε στερεή, υγρή και αέρια κατάσταση. Το νερό είναι άχρωμο, άοσμο, άγευστο και σε θερμοκρασία δωματίου, 20⁰C όταν βρίσκεται σε υγρή κατάσταση.

➤ pH

Το pH είναι ένας τρόπος έκφρασης της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου σε ένα υδατικό διάλυμα. Το pH μετράται σε κλίμακα από 0 – 14, με ουδέτερο σημείο την τιμή 7, όπου τα ιόντα υδρογόνου και υδροξυλίου βρίσκονται σε ίσες συγκεντρώσεις. Ύδατα με μικρότερες τιμές pH από 7 ορίζονται ως όξινα ενώ κάτω από 7 ορίζονται ως αλκαλικά ή βασικά. Η τιμή του pH στα ύδατα έχει άμεση σχέση με το είδος των χημικών ουσιών που περιέχονται σε αυτά και ρυθμίζει τους μηχανισμούς των αντιδράσεων. Επιπρόσθετα, επιταχύνει ή παρεμποδίζει τις βιομηχανικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα. Αν τα ύδατα είναι έντονα όξινα ή έντονα αλκαλικά δημιουργούν πρόβλημα κατά την επεξεργασία και θα πρέπει να γίνεται ρύθμιση του pH στα επιθυμητά όρια. (Λουκάς, 2007)

➤ **Θερμοκρασία**

Η πιο επιθυμητή θερμοκρασία του νερού είναι μεταξύ 4⁰C και 10⁰C. Η θερμοκρασία έχει άμεση σχέση με τη διαλυτότητα του οξυγόνου, με το μεταβολισμό υδρόβιων οργανισμών, και με τη διαδικασία διάσπασης των οργανικών ουσιών που αυτό περιέχει. Επιπλέον, όταν η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται υπάρχει περίπτωση να αποξυγονωθεί λόγω της μειωμένης διαλυτότητας του οξυγόνου στις πιο ψηλές θερμοκρασίες. Επιπρόσθετα, η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει τη γεύση του. Με την αύξηση της θερμοκρασίας το νερό «χάνει» από τη γεύση του, είναι λιγότερο εύγευστο γιατί εκδιώκονται τα διαλυμένα αέρια σε αυτό.

➤ **Χρώμα**

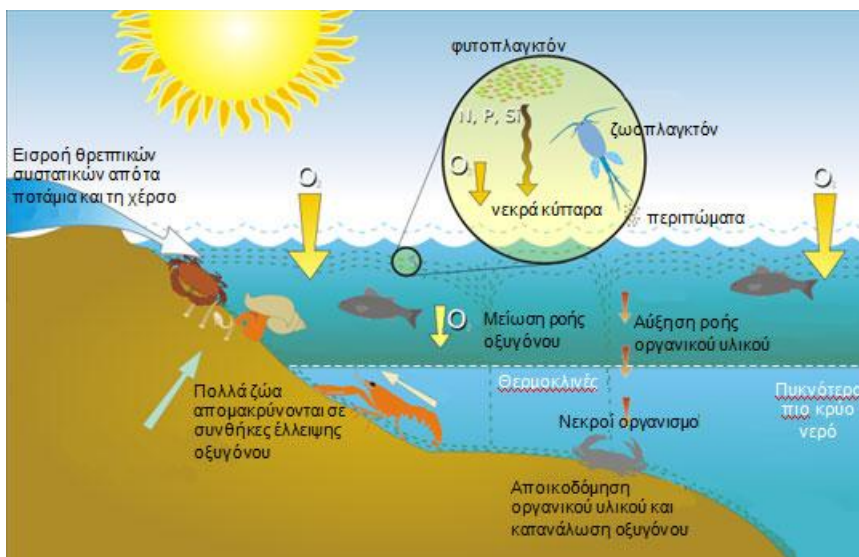
Το χρώμα στα ύδατα δεν έχει να κάνει τόσο με την υγιεινή τους αλλά με το από πού προέρχεται το νερό. Αισθητικά, το χρώμα στο νερό είναι ανεπιθύμητο. Η εμφάνιση χρώματος στα ύδατα είναι αποτέλεσμα της παρουσίας μεταλλικών αλάτων, οργανικών ενώσεων και άλλων διαλυτών κolloειδών στερεών. Τα ύδατα μπορεί να χαρακτηριστούν με διάφορα χρώματα, όπως κόκκινα, μαύρα, μπλε. Έντονη παρουσία σιδήρου σε αυτά, τα χρωματίζουν κόκκινα ενώ όταν υπάρχει χαλκός ή μίγματα χαλκού σε αιώρηση ή διάλυση, αυτά χρωματίζονται μπλε. Μαύρα ύδατα χαρακτηρίζονται αυτά των πλημμυρών λόγω της παρουσίας μελάνης που σχηματίζεται από το συνδυασμό οργανικών οξέων με μίγμα τανίνης. Επιπλέον, ο χρωματισμός των υδάτων εμποδίζει τη διέλευση του φωτός και επομένως και τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης των αυτότροφων οργανισμών (Λουκάς, 2007).

➤ **Οσμή**

Πηκτικές ενώσεις που δημιουργούνται ως αποτέλεσμα της αποδόμησης της οργανικής ύλης, της παρουσίας αλγών, προϊόντων διάβρωσης μετάλλων και χημικών βιομηχανικής και γεωργικής προέλευσης, είναι υπεύθυνα για την οσμή στο νερό.

➤ Διαλυμένο οξυγόνο (DO)

Σημαντική παράμετρος των υδάτων είναι το διαλυμένο οξυγόνο για έλεγχο της χημικής ρύπανσης των νερών. Τα καθαρά ύδατα εμφανίζουν ψηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου που φτάνουν τις τιμές κορεσμού, ενώ χαμηλές τιμές δείχνουν ότι τα νερά είναι πολύ μολυσμένα με μεγάλα ποσοστά οργανικών ουσιών. Η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στο νερό έχει άμεση σχέση με την ανάπτυξη μορφών ζωής. Το νερό εμπλουτίζεται με οξυγόνο μέσω της διαλυτοποίησης του ατμοσφαιρικού οξυγόνου στο νερό και μέσω φωτοσυνθετικής παραγωγής. Μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου σε επίπεδα μικρότερα από την τιμή κορεσμού οδηγεί σε αποδόμηση της οργανικής ύλης και νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου. Η μη αποτελεσματική επεξεργασία των υδάτων πριν την τελική τους διάθεση, οδηγεί σε αύξηση των συγκεντρώσεων οργανικού φορτίου, αμμωνιακού και οργανικού αζώτου στα φυτικά ύδατα όπου το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνιακά ιόντα τα οποία μετατρέπονται σε νιτρικά. Επομένως, η μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στα ύδατα είναι δείκτης της ρυπαντικής επιβάρυνσης που έχει επέλθει σε αυτά. Η ελάττωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου εξαρτάται από την παρουσία οργανικών ενώσεων και ενώσεων του αζώτου και από την υφιστάμενη σχέση των ρυθμών αποξυγόνωσης και οξυγόνωσης του υδάτινου οικοσυστήματος (Λοϊζίδου, 2006). Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παρουσία του φαινομένου του ευτροφισμού (βλέπε Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Το φαινόμενο του ευτροφισμού (Πηγή: http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher3_4_2.html)

➤ **Ευτροφισμός**

Ο ευτροφισμός των υδάτων αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα. Δημιουργείται από την υπέρμετρη αύξηση της συγκέντρωσης θρεπτικών συστατικών. Τα βακτήρια και οι άλγες αυξάνονται σε τόσο βαθμό που σχηματίζουν επικάλυμμα στις υδάτινες επιφάνειες προκαλώντας στο νερό σκίαση κάτω από την επιφάνεια. Καθώς τα βακτήρια αυξάνονται, η κατανάλωση διαλυμένου οξυγόνου στο νερό, αυξάνεται δραματικά ενώ η παραγωγή ελαττώνεται με αποτέλεσμα να μην υπάρχει οξυγόνο για τους μη φωτοσυνθετικούς οργανισμούς. Τα ψάρια είναι οι πρώτοι οργανισμοί που πεθαίνουν και ακολουθούν τα βακτήρια και έτσι δημιουργείται ένα νεκρό οικοσύστημα. Αποτέλεσμα του ευτροφισμού είναι η υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων, η μεταβολής της χλωρίδας και πανίδας τους και η μείωση της αισθητικής τους αξίας.

➤ **Στερεά**

Τα στερεά στα ύδατα ταξινομούνται σε επιμέρους κατηγορίες όπως αιωρούμενα, διαλυμένα, ολικά, καθιζάνοντα κλπ. Όσον αφορά τα αιωρούμενα στερεά είναι ανόργανης ή οργανικής φύσης. Η παρουσία τους στα ύδατα οδηγεί στη δημιουργία θολότητας η οποία εκτρέπει ή απορροφά το ηλιακό φως. Πέραν από την κακή αισθητική που δημιουργούν στα ύδατα, η εμπόδιση της διέλευσης του ηλιακού φωτός σε αυτά εμποδίζει τη διαδικασία φωτοσύνθεσης και παραγωγής του φυτοπλαγκτόν. Επίσης, επηρεάζουν αρνητικά την ανάπτυξη υδρόβιων οργανισμών και τη μεταφορά συστατικών μεταξύ ατμόσφαιρας και νερού. Τα διαλυμένα στερεά οφείλονται στην παρουσία κυρίως ευδιάλυτων ανόργανων αλάτων. Η προέλευση τους είναι φυσική ή οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Τα καθιζάνοντα στερεά σχηματίζουν πυθμενική ιλύ που μπορεί να δημιουργήσει αρνητικές επιπτώσεις στους ασπόνδυλους οργανισμούς και να φράξει τα πυθμενικά στρώματα χαλικιού όπου τα ψάρια αποθέτουν τα αβγά τους. Τα ολικά στερεά, είναι το σύνολο όλων των προαναφερθέντων στερεών. Η μέτρηση των ολικών στερεών είναι πολύ σημαντική γιατί παρέχει πληροφορίες που έχουν σχέση με το επίπεδο επιβάρυνσης που έχει υποστεί ο υδατικός αποδέκτης.

1.1.2.2 Χημικές παράμετροι

➤ Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)

Με τον όρο βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο εννοούμε το οξυγόνο που χρειάζεται ώστε να αποδομηθούν βιοχημικά οι οργανικές ουσίες του υδάτινου αποδέκτη από αερόβιους μικροοργανισμούς σε διάστημα πέντε ημερών, χωρίς φως, σε σταθερή θερμοκρασία 20°C. Έτσι, υπολογίζεται έμμεσα το φορτίο σε οργανικές ουσίες που υπάρχει στο νερό.

➤ Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο δείχνει την ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται για τη χημική οξείδωση των οργανικών ενώσεων που περιέχονται στα νερά σε ανόργανα παράγωγα. Η οξείδωση πραγματοποιείται με ισχυρά οξειδωτικά μέσα, υπό όξινες συνθήκες, με παρουσία καταλύτη. Κατά συνέπεια, είναι η έμμεση μέτρηση της ποσότητας των οργανικών ενώσεων στα ύδατα. Η μέτρηση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, καθώς γίνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα και μπορεί με κατάλληλη βαθμονόμηση και συσχέτιση να παρέχει ένδειξη BOD. Η καλή ποιότητα των υδάτων χαρακτηρίζεται από τιμές μικρότερες των 10 mg/L. (Πηγή:<http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/eisagogi.htm>)

➤ Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)

Η τιμή του ολικού οργανικού άνθρακα, εκφράζει την ολική φόρτιση των υδάτων σε οργανικές ενώσεις. Οι τιμές του ολικού οργανικού άνθρακα δίνουν πληροφορίες για το σύνολο των ενώσεων του άνθρακα, ανεξάρτητα από τις βαθμίδες οξείδωσής του. Ως εκ τούτου παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα και το επίπεδο ρύπανσης των υδάτων ως προς την παρουσία οργανικών συστατικών.

➤ Θρεπτικά συστατικά

Θρεπτικά συστατικά ονομάζουμε κάθε συστατικό το οποίο είναι απαραίτητο για τη φυσιολογική ανάπτυξη των διαφόρων οργανισμών. Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται κατά παράδοση, για το άζωτο (N), το φωσφόρο (P) και το πυρίτιο (Si). Τα θρεπτικά αυτά

συστατικά, χρησιμοποιούνται από τους φυτοπλαγκτονικούς οργανισμούς που φωτοσυνθέτουν και αναπτύσσονται στην εύρωτη ζώνη, που εκτείνεται περίπου μέχρι τα εκατόν μέτρα (100 m). Τα θρεπτικά συστατικά, αποτελούν το πιο σημαντικό αβιοτικό παράγοντα των υδάτινων οικοσυστημάτων και αυτό γιατί οι συγκεντρώσεις τους μπορούν να περιορίσουν τη φωτοσύνθεση και την ανάπτυξη φυτών άρα και τη βιολογική παραγωγή. Ταυτόχρονα, λόγω της κατανάλωσης τους στην εύρωτη ζώνη, τα επιφανειακά ύδατα είναι φτωχά σε θρεπτικά συστατικά. Αντίθετα, τα βαθιά ύδατα είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά. Εκεί καταλήγει το μεγαλύτερο μέρος της οργανικής ύλης, όπου και αποικοδομείται, με αποτέλεσμα την ελευθέρωση θρεπτικών συστατικών (Σκούλλος, 1997).

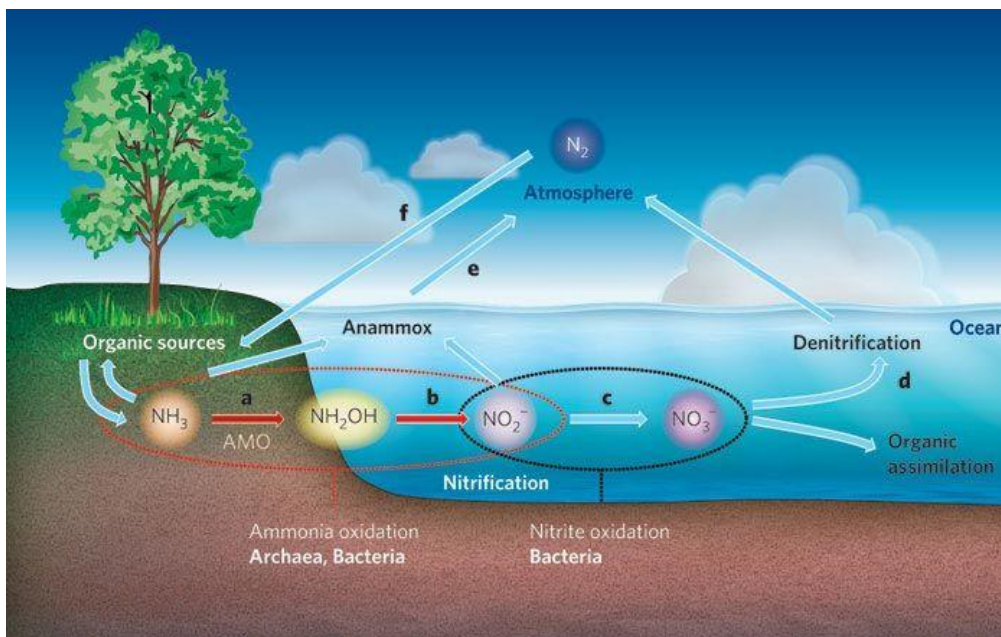
Όπως προαναφέρθηκε, στην εύρωτη ζώνη το φυτοπλαγκτόν μέσω της φωτοσύνθεσης, χρησιμοποιεί τα θρεπτικά συστατικά στους φυτικούς ιστούς τους. Οι οργανισμοί που βρίσκονται εκεί και τρέφονται από τα φυτά, αποτελούν τροφή για άλλους μεγαλύτερους καταναλωτές. Οι οργανισμοί αυτοί, απεκκρίνουν απ' ευθείας ένα μικρό ποσοστό θρεπτικών συστατικών ως προϊόν μεταβολισμού. Το μεγαλύτερο ποσοστό θρεπτικών συστατικών παράγεται κατά την αποσύνθεση των νεκρών κυττάρων των διάφορων οργανισμών (βλέπε Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Απλοποιημένη παρουσίαση της τροφικής πυραμίδας και της ανακύκλωσης των θρεπτικών συστατικών

Όσο αφορά το άζωτο που υπάρχει στην ατμόσφαιρα, υπάρχει σε μεγάλες ποσότητες και αποτελεί περίπου το 80% του όγκου των αερίων της ατμόσφαιρας. Ο κύκλος του αζώτου δεν είναι κλειστός (Εικόνα 3). Στα ύδατα εισέρχονται τεράστιες ποσότητες αζωτούχων ενώσεων

που προέρχονται είτε από την ατμόσφαιρα μέσω των βροχοπτώσεων, είτε από την απόπλυση εδαφών. Τα βασικότερα στάδια του κύκλου του αζώτου είναι αρχικά η δέσμευση του, η οποία μπορεί να είναι είτε φυσική είτε βιολογική. Η βιολογική δέσμευση του μοριακού αζώτου σε αμμωνία μπορεί να πραγματοποιηθεί από ορισμένα είδη βακτηρίων των εδαφών. Έπειτα, γίνεται η αφομοίωση του αζώτου. Το φυτοπλαγκτόν μπορεί να προσλάβει οποιαδήποτε από τις τρεις μορφές του δεσμευμένου αζώτου (τα νιτρικά, τα νιτρώδη ή την αμμωνία), με προτιμότερη μορφή πρόσληψης την αμμωνία. Σε τρίτο στάδιο γίνεται η νιτροποίηση, η αναγέννηση δηλαδή των νιτρικών. Είναι η διεργασία μετατροπής των οργανικών αζωτούχων ενώσεων σε νιτρικά, μέσω της αμμωνίας που γίνεται από τα νιτροποιητικά βακτήρια. Τέλος, γίνεται η απονιτροποίηση, δηλαδή μια βακτηριακή διαδικασία αναγωγής των νιτρικών σε νιτρώδη, αλλά και η αναγωγή και των δύο αυτών μορφών σε μοριακό άζωτο (Σκούλλος, 1997).



Εικόνα 3: Ο κύκλος του αζώτου (Πηγή: http://enidrio.gr/el/biogeochemical_cycles/nitrogen/)

Ο φώσφορος συναντάται σε τρεις μορφές: τα ορθοφωσφορικά, τα συμπυκνωμένα φωσφορικά και τα φωσφορικά που είναι δεσμευμένα με οργανικές ενώσεις και εμφανίζεται στα φυσικά ύδατα σε διάφορες ενώσεις. Προέρχονται κυρίως από γεωργικές δραστηριότητες και από την απόρριψη αστικών λυμάτων και υγρών βιομηχανικών αποβλήτων. Για να αναπτυχθούν τα φυτά και τα ζώα, υπάρχουν καθορισμένες ποσότητες φωσφορικών οι οποίες είναι

απαραίτητες για το σκοπό αυτό. Παρόλα αυτά όταν οι συγκεντρώσεις φωσφορικών είναι μεγάλες και ξεπερνούν τα προκαθορισμένα όρια και σε συνδυασμό με την παρουσία νιτρικών, προκαλείται το φαινόμενο του ευτροφισμού. Στον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 1) φαίνονται κάποια από τα είδη ρύπων που μπορεί να υπάρχουν στα ύδατα και οι επιδράσεις τους σε αυτά.

Πίνακας 1: Είδη ρύπων και επιδράσεις τους

Είδη ρύπων	Επίδραση
Αύξηση οργανικού φορτίο	Αποξυγόνωση αποδέκτη
Αύξηση θρεπτικών N, P	Ευτροφισμός
Αύξηση συγκέντρωσης NH₃	Τοξικότητα σε υδρόβιους οργανισμούς λόγω της παρουσίας μη ιονισμένης αμμωνίας (NH ₃). Αποξυγόνωση αποδέκτη λόγω νιτροποίησης.
Αύξηση συγκέντρωσης NO₃-N	Ασφυξία σε βρέφη – πόσιμο νερό
Αύξηση συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών	Δημιουργία ιζημάτων, αύξηση θολότητας αποδέκτη, μείωση αισθητικής αξίας αποδέκτη

➤ **Χλωριούχα (Chlorides - Cl⁻)**

Στη φύση μπορούν να βρεθούν σαν άλατα νατρίου, καλίου και ασβεστίου. Μπορούν να προέλθουν από τη διάβρωση βράχων και λόγω της ευκινησίας και της ευδιαλυτότητάς τους μπορούν πολύ εύκολα να διεισδύσουν στο έδαφος ή να μεταφερθούν σε κλειστές δεξαμενές, ταμιευτήρες, ωκεανούς κλπ. Μπορεί ,επίσης, να προέλθουν είτε από λιπάσματα είτε βιομηχανικά απόβλητα, ακόμα και από διείσδυση θαλασσινού νερού στην περιοχή. Ο ανθρώπινος οργανισμός δεν απειλείται από την παρουσία του, παρόλα αυτά αν υπάρχει σε υψηλές συγκεντρώσεις, επηρεάζουν τη γεύση του πόσιμου νερού. Αν από τα αυξηθούν οι συγκεντρώσεις χλωριούχων στο νερό, είναι ένδειξη, είτε εισδοχής θαλασσινού νερού σε

αυτό είτε ρύπανση από λύματα και απαιτείται υγειονομική επιθεώρηση. Η ρύπανση μπορεί να επιβεβαιωθεί και με μικροβιολογικές μετρήσεις κλπ.

➤ **Θολότητα (Turbidity)**

Η θολότητα που μπορεί να παρατηρηθεί στο νερό οφείλεται σε κολλοειδής ανόργανες ή οργανικές αιωρούμενες ύλες. Αν το νερό είναι θολό, τότε κατά πάσα πιθανότητα είναι ρυπασμένο και πρέπει να ελεγχθεί. Κατανάλωση θολού νερού, είναι επικίνδυνη για την υγεία των καταναλωτών αφού είναι ένδειξη ότι δεν έχει απολυμανθεί αποτελεσματικά. Οι παθογόνοι οργανισμοί, εγκλωβίζονται στα σωματίδια που αιωρούνται και προστατεύονται έτσι από την απολύμανση. Επιπλέον, τα σωματίδια αυτά μπορεί να απορροφήσουν επιβλαβείς οργανικές ή ανόργανες ουσίες.

➤ **Χλωροφύλλη – α**

Η χλωροφύλλη μπορεί να είναι ευδιάκριτη στο άνθρωπο λόγω της πράσινης χρωστικής ουσίας, την οποία χρησιμοποιούν τα φυτά, οι άλγες και τα κυανοβακτήρια με σκοπό τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας από τα φυτά, βρίσκει χρήση, στη σύνθεση των δομικών συστατικών τους από το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό. Σκοπός της μέτρησης της συγκέντρωσης χλωροφύλλης στα επιφανειακά νερά είναι η εκτίμηση της βιομάζας αλγών και κυανοβακτηρίων σε αυτά.

1.1.2.3 Βιολογικές παράμετροι

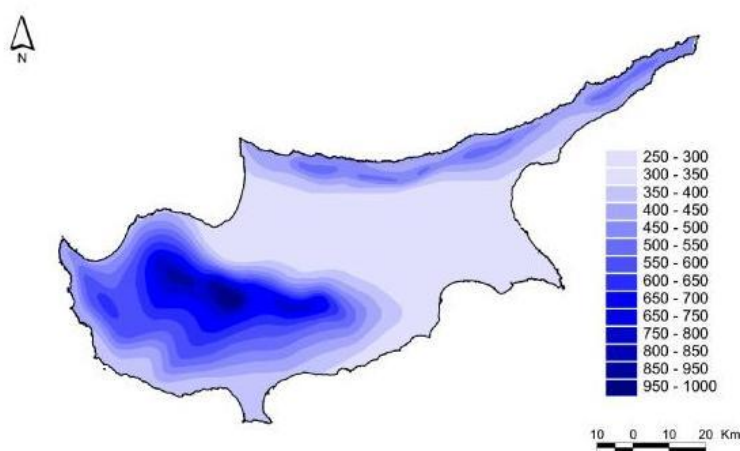
➤ **Μικροβιακή μόλυνση**

Τα νερά είναι φορείς μικροοργανισμών, τα οποία δημιουργούνται κυρίως από τη διάσπαση της οργανικής ύλης. Τα μικρόβια αυτά, γνωστά ως σαπρόφυτα δεν προκαλούν παθήσεις αλλά ζουν σε βάρος των ζώων και των φυτών. Η μικροβιακή μόλυνση – ρύπανση του νερού, μπορεί να προέλθει από τα αστικά ή τα βιομηχανικά απόβλητα αλλά και από τα ζώα. Επηρεάζει χρήσεις του νερού όπως η κατανάλωσή του, η κολύμβηση, οι υδατοκαλλιέργειες κλπ. Η μικροβιακή μόλυνση αυξάνει την παθογένεια των υδάτων λόγω της μεγάλης παρουσίας παθογόνων βακτηρίων, όπως χολέρα, τύφος, δυσεντερία, και λόγω της παρουσίας

παθογόνων ιών (για παράδειγμα ηπατίτιδα, πολυεμυλίτιδα) και παθογόνων παρασίτων (για παράδειγμα, σχιζοστωμίαση). Ως δείκτης μικροβιακής μόλυνσης, χρησιμοποιείται το κολοβακτηρίδιο. Η ανίχνευση των παθογόνων μικροβίων στα νερά απαιτεί μεγάλες ποσότητες δείγματος και χρονοβόρες τεχνικές για να προσδιοριστούν (Λουκάς, 2007).

