



Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Σχολή Κοινωνικών Επιστημών
Τμήμα Γεωγραφίας

Πτυχιακή Εργασία

Χωρική και χρονική ανάλυση της ξηρασίας στην Ελλάδα μέσω της εφαρμογής του δείκτη Vegetation Temperature Condition (VTCI) σε τηλεπισκοπικά δεδομένα MODIS

Άννα Ηλία Α.Μ.: 1612016059

[Ιούνιος, 2021]

Επιβλέπων Καθηγητής: Βασιλάκος Χρήστος
Μέλη Επιτροπής:
Κουκούλας Σωτήριος, Σουλακέλλης Νικόλαος

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο “Χωρική και χρονική ανάλυση της ξηρασίας την Ελλάδα μέσω της εφαρμογής του δείκτη Vegetation Temperature Condition (VTCI) σε τηλεπισκοπικά δεδομένα MODIS” πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του κ. Βασιλάκου Χρήστου, μέλος Εργαστηρίου Διδακτικού Προσωπικού του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου, με συνεξεταστές τον κ. Κουκούλα Σωτήριο, αναπληρωτή καθηγητή του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου και κ. Σουλακέλλη Νικόλαο, καθηγητή του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί ο υπολογισμός και η ανάλυση του δείκτη Vegetation Temperature Condition (VTCI), των εποχικών παραμέτρων όπως η αρχή, η μέση και η διάρκεια της εποχής και η κατηγοριοποίηση της ξηρασίας στην Ελλάδα για τα έτη 2000 έως 2020.

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Βασιλάκο Χρήστο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση, τις γνώσεις και το χρόνο του που μου προσέφερε κατά την εκπόνηση της εργασίας μου. Επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να πω στον πατέρα μου, ο οποίος στάθηκε αρωγός καθ’ όλη τη διάρκεια φοίτησής μου, στα συγγενικά μου πρόσωπα Κωνσταντίνο, Άννα και Γιάννη και τους φίλους μου για την ηθική και ψυχολογική υποστήριξη.

Κατάλογος πινάκων, διαγραμμάτων και χαρτών

Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος.....	2
Κατάλογος πινάκων, διαγραμμάτων και χαρτών.....	3
Συντομογραφίες.....	9
Περίληψη.....	10
Abstract.....	11
1 Εισαγωγή.....	12
1.1.1 Ξηρασία.....	13
1.1.2 Είδη ξηρασίας.....	13
1.1.3 Γεωργική ξηρασία.....	14
1.2 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και Τηλεπισκόπηση.....	15
1.2.1 Δορυφορική Τηλεπισκόπηση.....	15
1.2.2 Ανάλυση δεδομένων.....	16
1.3 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	16
1.3.1 Τηλεπισκόπηση και Ξηρασία.....	16
1.3.2 Ανάλυση Χρονοσειρών Τηλεπισκοπικών δεδομένων.....	18
1.3.3 Φίλτρο εξομάλυνσης Savitzky-Golay.....	19
1.3.4 Το λογισμικό TIMESAT, Εφαρμογές και Ξηρασία.....	19
1.4 Περιοχή μελέτης και δεδομένα.....	20
1.4.1 Περιοχή Μελέτης.....	20
1.4.2 Ελλάδα και Ξηρασία.....	23
1.4.3 Δεδομένα.....	24
Δεδομένα MODIS.....	24
Δεδομένα MOD11A2.....	27

Δεδομένα MOD13A1.....	27
Corine 2000.....	28
1.5 Σκοπός εργασίας.....	28
2 Μεθοδολογία.....	30
2.1 Δείκτες.....	30
2.1.1 Δείκτης Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).....	30
2.1.2 Δείκτης Enhanced Vegetation Index (EVI).....	31
2.1.3 Δείκτης Land Surface Temperature (LST).....	31
2.1.4 Δείκτης Vegetation Temperature Condition Index (VTCI).....	32
2.2 Ροή Εργασίας.....	33
3 Αποτελέσματα και Συζήτηση.....	41
3.1 Αποτελέσματα.....	41
3.2 Συμπεράσματα.....	84
3.3 Προτάσεις για μελλοντικές έρευνες.....	85
4 Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	86
Ξένη Βιβλιογραφία.....	86
Ελληνική Βιβλιογραφία.....	89
5 Παραρτήματα.....	90
Εξέλιξη του EVI.....	90
Εξέλιξη του NDVI.....	93
Εξέλιξη του LST.....	96
Εξέλιξη του VTCI.....	99
Χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay για τον δείκτη VTCI.....	102
Παραρτήματα στον εξωτερικό δίσκο αποθήκευσης.....	104

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1.1: Πίνακας ημερομηνιών των δεδομένων MODIS.....	26
Πίνακας 1.2: Πίνακας χαρακτηριστικών των δεδομένων.....	28
Πίνακας 2.1: Η κατηγοριοποίηση της σοβαρότητας της ξηρασίας από τις τιμές του VTCI.....	33
Πίνακας 2.2: Πίνακας επαναταξινόμησης των κατηγοριών εδαφοκάλυψης του Corine 2000.....	34
Πίνακας 2.3: Πίνακας που παρουσιάζει τις εικόνες που αναλογούν σε κάθε έτος.....	38

Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 2.1: Διάγραμμα διασποράς των δεικτών LST (άξονας γ) και NDVI (άξονας χ). Οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του δείκτη VTCI, είναι των ευθειών του ζεστού (Warm edge) και του κρύου (Cold edge).....	32
Διάγραμμα 2.2: Το διάγραμμα ροής της εργασίας.....	40
Διάγραμμα 3.1: Διάγραμμα διασποράς του LST και του NDVI, καθώς και την ευθεία του θερμού (πράσινη) και ψυχρού (κόκκινη) για 01/01/2004.....	51
Διάγραμμα 3.2: Διάγραμμα διασποράς του LST και του NDVI, καθώς και την ευθεία του θερμού (πράσινη) και ψυχρού (κόκκινη) για 11/07/2004.....	51
Διάγραμμα 3.3: Διάγραμμα διασποράς του LST και του NDVI, καθώς και την ευθεία του θερμού (πράσινη) και ψυχρού (κόκκινη) για 28/08/2000.....	83
Διάγραμμα 3.4: Διάγραμμα διασποράς του LST και του NDVI, καθώς και την ευθεία του θερμού (πράσινη) και ψυχρού (κόκκινη) για 12/07/2001.....	83
Διάγραμμα 3.5: Διάγραμμα διασποράς του LST και του NDVI, καθώς και την ευθεία του θερμού (πράσινη) και ψυχρού (κόκκινη) για 09/05/2002.....	84
Διάγραμμα 5.1: Εξέλιξη του EVI για όλες τις κατηγορίες εδαφοκάλυψης.....	90
Διάγραμμα 5.2: Εξέλιξη του EVI σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις.....	90
Διάγραμμα 5.3: Εξέλιξη του EVI σε μόνιμες και ετερογενείς καλλιέργειες.....	90
Διάγραμμα 5.4: Εξέλιξη του EVI σε λιβάδια.....	91
Διάγραμμα 5.5: Εξέλιξη του EVI σε φυλλοβόλα δάση.....	91
Διάγραμμα 5.6: Εξέλιξη του EVI σε κωνοφόρα και μεικτά δάση.....	91
Διάγραμμα 5.7: Εξέλιξη του EVI σε φυσικά λιβάδια / βοσκότοποι.....	92

Διάγραμμα 5.8: Εξέλιξη του EVI σε μούρα και εδαφικές εκτάσεις, σκληροφυλλώδη βλάστηση και μεταβατικές δασικές εκτάσεις.....	92
Διάγραμμα 5.9: Εξέλιξη του EVI σε περιοχές με αραιή βλάστηση.....	92
Διάγραμμα 5.10: Εξέλιξη του NDVI για όλες τις κατηγορίες εδαφοκάλυψης.....	93
Διάγραμμα 5.11: Εξέλιξη του NDVI σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις.....	93
Διάγραμμα 5.12: Εξέλιξη του NDVI σε μόνιμες και ετερογενείς καλλιέργειες.....	93
Διάγραμμα 5.13: Εξέλιξη του NDVI σε λιβάδια.....	94
Διάγραμμα 5.14: Εξέλιξη του NDVI σε φυλλοβόλα δάση.....	94
Διάγραμμα 5.15: Εξέλιξη του NDVI σε κωνοφόρα και μεικτά δάση.....	94
Διάγραμμα 5.16: Εξέλιξη του NDVI σε φυσικά λιβάδια / βοσκότοποι.....	95
Διάγραμμα 5.17: Εξέλιξη του NDVI σε μούρα και εδαφικές εκτάσεις, σκληροφυλλώδη βλάστηση και μεταβατικές δασικές εκτάσεις.....	95
Διάγραμμα 5.18: Εξέλιξη του NDVI σε περιοχές με αραιή βλάστηση.....	95
Διάγραμμα 5.19: Εξέλιξη του LST για όλες τις κατηγορίες εδαφοκάλυψης.....	96
Διάγραμμα 5.20: Εξέλιξη του LST σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις.....	96
Διάγραμμα 5.21: Εξέλιξη του LST σε μόνιμες και ετερογενείς καλλιέργειες.....	96
Διάγραμμα 5.22: Εξέλιξη του LST σε λιβάδια.....	97
Διάγραμμα 5.23: Εξέλιξη του LST σε φυλλοβόλα δάση.....	97
Διάγραμμα 5.24: Εξέλιξη του LST σε κωνοφόρα και μεικτά δάση.....	97
Διάγραμμα 5.25: Εξέλιξη του LST σε φυσικά λιβάδια / βοσκότοποι.....	98
Διάγραμμα 5.26: Εξέλιξη του LST σε μούρα και εδαφικές εκτάσεις, σκληροφυλλώδη βλάστηση και μεταβατικές δασικές εκτάσεις.....	98
Διάγραμμα 5.27: Εξέλιξη του LST σε περιοχές με αραιή βλάστηση.....	98
Διάγραμμα 5.28: Εξέλιξη του VTCI για όλες τις κατηγορίες εδαφοκάλυψης.....	99
Διάγραμμα 5.29: Εξέλιξη του VTCI σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις.....	99
Διάγραμμα 5.30: Εξέλιξη του VTCI σε μόνιμες και ετερογενείς καλλιέργειες.....	99
Διάγραμμα 5.31: Εξέλιξη του VTCI σε λιβάδια.....	100
Διάγραμμα 5.32: Εξέλιξη του VTCI σε φυλλοβόλα δάση.....	100

Διάγραμμα 5.33: Εξέλιξη του VTCI σε κωνοφόρα και μεικτά δάση.....	100
Διάγραμμα 5.34: Εξέλιξη του VTCI σε φυσικά λιβάδια / βοσκότοποι.....	101
Διάγραμμα 5.35: Εξέλιξη του VTCI σε μούρα και εδαφικές εκτάσεις, σκληροφυλλώδη βλάστηση και μεταβατικές δασικές εκτάσεις.....	101
Διάγραμμα 5.36: Εξέλιξη του VTCI σε περιοχές με αραιή βλάστηση.....	101
Διάγραμμα 5.37: VTCI με τη χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay για τη καλλιεργήσιμη γη.....	102
Διάγραμμα 5.38: VTCI με τη χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay για τις μόνιμες και ετερογενείς καλλιέργειες.....	102
Διάγραμμα 5.39: VTCI με τη χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay για τα λιβάδια.....	102
Διάγραμμα 5.40: VTCI με τη χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay για τα φυλλοβόλα δάση.....	102
Διάγραμμα 5.41: VTCI με τη χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay για τα φυσικά λιβάδια / βοσκότοπους....	103
Διάγραμμα 5.42: VTCI με τη χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay για τα κωνοφόρα και μεικτά δάση.....	103
Διάγραμμα 5.43: VTCI με τη χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay για τα μούρα και τις εδαφικές εκτάσεις, τη σκληροφυλλώδη βλάστηση και τις μεταβατικές δασικές εκτάσεις.....	103
Διάγραμμα 5.44: VTCI με τη χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay για τις περιοχές με αραιή βλάστηση.....	103

Πίνακας Χαρτών

Χάρτης 1.1: Χάρτης απεικόνισης περιοχής μελέτης, της Ελλάδας.....	21
Χάρτης 1.2: Χάρτης ημιτονοειδούς πλέγματος πλακιδίων MODIS (ιστοσελίδα MODIS, https://modis-land.gsfc.nasa.gov).....	25
Χάρτης 2.1: Χάρτης απεικόνισης κατηγοριών εδαφοκάλυψης μετά την επαναταξινόμηση.....	35
Χάρτης 2.2: Οι εποχικοί παράμετροι που υπολογίζει και εξάγει το Timesat. Πηγή: Per Jönsson, Lars Eklundh, 2017 https://web.nateko.lu.se/timesat/timesat.asp	37
Χάρτης 3.1: Χάρτης του EVI για 01/01/2004.....	42
Χάρτης 3.2: Χάρτης του EVI για 11/07/2004.....	43
Χάρτης 3.3: Χάρτης του NDVI για 01/01/2004.....	45
Χάρτης 3.4: Χάρτης του NDVI για 11/07/2004.....	46
Χάρτης 3.5: Χάρτης του LST για 01/01/2004.....	48
Χάρτης 3.6: Χάρτης του LST για 11/07/2004.....	49

Χάρτης 3.7: Χάρτης του VTCI για 01/01/2004.....	52
Χάρτης 3.8: Χάρτης του VTCI για 11/07/2004.....	53
Χάρτης 3.9: Χάρτης του VTCI για τις 13/08/2001.....	55
Χάρτης 3.10: Χάρτης του NDVI για τις 13/08/2001.....	56
Χάρτης 3.11: Χάρτης του EVI για τις 13/08/2001.....	57
Χάρτης 3.12: Χάρτης του LST για τις 13/08/2001.....	58
Χάρτης 3.13: Χάρτης του VTCI για τις 19/12/2001.....	60
Χάρτης 3.14: Χάρτης του NDVI για τις 19/12/2001.....	61
Χάρτης 3.15: Χάρτης του EVI για τις 19/12/2001.....	62
Χάρτης 3.16: Χάρτης του LST για τις 19/12/2001.....	63
Χάρτης 3.17: Χάρτης του VTCI για 09/06/2012.....	65
Χάρτης 3.18: Χάρτης του NDVI για τις 09/06/2012.....	66
Χάρτης 3.19: Χάρτης του EVI για τις 09/06/2012.....	67
Χάρτης 3.20: Χάρτης του LST για τις 09/06/2012.....	68
Χάρτης 3.21: Χάρτης του VTCI για τις 17/01/2014.....	70
Χάρτης 3.22: Χάρτης του NDVI για τις 17/01/2014.....	71
Χάρτης 3.23: Χάρτης του EVI για τις 17/01/2014.....	72
Χάρτης 3.24: Χάρτης του LST για τις 17/0/2014.....	73
Χάρτης 3.25: Χάρτης εποχικής παραμέτρου Start of Season time του VTCI για το 2004.....	77
Χάρτης 3.26: Χάρτης εποχικής παραμέτρου Length of Season time του VTCI για το 2004.....	79
Χάρτης 3.27: Χάρτης εποχικής παραμέτρου Time od Middle of Season του VTCI για το 2004.....	81

Συντομογραφίες

Σ.Γ.Π.	Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών
AppEEARS	Application for Extracting Analysis Ready Samples
ASI	Agricultural Stress Index
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
CIIFEN	Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño
CMI	Crop Moisture Index
CWSI	Crop Water Stress Index
EDO	European Drought Observatory
EVI	Enhanced Vegetation Index
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GDIS	Global Drought Information System
GIEWS	Global Information and Early Warning System
	Intergovernmental (Authority on Development) Climate Prediction and
ICPAC	Applications Centre
LDOPE	Land Data Operational Products Evaluation
LOS	Length Of Season
LST	Land Surface Temperature
MERRIS	Medium Resolution Imaging Spectrometer
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectrometer
MOS	time of Middle Of Season
NADM	North American Drought Monitor
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIDIS	National Intergrated Drought Information System
PDSI	Palmer Drought Severity Index
RDI	Reconnaissance Drought Index
SOS	Start Of Season time
SPEI	Standardised Precipitation Evaporation
SPI	Standardized Precipitation Index
SVI	Sludge Volume Index
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
USDM	U.S. Drought Monitor
USGS	U.S. Geological Survey
VCI	Vegetation Condition Index
VI	Vegetation Index
VPI	Vegetation Productivity Index
VTCI	Vegetation Temperature Condition Index

Περίληψη

Η ανάλυση χρονοσειρών τηλεπισκοπικών δεδομένων είναι μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης, καθώς μελετά και αναλύει τις αλλαγές που σημειώνονται στην επιφάνεια της Γης. Με τη κλιματική αλλαγή, αρκετές περιοχές γίνονται πιο ξηρές και άγονες, που οδηγούν σε σοβαρές επιπτώσεις στη διαβίωση του ανθρώπου και αρκετών φυτών και ζώων. Αυτή η πτυχιακή εργασία ασχολείται με τη χωρική και χρονική ανάλυση του φαινομένου της ξηρασίας στην Ελλάδα, χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα από προϊόντα MODIS, το MOD11A2 και το MOD13A1, για τα έτη από 2000 έως 2020, που περιέχουν τη Land Surface Temperature (LST) και τον Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) και τον Enhanced Vegetation Index (EVI), αντίστοιχα. Ο υπολογισμός της γεωργικής ξηρασίας πραγματοποιήθηκε από τον Vegetation Temperature Condition Index (VTCI), από τους δείκτες NDVI και EVI. Για την ανάλυση της χρονοσειράς των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Timesat, από το οποίο εξήχθησαν τρεις κύριοι εποχικοί παράμετροι, ο χρόνος έναρξης (Start Of Season time) και η διάρκεια (Length Of Season) της εποχικότητας και ο χρόνος της μέσης (time of Middle Of Season), που σημειώθηκε σε αυτή. Παράλληλα, από το Corine 2000, διαχωρίστηκαν επτά κατηγορίες εδαφοκάλυψης, όπως για παράδειγμα τα λιβάδια, τα φυλλοβόλα και κωνοφόρα δάση. Η εδαφοκάλυψη των συγκεκριμένων περιοχών στη καταγραφή του 2000, θεωρήθηκε μη μεταβαλλόμενη στο χρόνο. Με τα δεδομένα αυτά σε συνάρτηση με τον χρόνο και τους LST, NDVI, EVI και VTCI, υπολογίστηκαν από τις μέσες τιμές, οι τάσεις της υγρασίας του εδάφους για κάθε κατηγορία εδαφοκάλυψης. Τα αποτελέσματα δείχνουν το χωρικό και χρονικό διαχωρισμό ως προς τις εποχικότητες στη χώρα, με το Νότιο τμήμα της και τα νησιά του Αιγαίου πελάγους, να έχουν μεγαλύτερο πλάτος εποχής, ξεκινώντας συστηματικά πιο νωρίς ετησίως σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές. Τέλος, παρατηρείται πως η υγρασία του εδάφους σε όλες τις κατηγορίες εδαφοκάλυψης έχει φθίνουσα πορεία σε συνάρτηση με τον χρόνο, με τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις, τις μόνιμες και ετερογενείς καλλιέργειες, τα φυλλοβόλα δάση και τα κωνοφόρα και μεικτά να σημειώνουν μεγαλύτερη μείωση.

Abstract

The analysis of time remote sensing data is one of the most important applications of the science of remote sensing, as it studies and analyzes the changes that occur in the earth's surface. With climate change, many areas are becoming drier and more barren, leading to serious consequences for human and many plant and animal life. This thesis deals with the spatial and temporal analysis of the drought phenomenon in Greece, using satellite data from MODIS products, MOD11A2 and MOD13A1, for the years 2000 to 2020, containing the Land Surface Temperature (LST), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Enhanced Vegetation Index (EVI), respectively. The calculation of the agricultural drought was performed by the Vegetation Temperature Condition Index (VTCI), by the indices NDVI and EVI. To analyze the time series of the data, the Timesat software was used, from which three main seasonal parameters were extracted, the Start and Middle of Season time and the Length of Season, which was noted in it. At the same time, from Corine 2000, seven land cover categories have been separated, such as meadows, deciduous and coniferous forests. The land cover of these areas in the 2000 census was considered unchanged over time. With this data as a function of time of LST, NDVI, EVI and VTCI, soil moisture trends were calculated for each category group cover. The results show the spatial and temporal separation in terms of seasonality in the country, with it is southern part and the islands of the Aegean Sea, reaching a wider period of time, starting systematically earlier each year compared to the rest of the regions. Finally, it is observed that soil moisture in all categories of soil cover has a declining trend depending on time, arable land, permanent and heterogeneous crops, deciduous forests and conifers and mixed to show a greater decrease.

1 Εισαγωγή

1.1 Κλιματική αλλαγή και ακραία καιρικά φαινόμενα

Το κλίμα της Γης είναι συνεχώς μεταβαλλόμενο. Η κλιματική αλλαγή έχει ταχύτερους ρυθμούς από την κλιματική μεταβλητότητα. Αυτός είναι και ο λόγος που έχει αρνητική χροιά, καθώς αναφέρεται σε μία στατιστικά σημαντική μεταβολή στη μέση κατάσταση του κλίματος για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος. Τα τελευταία χρόνια η κλιματική αλλαγή γίνεται ολοένα και περισσότερο αισθητή με τα ακραία καιρικά φαινόμενα, με υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες, που συμβαίνουν ανά τον κόσμο. Φαίνεται πως επηρεάζει ολόκληρο τον πλανήτη σε περιβαλλοντικό, οικονομικό, κοινωνικό, ακόμα και πολιτικό επίπεδο (Corps, 2018)(Maarten και άλλοι, 2016).

Στην επιδείνωση του φαινομένου συνέβαλε ο άνθρωπος, που με τις δραστηριότητές του αύξησε σε πολύ μεγάλο βαθμό τις εκπομπές αερίων, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το οξείδιο του αζώτου και αλογονωμένες ενώσεις, στη καθημερινότητά του, με αποτέλεσμα την υπέρμετρη αύξηση αυτών των αερίων στα στρώματα της ατμόσφαιρας, δημιουργώντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το οποίο υπό κανονικές συνθήκες δεν είναι επιβλαβές, όμως με τις ανθρωπογενείς εκπομπές ρύπων οδηγεί σε μία συνολική αλλαγή του κλίματος (Sisco και άλλοι, 2017). Ουσιαστικά, πρόκειται για ένα γεωφυσικό φαινόμενο, απαραίτητο για την ύπαρξη και την διατήρηση της ζωής στην Γη. Χωρίς αυτόν τον μηχανισμό η μέση θερμοκρασία της Γης θα ήταν -20°C , αντί για 15°C .

Η αύξηση της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών αερίων του θερμοκηπίου οδηγεί τον πλανήτη σε κλιματική αλλαγή και στο φαινόμενο της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Οι διαφορές βέβαια ανάμεσα στην άνοδο της θερμοκρασίας σε χερσαίες περιοχές και ωκεανούς είναι αξιοσημείωτες, καθώς μελέτες δείχνουν πως οι χερσαίες περιοχές θερμαίνονται γρηγορότερα, γι' αυτόν τον λόγο μάλιστα αναμένεται η άνοδος της θερμοκρασίας στο Βόρειο ημισφαίριο να εμφανίζεται γρηγορότερα από το Νότιο (Miller, 2004). Επίσης με τη χρήση αρκετών κλιματικών μοντέλων αναμένεται η μέση παγκόσμια θερμοκρασία να αυξηθεί από $1,4^{\circ}\text{C}$ έως $5,8^{\circ}\text{C}$ έως το 2100 (Maarten και άλλοι, 2016).

Εάν οι ανθρώπινες δραστηριότητες συνεχίσουν με τον τρόπο που δρουν σήμερα, η υπερθέρμανση του πλανήτη θα προκαλέσει αξιοσημείωτες κλιματικές αλλαγές, λιώσιμο των παγετώνων, αύξηση της στάθμης της θάλασσας και ακραία καιρικά φαινόμενα τα οποία δεν αποκλείεται μάλιστα να είναι απειλητικά για τη ζωή πολλών έμβιων όντων (Kweku και άλλοι, 2018). Τα φαινόμενα αυτά μάλιστα δεν προβλέπεται να συμβούν στο μακρύ μέλλον, αλλά ακόμα και σε μερικές δεκαετίες και μπορούν να είναι καταστροφικές για τις ανθρώπινες κοινωνίες όπως και για πολλές μορφές ζωής (Miller, 2004).

Ως ακραία καιρικά φαινόμενα που συνδέονται με την κλιματική αλλαγή, χαρακτηρίζονται οι πλημμύρες, η υπερβολική θερμότητα, το ακραίο κρύο, οι πυρκαγιές, οι ισχυρές χιονοπτώσεις, οι ανεμοστρόβιλοι, οι χαλαζοπτώσεις, οι ισχυροί άνεμοι, οι παράκτιες πλημμύρες και οι εκδηλώσεις ξηρασίας (Sisco και άλλοι, 2017).

1.1.1 Ξηρασία

Το φαινόμενο της ξηρασίας δεν έχει κάποιον ακριβή και αποδεκτό ορισμό, καθώς οι ορισμοί συνήθως αναφέρονται σε μία περιοχή και σε μία συγκεκριμένη περιοχή (Dalezios και άλλοι, 2017).

Η ξηρασία αποτελεί μέρος της φυσικής κλιματικής μεταβλητότητας. Είναι ένα φυσικό φαινόμενο που συμβαίνει περιοδικά σε μία περιοχή εξαιτίας της ανεπάρκειας ή της έλλειψης των βροχοπτώσεων στην εκάστοτε περιοχή πάνω από μια παρατεταμένη χρονική περίοδο (Dalezios και άλλοι, 2017). Οι ανθρώπινες δραστηριότητες σε συνδυασμό με τις φυσικές διαδικασίες προκαλούν αύξηση των αέριων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, ανεβάζοντας τη μέση θερμοκρασία του πλανήτη και αλλάζοντας το κλίμα. Συνέπειες όλων αυτών είναι η ξηρασία, η αύξηση των βροχοπτώσεων και καταιγίδων, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και η απώλεια της βιοποικιλότητας (Miller, 2004).

Οι επαναλαμβανόμενες εκδηλώσεις ξηρασίας σε οποιαδήποτε περιοχή, υποβαθμίζουν την βλάστηση και αποκαλύπτουν το υλικό του εδάφους, το οποίο μετά τις πρώτες βροχοπτώσεις είναι ιδιαίτερα ευάλωτο. Γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο οι ξηρές περιοχές εμφανίζουν συντριπτικά συχνότερα προβλήματα με μηχανική αποσάθρωση, μέσω της διαδικασίας της καθίζησης και της διάβρωσης, η οποία σε πολλές περιπτώσεις παίρνει ανεξέλεγκτες διαστάσεις (Παυλόπουλος, 2011). Η τάση της μετατροπής αυτής της σταδιακής μετατροπής των εκτάσεων σε γυμνό και άγονο έδαφος είναι γνωστή ως ερημοποίηση.

Σημαντική διαφορά του φαινομένου είναι πως δεν υπάρχει διακριτός χρόνος της έναρξης και λήξης του, γεγονός που καθιστά την ξηρασία λιγότερο ορατή. Έτσι και οι ζημιές οι οποίες ενδεχομένως να προκαλέσει στις περισσότερες περιπτώσεις είναι δύσκολο να καταγραφούν. Σχετικά με την ποσοτικοποίηση, υπάρχει πλήθος δεικτών ξηρασίας οι οποίες εξάγουν αποτελέσματα σχετικά με τα χαρακτηριστικά της, όπως η σοβαρότητα, η διάρκεια, το μέγεθος, η περιοδικότητα του φαινομένου, η τοπική έκταση, η έναρξη και η λήξη, χαρακτηριστικά που συγκριτικά με άλλα φαινόμενα μπορούν να χαρακτηριστούν πιο ρευστά (Dalezios και άλλοι, 2017).

1.1.2 Είδη ξηρασίας

Η ξηρασία διακρίνεται σε τέσσερις κατηγορίες, την Μετεωρολογική, την υδρολογική, τη γεωργική και την κοινωνικό-οικονομική ξηρασία. Συνοπτικά η:

- i. Μετεωρολογική ξηρασία συνδέεται με την έλλειψη βροχόπτωσης για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα σε μία περιοχή. Εξαιτίας των καιρικών συνθηκών που διαφοροποιούνται από περιοχή σε περιοχή (Palmer, 1965).
- ii. Υδρολογική ξηρασία αφορά τη διαθεσιμότητα των φυσικών και τεχνητών επιφανειακών αλλά και των υπόγειων υδατικών πόρων. Εμφανίζεται όταν σημειωθεί μείωση των υδάτων. Είναι άμεσα συνδεδεμένη με την μετεωρολογική, καθώς εξαρτάται από τις βροχοπτώσεις που συμβαίνουν στη περιοχή (Nalbantis, 2008).
- iii. Γεωργική ξηρασία αντανakλάται στην υγρασία του εδάφους. Σχετίζεται άμεσα με τη παραγωγικότητα των καλλιεργειών και η ύπαρξή της προκαλεί τεράστια προβλήματα στη σίτιση αλλά και στην οικονομία των κατοίκων μιας εκτεταμένης περιοχής, καθώς είναι ο κύριος λόγος εμφάνισης λιμών (Wright και άλλοι, 2013)(Miller, 2004).
- iv. Κοινωνικό-Οικονομική ξηρασία ορίζεται όταν η μείωση των βροχοπτώσεων ή η διαθεσιμότητα υδατικών πόρων επηρεάζουν τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Ουσιαστικά σε αυτή τη κατηγορία συνδέεται ο άνθρωπος με τα παραπάνω είδη της ξηρασίας.

1.1.3 Γεωργική ξηρασία

Η γεωργική ξηρασία επηρεάζει τη παραγωγικότητα των καλλιεργειών σε ορισμένες περιοχές. Η γεωργία είναι στοιχειώδης τομέας παραγωγής, από την οποία εξαρτάται ο άνθρωπος παίρνοντας ενέργεια από τη τροφή, όπως και οικονομικά από αυτούς που ασχολούνται με την πρωτογενή παραγωγή, αφού αποτελεί ως απασχόληση για πηγή εισοδήματος από μεγάλο ποσοστό του παγκόσμιου πληθυσμού (Λιολιοπούλου, 2019).

Ένα θερμότερο κλίμα μπορεί να επιφέρει πολλές και μεγάλες ζημιές στις καλλιέργειες. Η απάθεια κάποιων καλλιεργειών από περιοχές που πλήττονται από γεωργική ξηρασία μπορεί να οφείλεται μέχρι ένα σημείο στη γονιμότητα του εδάφους και σε νέες γεωργικές υποδομές, σχετικές με την άρδευση, την αποθήκευση και τη διανομή των τροφίμων, οι οποίες βέβαια έχουν πολύ μεγάλο κόστος. Υπολογιστικά κλιματικά μοντέλα προβλέπουν την μείωση στη παραγωγή των τροφίμων σε ποσοστό που κυμαίνεται από 10% έως 70% όπως και ποσοστό 10% έως 50% σε περιοχές με αυξημένες καλλιέργειες (Miller, 2004). Τα αποτελέσματα των μοντέλων αυτών είναι ανησυχητικά για την εξασφάλιση τροφής του πληθυσμού.

Η μείωση των καλλιεργειών στον πλανήτη, τόσο σε παραγωγικότητα όσο και σε εκτάσεις αυξάνει τις πιθανότητες για εμφάνιση λιμών και οικονομικών ζημιών (Miller, 2004). Οι λιμοί που προκαλούνται από τη γεωργική ξηρασία έχουν τεράστιο αντίκτυπο στη ποιότητα ζωής και στον αριθμό των απωλειών κάθε μορφής ζωής στη εκάστοτε πληγείσα περιοχή. Παράδειγμα αποτελούν δύο σχετικά πρόσφατες καταγραφές λιμών, που προκλήθηκαν από τη γεωργική ξηρασία στην περιοχή Sahel της Αφρικής το 1965 και το 1984, με διάρκεια περίπου 10 ετών και στις δύο περιπτώσεις, αφαιρώντας τη ζωή από εκατομμύρια ανθρώπους (Wright και άλλοι, 2013).

Παρόλα αυτά, υπάρχουν δύο κύρια συστήματα προειδοποίησης παγκοσμίως που σκοπό έχουν τη προειδοποίηση των περιοχών που κινδυνεύουν από γεωργική ξηρασία και κατά συνέπεια από λιμού. Το Global Information and Early Warning System (GIEWS), το οποίο βασίζεται στο συνδυασμό της ζήτησης και προσφοράς των τροφίμων και σε δορυφορικές εικόνες που παρακολουθούν τις καλλιέργειες. Αλλά και το Δίκτυο του Συστήματος Έγκαιρης Προειδοποίησης Λιμών (FEWS NET), το οποίο κι αυτό μέσω δορυφορικών πληροφοριών παρακολουθεί την υποσαχάρια Αφρική, καταγράφοντας συνεχώς τις καιρικές συνθήκες και τις καταστάσεις των καλλιεργειών (Wright και άλλοι, 2013).

1.2 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και Τηλεπισκόπηση

Την ανάγκη δημιουργίας κάποιου συστήματος το οποίο να διαχειρίζεται όλα τα γεωγραφικά δεδομένα καλύπτουν τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Σ.Γ.Π.). Τα γεωγραφικά δεδομένα έχουν κάποια θέση στον χώρο, περιγραφή, χωρική σχέση και χρόνο. Τα στάδια μετασχηματισμού κατά τη λειτουργία ενός Σ.Γ.Π. είναι η συλλογή των δεδομένων, η επεξεργασία των δεδομένων αυτών και η απεικόνισή τους (Κάτσιος και άλλοι, 2014).

Οι βασικές λειτουργίες ενός Σ.Γ.Π είναι η σύνδεση χωρικών δεδομένων με περιγραφικά δεδομένα, η οργάνωση της πληροφορίας σε επίπεδα, η τοπολογική δομή και η Χωρική Ανάλυση (Καρτάλης Κωνσταντίνος κ.α., 2013). Ως ορισμός, κάθε Σ.Γ.Π. είναι ένα αυτοτελή σύστημα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης, απόδοσης πληροφορίας, σχετικής με φαινόμενα που εξελίσσονται στον χώρο (Goodchild, 1958).

Η Τηλεπισκόπηση από την άλλη ορίζεται ως η επιστήμη και η τέχνη συλλογής πληροφοριών σχετικά με ένα αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο μέσω της ανάλυσης δεδομένων που λαμβάνονται από μια συσκευή η οποία δεν βρίσκεται σε επαφή με το αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο που μελετάται (Lillesand και άλλοι, 2014).

1.2.1 Δορυφορική Τηλεπισκόπηση

Ένας από τους κύριους στόχους της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης είναι η μελέτη των βιολογικών υλικών, δηλαδή της βλάστησης, όπως για παράδειγμα η παρακολούθηση της δυναμικής συμπεριφοράς της, καθώς και η μελέτη της υγείας των φυτών, χωρίς να περιορίζεται μόνο σε αυτούς τους τομείς, όπως επίσης και η παρακολούθηση περιβαλλοντικών φαινομένων και προβλημάτων από δορυφορικά δεδομένα (Μέρτικας, 2009). Η Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη η οποία χρησιμεύει για οποιαδήποτε μελέτη ενός φαινομένου και όχι μόνο που λαμβάνει χώρα τόσο στην επιφάνεια της γης, όσο και στην ατμόσφαιρα.

Μελετά την ακτινοβολία που εκπέμπεται και ανακλάται από τα αντικείμενα. Με τη βοήθεια αυτής γίνεται εφικτή η μελέτη των αντικειμένων με τα χαρακτηριστικά τους γνωρίσματα

εξετάζοντας την ακτινοβολία που εκπέμπεται και ανακλάται από αυτά. Διαχωρίζεται λοιπόν η φασματική απόκριση των δεδομένων σε διαφορετικά μήκη κύματος. Χαρακτηριστικό κάθε αντικειμένου είναι η φασματική υπογραφή ή φασματική ταυτότητα η οποία αποτελεί τη μορφή της καμπύλης της φασματικής απόκρισης ενός αντικειμένου σε σχέση με το μήκος κύματος και είναι μοναδική για κάθε αντικείμενο (Καρτάλης και άλλοι, 2013).

Καθοριστικός λόγος της σπουδαιότητας της χρήσης της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης για οποιαδήποτε μελέτη που διαδραματίζεται στη γη αποτελούν οι πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες οι οποίες δεν παρέχουν μόνο υψηλή ραδιομετρική ποιότητα στο ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, αλλά και στο κοντινό και υπέρυθρο τμήμα, τα οποία έχουν κατά βάση μεγαλύτερο δυναμικό εύρος και κρίνονται ως τα κατάλληλα για την χαρτογράφηση (Lucas και άλλοι, 2004).

1.2.2 Ανάλυση δεδομένων

Η ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων από οποιαδήποτε πηγή, είναι το βασικότερο στάδιο της γεωγραφικής μελέτης. Οι κυριότερες και συχνότερες πηγές δεδομένων για αναλύσεις στα Σ.Γ.Π. είναι οι αναλογικοί χάρτες, οι αεροφωτογραφίες, οι δορυφορικές εικόνες και οι αναφορές από άλλες βιβλιογραφίες. Ο συνδυασμός των Σ.Γ.Π. τόσο με τηλεπισκοπικών όσο και με δεδομένων από άλλες πηγές, έχουν ως αποτέλεσμα την πληρέστερη δυνατή παρουσίαση χαρακτηριστικών της μελέτης. Αποτελεί κύριο εργαλείο για την υλοποίηση μεγάλων και πολύπλοκων εφαρμογών σε όλους τους τομείς που μελετάται.

Η χρήση και των δορυφορικών τηλεπισκοπικών δεδομένων στα Σ.Γ.Π προσφέρει πρόσφατη πληροφορία και η οπτικοποίηση της περιοχής είναι περισσότερο ανανεωμένη από τα υπόβαθρα που περιέχουν τα Σ.Γ.Π. (Καρτάλης, 2013)

Η ανάλυση πραγματοποιείται με δείκτες και μοντέλα, σχετικοί με το θέμα εκπόνησης κάθε εργασίας. Η εξέλιξη της τεχνολογίας και οι πολλαπλές μελέτες ανά τον κόσμο, με διαφοροποιήσεις στις περιοχές μελετών και στις μεθόδους ανάλυσης, έχουν ως αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση και την ανάπτυξη ποικίλων μεθόδων ανάλυσης, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε περίπτωση. Ο χρόνος εξέλιξης κάθε τομέα εξελίσσεται ανάλογα με τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν.

1.3 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

1.3.1 Τηλεπισκόπηση και Ξηρασία

Η υγρασία του εδάφους μπορεί να εκτιμηθεί σε μία περιοχή από επίγειες μετρήσεις και από δορυφορικά τηλεπισκοπικά δεδομένα. Με τις επίγειες μετρήσεις υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια των αποτελεσμάτων, όμως δε παύουν να είναι χρονοβόρες και αρκετά δαπανηρές. Το

κύριο ελάττωμά τους όμως είναι το γεγονός πως δεν αντιπροσωπεύουν τη χωρική κατανομή της περιοχής. Υπάρχουν παράγοντες που την επηρεάζουν, όπως η αλλαγή της τοπογραφίας, το είδος του εδάφους, η εδαφοκάλυψη και το κλίμα που επικρατεί (Petrooulos και άλλοι, 2015)(Fernández και άλλοι, 2013).

