



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

## Διπλωματική Εργασία

Ανάλυση χρονοσειράς θερμικών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων  
για τη μελέτη κλιματολογικών και βιοφυσικών μεταβολών σε  
δασική έκταση της Κύπρου

Βικτωρία Ε. Τσαλαπάτη

Επιβλέπουσα:

Βασιλεία Καραθανάση, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2021





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Ανάλυση χρονοσειράς θερμικών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων  
για τη μελέτη κλιματολογικών και βιοφυσικών μεταβολών σε  
δασική έκταση της Κύπρου

Βικτωρία Ε. Τσαλαπάτη

Επιβλέπουσα:

Βασιλεία Καραθανάση, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

Βασιλεία Καραθανάση Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.	Δημήτρης Αργιαλάς Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Πολυχρόνης Κολοκούσης Ε.ΔΙ.Π. Ε.Μ.Π.
--	---------------------------------------	---

Αθήνα, Μάρτιος 2021

.....  
Βικτωρία Ε. Τσαλαπάτη

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Κάθε γνήσιο αντίτυπο φέρει την υπογραφή του συγγραφέα.

Copyright © Βικτωρία Ε. Τσαλαπάτη, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια κ. Βασιλεία Καραθανάση της οποίας οι υποδείξεις τόσο κατά την επεξεργασία των δεδομένων όσο και κατά την σύνταξη του κειμένου αυτής της διπλωματικής εργασίας ήταν ιδιαίτερος χρήσιμες και βοηθητικές.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στα μέλη του εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης κ. Πολυχρόνη Κολοκούση, κ. Βικτωρία Κριστολλάρη και κ. Βασίλη Ανδρώνη των οποίων η βοήθεια σε ορισμένα καθοριστικά και κρίσιμα στάδια της επεξεργασίας των δεδομένων ήταν πολύτιμη και με τις επισημάνσεις τους συνέβαλαν στον εμπλουτισμό του κειμένου της εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ανώτερο Μετεωρολογικό Λειτουργό του Τομέα Κλιματολογίας και Εφαρμογών Μετεωρολογίας του Τμήματος Μετεωρολογίας Κύπρου κ. Παναγιώτη Μιχαήλ για την άμεση ανταπόκριση και συνεργασία του στην επιλογή των καταλληλότερων μετεωρολογικών δεδομένων για την εργασία.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου της οποίας η στήριξη καθ' όλη την διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας αποτέλεσε την κινητήριο δύναμη για να ανταπεξέλθω στις δυσκολίες και να συνεχίσω.



## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Abstract .....	2
Εισαγωγή.....	3
<b>Κεφάλαιο 1: Θεωρητικό υπόβαθρο.....</b>	<b>4</b>
1.1 Τηλεπισκόπηση στο Θερμικό Υπέρυθρο .....	4
1.2 Δείκτης βλάστησης NDVI.....	9
1.3 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην βλάστηση.....	10
1.4 Ανάλυση χρονοσειράς.....	12
1.4.1 Κύρια χαρακτηριστικά χρονοσειράς .....	12
1.4.2 Αποσύνθεση χρονοσειράς .....	15
1.4.3 Μεθοδολογία Box-Jenkins .....	18
1.5 Εξαγωγή δεδομένων από δορυφορικές εικόνες για εφαρμογή ανάλυσης χρονοσειρών ...	28
<b>Κεφάλαιο 2: Προγενέστερες μελέτες .....</b>	<b>30</b>
2.1 Βασικές πληροφορίες από τις μελέτες .....	30
2.1.1 Εργασία (Rajendran & Mani, 2015).....	30
2.1.2 Εργασία (Urişescu et al, 2017) .....	32
2.1.3 Εργασία (Macarof et al, 2018) .....	33
2.1.4 Εργασία (Du et al, 2014).....	34
2.1.5 Εργασία (Quan et al, 2016) .....	36
<b>Κεφάλαιο 3: Περιοχή Μελέτης.....</b>	<b>39</b>
3.1 Αναφορά στην Κύπρο και στο φυσικό περιβάλλον της οροσειράς του Τροόδους .....	39
3.2 Επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής στην Κύπρο .....	44
3.3 Το δάσος της Πάφου .....	45
<b>Κεφάλαιο 4: Δημιουργία και ανάλυση χρονοσειρών .....</b>	<b>57</b>
4.1 Συλλογή δεδομένων .....	57
4.1.1 Δορυφορικά δεδομένα Landsat 5 και 8 .....	57
4.1.2 Επιπρόσθετα δεδομένα.....	60
4.2 Επεξεργασία τηλεπισκοπικών δεδομένων.....	62

4.2.1 Μασκάρισμα σύννεφων.....	62
4.2.2 Υπολογισμός θερμοκρασίας εδάφους .....	65
4.2.3 Ομαδοποίηση των δεδομένων θερμοκρασίας εδάφους και δεικτών NDVI.....	68
4.3 Εφαρμογή ανάλυσης χρονοσειρών της εργασίας.....	72
4.3.1 Ανάλυση χρονοσειρών ανά μήνα .....	73
4.3.2 Διαμόρφωση των δεδομένων των χρονοσειρών.....	82
4.3.3 Ανάλυση χρονοσειρών ανά υψόμετρο και προσανατολισμό .....	91
4.3.4 Εφαρμογή αποσύνθεσης χρονοσειρών .....	114
4.3.5 Εφαρμογή μεθοδολογίας Box-Jenkins .....	115
<b>Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα.....</b>	<b>120</b>
5.1 Τάση και εποχικότητα θερμοκρασιών και NDVI.....	120
5.2 Συσχετίσεις χρονοσειρών .....	128
5.3 Προβλέψεις.....	131
<b>Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα.....</b>	<b>136</b>
<b>Πηγές .....</b>	<b>140</b>
<b>Παράρτημα 1.....</b>	<b>144</b>
<b>Παράρτημα 2.....</b>	<b>150</b>
<b>Παράρτημα 3.....</b>	<b>163</b>
Διαγράμματα .....	163
Εικόνες .....	170
Πίνακες.....	171



## Περίληψη

Στην εργασία αυτή αξιοποιήθηκαν δεδομένα από 125 εικόνες του Landsat 5 και 60 εικόνες του Landsat 8. Η περιοχή μελέτης ήταν το δάσος της Πάφου στην Κύπρο και αυτές οι εικόνες πάρθηκαν κατά την χρονική περίοδο 1992–2018 προκειμένου να μελετηθούν οι θερμοκρασίες εδάφους για δύο χρονικές περιόδους (1992-2011 και 2013-2018) που ορίστηκαν ανάλογα με τις διαθέσιμες απεικονίσεις των δύο δορυφόρων για αυτήν την περιοχή μελέτης. Στην συνέχεια, ανάλογα με την πυκνότητα των δορυφορικών δεδομένων δημιουργήθηκαν δύο χρονοσειρές (περίοδος 1993-2000 και 2013-2018) θερμοκρασιών εδάφους οι οποίες εξετάστηκαν χωριστά και σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες δύο χρονοσειρές δεικτών βλάστησης NDVI των οποίων τα δεδομένα προήλθαν από τις προαναφερθείς εικόνες.

Πιο αναλυτικά, με βάση τη θεωρία για το Θερμικό Υπέρυθρο, υπολογίστηκαν θερμοκρασίες εδάφους για όλες τις εικόνες. Στη συνέχεια, ακολούθησε η εφαρμογή των μεθοδολογιών της κλασικής αποσύνθεσης χρονοσειράς στις χρονοσειρές των θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών βλάστησης NDVI και η κατάλληλη ανάλυση των δύο αυτών μεγεθών την περίοδο 1992–2018 για να βγουν συμπεράσματα για την τάση τους για όλη την περιοχή μελέτης. Επίσης, ειδικά για τις χρονοσειρές των δύο μεγεθών της περιόδου 2013-2018, πραγματοποιήθηκε μεθοδολογία Box-Jenkins κι έτσι για κάθε μία βρέθηκε το πιο ικανοποιητικό μοντέλο ARIMA και αξιολογήθηκαν οι προβλέψεις τους. Επιπλέον, για τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο εξετάστηκε η επίδραση του υψομέτρου και του προσανατολισμού στις θερμοκρασίες εδάφους και στους δείκτες NDVI τις περιόδους 1993-2009 και 2013-2018. Επίσης, μελετήθηκε η συσχέτιση της παραμέτρου της θερμοκρασίας εδάφους με την παράμετρο NDVI τις περιόδους 1993-2000 και 2013-2018.

Τέλος, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα από τις παραπάνω επεξεργασίες και βγήκαν σημαντικά συμπεράσματα για την κλιματική αλλαγή στο δάσος της Πάφου. Συγκεκριμένα, κατά την περίοδο 1992-2018 με βάση την εφαρμογή γραμμικής παλινδρόμησης στα δεδομένα, η τάση της θερμοκρασίας εδάφους ήταν κυρίως αυξητική και του δείκτη NDVI ήταν αυξητική (1992-2011) και πτωτική (2013-2018). Με τη μεθοδολογία της κλασικής αποσύνθεσης, κατά την περίοδο 1993-2000 παρατηρήθηκε μείωση της θερμοκρασίας εδάφους και αύξηση του δείκτη NDVI, ενώ την περίοδο 2013-2018 συνέβη το αντίθετο.

## **Abstract**

In this work data from 125 Landsat 5 images and 60 Landsat 8 images have been used. The study area was the Paphos Forest in Cyprus and the images were acquired during the period of 1992-2018. LST (Land Surface Temperature) were collected for two periods, 1992-2011 and 2013-2018, which were determined according to image availability from both Landsat 5 and 8 satellites for the study area. According to the number of available images two time-series of LST (for the periods of 1993-2000 and 2013-2018) have been generated, which have been examined both separately and in conjunction with the corresponding time series of Normalized Difference Vegetation Indices (NDVI) for the same periods, and which were also calculated from the aforementioned images.

More specifically, following the theory of Thermal Infrared, LSTs have been computed from all images. Then methodologies of Classical Decomposition have been implemented on the time series of LST and NDVI and appropriate analysis of these two measures during the period of 1992–2018 has been carried out, so as to gain knowledge about their trend for the whole study area. In addition, for the time series of these two measures during the period 2013-2018, Box-Jenkins methodology has been applied for the appropriate model ARIMA to be determined for each time series and assess their predictions. Furthermore, during the period of 1993-2009 and 2013-2018, the influence of altitude and aspect in LST and NDVI has been examined for the months July, August and September. The correlation between the two parameters, LST and NDVI, during the period of 1993-2000 and 2013-2018 has also been studied.

Results from the aforementioned analysis have been presented, leading to significant conclusions about the impact of Climate Change on Paphos Forest. More specifically, during the period of 1992-2018, having implemented Lineal Regression on data, the trend of the calculated LST was mainly positive, while for the NDVI was positive for the period 1992-2011 and negative for the period 2013-2018. With Classical Decomposition, during the period of 1993-2000 decrease in LST and increase in NDVI was observed, while during the period of 2013-2018 the opposite trends were observed.

## Εισαγωγή

Η ανάπτυξη του κλάδου της Τηλεπισκόπησης στο Θερμικό Υπέρυθρο οδήγησε στην δυνατότητα απόκτησης της θερμοκρασίας εδάφους (Land Surface Temperature - LST). Η θερμοκρασία εδάφους είναι θερμοκρασία του επιφανειακού στρώματος της Γης στο οποίο η προσπίπτουσα ακτινοβολία από τον ήλιο αλληλεπιδρά με το έδαφος και την ατμόσφαιρα. (Hulley et al, 2019) Επίσης, η θερμοκρασία εδάφους αποτελεί σημαντικό μέγεθος μέσω του οποίου είναι δυνατή η απόκτηση της πληροφορίας της θερμοκρασίας του αέρα.

Συνεπώς η θερμοκρασία εδάφους παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για τις ιδιότητες του εδάφους και του κλίματος τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο και έτσι καθίσταται σημαντική παράμετρος για μελέτες που πραγματοποιούνται για περιβαλλοντικούς και αγροτικούς σκοπούς όπως δημιουργία μοντέλων παρακολούθησης της ξηρασίας, παρακολούθηση επιπτώσεων σε λίμνες εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου, διαμόρφωση χαρτών θερμοκρασίας για τον προσδιορισμό κατάλληλων περιοχών για εργασίες αμπελουργίας, παρακολούθηση των επιπτώσεων διάφορων ανθρωπογενών και φυσικών φαινομένων όπως πυρκαγιές, έκρηξη ηφαιστείων και απειλές που προέρχονται από τον κλάδο της βιομηχανίας κ.α. (Hulley et al, 2019) Λόγω των παραπάνω η θερμοκρασία εδάφους κατατάσσεται στις σημαντικές μεταβλητές του World Meteorological Organization-Global Climate Observing System (WMO-GCOS). (Sobrino & Julien, 2013)

Στην εργασία αυτήν αξιοποιήσαμε τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η μελέτη της θερμοκρασίας εδάφους και μελετήσαμε τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο δάσος της Πάφου. Πρόκειται για ένα από τα σημαντικότερα δάση της Κύπρου με μεγάλη περιβαλλοντική αξία, συνεπώς, δεδομένου ότι οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής γίνονται όλο και πιο φανερές τις τελευταίες δεκαετίες, οφείλουμε να παρακολουθούμε την κατάσταση του δάσους και να αναγνωρίσουμε εάν αυτή είναι δυσμενής, προκειμένου να λάβουμε κατάλληλα μέτρα για την προστασία του.

Είναι αποδεδειγμένο ότι η θερμοκρασία εδάφους συνδέεται με τη βλάστηση μιας περιοχής. Μεταβολές της επηρεάζουν τη βλάστηση. Γι αυτό στην εργασία αυτή μελετήθηκαν μεταβολές και τάσεις τόσο της θερμοκρασίας όσο και της βλάστησης καθώς και η μεταξύ τους σχέση. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για μία περιοχή μελέτης όπως το δάσος της Πάφου, επειδή οι αλλαγές στις περιβαλλοντικές συνθήκες μπορεί να προκαλέσουν ακόμη και ανεπανόρθωτα προβλήματα στο οικοσύστημα του δάσους.

# Κεφάλαιο 1: Θεωρητικό υπόβαθρο

## 1.1 Τηλεπισκόπηση στο Θερμικό Υπέρυθρο

Το θερμικό υπέρυθρο είναι το διάστημα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που κυμαίνεται από 3.0 έως 14  $\mu\text{m}$ . Είναι γνωστό ότι σε αυτά τα μήκη κύματος το σημαντικότερο μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που προέρχεται από την γήινη επιφάνεια και φθάνει στον δέκτη εκπέμπεται από αυτήν. Συνεπώς κάθε σώμα με θερμοκρασία μεγαλύτερη από το απόλυτο μηδέν, δηλαδή  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$  ή  $0\text{ K}$ , εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ο λόγος εμφάνισης αυτού του φαινομένου είναι ότι τα μόρια αυτών των σωμάτων βρίσκονται σε τυχαία κίνηση αποκτώντας έτσι κινητική ενέργεια (kinetic heat), γνωστή και ως εσωτερική θερμότητα ή πραγματική θερμότητα. Όταν αυτά συγκρούονται, μεταβάλλεται η ενεργειακή τους κατάσταση προκαλώντας έτσι την εκπομπή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. (Jensen, 2015)

«Η πραγματική κινητική θερμοκρασία ( $T_{\text{kin}}$ ) ή η συγκέντρωση αυτής της θερμότητας μπορεί να μετρηθεί με θερμομέτρο. Η επί τόπου μέτρηση της θερμοκρασίας πραγματοποιείται με την τοποθέτηση του θερμομέτρου σε άμεση επαφή με το αντικείμενο ενδιαφέροντος, είτε πρόκειται για φυτό, ή για έδαφος, πέτρωμα ή υδάτινο σώμα.» (Jensen, 2015) Στην περίπτωση της γήινης επιφάνειας η  $T_{\text{kin}}$  ονομάζεται θερμοκρασία εδάφους (Land Surface Temperature – LST). «Η εσωτερική θερμότητα ενός αντικειμένου μετατρέπεται και σε ακτινοβολούμενη ενέργεια (γνωστή και ως εξωτερική ενέργεια ή φαινόμενη ενέργεια), η οποία επιτρέπει τη χρήση της τεχνολογίας της τηλεπισκόπησης.» (Jensen, 2015) Η οπτική ισχύς της ακτινοβολίας (ή φωτεινή ροή) που εξέρχεται από ένα αντικείμενο (radiant flux, puissance rayonne) ( $\Phi$ ) εκφράζει την ακτινοβολούμενη ενέργεια σε ένα χρονικό διάστημα και μετράται σε βατ (Watt). Η συγκέντρωση της ποσότητας της ακτινοβολίας που εξέρχεται (εκπέμπεται) από ένα αντικείμενο σε ένα χρονικό διάστημα είναι η θερμοκρασία ακτινοβολίας ή λαμπρότητας του ( $T_B$ ). (Jensen, 2015)

Ανάλογα με το τηλεπισκοπικό σύστημα που χρησιμοποιούμε, καθορίζεται κι η σχέση μεταξύ αυτών των δύο θερμοκρασιών. Χρειάζεται όμως να αναφερθούμε στην έννοια του μέλανος σώματος, εφόσον αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την πραγματοποίηση της μετατροπής από την μία θερμοκρασία στην άλλη. Πρόκειται για ένα ιδεατό σώμα που απορροφά όλη την ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό και την εκπέμπει όσο δυνατόν περισσότερο. Μπορεί να γίνει προσέγγιση του Ήλιου και της Γης ως μελανά σώματα 6000 και 300 βαθμών Kelvin αντίστοιχα. Στην κατανόηση αυτών των σωμάτων συμβάλουν ο Νόμος Stefan-Boltzman και ο Νόμος Μετατόπισης του Wien. Όσον αφορά τον πρώτο νόμο, η συνολική εξερχόμενη

ισχύς ακτινοβολίας ( $L_B$ ) μετράται σε  $W * m^{-2}$  και εκφράζεται μέσω της σχέσης (Jensen, 2015):

$$L_B = \sigma * T^4 \quad (\text{εξίσωση 1.1})$$

όπου  $\sigma$  η σταθερά Stefan-Boltzman που είναι ίση με  $5.6697 * 10^{-8} W * m^{-2} * K^{-4}$  και  $T$  η πραγματική θερμοκρασία του μέλανος σώματος σε βαθμούς Kelvin. Με βάση αυτήν την σχέση παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνεται κατά πολύ η ποσότητα της ενέργειας που ακτινοβολείται λόγω της τέταρτης δύναμης. (Jensen, 2015)

Σχετικά με τον δεύτερο νόμο το μήκος κύματος κατά το οποίο εκπέμπεται η μεγαλύτερη ποσότητα ακτινοβολίας από το μέλαν σώμα ανάλογα με την πραγματική θερμοκρασία του δίνεται από τον παρακάτω τύπο (Jensen, 2015):

$$\lambda_{max} = \frac{k}{T} \quad (\text{εξίσωση 1.2})$$

όπου  $k$  σταθερά που ισούται με  $2898 \mu m * K$ . Μέσω αυτής της σχέσης αποδεικνύεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του μέλανος σώματος τόσο ελαττώνεται το μήκος κύματος στο οποίο παρατηρείται η μέγιστη εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Η σχέση αυτή είναι ιδιαίτερος χρήσιμη, αφού αν προσεγγίσουμε το αντικείμενο μελέτης ως μέλαν σώμα και γνωρίζουμε που κυμαίνεται η θερμοκρασία του, τότε μπορούμε να επιλέξουμε το σύστημα τηλεπισκόπησης στο οποίο καταγράφεται η εκπεμπόμενη ενέργεια στο κατάλληλο εύρος στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. (Jensen, 2015)

Η σύνδεση των μελανών σωμάτων και των πραγματικών αντικειμένων που τους αντιστοιχούν είναι απαραίτητη, αλλιώς χωρίς αυτήν οι ουσιώδεις ιδιότητες των πρώτων δεν θα μας πρόσφεραν τίποτα. Οπότε, όπως απεικονίζεται παρακάτω, ο λόγος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από ένα πραγματικό αντικείμενο ( $L$ ) προς την εκπεμπόμενη ακτινοβολία από ένα μέλαν σώμα στην ίδια θερμοκρασία με το πρώτο ( $L_B$ ) αποτελεί την θεωρητική προσέγγιση του συντελεστή εκπομπής ( $\epsilon$ ) του πραγματικού αυτού αντικειμένου (Jensen, 2015):

$$\epsilon = \frac{L}{L_B} \quad (\text{εξίσωση 1.3})$$

Η τιμή του συντελεστή εκπομπής εξαρτάται από το μήκος κύματος και τον τρόπο καταγραφής της εκπεμπόμενης ενέργειας και τις ιδιότητες του αντικείμενου. Κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0 και 1, με ειδικές περιπτώσεις όταν ο συντελεστής εκπομπής είναι μηδέν, το αντικείμενο να μην εκπέμπει καθόλου ακτινοβολία, ενώ, όταν ο συντελεστής εκπομπής ισούται με την μονάδα σε όλο το φάσμα, το αντικείμενο να είναι μέλαν σώμα. (Jensen, 2015)

Όσον αφορά τον τρόπο καταγραφής της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, παίζουν ρόλο τόσο το οπτικό πεδίο, δηλαδή το πώς «βλέπει» το αντικείμενο μελέτης το ραδιόμετρο σε περίπτωση μετρήσεων στο πεδίο όσο κι η οπτική γωνία του δέκτη προς την γήινη επιφάνεια. (Jensen, 2015)

Επίσης, τα κυριότερα χαρακτηριστικά των αντικειμένων που επηρεάζουν την τιμή του συντελεστή εκπομπής είναι τα παρακάτω (Jensen, 2015):

- χρώμα, επειδή τα σώματα σε σκούρα χρώματα τείνουν να απορροφήσουν και να εκπέμψουν μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας σε σχέση με τα αυτά σε ανοιχτά χρώματα
- τραχύτητα, εφόσον τα σώματα που έχουν σε σημαντικό βαθμό τραχιά επιφάνεια συγκριτικά με το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας μπορούν να απορροφήσουν και να εκπέμψουν σημαντική ισχύ ακτινοβολίας
- περιεκτικότητα σε υγρασία, διότι τα σώματα με πολλή υγρασία μπορούν να απορροφήσουν και να εκπέμψουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας
- χημική σύσταση του υλικού του αντικειμένου

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ο νόμος του Kirchoff ο οποίος συνδέει την ακτινοβολία των μελανών σωμάτων με αυτή των φυσικών. Σύμφωνα με το νόμο ακτινοβολίας του Kirchoff, «η φασματική εκπεμπόμενη ακτινοβολία ενός φυσικού σώματος σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία T, σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος λ και σε μια δεδομένη κατεύθυνση (θ,φ), ισούται με το συντελεστή απορρόφησης του σώματος στην ίδια θερμοκρασία και στο ίδιο μήκος κύματος, επί την φασματική ακτινοβολία του μέλανος σώματος στην ίδια θερμοκρασία και στο ίδιο μήκος κύματος. Ο νόμος του Kirchoff οδηγεί στην ισότητα των συντελεστών απορρόφησης και εκπομπής ενός αντικειμένου. ( $\alpha_\lambda = \varepsilon_\lambda$ ).» (B. Καραθανάση, 2018) Δηλαδή η ακτινοβολία των φυσικών σωμάτων (L) μπορεί να εκφραστεί ως:

$$L_\lambda(\theta, \varphi, T) = \varepsilon_\lambda(\theta, \varphi, T) * L_{B\lambda}(T) = L_\lambda(T_B) \text{ (εξίσωση 1.4)}$$

όπου  $L_{B\lambda}(T)$  η ακτινοβολία του μέλανος σώματος στην θερμοκρασία T και ε ο συντελεστής εκπομπής του φυσικού σώματος. Η θερμοκρασία ακτινοβολίας ή λαμπρότητας ( $T_B$ ) είναι η θερμοκρασία την οποία θα είχε το μέλαν σώμα, εάν εξέπεμπε ακτινοβολία ίση με αυτή του φυσικού σώματος. (B. Καραθανάση, 2018)

Συνδυάζοντας τον Νόμο Stefan-Boltzman και την ακτινοβολία των φυσικών σωμάτων όπως αυτή δίνεται από το Νόμο του Kirchoff, καταλήγουμε στην σχέση της μορφής (Jensen, 2015):

$$L = \varepsilon * \sigma * T_{kin}^4 \text{ (εξίσωση 1.5)}$$

Με την σχέση αυτήν εκφράζεται γενικότερα ότι η πραγματική θερμοκρασία ενός αντικειμένου ( $T_{kin}$ ) μπορεί να προσδιοριστεί από την καταγραφή ακτινοβολίας ορισμένου μήκους κύματος ( $L$ ) που εκπέμπει το αντικείμενο λαμβάνοντας υπόψιν τον συντελεστή εκπομπής του ( $\varepsilon$ ).

Χρειάζεται όμως να επιστήσουμε την προσοχή μας στο ότι με την καταγραφή ακτινοβολίας του αισθητήρα πρώτα προσδιορίζεται η θερμοκρασία λαμπρότητας ( $T_B$ ) και μετά η πραγματική κινητική θερμοκρασία ( $T_{kin}$ ) των αντικειμένων της γήινης επιφάνειας. Αν τα αντικείμενα αυτά ήταν μελανά σώματα, τότε θα ίσχυε ότι δύο αυτές θερμοκρασίες θα ήταν ίσες ( $T_B = T_{kin}$ ). Οπότε στην πραγματικότητα η  $T_{kin}$  προσεγγίζεται θεωρητικά από την κάτωθι εξίσωση (Jensen, 2015):

$$T_B = \varepsilon^{1/4} * T_{kin} \text{ (εξίσωση 1.6)}$$

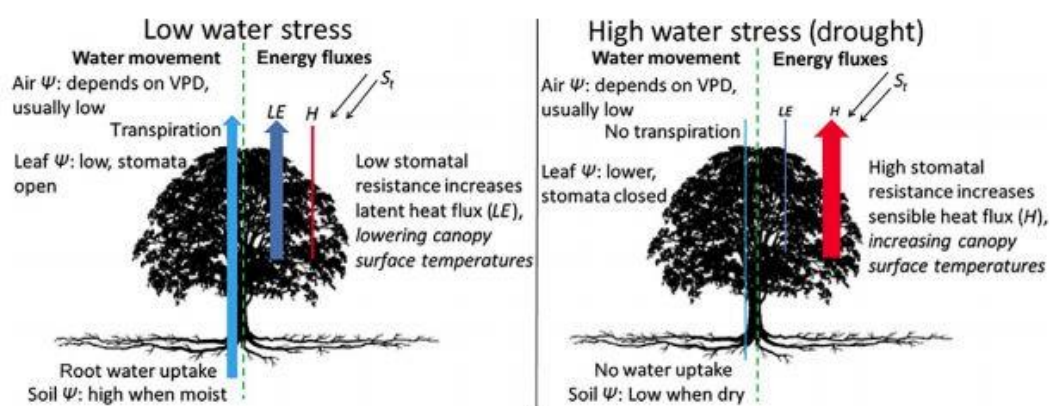
Από αυτήν προκύπτει ότι αν δεν εισαχθεί ο συντελεστής εκπομπής στις τηλεπισκοπικές μετρήσεις, τότε θα έχουμε εσφαλμένα αποτελέσματα για τις θερμοκρασίες των αντικειμένων. Έτσι για την εκτίμηση της πραγματικής θερμοκρασίας εδάφους με χρήση της τεχνολογίας της τηλεπισκόπησης απαιτείται η γνώση του συντελεστή εκπομπής.

Η θερμοκρασία εδάφους αποτελεί σημαντική παράμετρο για να μελετηθούν οι κλιματολογικές συνθήκες μίας περιοχής. Χρειάζεται να διευκρινιστεί ότι η θερμοκρασία εδάφους δεν συμπίπτει με την θερμοκρασία αέρα κοντά στο έδαφος η οποία μετριέται από μετεωρολογικούς σταθμούς. Συγκεκριμένα, όταν πρόκειται για χερσαίες περιοχές, η θερμοκρασία εδάφους αφορά το έδαφος με βάθος έως λίγα μικρόμετρα, για περιοχές με έντονη βλάστηση αφορά την περιοχή του πάνω μέρος της φυτικής κόμης και για περιοχές με αραιή βλάστηση αφορά έναν συνδυασμό φυλλωμάτων, πιθανών κλαδιών και εδάφους. Ωστόσο η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζεται από την θερμοκρασία εδάφους κι έτσι με την μελέτη της δεύτερης μπορεί να προσδιοριστεί η πρώτη. (Hulley et al, 2019) Τέλος «η υπέρυθη ισχύς ακτινοβολίας που καταγράφεται από το σύστημα τηλεπισκοπικών δεκτών είναι ολοκλήρωμα όλης της ισχύος ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τα διάφορα αντικείμενα που βρίσκονται εντός του στιγμιαίου οπτικού πεδίου και της ισχύος ακτινοβολίας που τυχόν σκεδάζεται από την ατμόσφαιρα εντός του στιγμιαίου οπτικού πεδίου του δέκτη.» (Jensen, 2015)

Αξιοσημείωτο είναι ότι υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας εδάφους και της βλάστησης. Συγκεκριμένα μία περιοχή βλάστησης ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της όπως πυκνότητα, περιοδικότητα του φύλλου, δείκτης φυλλικής επιφάνειας κ.α. μπορεί να επηρεάσει το μικροκλίμα μίας περιοχής. Κατά συνέπεια, η μείωση της πυκνότητας της βλάστησης σε μία περιοχή μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους, επειδή τότε το μεγαλύτερο μέρος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτήν την περιοχή μετατρέπεται σε εξερχόμενη αισθητή ροή θερμότητας. (Hulley et al, 2019)

Επιπλέον, η αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους σε μία περιοχή βλάστησης μπορεί να είναι απόρροια της μείωσης αποθεμάτων νερού στο έδαφος. Στην περίπτωση που υπάρχει αφθονία νερού στο έδαφος, η διαδικασία της διαπνοής μπορεί να πραγματοποιηθεί φυσιολογικά, οπότε αποβάλλεται από τα στόματα στα φύλλα νερό υπό μορφή υδρατμών και κατ' επέκταση τα φυτά είναι λιγότερο θερμά. Συνεπώς, η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στις περιοχές βλάστησης μετατρέπεται κυρίως σε μη αισθητή εξερχόμενη ροή θερμότητας και η θερμοκρασία εδάφους στο πάνω μέρος της φυτικής κόμης είναι χαμηλή.

Παρόλα αυτά, σε περιπτώσεις έλλειψης αποθεμάτων νερού έδαφους, όπως μπορεί να προκληθεί από ξηρασία, η διαπνοή και η εξαγωγή μη αισθητής ροή θερμότητας δεν διευκολύνονται με αποτέλεσμα να αυξηθεί η θερμοκρασία των φύλλων, κάτι που μπορεί να διακριθεί από παρατηρήσεις στο θερμικό υπέρυθρο. Αποτέλεσμα της αυτής της κατάστασης είναι τα φυτά να καταπονηθούν ή και να καταστραφούν τελείως. (Hulley et al, 2019)



Εικόνα 1.1: Σύγκριση των ροών ενέργειας και νερού μεταξύ των καταστάσεων χαμηλής (αριστερά) και υψηλής (δεξιά) εξάντλησης υδάτινων πόρων σε είδος βλάστησης όπου Ψ η ποσότητα νερού, VPD έλλειμμα τάσης υδρατμών, S<sub>i</sub> η ηλιακή ακτινοβολία και H και LE η αισθητή και η μη αντίστοιχα ροή θερμότητας (πηγή: Hulley et al, 2019)

Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή ήταν από δορυφόρους Landsat. Συνεπώς περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω η διαδικασία για την εξαγωγή θερμοκρασιών εδάφους:

- Μετατροπή από ψηφιακές τιμές εικονοστοιχείων  $Q_{cal}$  σε τιμές ακτινοβολίας  $L_{\lambda}$  με μονάδα μέτρησης  $W/(m^2 * sr * \mu m)$ :

$$L_{\lambda} = M * Q_{cal} + A \text{ (εξίσωση 1.7)}$$

όπου M και A είναι ο πολλαπλασιαστικός συντελεστής κλίμακας και ο προσθετικός συντελεστής κλίμακας αντίστοιχα που αντιστοιχούν σε κάθε κανάλι και βρίσκονται στο αρχείο των metadata της εκάστοτε εικόνας Landsat

- Υπολογισμός της θερμοκρασίας λαμπρότητας  $T_B$  με μονάδα μέτρησης Kelvin:



$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (\text{εξίσωση 1.8})$$

όπου  $K_1$  και  $K_2$  σταθερές τιμές μετρημένες σε  $W/(m^2 * sr * \mu m)$  και Kelvin που αντιστοιχούν σε κάθε θερμικό κανάλι και βρίσκονται στο αρχείο των metadata της εκάστοτε εικόνας Landsat

- Μετατροπή από θερμοκρασία λαμπρότητας  $T_B$  σε θερμοκρασία εδάφους LST με μονάδα μέτρησης Kelvin:

$$LST = \frac{T_B}{1 + \left(\lambda \cdot \frac{T_B}{\rho}\right) * \ln \varepsilon} \quad (\text{εξίσωση 1.9})$$

όπου  $\lambda$  το μήκος κύματος που αντιπροσωπεύει κάθε θερμικό κανάλι,  $\rho$  σταθερή τιμή και  $\varepsilon$  ο συντελεστής εκπομπής.

Σε αυτήν την εργασία ο συντελεστής εκπομπής εκφράστηκε μέσω της ποσοστιαίας βλάστησης ( $Pv$ ) και του δείκτη βλάστησης NDVI ως εξής:

$$Pv = \left( \frac{NDVI - NDVI_{MIN}}{NDVI_{MAX} - NDVI_{MIN}} \right)^2 \quad (\text{εξίσωση 1.10})$$

$$\varepsilon = 0.004 * Pv + 0.986 \quad (\text{εξίσωση 1.11})$$

Συμπερασματικά, ο υπολογισμός του δείκτη βλάστησης NDVI είναι σημαντικό στοιχείο για την ανάκτηση της πληροφορίας των θερμοκρασιών εδάφους, αφού κατά αυτήν την μεθοδολογία απ' αυτόν εξαρτάται ο συντελεστής εκπομπής. Η παραπάνω διαδικασία πρόκειται να αναλυθεί περαιτέρω στο κεφάλαιο 4.

## 1.2 Δείκτης βλάστησης NDVI

Ο δείκτης βλάστησης NDVI εκφράζεται με την παρακάτω σχέση:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (\text{εξίσωση 1.12})$$

όπου NIR και RED οι καταγραφόμενες ανακλώμενες ακτινοβολίες με μήκος κύματος στην φασματική περιοχή του εγγύς υπέρυθρου και κόκκινου αντίστοιχα.

Η τιμή του δείκτη αυτού κυμαίνεται από -1 έως 1. Οι περιοχές πράσινης και υγιούς βλάστησης είναι συνδεδεμένες με υψηλές θετικές τιμές του δείκτη. Ο λόγος είναι η αυξημένη ανακλαστικότητα που έχουν στο εγγύς υπέρυθρο και η χαμηλή στο κόκκινο, επειδή η μεγάλη απορρόφηση εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας θα κατέστρεφε τους ιστούς του υγιούς φυτού, καθώς και αυτό χρειάζεται ακτινοβολία από το ορατό τμήμα του φάσματος για την φωτοσύνθεση. (Wikipedia, Normalized\_difference\_vegetation\_index) Αντιθέτως, περιοχές

όπως υδάτινες επιφάνειες, αλλά και αυτές που καλύπτονται είτε από σύννεφα είτε από χιόνι επιφέρουν αρνητικές τιμές στο NDVI λόγω της αρκετά χαμηλής ανακλώμενης ενέργειας στο εγγύς υπέρυθρο σε σχέση με αυτήν στο ορατό φάσμα. Επιπλέον, περιοχές που είναι βραχώδεις ή δεν έχουν βλάστηση παρουσιάζουν τιμές NDVI κοντά στο 0, εφόσον στο εγγύς υπέρυθρο ανακλάται λίγο περισσότερη ακτινοβολία ως προς αυτήν στο κόκκινο. (Αργιαλάς, 1999)

Ο δείκτης NDVI θεωρείται ένας από τους πιο διαδεδομένους δείκτες βλάστησης και αποτελεί εργαλείο για ποικίλες εφαρμογές. Αναλυτικότερα, χάρη σε αυτόν μπορούν να εκτιμηθούν χαρακτηριστικά περιοχών βλάστησης όπως δείκτης φυλλικής επιφάνειας, βιομάζα, συγκέντρωση χλωροφύλλης στα φύλλα, παραγωγικότητα των φυτών, η συσσωρευμένη ποσότητα νερού βροχής κ.α. (Wikipedia, Normalized\_difference\_vegetation\_index) Επίσης, ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται και για μελέτη μεταβολών της βλάστησης σε χρονοσειρές σε πλανητικό επίπεδο. (Αργιαλάς, 1999)

Εφόσον αυτός ο δείκτης είναι κανονικοποιημένη διαφορά, συντελεί στο να μειωθεί ο θόρυβος που σχετίζεται με τη μη ύπαρξη σταθερού ηλιακού φωτισμού, τα στοιχεία της τοπογραφίας της περιοχής μελέτης όπως κλίση και προσανατολισμό, κ.α. (Αργιαλάς, 1999)

Παρόλα αυτά, απαιτείται να γνωρίζουμε ότι ο τρόπος καταγραφής της ακτινοβολίας στο δέκτη μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα του δείκτη. Συγκεκριμένα, στην τιμή του δείκτη μπορεί να επιδράσουν τόσο η οπτική γωνία με την οποία γίνεται η παρατήρηση της γήινης επιφάνειας, αλλά και η φασματική διακριτική ικανότητα του αισθητήρα που μπορεί να διαφέρει τόσο μεταξύ των διαφόρων τηλεπισκοπικών συστημάτων που η σύγκριση των αποτελεσμάτων του NDVI για την ίδια περιοχή να είναι αδύνατη. Επιπλέον, χρειάζεται η δορυφορική εικόνα που εξετάζεται με τον δείκτη NDVI να μη έχει νεφοκάλυψη, επειδή αυτή μπορεί να προκαλέσει αλλοίωση στον υπολογισμό του δείκτη. Επομένως, απαιτείται είτε συνδυασμός εικόνων που έχουν ληφθεί σε διαφορετικές μέρες για την ίδια περιοχή είτε δημιουργία масκών σύννεφων. Τέλος, ενδείκνυται η ατμοσφαιρική διόρθωση των καναλιών του εκάστοτε αισθητήρα που συμμετέχουν στον υπολογισμό του NDVI, εφόσον η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς και αερολύματα μπορεί να έχει επιπτώσεις στην καταγραφόμενη ακτινοβολία κάνοντας την να διαφέρει από την ακτινοβολία που προήλθε από το έδαφος. (Αργιαλάς, 1999)

### **1.3 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην βλάστηση**

Η κλιματική αλλαγή είναι η μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και των μετεωρολογικών συνθηκών που οφείλεται είτε σε φυσική είτε σε ανθρωπογενής δραστηριότητα. Λόγω του φαινομένου αυτού οι περιοχές βλάστησης επηρεάζονται, καθώς επιδιώκεται τα είδη τους να προσαρμοστούν στις αλλαγές του κλίματος και να αναπτυχθούν.

Αρχικά η αύξηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα λόγω της κλιματικής αλλαγής προκαλεί την εντατικοποίηση της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Αυτό, επειδή με την αύξηση της θερμοκρασίας στον πλανήτη διαμορφώνονται κατάλληλες συνθήκες σε μεγαλύτερες περιόδους μέσα στον χρόνο στις οποίες ευνοείται η ανάπτυξη των περιοχών βλάστησης. Συγκεκριμένα, με την παράλληλη αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα, τα φυτά χρειάζεται να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες του περιβάλλοντος πραγματοποιώντας φωτοσύνθεση σε μεγαλύτερο βαθμό με αποτέλεσμα να μεγαλώνει η ανάγκη των φυτών να καταναλώσουν νερό από το έδαφος, κάτι που κάνει το έδαφος πιο στεγνό. (nationalgeographic.com,plants-consume-more-water-climate-change-thirsty-future) Παράλληλα, η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει στο να αυξήσει τις ανάγκες των φυτών και για άλλες φυσιολογικές διαδικασίες εκτός από την φωτοσύνθεση με αποτέλεσμα, αν ξεπεραστεί το όριο των αντοχών σε κάποιο είδος βλάστησης υπάρχει κίνδυνος αυτό να καταστραφεί. (Wikipedia, Effects of climate change on plant biodiversity)

Επίσης, η κλιματική αλλαγή συμβάλει σε αλλαγές στις μετεωρολογικές συνθήκες με διαφορετικό τρόπο ανάλογα την τοποθεσία στον πλανήτη που εξετάζεται. Συνεπώς σε πολλές περιοχές οι κατακρημνίσεις μειώνονται ώστε να μην υπάρχει αρκετή ποσότητα αποθεμάτων νερού στο έδαφος, κάτι που αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη των φυτών ειδικά στην νέα κατάσταση του περιβάλλοντος. (Wikipedia, Effects of climate change on plant biodiversity)

Συμπερασματικά, με τις μεταβολές στην θερμοκρασία και στις κατακρημνίσεις κάποια είδη βλάστησης μπορούν να ανταπεξέλθουν και να συνεχίσουν να αναπτύσσονται. Όμως, πιθανότατα οι αλλαγές στις συνθήκες του περιβάλλοντος λόγω της κλιματικής αλλαγής να μεταβάλλουν τον φαινολογικό κύκλο ορισμένων φυτών. Επιπλέον, υπάρχει περίπτωση να αλλάξει η κατανομή ορισμένων φυτών στο χώρο με το να αναπτυχθούν σε διαφορετικό υψόμετρο ή γεωγραφικό πλάτος προκειμένου να μπορέσουν να επιβιώσουν, κάτι που μπορεί να έχει επιπτώσεις στον τρόπο με τον οποίο τα είδη βλάστησης αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Παρόλα αυτά, η μετατόπιση των πολλών ειδών βλάστησης δεν είναι πάντα εφικτή με αποτέλεσμα να κινδυνεύουν να εξαφανιστούν. (Wikipedia, Effects of climate change on plant biodiversity)

Τέτοιου είδους συμπεράσματα μπορούν να διεξαχθούν εξετάζοντας χρονοσειρές θερμοκρασιών και μεγεθών που αντικατοπτρίζουν την συμπεριφορά της βλάστησης.