1.1.3 Φράγματα Κύπρου – Υδατική κατάσταση

Οι υδάτινοι πόροι της Κύπρου είναι περιορισμένοι λόγω του ξηροθερμικού κλίματος της Κύπρου, του ανάγλυφού της, της γεωλογίας και της ανομοιόμορφης κατανομής της βροχόπτωσης. Ο εμπλουτισμός των υδάτινων πόρων του νησιού βασίζεται μόνο στη βροχόπτωση η οποία είναι πολύ χαμηλή. Η μέση ετήσια βροχόπτωση για το χρόνο ως σύνολο είναι περίπου 480 χιλιοστόμετρα (μέση τιμή για την περίοδο 1951-1980). Η μέση ετήσια βροχόπτωση αυξάνει από τις νοτιοδυτικές προσήνεμες πλαγιές, όπου είναι 450 χιλιοστόμετρα, προς την περιοχή του Τροόδους, όπου στην κορυφή του ορεινού όγκου φτάνει τα 1100 χιλιοστόμετρα (Εικόνα 4).



Εικόνα 4: Μέση ετήσια βροχόπτωση στην Κύπρο (mm) (Πηγή: Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου)

Η εξάτμιση των υδάτων από την άλλη είναι πολύ μεγάλη, πράγμα που δημιουργεί μεγάλα προβλήματα στους υδάτινους πόρους της Κύπρου. Οι περιορισμένοι υδάτινοι πόροι του νησιού και οι αυξανόμενες ανάγκες σε νερό οδήγησε στην κατασκευή υδατοφρακτών για αύξηση των υδατικών αποθεμάτων. Το φράγμα του Ασπρόκρεμμου αποτελεί την κύρια πηγή νερού του αρδευτικού σχεδίου της Πάφου και μέρος των υδάτων του προχωρά σε σταθμούς επεξεργασίας και διατίθεται προς κατανάλωση.

της περιοχής (αμμοχάλικα, άμμος, άργιλος κλπ). Το νερό από τα φράγματα χρησιμοποιείται κυρίως για ύδρευση και άρδευση. Παρόλα αυτά από τα μεγαλύτερα φράγματα, χρησιμοποιείται και ποσότητα υδάτων η οποία διατίθεται για πόσιμο νερό δηλαδή προχωρά σε σταθμούς επεξεργασίας και διατίθεται προς κατανάλωση. Το νερό στα φράγματα υπόκειται σε ορισμένους ελέγχους ανά τακτά διαστήματα. Στα μεγαλύτερα φράγματα υπάρχει μόνιμο προσωπικό το οποίο έχει την απαραίτητη τεχνογνωσία για λειτουργία και συντήρηση του κάθε φράγματος και είναι κάτω από την επίβλεψη Μηχανικού τον οποίο ορίζει το Επαρχιακό Γραφείο. Σε κάθε φράγμα υπάρχει σύστημα ασφαλείας. Αποτελείται από συχνές επιθεωρήσεις, συστηματική συντήρηση και παρακολούθηση των ενόργανων καταγραφών (Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος: Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/index_gr/index_gr?OpenDocument)

1.1.4 Οδηγία Πλαίσιο 2000/60/EK – Ευρωπαϊκή Νομοθεσία

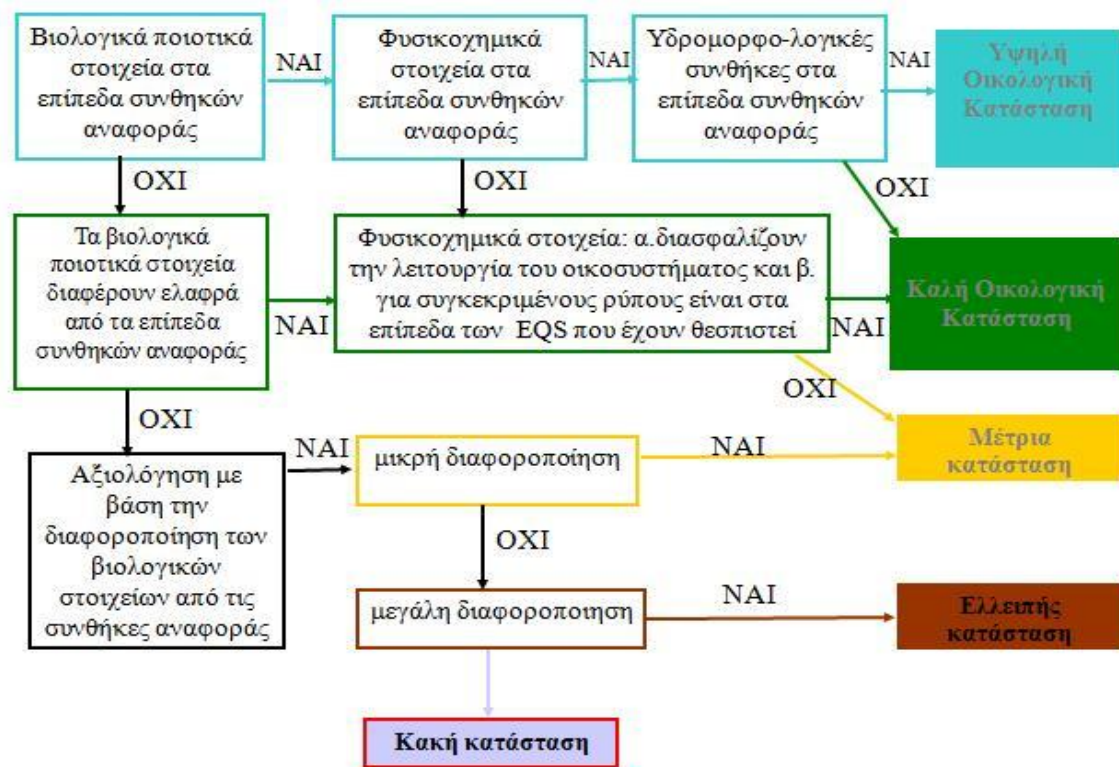
Η οδηγία πλαίσιο 2000/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων, τέθηκε σε ισχύ στις 22 Δεκεμβρίου 2000. Η Ευρωπαϊκή Ένωση κατανοώντας τη σημασία του υδάτινου περιβάλλοντος, προχώρησε στην εκπόνηση μιας νέας Οδηγίας Πλαισίου που θεσπίζει τις βασικές αρχές μιας βιώσιμης πολιτικής των υδάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η οδηγία αυτή εισάγει μια ολοκληρωμένη και συνολική προσέγγιση και αποτελεί ένα καινοτόμο βήμα για τη διαχείριση των υδατικών πόρων στην Ευρώπη. Με την ένταξη της Κύπρου στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η Κύπρος οφείλει να συμμορφωθεί πλήρως με τις απαιτήσεις και το χρονοδιάγραμμα της Οδηγίας αυτής.

Η Οδηγία 2000/60/EK για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων ή αλλιώς Οδηγία Πλαίσιο περί υδάτων, αναμορφώνει την υφιστάμενη Ευρωπαϊκή Νομοθεσία και θέτει το νομοθετικό πλαίσιο για την ορθή διαχείριση και προστασία των υδατικών πόρων. Βασικός στόχος της Οδηγίας, είναι να αποτραπεί η οποιαδήποτε υποβάθμιση των υδάτων ή να αποτραπεί η περαιτέρω υποβάθμισή τους και να επιτευχθεί μια κατάσταση που να μπορεί να χαρακτηριστεί καλή μέχρι το 2015. Η Κύπρος, σε συμμόρφωσή της με τα οριζόμενα όρια στην Οδηγία αυτή, εξέδωσε και εφαρμόζει τον «Περί Προστασίας και Διαχείρισης των Υδάτων Νόμο του 2004» (N13(I)/2004).

Η Οδηγία Πλαίσιο περί Υδάτων 2000/60/EK για τη διατήρηση και προστασία υδάτινων οικοσυστημάτων έχει ως σκοπό την επίτευξη της καλής κατάστασης όλων των υδάτινων σωμάτων. Ένα από τα στοιχεία που εισήγαγε για πρώτη φορά στην πολιτική της η Ευρωπαϊκή Ένωση για το περιβάλλον, ήταν ένα νομικό κείμενο το οποίο προτείνει οικονομικές αρχές και οικονομικά εργαλεία ως βασικά μέτρα για την επίτευξη των πιο πάνω στόχων. Η Οδηγία 2000/60/EK αποτελεί το επιστέγασμα των «Αρχών Νερού του Δουβλίνου» καθώς και όλων των επόμενων σταδίων ανάπτυξης της κοινής πολιτικής για το περιβάλλον συνδυάζοντας ποιοτικούς, ποσοτικούς και οικολογικούς στόχους για την προστασία υδάτινων οικοσυστημάτων. Η Οδηγία Πλαίσιο περί Υδάτων 2000/60/EK θεσπίζει ένα πλαίσιο το οποίο θα αποτρέπει την περεταίρω επιδείνωση των υδατικών πόρων, θα ενισχύει και θα προστατεύει την κατάσταση αυτών και θα προωθεί τη βιώσιμη χρήση ύδατος βασισμένη στη μακροπρόθεσμη προστασία των διαθέσιμων υδατικών πόρων. Επίσης, στοχεύει στην εξασφάλιση της προοδευτικής μείωσης της ρύπανσης των υπόγειων νερών και αποτρέπει την περαιτέρω ρύπανση τους.

Πρέπει να τονιστεί ότι ειδική οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα φράγματα δεν έχει οριστεί μιας και σε κάθε φράγμα οι παραμετρικές τιμές είναι διαφορετικές. Τα φράγματα θεωρούνται επιφανειακοί υδάτινοι πόροι. Επιφανειακοί υδάτινοι πόροι είναι το σύνολο των νερών των ποταμών, των λιμνών, των πηγών, των ελών κλπ. Τα φράγματα αποτελούν ένα τεχνητό υδατικό σύστημα, ένα σύστημα επιφανειακών υδάτων το οποίο δημιουργείται με δραστηριότητα του ανθρώπου. (Πηγή: Κυπριακή Δημοκρατία, Συνοπτική έκθεση για την Ε.Ε:[http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/all/E7806DF53C31D810C22572BB004DB967/\\$file/EU%20summary_gr_65.pdf?openelement](http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/all/E7806DF53C31D810C22572BB004DB967/$file/EU%20summary_gr_65.pdf?openelement)).

Τα υδάτινα σώματα διακρίνονται – ομαδοποιούνται ανάλογα με την κατάσταση και τον τύπο τους. Για να καταλήξουμε αν ένα υδάτινο σώμα είναι σε καλή ή κακή κατάσταση ακολουθούμε το πιο κάτω διάγραμμα (βλέπε Εικόνα 6)



Εικόνα 6: Προσδιορισμός κατάστασης υδάτινων σωμάτων (Πηγή: Μαμαής, 2006)

Για τις κατηγορίες επιφανειακών υδάτων, η ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης του υδατικού συστήματος, εκφράζεται με τη χαμηλότερη τιμή των αποτελεσμάτων της βιολογικής και φυσικοχημικής παρακολούθησης των σχετικών ποιοτικών στοιχείων, η οποία ταξινομείται σύμφωνα με την πρώτη στήλη του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2). Τα κράτη μέλη παρέχουν χάρτη για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού, με την ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης κάθε υδατικού συστήματος, χρησιμοποιώντας ένα χρωματικό κώδικα σύμφωνα με τη δεύτερη στήλη του παρακάτω πίνακα για να φαίνεται η ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης του υδατικού συστήματος (Οδηγία 2000/60/ΕΚ).

Πίνακας 2: Ταξινόμηση οικολογικής κατάστασης με χρωματικούς κώδικες

Ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης	Χρωματικός κώδικας
Υψηλή	Γαλάζιο
Καλή	Πράσινο
Μέτρια	Κίτρινο
Ελλιπής	Πορτοκαλί
Κακή	Κόκκινο

Πηγή: Οδηγία 2000/60/ΕΚ

Για τεχνητά υδατικά συστήματα, η ταξινόμηση του οικολογικού δυναμικού του υδατικού συστήματος εκφράζεται με τη χαμηλότερη τιμή των αποτελεσμάτων της βιολογικής και φυσικοχημικής παρακολούθησης των σχετικών ποιοτικών στοιχείων η οποία ταξινομείται σύμφωνα με τη στήλη του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3). Τα κράτη μέλη παρέχουν χάρτη για κάθε Περιοχή Λεκάνης Απορροής Ποταμού, με την ταξινόμηση του οικολογικού δυναμικού κάθε υδατικού συστήματος, χρησιμοποιώντας ένα χρωματικό κώδικα, όσον αφορά τα τεχνητά υδατικά συστήματα, σύμφωνα με τη δεύτερη στήλη του παρακάτω πίνακα. (Οδηγία 2000/60/ΕΚ). Η τρίτη στήλη αφορά ιδιαίτερα τροποποιημένα υδατικά συστήματα.

Πίνακας 3: Ταξινόμηση οικολογικού δυναμικού με χρωματικούς κώδικες

Ταξινόμηση οικολογικού δυναμικού	Χρωματικός κώδικας	
	Τεχνητά υδατικά συστήματα	Ιδιαίτερα τροποποιημένα
Καλό και ανώτερο	Πράσινες και ανοικτόγκριζες ρίγες του ίδιου πλάτους	Πράσινες και σκούρες γκριζες ρίγες του ίδιου πλάτους
Μέτριο	Κίτρινες και ανοικτόγκριζες ρίγες του ίδιου πλάτους	Κίτρινες και σκούρες γκριζες ρίγες του ίδιου πλάτους
Ελλιπής	Πορτοκαλιές και ανοικτόγκριζες ρίγες του ίδιου πλάτους	Πορτοκαλιές και σκούρες γκριζες ρίγες του ίδιου πλάτους
Κακό	Κόκκινες και ανοικτόγκριζες ρίγες του ίδιου πλάτους	Κόκκινες και σκούρες γκριζες ρίγες του ίδιου πλάτους

Πηγή: Οδηγία 2000/60/EK

Επίσης, τα κράτη μέλη παρέχουν χάρτη για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού, στον οποίο φαίνεται η χημική κατάσταση κάθε υδατικού συστήματος, χρησιμοποιώντας ένα χρωματικό κώδικα σύμφωνα με τη δεύτερη στήλη του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4) για να φαίνεται η ταξινόμηση της χημικής κατάστασης του υδατικού συστήματος (Οδηγία 2000/60/EK).

Πίνακας 4: Ταξινόμηση της χημικής κατάστασης με χρωματικούς κώδικες.

Ταξινόμηση της χημικής κατάστασης	Χρωματικός κώδικας
Καλή	Γαλάζιο
Κατάσταση κατώτερη της καλής	Κόκκινο

Πηγή: Οδηγία 2000/60/EK

2 Τηλεπισκόπηση και χρήση της

Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε αυτή, αναπτύσσονται πολύ ραγδαία και βρίσκει εφαρμογή σε πάρα πολλούς τομείς. Αποτέλεσμα της ανάπτυξης αυτής, είναι η αύξηση ενός πλήθους εφαρμογών, χρησιμοποιώντας νέες τεχνικές και μεθοδολογίες παρατήρησης γης. Με την τηλεπισκόπηση, μπορούμε να επιτύχουμε εύκολη διαχείριση και επεξεργασία δεδομένων με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και μικρό χρόνο αναμονής για απόκτηση των δεδομένων. Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα μπορούν να φανούν εξαιρετικά χρήσιμα σε πολλές επιστήμες όπως η Γεωλογία, η Γεωγραφία, η Τοπογραφία, η Πολιτική Μηχανική κλπ. Επίσης, είναι χρήσιμα για επιστήμες που ασχολούνται με την ατμόσφαιρα και τους ωκεανούς όπως η Μετεωρολογία, η Μηχανική Περιβάλλοντος, η Χημική Μηχανική, η Φυσική κλπ.

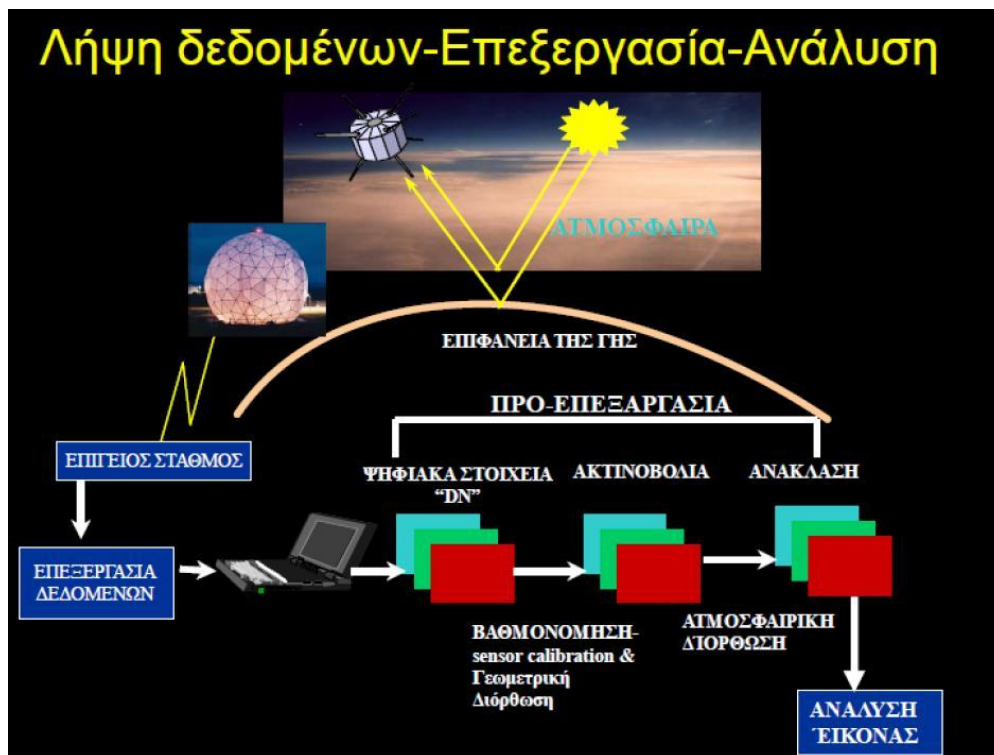
2.1 Τηλεπισκόπηση

Η λέξη Τηλεπισκόπηση αποτελείται από δύο συνθετικά: το αρχαίο επίρρημα «τηλε» το οποίο σημαίνει από μακριά και από το ουσιαστικό επισκόπηση που σημαίνει εξέταση. Η Τηλεπισκόπηση αποτελείται από τρία μέρη: (α) τους στόχους, (β) συλλογή δεδομένων και (γ) ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων (Καπαγερίδης, 2010)

Η τηλεπισκόπηση ορίζεται ως η επιστήμη της συλλογής πληροφοριών για ένα αντικείμενο χωρίς να έχουμε επαφή με αυτό χρησιμοποιώντας την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανακλάται ή εκπέμπεται από αυτά. Τα συστήματα τηλεπισκόπησης, δηλαδή το σύνολο των συσκευών και τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία είναι τα παθητικά συστήματα τηλεπισκόπησης, τα οποία ανιχνεύουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από μια φυσική πηγή (πχ Ήλιος). Η δεύτερη κατηγορία είναι τα ενεργητικά συστήματα τηλεπισκόπησης, τα οποία, εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και αναλύουν αυτήν που επιστρέφει πίσω σε αυτά (πχ ραντάρ, LiDAR) (Ress, 2001).

Όπως προαναφέρθηκε, το φάσμα της Τηλεπισκόπησης είναι αρκετά ευρύ. Παρόλα αυτά, περιορίζεται σε συστήματα απεικονίσεων ή εικόνων, όπως οι δορυφορικές εικόνες και οι

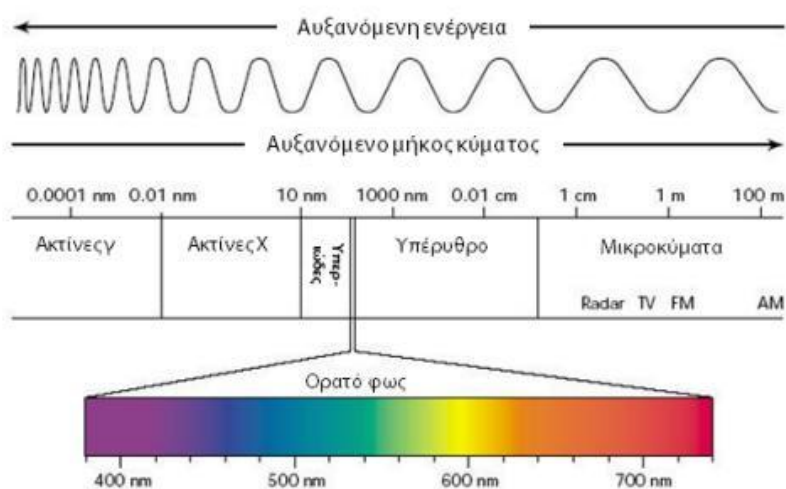
αεροφωτογραφίες. Μέσω της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης, ο χρήστης μπορεί να έχει τα δορυφορικά δεδομένα σε ψηφιακή μορφή και έτσι αποφεύγεται η ψηφιοποίηση τους ή η σάρωσή τους. Ταυτόχρονα, αποφεύγονται όλα τα σφάλματα που είναι αναμενόμενα σε αυτά τα στάδια. Επίσης, οι δορυφόροι περνούν από τα ίδια σημεία ανά τακτά χρονικά διαστήματα και επιτρέπουν την καταγραφή αντικειμένων και φαινομένων σε ένα ευρύ φάσμα (πχ ορατό, υπέρυθρο κλπ) (Mather, 2010).



Εικόνα 7: Διάγραμμα Ροής Τηλεπισκόπησης (α) (Πηγή: Hadjimitsis, 2011)

Η παράμετρος, η οποία θα υποστεί επεξεργασίας, σε κάθε διαδικασία τηλεπισκόπησης, είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται ή ανακλάται από διάφορα αντικείμενα ή επιφάνειες ή και χημικές ενώσεις. Έχοντας ως δεδομένο ότι η ακτινοβολία μπορεί να συλλεχτεί σε μια μεγάλη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και ότι η κατανομή της ακτινοβολίας που εκπέμπει ή ανακλά κάθε σώμα ή αντικείμενο σε διάφορα μήκη κύματος είναι διαφορετική και χαρακτηριστική της φύσης του και της χημικής του σύστασης (φασματική υπογραφή), υπάρχει η δυνατότητα αναγνώρισης του σώματος από απόσταση και έπειτα, υπάρχει και η δυνατότητα μελέτης του (Mather, 2010).

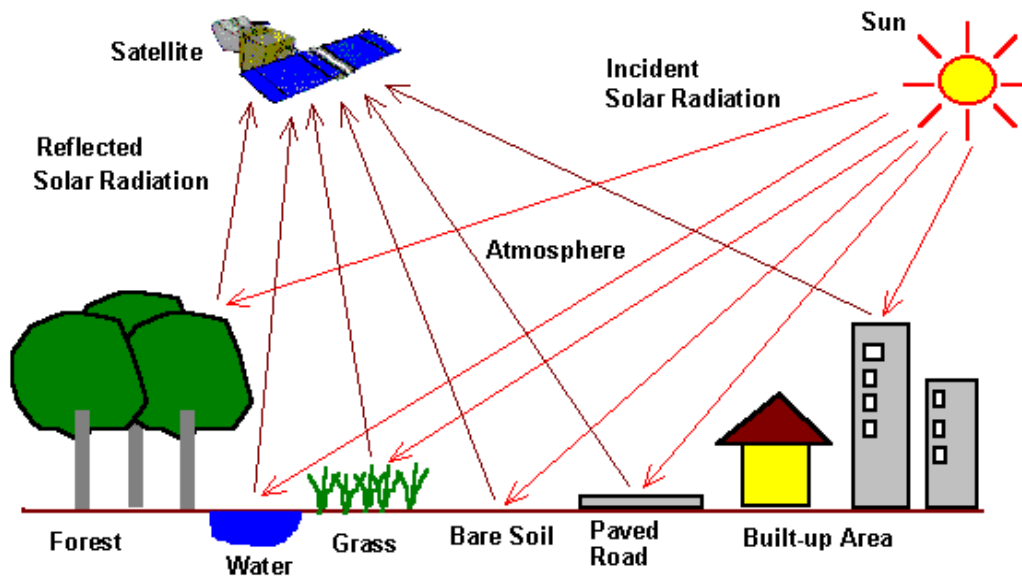
Ως ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ορίζουμε το εύρος της περιοχής συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται από μηδενικές συχνότητες μέχρι και το άπειρο και χωρίζεται σε επιμέρους ζώνες. Οι ζώνες αυτές είναι τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, η υπέρυθη ακτινοβολία, η ορατή ακτινοβολία, η υπεριώδης ακτινοβολία, οι ακτίνες X και οι ακτίνες γ όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 8).



Εικόνα 8: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (Πηγή: Καπαγερίδη, 2010)

Η φασματική υπογραφή είναι ο συγκεκριμένος συνδυασμός απεικονισμένης και απορροφημένης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στα ποικίλα μήκη κύματος που μπορούν μεμονωμένα να περιγράψουν, να προσδιορίσουν δηλαδή, ένα και μόνο αντικείμενο. Για κάθε σώμα, η φασματική υπογραφή είναι μοναδική. Τα όργανα των δορυφόρων, καταγράφουν την ακτινοβολία από τη γη σε διαφορετικές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Για κάθε στοιχειώδη επιφάνεια ανάλυσης τα δεδομένα που λαμβάνονται αντιστοιχούν σε κάποια τιμή ακτινοβολίας. Έπειτα, οι τιμές αυτές αντιστοιχίζονται σε διαφορετικά χρώματα για να δώσουν μια εικόνα. Έτσι, ανάλογα με το μήκος του κύματος που έχουν συντονιστεί τα διάφορα όργανα παρατήρησης των δορυφόρων, αυτοί, μπορούν να εξυπηρετήσουν διάφορους σκοπούς.