Η χωρική κατανομή, χωρίς τη χρήση διάφορων μεθόδων ανάλυσης και χωρικής παρεμβολής, αντικατοπτρίζεται στις δορυφορικές εικόνες. Υπάρχει ικανοποιητικός αριθμός μεθόδων σχετικά με τον υπολογισμό της υγρασίας του εδάφους της γης και κατ' επέκταση της ξηρασίας.

Η τηλεπισκόπηση αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την ανίχνευση της χωρικής και χρονικής κατανομής του φαινομένου της ξηρασίας. Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται διακρίνονται με βάση το είδος της ξηρασίας που μελετάται, δηλαδή της μετεωρολογικής, της γεωργικής και της υδρολογικής ξηρασίας. Παρόλα αυτά υπάρχουν και πιο ολοκληρωμένοι δείκτες, οι οποίοι χρησιμοποιούν μία σειρά μετεωρολογικών, γεωργικών και υδρολογικών μεταβλητών.

Υπάρχουν δέκα μοντέλα παρακολούθησης της ξηρασίας στον κόσμο, τα οποία συνδυάζουν δεδομένα και δείκτες διάφορων τύπων ξηρασίας. Το NADM και NIDIS στη Βόρεια Αμερική, το EDO στην Ευρώπη, το ICPAC, το ICPAP Web Mapping και το PAFDM για την Αφρική, για την Αυστραλία το Australian Government Bureau of Meteorology. Όπως επίσης και το CIIFEN και το PLAFDM για τη Νότια Αμερική και το South Asian Drought Monitoring System για την Ασία (Dalezios, 2017).

Από τους πιο διαδεδομένους δείκτες ανίχνευσης και παρακολούθησης της ξηρασίας, που χρησιμοποιεί και το Global Drought Information System (GDIS), είναι ο Standardized Precipitation Index (SPI), ο οποίος βασίζεται κυρίως στη βροχόπτωση και ο Palmer Drought Severity Index (PDSI), ο οποίος βασίζεται στη πρόσφατη βροχόπτωση και τη θερμοκρασία. Επίσης το σύστημα USDM ενσωματώνει τους δύο αναφερόμενους δείκτες, καθώς και άλλους, που ερμηνεύουν τη βλάστηση και τις υδρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή μελέτης (Βουδούρης, 2017) (Dalezios, 2017)(Dai και άλλοι, 2019).

Άλλοι δείκτες ευρέως διαδεδομένοι, που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση και παρακολούθηση της ξηρασίας σε κάποια περιοχή, είναι οι Standardised Precipitation Evaporation (SPEI), Crop Moisture Index (CMI), Reconnaissance Drought Index (RDI) και Crop Water Stress Index (CWSI) (Ramsis, 2011)(Asadi και άλλοι, 2015)(Petrooulos και άλλοι, 2015)(Dalezios, 2017)(Mlenga και άλλοι, 2019),.

Παρά την ευαισθησία των δεικτών βλάστησης (VI) σε νέφη, αποδείχθηκε πως ο συνδυασμός τους με κάποιο δείκτη θερμοκρασίας (Ts) αντικατοπτρίζει τις συνθήκες υγρασίας των καλλιεργειών και κατ' επέκταση τη γεωργική ξηρασία σε περιπτώσεις που η υγρασία του εδάφους είναι χαμηλή. Το διάγραμμα διασποράς του σχηματίζει ένα τριγωνικό σχήμα, όπως και η γραμμή μηδενικής βλάστησης με τα κανάλια του κόκκινου κοντινού υπέρυθρου και του κόκκινου, με τη κορυφή του να αντιστοιχεί σε πλήρη κάλυψη βλάστησης και η βάση του σε γυμνό έδαφος (Ramsis, 2011)(Petrooulos και άλλοι, 2015).

Οι δείκτες βλάστησης για τον εντοπισμό, την ανάλυση και παρακολούθηση της ξηρασίας που χρησιμοποιούνται συνδυαστικά με άλλους, είναι οι Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Vegetation Condition Index (VCI), Sludge Volume Index (SVI), Vegetation Productivity Index (VPI) και Agricultural Stress Index (ASI). Ο συνδυασμός του δείκτη SPI και NDVI, σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο Εσουατίνι, στη Νότια Αφρική, μπορεί να επεξεργάζεται και εξάγει αποτελέσματα σχεδόν σε πραγματικό χρόνο (Mlenga και άλλοι, 2019).

1.3.2 Ανάλυση Χρονοσειρών Τηλεπισκοπικών δεδομένων

Η παρακολούθηση της Γης από το διάστημα, μέσω των δορυφόρων, και επέκτασης οποιονδήποτε φαινομένων διαδραματίζονται σε αυτή, αποτελεί από τις κυριότερες εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης.

Με τον όρο χρονοσειρά εννοείται η μία σειρά από παρατηρήσεις που παίρνονται σε ορισμένες χρονικές στιγμές ή περιόδους που ισαπέχουν μεταξύ τους. Στη περίπτωση των χρονοσειρών τηλεπισκοπικών δεδομένων, οι παρατηρήσεις προκύπτουν από τις δορυφορικές εικόνες, αποτελέσματα radar ή αεροφωτογραφιών. Με τις χρονοσειρές τηλεπισκοπικών δεδομένων γίνεται η ανίχνευση και η ανάλυση των αλλαγών που συμβαίνουν στην επιφάνεια του πλανήτη σε συνάρτηση με τον χρόνο. Τέλος, είναι χρήσιμες για μελλοντικές προβλέψεις, από τις τάσεις μακροπρόθεσμων χρονοσειρών, βασισμένες στη γραμμική παλινδρόμηση.

Ανάλογα με το θέμα της έρευνας που θα αναλυθεί χρονικά, επιλέγεται ο κατάλληλος δορυφόρος ή ραντάρ που θα αντληθούν τα δεδομένα για τη διεκπεραίωση της. Υπάρχουν δεδομένα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλο πλήθος διαφορετικών παρατηρήσεων εξίσου, είτε στην αρχική τους μορφή είτε με βάση αυτές υπολογίζεται ένας ή και περισσότεροι δείκτες. Κάποια από αυτά μπορεί να είναι δεδομένα για ανάλυση χρονοσειρών της υγρασίας του εδάφους, της βιομάζας του εδάφους, την ανάπτυξη των καλλιεργειών, της δυναμικής των πλημμυρών, των δασικών διαταραχών γενικότερα, όπως για παράδειγμα οι διαταραχές από μία πυρκαγιά, ακόμα και τις μεταβολές της θερμοκρασίας εποχιακά, αλλά κατά τη διάρκεια ημέρας και νύχτας (Kuenzer, 2015)(Pan και άλλοι, 2017).

Από τις χρονοσειρές τηλεπισκοπικών δεδομένων προκύπτει μια μακροπρόθεσμη τάση κατεύθυνσης, εποχιακές ή συστηματικές κινήσεις και ακανόνιστες ή μη συστηματικές διακυμάνσεις. Το βήμα της χρονικής περιόδου που αναλύεται είναι απαραίτητο να είναι σταθερό σε μία τέτοια ανάλυση. Στην ανάλυση χρονοσειρών τηλεπισκοπικών δεδομένων γίνεται χρήση στατιστικής ανάλυσης για την ερμηνεία της εξέλιξης του φαινομένου στο χρόνο ανά εικονοστοιχείο των εικόνων. Οι στατιστικοί παράμετροι είναι το μέσο, το ελάχιστο και μέγιστο, η τυπική απόκλιση, η μεταβλητότητα, οι ανωμαλίες, τα σημεία καμψής και οι τάσεις(Kuenzer, 2015)(Pan και άλλοι, 2017)(Jönsson, και άλλοι, 2017).

Απαραίτητη προϋπόθεση της ανάλυσης χρονοσειρών τηλεπισκοπικών δεδομένων, αποτελούν τα δεδομένα να έχουν ίδια στοιχεία ως προς τη ποιότητα των δεδομένων ανά δείκτη (Kuenzer, 2015 και Pan και άλλοι, 2017). Λογισμικά τα οποία αναλύουν χρονοσειρές τηλεπισκοπικών δεδομένων είναι το Timesat και το Spirits, που δημιουργήθηκαν αρχικά για την ανάλυση και τη παρακολούθηση της βλάστησης (Pan και άλλοι, 2017).

1.3.3 Φίλτρο εξομάλυνσης Savitzky-Golay

Σε ένα γραμμικό διάγραμμα των τιμών οποιουδήποτε φαινομένου σε κάθε χρονική στιγμή, πολλές φορές η περιοδικότητα των αυξομειώσεων δεν είναι ορατή. Αυτός είναι ο λόγος της ύπαρξης διαφόρων φίλτρων, που σκοπό έχουν την εξομάλυνση των δεδομένων από πιθανός ακραίες τιμές, προβληματικά δεδομένα και από μικρές μεταβολές. Υπάρχουν ποικίλα φίλτρα εξομάλυνσης, όπως το Savitzky-Golay, Assymetric Gaussians, η συνάρτηση διπλής λογικής, ο διαχωρισμός σε μη γραμμικά τετράγωνα, η συγχώνευση τοπικών λειτουργιών και η αποσύνθεση της εποχιακής τάσης. Το περισσότερο χρησιμοποιημένο και ιδανικότερο για τη περίπτωση ανάλυσης χρονοσειρών βλάστησης, φαινολογίας, αλλά και γενικότερα του φυσικού περιβάλλοντος είναι το Savitzky-Golay (Baba και άλλοι, 2014).

1.3.4 Το λογισμικό TIMESAT, Εφαρμογές και Ξηρασία

Το Timesat αποτελεί ένα λογισμικό πακέτο για την ανάλυση χρονοσειρών από τηλεπισκοπικά δεδομένα. Δημιουργήθηκε το 2004 από τους Per Jönsson και Lars Eklundh και αποτελεί πανεπιστημιακό λογισμικό, καθώς είναι νόμιμη η χρήση του μόνο για ακαδημαϊκούς και ερευνητικούς σκοπούς.

Στις περισσότερες μελέτες που έχει χρησιμοποιηθεί το Timesat ως λογισμικό για την ανάλυση των χρονοσειρών, αναλύθηκαν δεδομένα από MODIS και AVHRR με δείκτες VI. Πιο συγκεκριμένα MODIS και κυρίως με δείκτες EVI και NDVI για τη βελτιστοποίηση και αξιολόγηση του αλγορίθμου στη φαινολογική βλάστηση, η οποία φαίνεται πως είναι αρκετά λειτουργική και έγκυρη σαν μεθοδολογία, με τις πρόσφατες βελτιώσεις να λειτουργούν ακόμη καλύτερα σε ελάχιστα παρελθοντικά προβληματικά μέρη (Borges και άλλοι, 2014)(Pan και άλλοι, 2017) (Stanimiriva και άλλοι, 2019).

Παρόλα αυτά υπάρχει μεγάλη ποικιλία ως προς τις εφαρμογές παρακολούθησης φαινομένων από δορυφορικά δεδομένα, που χρησιμοποιήθηκε το Timesat. Κάποια παραδείγματα από τη βιβλιογραφία είναι η παρατήρηση της φαινολογίας του φυτοπλαγκτού με δεδομένα από τον δορυφόρο MERIS σε συνδυασμό με επίγειες δειγματοληψίες, στη λίμνη Μπάλατον της Ουγγαρίας (Palmer και άλλοι, 2015) και τα ενδο-αστικά μικροκλίματα στη φαινολογία απο δορυφορικά δεδομένα MODIS της πόλης Ρόανοκ της Βιρτζινίας των ΗΠΑ (Parece και άλλοι, 2018).

Το φαινόμενο της ξηρασίας είναι δύσκολο να εντοπιστεί ακριβώς χωρικά και χρονικά χωρίς δορυφορικά δεδομένα. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίον η παρακολούθηση του φαινομένου γίνεται συστηματικά για αρκετά χρόνια. Οι χρονοσειρές για την παρακολούθηση και κατηγοριοποίηση της ξηρασίας χρειάζονται μεγάλο όγκο δεδομένων, αρκετών ετών, ώστε να μελετηθεί όσο το δυνατόν περισσότερο. Υπάρχουν αρκετές μελέτες παρατήρησης της ξηρασίας και γενικότερα της υγρασίας του εδάφους με τη χρήση του λογισμικού Timesat για την ανάλυση των χρονοσειρών των δεδομένων.

Ο προσδιορισμός της γεωργικής ξηρασίας στην Αφρική επιτεύχθηκε από τηλεπισκοπικά δεδομένα MODIS και TRMM σε συνδυασμό με στοιχεία από τη βάση δεδομένων FAOSTAT, από τους δείκτες NDVI, VCI και SPI-3 (Winkler και άλλοι, 2017). Όπως και οι επιδράσεις των συνθηκών ξηρασίας στη δυναμική του διοξειδίου του άνθρακα σε τύρφη, στη Νότια Σουηδία, με δεδομένα από επίγειες και μη μετρήσεις και από MODIS (Lund και άλλοι, 2012).

1.4 Περιοχή μελέτης και δεδομένα

1.4.1 Περιοχή Μελέτης

Περιοχή μελέτης της εργασίας αποτελεί η Ελλάδα (Χάρτης 1). Η Ελλάδα βρίσκεται στα Νότια και Ανατολικά της Ευρώπης, στο νοτιότερο άκρο της Βαλκανικής χερσονήσου και έχει έκταση 132.049 χλμ² (Eurostat, 2019).



Χάρτης 1.1: Χάρτης απεικόνισης περιοχής μελέτης, της Ελλάδας.

Το μεσογειακό κλίμα με τους υγρούς, ήπιους χειμώνες και τα μεγάλα, θερμά και ξηρά καλοκαίρια συναντάται στη λεκάνη της Μεσογείου, στην οποία ανήκει και η Ελλάδα, σε μεγάλο μέρος της Καλιφόρνια, στη Κεντρική Χιλή, σε τμήματα της Δυτικής και Νότιο-Δυτικής Αυστραλίας και στη Νοτιοδυτική Νότιο Αφρική. Το μεγαλύτερο μέρος των ετήσιων βροχοπτώσεων σημειώνεται το χειμώνα, ενώ οι μήνες ξηρασίας μπορεί να είναι αρκετοί με την εξαίρεση των θερινών καταιγίδων. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως λόγω της παρατεταμένης καλοκαιρινής ξηρασίας, οι πυρκαγιές είναι επίσης χαρακτηριστικό του φαινομένου του συγκεκριμένου κλίματος. Παρόλα αυτά, σε κάποιες εξαιρετικές περιπτώσεις, που δεν αρμόζουν στον τύπο του κλίματος αυτού, η ξηρασία σε μεγαλύτερη χρονική περίοδο μπορεί να προκαλέσει μεγάλες ζημιές στις καλλιέργειες και στη ζωή των φυτών και ζώων, όπως προαναφέρθηκαν παραπάνω. Οι περιοχές με Μεσογειακό κλίμα, σε συνδυασμό με τη Κλιματική Αλλαγή που συμβαίνει, είναι περισσότερο εκτεθειμένες στο κίνδυνο της ξηρασίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Καλιφόρνια, που τα τελευταία έτη πλήττεται από εκτεταμένες ξηρασίες, δημιουργώντας πολλά κοινωνικοοικονομικά προβλήματα.

Παράλληλα, το κλίμα της Ελλάδας χαρακτηρίζεται και θαλάσσιο μεταβατικό, γιατί κυμαίνεται κατά μέσο όρο από 10°C έως 25°C, ενώ χαρακτηρίζεται πως έχει Μεσογειακό Τύπο Κλίματος. Παρόλα αυτά, βάση των ετήσιων δεδομένων των μετεωρολογικών σταθμών που καταγράφουν τα mm της βροχής, η Ελλάδα διαχωρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες. Η κατάταξη του κλίματος γεωγραφικά έχει ως εξής:

- i. Ημίξηρος τύπος: Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Κόρινθος, Αίγινα, Θήρα, Νάξος, Μήλος και Σύρος.
- ii. Ημίυγρος τύπος: Το μεγαλύτερο μέρος της χώρας
- iii. Υγρός: Ιόνιο πέλαγος και ορεινές περιοχές της Ελληνικής υπαίθρου
- iv. Πολύ υγρός: Κύριος ορεινός όγκος της Πίνδου και η Ασκύφου, στην ορεινή Κρήτη (Σερέλη και άλλοι, 2010).

Σχετικά με τις καλλιέργειες στην Ελλάδα, ο πρωτογενής τομέας παραγωγής αποτελούσε ανέκαθεν και αποτελεί σημαντικό μέρος της οικονομίας της χώρας. Ευνοϊκό για αυτού του είδους δραστηριότητες είναι και το έδαφος, το οποίο θεωρείται εύφορο. Οι πιο χαρακτηριστικές καλλιέργειες, με συνάμα μεγάλες εκτάσεις γης, είναι το αμπέλι, η ελιά και τα εσπεριδοειδή. Πιο συγκεκριμένα, οι καλλιέργειες που καταλαμβάνουν σημαντική έκταση είναι το σκληρό σιτάρι, το αραβόσιτο, το βαμβάκι, τα αμπέλια, οι πορτοκαλιές, τα ροδάκινα και νεκταρίνια και οι ελαιώνες (ΕΛΣΤΑΤ, 2018).

1.4.2 Ελλάδα και Ξηρασία

Η Ελλάδα κατά την αρχαία ιστορία, σύμφωνα από ιστορικά κείμενα, έχει πληγεί αρκετές φορές από το φαινόμενο της ξηρασίας. Από τα πρώτα δεδομένα στα οποία αναφέρεται το φαινόμενο, στις παλαιότερες δηλαδή ιστορικές πηγές, χαρακτηρίζεται ως το σοβαρό εμπόδιο για την εξέλιξη πολεμικών επιχειρήσεων. Έχουν καταγραφεί από τέτοιου είδους πηγών, ξηρασίες από την Αιάκειο περίοδο μέχρι και τον 8ο π.Χ. αιώνα.

Ωστόσο, τα παραπάνω αποτελούν μόνο ιστορικές πηγές, χωρίς ποσοτικά δεδομένα, που βοηθούν στην ανάλυση, στο μέγεθος και την έκταση του φαινομένου. Οι άμεσες ποσοτικές πληροφορίες, προκύπτουν από τους βροχομετρικούς σταθμούς, των οποίων η λειτουργία τους σε ολόκληρη την Ελλάδα ξεκίνησε πριν 50 χρόνια, ενώ αντίθετα στη περιοχή της πρωτεύουσας υπάρχουν υδρολογικά δεδομένα περίπου από το 1850.

Όπως αναλύθηκε παραπάνω, η Ελλάδα εμφανίζει άνιση κατανομή των βροχοπτώσεων χωρικά και χρονικά, αν και χώρα με ικανοποιητικό βαθμό συνολικού υδατικού ισοζυγίου. Κύριο αίτιο αυτού είναι το γεωγραφικό και γεωμορφολογικό ανάγλυφο της χώρας, εκ των οποίων τα αποτελέσματα είναι ο διαχωρισμός του τύπου κλίματος. Παρόλα αυτά παρατηρούνται κατά καιρούς αρκετά ακραία φαινόμενα, όπως η ξηρασία, σε οποιαδήποτε χωροχρονική στιγμή. Παράδειγμα αποτελούν οι τουλάχιστον 31 ξηρασίες που σημειώθηκαν στη περιοχή της Αττικής από το 1860 έως το 2005, χωρίς να προσδιορίζεται η αρχή και το τέλος των φαινομένων και η περιοδικότητά τους.

Από τα έντονα φαινόμενα ξηρασίας των τελευταίων ετών χαρακτηρίζεται η ξηρασία του 1989 έως 1990, λόγω των ελάχιστων κατακρημνισμάτων που σημειώθηκαν, κυρίως στη κεντρική Ελλάδα, προκαλώντας υπέρμετρες ζημιές στη γεωργία και κατ' επέκταση στην οικονομία του κλάδου, αλλά και στην έλλειψη του νερού για οποιαδήποτε χρήση στη περιοχή της Αθήνας (Μπαλούτσος και άλλοι, 2006).

Ενώ οι πιο πρόσφατες γεωργικές ξηρασίες που έλαβαν χώρα στην Ελλάδα χρονολογούνται τα έτη 2001 και 2002, προκαλώντας εκτεταμένες ζημιές στον γεωργικό τομέα στους 29 από τους 51 νομούς της χώρας. Οι ζημιές αυτές άμεσα έπληξαν και οικονομικά τους απασχολούμενους της γεωργίας, και κατ' επέκταση ολόκληρη τη χώρα. Το ίδιο φαινόμενο προκάλεσε σοβαρές επιπτώσεις και στα υδατικά οικοσυστήματα, καθώς ολόκληρα οικοσυστήματα λιμνών και ποταμών απειλήθηκαν με εξαφάνιση.

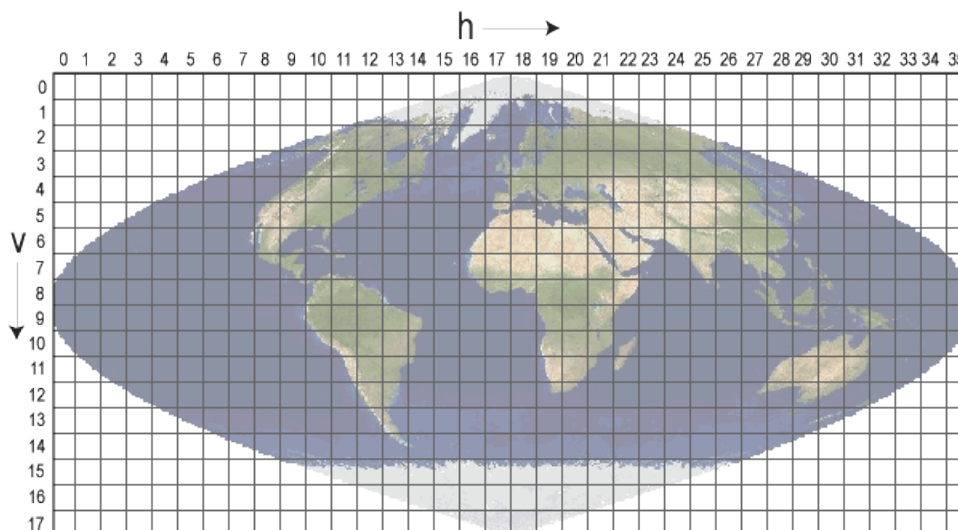
Μελέτες προβλέπουν πως από τη κλιματική αλλαγή, η μεγαλύτερη λεκάνη της Μεσογείου, συνεπώς και της Ελλάδας, θα έχει θερμότερες και ξηρότερες κλιματικές συνθήκες στα τέλη του 21ου αιώνα, καθώς σημειώνεται μία τάση προς πιο ξηρές καταστάσεις (Ozturk και άλλοι, 2015).

1.4.3 Δεδομένα

Δεδομένα MODIS

Ο Moderate Resolution Imaging Spectrometer ή διαφορετικά MODIS είναι όργανο καταγραφής των δορυφόρων Terra και Aqua της NASA, για τη ξηρά και τους ωκεανούς αντίστοιχα. Οι καταγραφές τους ξεκίνησαν τον Φεβρουάριο του 2000 και συνεχίζονται μέχρι και σήμερα. Οι δύο δορυφόροι συγχρονίζονται και οι παρατηρήσεις τους καλύπτουν όλη την επιφάνεια της Γης σε μία ημέρα, καθώς η τροχιά του Terra περνά από τα Βόρεια προς τα Νότια εγκάρσια του Ισημερινού, ενώ ο Aqua από τα Νότια προς τα Βόρεια, κι αυτός εγκάρσια του Ισημερινού, το απόγευμα.

Το MODIS διαχωρίζει την επιφάνεια της Γης σε πλακάκια, ή διαφορετικά tiles σε 460. Το σύστημα ξεκινά από το h0v0, πάνω αριστερά, με το h να μετρά τα οριζόντια και το v τα κάθετα πλακάκια και να τελειώνει στο h35v17 κάτω δεξιά. Η έκταση της Ελλάδας είναι διαχωρισμένη σε τέσσερα πλακάκια δεδομένων του MODIS, τα h19v04, h19v05, h20v04 και h20v05 (Χάρτης 2).



Χάρτης 1.2: Χάρτης ημιτονοειδούς πλέγματος πλακιδίων MODIS
(ιστοσελίδα MODIS, <https://modis-land.gsfc.nasa.gov>)

Η χωρική διακριτική ικανότητα των δεδομένων του MODIS διαφέρει ανάλογα με τα φασματικά κανάλια, σε 250μ στα φασματικά κανάλια 1 και 2, 500μ στα φασματικά κανάλια 3 έως 7 και 1χλμ στα φασματικά κανάλια 8 έως 36. Το MODIS εξάγει 40 προϊόντα, τα οποία καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα μεταβλητών σχετικά με την ξηρά, τον ωκεανό και την ατμόσφαιρα. Προϊόντα εξάγονται και από τους δύο δορυφόρους του MODIS, με τα ονόματα του Terra να ξεκινούν με το MOD-, ενώ με του Aqua με το MYD-. Η συνέχεια του ονόματος συνεχίζεται με ένα νούμερο από το 1 έως το 17 και στη συνέχεια ακολουθεί η κατάληξη A1, A2 ή A3, συνήθως εάν πρόκειται για δεδομένα καθημερινά, ανά 8 ημερών ή ανά 16 ημερών αντίστοιχα.

Τα προϊόντα του MODIS μπορούν να ληφθούν από διάφορες πλατφόρμες της NASA, όπως για παράδειγμα το AppEEARS, τη Data Pool, τη NASA Earthdata Search, την USGS EarthExplorer, το OpeNDAP, το DAAC2Disk Utility και το LDOPE, με το AppEEARS να είναι ίσως πιο φιλικό για τον χρήστη. Παρέχει 87 προϊόντα εκ των οποίων τα 40 είναι του MODIS. Τα προτερήματα της συγκεκριμένης πλατφόρμας είναι η εύκολη πρόσβαση και επιλογή των δεδομένων, η εξαγωγή των τιμών εικονοστοιχείων στη κατά περίπτωση περιοχή μελέτης, χωρίς να χρειάζεται να ενωθούν πλακάκια (tiles) από τον χρήστη, η εξερεύνηση και αλληλεπίδραση των δεδομένων, α δυναμικά γραφήματα και οι πίνακες που δίνει, βοηθάει ουσιαστικά τον χρήστη να έχει μία εικόνα της χρονικής εξέλιξης των τιμών ανά προϊόν, η δυνατότητα λήψης δέσμης δεδομένων και τα δεδομένα μετά τη λήψη είναι κατευθείαν έτοιμα για ανάλυση.

Για την ανάλυση της ξηρασίας της Ελλάδας, λήφθηκαν δεδομένα από τον Terra MODIS για τη χρονική περίοδο από το 2000 έως το 2020. Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν 2 προϊόντα του MODIS, από 457 ημερομηνίες, το MOD11A2 και το MOD13A1, τα οποία εξήχθησαν από τη πλατφόρμα AppEEARS.

Τα πρώτα δεδομένα Terra MODIS πάρθηκαν στις 18 Φεβρουαρίου 2000 και συνεχίζονται να παράγονται μέχρι και σήμερα. Οι ημερομηνίες των δεδομένων της παρούσας πτυχιακής εργασίας ξεκινούν από τις 18 Φεβρουαρίου 2000 και τελειώνουν στη 1 Ιανουαρίου 2020. Το Timesat, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των χρονοσειρών των τηλεπισκοπικών δεδομένων χρειάζεται ολοκληρωμένα έτη εικόνων. Για την επίλυση του προβλήματος, αναπαράχθηκε η πρώτη παρατήρηση (αυτή της 18 Φεβρουαρίου 2000) άλλες τρεις φορές, ώστε να συμπληρώνεται ο αριθμός των 460 εικόνων συνολικά, μοιραζόμενες ανά 23 το έτος. Συνεπώς οι πρώτες τρεις παρατηρήσεις των δεδομένων της έρευνας θεωρούνται αμελητέες. Οι ημερομηνίες των δεδομένων MODIS φαίνονται παρακάτω (Πίνακας 1), ενώ περισσότερα στοιχεία για τα προϊόντα αυτά αναφέρονται στη συνέχεια.

Πίνακας 1.1: Πίνακας ημερομηνιών των δεδομένων MODIS.

Δίσεκτα έτη		Υπόλοιπα	
1/1	11/7	1/1	12/7
17/1	27/7	17/1	28/7
2/2	12/8	2/2	13/8
18/2	28/8	18/2	29/8
5/3	13/9	6/3	14/9
21/3	29/9	22/3	30/9
6/4	15/10	7/4	16/10
22/4	31/10	27/4	1/11
8/5	16/11	9/5	17/11
24/5	2/12	25/5	3/12
9/6	22/12	10/6	23/12
25/6		26/6	

Δεδομένα MOD11A2

Οι 914 εικόνες του προϊόντος MOD11A2 v006, δηλαδή της έκδοσης με αριθμό 6, απεικονίζουν την - Land Surface Temperature and Emissivity, δηλαδή την μέγιστη θερμοκρασία που σημειώθηκε σε κάθε εικονοστοιχείο σε περίοδο 8 ημερών με μέγεθος εικονοστοιχείου 1000μ, πλέγμα 1200χλμ επί 1200χλμ και με τη θερμοκρασία της επιφάνειας να δίνεται σε μονάδα μέτρησης Κέλβιν. Τα δεδομένα αυτά έχουν διαφορετικές τιμές για τη μέρα και τη νύχτα, καθώς σημειώνονται αλλαγές. Στη περίπτωση της εργασίας όμως χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα δεδομένα της ημέρας, καθώς τότε παρουσιάζονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες και αυτές έχουν νόημα να αναλυθούν για τη γεωργική ξηρασία.

Για το μικρότερο δυνατό μέγεθος των αρχείων, τα δορυφορικά δεδομένα διαιρούνται συχνά με διάφορους αριθμούς ανάλογα με το τι απεικονίζουν. Το νούμερο αυτό ονομάζεται συντελεστής κλίμακας δεδομένων και στη περίπτωση των δεδομένων του MOD11A2 ο συντελεστής κλίμακας των δεδομένων είναι 0,02, γεγονός που σημαίνει πως όλες οι τιμές των εικονοστοιχείων είναι απαραίτητο να πολλαπλασιαστούν με το 0,02 για να απεικονιστεί η θερμοκρασία σε Κέλβιν.

Το MOD11A2 βασίζεται από δεδομένα άλλου προϊόντος του MODIS, το MOD11A1, τα οποία περιέχουν τις μέγιστες τιμές των εικονοστοιχείων ημερησίως. Έχει και αυτό διαφορετικές τιμές για την ημέρα και τη νύχτα.

Δεδομένα MOD13A1

Το δεύτερο προϊόν του MODIS, είναι το MOD13A1 v006, είναι και αυτό της έκδοσης 6. Επιλέχθηκαν και λήφθηκαν 457 εικόνες, με τις ίδιες ημερομηνίες, που απεικονίζουν τους σημαντικότερους και παγκοσμίως διαδεδομένους δείκτες βλάστησης NDVI και EVI, ανά 16 ημέρες, με χωρική ανάλυση 500μ, πλέγμα 1200χλμ επί 1200χλμ και συντελεστή κλίμακας 0,0001.

Οι δείκτες βλάστησης υπολογίζονται από κάποια συγκεκριμένα φασματικά κανάλια, των οποίων οι υπολογισμοί αναλύονται στη Μεθοδολογία. Έτσι λοιπόν βασίζονται από δεδομένα του προϊόντος MOD09A1 του MODIS, που παρέχει μία εκτίμηση της επιφανειακής φασματικής ανάκλασης 7 καναλιών διορθωμένων ατμοσφαιρικά συνθηκών ανά 8 ημέρες.

Οι εικόνες MOD11A2 εξαιτίας του ότι παράγουν δεδομένα στις μισές μέρες σχετικά με τα δεδομένα MOD13A1, με αποτέλεσμα την εξαγωγή των διπλάσιων εικόνων, επιλέχθηκαν οι μισές, ώστε να συμπίπτουν οι ημερομηνίες όλων των δεδομένων μεταξύ τους. Ο τελικός αριθμός των εικόνων για κάθε προϊόν είναι 457. Στο παρακάτω πίνακα φαίνονται συνοπτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους (Πίνακας 2).

Πίνακας 1.2: Πίνακας χαρακτηριστικών των δεδομένων.

	LST	NDVI	EVI
Products	MOD11A2 v006	MOD13A1 v006	MOD13A1 v006
	8 - day	16 - day	16 - day
Pixel Size	1000m	500m	500m
Data Type	16-bit unsigned integer	16-bit unsigned integer	16-bit unsigned integer
Columns/Rows	1200 x 1200	2400 x 2400	2400 x 2400
Units	Kelvin	NDVI	EVI
Geographic Dimensions	1200km x 1200km	1200km x 1200km	1200km x 1200km
Scale Factor	0.02	0.0001	0.0001
Fill Value	0	-3000	-3000

Corine 2000

Η χρονική ανάλυση της υγρασίας του εδάφους διαχωρίστηκε ανάλογα με την εδαφοκάλυψη που επικρατεί σε κάποια περιοχή. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τις κατηγορίες της εδαφοκάλυψης είναι από το Corine 2000, του Copernicus, του Ευρωπαϊκού προγράμματος παρακολούθησης της Γης. Στην εργασία αυτή δεν εξετάστηκε περαιτέρω πως διαμορφώθηκε η εδαφοκάλυψη της επιφάνειας της χώρας με τη πάροδο των ετών, καθώς θεωρήθηκε σταθερή από την αρχική της κατάσταση, αυτή δηλαδή του 2000.

1.5 Σκοπός εργασίας

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να αναλύσει χωροχρονικά τη ξηρασία, την εποχικότητα και τη κατηγοριοποίηση του φαινομένου στην Ελλάδα από δορυφορικά δεδομένα των ετών 2000 έως 2020. Στα πλαίσια της ανάλυσης των χρονοσειρών τηλεπισκοπικών δεδομένων αρχικά παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 1 οι εισαγωγικές και θεωρητικές έννοιες που είναι απαραίτητες να αποσαφηνιστούν, σχετικές με την ξηρασία και τα είδη της, τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, τη Τηλεπισκόπηση, τα δεδομένα MODIS που χρησιμοποιήθηκαν, η ανάλυση χρονοσειρών και χαρακτηριστικά γνωρίσματα της Ελλάδας.

Στη συνέχεια στο κεφάλαιο 2, στη μεθοδολογία καλύπτονται αρχικά σε θεωρητικό επίπεδο οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση, η βιβλιογραφική τους ανασκόπηση και η ροή

της εργασίας. Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χωροχρονικής ανάλυσης της ξηρασίας, τα συμπεράσματα της πτυχιακής και οι προτάσεις για μελλοντικές έρευνες. Τέλος, η πτυχιακή εργασία ολοκληρώνεται με τα κεφάλαια 4 και 5, με τη βιβλιογραφία και τα παραρτήματα της εργασίας. Εξαιτίας του μεγάλου πλήθους των αποτελεσμάτων, τα περισσότερα από αυτά επισυνάπτονται στα παραρτήματα και περιλαμβάνονται σε εξωτερική μονάδα αποθήκευσης.

2 Μεθοδολογία

2.1 Δείκτες

Με τη Τηλεπισκόπηση επιτυγχάνεται η κατανομή των ειδών, ο κύκλος ανάπτυξης και η υγεία της βλάστησης όσο και οι μεταβολές που συμβαίνουν σε αυτή κατά το πέρασμα των ετών. Οι δείκτες βλάστησης έχουν χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε πληθώρα εφαρμογών όπως και οι ανίχνευση τυχόν αλλαγών στο έδαφος και η αποτύπωση των βιοφυσικών ιδιοτήτων της βλάστησης, όπως για παράδειγμα η βιομάζα, αλλά ακόμα και για τον υπολογισμό της παραγωγικότητας. Οι δύο κύριοι δείκτες βλάστησης που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως για τη ξηρά είναι οι NDVI και EVI (Chen και άλλοι, 2006)(Matsushita και άλλοι, 2007)(Evrendilek και άλλοι, 2008).

Οι δείκτες για τον σκοπό αυτό βασίζονται κυρίως στην ανακλαστικότητα της βλάστησης, η οποία επηρεάζεται από τη δομή του φυλλώματος και τις χρωστικές, με κύρια τη χλωροφύλλη και τις δομικές διακυμάνσεις του θόλου, των φυσιολογικών δηλαδή των φυτών (Koutsias και άλλοι, 2000). Και όπως όλοι οι τύποι των τηλεπισκοπικών δεικτών, αποτελούνται από τον βέλτιστο αλγεβρικό συνδυασμό των καναλιών που δίνει χρήσιμη πληροφορία για τη βλάστηση.

Από την άλλη, ο δείκτης LST είναι μία από τις βασικές παραμέτρους των διαδικασιών του εδάφους και της ατμόσφαιρας, σε τοπική και παγκόσμια κλίμακα. Συνδυάζει τα αποτελέσματα όλων των ενεργειακών ροών μεταξύ της ατμόσφαιρας του εδάφους και εξάγει τη θερμοκρασία της επιφάνειας. Από τις σημαντικότερες ίσως εφαρμογές του δείκτη αυτού, που ανακτάται από δορυφορικά δεδομένα, είναι η αξιολόγηση και βελτίωση του μοντέλου της παγκόσμιας μετεωρολογικής πρόβλεψης και αξιολόγηση και πρόβλεψη της ρύπανσης του αέρα (Deo και άλλοι, 2017)(Kom Oanh και άλλοι, 2005)(Solanky και άλλοι, 2018).

Τέλος, ο VTCI χρησιμοποιείται για την ανάλυση της κατάστασης και της θερμοκρασίας της βλάστησης. Ουσιαστικά, μετράει την υγρασία του εδάφους της επιφάνειας της Γης, όπως και την εξατμισοδιαπνοή. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και αντίστροφα, για την παρακολούθηση, ανάλυση και κατηγοριοποίηση της σοβαρότητας της γεωργικής ξηρασίας σε κάποια περιοχή, καθώς οι επιπτώσεις του στρεσαρίσματος της ξηρασίας της γεωργίας συνδέονται στενά με την εξατμισοδιαπνοή καθ' όλη τη περίοδο ανάπτυξης των φυτών (Patel και άλλοι, 2012)(Rahimi και άλλοι, 2016)(Nabizadeh και άλλοι, 2018,).

2.1.1 Δείκτης Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Στον κανονικοποιημένο δείκτη NDVI όλες οι γραμμές ίσης βλάστησης (isovegetation lines / vegetation isolines) συγκλίνουν σε ένα σημείο και ο υπολογισμός του προκύπτει από την κλίση μεταξύ του σημείου σύγκλισης και του σημείου αφαίρεσης του κόκκινου με του κοντινού υπέρυθρου. Ο τύπος του είναι ο εξής (Xuexia και άλλοι., 2008):

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Το εύρος των τιμών του είναι από -1 έως +1 με τις αρνητικές τιμές να φανερώνουν την ύπαρξη νερού. Όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή του δείκτη τόσο πιο υγιής και πυκνή είναι η βλάστηση που απεικονίζει, ενώ η βλάστηση που βρίσκεται υπό πίεση και η αραιή βλάστηση έχουν χαμηλή τιμή προσεγγίζοντας το 0.