## 1.4 Ανάλυση χρονοσειράς

### 1.4.1 Κύρια χαρακτηριστικά χρονοσειράς

Η χρονοσειρά αποτελεί μία σειρά από παρατηρήσεις που καταγράφονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα συγκεκριμένης συχνότητας. Η συχνότητα καταγραφής των δεδομένων της συνήθως είναι ανά έτος, ανά τρίμηνο, ανά μήνα ή ανά εβδομάδα.

Data	frequency
Annual	1
Quarterly	4
Monthly	12
Weekly	52

*Πίνακας 1.1 : Τιμή της συχνότητας χρονοσειράς ανάλογα με το κάθε πότε συλλέγονται τα δεδομένα της (πηγή :*

*Hyndman R.J. & Athanasopoulos G., 2018)*

Βασικά στοιχεία κάθε χρονοσειράς, τα οποία μπορούν να εντοπιστούν σε πρώτη ανάγνωση μέσω της διαγραμματικής αναπαράστασης των δεδομένων είναι τα εξής:

- Τάση
- Εποχικότητα
- Κύκλος

Η τάση αποτελεί τη μακροπρόθεσμη αύξηση ή μείωση στα δεδομένα, η οποία δεν περιγράφεται πάντα μέσω γραμμικής συνάρτησης. Η εποχικότητα είναι η επίδραση από εποχικούς παράγοντες στα δεδομένα της χρονοσειράς και αντιστοιχεί πάντα στην εκάστοτε συχνότητα καταγραφής των δεδομένων. Ο κύκλος δηλώνει τις διακυμάνσεις που μπορεί να εμφανιστούν στην χρονοσειρά οι οποίες όμως δεν έχουν συγκεκριμένη συχνότητα. Επιπλέον, οι διακυμάνσεις λόγω κύκλου εμφανίζονται ανά μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα σε σχέση με τα εποχικά μοτίβα. (Hyndman R.J. & Athanasopoulos G., 2018) Ανάλογα με τον βαθμό τάσης, εποχικότητας και κύκλου που έχουν τα δεδομένα μίας χρονοσειράς, αυτή έχει μία συγκεκριμένη διαγραμματική μορφή με βάση την οποία μπορούμε να συμπεράνουμε ποια θα μπορούσε να είναι η καταλληλότερη μέθοδος για να επεξεργαστούμε τα δεδομένα της σειράς και να προβλέψουμε νέες τιμές του φαινομένου που μελετάμε.

Οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης είναι σημαντικοί για την ανάλυση χρονοσειράς, επειδή εξετάζουν την γραμμική σχέση των δεδομένων της χρονοσειράς μεταξύ τους. Αν υποθέσουμε ότι έχουμε δεδομένα  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$  σε ισαπέχουσες χρονικές στιγμές και  $k$  είναι η χρονική υστέρηση μεταξύ των ίδιων των δεδομένων που εξετάζονται σε έναν συγκεκριμένο

συντελεστή αυτοσυσχέτισης  $r_k$  (Autocorrelation Factor - ACF), το μέγεθος αυτό ορίζεται με την παρακάτω εξίσωση (Παπαδήμας, 1998):

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^N (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^N (x_t - \bar{x})^2} \quad (\text{εξίσωση 1.13})$$

Ο συντελεστής αυτός παίρνει τιμές από -1 έως 1. Στη συνέχεια, από διαγράμματα με ανεξάρτητη μεταβλητή τον αριθμό των χρονικών υστερήσεων και εξαρτημένη τους συντελεστές αυτούς μπορούμε να αποκτήσουμε χρήσιμες πληροφορίες για την χρονοσειρά που μελετάμε. Συγκεκριμένα, όταν υπάρχει τάση, οι συντελεστές σε μικρές υστερήσεις συνήθως είναι μεγάλοι σε μέγεθος και θετικοί, εφόσον τα δεδομένα που είναι κοντά χρονικά έχουν παρόμοιες τιμές. Σε αυτήν την περίπτωση, όσο μεγαλώνει ο αριθμός των υστερήσεων τόσο ελαττώνεται η τιμή του συντελεστή. Επίσης, όταν υπάρχει εποχικότητα, οι συντελεστές τείνουν να αυξάνονται σε μέγεθος στις χρονικές υστερήσεις που είναι πολλαπλάσια της συχνότητας καταγραφής. Τέλος, όταν υπάρχουν και τα δύο, παρουσιάζεται ένας συνδυασμός αυτών των δύο συμπεριφορών στα δεδομένα. (Hyndman R.J. & Athanasopoulos G., 2018)

Η συνάρτηση της αυτοσυσχέτισης δεν είναι χρήσιμη μόνο στο να συγκεντρώσουμε πληροφορίες για τα δεδομένα της χρονοσειράς, αλλά και στο να εξετάσουμε αν το μοντέλο πρόβλεψης, που επιλέξαμε, προσαρμόζεται καλά για να κάνει έγκυρες προβλέψεις. Στην περίπτωση αυτή, αξιολογούμε την συμπεριφορά των αυτοσυσχετίσεων των κατάλοιπων που προκύπτουν από την διαφορά των αρχικών δεδομένων με τις αντίστοιχες προβλέψεις.

Θεωρείται ότι το μοντέλο πρόβλεψης έχει προσαρμοστεί καλά στα δεδομένα, όταν τα κατάλοιπα αυτά ως χρονοσειρά προσεγγίζουν λευκό θόρυβο (ακολουθία ασυσχέτιστων τιμών) μηδενικού μέσου με παρατηρήσεις ίδιου πλήθους με τα κατάλοιπα, με αποτέλεσμα η αυτοσυσχέτιση σε κάθε υστερήση να είναι κοντά στο μηδέν. (Hyndman R.J. & Athanasopoulos G., 2018) Εφόσον συμβεί αυτό, σημαίνει ότι τα κατάλοιπα έχουν προκύψει λόγω τυχαιότητας και δεν υπάρχει κάτι ουσιαστικό πίσω από τις τιμές αυτές που να μην έχει ληφθεί και κατά την δημιουργία του μοντέλου πρόβλεψης. (statisticshowto.com, Ljung Box Test: Definition)

Στην πράξη, τα κατάλοιπα μπορούν να ελεγχθούν είτε με διαγραμματική αναπαράσταση των συντελεστών αυτοσυσχετίσεις είτε με στατιστικό έλεγχο. Όσον αφορά τον πρώτο τρόπο, αν οι συντελεστές που υπολογίσαμε σε συγκεκριμένες υστερήσεις δεν ξεπερνούν στο διάστημα  $[-\frac{1.96}{\sqrt{N}}, \frac{1.96}{\sqrt{N}}]$  για διάστημα εμπιστοσύνης 95% όπου N το πλήθος των παρατηρήσεων, τότε τα κατάλοιπα δεν έχουν σημαντική αυτοσυσχέτιση. (Ευάγγελος Σπηλιώτης, 2019, Σημειώσεις, Τεχνικές Προβλέψεων, mycourses.ntua.gr)

Παράλληλα, μπορούμε να εξετάσουμε αν τα κατάλοιπα είναι ασυσχέτιστα ή όχι, με το να κάνουμε τους στατιστικούς ελέγχους όπως το τεστ Ljung-Box στα κατάλοιπα.

Εφαρμόζοντας αυτήν την διαδικασία, μπορούμε να υπολογίσουμε το στατιστικό μέγεθος Q (Hyndman R.J. & Athanasopoulos G., 2018):

$$Q = N * (N + 2) * \sum_{k=1}^m \frac{r_k^2}{(N-k)} \text{ (εξίσωση 1.14)}$$

Η μεταβλητή m αντιπροσωπεύει τη μεγαλύτερη τιμή των υστερήσεων των αυτοσυσχετίσεων k και N το πλήθος των παρατηρήσεων της χρονοσειράς. Αν η χρονοσειρά δεν έχει εποχικότητα, τότε ισχύει m=10, ενώ σε αντίθεση περίπτωση m=2\*L όπου L το μήκος της εποχικότητας ή m=N/5 με την προϋπόθεση ότι το διπλάσιο του μήκους της εποχικότητας ξεπερνάει το υποπενταπλάσιο του πλήθους των παρατηρήσεων. (Hyndman R.J. & Athanasopoulos G., 2018)

Οι έλεγχοι αυτοί έχουν ως μηδενική υπόθεση ότι τα κατάλοιπα είναι ασυσχέτιστα, οπότε και το μοντέλο πρόβλεψης προσαρμόζεται σωστά. Η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται αν η τιμή  $\chi^2_{1-\alpha, h}$  που προέρχεται από την κατανομή  $\chi^2$  για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha$  με h βαθμούς ελευθερίας είναι μικρότερη από την Q (Hyndman R.J. & Athanasopoulos G., 2018):

$$Q > \chi^2_{1-\alpha, h} \text{ (εξίσωση 1.15)}$$

Εναλλακτικά, τα στατιστικά αυτά τεστ μπορούν να εξάγουν το μέγεθος p-value ως πιθανότητα «στην δεξιά ουρά» της κατανομής  $\chi^2$  και ως στοιχείο για το αν πρέπει να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση ή όχι. Συνεπώς, για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=5\%$  αν το μέγεθος p-value είναι μικρότερο από 0.05, τότε απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και συμπερασματικά τα κατάλοιπα δεν είναι ασυσχέτιστα. (statisticshowto.com, P-Value Definition)

Επιπλέον, μπορούμε να υπολογίσουμε την συσχέτιση μεταξύ μίας χρονοσειράς  $y_t$  και μίας άλλης  $x_{t+k}$ , όπου  $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , δηλαδή που έχει χρονική υστέρηση σε σχέση με την πρώτη. Η συσχέτιση αυτή λέγεται Cross Correlation και ορίζεται ως εξής:

$$r_k^{xy} = \frac{g_k^{xy}}{\sqrt{SD_x * SD_y}} \text{ (εξίσωση 1.16)}$$

όπου  $SD_x$  και  $SD_y$  οι τυπικές αποκλίσεις των παρατηρήσεων των χρονοσειρών  $x_t$  και  $y_t$  αντίστοιχα και  $g_k^{xy}$  το μέγεθος cross-covariance του οποίου η μαθηματική έκφραση είναι η εξής:

$$g_k^{xy} = \frac{1}{N} * \sum_{t=1}^{N-k} (y_t - \bar{y}) * (x_{t+k} - \bar{x}) \text{ (εξίσωση 1.17)}$$

όπου  $\bar{y}$  και  $\bar{x}$  οι μέσες τιμές των τιμών των χρονοσειρών  $y_t$  και  $x_t$ . Όπως γίνεται στην αυτοσυσχέτιση, όποια τιμή συσχέτισης Cross Correlation βρίσκεται εκτός του διαστήματος  $[-\frac{1.96}{\sqrt{N}}, \frac{1.96}{\sqrt{N}}]$  για διάστημα εμπιστοσύνης 95% τότε θεωρείται στατιστικά σημαντική. Επίσης, οι συσχέτισεις που συνήθως μας αφορούν είναι αυτές με υστέρηση να ισούται με μηδέν ή αρνητικές τιμές. Συνεπώς, όταν σε υστέρηση k, όπου k αρνητικός αριθμός, υπάρχει

σημαντική συσχέτιση Cross Correlation, τότε σημαίνει ότι η αύξηση ή η μείωση των τιμών του μεγέθους της χρονοσειράς  $x_t$  που συνέβη  $k$  χρονικές στιγμές πριν συσχετίζεται με την συμπεριφορά των τιμών του μεγέθους της χρονοσειράς  $y_t$ . Αν η υστέρηση είναι μηδέν, τότε αναφερόμαστε στην συσχέτιση των δύο μεγεθών, όταν εξετάζονται την ίδια χρονική στιγμή. (nwfsc-timeseries.github.io, Cross-correlation function (CCF))

Στην εργασία αυτή, για την επεξεργασία των παρατηρήσεων της χρονοσειράς και την πρόβλεψη εφαρμόστηκαν η διαδικασία της αποσύνθεσης και η μεθοδολογία Box-Jenkins.

### 1.4.2 Αποσύνθεση χρονοσειράς

Κατά την διαδικασία της αποσύνθεσης γίνεται ο διαχωρισμός των συνιστωσών μίας χρονοσειράς. Οι συνιστώσες είναι αυτή της τάσης, της εποχικότητας, του κύκλου και της τυχαιότητας. Η τελευταία αντικατοπτρίζει το μέρος των τιμών της χρονοσειράς που παραμένει, αφού προσδιοριστούν οι τρεις άλλες συνιστώσες. Συνεπώς, μπορούμε να προσεγγίσουμε τις τιμές των δεδομένων  $x_t$  όπου  $t$  ένα σύνολο διαδοχικών χρονικών στιγμών με ένα από τις παρακάτω τρόπους (Hyndman R.J. & Athanasopoulos G., 2018):

- Προσθετικό μοντέλο:

$$x_t = S_t + T_t + C_t + R_t \text{ (εξίσωση 1.18)}$$

- Πολλαπλασιαστικό μοντέλο:

$$x_t = S_t * T_t * C_t * R_t \text{ (εξίσωση 1.19)}$$

όπου  $S_t$  η συνιστώσα της εποχικότητας,  $T_t$  η συνιστώσα της τάσης,  $C_t$  η συνιστώσα του κύκλου και  $R_t$  η συνιστώσα της τυχαιότητας.

Το προσθετικό μοντέλο θεωρείται ότι είναι πιο κατάλληλο, όταν το μέγεθος των εποχικών διακυμάνσεων ή η απόκλιση των αρχικών δεδομένων από την διαγραμματική αναπαράσταση της συνδυαστικής συνιστώσας της τάσης και του κύκλου δεν διαφοροποιούνται με την πάροδο του χρόνου. Στην αντίθετη περίπτωση, είναι πιο ορθό να εφαρμοστεί το πολλαπλασιαστικό μοντέλο. (Hyndman R.J. & Athanasopoulos G., 2018)

Η κλασική μέθοδος αποσύνθεσης (Classical decomposition) αποτελεί μία απλή διαδικασία και σημείο αναφοράς για άλλες μεθόδους αποσύνθεσης. Λαμβάνοντας υπόψιν την συχνότητα καταγραφής και το μοντέλο που χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί, η μέθοδος αυτή πραγματοποιείται με κατάλληλο τρόπο. Γενικότερα, τα βήματα που ακολουθούνται σε κάθε περίπτωση είναι τα εξής: (Βασίλειος Ασημακόπουλος, 2019 Σημειώσεις, Τεχνικές Προβλέψεων, my courses.ntua.gr)

- **Βήμα 1: Προσδιορισμός συνδυαστικής συνιστώσας της τάσης και του κύκλου**

Για να γίνει αυτό υπολογίζεται ο κεντρικός κινητός μέσος όρος (KKMO) είτε τύπου  $KKMO(2xm)$  αν το μήκος εποχικότητας  $m$  είναι ζυγός αριθμός είτε τύπου

ΚΚΜΟ(m) αν το m είναι μονός αριθμός. Γενικότερα, όλα τα είδη κινητών μέσων όρων απαλλάσσουν τη χρονοσειρά από ένα μέρος της τυχαιότητας και επιτυγχάνουν την αποεποχικοποίηση και την εξομάλυνση των δεδομένων της. Οπότε ανάλογα με το μοντέλο, ο κεντρικός κινητός μέσος όρος έχει το εξής αποτέλεσμα:

$$\text{Προσθετικό μοντέλο: } KKMO_t = T_t + C_t \text{ (εξίσωση 1.20)}$$

$$\text{Πολλαπλασιαστικό μοντέλο: } KKMO_t = T_t * C_t \text{ (εξίσωση 1.21)}$$

- **Βήμα 2: Αρχικός υπολογισμός συνιστώσας της εποχικότητας**

Η συνιστώσας της εποχικότητας η οποία περιέχει τυχαιότητα εκφράζεται για δεδομένη χρονική στιγμή t με την παρακάτω πράξη:

$$\text{Προσθετικό μοντέλο: } S_t + R_t = x_t - KKMO_t \text{ (εξίσωση 1.22)}$$

$$\text{Πολλαπλασιαστικό μοντέλο: } S_t * R_t = \frac{x_t}{KKMO_t} \text{ (εξίσωση 1.23)}$$

- **Βήμα 3: Τελικός υπολογισμός συνιστώσας της εποχικότητας**

Στην κλασική αποσύνθεση της χρονοσειράς υποθέτουμε ότι η συνιστώσα της χρονοσειράς είναι σταθερή για όλη την χρονοσειρά. Συνεπώς, υπολογίζουμε τους μέσους όρους των δεδομένων χωρίς τάση και κύκλο για κάθε χρονική στιγμή της περιόδου. Παραδείγματος χάρη, βρίσκουμε τον δείκτη εποχικότητας για τον μήνα Ιανουάριο υπολογίζοντας τον μέσο όρο απ' όλες τις τιμές της χρονοσειράς που δεν έχουν τάση και κύκλο και αντιστοιχούν στον μήνα αυτό. Άρα καταλήγουμε στην συνιστώσα  $\hat{S}_t$ .

- **Βήμα 4: Εύρεση αποεποχικοποιημένης σειράς**

Σύμφωνα με το προσθετικό μοντέλο, η χρονοσειρά εξαλείφει την συνιστώσα της εποχικότητας για δεδομένη χρονική στιγμή t με τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Προσθετικό μοντέλο: } x_t - \hat{S}_t = T_t + C_t + R_t \text{ (εξίσωση 1.24)}$$

$$\text{Πολλαπλασιαστικό μοντέλο: } \frac{x_t}{\hat{S}_t} = T_t * C_t * R_t \text{ (εξίσωση 1.25)}$$

- **Βήμα 5: Αφαίρεση της τυχαιότητας από την αποεποχικοποιημένη σειρά**

Στο βήμα αυτό, χρησιμοποιείται ο διπλός κεντρικός κινητός μέσος όρος 3x3 (ΔΚΜΟ), επειδή ενδείκνυται για περιπτώσεις που επιθυμούμε να πετύχουμε



εξομάλυνση των δεδομένων και απαλοιφή τυχαιότητας. Συνεπώς, εφαρμόζουμε την παρακάτω πράξη για δεδομένη χρονική στιγμή  $t$  :

$$\Delta KMO(3x3)_t = \frac{\left\{ \left[ \frac{(APx_{t-2} + APx_{t-1} + APx_t)}{3} \right] + \left[ \frac{(APx_{t-1} + APx_t + APx_{t+1})}{3} \right] + \left[ \frac{(APx_t + APx_{t+1} + APx_{t+2})}{3} \right] \right\}}{3}$$

$$\Rightarrow \text{Προσθετικό μοντέλο: } \Delta KMO(3x3)_t = T_t + C_t \text{ (εξίσωση 1.26)}$$

$$\text{Πολλαπλασιαστικό μοντέλο: } \Delta KMO(3x3)_t = T_t * C_t \text{ (εξίσωση 1.27)}$$

όπου  $APx_t$  η τιμή της αποεποχικοποιημένης σειράς. Για τις δύο πρώτες και τελευταίες χρονικές στιγμές στις οποίες δεν υπάρχουν όλα τα παραπάνω στοιχεία για να εφαρμοστεί η πράξη οι αποεποχικοποιημένες τιμές απαλλαγμένες από την τυχαιότητα προσεγγίζονται με τον εξής τρόπο:

$$\Delta KMO(3x3)_2 = KMO(3)_2 \text{ (εξίσωση 1.28)}$$

$$\Delta KMO(3x3)_1 = \frac{AP_1 + AP_2}{2} + \frac{KMO(3)_2 - KMO(3)_3}{2} \text{ (εξίσωση 1.29)}$$

με τις δύο τελευταίες τιμές να υπολογίζονται με όμοιο τρόπο από το τέλος της χρονοσειράς.

- **Βήμα 6: Υπολογισμός της συνιστώσας της τυχαιότητας**

Αυτό επιτυγχάνεται για δεδομένη χρονική στιγμή  $t$  με την παρακάτω πράξη:

$$\text{Προσθετικό μοντέλο: } T_t + C_t + R_t - \Delta KMO(3x3)_t = R_t \text{ (εξίσωση 1.30)}$$

$$\text{Πολλαπλασιαστικό μοντέλο: } \frac{T_t * C_t * R_t}{\Delta KMO(3x3)_t} = R_t \text{ (εξίσωση 1.31)}$$

- **Βήμα 7: Προσδιορισμός της συνιστώσας της τάσης**

Εδώ προσαρμόζουμε ευθεία στα δεδομένα που προκύπτουν από τον υπολογισμό του  $\Delta KMO(3x3)_t$ , προσδιορίζοντας την κλίση της,  $\beta$  και την μετατόπισή της,  $\alpha$ :

$$\beta = \frac{\frac{\sum_{t=1}^N t * \Delta KMO(3x3)_t}{N} - \bar{t} * \overline{\Delta KMO(3x3)_t}}{\frac{\sum_{t=1}^N t^2}{N} - \bar{t}^2} \text{ (εξίσωση 1.32)}$$

$$\alpha = \overline{\Delta KMO(3x3)_t} - \beta * \bar{t} \text{ (εξίσωση 1.33)}$$

όπου  $N$  το πλήθος των τιμών της χρονοσειράς και  $\bar{t}$  και  $\overline{\Delta KMO(3x3)}_t$  οι μέσες τιμές των χρονικών στιγμών και των αποεποχικοποιημένων και απαλλαγμένων από τυχαιότητα τιμών αντίστοιχα όλης της χρονοσειράς. Συνεπώς, η συνιστώσα της τάσης εκφράζεται για δεδομένη χρονική στιγμή  $t$  με την παρακάτω σχέση:

$$T_t = a + \beta * t \text{ (εξίσωση 1.34)}$$

Χρειάζεται να επισημανθεί ότι αν η χρονοσειρά μας έχει δεδομένα για πολλά χρόνια τότε έχει νόημα να υπολογίσουμε και την συνιστώσα του κύκλου με τον παρακάτω τρόπο:

$$\text{Προσθετικό μοντέλο: } C_t = \overline{\Delta KMO(3x3)}_t - T_t \text{ (εξίσωση 1.35)}$$

$$\text{Πολλαπλασιαστικό μοντέλο: } C_t = \frac{\overline{\Delta KMO(3x3)}_t}{T_t} \text{ (εξίσωση 1.36)}$$

### 1.4.3 Μεθοδολογία Box-Jenkins

#### Στασιμότητα και Διαφόριση

«Μία συλλογή τυχαίων μεταβλητών  $x_t$ ,  $t \in T$  όπου  $T = \{1, 2, 3, \dots\}$  ένα σύνολο διαδοχικών χρονικών στιγμών, καλείται στοχαστική διαδικασία στον διακριτό χρόνο. Μια χρονολογική σειρά  $x_1, x_2, \dots, x_N$  μπορεί να θεωρηθεί σαν δειγματική πραγματοποίηση της στοχαστικής διαδικασίας  $x_t, t \in T$ ». (Παπαδήμας, 1998)

Οι ερευνητές Box και Jenkins το έτος 1970 εισήγαγαν την έννοια των στοχαστικών διαδικασιών ή μοντέλων ARIMA τα οποία περιγράφουν το πως εξελίσσεται ένα μέγεθος διαχρονικά και δημιουργούνται με το να εξετάζεται η αυτοσυσχέτιση μεταξύ των ιστορικών παρατηρήσεων ή δεδομένων του διαχρονικά υπό εξέταση φαινομένου. Σκοπός είναι να βρεθεί το μοντέλο που προσαρμόζεται με κατάλληλο τρόπο στα δεδομένα αυτά έτσι ώστε να πραγματοποιούνται με βάση αυτά τα μοντέλα αξιόπιστες προβλέψεις για τις μελλοντικές χρονικές στιγμές. (Παπαδήμας, 1998)

Αναγκαία συνθήκη για την εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας είναι η χρονοσειρά να είναι στάσιμη. Αυτό σημαίνει ότι η μέση τιμή και η διακύμανση των δεδομένων της χρονοσειράς δεν μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου, ενώ η συνάρτηση της αυτοσυνδιακύμανσης εξαρτάται μόνο από την υστέρηση  $k$ . (Παπαδήμας, 1998)

Στις περισσότερες εφαρμογές οι χρονοσειρές θεωρούνται ασταθείς, επειδή έχουν τάση και εποχικότητα σε βαθμό που μπορεί να προκαλέσουν κατά τη διάρκεια των χρονοσειρών τέτοια συμπεριφορά στα δεδομένα έτσι ώστε να μην υπάρχει στασιμότητα. Προκειμένου η

χρονοσειρά να γίνει στάσιμη, μπορούμε να πραγματοποιήσουμε διαφύριση της χρονοσειράς με έναν από τους τέσσερις παρακάτω τρόπους: (Ευάγγελος Σπηλιώτης, 2019, Σημειώσεις, Τεχνικές Προβλέψεων, mycourses.ntua.gr)

$$\text{Διαφύριση 1}^{\text{ης}} \text{ τάξης: } x'_t = x_t - x_{t-1} \text{ (εξίσωση 1.37)}$$

$$\text{Διαφύριση 2}^{\text{ης}} \text{ τάξης: } x''_t = x'_t - x'_{t-1} = x_t - 2 * x_{t-1} + x_{t-2} \text{ (εξίσωση 1.38)}$$

$$\text{Εποχική διαφύριση 1}^{\text{ης}} \text{ τάξης: } x'_t = x_t - x_{t-L} \text{ (εξίσωση 1.39)}$$

$$\text{Εποχική διαφύριση 2}^{\text{ης}} \text{ τάξης: } x''_t = x'_t - x'_{t-L} = x_t - 2 * x_{t-L} + x_{t-2*L} \text{ (εξίσωση 1.40)}$$

όπου L το μήκος της εποχικότητας της χρονοσειράς. Είναι προφανές ότι από τον πρώτο τρόπο διαφύρισης προκύπτουν τελικά N-1 δεδομένων, από τον δεύτερο N-2, από την τρίτη N-L και από την τέταρτη N-2\*L. Η εποχική διαφύριση εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που η χρονοσειρά έχει έντονη εποχικότητα. Σε περίπτωση που η εποχική διαφύριση δεν έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα, μπορεί να συνδυαστεί με την απλή διαφύριση. Τέλος, συνιστάται η τάξη της διαφύρισης να μην υπερβαίνει την δεύτερη. (Ευάγγελος Σπηλιώτης, 2019, Σημειώσεις, Τεχνικές Προβλέψεων, mycourses.ntua.gr)

Προκειμένου να εξασφαλίσουμε ότι η χρονοσειρά είναι στάσιμη, μπορούμε να κάνουμε ορισμένα στατιστικά τεστ. Ένα από τα πιο γνωστά είναι το Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) το οποίο εξετάζει αν η χρονοσειρά είναι στάσιμη γύρω από μία μέση τιμή ή μία γραμμική τάση. Με βάση το τεστ αυτό η χρονοσειρά  $y_t$  που ελέγχεται αποδομείται ως άθροισμα των παρακάτω παραμέτρων όπου: (Kwiatkowski et al, 1992)

$$y_t = \beta * t + r_t + \varepsilon_t \text{ (εξίσωση 1.41)}$$

όπου  $\beta * t$  η ντετερμινιστική τάση,  $r_t$  ακολουθία μεταβλητών τυχαίου περιπάτου (random walk) και  $\varepsilon_t$  το σφάλμα στασιμότητας. Υποθέτουμε ότι  $\beta=0$  στην περίπτωση που εξετάζουμε αν η χρονοσειρά είναι στάσιμη γύρω από μία μέση τιμή. Η διαδικασία  $r_t$  παρουσιάζεται παρακάτω: (Kwiatkowski et al, 1992)

$$r_t = r_{t-1} + u_t \text{ (εξίσωση 1.42)}$$

Οι μεταβλητές  $\varepsilon_t$  και  $u_t$ ,  $t \in T$  όπου  $T=\{1,2,3,\dots\}$  είναι τελείως τυχαίες μεταβλητές (ή λευκός θόρυβος) και έχουν μηδενική μέση τιμή. Η αρχική τιμή  $r_0$  θεωρείται σταθερή και αντιμετωπίζεται ως μετατόπιση.

Σύμφωνα με αυτό το τεστ, η μηδενική υπόθεση είναι ότι τα δεδομένα της χρονοσειράς είναι στάσιμα και ισχύει αν η εξίσωση 1.41 μπορεί να περιγράψει την χρονοσειρά με μία σταθερή παράμετρο για μετατόπιση ή αλλιώς αν η χρονοσειρά είναι στάσιμη γύρω από ένα επίπεδο που αντιπροσωπεύεται από την τιμή  $\tau_0$  που ουσιαστικά σημαίνει ότι  $\sigma_u^2 = 0$ . (Kwiatkowski et al, 1992)

Αρχικά εφαρμόζεται γραμμική παλινδρόμηση για τα δεδομένα της χρονοσειράς, που εξετάζουμε, η οποία προσδιορίζει εξίσωση όπως την 1.41 χωρίς την ντετερμινιστική τάση. Έπειτα, για το τεστ υπολογίζεται ο πολλαπλασιαστής του Lagrange (Langrange Multiplier - LM) και στην συνέχεια μπορεί να συγκριθεί με τις οριακές τιμές που καθορίστηκαν για επίπεδο σημαντικότητας 10%, 5%, 2.5% ή 1%. Σε περίπτωση που η τιμή LM υπερτερεί αυτών των οριακών τιμών, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται. Εφόσον είναι επιθυμητό να εξεταστεί αν η χρονοσειρά με  $N$  δεδομένα είναι στάσιμη γύρω από ένα επίπεδο, η τιμή LM υπολογίζεται ως εξής: (Kwiatkowski et al, 1992)

$$S_t = \sum_{i=1}^t e_i \quad \text{για } t = 1, 2, \dots, N \text{ (εξίσωση 1.43)}$$

$$LM = \sum_{t=1}^N \frac{S_t^2}{\hat{\sigma}_\varepsilon^2} \text{ (εξίσωση 1.44)}$$

όπου  $e_t = y_t - \bar{y}$  τα κατάλοιπα από την παλινδρόμηση και  $\hat{\sigma}_\varepsilon^2$  η διακύμανση των καταλοίπων της παλινδρόμησης.

### Εκτίμηση μοντέλων ARIMA

Σύμφωνα με το ηλεκτρονικό σύγγραμμα των Hyndman R.J. και Athanasopoulos G. (2018), Οθ. Παπαδήμα (1998) και τις σημειώσεις για το μάθημα «Τεχνικές Προβλέψεων» στην ιστοσελίδα [mycourses.ntua.gr](http://mycourses.ntua.gr) περιγράφονται οι κατηγορίες των μοντέλων πρόβλεψης ARIMA και ο τρόπος αξιολόγησής τους.

Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από τα μοντέλα αυτοπαλινδρόμησης (Autoregressive – AR) και συμβολίζεται με AR(p) όπου  $p$  ο αριθμός των παραμέτρων. Σύμφωνα με αυτά, η τιμή  $x_t$  της χρονοσειράς εξαρτάται από τις  $p$  προηγούμενες παρατηρήσεις  $x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-p}$  σε βαθμό που ορίζει το διάνυσμα των παραμέτρων  $\varphi' = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p)$ . Η αλγεβρική αναπαράσταση του μοντέλου AR παρουσιάζεται παρακάτω:

$$x_t = \varphi_1 * x_{t-1} + \varphi_2 * x_{t-2} + \dots + \varphi_p * x_{t-p} + \varepsilon_t \text{ (εξίσωση 1.45)}$$

Για  $B^j x_t = x_{t-j}$  όπου  $B$  ο τελεστής οπισθοδρομίας η εξίσωση 1.45 διατυπώνεται ως εξής:

$$(1 - \varphi_1 * B - \varphi_2 * B^2 - \dots - \varphi_p * B^p) x_t = \varepsilon_t \text{ (εξίσωση 1.46)}$$

Από την εξίσωση 1.46 προκύπτει το χαρακτηριστικό πολυώνυμο  $\Phi(B)$  των μοντέλων  $AR(p)$ :

$$\Phi(B) = 1 - \varphi_1 * B - \varphi_2 * B^2 - \dots - \varphi_p * B^p \quad (\text{εξίσωση 1.47})$$

Επίσης, εφόσον μία διαδικασία  $AR(p)$  έχει μέση τιμή  $\mu$  διάφορη του μηδενός, αντικαθιστώντας την  $x_t$  στην εξίσωση 1.45 με  $z_t = x_t - \mu$  το μοντέλο  $AR(p)$  διατυπώνεται αριθμητικά ως εξής:

$$x_t = \varphi_1 * x_{t-1} + \varphi_2 * x_{t-2} + \dots + \varphi_p * x_{t-p} + c + \varepsilon_t$$

$$\text{με } c = \mu * \left(1 - \sum_{i=1}^p \varphi_i\right) \quad (\text{εξίσωση 1.48})$$

Εφόσον η εφαρμογή των μοντέλων πρόβλεψης με την μεθοδολογία Box-Jenkins γίνεται σε χρονοσειρές με στάσιμα δεδομένα, οι παράμετροι  $\varphi' = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p)$  υπόκεινται σε κάποιους περιορισμούς. Ειδικότερα για τα μοντέλα  $AR(1)$  και  $AR(2)$  τα οποία χρησιμοποιούνται πιο συχνά ισχύουν τα παρακάτω:

$$AR(1) : -1 < \varphi_1 < 1 \quad (\text{εξίσωση 1.49})$$

$$AR(2) : -1 < \varphi_2 < 1 \quad (\text{εξίσωση 1.50})$$

$$\varphi_1 + \varphi_2 < 1 \quad (\text{εξίσωση 1.51})$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 < 1 \quad (\text{εξίσωση 1.52})$$

Η τήρηση των περιορισμών αυτών λαμβάνεται υπόψιν κατά την επίλυση του μοντέλου πρόβλεψης μέσω της R και για περιπτώσεις που  $p \geq 3$ , αυτοί οι περιορισμοί είναι πιο περίπλοκοι. Εφόσον είναι γνωστές οι τιμές αυτοσυσχέτισης  $r_k$  για τους συντελεστές των μοντέλων  $AR(1)$  και  $AR(2)$  ισχύει ότι:

$$AR(1) : r_k = \varphi_1^k \text{ και προκύπτει } r_1 = \varphi_1 \quad (\text{εξίσωση 1.53})$$

$$AR(2) : r_k = \varphi_1 * r_{k-1} + \varphi_2 * r_{k-2} \text{ και προκύπτει } r_1 = \frac{\varphi_1}{1-\varphi_2} \quad (\text{εξίσωση 1.54})$$

$$\text{και } r_2 = \frac{\varphi_1^2}{1-\varphi_2} + \varphi_2 \quad (\text{εξίσωση 1.55})$$

Ακολουθούν τα μοντέλα κινητού μέσου όρου (Moving Average - MA) που συμβολίζονται ως  $MA(q)$  βάσει των οποίων υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ της τιμής της χρονοσειράς  $x_t$  και των σφαλμάτων που παρήγαγε το μοντέλο σε κάθε μία από τις  $q$  προηγούμενες χρονικές στιγμές τιμές. Το διάνυσμα των παραμέτρων  $\theta' = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q)$ . Τα σφάλματα τόσο της εκάστοτε χρονικής στιγμής όσο και των  $q$  προηγούμενων αυτά αποτελούν ακολουθία κατάλοιπων λευκού θορύβου. Η αλγεβρική αναπαράσταση του μοντέλου MA παρουσιάζεται παρακάτω:

$$x_t = \theta_1 * \varepsilon_{t-1} + \theta_2 * \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q * \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (\text{εξίσωση 1.56})$$

Για το χαρακτηριστικό πολυώνυμο  $\Phi(B)$  των μοντέλων MA(q):

$$x_t = (1 + \theta_1 * B + \theta_2 * B^2 + \dots + \theta_q * B^q) * \varepsilon_t \quad (\text{εξίσωση 1.57})$$

$$\Phi(B) = 1 - \theta_1 * B + \theta_2 * B^2 + \dots + \theta_q * B^q \quad (\text{εξίσωση 1.58})$$

Επιπλέον, αποδεικνύεται για τον συντελεστή αυτοσυσχέτισης  $r_k$  ότι:

$$r_k = \begin{cases} \frac{-\theta_k + \sum_{i=1}^{q-k} \theta_i * \theta_{i+k}}{1 + \sum_{i=1}^q \theta_i^2} & (\text{εξίσωση 1.59}) \\ 0 & \text{για } k > q \end{cases}$$

Επειδή  $E(\varepsilon_t) = 0$  και η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης δεν εξαρτάται από το χρόνο  $t$ , συμπεραίνουμε ότι το μοντέλο MA(q) είναι πάντοτε στάσιμο, οπότε δεν βάζουμε περιορισμό στις παραμέτρους για αυτό το λόγο όπως πριν.

Μία σημαντική έννοια, που χρειάζεται να αναφέρουμε, είναι αυτή της αντιστρεψιμότητας, δηλαδή της δυνατότητας μετασχηματισμού ενός μοντέλου AR(p) σε MA( $\infty$ ) και ενός μοντέλου MA(q) σε AR( $\infty$ ). Δεδομένου ότι οι περιορισμοί που αναφέρθηκαν προηγουμένως για το AR(p) τηρούνται, τότε το AR(p) μπορεί να μετατραπεί σε MA( $\infty$ ). Για τα MA(q) πρώτης και δεύτερης τάξης υπάρχουν οι παρακάτω περιορισμοί στις παραμέτρους για να μπορούν να μετασχηματιστούν σε AR( $\infty$ ):

$$\text{MA(1): } -1 < \theta_1 < 1 \quad (\text{εξίσωση 1.60})$$

$$\text{MA(2): } -1 < \theta_2 < 1 \quad (\text{εξίσωση 1.61})$$

$$\theta_1 + \theta_2 > -1 \quad (\text{εξίσωση 1.62})$$

$$\theta_1 - \theta_2 < 1 \quad (\text{εξίσωση 1.63})$$

Όπως και στα AR(p), έτσι για μοντέλα MA(q) με πάνω από 2 παραμέτρους οι αντίστοιχοι περιορισμοί είναι πιο περίπλοκοι. Ουσιαστικά «με την αντιστρεψιμότητα, η οποία γίνεται υπό συγκεκριμένες συνθήκες για κάθε μοντέλο, διασφαλίζεται αν υπάρχει στασιμότητα στο μοντέλο και κατά συνέπεια μία καλή εκτίμηση της αρχικής χρονοσειράς.» (Ευάγγελος Σπηλιώτης, 2019, Σημειώσεις, Τεχνικές Προβλέψεων, mycourses.ntua.gr)

Επιπλέον, όπως πριν, αντικαθιστώντας την  $x_t$  στην εξίσωση 1.56 με  $z_t = x_t - \mu$  το μοντέλο MA(q) με μέση τιμή  $\mu$  διάφορη του μηδενός γράφεται ως εξής:

$$x_t = \theta_1 * \varepsilon_{t-1} + \theta_2 * \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q * \varepsilon_{t-q} + c + \varepsilon_t$$

με  $C = \mu$  (εξίσωση 1.64)

Όσον αφορά τους συντελεστές του MA(q) με γνωστές τις τιμές του συντελεστή αυτοσυσχέτισης  $r_k$  για τα MA(1) και MA(2) ισχύει:

$$\text{MA(1)} : r_1 = \frac{-\theta_1}{1+\theta_1^2} \text{ (εξίσωση 1.65)}$$

$$\text{MA(2)} : r_1 = \frac{-\theta_1*(1-\theta_2)}{1+\theta_1^2+\theta_2^2} \text{ (εξίσωση 1.66)}$$

$$\text{και } r_2 = \frac{-\theta_2}{1+\theta_1^2+\theta_2^2} \text{ (εξίσωση 1.67)}$$

Πολλές φορές επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί μοντέλο που να συνδυάζει ένα AR(p) και ένα MA(q) και συμβολίζεται ως ARMA(p,q). Η αλγεβρική του έκφραση είναι η παρακάτω:

$$x_t = \varphi_1 * x_{t-1} + \dots + \varphi_p * x_{t-p} + \theta_1 * \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta_q * \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t$$

(εξίσωση 1.68)

Εισάγοντας τον τελεστή οπισθοδρομίας B η εξίσωση 1.68 παίρνει την μορφή:

$$(1 - \varphi_1 * B - \varphi_2 * B^2 - \dots - \varphi_p * B^p)x_t = (1 + \theta_1 * B + \theta_2 * B^2 + \dots + \theta_q * B^q) * \varepsilon_t$$

(εξίσωση 1.69)

Όπως πριν, αν η διαδικασία ARMA(p,q) μέση τιμή  $\mu$  διάφορη του μηδενός εκφράζεται ως εξής:

$$x_t - \varphi_1 * x_{t-1} - \dots - \varphi_p * x_{t-p} - c = \theta_1 * \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta_q * \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t$$

$$\text{με } c = \mu * \left(1 - \sum_{i=1}^p \varphi_i\right) \text{ (εξίσωση 1.70)}$$

Συγκεκριμένα για το μοντέλο ARMA(1,1) σχετικά με την συνάρτηση αυτοσυσχέτισης  $r_k$  ισχύουν τα παρακάτω:

$$r_k = \begin{cases} \frac{(1-\varphi_1*\theta_1)*(\varphi_1-\theta_1)}{1+\theta_1^2-2*\varphi_1*\theta_1} \text{ για } k = 1 \\ r_{k-1} * \varphi_1 \text{ για } k > 1 \end{cases} \text{ (εξίσωση 1.71)}$$

Όπως αναφέραμε, είναι απαραίτητο να εξασφαλιστεί η στασιμότητα της χρονοσειράς του υπό εξέταση φαινομένου. Γι αυτόν τον λόγο, η διαφόριση ενσωματώνεται στην παραμετροποίηση

του μοντέλου με τον όρο I στο ARIMA(p,d,q) όπου το I(d) αναπαριστά την διαφορά d τάξης.

