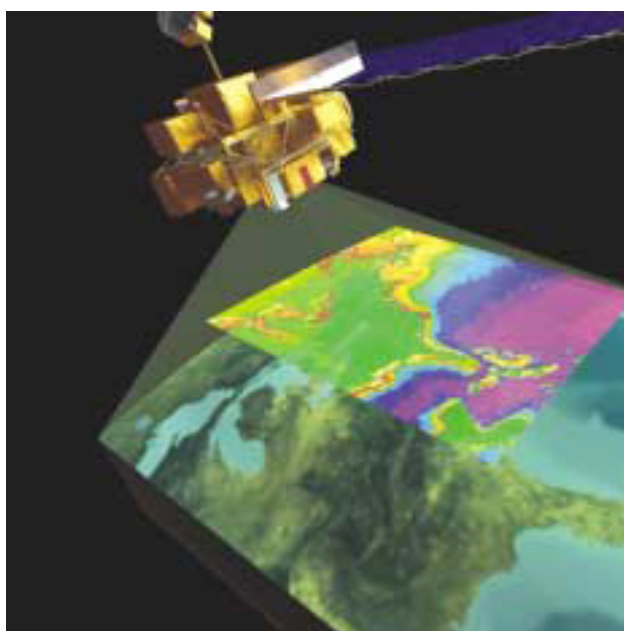




**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο**  
**Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών**  
**Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**“Τηλεπισκοπικός Υπολογισμός Εδαφικής Υγρασίας στο Δορυφορικό Σύστημα MODIS”**



**Αθήνα, Μάρτιος**  
**2010**  
**Στυλιανός**  
**Σκαράκης**

**Επιβλέπων καθηγητής:**

**Δημήτρης Π. Αργιαλάς**

# Κατάλογος περιεχομένων

Περίληψη.....	5
Abstract.....	7
1. Εισαγωγή .....	8
2. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας .....	10
2.1 Χαρακτηριστικά μεγέθη της στατικής του εδάφους ( σύντομη αναφορά).....	10
2.2 Εδαφική υγρασία .....	11
2.2.1 Ορισμός.....	11
2.2.2 Ποσοτικές εκφράσεις της εδαφικής υγρασίας.....	11
2.2.3 Παράγοντες άμεσης επίρκειας επί της εδαφικής υγρασίας.....	12
2.2.4 Σημαντικότητα της εδαφικής υγρασίας.....	13
2.3 Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με επίγεια μέσα.....	13
2.4 Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τηλεπισκοπικά μέσα .....	16
2.4.3 MODIS.....	17
2.4.4 Δείκτες στον MODIS .....	20
Δημοσίευση πρώτη .....	20
3. Μεθοδολογία .....	26
3.1 Περιγραφή δεδομένων .....	26
3.1.1 Εδαφικά δεδομένα υγρασίας σταθμών .....	26
3.1.2 Χαρακτηριστικά εδάφους της περιοχής μελέτης .....	27
3.1.3 Τηλεπισκοπικά Δεδομένα .....	31
3.2 Προεπεξεργασία.....	31
3.2.1 Αντιστοίχιση δορυφορικών και επίγειων δεδομένων.....	31
3.2.2 Εύρεση βέλτιστων εικόνων MODIS.....	31
3.2.3 Γεωαναφορά εικόνων.....	33
3.2.4 Εύρεση αληθούς γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς .....	36
3.3 Υπολογισμός δεικτών υγρασίας.....	37
3.4 Αποτελέσματα μετρήσεων δεικτών .....	44
3.5 Στατιστική ανάλυση δεικτών υγρασίας .....	45
3.5.1 Επιλογή στατιστικής μεθόδου.....	45
3.5.2 Περιγραφή στατιστικής μεθόδου .....	47
3.5.3 Εφαρμογή στατιστικής μεθόδου .....	49
4. Αξιολόγηση στατιστικών αποτελεσμάτων .....	69
4.1 Ανάλυση μεθόδου απόρριψης μετρήσεων .....	69
4.2 Ορισμός κλάσεων ποιότητας και κατάταξη των μετρήσεων σε αυτές .....	69
4.3 Αξιολόγηση της αξιοπιστίας των μετρήσεων.....	71
4.3.1 Παρουσίαση μεταβλητών αξιολόγησης .....	71
4.3.2 Αιτιολόγηση κατάταξης των μετρήσεων στις βαθμίδες ποιότητας “καλές” και “κακές” .....	72
4.3.2.1 Αξιολόγηση βάσει μέσης μηνιαίας εδαφικής υγρασίας .....	72
4.3.2.2 Αξιολόγηση βάσει του είδους της εδαφοκαλύψεως ( κυρίως φυτοκαλύψεως ).....	80
4.3.2.3 Αξιολόγηση βάσει της μέσης μηνιαίας ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας .....	86
4.3.2.4 Αξιολόγηση βάσει του συνδυασμού και των τριών μεταβλητών .....	91
.....	91
4.3.3 Αιτιολόγηση περαιτέρω κατάταξης των μετρήσεων της βαθμίδας ποιότητας “κακές” στις βαθμίδες ποιότητας “πολλαπλώς απορριφθείσες” και “μη πολλαπλώς απορριφθείσες” .....	93
5. Συμπεράσματα και προοπτικές .....	96
5.1 Συμπεράσματα .....	96



5.2 Προοπτικές .....	98
6. Βιβλιογραφικές αναφορές .....	99
Παράρτημα.....	101
Φωτοερμηνεία της περιοχής εκάστου σταθμού .....	101

## Περιεχόμενα πινάκων

Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά δορυφορικού συστήματος MODIS .....	18
Πίνακας 2: Ανάλυση φασματικών χαρακτηριστικών δορυφορικού συστήματος MODIS .....	18
Πίνακας 3: Ανάλυση φασματικών χαρακτηριστικών δορυφορικού συστήματος MODIS (συνέχεια) .....	19
Πίνακας 4: Τυποποίηση (format) του αρχείου μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκε. ....	26
Πίνακας 5: Ονομασία ,συντεταγμένες και υψόμετρο σταθμών μέτρησης υγρασίας.....	27
Πίνακας 6: Δορυφορικές εικόνες ειλημμένες υπό της κατάλληλες γεωγραφικές και κλιματικές συνθήκες για την παρούσα μελέτη.....	32
Πίνακας 7: Τελικώς επιλεγείσες δορυφορικές λήψεις.....	33
Πίνακας 8: Κατάλογος σταθμών με μετρήσεις σε έκαστη δορυφορική λήψη. ....	33
Πίνακας 9: Συγκεντρωτικός κατάλογος επίγειων μετρήσεων εδαφικής υγρασίας και τιμών δορυφορικών δεικτών. ....	44
Πίνακας 10: Κατάλογος μετρήσεων, που επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη NMDI. ....	51
Πίνακας 11: Κατάλογος μετρήσεων, που δεν επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη NMDI. ....	52
Πίνακας 12: Κατάλογος μετρήσεων, που επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη SIWSI. ....	55
Πίνακας 13: Κατάλογος μετρήσεων, που επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη SIWSI. ....	56
Πίνακας 14: Κατάλογος μετρήσεων, που επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη NDVI.....	59
Πίνακας 15: Κατάλογος μετρήσεων, που δεν επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη NDVI. ....	60
Πίνακας 16: Κατάλογος μετρήσεων, που επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη NDWI1. ....	63
Πίνακας 17: Κατάλογος μετρήσεων, που δεν επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη NDWI1. ....	64
Πίνακας 18: Κατάλογος μετρήσεων, που επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη NDWI3.....	67
Πίνακας 19: Κατάλογος μετρήσεων, που δεν επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη NDWI3. ....	68
Πίνακας 20: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές συσχέτισης κάθε δείκτη. ....	68
Πίνακας 21: Συγκεντρωτική παρουσίαση ανά δείκτη των μετρήσεων, που απορρίφθηκαν. ....	70
Πίνακας 22: Συγκεντρωτική παρουσίαση των μετρήσεων που απορρίφθηκαν.....	71
Πίνακας 23: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων κατά μέση μηνιαία εδαφική υγρασία και βαθμίδα ποιότητας.....	77
Πίνακας 24: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων κατά μέση μηνιαία εδαφική υγρασία και βαθμίδα ποιότητας (συνέχεια).....	78
Πίνακας 25: Παρουσίαση συσχέτισης μέσης μηνιαίας εδαφικής υγρασίας και βαθμίδος ποιότητας μέτρησης.....	79
Πίνακας 26: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων κατά εδαφοκάλυψη και βαθμίδα ποιότητας μέτρησης.....	80
Πίνακας 27: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων κατά εδαφοκάλυψη και βαθμίδα ποιότητας μέτρησης. (συνέχεια 1).....	81

Πίνακας 28: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων κατά εδαφοκάλυψη και βαθμίδα ποιότητας μέτρησης. (συνέχεια2).....	82
Πίνακας 29: Παρουσίαση συσχέτισης εδαφοκάλυψης και βαθμίδος ποιότητας μέτρησης. ....	83
Πίνακας 30: Παρουσίαση συσχέτισης εδαφοκάλυψης και βαθμίδος ποιότητας μέτρησης (συνέχεια). ....	84
Πίνακας 31: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων κατά μέση μηνιαία ατμοσφαιρική θερμοκρασία και βαθμίδα ποιότητας μέτρησης.....	89
Πίνακας 32: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων κατά μέση μηνιαία ατμοσφαιρική θερμοκρασία και βαθμίδα ποιότητας μέτρησης (συνέχεια).....	90
Πίνακας 33: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων κατά τις τρεις μεταβλητές και την βαθμίδα ποιότητας.....	91
Πίνακας 34: Παρουσίαση του βαθμού επιτυχίας στην κατάταξη των μετρήσεων με την συνδυασμένη χρήση και των τριών κριτηρίων.....	92
Πίνακας 35: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων της βαθμίδος ποιότητας "κακές" κατά τις τρεις μεταβλητές και την βαθμίδα ποιότητας.....	93
Πίνακας 36: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων της βαθμίδος ποιότητας "κακές" κατά τις τρεις μεταβλητές και την βαθμίδα ποιότητας (συνέχεια 1).....	94
Πίνακας 37: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων της βαθμίδος ποιότητας "κακές" κατά τις τρεις μεταβλητές και την βαθμίδα ποιότητας (συνέχεια 2).....	95
Πίνακας 38: Παρουσίαση συσχέτισης μέσης μηνιαίας εδαφικής υγρασίας και κατάταξης μετρήσεων στις βαθμίδες ποιότητας "πολλαπλώς απορριφθείσες" και "μη πολλαπλώς απορριφθείσες" .....	95

## Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1: Διεπιφάνεια MODIS Swath Reprojection Tool. ....	35
Εικόνα 2: Κεντρικό μενού ER Mapper.....	37
Εικόνα 3: Παράθυρο αλγορίθμου ER Mapper.....	37
Εικόνα 4: Παράθυρο αποθήκευσης ανοίγματος αρχείων του ER Mapper.....	38
Εικόνα 5: Παράθυρο επιλογής χαρακτηριστικών αποθηκευμένων εικόνων στο ER Mapper.....	39
Εικόνα 6: Παράθυρο κατασκευής λόγων στο ER Mapper.....	40
Εικόνα 7: Παράθυρο αλγορίθμου ER Mapper.....	41
Εικόνα 8: Παράθυρο ανάγνωσης φασματικών χαρακτηριστικών φαντίων εικόνων στο ER Mapper. ....	42
Εικόνα 9: Παράθυρο καθορισμού θέσης φαντίων στο ER Mapper.....	43
Εικόνα 10: Μέση εδαφική υγρασία για τον μήνα Φεβρουάριο κατά τα έτη (1971-2000). Πηγή : NOAA , Climate Prediction Center.....	72
Εικόνα 11: Μέση εδαφική υγρασία για τον μήνα Μάρτιο κατά τα έτη (1971-2000). Πηγή : NOAA , Climate Prediction Center.....	73
Εικόνα 12: Μέση εδαφική υγρασία για τον μήνα Απρίλιο κατά τα έτη (1971-2000). Πηγή : NOAA , Climate Prediction Center.....	73
Εικόνα 13: Μέση εδαφική υγρασία για τον μήνα Ιούλιο κατά τα έτη (1971-2000). Πηγή : NOAA , Climate Prediction Center. ....	74
Εικόνα 14: Διαφοροποίηση από τη μέση εδαφική υγρασία για τον μήνα Απρίλιο του 2001. Πηγή : NOAA , Climate Prediction Center.....	74
Εικόνα 15: Διαφοροποίηση από την μέση εδαφική υγρασία για τον μήνα Φεβρουάριο του 2004. Πηγή : NOAA , Climate Prediction Center.....	75
Εικόνα 16: Διαφοροποίηση από την μέση εδαφική υγρασία για τον μήνα Ιούλιο του 2002. Πηγή : NOAA , Climate Prediction Center.....	75
Εικόνα 17: Διαφοροποίηση από την μέση εδαφική υγρασία για τον μήνα Μάρτιο του 2004. Πηγή : NOAA , Climate Prediction Center.....	76
Εικόνα 18: Διαφοροποίηση από την μέση εδαφική υγρασία για τον μήνα Απρίλιο του 2004. Πηγή : NOAA , Climate Prediction Center.....	76

Εικόνα 19: Μέση θερμοκρασία κατά το Απρίλιο του 2001 . Πηγή: Soil Moisture Monitoring and Prediction over U.S.A .....	86
Εικόνα 20: Μέση θερμοκρασία κατά τον Απρίλιο του 2004 . Πηγή: Soil Moisture Monitoring and Prediction over U.S.A .....	86
Εικόνα 21: Μέση θερμοκρασία κατά τον Φεβρουάριο του 2004. Πηγή: Soil Moisture Monitoring and Prediction over U.S.A .....	87
Εικόνα 22: Μέση θερμοκρασία κατά τον Ιούλιο του 2004 . Πηγή: Soil Moisture Monitoring and Prediction over U.S.A .....	87
Εικόνα 23: Μέση θερμοκρασία κατά τον Μάρτιο του 2004. Πηγή: Soil Moisture Monitoring and Prediction over U.S.A .....	88
Εικόνα 24: Bondville .....	101
Εικόνα 25: Dixon Springs-Bare.....	102
Εικόνα 26: Brownstown .....	103
Εικόνα 27: Orr Center (Perry).....	104
Εικόνα 28: De Kalb .....	105
Εικόνα 29: Monmouth.....	106
Εικόνα 30: Peoria.....	107
Εικόνα 31: Springfield.....	108
Εικόνα 32: Belleville .....	109
Εικόνα 33: Carbondale .....	110
Εικόνα 34: Olney.....	111
Εικόνα 35:Freeport .....	112
Εικόνα 36:Rend Lake (Ina) .....	113
Εικόνα 37: Stelle.....	114
Εικόνα 38: Topeka .....	115
Εικόνα 39: Fairfield.....	116
Εικόνα 40: Champaign.....	117

## Περίληψη

Με την διπλωματική αυτή εργασία έγινε προσπάθεια να βρεθεί ένας αιτιολογημένα αντικειμενικός τρόπος για την μέτρηση του μεγέθους της εδαφικής υγρασίας με την χρήση δορυφορικών λήψεων MODIS. Αρχικά δίνεται ο ορισμός της εδαφικής υγρασίας και ορισμένων θεμελιωδών μεγεθών της στατικής του εδάφους (πχ. Πορώδες), τα οποία είναι απαραίτητα για την κατανόηση της εργασίας. Έπειτα αναφέρονται όλες οι ποσοτικές εκφράσεις μέτρησης. Ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή όλων των μεθόδων μέτρησης της εδαφικής υγρασίας με επίγεια και τηλεπισκοπικά μέσα. Εν συνεχεία γίνεται μια αδρομερής περιγραφή των τεχνικών χαρακτηριστικών των δεκτών MODIS και κατόπιν παρουσιάζονται αναλυτικά τα βασικά μέρη των δημοσιεύσεων των ερευνών επί των οποίων βασίστηκε η εργασία.

Συνεχίζουμε με την μεθοδολογία, η οποία σε πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την περιγραφή όλων των δεδομένων που αξιοποιήθηκαν. Αυτά αφορούν είτε εδαφικά δεδομένα, όπως οι καταγεγραμμένες τιμές υγρασίας από τους σταθμούς του Ιλινόις και τα χαρακτηριστικά φυτοκάλυψης των περιοχών μελέτης (πéριξ των σταθμών) είτε τηλεπισκοπικά δεδομένα (λήψεις MODIS). Σε δεύτερο στάδιο παρουσιάζεται η προεπεξεργασία των δεδομένων που συνοψίζεται σε πέντε φάσεις, οι οποίες κατά σειρά είναι: α) η ημερολογιακή αντιστοίχιση δορυφορικών και επίγειων δεδομένων, β) η εύρεση των βέλτιστων εικόνων MODIS βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων που αναφέρονται διεξοδικά στο κείμενο, γ) η εύρεση του γεωδαιτικού συστήματος στο οποίο αναφέρονται οι συντεταγμένες των σταθμών μέτρησης της εδαφικής υγρασίας (WGS 84 χωρίς την εφαρμογή προβολής) με την γεωαναφορά των εικόνων, δ) ο υπολογισμός των τιμών των φασματικών δεικτών εντοπισμού εδαφικής υγρασίας στο ER Mapper και τέλος ε) η φωτοερμηνευτική ανάλυση της περιοχής κάθε σταθμού για τον εντοπισμό στοιχείων, που δεν γίνονται αντιληπτά από τους χάρτες εδαφοκαλύψεων, όπως τα μεγάλα οικοδομήματα στους αγρούς.

Ακολουθεί η παρουσίαση της στατιστικής ανάλυσης των μετρήσεων για τους σκοπούς της εργασίας. Η ανάλυση επεκτάθηκε αρχικά στην κατασκευή των διαγραμμάτων διασποράς για κάθε δείκτη με την χρήση και των 36 μετρήσεων, όπου ως ανεξάρτητη μεταβλητή θεωρήθηκε η τιμή των δεικτών εντοπισμού και ως εξαρτημένη η τιμή της εδαφικής υγρασίας. Κατόπιν έγινε η κατασκευή των βέλτιστων παλινδρομήσεων για κάθε δείκτη με την αφαίρεση 10 μετρήσεων.

Έπεται η αξιολόγηση των στατιστικών αποτελεσμάτων, που περιλαμβάνει όλες της μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για την αντικειμενικοποίηση της μεθόδου απόρριψης μετρήσεων. Αναλυτικότερα στα πλαίσια της έγινε ορισμός των τεσσάρων κλάσεων ποιότητας “καλές”, “κακές”, “πολλαπλώς απορριφθείσες” και “μη πολλαπλώς απορριφθείσες” και η κατάταξη των μετρήσεων σε αυτές αντίστοιχα με το αν έχουν απορριφθεί σε καμία, σε τουλάχιστον μία, τουλάχιστον σε τέσσερις και το πολύ σε δύο παλινδρομήσεις. Η παρουσίαση των μεταβλητών για την αξιολόγηση της κατάταξης και τέλος η αιτιολόγηση της κατάταξης βάσει των μεταβλητών αυτών.

Εν συνεχεία γίνεται η παρουσίαση των συμπερασμάτων όπου κατά πρώτον γίνονται οι κρίσεις για τον βαθμό επιτυχίας στην αντικειμενοποίηση της μεθόδου απόρριψης, όπως αυτή εφαρμόστηκε κατά την αξιολόγηση των στατιστικών αποτελεσμάτων. Κατά δεύτερον ακολουθεί η πρόκριση του NDVI ως βέλτιστου δείκτη στη εκτίμηση της εδαφικής υγρασίας και η παράθεση των λόγων που στηρίζουν αυτή την επιλογή.

Η εργασία κλείνει με την παρουσίαση των προοπτικών των αποτελεσμάτων της μελέτης. Αυτές δεν είναι άλλες από την περαιτέρω θεμελίωση της μεθόδου απόρριψης μετρήσεων στο καθαρά ερευνητικό κομμάτι. Στο πρακτικό σκέλος μπορεί να περιλαμβάνει την εφαρμογή των συμπερασμάτων σε μια επιχειρησιακή εφαρμογή σε τομείς, όπως ο προγραμματισμός των αρδεύσεων που επιτρέπει η γνώση της εδαφικής υγρασίας, η καταπολέμηση πυρκαγιών, αφού όσο

αυξάνει η ξηρότητα αυξάνεται η πιθανότητα ξεσπάσματός τους κτλ. Τέλος σημειώνεται η δυνατότητα για συνδυασμένη χρήση λήψεων MODIS και radar εικόνων, που επιτρέπει τον φθηνό και χωρίς εκπτώσεις στην ποιότητα υπολογισμό εδαφικής υγρασίας δίχως την χρήση επιγείων δεδομένων.

## Abstract

In this thesis an effort has been made to find an objective way of measuring the level of soil moisture through the use of MODIS satellite images. Initially the definition of soil moisture and certain basic meanings of statics of the soil (e.g. porosity), is given which are necessary for the better understanding of the project. Then follow all the quantitative statements of measurement. Next comes a detailed description of all the measuring methods of soil moisture by use of ground and remote sensing means. Finally there is a general description of the technical characteristics of MODIS indicators as well an analytical presentation of the basic parts of research publications on which the thesis has been based.

We continue with the methodology which in the first stage includes the description of all the data used. The data refer either to soil data like the measured values of soil moisture recorded at the Illinois stations and the characteristics of plant cover of the area under study or remote sensing data (MODIS images). In the second stage we present the preprocessing of the data which is summarised in five(5) phases as follows:

- a) Calendar correspondance of satellite and ground data.
- b) The selection of the best MODIS images through specific criteria mentioned in the text.
- c) The identification of the geodetic system to which the coordinates of the soil moisture measuring station refers (WGS 84 without projection) with the georeference of the images.
- d) The calculation of the spectral indices of soil moisture estimation in ER Mapper and finally.
- e) The photo interpetating analysis of each stations area with the purpose of finding information which cannot be perceived through the use of land cover maps such as large structures in the fields.

Next is the presentation of statistical analysis of the measurements for the purpose of the study of the study. The analysis initially covered the designing of the scattergrams for every index using all 36 measurements. On the scattergrams the values of soil moisture estimation indices were used as independent variables and the soil moisture value as a depended variable. Then we fitted the best trend line on the measurements subtracting 10 measurements.

There follows the evaluations of the statistics results which includes all the methods used in order to prove objectively the measurement rejection method. In more detail in the evaluation frame work four quality classes were designated which are "good", "bad", "multiply rejected" and "non-multiply rejected" and the measurement classification in the corresponding categories, depending on whether the measurements have been rejected "never", "at least once", "at least four times" and "at the most twice" at two regressions. The presentation of the variables for the evaluation of the classification and finally the reasons for this classification based on this variables.

The next stage refers to the conclusions of the findings. First how to successful the attempt to prove objectively the measurement rejection method was and second that NDVI was the best index for soil moisture estimation and the reason for it.

Finally the thesis ends with what the prospects for the study are. These are not other than the improvement of objectivity and the development of applications which will help in the planing of irrigation using the acquired knowledge regarding soil moisture. This knowledge can also be used in fighting forest fires since as dryness increases so does the risk for fire. Another possible application is the use of high cost radar images to calibrate soil moisture indices and the to use the very low cost MODIS images for daily estimations.

# 1. Εισαγωγή

Η πρωτοφανής τεχνολογική πρόοδος που σημειώθηκε στα τέλη του εικοστού αιώνα οδήγησε στην εκπλήρωση ενός από τα μεγαλύτερα όνειρα του ανθρώπου, που δεν είναι άλλο από την κατάκτηση του διαστήματος. Το τεράστιο αυτό βήμα στην ιστορία της ανθρωπότητας δημιούργησε τις βάσεις νέων επιτευγμάτων στο χώρο της εφαρμοσμένης επιστήμης. Κατ' αυτόν τον τρόπο λοιπόν γεννήθηκε η επιστήμη της δορυφορικής τηλεπισκόπησης επί της οποίας άπτεται και η παρούσα εργασία.

Είναι τέτοιο το εύρος των δυνατοτήτων που ανοίγει στην επιστημονική έρευνα η επινόηση της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, που δύσκολα γίνεται άμεσα αντιληπτό. Για να καταστεί η συνεισφορά της κατανοητή, αναφέρουμε πως η επινόηση αυτή επιτρέπει την καθημερινή και επί πολλά έτη συλλογή δεδομένων για όλη την επιφάνεια του πλανήτη, συχνά με το ίδιο όργανο. Όσο λοιπόν απομακρυσμένη και δυσπρόσιτη αν είναι μια περιοχή, μπορεί πλέον ευχερώς να μελετηθεί. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα οι πόλοι της γης στους οποίους επικεντρώνεται σε μεγάλο βαθμό η μελέτη περί της κλιματικής αλλαγής. Χωρίς την χρήση δορυφορικών μεθόδων η επίγειες μετρήσεις όχι μόνον θα κόστιζαν περισσότερο αλλά θα παρείχαν αποκλειστικά τοπικά και μόνον δεδομένα. Επιπλέον η συλλογή των μετρήσεων γίνεται απολύτως αυτόματα, χωρίς φυσική ανθρώπινη παρουσία. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται δραματικά το κόστος των μετρήσεων ενώ αυξάνεται η αντικειμενικότητα λήψης τους.

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση δεν αποτελεί απλά μια παγιωμένη κατάσταση, η οποία εμφανίστηκε άπαξ. Αντιθέτως, η πλέον ενδιαφέρουσα πτυχή της έγκειται στις συνεχείς εξελίξεις που παρουσιάζει στα δύο θεμελιώδη συστατικά, που την αποτελούν. Το πρώτο συστατικό αποτελεί η διακριτική ικανότητα, δηλαδή το εμβαδόν του χωρίου της επιφάνειας του εδάφους, που αποτυπώνεται σε ένα και μόνον εικονοστοιχείο. Με το πέρασ του χρόνου υπήρξε ραγδαία μείωση στο μέγεθος της εδαφοψηφίδος (από πλευρά μερικών χιλιομέτρων σε πλευρά μερικών δεκάδων εκατοστών στον quikbird). Με τον τρόπο αυτό καλύπτεται ικανοποιητικά ένα ευρύτατο φάσμα αναγκών. Όπως πχ η μελέτη των μετεωρολογικών φαινομένων, που απαιτεί αδρή διακριτική ικανότητα (εδαφοψηφίδα πλευράς μερικών χιλιομέτρων) και οι τοπογραφικές εργασίες χαμηλής ακριβείας, όπου όσο μικρότερη η εδαφοψηφίδα τόσο ακριβέστερο το αποτέλεσμα. Το δεύτερο συστατικό αποτελεί η φασματική ανάλυση τουτέστιν το πλήθος των καναλιών στα οποία ο τηλεπισκοπικός δέκτης καταγράφει την ανακλώμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Κάθε κανάλι αντιστοιχεί σε ένα πολύ στενό εύρος μηκών κύματος, όπως είναι το κυανό από τα χρώματα της ίριδος και το υπέρυθρο από το μη ορατό φάσμα. Έκαστο αντικείμενο παρουσιάζει διαφορετική ανακλαστική συμπεριφορά για κάθε κανάλι. Επομένως είναι προφανές ότι όσο περισσότερα είναι τα κανάλια καταγραφής, τόσο πιο πλήρης η φασματική υπογραφή του αντικειμένου άρα και σαφέστερη η αναγνώριση του. Σήμερα έχουν τεθεί σε τροχιά δέκτες με πλήθος καναλιών - από μονογήφιο αριθμό σε μερικές χιλιάδες - ώστε να καλύπτουν τις φασματικές απαιτήσεις οποιασδήποτε εφαρμογής.

Τα χρονικά πλαίσια εκπόνησης διπλωματικής εργασίας επέτρεψαν την ενασχόληση με έναν και μόνον τηλεπισκοπικό δέκτη. Τη θέση αυτή κατέλαβε, κατόπιν στάθμισης όλων των δυνατών επιλογών, το δορυφορικό σύστημα παρατήρησης MODIS. Τρεις είναι οι βασικότεροι παράγοντες που οδήγησαν σε αυτή την επιλογή. Καταρχάς το σύστημα MODIS διαθέτει δωρεάν τις εικόνες του στο κοινό. Με αυτό τον τρόπο δεν τέθηκε κανένας περιορισμός στον αριθμό των εικόνων που εξετάστηκαν ώστε να επιλεγούν οι καλύτερες. Γεγονός που δεν θα ήτο δυνατόν στην περίπτωση, που η απόκτηση εικόνας θα απαιτούσε χρηματική πληρωμή. Επιπλέον οι εικόνες που χρησιμοποιήσαμε έχουν μέση διακριτική ικανότητα με πλευρά εδαφοψηφίδος ανάλογα με το κανάλι 250 και 500 μέτρων, η οποία κρίθηκε ως η ιδανική για την μελέτη του φαινομένου της εδαφικής υγρασίας. Τέλος η διάταξη των τροχιών των δύο δορυφόρων terra και aqua του

δορυφορικού συστήματος παρέχει κάλυψη κάθε σημείου της επιφάνειας του πλανήτη ανά δεκαέξι ώρες. Με αποτέλεσμα να υπάρχει πιθανότητα ύπαρξης μεγάλου αριθμού εικόνων ικανών προς επεξεργασία.

Κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας εμφανίστηκαν αρκετές δυσχέρειες, με βασικότερη εκείνη της έλλειψης δεδομένων εδαφικής υγρασίας. Παρά την ενδελεχή αναζήτηση για εγχώρια δεδομένα δεν κατέστη δυνατή η εύρεση κάποιας πηγής, που να διαθέτε χρονοσειρές επίγειων μετρήσεων εδαφικής υγρασίας καθώς και τις συντεταγμένες θέσεις των σημείων διενέργειας των μετρήσεων. Προς τούτο καταφύγαμε σε πηγές του εξωτερικού. Η ιδανικότερη πηγή δεδομένων βρέθηκε στην πολιτεία του Ιλινόις των ΗΠΑ. Διέθετε και τα τρία απαραίτητα χαρακτηριστικά ώστε να καταστεί δυνατή η επεξεργασία των δεδομένων. Πρώτον συντεταγμένες των σημείων λήψεως των μετρήσεων, δεύτερον τιμές εδαφικής υγρασίας με αναφορά του τρόπου έκφρασής τους και τέλος ημερολογιακή καταγραφή των μετρήσεων. Για αυτόν τον λόγο το πεδίο εφαρμογής της μελέτης βρίσκεται εκτός των ελληνικών συνόρων.

Η εκπόνηση της παρούσης εργασίας κινήθηκε στους άξονες τεσσάρων στόχων, ώστε να αποδώσει ένα συνεπές ως προς τη λογική συνέχεια και ολοκληρωμένο ως ενότητα αποτέλεσμα. Οι στόχοι αυτοί αναλυτικά είναι :

- I. Η εξέταση του βαθμού επιτυχίας, ως προς την μέτρηση της εδαφικής υγρασίας, με την χρήση κατάλληλων δεικτών εντοπισμού από την βιβλιογραφία, σε εικόνες του δορυφορικού συστήματος MODIS .
- II. Η επισήμανση του δείκτη με τα βέλτιστα αποτελέσματα στην εκτίμηση της εδαφικής υγρασίας.
- III. Η αντικειμενική στήριξη της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε.



## 2. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

### 2.1 Χαρακτηριστικά μεγέθη της στατικής του εδάφους ( σύντομη αναφορά).

Εδαφικές φάσεις

Το φυσικό έδαφος απαρτίζεται ως σύστημα από την αλληλοδιαπλοκή τριών φάσεων, της στερεάς (s), της υγρής(w) και της αέριας (t). Η στερεά φάση περιλαμβάνει το σύνολο των στερεών κόκκων του εδάφους και είναι αυτή που παραμένει μετά από την πλήρη ξήρανση του δείγματος. Η αέρια φάση περιλαμβάνει το σύνολο των αερίων που είναι παγιδευμένα στο έδαφος και κατά κανόνα έχουν αμελητέα μάζα. Τέλος η υδατική φάση αποτελείται από το σύνολο του νερού που βρίσκεται μέσα στο έδαφος και τα διαλυμένα σε αυτό συστατικά. Το έδαφος περιλαμβάνει κενά μεταξύ των στερεών κόκκων του εντός των οποίων και μόνο μπορούν και κινούνται το νερό και ο αέρας. Τόσο λοιπόν η υγρή όσο και η αέρια εδαφική φάση εμφανίζεται μέσα στους πόρους του εδάφους και συνολικά ο όγκος και των δύο αθροιστικά, κατά μέγιστο, μπορεί να είναι ίσος με τον όγκο των πόρων.

Πραγματική πυκνότητα (ps)

Ορίζεται ως ο λόγος της μάζας της στερεάς φάσης του εδάφους (ms) προς των όγκο (Vs) του εδάφους, αφαιρουμένων των κενών μεταξύ των στερεών σωματιδίων (πόρων).

$$p_s = \frac{m_s}{V_s}$$

Φαινόμενη πυκνότητα (pb)

Όπως δηλώνει και η ονομασία της είναι το μέγεθος, που γίνεται άμεσα αντιληπτό ως η πραγματική πυκνότητα του εδάφους μετά της αποξήρανση των εδαφικών δειγμάτων. Ορίζεται ως ο λόγος της μάζας της στερεάς φάσης του εδάφους (ms), δηλαδή της μάζας του ξηρού εδάφους προς τον συνολικό όγκο του εδάφους συμπεριλαμβανομένων και των πόρων (Vt).

$$p_b = \frac{m_s}{V_t}$$

Πορώδες εδάφους (n)

Ορίζεται ως το επί τοις εκατό ποσοστό (%) του συνολικού όγκου, το οποίο στην φυσική κατάσταση του εδάφους καταλαμβάνεται από κενά (πόρους).

$$n = 100 * \left( \frac{V_p}{V_t} \right)$$

## 2.2 Εδαφική υγρασία

### 2.2.1 Ορισμός

Η εδαφική υγρασία συνίσταται στο σύνολο του ύδατος που υπάρχει στο έδαφος σε υγρή, στερεά (πάχος) και αέρια (υδρατμοί) κατάσταση. Η είσοδος του νερού γίνεται κατά τα εξής: Το νερό διηθούμενο εισέρχεται εντός του εδάφους. Εν συνεχεία κινούμενο προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους αποθηκεύεται στους πόρους του έως ότου συναντήσει κάποιο κορεσμένο στρώμα αυτού. Οι πόροι εμφανίζονται σε διάφορα σχήματα και μεγέθη ανάμεσα στα στερεά συστατικά του εδάφους και καταλαμβάνουν το 40 με 50 τοις εκατό του συνολικού όγκου του εδάφους. Το έδαφος μπορεί να βρίσκεται σε δύο καταστάσεις. Όταν οι πόροι είναι πλήρεις ύδατος το έδαφος χαρακτηρίζεται ως κορεσμένο. Σε αντίθετη περίπτωση οι πόροι περιέχουν κάποιο ποσοστό αέρα οπότε το έδαφος χαρακτηρίζεται ως ακόρεστο.

### 2.2.2 Ποσοτικές εκφράσεις της εδαφικής υγρασίας.

A. Περιεκτικότητα κατά βάρος ( $\theta_g$ ).

Δηλώνει την αναλογία μεταξύ της μάζας της υγρής και της αέριας φάσης στο εδαφικό δείγμα. Ορίζεται ως ο λόγος της μάζας του νερού ( $m_w$ ), που υπάρχει στο δείγμα δια της μάζας του ξηρού εδάφους του δείγματος ( $m_s$ ).

$$\theta_g = \frac{m_w}{m_s}$$

B. Περιεκτικότητα κατ όγκο ( $\theta$  ή  $\theta_v$ ).

Δηλώνει την αναλογία μεταξύ του όγκου της υγρής και της αέριας φάσης στο εδαφικό δείγμα. Ορίζεται ως ο λόγος του όγκου του νερού ( $V_w$ ) που υπάρχει στο δείγμα δια του συνολικού όγκου του δείγματος ( $V_s$ ) συμπεριλαμβανομένων πόρων και στερεών συστατικών.

$$\theta_v = \frac{V_w}{V_t}$$

Γ. Ισοδύναμο ύψος εδαφικού νερού ( $\theta_h$ ).

Αποτελεί έκφραση της εδαφικής υγρασίας σε διάσταση μήκους και αντιστοιχεί στο ισοδύναμο πάχος υδάτινου στρώματος στην επιφάνεια του εδάφους που προκύπτει από τον λόγο του όγκου του εδαφικού νερού προς την επιφάνεια, όπου αυτός αντιστοιχεί.

$$\theta_h = \theta_v * d$$

Όπου  $d$  το βάθος της εδαφικής ζώνης.

## 2.2.3 Παράγοντες άμεσης επήρειας επί της εδαφικής υγρασίας

Η υγρασία στο έδαφος είναι ένα σύνθετο μέγεθος, που επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες ως προς τον βαθμό και την μορφή που εκδηλώνεται. Οι παράγοντες είναι είτε αποτελέσματα καθαρά φυσικών παραμέτρων είτε αποτελούν συνέπεια ανθρώπινων παρεμβάσεων. Μερικοί από τους σημαντικότερους κάθε κατηγορίας εκτίθενται παρακάτω:

### ➤ Φυσικές παράμετροι

- Η σύσταση του εδάφους δηλαδή τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται. Ορίζει την δομή του εδάφους σε μικροσκοπική κλίμακα καθορίζοντας ουσιαστικά ιδιότητες όπως είναι η απορροφητικότητα (Absorbency), η διαπερατότητα και η ικανότητα συγκράτησης νερού (Water-holding capacity) από το έδαφος.
- Το βάθος της ακόρεστης ζώνης. Το νερό διηθείται από τα ανώτερα στα κατώτερα στρώματα του εδάφους έως ότου φτάσει στην ακόρεστη ζώνη. Εάν η ακόρεστη ζώνη βρίσκεται πλησίον της επιφάνειας το νερό παραμένει στα ανώτερα στρώματα αυξάνοντας την ύγρανσή τους.
- Τα χαρακτηριστικά των υποκείμενων στοιβάδων του εδάφους εάν είναι υδατοπερατά επιτρέπουν την διαφυγή του νερού ειδικά, ως αδιαπέρατα, εγκλωβίζουν το νερό σε περιορισμένο εδαφικό εύρος αυξάνοντας την υγρασία του εδάφους.
- Την κλιματική ζώνη
  - ◆ Το ύψος των κατακρημνισμάτων. Όσο αυξάνεται το ύψος αυξάνεται και το διατιθέμενο νερό στην επιφάνεια του εδάφους προς διήθηση.
  - ◆ Τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες καθ' όλη την διάρκεια του ημερολογιακού έτους. Υψηλές θερμοκρασίες και έντονη ηλιοφάνεια αυξάνουν την εξάτμιση του νερού από την επιφάνειά του, μειώνοντας έτσι το διαθέσιμο προς διήθηση νερό. Ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες μπορούν επίσης να αφυδατώσουν και τα ανώτερα στρώματα της επιφανείας του εδάφους.
- Το φυσικό ανάγλυφο. Μεγάλες κλίσεις επιτρέπουν στο νερό να διαφύγει από τις επικλινείς περιοχές και να κατέρχεται σε περιοχές που βρίσκονται χαμηλότερα και είναι πιο επίπεδες. Με αυτό τον τρόπο οι βάσεις σε μικρούς χωμάτινους λόφους έχουν κατά κανόνα αυξημένα ποσοστά υγρασίας.
- Την εποχή του έτους, που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το ύψος των κατακρημνισμάτων και τις επικρατούσες θερμοκρασίες. Αναμένεται η θερινή περίοδος να συνοδεύεται από μικρότερες τιμές υγρασίας εν συγκρίσει με την χειμερινή ιδίως εάν δεν έχουν εφαρμοστεί ποτιστικά μέτρα.

### ➤ Ανθρωπογενείς παρεμβάσεις

- Η άρδευση αυξάνει άμεσα το διαθέσιμο προς διήθηση νερό. Ανεξάρτητα από την εποχή του χρόνου και μάλιστα με τις ειδικές τεχνικές, με τις οποίες εφαρμόζεται, βελτιστοποιεί την απορρόφηση του νερού από την επιφάνεια του εδάφους.
- Τα αποστραγγιστικά έργα μειώνουν το περιεχόμενο νερό στο έδαφος.
- Το είδος των καλλιεργούμενων φυτών, τα οποία μπορούν να εκλεγούν μεταξύ ποικίλων διακυμάνσεων στις υδατικές ανάγκες τους. Σημειωτέον ότι η επιλογή ιδιαίτερα υδροβόρων καλλιεργειών θα λειτουργεί ως ισχυρός παράγοντας αφύγρανσης του εδάφους.

→ Διάφορες καλλιεργητικές πρακτικές όπως είναι το όργωμα, που αναδεύει το χώμα και αυξάνει την απορροφητικότητα αυτού.

Επιβάλλεται λοιπόν οι συνθήκες αερισμού και υγρασίας να ρυθμίζονται έτσι ώστε οι καλλιέργειες να αποδίδουν τα μέγιστα. Γεγονός που προδιαγράφει το πως θα ορισθούν, σύμφωνα με τις ανάγκες κάθε καλλιέργειας, η χορήγηση του νερού στο χώμα μέσω της αρδεύσεως αλλά και η απομάκρυνση των υδάτων από το έδαφος μέσω της στραγγίσεως.

## 2.2.4 Σημαντικότητα της εδαφικής υγρασίας

Η εδαφική υγρασία είναι μια σημαντικότερη φυσική παράμετρος για την επιβίωση της ανθρωπότητας και την εξέλιξη του πολιτισμού της, γεγονός εύκολα κατανοητό αναλογιζόμενοι ότι :

- Στα ανώτερα στρώματα του εδάφους αναπτύσσεται στο σύνολό της η χερσαία χλωρίδα. Η οποία αποτελεί την βάση για την κάλυψη των τροφικών μας αναγκών είτε άμεσα μέσω των φυτικών προϊόντων, που προέρχονται από τις καλλιέργειες και την φυσική βλάστηση είτε έμμεσα μέσω των ζωικών προϊόντων προερχόμενων κυρίως από φυτοφάγα αλλά και από σαρκοβόρα ζωικά είδη. Συνεπώς οποιαδήποτε υποβάθμιση της γονιμότητας και της ποιότητας του εδάφους έχει άμεσο αντίκτυπο στην ποιότητα και την επάρκεια των διατροφικών μας αποθεμάτων.
- Μέσω της διηθήσεως διαλυτές ουσίες από την επιφάνεια του εδάφους όπως λιπάσματα, ζιζανιοκτόνα, φυσικά στοιχεία της ατμόσφαιρας και ρύποι πέφτουν στην γη, παρασύρονται από τα κατακρημνίσματα και μεταφέρονται στους υπογείους υδροφορείς. Επηρεάζουν έτσι θετικά ή αρνητικά την ποιότητα των υδάτων τους, συχνά υποβιβάζοντας ποιοτικά κατά αυτό τον τρόπο τα περιορισμένα υδατικά αποθέματα του πλανήτη.
- Άπαξ και στοιβάδες του εδάφους μολυνθούν είναι εξαιρετικά δύσκολος ο καθαρισμός τους. Συχνά απαιτούνται τεράστιες ποσότητες νερού για τον καθαρισμό ενώ ορισμένες φορές είναι αναγκαία η αλλαγή του εδάφους και η αντικατάστασή του με νέο, διαδικασίες εξαιρετικού κόστους και δυσκολίας .