2.1.2 Δείκτης Enhanced Vegetation Index (EVI)

Ο EVI ως βελτιστοποιημένος δείκτης βλάστησης και μη κανονικοποιημένος έχει μεγαλύτερη ευαισθησία στις αλλαγές που σημειώνονται σε περιοχές με υψηλή βιομάζα και μειώνει την επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών. Βασίζεται στην ανακλαστικότητα του κόκκινου, του κοντινού υπέρυθρου και του μπλε. Ο τύπος του δείκτη EVI για τον MODIS υπολογίζεται ως εξής (Xuechua και άλλοι, 2008):

$$EVI = G \times \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C1 \times RED - C2 \times Blue + L)}$$

Όπου, L=1, C1 = 6, C2 = 7.5 και G (gain factor) = 2.5

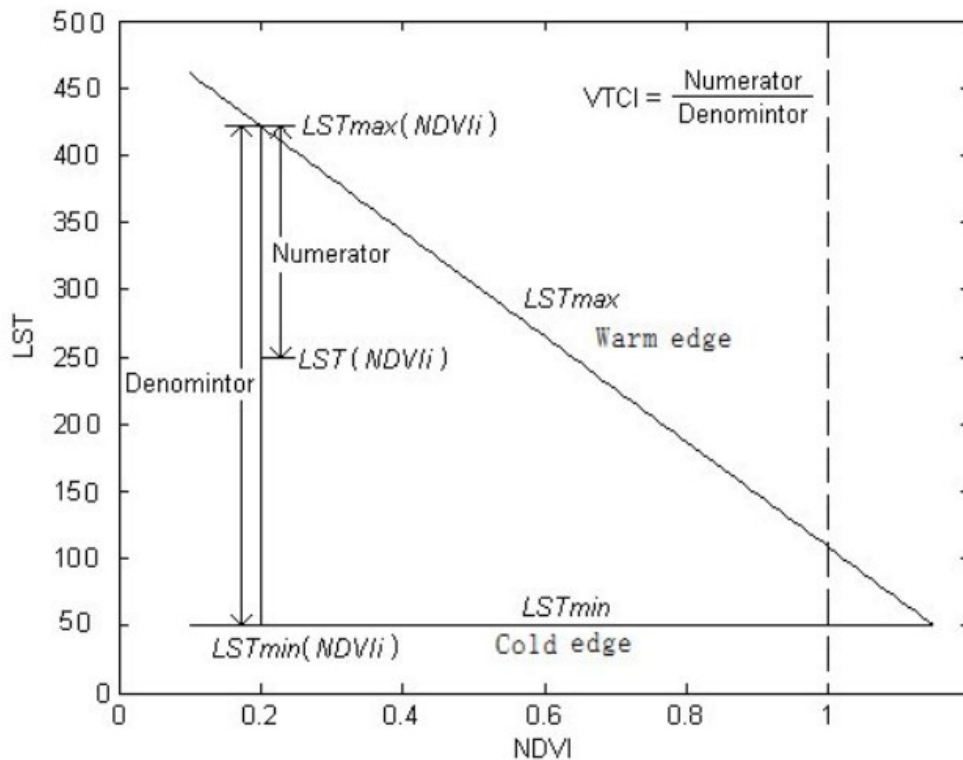
Το εύρος τιμών του EVI είναι από -1 έως +1, όπως και του NDVI, όπου η υγιής βλάστηση κυμαίνεται συνήθως μεταξύ +0,2 έως +0,8.

2.1.3 Δείκτης Land Surface Temperature (LST)

Η LST βασίζεται στην συνολική ακτινοβολία ενέργειας που εκπέμπεται από το έδαφος. Υπάρχουν διάφοροι αισθητήρες των οποίων τα δεδομένα τους είναι χρήσιμα για τη δημιουργία της LST, όπως των AVHRR και MODIS σε δορυφόρους Terra και Aqua της NASA. Η θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης εξάγεται σε μονάδα μέτρησης Κέλβιν.

2.1.4 Δείκτης Vegetation Temperature Condition Index (VTCI)

Ο



Διάγραμμα 2.1: Διάγραμμα διασποράς των δεικτών LST (άξονας y) και NDVI (άξονας x). Οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του δείκτη VTCI, είναι των ευθειών του ζεστού (Warm edge) και του κρύου (Cold edge).

Ο υπολογισμός του VTCI είναι λίγο πολυπλοκότερος από αυτούς που προαναφέρθηκαν, καθώς χρησιμοποιούνται οι τιμές των μεταβλητών, των ευθειών, του μέγιστου και ελάχιστου, ή διαφορετικά του ζεστού (warm edge) και κρύου (cold edge), που δημιουργούνται στο διάγραμμα διασποράς του NDVI και του LST, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 1). Ο χώρος της θερμοκρασίας, του LST και του NDVI είναι σημαντικός για την παραγωγή διαφόρων τύπων υδρολογικών πληροφοριών, όπως η θερμοκρασία του αέρα, η εξατμισοδιαπνοή της βλάστησης και η υγρασία του εδάφους.

Ο τύπος υπολογισμού του είναι ως εξής (Khan και άλλοι, 2016):

$$VTCI = \frac{LST_{NDVI_i, \max} - LST_{NDVI_i}}{LST_{NDVI_i, \max} - LST_{NDVI_i, \min}}$$

όπου.,

$$LST_{NDVI_i, \max} = a + bNDVI_i$$

$$LST_{NDVI_i, \min} = a' + b'NDVI_i$$

Ωστόσο, η κατηγοριοποίηση της ξηρασίας γίνεται βάση της τιμής του VTCI (Khan και άλλοι, 2016). Οι περιοχές με φυσιολογικές και αυξημένες τιμές υγρασίας εμφανίζουν τιμές μεγαλύτερες του 0,55, ενώ σε περιοχές με ήπια ξηρασία οι τιμές κυμαίνονται από 0,46 έως 0,55. Αντίστοιχα για τις περιοχές με μέτρια και σοβαρή ξηρασία οι τιμές είναι ανάμεσα σε 0,37 με 0,46 και μικρότερες του 0,37 (Πίνακας 3).

Πίνακας 2.1: Η κατηγοριοποίηση της σοβαρότητας της ξηρασίας από τις τιμές του VTCI.

Κατηγορία Ξηρασίας	Τιμή VTCI
Φυσιολογική ή υγρή περιοχή	> 0,55
Ήπια ξηρασία	0,46 – 0,55
Μέτρια ξηρασία	0,37 – 0,46
Σοβαρή ξηρασία	< 0,37

2.2 Ροή Εργασίας

Η προετοιμασία των δεδομένων για την διεκπεραίωση της εργασίας ήταν η αναπαραγωγή της πρώτης παρατήρησης του δορυφόρου MODIS άλλες τρεις φορές, ώστε ο αριθμός των δορυφορικών εικόνων ανά δείκτη LST, NDVI και EVI να είναι 460. Ενώ παράλληλα, ψηφιοποιήθηκε ο Ελληνικός χώρος, αρχικά τα χερσαία και στη συνέχεια, πιο ρευστά τα θαλάσσια σύνορα, με σκοπό την περικοπή όλων των εικόνων στη περιοχή μελέτης. Παράλληλα, μετατράπηκαν τα μεγέθη των εικονοστοιχείων των δορυφορικών εικόνων των LST στον ίδιο μέγεθος με αυτά των EVI και NDVI, με σκοπό τον υπολογισμό του δείκτη VTCI. Με το ίδιο αρχείο πραγματοποιήθηκε και η περικοπή των δεδομένων της εδαφοκάλυψης Corine 2000.

Εφόσον οι NDVI και LST είχαν το ίδιο μέγεθος εικονοστοιχείων, δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα διασποράς τους και στη συνέχεια υπολογίστηκε ο δείκτης VTCI. Στη συνέχεια απαραίτητη ήταν η μετατροπή των αριθμητικών δεδομένων των EVI, NDVI και LST στις φυσιολογικές τους τιμές. Το NDVI και EVI για την ορθή απεικόνιση και κατηγοριοποίηση τους, ενώ παράλληλα το LST για τη μετατροπή των τιμών από Κέλβιν σε βαθμούς Κελσίου, για την οπτικοποίηση όλων των δεικτών, με τη μορφή χαρτών.

Απαραίτητο για την παρακολούθηση της υγρασίας του εδάφους και την ανάλυση της ανάλογα με την εδαφοκάλυψη της κρίθηκε η επαναταξινόμηση των κατηγοριών του Corine, σε οκτώ κατηγορίες. Τα δεδομένα που επιλέχθηκαν ανήκουν στις κατηγορίες των γεωργικών

εκτάσεων, με κωδικό κατηγορίας το 2 και των δασικών και ημιφυσικών περιοχών, με τον αντίστοιχο κωδικό 3.

Συγκεκριμένα, η αρόσιμη είτε η μη αρδευόμενη είτε η μόνιμη αρδευόμενη γη, όπως και η αρόσιμη γη και ορυζώνες με κωδικούς 211, 212 και 213 αντίστοιχα, εντάχθηκαν στη πρώτη κατηγορία εδαφοκάλυψης, ονοματίζοντας την καλλιεργήσιμη γη. Στην επόμενη συμπύχθηκαν οι μόνιμες και ετερογενείς καλλιέργειες, οι μόνιμες καλλιέργειες από αμπελώνες, οπωροφόρα δέντρα και φυτείες μούρων, ελαιώνες και ετήσιες καλλιέργειες που συνδέονται με μόνιμες καλλιέργειες, ετερογενείς γεωργικές εκτάσεις και ετερογενείς εκτάσεις, με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης, με τους αντίστοιχους κωδικούς 221, 222, 223, 241, 242 και 243. Στη τρίτη κατηγορία ανήκουν τα λιβάδια με κωδικό 231 και στη τέταρτη τα δάση πλατύφυλλων, φυλλοβόλων με 311. Η επόμενη κατηγορία εμπεριέχει τα κωνοφόρα και τα μεικτά δάση με κωδικούς 312 και 313, αντιστοίχως. Στην έκτη κατηγορία ανήκουν με κωδικό 321 οι περιοχές που καλύπτονται από θάμνους και ποώδους βλάστησης, συνεπώς οι βοσκότοποι ή φυσικά λιβάδια. Περιοχές με μούρα, σκληρόφυλλη βλάστηση και μεταβατικές περιοχές δασικές με θαμνώδεις, προστέθηκαν στην έβδομη κατηγορία με κωδικούς 322, 323 και 324. Τέλος, οι περιοχές με ελάχιστη ή και καθόλου βλάστηση με τον 333 και οι καμένες με τον 334 αποτελούν την όγδοη κατηγορία της εδαφοκάλυψης.

Η επαναταξινόμηση των κατηγοριών της εδαφοκάλυψης φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.2) και στη συνέχεια απεικονίζεται στον παρακάτω χάρτη (Χάρτης 2.1).

Πίνακας 2.2: Πίνακας επαναταξινόμησης των κατηγοριών εδαφοκάλυψης του Corine 2000.

Κωδικοί Corine	Όνομα Κατηγορίας εδαφοκάλυψης
211, 212, 213	Καλλιεργήσιμη γη
221,222,223,241,242,243	Μόνιμες και ετερογενείς καλλιέργειες
231	Λιβάδια
311	Φυλλοβόλα δάση
312,313	Κωνοφόρα και μεικτά δάση
321	Φυσικά λιβάδια / βοσκότοποι
322,323,324	Μούρα και εδαφικές εκτάσεις, σκληροφυλλώδη βλάστηση και μεταβατικές δασικές
333,334	Περιοχές με αραιή βλάστηση



Χάρτης 2.1: Χάρτης απεικόνισης κατηγοριών εδαφοκάλυψης μετά την επαναταξινόμηση.

Για την παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης, της ημερήσιας θερμοκρασίας και της υγρασίας τους εδάφους, που αναπαριστά τη ξηρασία, υπολογίστηκε η μέση τιμή των δεδομένων των δεικτών NDVI, EVI, LST και VTCI σε κάθε κατηγορία εδαφοκάλυψης. Τα δεδομένα αυτά αποτελούν μία στατιστική μέθοδο ανάλυσης της χρονοσειράς των δεδομένων, καθώς από τη δημιουργία των διαγραμμάτων των χρονοσειρών υπολογίστηκαν οι τάσεις. Τα διαγράμματα έγιναν με την χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay, του ιδανικότερου για τη περίπτωση ανάλυσης χρονοσειρών βλάστησης, φαινολογίας, αλλά και γενικότερα του φυσικού περιβάλλοντος

Στο φίλτρο αυτό η τιμή γ_1 αντικαθίσταται από το μέσο όρο, ενώ διατηρεί τη μέση θέση μίας εποχιακής κορυφής, αλλάζει το μήκος και το πλάτος. Βασίζεται στη προσαρμογή ενός αλγεβρικού πολυωνύμου στα δεδομένα για ένα συγκεκριμένο πλάτος (n), το οποίο δίνεται από τον χρήστη και είναι αναλογικό με την εξομάλυνση που πραγματοποιείται. Όσο μεγαλύτερο το πλάτος που δίνεται, τόσο περισσότερη και η εξομάλυνση. Έχει χαρακτηριστεί ως το βέλτιστο φίλτρο στην ελαχιστοποίηση του θορύβου και ουσιαστικά το αποτέλεσμα μετά τη χρήση του είναι μία εξομαλυμένη καμπύλη στο μέγιστο των τιμών (Chen και άλλοι, 2004)(Luo και άλλοι, 2005)(Roi, 2020).

Στις περισσότερες μελέτες που έχει χρησιμοποιηθεί το Timesat ως λογισμικό για την ανάλυση των χρονοσειρών, αναλύθηκαν δεδομένα από MODIS και AVHRR με δείκτες VI. Πιο συγκεκριμένα MODIS και κυρίως με δείκτες EVI και NDVI για τη βελτιστοποίηση και αξιολόγηση του αλγορίθμου στη φαινολογική βλάστηση, η οποία φαίνεται πως είναι αρκετά λειτουργική και έγκυρη σαν μεθοδολογία, με τις πρόσφατες βελτιώσεις να λειτουργούν ακόμη καλύτερα σε ελάχιστα παρελθοντικά προβληματικά μέρη.

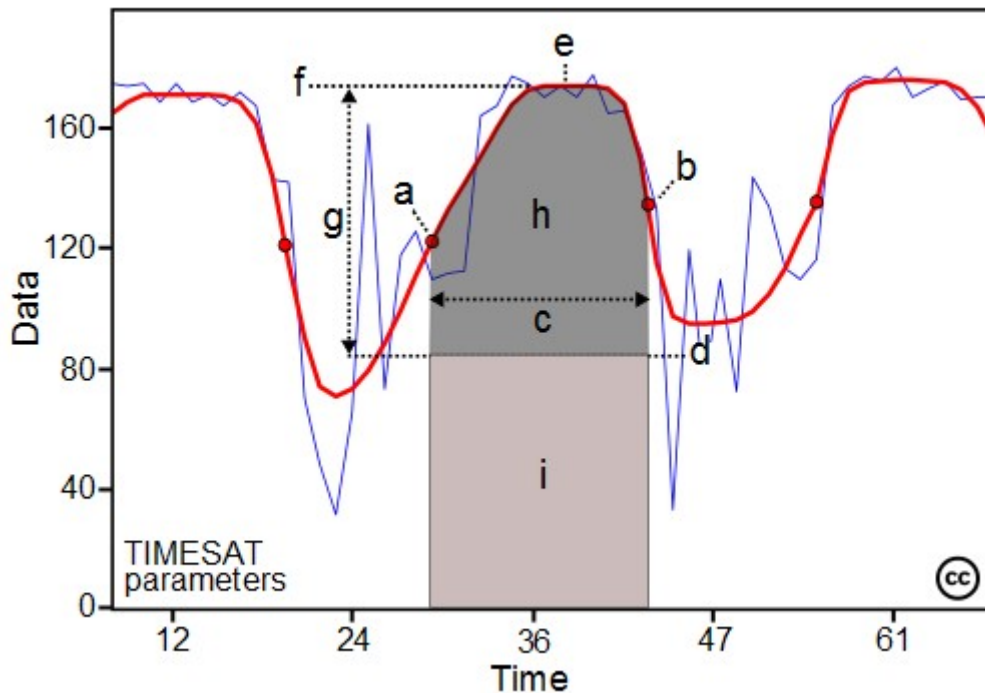
Υποστηρίζει αναλύσεις εποχικότητας των χρονοσειρών σχετικά με τις δυναμικές ιδιότητες της βλάστησης και της φαινολογίας. Η ανάλυση των δεδομένων γίνεται ανά εικονοστοιχείο στο χρόνο. Δημιουργεί δηλαδή μία λίστα από τις δορυφορικές εικόνες και αναλύει κάθε εικονοστοιχείο στο χρόνο, από τη πιο παρελθοντική εικόνα προς τη πιο πρόσφατη, από αυτή των δεδομένων. Κάθε εικονοστοιχείο, έχει δηλαδή τη δική του χρονοσειρά.

Η λειτουργία του Timesat διαφέρει αρκετά από τα λογισμικά επεξεργασίας και ανάλυσης δορυφορικών δεδομένων, καθώς ο σκοπός του είναι η ανάλυση των χρονοσειρών των δεδομένων, οι αναλύσεις της εποχικότητας καθώς η δυναμική του φαινομένου που ερευνάται. Δέχεται συγκεκριμένους τύπους δεδομένων και μορφές αρχείων, με αποτέλεσμα συχνά να χρειάζονται μετατροπές των δεδομένων που σκοπό έχουν να αναλυθούν. Οι τύποι των δεδομένων που δέχεται είναι 8 bit unsigned, 16 bit signed και 32 real, ενώ οι εικόνες που εισάγονται στο λογισμικό είναι απαραίτητο να είναι σε μορφή .bsq, ενσωματωμένες ως λίστα με το δρόμο και το όνομά τους, σε αρχεία με κατάληξη .txt ή ASCII χρονοσειράς (Jönsson και άλλοι, 2017).

Το Timesat δίνει τη δυνατότητα κατά την ανάλυση της χρονοσειράς να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ένα ή και περισσότερα φίλτρα εξομάλυνσης των δεδομένων και κατ' επέκταση της χρονοσειράς, σε βαθμό που μπορεί να οριστεί από τον χρήστη. Τα διαθέσιμα φίλτρα είναι του

Savitzky-Golay, το Asymmetric Gaussians, το Doyle Logistics, το Coaster Seasonality και το STL season/trend (Jönsson και άλλοι, 2017).

Η σημαντικότητα του Timesat ως προς την ανάλυση τέτοιου είδους χρονοσειρών, φαίνεται στις εποχικές παραμέτρους που έχει την ικανότητα να υπολογίζει. Οι εποχικές παραμέτρους είναι η αρχή (a), το τέλος (b), η διάρκεια (c), η βασική τιμή (d), ο χρόνος της μέσης (e), η μέγιστη τιμή (f), το πλάτος (g) και η μικρή (h) και μεγάλη ενσωματωμένη τιμή (h+i) της εποχής, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 1).



Χάρτης 2.2: Οι εποχικοί παράμετροι που υπολογίζει και εξάγει το Timesat.

Πηγή: Per Jönsson, Lars Eklundh,
2017 <https://web.nateko.lu.se/timesat/timesat.asp>

Στη συνέχεια με τη χρήση του Timesat υπολογίστηκαν οι εποχικοί παράμετροι Start Of Season (SOS), Length Of Season (LOS) και time of Middle Of Season (MOS) για όλους τους δείκτες, τον NDVI, τον EVI, τον LST και τον VTCI. Στην ανάλυση των χρονοσειρών χρησιμοποιήθηκε και πάλι το φίλτρο Savitzky-Golay, καθώς ακολουθεί ομαλά τις τιμές εντός της εποχής, με αποτέλεσμα να αποτυπώνει τη δυναμική της καλλιεργητικής περιόδου, της θερινής περιόδου και της αυξημένης ξηρασίας, από τους δείκτες βλάστησης NDVI και EVI, LST και VTCI (Chakroun, 2017)(Stanimirina και άλλοι, 2019).

Για τον υπολογισμό του SOS, του LOS και του MOS χρειάστηκαν ορισμοί κατωφλιών, που αντιστοιχούν στον αριθμό των εικόνων, για την ανάλυση των δεδομένων. Τα δεδομένα MODIS που αναλύθηκαν είναι 16 ημερών, η εικόνα με το νούμερο 2, αντιστοιχεί στην 16^η ημέρα, η εικόνα με

το νούμερο 3 στην 32^η ημέρα κ.ο.κ. Οι παράμετροι υπολογίστηκαν ανά ημερολογιακό έτος. Ο διαχωρισμός των εικόνων ανά έτος έχει ως εξής: για το 2000 από το 0 έως το 23, για το 2001 από το 23 έως το 46, για το 2002 από το 46 έως το 69, για το 2003 από το 69 έως το 92, για το 2004 από το 92 έως το 115, για το 2005 από 115 έως το 138, για το 2006 από το 138 έως το 161, για το 2007 από το 161 έως το 184, για το 2008 από το 184 έως το 207, για το 2009 από το 207 έως το 230, για το 2010 από το 230 έως το 253, για το 2011 από το 253 έως το 276, για το 2012 από το 276 έως το 299, για το 2013 από το 299 έως το 322, για το 2014 από το 322 έως το 345, για το 2015 από το 345 έως το 368, για το 2016 από το 368 έως το 390, για το 2017 από το 390 έως το 413, για το 2018 από το 413 έως το 436 και για το 2019 από το 436 έως το 460 (Πίνακας 2.3).

Πίνακας 2.3: Πίνακας που παρουσιάζει τις εικόνες που αναλογούν σε κάθε έτος.

Έτος	Ελάχιστο	Μέγιστο	Έτος	Ελάχιστο	Μέγιστο
2000	0	23	2010	230	253
2001	23	46	2011	253	276
2002	46	69	2012	276	299
2003	69	92	2013	299	322
2004	92	115	2014	322	345
2005	115	138	2015	345	368
2006	138	161	2016	368	390
2007	161	184	2017	390	413
2008	184	207	2018	413	436
2009	207	230	2019	436	460

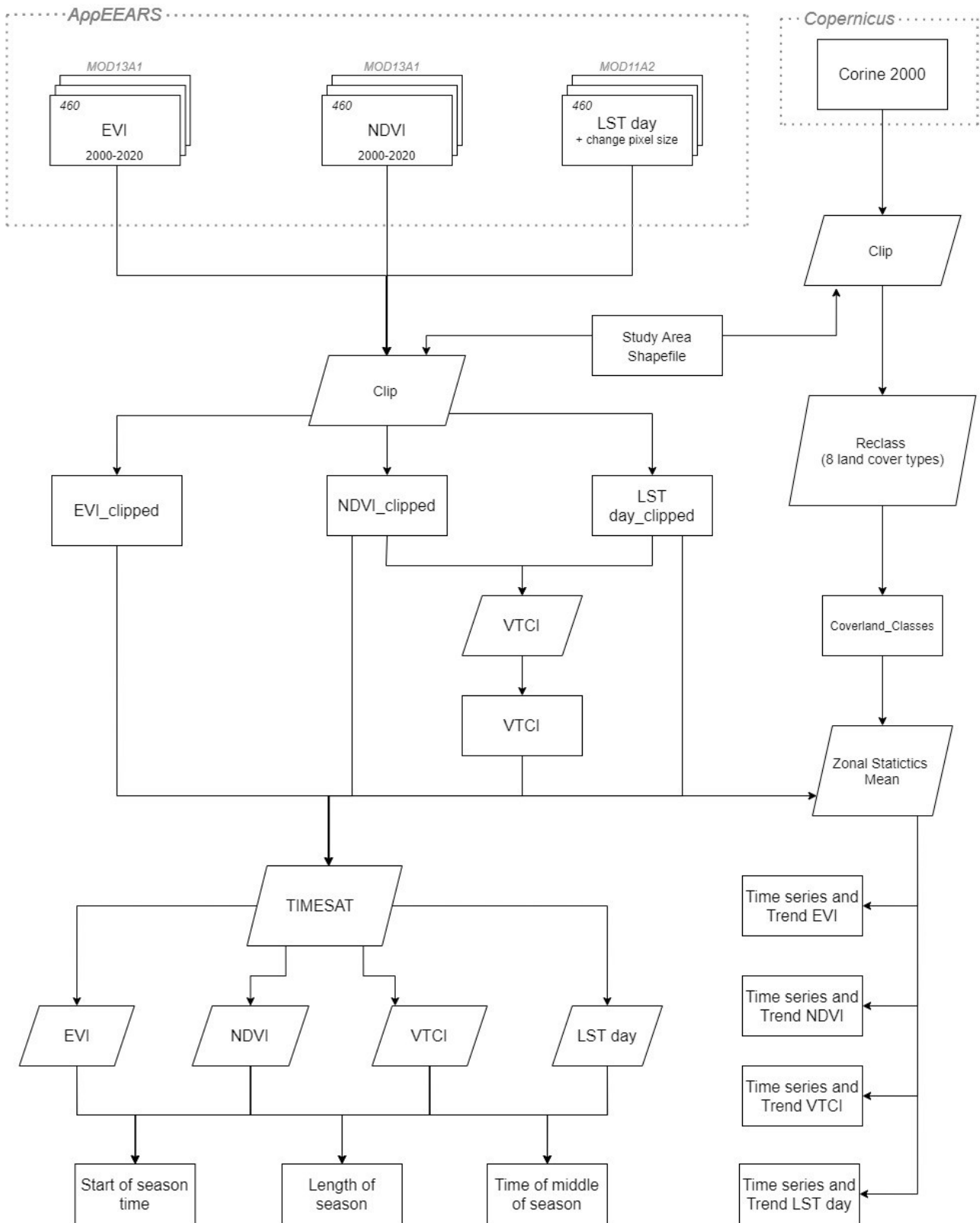
Τα αποτελέσματα του Timesat είναι ιδιαίτερα, καθώς κάθε τιμή του εικονοστοιχείου, για κάποιες εποχικές παραμέτρους, όπως αυτή της αρχής, του τέλους και της μέσης της εποχής, αντιπροσωπεύει μία χρονική στιγμή. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η χρονική στιγμή αναφέρεται στην ημερομηνία που αντιπροσωπεύει ο αριθμός της εικόνας από τα δεδομένα. Εάν για παράδειγμα η τιμή ενός εικονοστοιχείου έχει το νούμερο 2, τότε σημαίνει την 16^η ημέρα, γιατί τα δεδομένα είναι ανά 16 ημέρες, όπως στη παρούσα πτυχιακή εργασία.

Επίσης, τα εξαχθέντα αρχεία με τους εποχικούς παράγοντες που αναλύονται από το Timesat, δεν έχουν κατάληξη, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η δημιουργία αρχείων της μορφής .hdr και .flt, τα οποία θα έχουν ίδιο όνομα για κάθε αποτέλεσμα του Timesat, ώστε να είναι εφικτή η εισαγωγή τους σε οποιοδήποτε ΣΓΠ για οποιαδήποτε ανάλυση ή χαρτογράφηση. Επιπλέον για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων είναι απαραίτητη και η μετατροπή των τιμών

από δεκαδικούς σε ακεραίους, καθώς σε κάποιες περιπτώσεις τα δεκαδικά αποτελέσματα δεν συνάδουν με συγκεκριμένες ημερομηνίες.

Σε τεχνικό επίπεδο τα βήματα ήταν αρκετά περισσότερα, καθώς τα δεδομένα χρειάστηκαν αρκετές μετατροπές όσον αφορά τις ονομασίες, τις μορφές και τους τύπους των αρχείων, αφού κάποια λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν, όπως το TIMESAT για όλους τους δείκτες και το MATLAB για την δημιουργία των διαγραμμάτων διασποράς των NDVI και LST, όπως και τον υπολογισμό του δείκτη VTCI, επειδή δέχονται συγκεκριμένες μορφές και τύπους αρχείων. Εξαιτίας του μεγάλου όγκου των δεδομένων οι διεργασίες εκτελέστηκαν στο προγραμματιστικό περιβάλλον της Python, ενώ ο υπολογισμός του δείκτη VTCI στο MATLAB.

Το διάγραμμα ροής της εργασίας αναφέρει τα βήματα της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε (Διάγραμμα 2.2).



Διάγραμμα 2.2: Το διάγραμμα ροής της εργασίας.

3 Αποτελέσματα και Συζήτηση

3.1 Αποτελέσματα

Από την οπτικοποίηση των δεδομένων των δεικτών EVI και NDVI χρονικά, παρατηρούνται εκτός από τα χωροχρονικά δεδομένα της περιοχής μελέτης, ομοιότητες και διαφορές ανάμεσα στους δύο δείκτες βλάστησης (Παράρτημα). Και στις δύο περιπτώσεις το υψόμετρο αποδεικνύεται πως είναι σημαντικός παράγοντας στη κατανομή των τιμών, καθώς αυτές φαίνεται να είναι αναλογικές με το υψόμετρο. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερο το υψόμετρο, τόσο πιο υψηλές τιμές είναι οι τιμές των δεικτών βλάστησης και το αντίστροφο. Εξαιρεση αποτελούν οι τιμές τον χειμώνα σε χιονισμένες κορυφογραμμές, λόγω της ανακλαστικότητας του χιονιού.

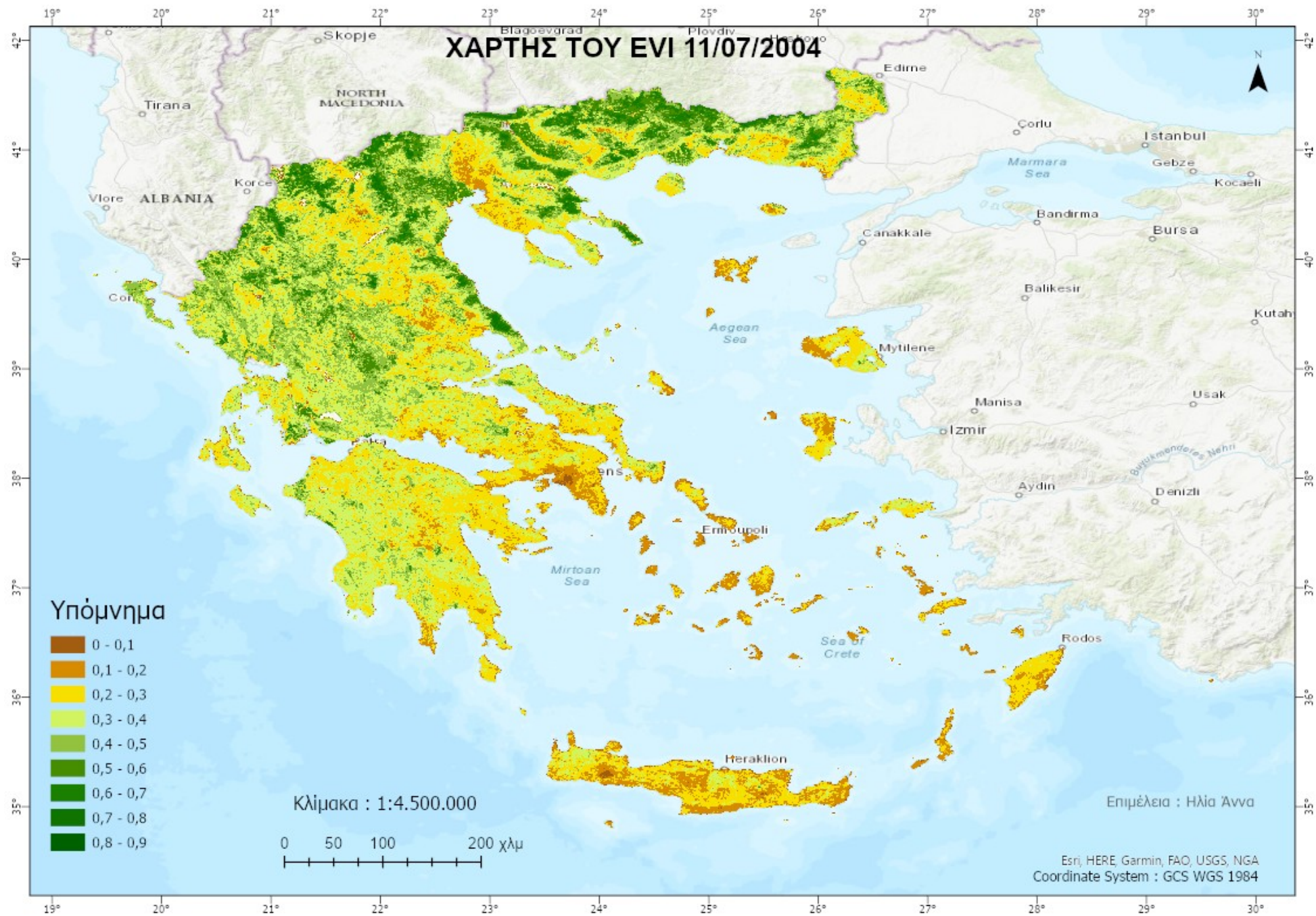
Χαρακτηριστικά, οι μεταβολές ανάμεσα στις καλοκαιρινές και στις χειμερινές καταγραφές φαίνονται στους δύο παρακάτω χάρτες που δημιουργήθηκαν από δεδομένα δορυφορικών εικόνων, με τη πρώτη να είναι τραβηγμένη τη Πρωτοχρονιά του 2004, δηλαδή τον χειμώνα με χαμηλές τιμές για τους δείκτες βλάστησης (VI) και LST και υψηλές στον VTCI ενώ τη δεύτερη το καλοκαίρι στις 7 Ιουλίου του ίδιου έτους με υψηλές τιμές στους δείκτες βλάστησης (VI) και LST και χαμηλές στον VTCI. Στη συνέχεια θα απεικονίζονται οι δείκτες για αυτές τις ημερομηνίες, καθώς και οι εποχικοί παράμετροι του VTCI για το έτος 2004, ενώ όλα τα υπόλοιπα αποτελέσματα βρίσκονται στο Παράρτημα. Το έτος 2004 είναι ένα έτος χωρίς έντονες διαφοροποιήσεις τιμών, όπου οι τιμές συμβαδίζουν με την εποχή, χωρίς κάποια ακραία περιστατικά. Αποτελεί ένα παράδειγμα για το πως συμπεριφέρονται οι δείκτες βλάστησης, ο LST και ο VTCI στη πάροδο των χρόνων.

Σχετικά με τις διαφορές τους κατά τη πάροδο των ετών 2000 έως 2020, στον EVI είναι περισσότερη αισθητή η περιοδικότητα των εποχών σε ένα έτος, χωρίζοντάς το σε περίοδο με αρκετά χαμηλές τιμές και σε περίοδο με αρκετά υψηλές τιμές. Από τον Μάρτιο οι τιμές ξεκινούν να έχουν αυξητική πορεία, ενώ από τον Αύγουστο φθίνουν. Επίσης, οι μεγαλύτερες μεταβολές των τιμών ανάμεσα στο Φθινόπωρο και τον Χειμώνα με αυτές τις Άνοιξης και του Καλοκαιριού λαμβάνουν χώρα κυρίως στη Βόρεια Ελλάδα που υπάρχουν μεγάλες εκτάσεις με μεγάλα υψόμετρα, τα οποία κατακλύζονται από μεγάλες ποσότητες χιονιού κυρίως τον Χειμώνα.

Τη πρώτη Ιανουαρίου του 2004, στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας ο δείκτης EVI είναι μικρότερος του 0,4 (Χάρτης 3.1). Στη Βόρεια και Κεντρική Ελλάδα κυριαρχούν χαμηλότερες τιμές από το 0 έως το 0,3, ενώ στη Δυτική Ελλάδα και Πελοπόννησο σε κάποιες περιπτώσεις και το 0,6. Παρόλα αυτά οι μεγαλύτερες τιμές σε ολόκληρη τη χώρα σημειώνονται στη περιοχή Νότια του Ηρακλείου. Αντιθέτως, στις 11 Ιουλίου του ίδιου έτους οι περιοχές που τον χειμώνα είχαν τις χαμηλότερες τιμές του δείκτη, σημειώνουν τις υψηλότερες (Χάρτης 3.2). Περιοχές όπως τα νησιά του Αιγαίου και της Κρήτης, καθώς και αυτές γύρω από τα μεγάλα αστικά κέντρα, την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη εμφανίζουν χαμηλές τιμές.



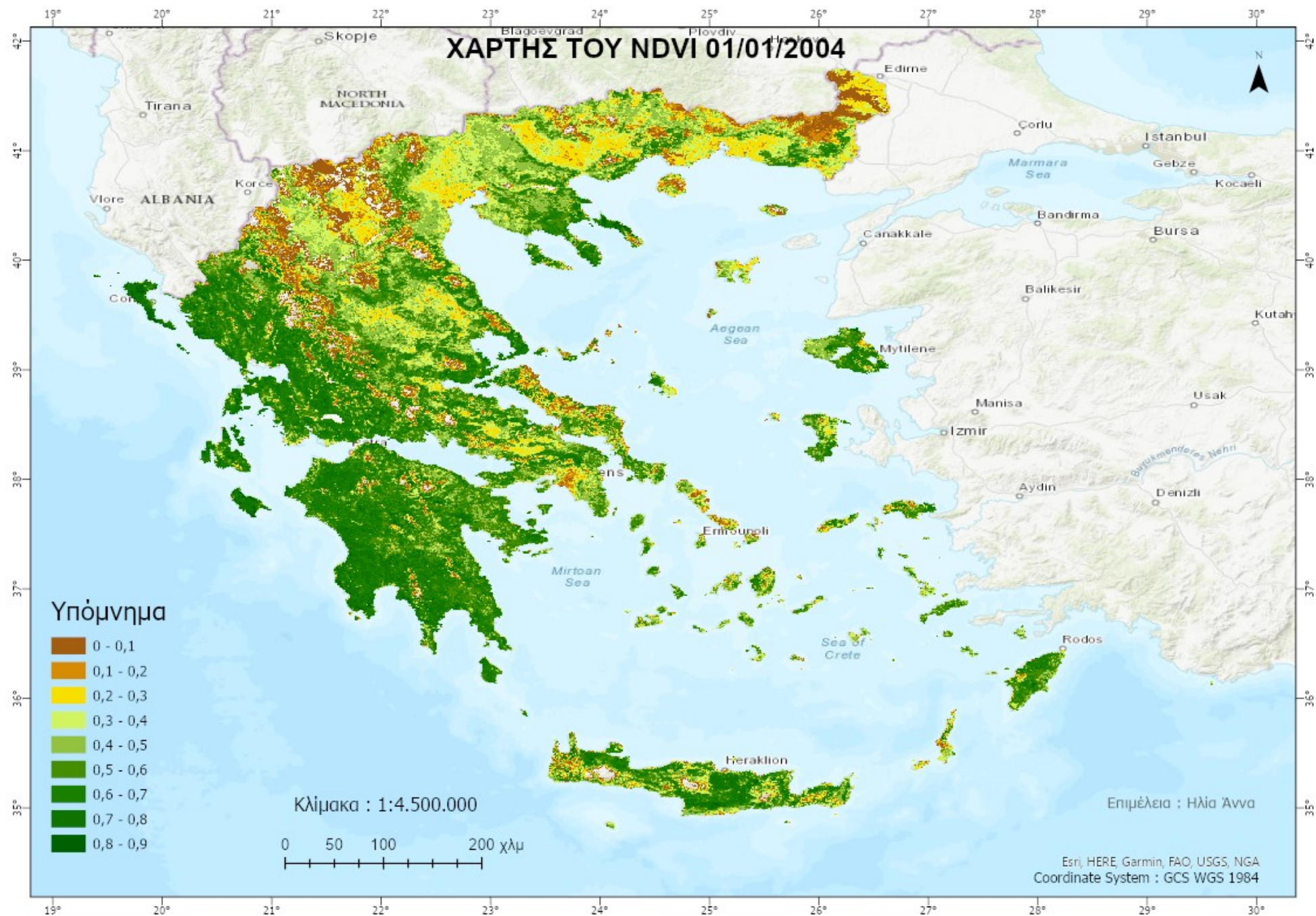
Χάρτης 3.1: Χάρτης του EVI για 01/01/2004.