Με τον τελεστή οπισθοδρομίας B το μοντέλο ARIMA(p,d,q) με σταθερό όρο c εκφράζεται παρακάτω:

$$(1 - \varphi_1 * B - \dots - \varphi_p * B^p) * (1 - B)^d * x_t = c + (1 + \theta_1 * B + \dots + \theta_q * B^q) * \varepsilon_t$$

$$\mu c = \mu * (1 - \sum_{i=1}^p \varphi_i) \text{ (εξίσωση 1.72)}$$

Τα μοντέλα ARIMA μπορούν να εφαρμοστούν και σε δεδομένα με σημαντική εποχικότητα με το να ενσωματωθούν παραμέτρους γι αυτήν. Τέτοια μοντέλα συμβολίζονται ως ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)<sub>L</sub> όπου P, D και Q οι εποχικές παράμετροι για την αυτοπαλινδρόμηση, την διαφοράιση και τον κινητό μέσο όρο αντίστοιχα και L το μήκος της εποχικότητας. Για παράδειγμα, αν έχουμε μοντέλο ARIMA(1,1,1)(1,1,1)<sub>4</sub> χωρίς σταθερά c για δεδομένα ανά τρίμηνο, τότε η μαθηματική σχέση:

$$(1 - \varphi_1 * B) * (1 - \Phi_1 * B^4) * (1 - B) * (1 - B^4) * x_t = (1 + \theta_1 * B) * (1 - \Theta_1 * B^4) * \varepsilon_t$$

$$\text{(εξίσωση 1.73)}$$

Σε συνέχεια της προηγούμενης παραγράφου, ακολουθεί η διαδικασία της επιλογής του καταλληλότερου μοντέλου για μία δεδομένη χρονοσειρά. Κατ' αυτήν την διαδικασία, έχει σημασία να βρεθεί ένα μοντέλο, όσο γίνεται απλούστερο, το οποίο, αφού προσαρμοστεί ικανοποιητικά, θα μπορεί να δώσει προβλέψεις με ικανοποιητική ακρίβεια. Όμως στην πραγματικότητα περισσότερα από ένα μοντέλα πληρούν τα κριτήρια αυτά, που παρουσιάζουν παραπλήσια αποτελέσματα. Συνεπώς, καταλήγουμε σε ένα μοντέλο πρόβλεψης μετά από πολλούς ελέγχους και με βάση την δικιά μας κρίση. Αν θέλαμε να αυτοματοποιήσουμε την διαδικασία εύρεσης ενός τέτοιου μοντέλου, τα στάδια της είναι η αναγνώριση, η εκτίμηση και η διάγνωση.

#### A. Αναγνώριση

Εφόσον η συνθήκη της στασιμότητας ικανοποιείται, δημιουργούμε διαγράμματα αυτοσυσχέτισης (ACF) και μερικής αυτοσυσχέτισης (Partial ACF-PACF) που βοηθάνε στο να αναδείξουμε τις σημαντικές συσχετίσεις στα δεδομένα έτσι ώστε με αυτήν την πληροφορία να γίνει αντιληπτό ποια μοντέλα θα μπορούσαν να είναι ικανοποιητικά για την δοθείσα χρονοσειρά.

Νωρίτερα στην παράγραφο 1.3.1 αναφέρθηκε η έννοια του συντελεστή αυτοσυσχέτισης  $r_k$  και είναι ευνόητο ότι δίνει σημαντικές πληροφορίες για την χρονοσειρά. Ο συντελεστής μερικής αυτοσυσχέτισης  $\varphi_{kk}$  με υστέρηση k υπολογίζει την εξάρτηση της τιμής της



χρονοσειράς με την τιμή  $k$  χρονικές στιγμές πριν χωρίς όμως να συμπεριλαμβάνεται η επίδραση των ενδιάμεσων τιμών. Οι τιμές του συντελεστή μερικής αυτοσυσχέτισης περιέχονται στο διάστημα  $[-1,1]$ . Είναι προφανές ότι για  $k=1$  ο συντελεστής μερικής αυτοσυσχέτισης ισούται με αυτόν της αυτοσυσχέτισης:

$$\varphi_{11} = r_1 \text{ (εξίσωση 1.74)}$$

$$\varphi_{22} = \frac{r_2 - r_1^2}{1 - r_1^2} \text{ (εξίσωση 1.75)}$$

$$\varphi_{kk} = \frac{r_k - \sum_{j=1}^{k-1} \varphi_{k-1,j} * r_{k-j}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} \varphi_{k-1,j} * r_j} \text{ για } k = 3, \dots \text{ (εξίσωση 1.76)}$$

Με βάση τα διαγράμματα ACF και PACF μπορούμε να συμπεράνουμε όχι μόνο ποιο μοντέλο θα μπορούσε να προσαρμοστεί καλύτερα στα δεδομένα, αλλά και πόσες παράμετροι θα μπορούσαν να περιέχονται σε αυτό.

Για την εύρεση της κατηγορίας και της τάξης του μοντέλου πρόβλεψης που πιθανότατα προσαρμόζεται επαρκώς στις ιστορικές παρατηρήσεις και μέσω αυτού γίνονται έγκυρες προβλέψεις, αρχικά βασιζόμαστε στη μορφή που παίρνουν τα διαγράμματα ACF και PACF. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να κάνουμε μία πρώτη προσέγγιση του κατάλληλου μοντέλου, δηλαδή με το να παρατηρήσουμε σε ποιες χρονικές υστερήσεις οι τιμές των δύο διαγραμμάτων είναι στατιστικά σημαντικές, δηλαδή βρίσκονται εκτός του διαστήματος  $[-\frac{1.96}{\sqrt{N}}, \frac{1.96}{\sqrt{N}}]$  για διάστημα εμπιστοσύνης 95% όπου  $N$  το πλήθος των παρατηρήσεων. Συγκεκριμένα:

AR(p)	«Οι τιμές των συντελεστών ACF φθίνουν προς το μηδέν ακολουθώντας εκθετική η ημιτονοειδή πορεία.»
	«Οι τιμές των συντελεστών PACF μηδενίζονται απότομα μετά από $p$ περιόδους υστέρησης.»
MA(q)	«Οι τιμές των συντελεστών ACF μηδενίζονται απότομα μετά από $q$ περιόδους υστέρησης.»
	«Οι τιμές των συντελεστών PACF φθίνουν προς το μηδέν ακολουθώντας εκθετική η ημιτονοειδή πορεία.»
ARMA(p,q)	«Οι τιμές των συντελεστών ACF φθίνουν προς το μηδέν μετά από $q-p$ περιόδους υστέρησης.»

<p>«Οι τιμές των συντελεστών PACF φθίνουν προς το μηδέν μετά από p-q περιόδους υστέρησης.»</p>
--

Πίνακα 1.2: Μοτίβα που παρατηρούνται στα διαγράμματα ACF και PACF και συνδέονται με μοντέλα πρόβλεψης ARIMA (πηγή : Ευάγγελος Σπηλιώτης, 2019, Σημειώσεις, Τεχνικές Προβλέψεων, mycourses.ntua.gr)

Σύμφωνα με τον πίνακα 1.2 (Ευάγγελος Σπηλιώτης, 2019, Σημειώσεις, Τεχνικές Προβλέψεων, mycourses.ntua.gr), αν για μία δοθείσα στάσιμη χρονοσειρά η διαγραμματική παράσταση των ACF έχει εκθετική ή ημιτοειδής μορφή και ταυτόχρονα αυτή των PACF δείχνει ότι μέχρι την χρονική υστέρηση 2 οι μερικές συσχετίσεις ξεπερνούν σε τιμή το διάστημα τιμών  $[-\frac{1.96}{\sqrt{N}}, \frac{1.96}{\sqrt{N}}]$ , τότε πιθανότατα το μοντέλο ARIMA(2,0,0) να είναι ικανοποιητικό, με d=0, επειδή δεν χρειάστηκε να γίνει διαφόριση. Παρόλα αυτά, συνήθως μέσω των διαγραμμάτων κάνουμε μία αρχική εκτίμηση για το μοντέλο και έπειτα πραγματοποιούμε διάφορες δοκιμές, αξιολογώντας τις κατάλληλα, όπως θα δείξουμε στην συνέχεια.

Όσον αφορά τα εποχικά μοντέλα πρόβλεψης ARIMA, οι συντελεστές τους μπορούν να προσδιοριστούν με αυτόν που περιγράφηκε παραπάνω (αναφορικά με τον πίνακα 1.2), εφόσον παρατηρήσουμε ότι οι τιμές των αυτοσυσχετίσεων και των μερικών αυτοσυσχετίσεων που υπολογίστηκαν στις υστερήσεις με τιμές ίσες με το μήκος εποχικότητας και πολλαπλασίων αυτού είναι εξίσου στατιστικά σημαντικές.

## B. Εκτίμηση

Στο στάδιο αυτό προσδιορίζονται οι παράμετροι  $c, \phi_1, \dots, \phi_p, \theta_1, \dots, \theta_q, \Phi_1, \dots, \Phi_p, \dots, \Theta_1, \dots, \Theta_q$  για τα μοντέλα ARIMA ή εποχικά ARIMA που αποφασίστηκε να εξεταστούν με βάση τις ενδείξεις των διαγραμμάτων ACF και PACF και των σχετικών δοκιμών. Για να επιτευχθεί αυτό, υπολογίζεται η προσδοκώμενη πιθανοφάνεια L που δηλώνει κατά πόσο το μοντέλο με τις παραμέτρους που επιλέχθηκαν προσαρμόζεται στα δεδομένα της χρονοσειράς. Σκοπός είναι να βρεθούν οι κατάλληλες παράμετροι ούτως ώστε να μεγιστοποιηθεί η προσδοκώμενη πιθανοφάνεια L ή να ελαχιστοποιηθεί της λογαρίθμου αυτής. Οι μαθητικές σχέσεις για αυτούς τους δείκτες για μία χρονοσειρά με N δεδομένα είναι οι εξής:

$$L = \prod_{t=1}^N (2 * \pi * \sigma^2)^{-\frac{1}{2}} * e^{-\frac{(x_t - F_t)^2}{2 * \sigma^2}} \quad (\text{εξίσωση 1.77})$$

$$-2 * \log L = N * \log(2 * \pi) + N * \log(\sigma^2) + \frac{\sum_{i=1}^N e_t^2}{\sigma^2} \quad (\text{εξίσωση 1.78})$$

όπου Ft η προβλεπόμενη από το μοντέλο τιμή την χρονική στιγμή t, N ο αριθμός των δεδομένων,  $e_t$  το σφάλμα πρόβλεψης και  $\sigma^2$  η διακύμανση των σφαλμάτων του μοντέλου.

Παρόλα αυτά, η πιθανοφάνεια δεν λαμβάνει υπόψιν την πολυπλοκότητα του μοντέλου, οπότε δεν έχει νόημα να συγκρίνουμε μοντέλα διαφορετικής πολυπλοκότητας μέσω αυτής.

### Γ. Διάγνωση

Στο τελευταίο βήμα της διαδικασίας επιλογής γίνονται στατιστικοί έλεγχοι προκειμένου να αξιολογηθεί αν το μοντέλο είναι προβλεπτικά άρτιο, αλλά και αν τα κατάλοιπα που προκύπτουν από το τελικό μοντέλο συσχετίζονται μεταξύ τους, οπότε εμπεριέχουν πληροφορία αξιοποιήσιμη.

Χάρη στις δυνατότητες της γλώσσας προγραμματισμού R, είναι δυνατόν να δημιουργήσουμε πολλά μοντέλα ARIMA ανάλογα με την χρονοσειρά με την οποία ασχολούμαστε. Αξιόπιστο κριτήριο για το ποιο μοντέλο είναι πιο κατάλληλο είναι ο δείκτης Akaike's Information Criterion (AIC). Μέσω αυτού γίνεται προσπάθεια εξισορρόπησης μεταξύ της πολυπλοκότητας ενός δεδομένου μοντέλου και της καλής του προσαρμογής. Πιο αναλυτικά, αφού για κάθε υποψήφιο μοντέλο προσδιοριστεί η προσδοκώμενη πιθανοφάνεια  $L$  και η παραμετροποίησή του έχει γίνει με τον βέλτιστο τρόπο, η τιμή του AIC υπολογίζεται ενσωματώνοντας την προσδοκώμενη πιθανοφάνεια και την πολυπλοκότητα του εκάστοτε μοντέλου μέσω του αριθμού των παραμέτρων του. Αλγεβρικά τα μεγέθη αυτά εκφράζονται ως εξής:

$$AIC = -2 * \log L + 2 * (p + q + P + Q + k + 1) \text{ (εξίσωση 1.79)}$$

όπου  $k=0$  αν η σταθερά του μοντέλου έχει οριστεί μηδέν και  $k=1$  στην αντίθετη περίπτωση.

Ο δείκτης είναι χρήσιμος, γιατί με την αύξηση των παραμέτρων του μοντέλου μπορεί να μειώνεται η προκατάληψη (bias) των προβλέψεων κι έτσι λαμβάνονται υπόψιν σημαντικές πληροφορίες από τα δεδομένα της χρονοσειράς, αλλά ταυτόχρονα υπάρχει περίπτωση να οδηγηθούμε σε υπερπροσαρμογή του μοντέλου (overfitting), με αποτέλεσμα να αυξηθεί η διακύμανση των σφαλμάτων και κατ' επέκταση να οδηγήσει σε μικρότερη ακρίβεια των προβλέψεων (variance). Συνεπώς, το μοντέλο που έχει μικρή προκατάληψη και ικανοποιητική ακρίβεια πρόβλεψης είναι αυτό που με βάση τις παραμέτρους του υπολογίζεται μικρή τιμή για τον δείκτη AIC.

Έπειτα, για να ελέγξουμε ότι αν το μοντέλο πρόβλεψης ARIMA προσαρμόζεται καλά στις αρχικές παρατηρήσεις εφαρμόζεται το τεστ Ljung-Box όπως περιγράφεται στην παράγραφο 1.3.1. Οι βαθμοί ελευθερίας  $h$  καθορίζονται από την αφαίρεση του αριθμού των υστερήσεων  $m$  όπως περιγράφεται στην παράγραφο 1.3.1 πλην τις παραμέτρους του μοντέλου.

Τέλος, εφόσον επιλέξουμε το πιο ικανοποιητικό μοντέλο πρόβλεψης, υπολογίζουμε με βάση αυτό τις μελλοντικές τιμές του φαινομένου μελέτης μαζί με η τυπική απόκλιση πρόβλεψης για κάθε μελλοντική τιμή. Συνεπώς, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% η ακρίβεια σε κάθε πρόβλεψη σε χρονική στιγμή  $t+h$  εκφράζεται ως  $\pm 1.96 \hat{\sigma}_h$ , όπου  $\hat{\sigma}_h$  η εκτίμηση της τυπικής απόκλισης για κάθε πρόβλεψη βήματος  $h$ .

Εν κατακλείδι, η διαδικασία της εύρεσης κατάλληλου μοντέλου πρόβλεψης ARIMA που πραγματοποιήθηκε σε αυτήν την εργασία μπορεί να περιγραφεί συνοπτικά με τα παρακάτω βήματα:

1. Έλεγχος στασιμότητας της χρονοσειράς μέσω του στατιστικού τεστ KPSS
2. Δημιουργία και ερμηνεία διαγραμμάτων ACF και PACF για την αρχική εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου πρόβλεψης
3. Υλοποίηση δοκιμών μεταβάλλοντας κατάλληλα τις παραμέτρους και αξιολόγηση των μοντέλων μέσω του κριτηρίου AIC
4. Επιλογή του πιο ικανοποιητικού εποχικού ή μη μοντέλου πρόβλεψης ARIMA
5. Αξιολόγηση του μοντέλου, που επιλέξαμε, μέσω της ανάλυσης της σημαντικότητας των καταλοίπων του μοντέλου πρόβλεψης μέσω στατιστικού ελέγχου Ljung Box
6. Εκτίμηση των προβλέψεων και της ακρίβειάς τους

## **1.5 Εξαγωγή δεδομένων από δορυφορικές εικόνες για εφαρμογή ανάλυσης χρονοσειρών**

Στην εργασία αυτή, μελετήθηκαν χρονοσειρές θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών βλάστησης NDVI τα οποία προήλθαν από δορυφορικές εικόνες. Προκειμένου να γίνει σωστή ανάλυση χρονοσειρών των δεδομένων αυτών, χρειάστηκε να πραγματοποιηθούν κάποιες ενέργειες τόσο ως προς την επεξεργασία των εικόνων για να εξάγουμε έγκυρα δεδομένα όσο ως προς τα δεδομένα αυτά ως χρονολογικές σειρές.

Για να αποκτήσουμε αξιόπιστες τιμές θερμοκρασίας εδάφους και δείκτη βλάστησης NDVI για την περιοχή μελέτης και να τις αναλύσουμε σε χρονοσειρά χρειάστηκε οι δορυφορικές εικόνες να περάσουν από μία σειρά επεξεργασιών. Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 1.2, για τον δείκτη βλάστησης NDVI χρειάστηκε να γίνει ατμοσφαιρική διόρθωση στα κανάλια του κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου. Σχετικά με τη θερμοκρασία εδάφους, στην εργασία αυτή ο υπολογισμός της υλοποιήθηκε με μετατροπή από θερμοκρασία λαμπρότητας σε θερμοκρασία εδάφους με χρήση του συντελεστή εκπομπής. Παρόλα αυτά, υπάρχουν αλγόριθμοι που λαμβάνουν υπόψιν την απορρόφηση της ακτινοβολίας λόγω των υδρατμών στην ατμόσφαιρα ή λογισμικά που υπολογίζουν τις επιπτώσεις του πάχους της ατμόσφαιρας και του αναγλύφου του εδάφους στο σήμα του θερμικού καναλιού όπως το λογισμικό

ATCOR. (Sobrino & Julien, 2013) Επιπλέον, στις περιπτώσεις μελέτης των θερμοκρασιών εδάφους για μεγάλες χρονικές περιόδους κάποιες φορές χρειάζεται ο επαναπροσδιορισμός των συντελεστών για τη μετατροπή των ψηφιακών τιμών των θερμικών εικόνων σε θερμοκρασίες λαμπρότητας, κάτι που στην εργασία αυτή δεν ήταν απαραίτητο.

Στην συνέχεια, αφαιρέθηκαν τα σύννεφα από τις εικόνες για τον προσδιορισμό τόσο της θερμοκρασίας εδάφους όσο και του δείκτη βλάστησης NDVI. Γενικότερα, αυτό μπορεί να γίνει είτε με το να οριστεί κατώφλι σε κανάλι ή σε λόγο καναλιών (οπτικών ή/και θερμικών) είτε με μεθόδους αναδόμησης συννέφων κατά τις οποίες αναγνωρίζονται τα εικονοστοιχεία όπου απεικονίζονται σύννεφα και στις θέσεις τους συμπληρώνονται με άλλες τιμές. (Sobrino & Julien, 2013) Στην εργασία αυτή, χρησιμοποιήσαμε τον αλγόριθμο Fmask που εντοπίζει αυτά τα εικονοστοιχεία και τα μασκάρει. Ακολουθούν περισσότερες πληροφορίες γι αυτόν στο κεφάλαιο 4.

Όσον αφορά τα δεδομένα ως χρονολογικές σειρές, αρχικά ήταν απαραίτητο να γίνει σωστή διαχείριση των κενών τιμών, εφόσον οι παρατηρήσεις της χρονοσειράς  $x_i$  αντιστοιχούν σε ισαπέχουσες χρονικές στιγμές  $t$ . Συνεπώς, χρειάστηκε οι κενές θέσεις στα δεδομένα της χρονοσειράς να συμπληρωθούν χωρίς βλάβη της γενικότητας. Όπως θα διαπιστώσουμε και στη συνέχεια, δεν υπήρχε η δυνατότητα απόκτησης δορυφορικών εικόνων για κάποιες χρονικές στιγμές της χρονοσειράς, επειδή οι εικόνες αυτές είτε δεν υπήρχαν διαθέσιμες είτε περιείχαν μεγάλη νεφοκάλυψη πάνω από την περιοχή μελέτης, με αποτέλεσμα να πρέπει να απορριφθούν. Τέλος, όπως και για κάθε χρονοσειρά, έτσι και γι αυτές των θερμοκρασιών εδάφους και των δεικτών NDVI έπρεπε να διασφαλιστεί η στασιμότητά τους.

## Κεφάλαιο 2: Προγενέστερες μελέτες

### 2.1 Βασικές πληροφορίες από τις μελέτες

Στο προηγούμενο κεφάλαιο περιγράφηκε η θεωρητική προσέγγιση εύρεσης πραγματικών κινητικών θερμοκρασιών  $T_{kin}$  ή θερμοκρασιών εδάφους LST από δορυφορικά δεδομένα. Στην πράξη έχουν γίνουν αρκετές μελέτες σχετικές με την συγκεκριμένη διαδικασία όπως (Rajendran & Mani, 2015), (Urişescu et al, 2017), (Macarof et al, 2018) και (Du et al, 2014) κατά τις οποίες αναδεικνύονται παραπάνω από ένας τρόποι για να υπολογιστεί η θερμοκρασία εδάφους. Επομένως, μέσω των εργασιών που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες μέθοδοι για την εξαγωγή θερμοκρασίας εδάφους.

Επιπλέον, σε όλες τις παρακάτω εργασίες εκτός από αυτήν των Du et al (2014) εξετάζεται και η σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας εδάφους και διαφόρων παραγόντων όπως κάλυψη γης, βλάστηση της περιοχής μελέτης. Τέλος, στην εργασία των Quan et al (2016) εφαρμόστηκε αποσύνθεση χρονοσειρών θερμοκρασίας εδάφους και οι εξαγόμενες συνιστώσες μελετήθηκαν με την εξέλιξη των καλύψεων γης της περιοχής μελέτης.

#### 2.1.1 Εργασία (Rajendran & Mani, 2015)

Η εργασία των Rajendran και Mani (2015) είχε ως σκοπό να αποδώσει χωρικά τις θερμοκρασίες εδάφους στην πόλη Thiruvananthapuram στην Ινδία από δορυφορικές εικόνες του Landsat 8 με βάση την κατανομή των καλύψεων γης λόγω της απότομης αστικοποίησης της περιοχής.

Η περιοχή μελέτης της εργασίας αποτελεί συγκεκριμένα ένα μέρος της πόλης Thiruvananthapuram που είναι η εταιρική πόλη Thiruvananthapuram Corporation. Πρόκειται για μία περιοχή που έχει έκταση 214.86 τ.χλμ, πληθυσμό 957730 σύμφωνα με απογραφή του 2011 και πληθυσμιακή πυκνότητα 4454/ τ.χλμ. Επιπλέον, χαρακτηρίζεται από μέσο υψόμετρο να κυμαίνεται μεταξύ 0 και 80 μέτρα και από θερμό και υγρό κλίμα με υψηλή ετήσια βροχόπτωση. Αξιοσημείωτο είναι επίσης ότι οι ποταμοί Karamana και Killi διατρέχουν την πόλη Thiruvananthapuram.

Σχετικά με την αστικοποίηση στην πόλη Thiruvananthapuram, μετά το έτος 2000 παρατηρήθηκε η μεγέθυνση της αστικής εξάπλωσης στις περιφερειακές επαρχιακές περιοχές με αποτέλεσμα αγροτικές περιοχές και πεδινόι υγρότοποι να μετατρέπονται σε κατοικημένες περιοχές. Κατά συνέπεια, αυξήθηκαν οι αδιαπέραστες επιφάνειες και μειώθηκε το πράσινο.

Οι δορυφορικές εικόνες χωρίς σύννεφα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν του Landsat 8 με Path/Row-144/054 και λήφθηκαν τον Μαρτίου 2015. Οι μαθηματικές σχέσεις που

εφαρμόστηκαν στην εργασία (Rajendran & Mani, 2015) για τις τιμές ακτινοβολίας, τις θερμοκρασίες λαμπρότητας και τις θερμοκρασίες εδάφους (2.1, 2.2 και 2.3) ήταν οι ίδιες με αυτές της διαδικασίας που περιγράφηκε στην παράγραφο 1.1. Παρόλα αυτά, υπήρχε διαφορά στον τρόπο εκτίμησης του συντελεστή εκπομπής. Πιο αναλυτικά, το πρώτο βήμα της επεξεργασίας τους ήταν η μετατροπή των ψηφιακών τιμών σε τιμές ακτινοβολίας  $L_\lambda$ . Η μαθηματική σχέση που εφαρμόστηκε είναι η εξής:

$$L_\lambda = M * Q_{cal} + A \quad (\text{εξίσωση 2.1})$$

Στην συνέχεια, υπολογίστηκε η θερμοκρασία ακτινοβολίας ή λαμπρότητας  $T_B$  μετρημένη σε Kelvin, η οποία παρατηρείται από τον αισθητήρα κάθε δορυφόρου, ως εξής:

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (\text{εξίσωση 2.2})$$

Προκειμένου να υπολογιστεί η θερμοκρασία εδάφους, χρειάστηκε να προσδιοριστεί ο συντελεστής εκπομπής. Αυτό επιτεύχθηκε με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση των καλύψεων γης. Η ταξινόμηση έγινε με τον αλγόριθμο φασματικής γωνίας (Spectral Angle Mapping) και ως ομάδες ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκαν οι δομημένες περιοχές, το χερσαίο έδαφος, οι αγροτικές περιοχές, η μικτή βλάστηση και τα υδάτινα σώματα. Μετά από την εκτέλεση και τον έλεγχο της ταξινόμησης στις καλύψεις γης δόθηκαν τιμές συντελεστή εκπομπής οι οποίες καθορίστηκαν από μετρήσεις ακτινοβολίας σε κανάλια μεγάλου εύρους στο πεδίο σε καιρικές συνθήκες χωρίς σύννεφα και από εργαστηριακές μετρήσεις ακτινοβολίας σε δείγματα από την περιοχή μελέτης.

Τέλος, προσδιορίστηκε η θερμοκρασία εδάφους LST σε βαθμούς Kelvin με τον παρακάτω τύπο:

$$LST = \frac{T_B}{1 + \left(\lambda * \frac{T_B}{\rho}\right) * \ln \varepsilon} \quad (\text{εξίσωση 2.3})$$

Η ταξινόμηση της οποίας η συνολική ακρίβεια ήταν 98% έβγαλε σημαντικά αποτελέσματα για τις καλύψεις γης. Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης καταλαμβάνεται από μικτή βλάστηση (132.86 τ.χλμ), ενώ οι δομημένες περιοχές έχουν εξίσου σημαντική έκταση (84.01 τ.χλμ).

Οι συντελεστές εκπομπής που εφαρμόστηκαν τελικά ήταν οι εξής ανάλογα με την κάλυψη γης:

- Δομημένες περιοχές: 0.94

- Γυμνό έδαφος: 0.93
- Αγροτικές περιοχές: 0.95
- Υδάτινα σώματα: 0.98
- Μικτή βλάστηση: 0.98

Συμπερασματικά, οι υψηλότερες θερμοκρασίες καταγράφηκαν στις περιοχές που βρίσκονταν κυρίως δομημένες εκτάσεις, χωματερές και γυμνό έδαφος, ενώ στις περιοχές με άφθονη βλάστηση οι θερμοκρασίες ήταν χαμηλότερες. Άρα, αποδείχτηκε ότι η θερμοκρασία εδάφους εξαρτάται από την κατανομή των καλύψεων γης και είναι αντιστρόφως ανάλογη της πυκνότητας της βλάστησης, πράγμα που μπορεί να συμβάλει στη δημιουργία μικροκλίματος στην συγκεκριμένη περιοχή της πόλης Thiruvananthapuram.

### 2.1.2 Εργασία (Urişescu et al, 2017)

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε προκειμένου να αξιολογηθεί κατά πόσο η κατανομή των χρήσεων γης επιδρά στο φαινόμενο της αστικής θερμονησίδας στο Βουκουρέστι στις τέσσερις εποχές του έτους. Τα δεδομένα της μελέτης αυτής ήταν συνολικά 21 δορυφορικές Landsat 8 εικόνες με νεφοκάλυψη έως 10% από τον Απρίλιο 2013 έως τον Αύγουστο 2016 και λήφθηκαν στις 9:00 UTC.

Αρχικά, έγινε ταξινόμηση στις εικόνες με κατηγορίες υδάτινα σώματα, αστικοί χώροι πρασίνου, δάση, βιομηχανικές – εμπορικές περιοχές, συνεχής και μη συνεχής αστικός ιστός. Στην συνέχεια, έγινε η μετατροπή από ψηφιακές τιμές σε θερμοκρασίας εδάφους LST όπως στην εργασία των Rajendran και Mani (2015) και ο υπολογισμός του NDVI από τον οποίο εκτιμήθηκε ο συντελεστής εκπομπής με βάση τον πίνακα 2.1.

NDVI	Land surface emissivity (e)
NDVI < -0.185	0.995
-0.185 ≤ NDVI < 0.157	0.97
0.157 ≤ NDVI ≤ 0.727	1.0094 + 0.047 ln (NDVI)
NDVI > 0.727	0.99

Πίνακας 2.1: Εκτίμηση του δείκτη NDVI στην εργασία των Urişescu et al ( 2017)

Συμπερασματικά, στις βιομηχανικές-εμπορικές περιοχές και σε αυτές μεγάλης οικιστικής πυκνότητας παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες ανεξαρτήτως εποχής. Συγκεκριμένα, το καλοκαίρι οι χώροι βιομηχανία και εμπορίου ήταν ελαφρώς πιο θερμοί από ότι οι περιοχές μεγάλης οικιστικής πυκνότητας, ενώ τον χειμώνα έγινε το αντίθετο. Παράλληλα, κατά την διάρκεια του έτος τα υδάτινα σώματα και τα δάση παρουσιάζουν τις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Συνεπώς, οι χώροι αστικού πρασίνου μπορούν να συντελέσουν στο να μετριαστεί το φαινόμενο της αστικής θερμονησίδας λόγω της φανερά μικρότερης



θερμοκρασίας που έχουν σε σχέση με τις υπόλοιπες καλύψεις που συναντώνται στον αστικό χώρο.

### 2.1.3 Εργασία (Macarof et al, 2018)

Η μελέτη αυτή που πραγματοποιήθηκε από τους Macarof et al (2018) στόχευε στο να εξετάσει την συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας εδάφους LST και ορισμένων δεικτών βλάστησης συμπεριλαμβανομένου του NDVI. Ως δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν μία εικόνα του Landsat 5 που λήφθηκε τον Αύγουστο 1994, μία Landsat 7 με λήψη τον Αύγουστο 2006 και μία Landsat 8 που λήφθηκε τον Αύγουστο 2016. Όλες αυτές οι εικόνες είχαν νεφοκάλυψη το πολύ 1% και απεικόνιζαν την επαρχία Ιασί στην Ρουμάνια. Μετά την ραδιομετρική και ατμοσφαιρική διόρθωση, για την μετατροπή από ψηφιακές τιμές σε τιμές ακτινοβολίας  $L_\lambda$  εφαρμόστηκε διαφορετική διαδικασία για τις εικόνες Landsat 5 και 7 σε σχέση με την εικόνα Landsat 8. Συγκεκριμένα για τις δύο πρώτες η μαθηματική πράξη μετατροπής ήταν η εξής:

$$L_\lambda = \frac{L_{MAX\lambda} - L_{MIN\lambda}}{Q_{calMAX} - Q_{calMIN}} * (Q_{cal} - Q_{calMIN}) + L_{MIN\lambda} \quad (\text{εξίσωση 2.4})$$

όπου  $Q_{calMAX}$  και  $Q_{calMIN}$  η μεγαλύτερη και η μικρότερη αντίστοιχα ψηφιακή τιμή εικονοστοιχείου στις θερμικές εικόνες και  $L_{MAX\lambda}$  και  $L_{MIN\lambda}$  οι ανηγμένες φασματικές ακτινοβολίες για τα θερμικά κανάλια στους δορυφόρους Landsat 5 και 7.

Παράλληλα για την εικόνα Landsat 8:

$$L_\lambda = M * Q_{cal} + A - Q_i \quad (\text{εξίσωση 2.5})$$

όπου  $Q_i$  η διορθωτική παράμετρος για τα θερμικά κανάλια 10 και 11.

Επιπλέον, για την εικόνα του συντελεστή εκπομπής  $\varepsilon$  υπολογίστηκε ο δείκτης βλάστησης NDVI και η ποσοστιαία βλάστηση (Pv):

$$Pv = \left( \frac{NDVI - NDVI_{MIN}}{NDVI_{MAX} - NDVI_{MIN}} \right)^2 \quad (\text{εξίσωση 2.6})$$

$$\varepsilon = 0.004 * Pv + 0.986 \quad (\text{εξίσωση 2.7})$$

όπου η τιμή από την εικόνα του δείκτη NDVI και  $NDVI_{MIN}$  και  $NDVI_{MAX}$  η ελάχιστη και η μέγιστη ψηφιακή τιμή αντίστοιχα της εικόνας αυτής.

Στην συνέχεια, η θερμοκρασία λαμπρότητας  $T_B$  και η θερμοκρασία εδάφους LST υπολογίστηκαν όπως στις εργασίες των Rajendran και Mani (2015) και των Urişescu et al (2017), και η τελευταία μετατράπηκε σε βαθμούς Celsius.

Παρατηρήθηκε ότι η μέση θερμοκρασία της εικόνας αυξήθηκε κατά 5 °C από το έτος 1994 έως 2016. Επίσης, από τους δείκτες βλάστησης διαπιστώθηκε ότι οι μέγιστες τιμές τους μειώθηκαν κατά την διάρκεια αυτών των ετών, συνεπώς οι περιοχές με έντονη βλάστηση εξασθένησαν.

Τέλος, κατά την παρατήρηση της συμπεριφοράς της γραμμικής συσχέτισης της θερμοκρασίας και του NDVI διαπιστώθηκε ότι αυτή εξασθένησε κατά την διάρκεια αυτών των ετών, διότι, ενώ το έτος 1994 υπήρχε αρνητική συσχέτιση με συντελεστή  $R^2$  0.72, τελικά αυτός έφτασε 0.23. Αυτό δηλώνει την αύξηση των αστικών περιοχών και την μείωση των περιοχών έντονης βλάστησης με την πάροδο του χρόνου.

### 2.1.4 Εργασία (Du et al, 2014)

Με την εργασία των Du et al (2014) δημιουργήθηκε ένας γενικευμένος αλγόριθμος τεχνικής διαίρεσης παραθύρου (Generalized Split-Window - GSW) ο οποίος υπολογίζει την θερμοκρασία εδάφους LST σε δορυφορικές εικόνες Landsat 8. Αρχικά, η ακτινοβολία  $B_i(T_i)$  που μετρίεται από τον δέκτη στο κανάλι  $i$  του θερμικού υπέρυθρου εκφράστηκε ως εξής:

$$B_i(T_i) = [\varepsilon_i * B_i(T_s) + (1 - \varepsilon_i) * L_{atm,i} \downarrow] * \tau_i + L_{atm,i} \uparrow \quad (\text{εξίσωση 2.8})$$

όπου  $\varepsilon_i$  οι συντελεστές εκπομπής ανά εικονοστοιχείο της εκάστοτε εικόνας,  $T_s$  η θερμοκρασία εδάφους LST,  $B_i(T_s)$  η ακτινοβολία του μέλανος σώματος αν είχε θερμοκρασία ίση με  $T_s$ ,  $\tau_i$  ο συντελεστής απόσβεσης για πάχος ατμόσφαιρας από το έδαφος έως τον δέκτη,  $L_{atm,i} \downarrow$  και  $L_{atm,i} \uparrow$  η εκπεμπόμενη, κατερχόμενη και ανερχόμενη αντίστοιχα ακτινοβολία από την ατμόσφαιρα. Έπειτα, χάρη στον αλγόριθμο τεχνικής διαίρεσης παραθύρου η θερμοκρασία εδάφους LST υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την διαφορετική απορρόφηση της ατμόσφαιρας σε δύο γειτονικά κανάλια. Η μη γραμμική συνάρτηση του αλγορίθμου για εικόνες από Landsat 8 είναι η εξής:

$$LST = b_0 + \left( b_1 + b_2 * \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + b_3 * \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2} \right) * \frac{T_i+T_j}{2} + \left( b_4 + b_5 * \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + b_6 * \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2} \right) * \frac{T_i-T_j}{2} + b_7 * (T_i - T_j)^2 \quad (\text{εξίσωση 2.9})$$

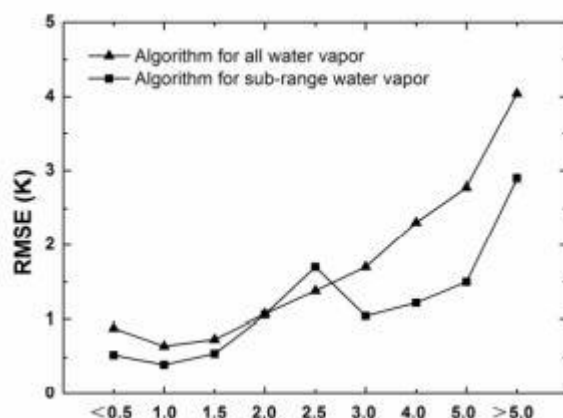
όπου  $\varepsilon$  ο μέσος συντελεστής εκπομπής και  $\Delta\varepsilon$  η διαφορά των συντελεστών εκπομπής των δύο θερμικών καναλιών,  $i$  και  $j$ ,  $T_i$  και  $T_j$  οι θερμοκρασίες λαμπρότητας για τα θερμικά κανάλια  $i$  και  $j$  αντίστοιχα και  $b_k$  ( $k=0,1,\dots,7$ ) οι συντελεστές του αλγορίθμου. Συγκεκριμένα, οι συντελεστές  $b_k$  προσδιορίζονται από την ανάλυση παλινδρόμησης του μοντέλου μετάδοσης ακτινοβολίας MODTRAN 4.3. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, το μοντέλο πήρε ως δεδομένα ένα πλήθος συντελεστών εκπομπής και τιμών περιεκτικότητας σε υδρατμούς στην

ατμόσφαιρα. Συνεπώς, μέσω αυτού του αλγορίθμου έγινε προσομοίωση 7 θερμοκρασιών λαμπρότητας  $T_i$  και  $T_j$  αντιστοίχως για 946 διαφορετικά ατμοσφαιρικά προφίλ χωρίς σύννεφα με τιμές περιεκτικότητας υδρατμών από 0.1 έως 8  $\text{g/cm}^2$  και για διαφορετικές επιφάνειες οι οποίες αντιπροσωπεύονται από 53 τιμές συντελεστών εκπομπής στα μήκη κύματος 3 έως 14  $\mu\text{m}$  που ήταν διαθέσιμες από βάση δεδομένων ASTER.

Τα αποτελέσματα για τους συντελεστές του αλγορίθμου ανάλογα με την περιεκτικότητα σε υδρατμούς της ατμόσφαιρα παρουσιάζονται παρακάτω:

WV range ( $\text{g/cm}^2$ )	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$	RMSE
All	-23.523	1.100	0.141	-0.291	5.162	-12.047	-29.215	0.236	1.26K
<2.5	-19.272	1.078	0.182	-0.103	0.880	2.840	15.328	-0.179	0.67K
2.5~4.0	-22.434	1.102	0.151	-0.215	5.889	0.314	-3.458	-0.021	1.16K
4.0~6.3	-60.895	1.225	0.103	-0.114	6.549	2.136	-6.009	0.132	2.06K

Πίνακας 2.2 : Συντελεστές του αλγορίθμου διαίρεσης παραθύρου για διαφορετικές περιπτώσεις περιεκτικότητας σε υδρατμούς στην ατμόσφαιρα από την εργασία των Du et al (2014)



Διάγραμμα 2.1: Τετραγωνικά σφάλματα των εκτιμώμενων θερμοκρασιών εδάφους από την εξίσωση 2.13 με συντελεστές του Πινάκα 2.2 από την εργασία Du et al (2014)

Παρατηρείται από το πίνακα 2.2 και το διάγραμμα 2.1 ότι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της θερμοκρασίας εδάφους με βάση την εξίσωση 2.9 αυξάνεται ραγδαία με την αύξηση της περιεκτικότητας σε υδρατμούς αν εφαρμοστεί η τεχνική παλινδρόμησης λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις τιμές της περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς. Γι αυτό, πραγματοποιήθηκε ξανά η παλινδρόμηση για τις παρακάτω υποκατηγορίες της περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς ξεχωριστά:

- 0.06 - 2.5  $\text{g/cm}^2$
- 2.5 - 4.0  $\text{g/cm}^2$

- 4.0 - 6.3g/cm<sup>2</sup>

Με αυτόν τον τρόπο, τα σφάλματα στην θερμοκρασία εδάφους μειώθηκαν, συνεπώς τα αποτελέσματα των θερμοκρασιών εδάφους είναι πιο ορθά, αν ο αλγόριθμος προσαρμόζει καταλλήλως τους συντελεστές του ανάλογα με τις συνθήκες της ατμόσφαιρας.