Για κάθε τηλεπισκοπική μελέτη εφαρμογής για τη λήψη κατάλληλων δεδομένων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη αρκετοί παράγοντες όπως είναι η φασματική ανάλυση, η ραδιομετρική και χωρική ανάλυση, η γεωμετρία λήψης της εικόνας, η ψηφιδωτή- ψηφιακή μορφή των εικόνων, το τηλεπισκοπικό σύστημα λήψης των εικόνων, ο αντικειμενικός σκοπός της εφαρμογής και η ατμόσφαιρα (Τσακίρη –Στρατή, 2010).



Εικόνα 9: Διάγραμμα ροής τηλεπισκόπησης (β)

(Πηγή: <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/intro.htm>)

2.2 Διόρθωση δορυφορικών εικόνων

Η διόρθωση μιας δορυφορικής εικόνας είναι μέρος της προεπεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων. Το γεγονός ότι λαμβάνονται από πολύ μεγάλες αποστάσεις από την επιφάνεια της γης και περνούν μέσω μιας αρκετά μεγάλης ατμοσφαιρικής διαδρομής, η ενέργεια που επιστρέφεται τροποποιείται είτε λόγω των μηκών κύματος είτε λόγω ατμοσφαιρικών επιδράσεων όπως είναι για παράδειγμα τα αιωρούμενα σωματίδια, τα ρεύματα αέρος κλπ. Ο χαρακτήρας των δεδομένων που λαμβάνονται μπορεί επίσης να υποστεί αλλαγές από τον ίδιο τον αισθητήρα του δορυφόρου (Καπαγερίδη, 2010).

2.2.1 Γεωμετρική διόρθωση δορυφορικών εικόνων

Συστηματικά και τυχαία σφάλματα μειώνουν την ποιότητα της εικόνας και γι αυτό γίνεται γεωμετρική διόρθωση των δορυφορικών εικόνων που σκοπό έχει την διόρθωση των παραμορφώσεων κατά τη λήψη τους. Οι γεωμετρικές παραμορφώσεις οφείλονται κυρίως στο οπτικό σύστημα του αισθητήρα του δορυφόρου, την κίνηση του οπτικού συστήματος, στην καμπυλότητα της γης και στο ανάγλυφο του εδάφους. Απώτερος στόχος η μετατροπή των

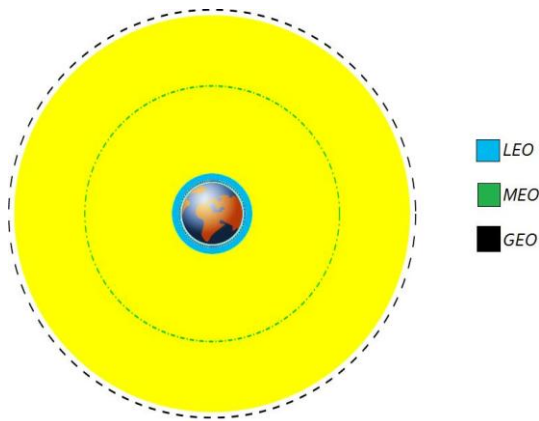
εικονοσυντεταγμένων σε πραγματικές συντεταγμένες εδάφους. Επιλέγονται εμφανή, σταθερά σημεία στην εικόνα και τα αντίστοιχα σε ένα χάρτη αναφοράς. Έπειτα, γίνεται μετασχηματισμός της εικόνας, έτσι ώστε τα σημεία που επιλέχθηκαν σε αυτή να μετατραπούν σε γνωστές συντεταγμένες εδάφους με το ελάχιστο δυνατό σφάλμα RMS (Χρυσουλάκης, 2011).

2.2.2 Ραδιομετρική διόρθωση

Ο κάθε ανιχνευτής καταγράφει μια ηλεκτρομαγνητική ενέργεια η οποία υπόκειται σε αρκετές παραμορφώσεις. Οι τιμές που καταγράφονται στις ψηφίδες των εικόνων μπορούν να αλλοιωθούν από διάφορους παράγοντες όπως είναι για παράδειγμα ένας τυχαίος θόρυβος λόγω απρόβλεπτης απόδοσης του αισθητήρα ή η απώλεια σήματος από κάποιους ανιχνευτές. Σκοπός της ραδιομετρικής διόρθωσης μιας δορυφορικής εικόνας είναι η αφαίρεση ή αναίρεση των αλλοιώσεων αυτών (Καπαγερίδη, 2010).

2.3 Δορυφόροι και χαρακτηριστικά

Υπάρχουν πολλά δορυφορικά συστήματα απεικόνισης της γήινης επιφάνειας και των αντικειμένων που βρίσκονται πάνω σε αυτή. Από τα συστήματα αυτά, αποκτώνται πολλά δεδομένα τα οποία λαμβάνονται πολύ εύκολα και χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς. Οι δορυφορικές εικόνες έγιναν εύκολα διαθέσιμες το 1970 με την τοποθέτηση σε τροχιά του δορυφόρου Landsat-1 (Τσακίρη – Στρατή, 2010). Δορυφόροι καλούνται τα μη επανδρωμένα διαστημικά οχήματα που τίθενται σε τροχιά γύρω από τη Γη σε ύψος μεταξύ 500 και 35.0000 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της. Οι δορυφόροι είναι εξοπλισμένοι με κατάλληλα όργανα. Μπορούν να συλλέξουν εικόνες και στοιχεία τα οποία μεταδίδουν σε επίγειους σταθμούς. Η εκτόξευσή τους και η τοποθέτησή τους σε κατάλληλη τροχιά γίνεται με πυραύλους. Ανάλογα με το είδος της τροχιάς και του ύψους που θα τοποθετηθεί ένα δορυφόρος μπορούν να χωριστούν σε 3 κατηγορίες (βλέπε Εικόνα 10). Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι δορυφόροι οι οποίοι τοποθετούνται σε χαμηλή τροχιά περί τη γη (LEO), στη δεύτερη αυτοί που τοποθετούνται σε μεσαία τροχιά περί τη γη (MEO) και στην τρίτη κατηγορία ανήκουν οι δορυφόροι που τοποθετούνται σε γεωσύγχρονη τροχιά (GEO).



Εικόνα 10: Τροχιές (Πηγή: Τσακίρη – Στρατή, 2010)

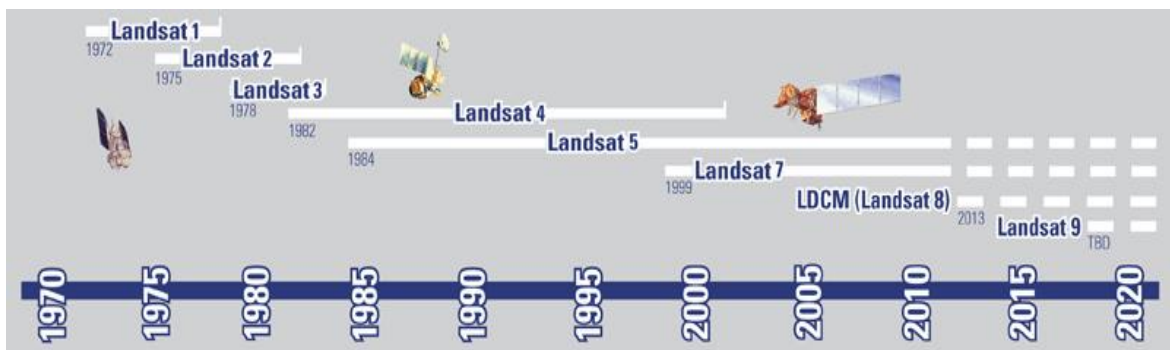
2.3.1 Δορυφόρος Landsat

Η σειρά δορυφόρων Landsat (Landsat-1, 2, 3) ξεκίνησε το 1967 από τη NASA. Ο πρώτος δορυφόρος από τη σειρά Landsat, εκτοξεύθηκε το 1972. Οι δορυφόροι περιφέρονταν σε μια σχεδόν κυκλική τροχιά ως προς το Ισημερινό επίπεδο. Ο δορυφόρος Landsat κάλυπτε το 95% της υδρογείου μια φορά κάθε 18 μέρες δηλαδή περίπου 20 φορές το χρόνο. Οι πρώτοι δύο δορυφόροι Landsat-1,2 περιέχουν πολυφασματικό αισθητήρα MSS (Multispectral Scanner System), σύστημα τηλεόρασης (RBV- Return Beam Vidicon), σύστημα συλλογής περιβαλλοντικών στοιχείων (DCS- Data Collection System). Το 1982, εκτοξεύτηκε ο δορυφόρος Landsat-4 ο οποίος ήταν πολύ πιο βελτιωμένος από τους προηγούμενους. Τοποθετήθηκε σε απόσταση περίπου 705 χιλιομέτρων από τη γη και τέθηκε σε κυκλική τροχιά σε μια επαναληπτική περίοδο 16 ημερών. Είχε δύο αισθητήρες τους MSS και ένα νέο αισθητήρα, TM (Thematic Mapper, θεματικός χαρτογράφος) που σάρωνε σε επτά φασματικούς διαύλους (0.45μm -12.5μm), δηλαδή από την ορατή στη θερμική υπέρυθρη. Ένα χρόνο μετά, ο Landsat-4 παρουσίασε προβλήματα και ο αισθητήρας TM σταμάτησε να λειτουργεί. Έτσι, τοποθετήθηκε πια σε τροχιά ο δορυφόρος Landsat-5 (βλέπε Εικόνα 11) το 1984 ο οποίος λειτούργησε με μεγάλη επιτυχία. Ο δορυφόρος Landsat-6 τέθηκε σε τροχιά το 1993 αλλά χάθηκε στο διάστημα. Περιείχε αισθητήρα, βελτιωμένο απεικονιστή ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) ο οποίος ήταν παρόμοιος με τον αισθητήρα TM των δορυφόρων Landsat-4, 5 με τη διαφορά ότι είχε επιπλέον ένα παγχρωματικό διάυλο ευαίσθητο στην περιοχή 0,5 μm- 0.9μm του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ο Landsat-7 τοποθετήθηκε σε τροχιά το 1999. Περιείχε τον αισθητήρα ETM+. Αν και σχεδιάστηκε για

πέντε χρόνια είναι σε λειτουργία μέχρι σήμερα(Τσακίρη – Στρατή, 2010). Το 2013 αναμένεται νέα δορυφορική σειρά Landsat (Εικόνα 12).



Εικόνα 11: Ο δορυφόρος Landsat 5 (Πηγή: http://landsat.usgs.gov/about_landsat5.php)



Εικόνα 12: Χρονοσειρά Δορυφόρου Landsat (Πηγή: http://landsat.usgs.gov/about_mission_history.php)

3 Ανασκόπηση

Ανατρέχοντας στη βιβλιογραφία, είναι εμφανές ότι η Δορυφορική Τηλεπισκόπηση έχει χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές για διαχείριση και εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων σε ενδοχώρους, όπως για παράδειγμα σε δεξαμενές (Nellis et al, 1998), σε λίμνες (Fraser, 1998), ποταμούς (Smith, 1997), θάλασσες (Veneranda et al, 2011) κλπ. Όσο αφορά την εφαρμογή τεχνικών Τηλεπισκόπησης για εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων σε φράγματα, έχουν γίνει ορισμένες μελέτες σε περιορισμένο, όμως, βαθμό όπως δεικνύεται από τους Hadjimitsis et al (2006) και Alparslam et al (2010). Στο παρών κεφάλαιο, γίνεται μια περιεκτική παρουσίαση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης όπως αναφέρθηκε πιο πάνω.

Οι Lathrop et al (1991) είχαν ασχοληθεί με την χρήση αλγορίθμων χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα από τον Landsat TM σε συνδυασμό με επιτόπου παρατηρήσεις στο Green Bay της λίμνης Michigan με σκοπό να μελετήσουν τα θολωμένα της νερά. Είχαν βρει εξαιρετικά χρήσιμο εκθετικό μοντέλο χρησιμοποιώντας τα κανάλια 3 και 1 (0,660μm και 0,485μm αντίστοιχα) ώστε να υπολογίσουν τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια και το βάθος του δίσκου Secchi (θολότητα). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η υπολογισμένη σταθερή τυπική απόκλιση για τα μοντέλα που χρησιμοποίησαν στην περίπτωση των αιωρούμενων σωματιδίων ήταν $RMSE = \pm 1.3 \text{ mg/l}$ για ένα φάσμα μεταξύ των τιμών 0,5 -32,5 mg/l και για την περίπτωση του βάθους του δίσκου Secchi ήταν $RMSE = \pm 1.2 \text{ m}$ για τιμές μεταξύ των 0,5 - 9,00 m.

Οι Giardino et al (2001) είχαν μελετήσει αρκετές βιοφυσικές παραμέτρους των επιφανειακών υδάτων της λίμνης Iseo στην Ιταλία όπως η συγκέντρωση χλωροφύλλης-α, το βάθος του δίσκου secchi και η θερμοκρασία των επιφανειακών υδάτων χρησιμοποιώντας τα δορυφορικά δεδομένα τύπου TM που είχαν ληφθεί Landsat το 1997. Είχαν εφαρμόσει ατμοσφαιρικές διορθώσεις στα δορυφορικά δεδομένα. Επίσης, κατά τη διάρκεια λήψης των δορυφορικών δεδομένων, γινόταν μέτρηση της ατμοσφαιρικής διαπερατότητας. Οι Giardino et al, είχαν χρησιμοποιήσει μια εμπειρική προσέγγιση των σχετικών ατμοσφαιρικά διορθωμένων τιμών της ανακλαστικότητας με τις επιτόπου μετρήσεις που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια που ο δορυφόρος σύλλεγε δεδομένα. Χρησιμοποίησαν δύο μοντέλα για να προσδιορίσουν τη συγκέντρωση χλωροφύλλης -α και το βάθος secchi μέσα στη λίμνη. Τα μοντέλα αυτά έδωσαν ψηλούς συντελεστές προσδιορισμού ($R^2 = 0,99$ για τη χλωροφύλλη-α και $R^2 = 0,85$ για

το βάθος του δίσκου secchi). Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α και του βάθους secchi χαρτογραφήθηκε με περιγράμματα διαστήματος $1\text{mg}/\text{m}^3$ και 1m αντίστοιχα. Είχαν επίσης χρησιμοποιήσει μια ανεξάρτητη διαδικασία για απευθείας ανάκτησης και προσδιορισμού της επιφανειακής θερμοκρασίας των υδάτων της λίμνης χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του TM και με τυπική απόκλιση (RMSE) ίση με $0,3^{\circ}\text{C}$.

Οι Koronen et al (2001) είχαν μετρήσει τη συγκέντρωση χλωροφύλλης-α στα νερά των λιμνών Finnish (Φινλανδικών λιμνών) με φασματοραδιόμετρο από αερομεταφερόμενο δέκτη. Η τυπική απόκλιση (RMSE) που λήφθηκε εκεί με εμπειρικούς αλγόριθμους και εκατόν δώδεκα σημεία μετρήσεων ήταν $8,9\ \mu\text{g}/\text{l}$. Σε τέσσερις επίγειες καμπάνιες μέτρησης της ποιότητας των υδάτων των λιμνών στη Νότια Φινλανδία μεταξύ 1996-1998, χρησιμοποιήθηκε το αερομεταφερόμενο φασματοραδιόμετρο απεικόνισης τύπου AISA (Airbone Imaging Spectrometer for Applications). Σκοπός τους, ήταν να προσδιορίσουν μια μαθηματική εξίσωση η οποία θα συνέδεε τη συγκέντρωση χλωροφύλλης-α με τις μετρήσεις από το δορυφόρο, σε περιπτώσεις που δεν υπήρχαν ταυτόχρονες αναφορές –δεδομένα επιτόπου. Για τη μείωση των διακυμάνσεων είχαν χρησιμοποιηθεί δεδομένα ταχύτητας ανέμου και τιμές που αφορούν την γωνία του ήλιου. Επίσης, οι Koronen et al είχαν εφαρμόσει ατμοσφαιρικές διορθώσεις στα δορυφορικά δεδομένα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση αμφίδρομου μοντέλου σκέδασης και ατμοσφαιρικής διόρθωσης είχαν ως αποτέλεσμα της αύξηση του συντελεστή προσδιορισμού (R^2). Επίσης, το μοντέλο δεδομένων ραδιόμετρου, βελτίωνε την απόδοση.

Οι Kutser et al (2001) ανέπτυξαν ένα μοντέλο για να ερμηνεύσουν τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που συλλέχθηκαν σε υδάτινους χώρους. Έχουν τονίσει ότι οι ειδικοί συντελεστές απορρόφησης από άλλους μελετητές δεν ήταν συμβατοί με τα δικά τους δεδομένα ώστε να καταλήξουν στην μοντελοποίηση της ανακλαστικότητας στις δώδεκα λίμνες που μελετούσαν. Επομένως, πραγματοποίησαν ειδικές μελέτες με απώτερο σκοπό να εκτιμήσουν την απορρόφηση και τους συντελεστές σκέδασης των αιωρούμενων σωματιδίων σε θολά νερά. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν για τη βελτίωση του μοντέλου που ανέπτυξαν, δοκιμάστηκε αργότερα να λειτουργήσει και αντίστροφα.

Οι Koronen et al (2002), χρησιμοποίησαν τα δεδομένα δορυφορικής τηλεπισκόπησης από τη χρήση ενός αερομεταφερόμενου φασματοραδιομέτρου με απώτερο σκοπό την ταξινόμηση τριών παραμέτρων της ποιότητας των υδάτων σε τέσσερις λίμνες στη Φινλανδία: του βάθους του δίσκου Secchi, της θολότητας των υδάτων και της χλωροφύλλης -α.

Οι Kallio et al (2003), μελέτησαν της κατανομή της χλωροφύλλης –α σε δύο λίμνες, στη λίμνη Lohjanjarvi και στη λίμνη Hiidenvesi στη Φινλανδία, στο Ελσίνκι κάτω υπό συνθήκες χαμηλής εντάσεως ανέμου χρησιμοποιώντας αερομεταφερόμενο φασματοραδιόμετρο απεικόνισης τύπου (AISA). Η χλωροφύλλη-α «ερμηνεύθηκε» από τα δεδομένα ακτινοβολίας AISA χρησιμοποιώντας ένα αλγόριθμο βασισμένο στα υπέρυθρα και κόκκινα φάσματα. Τα αποτελέσματα από τη λίμνη Lohjanjarvi έδειξαν ότι η χρήση ενός σταθμού παρακολούθησης μπορεί να υποεκτιμήσουν ή να υπερεκτιμήσουν κατά 29%-34% την ολική χλωροφύλλη-α σε σύγκριση με την εκτίμηση βασισμένη στο AISA. Στη λίμνη Hiidenvesi η εκτίμηση βασισμένη στο AISA για τη μέση χλωροφύλλη-α ήταν $25,19 \pm 2,18 \mu\text{g/l}$. Η χρήση των δεδομένων AISA σε συνδυασμό με τις επιτόπου μετρήσεις που πάρθηκαν σε 15 σημεία της λίμνης μείωσαν το σχετικό τυπικό σφάλμα RMSE της συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α από 20,2% σε 4%. Οι συντελεστές προσδιορισμού για τις λίμνες Lohjanjarvi και Hiidenvesi ήταν $R^2=0.98$ και $R^2=0.96$ αντίστοιχα.

Οι Hadjimitsis et al (2006) είχαν χρησιμοποιήσει δορυφορικές εικόνες τύπου Landsat TM για τον υπολογισμό της θολότητας στο μεγαλύτερο φράγμα στην Κύπρο και συγκεκριμένα στο φράγμα του Κούρρη στη Λεμεσό. Οι Hadjimitsis et al, χρησιμοποιώντας το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης, προσπάθησαν να συσχετίσουν τα αποτελέσματα από τις επί τόπου μετρήσεις για τη θολότητα με τιμές ανακλαστικότητας από τον δορυφόρο. Είχαν διαπιστώσει ότι η ανακλαστικότητα, μετά από την ατμοσφαιρική διόρθωση, είχε άμεση σχέση με τα επίπεδα της θολότητας. Η πιο σημαντική συσχέτιση εμφανίστηκε όταν η ανακλαστικότητα στο κανάλι TM Band 3 είχαν συσχετιστεί με τις μετρήσεις θολότητας. Όντως, όταν η ανακλαστικότητα πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση συσχετίστηκε με τη θολότητα, ο συντελεστής συσχέτισης, R, ήταν 0,38 ενώ μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση ήταν $R= 1$. Επιπλέον, όταν η συσχέτιση έγινε κάνοντας χρήση της λογαριθμικής παλινδρόμησης στο Landsat TM Band 3, ήταν 0,46 πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση και 1 μετά από την ατμοσφαιρική διόρθωση.

Οι Brezonik et al (2007), είχαν εστιαστεί στην μέτρηση της θολότητας επίγεια και τη συσχέτιση με τη «διαύγεια» (clarity) με τα δορυφορικά δεδομένα τύπου Landsat TM. Σκοπός τους, ο καθορισμός της ποιότητας των επιφανειακών υδάτων στους φορείς διαχείρισης υδάτων της Μινεσότας. Επίσης, οι Brezonik et al χρησιμοποίησαν δορυφορικές εικόνες με σκοπό να μετρήσουν κι άλλα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα του νερού, όπως είναι η χλωροφύλλη-α. Ουσιαστικά, η διαύγεια του νερού καθορίστηκε ως η απόσταση που μπορεί να διεισδύσει το φως σε ένα υδάτινο σώμα. Στη λίμνη την οποία μελέτησαν, η

διαύγεια μετρήθηκε με το δίσκο secchi (20 εκατοστόμετρα διάμετρο) ο οποίος διείσδυσε στο νερό ούτως ώστε ο δίσκος να μη φαίνεται πλέον. Το βάθος στο οποίο ο δίσκος εξαφανιζόταν, ονομάστηκε βάθος secchi. Στις πιο πρόσφατες τους μελέτες, σχετικά με τις πιθανές εφαρμογές των δορυφορικών εικόνων για να μετρήσουν την ποιότητα του νερού, είχαν βρει ότι υπάρχουν πολύ καλές συσχετίσεις μεταξύ της διαύγειας του νερού όπως μετρήθηκε με το δίσκο secchi με το ηλιακό φως που ανακλάται. Γι αυτό και ήταν απαραίτητη η βαθμονόμηση μιας γενικής σχέσης μεταξύ των μετρήσεων από τον δορυφόρο Landsat και του βάθους του δίσκου Secchi για κάθε εικόνα από τον Landsat. Αυτό το πέτυχαν με τυποποιημένες διαδικασίες παλινδρόμησης και με μετρήσεις με το δίσκο secchi από τα υφιστάμενα προγράμματα παρακολούθησης σε ορισμένες λίμνες κοντά στο χρόνο που παίρνονταν και οι δορυφορικές εικόνες. Κατάληξαν έτσι, σε μια γενική προγνωστική εξίσωση που συνέδεε τις μετρήσεις του δορυφόρου με αυτές του δίσκου secchi.

Οι Asadi et al (2007), είχαν μελετήσει την ποιότητα των υπόγειων υδάτων στην πόλη Hyderabad στην Ινδία με τη χρήση Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Η μελέτη τους, βασίζεται στην παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων στο έδαφος και στη σύνδεση αυτής με τη χρήση γης και τους χάρτες με σκοπό να εξάγουν κάποια συμπεράσματα. Χρησιμοποίησαν δορυφορικές εικόνες IRS-ID PAN και LISS III, στις οποίες δόθηκε γεωγραφική αναφορά. Τα αποτελέσματα από τη συσχέτιση που είχαν βρει μεταξύ της ποιότητας των υδάτων και της χρήσης γης έδειξαν ότι τα νιτρικά άλατα, τα χλωριούχα και τα φθοριούχα ξεπερνούσαν τα αποδεκτά όρια σε πυκνοκατοικημένες και βιομηχανικές περιοχές.

Οι Tyler et al (2007), είχαν χρησιμοποιήσει δορυφορικά δεδομένα από το δορυφόρο Landsat σε λίμνες με πολύ ρηχά νερά, με σκοπό να προσδιορίσουν τις συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α και αιωρούμενων σωματιδίων. Συγκεκριμένα, μελέτησαν τη μεγαλύτερη λίμνη της Ευρώπης με ρηχά νερά, τη λίμνη Balaton στην Ουγγαρία, με εμβαδό επιφάνειας 595 χιλιόμετρα και βάθος μικρότερο από 3 μέτρα. Η λίμνη χαρακτηρίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων και συχνά επεισόδια ευτροφισμού. Είχαν παρθεί έντεκα δείγματα κατά μήκος της λίμνης με σκοπό να πάρουν τις καλύτερες δυνατές τιμές που θα αντιπροσώπευαν τη λίμνη. Τα δείγματα είχαν παρθεί δύο ώρες πάνω ή κάτω από το πέρασμα του δορυφόρου ώστε τα αποτελέσματα που θα είχαν εξαχθεί να είναι πιο ακριβείς. Είχαν αναπτύξει μια εξίσωση που σύνδεε τη συγκέντρωση χλωροφύλλης-α με τα αιωρούμενα σωματίδια και το καθαρό νερό και βρέθηκε ότι η βαθμονομημένη σχέση από την πολυπαραγοντική ανάλυση παλινδρόμησης έδινε συντελεστή προσδιορισμού $R^2=0,952$.