Χάρτης 3.2: Χάρτης του EVI για 11/07/2004.

Στον NDVI σε όλη την έκταση της χώρας κυριαρχούν αυξημένες τιμές του δείκτη βλάστησης κατά τη περίοδο της Άνοιξης και του Καλοκαιριού, με τιμές μεγαλύτερες του 0,5. Η αυξητική πορεία των τιμών παρατηρείται από τον Φεβρουάριο και τελειώνει τον Ιούλιο για τα νησιά του Αιγαίου και Ιούλιο για την υπόλοιπη χώρα. Κατά τη περίοδο του Χειμώνα υπάρχει έντονη μείωση των τιμών στα μεγαλύτερα υψόμετρα της χώρας, τις κορυφές, στις οποίες οι χιονοπτώσεις είναι συχνές και στρώσεις χιονιού τις καλύπτουν για αρκετό καιρό, ακόμα και μήνες.

Οι παρατηρήσεις του δείκτη είναι παρόμοιοι με αυτές του EVI, όμως με τις τιμές να διαφέρουν αρκετά. Οι περιοχές με αρκετά χαμηλές τιμές της τάξης του 0, 0,1 και 0,2 κατανέμονται στα υψηλότερα υψόμετρα, στις κορυφογραμμές, ενώ οι αμέσως μεγαλύτερες με 0,2 σε μεγάλες εκτάσεις της Μακεδονίας (Χάρτης 3.3). Η Δυτική Ελλάδα και ένα μεγάλο τμήμα των νησιών του Αιγαίου και της Κρήτης σημειώνουν αρκετά μεγάλες τιμές του δείκτη βλάστησης NDVI. Όπως και στον EVI, στις 11 Ιουλίου του 2004 οι περιοχές με τις αυξημένες τιμές του NDVI παρουσιάζουν τις χαμηλότερες τιμές κατά τη περίοδο του καλοκαιριού και το αντίστροφο. Κάποιες περιοχές όμως δε φαίνεται να εμφανίζουν τόσο μεγάλες διαφορές, όπως για παράδειγμα η ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης και της Δυτικής Χαλκιδικής, που παραμένουν με χαμηλές τιμές του δείκτη βλάστησης και κάποια τμήματα του Θεσσαλικού κάμπου και Βόρειο Δυτικά αυτού (Χάρτης 3.4).



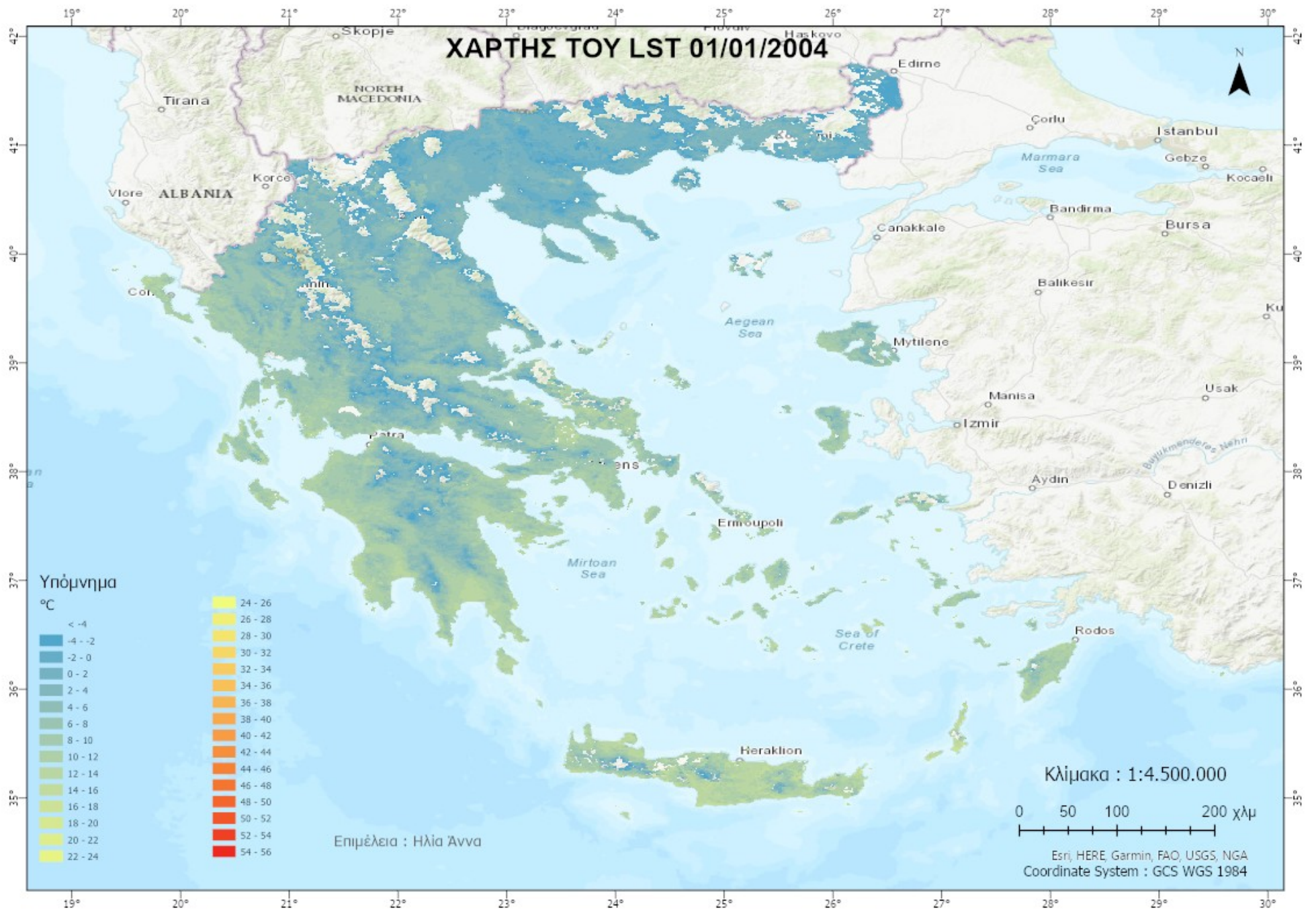
Χάρτης 3.3: Χάρτης του NDVI για 01/01/2004.



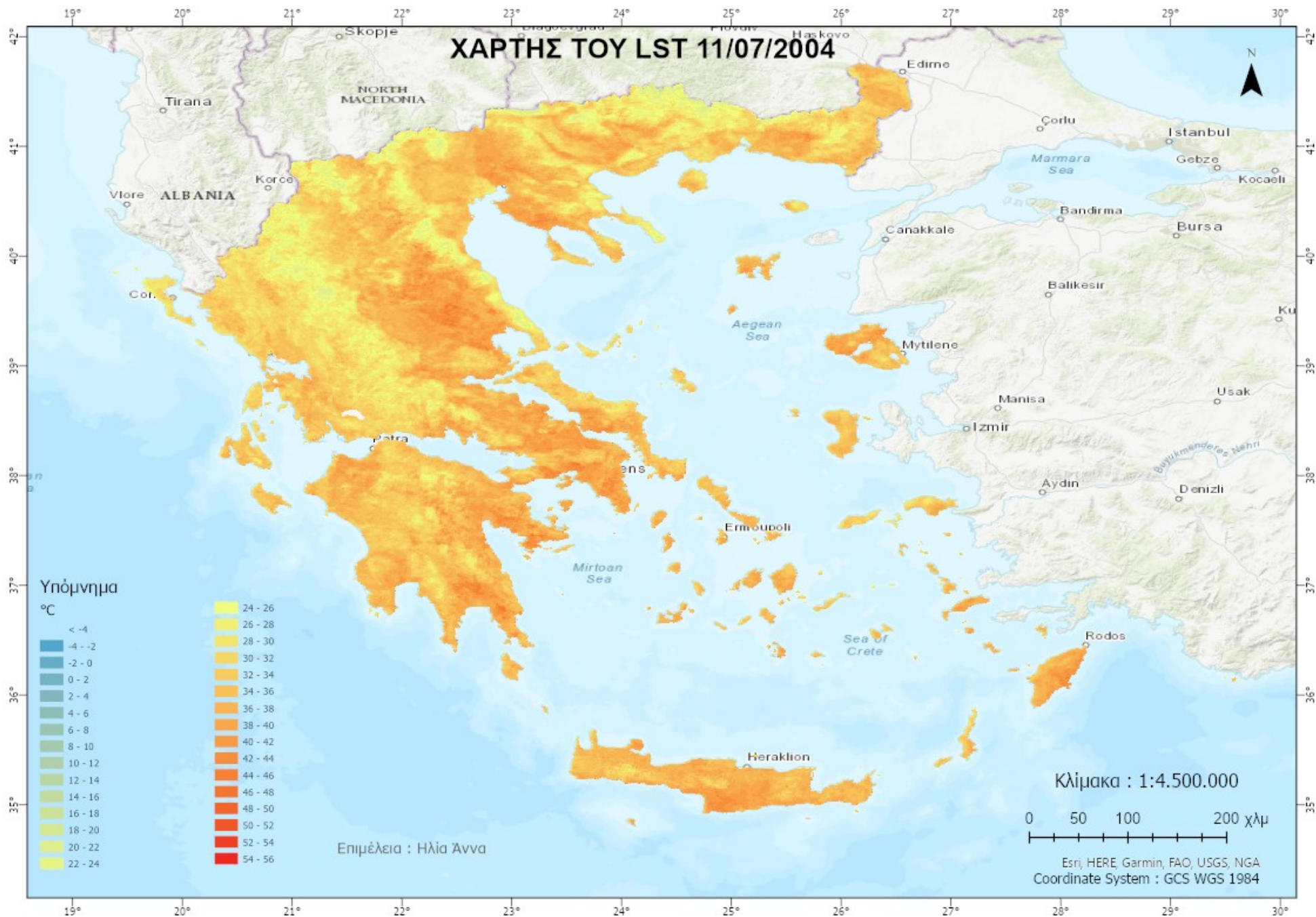
Χάρτης 3.4: Χάρτης του NDVI για 11/07/2004.

Από τα δεδομένα της θερμοκρασίας του εδάφους (LST) σε όλα τα έτη αντίστοιχα, το υψόμετρο επηρεάζει και σε αυτή τη περίπτωση εξίσου τις τιμές, έχοντας αντιστρόφως αναλογική σχέση. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες συναντώνται σε μεγάλα υψόμετρα, τις οροσειρές της Ελλάδας και γενικότερα στα βουνά, ενώ οι υψηλότερες με διαφορά θερμοκρασίες στο Θεσσαλικό κάμπο και στη συνέχεια στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα, στη Πελοπόννησο, στη Κρήτη, κυρίως στο Νότιο τμήμα της, και στη Ρόδο. Οι θερμοκρασίες σε όλη την επικράτεια της χώρας σημειώνουν αυξητική τάση από τον Φεβρουάριο και φθίνουσα από τον Σεπτέμβριο.

Έντονη είναι η διαφορά των θερμοκρασιών της επιφάνειας του εδάφους που επικρατούν κατά τις εποχές Χειμώνα και Καλοκαίρι, με παραδείγματα τους παρακάτω χάρτες του LST από τη Πρωτοχρονιά του 2004 και της 11^{ης} Ιουλίου του ίδιου έτους. Τη πρώτη Ιανουαρίου οι θερμοκρασίες σε όλη την επικράτεια της χώρας είναι κάτω από 12 °C με τη κατανομή της να είναι αντιστρόφως ανάλογη με το υψόμετρο, όσο πιο ορεινή η περιοχή, με μεγαλύτερα υψόμετρα, τόσο πιο χαμηλή η θερμοκρασία και το αντίστροφο (Χάρτης 3.5). Παράλληλα, την καλοκαιρινή ημέρα οι θερμοκρασίες είναι αρκετά πιο υψηλές με τη χαμηλότερη να είναι 22 °C και σημειώνεται στην οροσειρά της Πίνδου. Γενικότερα, η κατανομή των θερμοκρασιών παραμένει ίδια με αυτή της χειμερινής ημέρας. Οι περιοχές με χαμηλότερο υψόμετρο κυριαρχούνται από μεγαλύτερες τιμές της επιφανειακής θερμοκρασίας σε σύγκριση με περισσότερο ορεινές περιοχές (Χάρτης 3.6).



Χάρτης 3.5: Χάρτης του LST για 01/01/2004.



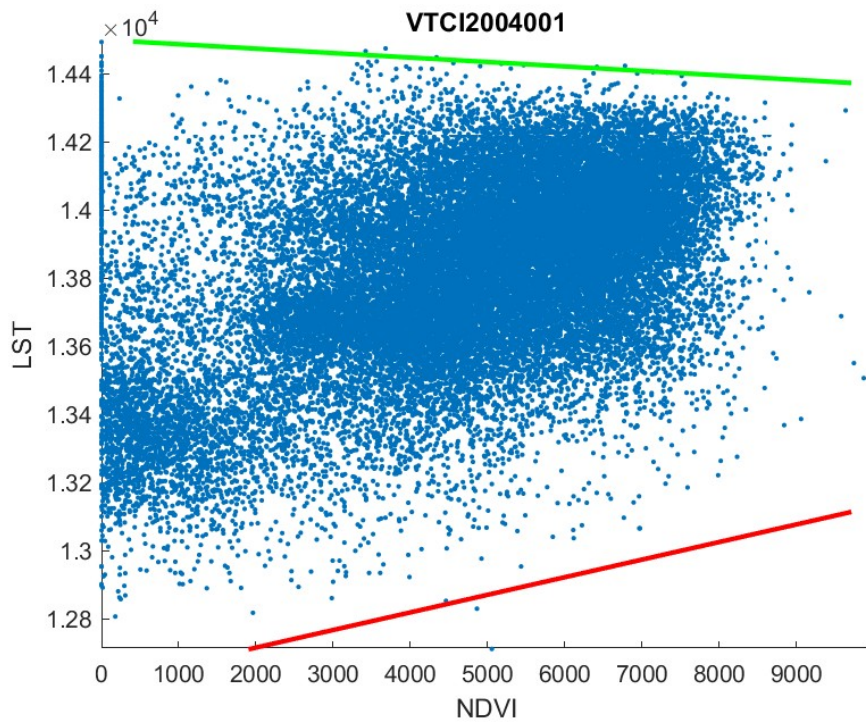
Χάρτης 3.6: Χάρτης του LST για 11/07/2004.

Αξίζει να σημειωθεί πως εξαιτίας της φύσης των δεδομένων LST, υπάρχουν αρκετές ακραίες τιμές θερμοκρασίας του εδάφους σε αρκετές περιοχές της χώρας που οφείλονται σε πυρκαγιές. Οι περισσότερες το Καλοκαίρι, λόγω του αυξημένου κινδύνου του φαινομένου από τη ξηρασία του εδάφους εκείνη την εποχή, αποτελώντας θεμελιώδη χαρακτηριστικό των Μεσογειακών κλιμάτων, αλλά και τον Φθινόπωρο κυρίως σε χρήσεις γης κυρίως σχετικές με τον αγροτικό τομέα, τότε που επιτρέπονται οι μικρές και ελεγχόμενες φωτιές για το κάψιμο των καλαμιών από τα σιτηρά και των κλαδιών από τα κλαδέματα των δέντρων. Μάλιστα, το φαινόμενο αυτό είναι ορατό χαρακτηριστικά στις καλλιέργειες της Θεσσαλίας κάθε Σεπτέμβρη (βλ. Παράρτημα).

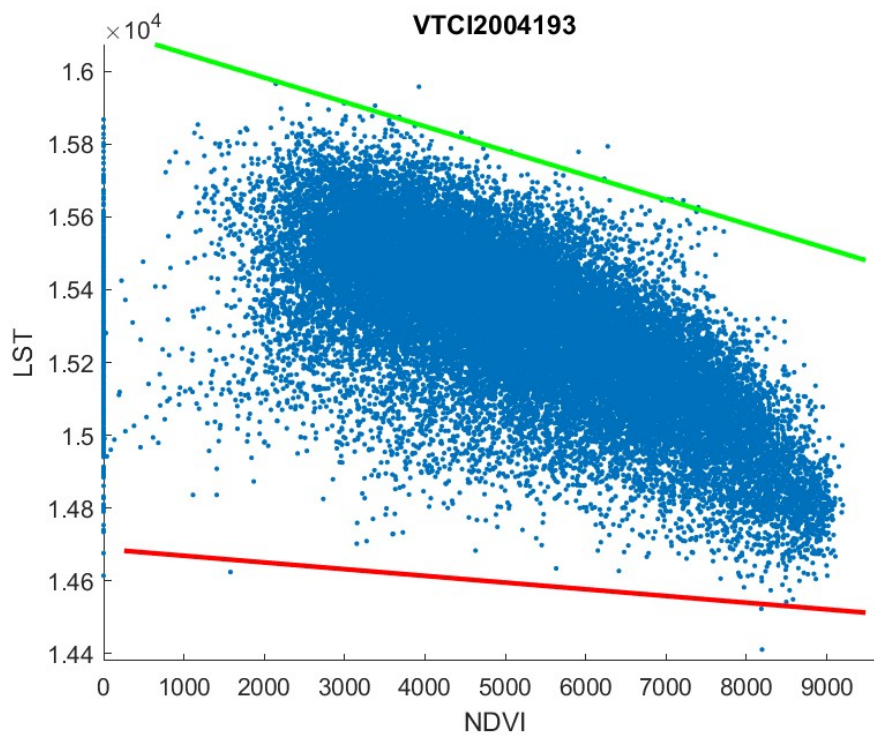
Ακόμα και ο δείκτης VTCI με το υψόμετρο εμφανίζουν αναλογική συσχέτιση. Όσο μεγαλύτερο είναι το υψόμετρο, τόσο περισσότερα κατακρημνίσματα σύμφωνα με τα κλιματικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας, αλλά και με μικρότερες θερμοκρασίες, συνεπώς και την αυξημένη τιμή του δείκτη σχετικά με την υγρασία του εδάφους, χαρακτηρίζοντάς τες σε υγρές ή φυσιολογικές περιοχές (VTCI). Στις κατηγορίες με μέτρια και σοβαρή ξηρασία κατατάσσεται το μεγαλύτερο τμήμα της Ελλάδας, όπου οι τιμές του δείκτη VTCI είναι μικρότερες του 0,46. Παρόλα αυτά, εξαιτίας των κλιματικών χαρακτηριστικών, που αναλύθηκαν και στην υποενότητα της Εισαγωγής σχετικά με τα χαρακτηριστικά της Ελλάδας, Δυτικά της Πίνδου και στα νησιά του Ιονίου πελάγους οι τιμές είναι υψηλές ενώ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες είναι χαμηλές. Η κατάταξη των περιοχών αυτών παρουσιάζουν για λιγότερη χρονική περίοδο μέτρια και σοβαρή ξηρασία μέσα στα έτη συγκριτικά με Ανατολικά της Πίνδου και στην υπόλοιπη Ελλάδα. Τέλος, σοβαρή ξηρασία σε μεγάλες χρονικές περιόδους ή και μόνιμες σημειώνεται στον Θεσσαλικό κάμπο, στη Νότια και Δυτική Πελοπόννησο, στην Ανατολική Χαλκιδική και στα περισσότερα νησιά του Νότιου Αιγαίου, εκτός της Ικαρίας (βλ. Παράρτημα).

Οι διαφοροποιήσεις του δείκτη υγρασίας του εδάφους σε δύο τυχαίες ημερομηνίες του ίδιου έτους, με τη πρώτη να είναι από τη πρώτη Ιανουαρίου και τη δεύτερη στις 11 Ιουλίου του 2004 είναι εμφανίσιμες στα διαγράμματα διασποράς που δημιουργήθηκαν για τον υπολογισμό του δείκτη (Διαγράμματα 3.1 και 3.2) καθώς και στην οπτικοποίηση του (Χάρτες 3.7 και 3.8). Με τις χειμερινές θερμοκρασίες να είναι αρκετά χαμηλότερες από αυτές της καλοκαιρινής ημέρας.

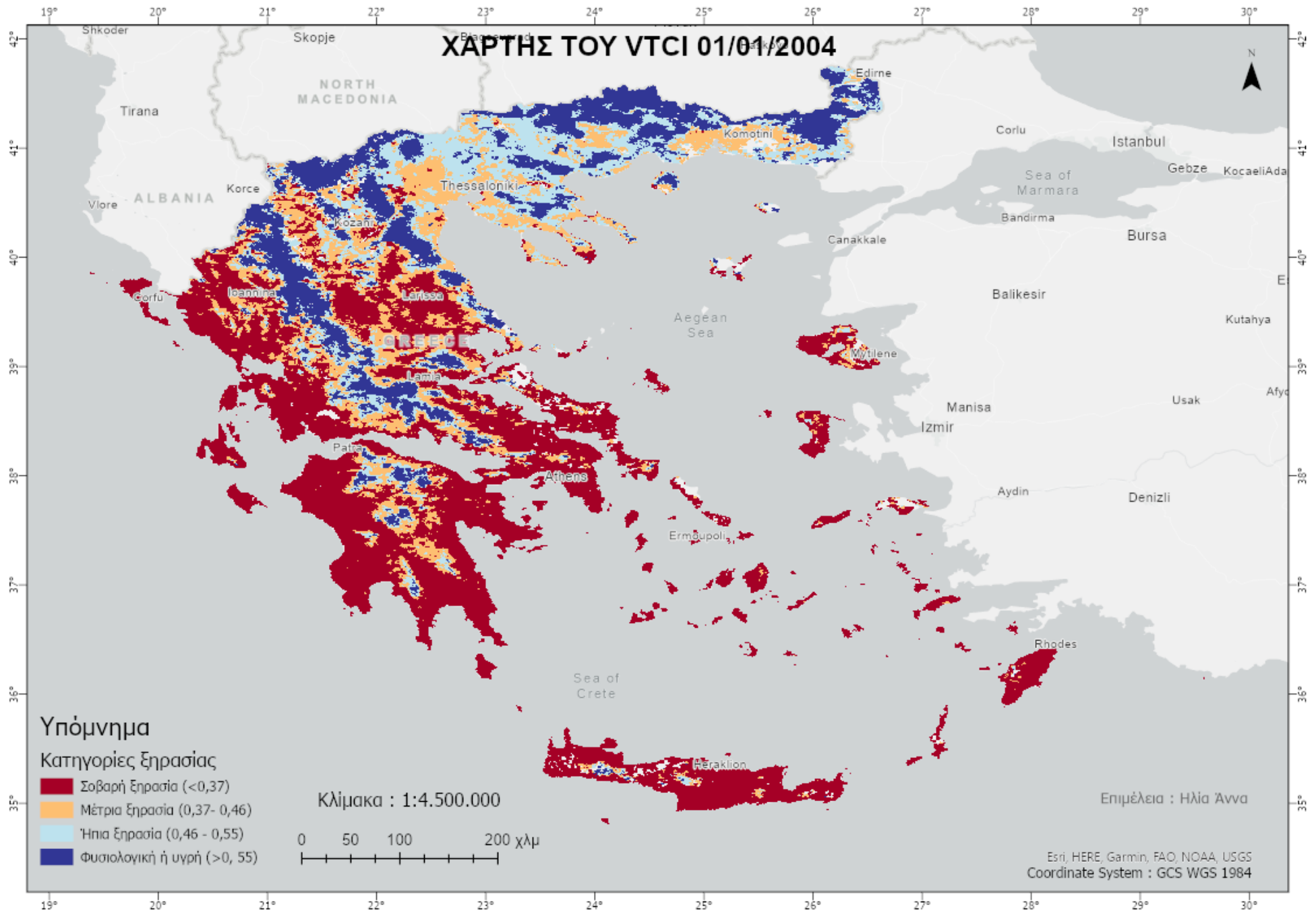
Σχετικά με τη χωρική κατανομή της υγρασίας του εδάφους, τη Πρωτοχρονιά του 2004 επικρατούν φυσιολογικές τιμές υγρασίας και σε κάποιες περιπτώσεις ήπια ξηρασία στη Βόρεια Ελλάδα, τη Μακεδονία και τη Θράκη και στην οροσειρά της Πίνδου, ενώ η υπόλοιπη χώρα σημειώνει κυρίως σοβαρή ξηρασία (Χάρτης 3.7). Στις 11 Ιουλίου μεγάλο τμήμα της Βόρειας Ελλάδας κατατάσσεται σε μέτρια και σε σοβαρή ξηρασία, ενώ οι ορεινές περιοχές παραμένουν υγρές ή με ήπια ξηρασία (Χάρτης 3.8). Η Δυτική Ελλάδα παρουσιάζει σημαντική διαφοροποίηση τείνοντας πιο φυσιολογικές τιμές του δείκτη, πιθανόν εξαιτίας καλοκαιρινών βροχοπτώσεων που συνέβησαν εκείνες τις μέρες, καθώς τα καλοκαίρια το μεγαλύτερο τμήμα της χώρας πλήττεται από σοβαρή ξηρασία.



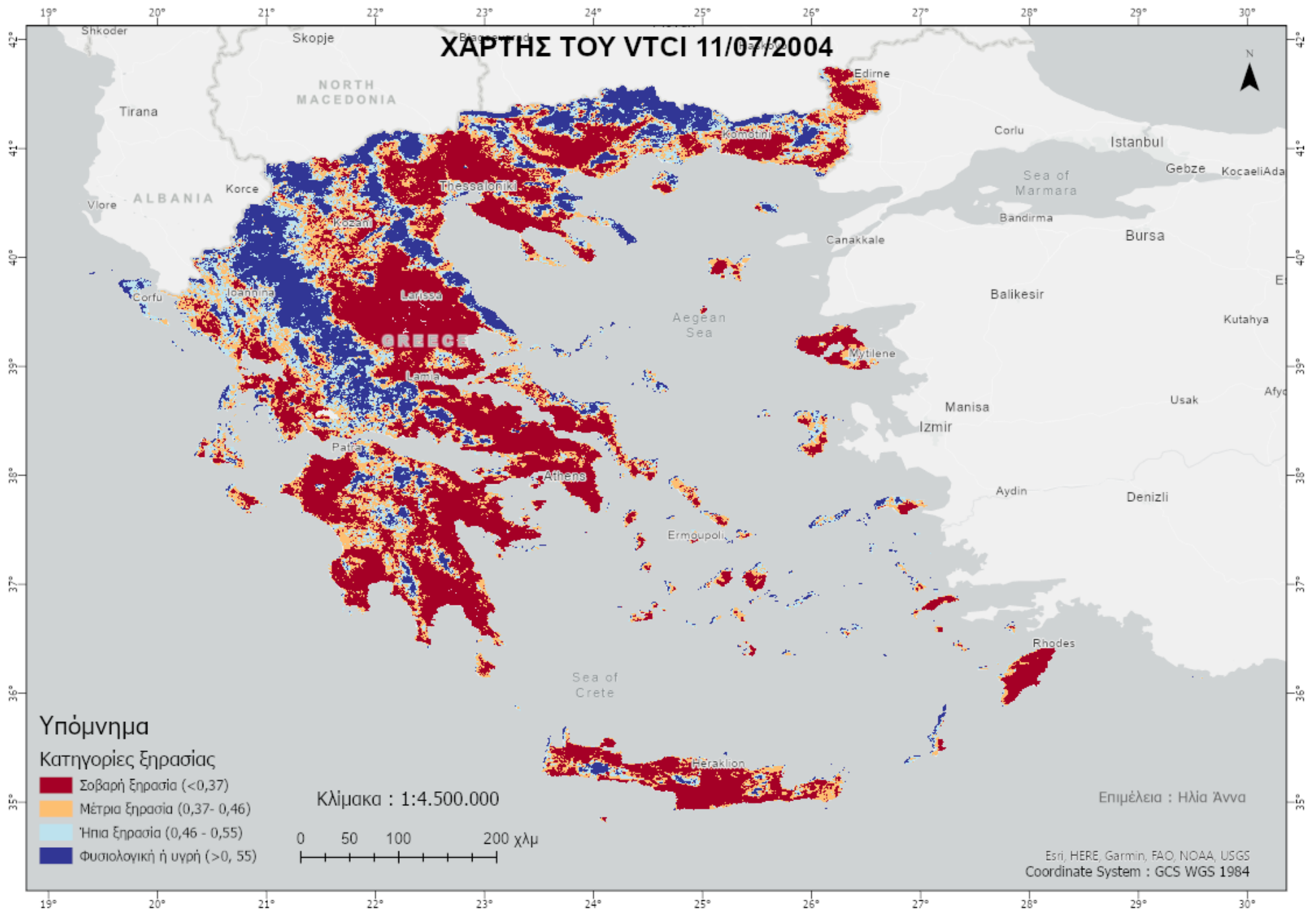
Διάγραμμα 3.1: Διάγραμμα διασποράς του LST και του NDVI, καθώς και την ευθεία του θερμού (πράσινη) και ψυχρού (κόκκινη) για 01/01/2004.



Διάγραμμα 3.2: Διάγραμμα διασποράς του LST και του NDVI, καθώς και την ευθεία του θερμού (πράσινη) και ψυχρού (κόκκινη) για 11/07/2004.



Χάρτης 3.7: Χάρτης του VTCI για 01/01/2004.

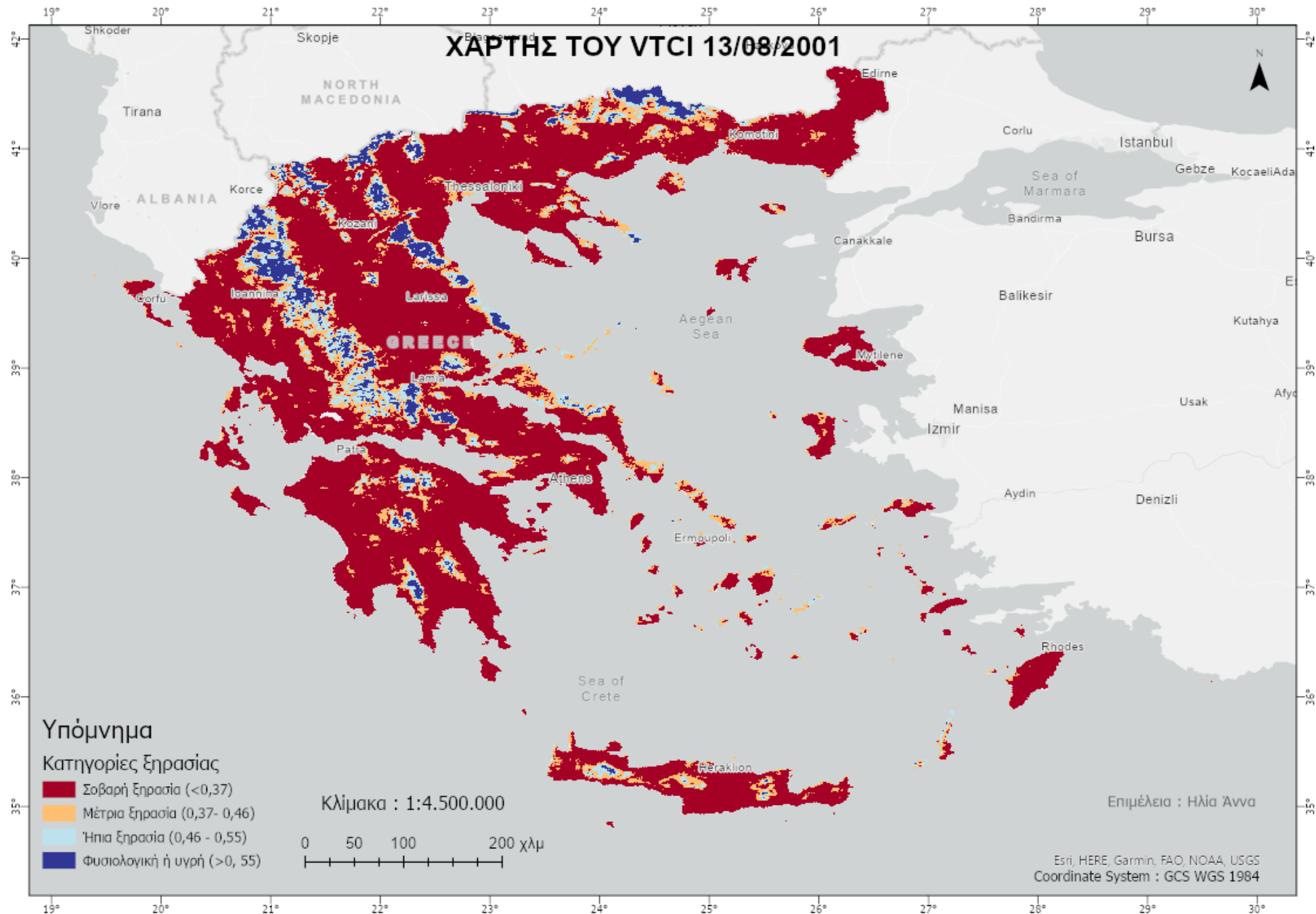


Χάρτης 3.8: Χάρτης του VTCI για 11/07/2004.

Οι περισσότερες ξηρές ημέρες των ετών που μελετήθηκαν, σημειώνονται από μέσα Ιουλίου έως και μέσα Αυγούστου, με χαρακτηριστική τη πολύ ξηρή καταγραφή, αυτή στις 13 Αυγούστου του 2001, όπου σημειώνεται σχεδόν σε ολόκληρη τη χώρα η σοβαρή ξηρασία (Χάρτης 3.9). Ακόμα και περιοχές στις οποίες έχουν μεγάλο υψόμετρο και κατανέμονται γεωγραφικά στις περιοχές με περισσότερα κατακρημνίσματα, φαίνεται πως ταλαιπωρήθηκαν με χαμηλά επίπεδα ξηρασίας. Οι περιοχές οι οποίες δεν επηρεάστηκαν είναι οι κορυφές μεγάλων οροσειρών και βουνών.

Ο δείκτης βλάστησης NDVI για την ίδια ημερομηνία (Χάρτης 3.10) δείχνει έντονη την υγιή βλάστηση σε μεγάλο τμήμα της χώρας, κυρίως σε αυτές σημειώνουν φυσιολογικές συνθήκες εδαφικής υγρασίας ή που βρίσκονται κοντά σε τέτοιες περιοχές. Το ίδιο παρατηρείται και στον δείκτη EVI, με τη διαφορά πως είναι διακριτές σε αυτόν οι ακόμα περισσότερο στρεσαρισμένες σε θέμα βλάστησης περιοχές, όπως Βόρεια της Θεσσαλονίκης και η Δυτική Χαλκιδική, οι Κυκλάδες και ορισμένα τμήματα της Κρήτης (Χάρτης 3.11).

Η θερμοκρασία της επιφάνειας της γης από τον χάρτη LST (Χάρτης 3.12), επίσης στις 13 Αυγούστου 2001 δείχνει πως το μεγαλύτερο τμήμα της χώρας έχει άνω των 28°C, σε περιοχές που δεν ανήκουν στις οροσειρές. Πρόκειται για μία αρκετά ξηρή καταγραφή, κυρίως λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας.



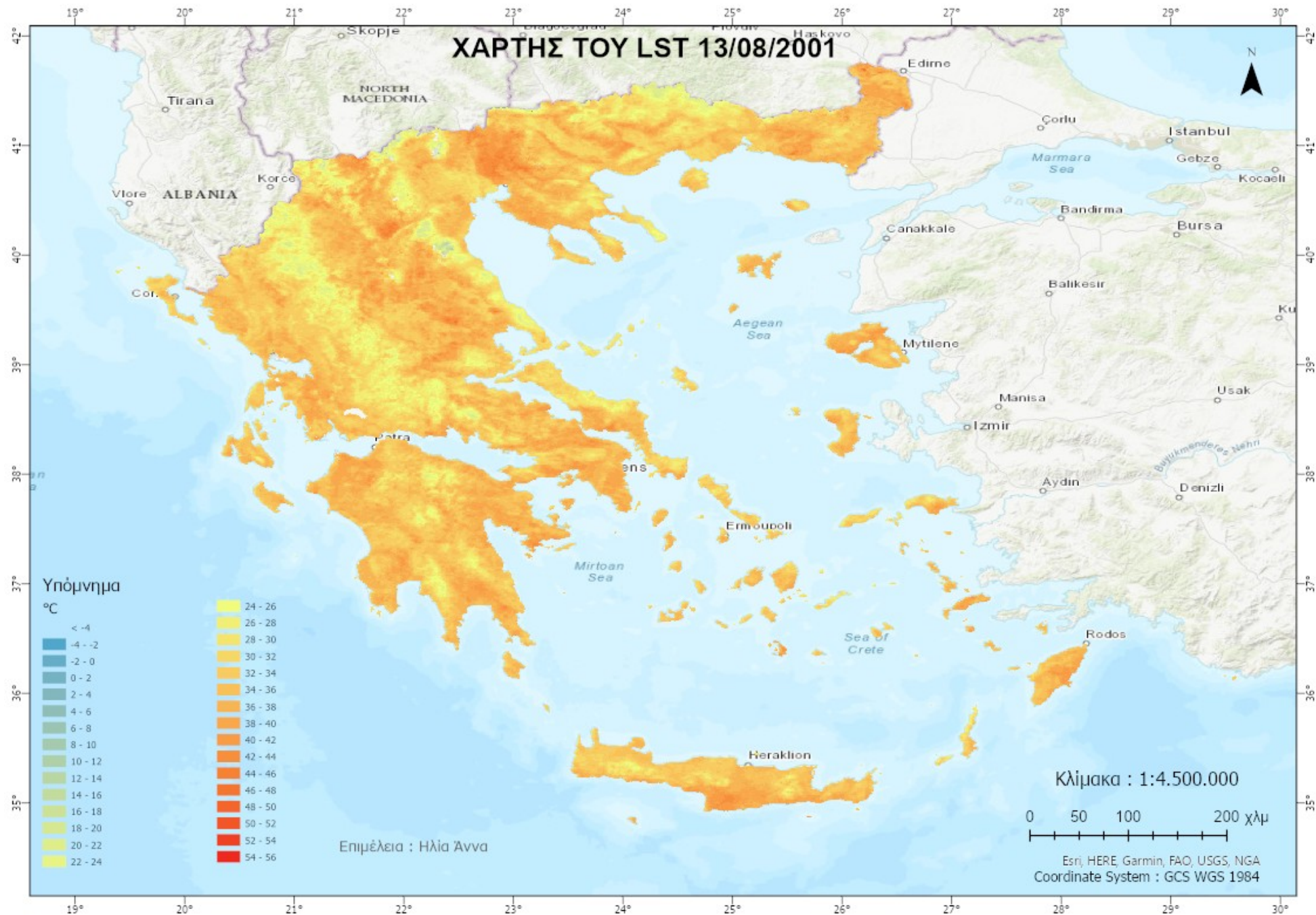
Χάρτης 3.9: Χάρτης του VTCI για τις 13/08/2001.



Χάρτης 3.10: Χάρτης του NDVI για τις 13/08/2001.



Χάρτης 3.11: Χάρτης του ΕΒΙ για τις 13/08/2001.