Επιπλέον, για την εκτίμηση του συντελεστή εκπομπής εφαρμόστηκαν μοντέλα συνάρτησης κατανομής αμφίδρομης ανακλαστικότητας (BRDF) τα οποία περιέχουν συντελεστές που προέρχονται από εργαστηριακές μετρήσεις ακτινοβολίας σε δείγματα με παραμέτρους υφής και δομής που προσεγγίζουν καλά αυτές του πραγματικού περιβάλλοντος. Με υψηλής ανάλυσης εικόνες και αντίστοιχες μετρήσεις εργαστηρίου τα μοντέλα συνάρτησης κατανομής αμφίδρομης ανακλαστικότητας βασισμένα σε λογική πυρήνων (kernel) μπορούν να εκτιμήσουν τον συντελεστή εκπομπής σε επίπεδο εικονοστοιχείου. Ο αλγόριθμος αυτός μπορεί να αξιολογηθεί με επιτόπιες μετρήσεις ή με σύγκριση με άλλα προϊόντα θερμοκρασιών εδάφους.

### 2.1.5 Εργασία (Quan et al, 2016)

Στην εργασία των Quan et al (2016) δημιουργήθηκε ένα μοντέλο το οποίο ονομάζεται Trend and Seasonal Decomposition Model (TSDM) έτσι ώστε να γίνει η αποσύνθεση της χρονοσειράς θερμοκρασιών εδάφους LST από δορυφόρους MODIS σε συνιστώσα τάσης, εποχικότητας και θορύβου για χρονική περίοδο από τον Μάρτιο 2000 έως τον Δεκέμβριο 2012.

Η περιοχή μελέτης ήταν η ευρύτερη περιοχή που καταλαμβάνει το Πεκίνο και οι γύρω επαρχιακές περιοχές. Οι καθημερινές θερμοκρασίες εδάφους αποκτήθηκαν από τα προϊόντα MOD11A1 από τον Terra/MODIS που δεν έχουν σύννεφα με χωρική ανάλυση 1 χλμ και με τοπική ώρα λήψης 10 μμ. Επιπλέον, συλλέχθηκαν τα προϊόντα MODIS NDVI σε μορφή MOD13A3 που είναι σύνθεση από μηνιαία δεδομένα με χωρική ανάλυση 1 χλμ, και τα δεδομένα ετήσιων ταξινομήσεων MCD12Q1 για την περιοχή μελέτης για τα έτη από 2000 έως 2012 με διαμορφωμένη χωρική ανάλυση 1 χλμ. Τέλος, συλλέχθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα για το ίδιο χρονικό διάστημα από 15 μετεωρολογικούς σταθμούς.

Η αποσύνθεση που εφαρμόστηκε στην χρονοσειρά των θερμοκρασιών εκφράστηκε με τον παρακάτω τρόπο:

$$T(t) = T_t(t) + T_s(t) + T_n(t) \text{ (εξίσωση 2.10)}$$

όπου  $T(t)$  η τιμή της χρονοσειράς στην χρονική στιγμή  $t$ ,  $T_t(t)$  η συνιστώσα της τάσης,  $T_s(t)$  η συνιστώσα της εποχικότητας και  $T_n(t)$  η συνιστώσα του θορύβου. Πριν γίνει η αποσύνθεση της σειράς, οι κενές θέσεις συμπληρώθηκαν με γραμμική παρεμβολή.

Αρχικά, η τάση προσδιορίστηκε ως απλή ή σύνθετη (piecewise) γραμμική συνάρτηση, που συνδέει τις χρονικές στιγμές μεταξύ σημείων όπου συμβαίνουν απότομες αλλαγές της θερμοκρασίας. Αυτές οι χρονικές στιγμές προσδιορίστηκαν με την διαδικασία των Ordinary Least Squares Residuals-Moving Sum (OLS-MOSUM). Με βάση αυτές εφαρμόστηκε γραμμική συνάρτηση για τα δεδομένα σε κάθε υποπερίοδο ως εξής:

$$T_t(t) = \alpha_i * t + b_i \text{ (εξίσωση 2.11)}$$

όπου  $\alpha_i$  και  $b_i$  κλίση και η μετατόπιση αντίστοιχα για κάθε υποπερίοδο  $i$  και  $t$  η χρονική στιγμή που παίρνει τιμές από το χρονικό διάστημα  $t_{i-1} < t \leq t_i$ .

Έπειτα, αναπαραστάθηκε η συνιστώσα της εποχικότητας ως ημιτονοειδής συνάρτηση, επειδή ο ετήσιος κύκλος θερμοκρασιών οφείλεται στην ετήσια ταλάντωση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη. Αλγεβρικά εκφράζεται ως εξής:

$$T_s(t) = A \sin(2 * \pi * f * (t - t_0) + \theta) \text{ (εξίσωση 2.12)}$$

όπου  $A$  το εποχικό πλάτος,  $t_0$  η αρχική ημερομηνία του κύκλου θερμοκρασιών,  $f$  η συχνότητα που ορίζεται ως  $1/365$  και  $\theta$  η μετατόπιση της φάσης. Τα μεγέθη  $A$  και  $f$  προσδιορίστηκαν με την μέθοδο ελαχιστοποίησης Levenberg-Marquardt με βελτιστοποίηση των δεδομένων αφού απαλειφθεί η τάση. Ουσιαστικά τα μεγέθη αυτά σχετίζονται με την ηλιακή φωτεινότητα, την κλιματική ζώνη, τις συνθήκες της ατμόσφαιρας, τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες που αφορούν την περιοχή μελέτης.

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε ένας δείκτης φαινομένου αστικής νησίδας (Surface Urban Heat Island Intensity) ο οποίος ορίστηκε ως η διαφορά των μέσων τιμών των συνιστωσών αποσύνθεσης της θερμοκρασίας μεταξύ αστικής και αγροτικής γης. Επιπλέον, δύο παράμετροι επιφανείας και έξι παράμετροι κλίματος επιλέχθηκαν για να μελετηθεί η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αστικής και αγροτικής γης. Προκειμένου να βελτιωθεί το μοντέλο TSDM, η χρονοσειρά για καθημερινές θερμοκρασίες προσομοιάστηκε για τη χρονική περίοδο, που εξετάστηκε, με διαφορετικά τα σημεία απότομων αλλαγών διαχωρισμού, τις κλίσεις της τάσης, των εποχικών πλατών, των αρχικών φάσεων και των επιπέδων θορύβου για κάθε κάλυψη γης. Επίσης, τα υδάτινα σώματα αποκλείστηκαν από τις διαδικασίες στα επόμενα βήματα δεδομένου ότι σε αυτά λείπουν πολλά εικονοστοιχεία λόγω σύννεφων, αερολυμάτων κ.α.

Σχετικά με τη συνιστώσα της τάσης, αποδείχθηκε με στατιστικούς ελέγχους ότι χωρίς κανένα σημείο απότομης αλλαγής, στο 53% της περιοχής μελέτης η μέση κλίση της ευθείας ήταν  $-0.086$  K/χρόνο με τυπική απόκλιση  $0.025$  K/χρόνο. Ειδικότερα για τις δομημένες περιοχές, η

αντίστοιχη κλίση ήταν  $-0.051 \pm 0.056$  K/χρόνο, ενώ για τα δάση, τους θαμνότοπους και την καλλιεργήσιμη γη  $-0.073 \pm 0.025$  K/χρόνο και στους βοσκότοπους  $-0.101 \pm 0.019$  K/χρόνο. Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί ότι ο υψηλότερος μέσος όρος των συνιστωσών της τάσης ανήκε στις δομημένες περιοχές.

	Slope (K/yr)				Average (K)			
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
Total	-0.314	0.140	-0.086	0.025	269.08	284.48	278.04	2.12
FSC	-0.246	-0.104	-0.073	0.025	273.21	282.42	279.25	1.14
Grass	-0.224	0.108	-0.101	0.019	269.78	281.45	275.13	1.53
Built-up	-0.162	0.140	-0.051	0.056	272.61	284.48	280.48	1.77

Πίνακας 2.3: Στατιστικά στοιχεία της κλίσης και του μέσου όρου της συνιστώσας της τάσης ανάλογα με την κάλυψη γης χωρίς σημείο διαχωρισμού

Παρόλα αυτά, διαπιστώθηκε πολλές απότομες αλλαγές στην θερμοκρασία λόγω μεταβολών καλύψεων γης τα έτη 2006 και 2009 σε συγκεκριμένα σημεία στην περιοχή μελέτης. Γι αυτό, η συνιστώσα της τάσης προσδιορίστηκε με ένα σημείο διαχωρισμού για την κάθε περίπτωση. Συγκεκριμένα, στην πρώτη περίπτωση οι κλίσεις ήταν  $-0.105$  K/y από 2000 έως 2006 και  $-0.387$  K/y από 2006 έως 2012 και στην δεύτερη  $0.084$  K/yr από 2000 έως 2009 και  $0.245$  K/yr από 2009 έως 2012.

Όσον αφορά την συνιστώσα της εποχικότητας, το μέσο εποχικό πλάτος της ταλάντωσης της θερμοκρασίας για όλη την περιοχή μελέτης ήταν  $15.51 \pm 0.73$  K. Πιο αναλυτικά, οι δομημένες περιοχές παρουσίασαν παρόμοιο εποχικό πλάτος ( $15.74 \pm 0.40$  K), ενώ τα δάση και οι θαμνότοποι παρουσίασαν μικρότερα ( $14.65 \pm 0.59$  K και  $14.62 \pm 0.45$  K αντίστοιχα). Το μεγαλύτερο πλάτος εμφανίστηκε στην καλλιεργήσιμη γη ( $16.02 \pm 0.37$  K) δηλώνοντας ότι είχε την μεγαλύτερη ταλάντωση γύρω από την τάση λόγω του φαινολογικού κύκλου των καλλιεργειών. Σχετικά με τις περιοχές βλάστησης, αυτές παρουσίασαν λίγο μικρότερες αρχικές φάσεις (ειδικότερα του δάσους ήταν  $-27.9 \pm 0.6$  μέρες που ήταν η μικρότερη) σε σχέση με τις δομημένες περιοχές ( $-25.7 \pm 0.8$  μέρες), πράγμα που σημαίνει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας αργεί να εκδηλωθεί λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας και της μικρής θερμικής αγωγιμότητας. Επιπλέον, τα δάση είχαν μεγαλύτερη τυπική απόκλιση στην μετατόπιση της φάσης λόγω της ποικιλίας ειδών βλάστησης, της πυκνότητας τους, της ηλικίας τους και του υψομέτρου του εδάφους. Τέλος, εξετάζοντας εκτενέστερα τα σημεία απότομων αλλαγών στην συνιστώσα της τάσης, αυτά που αφορούσαν στην χρονοσειρά του NDVI συνέπιπταν με το 22% αυτών που αφορούν στην χρονοσειρά της θερμοκρασίας.

	Seasonal Amplitude (K)				Phase Shift (day)			
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
Total	12.53	17.53	15.51	0.73	-42.5	-21.4	-26.8	1.4
Forest	12.80	16.23	14.65	0.59	-39.1	-24.6	-27.9	1.2
Shrub	13.51	15.82	14.62	0.45	-28.0	-25.1	-26.8	0.6
Grass	13.45	17.05	15.83	0.43	-31.7	-24.2	-27.4	1.0
Crop	13.94	17.00	16.02	0.37	-31.5	-23.3	-26.0	1.1
Built-up	14.35	16.98	15.74	0.40	-31.1	-23.7	-25.7	0.8

Πίνακας 2.4: Στατιστικά στοιχεία της εποχικού πλάτους και μετατόπισης της φάσης ανάλογα με την κάλυψη γης

## Κεφάλαιο 3: Περιοχή Μελέτης

### 3.1 Αναφορά στην Κύπρο και στο φυσικό περιβάλλον της οροσειράς του Τροόδους

Η Κύπρος αποτελεί ευρωπαϊκό νησιωτικό κράτος και τοποθετείται ανάμεσα στους παραλλήλους 34° 33' Β και 35° 41' Β και στους μεσημβρινούς 32° 17' Α και 34° 35' Α. Η απόστασή της από την Τουρκία είναι 72 χλμ (βόρεια), από την Συρία 104 χλμ (ανατολικά), από την νησιωτική Ελλάδα 265 χλμ (δυτικά) και από την Αίγυπτο 350 χλμ (νότια). Η Κύπρος έχει έκταση 9251 τ.χλμ και είναι το τρίτο μεγαλύτερο νησί της Μεσογείου μετά την Σικελία και την Σαρδηνία. (Πάπυρος Larousse Britannica, 2007)

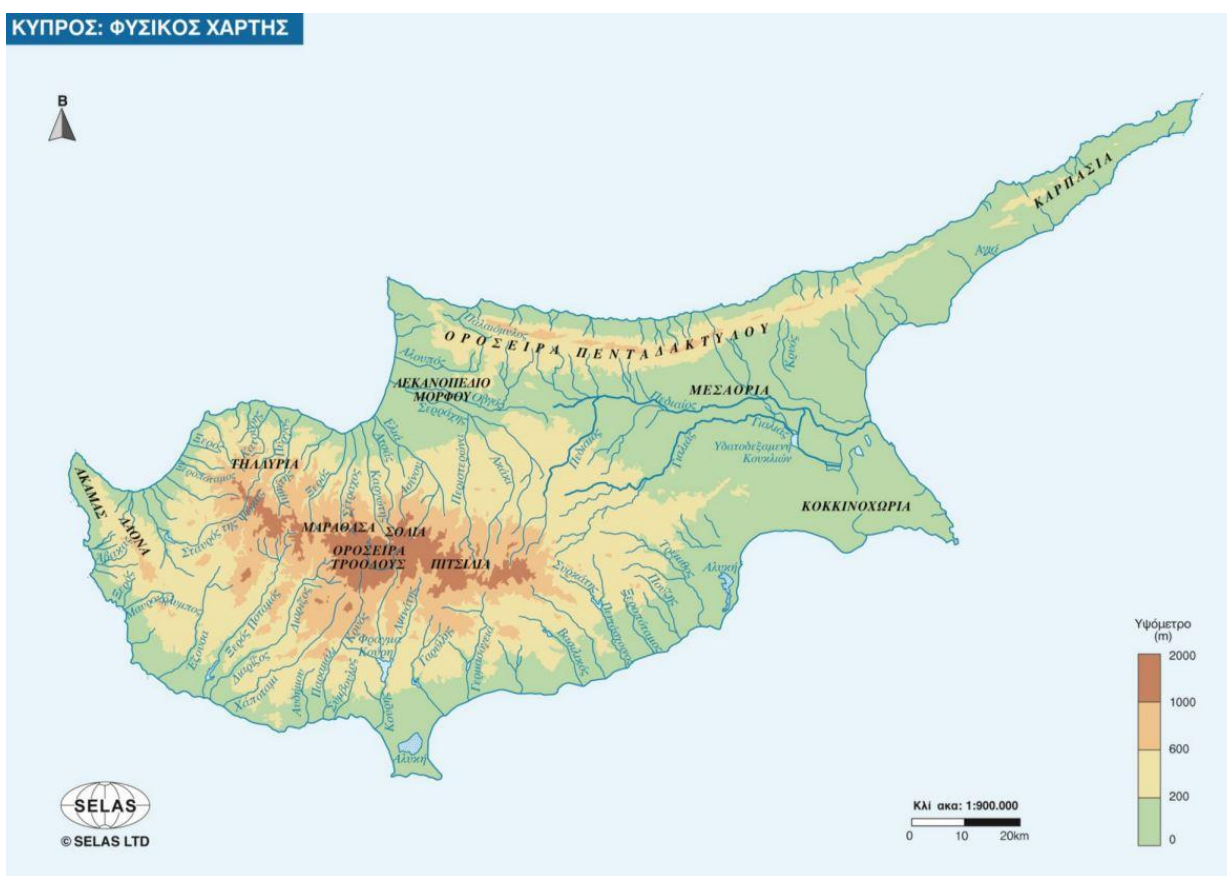
Η διοικητική διαίρεση της Κύπρου απαρτίζεται από έξι επαρχίες που είναι οι παρακάτω: (Wikipedia, Επαρχίες της Κυπριακής Δημοκρατίας)

- Επαρχία Λευκωσίας, μεγάλο μέρος της οποίας δεν ελέγχεται πλέον από την Κυπριακή Δημοκρατία
- Επαρχία Αμμοχώστου, το 85 % της οποίας εντάσσεται στο μη αναγνωρισμένο κράτος της Τουρκικής Δημοκρατίας Βορείου Κύπρου
- Επαρχία Πάφου
- Επαρχία Λεμεσού
- Επαρχία Λάρνακας, κάποιες κοινότητες της οποίας βρίσκονται στο μη αναγνωρισμένο κράτος της Τουρκικής Δημοκρατίας Βορείου Κύπρου
- Επαρχία Κερύνειας, η οποία είναι εξ ολοκλήρου μέρος του μη αναγνωρισμένου κράτους της Τουρκικής Δημοκρατίας Βορείου Κύπρου



Εικόνα 3.1: Διοικητική διαίρεση της Κύπρου(πηγή: [http://kyprus10.blogspot.com/2013/04/blog-post\\_256.html](http://kyprus10.blogspot.com/2013/04/blog-post_256.html))

Το ανάγλυφο της Κύπρου θεωρείται ιδιαίτερος ποικιλόμορφο, εφόσον περιλαμβάνει όμορφα φυσικά τοπία, αλλά με πολλές αντιθέσεις. Αναλυτικότερα, συναντώνται οροσειρές με χιονοσκεπείς κορυφές και με πλαγιές με πλούσια βλάστηση, πεδιάδες, αλλά και αμμώδεις παραλίες σε αρκετά λίγα χιλιόμετρα μεταξύ τους. Αξιοσημείωτα στοιχεία αυτού του ιδιαίτερου φυσικού περιβάλλοντος είναι το ορεινό σύμπλεγμα Τρόδος στο κεντρο-νοτιοδυτικό τμήμα της Κύπρου, η οροσειρά του Πενταδακτύλου στα βόρεια του νησιού και μεταξύ των Επαρχιών Κερύνεια και Αμμοχώστου, τις κεντρικές πεδιάδες με σημαντικότερη αυτή της Μεσαορίας, αλλά και τις παράκτιες πεδιάδες όπως αυτές της Κερύνειας, της Λάρνακας, της Λεμεσού και της Πάφου. (Πάπυρος Larousse Britannica, 2007)



Εικόνα 3.2 : Φυσικός χάρτης της Κύπρου (πηγή: [http://archeia.moec.gov.cy/sm/506/a\\_gym\\_vivlio\\_mathiti.pdf](http://archeia.moec.gov.cy/sm/506/a_gym_vivlio_mathiti.pdf))

Εστιάζοντας περισσότερο στο ορεινό σύμπλεγμα του Τροόδους, πρόκειται για την σπουδαιότερη οροσειρά της Κύπρου με υψηλότερη κορυφή αυτή της Χιονίστρας στα 1951 μέτρα. Η οροσειρά καταλαμβάνει εδάφη από το κεντρικό και νοτιοδυτικό τμήμα της Κύπρου και η κορυφογραμμή της κατευθύνεται από τα δυτικο-βορειοδυτικά προς τα ανατολικά-νοτιοανατολικά. Αυτός ο ορεινός όγκος αποτελεί σύνθεση εκρηξιγενών πετρωμάτων σκούρου χρώματος κυρίως, τα οποία είναι ανθεκτικά στην διάβρωση και περιβάλλονται από στρώματα λάβας, κάτι που αιτιολογεί την ύπαρξη μεταλλείων στην περιοχή από πάντα. Το ανάγλυφο παρουσιάζει αντιθέσεις, αφού κεντρικά είναι τραχύ, ενώ περιμετρικά, δηλαδή προς



Λάρνακα, προς Πάφο, προς Λεμεσό και προς Μαραθάσα και Σόλια, είναι περισσότερο ομαλό. (Πάπυρος Larousse Britannica, 2007)

Στην οροσειρά Τρόδος βρίσκονται πέντε κρατικά δάση τα οποία είναι αυτό του Τροόδου (110 τ. χλμ), της Πάφου (600 τ.χλμ), των Αδελφών (118 τ.χλμ), του Μαχαιρά (60.6 τ.χλμ) και της Λεμεσού (69 τ.χλμ). Το Τμήμα Δασών του Υπουργείου Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος είναι υπεύθυνο για τη διοίκηση, διαχείριση και προστασία των δασών αυτών με βάση την δασική νομοθεσία και πολιτική. (Wikipedia, Τρόδος)

Όσον αφορά το κλίμα της Κύπρου, με βάση την κλιματική ταξινόμηση Köppen-Geiger χαρακτηρίζεται ως ημίξηρο (BSh) στο βορειοανατολικό μέρος της και ως μεσογειακό στην υπόλοιπη έκτασή της (Csa). Πιο συγκεκριμένα, το κλίμα που επικρατεί στο ορεινό σύμπλεγμα του Τροόδου είναι μεσογειακό κι έτσι χαρακτηρίζεται από ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και ήπιους και βροχερούς χειμώνες. (Wikipedia, Κλίμα της Κύπρου) Τα στοιχεία που επιδρούν στην διαμόρφωση του κλίματος της Κύπρου αποτελούν η μεγάλη απόστασή της από τον Ατλαντικό Ωκεανό χάρη της οποίας δεν αυξάνονται οι βροχοπτώσεις λόγω των λίγων συστημάτων χαμηλών πιέσεων που φτάνουν ως την Κύπρο και οι αέριες μάζες που είτε είναι θερμές (προερχόμενες από την Αφρική) είτε ψυχρές (από την Ασία). Αξίζει να σημειωθεί ότι κι η οροσειρά Τροόδου επηρεάζει τις μετεωρολογικές συνθήκες σε πολλές περιοχές στην Κύπρο και προκαλεί τοπικά φαινόμενα. (Πάπυρος Larousse Britannica, 2007) Παρακάτω αναλύονται ορισμένα χαρακτηριστικά του κλίματος της Κύπρου δίνοντας έμφαση στην οροσειρά Τροόδου.

Στην Κύπρο η περίοδος από Απρίλιο έως Νοέμβριο είναι η εποχή ζεστής θερμοκρασίας κι έτσι στον πρώτο μήνα οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες είναι 21-23 °C και οι αντίστοιχες νυκτερινές 11-13 °C, ενώ τον δεύτερο μήνα 22-23 °C και 12-14 °C αντίστοιχα. Οι θερμοκρασίες τους υπόλοιπους μήνες είναι ήπιες χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν υπάρχουν εξάρσεις τις ημερήσιες ώρες. (Wikipedia, Κλίμα της Κύπρου) Εστιάζοντας σε ορεινές περιοχές όπως στον Πρόδομο που είναι χωριό στην οροσειρά Τροόδου σε υψόμετρο 1420 μέτρα, τον Ιούλιο οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες είναι 22 °C και τον Ιανουάριο -8 °C. Τέλος, είναι γεγονός ότι στο κέντρο της Κύπρου επικρατούν μεγαλύτερες διαφορές στην θερμοκρασία σε σχέση με τις παράκτιες περιοχές. (Wikipedia, Τρόδος)

Στην συνέχεια, η κατανομή των βροχοπτώσεων καθορίζεται από την τοποθεσία και το υψόμετρο σε ουσιαστικό βαθμό. Συγκεκριμένα, τα συστήματα χαμηλών πιέσεων που έρχονται από τα νότια και νοτιοδυτικά προκαλούν την εμφάνιση περισσότερων βροχοπτώσεων στις νοτιοδυτικές προσήνεμες πλαγιές του Τροόδου σε σχέση με άλλες περιοχές της οροσειράς. Επιπλέον, η βροχόπτωση στις νοτιοδυτικές προσήνεμες περιοχές της οροσειράς μέσα στο έτος κατά μέσο όρο από 450 περίπου χιλιοστά στους πρόποδες φτάνει

σε 1100 χιλιοστά στην κορυφή του Ολύμπου. Στις πλαγιές που δεν είναι εκτεθειμένες στον άνεμο το ύψος βροχής μειώνεται με σταθερό ρυθμό στα βόρεια και στα ανατολικά με τιμές μεταξύ 300 και 350 χιλιοστών στην κεντρική πεδιάδα και τις πεδινές νοτιοανατολικές περιοχές. Από τον Νοέμβριο έως τον Μάρτιο παρατηρούνται οι περισσότερες βροχές μέσα στο έτος. Παράλληλα, την άνοιξη και το φθινόπωρο οι βροχές είναι κατά κύριο λόγο τοπικές, ενώ για την καλοκαιρινή περίοδο ισχύει το ίδιο αλλά σε μικρότερη συχνότητα. (meteo24news.gr, Το κλίμα της Κύπρου)

Από τον Δεκέμβριο έως τον Μάρτιο είναι πιθανόν να υπάρξει χιονόπτωση στην οροσειρά Τροόδους σε υψόμετρο πάνω από 1000 μέτρα. Δεν υπάρχει χιόνι καθ' όλη την διάρκεια του χειμώνα, αλλά για αρκετές βδομάδες, καθώς επίσης το χιόνι δεν έχει τόσο σημαντικό ύψος παρά μόνο στις βόρειες πλαγιές του Τροόδους. Εξαίρεση αποτελεί η κορυφή της Χιονίστρας στην οποία το χιόνι διατηρείται για 5-6 μήνες μέσα στο έτος. (Πάπυρος Larousse Britannica, 2007)

Όσον αφορά την υγρασία της ατμόσφαιρας, οι παράγοντες που την επηρεάζουν είναι το υψόμετρο και η απόσταση από την θάλασσα. Αναλυτικότερα, τον χειμώνα οι τιμές της είναι μεταξύ 65% και 90%, ενώ το καλοκαίρι φτάνει έως και 15%. (meteo24news.gr, Το κλίμα της Κύπρου) Οι περιοχές που σημειώνουν την υψηλότερη τιμή σχετικής υγρασίας είναι οι παράκτιες περιοχές, ειδικά στην Λεμεσό και Λάρνακα. (Πάπυρος Larousse Britannica, 2007)

Σχετικά με την ηλιοφάνεια που λαμβάνει η Κύπρος, αυτή έχει διάρκεια κατά μέσο όρο 2.700 έως 3.500 ώρες κάθε χρόνο, η οποία είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με άλλες χώρες. Στις πεδινές περιοχές το καλοκαίρι οι ώρες ηλιοφάνειας είναι 11.5 ώρες την ημέρα, ενώ τους χειμερινούς μήνες με την νέφωση ο αριθμός αυτός κατεβαίνει στις 5.5 ώρες. Ταυτόχρονα, και στις ορεινές περιοχές συναντώνται καλά επίπεδα ηλιοφάνειας, εφόσον ακόμη και σε χειμερινό μήνα και με νέφωση η μέση ηλιοφάνεια μπορεί να φτάσει περίπου τις 4 ώρες την ημέρα και σε καλοκαιρινούς μήνες τις 11 ώρες. (meteo24news.gr, Το κλίμα της Κύπρου)

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν οι παρακάτω εικόνες που προέρχονται από την ιστοσελίδα solargis.com. Με βάση αυτές, παρατηρούμε ότι την χρονική περίοδο μεταξύ των ετών 1994 έως 2018 επιβεβαιώνονται τα παραπάνω. Συνεπώς, οι πεδινές περιοχές εκτίθενται στον ήλιο σε αξιοσημείωτο βαθμό και ειδικότερα στις παράκτιες περιοχές στην Λεμεσό και στο Λεκανοπέδιο του Μόρφου προσπίπτει μεγάλη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είτε με μόνη πηγή τον Ήλιο είτε όχι. Αντιθέτως, για τις ορεινές περιοχές της οροσειράς Τροόδους είναι εμφανές ότι η διάρκεια ηλιοφάνειας είναι πολύ μικρότερη με ορισμένες περιοχές κεντρικά της οροσειράς να λαμβάνουν λίγο περισσότερη ακτινοβολία.

SOLAR RESOURCE MAP

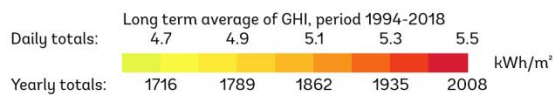
## GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION

### CYPRUS



ESMAP

SOLARGIS



This map is published by the World Bank Group, funded by ESMAP, and prepared by Solargis. For more information and terms of use, please visit <http://globalsolaratlas.info>.

Εικόνα 3.3: Συνολική ενέργεια μικρού μήκους κύματος που λήφθηκε από επιφάνεια οριζόντια στο έδαφος κατά την περίοδο 1994-2018 (© 2019 The World Bank, Source: Global Solar Atlas 2.0, Solar resource data: Solargis)

SOLAR RESOURCE MAP

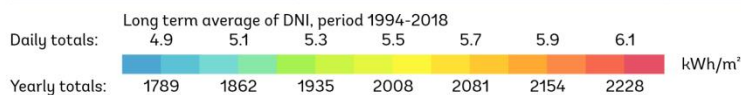
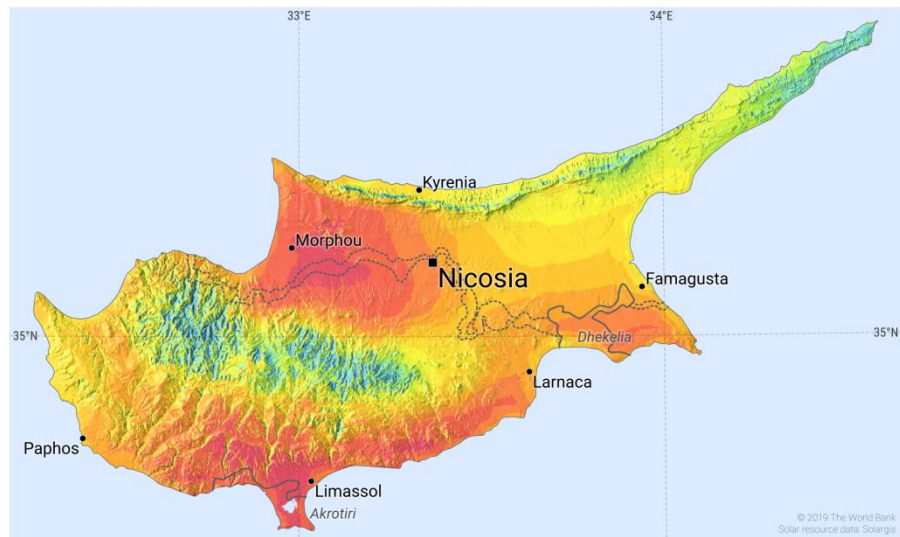
## DIRECT NORMAL IRRADIATION

### CYPRUS



ESMAP

SOLARGIS



This map is published by the World Bank Group, funded by ESMAP, and prepared by Solargis. For more information and terms of use, please visit <http://globalsolaratlas.info>.

Εικόνα 3.4: Ποσότητα ενέργειας μικρού μήκους κύματος που προσπίπτει στο έδαφος στην κατεύθυνση που φωτίζει ο ήλιος και για συγκεκριμένη θέση του ήλιου, κατά την περίοδο 1994-2018 (© 2019 The World Bank, Source: Global Solar Atlas 2.0, Solar resource data: Solargis)

### 3.2 Επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής στην Κύπρο

Λόγω του αντικειμένου αυτής της εργασίας δεν πρέπει να αγνοηθούν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο κλίμα της Κύπρου. Σύμφωνα με μετρήσεις του Τμήματος Μετεωρολογίας της Κύπρου, κατά την διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα, η θερμοκρασία και οι βροχοπτώσεις έχουν χαρακτηριστεί από σημαντικές διακυμάνσεις και τάσεις. Παρόμοιες αλλαγές στο κλίμα έχουν παρατηρηθεί και σε άλλες χώρες της Ανατολικής Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής. (Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος - Τμήμα Περιβάλλοντος (2017): Εθνική στρατηγική για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή).

Σχετικά με την θερμοκρασία, κατά την διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα η τάση της είναι ανοδική και ο μέσος ρυθμός αύξησής της ήταν 0.01 °C/έτος. Ειδικότερα, για την περίοδο 1976-1998 αποδείχτηκε ότι ο μέσος ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας στις αστικές περιοχές ήταν 0.035 °C/έτος και στις υπαίθριες 0.015 °C/έτος. Επιπλέον, επεξεργασίες μετεωρολογικών δεδομένων για την περίοδο 1991-2007 έδειξαν ότι η μέση θερμοκρασία ήταν 17.7 °C, η οποία ξεπερνούσε την αντίστοιχη θερμοκρασία (17.2 °C) της περιόδου 1961-1990 κατά 0.5 °C. (meteo24news.gr, Το κλίμα της Κύπρου) Από προσομοιώσεις υψηλής χωρικής ανάλυσης με περιοχικά κλιματικά μοντέλα (RCMs) έχει προβλεφθεί ότι κατά την περίοδο 2021-2050 η ετήσια μέγιστη θερμοκρασία θα αυξηθεί κατά 1.3-1.9 °C σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 ανάλογα με την εποχή. Αξιοσημείωτο είναι ότι στις ορεινές περιοχές του Τροόδου προβλέπεται αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας κατά 1.9 °C. ((Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος - Τμήμα Περιβάλλοντος (2017): Εθνική στρατηγική για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή). Επίσης, μέσω ενός σεναρίου για την κλιματική αλλαγή προβλέπεται ότι κατά την περίοδο 2021-2050 θα υπάρξουν 25 περισσότερες μέρες καύσωνα ανά έτος, στις οποίες σημειώνονται θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 35 °C, συγκριτικά με την περίοδο 1961-1990. (climatechangeport.com, Κύπρος)

Όσον αφορά τις βροχοπτώσεις, κατά την διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα η τάση είναι πτωτική και ο μέσος ρυθμός ήταν 1 mm/έτος. Η μείωση αυτή ήταν πιο έντονη το δεύτερο μισό του περασμένου αιώνα λόγω της μικρότερης συχνότητας βροχοπτώσεων και μεγάλης συχνότητας ξηρασίας. Συγκεκριμένα, τα πρώτα 30 χρόνια του 20<sup>ου</sup> αιώνα η μέση ετήσια βροχόπτωση ήταν 559 χιλιοστά, ενώ τα τελευταία 20 ήταν 462 χιλιοστά. Επιπλέον, η μέση βροχόπτωση στην περίοδο 1991/92 - 2007/08 (17 υδρομετεωρολογικά έτη) ήταν 457 χιλιοστά, δηλαδή κατά 9% χαμηλότερη από αυτήν (503 χιλιοστά) της περιόδου 1961-1990. (meteo24news.gr, Το κλίμα της Κύπρου) Προβλέπεται με βάση τις προσομοιώσεις που αναφέρθηκαν ότι κατά την περίοδο 2021-2050 οι βροχοπτώσεις θα μειωθούν κατά 6% έως 18% ανάλογα με την περιοχή της Κύπρου, που εξετάζεται, σε σχέση με ό,τι ίσχυε την περίοδο 1961-1999.

Ειδικότερα, για την ίδια χρονικά περίοδο για τις ορεινές περιοχές του Τροόδους προβλέπονται μειώσεις περίπου 10-20 χιλιοστών ετησίως. Επίσης, για τις ορεινές περιοχές της Κύπρου αναμένεται για την περίοδο 2021-2050 η αύξηση των ξηρών ημερών, των οποίων η βροχόπτωση είναι μικρότερη των 0.5 χιλιοστών, κατά περίπου 10-12 ημέρες. (Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος - Τμήμα Περιβάλλοντος (2017): Εθνική στρατηγική για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή). Από άλλη μελέτη όπου αναλύθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα περιόδου 1901 έως 2006 προβλέπεται μείωση των βροχοπτώσεων κατά 5-25% την περίοδο 2040-2069 συγκριτικά με την περίοδο 1961-1990. Αυτό πιθανότατα να προκαλέσει το δυσμενές αποτέλεσμα της μείωσης των υδάτινων πόρων στην Κύπρο κατά 50% ή περισσότερο μέχρι τα μέσα του 21<sup>ου</sup> αιώνα. (climatechangepost.com, Κύπρος)

### 3.3 Το δάσος της Πάφου

Το δάσος Πάφου αποτελεί ένα από τα κρατικά δάση του ελληνικού τμήματος της Κύπρου και τοποθετείται στο δυτικό τμήμα της οροσειράς του Τροόδους. Πρόκειται για δασική έκταση 600 τ.χλμ, μέρη της οποίας βρίσκονται στις επαρχίες Πάφου, Λεμεσού και Λευκωσίας. Το μέγιστο υψόμετρο της περιοχής είναι 1352 μέτρα και συναντάται στην κορυφή Τριπύλους. Η έκτασή του οριοθετείται βόρεια από τα χωριά Πώμο, Πηγαίεια, Πάνω Πύργος Τυλληρίας και το κατεχόμενο χωριό Βαρίσια, ανατολικά από τα χωριά Γερακιές, Λεμύθου, Τρεις Ελιές, Καμινάρια και Φοινί, νότια από τα χωριά Άγιος Νικόλαος, Παναγιά και Κανναβιού και στα δυτικά από τα χωριά Λυσός, Κινούσα, Αργάκα και Γιαλιά. (moa.gov.cy, ΤΟ ΔΑΣΟΣ ΤΗΣ ΠΑΦΟΥ.pdf) Επίσης, το δάσος αυτό περιλαμβάνει δύο περιοχές Natura με κωδικούς CY2000006 και CY2000016, εφόσον αντιπροσωπεύει ένα οικοσύστημα μεγάλης σπουδαιότητας. (moa.gov.cy, Προστατευόμενες Δασικές Περιοχές)



Εικόνα 3.5: Δάσος Πάφου (πηγή: Wikipedia, Δάσος Πάφου)

Ως προς την χλωρίδα του δάσους, το μεγαλύτερο τμήμα του είναι φυσικό και έχει προκύψει χωρίς ανθρώπινη επέμβαση. Το επικρατέστερο είδος βλάστησης στο δάσος αυτό είναι η τραχεία πεύκη (*Pinus brutia*). Επιπλέον, ορισμένα είδη μικρότερων δεντρών και θάμνων

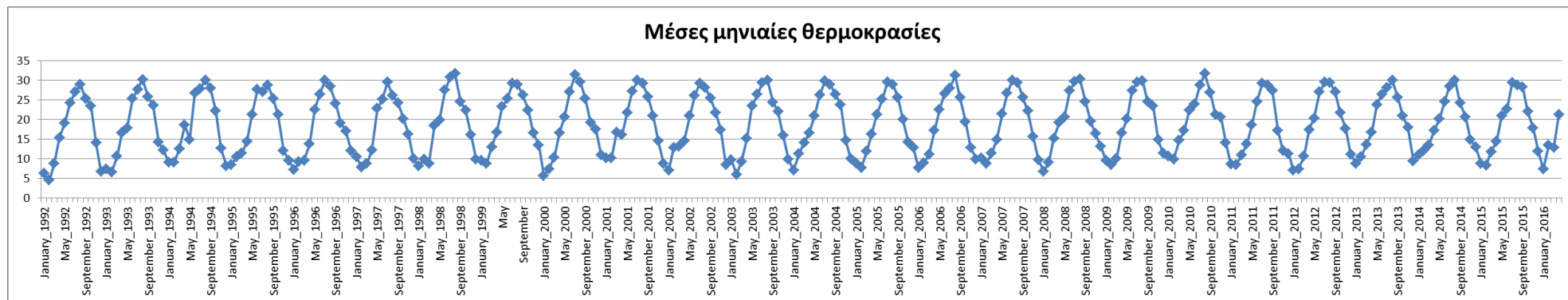
αποτελούν σημαντικό μέρος του δάσους όπως η ενδημική λατζιά (*Quercus alnifolia*), η αντρουκλιά (*Arbutus andrachne*), η αγιοελιά (*Olea europaea*), η ζυσταριά (*Cistus creticus*), το ρασιή (*Calycotome villosa*), η χρυσοξυλιά (*Ramnus alaternus*) και η περνια (*Quercus coccifera*). Αξιοσημείωτη είναι η παραποτάμια βλάστηση που απαρτίζεται από πλατύφυλλα, δηλαδή τον πλάτανο (*Platanus orientalis*), το σκλήδρο (*Alnus orientalis*), τη δάφνη (*Laurus nobilis*), τη μερσινιά (*Myrtus communis*) και το βάτο (*Rubus sanctus*), η οποία εμφανίζεται ανεξάρτητα από το υψόμετρο. Επί προσθέτως, ειδικά στα χαμηλά υψόμετρα συναντώνται λιγότερα ψηλά δέντρα και περισσότεροι μικροί θάμνοι, φρύγανα και ποώδη φυτά. Το δάσος της Πάφου θεωρείται βιότοπος μεγάλης αξίας. Τέλος, ιδιαίτερα σημαντικά είναι το κυπριακό κέδρο (*Cedrus brevifolia*), που απαντάται στις πλαγιές του Τριπύλου από τα 600 μέτρα έως τα 1352 μέτρα, καθώς και τα είδη βλάστησης όπως το *Origanum cordifolium*, το *Ranunculus kykkoensis*, το *Onosma mitis*, το *Erysimum kykkoticum* και το *Arum turpicola*, επειδή είναι ενδημικά. Συνεπώς, το δάσος Πάφου περιλαμβάνει 600 είδη φυτών 50 από τα οποία δεν συναντώνται πουθενά αλλού. (moa.gov.cy, ΤΟ ΔΑΣΟΣ ΤΗΣ ΠΑΦΟΥ.pdf)

Σχετικά με την πανίδα, το δάσος Πάφου καθίσταται καταφύγιο για πολλά είδη της άγριας ζωής της Κύπρου. Πιο αναλυτικά, το κυπριανό αγρινό (*Ovis gmelini orphion*) είναι το μεγαλύτερο είδος που ζει στο δάσος αυτό. Πολύ σημαντικά είδη είναι από θηλαστικά η αλεπού (*Vulpes vulpes indutus*), ο λαγός (*Lepus europaeus cypricus*) και ο σκαντζόχοιρος (*Hemiechinus auritus ssp. dorotheae*), από πτηνά οι προστατευόμενοι αετοί (*Aquila heliaca*, *Hieraetus fasciatus*), ο γύπας (*Gyps fulvus*), το αηδόνη (*Luscinia megarhynchos*), το ανθρωποπούλι (*Tyto alba*), το θούπι (*Otus scops cypricus*), η πέρδικα (*Alectoris chukar*), η φάσσα (*Columba palumbus*) και το τρυγόνι (*Streptopelia turtur*), καθώς και ποικίλα είδη φιδιών, σαυρών κολεοπτέρων και πεταλούδων. (moa.gov.cy, ΤΟ ΔΑΣΟΣ ΤΗΣ ΠΑΦΟΥ.pdf)

Όσον αφορά την υδρολογία του δάσους, το δίκτυο ποταμών δημιουργείται λόγω των βροχοπτώσεων, της γεωμορφολογίας και των πετρωμάτων ανά περιοχή. Τα κυριότερα ποτάμια είναι ο Διαρίζος, του Σταυρού της Ψόκας, του Λιμνίτη και του Ξερού. (moa.gov.cy, ΤΟ ΔΑΣΟΣ ΤΗΣ ΠΑΦΟΥ.pdf)

Σχετικά με τις μετεωρολογικές συνθήκες στο δάσος Πάφου από την βάση δεδομένων του Τμήματος Μετεωρολογίας της Κύπρου συλλέχθηκαν δεδομένα μέσω μηνιαίων θερμοκρασιών σε βαθμούς Celsius από τον Ιανουάριο 1992 έως τον Απρίλιο 2016. Τα δεδομένα αυτά καταγράφηκαν στις 10 πμ (τοπική ώρα) στο κλιματολογικό σταθμό με ονομασία «Σταυρός της Ψόκας» με κωδικό 130 ο οποίος έχει γεωγραφικό πλάτος 35° 01' 29.52" N και μήκος 32° 37' 50.78" E και υψόμετρο 824 μέτρα. Στις επόμενες σελίδες παρουσιάζονται οι χρονοσειρές τους ανά μήνα και ανά έτος κάθε μήνα. Επίσης, χρειάζεται να σημειωθεί ότι η τιμή θερμοκρασίας για τον Απρίλιο 2005 έλειπε από τα δεδομένα και γι αυτό

την συμπληρώσαμε με μέσο όρο από τις υπόλοιπες τιμές θερμοκρασίας Απριλίου της περιόδου που εξετάζουμε.