Οι He et al (2008), είχαν χρησιμοποιήσει τηλεπισκοπικά δεδομένα στη δεξαμενή Guanting στο Πεκίνο στην Κίνα, με σκοπό τη αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων της. Έτσι, δημιούργησαν και ανάλυσαν μοντέλα για την ανάκτηση δεδομένων από τον δορυφόρο Landsat 5 TM που αφορούν τις παραμέτρους της ποιότητας των υδάτων της δεξαμενής όπως η θολότητα, το νιτρικό άζωτο, ο ολικό φώσφορος κλπ. Τα αποτελέσματα που είχαν εξαγάγει είχαν δώσει ότι υπήρχε σημαντική συσχέτιση μεταξύ κάθε παραμέτρου της ποιότητας του νερού της δεξαμενής και των δεδομένων τηλεπισκόπησης.

Οι Randolph et al (2008), είχαν χρησιμοποιήσει τη φασματοσκοπία με σκοπό την αξιολόγηση της συγκέντρωσης χλωροφύλλης –α και φυκοκυανίνης σε δύο δεξαμενές νερού, την Geist και Morse , με μικρό εμβαδό επιφάνειας και μέσο βάθος ίσο με πέντε μέτρα. Και οι δύο δεξαμενές αποτελούν δίκτυα προμήθειας νερού στην πόλη της Ινδιανάπολις στην Ινδία. Είχαν συλλέξει δείγματα από 54 σημεία. Τα δείγματα που πάρθηκαν αναλύθηκαν για χρωστικές ουσίες και άλλες φυσικοχημικές παραμέτρους της ποιότητας των υδάτων και επιλέχθηκαν έτσι ώστε να καλύπτουν ολόκληρη την επιφάνεια της λίμνης με απώτερο σκοπό να εκπροσωπούν επαρκώς όλη τη δεξαμενή. Οι Randolph et al (2008), είχαν καταλήξει σε μια εξίσωση για την εκτίμηση της συγκέντρωσης της φυκοκυανίνης με συντελεστή προσδιορισμού $R^2 = 0,85$. Το αποτέλεσμα αυτό δείχνει ότι το μοντέλο που ανέπτυξαν ήταν πολύ αντιπροσωπευτικό. Αντίθετα, μια σχέση αναπτύχθηκε και για τη συγκέντρωση χλωροφύλλης –α με συντελεστή προσδιορισμού ίσο με 0,66.

Οι Alparslam et al (2010), είχαν χρησιμοποιήσει δορυφορικές εικόνες τύπου Landsat TM/ETM+ με σκοπό τον προσδιορισμό της ποιότητας του νερού στο φράγμα Darlic της Κωνσταντινούπολης τα έτη 2004, 2005, 2006. Σκοπός της έρευνάς τους, να καθορίσουν τις αλλαγές στη γη στη λεκάνη του φράγματος που μπορούσαν να επιδεινώσουν την ποιότητα του νερού εντός του φράγματος. Οι δορυφορικές εικόνες είχαν υποστεί ατμοσφαιρική και γεωμετρική διόρθωση. Η έρευνα έγινε με πολλαπλή ανάλυση παλινδρόμησης μεταξύ των τιμών ανάκλασης από το δορυφόρο και διάφορων παραμέτρων του νερού του φράγματος όπως για παράδειγμα η χλωροφύλλη-α, θολότητα, ολικό άζωτο και φωσφόρο κλπ. Τέλος, η ποιότητα του νερού στο φράγμα μελετήθηκε από δορυφορικές εικόνες τα έτη 2004, 2005, 2006 με τεχνικές αναγνώρισης προτύπων, προκειμένου να προσδιοριστεί η πιθανή ρύπανση των υδάτων του φράγματος.

Οι Kamble et al (2010), είχαν μελετήσει και απεικονίσει την εκτίμηση των παραμέτρων της ποιότητας του νερού, θολότητας και φωσφορικού άλατος, μέσω της ανάλυσης

παλινδρόμησης και της ανακλαστικότητας που προέρχεται από τα δεδομένα τηλεπισκόπησης στη δυτική ακτή του Mumbai, στην Ινδία. Είχαν συλλέξει δείγματα νερού από προκαθορισμένα παράκτια σημεία με χρήση του παγκόσμιο συστήματος προσδιορισμού θέσης (GPS), και μετρήθηκαν ταυτόχρονα με δορυφορική λήψη εικόνων. Για τη μελέτη της επίδρασης των λυμάτων χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ των παραμέτρων της ποιότητας του νερού και της ανάκλασης των ορατών καναλιών. Βρήκαν ότι ο συντελεστής συσχέτισης για τη θολότητα και τα φωσφορικά κυμαινόταν από 0,75 μέχρι 0,94 και από 0,78 μέχρι 0,98 αντίστοιχα για την περιοχή μελέτης. Τέλος, διατύπωσαν εξισώσεις με τις οποίες θα μπορούσαν μελλοντικά να εκτιμήσουν τη θολότητα και τα φωσφορικά.

Οι Hadjimitsis και Clayton (2011) χρησιμοποίησαν φασματοραδιομετρικές μετρήσεις για την εύρεση πιθανών φασματικών περιοχών στις οποίες η χλωροφύλλη – α (Chl-a) και τα σωματίδια οργανικού άνθρακα (POC), θα μπορούσαν να μετρηθούν ώστε να παρακολουθήσουν την ποιότητα των υδάτων στο Lower Thames Valley στο Δυτικό Λονδίνο. Οι Hadjimitsis και Clayton, υιοθέτησαν μια μεθοδολογία βασισμένη στη γραμμική ανάλυση παλινδρόμησης μεταξύ των μέσων τιμών ανακλαστικότητας (που μετρήθηκαν με το GER1500 φασματοραδιόμετρο) και των συγκεντρώσεων χλωροφύλλης-α και σωματιδίων οργανικού άνθρακα, τα οποία πάρθηκαν από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν την ίδια μέρα και ώρα. Κάθε μοντέλο παλινδρόμησης αντιστοιχούσε σε ένα μήκος κύματος του φασματοραδιομέτρου. Οι επιτευχθείσες συσχετίσεις που παρουσιάστηκαν ως συντελεστές προσδιορισμού (R^2) κατά μήκος του κύματος καθόρισαν τις περιοχές με ψηλές τιμές συσχέτισης και για τις δύο μεταβλητές που καθορίζουν την ποιότητα του νερού. Βασισμένοι στα αποτελέσματα της έρευνας τους, και έχοντας υπόψη την φασματική ικανότητα του φασματοραδιομέτρου GER 1500 και του αισθητήρα του Landsat TM, βρήκαν ότι οι κατάλληλες φασματικές περιοχές για την παρακολούθηση της ποιότητας νερού για τη χλωροφύλλη-α είναι μεταξύ 0,45-0,52 μm (TM Band 1) και για τα οργανικά σωματίδια άνθρακα, μεταξύ 0,52 – 0,60 μm (TM Bands 1 και 2).

Οι Papoutsas et al (2011), χρησιμοποίησαν φασματοραδιομετρικές μετρήσεις μόνο για τον καθορισμό της ποιότητας του νερού στο δεύτερο μεγαλύτερο φράγμα της Κύπρου, στο φράγμα του Ασπρόγκρεμου στην Πάφο. Έγινε χρήση του φασματοραδιομέτρου, τύπου GER 1500 και η ανάκτηση της ανακλαστικότητας (ρ) επιτεύχθηκε με τη χρήση άσπρου στόχου (reference panel). Συγκεκριμένα, η τιμή της ανακλαστικότητας, ρ , από το ραδιόμετρο αφορούσε το λόγο της ηλιακής προσπίπτουσας ακτινοβολίας προς τον άσπρο στόχο

(reference panel) , έναντι της ανακλώμενης ακτινοβολίας από την επιφάνεια του φράγματος. Είχαν ανακτηθεί οι φασματικές υπογραφές του νερού σε διάφορα βάθη. Τα συστατικά και οι συγκεντρώσεις τους στο νερό, μπορούν άμεσα να επηρεάσουν τις οπτικές ιδιότητες του νερού, έτσι οι τιμές τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αξιολογηθεί ο τύπος του νερού και να καθοριστεί η ποιότητα του και ορισμένοι παράμετροι όπως είναι η θολότητα.

Οι Sheela et al (2011), είχαν προσπαθήσει να εκτιμήσουν τη θερμοκρασία, το βάθος και το επίπεδο θολότητας των υδάτων των λιμνών Akkulam και Veli στην Ινδία χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες από τον IRS – P6 (LISS-III). Για την εκτίμηση της θερμοκρασίας του νερού από τις δορυφορικές εικόνες, εξήγαγαν μια εξίσωση παλινδρόμησης χρησιμοποιώντας φασματική αναλογία (πράσινων / κόκκινων καναλιών) που βρέθηκε ότι απόφερε καλύτερα αποτελέσματα από την απλή εξίσωση παλινδρόμησης και την εξίσωση πολλαπλής παλινδρόμησης. Για πρόβλεψη του βάθους των υδάτων χρησιμοποίησαν την ανακλαστικότητα στα πράσινα και κόκκινα κανάλια ενώ για προσδιορισμό της θολότητας χρησιμοποιήθηκαν το κανάλι SWIR και η ανακλαστικότητα στα πράσινα κανάλια. Οι Sheela et al (2011), προσδιόρισαν συνολικά έντεκα σταθμούς δειγματοληψίας στη λίμνη Akkulam και επτά σταθμούς στη λίμνη Veli. Οι τοποθεσίες των σημείων δειγματοληψίας είχαν καταγραφεί στο GPS. Τα δείγματα του νερού συλλέχθηκαν σε μηνιαία βάση από το Δεκέμβριο 2007 μέχρι τον Μάρτη 2009, την ίδια μέρα και ώρα κατά την οποία ο δορυφόρος περνούσε πάνω από τη περιοχή μελέτης. Όσο αφορά τη θερμοκρασία, είχαν διαπιστώσει ότι η επίδραση της ακτινοβολίας στο κανάλι SWIR ήταν πιο εμφανής στη θερμοκρασία αφού η ανακλαστικότητα του SWIR είναι τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτή στο κόκκινο κανάλι. Όσο αφορά το βάθος και τη θολότητα των υδάτων βρέθηκε ότι η καλύτερη εξίσωση, εξάχθηκε από το μοντέλο παλινδρόμησης και σχηματίστηκε βάση της αναλογίας της ανακλαστικότητας στο πράσινο και κόκκινο κανάλι.

4 Μεθοδολογία

4.1 Σκοπός

Σκοπός των μετρήσεων είναι η παρακολούθηση της θολότητας του νερού στο φράγμα του Ασπρόκρεμμου στην Πάφο και παράλληλα η ανάπτυξη μιας μαθηματικής εξίσωσης που να συνδέει την θολότητα που μετράμε επί τόπου με την ανακλαστικότητα που δίνεται από το δορυφόρο αφού πρώτα διορθωθεί γεωμετρικά και ατμοσφαιρικά. Απώτερος σκοπός μετά την ανάπτυξη της εξίσωσης (σε μεγάλο πεδίο μετρήσεων) είναι να δοθεί η δυνατότητα μελλοντικής χρήσης της για συστηματική παρακολούθηση μέσω δορυφορικών εικόνων χωρίς τη χρήση επίγειων μετρήσεων. Στην εν λόγω πτυχιακή επίσης δίνεται η δυνατότητα χρήσης τεχνικών τηλεπισκόπησης για εκτίμηση της ποιότητας νερού καθώς και εκτίμηση των χωρικών και χρονικών μεταβολών της ανακλαστικότητας (ως παράμετρος εκτίμησης) στο φράγμα. Οι χωρικές μεταβολές επαληθεύονται και επί τόπου με την χρήση φασματοραδιομέτρου και μετρητών θολότητας.

4.2 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης εστιάζεται στην περιοχή του φράγματος του Ασπρόκρεμμου (βλέπε Εικόνα 13), που βρίσκεται περίπου δεκαέξι χιλιόμετρα ανατολικά της πόλης της Πάφου και το οποίο κατασκευάστηκε σε ένα υψόμετρο περίπου εκατόν μέτρων πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Το φράγμα του Ασπρόκρεμμου αποτελεί το δεύτερο μεγαλύτερο φράγμα της Κύπρου και έχει χωρητικότητα 52.375.000 κυβικά μέτρα. Ολοκληρώθηκε το 1982. Η κατασκευή του διήρκησε τέσσερα χρόνια από το 1978 και είναι μέρος του Μεγάλου Αρδευτικού Έργου της Πάφου. Το φράγμα είναι χωμάτινο. Το ανάχωμα έχει ύψος 53 μέτρα και μήκος 600 μέτρα ενώ ο όγκος του είναι ίσος με δύο εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Τον προγραμματισμό του έργου έκανε το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων και τη μελέτη του ο Sir M MacDonald and Partners UK ενώ την κατασκευή ανέλαβε η κοινοπραξία J&P και MEDCON. Τη διαχείριση και συντήρηση του φράγματος έχει το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων. Λόγω της φτωχής βροχόπτωσης το φράγμα υπερχειλίζει σπάνια. Τελευταία φορά υπερχειλίστηκε στις 27 του Γενάρη του 2012 μετά από οκτώ χρόνια. Αποτελείται από την κύρια σήραγγα, το ανάχωμα, τον υπερχειλιστή, τα γεωτεχνικά έργα κλπ.



Εικόνα 13: Περιοχή μελέτης

4.3 Διαθέσιμα και Δεδομένα

4.3.1 Δορυφορικές Εικόνες

Οι εν λόγω δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για επεξεργασία με σκοπό την εκτίμηση της ποιότητας νερού (μόνο με τη χρήση δορυφορικών εικόνων), είναι τύπου Landsat TM/ETM+ με ημερομηνίες λήψης 29 Ιουνίου 2009 (Landsat 7), 16 Αυγούστου 2009 (Landsat 7), 31 Μαΐου 2010 (Landsat 5), 16 Ιουνίου 2010 (Landsat 7), 10 Ιουλίου 2010 (Landsat 5), 27 Αυγούστου 2010 (Landsat 5), 09 Δεκεμβρίου 2010 (Landsat 7).

4.3.2 Λογισμικά

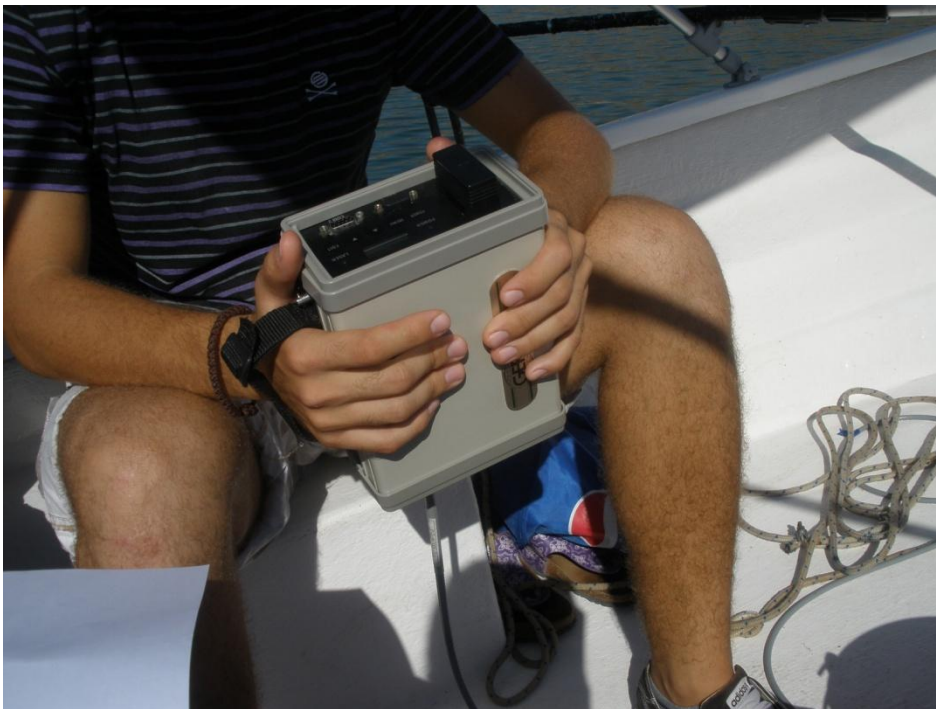
Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι το ERDAS IMAGINE V10 για την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων.

4.3.3 Επίγειες μετρήσεις / Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε

Για τις επί τόπου μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε ο εξής εξοπλισμός:

4.3.3.1 Φασματοραδιόμετρο GER1500

Το φασματοραδιόμετρο GER1500 (βλέπε Εικόνα 14) έχει φασματική περιοχή από 350nm έως και 1050nm. Μπορεί να κάνει μέχρι και 470 σαρώσεις και έχει 512 κανάλια. Ο χρόνος σάρωσης μπορεί να γίνει κατ' επιλογή από 5ms και πάνω. Η μπαταρία του διαρκεί μέχρι και τέσσερις ώρες. Το σύστημα του φασματοραδιομέτρου αυτού, το απλό μενού του, με τα προγράμματα του, τις λειτουργίες διαχείρισης δεδομένων, επιτρέπουν στο χρήστη να είναι αποτελεσματικός σε σύντομο χρονικό διάστημα. Μπορεί να δημιουργήσει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο εμφανίζοντας τα στην οθόνη για άμεση ερμηνεία τους και αξιολόγησή τους. Κατά τη χρονική στιγμή της δορυφορικής κάλυψης λαμβάνονταν μετρήσεις πεδίου με τη χρήση του φασματοραδιομέτρου αυτού, που είναι εξοπλισμένο με καλώδιο ενσωματωμένο με οπτικές ίνες (fibre optic probe).



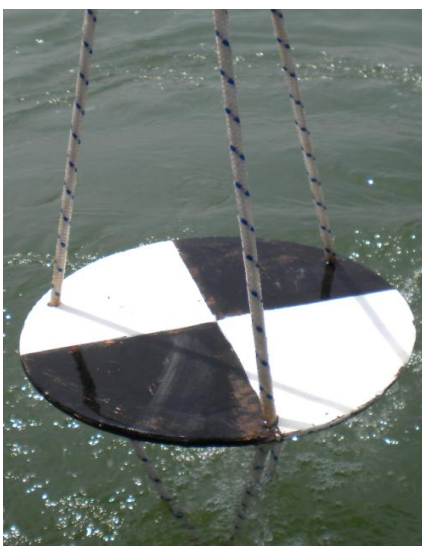
Εικόνα 14: Το φασματοραδιόμετρο GER 1500



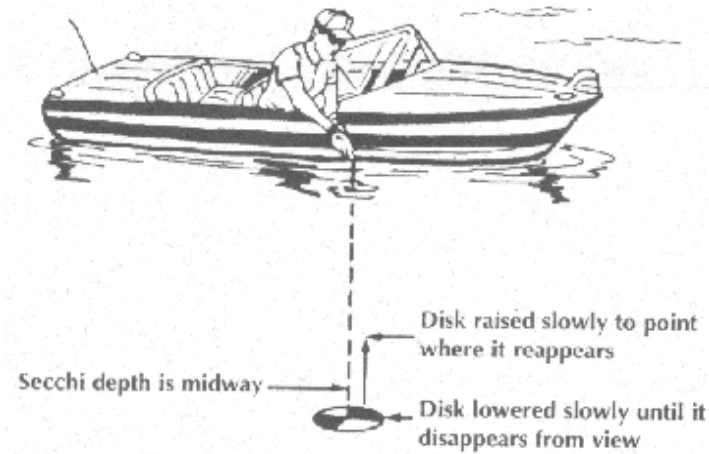
Εικόνα 15: Καταγραφή των δεδομένων και χρήση του φασματοραδιόμετρου

4.3.3.2 Secchi disk

Ο δίσκος secchi (βλέπε εικόνα 16) , δημιουργήθηκε το 1865 από τον Pietro Angelo Secchi SJ. Είναι ένας κυκλικός δίσκος που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της «διαφάνειας» του νερού σε λίμνες, ωκεανούς, φράγματα κλπ. Ο δίσκος κατεβαίνει αργά κάτω από την επιφάνεια του νερού μέσω ενός στύλου ή σχοινού. Το βάθος στο οποίο το μοτίβο του δίσκου δεν είναι πλέον ορατό λαμβάνεται ως το μέτρο της διαυγείας του νερού (βλέπε Εικόνα 17). Το μέτρο αυτό είναι γνωστό ως το βάθος Secchi και σχετίζεται με τη διαύγεια ή θολότητα του νερού.



Εικόνα 16: Ο δίσκος Secchi



Εικόνα 17: Μέτρηση του βάθους Secchi (Πηγή: <http://www.mlswa.org/secchi.htm>)

4.3.3.3 Digital turbidity meter (Ψηφιακό μέτρο θολότητας)

Το μέτρο θολότητας, καθορίζει την ποιότητα του νερού και επιπλέον, μπορεί να υπολογίσει τη θολότητα του νερού σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού και εκροής αποβλήτων και στην περίπτωσή μας, μπορεί να καθορίσει την ποιότητα του νερού στο φράγμα του Ασπρόκρεμμου. Χρησιμοποιήθηκε φορητό όργανο μέτρησης της θολότητας όπως φαίνεται στην Εικόνα 18.



Εικόνα 18: Ψηφιακό μέτρο θολότητας



Εικόνα 19: Καταγραφή επιτόπου μετρήσεων θολότητας και θερμοκρασίας υδάτων στο φράγμα

4.3.3.4 Βάρκα και GPS

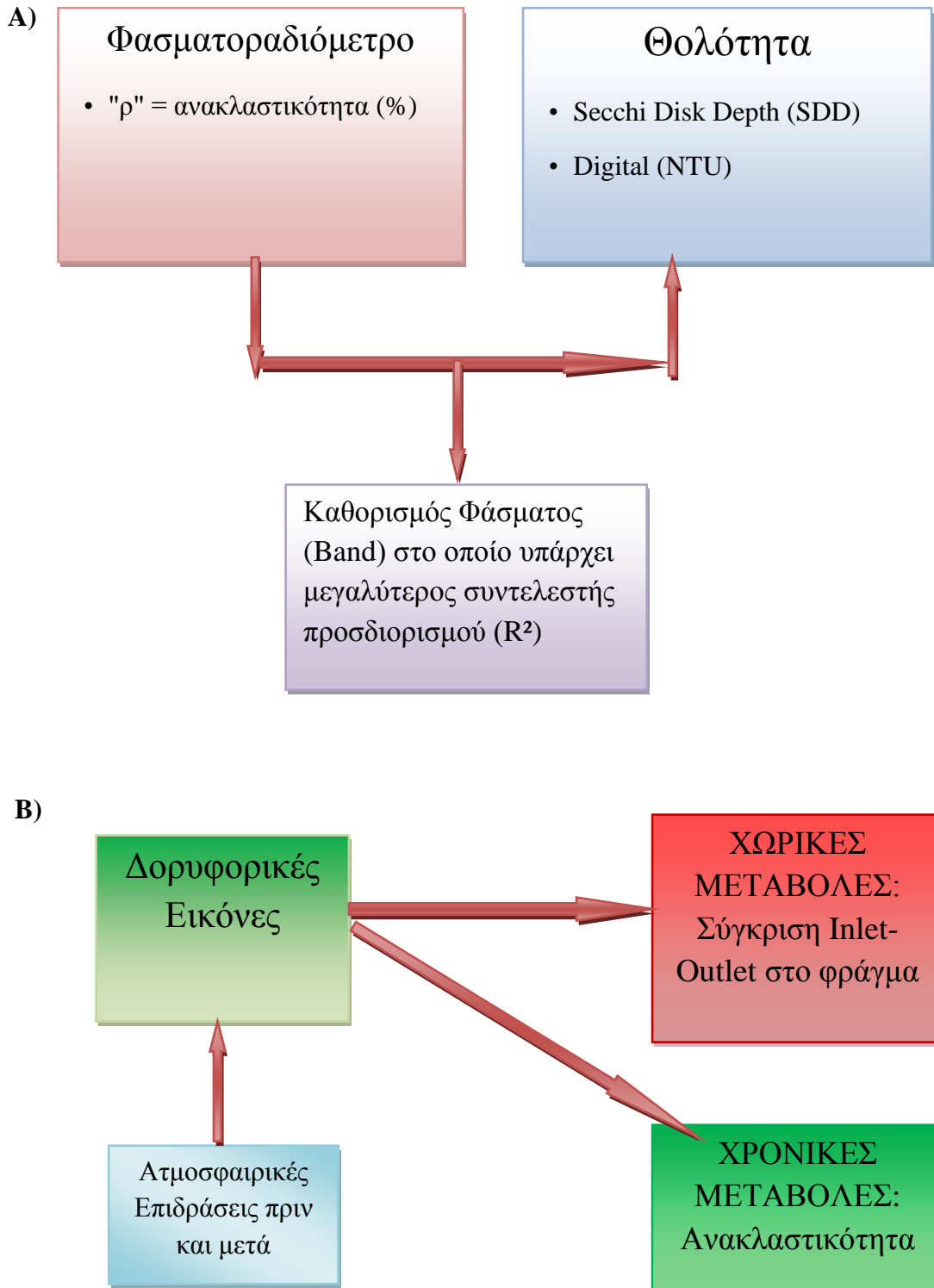
Για την επιτυχή μέτρηση των παραμέτρων που ερευνούσαμε επιπλέον εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν μια βάρκα του Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων ώστε να μπορούμε να μετακινούμαστε εντός του φράγματος. Επιπλέον, η χρήση ενός GPS χεριού (Εικόνα 20) ήταν απαραίτητη ώστε να εντοπίζουμε τα ακριβή σημεία στα οποία παίρναμε μετρήσεις σε κάθε δειγματοληψία.