## 2.3 Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με επίγεια μέσα

Εργαστηριακές Μέθοδοι Μέτρησης

### α. Αφυδάτωση δείγματος

Λαμβάνουμε τα δείγματα από το επιθυμητό βάθος με ειδικό δειγματολήπτη και με κάθε δυνατή επιμέλεια τα αποθηκεύουμε σε υδατοστεγή δοχεία, προσπαθώντας να μην απολεσθεί κανένα μέρος του περιεχόμενου ύδατος. Εν συνεχεία τα δείγματά ζυγίζονται, ως έχουν, και κατόπιν ξηραίνονται είτε θερμαινόμενα σε κλίβανο στους 105° C είτε με την χρήση λαμπτήρα υπέρυθρης ακτινοβολίας. Αφού το δείγμα αφυδατωθεί ζυγίζεται εκ νέου. Από την διαφορά του αρχικού και τελικού βάρους προκύπτει η τιμή της εδαφικής υγρασίας .

Η μέθοδος αυτή είναι απλή χρησιμοποιεί απλά και φθηνά όργανα και δίνει αποτέλεσμα για κάθε τύπο εδάφους με αρκετή ακρίβεια. Όμως είναι μία εργαστηριακή μέθοδος αρκετά χρονοβόρα και ως εκ τούτου δεν επιτρέπει τον προσδιορισμό της εδαφικής υγρασίας άμεσα στην ύπαιθρο. Επίσης η θέρμανση στους 105° C, ενώ δεν επαρκεί για να αποδώσει η άργιλος το σύνολο του νερού που έχει συγκρατήσει, επιτρέπει την οξείδωση οργανικών ουσιών γεγονός, που αλλοιώνει το βάρος του θερμασμένου δείγματος. Επιπλέον με την μέθοδο αυτή καταστρέφεται η συνέχεια του εδάφους στην θέση λήψης, οπότε δεν καθίσταται δυνατή η καταγραφή της διαχρονικής εξέλιξης της τιμής της εδαφικής υγρασίας. Τέλος η μέθοδος αυτή απαιτεί την γνώση της φαινόμενης πυκνότητας, η

οποία ορίζεται ως ο λόγος της μάζας του ξηρού εδάφους ( θεωρώντας πως δεν υπήρξαν οξειδώσεις) προς τον αρχικό όγκο του δείγματος συμπεριλαμβανομένων και των πόρων.

#### β. Συσκευή ακτίνων γ

Οι εκπεμπόμενες ακτίνες γ από κάποιο ραδιενεργό στοιχείο με την χρήση κατευθυντηρίων σωλήνων γίνονται παράλληλες και κατευθύνονται πλέον, ως ενιαία δέσμη, προς το εδαφικό δείγμα. Πίσω από το εδαφικό δείγμα ένας ανιχνευτής από κρύσταλλο ιωδιούχου νατρίου ανιχνεύει την διελθούσα ακτινοβολία. Το σήμα που προκύπτει ενισχύεται και τέλος καταγράφεται. Ακολουθεί η εξίσωση που μας δίνει την εδαφική υγρασία :

$$\theta_v = \frac{1}{\mu_w \rho_w s} \ln \left( \frac{R_s}{R_w} \right)$$

όπου

$\mu_w$  : συντελεστής απορρόφησης της μάζας του νερού (cm<sup>2</sup>/gr)

$\rho_w$ : πυκνότητα του νερού (gr/cm<sup>3</sup>)

s: το πάχος του δείγματος (cm)

$R_s$  : ρυθμός κρούσεων /λεπτό δια μέσου ξηρού εδάφους (ανάλογος της έντασης της ακτινοβολίας)

$R_w$ : ρυθμός κρούσεων /λεπτό δια μέσου υγρού εδάφους

### Άμεσοι Μέθοδοι Μέτρησης στο Πεδίο

#### α. Τασίμετρα

Το τασίμετρο ως όργανο αποτελείται από ένα σωλήνα κατασκευασμένο με υδατοστεγές υλικό, στο κάτω μέρος του οποίου προσαρμόζεται μια πορώδης υδατοπερατή κεραμική καλύπτρα ενώ το άνω μέρος του σωλήνα καλύπτεται αεροστεγώς με πώμα, κάτω από το οποίο προσαρμόζεται κατάλληλα ένα μανόμετρο. Κατά την τοποθέτηση του τασίμετρου ο σωλήνας εμπήγεται στη γη με την κεραμική καλύπτρα να εφάπτεται πλήρως με το έδαφος. Εν συνεχεία ο σωλήνας γεμίζει πλήρως με νερό (δεν πρέπει να υπάρχουν φυσαλίδες αέρος) και κατόπιν κλείνεται το πάνω μέρος του αεροστεγώς. Με την πάροδο σύντομου χρονικού διαστήματος, καθώς το νερό μετακινείται μέσω της καλύπτρας, επέρχεται εξίσωση στην πίεση του νερού που υπάρχει στον σωλήνα και της πίεσης του νερού στο έδαφος. Όταν το έδαφος ξηραίνεται, το νερό λόγω της διαφορετικής πίεσης εξέρχεται του σωλήνα δια μέσου της πορώδους καλύπτρας και το κενό που δημιουργείται μεταβάλλει αντίστοιχα την ένδειξη του μανόμετρου. Όσο ξηρότερο είναι το έδαφος τόσο αυξάνεται το κενό και η τάση εντός του σωλήνα, οπότε αντίστοιχα αυξάνεται και η ένδειξη του μανόμετρου. Αντιθέτως, όταν το έδαφος υγραίνεται με βροχοπτώσεις ή άρδευση το κενό στο σωλήνα ελαττώνεται συνεπώς και η τάση άρα και η ένδειξη του μανόμετρου μειώνεται. Ο σωλήνας των τασίμετρων έχει διάφορα μήκη συνήθως 15,30,60 και 90 cm, ώστε να μετράται η τάση του εδάφους στο αντίστοιχο βάθος. Γενικά τα τασίμετρα λειτουργούν όταν η τάση δεν υπερβαίνει τα 850 cm στήλης νερού. Σε μεγαλύτερες τιμές εισέρχεται αέρας εντός του οργάνου και μειώνεται η ακρίβεια των μετρήσεων.

#### β. Πορώδη πλακίδια (Μέθοδος Βουγιούκου)

Η μέθοδος αναπτύχθηκε από τον καθηγητή Ι. Βουγιούκο και βασίζεται στην μέτρηση της μεταβολής της ηλεκτρικής αντίστασης ενός πορώδους μέσου από την εισερχόμενη σε αυτό υγρασία. Η διάταξη μέτρησης απαρτίζεται από τα γύψινα πλακίδια, που αποτελούν το πορώδες και έναν μετρητή αντίστασης συνδεδεμένα με ένα ζεύγος καλωδίων. Η μέθοδος με τα πλακίδια παρουσιάζει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε πιέσεις εδαφικής υγρασίας άνω των 850 cm στήλης νερού, όπου τα τασίμετρα παύουν να λειτουργούν έτσι συχνά γίνεται συνδυασμένη χρήση τους. Κατά την εγκατάσταση της συσκευής στο ύπαιθρο τα πορώδη πλακίδια τοποθετούνται στο έδαφος

κατά την αρχή της αρδευτικής περιόδου στα επιθυμητά βάθη. Ταχέως η υδατική τάση εντός αυτών τείνει να εξισωθεί με εκείνη του εδάφους. Όταν το ποσοστό της εδαφικής υγρασίας αυξάνεται το πορώδες μέσο συνήθως γύνινο πλακίδιο, που τοποθετείται μεταξύ των ηλεκτροδίων, εμφανίζει μειούμενη αντίσταση. Αντιθέτως όταν τα πλακίδια ξηραίνονται αυξάνεται η αντίσταση, γεγονός που αναγκαία σηματοδοτεί την μείωση της εδαφικής υγρασίας. Η βαθμονόμηση της μεθόδου γίνεται σε ποσοστιαία κλίμακα επί τοις εκατό όπου η ένδειξη 0 αντιστοιχεί στο σημείο μόνιμης μαράνσεως και η ένδειξη 100 στην υδατοϊκανότητα. Σήμερα, στην θέση του πορώδους μέσου χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά όπως πλακίδια από πλαστικό και υαλοβάμβακα καθώς και όργανα εφοδιασμένα με μικροεπεξεργαστές, που παρέχουν μετρήσεις μεγαλύτερης ευαισθησίας ακόμη και για υψηλά ποσοστά υγρασίας και χαμηλές τάσης εδαφικού νερού.

#### Πλεονεκτήματα

- Απλή και φθηνή μέθοδος.
- Δεν καταστρέφει τη θέση που τοποθετείται το πλακίδιο μετά από κάθε μέτρηση.

#### Μειονεκτήματα

- Απαιτείται βαθμονόμηση για κάθε έδαφος.
- Η βαθμονόμηση αποκλίνει με τον χρόνο.
- Πολλοί τύποι πλακιδίων δεν είναι ευαίσθητοι στην μεταβολή της εδαφικής υγρασίας, σε υψηλές ιδίως τιμές της.
- Η μέθοδος παρουσιάζει ευαισθησία στην συγκέντρωση αλάτων στις θερμοκρασιακές μεταβολές και τα λιπάσματα.

#### γ. Συσκευή Νετρονίων

Η συσκευή νετρονίων περιλαμβάνει έναν καθετήρα, ο οποίος εισάγεται με κατάλληλα διανοιγμένη οπή στο έδαφος. Εκεί από μια πηγή εκπέμπονται νετρόνια τα οποία συγκρούονται με τούς πυρήνες υδρογόνου, που υπάρχουν στο νερό και μετατρέπονται σε βραδέα νετρόνια. Εν συνεχεία τα βραδέα ηλεκτρόνια ανιχνεύονται από κατάλληλο αισθητήρα και καταγράφονται από ένα μετρητή. Όσο μεγαλώνει ο αριθμός των βραδέων νετρονίων, που καταγράφονται, τόσο αυξάνεται και ο αριθμός των πυρήνων του υδρογόνου άρα και η περιεκτικότητα νερού στο έδαφος .

Ο υπολογισμός της εδαφικής υγρασίας θν με την συσκευή νετρονίων γίνεται με την ακόλουθη εξίσωση .

$$\theta_v = \frac{R_w}{R_{st}} \cdot b - j$$

Όπου

b , j : όροι της βαθμονόμησης .

Rw : ο αριθμός κρούσεων ανά λεπτό στο έδαφος.

Rst : ο αριθμός κρούσεων στην θήκη του οργάνου.

#### Πλεονεκτήματα:

- Η μέτρηση είναι ταχεία και ακριβής.

- Η μέτρηση της υγρασίας αναφέρεται σε μεγάλο σχετικά όγκο, γεγονός βέβαια που μπορεί να θεωρηθεί και μειονέκτημα ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή.
- Το αποτέλεσμα της μέτρησης είναι απευθείας σε αναλογία κατ'όγκον.
- Η μέθοδος δεν καταστρέφει την θέση στην οποία τοποθετείται. Συνεπώς μπορεί να καταγράφει διαχρονικά την υγρασία στην ίδια θέση .

Μειονεκτήματα:

- Η συσκευές νετρονίων έχουν σχετικά υψηλό κόστος.
- Η ευαισθησία της συσκευής μειώνεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους.
- Εμπεριέχονται ηλεκτρονικά εξαρτήματα που απαιτούν συνεχή συντήρηση.
- Μεγάλη επικινδυνότητα εάν η συσκευή δεν χρησιμοποιηθεί σωστά.
- Κάθε συσκευή πριν την χρήση της απαιτεί βαθμονόμηση.

(Η συγγραφή των κεφαλαίων 2.1, 2.2.2 και 2.3 βασίστηκε στα βιβλία Τσακίρης Γ. (1995) και Τσακίρης Γ. (2006). )

## **2.4 Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τηλεπισκοπικά μέσα**

Οι νέες τεχνολογίες έχουν επιτρέψει την εποπτική απεικόνιση της γης ανά τακτά χρονικά διαστήματα με την εγκατάσταση συσκευών τηλεπισκόπησης στους τεχνητούς δορυφόρους. Όπως είναι φυσικό οι τηλεπισκοπικές συσκευές χρησιμεύουν εκτός των άλλων και στον υπολογισμό του ύψους της εδαφικής υγρασίας. Με αυτό τον τρόπο όσοι ενδιαφέρονται μπορούν να εξασφαλίσουν πρωτογενή δεδομένα για την κύμανση της εδαφικής υγρασίας χωρίς την ανάγκη για άμεση παραγωγή τους από σημειακές μετρήσεις. Συγκριτικά μπορεί να λεχθεί πως η δορυφορική τηλεπισκόπηση παρέχει δεδομένα εδαφικής υγρασίας που καλύπτουν την διακύμανση του μεγέθους αδιάλειπτα με έντονες όμως αβεβαιότητες. Οι εδαφικές μετρήσεις παρέχουν μεν σημειακά δεδομένα υγρασίας ιδιαίτερα μεγάλης ακρίβειας ( χαμηλή αβεβαιότητα ) δε. Εύκολα μπορεί να διαπιστώσει κανείς τις ευρύτατες δυνατότητες που προκύπτουν από τον συνδυασμό των δύο τύπων μετρήσεων, όσον αφορά τόσο στην σφαίρα της επιστήμης π.χ. επαλήθευση θεωρητικών μοντέλων βασισμένων σε σημειακές μετρήσεις με την συνεχή τηλεπισκοπική πληροφορία όσο και στις πρακτικές εφαρμογές, όπως είναι ο ορισμός των αρδεύσεων .

Οι δορυφορικές συσκευές τηλεπισκόπησης ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες τις παθητικές και τις ενεργητικές. Η λειτουργία των συσκευών της πρώτης κατηγορίας περιλαμβάνει την καταγραφή της ανακλώμενης από την γήινη επιφάνεια ηλιακής ακτινοβολίας από ένα δέκτη , που βρίσκεται σε τροχιά. Ανάλογα με τον τύπο του, ο δέκτης μπορεί να καταγράφει μέχρι και δεκάδες μήκη κύματος. Στις ενεργητικές μεθόδους στον δορυφόρο εγκαθίσταται πομπός που αποστέλλει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συγκεκριμένων μηκών κύματος εστιασμένα σε μια περιοχή. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ανακλάται κατά ένα μέρος από την γήινη επιφάνεια και ανιχνεύεται από έναν δέκτη εγκατεστημένο επίσης στον δορυφόρο. Ενεργητικά συστήματα είναι όλες οι μικροκυματικές μονάδες ενώ παθητικά συστήματα είναι οι περισσότερες τηλεπισκοπικές συσκευές, όπως αυτές που έχουν εγκατασταθεί στους δορυφόρους landsat , Ikonos κ.ο.κ.

Η επιτυχία της τηλεπισκόπησης στον εντοπισμό της εδαφικής υγρασίας εδράζεται στην μελέτη των ανακλαστικών ιδιοτήτων του εδάφους για διάφορους βαθμούς υγρασίας σε διάφορα μήκη κύματος. Με αυτό τον τρόπο ελέγχεται η ευαισθησία των καναλιών στην μεταβολή της

εδαφικής υγρασίας. Ορισμένα κανάλια (μήκη κύματος) παρουσιάζουν σημαντικές αυξομειώσεις ως προς τον βαθμό απορρόφησης από το έδαφος, ανάλογα με την ύγρανση του τελευταίου και καλούνται ευαίσθητα κανάλια. Άλλα μήκη κύματος παρουσιάζουν πολύ ασθενέστερες αυξομειώσεις και αποτελούν τα μη ευαίσθητα κανάλια. Για να αυξηθεί η επιτυχία υπολογισμού της εδαφικής υγρασίας, κατά κανόνα δεν χρησιμοποιείται μεμονωμένα ένα ευαίσθητο κανάλι αλλά ο συνδυασμός ευαίσθητων και μη ευαίσθητων καναλιών. Ο συνδυασμός αυτός γίνεται μέσω απλών αριθμητικών σχέσεων ( βασικά λόγων ) που καλούνται δείκτες εδαφικής υγρασίας στην ανίχνευση και μέτρηση της οποίας συνεισφέρουν τα μέγιστα. Με απλά λόγια μία μικρή μεταβολή στην εδαφική υγρασία προκαλεί πολύ μεγαλύτερη μεταβολή στην τιμή του δείκτη από εκείνη που προκαλεί στην τιμή του ευαίσθητου καναλιού από το οποίο προέκυψε ο δείκτης.

Τέλος τονίζεται πως πέραν των δεικτών εντοπισμού εδαφικής υγρασίας, που αποτελούν το βασικό αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας και αφορούν κατά κανόνα παθητικούς δέκτες, το ανώτερο τηλεπισκοπικό μέσο για την ακριβή μέτρηση της εδαφικής υγρασίας είναι οι μικροκυματικές μέθοδοι. Οι τελευταίες, ιδίως ως τεχνολογίες ραντάρ, δίνουν την ανώτερη ποιοτικά καταγραφή της εδαφικής υγρασίας πέραν όμως αυτού, εμφανίζουν και ορισμένα μειονεκτήματα. Τα κυριότερα από αυτά μπορούν να συνοψιστούν

- Στην χρονοβόρα προ επεξεργασία που απαιτείται για να καταστούν οι εικόνες ραντάρ αναγνώσιμες.
- Στο υψηλό κόστος απόκτησης λήψεων τέτοιου τύπου.
- Στην αραιότερη χρονικά κάλυψη των περιοχών.

Αντιθέτως, η χρήση δεικτών εντοπισμού της εδαφικής υγρασίας σε παθητικούς δέκτες, παρότι δίνει αποτελέσματά με σαφώς μειωμένη αξιοπιστία, έχει τα εξής πλεονεκτήματα :

- Συχνότατη χρονικά κάλυψη της γης π.χ. σήμερα με το σύστημα MODIS υπάρχει καθημερινή κάλυψη.
- Το μικρότερο κόστος απόκτησης λήψεων π.χ. το σύστημα MODIS παρέχει δωρεάν εικόνες .
- Η προεπεξεργασία είναι πολύ απλούστερη. Για τις τυπικές εργασίες δεν υπερβαίνει τα όρια μιας απλής γεωαναφοράς .

Τέλος πρέπει να σημειωθεί πως η εξέλιξη της τεχνολογίας απαλύνει σήμερα το κύριο μειονέκτημα των δορυφορικών τηλεπισκοπικών μετρήσεων, που δεν είναι άλλο από την υψηλή αβεβαιότητα στα αποτελέσματα που παρέχουν. Αυτό καθίσταται δυνατό με τη βελτίωση δύο παραμέτρων :

- (a) Της ραδιομέτρικής αξιοπιστίας, με την κατασκευή δεικτών που καταγράφουν μεγάλο αριθμό καναλιών. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ευκρινέστερος διαχωρισμός επιπλέον φασματικών κατηγοριών.
- (b) Της χωρικής αξιοπιστίας με την μείωση της εδαφοψηφίδος. Έτσι υπάρχουν πλέον δέκτες με pixel εδάφους 1m, όπως είναι ο Quickbird, με συνέπεια να γίνονται ορατά φαινόμενα με έντονες μεταβολές σε μικρότερες χωρικές κλίμακες .

### 2.4.3 MODIS

Στοιχεία Δέκτη MODIS :

Το σύστημα MODIS συναποτελείται από δύο πανομοιότυπες συσκευές καταγραφής της ανακλώμενης από την γη ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και της εκπεμπόμενης υπέρυθρης, λόγω της



ίδιας της θερμότητας της επιφάνειας του πλανήτη. Οι δύο συσκευές είναι εγκατεστημένες πάνω σε δύο διαφορετικούς δορυφόρους τον aqua και τον terra. Η καταγραφή γίνεται σε 36 κανάλια (μήκη κύματος), τα οποία καταγράφουν στην πραγματικότητα ακτινοβολία σε ένα πολύ μικρό εύρος συχνοτήτων έκαστο. Παραδείγματος χάριν για το πρώτο κανάλι το εύρος μηκών κύματος είναι 620 - 670  $\mu\text{m}$ . Τα δεδομένα του συστήματος MODIS έχουν υψηλή ραδιομετρική ευαισθησία με βάθος πεδίου τα 12 bit. Η τροχιά του terra γύρω από τη γη είναι χρονομετρημένη έτσι ώστε περνά από το Βορρά έως το Νότο δια του ισημερινού το πρωί, ενώ ο aqua περνά από νότο προς Βορρά δια ισημερινού το απόγευμα. Οι συσκευές terra MODIS και aqua MODIS καταγράφουν την επιφάνεια ολόκληρης γης κάθε 1 έως 2 ημέρες γεγονός πολύ χρήσιμο γιατί έχουμε ζωντανά δεδομένα, που μπορούν να υποστηρίξουν ένα σύστημα πρόβλεψης.

Επιλεγμένες Μέθοδοι :

#### Δεδομένα MODIS

Οι δείκτες εφαρμόστηκαν στα κανάλια R1,R2,R3,R4,R5,R6 και R7 του συστήματος MODIS. Η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε προέρχεται από τον δορυφόρο terra. Τα κανάλια R1 και R2 έχουν χωρική ανάλυση 250 m ενώ τα υπόλοιπα 5 έχουν χωρική ανάλυση 500 m. Το σύνολο των δεδομένων του MODIS έχουν κωδικοποιηθεί στα 12 bit.

Παρατίθεται ο πίνακας με τα χαρακτηριστικά του συστήματος MODIS αυτούσιος από τον ιστότοπο του MODIS (NASA).

#### Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά δορυφορικού συστήματος MODIS

<b>Orbit:</b>	705 km, 10:30 a.m. descending node (terra) or 1:30 p.m. ascending node (aqua), sun-synchronous, near-polar, circular
<b>Scan Rate:</b>	20.3 rpm, cross track
<b>Swath Dimensions:</b>	2330 km (cross track) by 10 km (along track at nadir)
<b>Telescope:</b>	17.78 cm diam. off-axis, afocal (collimated), with intermediate field stop
<b>Size:</b>	1.0 x 1.6 x 1.0 m
<b>Weight:</b>	228.7 kg
<b>Power:</b>	162.5 W (single orbit average)
<b>Data Rate:</b>	10.6 Mbps (peak daytime); 6.1 Mbps (orbital average)
<b>Quantization:</b>	12 bits
<b>Spatial Resolution:</b>	250 m (bands 1-2) 500 m (bands 3-7) 1000 m (bands 8-36)
<b>Design Life:</b>	6 years

#### Πίνακας 2: Ανάλυση φασματικών χαρακτηριστικών δορυφορικού συστήματος MODIS

Primary Use	Band	Bandwidth <sup>(1)</sup>	Spectral Radiance <sup>(2)</sup>	Required SNRV <sup>(3)</sup>
Land/Cloud/Aerosols	1	620 - 670	21.8	128

<b>Boundaries</b>	2	841 - 876	24.7	201
<b>Land/Cloud/Aerosols Properties</b>	3	459 - 479	35.3	243
	4	545 - 565	29.0	228
	5	1230 - 1250	5.4	74
	6	1628 - 1652	7.3	275
	7	2105 - 2155	1.0	110
<b>Ocean Color/Phytoplankton/Biogeochemistry</b>	8	405 - 420	44.9	880
	9	438 - 448	41.9	838
	10	483 - 493	32.1	802
	11	526 - 536	27.9	754
	12	546 - 556	21.0	750
	13	662 - 672	9.5	910
	14	673 - 683	8.7	1087
	15	743 - 753	10.2	586
	16	862 - 877	6.2	516
<b>Atmospheric Water Vapor</b>	17	890 - 920	10.0	167
	18	931 - 941	3.6	57
	19	915 - 965	15.0	250
<b>Primary Use</b>	<b>Band</b>	<b>Bandwidth<sup>(1)</sup></b>	<b>Spectral Radiance<sup>(2)</sup></b>	<b>Required NE[delta]T(K)<sup>(4)</sup></b>
<b>Surface/Cloud Temperature</b>	20	3.660 - 3.840	0.45(300K)	0.05
	21	3.929 - 3.989	2.38(335K)	2.00
	22	3.929 - 3.989	0.67(300K)	0.07
	23	4.020 - 4.080	0.79(300K)	0.07
<b>Primary Use</b>	<b>Band</b>	<b>Bandwidth<sup>(1)</sup></b>	<b>Spectral Radiance<sup>(2)</sup></b>	<b>Required NE[delta]T(K)<sup>(4)</sup></b>
	25	4.482 - 4.549	0.59(275K)	0.25
<b>Cirrus Clouds Water Vapor</b>	26	1.360 - 1.390	6.00	150(SNR)
	27	6.535 - 6.895	1.16(240K)	0.25
	28	7.175 - 7.475	2.18(250K)	0.25
<b>Cloud Properties</b>	29	8.400 - 8.700	9.58(300K)	0.05
<b>Ozone</b>	30	9.580 - 9.880	3.69(250K)	0.25
<b>Surface/Cloud Temperature</b>	31	10.780 - 11.280	9.55(300K)	0.05
	32	11.770 - 12.270	8.94(300K)	0.05
<b>Cloud Top Altitude</b>	33	13.185 - 13.485	4.52(260K)	0.25

Πίνακας 3: Ανάλυση φασματικών χαρακτηριστικών δορυφορικού συστήματος MODIS (συνέχεια)

	34	13.485 - 13.785	3.76(250K)	0.25
	35	13.785 - 14.085	3.11(240K)	0.25

	36	14.085 - 14.385	2.08(220K)	0.35
<b>Primary Use</b>				
<sup>1</sup> Bands 1 to 19 are in nm; Bands 20 to 36 are in $\mu\text{m}$ <sup>2</sup> Spectral Radiance values are ( $\text{W}/\text{m}^2$ - $\mu\text{m}$ -sr) <sup>3</sup> SNR = Signal-to-noise ratio <sup>4</sup> NE(delta)T = Noise-equivalent temperature difference  <b>Note:</b> Performance goal is 30-40% better than required				

Η εικόνα επί της οποίας εργαστήκαμε παρέχεται δωρεάν από τον ιστιότοπο του MODIS και μάλιστα άνευ εγγραφής. Η εικόνα αποστέλλεται με την μορφή τεσσάρων αρχείων σε τυποποίηση hdf. Το πρώτο αρχείο περιέχει τα κανάλια R1 και R2 με χωρική ανάλυση 250 μέτρων. Το δεύτερο αρχείο περιέχει τα επόμενα 5 κανάλια R3, R4, R5, R6 και R7 με χωρική ανάλυση 500 μέτρων. Το τρίτο αρχείο περιέχει υπόλοιπα κανάλια με χωρική ανάλυση των 1000 m. Το τέταρτο και τελευταίο αρχείο περιέχει πληροφορίες για τα υπόλοιπα, όπως ο αριθμός των φατνίων, στηλών και των γραμμών τους, το γεωγραφικό μήκος και πλάτος των ακρών τους, το μέγεθος της εδαφοψηφίδος τους καθώς και άλλα στοιχεία απαραίτητα για την περαιτέρω επεξεργασία των εικόνων.

## 2.4.4 Δείκτες στον MODIS

### Δημοσίευση πρώτη

Στοιχεία Δημοσίευσης:

Θέμα : Η βελτίωση στον εντοπισμό της εδαφικής και φυτικής υγρασίας από τον πολυφασματικό δείκτη ξηρότητας.

Συγγραφείς : Wang and Qu (2009) .

Περιοχή εφαρμογής: α) Περιοχές με ενεργές πυρκαγιές στην Πολιτεία της Γεωργίας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής.

β) Περιοχές με ενεργές πυρκαγιές στην Ελλάδα .

Διαθέσιμα Δεδομένα :

A) Τα διαγράμματα ανακλαστικότητας για τα μήκη κύματος από 0.4  $\mu\text{m}$  έως 2.2  $\mu\text{m}$  πρώτον για επιφάνεια ανακλάσεως βλάστησης και δεύτερον για γυμνό έδαφος, ανάλογα με την υγρασία που αυτά εσωκλείουν .

B) Χάρτες ενεργών δασικών πυρκαγιών του συστήματος MODIS για τις περιοχές μελέτης .

Δεδομένα Τηλεπισκοπήσεως :

Δορυφόροι :Χρησιμοποιήθηκε το σύστημα MODIS που είναι τοποθετημένο στους δορυφόρους terra και aqua από τους οποίους πήραμε τις εικόνες των περιοχών μελέτης.

Εποχή : Καλοκαίρι του 2007.

**Κανάλια:** Χρησιμοποιήθηκαν τρία μικροκυματικά κανάλια στην περιοχή του υπέρυθρου. Το πρώτο με μήκος κύματος στα 0.86 μm, το οποίο δεν ευαισθητοποιείται στο νερό (δεν επηρεάζεται δηλαδή η αντανάκλαση του από το νερό). Τα άλλα δύο είναι ευαίσθητα στην παρουσία και τις μεταβολές υδατικού στοιχείου και έχουν μήκη κύματος ακτινοβολίας 1.64 μm και 2.13 μm.

Μέθοδοι :

Normalized Multiband Drought Index (NMDI) (Ομαλοποιημένος Πολυφασματικός Δείκτης Ξηρασίας)

$$NMDI = \frac{R0.86\mu m - (R1.64\mu m - R2.13\mu m)}{R0.86\mu m + (R1.64\mu m - R2.13\mu m)}$$

Κριτήρια Αξιολόγησης :

A) Χρήση του δείκτη NMDI σε περιοχές πυκνής βλάστησης. Μείωση των τιμών του δείκτη υποδεικνύει μείωση της φυτικής υγρασίας. Αντιθέτως όμως αύξηση των τιμών του δείκτη για περιοχές με γυμνό έδαφος υποδεικνύει μείωση της εδαφικής υγρασίας. Συνεπώς ο δείκτης μπορεί να διαχωρίσει περιοχές ίδιου επιπέδου υγρασίας αναλόγως με το αν επικαλύπτονται από βαρεία βλάστηση ή το έδαφός τους είναι γυμνό. Ενώ παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στην μεταβολή της υγρασίας για τα συγκεκριμένα πεδία.

B) Οι πυρκαγιές και ιδίως οι δασικές επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την υγρασία στις περιοχές, που μαίνονται. Έτσι δοκιμάστηκε ο δείκτης σε περιοχές με ενεργές πυρκαγιές, όπου προφανώς η ύπαρξη εστιών πυρός σημαίνει και μείωση της υγρασίας. Επιπλέον εξ αιτίας της δυνατότητας του δείκτη να διαχωρίζει περιοχές με πυκνή φυτική κάλυψη από περιοχές με αραιή ή χωρίς φυτική κάλυψη αναμένεται πως θα μπορέσει να αναγνωρίσει τις περιοχές με ενεργές πυρκαγιές.

### Δημοσίευση δεύτερη :

Στοιχεία Δημοσίευσης:

Θέμα: Η Αξιολόγηση του Μικροκυματικού Υπέρυθρου Δείκτη Φυτικής Ύγρανσης (SIWSI) από εγγύς και μικροκυματικά υπέρυθρα δεδομένα.

Περιοχή εφαρμογής: Η ημιάγονες περιοχές της Σενεγάλης.

Συγγραφείς : Fensholt , Pedersen and Sandholt (2004).

Διαθέσιμα Δεδομένα :

A) Επί τόπου μετρήσεις της υγρασίας των ανώτερων στρωμάτων του εδάφους.

B) Τα ύψη βροχοπτώσεως για τα έτη 2001 έως 2003.

Δεδομένα Τηλεπισκοπήσεως :

Δορυφόροι : Χρησιμοποιήθηκε το σύστημα MODIS που είναι τοποθετημένο στους δορυφόρους terra και aqua από τους οποίους πήραμε τις εικόνες των περιοχών μελέτης.

Εποχή : Όλη η διάρκεια των ετών 2001 , 2002 και 2003.

Κανάλια : Το κανάλι 6 (Ch.6) είναι ένα μικροκυματικό, υπέρυθρο κανάλι με μήκη κύματος 1628-1652 nm. Χαρακτηριστικό του είναι η μεγάλη επίδραση στην ανακλαστικότητα από την ύπαρξη και τις διακύμανσης του νερού καθώς και η μεγάλη επίδραση στην ανακλαστικότητά του από την δομή των φύλλων και το

περιεχόμενό τους σε ξηρά ύλη. Το κανάλι 2 (Ch.2) είναι ένα εγγύς υπέρυθρο κανάλι με μήκη κύματος 841-876 nm. Χαρακτηριστικό του η επίρεια στην ανακλαστικότητα του από την δομή των φύλλων και το περιεχόμενό τους σε ξηρά ύλη καθώς και έλλειψη ευαισθησίας στην ύπαρξη υγρασίας.

Μέθοδοι :

Shortwave Infrared Water Stress Index (SIWSI; Fensholt and Sandholt, 2003)

Μικροκυματικός Υπέρυθρος Δείκτης Ύγρανσης .

$$SIWSI = \frac{Ch.6 - Ch.2}{Ch.6 + Ch.2}$$

Κριτήρια αξιολόγησης :

A) Σύγκριση με επιτόπιες μετρήσεις της υγρασίας των ανώτερων στρωμάτων του εδάφους, η οποία έδειξε μία ισχυρά συσχέτιση μεταξύ του δείκτη και της εδαφικής υγρασίας.

B) Το έτος 2002 ήταν ιδιαίτερα ξηρό. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η βλάστηση να είναι ιδιαίτερα αραιή και αδύναμη γεγονός που συνδράμει και στην αύξησή της επιρροής του εδάφους, αφού είναι ευρύτερα ορατό. Έτσι δεν μπόρεσε ο δείκτης να μας παράσχει πληροφορίες για την περιεκτικότητα σε νερό της βλάστησης .

Γ) Κατά τους αρθρογράφους ο συνδυασμός πληροφοριών από εγγύς υπέρυθρα και μικροκυματικά μήκη κύματος είναι χρήσιμος ως μετρητής για την υγρασία του θόλου της βλάστησης στο ημίγλοιο Σενεγαλέζικο περιβάλλον. Το γεγονός του μη επηρεασμού του καναλιού 2 από την υγρασία σε αντίθεση με τον ισχυρό επηρεασμό του καναλιού 6 μας επιτρέπει να μειώσουμε την επίρεια στην ανακλαστικότητα, που οφείλεται στην δομή των φύλλων και στο περιεχόμενό τους σε ξηρά ύλη .

### Δημοσίευση τρίτη:

Στοιχεία Δημοσίευσης:

Θέμα : Ανάκτηση των φυσικών παραμέτρων και αξιολόγηση ανεπάρκειας νερού φυτειών με την χρήση δεδομένων MODIS κατά την περίοδο ανάπτυξης του χειμερινού σίτου.

Συγγραφείς : Yi ,Yang, Chen, and Huang (2007)

Περιοχή εφαρμογής : Οι περιοχές πέριξ του πύργου ροής στροβίλου Γκαογινγκ (Gaoying ) στην ζώνη άρδευσης Γουέισχαν (Weishan) της Κίνας, που βρίσκεται κατάντη του Κίτρινου Ποταμού.

Διαθέσιμα Δεδομένα : A) Το καλλιεργητικό ημερολόγιο του χειμερινού σίτου.

B) Η κάλυψη της περιοχής μελέτης, που περιλαμβάνει φυτείες ( croplands), τα φυτεμένα ξύλα, τη δευτερεύουσα χλόη, θάμνους, τις τεχνητές επιφάνειες.

Γ) Περιγραφή της κύριας καλλιεργητικής πρακτικής, που αφορά στην εναλλαγή καλλιέργειας χειμερινού σίτου και αραβόσιτου κατά το θέρος.

Δ) Επίγειες μετρήσεις της περιεκτικότητας σε νερό των καλλιεργειών, της ξηράς μάζας των καλλιεργειών και των τιμών του δείκτη φυλλώματος των καλλιεργειών.

E) Μετρήσεις βροχοπτώσεως ανά 10 λεπτά.

Z) Τα στοιχεία άρδευσης ( συμπεριλαμβανομένης και της μη άρδευσης) όπως ο χρόνος και η ποσότητα.

Η) Η υγρασία του εδάφους σε βάθη 5, 10, 20, 40, 80 και 160 cm από την επιφάνεια του εδάφους.

Θ) Οι ετήσιες βροχοπτώσεις από το 1960 έως το 2005.

Δεδομένα Τηλεπισκόπησης :

Δορυφόροι : Χρησιμοποιήθηκε το σύστημα MODIS που είναι τοποθετημένο στους δορυφόρους terra και aqua από τους οποίους πήραμε τις εικόνες των περιοχών μελέτης.

Εποχή : Η περίοδος ανάπτυξης του χειμερινού σίτου. Ο χειμερινός σίτος σπέρνεται αρχές Οκτωβρίου αλλά η σημαντική καλλιεργητική περίοδος είναι από το Μάρτιο μέχρι το Μάιο του επόμενου έτους.

Κανάλια: SWIR (1640 και 2130 NM) , NIR (1240 NM ) και RED .

Μέθοδοι :

Προϊόντα του συστήματος MODIS που αφορούν προεπεξεργασία.

Α) Τα προϊόντα MOD09 και MYD09 που με είσοδο τα L1B στοιχεία MODIS παρέχουν μια εκτίμηση του συντελεστή ανάκλασης επιφάνειας για τα κανάλια 1-7 του MODIS, όπως θα μετριοταν στην επιφάνεια εδάφους εάν δεν υπήρχε ατμόσφαιρα.

Β) Το MODIS 16 ήμερο σύνθετο NDVI, προϊόν σχεδιασμένο για να παρέχει τις συνεπείς χωρικές και χρονικές αντιθέσεις των όρων βλάστησης, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, μέσω του αλγορίθμου MODIS VI.

Γ) Το εργαλείο αλλαγής προβολής του MODIS (MRT).

Δ) Το λειτουργικό λογισμικό αξιολόγησης στοιχείων εδάφους (LDOPE) MODIS χρησιμοποιήθηκε για να ελέγξει την ποιότητα των εικόνων συνάρτηση της θέσης των νεφών και της δομής τους.

Δείκτες :

$$NDVI = \frac{R_{nir} - R_{red}}{R_{nir} + R_{red}}$$

$$NDWI = \frac{R_{nir} - R_{swir}}{R_{nir} + R_{swir}}$$

Κριτήρια αξιολόγησης :

Ο NDWI2130 είχε τον καλύτερο γραμμικό συσχετισμό με το VWC, με έναν συντελεστή προσδιορισμού  $R^2$  ιδιαίτερα υψηλό 0.84 (στατιστικής σημασίας  $\Phi = 71.57$ , επίπεδο σημαντικότητας  $\pi < 0.001$ , αριθμός δειγμάτων  $N = 16$ ). Ενώ ο  $R^2$  μεταξύ NDWI1640 και VWC ήταν επίσης υψηλός ίσος με 0.76 ( $\Phi = 35.37$ ,  $\pi < 0.001$ ,  $N = 13$ ). Ακολουθεί ο NDWI1240 ενώ ο NDVI είχε το χειρότερο γραμμικό συσχετισμό με VWC.

Ο πίνακας 3 δείχνει ότι οι γραμμικοί συσχετισμοί μεταξύ των δεικτών (NDWI1640, NDWI2130, και NDVI) και της ξερής ουσίας είναι πολύ κοντινοί. Όμως ο συντελεστής  $R^2$  μεταξύ NDWI1240 και του περιεχομένου ξερής ουσίας ήταν πολύ χαμηλός (μόνο 0.05).

Σημαντικός θετικός συσχετισμός παρατηρήθηκε μεταξύ περιεκτικότητας σε ξηρά ύλη σε NDWISWIR από DOY 87 139 πριν από το στάδιο της ανθοφορίας (NDWI2130:  $\Phi = 44.96$ ,  $\pi < 0.001$ ,  $N = 11$  NDWI1640:  $\Phi = 30.29$ ,  $\pi < 0.001$ ,  $N = 10$ ) και ένας σημαντικός αρνητικός συσχετισμός βρέθηκε από DOY 128 σε DOY 159 μετά από το στάδιο της ανθοφορίας

(NDWI<sub>2130</sub>:  $\Phi = 26.62$ ,  $\pi < 0.001$ ,  $N = 11$ ).

Ο μόνος δείκτης με ικανοποιητική γραμμική συσχέτιση με το LAI είναι ο NDWI. Ο NDVI επηρεάζεται πολύ από τις γωνιακές διαφοροποιήσεις (σχέση ηλίου δορυφόρου κτλ) πράγμα που κάνει αναξιόπιστη την υψηλή του απόκριση στις αλλαγές της καλλιέργειας.

**Table 3.** Summary of determination coefficient ( $R^2$ ) values using spectral indices (NDWI based on the SWIR 1240, 1640, and 2130 nm bands; NDVI; and EVI) for the estimation of wheat growth status parameters (VWC, dry matter, and LAI) in linear regressions.

	VWC				Dry matter content				LAI				
	NDWI <sub>1240</sub>	NDWI <sub>1640</sub>	NDWI <sub>2130</sub>	NDVI	NDWI <sub>1240</sub>	NDWI <sub>1640</sub>	NDWI <sub>2130</sub>	NDVI	NDWI <sub>1240</sub>	NDWI <sub>1640</sub>	NDWI <sub>2130</sub>	NDVI	EVI
Terra	0.57	0.69	0.70	0.29	0.26	0.50	0.61	0.54	0.66	0.38	0.25	0.00	0.42
Aqua	0.45	0.85	0.81	0.82	0.05	0.53	0.39	0.65	0.74	0.50	0.39	0.14	0.39
Terra-Aqua	0.44	0.76	0.84	0.50	0.05	0.47	0.51	0.61	0.68	0.36	0.23	0.00	0.23

↩

Το SWIR (1640 και 2130 NM) στα οποία βασίστηκαν NDWI<sub>1640</sub> και NDWI<sub>2130</sub> παρουσίασαν πολύ καλύτερο συσχετισμό με VWC από NDVI και το NIR (1240 NM) στο οποίο βασίστηκε NDWI<sub>1240</sub> καταδεικνύοντας τα πλεονεκτήματα των μηκών κύματος SWIR από τα μήκη κύματος NIR στην ανάκτηση VWC. Για την εκτίμηση ξερής ουσίας, ένας σημαντικός θετικός συσχετισμός μεταξύ NDWI<sub>1640</sub>, NDWI<sub>2130</sub> και του περιεχομένου ξερής ουσίας βρέθηκε πριν από το στάδιο ανθοφορίας και ένας ισχυρός αρνητικός συσχετισμός παρατηρήθηκε μεταξύ NDWI<sub>2130</sub> και του περιεχομένου ξερής ουσίας μετά από το στάδιο ανθοφορίας. Ο SWIR ευαισθητοποιείται και στην μεταβολή της εδαφικής υγρασίας.

#### Δημοσίευση τέταρτη :

Στοιχεία Δημοσίευσης:

Θέμα : Υπολογισμός εδαφικής υγρασίας σε αγροτικές γαίες με την χρήση δεδομένων MODIS βασισμένα στους δείκτες.

Συγγραφέας : Domiri ( 2005)

Περιοχή εφαρμογής :Bekasi, Karawang District, West Java.

Διαθέσιμα Δεδομένα : Α)Δείγματα εδάφους , σε βάθος από 0 έως 20 cm . Με ποσοστά υγρασίας από 4 % έως 72%.