Διάγραμμα 3.1: Χρονοσειρά παρατηρήσεων θερμοκρασιών από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» ανά μήνα για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως τον Απρίλιο του 2016



Διάγραμμα 3.2: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσων θερμοκρασιών για τον μήνα Ιανουάριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016

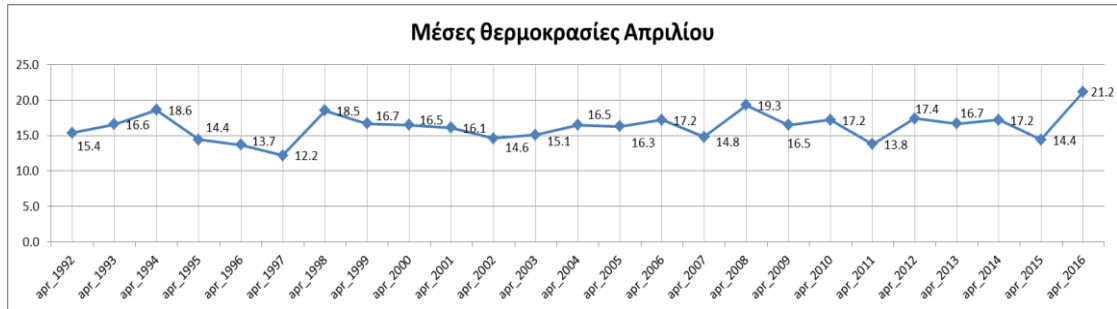


Διάγραμμα 3.3: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσων θερμοκρασιών για τον μήνα Φεβρουάριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016





Διάγραμμα 3.4: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσωσ θερμοκρασιών για τον μήνα Μάρτιο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψώκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016



Διάγραμμα 3.5: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσωσ θερμοκρασιών για τον μήνα Απρίλιο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψώκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016



Διάγραμμα 3.6: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσωσ θερμοκρασιών για τον μήνα Μάιο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψώκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016



Διάγραμμα 3.7: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσωσ θερμοκρασιών για τον μήνα Ιούνιο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψώκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016



Διάγραμμα 3.8: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσων θερμοκρασιών για τον μήνα Ιούλιο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψώκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016



Διάγραμμα 3.9: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσων θερμοκρασιών για τον μήνα Αύγουστο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψώκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016



Διάγραμμα 3.10: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσων θερμοκρασιών για τον μήνα Σεπτέμβριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψώκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016



Διάγραμμα 3.11: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσων θερμοκρασιών για τον μήνα Οκτώβριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψώκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016

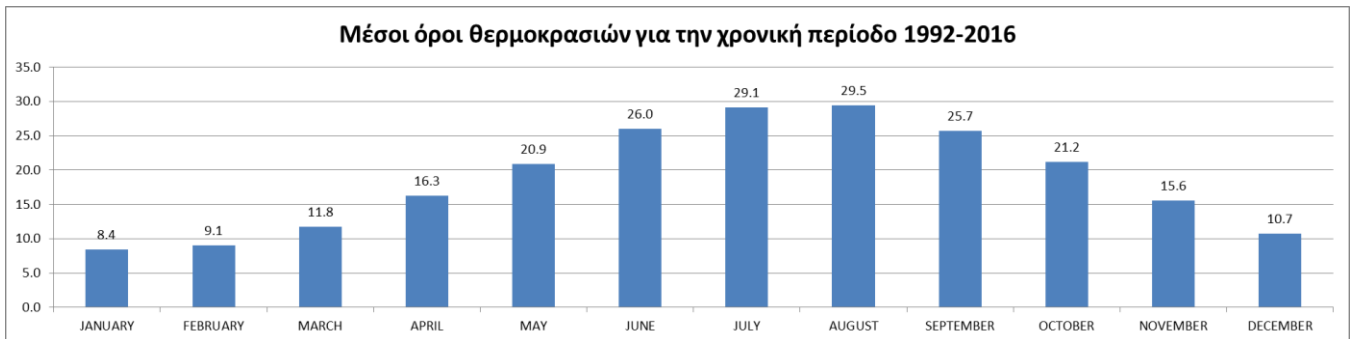


Διάγραμμα 3.12: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσων θερμοκρασιών για τον μήνα Νοέμβριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016

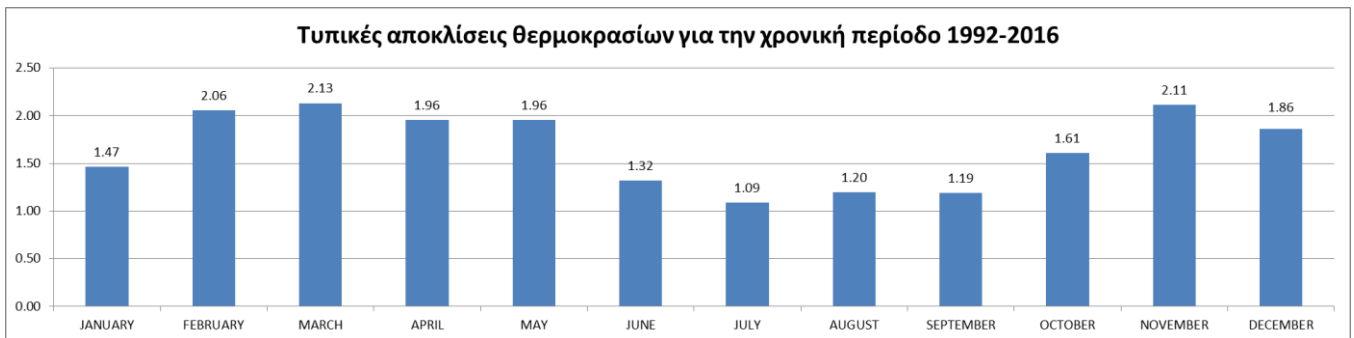


Διάγραμμα 3.13: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσων θερμοκρασιών για τον μήνα Δεκέμβριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016

Με βάση τα δεδομένα αυτά δημιουργήσαμε διαγράμματα των μέσων όρων από τις μέσες θερμοκρασίες από όλα αυτά τα έτη ανά μήνα και των αντίστοιχων τυπικών αποκλίσεων τους.



Διάγραμμα 3.14: Μέσοι όροι θερμοκρασιών ανά μήνα για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016



Διάγραμμα 3.15: Τυπικές αποκλίσεις θερμοκρασιών ανά μήνα για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016

Όπως παρατηρούμε, στο δάσος Πάφου σε υψόμετρο της τάξεως των 800 μέτρων τους μήνες από Ιούνιο έως Σεπτέμβριο σημειώνονται οι υψηλότερες με ξεκάθαρη διαφορά από τον υπόλοιπο έτος θερμοκρασίες με τον Ιούλιο και τον Αύγουστο να υπερτερούν. Παράλληλα, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες συναντώνται τους μήνες από Ιανουάριο έως Μάρτιο και τον Δεκέμβριο αλλά θεωρούνται αρκετά ήπιες. Στην συνέχεια, είναι προφανές ότι τις τυπικές αποκλίσεις των θερμοκρασιών δεν είναι τόσο μεγάλες πράγμα που σημαίνουν ότι δεν έχουν μεταβληθεί πολύ οι θερμοκρασίες ανά μήνα μέσα σε αυτήν την χρονική περίοδο. Παρόλα αυτά, οι μήνες που σημειώνουν λίγο πιο σημαντική τυπική απόκλιση είναι ο Φεβρουάριος, ο Μάρτιος, ο Απρίλιος, ο Μάιος και ο Νοέμβριος γεγονός το οποίο είναι λογικό θεωρώντας τους μήνες Φεβρουάριο και Νοέμβριο ως μεταβατικοί μήνες και τους μήνες Μάρτιος, Απρίλιος και Μάιος ως ανοιξιάτικοι μήνες όπου επικρατούν πολλά και διαφορετικά καιρικά φαινόμενα των οποίων η συμπεριφορά πιθανότατα έχει μεταβληθεί κατά την διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου.

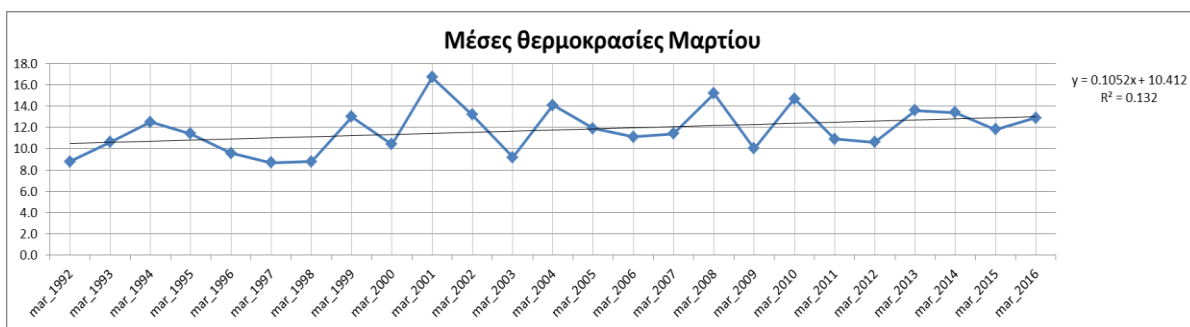
Ένα ακόμη στοιχείο που μπορούμε να αντλήσουμε από τα δεδομένα αυτά είναι η τάση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου. Με βάση την θεωρία των ελάχιστων τετραγώνων, υπολογίστηκαν οι παράμετροι κλίσης και μετατόπισης της ευθείας τάσης, που προσαρμόζεται καλύτερα στα δεδομένα, και οι συντελεστές  $R^2$  μέσω του περιβάλλοντος Excel. Τα αποτελέσματα για κάθε μήνα φαίνονται παρακάτω:



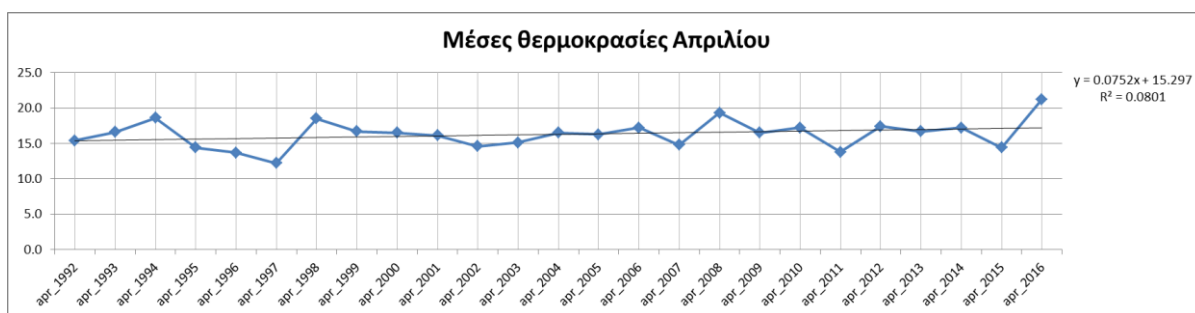
Διάγραμμα 3.16: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή  $R^2$  για τον μήνα Ιανουάριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016



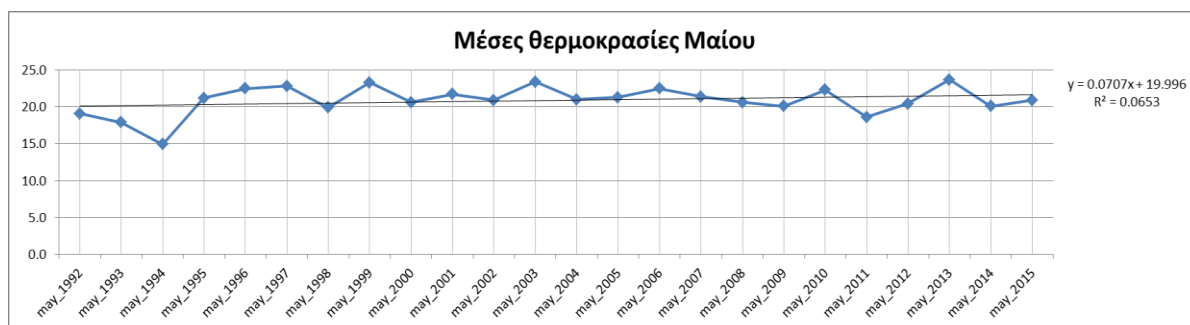
Διάγραμμα 3.17: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή  $R^2$  για τον μήνα Φεβρουάριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016



Διάγραμμα 3.18: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή  $R^2$  για τον μήνα Μάρτιο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψώκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016



Διάγραμμα 3.19: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή  $R^2$  για τον μήνα Απρίλιο από σταθμό τον «Σταυρός της Ψώκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016



Διάγραμμα 3.20: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή  $R^2$  για τον μήνα Μάιο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψώκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016



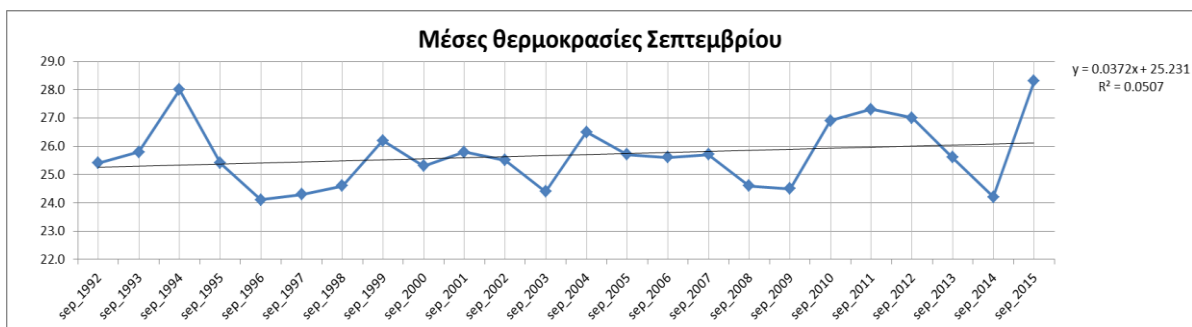
Διάγραμμα 3.21: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή  $R^2$  για τον μήνα Ιούνιο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψώκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016



Διάγραμμα 3.22: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή  $R^2$  για τον μήνα Ιούλιο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψώκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016



Διάγραμμα 3.23: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή  $R^2$  για τον μήνα Αυγούστου από τον σταθμό «Σταυρός της Ψώκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016



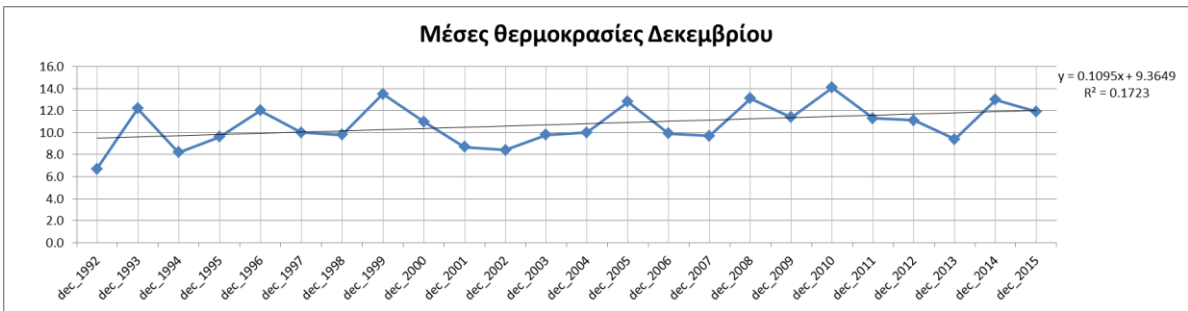
Διάγραμμα 3.24: Γραμμικό μοντέλο με τον συντελεστή  $R^2$  για τον μήνα Σεπτέμβριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψώκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016



Διάγραμμα 3.25: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή  $R^2$  για τον μήνα Οκτώβριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψώκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016



Διάγραμμα 3.26: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή  $R^2$  για τον μήνα Νοέμβριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016



Διάγραμμα 3.27: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή  $R^2$  για τον μήνα Δεκέμβριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016

Με βάση την κλίση σε κάθε ευθεία τάσης, στα διαγράμματα αυτά κατά την διάρκεια της χρονικής περιόδου από Ιανουάριο 1992 έως τον Απρίλιο 2016 οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες στους περισσότερους μήνες οι κλίσεις είναι θετικές, αλλά δεν υπάρχει μεγάλος ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας, εφόσον οι κλίσεις σε αυτούς τους μήνες είναι μικρότερες από 0.1. Εξαιρέσεις αποτελούν οι μήνες Φεβρουάριος, Μάρτιος, Νοέμβριος και Δεκέμβριος από τους οποίους ο Φεβρουάριος έχει την μεγαλύτερη θετική κλίση, συνεπώς οι μέσες θερμοκρασίες του μήνα αυτού με τον πέρασμα του χρόνου αυξήθηκαν περισσότερο σε σχέση με τους άλλους μήνες. Χρειάζεται να σημειωθεί ότι στους μήνες Ιούνιο και Οκτώβριο οι μέσες θερμοκρασίες μειώνονται με το πέρασμα του χρόνου λόγω των αρνητικών κλίσεων, αλλά όχι σε σημαντικό βαθμό, αφού οι τιμές των κλίσεων αυτών είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από - 0.1.

Επιπλέον, από το Τμήμα Μετεωρολογίας δόθηκαν οι τιμές μέσης σχετικής υγρασίας μετρημένες στις 8 πμ στον ίδιο σταθμό ανά μήνα για την χρονική περίοδο από Ιανουαρίου 1990 έως τον Δεκέμβριο 2019. Είναι φανερό ότι στο δάσος Πάφου στο συγκεκριμένο υψόμετρο τις πρωινές ώρες για παραπάνω από το μισό έτος η σχετική υγρασία είναι παραπάνω από 60 %, ενώ τους μήνες από Μάιο έως Σεπτέμβριο αυτή ελαττώνεται λόγω της αυξημένης θερμοκρασία που επικρατεί τότε. Τέλος, λήφθηκαν και οι τιμές μέσου μηνιαίου υετού για την ίδια περίοδο, αλλά και την αντίστοιχη προγενέστερη χρονική μεταξύ των ετών 1961 έως 1990. Συγκρίνοντας τις τιμές μέσου υετού και στις δύο χρονικές περιόδους τόσο ανά μήνα όσο και συνολικά μέσα

στο έτος, η μείωση του είναι εμφανής στους περισσότερους μήνες ιδιαίτερα στον Μάρτιο που η διαφορά στις τιμές υετού ήταν περίπου 28 χιλιοστά. Παρόλα αυτά, τους μήνες Ιούνιο, Σεπτέμβριο και Δεκέμβριο ισχύει το αντίθετο με τον τρίτο μήνα να έχει την μεγαλύτερη τιμή υετού σε σχέση με την προηγούμενη περίοδο, εφόσον από την τιμή υετού 161.9 χιλιοστά την περίοδο 1961-1990 έφτασε 169.7 χιλιοστά.

Περίοδος 1990-2019	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	ΕΤΗΣΙΑ
Μέση Σχετική Υγρασία (μέτρηση στις 8πμ) (%)	83	79	72	64	57	50	44	45	54	63	71	81	64
Περίοδος 1990-2019	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ
Μέσος Μηνιαίος Υετός (mm)	164	129.4	88.9	44.6	32.4	12.2	4	2.7	11.4	43.6	81.5	169.7	784.4
Περίοδος 1961-1990	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ
Μέσος Μηνιαίος Υετός (mm)	167.2	135.4	116.6	57.2	27.2	11.2	8.7	4.8	7.3	46.4	88.3	161.9	832.2

*Πίνακα 3.1: Τιμές μέσης σχετικής υγρασίας για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1990 έως τον Δεκέμβριο του 2019 και μέσου μηνιαίου υετού για την ίδια περίοδο και το χρονικό διάστημα των ετών 1961 έως 1990 από σταθμό «Σταυρός της Ψώκας»*

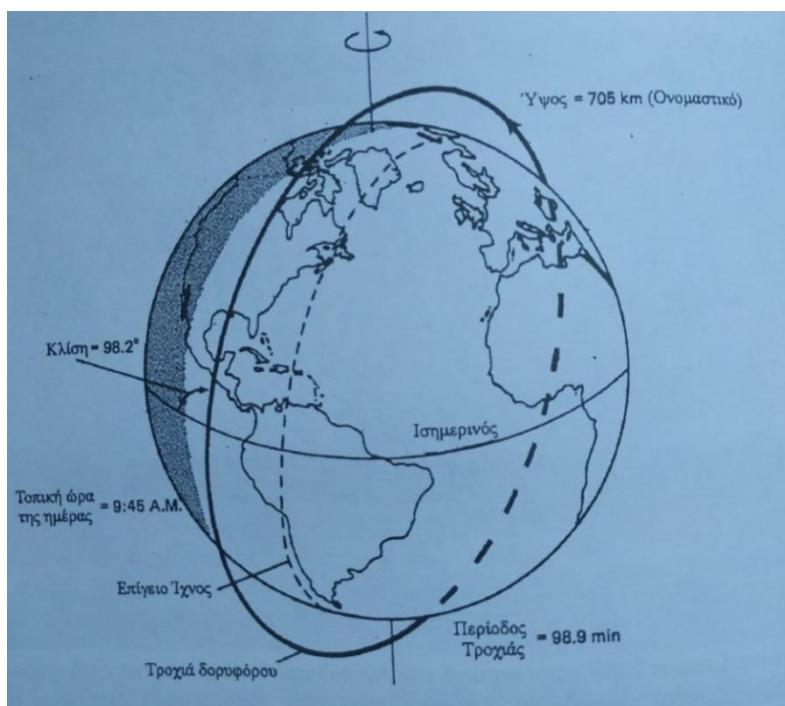


## Κεφάλαιο 4: Δημιουργία και ανάλυση χρονοσειρών

### 4.1 Συλλογή δεδομένων

#### 4.1.1 Δορυφορικά δεδομένα Landsat 5 και 8

Για την υλοποίηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες των Landsat 5 και 8 σε επίπεδα επεξεργασίας Level-1 και Level-2. Οι πληροφορίες που περιγράφονται σε αυτήν την παράγραφο έχουν συλλεχθεί από την ιστοσελίδα του οργανισμού United States Geological Survey (USGS). Αρχικά, όσον αφορά τον Landsat 5, πρόκειται για τον μακροβιότερο δορυφόρο σε λειτουργία μέχρι στιγμής με την ημερομηνία εκτόξευσής του να είναι στις 1 Μαρτίου 1984 και την ημερομηνία λήξης της αποστολής του στις 5 Ιουνίου 2013. Η τροχιά αυτού του δορυφόρου ήταν κυκλική, συγχρονισμένη με τον Ήλιο, σχεδόν πολική σε ύψος 705 χλμ και με γωνία κλίσης της τροχιάς του ως προς τον Ισημερινό ήταν  $98.2^\circ$ . Σχετικά με την κίνησή του, ο Landsat 5 περνούσε από τον Ισημερινό στις 9:45 πμ +/- 15 λεπτά τοπική ηλιακή ώρα, κατευθυνόταν προς τον Βορρά και στην συνέχεια στον Νότο. Η διάρκεια κάθε τροχιάς ήταν 99 λεπτά, με αποτέλεσμα ο συνολικός αριθμός των τροχιών κατά την διάρκεια της μέρας να ήταν σχεδόν 14.5. Αξιοσημείωτο είναι ότι ο Landsat 5 διερχόταν από την εκάστοτε περιοχή πάνω στην Γη κάθε 16 μέρες.



Εικόνα 4.1: Ηλιοσύγχρονη τροχιά του Landsat 5 (πηγή: Αργυράς, 1999)

Ο δορυφόρος Landsat 5 περιελάμβανε δύο αισθητήρες, τον Multispectral Scanner (MSS) και τον Thematic Mapper (TM). Λόγω της απαιτούμενης για την εργασία πληροφορίας για το θερμικό υπέρυθρο, οι εικόνες που χρησιμοποιήσαμε ήταν μόνο από τον TM.

Ο αριθμός των καναλιών του TM ήταν εφτά εκ των οποίων όλα εκτός από το θερμικό κανάλι έχουν χωρική ανάλυση 30 μέτρα. Παρόλα αυτά, ενώ το θερμικό κανάλι έχει διακριτική ικανότητα 120 μέτρα, αυτό υφίσταται επαναδειγματοληψία σε 30 μέτρα. Αναφορικά με την ραδιομετρική διακριτική ικανότητα του δέκτη αυτού, η κβαντοποίηση είναι 8 bits, οπότε η ισχύς της ακτινοβολίας μπορεί να αποδοθεί σε κάθε εικονοστοιχείο με 256 τόνους του γκρι. Τέλος, η συνολική έκταση που καταλαμβάνει κάθε εικόνα που δημιουργείται τελικά από το δέκτη αυτόν έχει διαστάσεις 170 χλμ (από Βορρά προς Νότο) και 183 χλμ (από δυσμάς προς ανατολάς).

Bands	Wavelength ( $\mu\text{m}$ )	Resolution
Band 1 – Blue	0.45–0.52	30 m
Band 2 – Green	0.52–0.60	30 m
Band 3 – Red	0.63–0.69	30 m
Band 4 – Near Infrared	0.76–0.90	30 m
Band 5 – Shortwave Infrared-1	1.55–1.75	30 m
Band 6 – Thermal Infrared	10.40–12.50	120 m
Band 7 – Shortwave Infrared-2	2.08–2.35	30 m

Πίνακα 4.1: Φασματικά κανάλια του TM του Landsat 5 με τα αντίστοιχα εύρη μηκών κύματος και διακριτικές ικανότητες (πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/Spectral-bands-description-of-Landsat-5-Thematic-Mapper-sensor\\_tbl2\\_322911996](https://www.researchgate.net/figure/Spectral-bands-description-of-Landsat-5-Thematic-Mapper-sensor_tbl2_322911996))

Σχετικά με τον δορυφόρο Landsat 8, η λειτουργία του ξεκίνησε στις 11 Φεβρουαρίου 2013, ενώ αυτός είναι ενεργός μέχρι και σήμερα. Η τροχιά του ακολουθεί την ίδια ακριβώς λογική με τον Landsat 5, καθώς τα δύο τηλεπισκοπικά συστήματα έχουν την ίδια χρονική διακριτική ικανότητα. Αυτό που διαφέρει μόνο είναι ότι η τοπική ώρα κατά την οποία ο Landsat 8 διέρχεται κάθε φορά από τον Ισημερινό η οποία είναι 10:00 πμ +/- 15 λεπτά.

Οι αισθητήρες που περιέχει ο Landsat 8 είναι ο Operational Land Imager (OLI) και ο Thermal Infrared Sensor (TIR). Ο πρώτος έχει εννιά κανάλια τα οποία έχουν διακριτική ικανότητα 30 m με εξαίρεση το παγχρωματικό που έχει χωρική ανάλυση 15 m. Παράλληλα, ο δεύτερος έχει δύο θερμικά κανάλια με διακριτική ικανότητα 100 μέτρα στο οποίο γίνεται επίσης επαναδειγματοληψία στα 30 μέτρα. Σημειώνεται ότι κάθε εικόνα που προκύπτει από δεδομένα του δορυφόρου Landsat 8 έχει διαστάσεις στο έδαφος 185 χλμ εγκάρσια της τροχιάς (across-track) και 180 χλμ κατά μήκος της τροχιάς (along-track).

<b>Bands</b>	<b>Wavelength (micrometers)</b>	<b>Resolution (meters)</b>
Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Πίνακα 4.2: Φασματικά κανάλια των OLI και TIRS του Landsat 8 με τα αντίστοιχα εύρη μηκών κύματος και διακριτικές ικανότητες (πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/Specifications-of-spectral-bands-of-Landsat-8-OLI\\_tbl1\\_271486939](https://www.researchgate.net/figure/Specifications-of-spectral-bands-of-Landsat-8-OLI_tbl1_271486939))

Τα δεδομένα καταγραφής τόσο από τον δορυφόρο Landsat 5 όσο και από τον Landsat 8 επεξεργάζονται με αλγορίθμους του Level 1 Product Generation System (LPGS) και με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν τα προϊόντα Level-1. Σε αυτήν την εργασία, επιλέχθηκαν εικόνες κατηγορίας Tier 1 (T1) που περιέχουν δεδομένα Level-1 Terrain Precision (L1TP) υψηλής ποιότητας. Οι εικόνες αυτές είναι ραδιομετρικά και γεωμετρικά διορθωμένες και κρίνονται περισσότερο κατάλληλες για ανάλυση χρονοσειράς λόγω του αποδεκτού τετραγωνικού σφάλματος από την γεωαναφορά (<12m root mean square error (RMSE)). Γι αυτήν την επεξεργασία χρησιμοποιείται Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους και σταθερά σημεία στο έδαφος προερχόμενα από την βάση δεδομένων του Global Land Survey 2000 (GLS2000).

Επίσης, για την εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν και εικόνες Landsat 5 και 8 ατμοσφαιρικά διορθωμένες (Level-2) οι οποίες προκύπτουν από τους αλγορίθμους Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System (LEDAPS) και Land Surface Reflectance Code (LaSRC) αντίστοιχα για κάθε δορυφόρο. Ειδικότερα, οι δύο αλγόριθμοι συμβάλουν στο να διορθώσουν τις ανακλώμενες ακτινοβολίες από την απορρόφηση και διάχυση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα, κάτι που προκαλείται λόγω της ύπαρξης αερίων, αερολυμάτων και υδρατμών. Τόσο τα προϊόντα Level-1 όσο και τα Level-2 διατίθενται ελεύθερα στο διαδίκτυο.

Εκτός από τα κύρια χαρακτηριστικά της τροχιάς τους τα δύο τηλεπισκοπικά συστήματα Landsat έχουν ορισμένες ακόμη ομοιότητες. Αρχικά η μέθοδος της επαναδειγματοληψίας που εφαρμόζουν για το θερμικό κανάλι είναι η κυβική παρεμβολή. Επίσης, το σύστημα αναφοράς

των εικόνων είναι η Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (Universal Transverse Mercator – UTM) και ορίζεται με το Datum του Παγκόσμιου Γεωδαιτικού Συστήματος του 84 (World Geodetic System - WGS 84).

Στην εργασία αυτή, επιλέξαμε από την ιστοσελίδα [earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov) 176 εικόνες από τον δορυφόρο Landsat 5 για την περίοδο από τον Ιούνιο 1992 έως τον Οκτώβριο 2011 και 70 εικόνες από τον Landsat 8 από τον Απρίλιο 2013 έως τον Οκτώβριο 2018, οι οποίες έχουν περάσει και από τα δύο επίπεδα επεξεργασίας. Παρατηρήσαμε ότι δεν υπήρχαν διαθέσιμες εικόνες για ορισμένους μήνες μέσα στις δύο χρονικές περιόδους, διότι είτε δεν παρέχονταν από την ιστοσελίδα είτε περιείχαν τόση νεφοκάλυψη πάνω από την περιοχή μελέτης που δεν θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν. Η ενδεικτική τοπική ώρα λήψης των εικόνων είναι 10 πμ τους χειμερινούς μήνες (από τέλη Οκτωβρίου έως τέλη Μαρτίου) και 11 πμ τους καλοκαιρινούς μήνες (από τέλη Μαρτίου έως τέλη Οκτωβρίου). Όλες οι εικόνες έχουν ως σύστημα αναφορά το Σύστημα Παγκόσμιας Εγκάρσιας Μερκατορικής Προβολής στην ζώνη 36 και αναφέρονται στην περιοχή της οποίας το κέντρο έχει Path 176 και Row 36 κατά το σύστημα WRS-2.

#### **4.1.2 Επιπρόσθετα δεδομένα**

Πέρα από τις εικόνες από τους αισθητήρες των δορυφόρων Landsat 5 και 8, χρήσιμα για την εργασία ήταν και τα εξής δεδομένα:

- το γεωχωρικό διανυσματικό αρχείο πολυγώνου που οριοθετεί την περιοχή μελέτης
- το ψηφιακό μοντέλο εδάφους ASTER Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM) στην έκδοση V3

Το πρώτο δεδομένο δόθηκε από το Τμήμα Δασών της Κύπρου. Το ψηφιακό αυτό αρχείο περιλαμβάνει το δάσος Πάφου και ορισμένες καμένες εκτάσεις έχουν αφαιρεθεί από αυτό. Το σύστημα αναφοράς του είναι το Σύστημα Παγκόσμιας Εγκάρσιας Μερκατορικής Προβολής στην ζώνη 36.



Εικόνα 4.2: Πολύγωνο περιοχής μελέτης σε μορφή kmz αρχείου στο περιβάλλον του Google Earth

Όσον αφορά το ψηφιακό εδάφους ASTER GDEM, δημιουργήθηκε από 1880306 Level-1A εικόνες που πάρθηκαν από τον αισθητήρα ASTER του δορυφόρου Terra της NASA κατά την περίοδο από 1.3.2000 έως 30.11.2013. Κάθε εικόνα έχει χωρική ανάλυση 15 μέτρα διαστάσεις 4100 x 4200 και καταλαμβάνει στο έδαφος έκταση 60 χλμ x 60 χλμ.

Για την δημιουργία του ASTER DEM χρησιμοποιήθηκαν ψηφιακά μοντέλα από τις παραπάνω εικόνες, είτε μασκαρισμένα από τα σύννεφα είτε όχι, ψηφιακά μοντέλα αναφοράς για περιοχές με περιορισμένο αριθμό εικόνων, αλλά και το ASTER Global Water Body Database (ASTWBD) για την διόρθωση τιμών υψομέτρου των υδάτινων σωμάτων όπως θάλασσα, ποτάμια και λίμνες. Με την επεξεργασία αυτή προέκυψε ότι το ASTER GDEM έχει χωρική ανάλυση 30 μέτρων και περιλαμβάνει 22912 μέρη, στο καθένα από τα οποία περιέχεται ένα αρχείο ψηφιακού μοντέλου εδάφους με διαστάσεις 3601 x 3601. Επιπλέον, το σύστημα αναφοράς του προϊόντος είναι το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς WGS84 με το EGM96 ως μοντέλο γεωειδούς και κάθε μέρος του ASTER DEM καταλαμβάνει έκταση που αντιστοιχεί σε 1° x 1°.

Το αρχείο ΨΕ, που χρησιμοποιήσαμε, απεικονίζει την Ελλάδα και την Κύπρο. Αρχικά, μέσω του προγράμματος QGIS πήραμε μέρος του ΨΕ που αναφέρεται μόνο στην Κύπρο, κάναμε μετατροπή συστήματος αναφοράς σε Σύστημα Παγκόσμιας Εγκάρσιας Μερκατορικής Προβολής στην ζώνη 36 και έπειτα πάλι κόψαμε το ΨΕ, όμως αυτήν την φορά ως προς τα όρια του διανυσματικού αρχείου της περιοχής μελέτης. Συνεπώς, προέκυψε το ΨΕ μόνο για το δάσος Πάφου.

## 4.2 Επεξεργασία τηλεπισκοπικών δεδομένων

Αφού αποκτήσαμε τις δορυφορικές εικόνες, ακολούθησε η επεξεργασία τους. Αρχικά αυτή περιλάμβανε μασκάρισμα σύννεφων για τις εικόνες Landsat 5 και 8 που είχαν νεφοκάλυψη. Πιο αναλυτικά από τις 176 εικόνες Landsat 5 και 70 εικόνες Landsat 8 οι 119 και οι 58 εικόνες αντίστοιχα περιείχαν σύννεφα, οπότε σε αυτές έγινε μασκάρισμα των συννέφων όπως αναφέρεται στην παράγραφο 4.2.1. Οι μάσκες αυτές χρειαζόταν να εφαρμοστούν στα θερμικά κανάλια των εικόνων με σύννεφα και στους αντίστοιχους δείκτες NDVI οι οποίοι υπολογίστηκαν με δεδομένα από εικόνες επιπέδου Level-2.

Στην συνέχεια, σε όλες τις εικόνες Landsat 5 και 8, αφού εφαρμόστηκαν οι μάσκες σύννεφων σε όσες εικόνες περιείχαν σύννεφα και έγινε περικοπή όλων των εικόνων στην περιοχή μελέτης, υπολογίστηκαν οι θερμοκρασίες εδάφους με δεδομένα από εικόνες επιπέδου Level-1. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται εκτενώς στην παράγραφο 4.2.2.

Έπειτα, στην παράγραφο 4.2.3 περιγράφεται η δημιουργία μασκών υψομέτρου-προσανατολισμού και μασκών για την αφαίρεση σκιάσεων από απεικονίσεις SAR από παράλληλη εργασία και λιμνών και η εφαρμογή τους στις εικόνες. Χάρη στην διαδικασία αυτήν, ήταν δυνατόν να γίνει ομαδοποίηση των τιμών θερμοκρασίας εδάφους και των δεικτών NDVI με βάση το υψόμετρο και τον προσανατολισμό και στην συνέχεια να βγουν στατιστικά στοιχεία τόσο για όλη την περιοχή μελέτης όσο και για κάθε υποπεριοχή συγκεκριμένης τάξης υψομέτρου και προσανατολισμού χωρίς να περιλαμβάνονται οι τιμές από τα εικονοστοιχεία που απεικόνιζαν τις λίμνες και τις σκιάσεις.

### 4.2.1 Μασκάρισμα σύννεφων

Αρχικά, κρίθηκε απαραίτητο για τις περισσότερες εικόνες να πραγματοποιηθεί επεξεργασία μέσω του αλγορίθμου Fmask έκδοσης 4.0 για να αφαιρεθούν οι περιοχές νεφοκάλυψης. Ο αλγόριθμος περιγράφεται έχει προταθεί από τους Qiu et al (2019).