Εικόνα 20: Χρήση GPS για ακριβή καθορισμό των σταθμών δειγματοληψίας

4.4 Μέθοδος

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε έχει χωριστεί σε δύο επί μέρους διαδικασίες όπως φαίνονται στα πιο κάτω διαγράμματα:



Εικόνα 21: Γραφική αναπαράσταση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε

Για τους σκοπούς της πτυχιακής εργασίας και σε συνδυασμό με τον εξοπλισμό που προαναφέρθηκε έγιναν επιτόπου επισκέψεις στο φράγμα του Ασπρόκρεμμου στην Πάφο σε συνεργασία με το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων στα πλαίσια τρέχοντος ερευνητικού έργου. Χρησιμοποιήθηκαν και μετρήσεις αρχείου από την κα. Χ. Παπούτσα (Παπούτσα, 2012) που πάρθηκαν την περίοδο Μαρτίου – Ιουνίου 2011. Έγινε χρήση του φασματοραδιόμετρου, τύπου GER 1500 και η ανάκτηση της ανακλαστικότητας (ρ) επιτεύχθηκε με τη χρήση άσπρου στόχου (reference panel). Συγκεκριμένα, η τιμή της ανακλαστικότητας, ρ , από το φασμαραδιόμετρο αφορούσε το λόγο της ηλιακής προσπίπτουσας ακτινοβολίας προς τον άσπρο στόχο (βλέπε Εικόνα 22) , έναντι της ανακλώμενης ακτινοβολίας από την επιφάνεια του φράγματος. Η λήψη των φασματοραδιομετρικών μετρήσεων έγινε σε διάφορα βάθη (0-3 μέτρα) και σε επιλεγμένους σταθμούς δειγματοληψίας. Για τους σκοπούς της εν λόγω εργασίας είχαν χρησιμοποιηθεί τιμές ανακλαστικότητας στην επιφάνεια του φράγματος (Βάθος: 0). Τα συστατικά και οι συγκεντρώσεις τους στο νερό, μπορούν άμεσα να επηρεάσουν τις οπτικές ιδιότητες του νερού, έτσι οι τιμές τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αξιολογηθεί ο τύπος του νερού και να καθοριστεί η ποιότητα του και ορισμένοι παράμετροι όπως είναι η θολότητα την οποία μελετήσαμε.



Εικόνα 22: Τιμή reference με τη χρήση άσπρου στόχου

Όσο αφορά την επεξεργασία των μετρήσεων του φασματοραδιόμετρου, πάρθηκαν δεδομένα από εννέα συνολικά εκστρατείες δειγματοληψίας με ημερομηνίες 31/03/2011, 19/04/2011,

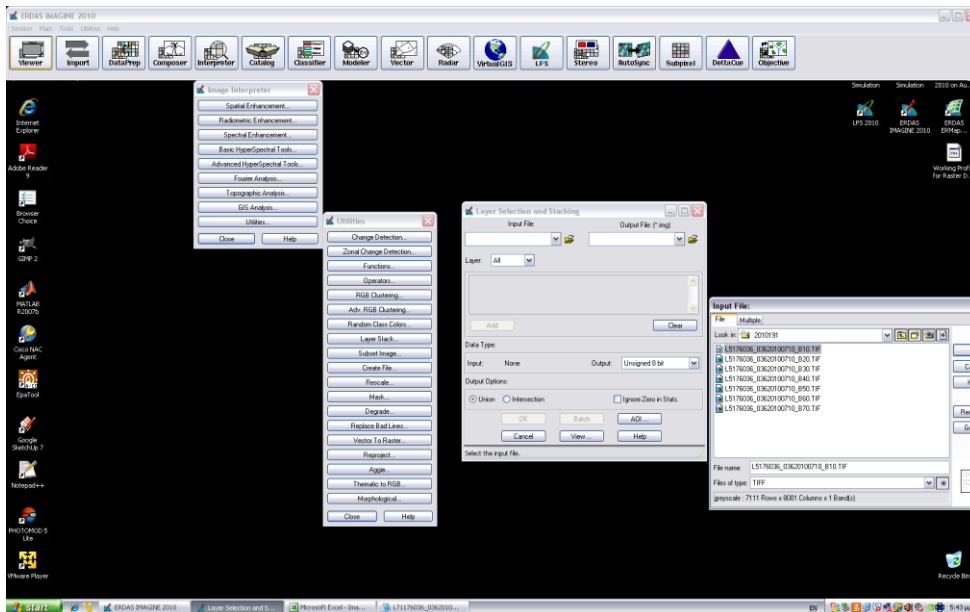
02/05/2011, 10/05/2011, 10/06/2011, 30/09/2011, 10/10/2011, 17/10/2011 και 10/11/2011. Το τι ακολουθήσαμε ήταν η δημιουργία ενός Excel File στο οποίο ανοίξαμε τα δεδομένα του φασματοραδιομέτρου, βρήκαμε τη τιμή ανακλαστικότητας, δηλαδή το λόγο του στόχου (target) προς το πρότυπο (reference), $\rho = t/r$ και στη συνέχεια μετατρέψαμε τα δεδομένα του πεδίου σε αντίστοιχα φάσματα του δορυφόρου Landsat TM/ETM+ ($\rho * RSRfilter$). Έπειτα συσχετίζονται οι τιμές της ανακλαστικότητας στα φάσματα 1, 2, 3, 4 του δορυφόρου με απώτερο σκοπό να παρατηρήσουμε σε ποιο από τα κανάλια που μελετούμε (Band 1- 4) ανιχνεύεται καλύτερα η θολότητα στα ύδατα του Φράγματος του Ασπρόκρεμμου και να προβούμε στην εύρεση μιας εξίσωσης που θα μας δίνει τη δυνατότητα αναγνώρισης της θολότητας στο φράγμα από απόσταση. Συνοπτικά, έγινε μια στατιστική ανάλυση των δεδομένων πεδίου για προσδιορισμό του δορυφορικού καναλιού με την καλύτερη δυνατή συσχέτιση. Η εξίσωση στην οποία θα καταλήξουμε θα μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε για την παρακολούθηση της θολότητας από τις δορυφορικές εικόνες χωρίς να χρειαστεί να παρευρεθούμε στο φράγμα σε συστηματική βάση. Σημειώνεται ότι για καλύτερη ακρίβεια σε μελλοντικό στάδιο απαιτούνται περισσότερες δειγματοληψίες.

Έπειτα σε δεύτερη φάση, χρησιμοποιήθηκαν επτά δορυφορικές εικόνες τύπου Landsat TM/ETM+ με ημερομηνίες λήψης 29 Ιουνίου 2009 (Landsat 7), 16 Αυγούστου 2009 (Landsat 7), 31 Μαΐου 2010 (Landsat 5), 16 Ιουνίου 2010 (Landsat 7), 10 Ιουλίου 2010 (Landsat 5), 27 Αυγούστου 2010 (Landsat 5), 09 Δεκεμβρίου 2010 (Landsat 7) οι οποίες ήταν διαθέσιμες στο εργαστήριο Τηλεπισκόπησης του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου και το λογισμικό ERDAS IMAGINE V10 όπως προαναφέρθηκε. Σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι να παρατηρήσουμε από τις δορυφορικές εικόνες τις χωρικές διαφορές στο φράγμα (Spatial Variations), και τις χρονικές μεταβολές (Temporal Variations) στις τιμές ανακλαστικότητας στο φράγμα. Επίσης, έγινε προσπάθεια χρήσης ατμοσφαιρικής διόρθωσης στα δορυφορικά δεδομένα (τιμές ανακλαστικότητας ρ) με σκοπό να δείξουμε το πόσο επηρεάζει η ατμοσφαιρική επίδραση τις καταγεγραμμένες τιμές στο δορυφόρο.

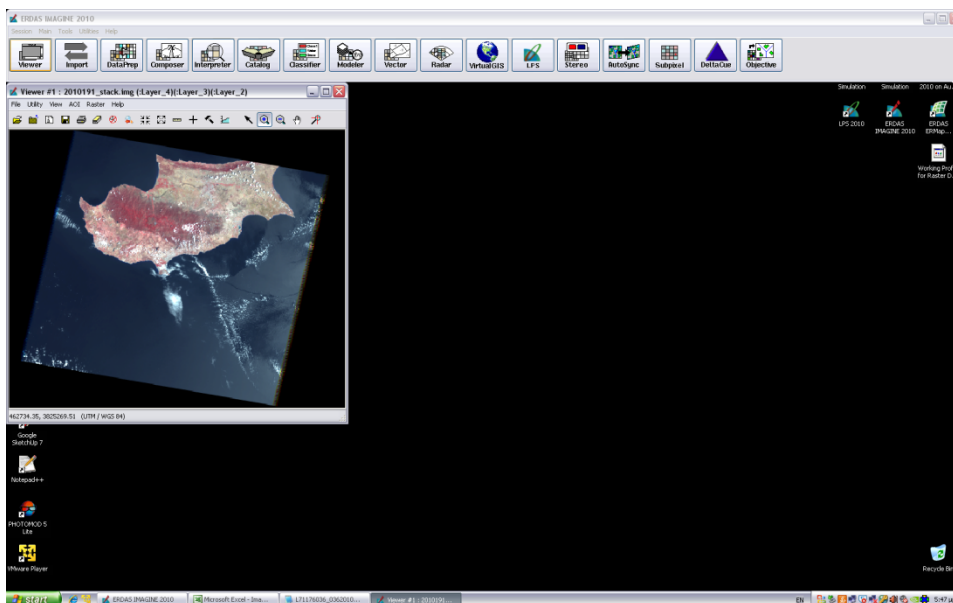
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για επεξεργασία των εικόνων έλαβε χώρα στο εργαστήριο Τηλεπισκόπησης του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου και ήταν η εξής:

- Αρχικά, ενσωματώνουμε τα τέσσερα πρώτα δορυφορικά κανάλια που αντιστοιχούν στο ορατό (μπλε, πράσινο και κόκκινο) και το τέταρτο στο εγγύς υπέρυθρο (Layer 1: Band 1,

Layer 2: Band 2, Layer 3: Band 3, Layer 4: Band 4- Εικόνα 23), δηλαδή μετατρέπω τα tiff files σε .img, άρα δημιουργώ μια εικόνα (Εικόνα 24).



Εικόνα 23: Δημιουργώντας την εικόνα με την εντολή stack layers



Εικόνα 24: Δημιουργία Εικόνας

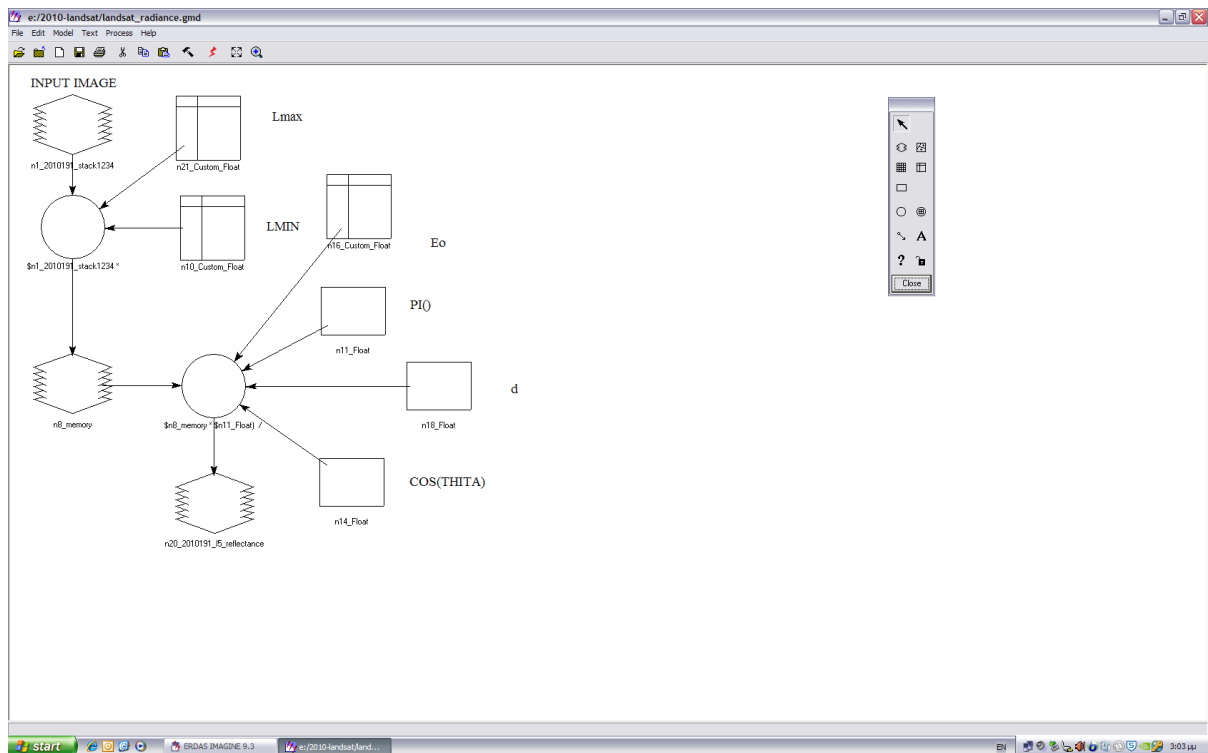
- Στη συνέχεια απομονώνω την περιοχή που με ενδιαφέρει (Subset Image).
- Έπειτα στην εικόνα αυτή, δημιουργώ τα AOI (Area of Interest), που στην προκειμένη περίπτωση αποτελούν οι: επιφάνεια μέρους του φράγματος στην περιοχή εισροής του

ποταμού Ξερού στο Φράγμα του Ασπρόκρεμμου, επιφάνεια μέρους του φράγματος στην περιοχή εκροής του ποταμού από το φράγμα και επιφάνεια μέρος του φράγματος στην περιοχή στο κέντρο του φράγματος.

- Δημιουργώντας ένα μοντέλο στο λογισμικό Erdas Imagine V10 (βλέπε Εικόνα 25) από το Modeler Maker μπορώ εύκολα μετατρέψω τα Digital Numbers σε ανακλαστικότητα (reflectance). Σημειώνεται ότι κατά τη χρήση του εν λόγω ραδιομετρικού μοντέλου, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα τα οποία αφορούν την εικόνα και το δορυφόρο από τον οποίο λήφθηκε (πχ Sun elevation angle, DOY, σταθερές βαθμονόμησης κλπ). Συγκεκριμένα, στον πιο κάτω πίνακα (Πίνακας 5), φαίνονται οι σταθερές βαθμονόμησης για τη δορυφορική εικόνα τύπου Landsat 5 με ημερομηνία λήψης 27 Αυγούστου του 2010.

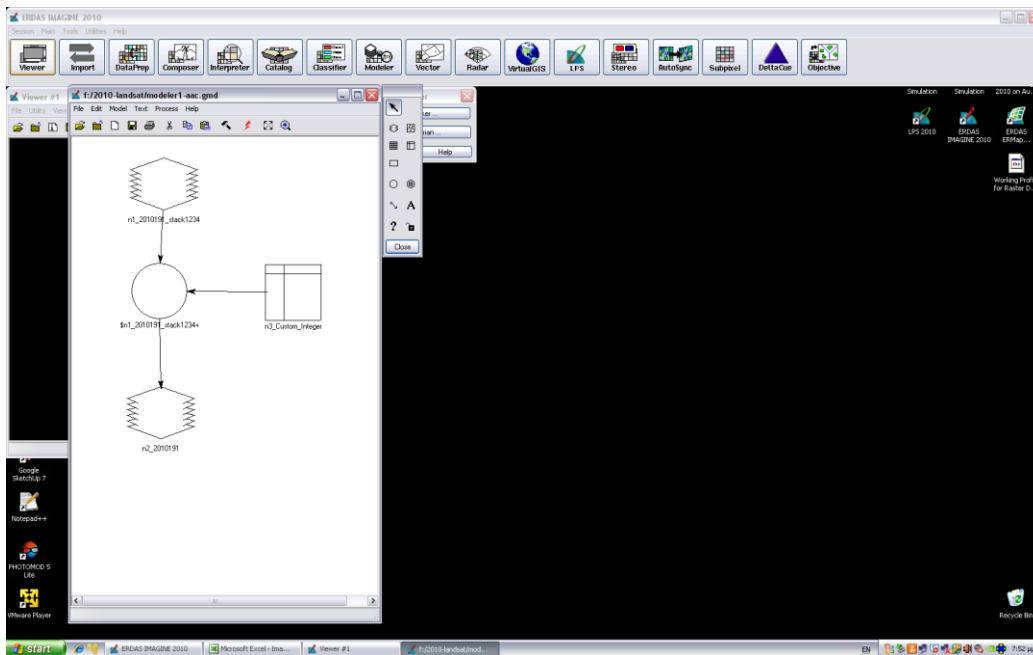
Πίνακας 5: Σταθερές βαθμονόμησης για την Δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat TM με ημερομηνία λήψης 27/08/2010

	Lmin	Lmax
Band 1	-1,520	193
Band 2	-2.840	365
Band 3	-1.170	264
Band 4	-1.51	221



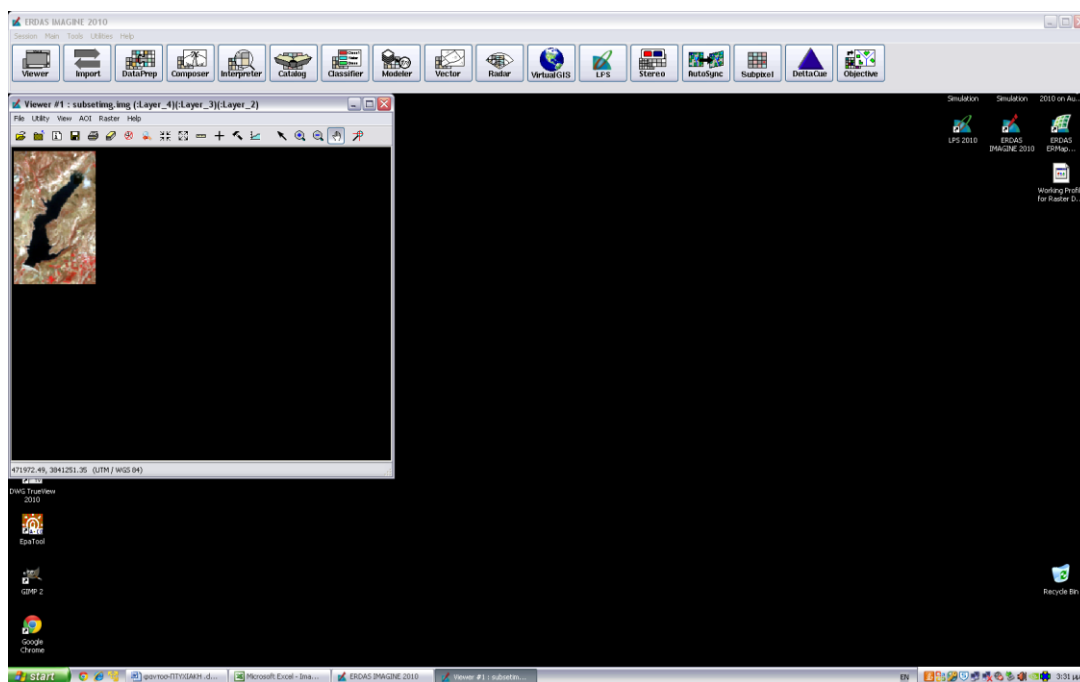
Εικόνα 25: Μοντέλο μετατροπής των Digital Number σε Ανακλαστικότητα

- Έπειτα με ένα δεύτερο μοντέλο (Εικόνα 26) έχω τη δυνατότητα να διορθώσω ατμοσφαιρικά την ίδια εικόνα την οποία με το προηγούμενο μοντέλο μετέτρεψα σε reflectance. Σημειώνεται ότι έχει χρησιμοποιηθεί η μέθοδος του σκοτεινού στόχου (Dark Pixel Atmospheric Correction Method) για την ατμοσφαιρική διόρθωση των δορυφορικών δεδομένων. Η εν λόγω μέθοδος είναι η πιο απλή μέθοδος ατμοσφαιρικής διόρθωσης όπως αναφέρεται από τους Hadjimitsis et al (2004). Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη θεωρία ότι σχεδόν όλη η ακτινοβολία που καταγράφεται σε ένα δέκτη για ένα σκοτεινό στόχο όπως είναι για παράδειγμα ένα φράγμα, μια λεκάνη, μια δεξαμενή, οφείλεται σε ατμοσφαιρική επίδραση. Η ανακλαστικότητα (ρ) του σκοτεινού στόχου είναι σχεδόν μηδέν (υπόθεση του χρήστη). Θεωρητικά για ένα στόχο με 100% μαύρο χρώμα, η ανακλαστικότητα είναι μηδέν.



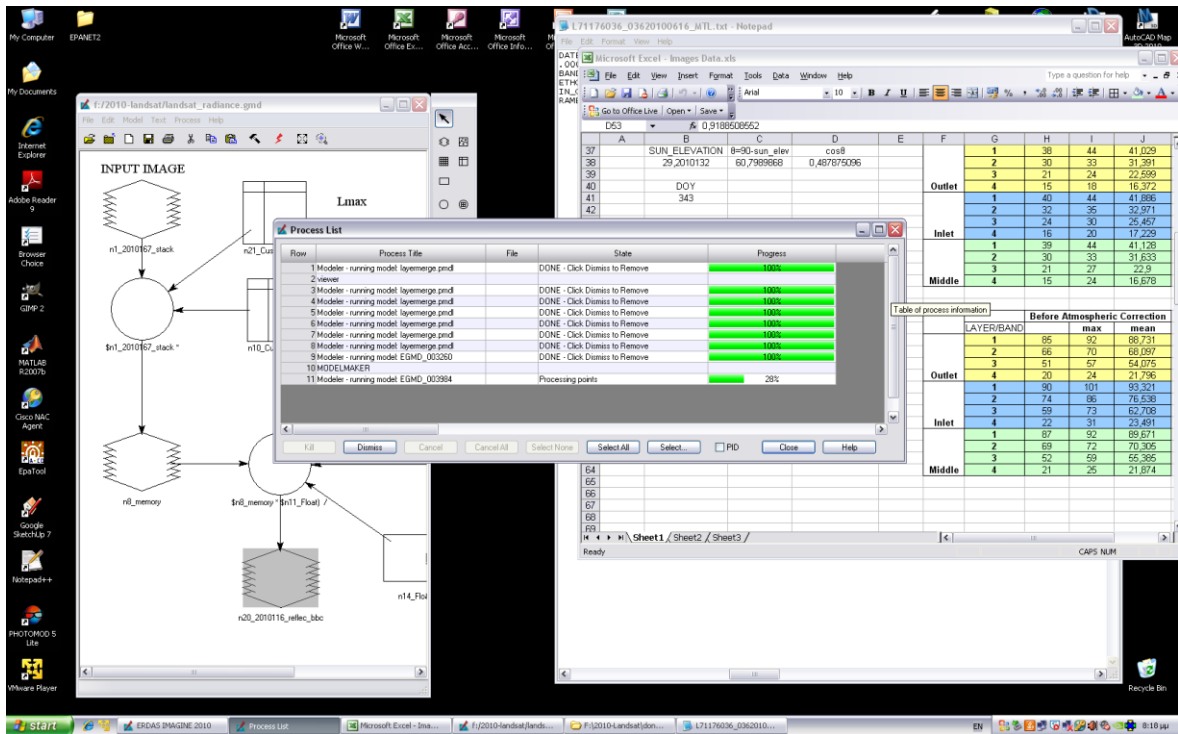
Εικόνα 26: Το μοντέλο με το οποίο διορθώνω ατμοσφαιρικά την αρχική εικόνα.

- Από τα στατιστικά μπορώ να πάρω όλες τις πληροφορίες που με ενδιαφέρουν για το σκοπό που θέλω.
- Έχοντας πια την ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα (Εικόνα 27), μπορώ να ξανατρέξω το πρώτο μοντέλο (Εικόνα 25) και να μετατρέψω τα digital numbers σε reflectance.



Εικόνα 27: Ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα.

- Τέλος χρησιμοποιώντας πίνακες σε ένα Excel File καταγράφω τα δεδομένα μου πριν και μετά από την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας (Εικόνα 28)



Εικόνα 28: Μοντέλο μετατροπής ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας από Digital Number σε Reflectance και δημιουργία Excel File με τα δεδομένα.

Συνοπτικά το τι ακολουθήθηκε είναι η ενσωμάτωση των καναλιών που μας ενδιαφέρουν (Bands 1-4, Layer Stack), η απομόνωση της περιοχής που μας ενδιαφέρει (Subset image), η δημιουργία περιοχών ενδιαφέροντος (Outlet-Inlet-Middle, Area of interest-AOI) οι οποίες αντιστοιχούν στην περιοχή μελέτης και ο υπολογισμός των στατιστικών των ψηφιακών τιμών και η μετατροπή τους σε τιμές ανακλαστικότητας.