Β)Οι συντελεστές ανάκλασης για τις περιοχές των δειγμάτων, την εποχή που αυτά ελήφθησαν. Το χρονικό διάστημα ορίζεται στους μήνες Ιούνιο, τον Ιούλιο και τον Αύγουστο του 2004. Τα στοιχεία αυτά προήλθαν από τα καθημερινά στοιχεία του δορυφόρου MODIS.

Γ)Οι φασματικές υπογραφές του νερού του ξηρού χώματος και της βλάστησης.

Δεδομένα Τηλεπισκοπήσεως :

Δορυφόροι : Το σύστημα modis , συγκεκριμένος δορυφόρος δεν αναφέρεται.

Εποχή : Το θέρους του 2004 και 2005.

Κανάλια : Red (R1) = 0.6 $\mu$ m , Nir (R2) = 0.8  $\mu$ m , Swir (R6) = 1.6 $\mu$ m.

Μέθοδοι :

Χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες NDSI,NDVI με την χρήση των μηκών κύματος, που

αναφέρθηκαν αμέσως παραπάνω. Ακόμη χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης NDWI με άλλη μορφή από αυτή της τρίτης δημοσίευσης, τον οποίο θα καλούμε στο εξής NDWI2.

$$\text{Όπου : } NDWI = \frac{Red. - Swir}{Red. + Swir}$$

Ο βασικός δείκτης που χρησιμοποιείται είναι ο LMI . Ο τελευταίος προκύπτει ως η πρώτη κύρια συνιστώσα των δεικτών NDSI,NDVI και NDWI2 .

Η ανάλυση των κυρίων συνιστωσών έγινε από τους αρθρογράφους και προέκυψαν από αυτή οι ιδιοτιμές για τον πίνακα συσχέτισης 2.001 0.999 -0.000 για την πρώτη , δεύτερη και τρίτη συνιστώσα αντίστοιχα. Από τις ιδιοτιμές παρατηρούμε σαφώς , πως το μεγαλύτερο μέρος της πληροφορίας αποτυπώνεται στην πρώτη συνιστώσα. Συνεπώς η χρησιμοποίηση μόνο της πρώτης συνιστώσας είναι τεχνικά ορθή αφού δεν στερεί από την μελέτη μας στατιστικά τουλάχιστον μεγάλο μέρος της πληροφορίας μας.

Ο πίνακας συσχέτισης μεταξύ των αρχικών καναλιών που περιέχουν τους δείκτες και των κυρίων συνιστωσών παρουσιάζεται ακολούθως .

Corr. Eigenvectors	PC1	PC2	PC3
Band1	-0.707	0.022	-0.707
Band2	0.031	1.000	0.000
Band3	0.707	-0.022	-0.707

Συνεπώς ο νέος δείκτης θα έχει τον ακόλουθο τύπο :

$$LMI = -0.707 * NDSI + 0.031 * NDVI + 0.0707 * NDWI2$$

Κριτήρια αξιολόγησης :

Κριτήριο αξιολόγησης δεν μπορούμε να εξάγουμε διότι δεν έχουμε εδαφικά δείγματα τη στιγμή, που διερχόταν ο terra δορυφόρος από την περιοχή. Με αποτέλεσμα να μην δυνάμεθα να συγκρίνουμε τις τιμές ανακλαστικότητας με την υγρασία του εδάφους κατά την χρονική στιγμή της λήψης. Παρόλα αυτά στην περιοχή μελέτης της εργασίας, από την οποία δανειζόμαστε την μέθοδο, εξήχθη ο παρακάτω δείκτης αξιολόγησης  $R^2 = 0.7671$  και για την αύξηση της στατιστικής επιτυχίας γίνεται μια νέα παρεμβολή στα δεδομένα της αρχικής μελέτης με την χρήση των μετρήσεων υγρασίας των δειγμάτων εδάφους.

Έτσι προκύπτει η σχέση :

$$LM = 172.2145 * \exp(-0.76102/LMI)$$

Με ακόμη καλύτερους στατιστικούς δείκτες  
 $n = 26$  ,  $R^2 = 0.825$  ,  $Se = 0.30$  ,  $t\text{-test} = 10.4$

Επιλεγμένες Μέθοδοι :

Επειδή δεν υπάρχουν επίγεια στοιχεία ελέγχου δύσκολα γίνεται ακριβής αξιολόγηση στα αποτελέσματα των δεικτών. Απλώς βάσει των στατιστικών αποτελεσμάτων των αρχικών εργασιών στους δείκτες NDWI και NDWI όπου RSWIR επιλέξαμε το κανάλι 7 ενώ όπου RNIR το κανάλι 5. Όμως για την εξαγωγή του δείκτη LMI όπου RNIR τίθεται το κανάλι 2 ενώ όπου RSWIR το κανάλι 6. Τα αποτελέσματα αυτών των επεξεργασιών υπό την μορφή εικόνων θα παρατεθούν παρακάτω.



### 3. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία της εργασίας λαμβάνει την μορφή δύο διακριτών βημάτων αρχικά της στατιστικής επεξεργασίας των μετρήσεων εδαφικής υγρασίας μέσω καθαρά αριθμητικών κριτηρίων, υπολογίζοντας το βέλτιστο στατιστικό αριθμητικό αποτέλεσμα. Κατόπιν τη μελέτη βασικών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων της πραγματικότητας, κατά τη στιγμή λήψης των μετρήσεων, ώστε να διαπιστωθεί αν υπάρχουν και σε ποιο βαθμό ευθύνονται φυσικά αίτια για διαμόρφωσή των στατιστικών αποτελεσμάτων. Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των βασικών δεδομένων, που θα συσχετιστούν. Γι' αυτό στη συνέχεια περιγράφονται εκτενώς τα βασικά δεδομένα που συσχετίζονται- άμεσα μεταξύ των.

#### 3.1 Περιγραφή δεδομένων

##### 3.1.1 Εδαφικά δεδομένα υγρασίας σταθμών

Τα δεδομένα εδαφικής υγρασίας προέρχονται από παρατηρήσεις σε 19 σταθμούς στην πολιτεία του Ιλινόις των ΗΠΑ. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει μετρήσεις από το έτος 1981 έως και το έτος 2004 και έγινε στα πλαίσια του Water and Atmospheric Resources Monitoring Program (WARM) της πολιτείας του Ιλινόις. Οι μετρήσεις έγιναν με συσκευές νετρονίων, βαθμονομήθηκαν δε με αποτελέσματα παρατηρήσεων, που έγιναν με την μέθοδο της αφυδάτωσης. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν μετρήσεις της υγρασίας για τα πρώτα δέκα εκατοστά βάθους του εδάφους( 1-10cm) και εν συνεχεία για κάθε είκοσι εκατοστά βάθους (πχ , 10-30 cm, 30-50 cm, ...) έως τα δύο μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους. Το σύνολο των αναφορών εδαφικής υγρασίας αποτελείται από 8310 καταγεγραμμένες μετρήσεις. Εκάστη μέτρηση αναφέρεται σε έναν και μοναδικό σταθμό για μια και μοναδική ημέρα ενώ κάθε ημερομηνία περιλαμβάνει μετρήσεις από πολλούς σταθμούς. Η τυποποίηση των μετρήσεων φαίνεται στον παρακάτω πίνακα, ο οποίος περιέχει μία τυχαία μέτρηση .

Πίνακας 4: Τυποποίηση (format) του αρχείου μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκε.

Year	MO	DY	Sta	0-10cm	30-10	30-50	50-70	70-90	90-110	110-130	130-150	150-170	170-190	190-200
2001	4	10	1	35.83	62.59	76.07	85.28	84	82.21	84.09	85.11	82.47	73.26	33.22

Όπου :

Year : το έτος στο οποίο έγινε η μέτρηση.

MO: ο μήνας του έτους κατά τον οποίο έγινε η μέτρηση .

DY:η μέρα του μήνα κατά την οποία έγινε η μέτρηση.

Sta: Ο σταθμός στον οποίο έγινε η συγκεκριμένη μέτρηση.

Η ίδια σειρά δεδομένων περιλαμβάνει ακόμη, όπως εμφανίζονται στον κάτωθι πίνακα, την ονομασία, το υψόμετρο και τις συντεταγμένες των θέσεων στις οποίες ήταν τοποθετημένοι οι σταθμοί μέτρησης της εδαφικής υγρασίας, χωρίς όμως να δίνει το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς . Η αρίθμηση, που δίνεται για κάθε σταθμό στον πίνακα 2, θα χρησιμοποιείται για λόγους συντομίας αντί ονόματος.

Πίνακας 5: Ονομασία ,συντεταγμένες και υψόμετρο σταθμών μέτρησης υγρασίας.

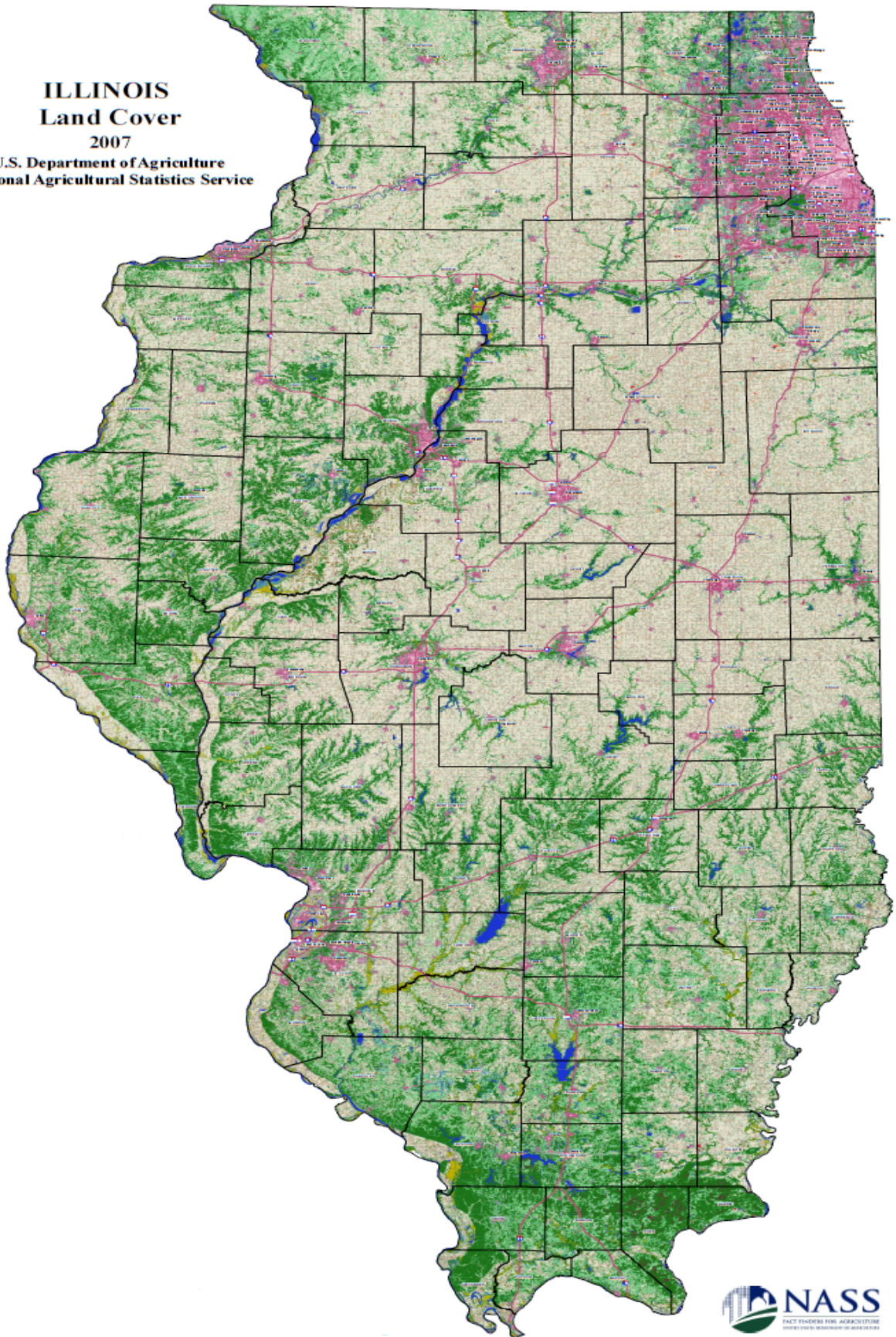
<u>No.</u>	<u>Name</u>	<u>Code</u>	<u>Lat(°N)</u>	<u>Lon(°W)</u>	<u>Altitude (m)</u>
1	Bondville	BVL	40,05	88,22	213
2	Dixon Springs-Bare	DXB	37,45	88,67	165
3	Brownstown	BRW	38,95	88,95	177
4	Orr Center (Perry)	ORR	39,8	90,83	206
5	De Kalb	DEK	41,85	88,85	265
6	Monmouth	MON	40,92	90,73	229
8	Peoria	ICC	40,7	89,52	207
9	Springfield	LLC	39,52	89,62	177
10	Belleville	FRM	38,52	89,88	133
11	Carbondale	SIU	37,72	89,23	137
12	Olney	OLN	38,73	88,1	134
13	Freeport	FRE	42,28	89,67	265
14	Rend Lake (Ina)	RND	38,13	88,92	130
15	Stelle	STE	40,95	88,17	213
16	Topeka	MTF	40,3	89,9	152
17	Oak Run	OAK	40,97	90,15	229
34	Fairfield	FAI	38,38	88,38	136
81	Champaign	CMI	40,08	88,23	219
82	Dixon Springs-Grass	DXG	37,45	88,67	165

### 3.1.2 Χαρακτηριστικά εδάφους της περιοχής μελέτης

Το πεδίο διενέργειας της εργασίας ήταν η πολιτεία του Ιλινόις των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Το Ιλινόις βρίσκεται στο κεντρικό δυτικό τμήμα τμήμα των ΗΠΑ και αποτελεί μία πεδινή έκταση χωρίς σημαντικές εξάρσεις ενώ ένα μεγάλο μέρος του νότιου τμήματος αυτής βρίσκεται υπό του επιπέδου της θαλάσσης. Η συνολική έκταση της πολιτείας είναι 36.065.963 στρέμματα, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας καλύπτεται από καλλιέργειες αραβόσιτου 11.703.821 στρέμματα, σόγιας 6.885.296 στρέμματα και διπλής φύτευσης χειμερινού σίτου και σόγιας στο νότο 464.960 στρέμματα. Σημαντικό ποσοστό της ολικής έκτασης, πέρα από τα καλλιεργήσιμα εδάφη, καταλαμβάνουν τα δάση φυλλοβόλων 6.148.020 στρέμματα, οι δενδρώδεις υγρότοποι 366.742 στρέμματα, οι βοσκότοποι και οι περιοχές με ποώδη βλάστηση 4.350.682 στρέμματα. Ιδιαίτερα εμφανείς είναι και οι τεχνικά διαμορφωμένες περιοχές ( αστικές και βιομηχανικές ) κατατασσόμενες στις ελεύθερες εκτάσεις 2.426.046 στρέμματα, στις περιοχές χαμηλής πυκνότητάς δόμησης που αντιστοιχούν σε 1.695.232 στρέμματα, μέσης πυκνότητας 479.639 στρέμματα και δευτερευόντως στις περιοχές υψηλής πυκνότητας όπως είναι τα αστικά κέντρα με 178.577 στρέμματα. Αναλυτική παρουσίαση της εδαφοκάλυψης ακολουθεί στον χάρτη της αγροτικής υπηρεσίας των ΗΠΑ, ο οποίος περιλαμβάνει 31 κατηγορίες εδαφοκαλύψεων.



**ILLINOIS**  
**Land Cover**  
**2007**  
U.S. Department of Agriculture  
National Agricultural Statistics Service



Land Cover Category	Acres
<b>Row Crops</b>	
Corn	11,703,821
Rice	532
Sorghum	26,352
Soybeans	6,885,296
Sunflowers	358
Tobacco	26
<b>Grains, Hay, Seeds</b>	
Win. Wht./Soyb. Dbl. Cropped	464,960
Barley	136
Spring Wheat	142
Winter Wheat	216,283
Other Small Grains	3
Rye	355
Oats	6,257
Millet	59
Alfalfa	51,051
<b>Other Crops</b>	
Dry Beans	5,851
Potatoes	3,163
Other Crops	6,080
Misc. Veggies. & Fruits	37,935
Peas	2,173
Clover/Wildflowers	2,598
<b>Open Non-Crop</b>	
Fallow/Idle Cropland	10,181
Grass/Pasture/Non-Ag	410,945
Woodland	9,949
<b>Tree Crops</b>	
Peaches	9
Apples	9
Christmas Trees	5
<b>Other Non-Crop</b>	
Wetlands	43,836
<b>NLCD Derived, Non-Crop</b>	
NLCD - Open Water	621,874
NLCD - Developed/Open Space	2,426,046

Στην δεξιά εικόνα η έντονη γραφή δηλώνει τις κατηγορίες, που αντιστοιχούν σε κάλυψη άνω του 1% τις συνολικής έκτασης της πολιτείας. Λόγοι χαρτογραφικής οπτικοποίησης επιβάλλουν κοντινές κατηγορίες, οι οποίες δεν αντιστοιχούν σε μεγάλες εκτάσεις, να έχουν το ίδιο χρώμα είτε με συναφείς κατηγορίες μικρών εκτάσεων είτε με συναφείς κατηγορίες που καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις.

### 3.1.3 Τηλεπισκοπικά Δεδομένα

Τα διαθέσιμα τηλεπισκοπικά δεδομένα εκτείνονται στο σύνολο των δορυφορικών λήψεων του δορυφορικού συστήματος MODIS από την στιγμή που άρχισε η λειτουργία του δηλ.την πρώτη Απριλίου του 2001. Οι εικόνες των λήψεων παρέχονται δωρεάν και άνευ χρεώσεων από τον ιστότοπο του MODIS υπό τη μορφή τεσσάρων αρχείων σε τυποποίηση hdf. Το πρώτο αρχείο περιέχει τα κανάλια R1 και R2 με χωρική ανάλυση 250 μέτρων. Το δεύτερο αρχείο περιέχει τα επόμενα 5 κανάλια R3 , R4 , R5 ,R6 και R7 με χωρική ανάλυση 500 μέτρων. Το τρίτο αρχείο περιέχει υπόλοιπα κανάλια με χωρική ανάλυση των 1000 m. Το τέταρτο και τελευταίο αρχείο περιέχει πληροφορίες για τα υπόλοιπα, όπως ο αριθμός των φατνίων στηλών και των γραμμών τους, το γεωγραφικό μήκος και πλάτος των ακρών τους, το μέγεθος της εδαφοψηφίδος τους καθώς και άλλα στοιχεία, απαραίτητα για την περαιτέρω επεξεργασία των εικόνων. Σημαντικά τηλεπισκοπικά δεδομένα απετέλεσαν και οι δορυφορικές λήψεις των περιοχών μέτρησης της εδαφικής υγρασίας του Google Earth .

## 3.2 Προεπεξεργασία

### 3.2.1 Αντιστοίχιση δορυφορικών και επίγειων δεδομένων

Αρχικά βρέθηκε το χρονικό διάστημα εντός του οποίου έχουμε ταυτόχρονα δορυφορικές εικόνες και επίγειες μετρήσεις υγρασίας. Με σκοπό να γνωστοποιηθεί ποίο υποσύνολο των δεδομένων θα χρησιμοποιηθεί για να μπορέσουμε να εξάγουμε περιγραφικές σχέσεις της εδαφικής υγρασίας επί των δορυφορικών εικόνων του συστήματος MODIS. Τα επίγεια δεδομένα καλύπτουν την περίοδο από τις δεκαεννέα Φεβρουαρίου του έτους 1981 (19/2/1981) μέχρι τις τριάντα έκτου του έτους 2004 (30/6/2004). Πρέπει να σημειωθεί πως τα είκοσι τρία αυτά χρόνια είναι μια ιδιαίτερα μακρά περίοδος καταγραφής για το μέγεθος της εδαφικής υγρασίας. Τα δορυφορικά δεδομένα εκκινούν την πρώτη Απριλίου του 2001 και συνεχίζουν πέραν από τις τριάντα έκτου του έτους 2004. Συνεπώς η μελέτη στην παρούσα εργασία περιορίζεται στο χρονικό διάστημα από την πρώτη Απριλίου του 2001, ημερομηνία της πρώτης δορυφορικής λήψεως, μέχρι τις τριάντα έκτου του έτους 2004, ημέρα της τελευταίας καταγραφής εδαφικής υγρασίας. Το χρονικό διάστημα, στο οποίο επικεντρώθηκε η παρούσα εργασία, περιλαμβάνει 1139 καταγραφές της εδαφικής υγρασίας.

### 3.2.2 Εύρεση βέλτιστων εικόνων MODIS

Για να έχουμε την καλύτερη φασματική πληροφορία καθώς και την μικρότερη παρεμβολή στην απεικόνιση του μεγέθους της εδαφικής υγρασίας, θα πρέπει να πληρούνται οι προϋποθέσεις τόσο ως προς τα χαρακτηριστικά της εικονιζόμενη στιγμής της φυσικής πραγματικότητας όσο και ως προς τις τεχνικές προδιαγραφές, για το πως η φυσική πραγματικότητα εμφανίζεται κατά την λήψη .

Α) Προϋποθέσεις της φυσικής πραγματικότητας την στιγμή λήψης :

α. Να μην υπάρχει νεφοκάλυψη ή, εάν αυτό δεν είναι δυνατόν, η νεφοκάλυψη να περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατόν. Τα νέφη εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στο έδαφος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην φτάνει στον δέκτη ανακλώμενη ακτινοβολία από το έδαφος, που περιέχει και την πληροφορία για την εδαφική υγρασία, αλλά ανακλώμενη ακτινοβολία από τα σύννεφα.

β. Να μην υπάρχει υγρασία στην ατμόσφαιρα, η οποία στις εικόνες γίνεται αντιληπτή ως ελαφρά



αχλή. Η ατμοσφαιρική υγρασία έχοντας παρόμοια χαρακτηριστικά με την εδαφική υγρασία επηρεάζει την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία από τη επιφάνεια του εδάφους, με αποτέλεσμα να αλλοιώνεται και η πληροφορία περί της εδαφικής υγρασίας .

γ. Να μην έχουν προηγηθεί ισχυρές βροχοπτώσεις ή βροχοπτώσεις μικρότερης έντασης αλλά πολύ πρόσφατες. Με αποτέλεσμα το έδαφος να έχει υπερβεί την υδατοϊκανότητά του και μεγάλες ποσότητες νερού να παραμένουν στην επιφάνεια. Η ανακλώμενη τότε ακτινοβολία μας δίνει πληροφορία όχι για το έδαφος αλλά για την υπερκείμενη στρώση νερού.

Β) Προϋποθέσεις της απεικόνισης της περιοχής στην δορυφορική λήψη

δ. Να μην εμφανίζεται η εξεταζόμενη περιοχή στα άκρα της εικόνας, διότι έτσι μειώνεται η ραδιομετρική της ακρίβεια και συνεπώς η ακρίβεια της απεικόνιση του μεγέθους της εδαφικής υγρασίας.

Πίνακας 6: Δορυφορικές εικόνες ειλημμένες υπό της κατάλληλες γεωγραφικές και κλιματικές συνθήκες για την παρούσα μελέτη

Χρονική περίοδος	Αριθμός εικόνων
01/01/2004 με 30/06/2004	182
01/01/2003 με 31/12/2003	365
01/01/2002 με 31/12/2002	356
01/04/2003 με 31/12/2001	210
31/12/2001 με 30/06/2004(συνολικό χρονικό διάστημα δεδομένων )	1113

Η διαδικασία επιλογής των βέλτιστων δορυφορικών εικόνων βασίστηκε στην χρήση των τεσσάρων κριτηρίων που ανεφέρθησαν παραπάνω. Η πλήρης και αυστηρή χρήση τους δεν κατέστη πλήρως εφικτή, διότι οι δορυφορικές μετρήσεις αντιστοιχούν σε αρκετά λιγότερες εικόνες από τις 1113, ενώ παρά το μεγάλο πλήθος διαθέσιμων εικόνων ελάχιστες πληρούσαν τα τέσσερα κριτήρια αξιοπιστίας της :

1. Πλήρους ηλιοφάνειας (έλλειψης νεφών).
2. Πλήρους ξηράς ατμόσφαιρας (απουσία υγρασίας).
3. Απουσίας κατακρημνισμάτων για μερικές ημέρες .
4. Εμφάνισης της περιοχής στο κέντρο της απεικόνισης .

Επιπλέον η εξασφάλιση του τρίτου κριτηρίου κρίθηκε αποφευκτέα διότι απαιτεί την μελέτη των διαγραμμμάτων βροχοπτώσεως της πολιτείας για μία ιδιαίτερα μακρά περίοδο. Με αυτές τις παραδοχές και περιορισμούς επελέγη η αυστηρή χρήση του πρώτου και δεύτερου κριτηρίου και όπου ήταν δυνατόν η ικανοποίηση και του τέταρτου κριτηρίου. Αφού βρέθηκαν ποιές από τις 1113 δορυφορικές εικόνες αντιστοιχούν σε επίγειες μετρήσεις, ελέγχθηκαν ποιες από αυτές ανταποκρίνονται στα κριτήρια αξιοπιστίας και τελικά επελέγησαν επτά εικόνες, τα στοιχεία των οποίων εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7: Τελικώς επιλεγείσες δορυφορικές λήψεις.

Αριθμός εικόνας /Ονομασία	Ημερομηνία λήψης	Δορυφόρος προελεύσεως	Αριθμός μετρήσεων
1	13/3/2004	aqua	2
2	12/03/04	aqua	6
3	14/4/2004	aqua	9
4	26/2/2004	terra	5
5	26/4/2001	terra	2
6	27/2/2004	aqua	2
7	30/7/2002	terra	7

Συνολικά και στις επτά δορυφορικές λήψεις εμφανίζονται 33 μετρήσεις εδαφικής υγρασίας διεσπαρμένες σε όλη την έκταση της πολιτείας του Ιλινόις και εντεινόμενες σε τρεις εποχές το θέρος, τον χειμώνα και την άνοιξη. Σε κάθε εικόνα αντιστοιχούν μετρήσεις αρκετών σταθμών. Η αντιστοιχία θα φανεί στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 8: Κατάλογος σταθμών με μετρήσεις σε έκαστη δορυφορική λήψη.

Αριθμός εικόνας / ονομασία	Σταθμοί επί της εικόνας
1	1,81
2	2,5,11,13,14,15
3	3,4,6,8,9,10,12,16,34
4	5,12,13,15,34
5	15,34
6	2,11
7	4,6,8,9,12,16,34

### 3.2.3 Γεωαναφορά εικόνων

Οι εικόνες του δορυφορικού συστήματος MODIS παρέχονται στο κοινό στην μορφή της λήψης τους, χωρίς να έχουν μετατραπεί, ώστε να συμφωνούν με κάποιο γήινο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς.

Σε αυτή την μορφή οι εικόνες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν διότι δεν περιέχουν πληροφορίες για την θέση στην οποία αντιστοιχεί κάθε φατνίο ( pixel) στο έδαφος. Η ταύτιση της εικόνας με ένα γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς καλείται γεωαναφορά και επιτυγχάνει την εισαγωγή γεωγραφικής πληροφορίας στην εικόνα.

Παρότι το ER mapper, εντός του οποίου έγινε η φασματική επεξεργασία των εικόνων για την εξαγωγή της εδαφικής και φυτικής υγρασίας, μπορεί να επεξεργαστεί εικόνες τυποποίησης hdf



, η γεωαναφορά επελέγη να εκτελεστεί σε ένα από τα εγγενή εργαλεία του δορυφορικού συστήματος MODIS. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε το swath reprojection tool του MODIS στην έκδοσή του για linux. Ένα δωρεάν ελεύθερο λογισμικό που παρέχεται από την διεύθυνση <https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/tools> της Αμερικανικής κυβέρνησης. Απαραίτητη προϋπόθεση για την παροχή του συγκεκριμένου προγράμματος είναι η δημιουργία λογαριασμού στον συγκεκριμένο ιστότοπο.

Χρήση swath reprojection tool :

Αυτή είναι η διεπιφάνεια του προγράμματος

Εισαγωγή αρχείων προς γεωαναφορά

The screenshot shows the ModisSwathTool interface with the following labels:

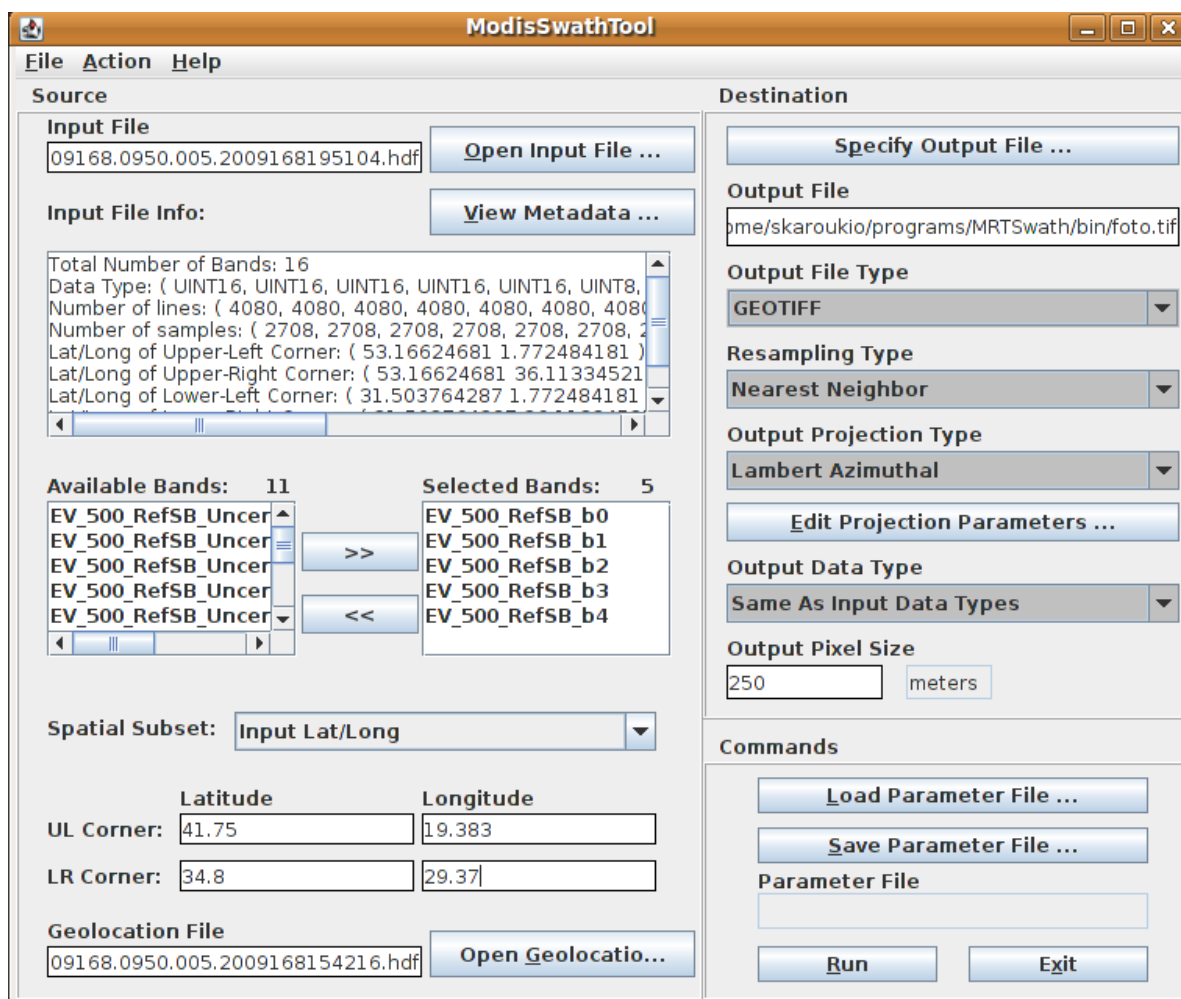
- Επιλογή καναλιών που θέλουμε να μετασχηματίσουμε**: Points to the 'Input File Info' section.
- Ορισμός περιοχής του αρχικού αρχείου που θα γεωαναφερθεί**: Points to the 'Spatial Subset' dropdown menu.
- Φόρτωση του τέταρτου αρχείου, με τα μεταδεδομένα**: Points to the 'Open Input File ...' button.
- Μέγεθος εδαφοψηφίδος εξαγόμενου αρχείου**: Points to the 'Output Pixel Size' input fields.
- Εκτέλεση Γεωαναφοράς**: Points to the 'Run' button.
- Καθορισμός του ελλειψοειδούς και άλλων στοιχείων για τη προβολή**: Points to the 'Output Projection Type' dropdown menu.
- Όνομα εξαγόμενου αρχείου**: Points to the 'Specify Output File ...' button.
- Τυποποίηση (format) εξαγόμενου αρχείου**: Points to the 'Output File Type' dropdown menu.
- Μέθοδος ανασύστασης εικόνας**: Points to the 'Resampling Type' dropdown menu.
- Είδος προβολής επί της οποίας θα βασιστεί η γεωαναφορά**: Points to the 'Output Projection Type' dropdown menu.

Γεωαναφέρθηκαν τα επτά πρώτα κανάλια από τις επτά τελικές εικόνες που επελέγησαν.

Γεωαναφέραμε το πρώτο και το δεύτερο αρχείο χρησιμοποιώντας τα ως input file , διαδοχικά το ένα μετά το άλλο. Το αρχείο γεωαναφοράς είναι το ίδιο και για τα δύο κανάλια και είναι το τέταρτο κατά σειράν αρχείο. Το εξαγόμενο φατνίο ορίστηκε στα 250 μέτρα. Η τιμή αυτή επιλέχθηκε παρότι το δεύτερο αρχείο είναι αδρότερης ανάλυσης με εδαφοψηφίδα 500 μέτρων, διότι κατά τις πράξεις των λόγων θα μπορούσαμε να εκμεταλλευτούμε την λεπτομερέστερη ανάλυση των καναλιών που περιέχονται στο πρώτο αρχείο. Ως τυποποίηση του εξαγόμενου αρχείου ορίστηκε η GEOTIFF.

Ως μέθοδος ανασύνταξης της ραδιομετρίας της εικόνας ( ανάπλαση -resample) ορίστηκε η μέθοδος της εγγύτερης γειννίας, διότι αφήνει ανέπαφη την αρχική ραδιομετρία της εικόνας πέραν κάποιων μικρομεταθέσεων. Ο τύπος των εξαγόμενων δεδομένων ορίστηκε ίδιος με τον τύπο των εισαγόμενων αρχείων ενώ είχαμε την δυνατότητα κωδικοποίησης 8 bit και 16 bit. Ως επιλογή προβολής στο αντίστοιχο πεδίο του προγράμματος ορίστηκε η επιλογή geographic (δηλαδή η μη εφαρμογή κάποιας προβολής ) και ως ελλειψοειδές επελέγη το WGS84. Τέλος εκτελέσθη η γεωαναφορά.

Παράδειγμα διεπιφάνειας προγράμματος για την γεωαναφορά του δεύτερου αρχείου:



Εικόνα 1: Διεπιφάνεια MODIS Swath Reprojection Tool.

Με την επεξεργασία των δεδομένων μας από το swath reprojection tool του MODIS δημιουργείται ένα αρχείο tif για κάθε κανάλι που γεωαναφέραμε.



### 3.3 Υπολογισμός δεικτών υγρασίας

Η κατασκευή των δεικτών υγρασίας έγινε στο περιβάλλον του πακέτου er mapper κατά τα ακόλουθα βήματα.

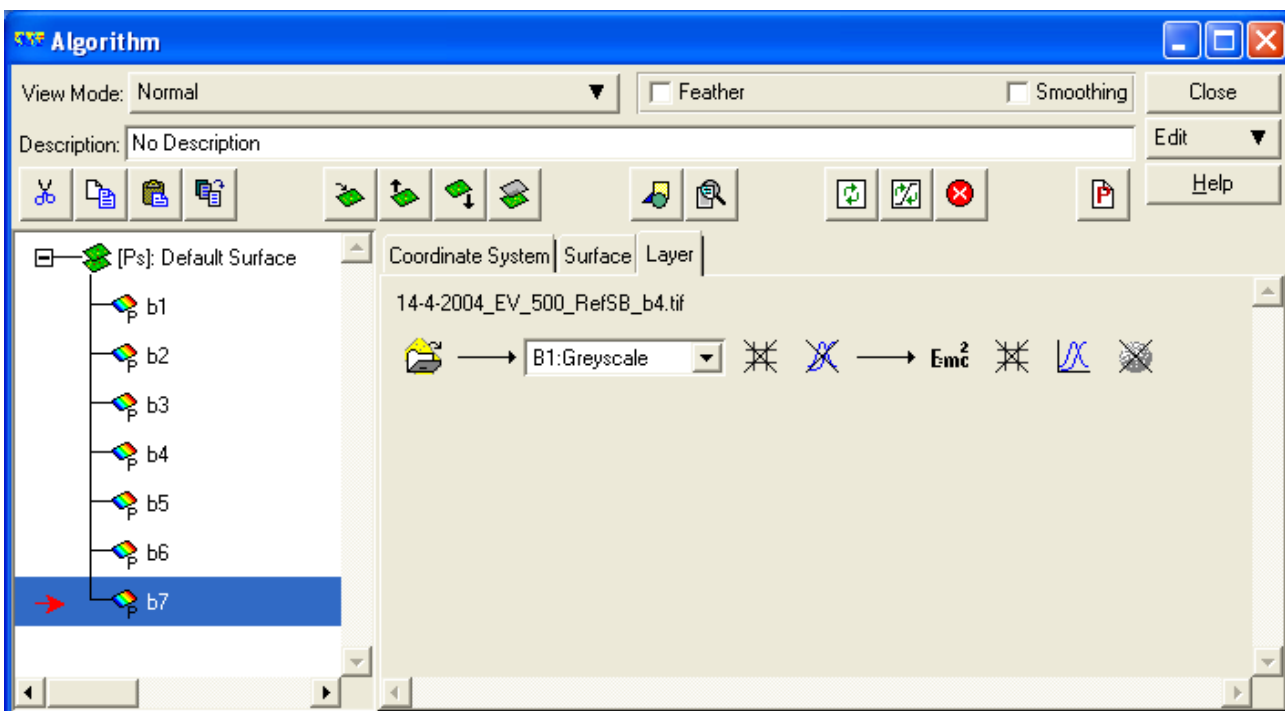
A. Εισαγωγή των γεωαναφερθέντων εικόνων εντός του πακέτου επεξεργασίας εικόνων er mapper .

- Με την εντολή view/algorithm του κύριου μενού του er mapper εμφανίζεται το παράθυρο του αλγορίθμου. Κατόπιν πατώντας το εικονίδιο φάκελο (Load image) ανοίγει η διαχείριση αρχείων .



Εικόνα 2: Κεντρικό μενού ER Mapper.

- Ορίζονται 7 pseudo layer, όσα και τα κανάλια που απαιτούνται να αποθηκευτούν, τα οποία χαρακτηρίζονται με διαφορετικά ονόματα.



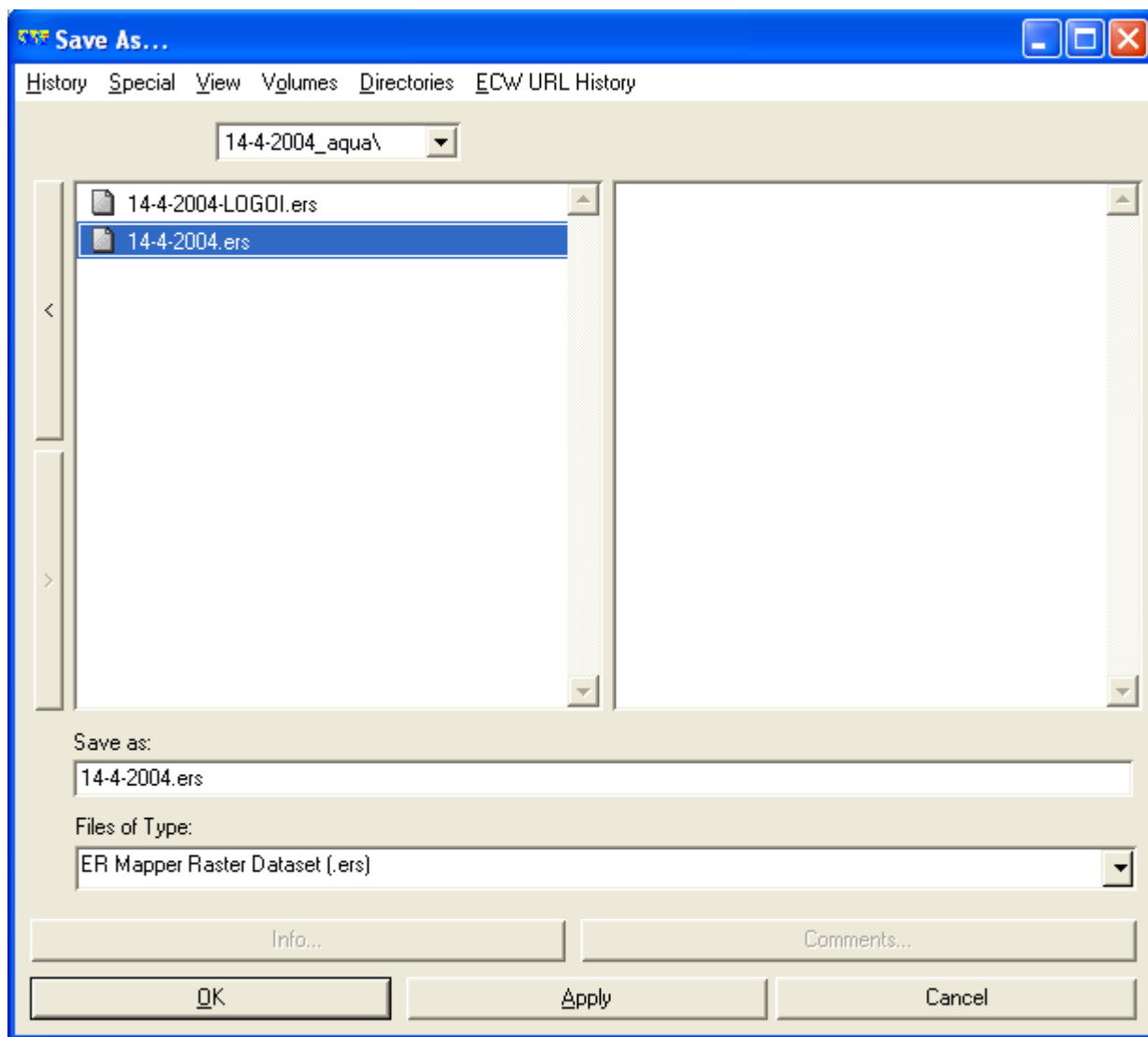
Εικόνα 3: Παράθυρο αλγορίθμου ER Mapper.