Ο Fmask κατατάσσεται στους αλγορίθμους που λαμβάνουν υπόψιν τους φυσικούς κανόνες για να εξηγήσουν τις τιμές των εικονοστοιχείων (physical-rule-based algorithm) στην πολυφασματική εικόνα, στην περίπτωση μας στα προϊόντα Level-1. Προκειμένου να εντοπίσει τα εικονοστοιχεία που απεικονίζουν σύννεφα, ο αλγόριθμος εξετάζει το κατά πόσο λευκά είναι, δηλαδή εάν έχουν μεγάλες τιμές ανακλαστικότητας σε κάθε κανάλι της πολυφασματικής απεικόνισης και πόσο ψυχρά είναι δηλαδή εάν παρουσιάζουν χαμηλές τιμές στα θερμικά κανάλια. Επίσης, λαμβάνει υπόψιν και το υψόμετρο της περιοχής που απεικονίζουν τα εικονοστοιχεία. Αναλυτικότερα, αρχικά ο αλγόριθμος υπολογίζει και συνδυάζει τις πιθανότητες να απεικονίζει ένα εικονοστοιχείο σύννεφο, με βάση την φασματική του διακύμανση στους δείκτες NDVI, NDSI, Whiteness index και NDBI και τις

τιμές που παρουσιάζει στα κανονικοποιημένα θερμικά κανάλια. Ειδικότερα, για εικόνες του Landsat 8, λαμβάνει υπόψιν και τις τιμές του κανονικοποιημένου κανάλι 9 του αισθητήρα του (Cirrus band). Στη συνέχεια, με την χρήση κατωφλιών προσδιορίζεται εάν τα εικονοστοιχεία είναι σύννεφα ή όχι. Τα βοηθητικά δεδομένα, που χρησιμοποιεί ο αλγόριθμος Fmask είναι τα παρακάτω:

- δεδομένα Global Surface Water Occurrence (GSWO) με χωρική ανάλυση 30 μέτρα για να ενισχύσει τον διαχωρισμό μεταξύ της ξηράς και της θάλασσας, που παλιότερα γινόταν μόνο με τον δείκτη NDVI και το κανάλι του εγγύτερου υπέρυθρου (Near Infrared band) με σκοπό να βελτιώσει τα αποτελέσματα, ειδικά σε απεικονίσεις με πυκνά σύννεφα. Τα δεδομένα αυτά δημιουργήθηκαν από καταγραφή από εικόνες Landsat σε χρονική διάρκεια 32 ετών και περιέχει πληροφορίες για την δυναμική του νερού στην γήινη επιφάνεια διαχρονικά.
- δεδομένα ψηφιακού μοντέλου εδάφους (έκδοση 2) χωρικής ανάλυσης περίπου 30 μέτρων που έχουν προέλθει από Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) δεδομένα, καθώς και τα παράγωγά τους όπως κλίση και προσανατολισμός, με σκοπό την κανονικοποίηση των θερμικών καναλιών και του καναλιού 9 του αισθητήρα του Landsat 8.

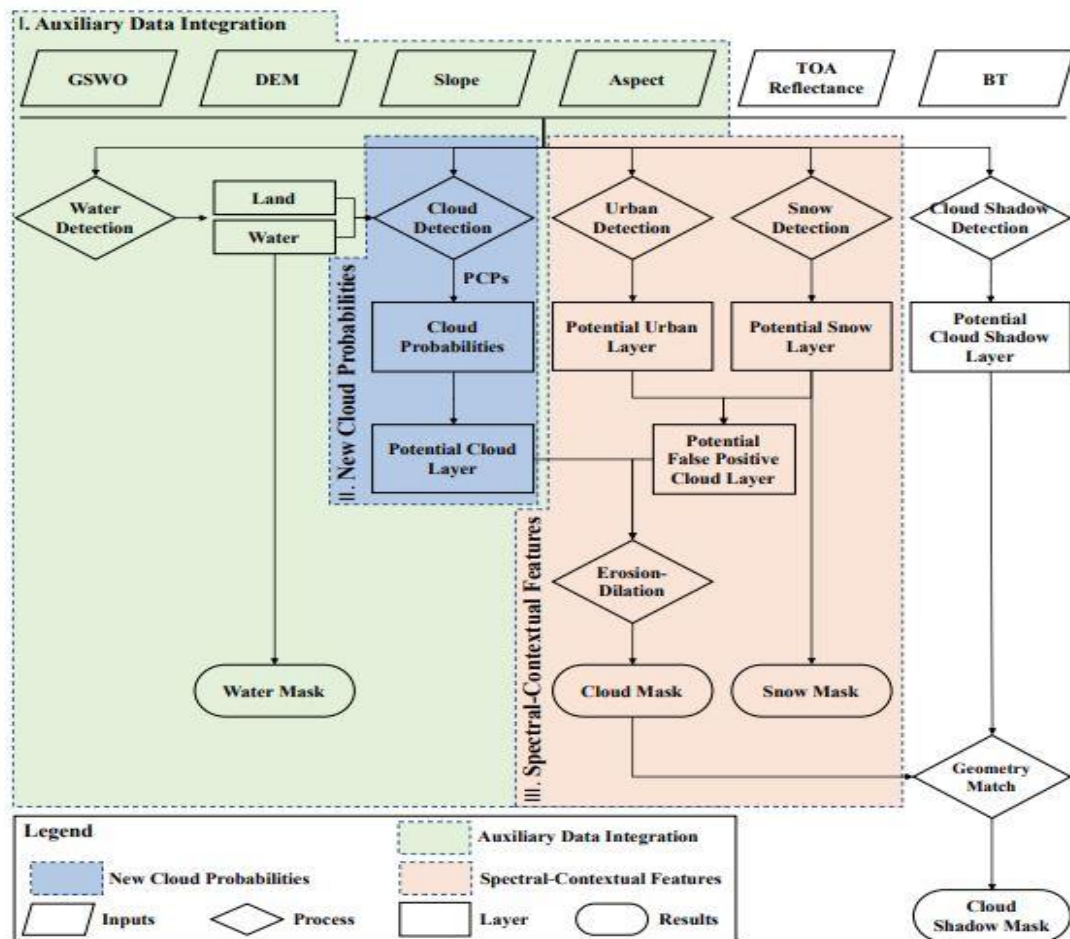
Εφόσον οριστούν τα πρώτα πιθανά εικονοστοιχεία συννέφων, χρειάζεται να αξιολογηθούν για το εάν έχουν χαρακτηριστεί εσφαλμένα ως σύννεφα ενώ είναι περιοχές αστικού/δομημένου περιβάλλοντος ή χιονιού/πάγου (bright surfaces). Συγκεκριμένα, φροντίζει να προσδιοριστούν οι περιοχές αυτές με εφαρμογή φασματικών τεστ και κατάλληλων μορφολογικών φίλτρων διαστολής (dilation) και διάβρωσης (erosion), δεδομένου ότι οι περιοχές αστικού/δομημένου περιβάλλοντος και χιονιού/πάγου έχουν μοναδικές φασματικές υπογραφές και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπως ορθογώνιο σχήμα, ευθείες γραμμές και το ότι είναι συνήθως απομονωμένες. Συνεπώς, μετά από την διαδικασία αυτή δημιουργείται η τελική μάσκα συννέφων για κάθε εικόνα.

Επιπλέον, ο αλγόριθμος Fmask έχει την δυνατότητα να προσδιορίσει τα εικονοστοιχεία που απεικονίζουν σκιές σύννεφων χάρη στις σκούρες εμφανίσεις τους και χρησιμοποιώντας τη μάσκα σύννεφων που έχει διαμορφωθεί βάσει της υπόθεσης ότι οι σκιές έχουν παρόμοιο σχήμα με τα αντίστοιχα σύννεφα.

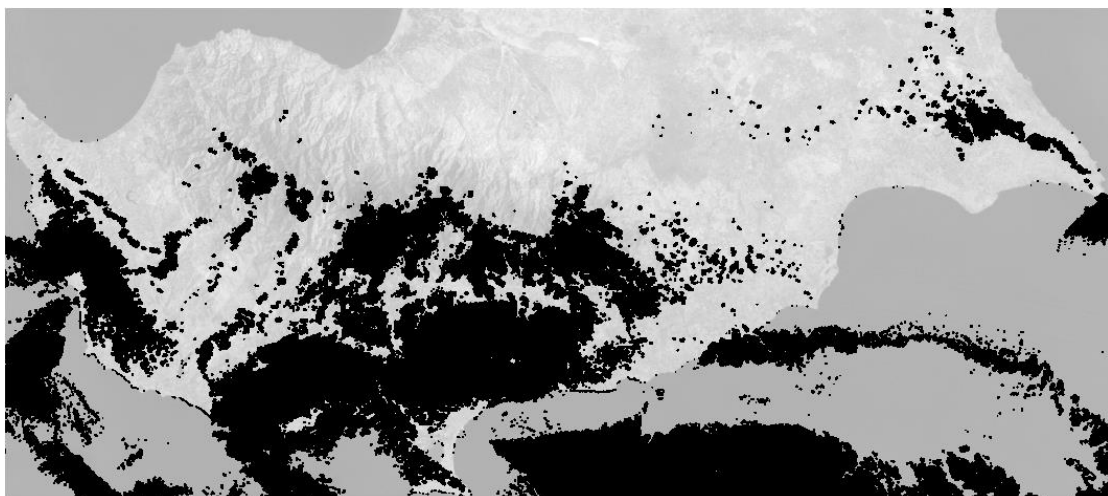
Στην εργασία αυτήν αξιοποιήσαμε την μάσκα συννέφων για κάθε εικόνα Landsat 5 και 8 που περιείχαν σύννεφα και την εφαρμόσαμε στο ή στα θερμικά κανάλια της κάθε μίας από αυτές τις εικόνες και τους αντίστοιχους δείκτες NDVI.



Στο Παράρτημα 2 παρουσιάζονται οι κώδικες batch αρχείων των Windows με εντολές της βιβλιοθήκης GDAL η οποία επεξεργάζεται γεωχωρικά δεδομένα εικόνων και διανυσμάτων. Ο υπολογισμός των δεικτών NDVI έγινε χάρη στους κώδικες 1 και 2 στο Παράρτημα 2.

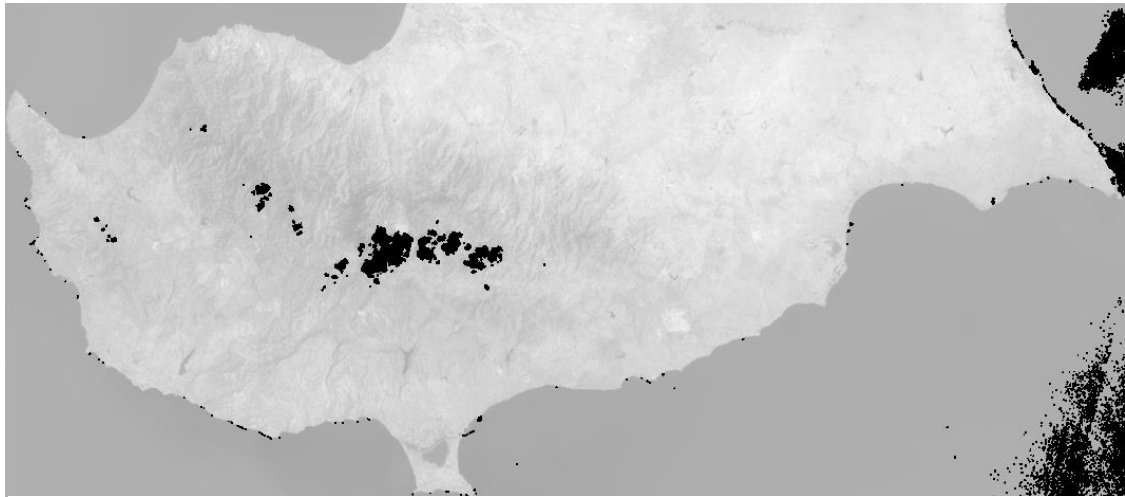


Εικόνα 4.3: Διάγραμμα ροής του Fmask 4.0 όπου GSWO: Global Surface Water Occurrence; DEM: Digital Elevation Model; BT: Brightness Temperature; PCs: Potential Cloud Pixel (πηγή: Qiu et al, 2019)



Εικόνα 4.4: Τμήμα μασκαρισμένου από σύννεφα θερμικού καναλιού 6 εικόνας Landsat 5 με ημερομηνία λήψης 24.5.1993





α.



β.

Εικόνα 4.5: Τμήματα μασκαρισμένων από σύννεφα θερμικών καναλιών 10 (α) και 11 (β) εικόνας Landsat 8 με ημερομηνία λήψης 2.7.2013

#### 4.2.2 Υπολογισμός θερμοκρασίας εδάφους

Αφού αφαιρέσαμε από τις εικόνες της περιοχής μελέτης τα σύννεφα και έγινε περικοπή όλων των εικόνων, προχωρήσαμε στον υπολογισμό των τιμών θερμοκρασίας εδάφους για κάθε μία από τις εικόνες. Επειδή δεν είχαμε δεδομένα για τις συνθήκες της ατμόσφαιρας τις μέρες που έγινε η λήψη των εικόνων, αποφασίστηκε να πραγματοποιηθεί αρχικά να μετατρέψουμε τις ψηφιακές τιμές σε τιμές ακτινοβολίας όπως στις εργασίες των Rajendran και Mani (2015) και Urişescu et al (2017). Εδώ χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες που είναι προϊόντα Tier 1, Level-1. Για κάθε απεικόνιση απομονώθηκε το θερμικό κανάλι 6 (εικόνες Landsat 5) και τα θερμικά κανάλια 10 και 11 (εικόνες Landsat 8), καθώς και σταθερές τιμές για αυτήν την μετατροπή οι οποίες διαφέρουν από τον ένα δορυφόρο στον άλλο και αναγράφονται στο αρχείο των metadata κάθε απεικόνισης. Η εξίσωση του βήματος αυτού είναι η παρακάτω:

$$L_{LD5,B6} = M_{LD5,B6} * Q_{cal,LD5,Band 6} + A_{LD5,B6} \quad (\text{εξίσωση 4.1})$$

$$L_{LD8,B10} = M_{LD8,B10} * Q_{cal,LD8,Band 10} + A_{LD8,B10} \quad (\text{εξίσωση 4.2})$$

$$L_{LD8,B11} = M_{LD8,B11} * Q_{cal,LD8,Band 11} + A_{LD8,B11} \quad (\text{εξίσωση 4.3})$$

όπου  $L_{\Delta\text{ΟΥΡΥΦΟΡΟΣ, ΘΕΡΜ.ΚΑΝΑΛΙ}}$  η ακτινοβολία στο συγκεκριμένο θερμικό κανάλι στο ανώτατο επίπεδο της ατμόσφαιρας (Top of Atmosphere (TOA)) η οποία μετράται σε  $W/(m^2 * sr * \mu m)$ ,  $M_{\Delta\text{ΟΥΡΥΦΟΡΟΣ, ΘΕΡΜ.ΚΑΝΑΛΙ}}$  και  $A_{\Delta\text{ΟΥΡΥΦΟΡΟΣ, ΘΕΡΜ.ΚΑΝΑΛΙ}}$  ο πολλαπλασιαστικός συντελεστής κλίμακας και ο προσθετικός συντελεστής κλίμακας αντίστοιχα για το εκάστοτε κανάλι και  $Q_{cal,\Delta\text{ΟΥΡΥΦΟΡΟΣ, ΘΕΡΜ.ΚΑΝΑΛΙ}}$  οι ψηφιακές τιμές εικονοστοιχείων στις εικόνες των αντίστοιχων θερμικών καναλιών.

Στην συνέχεια, υπολογίσαμε την θερμοκρασία ακτινοβολίας όπως στις εργασίες των Rajendran και Mani (2015) και Urişescu et al (2017). Το μέγεθος αυτό εκφράζεται μέσω της σχέσης:

$$T_{B,LD5,B6} = \frac{K_{2,LD5,B6}}{\ln\left(\frac{K_{1,LD5,B6}}{L_{LD5,B6}} + 1\right)} \quad (\text{εξίσωση 4.4})$$

$$T_{B,LD8,B10} = \frac{K_{2,LD8,B10}}{\ln\left(\frac{K_{1,LD8,B10}}{L_{LD8,B10}} + 1\right)} \quad (\text{εξίσωση 4.5})$$

$$T_{B,LD8,B11} = \frac{K_{2,LD8,B11}}{\ln\left(\frac{K_{1,LD8,B11}}{L_{LD8,B11}} + 1\right)} \quad (\text{εξίσωση 4.6})$$

όπου  $T_{B,\Delta\text{ΟΥΡΥΦΟΡΟΣ, ΘΕΡΜ.ΚΑΝΑΛΙ}}$  η θερμοκρασία ακτινοβολίας μετρημένη σε Kelvin και  $K_{1,\Delta\text{ΟΥΡΥΦΟΡΟΣ, ΘΕΡΜ.ΚΑΝΑΛΙ}}$  και  $K_{2,\Delta\text{ΟΥΡΥΦΟΡΟΣ, ΘΕΡΜ.ΚΑΝΑΛΙ}}$  οι σταθερές τιμές μετατροπής για κάθε θερμικό κανάλι μετρημένες σε  $W/(m^2 * sr * \mu m)$  και Kelvin αντίστοιχα.

Όπως περιγράψαμε στο Κεφάλαιο 1 είναι αναγκαίο να προσδιοριστεί ο συντελεστής εκπομπής έτσι ώστε να προσεγγίσουμε τις τιμές της θερμοκρασίας εδάφους. Ο τρόπος με τον οποίο επιλέξαμε να χειριστούμε το συγκεκριμένο θέμα είναι αυτός μέσω του υπολογισμού και της ενσωμάτωσης του δείκτη NDVI όπως στην εργασία των Macarof et al (2018). Γι αυτόν πήραμε ως δεδομένα τα προϊόντα Level-2 έτσι ώστε η ακτινοβολία στα κανάλια του κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου να είναι ατμοσφαιρικά διορθωμένη. Έπειτα, υπολογίσαμε την ποσοστιαία βλάστηση (Pv) και τον συντελεστή εκπομπής ( $\epsilon$ ) ως εξής:

$$Pv = \left( \frac{NDVI - NDVI_{MIN}}{NDVI_{MAX} - NDVI_{MIN}} \right)^2 \quad (\text{εξίσωση 4.7})$$

$$\varepsilon = 0.004 * Pv + 0.986 \quad (\text{εξίσωση 4.8})$$

όπου οι ψηφιακές τιμές από την εικόνα του δείκτη NDVI,  $NDVI_{MIN}$  και  $NDVI_{MAX}$  η ελάχιστη και η μέγιστη ψηφιακή τιμή αντίστοιχα της εικόνας αυτής.

Επιπλέον προσδιορίσαμε το μέγεθος  $\rho$  με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$\rho = h * \frac{c}{\sigma} \quad (\text{εξίσωση 4.9})$$

όπου  $h$  η σταθερά Plank ( $6.62607015 * 10^{-34}$  J \*s),  $c$  η ταχύτητα του φωτός (299792458 m/s) και  $\sigma$  η σταθερά Boltzman ( $1.38064852 * 10^{-23}$ ). Με βάση την θεωρία των σημαντικών ψηφίων η τιμή του  $\rho$  είναι  $0.0143877738 \text{ m x K}$  ή  $14387.7738 \mu\text{m} * \text{K}$ .

Τέλος καταλήγουμε στην τιμή θερμοκρασίας του εδάφους LST όπως στις εργασίες των (Rajendran & Mani, 2015), (Urişescu et al, 2017) και (Macarof et al, 2018) με τον ακόλουθο τύπο:

$$LST_{LD5,B6,KELVIN} = \frac{T_{B,LD5,B6}}{1 + \left( \lambda_{LD5,B6} * \frac{T_{B,LD5,B6}}{\rho} \right) * \ln \varepsilon} \quad (\text{εξίσωση 4.10})$$

$$LST_{LD8,B10,KELVIN} = \frac{T_{B,LD8,B10}}{1 + \left( \lambda_{LD8,B10} * \frac{T_{B,LD8,B10}}{\rho} \right) * \ln \varepsilon} \quad (\text{εξίσωση. 4.11})$$

$$LST_{LD8,B11,KELVIN} = \frac{T_{B,LD8,B11}}{1 + \left( \lambda_{LD8,B11} * \frac{T_{B,LD8,B11}}{\rho} \right) * \ln \varepsilon} \quad (\text{εξίσωση. 4.12})$$

όπου  $\lambda_{\text{ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ, ΘΕΡΜ.ΚΑΝΑΛΙ}}$  το κεντρικό μήκος κύματος του φασματικού εύρους στο οποίο ο αισθητήρας του εκάστοτε δορυφόρου είναι ευαίσθητος στο θερμικό υπέρυθρο. Συγκεκριμένα, για τις εικόνες Landsat 5 το συγκεκριμένο μήκος κύματος ήταν 11.5  $\mu\text{m}$ , για το θερμικό κανάλι 10 του Landsat 8 10.9  $\mu\text{m}$  και για το θερμικό κανάλι 11 του Landsat 8 12  $\mu\text{m}$ . Για να γίνει η μετατροπή της θερμοκρασίας από βαθμούς Kelvin σε Celsius γίνεται η παρακάτω πράξη:

$$LST_{CELSIUS} = LST_{KELVIN} - 273 \quad (\text{εξίσωση 4.13})$$

Συνεπώς, για κάθε δορυφορική εικόνα του Landsat 5 δημιουργήθηκε ένα αρχείο εικόνας με θερμοκρασίες εδάφους και για κάθε εικόνα του Landsat 8 δύο τέτοια αρχεία. Έτσι, για τις εικόνες του δεύτερου δορυφόρου αποφασίστηκε να υπολογιστεί ο μέσος όρος των θερμοκρασιών εδάφους.

Στην πράξη, η επεξεργασία που περιγράφεται σε αυτήν την παράγραφο υλοποιήθηκε για το σύνολο των εικόνων με τους κώδικες του 3, 4, 5, και 6 του Παραρτήματος 2.

### 4.2.3 Ομαδοποίηση των δεδομένων θερμοκρασίας εδάφους και δεικτών NDVI

Κρίθηκε σκόπιμο να χωρίσουμε την περιοχή μελέτης σε ομάδες ούτως ώστε να μελετήσουμε αργότερα την συμπεριφορά της θερμοκρασίας εδάφους και δεικτών NDVI ανάλογα με το υψόμετρο και τον προσανατολισμό. Για την διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα QGIS.

Αρχικά σχετικά με τον διαχωρισμό των ομάδων ως προς το υψόμετρο, διαμορφώθηκαν 3 ομάδες εικονοστοιχείων στην εικόνα των υψομέτρων ως εξής:

- 1<sup>η</sup> ομάδα: 50 έως 526 [m] με τιμή 200
- 2<sup>η</sup> ομάδα: 526 έως 1002 [m] με τιμή 300
- 3<sup>η</sup> ομάδα: 1002 έως 1400 [m] με τιμή 400

Συγκεκριμένα στην εντολή του προγράμματος QGIS, raster calculator, η παράσταση που γράφτηκε ήταν η παρακάτω:

```
("CLIP_1_ GDEM2_GR-CY_PROJECT_clipped@1" < 50)*100 + ("CLIP_1_ GDEM2_GR-CY_PROJECT_clipped@1" >= 50 AND "CLIP_1_ GDEM2_GR-CY_PROJECT_clipped@1" < 526)*200 + ("CLIP_1_ GDEM2_GR-CY_PROJECT_clipped@1" >= 526 AND "CLIP_1_ GDEM2_GR-CY_PROJECT_clipped@1" < 1002)*300 + ("CLIP_1_ GDEM2_GR-CY_PROJECT_clipped@1" >= 1002 AND "CLIP_1_ GDEM2_GR-CY_PROJECT_clipped@1" <= 1400)*400
```

όπου "CLIP\_1\_ GDEM2\_GR-CY\_PROJECT\_clipped@1" το ψηφιακό μοντέλο εδάφους μετά την επεξεργασία που αναφέρθηκε προηγουμένως.

Αναφορικά με τον προσανατολισμό, αρχικά χρειάστηκε να διαμορφώσουμε χάρτη προσανατολισμών για το ΨΜΕ της περιοχής μελέτης. Στη συνέχεια, υπολογίσαμε τη μέση τιμή της αζιμουθιακής γωνίας του ήλιου στις 12 μμ για τα μέσα του κάθε μήνα σε όσες χρονιές υπήρχε λήψη. Τα δεδομένα των αζιμουθιακών γωνιών πάρθηκαν από τις ιστοσελίδες [planetcalc.com/318/](http://planetcalc.com/318/) και [www.suncalc.org/](http://www.suncalc.org/). Η επιλογή της ώρας αυτής και της συγκεκριμένης μέρας μέσα στον εκάστοτε μήνα στηρίζεται στο ότι στις 12 μμ παρουσιάζεται αρκετά θερμή θερμοκρασία σε σχέση με τις υπόλοιπες ώρες (2 μμ είναι η θερμότερη ώρα) μέσα στην μέρα

σε όλους τους μήνες και στο ότι οι εικόνες έχουν παρθεί σε διάφορες μέρες μέσα στον μήνα, άρα θα ήταν καλύτερο να λάβουμε υπόψιν την αζιμουθιακή γωνία του ήλιου την ώρα αυτήν στα μέσα του κάθε μήνα. Η μέση τιμή για την αζιμουθιακή γωνία υπολογίστηκε ως  $186.06^\circ$ , οπότε υποθέτουμε ότι οι περιοχές που έχουν προσανατολισμό κοντά σε αυτήν την τιμή είναι πιο ζεστές και ξηρές. Έπειτα, χωρίσαμε τον κύκλο, μέσα στον οποίο μετρείται η γωνία αυτή και που αντιπροσωπεύει τον κύκλο της πυξίδας που κρατάμε στο πεδίο, σε δύο μέρη.

Έτσι, οι ομάδες για την εικόνα του προσανατολισμού έγινε ως εξής:

- 1<sup>η</sup> ομάδα:  $51.06^\circ$  έως  $231.06^\circ$  με τιμή 1
- 2<sup>η</sup> ομάδα:  $231.06^\circ$  έως  $360^\circ$  και  $0^\circ$  έως  $51.06^\circ$  με τιμή 2

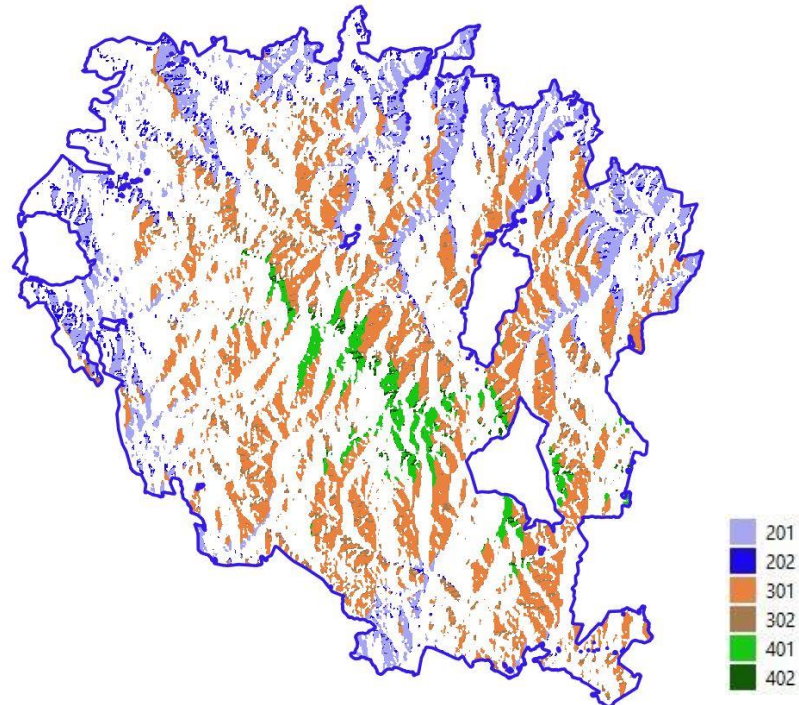
Η αντίστοιχη παράσταση στο raster calculator είναι η παρακάτω:

```
("CLIP_1_GDEM2_GR-CY_PROJECT_ASPECT_clipped@1" >= 51.06 AND "CLIP_1_GDEM2_GR-CY_PROJECT_ASPECT_clipped@1" < 231.06)*1 + ("CLIP_1_GDEM2_GR-CY_PROJECT_ASPECT_clipped@1" >= 231.06 AND "CLIP_1_GDEM2_GR-CY_PROJECT_ASPECT_clipped@1" < 361)*2 + ("CLIP_1_GDEM2_GR-CY_PROJECT_ASPECT_clipped@1" >= 0 AND "CLIP_1_GDEM2_GR-CY_PROJECT_ASPECT_clipped@1" < 51.06)*2
```

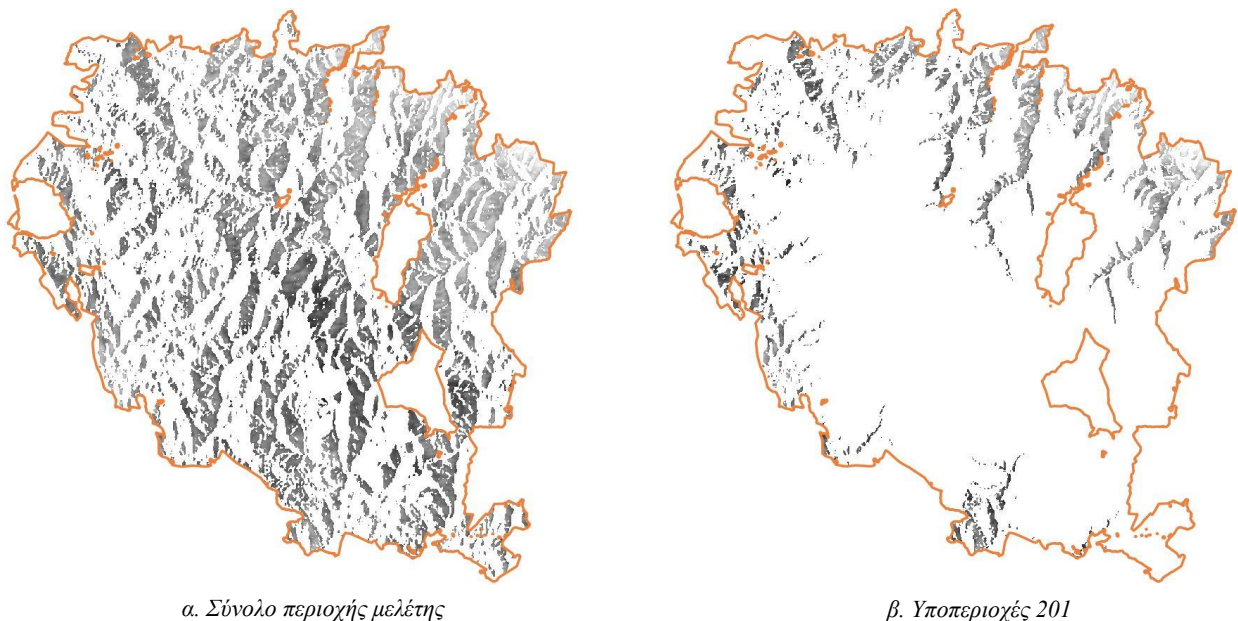
Μετά από αυτές τις διαμορφώσεις των τιμών του υψομέτρου και του προσανατολισμού, έγινε η πρόσθεση των δύο εικόνων. Συνεπώς, προέκυψε μία νέα εικόνα η οποία συνδυάζει τα δύο αυτά στοιχεία. Για παράδειγμα, ένα εικονοστοιχείο με τιμή 201 στη νέα εικόνα, αντιστοιχεί σε υποπεριοχή της οποίας το υψόμετρο είναι μεταξύ των 50 και 526 μέτρων και ο προσανατολισμός βρίσκεται στο διάστημα από  $51.06^\circ$  έως  $231.06^\circ$ . Οι τιμές αυτής της εικόνας είναι συνολικά έξι.

Τέλος, στην εικόνα αυτή χρειάστηκε να εφαρμόσουμε δύο μάσκες. Με τη μία απομονώσαμε και αφαιρέσαμε τις λίμνες και με την άλλη τις σκιασμένες περιοχές οι οποίες εμφανίζονται στις απεικονίσεις SAR, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν σε άλλη εργασία που υλοποιείται παράλληλα με αυτήν τη διπλωματική εργασία. Για την πρώτη μάσκα ειδικά χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης NWDI για πολλές από τις εικόνες μας, έτσι ώστε μετά από την εφαρμογή κατάλληλου καταφλίου και την πρόσθεση των δεικτών αυτών μεταξύ τους, προέκυψε μάσκα που κάλυψε όλες τις λίμνες σε όλες τις εικόνες ανεξαρτήτου χρονιάς και μήνα λήψης. Μετά από αυτήν την ενέργεια από την τελική εικόνα δημιουργήθηκαν έξι μάσκες με δυαδικές τιμές (0,1) η κάθε μία. Οι μάσκες αυτές είναι οι 201, 202, 301, 302, 401, 402, οι οποίες αντιστοιχούν στις έξι τιμές της μασκαρισμένης εικόνας που έχει προκύψει από την πρόσθεση, εφαρμόστηκαν στις θερμοκρασίες εδάφους και δείκτες βλάστησης NDVI σε κάθε εικόνα. Η

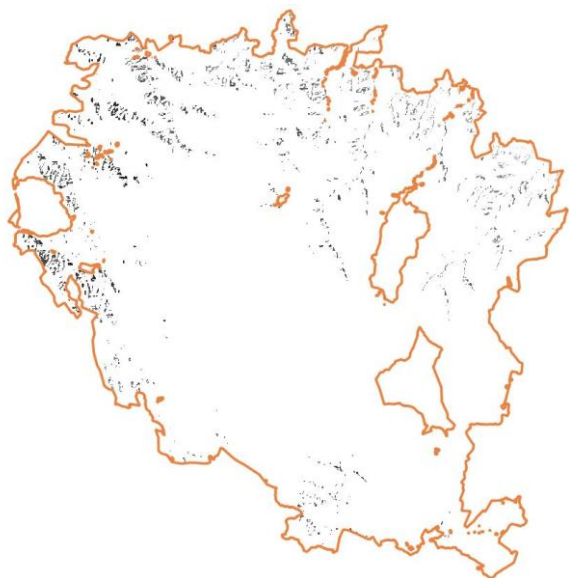
εφαρμογή αυτή πραγματοποιήθηκε χάρη στους κώδικες 7,8,9,10 στο Παράρτημα 2. Τέλος, με βάση τον κώδικα 11 βγήκαν στατιστικά στοιχεία για τα δύο αυτά μεγέθη κάθε εικόνας για όλη την περιοχή μελέτης και κάθε μία από τις έξι κατηγορίες υποπεριοχών.



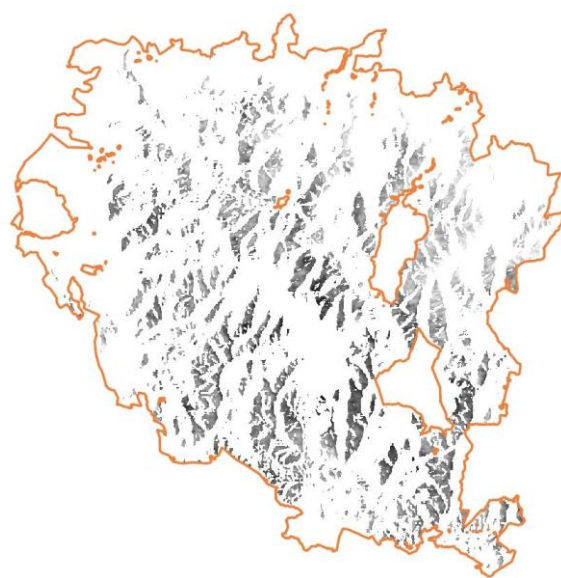
Εικόνα 4.6: Τελική εικόνα μασκών υψομέτρου-προσανατολισμού που δημιουργήθηκε από την αφαίρεση λιμνών και σκιασμένων περιοχών στις απεικονίσεις SAR από τις αρχικές μάσκες υψομέτρου-προσανατολισμού. Συμπεριλαμβάνονται τα όρια περιοχής μελέτης και υπόμνημα ομάδων υψομέτρου-προσανατολισμού.



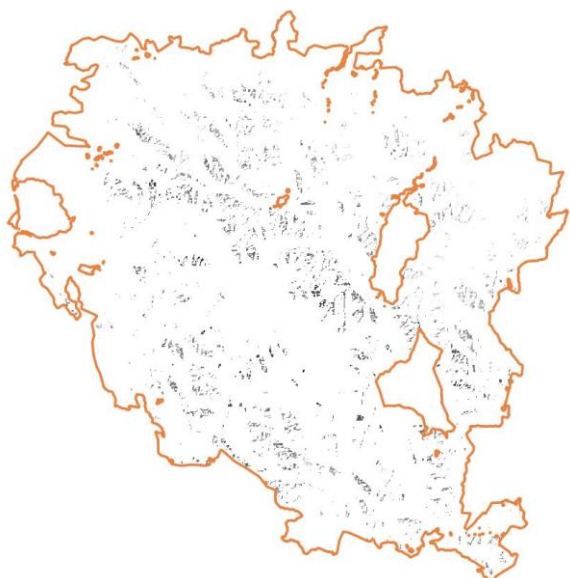




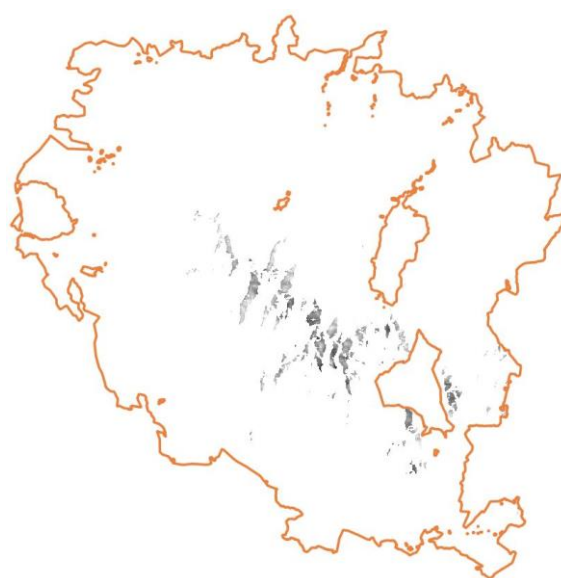
γ. Υποπεριοχές 202



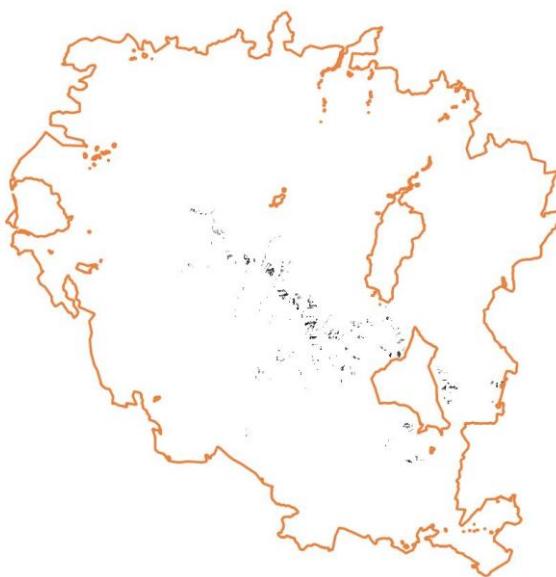
δ. Υποπεριοχές 301



ε. Υποπεριοχές 302



στ. Υποπεριοχές 401



ζ. Υποπεριοχές 402

Εικόνα 4.7: Εναπομείναντα εικονοστοιχεία της εικόνας των θερμοκρασιών εδάφους στο σύνολο της περιοχής μελέτης (α) και σε κάθε ομάδα υψομέτρου-προσανατολισμού (β, γ, δ, ε, στ, ζ) από την εικόνα Landsat 8 με ημερομηνία λήψης 2.7.2013 μετά την εφαρμογή τελικής μάσκας. Συμπεριλαμβάνονται και τα όρια περιοχής μελέτης.

### 4.3 Εφαρμογή ανάλυσης χρονοσειρών της εργασίας

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται η ανάλυση των χρονοσειρών των θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI που προήλθαν από τις διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αρχικά είχαμε στην διάθεση τιμές θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI από 176 εικόνες Landsat 5 και 70 εικόνες Landsat 8. Παρόλα αυτά, χρειάστηκε να αποκλείσουμε κάποιες εικόνες από την επεξεργασία, εφόσον οι αντίστοιχες μέσες τιμές θερμοκρασίας εδάφους για όλη την περιοχή μελέτης απέκλιναν κατά πολύ από τις παρατηρήσεις του ίδιου μήνα στα υπόλοιπα χρόνια. Επιπλέον, σύμφωνα με την παράγραφο 1.4 έπρεπε να διασφαλιστεί ότι σε κάθε χρονική στιγμή των χρονοσειρών υπήρχε μία τιμή, δηλαδή μία τιμή ανά μήνα. Οπότε, μέσα στις δύο χρονικές περιόδους, που εξετάσαμε, σε κάποιους μήνες ήταν διαθέσιμες δύο εικόνες λόγω της δεδομένης συχνότητας λήψης δορυφορικών εικόνων από τους Landsat 5 και 8 (16 μέρες). Γι αυτό, είτε υπολογίσαμε τον μέσο όρο των θερμοκρασιών εδάφους τους είτε επιλέξαμε την μία από τις δύο αυτές τιμές στην περίπτωση που η δεύτερη απέκλινε πολύ. Έπειτα, αφού καταλήξαμε στις εικόνες, που τελικά συμπεριλήφθηκαν στην επεξεργασία, εξετάζοντας με τον παραπάνω τρόπο τις μέσες τιμές θερμοκρασιών εδάφους για όλη την περιοχή μελέτης, διαμορφώσαμε κατάλληλα και τις τιμές των δεικτών NDVI για τις δύο χρονοσειρές για να αντιστοιχούν με τις νέες τιμές θερμοκρασιών εδάφους. Συνεπώς, καταλήξαμε σε 125 εικόνες Landsat 5 και 60 εικόνες Landsat 8 οι οποίες παρουσιάζονται στους πίνακες του Παρατήματος 1.