5 Αποτελέσματα

5.1 Αποτελέσματα συσχέτισης ανακλαστικότητας με θολότητα

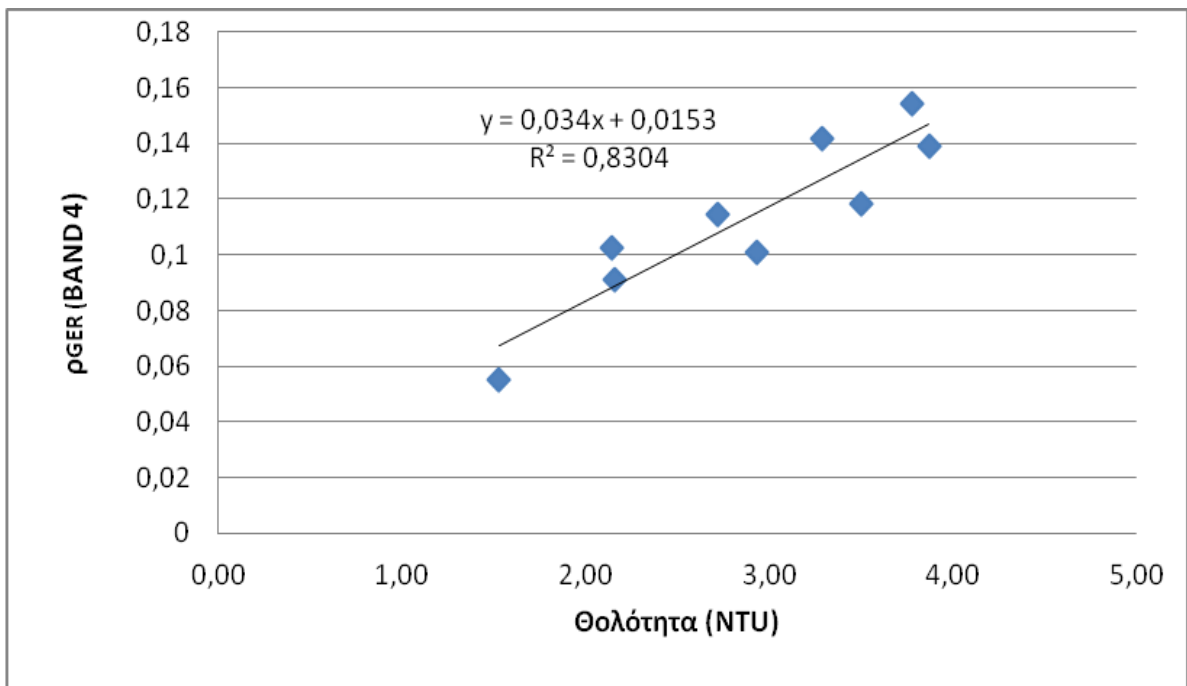
Βάση της μεθοδολογίας που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 4), έχει γίνει συσχέτιση μεταξύ των τιμών ανακλαστικότητας (ρ) από το φασματοραδιόμετρο GER1500 και των τιμών θολότητας που μετρήθηκαν επί τόπου τόσο με τον αυτόματο αναλυτή (digital, NTU) όσο και με τον δίσκο Secchi (SDD). Τα αποτελέσματα συντελεστή προσδιορισμού (R^2) από τη συσχέτιση είναι τα ακόλουθα (Πίνακας 6) και αφορούν τη χρήση γραμμικής παλινδρόμησης.

Πίνακας 6: Συντελεστές προσδιορισμού για κάθε Φάσμα

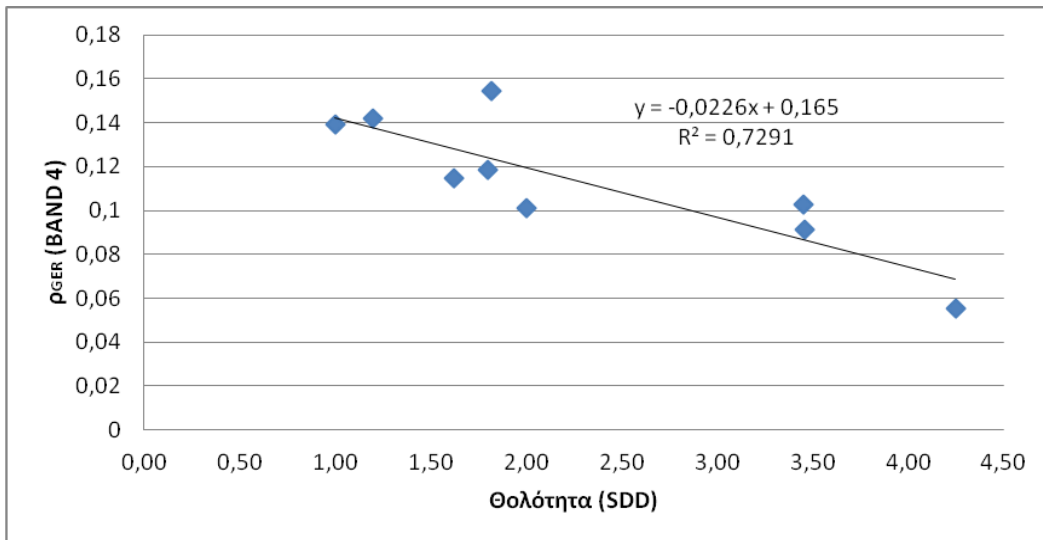
	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ (R^2)	
	Θολότητα με αυτόματο αναλυτή (Digital - NTU)	Θολότητα με δίσκο Secchi (SDD)
Band 1	0.4180	0.2991
Band 2	0.7192	0.6869
Band 3	0.6832	0.5602
Band 4	0.8304	0.7291

Παρατηρούμε ότι ο συντελεστής προσδιορισμού από τη συσχέτιση μεταξύ των τιμών ανακλαστικότητας από το φασματοραδιόμετρο και τη θολότητα που μετρήθηκε με τον αυτόματο αναλυτή κυμαίνεται από 0,4180-0,8304 ενώ η συσχέτιση της ανακλαστικότητας με τη θολότητα που μετρήθηκε με το δίσκο Secchi κυμαίνεται από 0,2991-0,7291. Είναι εμφανές ότι το δείγμα μετρήσεων είναι μικρό και για αυτό μια μελλοντική εφαρμογή της συσχέτισης σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα θα πρόσδιδε περισσότερη ακρίβεια και τεκμηρίωση.

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, παρατηρείται ότι ο ψηλότερος συντελεστής προσδιορισμού είναι στο Κανάλι 4 (Band 4) και είναι ίσος με 0,8304 και 0,7291 για τη θολότητα όπως μετρήθηκε με τον αυτόματο αναλυτή και με το δίσκο Secchi αντίστοιχα. Στο πιο κάτω γράφημα φαίνεται η συσχέτιση των τιμών ανακλαστικότητας ($\rho_{GER1500}$) στο κανάλι 4 (Band 4) με τις τιμές θολότητας που λήφθηκαν με τον αυτόματο αναλυτή (Εικόνα 29) και με το δίσκο Secchi (Εικόνα 30). Τα υπόλοιπα γραφήματα για τις τιμές ανακλαστικότητας στα κανάλια 1,2 και 3 φαίνονται στο παράρτημα.

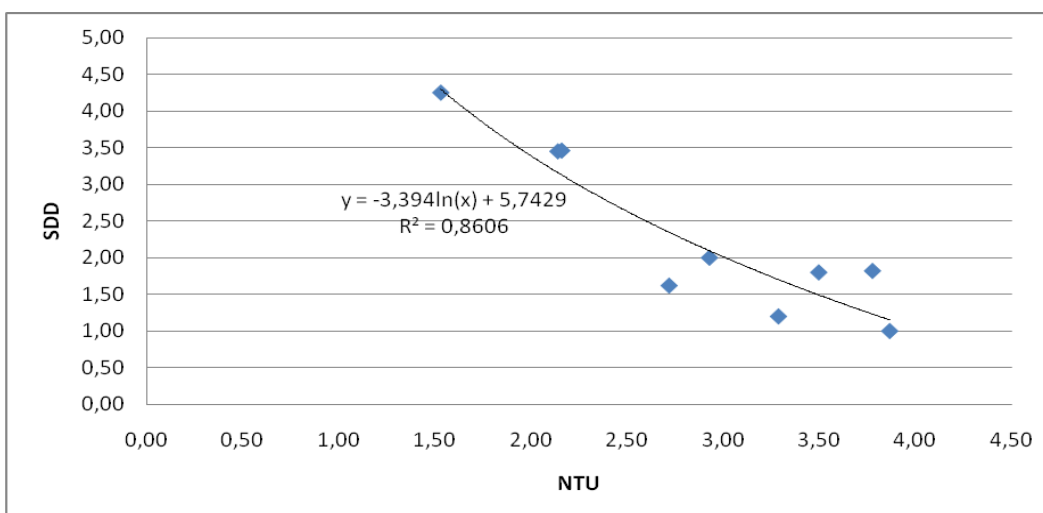


Εικόνα 29: Συσχέτιση των τιμών ανακλαστικότητας ($\rho_{GER1500}$) στο κανάλι 4 με τις τιμές θολότητας που λήφθηκαν με το ψηφιακό μέτρο θολότητας (NTU).



Εικόνα 30: Συσχέτιση των τιμών ανακλαστικότητας ($\rho_{GER1500}$) στο κανάλι 4 με τις τιμές θολότητας που λήφθηκαν με το δίσκο Secchi (SDD).

Από τη γραφική παράσταση της θολότητας που πάρθηκε με τον αυτόματο αναλυτή (NTU) συναρτήσει της θολότητας από το δίσκο Secchi (SDD) βρέθηκε ότι συσχετίζονται λογαριθμικά με συντελεστή προσδιορισμού $R^2 = 0.8606$ όπως φαίνεται στο γράφημα πιο κάτω (Εικόνα 31). Στη βιβλιογραφία αναφέρονται ως δύο διαφορετικοί τρόποι μέτρησης της θολότητας τόσο με νεφελομετρικές μονάδες (Αυτόματος αναλυτής, NTU) όσο και με το βάθος του δίσκου Secchi (SDD) και ως εκ τούτου, ο διαφορετικός τρόπος μέτρησης της θολότητας, δίνει μια απόκλιση στις μετρήσεις (Wei, 2007).



Εικόνα 31: Συσχέτιση μεταξύ θολότητας που πάρθηκε ψηφιακά (NTU) και αυτής από το δίσκο Secchi (SDD).

5.2 Επεξεργασία Δορυφορικών Δεδομένων

Από την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων, καταγράφηκαν τα αποτελέσματα σε ένα Excel file, όπως προαναφέρθηκε στο παραπάνω κεφάλαιο, σε πίνακες οι οποίοι αντιστοιχούσαν σε κάθε δορυφορική εικόνα που επεξεργάστηκε, πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της που έγινε από το πρόγραμμα Erdas Imagine V10 στα σημεία ενδιαφέροντος μας (outlet, inlet, middle). Πιο κάτω φαίνονται οι πίνακες με τα αποτελέσματα των δορυφορικών εικόνων τύπου Landsat TM/ETM+ (Πίνακες 7- 13). Μπορούμε να παρατηρήσουμε και από τους πίνακες ότι οι τιμές ανακλαστικότητας μετά από την ατμοσφαιρική διόρθωση είναι χαμηλότερες για όλες τις μετρήσεις. Έχοντας υπόψη και τις επίγειες μετρήσεις από το φασματοραδιόμετρο GER1500, είναι φανερό ότι η εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης βελτιώνει τις τιμές ανακλαστικότητας έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στις αληθινές τιμές. Επίσης, παρατηρείται ότι από το σημείο εισροής του ποταμού Ξερού στο φράγμα μέχρι το σημείο εκροής οι τιμές ανακλαστικότητας μειώνονται σταδιακά. Ειδικά στην περιοχή της εκροής όπου είναι το σημείο όπου ενδιαφέρει και το αρμόδιο τμήμα που εκτελεί τις δειγματοληψίες είναι εμφανές ότι στις περιπτώσεις που δεν εφαρμοστεί ατμοσφαιρική διόρθωση οι τιμές ανακλαστικότητας στον δορυφόρο δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα και μπορούν να εξαχθούν λανθασμένα συμπεράσματα. Για παράδειγμα στο κανάλι 4 (29/06/2009) η τιμή ανακλαστικότητας στο σημείο εκροής του ποταμού Ξερού από το φράγμα (OUTLET) είναι 9.8 %. Εντούτοις μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση είναι 0.46 %.

Πίνακας 7: Καταγραφή της ανακλαστικότητας πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 7 με ημερομηνία λήψης 29/06/2009

ρ%	LAYER/BAND	Before Atmospheric Correction			After Atmospheric Correction		
		min	max	mean	min	max	mean
Outlet	1	7,673343834	8,530922526	9,8105185	0	0,857578692	0,4613085
	2	5,999419	6,377473	7,7696957	0,189027003	0,567081009	0,5240189
	3	4,410139855	5,750714922	4,9758778	0	1,340575067	0,696964
	4	3,210370647	4,199351195	3,5786011	0,329660182	1,31864073	0,6978906
Inlet	1	10,81169172	11,85632149	11,3653455	1,46248168	2,507111451	2,0161355
	2	10,07693586	11,25662713	10,6903753	2,831259043	4,010950311	3,4446985
	3	7,103269132	8,841333962	7,9288499	2,82435535	4,56242018	3,6499361
	4	3,869691012	4,858671559	4,3806643	0,988980547	1,977961094	1,4999538
Middle	1	9,975987904	10,8116972	10,3698133	0,626777863	1,46248168	1,0206033
	2	8,425368088	9,369121103	8,7521426	1,179691268	2,123444282	1,5064657
	3	5,365204301	6,234236717	5,7495339	1,086290519	1,955322934	1,4706201
	4	3,869691012	4,529011377	4,1614403	0,988980547	1,648300912	1,2807298

Πίνακας 8: Καταγραφή της ανακλαστικότητας πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 7 με ημερομηνία λήψης 16/08/2009.

ρ%	LAYER/BAND	Before Atmospheric Correction			After Atmospheric Correction		
		min	max	mean	min	max	mean
Outlet	1	12,08708152	13,12700031	9,7739836	0,519960769	0,857578692	0,8567902
	2	9,309807	10,64692	7,7796248	0,382031514	1,719141813	0,8549545
	3	6,940117604	8,294796867	4,4464742	0,451559754	1,806239017	0,687817
	4	2,244761355	2,911018432	2,661172	0,333128539	0,999385616	0,7495392
Inlet	1	11,28440177	12,25913461	11,8039344	2,367208341	3,341941187	2,8867409
	2	10,86020009	12,11956961	11,465642	3,935529761	5,194899285	4,5409717
	3	7,233943244	10,13001494	8,85761277	3,475286037	6,371357735	4,8174705
	4	3,244146971	4,909789664	3,8207925	1,332514154	2,998156848	1,19091597
Middle	1	9,613431172	10,72741157	10,1857386	0,696237747	1,810218143	1,2685452
	2	7,554355087	9,285988182	8,4299317	0,629684762	2,361317857	1,5052614
	3	4,193067962	5,641103811	4,9567621	0,434410755	1,882446603	1,1981049
	4	2,577889894	3,577275509	2,8973602	0,666257077	1,665642693	0,9857273

Πίνακας 9: Καταγραφή της ανακλαστικότητας πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 5 με ημερομηνία λήψης 31/05/2010.

ρ%	LAYER/BAND	Before Atmospheric Correction			After Atmospheric Correction		
		min	max	mean	min	max	mean
Outlet	1	7,257094427	7,905941103	9,3050106	0	0,648846676	0,4629593
	2	5,68439	6,221693	7,4115603	0,179101191	0,716404765	0,3228049
	3	4,133577321	5,180666316	4,4807708	0	1,047088995	0,4701903
	4	2,726335239	3,662317022	2,9734344	0,311993928	1,24797571	0,2470992
Inlet	1	9,434828908	11,8059392	10,1070387	0,592777573	2,963887865	1,2649873
	2	8,206500966	11,11263967	9,0016652	1,341294786	4,247433489	2,136496
	3	5,232382816	10,93412689	6,2358898	1,221802301	6,923546374	2,2253093
	4	3,038329167	9,278207719	3,7331396	0,623987855	6,863866408	1,3187983
Middle	1	8,842051335	9,830013957	9,3767367	0	0,987962622	0,5346854
	2	7,088755311	8,206500966	7,6438278	0	1,117745655	0,5550725
	3	4,214214231	5,232382816	4,6485649	0	1,018168584	0,4343507
	4	2,414341312	3,97431095	2,9656346	0	1,559969638	0,5512933

Πίνακας 10: Καταγραφή της ανακλαστικότητας πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 7 με ημερομηνία λήψης 16/06/2010

ρ%	LAYER/BAND	Before Atmospheric Correction			After Atmospheric Correction		
		min	max	mean	min	max	mean
Outlet	1	13,80221293	14,48601191	10,9927212	0,341899488	1,025698465	0,5493722
	2	11,44331	12,19693	9,0143267	0,376806445	1,130419334	0,5320493
	3	10,18557525	11,29903461	6,4901579	0,445383743	1,558843101	0,6405616
	4	4,842638161	5,499782798	5,2310106	0,328572319	0,985716956	0,7169448
Inlet	1	11,13006429	12,64083786	11,5861806	0,68671526	2,197488831	1,1428315
	2	9,84456578	11,66095038	10,2287311	1,362288451	3,178673051	1,7464538
	3	7,135004146	9,134527506	7,6645922	1,285407874	3,284931234	1,8149959
	4	5,17121048	8,128361347	5,6611118	0,657144637	3,164295505	1,147046
Middle	1	10,71803514	11,4047504	11,0605687	0,274686104	0,961401364	0,6172197
	2	9,087738863	9,541835013	9,2498512	0,605461534	1,059557684	0,7675739
	3	6,135242466	7,135004146	6,5989891	0,285646194	1,285407874	0,7493928
	4	4,842638161	6,156927435	5,0203958	0,328572319	1,642861593	0,5063299

Πίνακας 11: Καταγραφή της ανακλαστικότητας πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 5 με ημερομηνία λήψης 10/07/2010

ρ%	LAYER/BAND	Before Atmospheric Correction			After Atmospheric Correction		
		min	max	mean	min	max	mean
Outlet	1	11,41218809	12,34663929	10,3785305	0,155741867	1,090193067	0,5736032
	2	5,034287	5,894076	4,7778701	0,171957751	1,031746509	0,5664315
	3	4,076858417	5,082184334	5,4359457	0	1,005325917	0,432982
	4	2,778716965	4,276467313	3,5168083	0,898650208	2,396400556	1,6367416
Inlet	1	10,0772288	12,3917919	11,1652096	0,272301541	2,586864636	1,3602823
	2	4,361765438	6,466340987	5,4012754	0,150326825	2,254902374	1,1898368
	3	5,721204933	9,07639738	6,8949538	0,718841239	4,073433686	1,18919901
	4	3,677367174	5,77421766	4,4487086	1,797300417	3,894150903	2,5686418
Middle	1	10,34953034	11,71103805	10,9409693	0,544603081	1,906110785	1,136042
	2	4,963072738	5,564380037	5,1810466	0,751634125	1,352941424	0,969608
	3	5,482191186	7,15948741	6,1384932	0,479227492	2,156523716	1,1355295
	4	3,377817104	4,875567451	3,9969871	1,497750347	2,995500695	2,1169203

Πίνακας 12: Καταγραφή της ανακλαστικότητας πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 5 με ημερομηνία λήψης 27/08/2010

ρ%	LAYER/BAND	Before Atmospheric Correction			After Atmospheric Correction		
		min	max	mean	min	max	mean
Outlet	1	8,486795438	9,476670525	8,975935142	0	0,989875087	0,489139703
	2	6,802299247	7,688056431	7,149516063	0,59050479	1,476261974	0,937721606
	3	3,951890689	4,44963233	4,192051031	0,746612462	1,244354104	0,986772805
	4	1,952699978	2,886068028	2,600457404	0,622245367	1,555613416	1,270002793
Inlet	1	9,052438345	10,04231343	9,372733641	0,565642907	1,555517993	0,885938202
	2	7,392804036	8,105156954	7,814091168	1,181009579	1,798552745	1,507486959
	3	4,20076151	4,698503151	4,41304832	0,995483283	1,493224925	1,207770093
	4	2,263822661	2,886068028	2,611657821	0,93336805	1,555613416	1,25120321
Middle	1	9,052438345	10,04231343	9,372733641	0,565642907	1,555517993	0,885938202
	2	7,392804036	7,983308826	7,69661875	1,181009579	1,771514369	1,484824293
	3	4,20076151	4,698503151	4,41304832	0,995483283	1,493224925	1,207770093
	4	2,263822661	2,886068028	2,611657821	0,93336805	1,555613416	1,28120321

Πίνακας 13: Καταγραφή της ανακλαστικότητας πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 7 με ημερομηνία λήψης 09/12/2010.

ρ%	LAYER/BAND	Before Atmospheric Correction			After Atmospheric Correction		
		min	max	mean	min	max	mean
Outlet	1	5,896429791	7,115191116	17,6537462	0,609380662	1,828141987	2,260142377
	2	4,707514	5,379111	10,6264563	1,567058918	2,238655598	3,5523046
	3	3,182789034	3,97661368	6,3519008	0,793824646	1,587649293	1,7928234
	4	2,353560368	3,524814635	2,889214	0	1,171254267	0,5356536
Inlet	1	12,65174256	14,1512565	13,3587634	1,874392417	3,373906351	2,5814132
	2	10,88427463	12,15431562	11,2953446	3,810122946	5,080163928	4,2211929
	3	6,898051215	9,237025004	7,466032	2,338973789	4,677947578	2,9069546
	4	2,743978457	4,305650813	3,2238023	0,390418089	1,952090444	0,8702419
Middle	1	12,27686408	14,1512565	13,0746055	1,499513934	3,373906351	2,2972553
	2	10,03758065	11,30762163	10,7289063	2,963428958	4,23346994	3,6547546
	3	5,72856432	8,067538109	6,4692394	1,169486894	3,508460683	1,9101619
	4	2,353560368	5,867323168	3,0086819	0	3,5137628	0,6551216

Είναι εμφανές ότι οι επιδράσεις της ατμόσφαιρας σε σκοτεινούς στόχους όπως το φράγμα είναι μεγάλες και κυμαίνεται όπως φαίνεται και από τον πιο κάτω πίνακα (Πίνακας 14) σε 0,87197-0,952978 στο κανάλι 1, σε 0,66571-0,956446 στο κανάλι 2, σε 0,71775-0,92035 στο κανάλι 3 και σε 0,511623-0,916898 στο κανάλι 4.

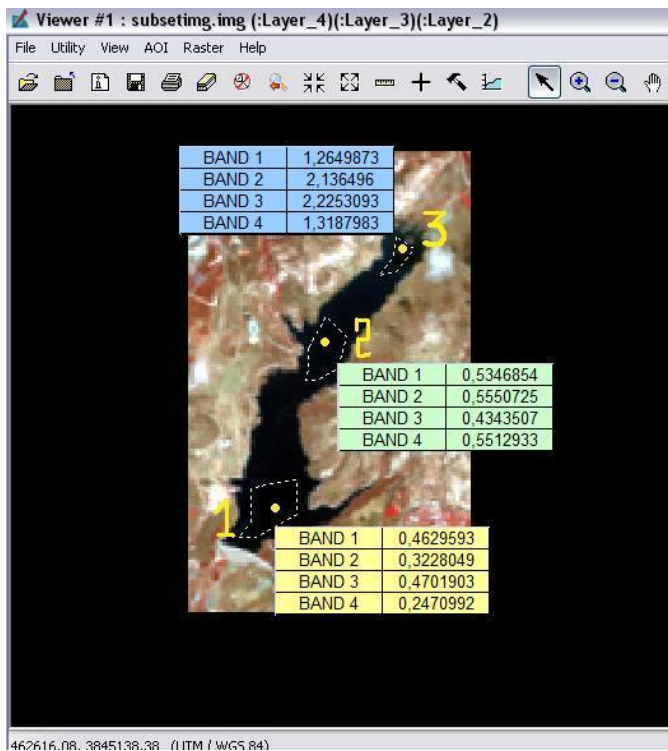
Πίνακας 14: Επίδραση της ατμόσφαιρας στη λήψη δορυφορικών εικόνων

BAND	ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ						
	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ						
	29/6/2009	16/8/2009	31/5/2010	16/6/2010	10/7/2010	27/8/2010	9/12/2010
1	0,952978	0,912339	0,950246	0,950024	0,94473	0,945505	0,87197
2	0,932556	0,890103	0,956446	0,940977	0,88145	0,868841	0,66571
3	0,859931	0,845311	0,895065	0,901303	0,92035	0,764608	0,71775
4	0,804982	0,718342	0,916898	0,862943	0,53459	0,511623	0,81460

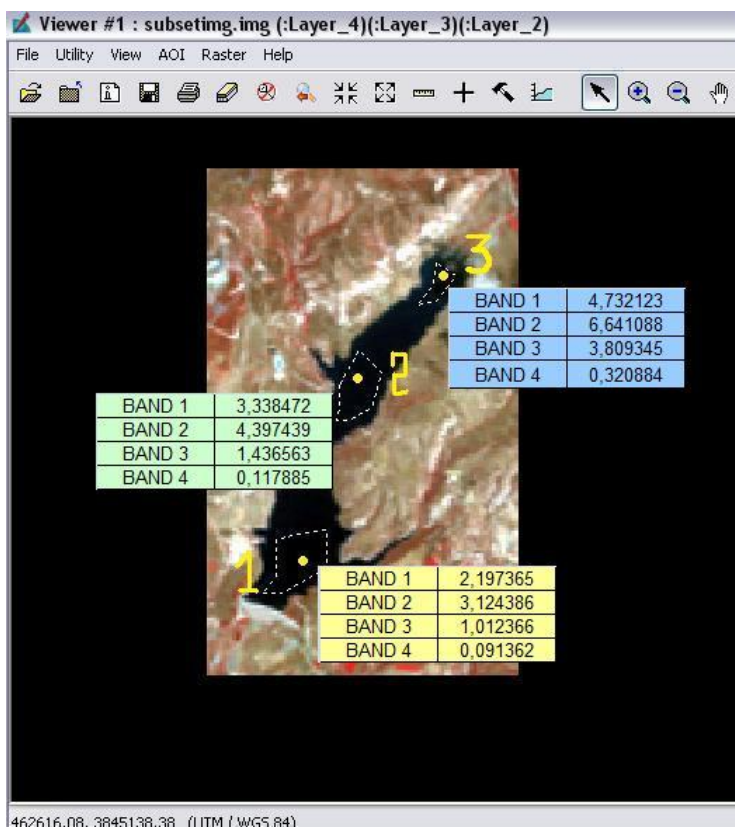
Στο παράρτημα (Παράρτημα 2) μπορεί κανείς να δει τους πίνακες με τα Digital Number πριν την μετατροπή σε ανακλαστικότητα για κάθε δορυφορική εικόνα, πριν και μετά την ατμοσφαιρική τους διόρθωση.