- Επιλεγέντος pseudo layer με το πάτημα του εικονιδίου φάκελος (Load image) ανοίγεται η διαχείριση αρχείων.
- Στην διαχείριση αρχείων επιλέγουμε από τα 7 αρχεία τυποποίησης tiff (που προέκυψαν κατά την γεωαναφορά στο swath reprojection tool ) εκείνο, το οποίο περιέχει την μάντα που έχει ορισθεί να εισαχθεί στο pseudo layer και που τελεί υπό επεξεργασία.

- Η διαδικασία των παραπάνω δύο βημάτων επαναλαμβάνεται και για τα υπόλοιπα 6 pseudo layer.

B .Μετατροπή των tiff εικόνων σε τυποποίηση .ers .

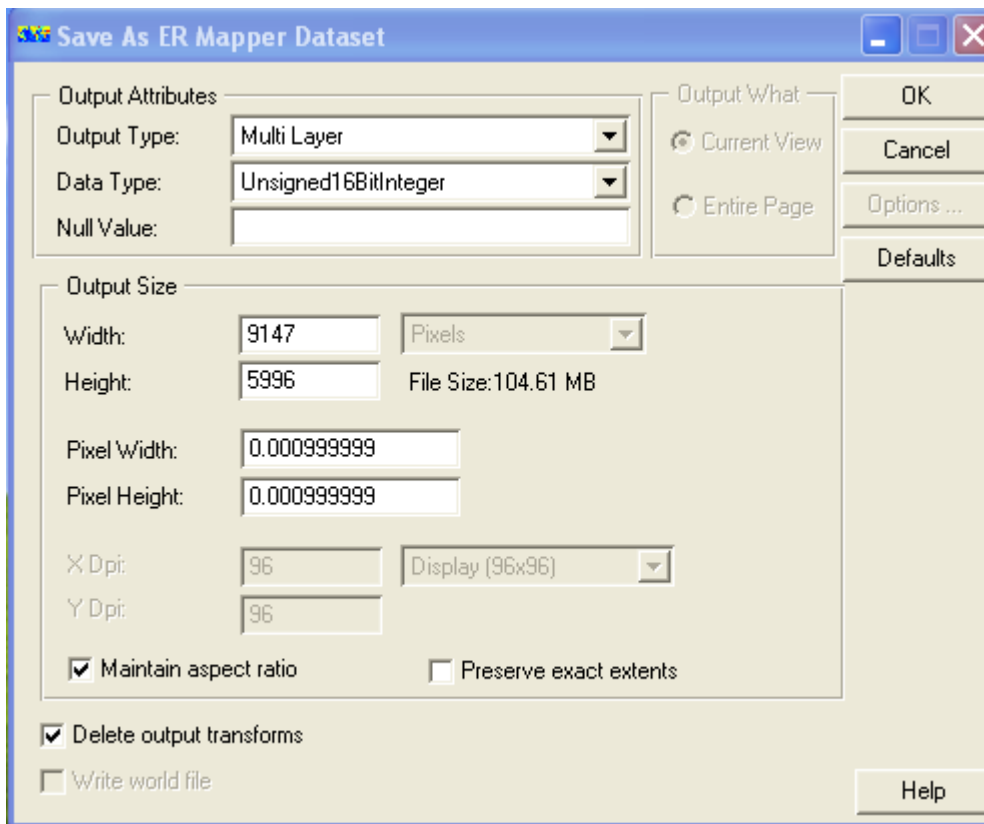
- Αφότου ολοκληρώθηκε η φόρτωση σε κάθε pseudo layer της αντίστοιχης μπάνας, απαλείφονται οι μετασχηματισμοί από κάθε pseudo layer.
- Με την εντολή file/save as του κύριου μενού του er mapper εμφανίζεται το παράθυρο αποθήκευσης αρχείων.
- Στο πεδίο save as ορίζεται το όνομα με το οποίο θα αποθηκευθεί το αρχείο. Στο πεδίο files to type επιλέγεται η τυποποίηση του αρχείου, η οποία για της ανάγκες της εργασίας ορίστηκε σε Er Mapper Raster Dataset (.ers).



Εικόνα 4: Παράθυρο αποθήκευσης ανοίγματος αρχείων του ER Mapper.

- Επισημαίνοντας την επιλογή OK στο προηγούμενο παράθυρο γίνεται ορατό ένα νέο παράθυρο με επιπλέον επιλογές αποθήκευσης. Επί του πεδίου Output Type επιλέγεται η τιμή Multi Layer ώστε το εξαγόμενο αρχείο να περιέχει ίσο αριθμό καναλιών με τα pseudo

layer που έχουμε ορίσει. Στο πεδίο Data type επιλέγεται η τιμή Unsigned16BitInteger γιατί το νέο αρχείο περιέχει απλώς θετικές ακέραιες τιμές, αφού προέρχεται από αρχεία εικόνων κλίμακας του γκρι gray scale τυποποίησης tiff. Κατόπιν επικυρώνονται οι επιλογές πατώντας OK και αρχίζει η διαδικασία εγγραφής του αρχείου.

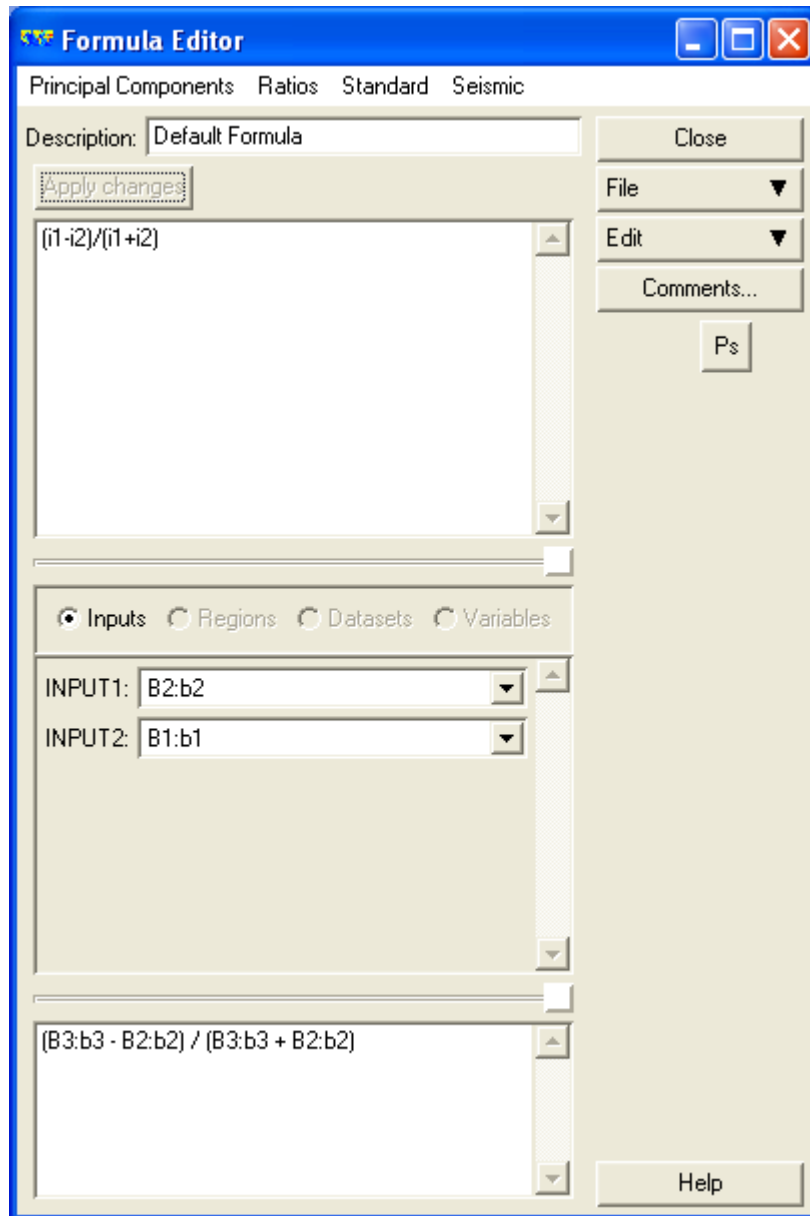


Εικόνα 5: Παράθυρο επιλογής χαρακτηριστικών αποθηκευόμενων εικόνων στο ER Mapper.

- Το αρχείο που θα προκύψει περιέχει 7 μπάντες με τα ονόματα των pseudo layer, που δόθηκαν και έχει τυποποίηση Er Mapper Raster Dataset (.ers).

### C. Κατασκευή των δεικτών υγρασίας

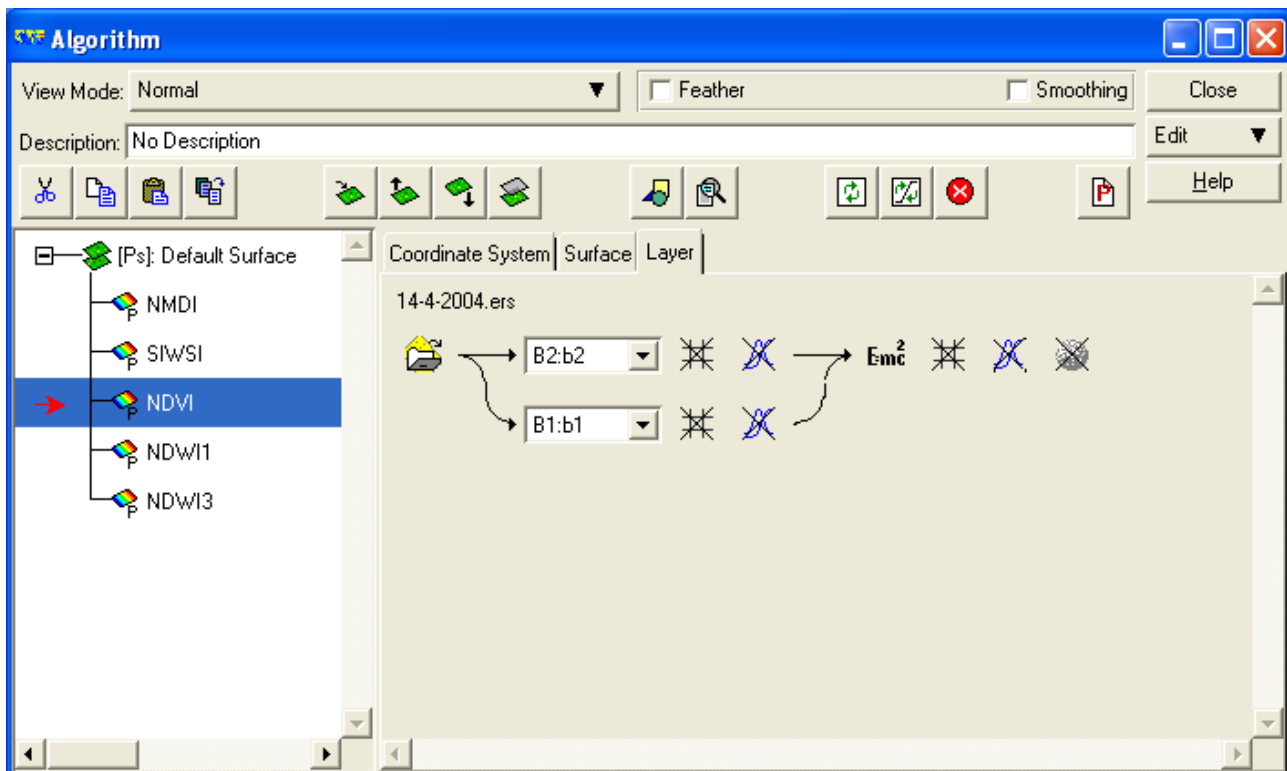
- Με την εντολή view/algorithm του κύριου μενού του er mapper ανοίγουμε ένα νέο παράθυρο αλγορίθμου. Κατόπιν πατώντας το εικονίδιο φάκελο (Load image) εμφανίζεται η διαχείριση αρχείων από όπου επιλέγεται να ανοιχθεί το αρχείο, που μόλις αποθηκεύτηκε και περιέχει τις 7 μπάντες.
- Εντός του παραθύρου αλγορίθμου ανοίγουμε 5 pseudo layer, όσα ακριβώς και οι λόγοι που θέλουμε να κατασκευάσουμε, σε ένα από των οποίων δίνεται το όνομα του δείκτη που θα καταχωρηθεί εντός του.
- Επιλέγεται το πρώτο κατά σειράν pseudo layer. Έπειτα με επισήμανση της επιλογής  $E=m*c^2$  ανοίγει το παράθυρο Formula editor. Εκεί ορίζεται ο δείκτης σχηματίζοντας τον τύπο του και αμέσως παρακάτω επιλέγονται τα κανάλια, που θα συμμετέχουν σε αυτόν.



Εικόνα 6: Παράθυρο κατασκευής λόγων στο ER Mapper

- Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τα υπόλοιπα pseudo layer με σχηματισμό κάθε φορά του αντίστοιχου δείκτη, που ορίστηκε να καταχωρηθεί σε κάθε pseudo layer.





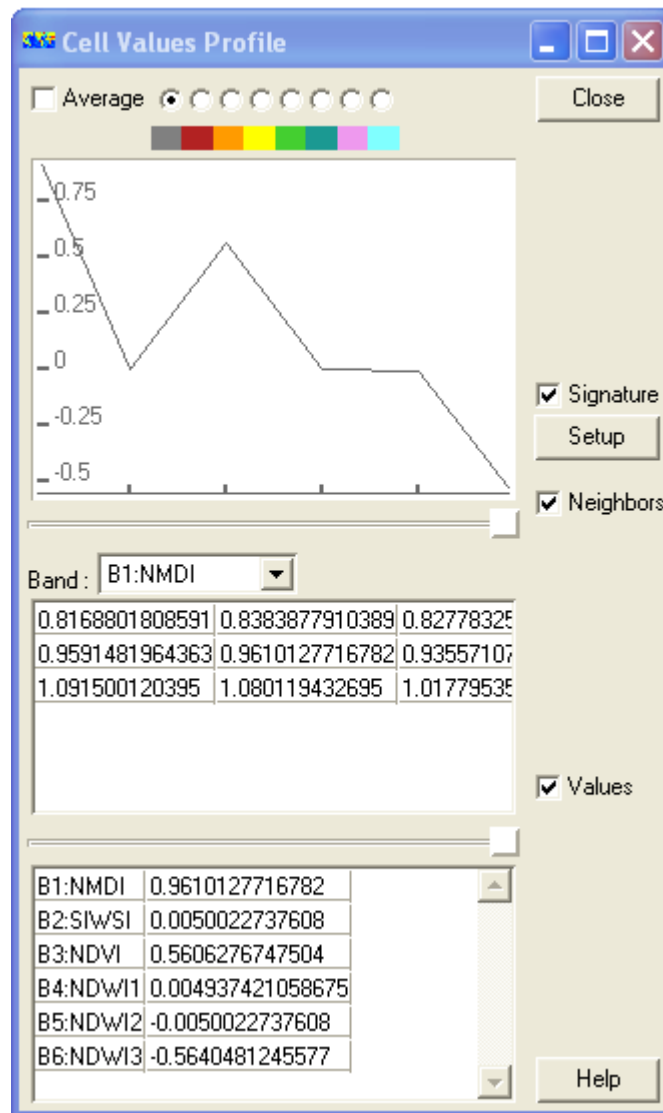
Εικόνα 7: Παράθυρο αλγορίθμου ER Mapper.

- Ακολουθείται η ίδια ακριβώς διαδικασία αποθήκευσης, όπως στο στάδιο Α, απλώς εδώ στο πεδίο Data type επιλέγεται η τιμή IEEE8ByteReal. Τούτο διότι το νέο αρχείο περιέχει γενικά πραγματικούς αριθμούς. Οι αριθμοί αυτοί έχουν προκύψει από τις πράξεις που ορίζουν οι δείκτες επί των θετικών ακέραιων τιμών των καναλιών, επειδή οι τιμές τους προέρχονται από αρχεία εικόνων κλίμακας του γκρι (gray scale) και τυποποίησης tiff.

#### D. Μέτρηση των τιμών των δεικτών στις εικόνες

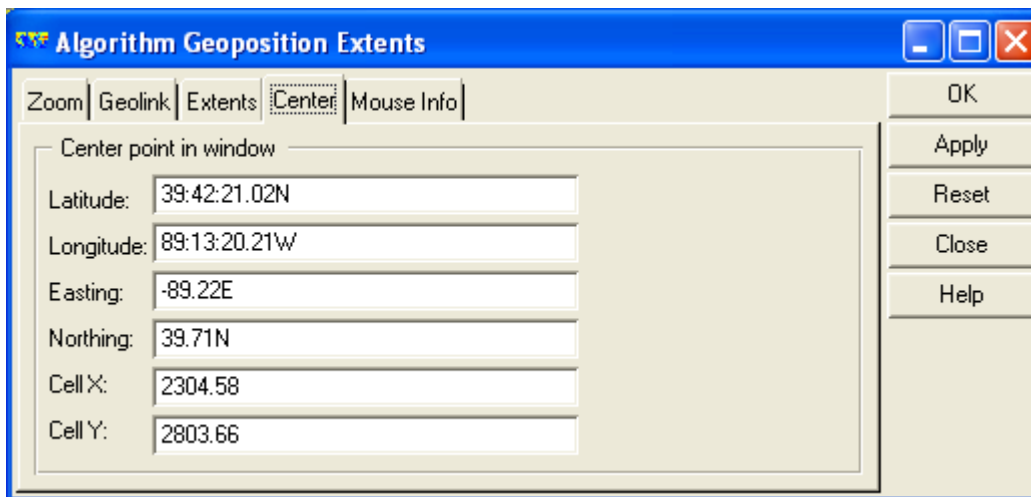
- Επί του παραθύρου παρουσίασης των εικόνων, που ανοίγει ταυτόχρονα με το παράθυρο αλγορίθμου με αριστερό κλικ εντός της κενής του περιοχής, αναδύεται ένας κατάλογος επιλογών. Επισημαίνονται σε πρώτο και δεύτερο χρόνο οι επιλογές pointer και Cell Values Profile. Η πρώτη επιλογή δίνει στον κέρσορα την δυνατότητα να επιλέγει μεμονωμένα εικονοστοιχεία ενώ η δεύτερη ανοίγει παράθυρο, που πληροφορεί για τις φασματικές τιμές των εικονοστοιχείων σε κάθε μπάντα της εικόνας. Επιπλέον από το παράθυρο αλγορίθμου επιλέγουμε το κουμπί με τον χαρακτηρισμό Geoposition Window (μεγεθυντικός φακός), το οποίο εισάγει τον χρήστη στο παράθυρό Algorithm Geoposition Extends επί του οποίου και επισημαίνεται η επιλογή center.





Εικόνα 8: Παράθυρο ανάγνωσης φασματικών χαρακτηριστικών φατνίων εικόνων στο ER Mapper.

- Ακολούθως στο παράθυρο της εικόνας γίνεται εστίαση κάτω από τις διαστάσεις μεγέθους του εικονοστοιχείου εικόνας.
- Μετά στο παράθυρο Algorithm Geoposition Extends, με επισημασμένη την επιλογή center, εισάγονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου που ορίστηκε να μετρηθεί η φασματική απόκριση στους δείκτες και επικυρώνεται η εισαγωγή με την εντολή ( apply). Πλέον το παράθυρο της εικόνας θα έχει κεντραριστεί στο σημείο που εισήχθη.



Εικόνα 9: Παράθυρο καθορισμού θέσης φατνίων στο ER Mapper.

- Τέλος με τον κέρσορα επιλέγεται η περιοχή της εικόνας που απεικονίζεται και στο παράθυρο Cell Values Profile εμφανίζεται η τιμή του εικονοστοιχείου, που επελέγη σε όλα τα κανάλια του αρχείου και που στην αυτή περίπτωση ταυτίζονται με τους λόγους.

### 3.4 Αποτελέσματα μετρήσεων δεικτών

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί. Η πρώτη στήλη περιέχει τον αύξοντα αριθμό της μέτρησης, η δεύτερη το έτος, η τρίτη το μήνα και η τέταρτη την ημέρα κατά την οποία διενεργήθηκε η μέτρηση. Η πέμπτη στήλη περιέχει τον σταθμό από τον οποίο έγινε η κάθε μέτρηση και η τρίτη στήλη περιέχει την εδαφική υγρασία, που έχει προκύψει από τις μετρήσεις πεδίου, εκφρασμένη σε ισοδύναμο ύψος εδαφικού νερού. Τέλος οι υπόλοιπες στήλες περιέχουν την τιμή κάθε δείκτη στο φατνίο, το οποίο αντιστοιχεί στην θέση της επιτόπιας μέτρησης σε εικόνα που έχει ληφθεί την ίδια μέρα.

Πίνακας 9: Συγκεντρωτικός κατάλογος επίγειων μετρήσεων εδαφικής υγρασίας και τιμών δορυφορικών δεικτών.

α.α.	ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΗΜΕΡΑ	ΣΤΑΘΜΟΣ	ΥΓΡΑΣΙΑ	NMDI	SIWIS	NDVI	NDWI1	NDWI3
1	2004	3	10	1	37,62	0,6457	0,2093	0,4748	-0,1358	-0,6223
2	2004	3	10	81	34,55	1,0309	-0,0309	0,5687	0,0229	-0,5474
3	2004	3	12	2	39,97	0,5771	0,0024	0,6219	0,1516	-0,6233
4	2004	3	12	5	45,34	0,8011	0,2929	0,4784	-0,2641	-0,6765
5	2004	3	12	11	40,74	0,6928	-0,0474	0,5896	0,1574	-0,5578
6	2004	3	12	13	35,29	0,6259	-0,0259	0,5245	0,1632	-0,5055
7	2004	3	12	14	35,24	0,8667	0,1584	0,4743	-0,1323	-0,5885
8	2004	3	12	15	42,95	1,2903	0,1612	0,4990	-0,2035	-0,6110
9	2004	4	14	3	42,38	0,7804	0,1502	0,4861	-0,1032	-0,5930
10	2004	4	14	4	24,62	0,7847	0,1082	0,4638	-0,0575	-0,5447
11	2004	4	14	6	19,48	0,9051	0,2491	0,4228	-0,2348	-0,6079
12	2004	4	14	8	20,84	0,8185	0,2814	0,4424	-0,2547	-0,6437
13	2004	4	14	9	24,49	0,9947	0,0671	0,5715	-0,0659	-0,6150
14	2004	4	14	10	32,09	0,6732	-0,1663	0,6437	0,3162	-0,5346
15	2004	4	14	12	42,2	0,6819	0,0334	0,5440	0,0639	-0,5671
16	2004	4	14	16	10,63	0,4571	0,1314	0,5001	0,0362	-0,5926
17	2004	4	14	34	38,76	0,6753	-0,0657	0,5446	0,1884	-0,4966
18	2004	2	26	5	47,64	0,3435	0,2430	0,3724	-0,0712	-0,5644
19	2004	2	26	12	59,47	0,6110	-0,0997	0,4509	0,2680	-0,3678
20	2004	2	26	13	55,24	0,6555	0,1164	0,4643	-0,0270	-0,5510
21	2004	2	26	15	45	0,5881	0,2423	0,4161	-0,1597	-0,5981
22	2004	2	26	34	47,34	0,7706	0,0455	0,4299	0,0174	-0,4663
23	2001	4	26	5	35,16	0,6366	0,2098	0,4553	-0,1338	-0,6071
24	2001	4	26	34	26,6	0,5718	-0,0203	0,5571	0,1850	-0,5429
25	2001	4	26	13	31,9	0,5327	0,0172	0,5770	0,1560	0,5884
26	2001	4	26	15	44,62	0,6366	0,2098	0,4553	-0,1338	-0,6071
27	2001	4	26	12	30,28	0,5173	-0,0145	0,5945	0,2098	-0,5850
28	2004	2	27	2	42,8	0,6721	-0,0013	0,5905	0,1103	-0,5897
29	2004	2	27	11	39,11	0,6366	-0,0331	0,5579	0,1670	-0,5346
30	2002	7	30	4	19,82	0,5506	-0,3052	0,8491	0,6096	-0,7341
31	2002	7	30	6	23,06	0,5648	-0,3893	0,8735	0,7219	-0,7337
32	2002	7	30	8	26,07	0,5798	-0,4089	0,8647	0,7338	-0,7051
33	2002	7	30	9	23,68	0,5942	-0,2539	0,7807	0,4920	-0,6570
34	2002	7	30	12	13,34	0,5437	-0,1005	0,6668	0,3143	-0,6064
35	2002	7	30	16	21,58	0,5250	-0,3082	0,8005	0,6429	-0,6536

### 3.5 Στατιστική ανάλυση δεικτών υγρασίας

#### 3.5.1 Επιλογή στατιστικής μεθόδου

Ως η πλέον ενδεδειγμένη μέθοδος για την στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων κρίθηκε αυτή της απλής παλινδρόμησης γραμμικού και μη γραμμικών τύπων. Οι λόγοι που οδήγησαν σε αυτή την επιλογή μπορούν να συνοψιστούν :

- **Στην απλότητα της μεθόδου.** Αφού δεν απαιτεί τον υπολογισμό περίπλοκων στατιστικών μεγεθών και πινάκων με αποτέλεσμα να εκτελείται εύκολα, σε απλές λογιστικές εφαρμογές χωρίς την χρήση πολύπλοκων στατιστικών πακέτων. Δίνεται λοιπόν η δυνατότητα άμεσης εφαρμογής της μεθόδου σε όποιον το επιθυμεί.
  
- **Στην σύγκριση μεταξύ μόνον δύο μεγεθών,** δηλαδή των επιγείων μετρήσεων εδαφικής υγρασίας και της τιμής των δεικτών που εστιάζουν στην ανάδειξη του φαινομένου της εδαφικής υγρασίας. Η απόφαση αυτή ελήφθη λόγω των λίγων μετρήσεων εδαφικής υγρασίας που πληρούν τα κριτήρια μη απόρριψης, γεγονός που δεν επιτρέπει τον ασφαλή συσχετισμό της κύμανσης της τιμής των διαφόρων δεικτών και με άλλα μεγέθη. Η δυσχερής αυτή συνέπεια προκύπτει επειδή ο μικρός πληθυσμός μας ( ζεύγη μετρήσεων εδαφικής υγρασίας και τιμών δεικτών ) δεν επιτρέπει την κατηγοριοποίηση των μετρήσεων σε ιδιαίτερες ομάδες, αναλόγως με τις συνθήκες διενέργειάς τους. Δεν δυνάμεθα λοιπόν να κατατάξουμε τις μετρήσεις ανάλογα με:
  - **Το είδος του εδάφους** στην περιοχή των σταθμών μέτρησης της υγρασίας. Παράγοντας ιδιαίτερος σημαντικός αφού το είδος του εδάφους επηρεάζει τα μέγιστα τις φασματικές ιδιότητες της γήινης επιφάνειας, ανεξάρτητα από την υγρασία που περιέχει. Με συνέπεια δύο εδάφη με τον ίδιο βαθμό υγρασίας να παρουσιάζουν διαφορετική φασματική τιμή φατνίου στην εικόνα των δεικτών.
  - **Την θέση του σταθμού στην πολιτεία** (βόρειο - νότιο Ιλινόις ), η οποία λόγω του μεγάλου μεγέθους της ορίζει την κλιματική ζώνη του σταθμού. Ανάλογα με την κλιματική ζώνη η επίδραση των εποχών διαφέρει. Επί παραδείγματι το καλοκαίρι είναι λιγότερο θερμό στον βορρά και ο χειμώνας πιο ψυχρός. Μεταβάλλεται έτσι το καλλιεργητικό ημερολόγιο (αργότερα ο θερισμός στο βορρά ), εμφανίζονται λιγότερες βροχοπτώσεις στο νότο άρα έχουμε πιθανώς ξηρότερα εδάφη κατά το θέρος.
  - **Το γειτονικό περιβάλλον των σταθμών.** Αν επί παραδείγματι βρίσκονται μέσα η κοντά σε αστικές ζώνες, αν γειτνιάζουν με μεγάλες μάζες νερού όπως είναι οι λίμνες και τα ποτάμια, εάν οι σταθμοί βρίσκονται κοντά η κάτω από μεγάλα δένδρα που σκεπάζουν το χώμα.
  - **Την εδαφοκάλυψη.** Η φασματική υπογραφή μεταξύ ενός δάσους και μια μονοετούς καλλιέργειας έχουν μεγάλες διαφορές. Ακόμη και οι φασματικές υπογραφές μεταξύ μονοετών καλλιεργειών εμφανίζουν σημαντικότερες διαφοροποιήσεις όπως επίσης και οι φασματικές υπογραφές της ίδιας καλλιέργειας στα διάφορα στάδια ανάπτυξης. Επιπλέον κάθε είδος δάσους εμφανίζει τον δικό του τύπο φασματικής απόκρισης, που για τα μεν φυλλοβόλα μεταβάλλεται ανάλογα με την εποχή του χρόνου ( ύπαρξη φύλλων ή απουσία των ). Ας σημειωθεί ότι αν το έδαφος καλύπτεται από δάση, μεγάλη είναι η πιθανότητα ο σταθμός να καλύπτεται από πυκνή βλάστηση, της οποίας την φασματική υπογραφή καταγράφουν οι εικόνες, με αποτέλεσμα να μην έχουμε ραδιομετρική πληροφορία για την υγρασία του εδάφους.

- **Την εποχή διενέργειας των μετρήσεων.** Ανάλογα με την εποχή ( άνοιξη , θέρος , φθινόπωρο και χειμώνα) η ατμόσφαιρα έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως π.χ. ποσοστά υδρατμών θερμοκρασία, πίεση, αιωρούμενα, σωματίδια. Επίσης ανάλογα με την εποχή το έδαφος έχει διαφορετικά επίπεδα υγρασίας, μεταβάλλονται ακόμη και οι ιδιότητες της φυτοκάλυψης ( πτώση φύλλων, ανάπτυξη σπαρτών και χόρτων ) ενώ μπορεί να μεταβάλλεται σε μεγάλες εκτάσεις η μορφή της επιφάνειας του εδάφους όπως π.χ. με το όργωμα. Όλες αυτές είναι μεταβολές, οι οποίες επηρεάζουν τις ιδιότητες της ακτινοβολίας που καταγράφει ο δέκτης τόσο κατά την ανάκλαση στο έδαφος όσο και κατά την διάδοσή της στην ατμόσφαιρά.
- **Την συγκυριακή κατάσταση της ατμόσφαιρας.** Εκτός της περίπτωσης της πλήρους νεφοκάλυψης, όπου δεν έχουμε πληροφορία από το έδαφος αλλά ως φαινόμενο γίνεται εύκολα αντιληπτό, η ύπαρξη ατμοσφαιρικής υγρασία και νεφών μεταβάλλει τις ραδιομετρικές ιδιότητες της ατμόσφαιρας (απορρόφηση) αλλοιώνοντας το αποτέλεσμα που καταγράφει ο δέκτης από τον οποίο λαμβάνονται πληροφορίες για την εδαφική υγρασία. Η αλλοίωση είναι ιδιαίτερα σημαντική γιατί τόσο τα νέφη όσο και η ατμοσφαιρική υγρασία έχουν υδατική προέλευση, με αποτέλεσμα να δημιουργούν παρόμοιες καταγραφές με την εδαφική υγρασία.
- **Το ιστορικό καταγραφής κατακρημνισμάτων.** Πρόσφατες βροχοπτώσεις ή και παλαιότερες ιδιαίτερα ισχυρές βροχοπτώσεις αυξάνουν μέσω της διήθησης την εδαφική υγρασία με ορατά αποτελέσματα κατά την στιγμή της λήψεως. Κατά αυτό τον τρόπο εμφανίζονται εικόνες με ιδιαίτερα φασματικά χαρακτηριστικά, που οφείλονται σε παράγοντες όπως το νοτισμένο χώμα, η υγρή ατμόσφαιρα κοκ. Οι ιδιαιτερότητες μπορούν να ενταθούν αν το έδαφος υπερβεί το όριο κορεσμού του ή αλλιώς την υδατοϊκανότητά του. Πέρα από την οριακή αυτή τιμή το νερό παύει να διηθείται και παραμένει στην επιφάνεια. Κατά αυτό τον τρόπο σχηματίζεται ένα στρώμα νερού, που μπορεί να μετατραπεί σε πλημμύρα. Σε αυτή την περίπτωση τα φασματικά χαρακτηριστικά της περιοχής μεταβάλλονται άρδην, αφού πλέον η ανακλώσα επιφάνεια ,της οποίας την φασματική πληροφορία λαμβάνουμε, είναι το νερό της επιφάνειας του εδάφους. Είναι πλέον αντιληπτός ο λόγος για τον αναγκαίο διαχωρισμό αυτών των εικόνων καθώς και την ξεχωριστή μελέτη τους ώστε να μην επηρεάσουν τις σχέσεις περιγραφής της εδαφικής υγρασίας, που θα προκύψουν από εικόνες με ορατό έδαφος.

Παρότι το μικρό μέγεθος του στατιστικού δείγματος (38 μετρήσεις) δεν επιτρέπει την κατηγοριοποίηση των μετρήσεων κατά την στατιστική επεξεργασία, οι κατηγοριοποιήσεις αυτές θα χρησιμοποιηθούν για την επιλογή των αξιόπιστων σημείων επί των οποίων μπορεί να στηριχθεί η εξαγωγή θεωρητικής σχέσης (νόμου) για τον υπολογισμό της εδαφικής υγρασίας εκ του μακρόθεν, μέσω των δορυφορικών απεικονίσεων MODIS, καθώς ακόμη και για να προσδιοριστούν κατά το δυνατόν τα πλαίσια στα οποία η στατιστική επεξεργασία δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα.

- **Στην ακριβή και εύληπτη διαγραμματική απεικόνιση του αποτελέσματος, που διευκολύνει την εποπτική αντίληψη του φαινομένου.**
- **Στην εξαγωγή απλών σχέσεων περιγραφής του φαινομένου.**
- **Στον άμεσο και αξιόπιστο έλεγχο των αποτελεσμάτων μέσω του συντελεστού συσχέτισης (R).**

### 3.5.2 Περιγραφή στατιστικής μεθόδου

Στα δεδομένα προσαρμόστηκαν οι καμπύλες παλινδρόμησης C. Ανεξάρτητη μεταβλητή (x) θεωρήθηκε η τιμή έκαστου δείκτη εντοπισμού της υγρασίας και ως εξαρτημένη η τιμή (y) της εδαφικής υγρασίας, που προέκυψε από εδαφικές μετρήσεις. Ο έλεγχος προσαρμογής βασίστηκε στις κατακόρυφες αποκλίσεις (d) μεταξύ της τιμής της εξαρτημένης μεταβλητής (y) και της αντίστοιχης τιμής της καμπύλης C για έκαστη τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής (x). Ειδικότερα ως μέτρο διαπίστωσης ποιότητας της προσαρμογής ορίστηκε η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετράγωνων των κατακόρυφων αποκλίσεων (d). Δηλαδή, εφαρμόστηκε η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων και η καμπύλη που προέκυψε καλείται καμπύλη παλινδρομήσεως ελαχίστων τετραγώνων ή απλά καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων. Με την αρχή αυτή μπορούν να προσαρμοστούν πολλοί τύποι καμπυλών, οι οποίες αναλόγως καλούνται ευθείες ελαχίστων τετραγώνων, παραβολές κοκ .

Η μαθηματική γραφή της συνθήκης που ορίζει την καμπύλη με την καλύτερη προσαρμογή είναι :

Κατά την στατιστική ανάλυση στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις τύποι καμπυλών ελαχίστων τετραγώνων, η ευθεία, η εκθετική, η λογαριθμική και η πολυωνυμική μορφή . Όλοι οι τύποι καμπυλών με την κατάλληλη χρήση των λογαριθμικών ιδιοτήτων καταλήγουν στην γραμμική μορφή, χωρίς την χρήση γραμμικοποιητικών μεθόδων αριθμητικής ανάλυσης, που μειώνουν την ακρίβεια του αποτελέσματος. Παρακάτω παρουσιάζονται οι σχέσεις για έκαστη μορφή καμπύλης.

#### Ευθεία ελαχίστων τετραγώνων

$$y = a + bx$$

Όπου

y : η εξαρτημένη μεταβλητή.

x : η ανεξάρτητη μεταβλητή.

a, b : οι σταθερές ορισμού της ευθείας.

Οι σταθερές ορισμού της ευθείας δίνονται από τις κάτωθι σχέσεις :

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x)^2 - (\sum x)^2} \quad b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x)^2 - (\sum x)^2}$$

Ο έλεγχος για το ποίότητα προσαρμογής της καμπύλης στα δεδομένα, δηλαδή το βαθμό ικανοποίησης της συνθήκης των ελαχίστων τετραγώνων, γίνεται μέσω του συντελεστή γραμμικής συσχέτισεως ( $R^2$ ). Οι τιμές του δείκτη κινούνται στο διάστημα [-1,1], όπου οι τιμές -1 και 1 υποδεικνύουν την πλήρη συσχέτιση αρνητική και θετική αντίστοιχα, ενώ η τιμή 0 υποδεικνύει την απουσία οιασδήποτε συσχέτισης. Μαθηματική έκφραση του συντελεστή γραμμικής συσχέτισεως αποτελεί ο τύπος :

$$R^2 = \frac{[n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)]^2}{[n(\sum x)^2 - (\sum x)^2][n(\sum y)^2 - (\sum y)^2]}$$

### Λογαριθμική καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων

$$y = a + b \cdot \ln(x)$$

Μετά από τις κατάλληλες λογαριθμήσεις η παραπάνω συνάρτηση καταλήγει στην ακόλουθη εξίσωση:

$$\ln(y) = a + b \cdot x$$

Όπου θέτοντας :

$$x' = \ln(x)$$

Αντιστοιχεί σε εξίσωση ευθείας :

$$y' = a + b \cdot x$$

Τέλος στις σχέσεις υπολογισμού των συντελεστών της ευθείας και του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης για να προκύψουν τα μεγέθη της λογαριθμικής παλινδρόμησης αντικαθίστανται όπου  $x$  το  $x'$ .

### Εκθετική καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων

$$y = a \cdot e^{b \cdot x}$$

Μετά από τις κατάλληλες λογαριθμήσεις η παραπάνω συνάρτηση καταλήγει στην ακόλουθη εξίσωση:

$$\ln(y) = \ln(a) + b \cdot x$$

Όπου θέτοντας :

$$y' = \ln(y)$$

$$a' = \ln(a)$$

Αντιστοιχεί σε εξίσωση ευθείας :

$$y' = a' + b \cdot x$$

Τέλος στις σχέσεις υπολογισμού των συντελεστών της ευθείας και του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης για να προκύψουν τα μεγέθη της λογαριθμικής παλινδρόμησης αντικαθίστανται όπου  $y$  το  $y'$  και όπου  $a$  το  $a'$ .

### Πολυωνομική καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων

$$y = a \cdot x^b$$

Μετά από τις κατάλληλες λογαριθμήσεις η παραπάνω συνάρτηση καταλήγει στην ακόλουθη εξίσωση

$$\ln(y) = \ln(a) + b \cdot \ln(x)$$

Όπου θέτοντας :

$$y' = \ln(y)$$

$$a' = \ln(a)$$

$$x' = \ln(x)$$

Αντιστοιχεί σε εξίσωση ευθείας :

$$y' = a' + b \cdot x$$

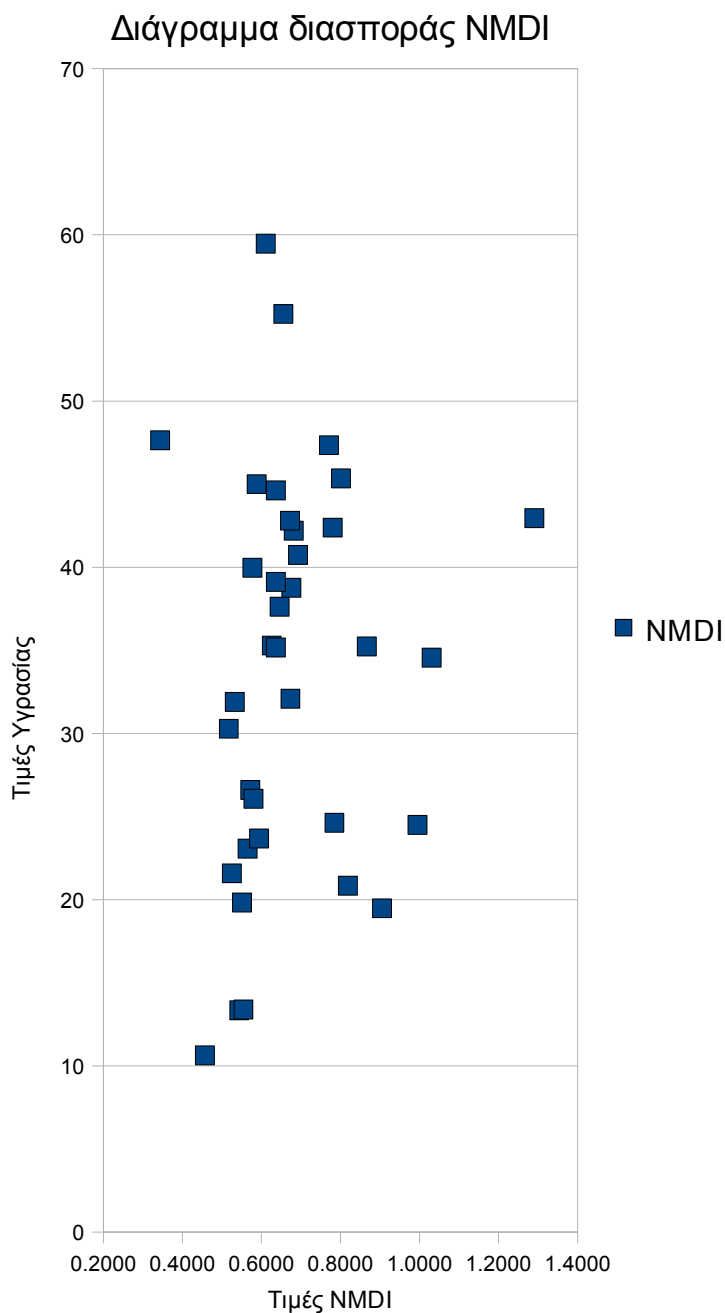
Τέλος στις σχέσεις υπολογισμού των συντελεστών της ευθείας και του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης για να προκύψουν τα μεγέθη της λογαριθμικής παλινδρόμησης αντικαθίστανται όπου  $y$  το  $y'$  όπου  $a$  το  $a'$  και όπου  $x$  το  $x'$ .