Αποφασίστηκε τα δεδομένα να μελετηθούν σε δύο ξεχωριστές χρονικές περιόδους, δηλαδή μία για δεδομένα από Landsat 5 και μία για δεδομένα από Landsat 8, επειδή τα θερμικά κανάλια των δυο δορυφόρων έχουν διαφορετικά φασματικά εύρη, συνεπώς οι θερμοκρασίες εδάφους των δύο δορυφόρων είναι σε διαφορετικά εύρη μήκους κύματος κι έτσι δεν θα ήταν σωστό να τις συμπεριλάβουμε όλες στην ίδια χρονοσειρά.

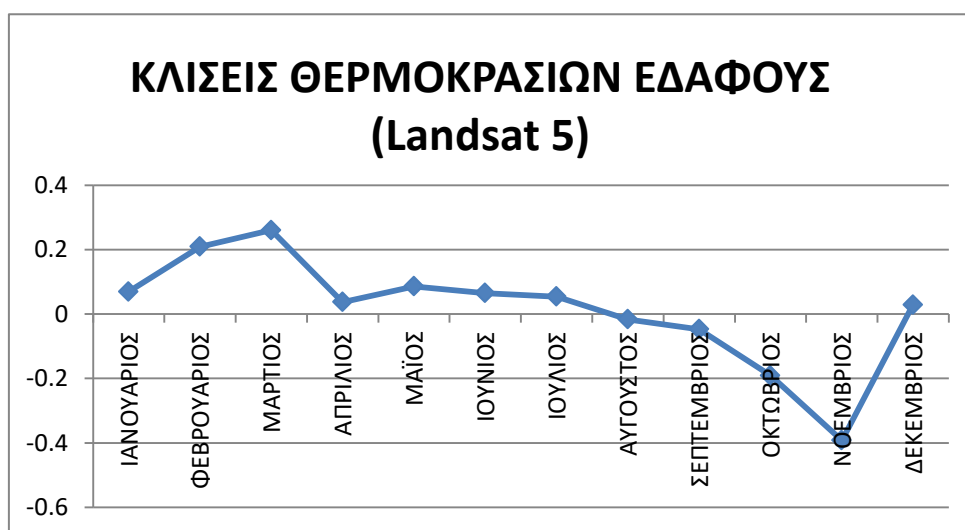
Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε τέσσερα στάδια. Στο πρώτο γίνεται μία πρωταρχική εξέταση των διαθέσιμων δεδομένων της περιοχής μελέτης για την περίοδο από τον Αύγουστο 1992 έως τον Οκτώβριο 2011 (εικόνες Landsat 5) και από τον Απρίλιο 2013 έως τον Οκτώβριο 2018 (εικόνες Landsat 8) προκειμένου να βγάλουμε συμπεράσματα για την τάση τους ανά μήνα. Εφόσον διαπιστώσαμε ότι τα δεδομένα για κάποιες χρονιές στην χρονοσειρά των εικόνων Landsat 5 δεν ήταν πυκνά, αποφασίστηκε κατά το δεύτερο στάδιο της επεξεργασίας να εφαρμοστεί αποσύνθεση στα παραπάνω δεδομένα μέσα σε πιο μικρές χρονικές περιόδους οι οποίες περιείχαν περίπου μία τιμή ανά μήνα (Μάρτιο 1993 έως Φεβρουάριο 2000 και από Απρίλιο 2013 έως Μάρτιο 2018) και να εξεταστεί η συσχέτιση των δύο χρονοσειρών, θερμοκρασίας εδάφους και δείκτη NDVI, για κάθε χρονική περίοδο (τα αποτελέσματα των δύο αυτών διαδικασιών παρουσιάζονται επόμενο κεφάλαιο). Το τρίτο



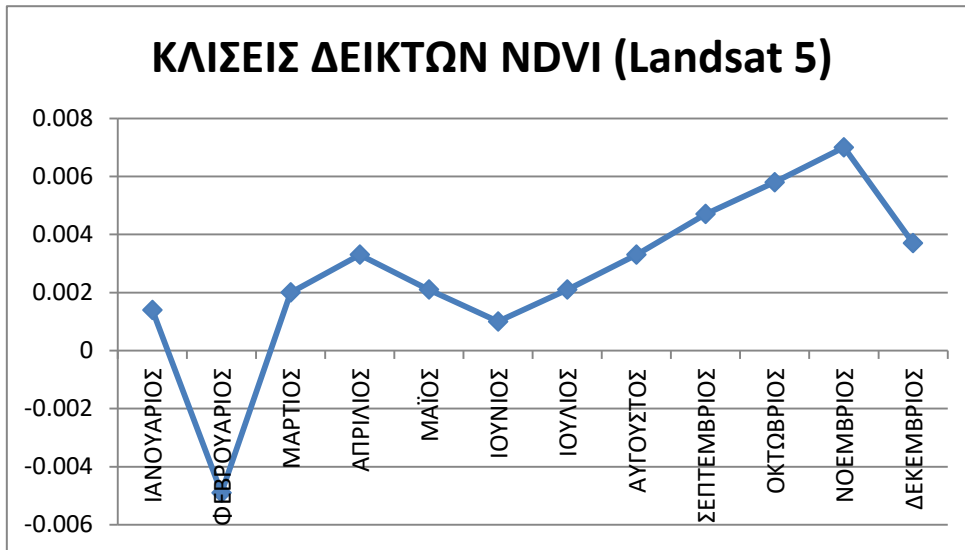
στάδιο περιλάμβανε την ανάλυση των δεδομένων διαχωρίζοντάς τα ανά υψόμετρο και προσανατολισμό για τους μήνες Ιούνιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο, επειδή υπήρχε πληθώρα δεδομένων τους μήνες αυτούς και στις δύο χρονοσειρές σε όλο το χρονικό διάστημα που μελετάται. Τέλος, στο τέταρτο στάδιο της επεξεργασίας εφαρμόστηκε η μέθοδος Box-Jenkins για να βρεθεί μοντέλο πρόβλεψης για τις χρονοσειρές των δεδομένων από εικόνες Landsat 8 του δεύτερου σταδίου και έγιναν προβλέψεις για το διάστημα από τον Απρίλιο 2018 έως τον Οκτώβριο 2018. Επειδή είχαμε ήδη δεδομένα από τον Ιούλιο 2018 έως τον Οκτώβριο 2018, μπορέσαμε να δούμε αν οι προβλέψεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν έγκυρες (τα αποτελέσματα των προβλέψεων παρουσιάζονται επόμενο κεφάλαιο).

### 4.3.1 Ανάλυση χρονοσειρών ανά μήνα

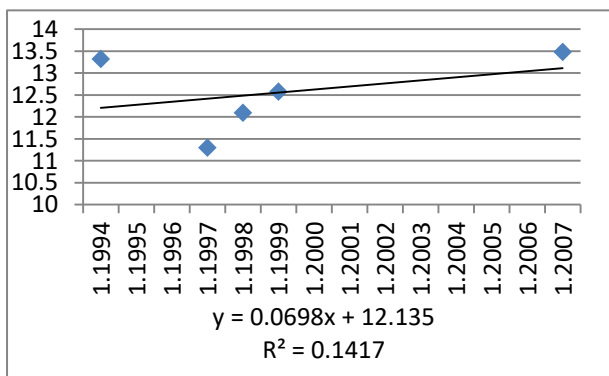
Προκειμένου να κάνουμε την αρχική επεξεργασία στα δεδομένα, χρησιμοποιήσαμε τις μέσες τιμές θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI για όλη την περιοχή μελέτης όσων διαθέσιμων εικόνων υπήρχαν και προσαρμόσαμε ευθεία τάσης μέσω excel σε αυτές έτσι ώστε να δούμε ποια είναι η τάση των τιμών μέσα στις δύο χρονικές περιόδους. Στα διαγράμματα 4.1, 4.2, 4.27 και 4.28 παρουσιάζονται οι κλίσεις των ευθειών, που έχουν προσαρμοστεί στα διαθέσιμα δεδομένα θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI, ανά μήνα. Με αυτές τις ευθείες παίρνουμε μία ιδέα για την τάση των δεδομένων μέσα στα έτη που έχουμε διαθέσιμες εικόνες. Χρειάζεται να επισημανθεί ότι για τα δεδομένα του Νοεμβρίου και του Δεκεμβρίου από Landsat 8 δεν δημιουργήθηκε τέτοια ευθεία λόγω του μικρού αριθμού εικόνων που υπήρχαν εκείνη την χρονική περίοδο. Στα διαγράμματα 4.3-4.26 και 4.29-4.48 παρουσιάζονται τα δεδομένα από τους δύο δορυφόρους αντίστοιχα και οι ευθείες τάσης που προσαρμόστηκαν σε αυτά. Έτσι διακρίνεται ότι σε κάποιους μήνες υπάρχει μεγαλύτερη αβεβαιότητα ως προς τον υπολογισμό των συντελεστών της ευθείας της τάσης σε σχέση με άλλους λόγω του μικρότερου αριθμού δεδομένων.



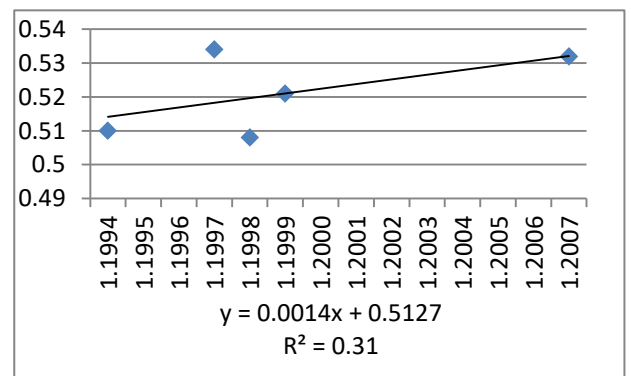
Διάγραμμα 4.1: Κλίσεις ευθειών για θερμοκρασίες εδάφους ανά μήνα από εικόνες Landsat 5



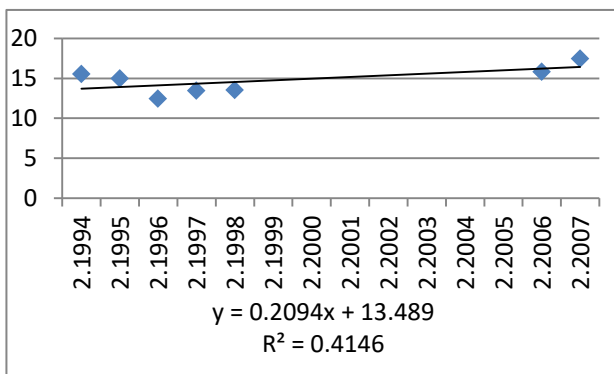
Διάγραμμα 4.2: Κλίσεις ευθειών για δείκτες NDVI ανά μήνα από εικόνες Landsat 5



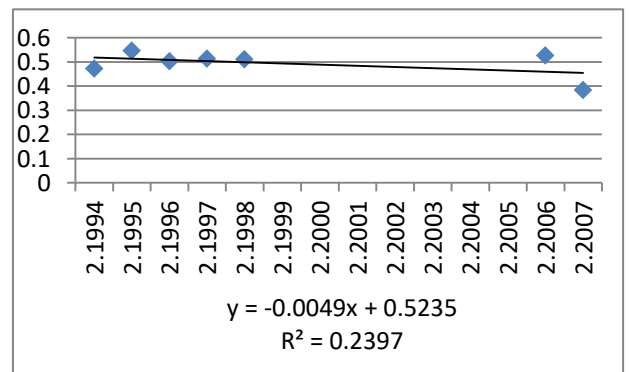
Διάγραμμα 4.3: Θερμοκρασίες εδάφους Ιανουαρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



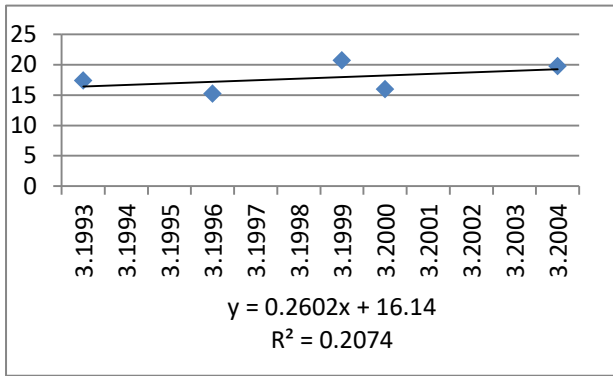
Διάγραμμα 4.4: Δείκτες NDVI Ιανουαρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



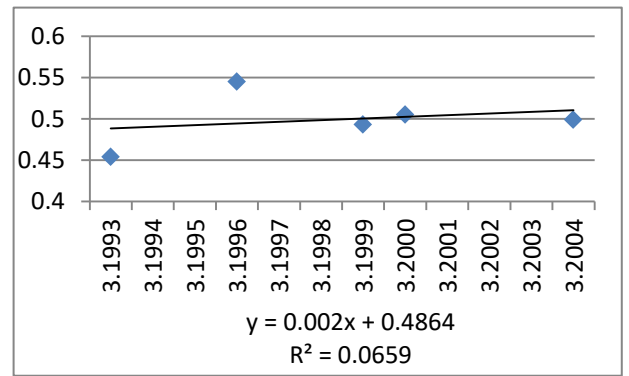
Διάγραμμα 4.5: Θερμοκρασίες εδάφους Φεβρουαρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



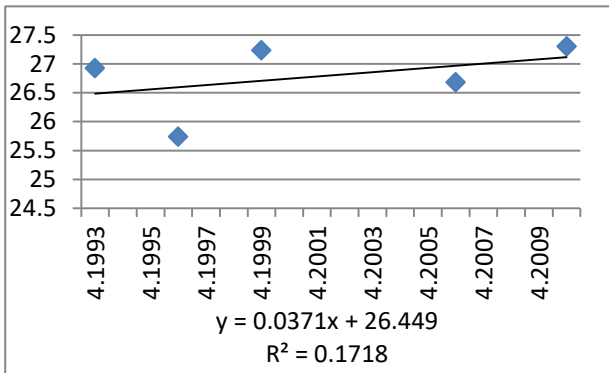
Διάγραμμα 4.6: Δείκτες NDVI Φεβρουαρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



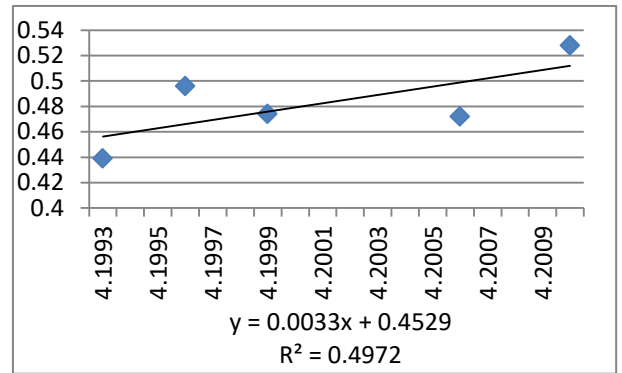
Διάγραμμα 4.7: Θερμοκρασίες εδάφους Μαρτίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



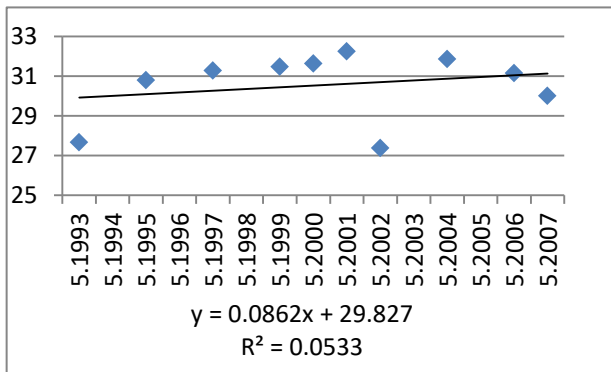
Διάγραμμα 4.8: Δείκτες NDVI Μαρτίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



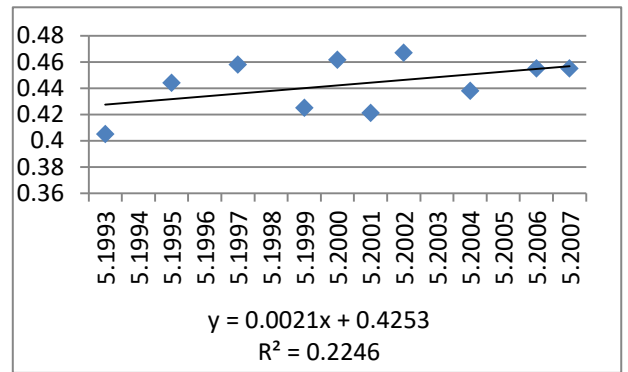
Διάγραμμα 4.9: Θερμοκρασίες εδάφους Απριλίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



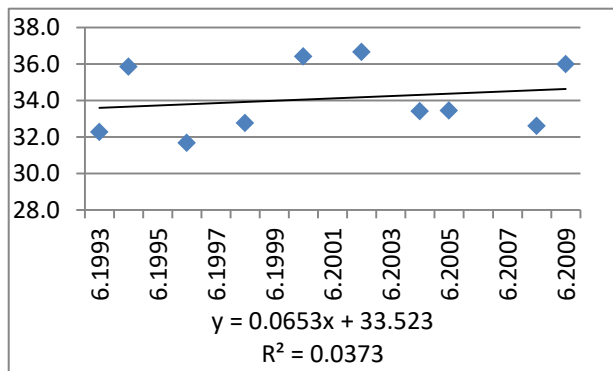
Διάγραμμα 4.10: Δείκτες NDVI Απριλίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



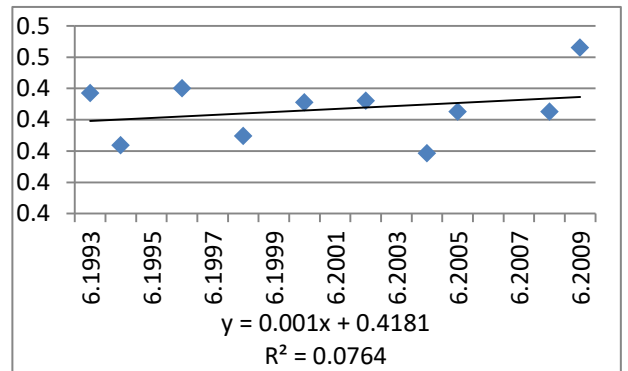
Διάγραμμα 4.11: Θερμοκρασίες εδάφους Μαΐου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



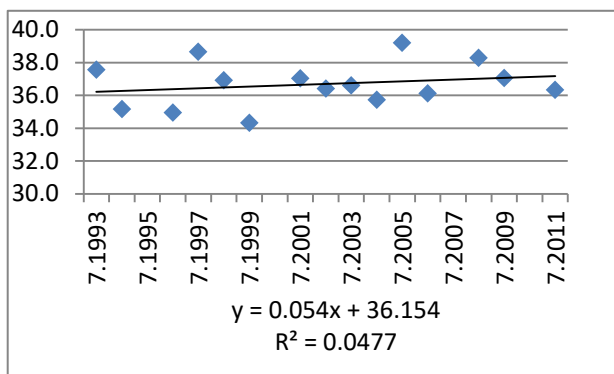
Διάγραμμα 4.12: Δείκτες NDVI Μαΐου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



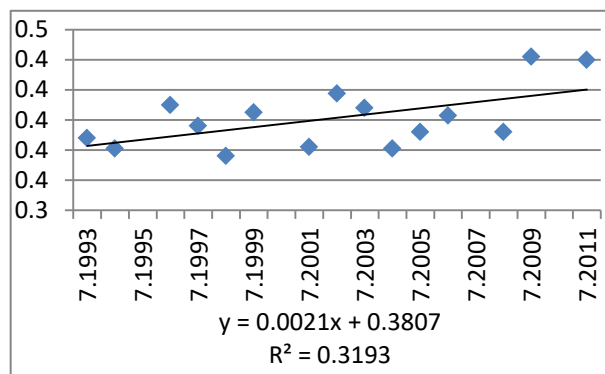
Διάγραμμα 4.13: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουνίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



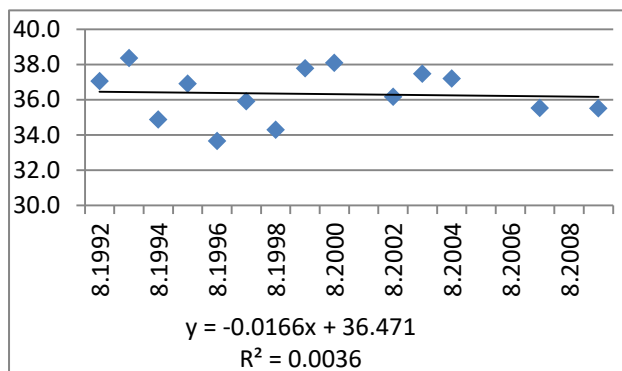
Διάγραμμα 4.14: Δείκτες NDVI Ιουνίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



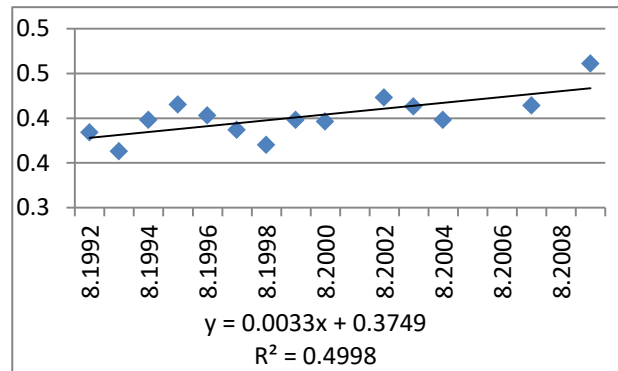
Διάγραμμα 4.15: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



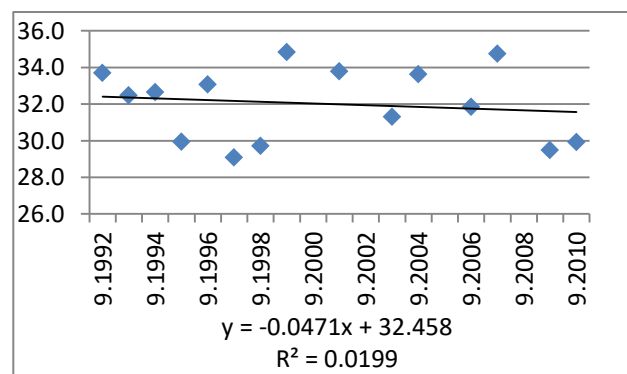
Διάγραμμα 4.16: Δείκτες NDVI Ιουλίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



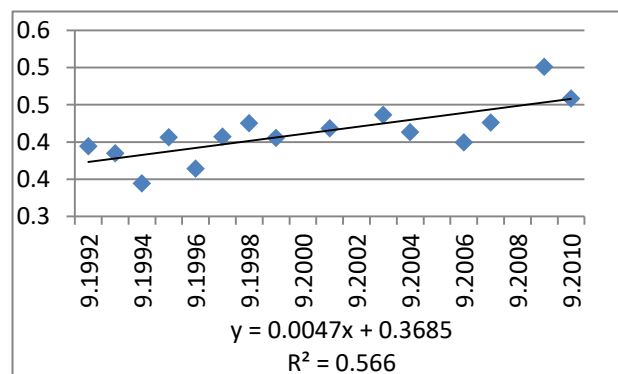
Διάγραμμα 4.17: Θερμοκρασίες εδάφους Αυγούστου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



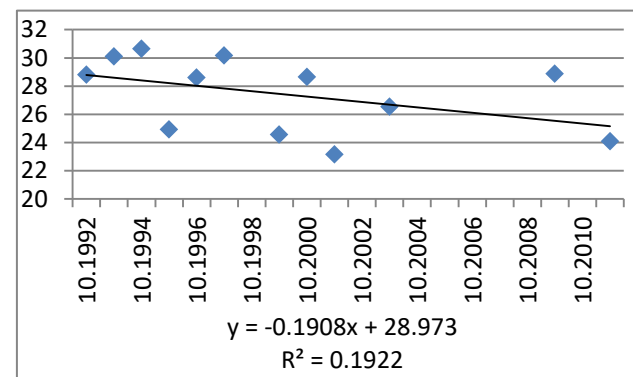
Διάγραμμα 4.18: Δείκτες NDVI Αυγούστου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



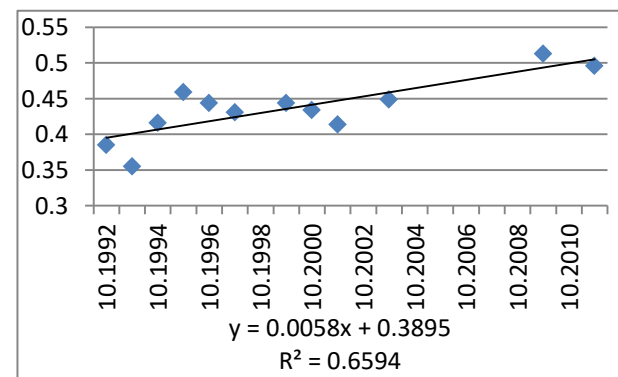
Διάγραμμα 4.19: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



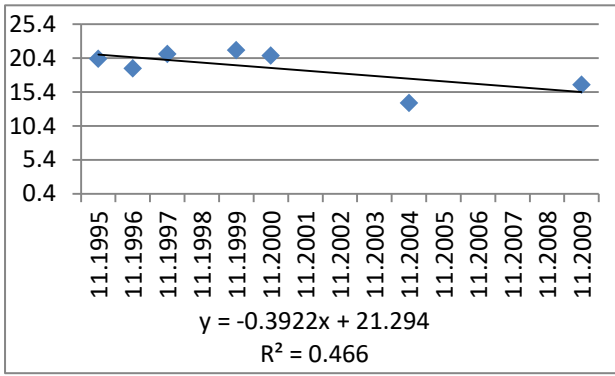
Διάγραμμα 4.20: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



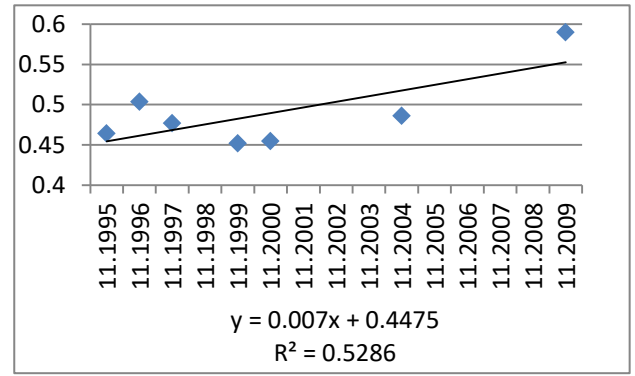
Διάγραμμα 4.21: Θερμοκρασίες εδάφους Οκτωβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



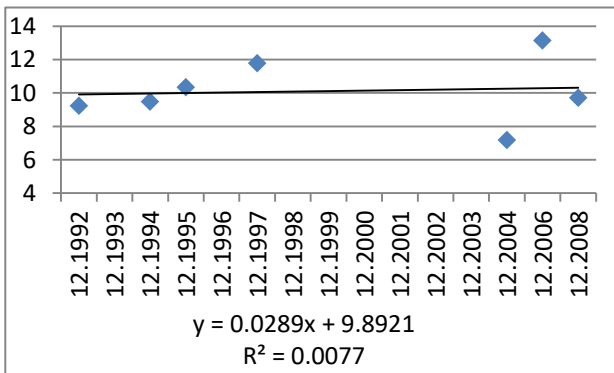
Διάγραμμα 4.22: Δείκτες NDVI Οκτωβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



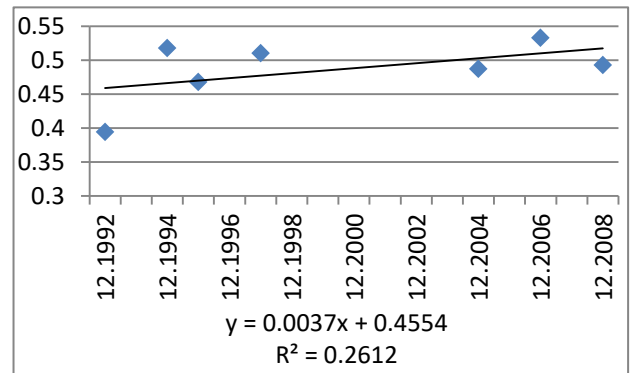
Διάγραμμα 4.23: Θερμοκρασίες εδάφους Νοεμβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



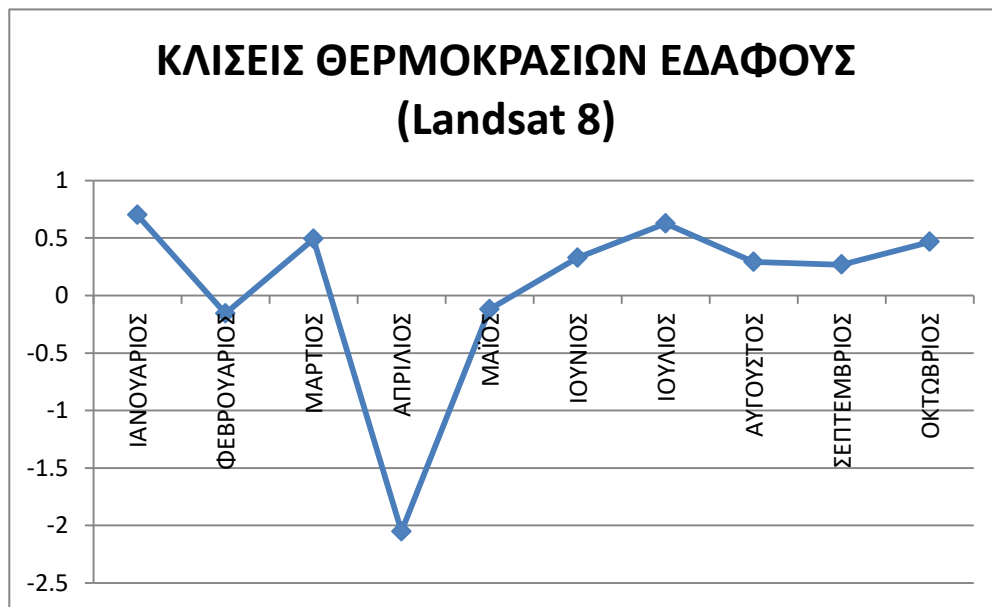
Διάγραμμα 4.24: Δείκτες NDVI Νοεμβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



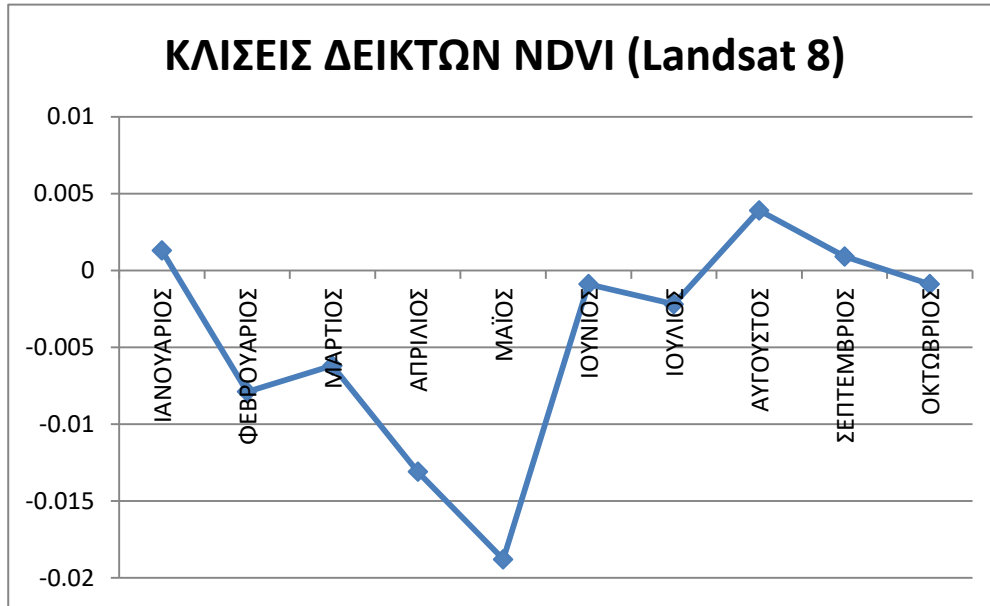
Διάγραμμα 4.25: Θερμοκρασίες εδάφους Δεκεμβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



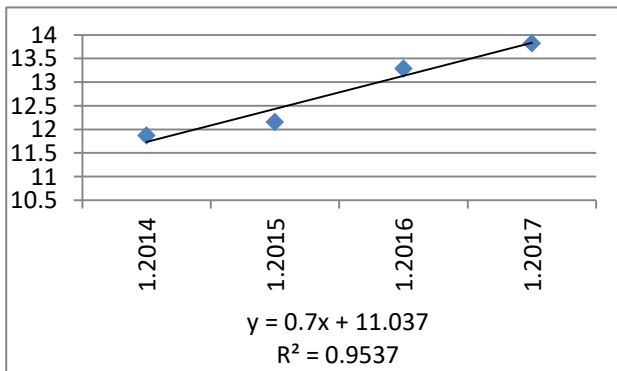
Διάγραμμα 4.26: Δείκτες NDVI Δεκεμβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5



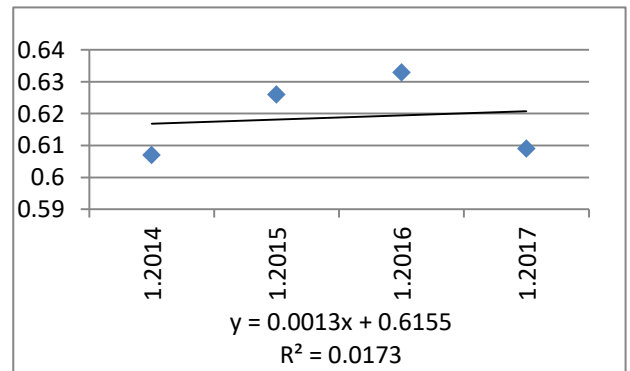
Διάγραμμα 4.27: Κλίσεις ευθειών για θερμοκρασίες εδάφους ανά μήνα από εικόνες Landsat 8



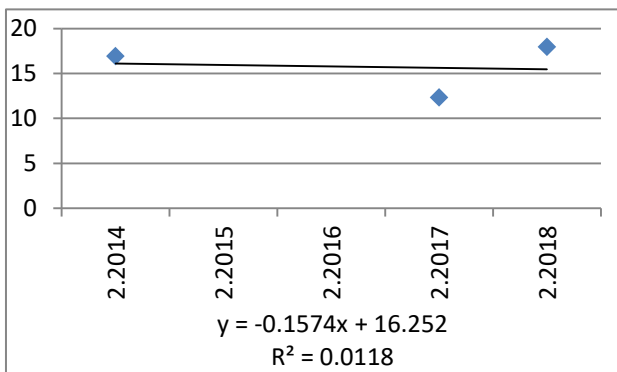
Διάγραμμα 4.28: Κλίσεις ευθειών για δείκτες NDVI ανά μήνα από εικόνες Landsat 8



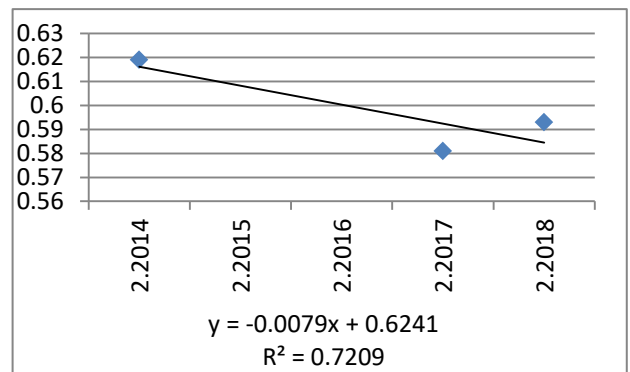
Διάγραμμα 4.29: Θερμοκρασίες εδάφους Ιανουαρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



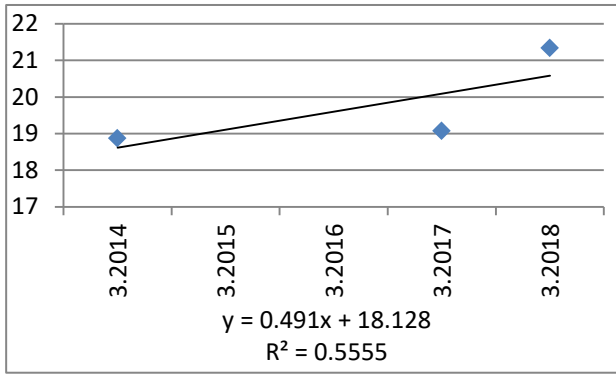
Διάγραμμα 4.30: Δείκτες NDVI Ιανουαρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



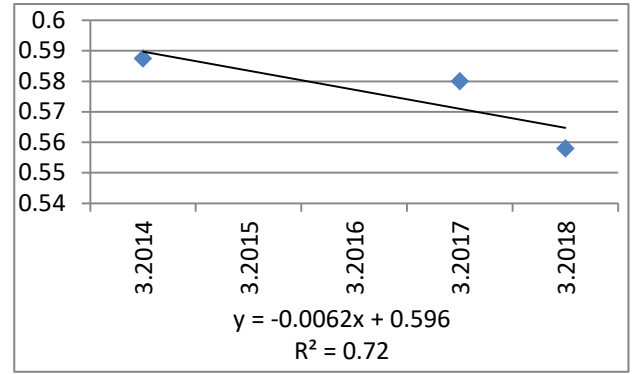
Διάγραμμα 4.31: Θερμοκρασίες εδάφους Φεβρουαρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



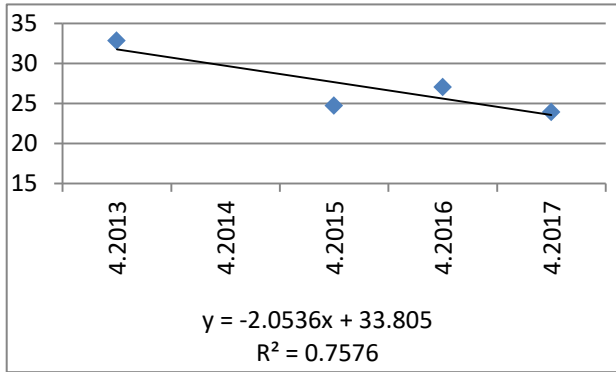
Διάγραμμα 4.32: Δείκτες NDVI Φεβρουαρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



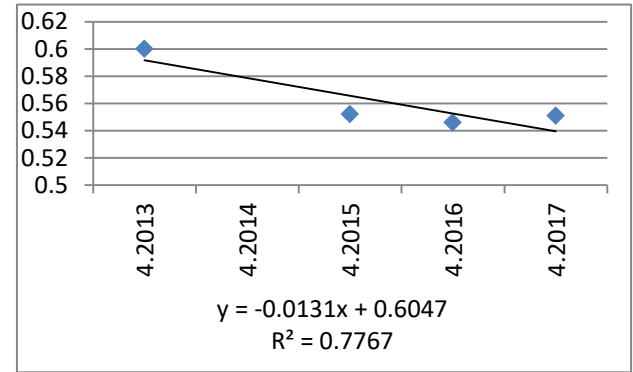
Διάγραμμα 4.33: Θερμοκρασίες εδάφους Μαρτίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



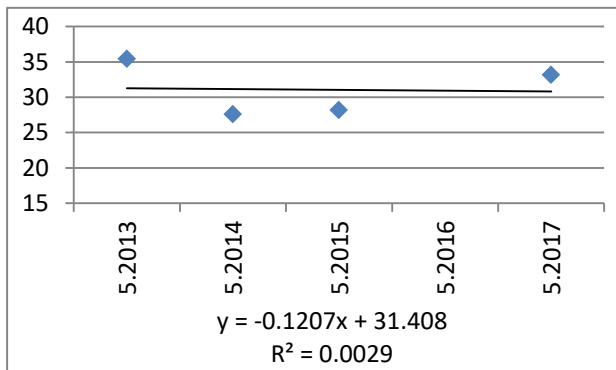
Διάγραμμα 4.34: Δείκτες NDVI Μαρτίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



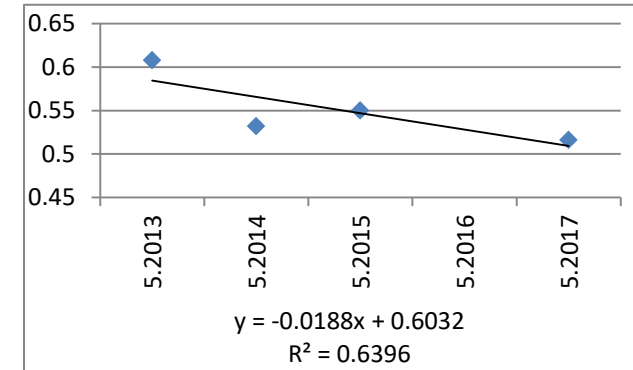
Διάγραμμα 4.35: Θερμοκρασίες εδάφους Απριλίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