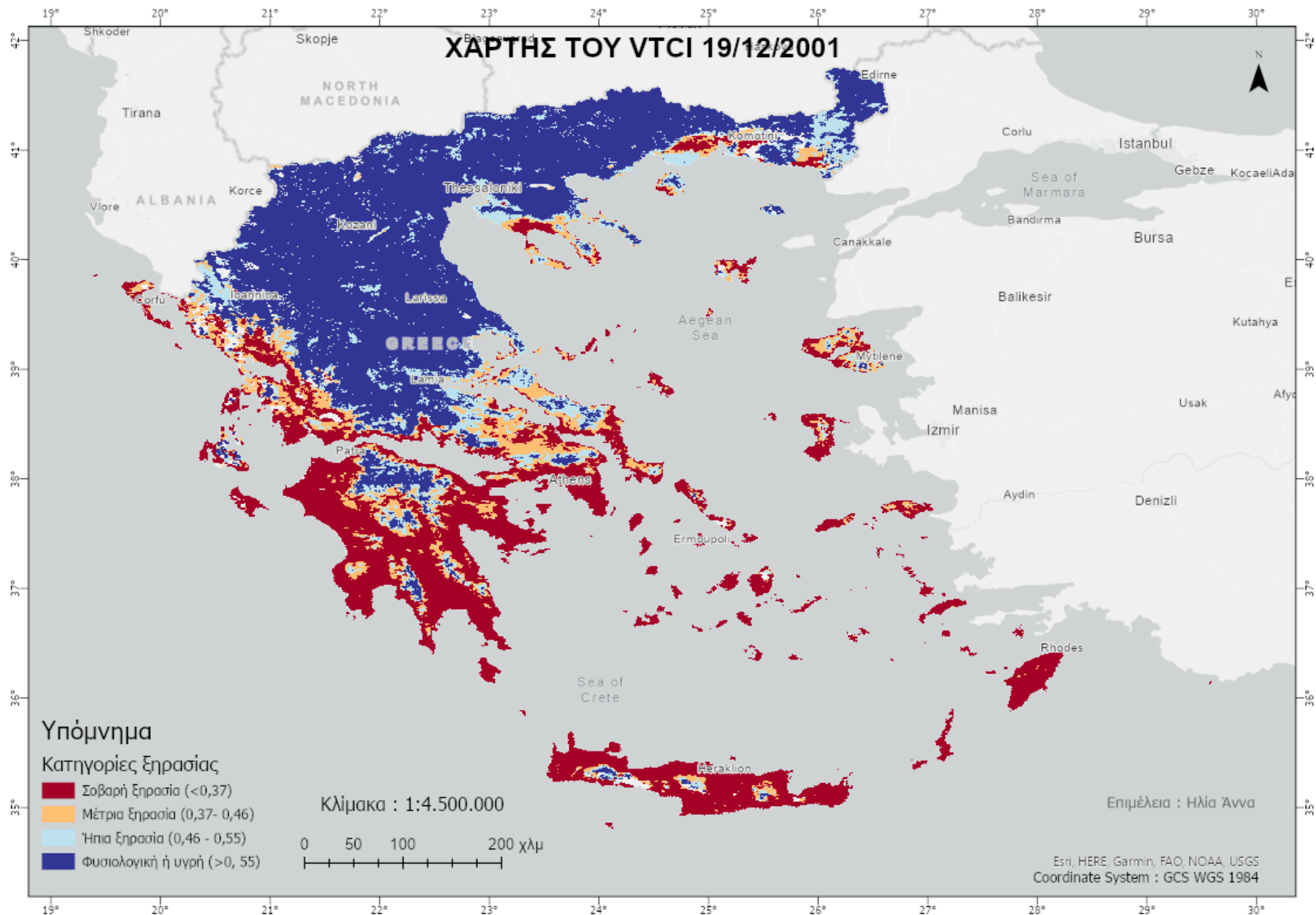
Χάρτης 3.12: Χάρτης του LST για τις 13/08/2001.

Αντιθέτως, οι πιο υγρές καταγραφές σημειώνονται τον Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο, όπου οι θερμοκρασίες είναι κατά βάση χαμηλές και τα κατακρημνίσματα αρκετά και σε διάφορες μορφές, όπως βροχή, χαλάζι και χιόνι. Μία από τις πιο υγρές ημέρες καταγράφεται στις 19 Δεκεμβρίου του 2001, με σημαντικό μέρος της χώρας, κυρίως όλη τη Βόρεια και Κεντρική Ελλάδα να κατατάσσεται σε φυσιολογικές ή υγρές συνθήκες εδαφικής υγρασίας (Χάρτης 3.13).

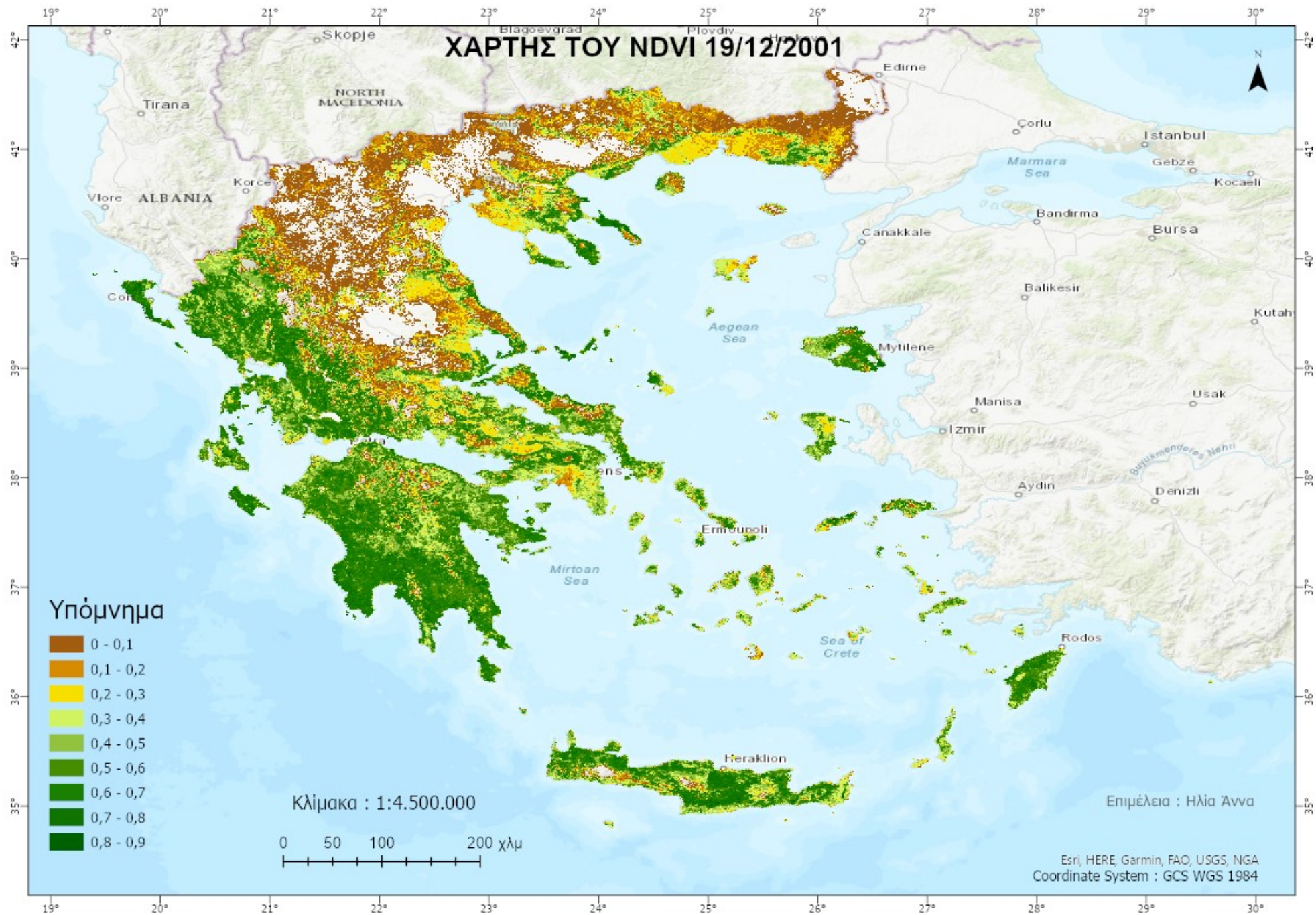
Από τον δείκτη NDVI φαίνεται πως σε κάποιες περιοχές, όπως στο Θεσσαλικό κάμπο και στον κάμπο της Θεσσαλονίκης, αλλά και σε κάποιες άλλες εκτάσεις στις οποίες δεν εμφανίζονται τιμές, υπάρχει χιόνι, καθώς οι τιμές είναι αρνητικές. Στο μεγαλύτερο μέρος της Βόρειας Ελλάδας οι τιμές του δείκτη βλάστησης είναι κοντά στο 0, δείχνοντας έτσι την ύπαρξη νερού και της αρκετά πιεσμένης και αραιής βλάστησης, σε δύσκολη κατάσταση (Χάρτης 3.14).

Παράλληλα, από τον EVI, εμφανίζει τις ίδιες περιοχές με τιμές κάτω του μηδενός, συνεπώς οι περιοχές οι οποίες καλύπτονται από χιόνι δεν διαφοροποιούνται με τον δείκτη αυτόν (Χάρτης 3.15). Οι περιοχές με περισσότερο στρεσάρισμα της βλάστησης είναι ορατές με τον EVI, ο οποίος εμφανίζει πως η βλάστηση δεν είναι σε καλή κατάσταση σε ολόκληρη την Ελλάδα, με τις χειρότερες συνθήκες να επικρατούν στη Βόρεια και Κεντρική χώρα και με εξαίρεση να αποτελεί ένα μικρό τμήμα στη Κρήτη, Νότια του Ηρακλείου.

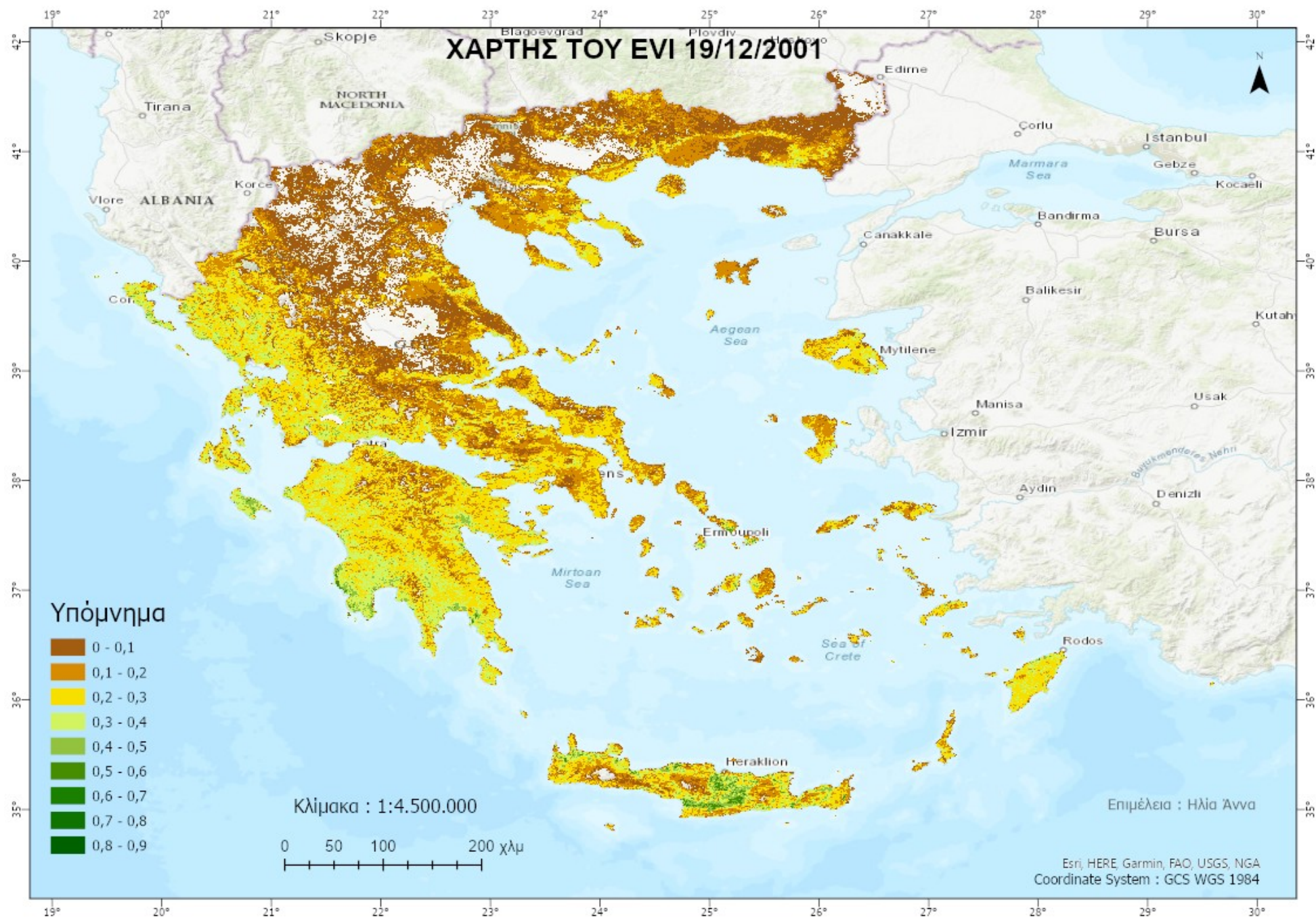
Τέλος, η θερμοκρασία της επιφάνειας της γης επιβεβαιώνει την ύπαρξη χιονιού στις συγκεκριμένες περιπτώσεις, καθώς η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από -4°C , χαρακτηρίζοντάς πως επικρατεί ψύχος. Ακόμα και στις υπόλοιπες περιοχές της Βόρειας Ελλάδας, στο μεγαλύτερο μέρος της έκτασης η θερμοκρασία φαίνεται πως δεν ξεπερνά τους 8°C . Αντιθέτως στη Νότια Ελλάδα, όπου από τον δείκτη VTCI κατατάσσονται σε μέτρια και σοβαρή ξηρασία, οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες και κυμαίνονται στους 8°C με 14°C (Χάρτης 3.16).



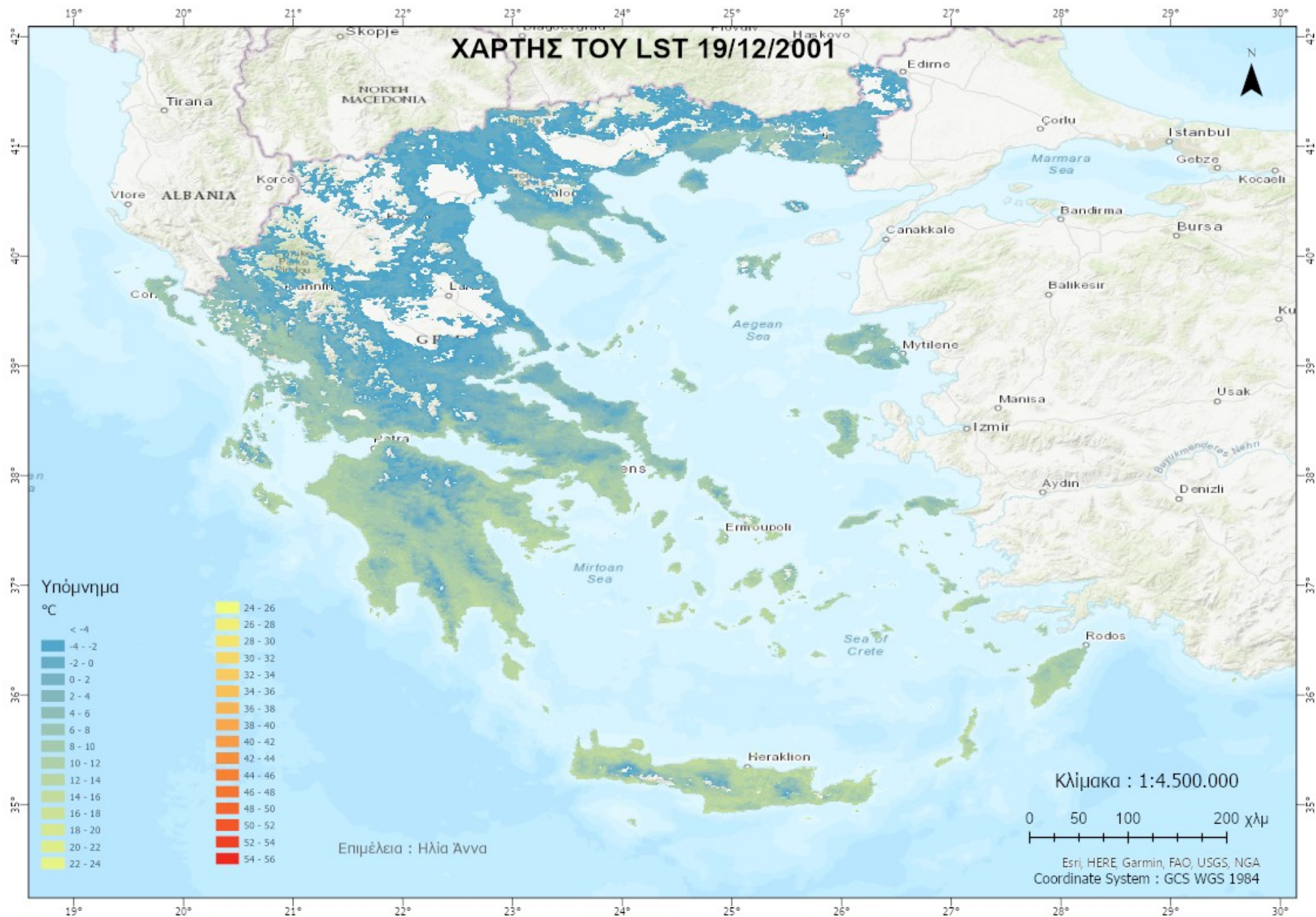
Χάρτης 3.13: Χάρτης του VTCI για τις 19/12/2001.



Χάρτης 3.14: Χάρτης του NDVI για τις 19/12/2001.



Χάρτης 3.15: Χάρτης του ΕΒΙ για τις 19/12/2001.

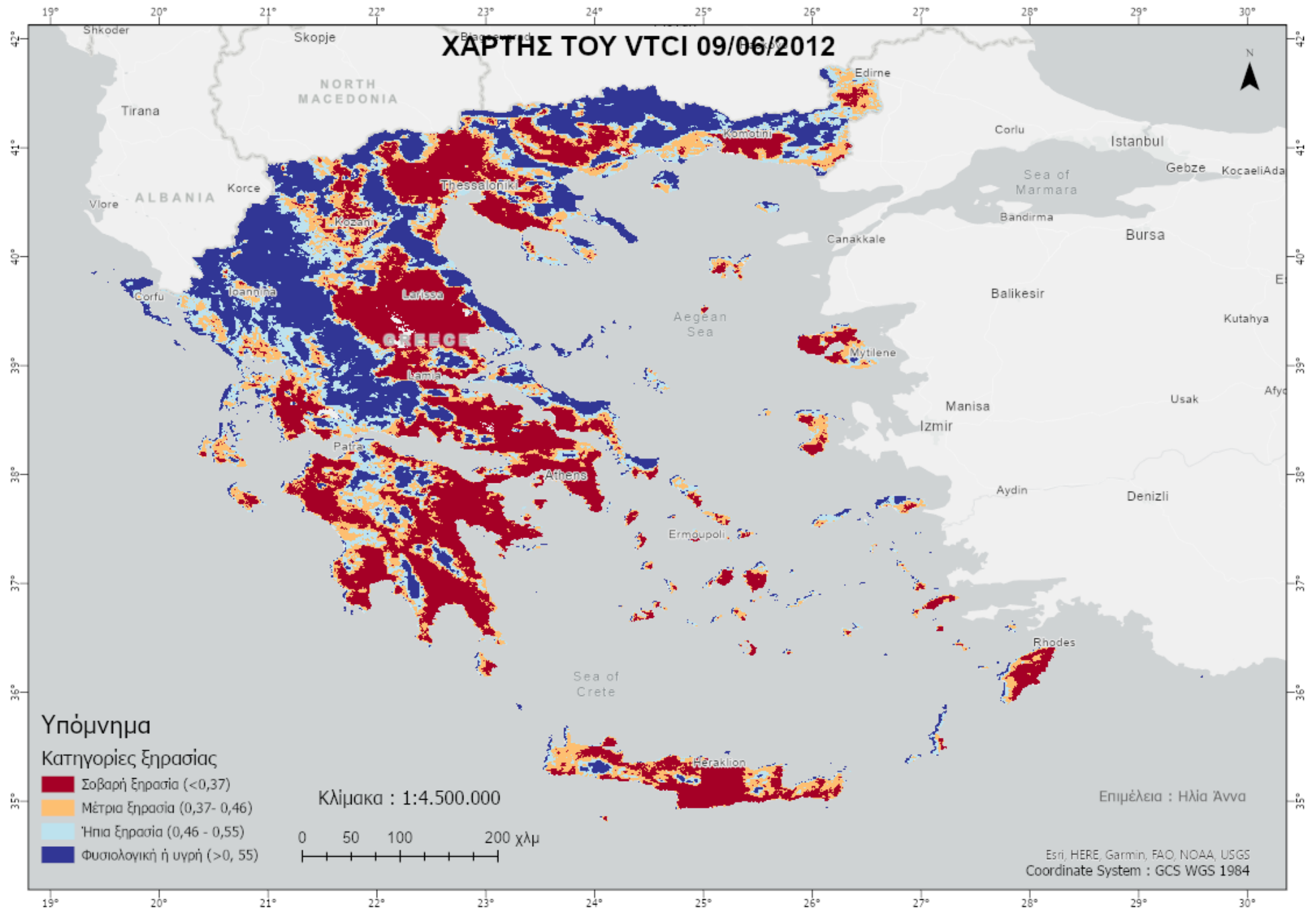


Χάρτης 3.16: Χάρτης του LST για τις 19/12/2001.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν ημερομηνίες στις οποίες έχουν καταγραφεί αρκετά έντονες τιμές και διαφορετικές για την εποχή στην οποία ανήκουν. Κάποια καλοκαίρια ή καλοκαιρινές ημερομηνίες έχουν αρκετά υψηλές τιμές εδαφικής υγρασίας, του δείκτη δηλαδή VTCI, που οφείλονται σε μέρες τις οποίες είχε χαμηλές θερμοκρασίες και αυξημένες βροχοπτώσεις για την εποχή, όπως για παράδειγμα ο υπολογισμός του δείκτη υγρασίας για τις 9 Ιουνίου του 2012 (Χάρτης 3.17), μίας ημερομηνίας με αρκετά υψηλές τιμές εδαφικής υγρασίας σε μεγάλο τμήμα της χώρας στις αρχές του καλοκαιριού. Η κατανομή των φυσιολογικών ή υγρών περιοχών είναι ανάλογη με το υψηλό υψόμετρο και με τις κλιματικές ζώνες της χώρας. Δεν υπάρχουν δηλαδή έντονες διαφορές ως προς τη χωρική κατανομή της σοβαρής ξηρασίας.

Ως προς τη βλάστηση NDVI της ίδιας καταγραφής φαίνεται πως οι τιμές είναι αυξημένες στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας, αποδεικνύοντας πυκνή και υγιή βλάστηση (Χάρτης 3.18). Οι περιοχές με χαμηλές τιμές του δείκτη, με αραιή ή και στρεσαρισμένη βλάστηση που ξεκίνησαν να επηρεάζονται βρίσκονται κυρίως στον Θεσσαλικό κάμπο και στα νησιά του Νότιου Αιγαίου. Τα μεγάλα υψόμετρα και η Δυτική Ελλάδα συνεχίζουν να σημειώνουν αυξημένες τιμές του δείκτη βλάστησης NDVI. Παράλληλα, η κατάσταση της βλάστησης από τον δείκτη EVI φαίνεται να είναι ίδια με αυτή του NDVI, δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στις περισσότερο στρεσαρισμένες περιοχές, όπως ορισμένα τμήματα του Θεσσαλικού κάμπου, των Κυκλάδων και της Νότιας Κρήτης (Χάρτης 3.19).

Η θερμοκρασία της επιφάνειας από τον χάρτη του LST δείχνει πως οι περιοχές οι οποίες στις 9 Ιουνίου του 2012 που δεν κατατάσσονται σε αυτές με μέτρια ή και σοβαρή ξηρασία δε ξεπερνά τους 26°C ενώ οι περιοχές οι οποίες σημειώνουν μέτρια και σοβαρή ξηρασία έχουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες, μεγαλύτερες των 26°C (Χάρτης 3.20).



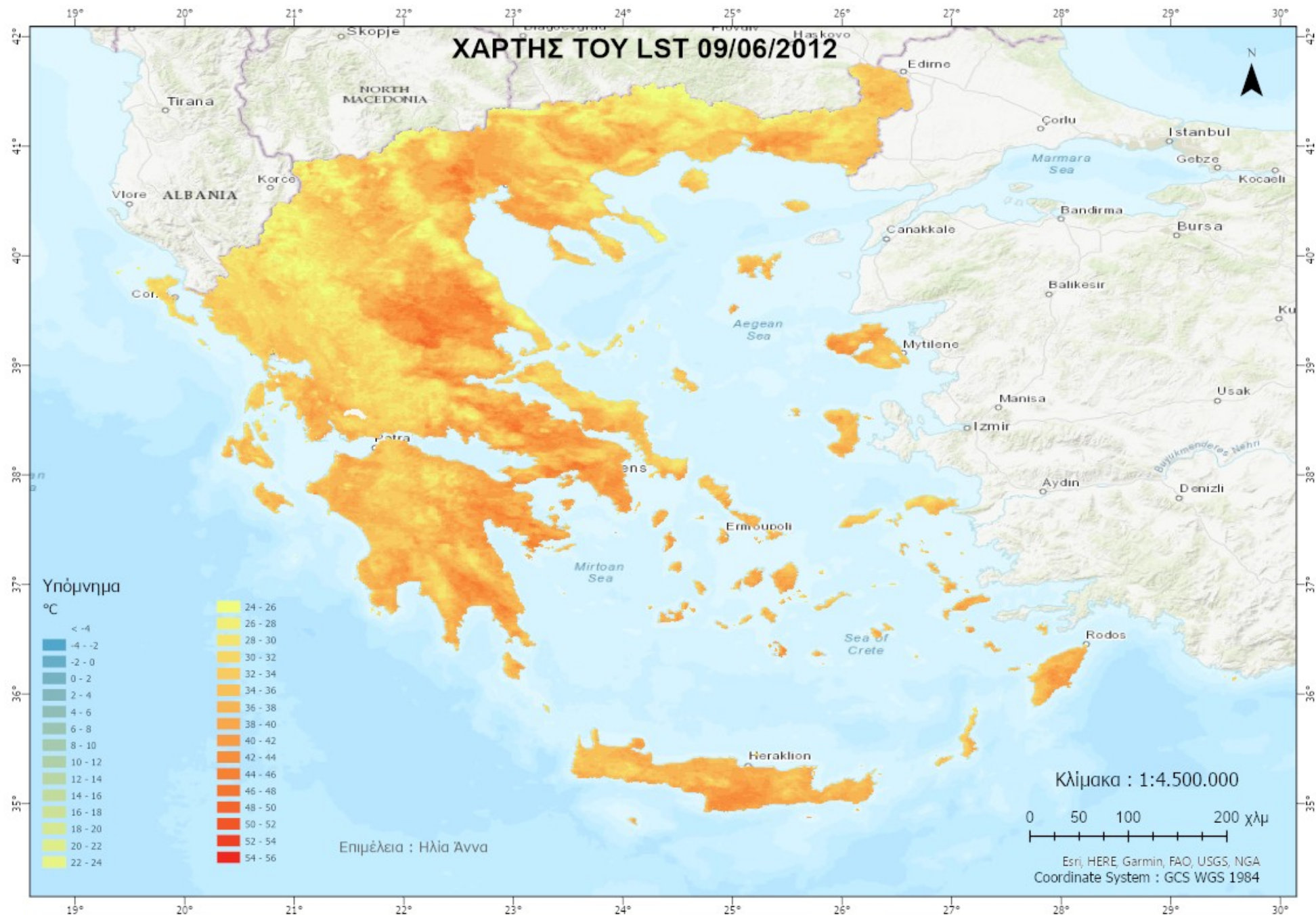
Χάρτης 3.17: Χάρτης του VTCI για 09/06/2012.



Χάρτης 3.18: Χάρτης του NDVI για τις 09/06/2012.



Χάρτης 3.19: Χάρτης του EVI για τις 09/06/2012.



Χάρτης 3.20: Χάρτης του LST για τις 09/06/2012.

Οι πιο πολλές αριθμητικά ακραίες τιμές για την εποχή σημειώνονται κυρίως τον χειμώνα, όπου στις ημερομηνίες αυτές οι τιμές του δείκτη υγρασίας VTCI είναι αρκετά χαμηλές για την εποχή, στην οποία συνηθίζεται η εδαφική υγρασία να είναι υψηλή λόγω των πολλαπλών βροχοπτώσεων, χαλαζοπτώσεων και χιονοπτώσεων. Μεγάλο τμήμα της χώρας βρίσκεται σε πολύ ξηρή κατάσταση, με τη μεγαλύτερη έκταση να κατατάσσεται σε σοβαρή ξηρασία σε χειμερινές ημερομηνίες των ετών 2003, 2006, 2009, 2010, 2013 και 2014, με τον μήνα Ιανουάριο των ετών 2009, 2010 και 2013 να σημειώνουν γενικότερα περισσότερη σοβαρή ξηρασία.

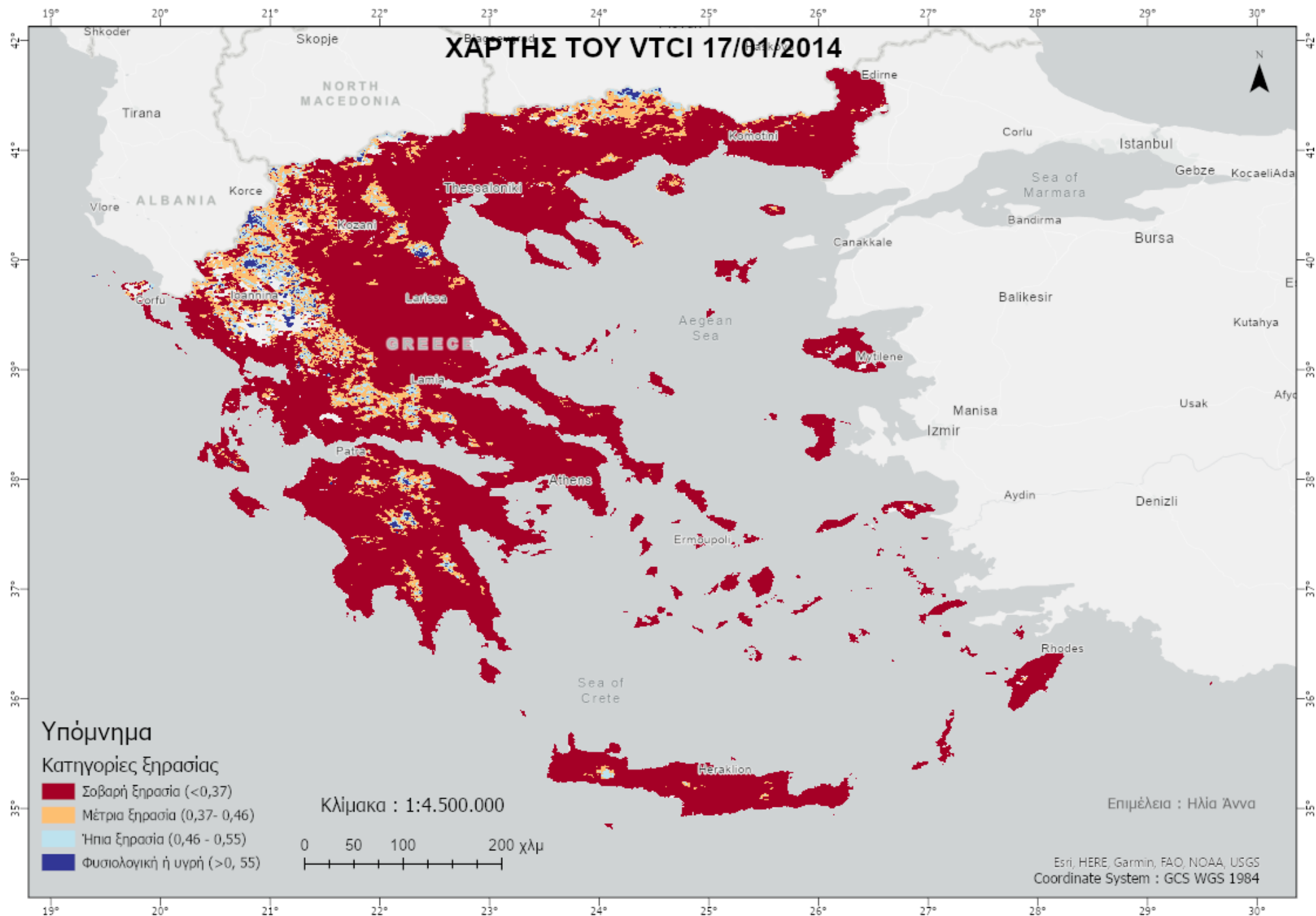
Ενδεικτικά, στις 17 Ιανουαρίου του 2014 η χώρα κατατάσσεται σε σοβαρή ξηρασία, με εξαίρεση μεγάλα υψόμετρα στις μεγάλες οροσειρές, κοντά στις κορυφογραμμές αυτών, οι οποίες κατατάσσονται σε μέτρια ξηρασία (Χάρτης 3.21). Αρκετά μικρές είναι οι εκτάσεις στις οποίες επικρατούν φυσιολογικές ή υγρές συνθήκες υγρασίας εδάφους, και λαμβάνουν χώρα στις μεγαλύτερες βουνοκορφές της Ελλάδας. Παρόλα αυτά, στα αποτελέσματα του VTCI συχνά υπάρχουν περιοχές οι οποίες δεν έχουν κάποια τιμή, τα λεγόμενα “no data”, τα οποία οφείλονται σε ελλιπή δεδομένα των αρχικών, στη συγκεκριμένη περίπτωση του LST.

Η βλάστηση της Ελλάδας από τον NDVI στη Δυτική και Νότια Ελλάδα είναι πυκνή και σε υγιή κατάσταση, ενώ χαμηλές τιμές που απεικονίζουν βλάστηση που βρίσκεται υπό πίεση σημειώνεται στη Βόρεια Ελλάδα και στις μεγάλες καλλιεργητικές εκτάσεις της χώρας, αυτή του Θεσσαλικού κάμπου και του κάμπου της Θεσσαλονίκης (Χάρτης 3.22).

Αντιθέτως, από τον EVI η κατάσταση της βλάστησης της χώρας απεικονίζεται σε δυσμενέστερη κατάσταση, αφού μόνο στη Δυτική Ελλάδα οι τιμές είναι ελάχιστα ανεβασμένες κυρίως μέχρι 0,6 και με την περιοχή Νότια του Ηρακλείου να σημειώνει αρκετά αυξημένες τιμές που φτάνουν και το 0,8 (Χάρτης 3.23).

Την ίδια ημέρα, στις 17 Ιανουαρίου 2014, η θερμοκρασία φαίνεται να προσεγγίζει τους 20°C σε πολλές περιοχές της Ελλάδας, με τις υψηλότερες να παρατηρούνται στον Θεσσαλικό κάμπο, τον κάμπο της Θεσσαλονίκης, την Αττική, και όλα τα νησιά του Αιγαίου (Χάρτης 3.24). Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες εξακολουθούν να σημειώνονται στις μεγάλες οροσειρές της χώρας και στα αρκετά μεγάλα υψόμετρα.

Σημαντικό είναι το γεγονός πως από την αρχή του 2018 μέχρι και την τελευταία παρατήρηση που είναι τη Πρωτοχρονιά του 2020 παρατηρείται σε αρκετές και μεγάλες εκτάσεις παρατεταμένα σοβαρή ξηρασία, όπως για παράδειγμα κάποια νησιά του Αιγαίου και ο Θεσσαλικός κάμπος. Το γεγονός αυτό δείχνει την ύπαρξη του φαινομένου σε μεγάλο βαθμό, τα αποτελέσματα αυτά από τα δεδομένα είναι ορατά και στα διαγράμματα τα οποία αναλύονται στη συνέχεια και συσχετίζονται ανάλογα με την εδαφοκάλυψη της περιοχής.



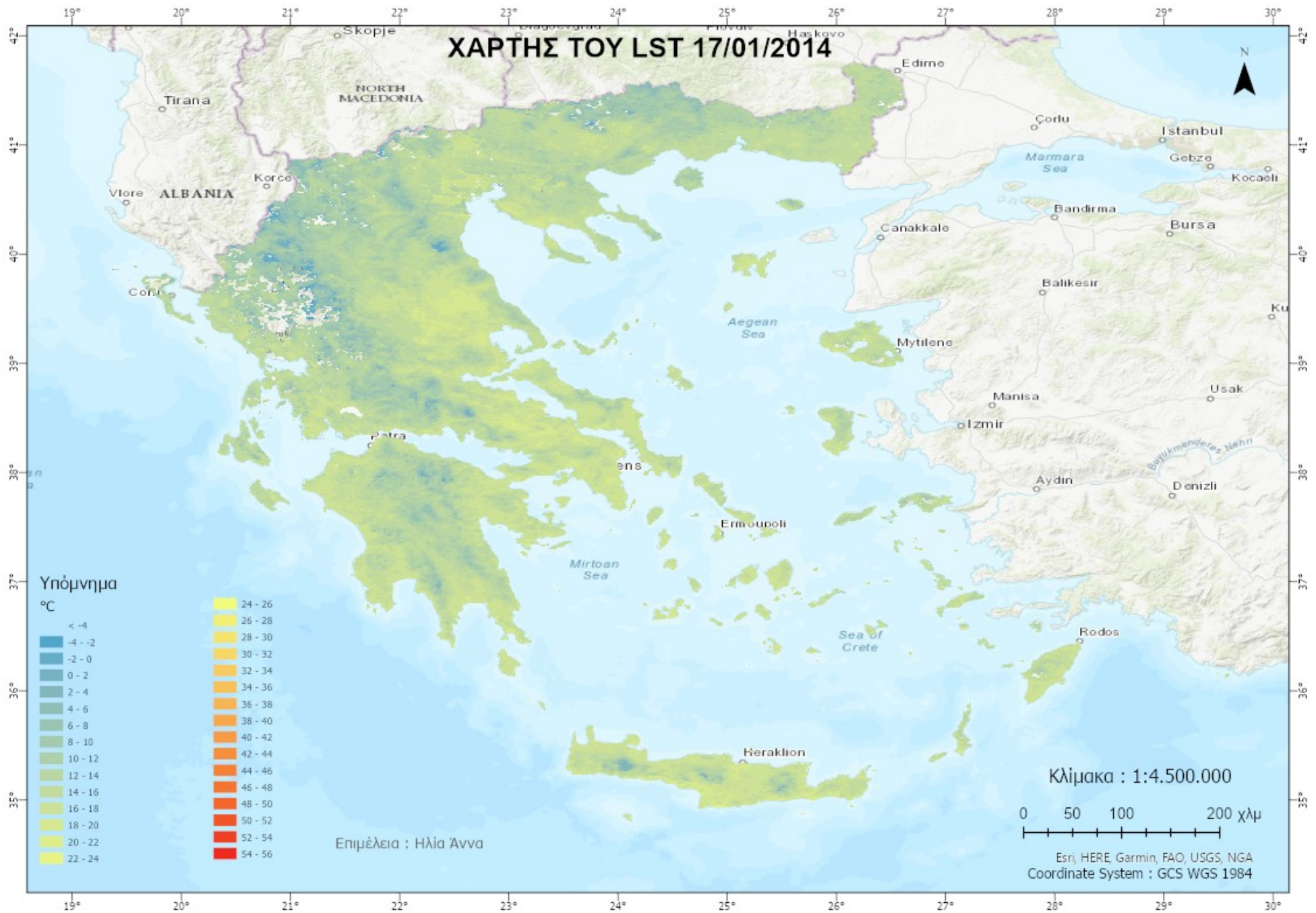
Χάρτης 3.21: Χάρτης του VTCl για τις 17/01/2014.