### 3.5.3 Εφαρμογή στατιστικής μεθόδου

#### Στατιστική επεξεργασία

#### Δείκτης NMDI

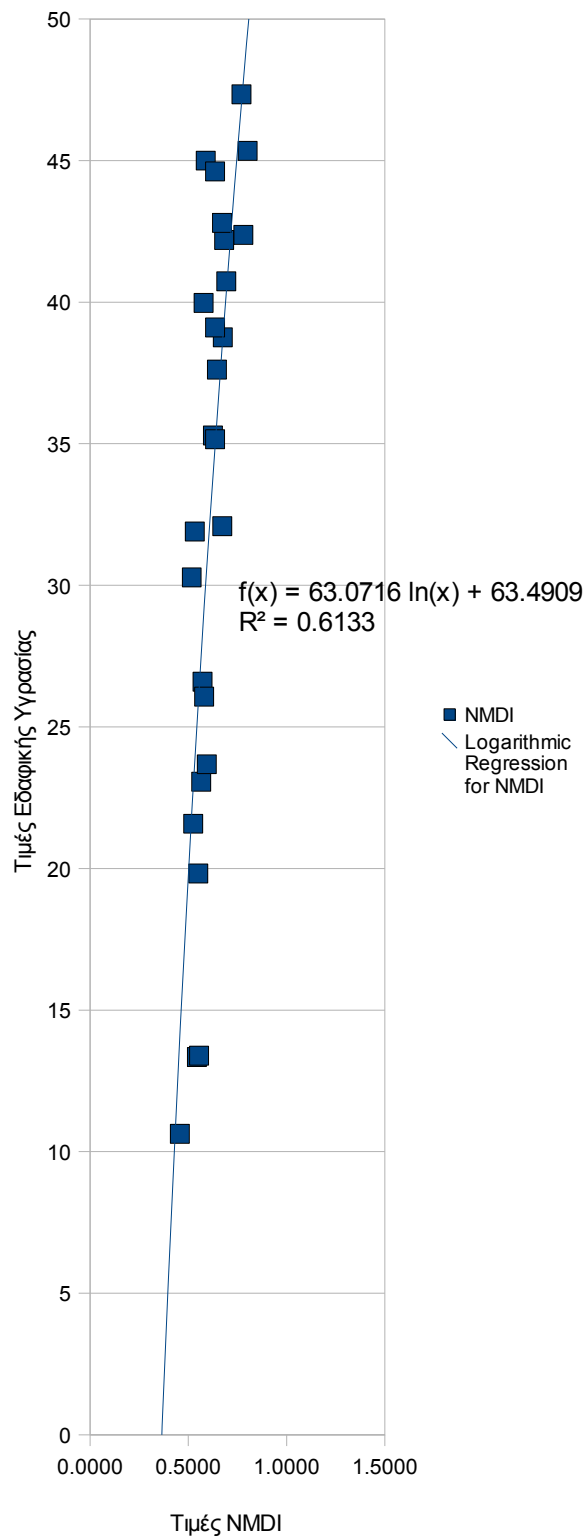
Διάγραμμα παρουσίασης των μεταξύ των τιμών της εδαφικής υγρασίας και τιμών των δεικτών





# Διάγραμμα παρουσίασης των σταθμών με τα την βέλτιστη συσχέτιση

## Παλινδρόμηση NMDI



## Πίνακας επιλεγέντων σταθμών

Πίνακας 10: Κατάλογος μετρήσεων, που επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη NMDI.

Αριθμός Μέτρησης	Σταθμός Μέτρησης	Εποχή Λήψης	Ημερομηνία Λήψης
1	1	Άνοιξη	10/3/04
3	2	Άνοιξη	12/3/04
4	5	Άνοιξη	12/3/04
5	11	Άνοιξη	12/3/04
6	13	Άνοιξη	12/3/04
9	3	Άνοιξη	14/4/2004
14	10	Άνοιξη	14/4/2004
15	12	Άνοιξη	14/4/2004
16	16	Άνοιξη	14/4/2004
17	34	Άνοιξη	14/4/2004
21	15	Χειμώνας	26/2/2004
22	34	Χειμώνας	26/2/2004
23	5	Άνοιξη	26/4/2001
24	34	Άνοιξη	26/4/2001
25	13	Άνοιξη	26/4/2001
26	15	Άνοιξη	26/4/2001
27	12	Άνοιξη	26/4/2001
28	2	Χειμώνας	27/2/2004
29	11	Χειμώνας	27/2/2004
30	4	Θέρος	30/7/2002
31	6	Θέρος	30/7/2002
32	8	Θέρος	30/7/2002
33	9	Θέρος	30/7/2002
34	12	Θέρος	30/7/2002
35	16	Θέρος	30/7/2002
36	34	Θέρος	30/7/2002

### Πίνακας μη επιλεγέντων σταθμών

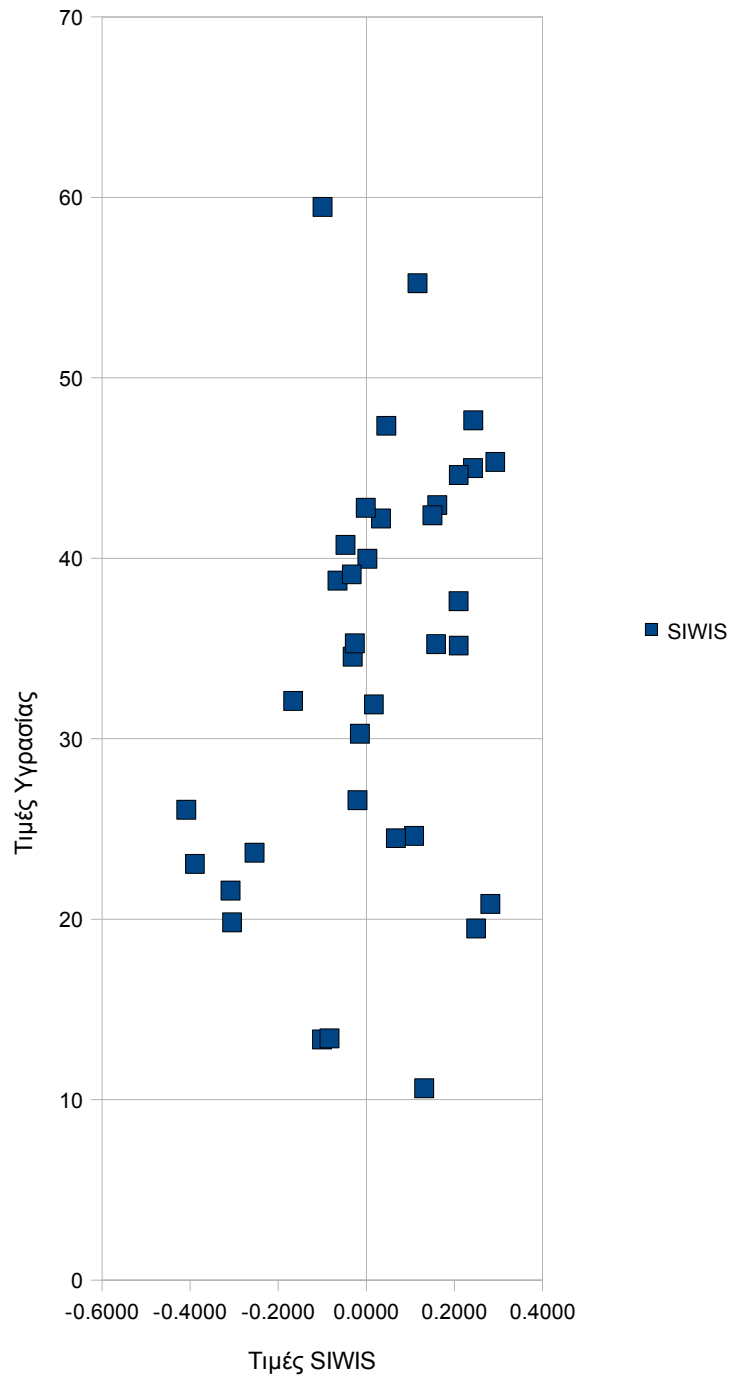
Αριθμός Μέτρησης	Σταθμός Μέτρησης	Εποχή Λήψης	Ημερομηνία Λήψης
2	81	Άνοιξη	10/3/04
7	14	Άνοιξη	12/3/04
8	15	Άνοιξη	12/3/04
10	4	Άνοιξη	4/14/04
11	6	Άνοιξη	4/14/04
12	8	Άνοιξη	4/14/04
13	9	Άνοιξη	4/14/04
18	5	Χειμώνας	2/26/04
19	12	Χειμώνας	2/26/04
20	13	Χειμώνας	2/26/04

*Πίνακας 11: Κατάλογος μετρήσεων, που δεν επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη NMDI.*

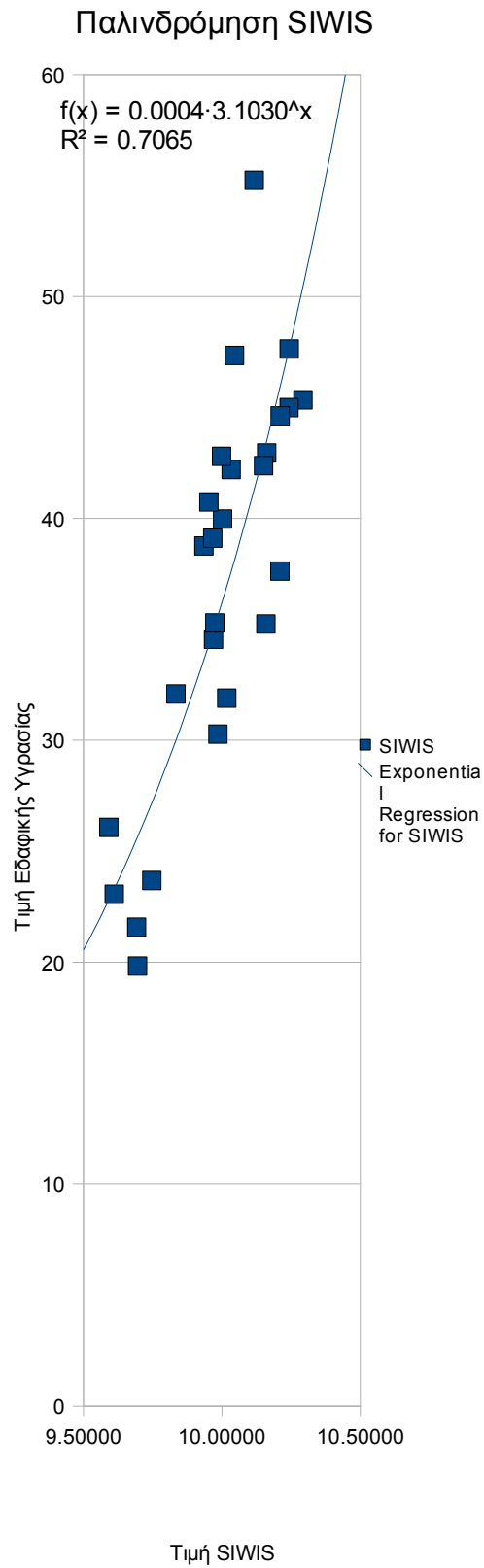
## Δείκτης SIWSI

Διάγραμμα παρουσίασης των μεταξύ των τιμών της εδαφικής υγρασίας και τιμών των δεικτών

Διάγραμμα διασποράς SIWIS



# Διάγραμμα παρουσίασης των σταθμών με τα την βέλτιστη συσχέτιση



## Πίνακας επιλεγέντων σταθμών

Πίνακας 12: Κατάλογος μετρήσεων, που επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη SIWSI.

Αριθμός Μέτρησης	Σταθμός Μέτρησης	Εποχή Λήψης	Ημερομηνία Λήψης
1	1	Άνοιξη	10/3/04
2	81	Άνοιξη	10/3/04
3	2	Άνοιξη	12/3/04
4	5	Άνοιξη	12/3/04
5	11	Άνοιξη	12/3/04
6	13	Άνοιξη	12/3/04
7	14	Άνοιξη	12/3/04
8	15	Άνοιξη	12/3/04
9	3	Άνοιξη	12/3/04
14	10	Άνοιξη	12/3/04
15	12	Άνοιξη	12/3/04
17	34	Άνοιξη	12/3/04
18	5	Χειμώνας	12/30/04
20	13	Χειμώνας	2/26/04
21	15	Χειμώνας	2/26/04
22	34	Χειμώνας	2/26/04
25	13	Άνοιξη	4/26/01
26	15	Άνοιξη	4/26/01
27	12	Άνοιξη	4/26/01
28	2	Χειμώνας	2/27/04
29	11	Χειμώνας	2/27/04
30	4	Θέρος	7/30/02
31	6	Θέρος	7/30/02
32	8	Θέρος	7/30/02
33	9	Θέρος	7/30/02
35	16	Θέρος	7/30/02

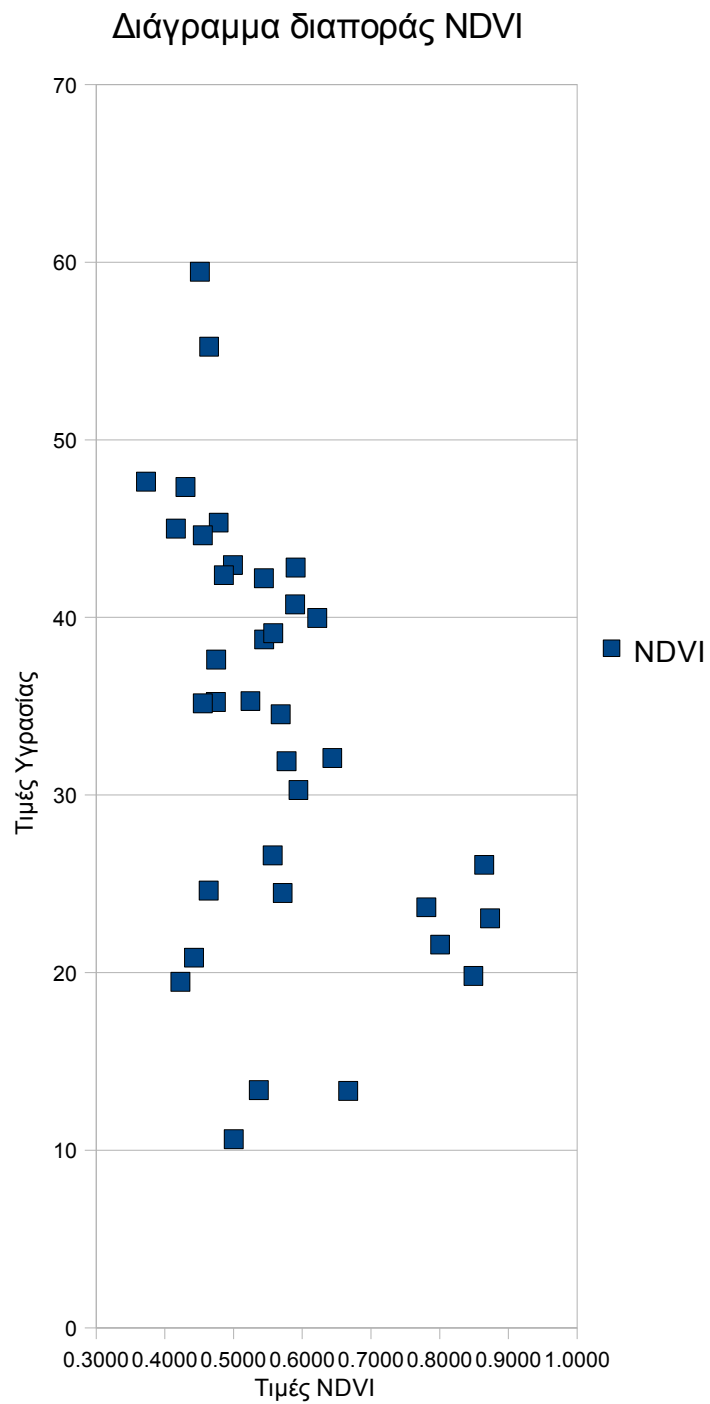
## Πίνακας μη επιλεγέντων σταθμών

Πίνακας 13: Κατάλογος μετρήσεων, που επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη SIWSI.

Αριθμός Μέτρησης	Σταθμός Μέτρησης	Εποχή Λήψης	Ημερομηνία Λήψης
11	4	Άνοιξη	14/4/2004
12	6	Άνοιξη	14/4/2004
13	8	Άνοιξη	14/4/2004
14	9	Άνοιξη	14/4/2004
16	16	Άνοιξη	14/4/2004
19	12	Χειμώνας	26/2/2004
23	5	Άνοιξη	26/4/2001
24	34	Άνοιξη	26/4/2001
34	12	Θέρος	30/7/2004
36	34	Θέρος	30/7/2004

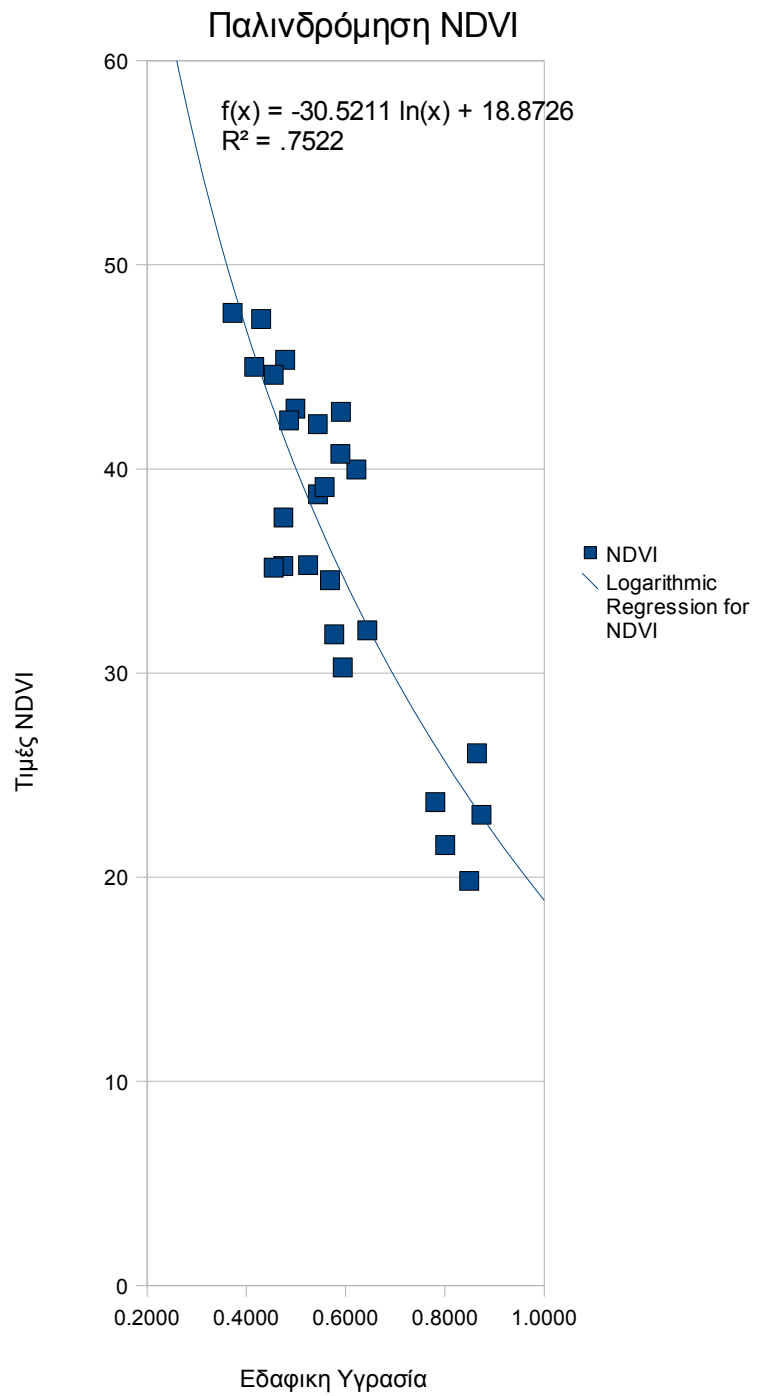
## Δείκτης NDVI

Διάγραμμα παρουσίασης των μεταξύ των τιμών της εδαφικής υγρασίας και τιμών των δεικτών.





Διάγραμμα παρουσίασης των σταθμών με τα την βέλτιστη συσχέτιση



## Πίνακας επιλεγέντων σταθμών

Πίνακας 14: Κατάλογος μετρήσεων, που επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη NDVI.

Αριθμός Μέτρησης	Σταθμός Μέτρησης	Εποχή Λήψης	Ημερομηνία Λήψης
1	1	Άνοιξη	10/3/2004
2	81	Άνοιξη	10/3/2004
3	2	Άνοιξη	12/3/2004
4	5	Άνοιξη	12/3/2004
5	11	Άνοιξη	12/3/2004
6	13	Άνοιξη	12/3/2004
7	14	Άνοιξη	12/3/2004
8	15	Άνοιξη	12/3/2004
9	3	Άνοιξη	14/4/2004
14	10	Άνοιξη	14/4/2004
15	12	Άνοιξη	14/4/2004
17	34	Άνοιξη	14/4/2004
18	5	Χειμώνας	26/2/2004
21	15	Χειμώνας	26/2/2004
22	34	Χειμώνας	26/2/2004
23	5	Άνοιξη	26/4/2001
25	13	Άνοιξη	26/4/2001
26	15	Άνοιξη	26/4/2001
27	12	Άνοιξη	26/4/2001
28	2	Χειμώνας	27/2/2004
29	11	Χειμώνας	27/2/2004
30	4	Θέρος	30/7/2002
31	6	Θέρος	30/7/2002
32	8	Θέρος	30/7/2002
33	9	Θέρος	30/7/2002
35	16	Θέρος	30/7/2002

## Πίνακας μη επιλεγέντων σταθμών

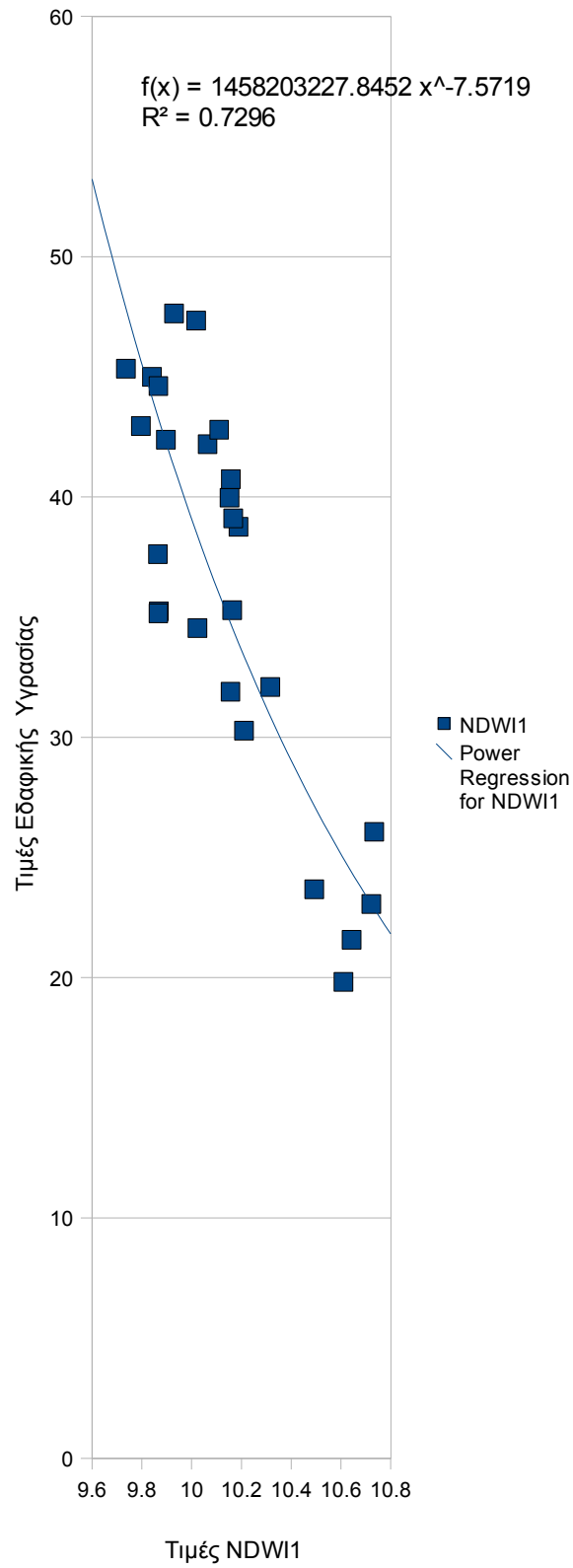
Πίνακας 15: Κατάλογος μετρήσεων, που δεν επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη NDVI.

Αριθμός Μέτρησης	Σταθμός Μέτρησης	Εποχή Λήψης	Ημερομηνία Λήψης
10	4	Άνοιξη	14/4/2004
11	6	Άνοιξη	14/4/2004
12	8	Άνοιξη	14/4/2004
13	9	Άνοιξη	14/4/2004
16	16	Άνοιξη	14/4/2004
19	12	Άνοιξη	26/2/2004
20	13	Χειμώνας	26/2/2004
24	34	Άνοιξη	26/4/2001
34	12	Θέρος	30/7/2002
36	34	Θέρος	30/7/2002



# Διάγραμμα παρουσίασης των σταθμών με τα την βέλτιστη συσχέτιση

## Παλινδρόμηση NDWI1



## Πίνακας επιλεγέντων σταθμών

Πίνακας 16: Κατάλογος μετρήσεων, που επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη NDWI.

Αριθμός Μέτρησης	Σταθμός Μέτρησης	Εποχή Λήψης	Ημερομηνία Λήψης
1	1	Άνοιξη	10/3/04
2	81	Άνοιξη	10/3/04
3	2	Άνοιξη	12/03/04
4	5	Άνοιξη	12/3/04
5	11	Άνοιξη	12/3/04
6	13	Άνοιξη	12/3/04
7	14	Άνοιξη	12/3/04
8	15	Άνοιξη	12/3/04
9	3	Άνοιξη	14/4/2004
14	10	Άνοιξη	14/4/2004
15	12	Άνοιξη	14/4/2004
17	34	Άνοιξη	14/4/2004
18	5	Χειμώνας	26/2/2004
21	15	Χειμώνας	26/2/2004
22	34	Χειμώνας	26/2/2004
23	5	Άνοιξη	26/4/2001
25	13	Άνοιξη	26/4/2001
26	15	Άνοιξη	26/4/2001
27	12	Άνοιξη	26/4/2001
28	2	Χειμώνας	27/2/2004
29	11	Χειμώνας	27/2/2004
30	4	Θέρος	30/7/2002
31	6	Θέρος	30/7/2002
32	8	Θέρος	30/7/2002
33	9	Θέρος	30/7/2002
35	16	Θέρος	30/7/2002

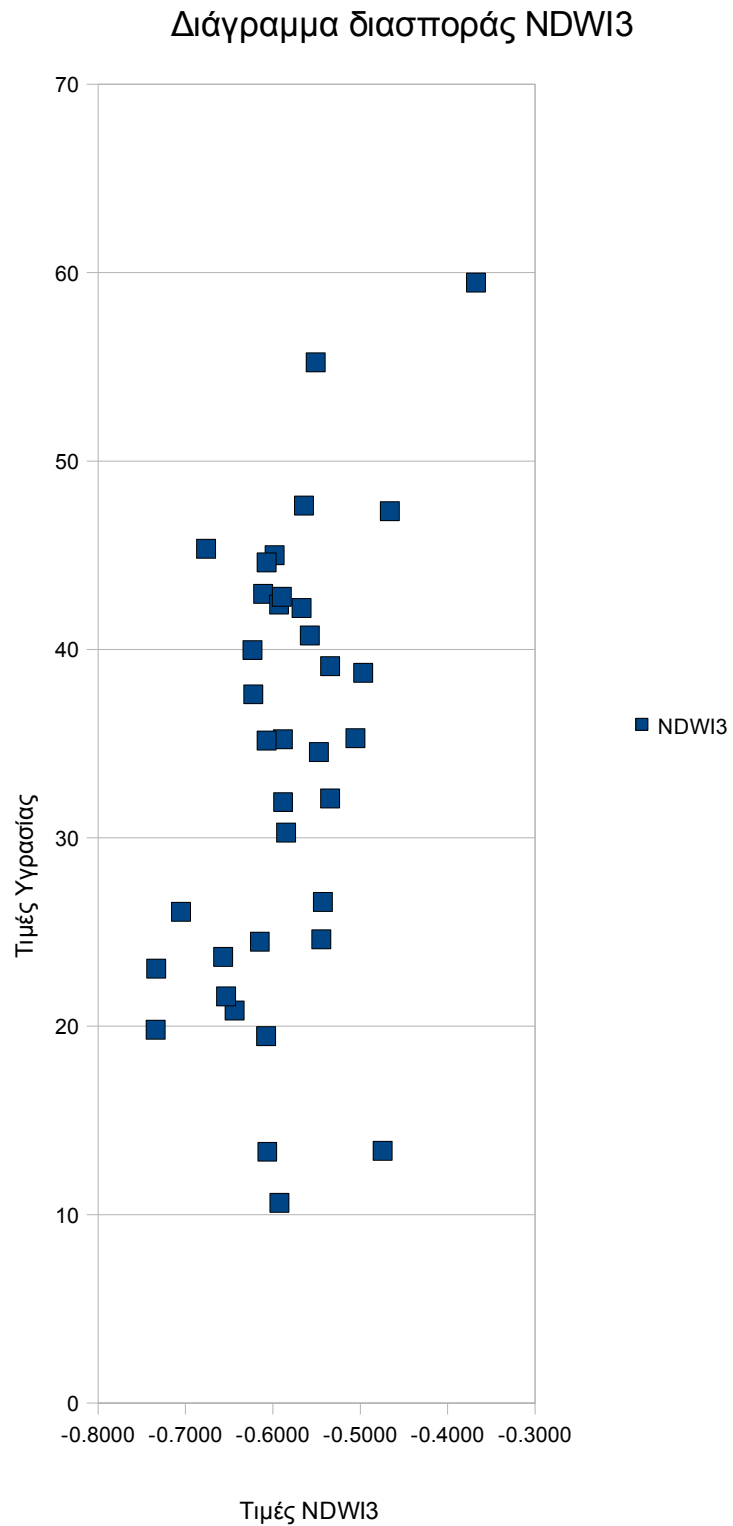
## Πίνακας μη επιλεγέντων σταθμών

Πίνακας 17: Κατάλογος μετρήσεων, που δεν επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη NDWI.

Αριθμός Μέτρησης	Σταθμός Μέτρησης	Εποχή Λήψης	Ημερομηνία Λήψης
10	4	Άνοιξη	14/4/2004
11	6	Άνοιξη	14/4/2004
12	8	Άνοιξη	14/4/2004
13	9	Άνοιξη	14/4/2004
16	16	Άνοιξη	14/4/2004
19	12	Χειμώνας	26/2/2004
20	13	Χειμώνας	26/2/2004
24	34	Άνοιξη	26/4/2001
34	12	Θέρος	30/7/2002
36	34	Θέρος	30/7/2002

## Δείκτης NDWI3

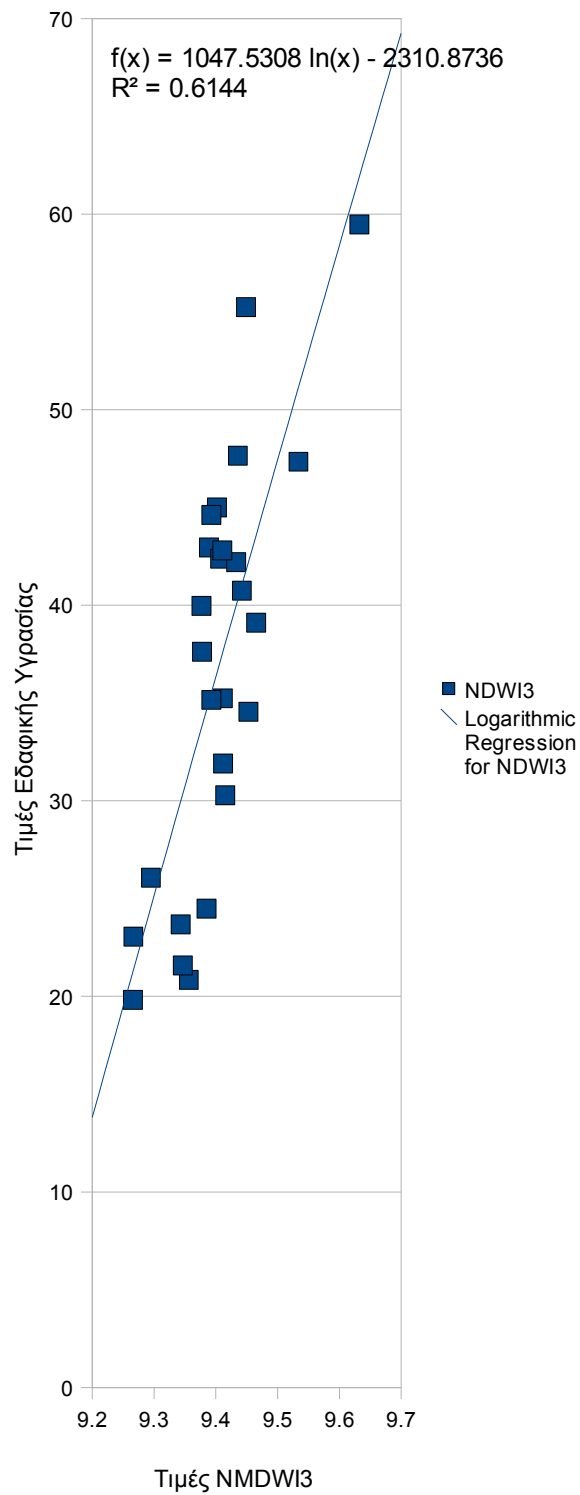
Διάγραμμα παρουσίασης των μεταξύ των τιμών της εδαφικής υγρασίας και τιμών των δεικτών





# Διάγραμμα παρουσίασης των σταθμών με τα την βέλτιστη συσχέτιση

## Παλινδρόμηση NDWI3



## Πίνακας επιλεγέντων σταθμών

Πίνακας 18: Κατάλογος μετρήσεων, που επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη NDWI3.

Αριθμός Μέτρησης	Σταθμός Μέτρησης	Εποχή Λήψης	Ημερομηνία Λήψης
1	1	Άνοιξη	10/03/04
2	81	Άνοιξη	10/03/04
3	2	Άνοιξη	12/03/04
5	11	Άνοιξη	12/03/04
7	14	Άνοιξη	12/03/04
8	15	Άνοιξη	12/03/04
9	3	Άνοιξη	14/4/2004
12	8	Άνοιξη	14/4/2004
13	9	Άνοιξη	14/4/2004
15	12	Άνοιξη	14/4/2004
18	5	Χειμώνας	26/2/2004
19	12	Χειμώνας	26/2/2004
20	13	Χειμώνας	26/2/2004
21	15	Χειμώνας	26/2/2004
22	34	Χειμώνας	26/2/2004
23	5	Άνοιξη	26/4/2001
25	13	Άνοιξη	26/4/2001
26	15	Άνοιξη	26/4/2001
27	12	Άνοιξη	26/4/2001
28	2	Χειμώνας	27/2/2004
29	11	Χειμώνας	27/2/2004
30	4	Θέρος	30/7/2002
31	6	Θέρος	30/7/2002
32	8	Θέρος	30/7/2002
33	9	Θέρος	30/7/2002
35	16	Θέρος	30/7/2002

## Πίνακας μη επιλεγέντων σταθμών

Πίνακας 19: Κατάλογος μετρήσεων, που δεν επελέγησαν να συμμετάσχουν στην παλινδρόμηση του δείκτη NDWI3.

Αριθμός Μέτρησης	Σταθμός Μέτρησης	Εποχή Λήψης	Ημερομηνία Λήψης
4	4	Άνοιξη	12/3/04
6	6	Άνοιξη	12/3/04
10	10	Άνοιξη	14/4/2004
11	11	Άνοιξη	14/4/2004
14	14	Άνοιξη	14/4/2004
16	16	Άνοιξη	14/4/2004
17	17	Άνοιξη	14/4/2004
24	34	Άνοιξη	26/4/2001
34	12	Θέρος	30/7/2004
36	34	Θέρος	30/7/2004

## Παρουσίαση στατιστικών αποτελεσμάτων όλων των δεικτών

Πίνακας 20: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές συσχέτισης κάθε δείκτη.

Όνομα δείκτη	Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης $R^2$	Εξίσωση παλινδρόμησης
NMDI	0.6133	$f(x) = 63.0716 \cdot \ln(x) + 63.4909$
SIWSI	0.7065	$f(x) = 0.0004 \cdot 3.1030^{x+10}$
NDVI	0.7522	$f(x) = -30.5211 \cdot \ln(x) + 18.8726$
NDWI1	0.7296	$f(x) = 1458903227.8452 \cdot (x+10)^{-7.5719}$
NDWI3	0.6144	$f(x) = 1047.5380 \cdot \ln(x+10) - 2310.8736$

Σημειώνεται ότι για να καταστεί δυνατή η τέλεση των παλινδρομήσεων για τους δείκτες SIWSI, NDWI1 ΚΑΙ NDWI3 χρειάστηκε να μετατοπιστούν οι μετρήσεις τιμών φασματικών δεικτών στο θετικό τμήμα του άξονα των τετμημένων (X). Για να γίνει αυτό προσθέσαμε σε όλες τις τιμές ένα ακέραιο αριθμό (το 10) και έτσι στις σχέσεις που παρουσιάζονται στο πίνακα βλέπουμε πως οι εισερχόμενες τιμές των φασματικών δεικτών προσαυξάνονται κατά δέκα (10).

## 4.Αξιολόγηση στατιστικών αποτελεσμάτων

### 4.1 Ανάλυση μεθόδου απόρριψης μετρήσεων

Η απαλοιφή μετρήσεων για την εξαγωγή των βέλτιστων παλινδρομήσεων, όπως παρουσιάστηκε στα διαγράμματα που προηγήθηκαν, έγινε με μόνο γνώμονα τη βελτίωση των αριθμητικών αποτελεσμάτων, χωρίς να ληφθεί υπόψιν κανένα χαρακτηριστικό της φυσικής πραγματικότητας. Η απαλοιφή βασίζεται σε δύο και μόνον θεμελιώδεις δεσμεύσεις :

α) Την μέγιστη αύξηση του συντελεστή συσχέτισης.

β) Την απαλοιφή κατά το μέγιστο 10 μετρήσεων ώστε κατά την στατιστική επεξεργασία το πλήθος των μετρήσεων να υπερβαίνει σε αριθμό τις εικοσιτέσσερις (24) μετρήσεις, οι οποίες θεωρούνται σημαντικό όριο για υψηλή στατιστική εγκυρότητα της επεξεργασίας.

Σε δεύτερο στάδιο ακολούθησε η αιτιολόγηση για την απαλοιφή έκαστου σταθμού, με στόχο να εξαχθούν κανόνες που θα ορίζουν τα πλαίσια στα οποία μια μέτρηση μπορεί αξιόπιστα να αποδώσει την εδαφική υγρασία, ανάλογα με τον δείκτη που χρησιμοποιείται. Βασική δυσχέρεια στην αξιολόγηση των νόμων, που προέκυψαν από τις συσχετίσεις της εδαφικής υγρασίας με κάθε δείκτη, αποτελεί το μικρό πλήθος μετρήσεων. Γεγονός, το οποίο δεν κατέστη δυνατόν να υπερκεραστεί για τους λόγους που περιγράφηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ελλείπει λοιπόν μεγάλου αριθμού μετρήσεων, για τον έλεγχο των ιδιοτήτων επελέγη η συγκεντρωτική καταχώρηση όλων των απορριφθεισών μετρήσεων ανά δείκτη και η εν συνεχεία μελέτη των χαρακτηριστικών των ίδιων των μετρήσεων. Ειδικότερα κάθε μέτρηση εξετάζεται ανάλογα με το σταθμό λήψης, το χρόνο λήψης (εποχή λήψης), τις μέσες μηνιαίες τιμές υγρασίας και θερμοκρασίας, την εδαφοκάλυψη συμπεριλαμβανομένων σε αυτήν της φυτοκάλυψης αλλά και των ανθρωπίνων κατασκευών, όπως τα κτίρια. Ακολουθούν πίνακες, που παρουσιάζουν τις απορριφθείσες μετρήσεις τόσο μεμονωμένα όσο και σε αντιστοιχία με τους δείκτες.

### 4.2 Ορισμός κλάσεων ποιότητας και κατάταξη των μετρήσεων σε αυτές

Ορίζονται τρεις κλάσεις, εφεξής καλούμενες βαθμίδες ποιότητας :

- Η πρώτη βαθμίδα, υπό την επωνυμία “ καλές μετρήσεις ” ή απλώς “ καλές”, περιλαμβάνει τις μετρήσεις που δεν έχουν απορριφθεί κατά την παλινδρόμησης κάποιου δείκτη και συμβολίζεται με μαύρο χρώμα.
- Η δεύτερη βαθμίδα υπό την επωνυμία “ κακές μετρήσεις ” ή απλώς “ κακές”, περιλαμβάνει το σύνολο των μετρήσεων, που έχουν απορριφθεί από την παλινδρόμηση ενός τουλάχιστον δείκτη και συμβολίζεται με γκρι χρώμα.
- Η τρίτη βαθμίδα, υπό την επωνυμία “ πολλαπλώς απορριφθείσες μετρήσεις ”, περιλαμβάνει το σύνολο των μετρήσεων που έχουν απορριφθεί από την παλινδρόμηση τεσσάρων και πλέον δεικτών και συμβολίζεται με ερυθρό χρώμα.
- Η τέταρτη Βαθμίδα, υπό την επωνυμία “μη πολλαπλώς απορριφθείσες μετρήσεις”, περιλαμβάνει το σύνολο των μετρήσεων που έχουν απορριφθεί από την παλινδρόμηση δύο το πολύ δεικτών. Δεν παρίσταται με χρώμα.

Ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας παρουσίασης των μετρήσεων, που υπέστησαν απόρριψη σε παλινδρόμηση καθώς και του αντίστοιχού δείκτη. Για ευκολία κατανόησης

παρουσιάζονται ως εξής :

- Με κόκκινο χρώμα οι μετρήσεις, που διεγράφησαν από την παλινδρόμηση τεσσάρων και πλέον δεικτών.
- Με πράσινο χρώμα η μέτρηση, που κρίθηκε μη αποδεκτή σε όλες τις παλινδρομήσεις.
- Με κυανό χρώμα οι μετρήσεις, που δεν χρησιμοποιήθηκαν στις παλινδρομήσεις δύο δεικτών.
- Με μαύρο χρώμα οι μετρήσεις, που δεν έγιναν αποδεκτές από ένα και μόνον δείκτη κατά την παλινδρόμηση του.

Πίνακας 21: Συγκεντρωτική παρουσίαση ανά δείκτη των μετρήσεων, που απορρίφθηκαν.

NMDI	SIWSI	NDVI	NDWI1	NDWI3
2	11	10	10	4
7	12	11	11	6
8	13	12	12	10
10	14	13	13	11
11	16	16	16	14
12	19	19	19	16
13	23	20	20	17
18	24	24	24	24
19	34	34	34	34
20	36	36	36	36

Στον πίνακα, που προηγείται με κόκκινο χρώμα, εμφανίζονται οι μετρήσεις που έχουν απορριφθεί από τέσσερις δείκτες. Με πράσινο χρώμα εμφανίζεται η μέτρηση που έχει απορριφθεί από όλους τους δείκτες, με κυανό χρώμα η μέτρηση που έχει απορριφθεί από δύο δείκτες και με μαύρο χρώμα οι μετρήσεις που έχουν απορριφθεί στα πλαίσια ενός και μόνου δείκτη.