5.2.1 Χωρικές μεταβολές ανακλαστικότητας στο φράγμα

Παρακάτω παρατίθεται μια εικόνα του φράγματος (Εικόνα 32) με τις τιμές ανακλαστικότητας όπως πάρθηκαν από την επεξεργασία της δορυφορικής εικόνας τύπου Landsat TM με ημερομηνία λήψης 31/05/2010 μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση στα σημεία εισροής και εκροής του ποταμού Ξερού στο φράγμα του Ασπρόκρεμμου για το κανάλι 4. Παρατηρείται ξεκάθαρα ότι η τιμή ανακλαστικότητας στο σημείο εκροής του ποταμού είναι χαμηλότερη από το σημείο εισροής και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την εισροή του ποταμού στο φράγμα, το νερό παρασύρει μαζί του λάσπη υπό μορφή αιωρούμενων σωματιδίων τα οποία και ευθύνονται για την αύξηση στις τιμές ανακλαστικότητας. Αυτό τεκμηριώνεται και από επίγειες μετρήσεις. Στην Εικόνα 33 φαίνονται οι τιμές ανακλαστικότητας μιας δειγματοληψίας που πάρθηκε στις 17/10/2011.



Εικόνα 32: Τιμές ανακλαστικότητας στα σημεία εισροής (INLET), μέσο (MIDDLE) και εκροής (OUTLET) από δορυφορική εικόνα με ημερομηνία λήψης 31/05/2010.



Εικόνα 33: Τιμές ανακλαστικότητας στα σημεία εισροής (INLET), μέσο (MIDDLE) και εκροής (OUTLET) από το φασματοραδιόμετρο με ημερομηνία λήψης 17/10/2011.

5.2.2 Χρονικές μεταβολές ανακλαστικότητας στο φράγμα

Στον πιο κάτω πίνακα φαίνονται συνοπτικά οι μέσες τιμές ανακλαστικότητας για το σημείο εισροής και εκροής του ποταμού από το φράγμα για τα κανάλια 1- 4 μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για κάθε δορυφορική εικόνα που επεξεργάστηκε (Πίνακας 15 και 16).

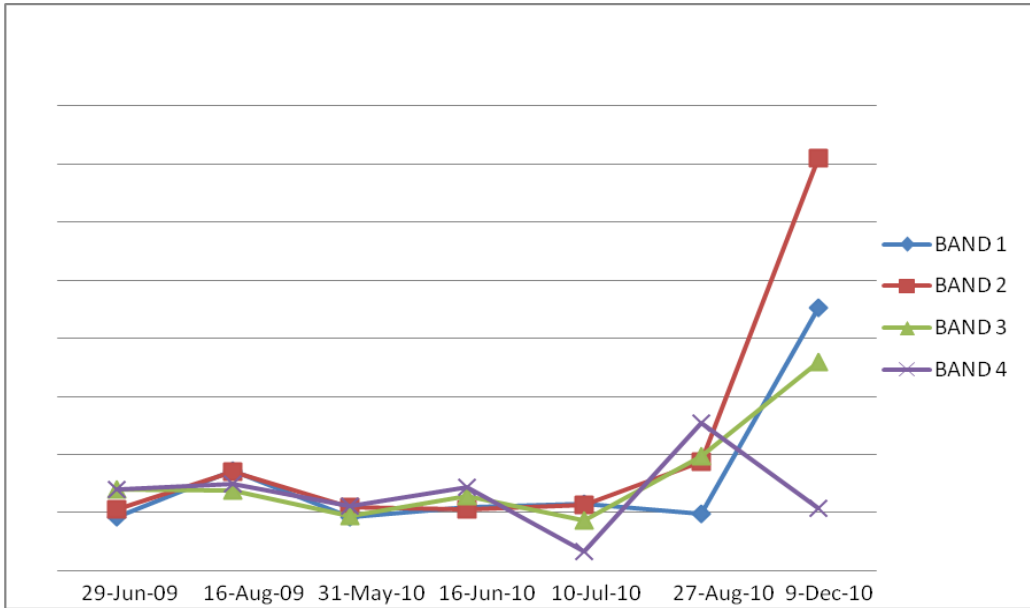
Πίνακας 15: Τιμές ανακλαστικότητας μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση (OUTLET) ανά ημερομηνία λήψης των δορυφορικών εικόνων.

OUTLET /ρ %	BAND 1	BAND 2	BAND 3	BAND 4
29-Jun-09	0,461308507	0,524018861	0,69693997	0,697890606
16-Aug-09	0,856790172	0,854954485	0,687817028	0,749539212
31-May-10	0,462959285	0,546354076	0,470190252	0,559093118
16-Jun-10	0,549372208	0,532049323	0,640561591	0,716944799
10-Jul-10	0,573603195	0,566431476	0,432982039	0,163674158
27-Aug-10	0,489139703	0,937721606	0,986772805	1,270002793
9-Dec-10	2,26142377	3,552304626	1,792823409	0,535653618

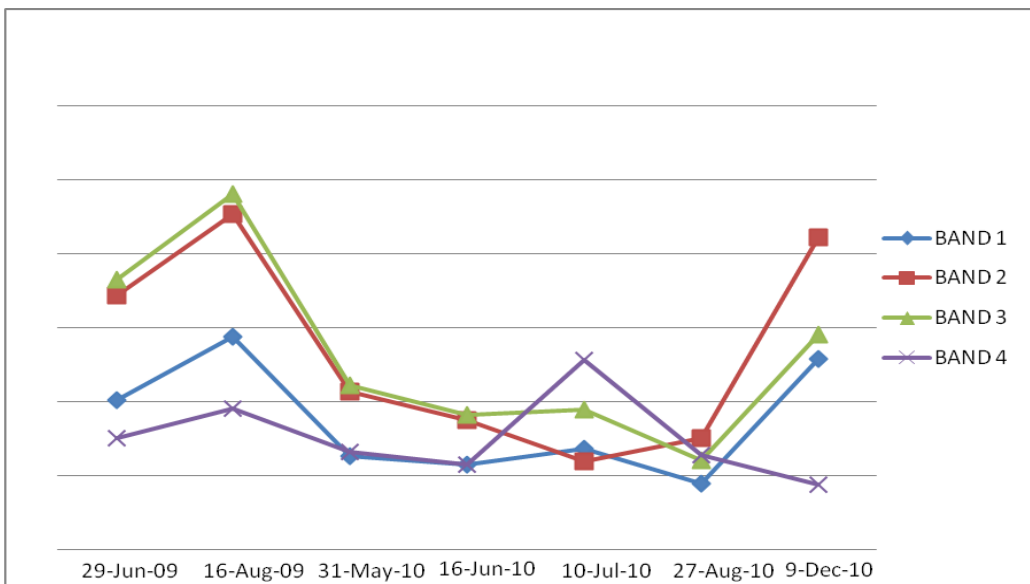
Πίνακας 16 Τιμές ανακλαστικότητας μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση (INLET) ανά ημερομηνία λήψης των δορυφορικών εικόνων.

INLET /ρ %	BAND 1	BAND 2	BAND 3	BAND 4
29-Jun-09	2,016135459	3,444698503	3,649936144	1,49995383
16-Aug-09	2,886740948	4,54097166	4,817470465	1,909159655
31-May-10	1,264987341	2,136459045	2,225309258	1,318798332
16-Jun-10	1,142831535	1,746453794	1,814995918	1,147045964
10-Jul-10	1,360282346	1,189836819	1,89199014	2,568641846
27-Aug-10	0,885938202	1,507486959	1,207770093	1,28120321
9-Dec-10	2,581413237	4,221192877	2,906954591	0,87024192

Πιο κάτω έχουν γίνει δύο γραφήματα (Εικόνα 34 και Εικόνα 35) τα οποία δείχνουν τις χρονικές αυτές μεταβολές της ανακλαστικότητας για κάθε ημερομηνία λήψης των δορυφορικών εικόνων για κάθε κανάλι τόσο για το σημείο εισροής όσο και για το σημείο εκροής του ποταμού από το φράγμα . Μπορεί κάποιος να προβεί σε άμεση εκτίμηση της ποιότητας νερού μέσω των πιο κάτω γραφημάτων. Συγκεκριμένα για την περίοδο του Αυγούστου-Δεκεμβρίου 2010 είναι εμφανές ότι υπάρχουν ψηλές τιμές ανακλαστικότητας στο κανάλι 2 και 3 σε σχέση με τον Μάιο-Ιούλιο 2010. Άρα την εν λόγω περίοδο υπήρχαν ψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων και το καλύτερο σενάριο ήταν να αποφευγόταν για μικρό χρονικό διάστημα η παροχή νερού μέσω του φράγματος στο σύστημα επεξεργασίας νερού για αποφυγή πιθανών ζημιών στα φίλτρα νερού .



Εικόνα 34: Γράφημα χρονικών μεταβολών ανακλαστικότητας (OUTLET)



Εικόνα 35: Γράφημα χρονικών μεταβολών ανακλαστικότητας (INLET)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση γραμμικής συσχέτισης των τιμών ανακλαστικότητας από το φασματοραδιόμετρο που αντιστοιχούν στα κανάλια 1,2,3,4 των Landsat TM/ETM+ και των αντίστοιχων τιμών θολότητας που πάρθηκαν με τον αυτόματο αναλυτή βρέθηκε ότι η υψηλότερη συσχέτιση αφορά το κανάλι 4 με συντελεστή προσδιορισμού ίσο με $R^2= 0.8304$. Στο ίδιο κανάλι (Band 4), ανιχνεύεται καλύτερα και η θολότητα όπως πάρθηκε με τον δίσκο Secchi με συντελεστή προσδιορισμού $R^2= 0.7291$. Τα δύο αποτελέσματα συμφωνούν. Παρόλα αυτά, οι μετρήσεις της θολότητας με τη χρήση του δίσκου Secchi είναι πιθανόν να εμπεριέχουν σε μεγάλο βαθμό προσωπικά σφάλματα τα οποία συνίστανται συνήθως σε σφάλματα που προκαλούνται από φυσικές αδυναμίες του αναλυτή (το ενδεικτικό βάθος το οποίο καταγράφεται ως το βάθος στο οποίο ο δίσκος Secchi παύει να είναι ευδιάκριτος εναπόκειται στην κρίση του αναλυτή) με αποτέλεσμα οι εν λόγω μετρήσεις να είναι ενδεικτικές αλλά όχι ακριβείς για τον προσδιορισμό της θολότητας.

Στο σημείο εισροής των υδάτων από τον ποταμό Ξερό στο Φράγμα (INLET) οι μετρούμενες τιμές της ανακλαστικότητας παίρνουν την υψηλότερη τιμή σε σχέση με το σημείο στο κέντρο του φράγματος (MIDDLE) και με το σημείο εκροής του ποταμού από το φράγμα (OUTLET). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την εισροή του ποταμού στο φράγμα, το νερό συμπαρασύρει μαζί του φερτή ύλη από τον Ποταμό Ξερό η οποία καθιζάνει ως λάσπη στο σημείο εισροής του ποταμού στο φράγμα ενώ τα λεπτόκοκκα φερτά υλικά απαντώνται υπό μορφή αιωρούμενων σωματιδίων στην περιοχή εισροής με αποτέλεσμα οι αντίστοιχες τιμές ανακλαστικότητας να παρουσιάζονται αυξημένες. Αντίθετα, στο σημείο του φράγματος - όπου πραγματοποιείται άντληση του νερού και παροχή του στο σταθμό προ-επεξεργασίας πριν την τελική του διάθεση στο δίκτυο ύδρευσης (OUTLET) - το οποίο αποτελεί το βαθύτερο και το πιο απομακρυσμένο σημείο από το σημείο εισροής του νερού στο φράγμα (INLET), οι αντίστοιχες τιμές θολότητας που παρατηρούνται είναι οι χαμηλότερες σε όλη την έκταση του φράγματος. Είναι φανερό ότι λόγω της άντλησης των υδάτων προς το σύστημα επεξεργασίας νερού στο σημείο αυτό, το νερό δεν αναδεύεται με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται ευκολότερα η καθίζηση των αιωρούμενων σωματιδίων και ως εκ τούτου το νερό να είναι καλύτερης ποιότητας σε σχέση με το σημείο εισόδου (INLET). Αυτό τεκμηριώνεται και από τις μετρήσεις πεδίου που έχουν πραγματοποιηθεί με τη χρήση φορητού φασματοραδιομέτρου τόσο στο σημείο εισροής όσο και στο σημείο εκροής του ποταμού Ξερού στο φράγμα του Ασπρόκρεμμου. Μελετώντας κάποιες ενδεικτικές

φασματοραδιομετρικές τιμές κατά μήκος του φράγματος οι υψηλότερες τιμές ανακλαστικότητας εντοπίζονται στο σημείο εισροής (INLET) ενώ παρατηρείται σταδιακή μείωση στις εν λόγω τιμές για το σημείο στο μέσο του φράγματος (MIDDLE) και ακόμη περισσότερο για το σημείο εκροής του ποταμού Ξερού από το φράγμα (OUTLET).

Είναι φανερό ότι πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ατμοσφαιρική διόρθωση στις δορυφορικές εικόνες λόγω του μεγάλου ποσοστού επίδρασης σε περιοχές μελέτης όπου υπάρχουν σκοτεινοί στόχοι όπως είναι οι λίμνες, οι ποταμοί, τα φράγμα, οι δεξαμενές κλπ.

Χρησιμοποιώντας τις δορυφορικές εικόνες, μπορεί κάποιος εύκολα να παρατηρήσει χωρικές και χρονικές μεταβολές της ανακλαστικότητας (ρ) ως εργαλείο εκτίμησης της ποιότητας των υδάτων.

Από τις φασματοραδιομετρικές μετρήσεις μπορεί κάποιος συνεχίζοντας την εν λόγω έρευνα με περισσότερες δειγματοληψίες, να εξάγει με μεγαλύτερη ακρίβεια τις εξισώσεις συσχέτισης των τιμών της θολότητας τόσο με τον αυτόματο αναλυτή όσο και με το δίσκο Secchi με τις αντίστοιχες τιμές ανακλαστικότητας. Επίσης, αν κάποιος χρησιμοποιήσει την εξίσωση που θα αναπτυχθεί με περισσότερο πεδίο μετρήσεων, μπορεί περιορίζοντας σε μεγάλο βαθμό τις επίγειες μετρήσεις να χρησιμοποιήσει μόνο δορυφορικά δεδομένα για να προσδιορίσει τις διάφορες ποιοτικές υδατικές παραμέτρους όπως είναι για παράδειγμα η θολότητα.

Τέλος, έχοντας υπόψη τις φασματοραδιομετρικές μετρήσεις και με μια νέα γενεά δορυφόρων υπάρχει η δυνατότητα να καθοριστούν νέες φασματικές περιοχές για βελτιωμένη φασματική ικανότητα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alparslan E., Coşkun H.G., Algancı U. (2010). "An Investigation on Water Quality of Darlık Dam Drinking Water using Satellite Images." *The Scientific World JOURNAL*, 10 1293-1306.
- Asadi S. S., Vuppala P., Reddy M. A. (2007). "Remote Sensing and GIS Techniques for Evaluation of Groundwater Quality in Municipal Corporation of Hyderabad (Zone-V), India." *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 4(1), 45-52.
- Brezonik P. L., Olmanson L. G., Bauer M. E., Kloiber S. M. (2007). "Measuring Water Clarity and Quality in Minnesota Lakes and Rivers: A Census-Based Approach Using Remote-Sensing Techniques." *CURA Reporter*, 37(2), 3-13.
- Central Scientific Instruments Organisation. (2005). "ENVIRONMENT." <http://www.csio.res.in/enviroment.htm> (Ιανουάριος/30, 2012).
- Fraser R. N. (1998). "Hyperspectral remote sensing of turbidity and chlorophyll a among Nebraska Sand Hills lakes." *INT. J. REMOTE SENSING*, 19(8), 1579-1589.
- Giardino C., Pepe M., Brivio P. A., Ghezzi P., Zilioli E. (2001). "Detecting chlorophyll, Secchi disk depth and surface temperature in a sub-alpine lake using Landsat imagery." *Science of the Total Environment*, 268(1-3), 19-29.
- Hadjimitsis D.G., Clayton C. (2011). "Field Spectroscopy for Assisting Water Quality Monitoring and Assessment in Water Treatment Reservoirs Using Atmospheric Corrected Satellite Remotely Sensed Imagery." *Remote Sensing*, 3 362-377.
- Hadjimitsis D.G., Clayton C.R.I., Retalis A. (2004). "Darkest pixel atmospheric correction algorithm: a revised procedure for environmental applications of satellite remotely sensed imagery", *Proceedings 10th International Symposium on Remote Sensing*, 8-12/9/2003, Barcelona - SPAIN , organised by NASA, SPIE CONFERENCE, 414
- Hadjimitsis, D.G., Clayton C.R.I., Hope V.S. (2004). "An assessment of the effectiveness of atmospheric correction algorithms through the remote sensing of some reservoirs". *International Journal of Remote Sensing*, 25(18), 3651-3674.

Hadjimitsis D.G., Hadjimitsis M.G., Clayton C., Clarke B.A. (2006). "Determination of turbidity in Kourris Dam in Cyprus utilizing Landsat TM remotely sensed data." *Water Resources Management*, 20(3), 449-465.

He W., Chen S., Liu X., Chen J. (2008). "Water quality monitoring in slightly-polluted inland water body through remote sensing —A case study in Guanting Reservoir, Beijing, China " *FRONTIERS OF ENVIRONMENTAL SCIENCE & ENGINEERING IN CHINA*, 2(2), 163-171.

Hellenica.(2002)."Κύπρος,Υδρολογία."<http://www.hellenica.de/Griechenland/Zypern/Info/G R/KyprosYdrologia.html> (Φεβρουάριος/20, 2012).

Jensen J. R. (2007). "Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective", 2nd edition, *Prentice Hall Publishing ISBN 0-13-188950-8*.

Kallio K., Koponen S., Pulliainen J. (2003). "Feasibility of airborne imaging spectrometry for lake monitoring—a case study of spatial chlorophyll a distribution in two meso-eutrophic lakes." *International Journal of Remote Sensing*, 24(19), 3771-3790.

Kamble S. R., Satapathy D. R., Vijay R., Sohony R. A. (2010). "Remote Sensing of Turbidity and Phosphate in Creeks and Coast of Mumbai: An Effect of Organic Matter." *Transactions in GIS*, 14(6), 811-832.

Koponen S., Pulliainen J., Kallio K., Hallikainen M. (2002). "Lake water quality classification with airborne hyperspectralspectrometer and simulated MERIS data." *Remote Sensing of Environment*, 79(1), 51-59.

Koponen S., Pulliainen J., Servomaa H., Zhang Y., Hallikainen M., Kallio K., Vepsäläinen J., Pyhälähti T., Hannonen T. (2001). "Analysis on the feasibility of multi-sourceremotesensingobservations for chl-a monitoring in Finnish lakes." *Science of the Total Environment*, 268(1-3), 95-106.

Kutser T., Herlevi A., Kallio K., Arst H. (2001). "A hyperspectral model for interpretation of passive optical remote sensing data from turbid lakes." *The Science of the Total Environment*, 268(1-3), 47-58.

LATHROP R. G., LILLESAND T. M., YANDELL B. S. (1991). "Testing the utility of simple multi-date Thematic Mapper calibration algorithms for monitoring turbid inland waters." *International Journal of Remote Sensing*, 12(10), 2045-2063.

Mather, P.M., (2010). *Computer processing of remotely-sensed images. An Introduction*. Chichester: Wiley, . ISBN 0 471 98550 3.

Mather, P. (1999). *Computer Processing of Remotely-Sensed Images, 2nd Edition*, John Wiley, Chichester, UK

Michigan Lake and Stream Associations. (1998). "THE SECCHI DISK - WHAT IS IT?" <http://www.mlswa.org/secchi.htm> (Ιανουάριος/30, 2012).

Nellis M. D., Harrington Jr. A., Wu J. (1998). "Remote sensing of temporal and spatial variations in pool size, suspended sediment, turbidity, and Secchi depth in Tuttle Creek Reservoir, Kansas: 1993." *Geomorphology*, 21(3-4), 281-293.

Papoutsas C., Hadjimitsis G. D., Alexakis D. (2011). "Characterizing the spectral signatures and optical properties of dams in Cyprus using field spectroradiometric measurements." *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE)*, 8174.

Randolph K., Wilson J., Tedesco L., Li L., Pascual D. L., Soyeux E. (2008). "Hyperspectral remote sensing of cyanobacteria in turbid productive water using optically active pigments, chlorophyll *a* and phycocyanin." *Remote Sensing of Environment*, 112(11), 4009-4019.

Rees W. G. (2001). "Physical Principles Of Remote Sensing." *Cambridge: Cambridge University Press*, .

Sheela A. M., Letha J., Joseph S., Ramachandran K. K., Sanalkumar S. P. (2011). "Trophic state index of a lake system using IRS (P6-LISS III) satellite imagery." *ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT*, 177(1-4), 575-592.

Smith L. C. (1997). "SATELLITE REMOTE SENSING OF RIVER INUNDATION AREA, STAGE, AND DISCHARGE: A REVIEW." *HYDROLOGICAL PROCESSES*, 2 1427-1439.

Spectra Vista Corporation. (2012). "Field Portable Spectroradiometers GER1500." <http://www.spectravista.com/1500> (Ιανουάριος/29, 2012).

Tyler A. N., Svab E., Preston T., Présing M., Kovács W. A. (2007). "Remote sensing of the water quality of shallow lakes: A mixture modelling approach to quantifying phytoplankton in water characterized by high-suspended sediment." *International Journal of Remote Sensing*, 27(8), 1521-1537.

USGS Science for a changing World. (2010). "Landsat Missions, Landsat 5 History." http://landsat.usgs.gov/about_landsat5.php (Φεβρουάριος/14, 2012).

USGS Science for a changing World. (2010). "Landsat Missions, Landsat Missions Timeline." http://landsat.usgs.gov/about_mission_history.php (Φεβρουάριος/14, 2012).

Veneranta L., Urho L., Lappalainen A., Kallasvuoto M. (2011). "Turbidity characterizes the reproduction areas of pikeperch (*Sander lucioperca* (L.)) in the northern Baltic Sea." *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95(1), 199-206.

Wei L. (2007). "Monitoring variation of water turbidity and related environmental factors in Poyang Lake National Nature Reserve, China." *International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands*. http://www.itc.nl/library/papers_2007/msc/nrm/liu_wei.pdf (Μάρτιος/14, 2012).

Wikipedia. (2012). "Secchi disk." http://en.wikipedia.org/wiki/Secchi_disk (Ιανουάριος/30, 2012).

Wikipedia. (2011). "Water pollution." http://en.wikipedia.org/wiki/Water_pollution (Φεβρουάριος/08, 2012).

Αθανάσιος Α. (2007). *Ποιότητα του Νερού στους Ταμιευτήρες, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πολυτεχνική Σχολή Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών*. Βόλος.

Βασιλοπούλου Σ. "Η χρήση των δορυφορικών δεδομένων Τηλεανίχνευσης στην Γεωδυναμική Μελέτη: Επεξεργασία των Δορυφορικών Εικόνων Landsat 5, tm και SPOT/FAN της Νότιας Αργολίδας." *6th Hellenic Geographical Congress*, 11 102-109.

Βικιπαίδεια. (2012). "Ευτροφισμός."

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%85%CF%84%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82> (Φεβρουάριος/19, 2012).

Βικιπαίδεια. (2012). "Τεχνητός

δορυφόρος."

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B7%CF%84%CF>

[%8C%CF%82_%CE%B4%CE%BF%CF%81%CF%85%CF%86%CF%8C%CF%81%CE%BF%CF%82](#) (Φεβρουάριος/21, 2012).

Γενικό Λύκειο Νέων Μουδιανών. (2010-2011). *Τεχνητοί Δορυφόροι*.

Γήτας Ι. Ζ., Rishmawi Κ. Ν. "Χαρτογράφηση καμένων εκτάσεων με τη χρήση δορυφορικών εικόνων χαμηλής, μέσης - υψηλής και πολύ υψηλής ευκρίνειας, Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων."

http://www.fria.gr/ApokatastasiKamenwnEktasewn_PraktikaSYnedriou/Gitas-Rishmawi_HartografisiKamenwnEktasevni.pdf (Φεβρουάριος/16, 2012).