Χάρτης 3.22: Χάρτης του NDVI για τις 17/01/2014.



Χάρτης 3.23: Χάρτης του EVI για τις 17/01/2014.



Χάρτης 3.24: Χάρτης του LST για τις 17/0/2014.

Παράλληλα, από τον υπολογισμό του μέσου όρου των δεικτών σε κάθε κατηγορία εδαφοκάλυψης, προέκυψε πως η κάθε κατηγορία ενώ παρουσιάζει διαφορετικό εύρος τιμών, κινούνται παράλληλα, ως προς το χρόνο. Εμφανίζουν δηλαδή, κατά τις ίδιες χρονικές στιγμές αυξομειώσεις και περιοδικότητες σε όλους τους δείκτες, βλάστησης με τους EVI και NDVI, τη θερμοκρασία της επιφάνειας της γης με το LST και την υγρασία του εδάφους με τον VTCI. Εξαιτίας του μεγάλου πλήθους των διαγραμμάτων, βρίσκονται στο παράρτημα (βλ. Παράρτημα).

Από τις χρονοσειρές των μέσων όρων των δεικτών βλάστησης EVI και NDVI, παρατηρείται πως υπάρχει μία τάση αύξησης των τιμών σε όλες τις κατηγορίες εδαφοκάλυψης. Οι μεγάλες τιμές των συγκεκριμένων δεικτών απεικονίζουν την αντανάκλαση της χλωροφύλλης, συνεπώς τη μεγαλύτερη ποσότητα αυτής και παράλληλα καλύτερη υγεία της βλάστησης που επικρατεί σε κάθε περίπτωση. Στα φυλλοβόλα δάση το εύρος των τιμών είναι μεγαλύτερο σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες κατηγορίες, καθώς τα δέντρα κατά τους φθινοπωρινούς μήνες αποχωρίζονται τα φύλλα τους, μένοντας και τον χειμώνα επίσης χωρίς αυτά, σημειώνοντας έτσι αρκετά χαμηλές τιμές των δεικτών βλάστησης κάθε Φθινόπωρο και Χειμώνα, όπως 0,1 και 0,2 για τον EVI και 0,2 με 0,3, ακόμα και 0,4 για τον NDVI.

Σημαντική διαφορά ανάμεσα στους δείκτες βλάστησης αποτελεί η ανάλυση της χρονοσειράς των κωνοφόρων και μεικτών δασών. Στον NDVI φαίνεται πως υπάρχει μία πτωτική τάση, ενώ αντιθέτως, στον EVI παρουσιάζεται μια αυξητική πορεία, σε βαθμό μικρότερο από τις υπόλοιπες. Επίσης, στα αποτελέσματα των EVI, η περιοδικότητα των αυξομειώσεων, ή οι εποχικότητες, αλλά και γενικότερα οι μεταβολές που σημειώνονται, αναπαριστώνται περισσότερο ευδιάκριτα.

Παράλληλα, η θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης από τα δεδομένα LST παρουσιάζει και αυτή με τη σειρά της περιοδικότητα, καθώς κατά την Άνοιξη ξεκινά η άνοδος της θερμοκρασίας και τις καλοκαιρινές ημέρες σημειώνονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες. Το Φθινόπωρο ξεκινά η κάθοδος των τιμών της θερμοκρασίας με τις χαμηλότερες να κυριαρχούν τους χειμερινούς μήνες. Ο μέσος όρος της LST σε όλες της κατηγορίες εδαφοκάλυψης δε φαίνεται να έχει τάσεις για αλλαγή. Παρόλα αυτά υπάρχει ελάχιστη διαφορά ως προς τις τιμές της θερμοκρασίας, καθώς στα λιβάδια παρατηρούνται οι υψηλότερες θερμοκρασίες ενώ αντιθέτως στις περιοχές με αραιή βλάστηση και στα κωνοφόρα και μεικτά δάση μικρότερες. Τα κωνοφόρα και τα μεικτά δάση, όπως και οι κορυφές μεγάλων βουνών, στις οποίες η βλάστηση είναι αραιή, το υψόμετρο είναι μεγάλο και οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες από περιοχές με χαμηλότερο υψόμετρο.

Η διαφορά των διαγραμμάτων του μέσου του δείκτη VTCI, που υπολογίστηκε για κάθε κατηγορία εδαφοκάλυψης, είναι ορατή ανάμεσα στις αρχικές τιμές και στις φιλτραρισμένες. Με τη χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay με πλάτος (n) ίσο με 3, οι φιλτραρισμένες τιμές εμφανίζουν τη περιοδικότητα του δείκτη, απεικονίζοντας με τις αυξημένες τιμές, τις ημερομηνίες που εμφανίζεται αυξημένη η υγρασία του εδάφους. Αντίστροφα, οι χαμηλές τιμές, τα κοίλα, αντιπροσωπεύουν τις ημερομηνίες που η υγρασία του εδάφους δεν είναι υψηλή και είναι αισθητό το φαινόμενο της ξηρασίας.

Από το μέσο όρο των τιμών του δείκτη VTCI σε συνάρτηση με τον χρόνο και τις κατηγορίες της εδαφοκάλυψης τα αποτελέσματα δεν είναι αρκετά αισιόδοξα. Σε όλες τις κατηγορίες της εδαφοκάλυψης υπάρχει φθίνουσα τάση της υγρασίας του εδάφους, συνεπώς η ξηρασία αυξάνεται. Περιοχές με καλλιεργήσιμες εκτάσεις, μόνιμες και ετερογενείς καλλιέργειες, φυλλοβόλα δάση και κωνοφόρα και μεικτά δάση παρουσιάζουν μεγαλύτερη μείωση της υγρασίας του εδάφους, ενώ τα λιβάδια, τα φυσικά λιβάδια ή διαφορετικά οι βοσκότοποι, οι περιοχές με μούρα, εδαφικές εκτάσεις, σκληροφυλλώδη βλάστηση και μεταβατικές εκτάσεις, όπως και οι περιοχές με αραιή βλάστηση μικρότερη μείωση.

Με τη κατηγοριοποίηση της ξηρασίας και τη χωρική κατανομή του φαινομένου, το μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας φαίνεται να καλύπτεται από σοβαρή ξηρασία (βλ. Παράρτημα). Η σοβαρότητα της ξηρασίας φαίνεται να επηρεάζεται άμεσα από το υψόμετρο και κατ' επέκταση από το κλίμα που επικρατεί στην εκάστοτε περιοχή.

Οι περιοχές με χαμηλότερο υψόμετρο σε ολόκληρη την επικράτεια της χώρας, όλο το Νότιο και Ανατολικό τμήμα της, τα νησιά όλου του Αιγαίου εκτός της Κρήτης (λόγω των υψηλών βουνών που έχει) και οι μεγάλες και σημαντικές περιοχές για την οικονομία του Ελληνικού κράτους, όπως αυτή της ευρύτερης περιοχής του Θεσσαλικού κάμπου αλλά και του κάμπου της Θεσσαλονίκης κατηγοριοποιούνται στις περιοχές που παρουσιάζουν σοβαρή ξηρασία.

Αντίστοιχα, οι περιοχές που είναι υγρές ή φυσιολογικές, που παρουσιάζουν ήπια και μέτρια ξηρασία είναι οι μεγάλες οροσειρές της Ελλάδας και οι γύρω περιοχές, όλα τα νησιά του Ιονίου πελάγους και οι περιοχές γύρω από τα ψηλά βουνά της Κρήτης, ακόμα και κάποια τμήματα νησιών του Αιγαίου, όπως το Βόρειο κομμάτι της Θάσου, το Βόρειο και Ανατολικό τμήμα της Σαμοθράκης, το Βόρειο και Δυτικό της Σάμου, το Βόρειο και Κεντρικό της Ικαρίας και το Νότιο Κεντρικό και Ανατολικό της Λέσβου.

Τα αποτελέσματα των εποχικών παραμέτρων που εξήχθησαν από την ανάλυση, στο λογισμικό Timesat, δείχνουν τις χωροχρονικές μεταβολές. Υπολογίστηκε το Start of Season time (SOS), που δείχνει το πότε ξεκινά η χρονική περίοδος των αυξημένων τιμών των δεικτών, το Length of Season (LOS), δηλαδή τον αριθμό των ημερών που κράτησε η περίοδος ή διαφορετικά εποχή με τις υψηλές τιμές των δεικτών και τέλος το Time of Middle of Season (MOS), την μέγιστη τιμή του κάθε δείκτη που σημειώθηκε σε κάθε χρονική περίοδο ή εποχή (βλ. Παράρτημα).

Σχετικά με το πότε ξεκινά η ανοδική πορεία (SOS) των τιμών των δεικτών βλάστησης (VI), υπάρχουν κάποιες διαφοροποιήσεις.

Στον δείκτη EVI φαίνεται πως στο Βόρειο και Νότιο Αιγαίο, όπως και στο Νότιο τμήμα της χώρας υπάρχει μία καθυστέρηση της ανοδικής πορείας (SOS) ανά ημερολογιακό έτος, συγκριτικά με την υπόλοιπη Ελλάδα. Παράλληλα, τα αποτελέσματα του NDVI εμφανίζουν καθυστέρηση της ανοδικής πορείας (SOS) στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας, στα νησιά του Ιονίου, τη Βόρεια και Δυτική Ελλάδα, στην Αττική και στο μεγαλύτερο μέρος της Στερεάς Ελλάδας, στο Νότιο τμήμα της Χαλκιδικής και στα νησιά του Βόρειου και Νότιου Αιγαίου με εξαίρεση την Σαμοθράκη, κάποια τμήματα της Λήμνου και της Θάσου, αλλά και τις οροσειρές σε όλη τη Βόρεια Ελλάδα.

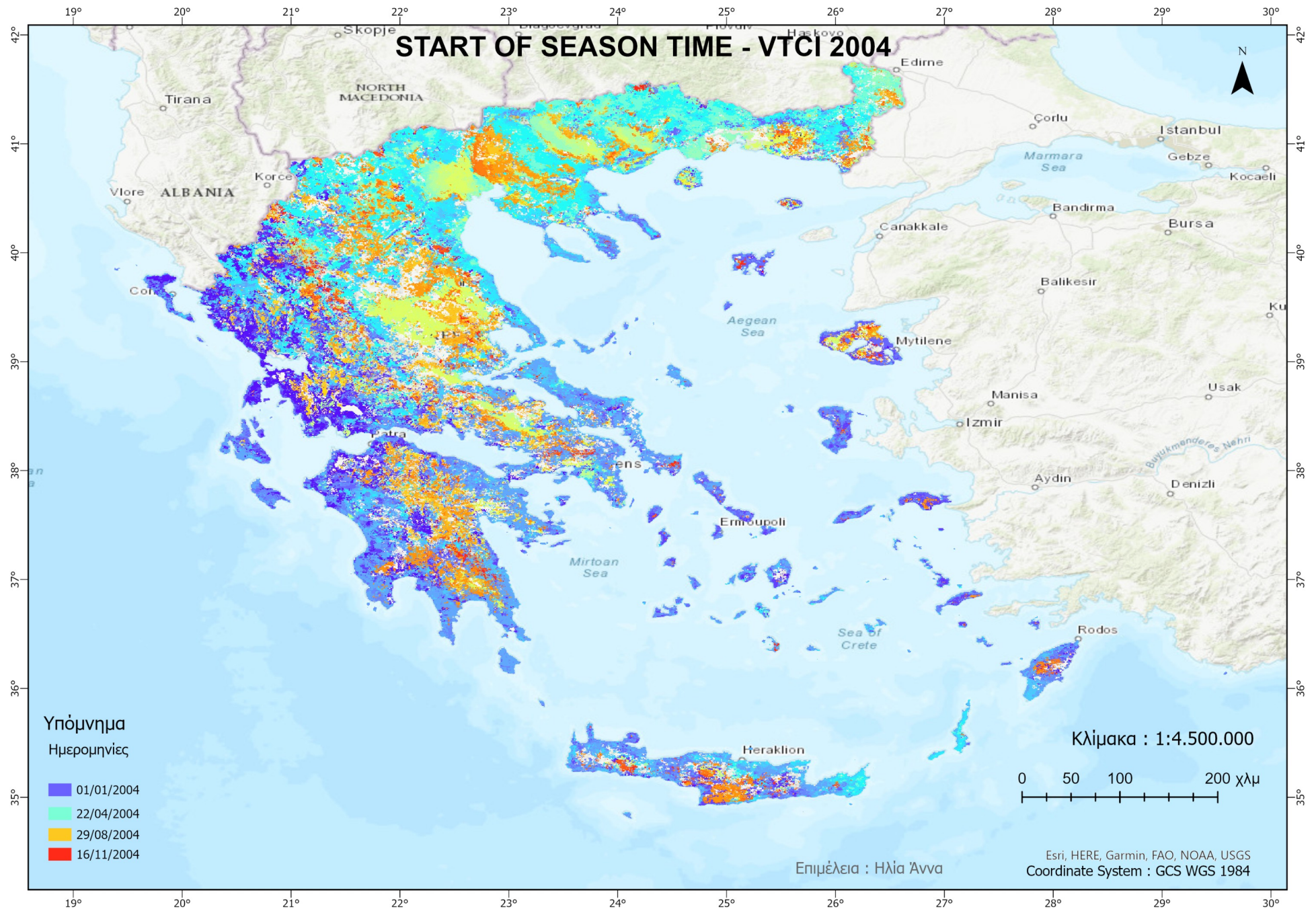
Γενικότερα, υπάρχει μία ανάλογη σχέση μεταξύ του υψόμετρου και του χρόνου που ξεκινά η περίοδος των αυξημένων τιμών, όσο πιο μεγάλο το υψόμετρο, τόσο πιο νωρίς, δηλαδή κοντά στον Ιανουάριο, ξεκινά και η εποχή. Παρόλα αυτά, στις καλλιέργειες του Θεσσαλικού κάμπου σημειώνονται περιοχές στις οποίες η εποχή ξεκινά νωρίς κάθε χρόνο και άλλες αργά. Υπάρχει διαφοροποίηση σχετικά με τα είδη των καλλιεργειών σε κάθε αγροτεμάχιο. Δεν αποκλείεται σε κάποιες περιπτώσεις να υπάρχουν και δύο ή περισσότεροι περίοδοι τον χρόνο, το οποίο επίσης εξαρτάται από τη χρήση γης της εκάστοτε περιοχής.

Από την ανάλυση για την αρχή της ετήσιας εποχής του LST δεν προκύπτει κάποια επαναληψιμότητα. Η ηπειρωτική Ελλάδα σημειώνει περισσότερες μεταβολές χρόνο με τον χρόνο συγκριτικά με τα νησιά του Ιονίου και του Αιγαίου πελάγους. Υπάρχουν κάποιες χρονιές παρόλα αυτά, στις οποίες σημειώθηκαν έντονες διαφορές ως προς τα αποτελέσματα. Το 2004 στο οποίο η άνοδος της θερμοκρασίας του εδάφους ξεκίνησε να αυξάνεται αρκετά νωρίς, ενώ αντίθετη περίπτωση, δηλαδή η άνοδος της θερμοκρασίας άργησε αρκετά το 2012 στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας. Τέλος, από το 2013 έως και το 2019 υπάρχει μία ήπια τάση προς την ομοιομορφία της έναρξης των ανοδικών τιμών του LST στη χώρα. Τα αποτελέσματα αυτά, εξαρτώνται ουσιαστικά από τις καιρικές συνθήκες.

Όσο αφορά τις χρονικές στιγμές που ξεκινά η άνοδος της υγρασίας (SOS) του εδάφους από τον υπολογισμό του VTCl, δε φαίνεται να υπάρχει κάποια συγκεκριμένη επαναληψιμότητα. Σε κάθε χρονιά εμφανίζονται διαφορετικά αποτελέσματα, χωρίς να παρατηρείται έτσι η οποιαδήποτε περιοδικότητα σε αυτά. Η υγρασία του εδάφους αντικατοπτρίζεται με αυξημένες τιμές του VTCl, συνεπώς η κάθε αρχή της ανόδου των τιμών του δείκτη, απεικονίζει την αρχή της υγρής περιόδου και αντίστοιχα το τέλος της ξηρής περιόδου, που λαμβάνει χώρα πριν από αυτή, σημειώνοντας χαμηλότερες τιμές.

Τα αποτελέσματα της χωροχρονικής ανάλυσης της έναρξης της εποχικότητας (SOS) του δείκτη VTCl, δείχνουν πως υπάρχει μεγάλη ευαισθησία ως προς την ανάλυση του. Οι τιμές εξαρτώνται από την LST, η οποία εξαρτάται, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, από τις καιρικές συνθήκες και τη κατάσταση της βλάστησης από τον NDVI. Το γεγονός αυτό κάνει τα αποτελέσματα πιο ευαίσθητα όταν υπάρχουν πιο ζεστές για παράδειγμα θερμοκρασίες για την εποχή.

Χαρακτηριστικά της εποχικής παραμέτρου της έναρξης της εποχικότητας για τον VTCl είναι ορατά και για το έτος 2004 (Χάρτης 3.9). Η έναρξη της υγρής περιόδου ξεκινά στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας τον χειμώνα, με τη Δυτική Ελλάδα και ένα μεγάλο ποσοστό της έκτασης της χώρας χωρίς μεγάλο υψόμετρο, κυρίως στη Νότια Ελλάδα και στα νησιά του Βόρειου Αιγαίου, να ξεκινά από τον Ιανουάριο. Οι πιο υψηλές περιοχές, κυρίως στις οροσειρές αλλά και σε αρκετές καλλιεργητικές εκτάσεις, η έναρξη της εποχικότητας της υγρής περιόδου συμβαίνει αργότερα στο έτος, δηλαδή στις αρχές της χειμερινής περιόδου.



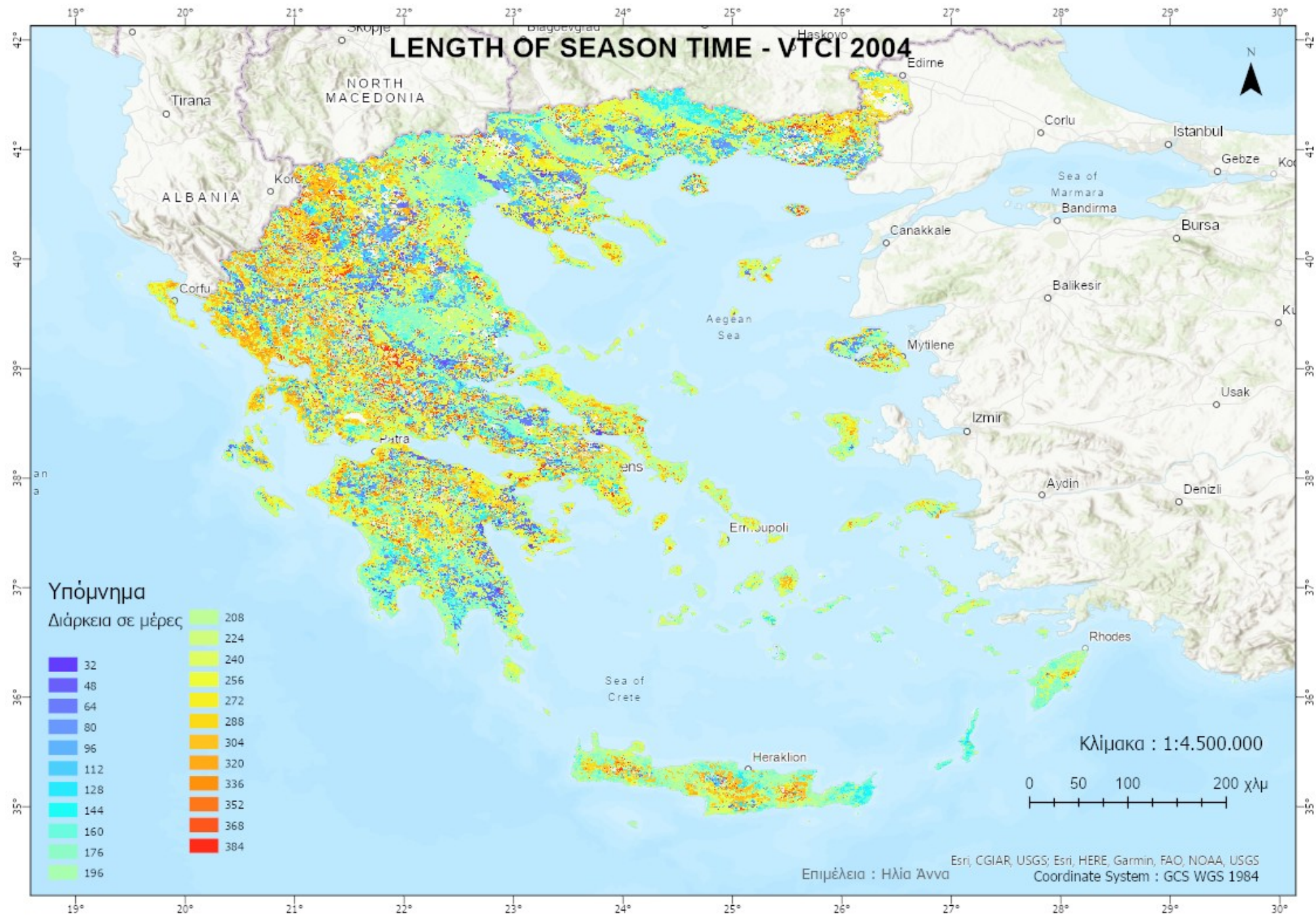
Χάρτης 3.25: Χάρτης εποχικής παραμέτρου Start of Season time του VTCI για το 2004.

Ως προς το διάστημα που σημειώνονται οι αυξημένες τιμές (LOS), η περίοδος αυτή είναι κοινή στους δύο δείκτες βλάστησης που αναλύθηκαν, τον EVI και τον NDVI στις περιοχές με καλλιέργειες, όπως σε αυτή του Θεσσαλικού κάμπου και του κάμπου της Θεσσαλονίκης, όπου το εύρος της εποχής είναι σχετικά σταθερά χαμηλό. Τα αποτελέσματα αυτά συμβαδίζουν με της χρονικές περιόδους της διάρκειας των καλλιεργητικών εποχών, ανάλογα με το είδος φυσικά της καλλιέργειας. Παρόλα αυτά υπάρχουν κάποιες διαφορές ανάμεσα στους δύο δείκτες βλάστησης. Απεικονίζονται περισσότερες μέρες υψηλών τιμών στον EVI στο Ιόνιο, στη Πελοπόννησο, στο Βόρειο και Νότιο Αιγαίο και στη Δυτική Ελλάδα, ενώ στον NDVI στη Δυτική Ελλάδα, και στη Βόρεια Ελλάδα, κυρίως στη Βόρεια Μακεδονία και στη Θράκη.

Από την χωροχρονική ανάλυση του LST προκύπτει πως το μεγαλύτερο εύρος των περιόδων με αυξημένες τιμές της θερμοκρασίας (LOS) βρίσκονται στην ηπειρωτική Ελλάδα, στα νησιά του Βόρειου Αιγαίου, στις Κυκλάδες, στα Δωδεκάνησα και στη Κρήτη, με μεταβολές οι οποίες διαφέρουν από έτος σε έτος.

Όταν από την ανάλυση του δείκτη VTCI το εύρος των υγρών περιόδων (LOS), δηλαδή των αυξημένων τιμών του, είναι μεγαλύτερο σε ένα έτος, υφίσταται παράλληλα πως το εύρος των ξηρών περιόδων είναι μικρότερο. Συνεπώς, οι περιοχές με μεγάλο πλάτος έχουν περισσότερες μέρες αυξημένη εδαφική υγρασία, άρα και λιγότερες ξηρές μέρες μέσα στο έτος, ενώ αυτές με μικρότερο πλάτος έχουν μεγαλύτερο διάστημα με χαμηλή εδαφική υγρασία, συνεπώς έρχονται αντιμέτωπες εντονότερα με το φαινόμενο της ξηρασίας.

Η ανάλυση της εποχικής παραμέτρου LOS στον VTCI εμφανίζει κάποια επαναλαμβανόμενα χαρακτηριστικά και συσχετίζεται αρκετά με το ανάγλυφο. Μεγάλο εύρος της εποχικότητας συναντάται στις περιοχές με μεγάλα υψόμετρα, στις οροσειρές και στις ευρύτερες ορεινές περιοχές της χώρας, ενώ μικρό εύρος στις πιο πεδινές περιοχές με έντονα παραδείγματα τον Θεσσαλικό κάμπο και τον κάμπο της Θεσσαλονίκης, στους οποίους σημειώνονται συστηματικά μικρά διαστήματα εποχής (LOS). Η εποχική παράμετρος της διάρκειας της εποχικότητας του δείκτη VTCI για το έτος 2004 παρουσιάζει την ίδια χωρική κατανομή με αυτές των άλλων ετών (Χάρτης 3.10).



Χάρτης 3.26: Χάρτης εποχικής παραμέτρου Length of Season time του VTCl για το 2004.

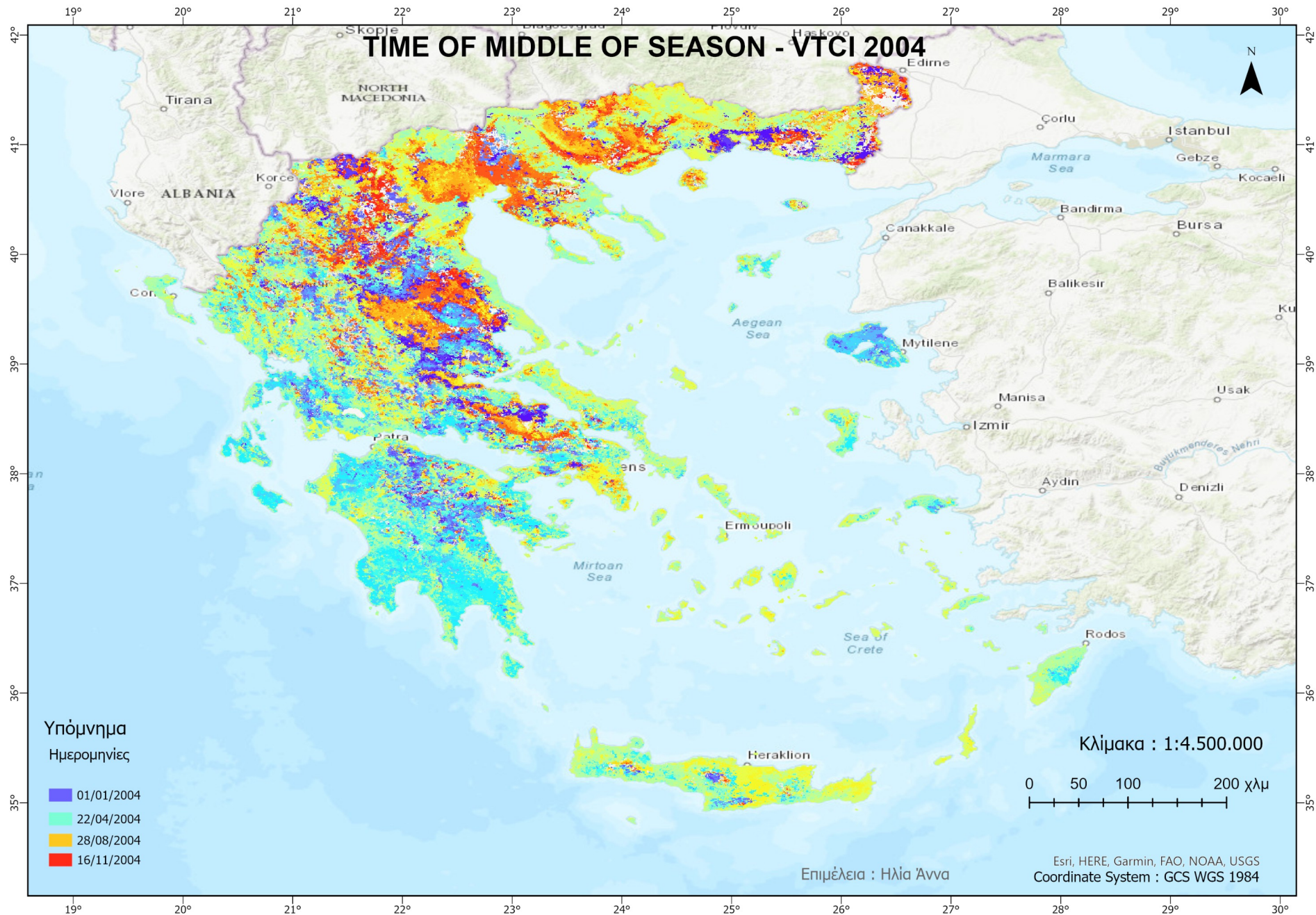
Από τη παράμετρο της μέσης χρονικής στιγμής της εποχής των αυξημένων τιμών (MOS), κυρίως για τους δείκτες βλάστησης EVI και NDVI προκύπτει ότι είναι σταθερές με τη πάροδο των ετών, καθώς εμφανίζουν μεγάλη συσχέτιση με το υψόμετρο.

Στον EVI, γενικότερα τα μεγάλα υψόμετρα εμφανίζουν μέση χρονική στιγμή (MOS) μέσα στο καλοκαίρι, τα μικρά υψόμετρα τον χειμώνα, την άνοιξη και σε κάποιες περιπτώσεις και αρχές καλοκαιριού, ενώ στα ενδιάμεσα υψόμετρα εμφανίζονται το φθινόπωρο. Πιο συγκεκριμένα, σε όλα τα έτη που αναλύθηκαν, στη Δυτική και τη Νότια Ελλάδα, στη Πελοπόννησο, στην Αττική, στα παράλια της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, στην Ανατολική Χαλκιδική, στο Βόρειο και Νότιο Αιγαίο και στη Κρήτη η μέση χρονική στιγμή (MOS) εμφανίζεται μέσα στην Άνοιξη.

Η εποχική παράμετρος της μέσης στιγμής (MOS) στον NDVI αντικατοπτρίζεται πιο γενικευμένα συγκριτικά με τον EVI. Όλη η Νότια Ελλάδα εκτός της Κεντρικής Πελοποννήσου, εμφανίζει τη μέση χρονική στιγμή των αυξημένων τιμών νωρίς ως προς το ημερολογιακό έτος, δηλαδή τέλος του Χειμώνα ή αρχή της Άνοιξης, ενώ στη Βόρεια Ελλάδα και στις ορεινές περιοχές της χώρας την Άνοιξη ή αρχές καλοκαιριού.

Σχετικά με το μέσο της εποχής (MOS) στην LST, γενικότερα σε ολόκληρη τη χώρα σημειώνεται τέλος της Άνοιξης και το Καλοκαίρι. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της κατανομής του μέσου της περιόδου είναι το 2011, στο οποίο σημειώνεται τον Ιούλιο και Αύγουστο για το μεγαλύτερο μέρος της χώρας. Παρόλα αυτά υπάρχουν ελάχιστες χρονιές στις οποίες τα αποτελέσματα διαφέρουν. Συγκεκριμένα, μεγαλύτερη εξαίρεση αποτελεί το έτος 2005, που στη Κεντρική Ελλάδα, κυρίως στη Νότια Θεσσαλία και Ανατολική Στερεά Ελλάδα, το χρονικό μέσο εμφανίζεται ημερολογιακά αρκετά νωρίς, δηλαδή τέλος του χειμώνα. Επίσης το 2016 εμφανίζεται μία ομοιομορφία ως προς τις στιγμές αυτές (MOS) νωρίτερα, δηλαδή τον Χειμώνα σε ολόκληρη τη χώρα και πιο Δυτικά την αρχή της Άνοιξης. Τέλος, το 2018 στη Κεντρική και Βόρεια Ελλάδα, σε περιοχές χαμηλού υψομέτρου, που βρίσκονται ανάμεσα σε μεγαλύτερα υψόμετρα το μέσο (MOS) υπολογίστηκε αρχή της Άνοιξης.

Ως προς το πότε παρουσιάζονται τα μέσα των εποχών των υψηλών τιμών (MOS) του δείκτη VTCI, στις ραχοκοκαλιές των οροσειρών της χώρας φαίνεται να παραμένουν σταθερές τον Χειμώνα ή Αρχές της Άνοιξης, όπως και η Δυτική Ελλάδα, η Νότια και Δυτική Πελοπόννησος, τα Νησιά του Ιονίου πελάγους, οι Κυκλάδες, το Νότιο τμήμα της Κρήτης, η Ρόδος και η Λέσβος. Ωστόσο, οι περιοχές από την οροσειρά της Πίνδου έως και την οροσειρά της Ροδόπης, που καταλαμβάνει ένα αρκετά μεγάλο μέρος της ηπειρωτικής Ελλάδας σημειώνει μέσο (MOS) είτε αρκετά νωρίς ημερολογιακά, είτε αρκετά αργά, δηλαδή τον Χειμώνα. Το ίδιο ακριβώς ισχύει και για τις σημαντικές καλλιεργητικές εκτάσεις της χώρας, στον Θεσσαλικό κάμπο και κάμπο της Θεσσαλονίκης. Η ίδια εικόνα επικρατεί στο MOS για τον VTCI το 2004 (Χάρτης 3.11).



Χάρτης 3.27: Χάρτης εποχικής παραμέτρου Time of Middle of Season του VTCI για το 2004.

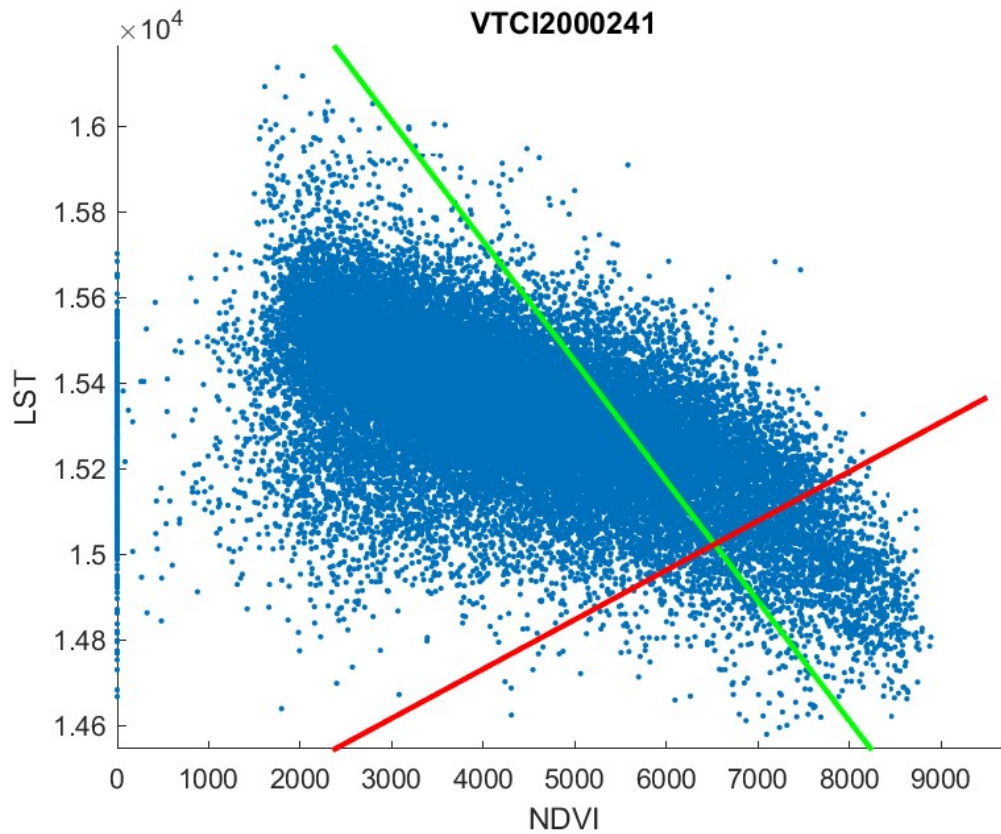
Υπάρχει συνεπώς μία τάση της εποχικής παραμέτρου μέσου (MOS) στον VTCI στην Ελλάδα να κυριαρχεί τον Χειμώνα, που δηλώνει πως τότε καταγράφεται γενικότερα η αυξημένη εδαφική υγρασία. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνονται από τα χαρακτηριστικά του Μεσογειακού κλίματος που επικρατεί στην Ελλάδα, με υγρούς, ήπιους χειμώνες και μεγάλα, θερμά και ξηρά καλοκαίρια και με το μεγαλύτερο μέρος των ετήσιων βροχοπτώσεων να σημειώνεται το χειμώνα.

Συνοπτικά, από την ανάλυση των δεικτών και των εποχικών παραμέτρων, στο μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της ξηρασίας. Υπάρχει συσχέτιση της σοβαρότητας της ξηρασίας με το υψόμετρο και τις κλιματικές κατηγορίες που επικρατούν σε κάθε περιοχή. Στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας, στις πεδινές περιοχές και στην Αθήνα, στη Θεσσαλονίκη, στη Κόρινθο, την Αίγινα, τη Θήρα και τη Νάξο, που επικρατούν ο ημίξηρος και ημίυγρος τύπος στην κατάταξη του κλίματος, η σοβαρή ξηρασία είναι σχεδόν μόνιμη καθ' όλη τη διάρκεια των ετών που μελετήθηκαν. Παράλληλα, οι υγρές περιοχές κατατάσσονται συχνά στη μέτρια ξηρασία – ιδίως το καλοκαίρι, ενώ τον υπόλοιπο χρόνο κατατάσσεται στις υγρές και φυσιολογικές περιοχές ή στην ήπια ξηρασία, ανάλογα με τη θερμοκρασία που επικρατεί. Τέλος, οι περιοχές στις οποίες δεν εμφανίζεται καθόλου το φαινόμενο της ξηρασίας, είναι κυρίως ο ορεινός όγκος της Πίνδου, όπου χαρακτηρίζεται από τον πολύ υγρό τύπο στη χωρική διάταξη του κλίματος.

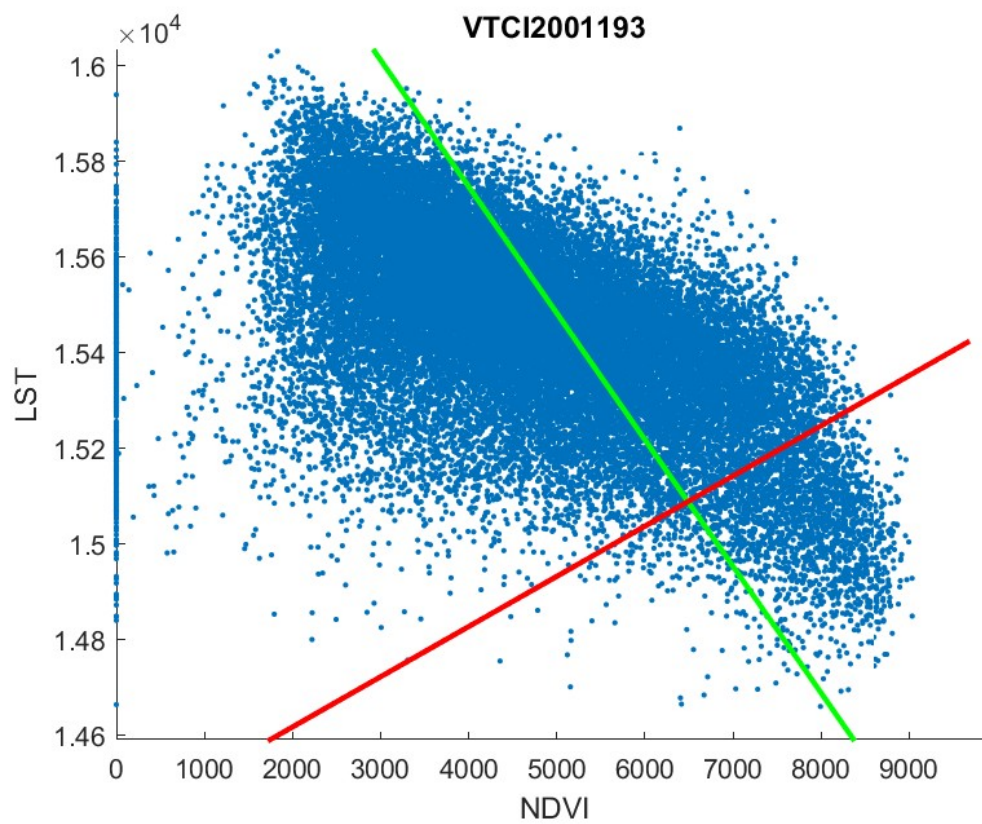
Πολλές από τις διεργασίες της πτυχιακής, πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του προγραμματισμού για την αυτοματοποίηση, εξαιτίας του μεγάλου πλήθους των δεδομένων. Κατά τον υπολογισμό του δείκτη VTCI οι ευθείες του θερμού και ψυχρού από τα διαγράμματα διασποράς (scatter plots) 3 ημερομηνιών δεν υπολογίστηκαν σωστά. Οι ευθείες σε φυσιολογικές συνθήκες δεν τέμνονται στη περιοχή που υπάρχουν δεδομένα, έχουν όμως κλίση τέτοια ώστε κάποια στιγμή αργότερα να συναντηθούν.