Μία συνοπτικότερη παρουσίαση των μετρήσεων που απερρίφθησαν γίνεται στον παρακάτω πίνακα, από τον οποίο γίνεται ορατό ότι :

- ◆ Στη βαθμίδα “ καλές “ ανήκουν 17 μετρήσεις .
- ◆ Στη βαθμίδα “ κακές “ ανήκουν 19 μετρήσεις .
- ◆ Στη βαθμίδα “ πολλαπλώς απορριφθείσες “ ανήκουν 10 μετρήσεις .
- ◆ Στη βαθμίδα “μη πολλαπλώς απορριφθείσες” ανήκουν 9 μετρήσεις.

Συνοπτικός πίνακας μετρήσεων που απορρίφθηκαν:

Πίνακας 22: Συγκεντρωτική παρουσίαση των μετρήσεων που απορρίφθηκαν

2	12
7	13
8	19
18	20
23	16
4	24
6	34
17	36
14	
10	

Στον πίνακα, που προηγείται με κόκκινο χρώμα, εμφανίζονται οι μετρήσεις που έχουν απορριφθεί από τέσσερις δείκτες. Με πράσινο χρώμα εμφανίζεται η μέτρηση που έχει απορριφθεί από όλους τους δείκτες, με κυανό χρώμα η μέτρηση που έχει απορριφθεί από δύο δείκτες και με μαύρο χρώμα οι μετρήσεις που έχουν απορριφθεί στα πλαίσια ενός και μόνον δείκτη.

### 4.3 Αξιολόγηση της αξιοπιστίας των μετρήσεων

#### 4.3.1 Παρουσίαση μεταβλητών αξιολόγησης

Η προσπάθειά για την θεμελίωση κανόνων, που θα ορίζουν τα πλαίσια στα οποία μια μέτρηση μπορεί αξιόπιστα να αποδώσει την εδαφική υγρασία ανάλογα με τον δείκτη που χρησιμοποιείται, οδήγησε σε πολλαπλούς έλεγχους για την σχέση μεταξύ της αποτελεσματικότητας των δεικτών και των τιμών διαφόρων μεταβλητών του φυσικού κόσμου. Η αρχική επιλογή των μεταβλητών έγινε εν πολλοίς, όπου η πρακτική εμπειρία θεμελίωσε βάσιμες υπόνοιες περί σημαντικής επιρροής στην τιμή των μετρήσεων του μεγέθους των μεταβλητών. Εν κατακλείδι εντοπίστηκαν τρία μεγέθη με ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των τιμών που είχαν κατά την περίοδο λήψης των μετρήσεων και της πιθανότητας απόρριψης ή όχι μίας μέτρησης. Με σειρά σημαντικότητας αυτά είναι :

- Η μέση μηνιαία εδαφική υγρασία.
- Η εδαφοκάλυψη συμπεριλαμβανομένης και της φυτοκάλυψης.
- Η μέση μηνιαία ατμοσφαιρική θερμοκρασία.

Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή της μελέτης και των ευρημάτων, ως προς την σημασία και τον τρόπο επίδρασης κάθε φυσικής μεταβλητής - μεγέθους .

## 4.3.2 Αιτιολόγηση κατάταξης των μετρήσεων στις βαθμίδες ποιότητας “καλές” και “κακές”

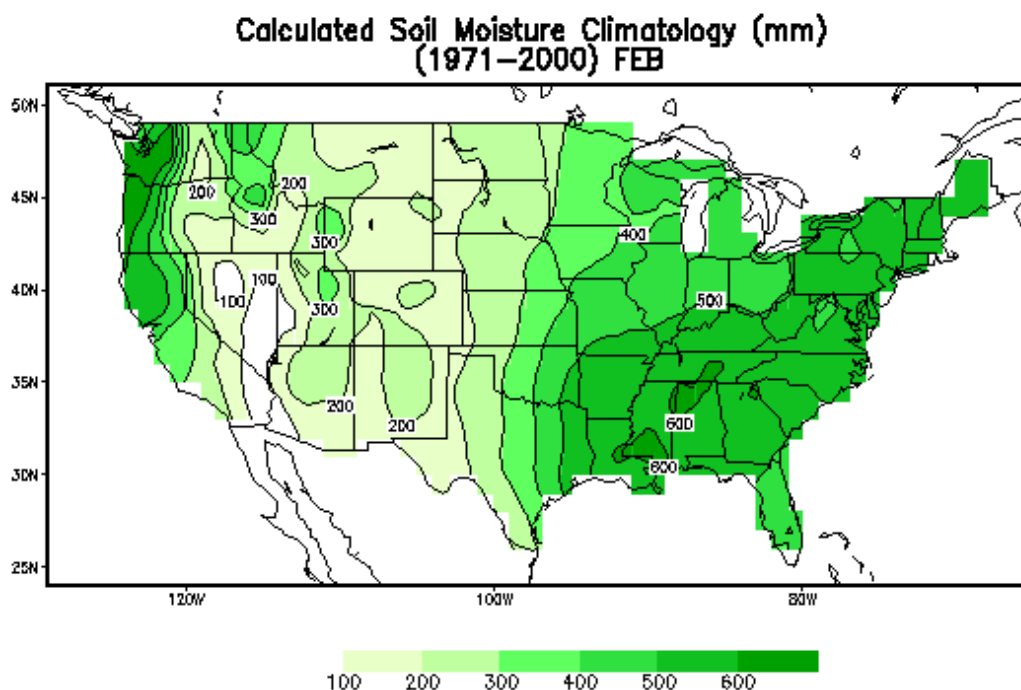
### 4.3.2.1 Αξιολόγηση βάσει μέσης μηνιαίας εδαφικής υγρασίας

Μελέτη Επίδρασης εδαφικής Υγρασίας

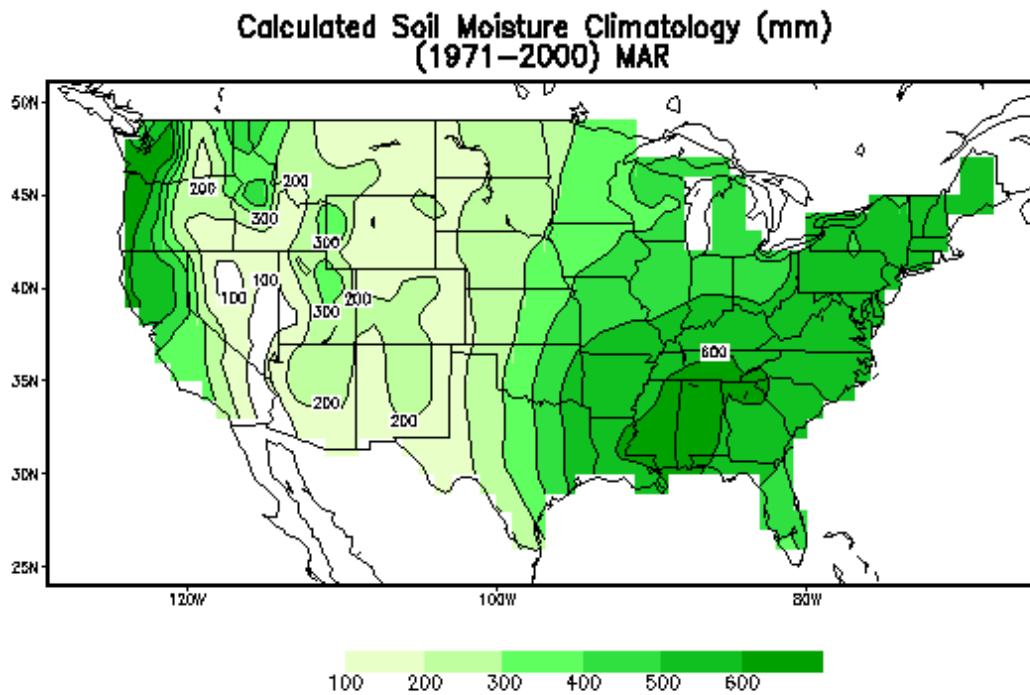
Ο προσδιορισμός της εδαφικής υγρασίας έγινε με την χρήση των χαρτών εδαφικής υγρασίας του προγράμματος NOAA. Αρχικά ανατρέξαμε στους χάρτες της μέσης εδαφικής υγρασίας για κάθε μήνα του έτους, οι οποίοι έχουν προκύψει από μία σειρά δεδομένων μεταξύ των ετών 1971 και 2000 και προσδιορίσαμε την εδαφική υγρασία για κάθε συνδυασμό σταθμού και μήνα που μας ενδιαφέρει. Ακολούθως ανατρέξαμε στους χάρτες ανωμαλιών, δηλαδή σε χάρτες που προσδιορίζουν το πόσο διαφέρει η υγρασία του συγκεκριμένου μήνα, κατά το συγκεκριμένο έτος, από την μέση τιμή της περιόδου 1971 - 2000.

Συνδυάζοντας το χάρτη των μέσων τιμών υγρασίας για κάθε μήνα και των ανωμαλιών για κάθε μήνα (με Φωτοερμηνεία για κάθε σταθμό), προέκυψαν - με πρόσθεση στις τυπικές μέσες μηνιαίες τιμές των μέσων μηνιαίων ανά έτος ανωμαλιών - οι μέσες μηνιαίες τιμές εδαφικής υγρασίας για τις μετρήσεις κάθε έτους.

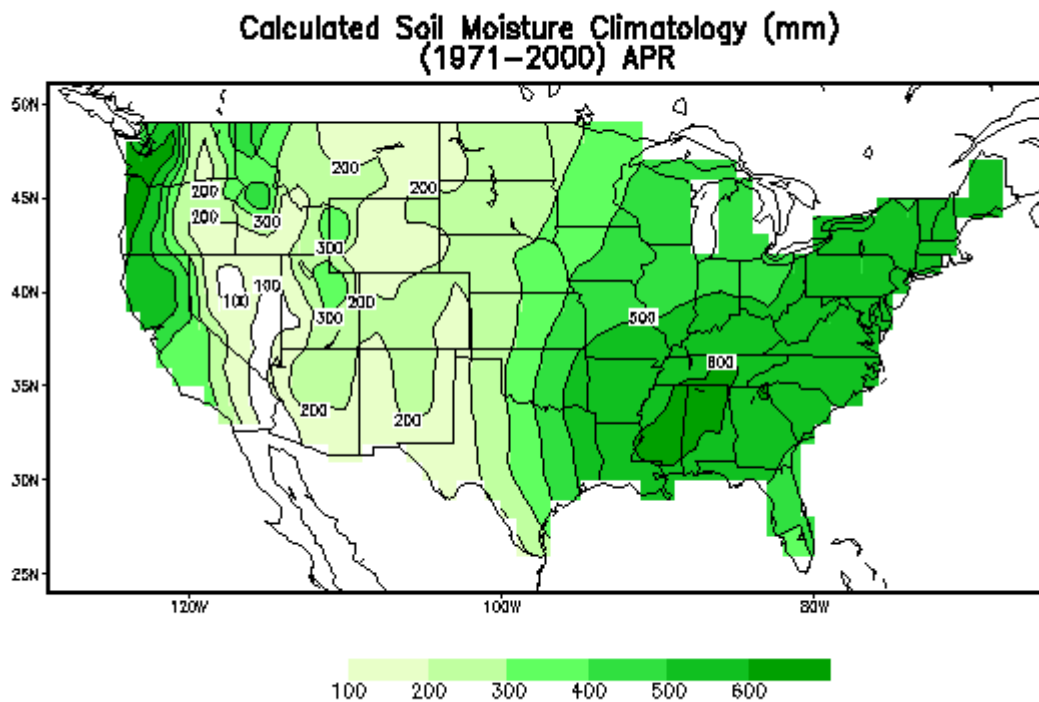
Στη συνέχεια παρατίθενται οι πίνακες των μέσων τιμών εδαφικής υγρασίας (σειρά δεδομένων 1971-2000).



Εικόνα 10: Μέση εδαφική υγρασία για τον μήνα Φεβρουάριο κατά τα έτη (1971-2000). Πηγή : NOAA , Climate Prediction Center.



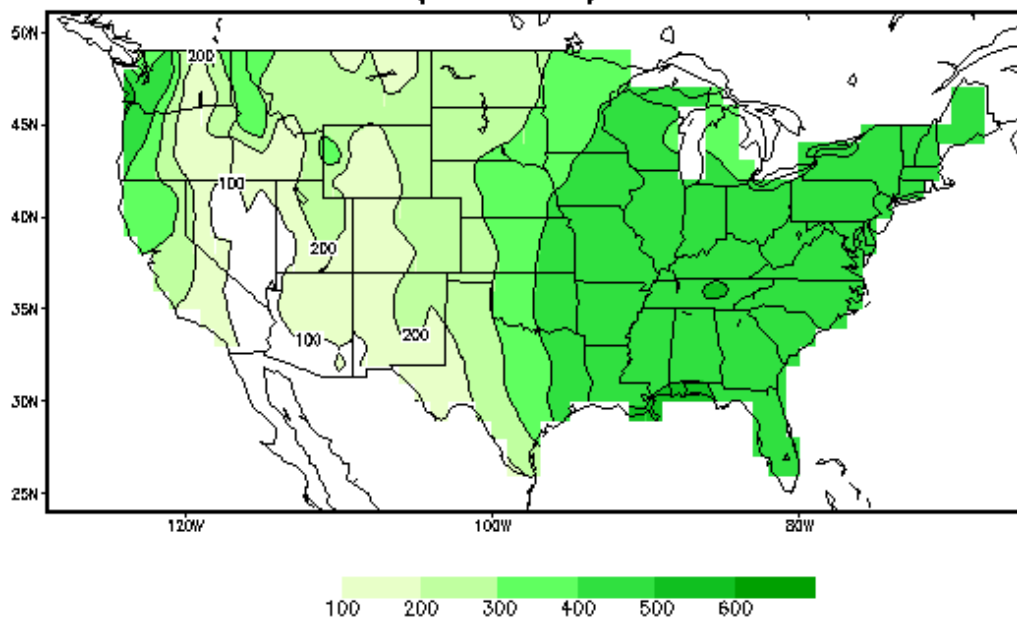
*Εικόνα 11: Μέση εδαφική υγρασία για τον μήνα Μάρτιο κατά τα έτη (1971-2000).  
Πηγή : NOAA , Climate Prediction Center.*



*Εικόνα 12: Μέση εδαφική υγρασία για τον μήνα Απρίλιο κατά τα έτη (1971-2000).  
Πηγή : NOAA , Climate Prediction Center.*



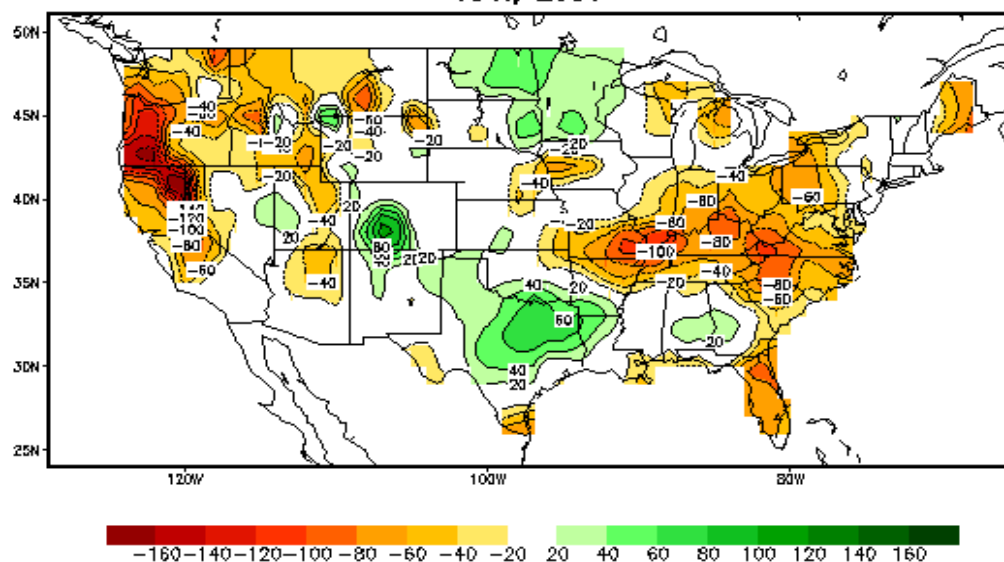
### Calculated Soil Moisture Climatology (mm) (1971-2000) JUL



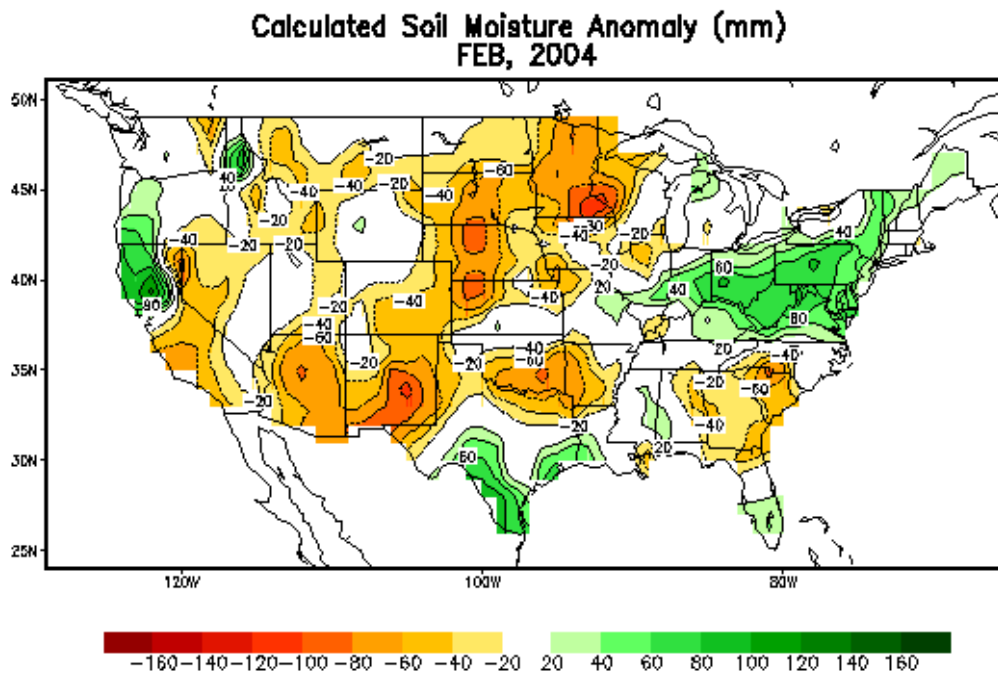
Εικόνα 13: Μέση εδαφική υγρασία για τον μήνα Ιούλιο κατά τα έτη (1971-2000).  
Πηγή : NOAA , Climate Prediction Center.

Ακολουθούν οι χάρτες με τις ανωμαλίες στις μέσες μηνιαίες τιμές εδαφικής υγρασίας για κάθε μήνα κατά τον οποίο έχουμε δεδομένες μετρήσεις.

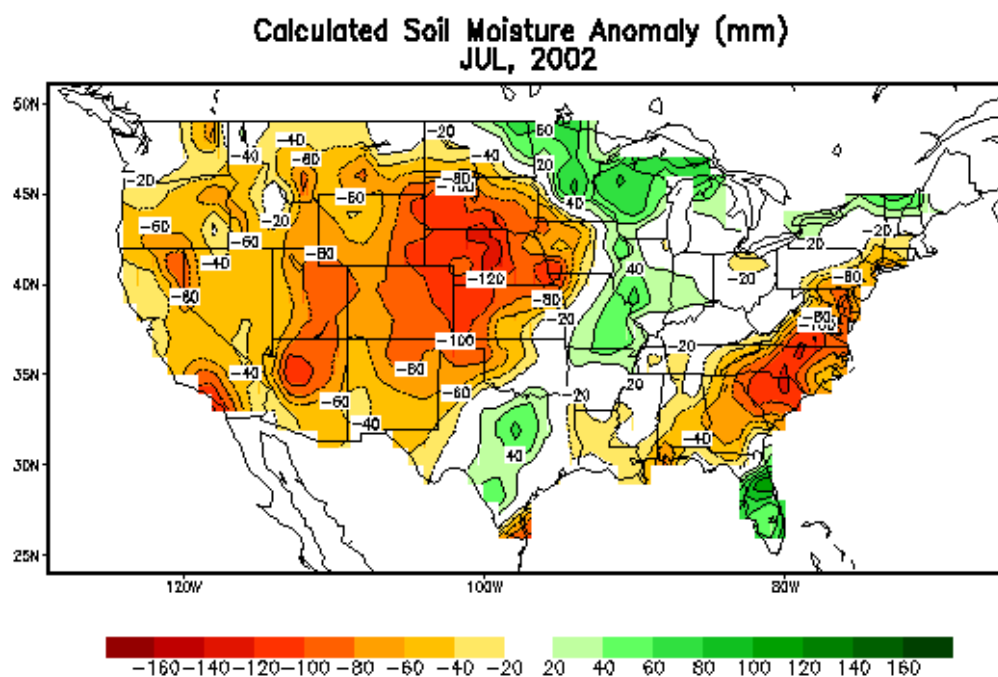
### Calculated Soil Moisture Anomaly (mm) APR, 2001



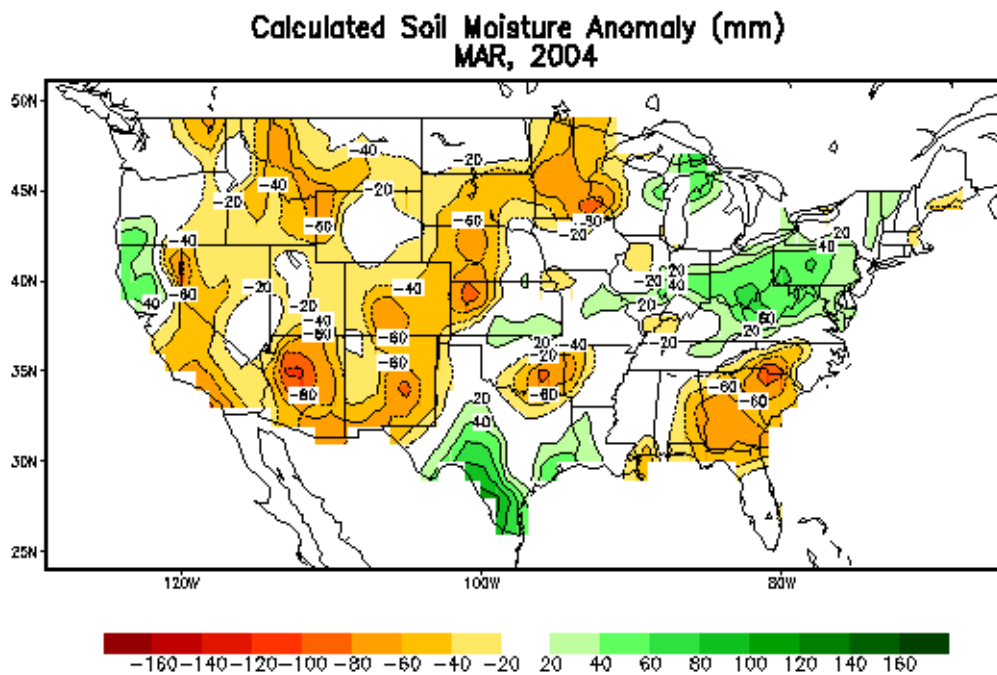
Εικόνα 14: Διαφοροποίηση από τη μέση εδαφική υγρασία για τον μήνα Απρίλιο του 2001. Πηγή : NOAA , Climate Prediction Center.



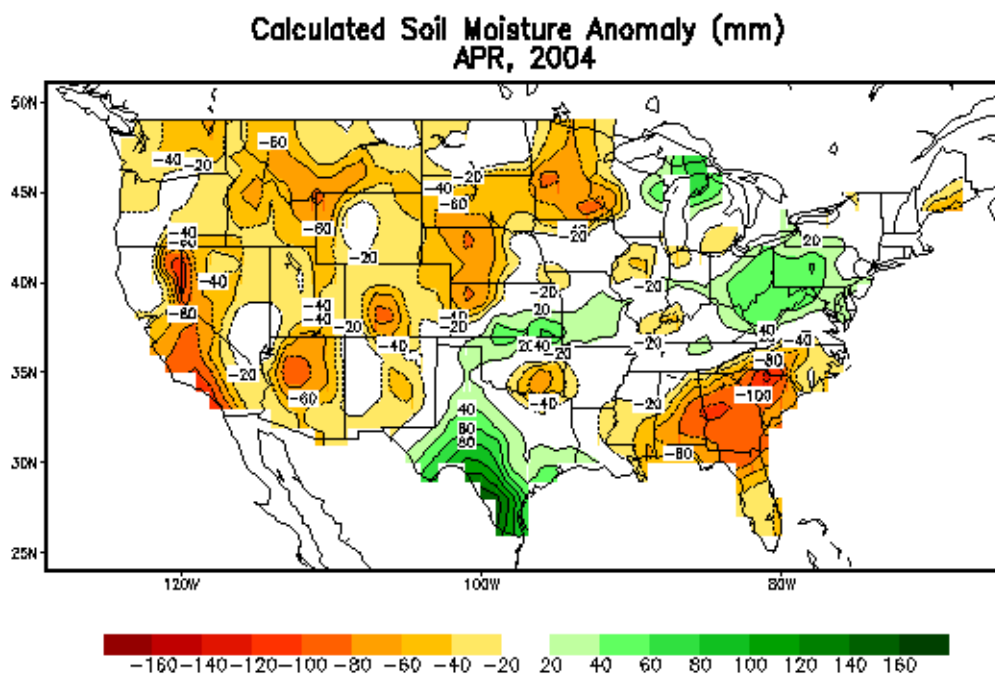
*Εικόνα 15: Διαφοροποίηση από την μέση εδαφική υγρασία για τον μήνα Φεβρουάριο του 2004. Πηγή : NOAA , Climate Prediction Center.*



*Εικόνα 16: Διαφοροποίηση από την μέση εδαφική υγρασία για τον μήνα Ιούλιο του 2002. Πηγή : NOAA , Climate Prediction Center.*



*Εικόνα 17: Διαφοροποίηση από την μέση εδαφική υγρασία για τον μήνα Μάρτιο του 2004. Πηγή : NOAA , Climate Prediction Center.*



*Εικόνα 18: Διαφοροποίηση από την μέση εδαφική υγρασία για τον μήνα Απρίλιο του 2004. Πηγή : NOAA , Climate Prediction Center.*

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει την συσχέτιση μεταξύ της εδαφικής υγρασίας, όπως αυτή προέκυψε από τους χάρτες του ΝΟΑΑ, και των απορριφθεισών μετρήσεων .

Πίνακας 23: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων κατά μέση μηνιαία εδαφική υγρασία και βαθμίδα ποιότητας.

Σταθμός	Αρ.μέτρησης	Ημερομηνία	Μέση Υγρασία(mm)	Ανωμαλία (mm)	Αληθής υγρασία (mm)	Βαθμίδα ποιότητας
1	1	03/10/04	400-500	40	540	■
81	2	03/10/04	400-500	20	520	■
2	3	03/12/04	500-600	-20	580	■
5	4	03/12/04	400-500	20	520	■
11	5	03/12/04	500-600	-20	580	■
13	6	03/12/04	400-500	0	500	■
14	7	03/12/04	500-600	0	600	■
15	8	03/12/04	400-500	0	500	■
3	9	04/14/04	500-600	0	600	■
4	10	04/14/04	400-500	-20	480	■
6	11	04/14/04	400-500	-20	480	■
8	12	04/14/04	400-500	0	500	■
9	13	04/14/04	400-500	0	500	■
10	14	04/14/04	400-500	0	500	■
12	15	04/14/04	500-600	0	600	■
16	16	04/14/04	400-500	0	500	■
34	17	04/14/04	500-600	-40	560	■
4	18	02/26/04	400-500	-40	460	■
12	19	02/26/04	400-500	0	500	■
13	20	02/26/04	400-500	-40	460	■
15	21	02/26/04	400-500	40	540	■
31	22	02/26/04	500-600	0	600	■
5	23	04/26/01	400-500	0	500	■
34	24	04/26/01	500-600	-80	520	■
13	25	04/26/01	400-500	0	500	■
15	26	04/26/01	400-500	-20	480	■
12	27	04/26/01	500-600	-80	520	■

Πίνακας 24: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων κατά μέση μηνιαία εδαφική υγρασία και βαθμίδα ποιότητας (συνέχεια).

2	28	02/27/04	500-600	-20	580	██████████
11	29	02/27/04	500-600	0	600	██████████
4	30	07/30/02	400-500	40	540	██████████
6	31	07/30/02	400-500	20	520	██████████
8	32	07/30/02	400-500	20	520	██████████
9	33	07/30/02	400-500	40	540	██████████
12	34	07/30/02	400-500	0	500	██████████
16	35	07/30/02	400-500	80	580	██████████
34	36	07/30/02	400-500	0	500	██████████

Βασικά στατιστικά εξαγόμενα του πίνακα :

Η μέση τιμή της υγρασίας των άριστων μετρήσεων είναι : 522.35mm.

Η μέση τιμή της υγρασίας των κακών μετρήσεων είναι : 500mm.

Η μέση τιμή της υγρασίας των μετρήσεων που έχουν απορριφθεί από τέσσερις και πλέον δείκτες είναι : 494 mm.

Είναι φανερό πως η αυξημένη εδαφική υγρασία κατά τον χρόνο λήψης ( σε μηνιαία κλίμακα ) παρέχει μετρήσεις με εμφανή συσχέτιση μεταξύ των τιμών, των δεικτών και της πραγματικής εδαφικής υγρασίας. Ειδικότερα, οι μετρήσεις, που χρησιμοποιούνται στην παλινδρόμηση κάθε δείκτη, έχουν την υψηλότερη μέση τιμή υγρασίας. Το σύνολο των μετρήσεων που έχουν απορριφθεί τουλάχιστον μία φορά έχει εμφανώς μικρότερη μέση τιμή εδαφικής υγρασίας ενώ το σύνολο των μετρήσεων που έχουν απορριφθεί σε περισσότερους από τέσσερις δείκτες έχει μέση μηνιαία τιμή ακόμη μικρότερη.

Οι τιμές του μηνιαίου μέσου της εδαφικής υγρασίας κατατάσσονται σε δύο κλάσεις :

- Η πρώτη περιλαμβάνει τις μετρήσεις με τιμές από 480mm έως 520mm και καλείται “χαμηλές τιμές εδαφικής υγρασίας” ή απλά “χαμηλή”.
- Η δεύτερη περιλαμβάνει τις τιμές από 540 mm έως 620mm και καλείται “υψηλές τιμές εδαφικής υγρασίας” ή απλά “υψηλή”.

Τα ποσοστά και η ταυτότητα των μετρήσεων, που εντάσσονται σε κάθε κλάση, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακά.

Πίνακας 25: Παρουσίαση συσχέτισης μέσης μηνιαίας εδαφικής υγρασίας και βαθμίδος ποιότητας μέτρησης.

Χαρακτηρισμός μετρήσεων	Υγρασία εδάφους	Πλήθος μετρήσεων	Ποσοστό μετρήσεων	Αριθμός μετρήσεων
Καλές (17)	Υψηλή	12	70.50%	1,3,5,9,15,21,22,28,29,30,33,35
	Χαμηλή	5	29.50%	25,26,27,31,32
Κακές (19)	Χαμηλή	18	94.70%	2,8,18,23,4,6,17,14,10,11,12,13,16,19,20,24,23,34,36
	Υψηλή	1	5.30%	7
Πολλαπλώς απορριφθείσες	Υψηλή	10	100.00%	10,11,12,13,16,19,20,24,34,36
	Χαμηλή	0	0.00%	-

Κατηγοριοποίηση κάθε μέτρησης ανάλογα με την κλάση υγρασίας και την βαθμίδα ποιότητας αυτής:

Είναι φανερό από τον παραπάνω πίνακα πώς η συντριπτική πλειοψηφία των καλών μετρήσεων ( 70,50%) ανήκει στην κλάση των υψηλών τιμών εδαφικής υγρασίας. Παράλληλα εμφανίζεται ένα σημαντικό ποσοστό καλών μετρήσεων να ανήκει στην κλάση των χαμηλών τιμών εδαφικής υγρασίας γεγονός, που εξηγείται παρακάτω. Το σύνολο των κακών μετρήσεων ( 94,7% ) ανήκει στην κλάση των χαμηλών τιμών υγρασίας, εκτός από μία μέτρηση. Τέλος όλες οι μετρήσεις, που έχουν αποκλειστεί από τέσσερις και άνω δείκτες, ανήκουν αποκλειστικά στην κλάση των χαμηλών τιμών υγρασίας.

Επί του διαθεσίμου δείγματος των τριανταέξι μετρήσεων υφίσταται μία ομάδα έξι μετρήσεων, ο χαρακτηρισμός των οποίων -σε βαθμίδες ποιότητας- δεν συμβαδίζει με την κλάση εδαφικής υγρασίας στην οποία ανήκουν. Οι εξής πέντε 25,26,27,31,32 από τις έξι μετρήσεις ανήκουν στις καλούμενες “καλές” ενώ η μέτρηση 7 είναι η μόνη από τις λεγόμενες “κακές”, που συμπληρώνει την ομάδα.

Η κατάταξη των μετρήσεων στις βαθμίδες ποιότητας καλές και κακές εξηγείται πολύ καλά από τον παράγοντα της μέσης μηνιαίας εδαφικής υγρασίας. Εφόσον σε σύνολο τριάντα έξι μετρήσεων ο παράγων αυτός εξηγεί την κατάταξη τριάντα μετρήσεων, δηλαδή του 83.33% ενώ δεν εξηγεί την κατάταξη έξι μετρήσεων δηλαδή του 16.7%. Ο παράγοντας της μέσης εδαφικής υγρασίας, τουλάχιστον μεμονωμένα, δεν μπορεί να εξηγήσει ( πέραν της ποιοτικής κατάταξης των μετρήσεων της εξαμελούς ομάδος που προαναφέραμε) και τον περαιτέρω διαχωρισμό των κακών μετρήσεων και σε πολλαπλώς απορριφθείσες. Η αδυναμία αυτή οδήγησε στην διερεύνηση νέων μεταβλητών, που να επιδρούν πάνω στις μετρήσεις, για να εξηγήσουν ό,τι δεν μπορεί ο παράγοντας της μέσης μηνιαίας εδαφικής υγρασίας να τεκμηριώσει από μόνος του. Η έρευνα κατέληξε στην μελέτη και υιοθέτηση δύο ακόμη παραγόντων, με ιδιαίτερα καλά αποτελέσματα, της εδαφοκάλυψης (συμπεριλαμβανομένης της μηνιαίας διακυμάνσεώς της) και της μέσης μηνιαίας ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας.

#### 4.3.2.2 Αξιολόγηση βάσει του είδους της εδαφοκαλύψεως ( κυρίως φυτοκαλύψεως )

Μελέτη επίδρασης του είδους εδαφοκάλυψης

Η μελέτη εδαφοκάλυψης έγινε βάση του χάρτη εδαφοκαλύψεων του Ιλινόις της υπηρεσίας NASS, ο οποίος παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3.1.2 Χαρακτηριστικά εδάφους της περιοχής μελέτης. Ο χάρτης εδαφοκαλύψεων, που χρησιμοποιήθηκε αφορά το έτος 2007 ενώ οι διαθέσιμες μετρήσεις αναφέρονται στα έτη 2001 , 2002 και 2004. Η μεγάλη χρονική απόσταση των μετρήσεων από το χάρτη πιθανότατα να υποκρύπτει αποχές μεταξύ της εδαφοκάλυψης, που εμφανίζεται στον χάρτη και αυτής που υπήρχε στην πραγματικότητα. Το εμπόδιο αυτό παρά τις προσπάθειες, που κατεβλήθησαν, δεν υπερκεράστηκε γιατί δεν βρέθηκαν χάρτες, που να αναφέρονται στα έτη κατά τα οποία ελήφθησαν οι μετρήσεις.

Πίνακας 26: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων κατά εδαφοκάλυψη και βαθμίδα ποιότητας μέτρησης.

Σταθμός	Αριθμός μέτρησης	Ημερομηνία	Φυτοκάλυψη	Αστική ζώνη – Μεγάλα κτίρια	Βαθμίδα ποιότητας
1	1	03/10/04	Σόγια, καλαμπόκι	Απουσία	
81	2	03/10/04	Σόγια, καλαμπόκι	Απουσία	
2	3	03/12/04	Βοσκότοποι, δάσος	Απουσία	
5	4	03/12/04	Σόγια, καλαμπόκι	Απουσία	
11	5	03/12/04	Σόγια, καλαμπόκι	Αραιό προάστιο ( όχι μεγάλες κατασκευές)	
13	6	03/12/00	Βοσκότοπος, σόγια, καλαμπόκι	Μεγάλες κατασκευές	
14	7	03/12/04	Σόγια, καλαμπόκι	Μεγάλες κατασκευές	
15	8	03/12/04	Σόγια, καλαμπόκι	Απουσία	
3	9	04/14/04	Δάσος , σόγια, καλαμπόκι	Απουσία	
4	10	04/14/04	Δάσος , σόγια, καλαμπόκι	Απουσία	
6	11	04/14/04	Σόγια, καλαμπόκι	Απουσία	
8	12	04/14/04	Σόγια, καλαμπόκι	Μεγάλες ασφάλτινες επιφάνειες και έντονη προαστιακή δόμηση.	

Πίνακας 27: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων κατά εδαφοκάλυψη και βαθμίδα ποιότητας μέτρησης. (συνέχεια 1).

9	13	04/14/04	Σόγια, καλαμπόκι	Απουσία	
10	14	04/14/04	Σόγια, καλαμπόκι	Απουσία	
12	15	04/14/04	Δάσος	Απουσία	
16	16	04/14/04	Σόγια, καλαμπόκι	Απουσία	
34	17	04/14/04	Βοσκότοπος και κάποια φυλλοβόλα	Απουσία	
4	18	02/26/04	Σόγια, καλαμπόκι	Απουσία	
12	19	02/26/04	Δάσος,βοσκότοποι	Οικισμός με κάποια μεγάλα κτίρια	
13	20	02/26/04	Βοσκότοπος, σόγια,καλαμπόκι	Μεγάλες κατασκευές	
15	21	02/26/04	Σόγια, καλαμπόκι	Απουσία	
31	22	02/26/04	Βοσκότοπος	Απουσία	
5	23	04/26/01	Σόγια,καλαμπόκι	Απουσία	
34	24	04/26/01	Βοσκότοπος και κάποια φυλλοβόλα	Απουσία	
13	25	04/26/01	Βοσκότοπος, σόγια, καλαμπόκι	Απουσία	
15	26	04/26/01	Σόγια, καλαμπόκι	Απουσία	
12	27	04/26/01	Δάσος, βοσκότοποι	Οικισμός με κάποια μεγάλα κτίρια	
2	28	02/27/04	Βοσκότοποι, δάσος	Απουσία	
11	29	02/27/04	Κάποια φυλλοβόλα, αειθαλής χλόη	Αραιό προάστιο ( όχι μεγάλες κατασκευές)	
4	30	07/30/02	Δάσος, σόγια , καλαμπόκι	Απουσία	
6	31	07/30/02	Σόγια, καλαμπόκι	Απουσία	



Πίνακας 28: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων κατά εδαφοκάλυψη και βαθμίδα ποιότητας μέτρησης. (συνέχεια2).

8	32	07/30/02	Σόγια, καλαμπόκι	Μεγάλες ασφάλτινες επιφάνειες και έντονη προαστιακή δόμηση	
9	33	07/30/02	Σόγια, καλαμπόκι	Απουσία	
12	34	07/30/02	Δάσος,βοσκότοποι	Οικισμός με κάποια μεγάλα κτίρια	
16	35	07/30/02	Σόγια, καλαμπόκι	Απουσία	
34	36	07/30/02	Βοσκότοπος και κάποια φυλλοβόλα	Απουσία	

Τα σημαντικότερα στατιστικά εξαγόμενα του προηγθέντος συγκεντρωτικού πίνακα φαίνονται στο μητρώο που ακολουθεί.

Πίνακας 29: Παρουσίαση συσχέτισης εδαφοκάλυψης και βαθμίδος ποιότητας μέτρησης.

Χαρακτηρισμός μετρήσεων	Κυρίαρχη κατηγορία φυτοκάλυψης	Ποσοστό μετρήσεων	Πλήθος μετρήσεων	Αριθμός μετρήσεων
Καλές (17)	Βοσκότοπος χλωρός		4	3,22,25,28
	Δάσος με φύλλωμα		5	9,15,27,31,32
	Σόγια, καλαμπόκι, κενή γή		2	1.21
	Σόγια, κενή γη, καλαμπόκι, φύτευση		1	26
	Σόγια, καλαμπόκι, ανθοφορία		3	30,33,35
	Χλόη αειθαλής		2	5.29
	Βοσκότοπος ξηρός			
	Δάσος χωρίς φύλλωμα			
Διαχωρισμός φυτοκάλυψης στις βασικές κατηγορίες ύπαρξης ή μη ύπαρξης δραστηριότητας βλάστησης.				
	Χλωρή γη με βλάστηση (14)	82.40%	14	3,22,25,28,9,15,27,31,32,30,33,35,5, 29
	Γυμνή γη, δάση χωρίς φύλλα	17.60%	3	1,21,26
Κακές (19)	Βοσκότοπος χλωρός		4	6,17,24,20
	Δάσος με φύλλωμα		3	10,12, 34
	Σόγια, καλαμπόκι κενή γη		5	2,4,7,8,18
	Σόγια, κενή γη, καλαμπόκι, φύτευση		5	14,13,11,16,23
	Σόγια, καλαμπόκι ανθοφορία			

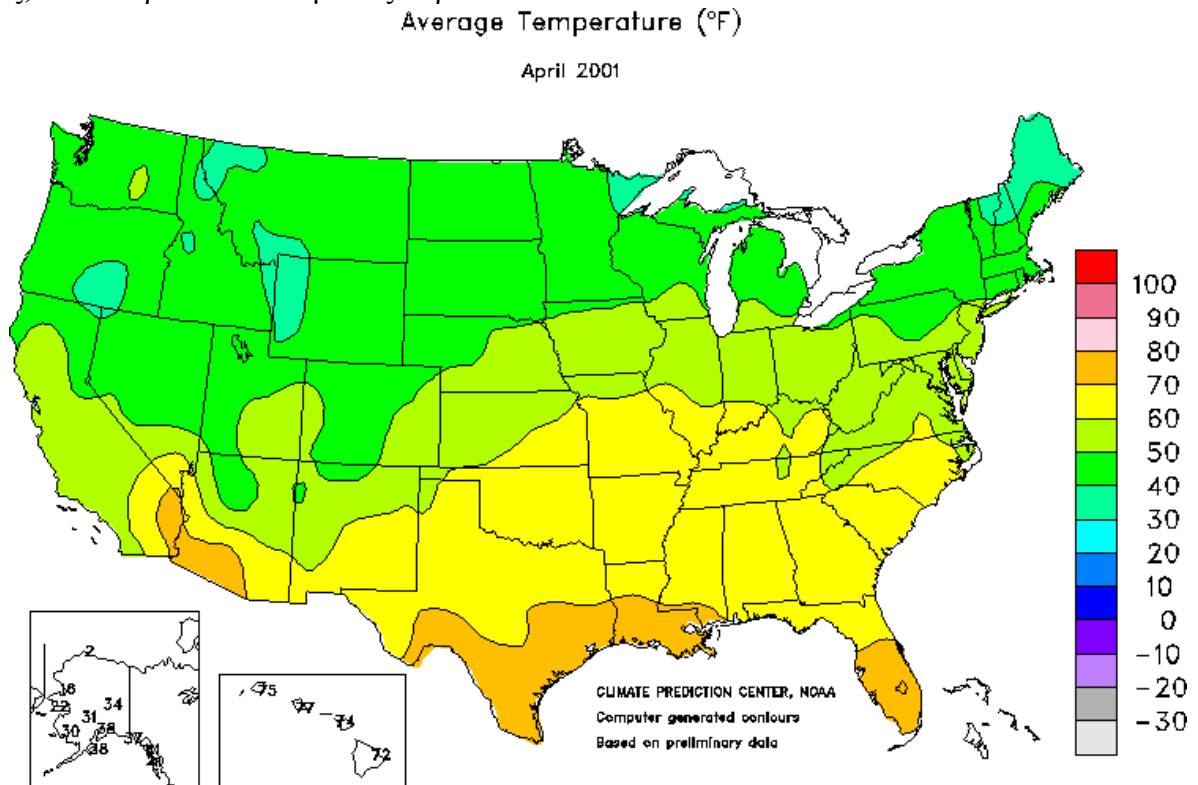
Πίνακας 30: Παρουσίαση συσχέτισης εδαφοκάλυψης και βαθμίδος ποιότητας μέτρησης (συνέχεια).