Δημητρακοπούλου Κ. (2010). "Μεταπτυχιακή Διατριβή: Χαρτογράφηση Χρήσης/Κάλυψης γης με την αντικειμενοστραφή ταξινόμηση εικόνων SPOT, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης." http://www.ntua.gr/fires/Ntua-Fires/ch3_files/fires-presentation-rev007.pdf (Μάρτιος/23, 2012).

Επίσημη Εφημερίδα. "Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων " 1-73.

Επίσημη Εφημερίδα. "ΟΔΗΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 16ης Ιουνίου 1975 περί της απαιτούμενης ποιότητας των υδάτων επιφάνειας που προορίζονται για την παραγωγή ποσίμου ύδατος στα Κράτη μέλη (70/440/ΕΟΚ)." 26.

Ηλιάδης Β. (2005). *Εγχειρίδιο Τοπογραφίας*. Σώμα Προσκόπων Κύπρου Επαρχιακή Εφορία Λευκωσίας, .

Καπαγερίδη Ι.(2010). *Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Σημειώσεις Θεωρίας και Εργαστηρίου*. Τεχνολογικό Ίδρυμα Δυτικής Μακεδονίας.

Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Καστοριάς. (2010). "ΕΘΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ "ΛΙΜΝΕΣ - ΠΗΓΕΣ ΕΜΠΝΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ"." <http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/eisagogi.htm> (Δεκέμβρης/20, 2011).

Κούγκολος Α. Γ. (2007). *"Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική"*. Εκδόσεις Τζιόλα, 61-86, ISBN 978-960-418-077-6.

Κυπριακή Δημοκρατία. (2009). *Παροχή Συμβουλευτικών Υπηρεσιών για Αξιολόγηση των Προγραμμάτων Παρακολούθησης για τα Επιφανειακά Ύδατα του Άρθρου 8 της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ.*, Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος: Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, Λευκωσία.

Κυπριακή Δημοκρατία. (2005). *Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος: Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά (2000/60/ΕΚ).* Λευκωσία.

Λοϊζίδου Μ. (2006). *Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Αθήνα.*

Μαμάης Δ. (2009). *ΡΥΠΑΝΣΗ ΝΕΡΟΥ – ΜΕΡΟΣ Α, ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.), «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ», Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.*

Μαμάης Δ. (2008-2009). *Σημειώσεις Μαθήματος Υδατικό Περιβάλλον και Ανάπτυξη, Ρύπανση Υδατικών Οικοσυστημάτων, ΕΜΠ. Δ.Π.Μ.Σ.*

Μαμάης Δ. (2006-2007). *Παρουσίαση: ΤΥΠΟΙ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ, ΜΑΘΗΜΑ ΚΟΡΜΟΥ: ΥΔΑΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ".*

Μεσημέρης Θ. (2010). *Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή: προς ένα Ευρωπαϊκό πλαίσιο δράσης, Τμήμα Περιβάλλοντος. Λευκωσία.*

Μήτσου Κ. Α., Αντωνόπουλος Β. Ζ., Παπαμιχαήλ Δ. Μ. (2000). *ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΣΤΡΥΜΟΝΑ, Τομέας Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.*

Ν. Κ. Πιτσιλλίδου Ε. (2011). "Πτυχιακή Εργασία: Χαρτογράφηση καμένων εκτάσεων κατά τα έτη 2007-2009 με τη χρήση δορυφορικών εικόνων Modis, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Τομέας: Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας." http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/sdfp/2011/PitsillidouIrene,NikolakakiKaterina/attached-document-1298465434-909697-29865/Pitsillidou_Nikolakaki2011.pdf (Δεκέμβρης/26, 2011).

Παπούτσα Χρ. (2012). "Αρχείο μετρήσεων ανακλαστικότητας GER1500, Διδακτορική διατριβή υπό εξέλιξη", ΤΕΠΑΚ. Λεμεσός, Κύπρος.

Ρουσσής Α. Α. (2010). "Ε.Μ.Π Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών ΠΡΟΤΑΣΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΜΑΝΔΡΑΚΙΟΥ ΤΗΣ ΝΙΣΥΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ." http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3619/3/roussisa_nisyros.pdf (Φεβρουάριος/25, 2012).

Σκληβανιώτης Μ. "Κεφάλαιο 1: Νομοθεσία." <http://www.deyap.gr/environment/nomothesia1.pdf> (Δεκέμβρης/12, 2012).

Σκούλλος Μ. (1997). *Χημική Ωκεανογραφία. Μια εισαγωγή στη χημεία του θαλάσσιου περιβάλλοντος. 3^η έκδοση. Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.*

Σωκράτους Γ., Όμορφος Χ., Ιωάννου Α. (2001). *ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ*. Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, .

Α. Δ. Τζώτσος Α. "Σύγχρονες Τεχνολογίες Τηλεπισκόπησης για την Ανίχνευση, Καταγραφή, Αποτίμηση Πυρκαγιών και Προστασία των Πληγέντων Περιοχών (Report)." http://www.ntua.gr/fires/Ntua-Fires/ch3_files/ymitos_report_rev003tzotsos.pdf (Ιανουάριος/16, 2012).

Τουρνάς Ε. "Γεωμετρική Διόρθωση Δορυφορικών Εικόνων IKONOS." <http://www.gipsynoise.gr/HellasGI/2oSynedrio/Posters/Tournas.pdf> (Μάρτιος/03, 2012).

Τσακίρη Σ. Μ. (2010). *Τηλεπισκόπηση, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Θεσσαλονίκη.*

Υδροσκόπιο ΑΕ. (2012). "Παράμετροι Ποιότητας Νερού." http://www.hydroscopio.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=26%3Awater-quality-parameters&catid=1&Itemid=1&lang=el (Ιανουάριος/27, 2012).

Χατζημιτσής Δ. (2010). *Σημειώσεις μαθήματος Τηλεπισκόπησης Ι, Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου.*

Χατζημιτσής Δ. (2011). *Σημειώσεις Μαθήματος Τηλεπισκόπησης ΙΙ, ΠΟΜ 232, ΤΕ.Π.Α.Κ.*

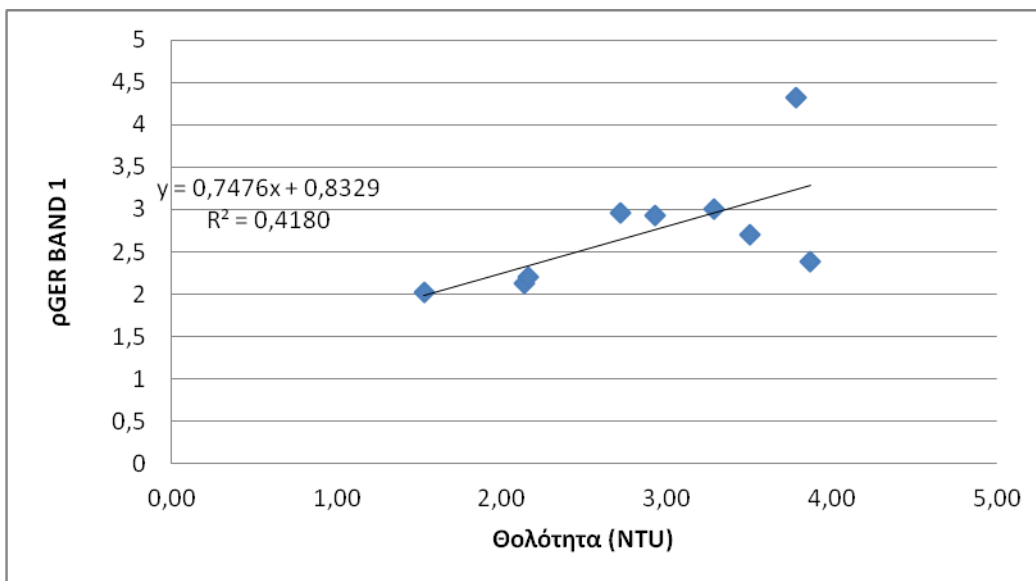
Χριστοφίδης Ν., Κύρου Κ., Πιστή Ε., Ιωάννου Α., Αυγουστή Μ., Χατζηγιάννη Ν. (2009). *Φράγματα της Κύπρου*. Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, Λευκωσία.

Χρυσουλάκης Ν. (2011). *Σημειώσεις Μαθήματος Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης*. Ηράκλειο.

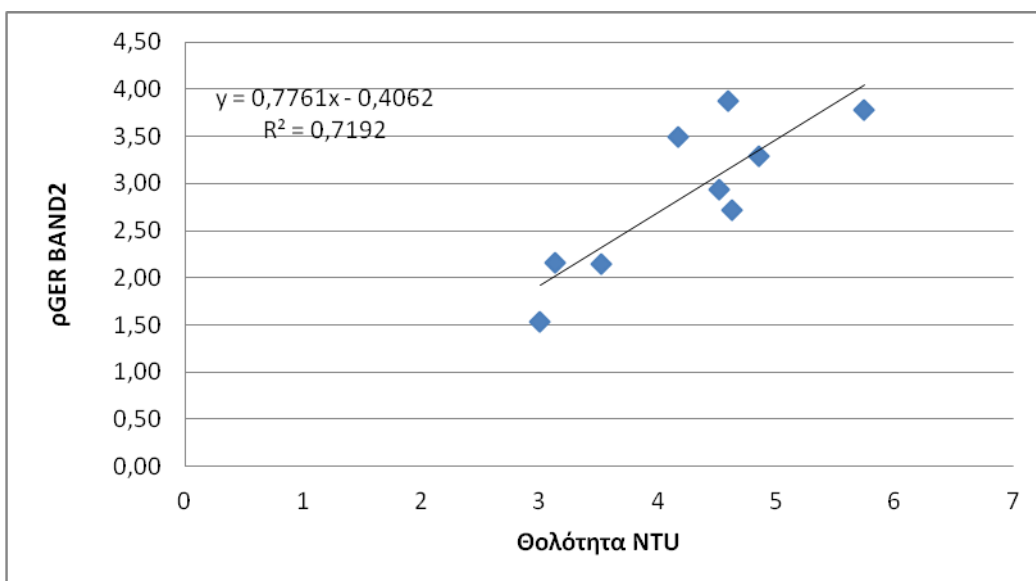
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

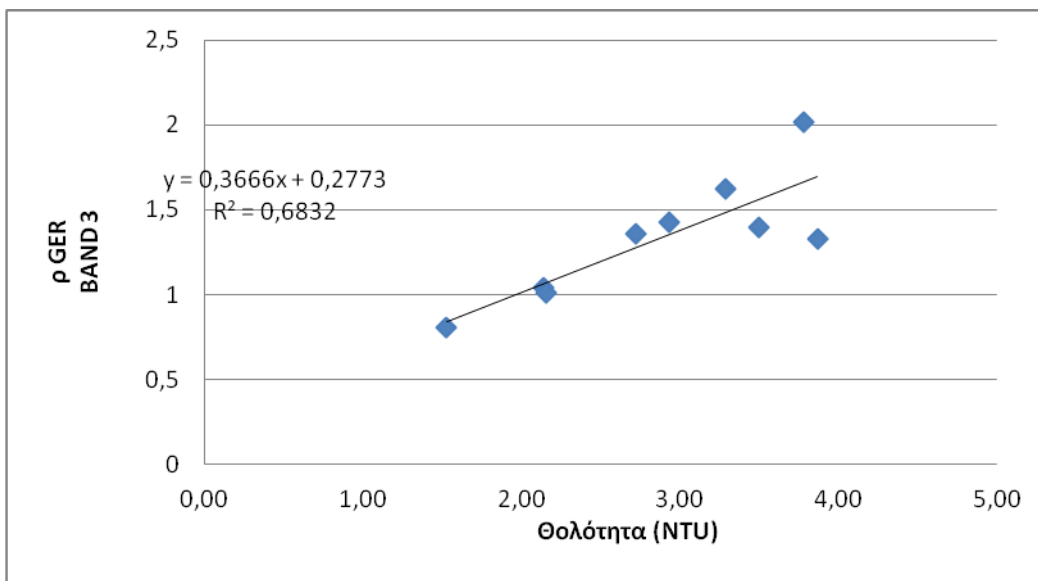
(Α) Γραφήματα συσχέτισης της θολότητας με το ψηφιακό μέτρο (NTU) σε σχέση με την ανακλαστικότητα από το φασματοραδιόμετρο.



Εικόνα 36: Συσχέτιση των τιμών ανακλαστικότητας ($\rho_{GER1500}$) στο κανάλι 1 με τις τιμές θολότητας που λήφθηκαν με το ψηφιακό μέτρο θολότητας (NTU).

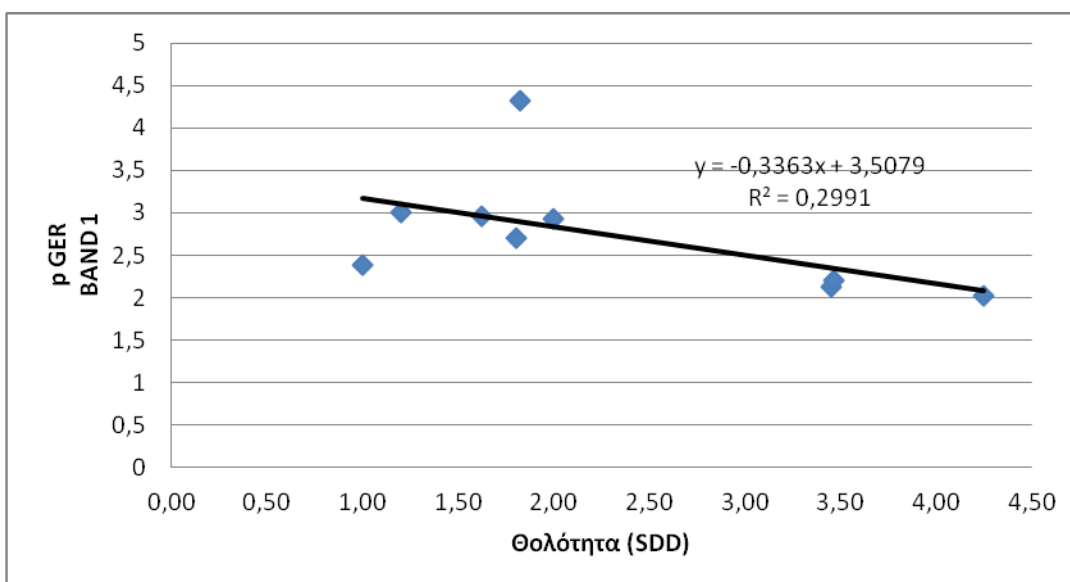


Εικόνα 37: Συσχέτιση των τιμών ανακλαστικότητας ($\rho_{GER1500}$) στο κανάλι 2 με τις τιμές θολότητας που λήφθηκαν με το ψηφιακό μέτρο θολότητας (NTU).

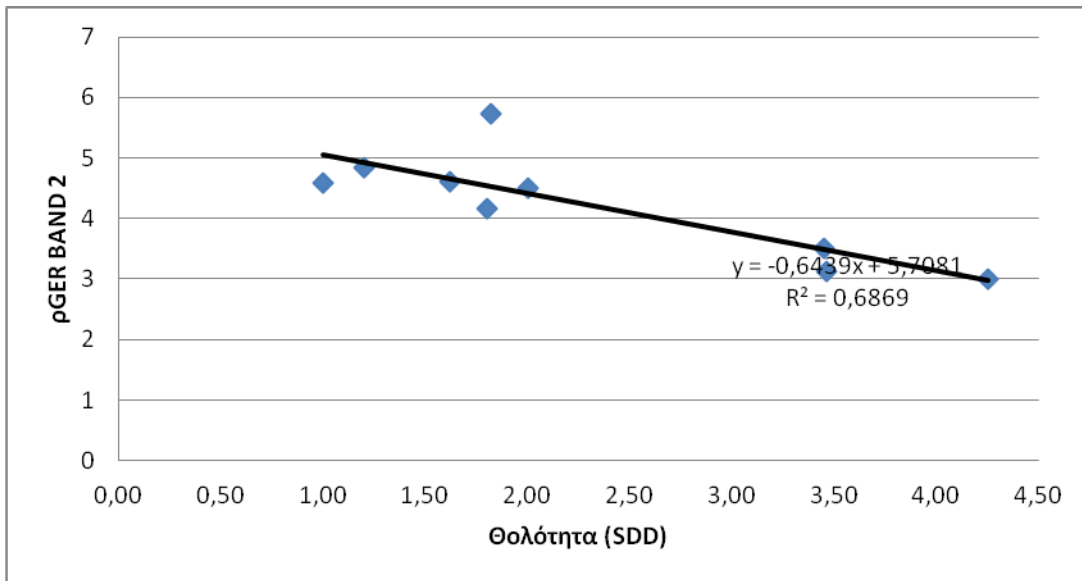


Εικόνα 38: Συσχέτιση των τιμών ανακλαστικότητας ($\rho_{GER1500}$) στο κανάλι 3 με τις τιμές θολότητας που λήφθηκαν με το ψηφιακό μέτρο θολότητας (NTU).

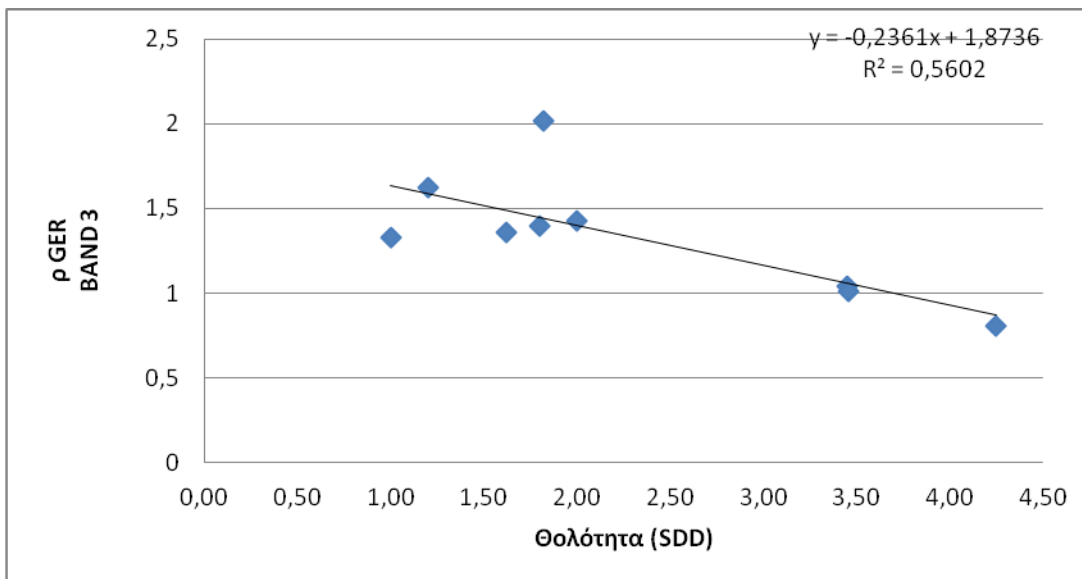
(B) Γραφήματα συσχέτισης της θολότητας με το Δίσκο Secchi (SDD) σε σχέση με την ανακλαστικότητα από το φασματοραδιόμετρο.



Εικόνα 39: Συσχέτιση των τιμών ανακλαστικότητας ($\rho_{GER1500}$) στο κανάλι 1 με τις τιμές θολότητας που λήφθηκαν με το δίσκο Secchi (SDD).



Εικόνα 40: Συσχέτιση των τιμών ανακλαστικότητας ($\rho_{GER1500}$) στο κανάλι 2 με τις τιμές θολότητας που λήφθηκαν με το δίσκο Secchi (SDD).



Εικόνα 41: Συσχέτιση των τιμών ανακλαστικότητας ($\rho_{GER1500}$) στο κανάλι 3 με τις τιμές θολότητας που λήφθηκαν με το δίσκο Secchi (SDD).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Πίνακες από επεξεργασία δορυφορικών εικόνων με Digital Numbers πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τη βοήθεια του λογισμικού Erdas Imagine V10.

Πίνακας 17: Καταγραφή των Digital Numbers πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 7 με ημερομηνία λήψης 29/06/2009.

DN	LAYER/BAND	Before Atmospheric Correction			After Atmospheric Correction		
		min	max	mean	min	max	mean
Outlet	1	51	56	53,208	0	5	2,369
	2	38	40	39,221	1	4	2,308
	3	26	32	29,208	1	6	3,385
	4	16	19	17,117	1	5	2,246
Inlet	1	58	63	60,65	2	8	5,044
	2	49	54	51,6	4	12	7,265
	3	39	47	42,8	3	12	7,265
	4	18	21	19,55	1	5	2,221
Middle	1	54	58	55,885	1	5	2,861
	2	42	46	43,385	1	5	3,264
	3	31	35	32,769	2	6	3,625
	4	18	20	18,885	1	4	1,931

Πίνακας 18: Καταγραφή των Digital Numbers πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 7 με ημερομηνία λήψης 16/08/2009.

DN	LAYER/BAND	Before Atmospheric Correction			After Atmospheric Correction		
		min	max	mean	min	max	mean
Outlet	1	76	82	79,153	3	9	6,694
	2	55	62	58,431	3	10	5,958
	3	37	43	39,75	2	10	5,194
	4	13	15	14,25	1	5	2,222
Inlet	1	90	97	93,731	13	20	16,276
	2	78	86	81,846	16	26	21,621
	3	59	79	68,269	13	25	20,483
	4	16	21	17,731	2	5	3,379
Middle	1	78	86	82,11	4	13	8,603
	2	57	68	62,562	4	15	8,603
	3	38	48	43,274	3	12	7,615
	4	14	17	14,959	2	5	2,731

Πίνακας 19: Καταγραφή των Digital Numbers πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 5 με ημερομηνία λήψης 31/05/2010.

DN	LAYER/BAND	Before Atmospheric Correction			After Atmospheric correction		
		min	max	mean	min	max	mean
Outlet	1	51	55	53,343	1	4	2,354
	2	38	41	39,444	1	4	2,444
	3	26	31	28,309	1	5	2,343
	4	15	18	15,792	1	4	1,792
Inlet	1	54	66	57,402	3	6	4,5
	2	43	56	46,557	5	8	6,62
	3	32	60	36,928	4	8	6,46
	4	16	36	18,227	2	4	2,66
Middle	1	51	56	53,706	0	4	2,538
	2	38	43	40,483	2	5	3,375
	3	27	32	29,133	1	5	2,9
	4	14	19	15,767	0	2	1,45

Πίνακας 20: Καταγραφή των Digital Numbers πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 7 με ημερομηνία λήψης 16/06/2010.

DN	LAYER/BAND	Before Atmospheric Correction			After Atmospheric Correction		
		min	max	mean	min	max	mean
Outlet	1	87	91	89	0	7	3,731
	2	67	71	68,515	1	5	3,097
	3	52	57	54,485	1	7	4,075
	4	21	23	21,182	0	4	
Inlet	1	90	101	93,321	6	11	8,295
	2	74	86	76,538	9	14	11,341
	3	59	73	62,708	9	15	12,318
	4	22	31	23,491	2	4	3,182
Middle	1	87	92	89,671	2	7	4,564
	2	69	72	70,305	4	7	5,109
	3	52	59	55,385	4	8	5,436
	4	21	25	21,874	1	2	1,509

Πίνακας 21: Καταγραφή των Digital Numbers πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 5 με ημερομηνία λήψης 10/07/2010.

DN	LAYER/BAND	Before Atmospheric Correction			After Atmospheric Correction		
		min	max	mean	min	max	mean
Outlet	1	76	82	79,213	1	7	4,213
	2	32	37	34,768	1	6	3,768
	3	23	28	24,807	1	5	1,989
	4	12	17	14,464	3	8	5,464
Inlet	1	77	94	84,991	3	15	10,031
	2	32	46	38,915	1	13	8,031
	3	26	40	30,896	3	13	7,615
	4	15	22	17,575	6	11	8,415
Middle	1	79	89	83,344	4	10	7,457
	2	36	40	37,45	5	7	6,057
	3	25	32	27,739	2	6	4,257
	4	14	19	16,067	5	9	6,657

Πίνακας 22: Καταγραφή των Digital Numbers πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 5 με ημερομηνία λήψης 27/08/2010.

DN	LAYER/BAND	Before Atmospheric Correction			After Atmospheric Correction		
		min	max	mean	min	max	mean
Outlet	1	63	70	66,459	0	7	3,545
	2	26	29	27,176	2	4	3,231
	3	18	20	18,965	3	5	3,951
	4	9	12	11,082	2	5	4,049
Inlet	1	67	74	69,265	8	18	12,691
	2	28	30	29,029	8	17	12,037
	3	19	21	19,853	7	18	11,84
	4	10	12	11,118	2	11	5,407
Middle	1	67	74	69,265	4	11	6,63
	2	28	30	29,029	4	7	5,562
	3	19	21	19,853	4	7	5,233
	4	10	12	11,118	1	6	4,267

Πίνακας 23: Καταγραφή των Digital Numbers πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση για τη δορυφορική Εικόνα τύπου Landsat 7 με ημερομηνία λήψης 09/12/2010.

DN	LAYER/BAND	Before Atmospheric Correction			After Atmospheric Correction		
		min	max	mean	min	max	mean
Outlet	1	38	44	41,029	3	9	6,028
	2	30	33	31,391	7	9	8,278
	3	21	24	22,599	3	6	4,556
	4	15	18	16,372	0	3	1,241
Inlet	1	40	44	41,886	5	8	6,8
	2	32	35	32,971	9	11	10,05
	3	24	30	25,457	6	10	7,35
	4	16	20	17,229	1	4	2,05
Middle	1	39	44	41,128	4	8	6,102
	2	30	33	31,633	7	10	8,542
	3	21	27	22,9	3	7	4,746
	4	15	24	16,678	0	3	1,305