Οι ημερομηνίες στις οποίες παρατηρήθηκε το σφάλμα αυτό είναι στις 28 Αυγούστου 2000, στις 12 Ιουλίου 2001 και στις 9 Μαΐου 2002, με τις ημερομηνίες σε Ιουλιανή ημέρα, όπως καταγράφονται στα παρακάτω διαγράμματα, να είναι 2000241 (Διάγραμμα 3.3), 2001193 (Διάγραμμα 3.4) και 2002129 (Διάγραμμα 3.5) αντίστοιχα. Κατά συνέπεια από τις ακραίες και όχι ορθές ευθείες, προέκυψε εσφαλμένος ο VTCI, ο οποίος υπολογίστηκε από τις μεταβλητές αυτών των ευθειών του θερμού και του ψυχρού. Οι τιμές του VTCI των ημερών αυτών υπολογίστηκαν με υπερβολικά μεγάλη μέγιστη τιμή, η οποία δεν είναι φυσιολογική.

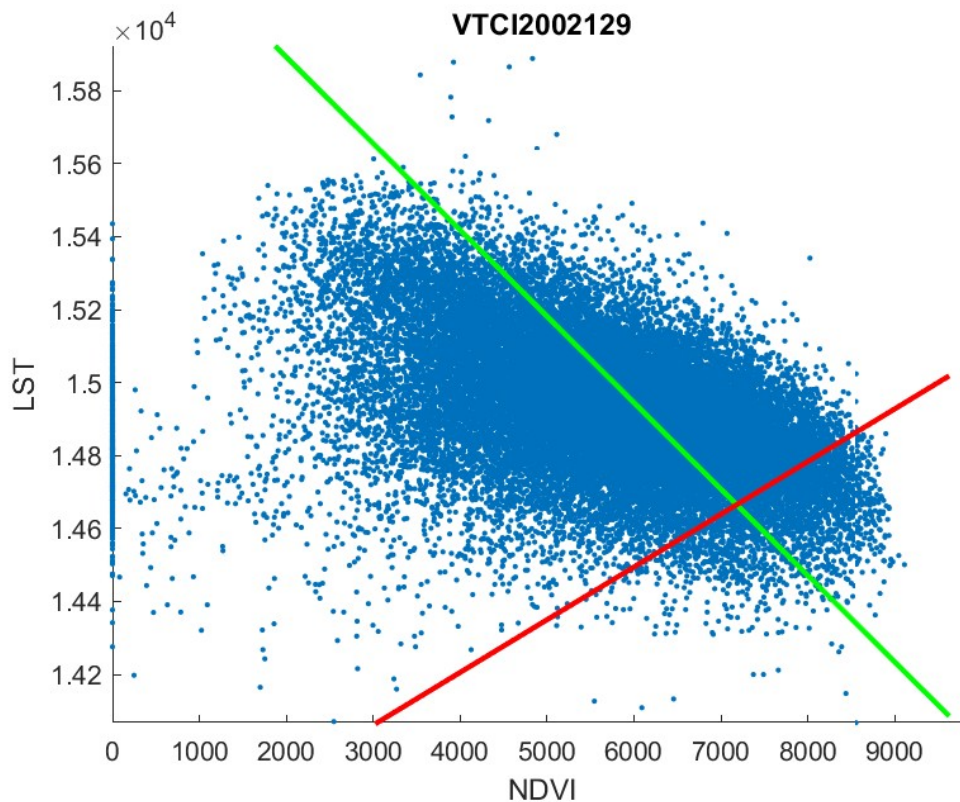
Το γεγονός αυτό, τεχνικά, αποτελεί θέμα προς επιπλέον ανάλυση καθώς τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του VTCI, δηλαδή η LST και ο NDVI έχουν φυσιολογικά εύρη τιμών και ο κώδικας από τον οποίο εξήχθησαν τα αποτελέσματα για τις υπόλοιπες ημερομηνίες, οι οποίες είχαν σωστά αποτελέσματα, είναι κοινός. Και στις τρεις περιπτώσεις το διάγραμμα διασποράς των τιμών των LST και NDVI είναι φυσιολογικό, με προβληματικές να εμφανίζονται μόνο οι ευθείες. Παρόλα αυτά, οι μεταβλητές των συγκεκριμένων ευθειών δεν εμφανίζουν μεγάλες διαφορές συγκριτικά με τις άλλες (Παράρτημα), όπως και οι ελάχιστοι και μέγιστοι συντελεστές προσδιορισμού ή R^2 του VTCI (Παράρτημα).



Διάγραμμα 3.3: Διάγραμμα διασποράς του LST και του NDVI, καθώς και την ευθεία του θερμού (πράσινη) και ψυχρού (κόκκινη) για 28/08/2000.



Διάγραμμα 3.4: Διάγραμμα διασποράς του LST και του NDVI, καθώς και την ευθεία του θερμού (πράσινη) και ψυχρού (κόκκινη) για 12/07/2001.



Διάγραμμα 3.5: Διάγραμμα διασποράς του LST και του NDVI, καθώς και την ευθεία του θερμού (πράσινη) και ψυχρού (κόκκινη) για 09/05/2002.

3.2 Συμπεράσματα

Από τις χρονοσειρές των δεδομένων σε συνάρτηση με τις κατηγορίες εδαφοκάλυψης, προκύπτει πως υπάρχει μία τάση, η υγρασία του εδάφους να μειώνεται. Η μεγαλύτερη μείωση σημειώνεται στις καλλιεργητικές εκτάσεις, τις μόνιμες και ετερογενείς καλλιέργειες, τα φυλλοβόλα, τα κωνοφόρα και τα μεικτά δάση. Ενώ μικρότερη μείωση της εδαφικής υγρασίας επικρατεί στα λιβάδια, τους βοσκότοπους, τις εκτάσεις με μούρα, σκληροφυλλώδη βλάστηση, στις μεταβατικές δασικές εκτάσεις και στις περιοχές με αραιή βλάστηση.

Η εποχικότητα είναι σημαντικός παράγοντας του φαινομένου. Στο Μεσογειακό κλίμα οι ξηρασίες είναι φυσικό φαινόμενο κατά τους θερινούς μήνες. Πρόβλημα όμως δημιουργείται όταν η ξηρασία αυτή είναι εκτενέστερη και εντονότερη, και ως αποτέλεσμα της είναι οι σοβαρές επιπτώσεις στις καλλιέργειες και στην ζωή αρκετών ειδών στον πλανήτη. Κατά τους Φθινοπωρινούς και Χειμερινούς μήνες, σημαντικά τμήματα της χώρας δέχονται μεγάλο όγκο κατακρημνισμάτων και σημειώνουν τις περισσότερες φυσιολογικές ή υγρές συνθήκες εδαφικής υγρασίας σε ένα ημερολογιακό έτος.

Παρόλα αυτά, τα τελευταία έτη οι Χειμερινοί μήνες που συνήθιζαν να είναι αρκετά υγροί και φυσιολογικοί ως προς την υγρασία του εδάφους, σημειώνουν μείωση αυτής, τείνοντας σε πιο ξηρούς χειμώνες. Συνεπώς, το μεγαλύτερο τμήμα της Ελλάδας είναι ολοένα και περισσότερο εκτεθειμένο σε ξηρές συνθήκες, μέτριας και κυρίως σοβαρής ξηρασίας.

Παράλληλα, από τη χωροχρονική κατανομή της ξηρασίας, το φαινόμενο εκτείνεται στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας. Η σοβαρότητα της ξηρασίας σχετίζεται με το ανάγλυφο και τις κλιματικές συνθήκες.

Οι περιοχές οι οποίες κατατάσσονται με σοβαρή και μέτρια ξηρασία σε όλα τα έτη που μελετήθηκαν είναι περιοχές με χαμηλό υψόμετρο σε όλη την επικράτεια της χώρας, όλο το Νότιο και Ανατολικό τμήμα της χώρας, τα νησιά όλου του Αιγαίου, εκτός από την Κρήτη και οι μεγάλες καλλιεργητικές εκτάσεις της χώρας, όπως αυτή της ευρύτερης περιοχής του Θεσσαλικού κάμπου και του κάμπου της Θεσσαλονίκης. Ειδικότερα από το 2018 στις περισσότερες ημέρες κυριαρχεί σε μεγαλύτερο βαθμό οι κατηγορίες της σοβαρής και μέτριας ξηρασίας σε ολόκληρη την χώρα, παρατηρώντας κάποιες περιοχές να είναι σχεδόν μονίμως σε αυτή τη κατάσταση. Στις περιοχές αυτές ανήκουν αρκετά νησιά του Αιγαίου, η Εύβοια, η Νότια και Δυτική Πελοπόννησος, ο Θεσσαλικός κάμπος και η ευρύτερη περιοχή του Κιλκίς.

Αντίστοιχα, οι περιοχές οι οποίες κατατάσσονται σε περιοχές με φυσιολογικές τιμές υγρασίας του εδάφους και με ήπια ξηρασία είναι οι μεγάλες οροσειρές της Ελλάδας και οι γύρω περιοχές τους με μεγάλα επίσης υψόμετρα, όλα τα νησιά του Ιονίου και οι περιοχές γύρω από τα ψηλά βουνά της Κρήτης, ακόμα και σε κάποια μεγάλα νησιά του Αιγαίου με μεγάλα υψόμετρα. Οι φυσιολογικές ή υγρές περιοχές εξαρτώνται και αυτές από το ανάγλυφο, δηλαδή το υψόμετρο και τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στις εκάστοτε περιοχές.

Σχετικά με τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην πτυχιακή εργασία, εξήχθησαν σε ικανοποιητικό βαθμό δεδομένα για την κατάσταση της υγρασίας του εδάφους της Ελλάδας, της ξηρασίας και τις τάσεις των τύπων εδαφοκάλυψης ως προς το φαινόμενο. Η ανάλυση έγινε σε μεγάλη χρονική περίοδο 19 ετών, από δεδομένα του 2000 έως το 2020.

3.3 Προτάσεις για μελλοντικές έρευνες

Τα δεδομένα και οι δείκτες για την ανάλυση της ξηρασίας στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία ήταν επαρκή για να δώσουν μία εικόνα της τάσης της βλάστησης και της υγρασίας του εδάφους στην Ελλάδα από το 2000 έως το 2020. Παρόλα αυτά, ο συνδυασμός τους με βροχομετρικά δεδομένα, θα έδινε περισσότερα αποτελέσματα σχετικά με τα κατακρημνίσματα και την εμφάνιση του φαινομένου, σημαντικά θα ήταν και δεδομένα στάθμης και περισσότερων πληροφοριών για τα υπόγεια ύδατα, φυσικά σε περιοχές που υπάρχει λόγος ανάλυσης της ξηρασίας του εδάφους. Μπορεί ποσοτικά να μην υπάρχει για παράδειγμα διαφορά του ύψους βροχής που πέφτει σε μία περιοχή, όμως μπορεί να είναι αρκετά πιο έντονη αυτή με αποτέλεσμα το έδαφος να μην απορροφά αρκετή ποσότητα υδάτων και η στάθμη των υπόγειων υδάτων συνεχώς να μειώνεται. Ιδανικά, ίσως να ήταν χρήσιμες κάποιες μετρήσεις της υγρασίας του εδάφους, για την εξέταση της μεγαλύτερης ακρίβειας των δεικτών στα συγκεκριμένα εδάφη.

Στη παρούσα εργασία, η ανάλυση πραγματοποιήθηκε θεωρώντας πως από το 2000 έως το 2020 δεν υπήρξαν μεταβολές των κατηγοριών της εδαφοκάλυψης. Το γεγονός αυτό αποτελεί μία από τις αδυναμίες της εργασίας, καθώς συχνά συμβαίνουν μεταβολές της κάλυψης του εδάφους. Παραδείγματα τέτοιων μεταβολών μπορεί να πραγματοποιηθούν με κάποια πυρκαγιά σε κάποιο δάσος, με αποψίλωση δασών και με δεντροφυτεύσεις. Εύστοχο θα ήταν λοιπόν, να συνυπολογίζεται και η μεταβολή της εδαφοκάλυψης, μαζί με την ανάλυση των δεικτών βλάστησης, της θερμοκρασίας και της υγρασίας του εδάφους, ώστε οι τιμές των δεδομένων που εκπροσωπούν τη κάθε κατηγορία να είναι για κάθε χρονική στιγμή.

Αν και ο συνδυασμός των δεικτών βλάστησης και της θερμοκρασίας της επιφάνειας της Γης, που χρησιμοποιήθηκαν είναι αρκετά ακριβής σχετικά με την ανάλυση και τη ποσοτικοποίηση του φαινομένου της ξηρασίας, η χρήση περισσότερων δεικτών, θα εξέταζε τις μικροδιαφορές που ενδεχομένως να παρουσίαζαν τα αποτελέσματα μέσα στο χρόνο, αλλά και χωριστά για κάθε κατηγορία εδαφοκάλυψης.

Τέλος, προτείνεται η πρόβλεψη του κινδύνου της ξηρασίας στη χώρα, μέσω της δημιουργίας, εκμάθησης και χρήσης νευρωνικών δικτύων για την αποτελεσματική και στοχευμένη αξιολόγηση του φαινομένου. Από τα αποτελέσματα, η πρόληψη του Ελληνικού πληθυσμού ως προς τη καθημερινή χρήση για παράδειγμα του νερού και του τρόπου ζωής, αλλά κυρίως των καλλιεργειών ως προς το είδος, τις ανάγκες καθώς και τους τρόπους άρδευσης, θα είναι σίγουρα προσομοιωμένες στο καλύτερο δυνατό για την αδρανοποίηση του φαινομένου και για όσο το δυνατόν μικρότερες ζωτικές και οικονομικές επιπτώσεις που μπορεί να έχει.

4 Βιβλιογραφικές Αναφορές

Ξένη Βιβλιογραφία

Asadi Zarch, M. A., Sivakumar, B. and Sharma, A. (2015) 'Droughts in a warming climate: A global assessment of Standardized precipitation index (SPI) and Reconnaissance drought index (RDI)', *Journal of Hydrology*, 526, pp. 183–195. doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.09.071.

Baba, K., Bahi, L. and Ouadif, L. (2014) 'Enhancing geophysical signals through the use of Savitzky-Golay filtering method', *Geofisica Internacional*, 53(4), pp. 399–409. doi: 10.1016/S0016-7169(14)70074-1.

Chakroun, H. (2017) 'Quality Assessment of MODIS Time Series Images and the Effect on Drought Monitoring', *Open Journal of Applied Sciences*, 07(07), pp. 365–383. doi: 10.4236/ojapps.2017.77029.

Chen, J. *et al.* (2004) 'A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky-Golay filter', *Remote Sensing of Environment*, 91(3–4), pp. 332–344. doi: 10.1016/j.rse.2004.03.014.

- Chen, P.-Y. *et al.* (2006) 'Assesment of MODIS-EVI, MODIS-NDVI, and VEGETATION-NDVI composite data using agricultural measurments: an example at corn fields in Western Mexico', *Environmental Monitoring and Assessment*, 119, pp. 69–82. doi: 10.1007/s10661-005-9006-7.
- Damavandi, A. A. *et al.* (2016) 'ASSESSMENT OF DROUGHT SEVERITY USING VEGETATION TEMPERATURE CONDITION INDEX _VTCI_ AND TERRAMODIS SATELLITE DATA IN RANGELANDS OF MARKAZI PROVINCE_IRAN', 6(1), pp. 33–42.
- Deo, R. C. and Şahin, M. (2017) 'Forecasting long-term global solar radiation with an ANN algorithm coupled with satellite-derived (MODIS) land surface temperature (LST) for regional locations in Queensland', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, pp. 828–848. doi: 10.1016/j.rser.2017.01.114.
- Evrendilek, F. and Gulbeyaz, O. (2008) 'Deriving vegetation dynamics of natural terrestrial ecosystems from MODIS NDVI/EVI data over Turkey', *Sensors*, 8(9), pp. 5270–5302. doi: 10.3390/s8095270.
- Kim Oanh, N. T. *et al.* (2005) 'Meteorological pattern classification and application for forecasting air pollution episode potential in a mountain-valley area', *Atmospheric Environment*, 39(7), pp. 1211–1225. doi: 10.1016/j.atmosenv.2004.10.015.
- Kuenzer, C., Dech, S. and Wagner, W. (2017) *Remote Sensing and Digital Image Processing Remote Sensing Time Series*. Springer. Available at: <http://www.springer.com/series/6477>.
- Lund, M. *et al.* (2012) *Effects of drought conditions on the carbon dioxide dynamics in a temperate peatland*, *Environmental Research Letters*. Institute of Physics Publishing. Doi: 10.1088/1748-9326/7/4/045704.
- Luo, J., Ying, K. and Bai, J. (2005) 'Savitzky-Golay smoothing and differentiation filter for even number data', *Signal Processing*, 85(7), pp. 1429–1434. doi: 10.1016/j.sigpro.2005.02.002.
- Matsushita, B. *et al.* (2007) 'Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-Density Cypress Forest', *Sensors*, 7, pp. 2636–2651. Available at: www.mdpi.org/sensors.
- Mlenga, D. H., Jordaan, A. J. and Mandebvu, B. (2019) 'Integrating standard precipitation index and normalised difference vegetation index for near-real-time drought monitoring in Eswatini', *Jamba: Journal of Disaster Risk Studies*, 11(1). doi: 10.4102/JAMBA.V11I1.917.
- Nabizadeh Balkhkanloo, A., Hejazi Zadeh, Z. and Ziaeiian Firousabadi, P. (2018) 'Assessment of Vegetation Temperature Status (VTCI) for monitoring drought in the watershed of Lake Urmia by using MODIS satellite imagery', *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 18(50), pp. 129–139. doi: 10.29252/jgs.18.50.129.
- Ozturk, T. *et al.* (2015) 'Projections of climate change in the Mediterranean Basin by using downscaled global climate model outputs', *International Journal of Climatology*, 35(14), pp. 4276–4292. doi: 10.1002/joc.4285.

- Palmer, S. C. J. *et al.* (2015) 'Satellite remote sensing of phytoplankton phenology in Lake Balaton using 10years of MERIS observations', *Remote Sensing of Environment*, 158, pp. 441–452. doi: 10.1016/j.rse.2014.11.021.
- Pan, Z., Hu, Y. and Cao, B. (2017) 'Construction of smooth daily remote sensing time series data: a higher spatiotemporal resolution perspective', *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 2(1). doi: 10.1186/s40965-017-0038-z.
- Parece, T. and Campbell, J. (2018) 'Intra-Urban Microclimate Effects on Phenology', *Urban Science*, 2(1), p. 26. doi: 10.3390/urbansci2010026
- Patel, N. R. *et al.* (2012) 'Analysis of agricultural drought using vegetation temperature condition index (VTCI) from Terra/MODIS satellite data', *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(12), pp. 7153–7163. doi: 10.1007/s10661-011-2487-7.
- Petropoulos, G. P., Ireland, G. and Barrett, B. (2015) 'Surface soil moisture retrievals from remote sensing: Current status, products & future trends', *Physics and Chemistry of the Earth*, 83–84, pp. 36–56. doi: 10.1016/j.pce.2015.02.009.
- Rahimi, M. and Reza Yazdani, M. (no date) *Assessment of Drought Severity Using Vegetation Temperature Condition Index (VTCI) and Terra/MODIS Satellite Data in Rangelands of Markazi Province, Iran*. Available at: www.rangeland.ir/Ramsis B.
- Salama (2011) 'Remote Sensing of Soils and Plants Imagery', in *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer Netherlands, pp. 941–942. doi: 10.1007/978-90-481-3585-1.
- Roy, G. (2020) 'An optimal Savitzky–Golay derivative filter with geophysical applications: an example of self-potential data', *Geophysical Prospecting*, 68(3), pp. 1041–1056. doi: 10.1111/1365-2478.12892.
- Solanky, V., Singh, S. and Katiyar, S. K. (2018) 'Land Surface Temperature Estimation Using Remote Sensing Data', in, pp. 343–351. doi: 10.1007/978-981-10-5801-1_24.
- Stanimirova, R. *et al.* (2019) 'An empirical assessment of the MODIS land cover dynamics and TIMESAT land surface phenology algorithms', *Remote Sensing*, 11(19). doi: 10.3390/rs11192201.
- Tan, B. *et al.* (2011) 'An Enhanced TIMESAT Algorithm for Estimating Vegetation Phenology Metrics From MODIS Data', *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 4(2), pp. 361–371. doi: 10.1109/JSTARS.2010.2075916.
- Wang, P. *et al.* (2001) 'Vegetation temperature condition index and its application for drought monitoring', in *IGARSS 2001. Scanning the Present and Resolving the Future. Proceedings. IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Cat. No.01CH37217)*, pp. 141–143 vol.1. doi: 10.1109/IGARSS.2001.976083.
- Winkler, K., Gessner, U. and Hochschild, V. (2017) 'Identifying droughts affecting agriculture in Africa based on remote sensing time series between 2000-2016: Rainfall anomalies and vegetation condition in the context of ENSO', *Remote Sensing*, 9(8). doi: 10.3390/rs9080831

Ελληνική Βιβλιογραφία

G. Tyler Miller (2004) Περιβαλλοντικές επιστήμες, εκδόσεις Ίων

Richard T. Wright, Dorothy F. Boorse (2013) Περιβαλλοντική επιστήμη - προς ένα βιώσιμο μέλλον, 11η έκδοση, Επιστημονικές Εκδόσεις Παρισιάνου Α.Ε

Αικατερίνη Χρονοπούλου - Σερέλη, Απόστολου Α. Φλόκας (2010) Μαθήματα γεωργικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, εκδόσεις Ζήτη

Αλεξιάδης Σ., Κοκκίδης Σ. και Σπανέλλης Λ. (2007) Τα Βασικά Χαρακτηριστικά του Ελληνικού Πρωτογενούς Τομέα

ΕΛΣΤΑΤ (2018) ΔΕΛΤΙΟ ΤΥΠΟΥ ΕΤΗΣΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: Έτος 2018.

Ιωάννης Κάτσιος, Ανδρέας Τσάτσαρης (2014) Διαλέξεις Θεματικής Χαρτογραφίας, εκδόσεις Δίσιγμα

Ιωάννης Ν. Χατζόπουλος (2012) Γεωχωροπληροφορική Τοπογραφία, εκδοσεις Τζιόλα

Κ. Βουδούρης (2017) Τεχνητή Υδρογεωλογία - Υπόγεια νερά, εκδόσεις Τζιόλα

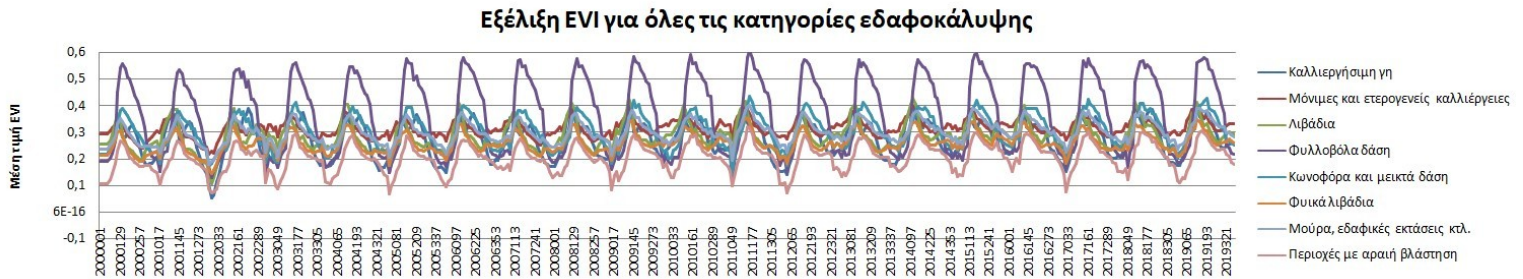
Κοσμάς Π. Παπαδόπουλος (2011) Γεωμορφολογία, εφαρμογή στις Γεωεπιστήμες, εκδόσεις Ίων

Κωνσταντίνος Καρτάλης, Χαράλαμπος Φειδάς (2013) Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης, εκδόσεις Τζιόλα

Στέλιος Π. Μέρτικας (2009) Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας, εκδόσεις Ίων

5 Παραρτήματα

Εξέλιξη του ENVI



Διάγραμμα 5.1: Εξέλιξη του ENVI για όλες τις κατηγορίες εδαφοκάλυψης.

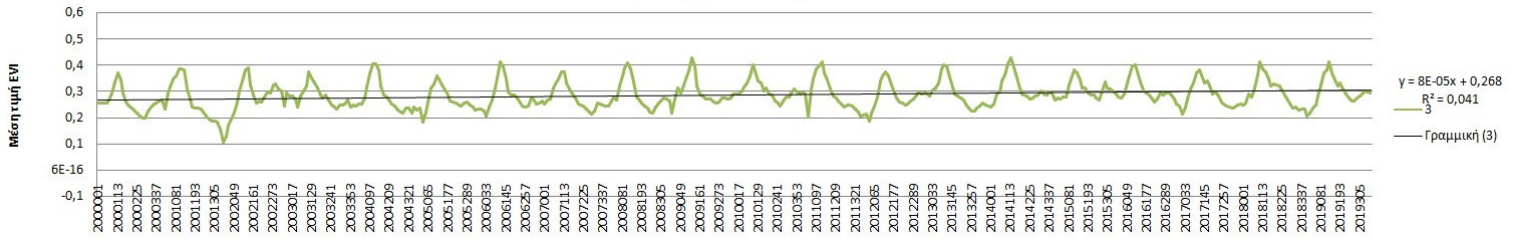


Διάγραμμα 5.2: Εξέλιξη του ENVI σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις.



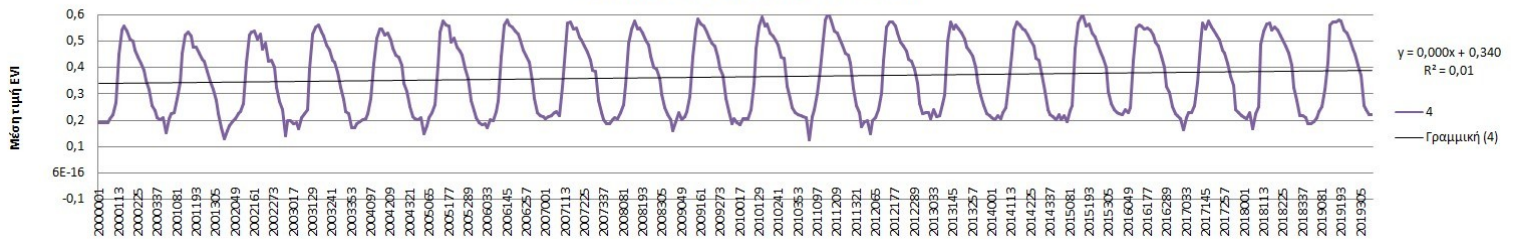
Διάγραμμα 5.3: Εξέλιξη του ENVI σε μόνιμες και ετερογενείς καλλιέργειες.

Εξέλιξη EVI σε λιβάδια



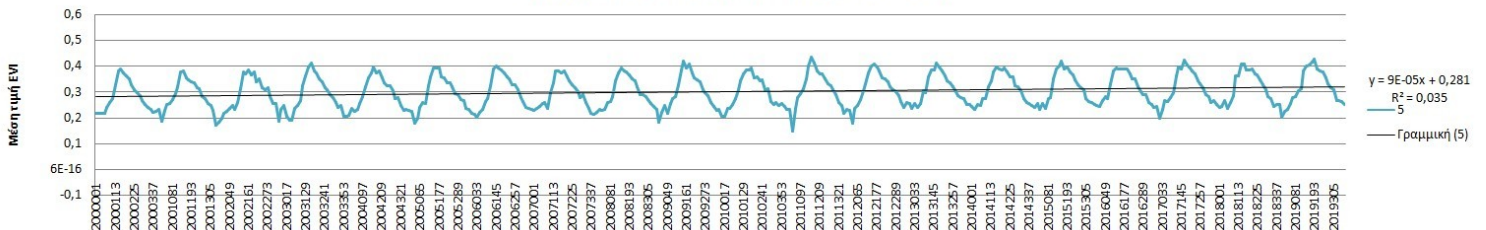
Διάγραμμα 5.4: Εξέλιξη του EVI σε λιβάδια.

Εξέλιξη EVI σε φυλλοβόλα δάση



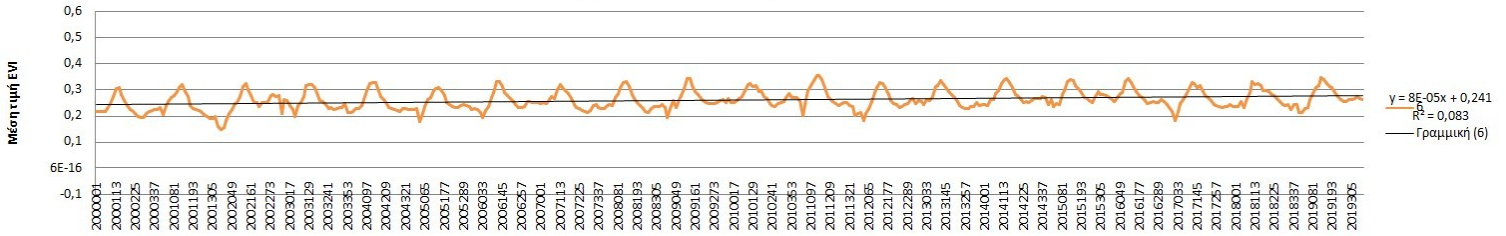
Διάγραμμα 5.5: Εξέλιξη του EVI σε φυλλοβόλα δάση.

Εξέλιξη EVI σε κωνοφόρα και μεικτά δάση



Διάγραμμα 5.6: Εξέλιξη του EVI σε κωνοφόρα και μεικτά δάση.

Εξέλιξη EVI σε φυσικά λιβάδια/ βοσκότοποι



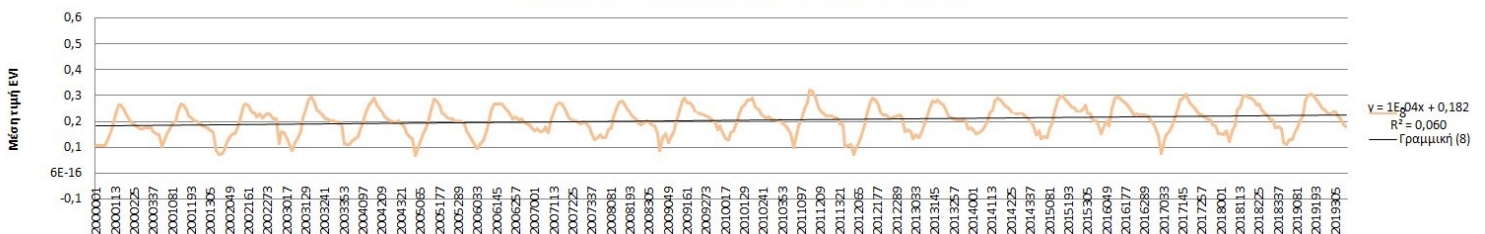
Διάγραμμα 5.7: Εξέλιξη του EVI σε φυσικά λιβάδια / βοσκότοποι.

Εξέλιξη EVI σε μούρα και εδαφικές εκτάσεις, σκληροφυλλώδη βλάστηση και μεταβατικές δασικές εκτάσεις



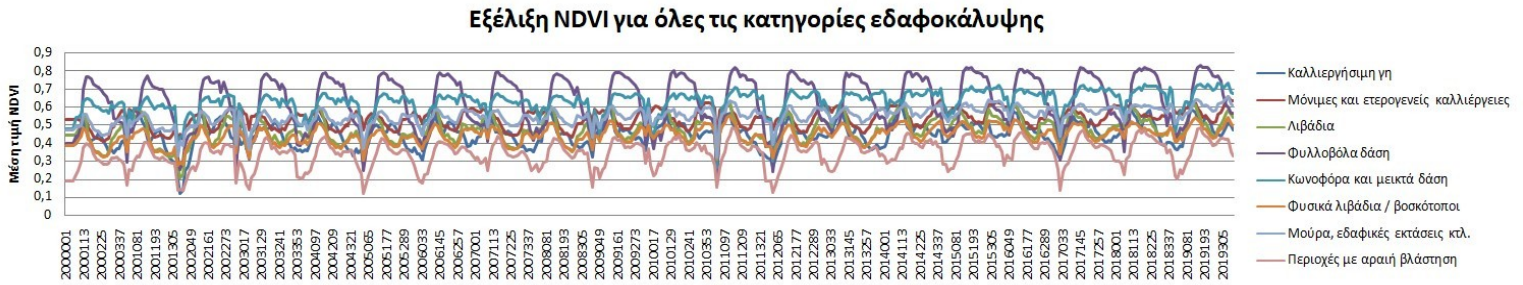
Διάγραμμα 5.8: Εξέλιξη του EVI σε μούρα και εδαφικές εκτάσεις, σκληροφυλλώδη βλάστηση και μεταβατικές δασικές εκτάσεις.

Εξέλιξη EVI σε περιοχές με αραιή βλάστηση

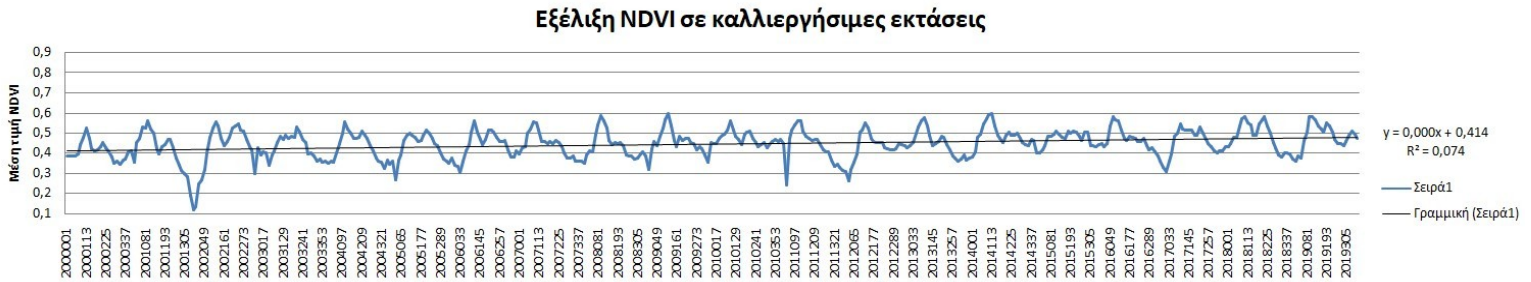


Διάγραμμα 5.9: Εξέλιξη του EVI σε περιοχές με αραιή βλάστηση.

Εξέλιξη του NDVI



Διάγραμμα 5.10: Εξέλιξη του NDVI για όλες τις κατηγορίες εδαφοκάλυψης.

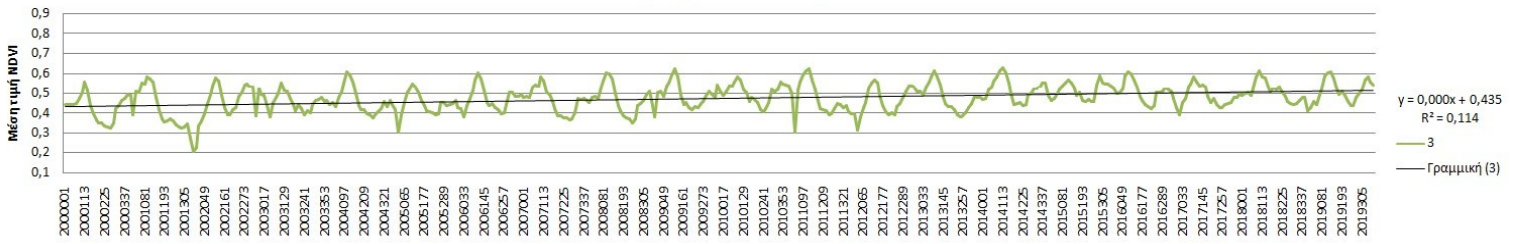


Διάγραμμα 5.11: Εξέλιξη του NDVI σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις.



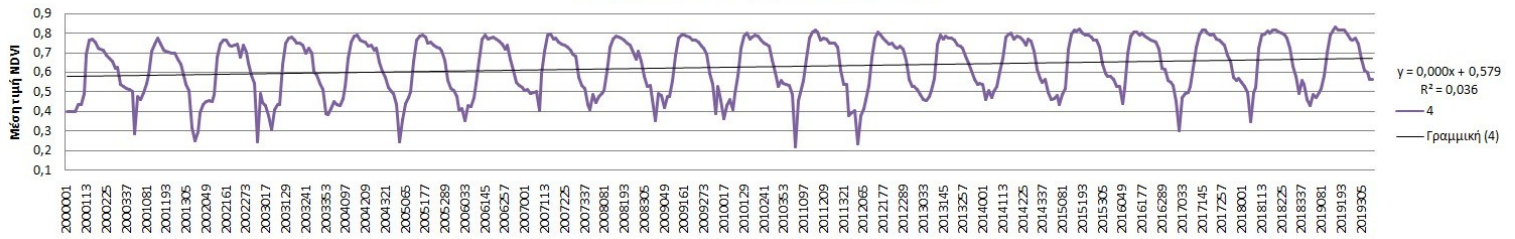
Διάγραμμα 5.12: Εξέλιξη του NDVI σε μόνιμες και ετερογενείς καλλιέργειες.

Εξέλιξη NDVI σε λιβάδια



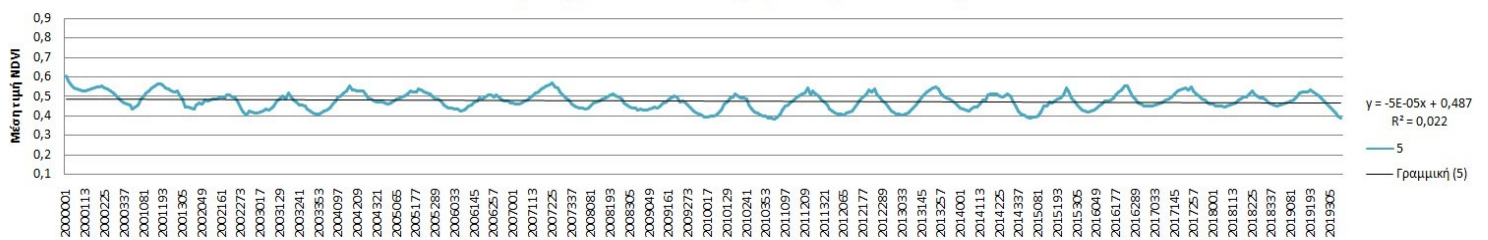
Διάγραμμα 5.13: Εξέλιξη του NDVI σε λιβάδια.