	Χλόη αειθαλής			
	Βοσκότοπος ξηρός		1	36
	Δάσος χωρίς φύλλωμα		1	19
Διαχωρισμός φυτοκάλυψης στις βασικές κατηγορίες ύπαρξης ή μη ύπαρξης δραστήριας βλάστησης.				
	Χλωρή γη με βλάστηση (14)	36.80%	7	6,17,24,20,10,12,34
	Γυμνή γή δάση χωρίς φύλλα	63.20%	12	2,4,7,8,18,14,13,11,16,23,36,19
Πολλαπλώς απορριφθείσες (10)	Βοσκότοπος χλωρός		2	24.2
	Δάσος με φύλλωμα		3	10,12, 34
	Σόγια, καλαμπόκι: κενή γη			
	Σόγια κενή γη καλαμπόκι : φύτευση		3	13,11,16
	Σόγια καλαμπόκι : ανθοφορία			
	Χλόη αειθαλής			
	Βοσκότοπος ξηρός		1	36
	Δάσος χωρίς φύλλωμα		1	19
Διαχωρισμός φυτοκάλυψης στις βασικές κατηγορίες ύπαρξης ή μη ύπαρξης δραστήριας βλάστησης.				
	Χλωρή γη με βλάστηση (14)	50.00%	5	24,2,10,12,34
	Γυμνή γη, δάση χωρίς φύλλα	50.00%	5	13,11,16,36,19

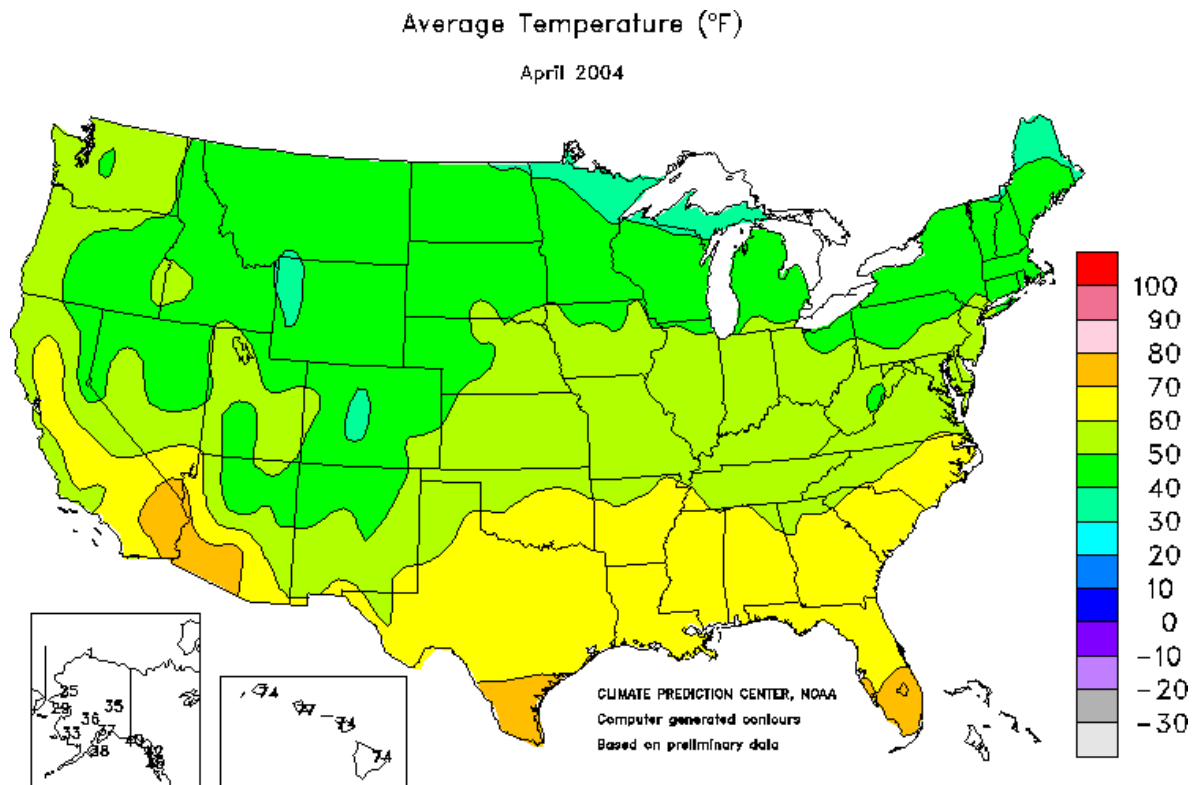
Ορατή είναι η συσχέτιση μεταξύ της ύπαρξης ενεργού βλάστησης ή της απουσίας αυτής (γυμνό έδαφος, ξηρά χόρτα και γυμνά δάση) και της ποιότητας των μετρήσεων. Συγκεκριμένα παρατηρείται αύξηση της αποτελεσματικότητας των μετρήσεων όσο πιο χλωρό είναι το κυρίαρχο είδος βλάστησης. Ο κανόνας αυτός, χωρίς να αποτελεί अपάράβατη αρχή, υποδεικνύει μία ισχυρή τάση, παρά το γεγονός ότι οι πολλαπλώς απορριφθείσες μετρήσεις δεν παρουσιάζουν κάποια διαφοροποίηση ως προς την ύπαρξη ή όχι ενεργού βλάστησης.

#### 4.3.2.3 Αξιολόγηση βάσει της μέσης μηνιαίας ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας

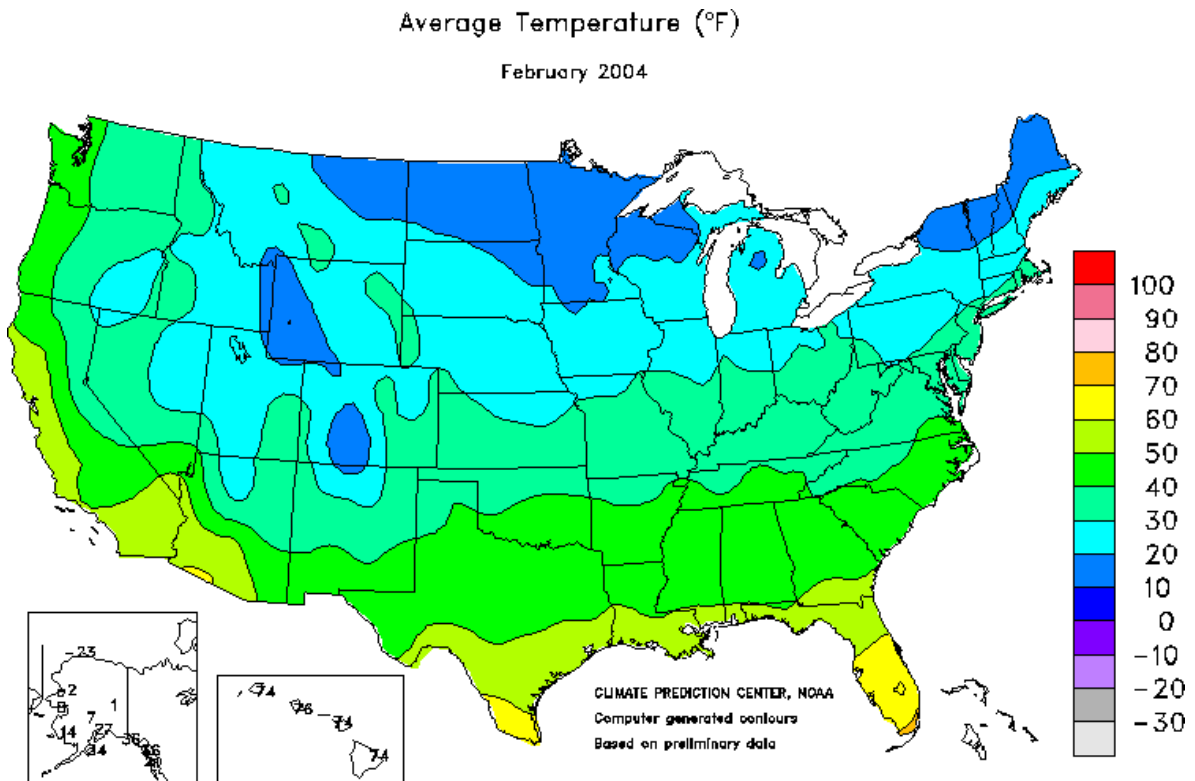
Η μέση ατμοσφαιρική θερμοκρασία για κάθε σταθμό βρέθηκε με φωτοερμηνεία στους χάρτες, που παρατίθενται αμέσως παρακάτω.



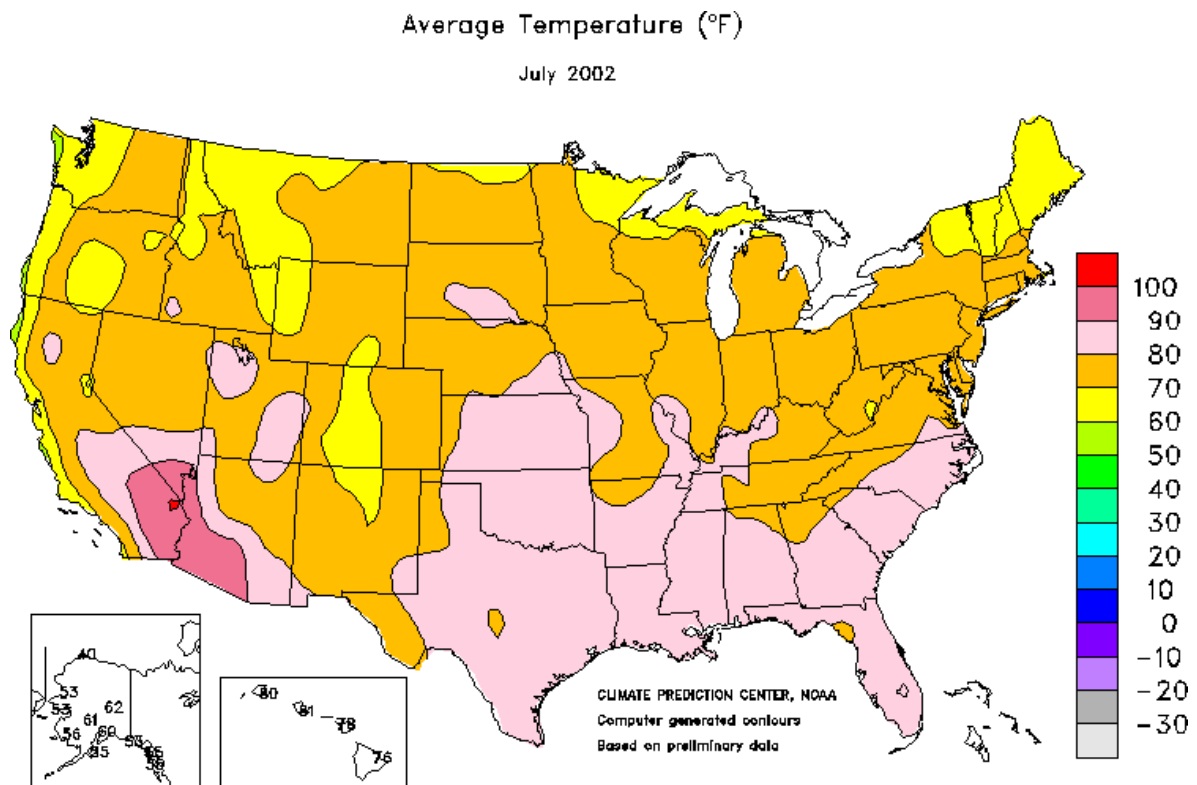
Εικόνα 19: Μέση θερμοκρασία κατά το Απρίλιο του 2001. Πηγή: Soil Moisture Monitoring and Prediction over U.S.A.



Εικόνα 20: Μέση θερμοκρασία κατά τον Απρίλιο του 2004. Πηγή: Soil Moisture Monitoring and Prediction over U.S.A.



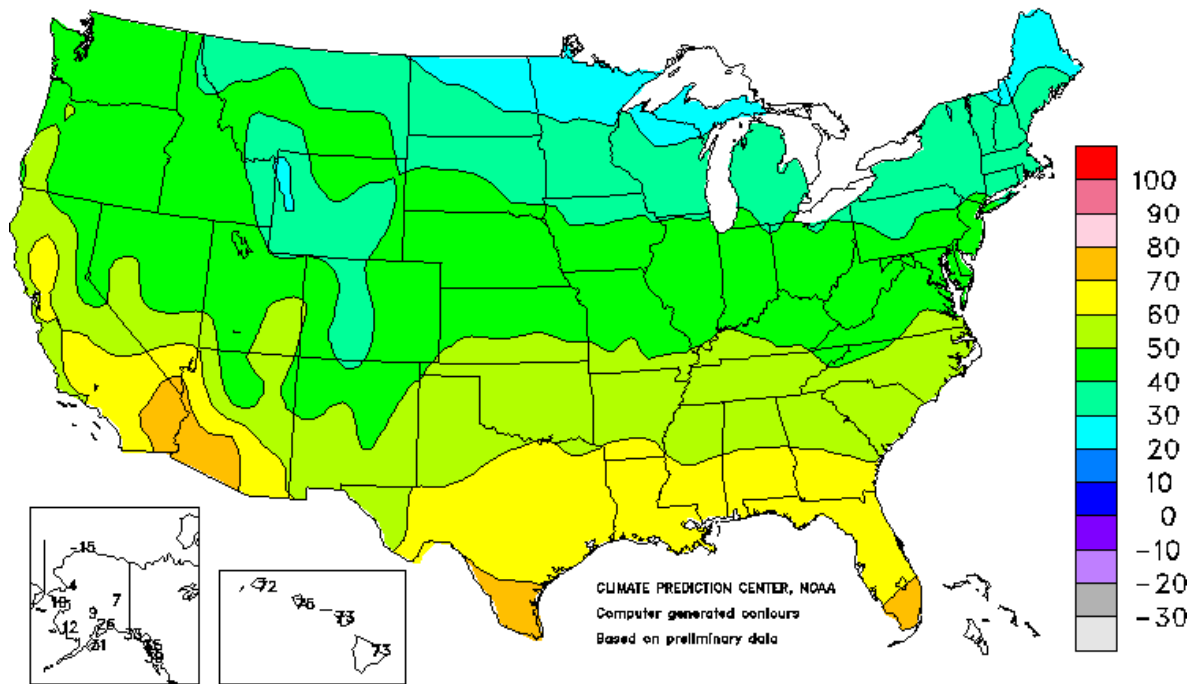
Εικόνα 21: Μέση θερμοκρασία κατά τον Φεβρουάριο του 2004. Πηγή: Soil Moisture Monitoring and Prediction over U.S.A .



Εικόνα 22: Μέση θερμοκρασία κατά τον Ιούλιο του 2004 . Πηγή: Soil Moisture Monitoring and Prediction over U.S.A .

Average Temperature (°F)

March 2004



Εικόνα 23: Μέση θερμοκρασία κατά τον Μάρτιο του 2004. Πηγή: Soil Moisture Monitoring and Prediction over U.S.A.

Πίνακας 31: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων κατά μέση μηνιαία ατμοσφαιρική θερμοκρασία και βαθμίδα ποιότητας μέτρησης.

Σταθμός	Αρ.μέτρησης	Ημερομηνία	Μέση Θερμοκρασία αέρα (F)	Βαθμίδα ποιότητας μέτρησης
1	1	03/10/04	40	Black
81	2	03/10/04	40	Grey
2	3	03/12/04	50	Black
5	4	03/12/04	40	Grey
11	5	03/12/04	40	Black
13	6	03/12/04	40	Grey
14	7	03/12/04	40	Grey
15	8	03/12/04	40	Grey
3	9	04/14/04	50	Black
4	10	04/14/04	50	Red
6	11	04/14/04	50	Green
8	12	04/14/04	50	Red
9	13	04/14/04	50	Red
10	14	04/14/04	50	Blue
12	15	04/14/04	50	Black
16	16	04/14/04	50	Red
34	17	04/14/04	50	Grey
4	18	02/26/04	20	Grey
12	19	02/26/04	30	Red
13	20	02/26/04	20	Red
15	21	02/26/04	20	Black
31	22	02/26/04	30	Black
5	23	04/26/01	50	Grey
34	24	04/26/01	60	Red
13	25	04/26/01	50	Black
15	26	04/26/01	50	Black
12	27	04/26/01	60	Black
2	28	02/27/04	30	Black
11	29	02/27/04	30	Black
4	30	07/30/02	80	Black



Πίνακας 32: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων κατά μέση μηνιαία ατμοσφαιρική θερμοκρασία και βαθμίδα ποιότητας μέτρησης (συνέχεια).

6	31	07/30/02	70	
8	32	07/30/02	70	
9	33	07/30/02	80	
12	34	07/30/02	70	
16	35	07/30/02	70	
34	36	07/30/02	70	

Βασικά στατιστικά εξαγόμενα του πίνακα :

Η μέση τιμή της θερμοκρασίας των άριστων μετρήσεων είναι : 59.4 F.

Η μέση τιμή της θερμοκρασίας των κακών μετρήσεων είναι : 45.79 F.

Η μέση τιμή της θερμοκρασίας των μετρήσεων που έχουν απορριφθεί από τέσσερις και πλέον δείκτες είναι : 50F.

Υπάρχει ισχυρή αντιστοιχία μεταξύ της τιμής της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και της κατάταξης των μετρήσεων σε βαθμίδες ποιότητας. Οι “καλές” μετρήσεις έχουν εμφανώς υψηλότερη μέση τιμή θερμοκρασίας ( 59.4 F ) από τις “κακές” ( 45.79 F). Η μόνη ανωμαλία έγκειται στην αυξημένη μέση τιμή των “πολλαπλώς απορριφθεισών” 50F από το ευρύτερο σύνολο των χαρακτηρισμένων ως “κακών μετρήσεων”. Η ανωμαλία αυτή εύκολα δικαιολογείται, υπό την προϋπόθεση πως η ατμοσφαιρική θερμοκρασία αποτελεί ένα συμπληρωματικό παράγοντα στην κατάταξη έκαστης μέτρησης σε συγκεκριμένη βαθμίδα ποιότητας και όχι το βασικό μέτρο.

#### 4.3.2.4 Αξιολόγηση βάσει του συνδυασμού και των τριών μεταβλητών

Πίνακας 33: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων κατά τις τρεις μεταβλητές και την βαθμίδα ποιότητας.

Αριθμός μέτρησης	Υγρασία	Τύπος Φυτοκάλυψης	Μεγάλες κατασκευές	Κατάσταση Φυτοκάλυψης	Ατμοσφαιρική θερμοκρασία	Βαθμίδα ποιότητας
25	500	Βοσκότοπος, σόγια, καλαμπόκι	Μεγάλες κατασκευές	Βοσκότοπος: γεμάτος χόρτα Σόγια : κενή γη , καλαμπόκι : φύτευση	50	████████
26	480	Σόγια, καλαμπόκι	όχι	Σόγια : κενή γη , καλαμπόκι : φύτευση	50	████████
27	520	Δάσος, βοσκότοποι	Οικισμός με κάποια μεγάλα κτίρια.	Βοσκότοπος : γεμάτος χόρτα δάσος : κάποια φυλλώματα	60	████████
31	520	Σόγια, καλαμπόκι	όχι	Σόγια : άνθιση , καλαμπόκι : άνθιση	70	████████
32	520	Σόγια,καλαμπόκι	Μεγάλες ασφάλτινες επιφάνειες	Σόγια : άνθιση , καλαμπόκι : άνθιση	70	████████
7	600	Σόγια,καλαμπόκι	όχι	Σόγια : κενή γη , καλαμπόκι : κενή γη	40	██████

Η απόπειρα αντικειμενικής αιτιολόγησης της κατάταξης των έξι μετρήσεων, που δεν υπακούν στον κανόνα της εδαφικής υγρασίας, σε βαθμίδες ποιότητας βασίζεται στην επιπλέον χρήση των κριτηρίων της ατμοσφαιρικής υγρασίας καθώς και της εδαφοκάλυψης. Ειδικότερα με την χρήση του παραπάνω πίνακα καθίσταται φανερό ότι ενώ οι μετρήσεις 26 , 27,31 και 32 ανήκουν στην κλάση των τιμών χαμηλής εδαφικής υγρασίας το κύριο είδος βλάστησης βρίσκεται στην ενεργή του περίοδο, με αποτέλεσμα να είναι σχετικά χλωρό. Επιπλέον παρατηρούμε πως οι επικρατούσες μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες είναι μεσαίες ή υψηλές και όχι χαμηλές ή πολύ χαμηλές. Τα στοιχεία, που μελετήθηκαν, δεν επιτρέπουν την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για την δικαιολόγησή της βαθμίδος ποιότητας των μετρήσεων.

Με την χρήση και των τριών κριτηρίων (μέσης μηνιαίας εδαφικής υγρασίας, εδαφοκάλυψης και μέσης μηνιαίας ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας) ο συνολικός αριθμός των μετρήσεων, των οποίων η κατάταξη στις βαθμίδες ποιότητας καλές και κακές δικαιολογείται , αυξάνεται σημαντικά. Αναλυτικότερα η κατηγοριοποίηση των 34 μετρήσεων (1,3,5,9,15,21,22, 28,29,30,33,35,26,27,32,32,2,8,18,23,4,6,17,14,10,11,12,13,16,19,20,24,23,34,36,25) εξηγείται ενώ

η κατηγοριοποίηση της μέτρησης 7 δεν εξηγείται. Το μέγεθος της επιτυχίας για την κατηγοριοποίηση των μετρήσεων σε “καλές” και “κακές” γίνεται ευκολότερα αντιληπτό με την χρήση των ποσοστιαίων αναλογιών, όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

*Πίνακας 34: Παρουσίαση του βαθμού επιτυχίας στην κατάταξη των μετρήσεων με την συνδυασμένη χρήση και των τριών κριτηρίων.*










	Αριθμός μετρήσεων	Πλήθος μετρήσεων	Ποσοστό επί του συνόλου των μετρήσεων
Μετρήσεις με αιτιολογημένη κατάταξη	1,3,5,9,15,21,22,28,29,30,33,35,26, 27,32,32,2,8,18,23,4,6,17,14,10,11,12,13,16,19,20,24,23,34,36	35	97.22%
Μετρήσεις χωρίς αιτιολογημένη κατάταξη	7	1	2.78%

### 4.3.3 Αιτιολόγηση περαιτέρω κατάταξης των μετρήσεων της βαθμίδας ποιότητας “κακές” στις βαθμίδες ποιότητας “πολλαπλώς απορριφθείσες” και “μη πολλαπλώς απορριφθείσες”.

Πίνακας 35: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων της βαθμίδας ποιότητας "κακές" κατά τις τρεις μεταβλητές και την βαθμίδα ποιότητας.

Σταθμός	Αριθμός μέτρησης	Ημερ/νία	Αληθής υγρασία	Αστική κάλυψη	Κατάσταση βλάστησης	Βαθμίδα ποιότητας μέτρησης	Ατμοσφαιρική θερμοκρασία
81	2	03/10/04	520	Όχι	Καλαμπόκι: κενή γη Σόγια: κενή γη		40
5	4	03/12/04	480	Όχι	Καλαμπόκι : κενή γη Σόγια: κενή γη		40
13	6	03/12/04	480	Μεγάλες εγκαταστάσεις με εκτεταμένους χώρους στάθμευσης.	Βοσκότοπος γεμάτος χόρτα.		40
14	7	03/12/04	600	Όχι	Καλαμπόκι : κενή γη Σόγια: κενή γη		40
15	8	03/12/04	500	Όχι	Καλαμπόκι : κενή γη Σόγια: κενή γη .		40
4	10	04/14/04	480	Όχι	Δάσος με φύλλωμα .		50
6	11	04/14/04	480	Όχι	Καλαμπόκι : φύτευση. Σόγια: κενή γη .		50
8	12	04/14/04	480	Προάστιο χωρίς επικείμενη βλάστηση.	Δάσος με φύλλωμα .		50

Πίνακας 36: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων της βαθμίδος ποιότητας "κακές" κατά τις τρεις μεταβλητές και την βαθμίδα ποιότητας ( συνέχεια 1 ).

9	13	04/14/04	500	Όχι	Καλαμπόκι : φύτευση. Σόγια: κενή γη.		50
10	14	04/14/04	500	Όχι	Καλαμπόκι : φύτευση. Σόγια: κενή γη.		50
16	16	04/14/04	500	Όχι	Καλαμπόκι : φύτευση. Σόγια: κενή γη,		50
34	17	04/14/04	480	Αραιό προάστιο με μερικές μεγάλες κατασκευές .	Βοσκότοπος γεμάτος χόρτα.		50
5	18	02/26/04	460	Όχι	Καλαμπόκι : κενή γη Σόγια: κενή γη.		20
12	19	02/26/04	500	Αραιό προάστιο με κάποια μεγάλα κτίρια .	Δάσος χωρίς φύλλωμα		30
13	20	02/26/04	460	Μεγάλες εγκαταστάσεις με εκτεταμένους χώρους στάθμευσης.	Βοσκότοπος γεμάτος χόρτα.		20
5	23	04/26/01	500	Όχι	Καλαμπόκι : φύτευση. Σόγια: κενή γη.		50
34	24	04/26/01	520	Αραιό προάστιο με μερικές μεγάλες κατασκευές .	Βοσκότοπος γεμάτος χόρτα.		60

Πίνακας 37: Αρχαιοθέτηση μετρήσεων της βαθμίδος ποιότητας "κακές" κατά τις τρεις μεταβλητές και την βαθμίδα ποιότητας (συνέχεια 2).

12	34	07/30/02	500	Αραιό προάστιο με κάποια μεγάλα κτίρια .	Δάσος πλήρες φυλλώματος .		70
34	36	07/30/02	500	Αραιό προάστιο με μερικές μεγάλες κατασκευές .	Βοσκότοπος ξηρός		70

Πίνακας 38: Παρουσίαση συσχέτισης μέσης μηνιαίας εδαφικής υγρασίας και κατάταξης μετρήσεων στις βαθμίδες ποιότητας "πολλαπλώς απορριφθείσες" και "μη πολλαπλώς απορριφθείσες"

Βαθμίδα ποιότητας μέτρησης	Διαστήματα τιμών εδαφικής υγρασίας	Αριθμός μετρήσεων	Πλήθος μετρήσεων	Ποσοστό επί του συνόλου
Κακές με απόρριψη από τέσσερις και άνω δείκτες (κόκκινες )	540 και άνω	0	0	0.00%
	520 και κάτω	11,10,12,16,19,20,24,34,36	10	100.00%

Όπως γίνεται φανερό όλες οι μετρήσεις που ανήκουν στην κατηγορία αυτών, που έχουν πολλαπλώς απορριφθεί, ελήφθησαν σε περίοδο με μέση μηνιαία εδαφική υγρασία κάτω ή ίση με την τιμή 520. Παράλληλα η βλάστηση είτε δεν ήταν ενεργή ( δάσος χωρίς φύλλα) είτε απουσίαζε ( κενό χωράφι) ή υπήρχε ενεργή βλάστηση αλλά η περιοχή του σταθμού μέτρησης είχε προαστιακό χαρακτήρα και μεγάλες κτιριακές κατασκευές εμφανίζονταν σε αυτή. Οι μετρήσεις που ανήκουν στην κατηγορία αυτών που έχουν απορριφθεί μονάχα από ένα δείκτη η από δύο, όπως μόνο η μέτρηση 14, έχουν τιμές εδαφικής υγρασίας που κυμαίνεται από την τιμή 460 και άνω. Όμως το κύριο πλήθος των μετρήσεων έχει τιμές υγρασίας από την τιμή 520 και άνω.

## 5. Συμπεράσματα και προοπτικές

### 5.1 Συμπεράσματα

Η αξιολόγηση της ποιότητας των μετρήσεων έγινε με τρία βασικά κριτήρια, τα οποία με σειρά σημαντικότητας, όπως αυτή προέκυψε από την παρούσα έρευνα, είναι το μέγεθος της εδαφικής υγρασίας, η φυτοκάλυψη και η φάση στην οποία ευρίσκεται κατά την στιγμή της λήψης της και τέλος η ατμοσφαιρική θερμοκρασία κατά την στιγμή λήψης της μέτρησης.

#### Κατάταξη των μετρήσεων σε "καλές" και "κακές"

I) Κριτήριο μέσης μηνιαίας εδαφικής υγρασίας :

Εμφανής είναι η ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της ποιότητας των μετρήσεων και της μέσης μηνιαίας τιμής της εδαφικής υγρασίας, που επικρατούσε κατά την λήψη τους. Οι τιμές εδαφικής υγρασίας χωρίστηκαν σε δύο κλάσεις: αυτής των υψηλών τιμών (540 και άνω) που αποτελούν ένδειξη για μετρήσεις καλής ποιότητάς και αυτής των χαμηλών τιμών ( 520 και κάτω) που αποτελούν ένδειξη για μετρήσεις κακής ποιότητος. Σε σύνολο τριάντα έξι μετρήσεων εξηγείται η κατάταξη τριάντα δηλαδή του 83.33% ενώ δεν εξηγείται η κατάταξη έξι μετρήσεων δηλαδή του 16.7%. Η αδυναμία στην εξήγηση της κατάταξης των έξι αυτών μετρήσεων οδήγησε στην υιοθέτηση επιπλέον μεταβλητών, οι οποίες ασκούν σημαντική επίδραση, με στόχο να αρθεί η συγκεκριμένη αδυναμία διαμέσου της συνδυασμένης χρήσης τους.

II) Κριτήριο φυτοκάλυψης

Το κριτήριο αυτό περικλείει όχι μόνον το είδος της φυτοκάλυψης αλλά και την φάση που διάγει. Επί παραδείγματι η κατάσταση στην οποία βρίσκεται το φύλλωμα των φυλλοβόλων δένδρων. Παρότι η σημασία της εδαφικής υγρασίας είναι συγκριτικά πολύ ισχυρότερη, βρέθηκε πως η ύπαρξη βλάστησης και το πόσο χλωρή είναι αυτή ενισχύει την αποτελεσματικότητα των δεικτών. Ο κανόνας αυτός, χωρίς να αποτελεί अपαράβατη αρχή, υποδεικνύει μία ισχυρή τάση, παρά το γεγονός πως οι πολλαπλώς απορριφθείσες μετρήσεις, συγκρινόμενες με όσες μετρήσεις έχουν απορριφθεί από ένα ή το πολύ δύο δείκτες, δεν παρουσιάζουν καμία διαφοροποίηση ως προς την ύπαρξη ή όχι ενεργού βλάστησης.

III) Κριτήριο μέσης μηνιαίας ατμοσφαιρικής υγρασίας

Αποτελεί το ολιγότερο ισχυρό κριτήριο στην αξιολόγηση της ποιότητας των μετρήσεων. Η εξέταση όμως των θερμοκρασιακών τιμών αναδεικνύει ισχυρή αντιστοιχία μεταξύ της τιμής της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και της κατάταξης των μετρήσεων σε βαθμίδες ποιότητας. Οι καλές μετρήσεις εμφανώς έχουν υψηλότερη μέση τιμή θερμοκρασίας 59.4 F από τις κακές 45.79 F. Παράλληλα γίνεται άμεσα εμφανής η ανωμαλία λόγω της αντιστροφής της τάσης που μόλις περιγράφει. Με τις μετρήσεις που έχουν απορριφθεί από τέσσερις και άνω δείκτες ( κλάση πολλαπλώς απορριφθείσες ) να παρουσιάζουν μεγαλύτερη μέση τιμή θερμοκρασιών στους 50 F από την κλάση κακές. Βέβαια η ανωμαλία αυτή εύκολα δικαιολογείται, συνυπολογίζοντας πως η ατμοσφαιρική θερμοκρασία αποτελεί ένα συμπληρωματικό παράγοντα στην κατάταξη έκαστης μέτρησης σε συγκεκριμένη βαθμίδα ποιότητας και όχι το βασικό μέτρο ιεράρχησης .

IV) Συνδυασμένη χρήση και των τριών κριτηρίων

Η απόπειρα αντικειμενικής αιτιολόγησης της κατάταξης των έξι μετρήσεων, που δεν υπακούν στον κανόνα της εδαφικής υγρασίας, σε βαθμίδες ποιότητος, βασίζεται στην επιπλέον

χρήση των κριτηρίων της ατμοσφαιρικής υγρασίας και της εδαφοκάλυψης. Ειδικότερα με την χρήση του παραπάνω πίνακα καθίσταται φανερό πώς οι μετρήσεις 27,32 και 32, παρότι ανήκουν στην κλάση των τιμών χαμηλής εδαφικής υγρασίας το κύριο είδος βλάστησης που φέρουν βρίσκεται στην ενεργή περίοδο, με αποτέλεσμα να είναι αρκετά χλωρό. Επιπλέον παρατηρούμε πώς οι επικρατούσες μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες είναι μέσες ή υψηλές και όχι χαμηλές ή πολύ χαμηλές. Οι μετρήσεις 26 και 7 δεν εξηγούνται έστω και αν γίνει συνδυασμένη χρήση και των τριών κριτηρίων .

Η επιτυχία της συνδυασμένης χρήσης και των τριών κριτηρίων είναι ιδιαίτερος σημαντική στην αιτιολόγηση της κατάταξης σε βαθμίδες ποιότητας καλές και κακές των μετρήσεων. Επί συνόλου 36 μετρήσεων η συνδυασμένη χρήση δικαιολογεί την κατάταξη 34 ,δηλαδή ποσοστιαία αιτιολογεί το 94,44% των κατατάξεων και δεν δύναται να αιτιολογήσει 5,56% των κατατάξεων.

### **Διαχωρισμός των μετρήσεων της βαθμίδος ποιότητας “κακές” σε “πολλαπλώς απορριφθείσες” και “ μη πολλαπλώς απορριφθείσες”**

Η περαιτέρω αυτή κατηγοριοποίηση δεν έγινε δυνατόν να αποδώσει αξιόλογα αποτελέσματα πέραν της περιγραφής μερικών αδρομερών τάσεων οι οποίες συνοψίζονται :

- Στην ύπαρξη η μη ογκωδών κτισμάτων και επομένως στην ύπαρξη ισχυρής ή μη φασματικής επίδρασης. Η παρουσία αυτών των κτιρίων φαίνεται να μειώνει την αποτελεσματικότητα των δεικτών αφού το σύνολο των πολλαπλώς αποκλειόμενων μετρήσεων περιέχουν τέτοια. Υπάρχουν όμως μετρήσεις μη πολλαπλώς απορριφθείσες που έχουν στην περιοχή τους ισχυρά κτίσματα.
- Στην τιμή της εδαφικής υγρασίας, διότι εάν αυτή κυμαίνεται πάνω από την τιμή των 500 η μέτρηση δεν είναι πολλαπλώς αποκλειόμενη.

Οι δύο αναφορές αποτελούν απλώς τάσεις, που γίνονται εμφανείς στο πολύ μικρό πλήθος των 19 μετρήσεων που ανήκουν στην κλάση κακές. Η παρούσα έρευνα επ’ ουδενί δύναται να τις θεμελιώσει ως κανόνες κατάταξης σε βαθμίδες ποιότητας, αποτελούν όμως σοβαρότατα κίνητρα για μελλοντικές ερευνητικές εργασίες..

### **Αξιολόγηση δεικτών**

Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις δείκτες για τον υπολογισμό της υγρασίας από δορυφορικές εικόνες του συστήματος MODIS, η αξιολόγηση των οποίων βασίζεται σε δύο παράγοντες :

- Την μέγιστη τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (determination coefficient)  $R^2$ , το οποίο αποτελεί καθαρά στατιστικό κριτήριο με εφαρμογή σε κάθε είδους μετρήσεων.
- Τη βαθμίδα ποιότητας των μετρήσεων που απορρίφθηκαν. Σημειώνεται πώς η αφαίρεση μετρήσεων, που έχουν απορριφθεί από πολλούς δείκτες, θεωρείται αντικειμενικότερη και λιγότερο αυθαίρετη διότι η πολλαπλή αφαίρεση, κατά πάσα πιθανότητα, υποδηλώνει κάποια ανωμαλία στην μέτρηση που δυσχεραίνει τον συσχετισμό της με του δείκτες.

Ο δείκτης NDVI είναι εκείνος που πληρεί συγκριτικά με τους υπόλοιπους στον μεγαλύτερο βαθμό τα παραπάνω κριτήρια. Με συντελεστή γραμμικής συσχέτισης  $R^2 = 0.75$  τον μεγαλύτερο από κάθε άλλο δείκτη και όσες μετρήσεις αφαιρέθηκαν να ανήκουν στην βαθμίδα ποιότητας πολλαπλώς απορριφθείσες.



## 5.2 Προοπτικές

Η έρευνα που διεξήχθη στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, όπως έγινε κατανοητό και στα συμπεράσματα, απέδωσε άριστα αποτελέσματα στον διαχωρισμό των μετρήσεων, που έχουν απορριφθεί από έναν τουλάχιστον δείκτη (κακές ) και όσων χρησιμοποιήθηκαν ανεξαιρέτως από όλους τους δείκτες (καλές). Δεν κατέστη όμως δυνατή η εξήγηση του περαιτέρω διαχωρισμού των μετρήσεων που χαρακτηρίστηκαν ως κακές σε πολλαπλώς απορριφθείσες και μη πολλαπλώς απορριφθείσες. Η σημασία του τελευταίου διαχωρισμού είναι ιδιαίτερης βαρύτητας, διότι η πολλαπλή απόρριψη, κατά πάσα πιθανότητα, μπορεί να υποκρύπτει χαρακτηριστικά των μετρήσεων που δεν επιτρέπουν τον συσχετισμό με τις υπόλοιπες μετρήσεις στα πλαίσια της παλινδρόμησης ενός δείκτη.

Γόνιμο πεδίο προβληματισμού και μελλοντικής έρευνας αναπτύσσεται κατά αυτόν τον τρόπο στην προσπάθεια εύρεσης αντικειμενικών κριτηρίων για τον διαχωρισμό των μετρήσεων της βαθμίδας ποιότητας κακές σε πολλαπλώς απορριφθείσες και μη πολλαπλώς. Τα κριτήριά αυτά μπορούν να εντάσσονται σε όσα έχουν αναπτυχθεί ήδη στην παρούσα εργασία και απλώς να απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός παρατηρήσεων προς διερεύνηση, από όσες κατέστη δυνατόν να εξασφαλιστούν σε αυτήν. Είναι δυνατόν ακόμη να χρησιμοποιηθούν επιπλέον κριτήρια τα οποία θα περιλαμβάνουν νέα χαρακτηριστικά των μετρήσεων, όπως είναι το είδος της επιφάνειάς του εδάφους, η θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους κατά την στιγμή της λήψης, το διάγραμμα βροχοπτώσεων και άλλα.

Λαμβάνοντας υπόψιν την σημασία της εδαφικής υγρασίας στην χερσαία χλωρίδα, είτε φυσικής όπως τα δάση είτε ανθρωπογενούς όπως οι καλλιέργειες, καθίσταται εμφανής η σπουδαιότητα οποιουδήποτε μέσου διατίθεται για την προστασία και αναβάθμισή της. Σήμερα, με την χρήση των εικόνων που καθημερινώς παρέχει το δορυφορικό σύστημα MODIS και την εφαρμογή επί αυτών δεικτών υπολογισμού της εδαφικής υγρασίας, είναι δυνατή - στα πλαίσια μελλοντικών εργασιών - η ανάπτυξη εφαρμογής για την παρακολούθηση των μεταβολών της εδαφικής υγρασίας. Η εφαρμογή αυτή θα αποτελεί απαραίτητο συστατικό ενός συστήματος γεωργίας ακριβείας διότι θα παρέχει απαραίτητα στοιχεία για τον βαθμό ύγρανσης του εδάφους, καθορίζοντας την κατανομή των υδροδοτήσεων στις καλλιέργειες. Τέλος η εφαρμογή αυτή θα σχηματοποιεί περιοχές με υψηλή επικινδυνότητα για πυρκαγιές, λόγω της ισχνής ύγρανσης του εδάφους, κατά τους θερινούς μήνες στα δάση.

Τέλος ανοίγονται ευρύτατες δυνατότητες για την συνδυασμένη χρήση παθητικών και ενεργητικών τηλεπισκοπικών δεκτών στον εντοπισμό της εδαφικής υγρασίας. Αναλυτικότερα οι radar εικόνες παρέχουν την ιδεώδη για δορυφορικό σύστημα εκτίμηση της εδαφικής υγρασίας αλλά λόγω του ιδιαίτερου μεγάλου κόστους τους δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε καθημερινή βάση. Μπορούν όμως αντί των επίγειων εδαφικών μετρήσεων υγρασίας να χρησιμοποιηθούν αυτές ώστε να εξασφαλιστούν τα απαραίτητα σε ακρίβεια και πλήθος δεδομένα εδαφικής υγρασίας. Εν συνεχεία τα δεδομένα αυτά θα χρησιμοποιηθούν στην βαθμονόμηση των εξισώσεων παλινδρόμησης εκάστου δείκτη. Οι εξισώσεις αυτές θα εφαρμοστούν σε καθημερινή βάση στις ιδιαίτερες φθηνές εικόνες MODIS για την εκτίμηση της εδαφικής υγρασίας.

## 6. Βιβλιογραφικές αναφορές

### Πηγές

#### Έντυπες πηγές

- Debe Dirgahayu Domiri (2005) ."Land Moisture Estimation at Agricultural Land Using MODIS Data Based on NDSI, NDVI AND NDWI Indices" .Asian Conference on Remote Sensing(ACRS2005)
- Fensholt R., Pedersen M.W., Sandholt I. (2004).”Evaluation of a shortwave infrared water stress index (SIWSI) from MODIS near- and shortwave infrared data”. In Geophysical Research Abstracts, EGS-AGU-EGU 26th General Assembly, Nice, France, 25-30 April. 2004 s. 1. 2004.
- Lingli Wang and John Qu (2009). " Multiband Drought Index Enhances Soil and Vegetation Moisture Monitoring ". SPIE Newsroom, DOI: 10.1117/2.1200904.1623.
- Yonghong Yi, Dawen Yang, Daoyi Chen, Jingfeng Huang (2007) ."Retrieving crop physiological parameters and assessing water deficiency using MODIS data during the winter wheat growing period".*Canadian Journal of Remote Sensing*, **33**(3), 189-202.

#### Ηλεκτρονικές πηγές

- Illinois Natural Resources Geospatial Data Clearinghouse , by University of Illinois at Urbana-Champaign (Accessed on 4 Feb 2010).  
<http://www.isgs.illinois.edu/nsdihome/webdocs/landcover/nass07.html>
- Illinois Soil Moisture Data (Accessed on 4 Feb 2010).  
[http://climate.envsci.rutgers.edu/soil\\_moisture/illinois.html](http://climate.envsci.rutgers.edu/soil_moisture/illinois.html)
- NOAA , Climate Prediction Center (Accessed on 4 Feb 2010).  
[http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/regional\\_monitoring/1-month-archive.shtml](http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/regional_monitoring/1-month-archive.shtml)
- Soil Moisture Monitoring and Prediction over U.S.A (Accessed on 4 Feb 2010).  
[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/soilmst/index\\_jh.html](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/soilmst/index_jh.html)
- USDA , Crop Calendars (Accessed on 4 Feb 2010).  
<http://www.usda.gov/oce/weather/CropCalendars/index.htm>

## **Επικουρική βιβλιογραφία**

### **Έντυπη**

- Αργιαλάς Δ. (1999). "Φωτοερμηνεία - Τηλεπισκόπηση". Εγχειρίδιο μαθήματος ΕΜΠ ΣΑΤΜ , Αθήνα.
- Αργιαλάς Δ. (1998). "Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση". Εγχειρίδιο μαθήματος ΕΜΠ ΣΑΤΜ , Αθήνα.
- Περσίδης Σ. (1977). "ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ". Εκδόσεις ΕΣΠΙ , Αθήνα.
- Τσακίρης Γ. (1995). "ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ : Ι. Τεχνική Υδρολογία " . Εκδόσεις Συμμετρία , Αθήνα.
- Τσακίρης Γ. (2006). "ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ Σχεδιασμός και Διαχείριση " . Εκδόσεις Συμμετρία , Αθήνα .

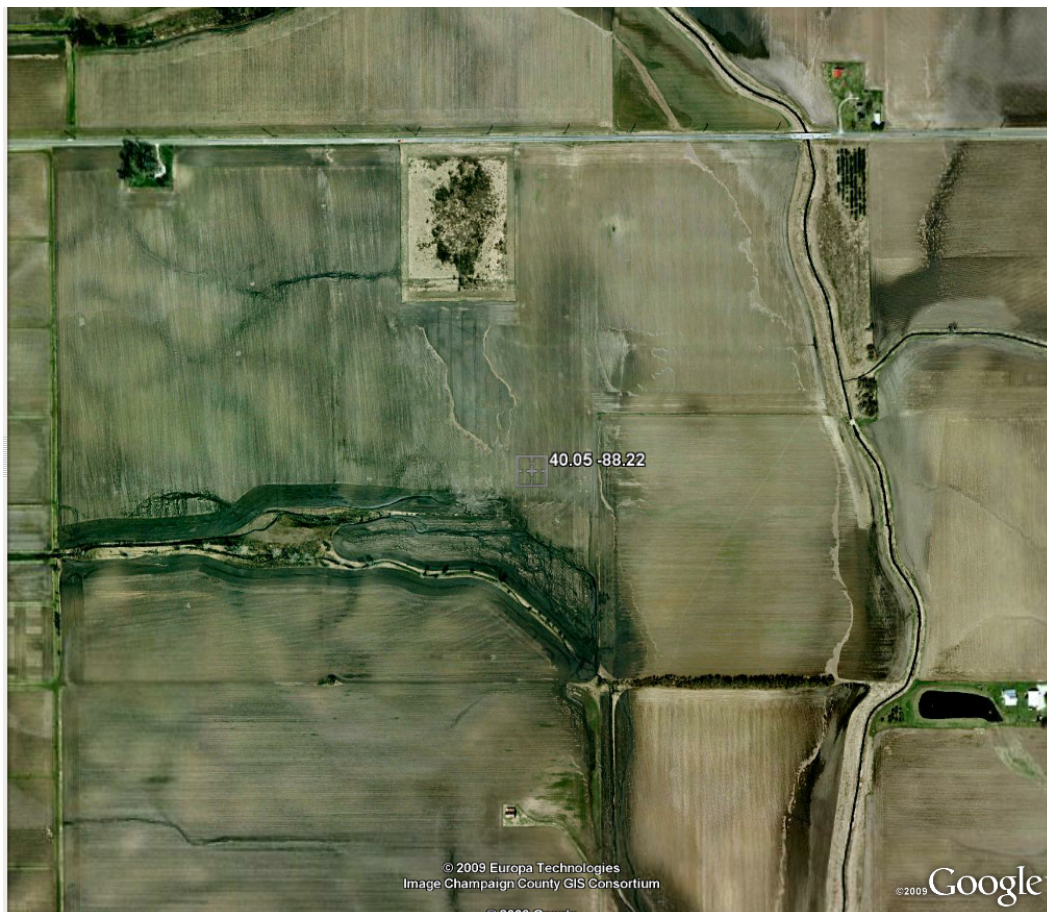
### **Ηλεκτρονική**

- MODIS Brochure (Accessed on 4 Feb 2010).  
[http://aqua.nasa.gov/doc/pubs/MODIS\\_brochure.pdf](http://aqua.nasa.gov/doc/pubs/MODIS_brochure.pdf)

# Παράρτημα

## Φωτοερμηνεία της περιοχής εκάστου σταθμού

### Bondville (1)



Εικόνα 24: Bondville

**Θέση του σταθμού στην πολιτεία :** Ο σταθμός βρίσκεται στο κεντροανατολικό τμήμα της πολιτείας (παρατίθεται χάρτης σε προηγούμενο κεφάλαιο).

**Περιγραφή της εδαφοκάλυψης :**

**Φυτό κάλυψη :** Αγροστώδεις μονοετείς καλλιέργειες (καλαμπόκι και δευτερευόντως σόγια ).

**Οικοδομική κάλυψη :** Στην περιοχή τα μόνα οικοδομικά έργα είναι ελάχιστα μικρά κτίρια.

**Υδρογραφικό δίκτυο :** Ιδιαίτερα έντονο με πλήθος ποταμών και μικρών λιμνών.

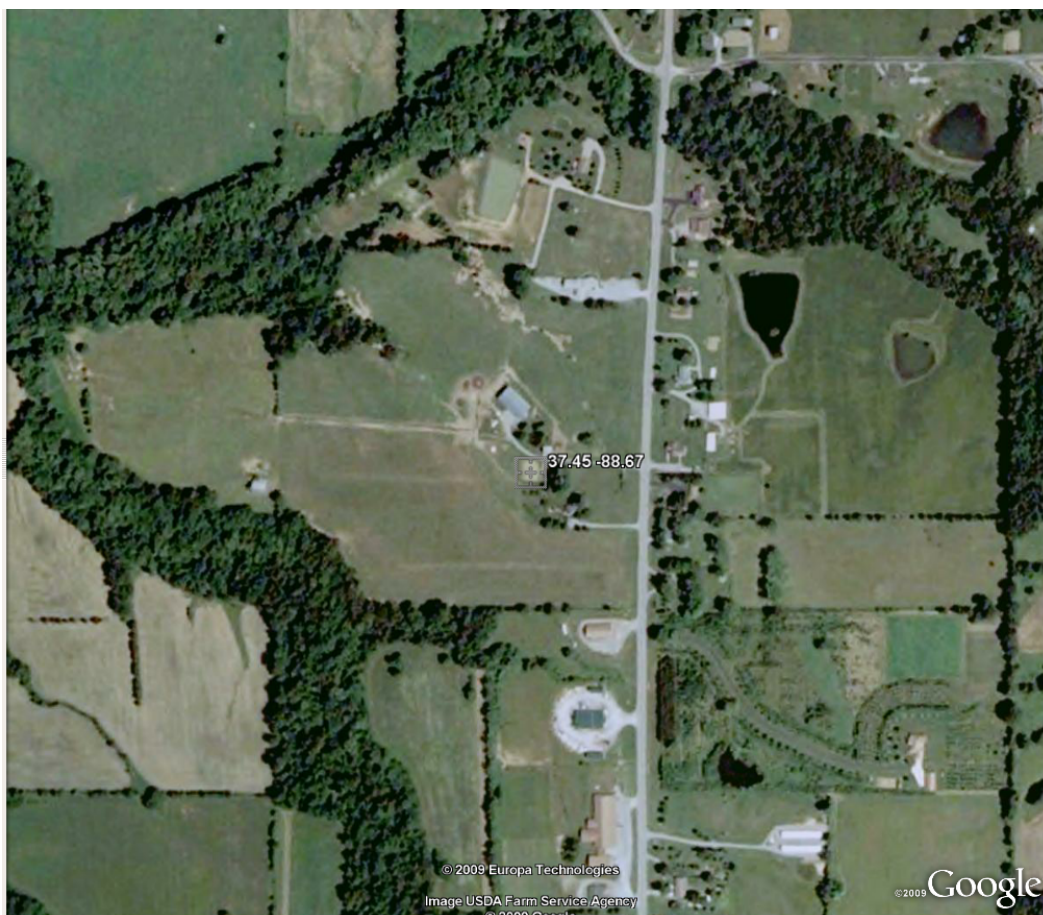
**Ανάγλυφο:** Πλήρως πεδινό ανάγλυφο

**Προέλευση εικόνας :** Google earth ( δορυφόρος Ikonos )

**Χρόνος λήψης εικόνας :** 5 Απριλίου 2008

**Εδαφοψηφίδα εικόνας :** 1 m

## Dixon Springs-Bare (2)



Εικόνα 25: Dixon Springs-Bare.

**Θέση του σταθμού στην πολιτεία :** Ο σταθμός βρίσκεται στο νότιο άκρο της πολιτείας (παρατίθεται χάρτης σε προηγούμενο κεφάλαιο).

### **Περιγραφή της εδαφοκάλυψης :**

**Φυτό κάλυψη :** Η περιοχή στη οποία ευρίσκεται ο σταθμός καλύπτεται όπως φαίνεται και στην εικόνα με αγροστώδεις μονοετείς καλλιέργειες , καλαμπόκι και δευτερευόντως σόγια ενώ υπάρχουν δασικές εκτάσεις φυλλοβόλων δένδρων οι οποίες στην ευρύτερη περιοχή είναι πολύ εκτεταμένες.

**Οικοδομική κάλυψη :** Στην περιοχή υπάρχουν λίγα μεγάλου εμβαδού κτίρια και κάποια κτίρια αρκετά μικρότερου μεγέθους.

**Υδρογραφικό δίκτυο :** Στην περιοχή το υδρογραφικό δίκτυο δεν γίνεται εμφανές με εξαίρεση την παρουσία τριών μικρών ταμειυτήρων.

**Ανάγλυφο:** Πλήρως πεδινό ανάγλυφο.

**Προέλευση εικόνας :** Google earth ( δορυφόρος Ikonos ).

**Χρόνος λήψης εικόνας :** 3 Ιουνίου 2006.

**Εδαφοψηφίδα εικόνας :** 1 m.



### Brownstown (3)



*Εικόνα 26: Brownstown*

**Θέση του σταθμού στην πολιτεία :** Ο σταθμός βρίσκεται στο νότιο τμήμα της πολιτείας (παρατίθεται χάρτης σε προηγούμενο κεφάλαιο).

**Περιγραφή της εδαφοκάλυψης :**

**Φυτό κάλυψη :** Πυκνή δασική έκταση φυλλοβόλων και αγροστώδεις μονοετείς καλλιέργειες αραβόσιτου και σόγιας.

**Οικοδομική κάλυψη :** Στην περιοχή δεν υπάρχουν τεχνικά έργα πέραν ενός κτίσματος με αμελητέα λόγο μεγέθους επίδραση στην φασματική πληροφορία.

**Υδρογραφικό δίκτυο :** Στην περιοχή δεν γίνεται εμφανής η ύπαρξη κάποιου φυσικό υδρολογικό δίκτυο.

**Ανάγλυφο:** Πλήρως πεδινό ανάγλυφο.

**Προέλευση εικόνας :** Google earth ( δορυφόρος Ikonos ).

**Χρόνος λήψης εικόνας :** 3 Ιουνίου 2006.

**Εδαφοψηφίδα εικόνας :** 1 m.

## Orr Center (Perry) (4)



Εικόνα 27: Orr Center (Perry)

**Θέση του σταθμού στην πολιτεία :** Ο σταθμός βρίσκεται στο δυτικό μέσο της πολιτείας(παρατίθεται χάρτης σε προηγούμενο κεφάλαιο).

**Περιγραφή της εδαφοκάλυψης :**

**Φυτό κάλυψη :** Εκτεταμένα δάση φυλλοβόλων και καλλιέργειες αραβόσιτου και δευτερευόντως σόγιας.

**Οικοδομική κάλυψη :** Ουσιαστικώς απουσιάζει η οικοδομική κάλυψη με εξαίρεση μία ευμεγέθη κτιριακή κατασκευή κάτω αριστερά. Εμφανίζεται ένα μεγάλο κτιριακό συγκρότημα.

**Υδρογραφικό δίκτυο :** όχι εμφανές.

**Ανάγλυφο:** Πλήρως πεδινό ανάγλυφο.

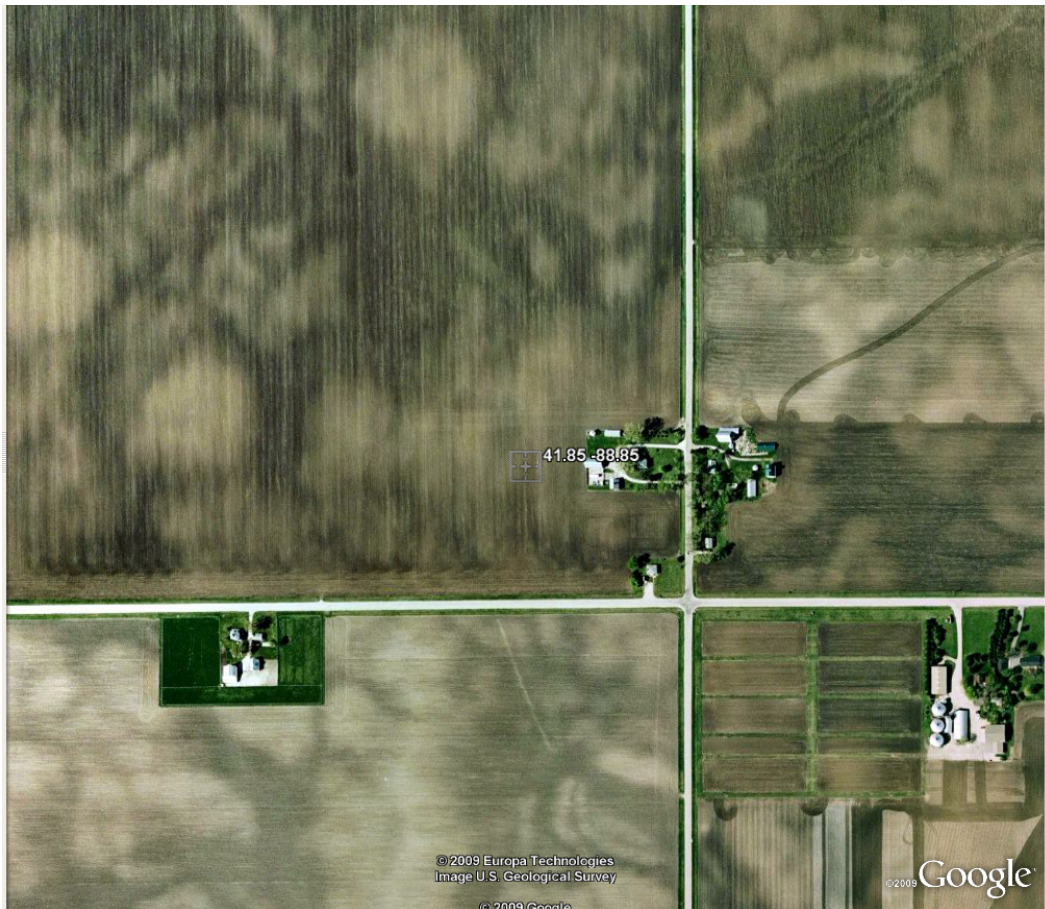
**Προέλευση εικόνας :** Google earth ( δορυφόρος Ikonos ).

**Χρόνος λήψης εικόνας :** 3 Ιουνίου 2006.

**Εδαφοψηφίδα εικόνας :** 1 m.



## De Kalb (5)



Εικόνα 28: De Kalb

**Θέση του σταθμού στην πολιτεία :** Ο σταθμός βρίσκεται στο στο μέσο του βορίου άκρου της πολιτείας κεντροανατολικό τμήμα της πολιτείας (παρατίθεται χάρτης σε προηγούμενο κεφάλαιο).

**Περιγραφή της εδαφοκάλυψης :**

**Φυτό κάλυψη :** Αγροστώδεις μονοετείς καλλιέργειες (καλαμπόκι και δευτερευόντως σόγια ).

**Οικοδομική κάλυψη :** Στην περιοχή δεν υπάρχουν αστικές περιοχές πέραν μερικό αγρικοιών.

**Υδρογραφικό δίκτυο :**όχι εμφανές .

**Ανάγλυφο:** Πλήρως πεδινό ανάγλυφο.

**Προέλευση εικόνας :** Google earth ( δορυφόρος Ikonos ).

**Χρόνος λήψης εικόνας :** 23 Απριλίου 2006.

**Εδαφοψηφίδα εικόνας :** 1 m.



## Monmouth (6)



*Εικόνα 29: Monmouth*

**Θέση του σταθμού στην πολιτεία :** Ο σταθμός βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της πολιτείας (παρατίθεται χάρτης σε προηγούμενο κεφάλαιο).

**Περιγραφή της εδαφοκάλυψης :**

**Φυτό κάλυψη :** Αγροστάδεις μονοετείς καλλιέργειες (σόγια και δευτερευόντως καλαμπόκι ).

**Οικοδομική κάλυψη :** Στην περιοχή δεν υπάρχουν αστικές περιοχές.

**Υδρογραφικό δίκτυο :** Δεν γίνεται άμεσα ορατό.

**Ανάγλυφο:** Πλήρως πεδινό ανάγλυφο.

**Προέλευση εικόνας :** Google earth ( δορυφόρος Ikonos ).

**Χρόνος λήψης εικόνας :** 3 Ιουνίου 2006.

**Εδαφοψηφίδα εικόνας :** 1 m.

## Peoria (8)



Εικόνα 30: Peoria

**Θέση του σταθμού στην πολιτεία :** Ο σταθμός βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της πολιτείας (παρατίθεται χάρτης σε προηγούμενο κεφάλαιο).

**Περιγραφή της εδαφοκάλυψης :**

**Φυτό κάλυψη :** Εκτεταμένα δάση φυλλοβόλων , σημαντικές χορτολιβαδικές εκτάσεις.

**Οικοδομική κάλυψη :** Έντονη προαστιακή δόμηση (τυπικό προάστιο) ,στο βορά μεγάλο κτιριακό συγκρότημα πλαισιωμένο με εκτεταμένες ασφάλτινες επιφάνειες.

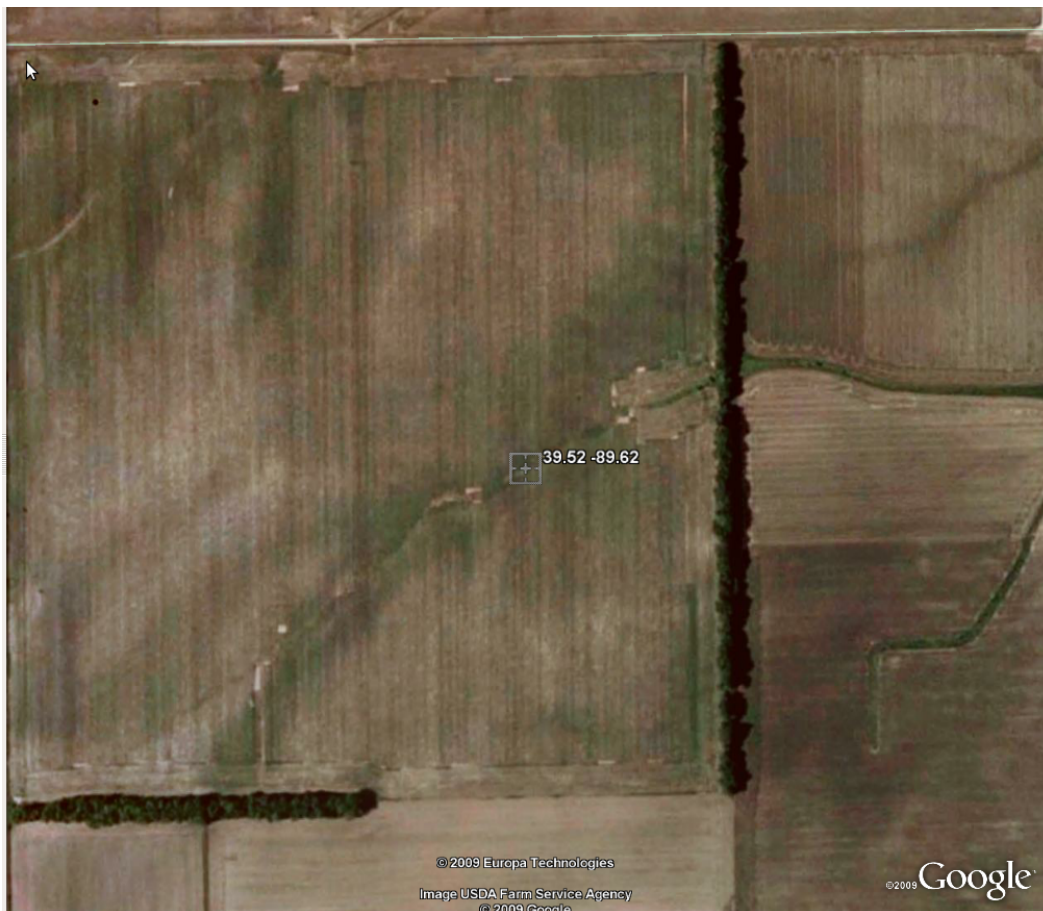
**Υδρογραφικό δίκτυο :**Όχι εμφανές πλην της μεγάλης λίμνης στα ανατολικά της περιοχής.

**Προέλευση εικόνας :** Google earth ( δορυφόρος Ikonos ).

**Χρόνος λήψης εικόνας :** 3 Ιουνίου 2009.

**Εδαφοψηφίδα εικόνας :** 1 m.

## Springfield (9)



Εικόνα 31: Springfield

**Θέση του σταθμού στην πολιτεία :** Ο σταθμός βρίσκεται στο μεσανατολικό τμήμα της πολιτείας (παρατίθεται χάρτης σε προηγούμενο κεφάλαιο).

**Περιγραφή της εδαφοκάλυψης :**

**Φυτό κάλυψη :** Αγροστώδεις μονοετείς καλλιέργειες (καλαμπόκι και δευτερευόντως σόγια ).

**Οικοδομική κάλυψη :** Στην περιοχή δεν υπάρχουν αστικές περιοχές.

**Υδρογραφικό δίκτυο :** Στην περιοχή το υδρογραφικό δίκτυο περιλαμβάνει μερικούς μικρούς χείμαρρους και κάποια αρδευτικά κανάλια.

**Ανάγλυφο:** Πλήρως πεδινό ανάγλυφο.

**Προέλευση εικόνας :** Google earth ( δορυφόρος Ikonos ).

**Χρόνος λήψης εικόνας :** 3 Ιουνίου 2009.

**Εδαφοψηφίδα εικόνας :** 1 m.



## Belleville (10)



Εικόνα 32: Belleville

**Θέση του σταθμού στην πολιτεία :** Ο σταθμός βρίσκεται στο νότιο τμήμα της πολιτείας (παρατίθεται χάρτης σε προηγούμενο κεφάλαιο).

**Περιγραφή της εδαφοκάλυψης :**

**Φυτό κάλυψη :** Αγροστώδεις μονοετείς καλλιέργειες (καλαμπόκι και σόγια ).

**Οικοδομική κάλυψη :** Στην περιοχή εμφανίζονται μεγάλα κτιριακά συγκροτήματα για αγροβιομηχανική χρήση.

**Υδρογραφικό δίκτυο :** Στην περιοχή το υδρογραφικό δίκτυο περιλαμβάνει πλήθος μικρών υδατορευμάτων τα οποία συμβάλουν μεταξύ τους.

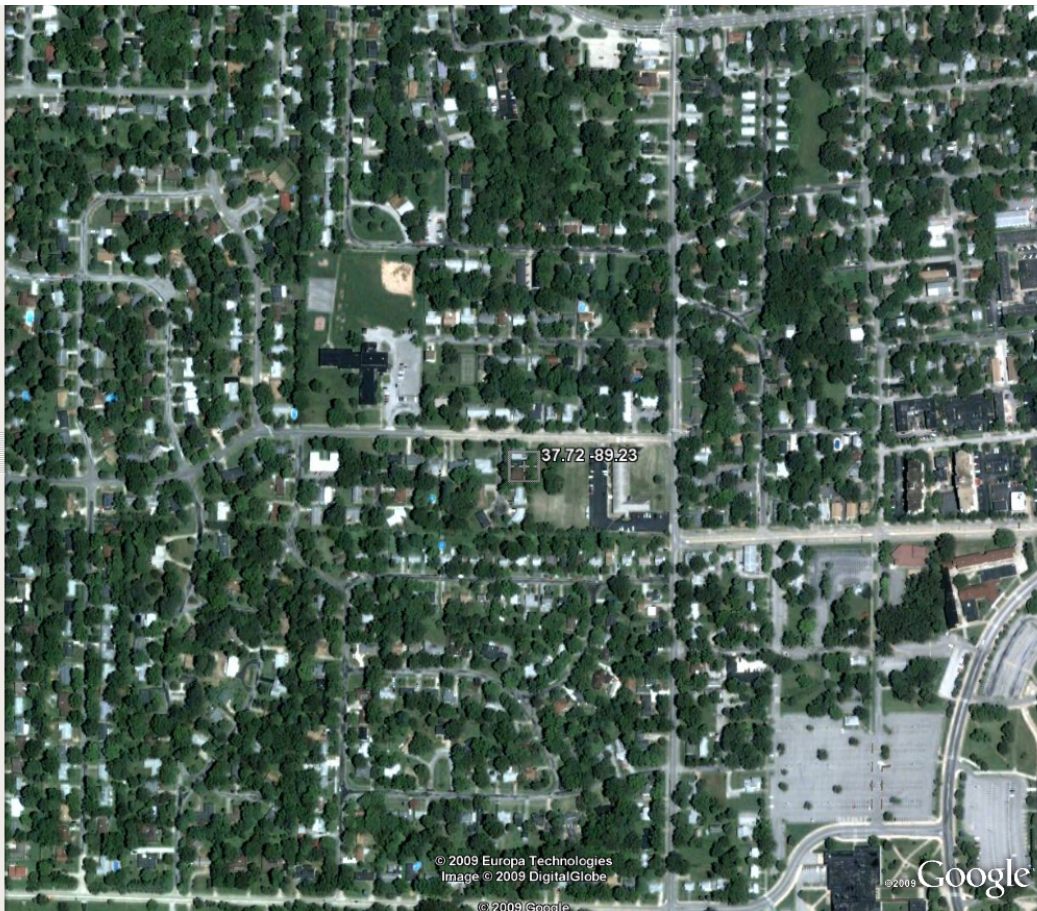
**Ανάγλυφο:** Πλήρως πεδινό ανάγλυφο.

**Προέλευση εικόνας :** Google earth ( δορυφόρος Ikonos ).

**Χρόνος λήψης εικόνας :** Απρίλιος 2008.

**Εδαφοψηφίδα εικόνας :** 1 m.

## Carbondale (11)



Εικόνα 33: Carbondale

**Θέση του σταθμού στην πολιτεία :** Ο σταθμός βρίσκεται στο νότιο τμήμα της πολιτείας (παρατίθεται χάρτης σε προηγούμενο κεφάλαιο).

**Περιγραφή της εδαφοκάλυψης :**

**Φυτό κάλυψη :** Αειθαλής χλόη και αραιά μεγάλα φυλλοβόλα ως φυτά κήπου.

**Οικοδομική κάλυψη :** Αραιά κτισμένες αστικές κατοικίες ,διακριτικό οδικό δίκτυο (καλύπτεται από τα δένδρα) και ασφαλτοστρωμένος υπαίθριος χώρος στάθμευσης.

**Υδρογραφικό δίκτυο :** Δεν γίνεται αντιληπτό στα πλαίσια του αστικού χώρου όμως στην ευρύτερη περιοχή υπάρχει σύστημα λιμνών.

**Ανάγλυφο:** Πλήρως πεδινό ανάγλυφο.

**Προέλευση εικόνας :** Google earth ( δορυφόρος Ikonos ).

**Χρόνος λήψης εικόνας :** 20 Ιουνίου 2004.

**Εδαφοψηφίδα εικόνας :** 1 m.



## Olney (12)



Εικόνα 34: Olney

**Θέση του σταθμού στην πολιτεία :** Ο σταθμός βρίσκεται στο νότιο τμήμα της πολιτείας (παρατίθεται χάρτης σε προηγούμενο κεφάλαιο).

**Περιγραφή της εδαφοκάλυψης :**

**Φυτό κάλυψη :** Εκτεταμένα δάση φυλλοβόλων και βοσκότοποι αρκετές εκτάσεις με καλλιέργειες αραβοσίτου και σόγιας.

**Οικοδομική κάλυψη :** Αραιός οικισμός με μερικά πολύ μεγάλα κτίρια

**Υδρογραφικό δίκτυο :** Δεν γίνεται εμφανές.

**Ανάγλυφο:** Πλήρως πεδινό ανάγλυφο.

**Προέλευση εικόνας :** Google earth ( δορυφόρος Ikonos ).

**Χρόνος λήψης εικόνας :** 3 Ιουνίου 2006.

**Εδαφοψηφίδα εικόνας :** 1 m.

## Freeport (13)



Εικόνα 35: Freeport

**Θέση του σταθμού στην πολιτεία :** Ο σταθμός βρίσκεται στο βορειότερο τμήμα της πολιτείας (παρατίθεται χάρτης σε προηγούμενο κεφάλαιο).

**Περιγραφή της εδαφοκάλυψης :**

**Φυτό κάλυψη :** Εκτεταμένοι βοσκότοποι, καλλιέργειες αγροστωδών ( αραβόσιτου και δευτερευόντως σόγιας) και περιορισμένες δασικές εκτάσεις φυλλοβόλων.

**Οικοδομική κάλυψη :** Ιδιαίτερος μεγάλα κτίσματα και ισχυρές φασματικές υπογραφές καθώς και εκτεταμένοι ασφάλτινοι χώροι σταθμεύσεως.

**Υδρογραφικό δίκτυο :** Δεν γίνεται εμφανές.

**Ανάγλυφο:** Πλήρως πεδινό ανάγλυφο.

**Προέλευση εικόνας :** Google earth ( δορυφόρος Ikonos ).

**Χρόνος λήψης εικόνας :** 3 Ιουνίου 2006 .

**Εδαφοψηφίδα εικόνας :** 1 m.



## Rend Lake (Ina) (14)



Εικόνα 36: Rend Lake (Ina)

**Θέση του σταθμού στην πολιτεία :** Ο σταθμός βρίσκεται στο νότιο τμήμα της πολιτείας (παρατίθεται χάρτης σε προηγούμενο κεφάλαιο).

**Περιγραφή της εδαφοκάλυψης :**

**Φυτό κάλυψη :** Αγροστώδεις μονοετείς καλλιέργειες (καλαμπόκι και σόγια ).

**Οικοδομική κάλυψη :** Μεγάλο κτιριακό συγκρότημα με εκτεταμένο ασφαλτοστρωμένο χώρο στάθμευσης.

**Υδρογραφικό δίκτυο :** Δεν γίνεται αντιληπτό στα στενά όρια της περιοχής του σταθμού ,παρά ταύτα η περιοχή ανήκει στην παράκτια ζώνη μεγάλης λίμνης.

**Ανάγλυφο:** Πλήρως πεδινό ανάγλυφο.

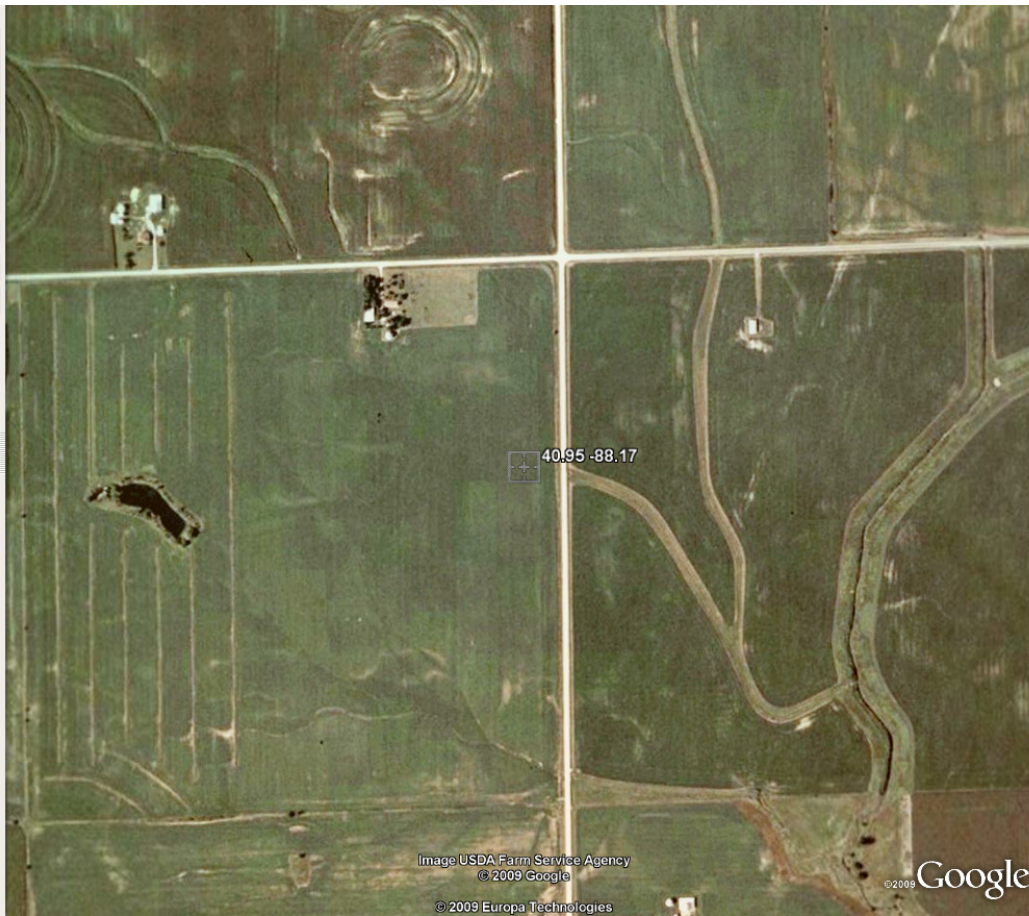
**Προέλευση εικόνας :** Google earth ( δορυφόρος Ikonos ).

**Χρόνος λήψης εικόνας :** Το αριστερό 1/3 της εικόνας ελήφθη την 1 Νοεμβρίου 2005, τα υπόλοιπα 2/3 της εικόνας ελήφθησαν στις 3 Ιουνίου 2006.

**Εδαφοψηφίδα εικόνας :** 1 m.



## Stelle (15)



Εικόνα 37: Stelle.

**Θέση του σταθμού στην πολιτεία :** Ο σταθμός βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα της πολιτείας (παρατίθεται χάρτης σε προηγούμενο κεφάλαιο).

**Περιγραφή της εδαφοκάλυψης :**

**Φυτό κάλυψη :** Αγροστώδεις μονοετείς καλλιέργειες καλαμπόκι και σόγια ).

**Οικοδομική κάλυψη :** Στην περιοχή δεν υπάρχουν κτίσματά.

**Υδρογραφικό δίκτυο :** Γίνονται εμφανείς κάποιοι χείμαρροι.

**Ανάγλυφο:** Πλήρως πεδινό ανάγλυφο.

**Προέλευση εικόνας :** Google earth ( δορυφόρος Ikonos ).

**Χρόνος λήψης εικόνας :** 3 Ιουνίου 2006.

**Εδαφοψηφίδα εικόνας :** 1 m.

## Τορεκα (16)



Εικόνα 38: Τορεκα

**Θέση του σταθμού στην πολιτεία :** Ο σταθμός βρίσκεται στο μεσανατολικό τμήμα της πολιτείας (παρατίθεται χάρτης σε προηγούμενο κεφάλαιο).

**Περιγραφή της εδαφοκάλυψης :**

**Φυτό κάλυψη :** Αγροστώδεις μονοετείς καλλιέργειες (καλαμπόκι και σόγια ).

**Οικοδομική κάλυψη :** Στην περιοχή δεν υπάρχουν κτίσματά.

**Υδρογραφικό δίκτυο :** Δεν γίνεται άμεσα εμφανές.

**Ανάγλυφο:** Πλήρως πεδινό ανάγλυφο.

**Προέλευση εικόνας :** Google earth ( δορυφόρος Ikonos ).

**Χρόνος λήψης εικόνας :** 3 Ιουνίου 2006.

**Εδαφοψηφίδα εικόνας :** 1 m.



## Fairfield (34)



Εικόνα 39: Fairfield.

**Θέση του σταθμού στην πολιτεία :** Ο σταθμός βρίσκεται στο νότιο τμήμα της πολιτείας (παρατίθεται χάρτης σε προηγούμενο κεφάλαιο).

**Περιγραφή της εδαφοκάλυψης :**

**Φυτό κάλυψη :** Βοσκότοποι , συστάδες φυλλοβόλων δένδρων στα πλαίσια αστικού πρασίνου.

**Τεχνικές κατασκευές :** Στην περιοχή δεν υπάρχουν αστικές περιοχές.

**Υδρογραφικό δίκτυο :** Δεν γίνεται αισθητό πέραν από μερικές πολύ μικρές λίμνες.

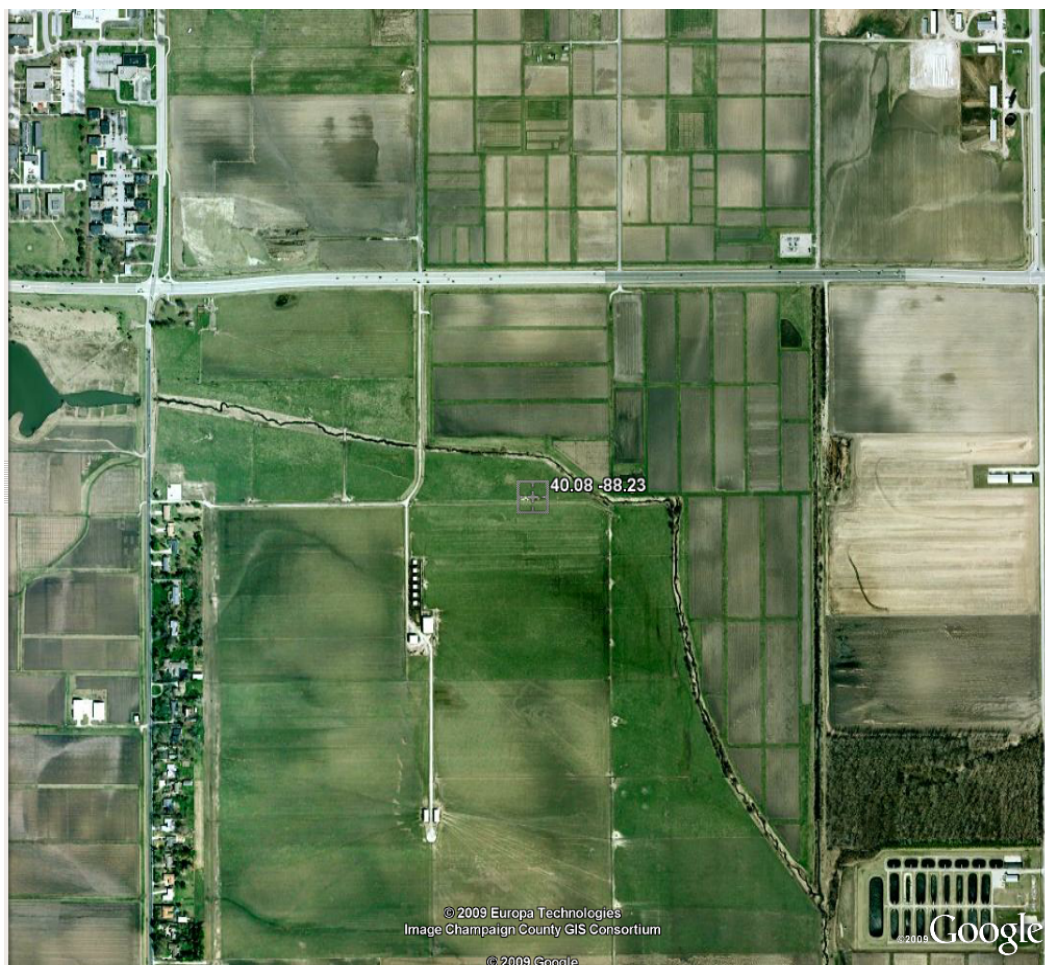
**Ανάγλυφο:** Πλήρως πεδινό ανάγλυφο.

**Προέλευση εικόνας :** Google earth ( δορυφόρος Ikonos ).

**Χρόνος λήψης εικόνας :** 31 Δεκεμβρίου 2007.

**Εδαφοψηφίδα εικόνας :** 1 m.

## Champaign (81)



*Εικόνα 40: Champaign.*

**Θέση του σταθμού στην πολιτεία :** Ο σταθμός βρίσκεται στο μέσοδυτικό τμήμα της πολιτείας (παρατίθεται χάρτης σε προηγούμενο κεφάλαιο).

**Περιγραφή της εδαφοκάλυψης :**

**Φυτό κάλυψη :** Αγροστάδεις μονοετείς καλλιέργειες (καλαμπόκι και σόγια ).

**Τεχνικές κατασκευές :** Μερικές προαστιακές κατοικίες.

**Υδρογραφικό δίκτυο :** Έντονο υδρογραφικό δίκτυο με πολλούς ποταμούς και αρκετές λίμνες.

**Ανάγλυφο:** Πλήρως πεδινό ανάγλυφο.

**Προέλευση εικόνας :** Google earth ( δορυφόρος Ikonos ).

**Χρόνος λήψης εικόνας :** 5 Απριλίου 2008 .

**Εδαφοψηφίδα εικόνας :** 1 m.