Εξέλιξη NDVI σε φυλλοβόλα δάση



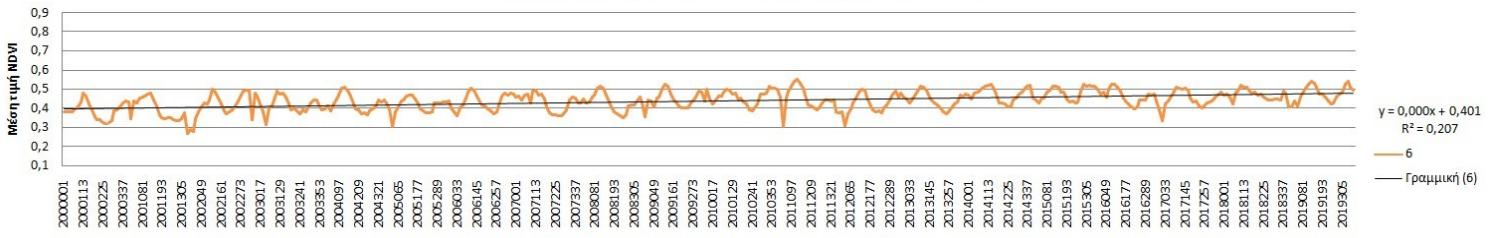
Διάγραμμα 5.14: Εξέλιξη του NDVI σε φυλλοβόλα δάση.

Εξέλιξη NDVI σε κωνοφόρα και μεικτά δάση



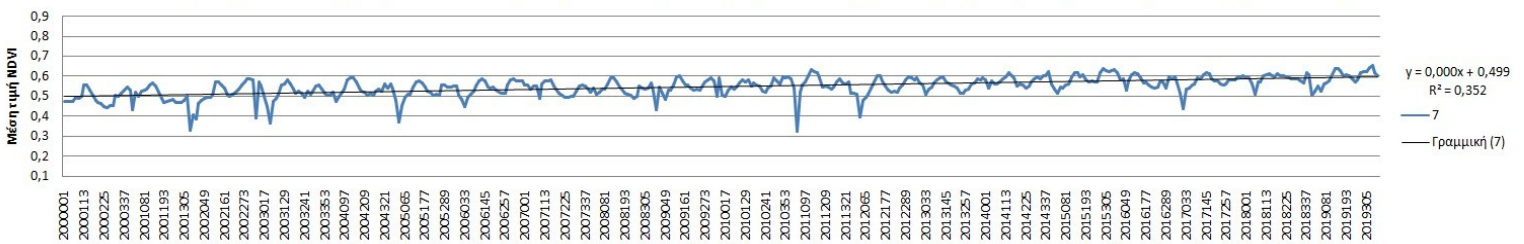
Διάγραμμα 5.15: Εξέλιξη του NDVI σε κωνοφόρα και μεικτά δάση.

Εξέλιξη NDVI σε φυσικά λιβάδια/ βοσκότοποι



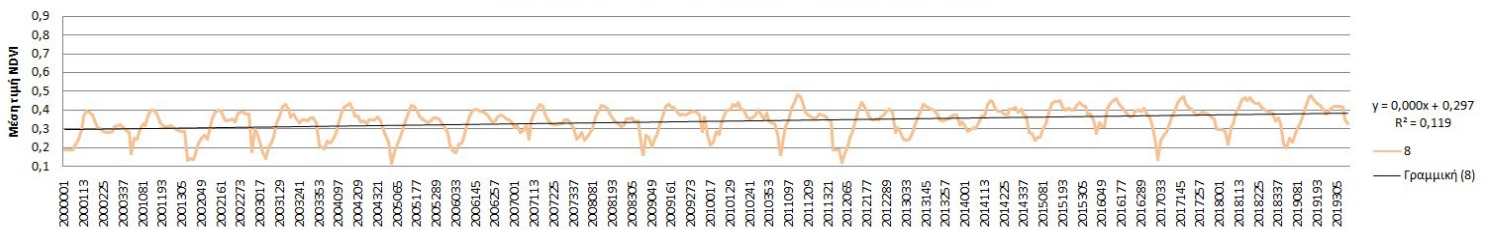
Διάγραμμα 5.16: Εξέλιξη του NDVI σε φυσικά λιβάδια / βοσκότοποι.

Εξέλιξη NDVI σε μούρα και εδαφικές εκτάσεις, σκληροφυλλώδη βλάστηση και μεταβατικές δασικές εκτάσεις



Διάγραμμα 5.17: Εξέλιξη του NDVI σε μούρα και εδαφικές εκτάσεις, σκληροφυλλώδη βλάστηση και μεταβατικές δασικές εκτάσεις.

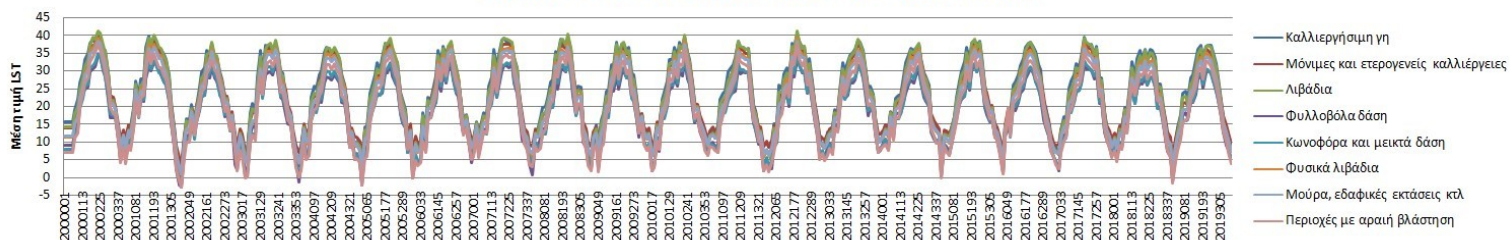
Εξέλιξη NDVI σε περιοχές με αραιή βλάστηση



Διάγραμμα 5.18: Εξέλιξη του NDVI σε περιοχές με αραιή βλάστηση.

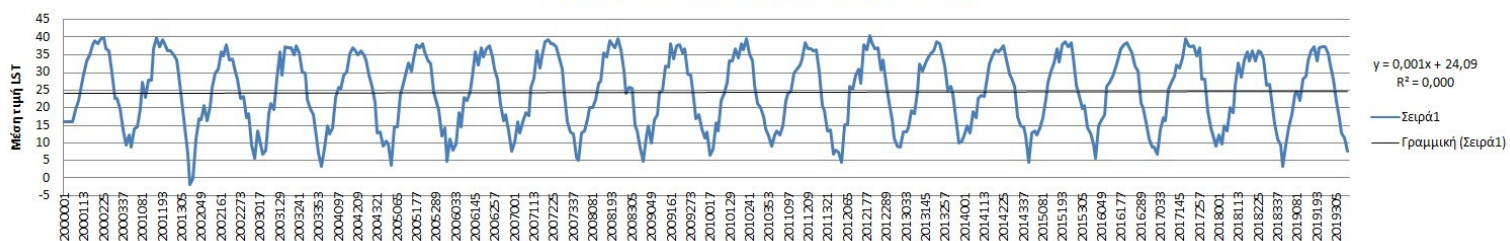
Εξέλιξη του LST

Εξέλιξη LST για όλες τις κατηγορίες εδαφοκάλυψης



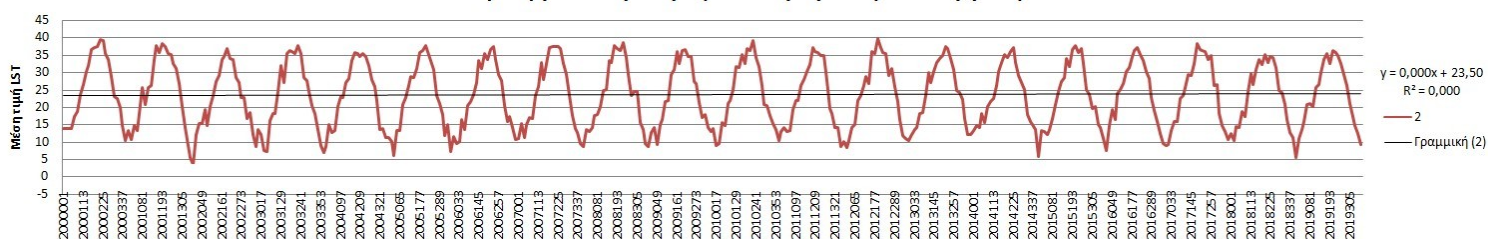
Διάγραμμα 5.19: Εξέλιξη του LST για όλες τις κατηγορίες εδαφοκάλυψης.

Εξέλιξη LST σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις



Διάγραμμα 5.20: Εξέλιξη του LST σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

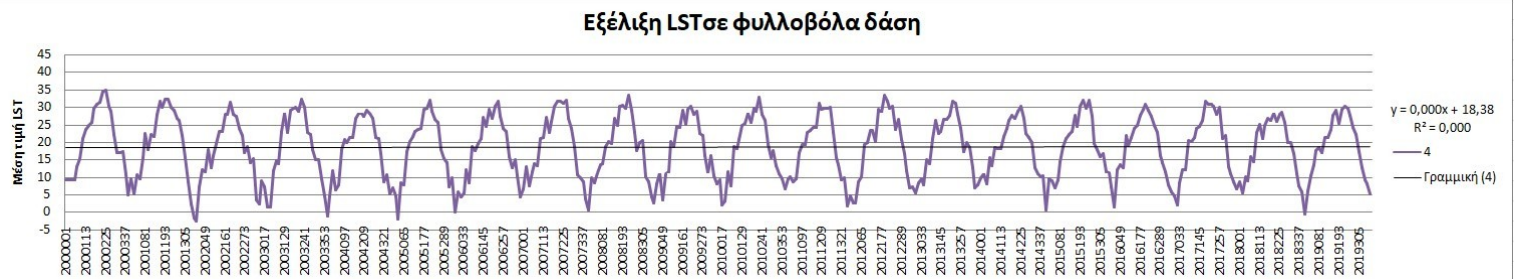
Εξέλιξη LST σε μόνιμες και ετερογενείς καλλιέργειες



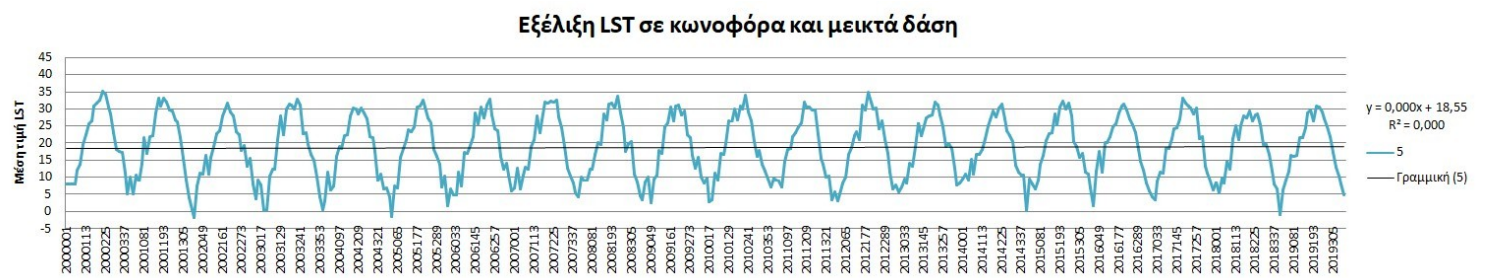
Διάγραμμα 5.21: Εξέλιξη του LST σε μόνιμες και ετερογενείς καλλιέργειες.



Διάγραμμα 5.22: Εξέλιξη του LST σε λιβάδια.

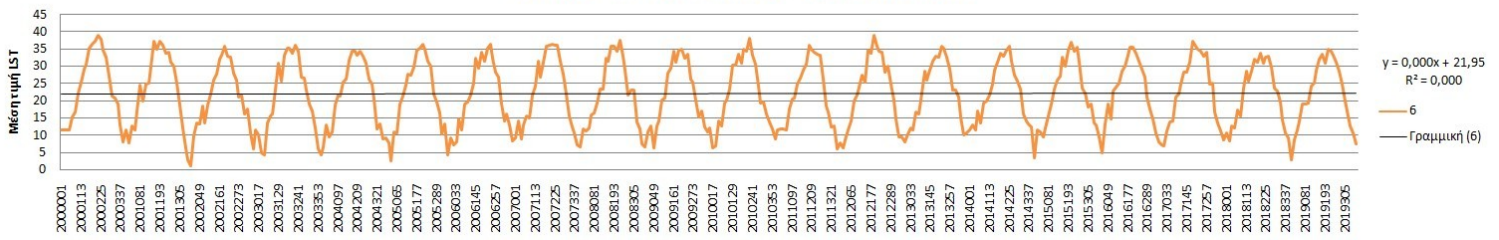


Διάγραμμα 5.23: Εξέλιξη του LST σε φυλλοβόλα δάση.



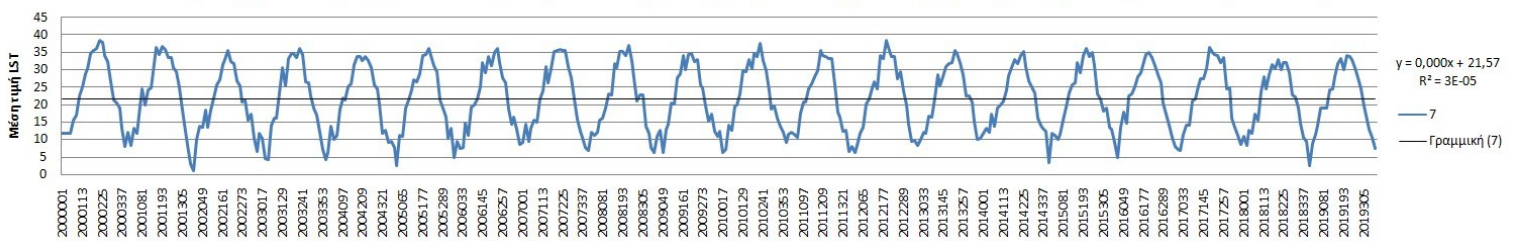
Διάγραμμα 5.24: Εξέλιξη του LST σε κωνοφόρα και μεικτά δάση.

Εξέλιξη LST σε φυσικά λιβάδια/ βοσκότοποι



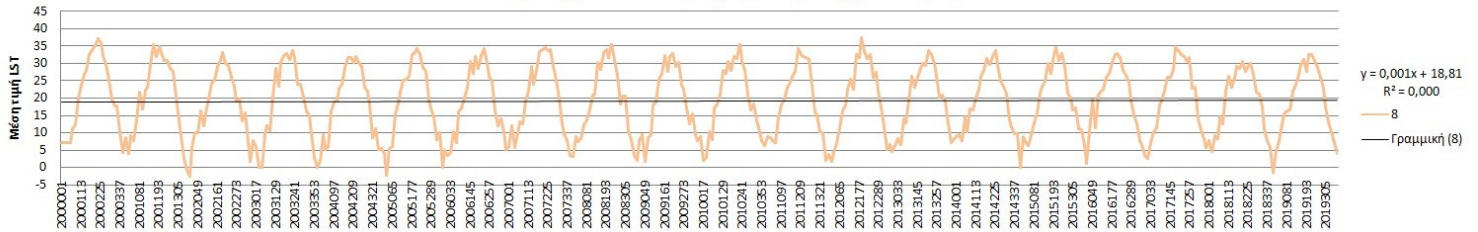
Διάγραμμα 5.25: Εξέλιξη του LST σε φυσικά λιβάδια / βοσκότοποι.

Εξέλιξη LST σε μούρα και εδαφικές εκτάσεις, σκληροφυλλώδη βλάστηση και μεταβατικές δασικές εκτάσεις



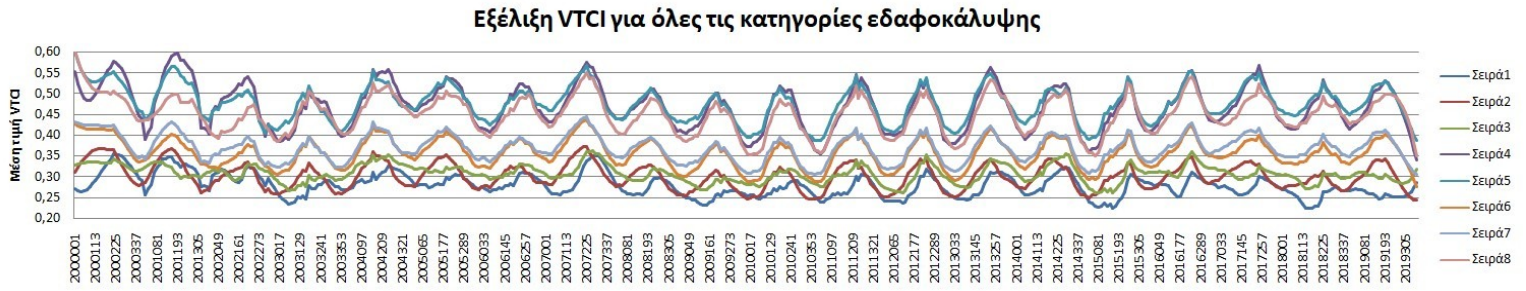
Διάγραμμα 5.26: Εξέλιξη του LST σε μούρα και εδαφικές εκτάσεις, σκληροφυλλώδη βλάστηση και μεταβατικές δασικές εκτάσεις.

Εξέλιξη LST σε περιοχές με αραιή βλάστηση



Διάγραμμα 5.27: Εξέλιξη του LST σε περιοχές με αραιή βλάστηση.

Εξέλιξη του VTCI



Διάγραμμα 5.28: Εξέλιξη του VTCI για όλες τις κατηγορίες εδαφοκάλυψης.

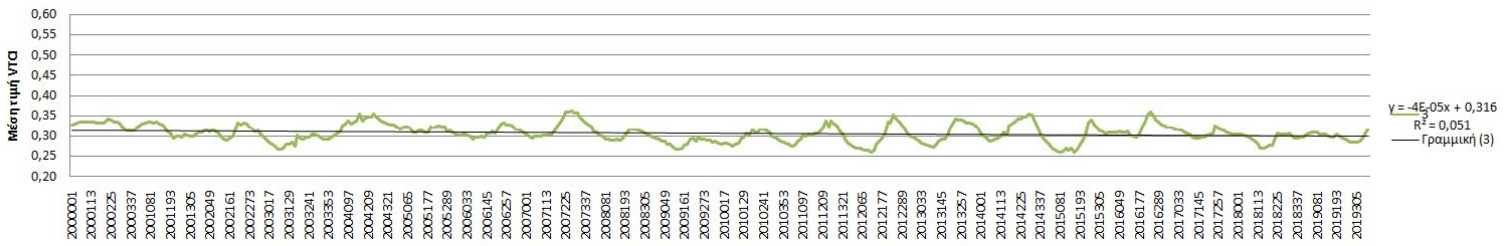


Διάγραμμα 5.29: Εξέλιξη του VTCI σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις.



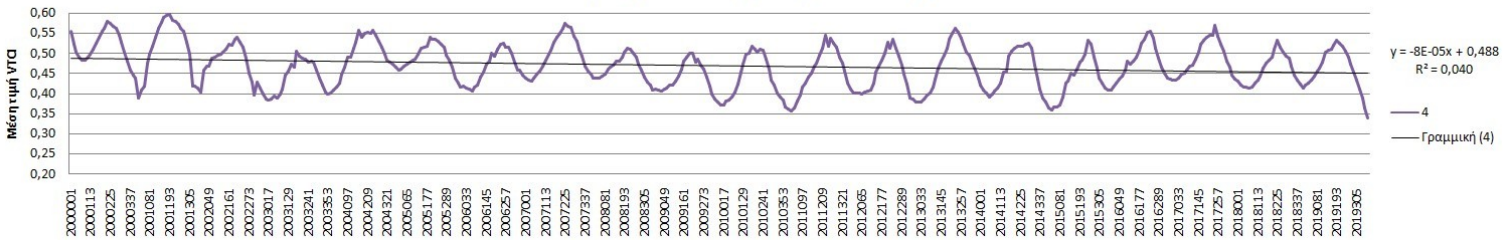
Διάγραμμα 5.30: Εξέλιξη του VTCI σε μόνιμες και ετερογενείς καλλιέργειες.

Εξέλιξη VTCI σε λιβάδια



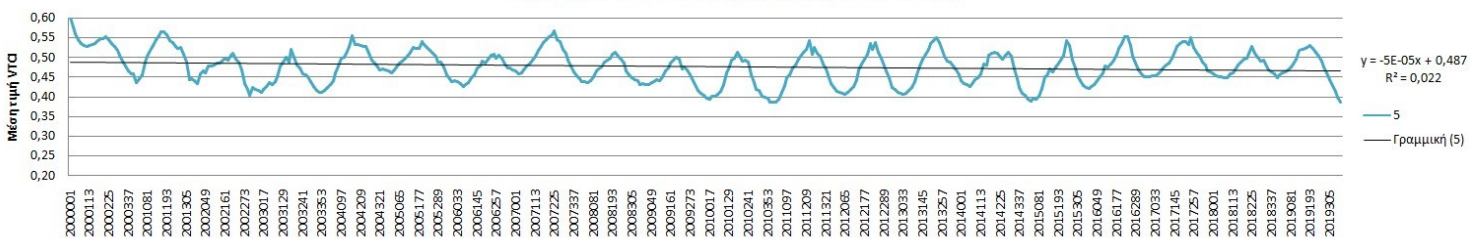
Διάγραμμα 5.31: Εξέλιξη του VTCI σε λιβάδια.

Εξέλιξη VTCI σε φυλλοβόλα δάση



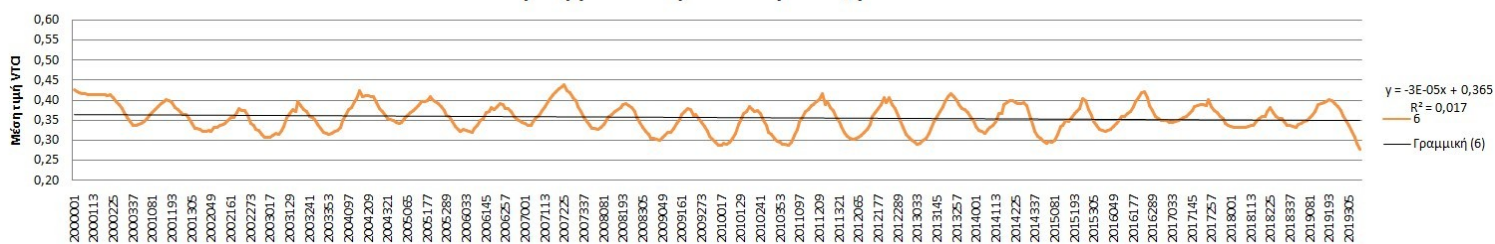
Διάγραμμα 5.32: Εξέλιξη του VTCI σε φυλλοβόλα δάση.

Εξέλιξη VTCI σε κωνοφόρα και μεικτά δάση



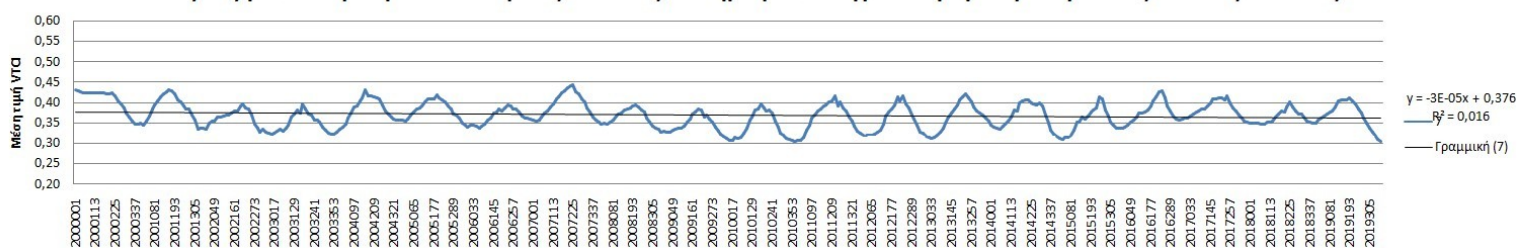
Διάγραμμα 5.33: Εξέλιξη του VTCI σε κωνοφόρα και μεικτά δάση.

Εξέλιξη VTCI σε φυσικά λιβάδια /βοσκότοποι



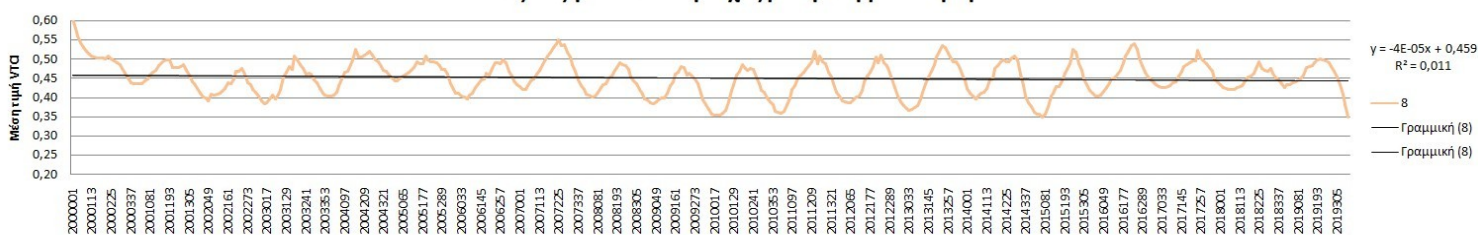
Διάγραμμα 5.34: Εξέλιξη του VTCI σε φυσικά λιβάδια / βοσκότοποι.

Εξέλιξη VTCI σε μούρα και εδαφικές εκτάσεις, σκληροφυλλώδη βλάστηση και μεταβατικές δασικές εκτάσεις



Διάγραμμα 5.35: Εξέλιξη του VTCI σε μούρα και εδαφικές εκτάσεις, σκληροφυλλώδη βλάστηση και μεταβατικές δασικές εκτάσεις.

Εξέλιξη VTCI σε περιοχές με αραιή βλάστηση

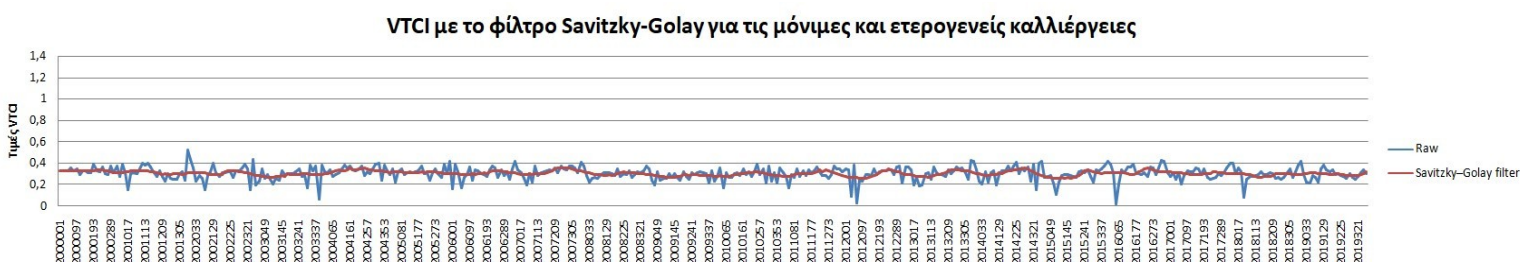


Διάγραμμα 5.36: Εξέλιξη του VTCI σε περιοχές με αραιή βλάστηση.

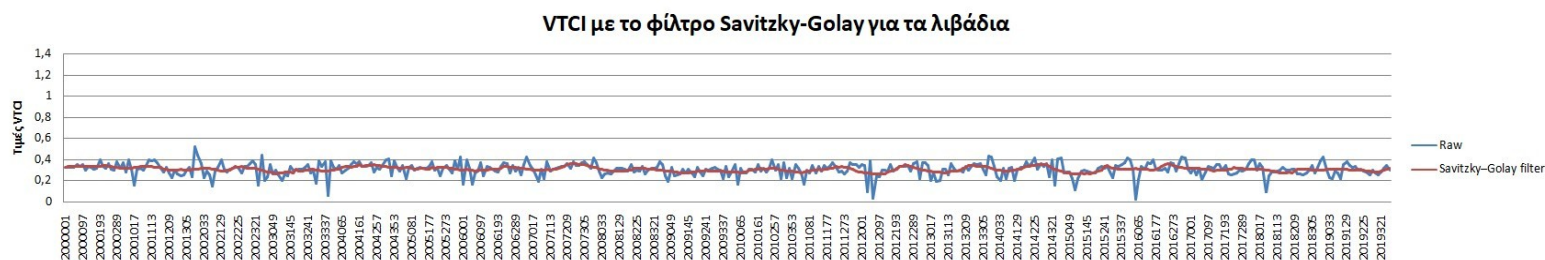
Χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay για τον δείκτη VTCl



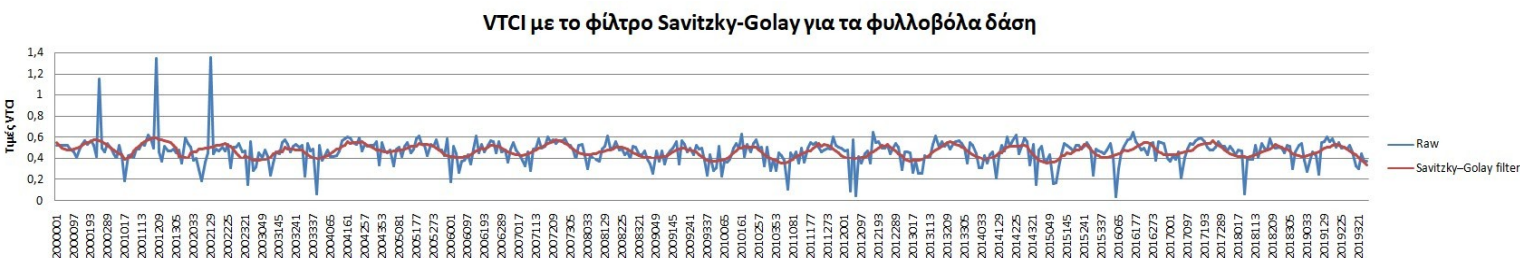
Διάγραμμα 5.37: VTCl με τη χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay για τη καλλιεργήσιμη γη.



Διάγραμμα 5.38: VTCl με τη χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay για τις μόνιμες και ετερογενείς καλλιέργειες.

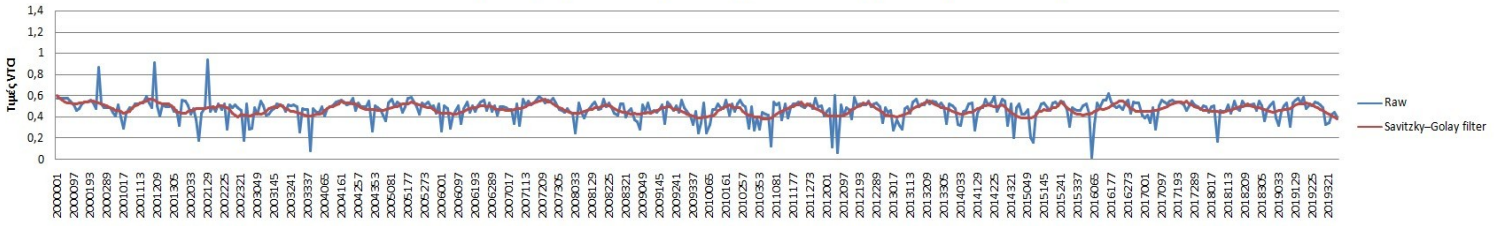


Διάγραμμα 5.39: VTCl με τη χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay για τα λιβάδια.



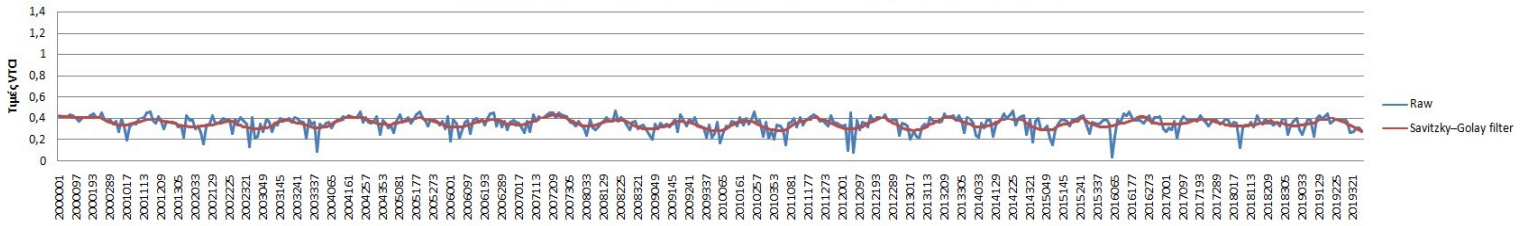
Διάγραμμα 5.40: VTCl με τη χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay για τα φυλλοβόλα δάση.

VTCI με το φίλτρο Savitzky-Golay για τα κωνοφόρα και μεικτά δάση



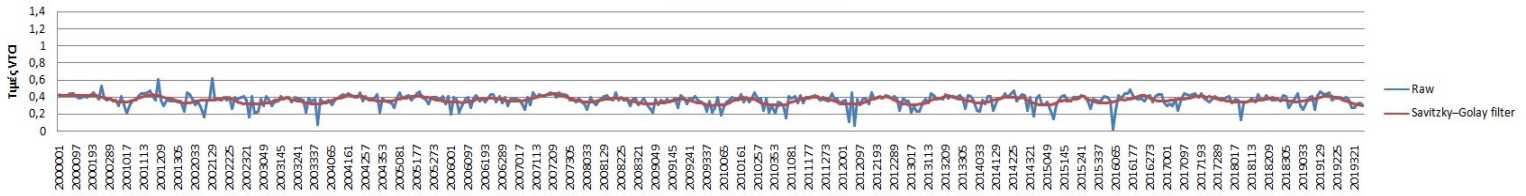
Διάγραμμα 5.41: VTCI με τη χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay για τα φυσικά λιβάδια / βοσκότοπους.

VTCI με φίλτρο Savitzky-Golay για τα φυσικά λιβάδια/βοσκότοποι



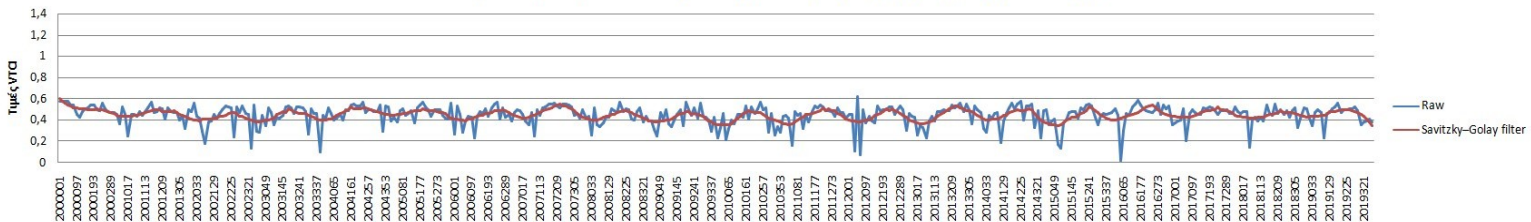
Διάγραμμα 5.42: VTCI με τη χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay για τα κωνοφόρα και μεικτά δάση.

VTCI με το φίλτρο Savitzky-Golay για τα μούρα και τις εδαφικές εκτάσεις, τη σκληροφυλλώδη βλάστηση και τις μεταβατικές δασικές εκτάσεις



Διάγραμμα 5.43: VTCI με τη χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay για τα μούρα και τις εδαφικές εκτάσεις, τη σκληροφυλλώδη βλάστηση και τις μεταβατικές δασικές εκτάσεις.

VTCI με το φίλτρο Savitzky-Golay για τις περιοχές με αραιή βλάστηση



Διάγραμμα 5.44: VTCI με τη χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay για τις περιοχές με αραιή βλάστηση.

Παραρτήματα στον εξωτερικό δίσκο αποθήκευσης

Πίνακες

Πίνακας δεδομένων -στοιχεία των MOD11A2 και MOD13A1 [data.xlsx](#)

Πίνακας κατηγοριοποίησης εδαφοκάλυψης από το CORINE 2000 [data.xlsx](#)

Πίνακας με τις ημερομηνίες των εικόνων/έτος [data.xlsx](#)

Πίνακας Polyfits Values - Scatter plot [VTCl_rsq_polyfits.xlsx](#)

Πίνακας RSQ (min,max) - Scatter plot [VTCl_rsq_polyfits.xlsx](#)

Πίνακας Μ.Ο. τιμών για τον EVI [ZonalS_Mean_all.xlsx](#)

Πίνακας Μ.Ο. τιμών για τον NDVI [ZonalS_Mean_all.xlsx](#)

Πίνακας Μ.Ο. τιμών για τον LST [ZonalS_Mean_all.xlsx](#)

Πίνακας Μ.Ο. τιμών για τον VTCl [ZonalS_Mean_all.xlsx](#)

Διαγράμματα

Διάγραμμα ροής

Scatter Plots (LST-NDVI) για τον υπολογισμό του VTCl

Διαγράμματα Μ.Ο. τιμών για τον EVI + Τάσεις [ZonalS_Mean_all.xlsx](#)

Διαγράμματα Μ.Ο. τιμών για τον NDVI + Τάσεις [ZonalS_Mean_all.xlsx](#)

Διαγράμματα Μ.Ο. τιμών για τον LST + Τάσεις [ZonalS_Mean_all.xlsx](#)

Διαγράμματα Μ.Ο. τιμών για τον VTCl + Τάσεις [ZonalS_Mean_all.xlsx](#)

Διάγραμμα Timesat – πηγη:manual

Χάρτες

Χάρτης περιοχής μελέτης

Χάρτης κατηγοριοποίησης εδαφοκάλυψης από CORINE 2000

Χάρτες του EVI

Χάρτες του NDVI

Χάρτες του LST

Χάρτες του VTCl

Χάρτες Start of season time του EVI

Χάρτες Start of season time του NDVI

Χάρτες Start of season time του LST

Χάρτες Start of season time του VTCl

Χάρτες Length of season time του EVI

Χάρτες Length of season time του NDVI

Χάρτες Length of season time του LST

Χάρτες Length of season time του VTCl

Χάρτες Time of middle season του EVI

Χάρτες Time of middle season του NDVI

Χάρτες Time of middle season του LST
Χάρτες Time of middle season του VTCI

Animations

EVI

NDVI

LST

VTCI

Start of season time του EVI

Start of season time του NDVI

Start of season time του LST

Start of season time του VTCI

Length of season time του EVI

Length of season time του NDVI

Length of season time του LST

Length of season time του VTCI

Time of middle season του EVI

Time of middle season του NDVI

Time of middle season του LST

Time of middle season του VTCI