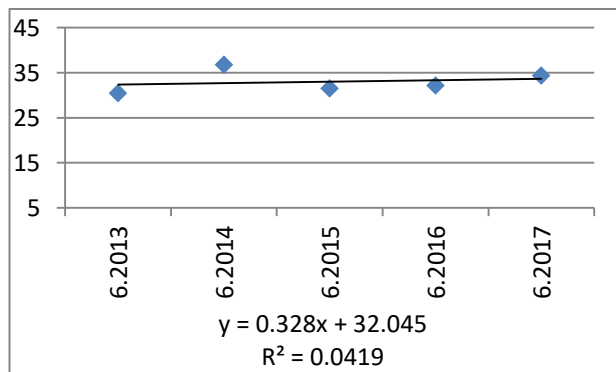
Διάγραμμα 4.36: Δείκτες NDVI Απριλίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



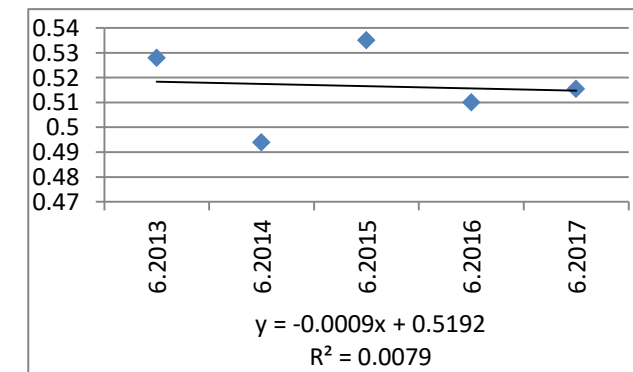
Διάγραμμα 4.37: Θερμοκρασίες εδάφους Μαΐου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



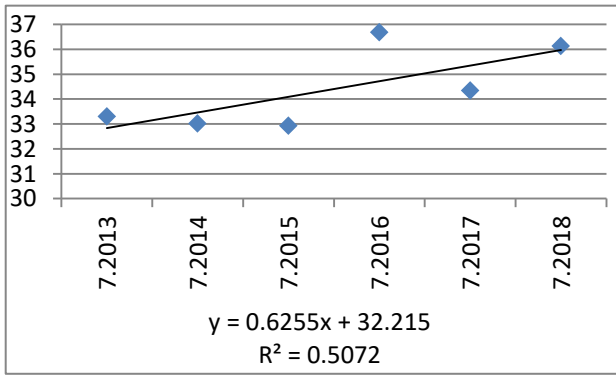
Διάγραμμα 4.38: Δείκτες NDVI Μαΐου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



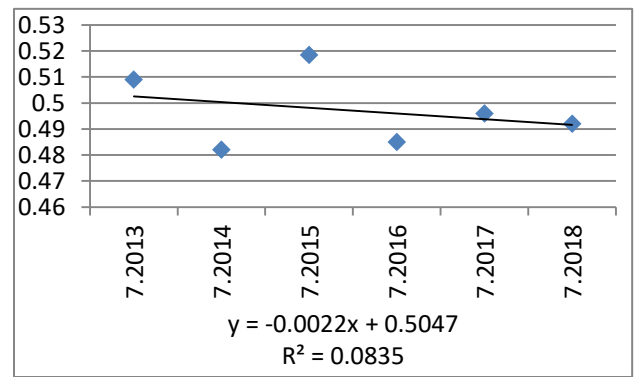
Διάγραμμα 4.39: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουνίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



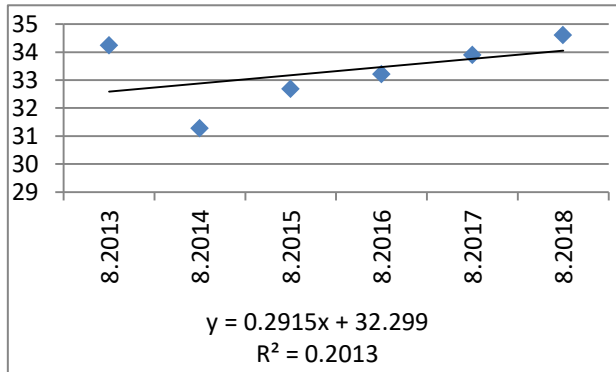
Διάγραμμα 4.40: Δείκτες NDVI Ιουνίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



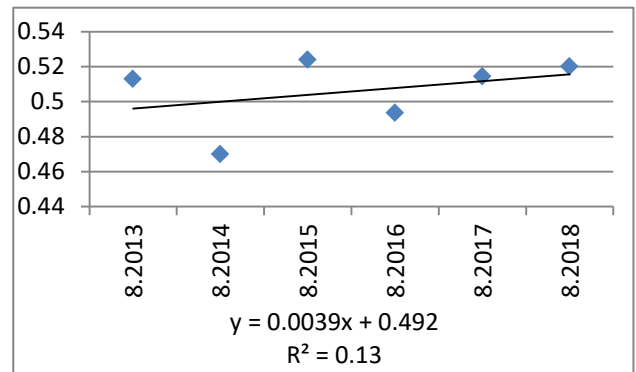
Διάγραμμα 4.41: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



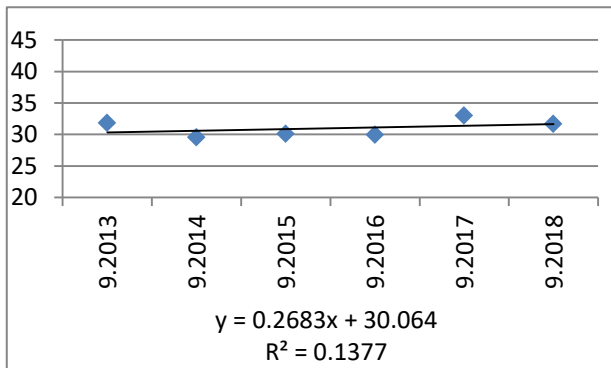
Διάγραμμα 4.42: Δείκτες NDVI Ιουλίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



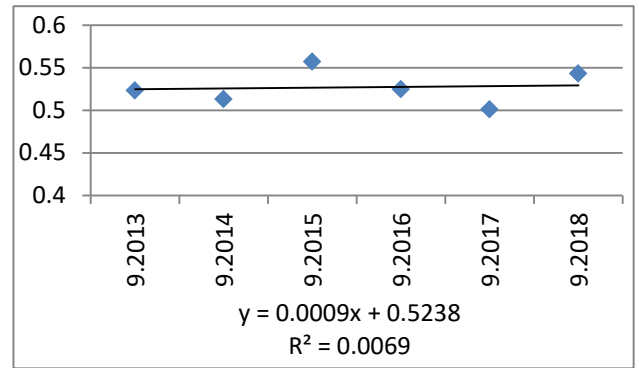
Διάγραμμα 4.43: Θερμοκρασίες εδάφους Αυγούστου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



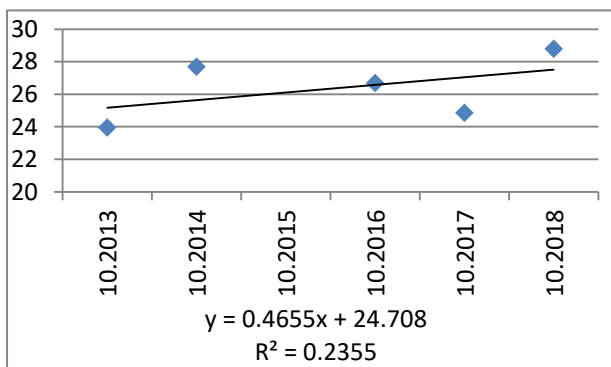
Διάγραμμα 4.44: Δείκτες NDVI Αυγούστου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



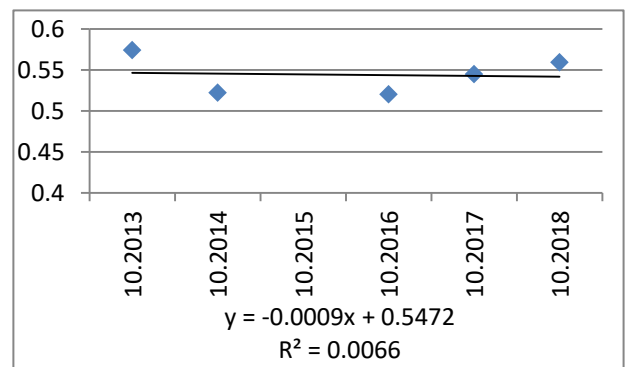
Διάγραμμα 4.45: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



Διάγραμμα 4.46: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



Διάγραμμα 4.47: Θερμοκρασίες εδάφους Οκτωβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



Διάγραμμα 4.48: Δείκτες NDVI Οκτωβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8



Όπως βλέπουμε από το διάγραμμα 4.1 στους περισσότερους μήνες μέσα στο έτος (Ιανουάριο, Δεκέμβριο και από Απρίλιο έως Σεπτέμβριο) οι κλίσεις είναι αρκετά μικρές κατά απόλυτη τιμή (μέσα στα όρια του διαστήματος  $[-0.1, 0.1]$ ). Στους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο (διαγράμματα 4.5 και 4.7) υπάρχει σημαντική θετική κλίση, ενώ στον Οκτώβριο και στον Νοέμβριο (διαγράμματα 4.21 και 4.23) σημαντική αρνητική κλίση. Για τους μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο και Οκτώβριο τα ίδια συμπεράσματα προκύπτουν και από τις παρατηρήσεις των δεδομένων των θερμοκρασιών του αέρα (Κεφ. 3). Αντίθετα, για το Νοέμβριο στα διαγράμματα θερμοκρασιών αέρα παρατηρείται σημαντική θετική κλίση. Το ίδιο παρατηρείται και για τον Δεκέμβριο στα διαγράμματα αυτά. Παρόλα αυτά, χρειάζεται να ληφθεί υπόψη ότι το Φεβρουάριο, τον Οκτώβριο και το Νοέμβριο από μία χρονική στιγμή και μετά τα δεδομένα δεν είναι πυκνά και έχουν μεταξύ τους μεγάλη χρονική διαφορά και τον Μάρτιο υπάρχουν λίγα δεδομένα.

Σχετικά με τους δείκτες NDVI, στο διάγραμμα 4.2 γενικά παρατηρούνται μικρές κλίσεις κατά απόλυτη τιμή σε όλους τους μήνες, εφόσον καμία τιμή δεν βγαίνει από τα όρια του διαστήματος  $[-0.01, 0.01]$ . Οι λίγο πιο σημαντικές κλίσεις παρατηρούνται στους μήνες Σεπτέμβριο, Οκτώβριο και Νοέμβριο (διαγράμματα 4.20, 4.22 και 4.24), που είναι θετικές, και το Φεβρουάριο (διάγραμμα, 4.6), που είναι αρνητική. Παρόλα αυτά, πρέπει να λάβουμε υπόψη κι εδώ την έλλειψη δεδομένων τους μήνες Φεβρουάριο, Νοέμβριο και Οκτώβριο.

Όσον αφορά το διάγραμμα κλίσεων θερμοκρασιών εδάφους από εικόνες Landsat 8 (διάγραμμα 4.27), υπάρχουν αρκετές σημαντικές κλίσεις με τις μικρότερες από αυτές να παρουσιάζονται τους μήνες Φεβρουάριο και Μάιο. Τον Απρίλιο (διάγραμμα 4.35) παρουσιάζεται πολύ σημαντική αρνητική κλίση και ο συντελεστής  $R^2$  είναι μεγάλος. Σχετικά με τους υπόλοιπους μήνες, οι οποίοι έχουν όλοι θετικές κλίσεις, στους μήνες Ιανουάριο και Ιούλιο (διαγράμματα 4.29 και 4.41) έχει γίνει καλή προσαρμογή, ενώ τον Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο (διαγράμματα 4.45 και 4.47) ικανοποιητική και τον Ιούνιο (διάγραμμα 4.39) κακή. Επίσης, τον Μάρτιο (διάγραμμα 4.33) υπάρχουν λίγα δεδομένα οπότε υπάρχει περισσότερη αβεβαιότητα για αυτό το αποτέλεσμα. Γενικά, αυτά τα αποτελέσματα δεν μπορούν να συγκριθούν με τα αποτελέσματα θερμοκρασίας αέρα, γιατί υπάρχουν πολύ λίγες παρατηρήσεις κοινές στο χρόνο. Τα δεδομένα αέρα είναι για την περίοδο Μάρτιος 1992 - Απρίλιος 2016, ενώ τα περισσότερα από τα δεδομένα θερμοκρασιών εδάφους αφορούν μετά τον Απρίλιο 2016.

Παρατηρώντας το διάγραμμα του NDVI (4.28) συμπεραίνουμε ότι σε όλους τους μήνες εκτός από τον Απρίλιο και τον Μάιο οι κλίσεις έχουν πολύ μικρές τιμές (εντός διαστήματος  $[-0.01, 0.01]$ ) Επίσης, στους μήνες αυτούς (διαγράμματα 4.36 και 4.38) διακρίνονται πολύ σημαντικές αρνητικές κλίσεις με καλή προσαρμογή και αρκετά δεδομένα.

### 4.3.2 Διαμόρφωση των δεδομένων των χρονοσειρών

Η ανάλυση των θερμοκρασιών εδάφους και των δεικτών βλάστησης NDVI περιελάμβανε επίσης την υλοποίηση της αποσύνθεσης των χρονοσειρών τους και μόνο για τις χρονοσειρές από δεδομένα εικόνων Landsat 8 την εύρεση μοντέλου πρόβλεψης με την μέθοδο Box-Jenkins. Αρχικά, χρειάζεται να διευκρινιστεί ότι οι τιμές των θερμοκρασιών εδάφους και των δεικτών βλάστησης που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν την εφαρμογή ήταν οι μέσες τιμές που αναφέρονται σε όλη την περιοχή μελέτης. Στην περίπτωση της εργασίας αυτής, αποφασίστηκε να εξετάσουμε τις θερμοκρασίες εδάφους και τις τιμές του δείκτη NDVI σε δύο χρονικές περιόδους, δηλαδή από Μάρτιο 1993 έως Φεβρουάριο 2000 και από Απρίλιο 2013 έως Μάρτιο 2018. Η απόφαση για τα δεδομένα της πρώτης χρονοσειράς πάρθηκε, επειδή δεν υπήρχαν πολλές διαθέσιμες εικόνες Landsat 5 από το Φεβρουάριο 2000 μέχρι τον Απρίλιο 2013, και για να έχουμε δεδομένα από επτά ολοκληρωμένα έτη. Όσον αφορά την δεύτερη χρονοσειρά, επιλέξαμε αυτήν την χρονική περίοδο προκειμένου να έχουμε δεδομένα για πέντε ολοκληρωμένα έτη και να μπορέσουμε να εξετάσουμε την εγκυρότητα των προβλέψεων με βάση την μέθοδο Box-Jenkins με κατάλληλο τρόπο όπως περιγράφεται στην παράγραφο 4.3.5. Συγκεκριμένα, οι εικόνες των οποίων τα αποτελέσματα από τις επεξεργασίες τους χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα των χρονοσειρών βρίσκονται στους πίνακες Π.Π.1.1 και Π.Π.1.3 στο Παράρτημα 1. Συνολικά, συμπεριλήφθηκαν στις χρονοσειρές 60 εικόνες Landsat 5 και 56 εικόνες Landsat 8.

Γι αυτά τα δύο διαστήματα χρειάστηκε να διαχειριστούμε με κατάλληλο τρόπο τις κενές θέσεις στις χρονοσειρές. Για τη χρονοσειρά των δεδομένων που προέρχονται από εικόνες Landsat 5, σύμφωνα με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων προσαρμόσαμε δευτεροβάθμια εξίσωση για κάθε μήνα με ανεξάρτητη μεταβλητή τα έτη από το έτος που έγινε η πρώτη λήψη έως αυτό που πραγματοποιήθηκε η τελευταία λήψη και εξαρτημένη μεταβλητή τις διαθέσιμες τιμές για τις θερμοκρασίες εδάφους και τους δείκτες NDVI. Αφού βρέθηκαν οι κατάλληλες εξισώσεις, υπολογίσαμε τις τιμές θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI που έλειπαν από την χρονική περίοδο της πρώτης χρονοσειράς. Οι εικόνες οι οποίες παρείχαν δεδομένα που ήταν εκτός των χρονοσειρών, αλλά χρησιμοποιήθηκαν για την προσαρμογή των δευτεροβάθμιων εξισώσεων παρουσιάζονται στον πίνακα Π.Π.1.2 στο Παράρτημα 1.

Για την χρονοσειρά των δεδομένων που προέρχονται από εικόνες του Landsat 8 οι κενές τιμές συμπληρώθηκαν είτε με μέσο όρο των τιμών της ακριβώς προηγούμενης και επόμενης χρονικής στιγμής είτε, εάν αυτές δεν ήταν διαθέσιμες, με μέσο όρο των διαθέσιμων τιμών των χρονικών στιγμών που αντιστοιχούσαν στον μήνα της τιμής που έλειπε. Ο λόγος που εφαρμόστηκαν διαφορετικές διαδικασίες συμπλήρωσης κενών τιμών είναι ότι στην πρώτη

χρονοσειρά τα δεδομένα δεν ήταν τόσο πυκνά και εάν η συμπλήρωση πραγματοποιούταν με τον δεύτερο τρόπο, τότε οι νέες αυτές τιμές μπορεί να ήταν λιγότερο έγκυρες.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα δεδομένα των χρονοσειρών θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI που προέρχονται από τους δύο δορυφόρους (πίνακες 4.3, 4.4, 4.5 και 4.6 και διαγράμματα 4.49, 4.50, 4.51 και 4.52). Οι τιμές με κόκκινο χρώμα προέκυψαν από την συμπλήρωση των κενών τιμών με χρήση των παραπάνω μεθόδων.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΛΑΦΟΥΣ (°C)
3.1993	17.4
4.1993	26.9
5.1993	27.7
6.1993	32.3
7.1993	37.5
8.1993	38.4
9.1993	32.5
10.1993	30.1
11.1993	21.5
12.1993	9.7
1.1994	13.3
2.1994	15.5
3.1994	16.8
4.1994	26.6
5.1994	29.3
6.1994	35.8
7.1994	35.2
8.1994	34.9
9.1994	32.7
10.1994	30.6
11.1994	21.2
12.1994	9.5
1.1995	12.7
2.1995	15.0
3.1995	16.9
4.1995	26.6
5.1995	30.8
6.1995	33.6
7.1995	36.3
8.1995	36.9
9.1995	29.9
10.1995	24.9
11.1995	20.3
12.1995	10.3

1.1996	12.4
2.1996	12.4
3.1996	15.2
4.1996	25.7
5.1996	30.2
6.1996	31.7
7.1996	34.9
8.1996	33.7
9.1996	33.1
10.1996	28.6
11.1996	18.9
12.1996	10.4
1.1997	11.3
2.1997	13.5
3.1997	17.1
4.1997	26.6
5.1997	31.3
6.1997	34.0
7.1997	38.6
8.1997	35.9
9.1997	29.1
10.1997	30.2
11.1997	21.0
12.1997	11.8
1.1998	12.1
2.1998	13.5
3.1998	17.3
4.1998	26.6
5.1998	30.9
6.1998	32.8
7.1998	36.9
8.1998	34.3
9.1998	29.7
10.1998	27.0
11.1998	19.7
12.1998	10.7
1.1999	12.6
2.1999	12.7
3.1999	20.7
4.1999	27.2
5.1999	31.5
6.1999	34.3
7.1999	34.3

8.1999	37.8
9.1999	34.8
10.1999	24.6
11.1999	21.5
12.1999	10.8
1.2000	11.9
2.2000	12.7

Πίνακας 4.3: Θερμοκρασίες εδάφους σε βαθμούς Celsius ( $^{\circ}C$ ) από δορυφορικές εικόνες Landsat 5σε χρονολογική σειρά

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ NDVI
3.1993	0.45
4.1993	0.44
5.1993	0.41
6.1993	0.44
7.1993	0.39
8.1993	0.36
9.1993	0.39
10.1993	0.36
11.1993	0.52
12.1993	0.44
1.1994	0.51
2.1994	0.47
3.1994	0.48
4.1994	0.46
5.1994	0.43
6.1994	0.40
7.1994	0.38
8.1994	0.40
9.1994	0.34
10.1994	0.42
11.1994	0.50
12.1994	0.52
1.1995	0.52
2.1995	0.55
3.1995	0.50
4.1995	0.46
5.1995	0.44
6.1995	0.42
7.1995	0.39
8.1995	0.42
9.1995	0.41

10.1995	0.46
11.1995	0.46
12.1995	0.47
1.1996	0.52
2.1996	0.50
3.1996	0.55
4.1996	0.50
5.1996	0.43
6.1996	0.44
7.1996	0.41
8.1996	0.40
9.1996	0.36
10.1996	0.44
11.1996	0.50
12.1996	0.50
1.1997	0.53
2.1997	0.51
3.1997	0.51
4.1997	0.47
5.1997	0.46
6.1997	0.42
7.1997	0.40
8.1997	0.39
9.1997	0.41
10.1997	0.43
11.1997	0.48
12.1997	0.51
1.1998	0.51
2.1998	0.51
3.1998	0.51
4.1998	0.47
5.1998	0.44
6.1998	0.41
7.1998	0.38
8.1998	0.37
9.1998	0.43
10.1998	0.43
11.1998	0.46
12.1998	0.53
1.1999	0.52
2.1999	0.53
3.1999	0.49
4.1999	0.47

5.1999	0.43
6.1999	0.42
7.1999	0.41
8.1999	0.40
9.1999	0.41
10.1999	0.44
11.1999	0.45
12.1999	0.53
1.2000	0.52
2.2000	0.53

Πίνακας 4.4: Δείκτες βλάστησης NDVI από δορυφορικές εικόνες Landsat 5 σε χρονολογική σειρά

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ (°C)
4.2013	32.8
5.2013	35.4
6.2013	30.4
7.2013	33.3
8.2013	34.2
9.2013	31.8
10.2013	23.9
11.2013	16.2
12.2013	8.4
1.2014	11.9
2.2014	16.9
3.2014	18.9
4.2014	23.2
5.2014	27.6
6.2014	36.8
7.2014	33.0
8.2014	31.3
9.2014	29.5
10.2014	27.7
11.2014	21.2
12.2014	16.7
1.2015	12.2
2.2015	15.7
3.2015	19.8
4.2015	24.7
5.2015	28.2
6.2015	31.5
7.2015	32.9
8.2015	32.7
9.2015	30.1

10.2015	21.7
11.2015	21.5
12.2015	17.4
1.2016	13.3
2.2016	15.7
3.2016	19.8
4.2016	27.0
5.2016	29.6
6.2016	32.1
7.2016	36.7
8.2016	33.2
9.2016	29.9
10.2016	26.7
11.2016	19.6
12.2016	14.2
1.2017	13.8
2.2017	12.3
3.2017	19.1
4.2017	23.9
5.2017	33.2
6.2017	34.4
7.2017	34.3
8.2017	33.9
9.2017	33.0
10.2017	24.9
11.2017	19.6
12.2017	14.2
1.2018	12.8
2.2018	18.0
3.2018	21.3

Πίνακας 4.5: Θερμοκρασίες εδάφους σε βαθμούς Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) από δορυφορικές εικόνες Landsat 8 σε χρονολογική σειρά

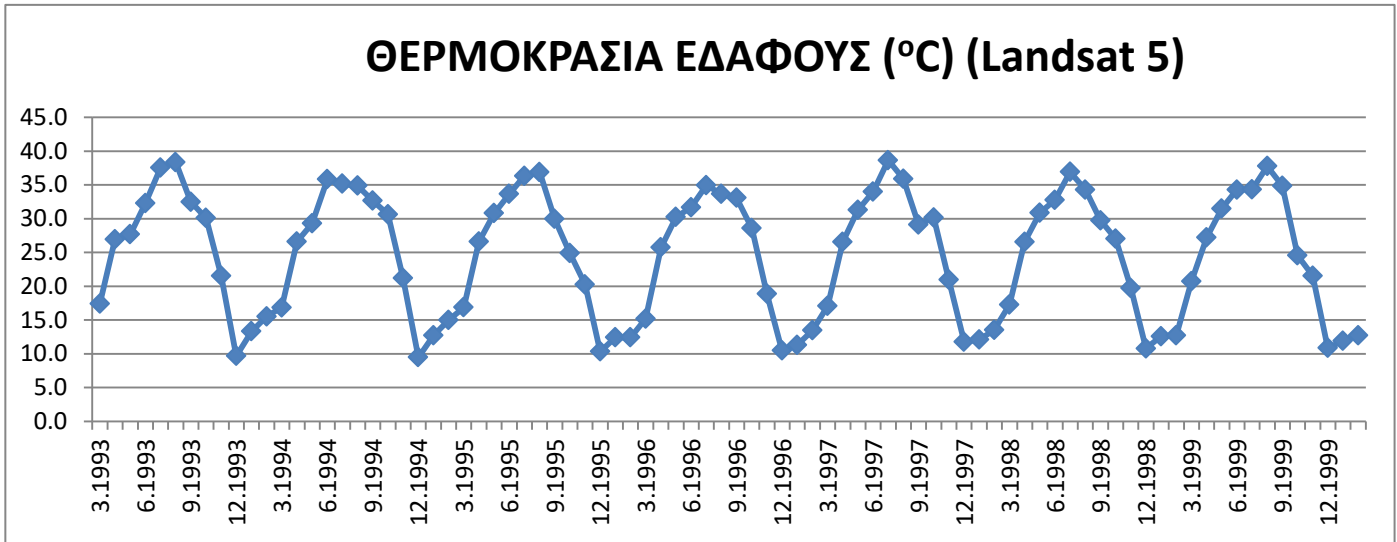
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ NDVI
4.2013	0.60
5.2013	0.61
6.2013	0.53
7.2013	0.51
8.2013	0.51
9.2013	0.52
10.2013	0.57
11.2013	0.60
12.2013	0.63



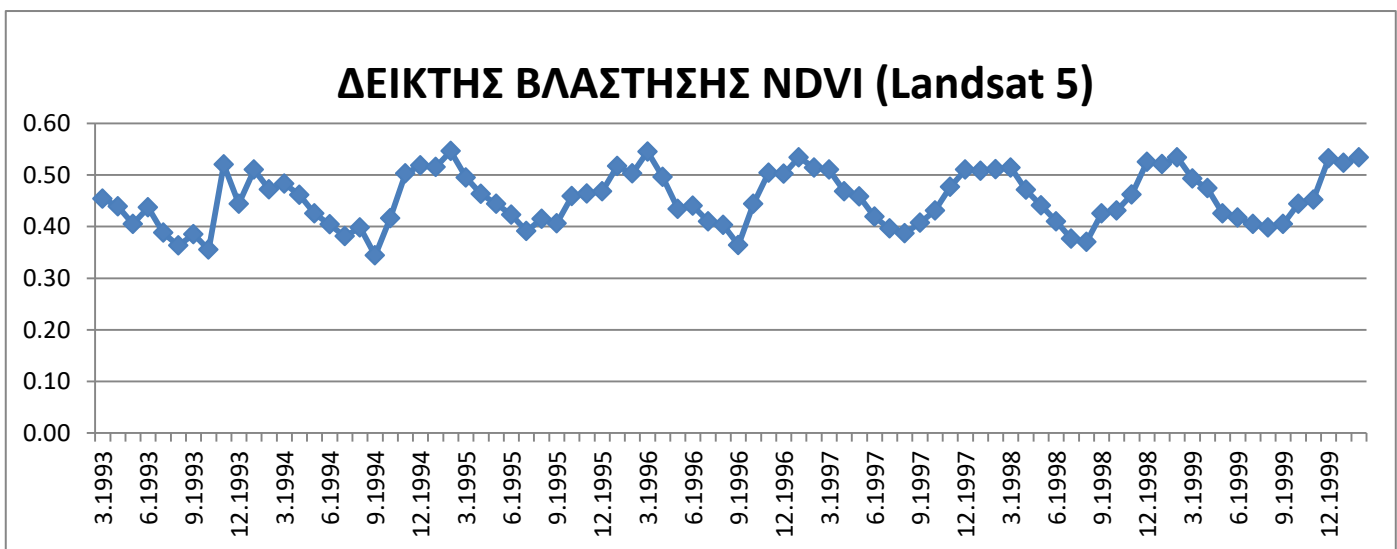
1.2014	0.61
2.2014	0.62
3.2014	0.59
4.2014	0.56
5.2014	0.53
6.2014	0.49
7.2014	0.48
8.2014	0.47
9.2014	0.51
10.2014	0.52
11.2014	0.58
12.2014	0.60
1.2015	0.63
2.2015	0.60
3.2015	0.58
4.2015	0.55
5.2015	0.55
6.2015	0.54
7.2015	0.52
8.2015	0.52
9.2015	0.56
10.2015	0.58
11.2015	0.61
12.2015	0.62
1.2016	0.63
2.2016	0.60
3.2016	0.58
4.2016	0.55
5.2016	0.53
6.2016	0.51
7.2016	0.49
8.2016	0.49
9.2016	0.52
10.2016	0.52
11.2016	0.60
12.2016	0.62
1.2017	0.61
2.2017	0.58
3.2017	0.58
4.2017	0.55
5.2017	0.52
6.2017	0.52
7.2017	0.50

8.2017	0.51
9.2017	0.50
10.2017	0.54
11.2017	0.60
12.2017	0.62
1.2018	0.62
2.2018	0.59
3.2018	0.56

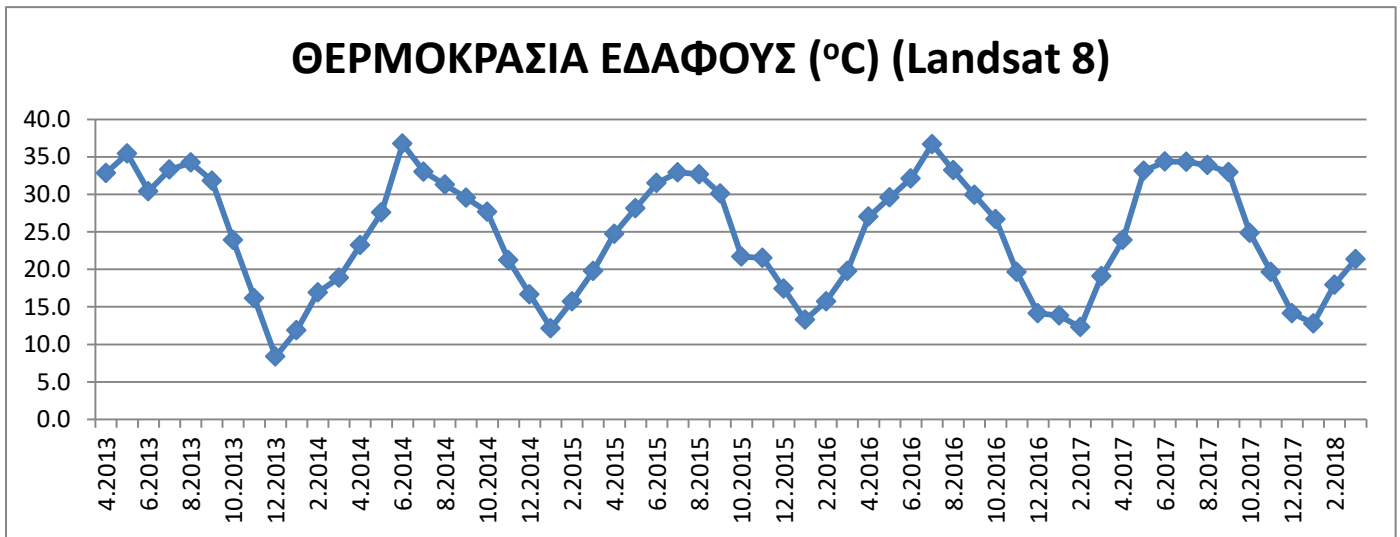
Πίνακας 4.6: Δείκτες βλάστησης NDVI από δορυφορικές εικόνες Landsat 8 σε χρονολογική σειρά



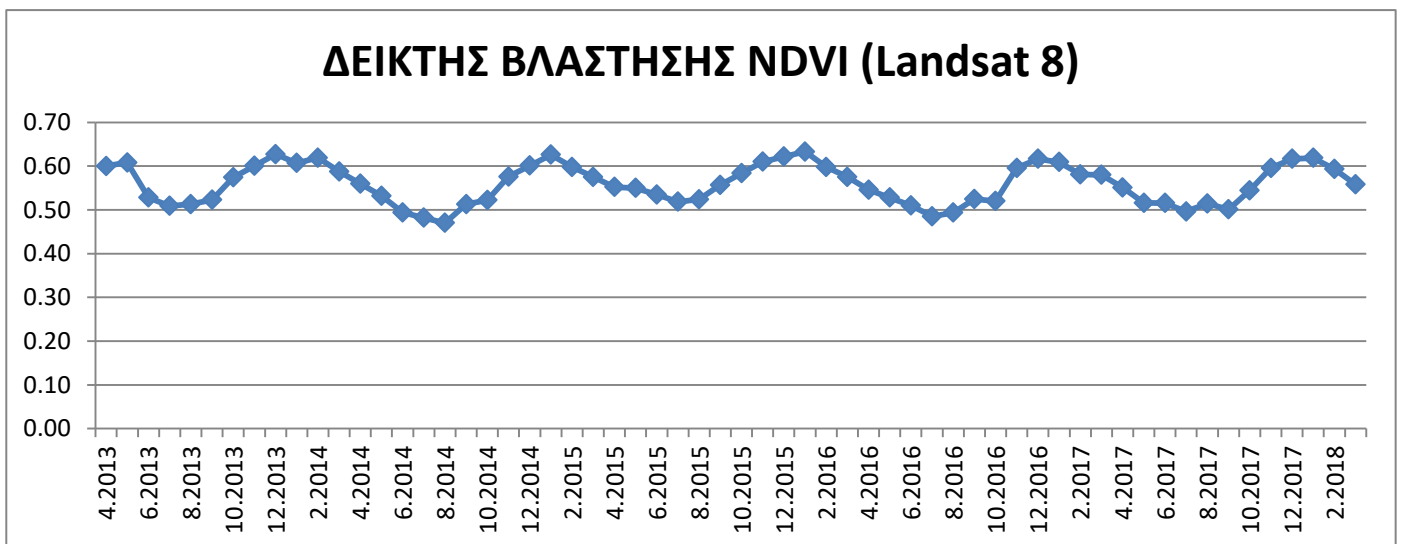
Διάγραμμα 4.49 : Χρονοσειρά θερμοκρασιών εδάφους σε βαθμούς Celsius ( $^{\circ}C$ ) από δορυφορικές εικόνες Landsat 5



Διάγραμμα 4.50 : Χρονοσειρά δεικτών βλάστησης NDVI από δορυφορικές εικόνες Landsat 5



Διάγραμμα 4.51: Χρονοσειρά θερμοκρασία εδάφους σε βαθμούς Celsius (°C) από δορυφορικές εικόνες Landsat 8



Διάγραμμα 4.52 : Χρονοσειρά δεικτών βλάστησης NDVI από δορυφορικές εικόνες Landsat 8

### 4.3.3 Ανάλυση χρονοσειρών ανά υψόμετρο και προσανατολισμό

Δεδομένου ότι η περιοχή μελέτης είναι ορεινή, διερευνήθηκε πόσο επηρεάζεται η θερμοκρασία εδάφους και ο δείκτης NDVI όταν μεταβάλλεται το υψόμετρο και ο προσανατολισμός. Η σχέση μεταξύ των δύο φαινομένων που μελετάμε με τις δύο τοπογραφικές παραμέτρους της περιοχής εξετάστηκε κατά την διάρκεια των ετών 1993-2009 και 2013-2018. Λόγω του ότι τα δεδομένα δεν επαρκούσαν για όλους τους μήνες του έτους, η διερεύνηση υλοποιήθηκε για τον Ιούλιο, τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο. Για το πρώτο χρονικό διάστημα χρειάστηκε να συμπληρωθούν ορισμένες τιμές με την ίδια μέθοδο που περιγράφεται για τις εικόνες Landsat 5 στην παράγραφο 4.3.2. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αυτήν τη φορά είναι οι μέσες θερμοκρασίες που υπολογίστηκαν για τις ομάδες 201, 202, 301, 302, 401 και 402. Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα διαγράμματα

θερμοκρασιών εδάφους και δείκτη NDVI για καθένα από αυτούς τους τρεις μήνες κατά τα παραπάνω έτη. Για να διευκολυνθεί η ερμηνεία της διαχρονικής συμπεριφοράς των φαινομένων ανάλογα με το υψόμετρο και τον προσανατολισμό, συγκεντρώνονται οι ευθείες τάσης, οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των δεδομένων ανά ομάδα υψόμετρου – προσανατολισμού σε πίνακα για κάθε μήνα και χρονική περίοδο.

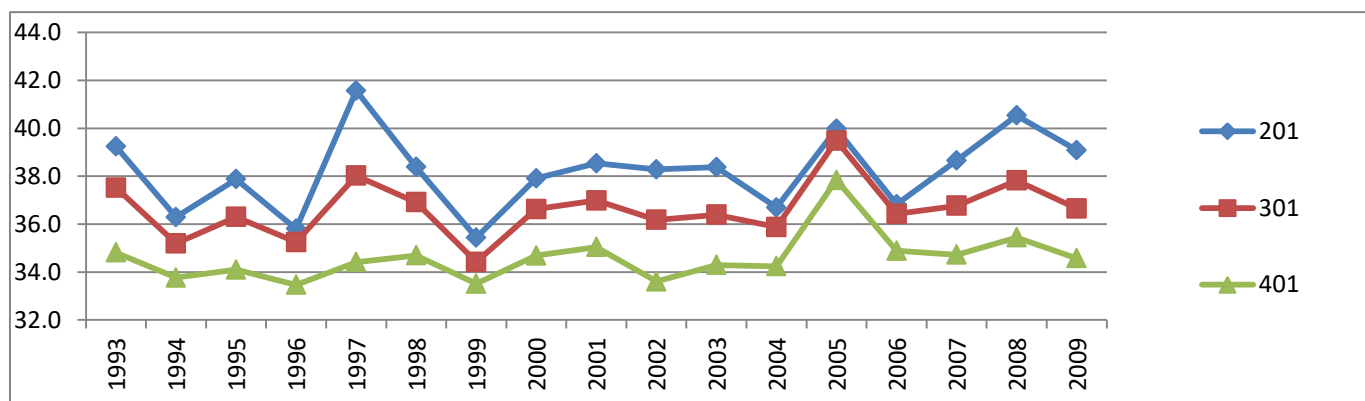
Κατά τα έτη 1993 έως 2009 από τους πίνακες 4.7 έως 4.9 παρατηρούμε ότι και στους τρεις μήνες ο μεγαλύτερος μέσος όρος των θερμοκρασιών εδάφους που εξετάζονται συναντάται σε υποπεριοχές στο δάσος της Πάφου χαμηλού υψόμετρου (από 50 έως 526 μέτρα – ομάδα 200) και νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού (από 51.06° έως 231.06° – ομάδα 1), ενώ ο μικρότερος σε υποπεριοχές υψηλού υψόμετρου (από 1002 έως 1400 μέτρα – ομάδα 400) και βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού (από 231.06° έως 360° και από 0° έως 51.06° – ομάδα 2). Παρατηρώντας καλύτερα τους μέσους όρους των θερμοκρασιών εδάφους τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο στις υποπεριοχές χαμηλού και μεσαίου (από 526 έως 1002 μέτρα – ομάδα 300) υψόμετρου, οι θερμοκρασίες εδάφους αυτές με την αλλαγή ομάδας προσανατολισμού διαφέρουν κατά περίπου 2-3 °C, ενώ στην περίπτωση των υποπεριοχών υψηλού υψόμετρου η διαφορά τους είναι κατά προσέγγιση 1 °C. Παρόλα αυτά, τον Σεπτέμβριο, όταν μεταβάλλεται η ομάδα προσανατολισμού, οι διαφορές μεταξύ των θερμοκρασιών εδάφους σε όλο το εύρος των υψομέτρων φαίνονται λίγο πιο έντονες τόσο από τα διαγράμματα 4.65, 4.66 και 4.67 όσο και από τους πίνακες 4.7 έως 4.9, αφού αυτές είναι περίπου 3 °C. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, οι κατά λίγο θερμότερες υποπεριοχές είναι αυτές με νότιο ή /και ανατολικό προσανατολισμό. Επιπλέον, όσο αυξάνεται το υψόμετρο ανάμεσα στις τρεις αυτές ομάδες οι θερμοκρασίες εδάφους μειώνονται κατά 1-2 °C και ως προς τις δύο ομάδες προσανατολισμού. Επιπροσθέτως, τον Ιούλιο η μεγαλύτερη τυπική απόκλιση των μέσων θερμοκρασιών εδάφους διαχρονικά είναι στις υποπεριοχές χαμηλού υψόμετρου και νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού και η μικρότερη σε υποπεριοχές υψηλού υψόμετρου και βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού συγκριτικά με τις υπόλοιπες υποπεριοχές. Όμως, τον Αύγουστο οι θερμοκρασίες εδάφους απέχουν μεταξύ τους μέσα στην χρονική περίοδο, που εξετάζεται, περισσότερο στις περιοχές υψηλού υψόμετρου και λιγότερο στις υποπεριοχές χαμηλού υψόμετρου και βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού. Επιπλέον, τον Σεπτέμβριο παρατηρούνται ακόμη και μέσω των αντίστοιχων διαγραμμάτων γενικότερα πολύ μεγαλύτερες τυπικές αποκλίσεις στις περισσότερες ομάδες υψόμετρου – προσανατολισμού σε σχέση με τους δύο προηγούμενους μήνες, με τις υποπεριοχές υψηλού υψόμετρου να έχουν δεδομένα που να απέχουν μεταξύ τους πάρα πολύ.

Σχετικά με τις κλίσεις των ευθειών τάσης, που δηλώνουν κατά προσέγγιση τον ρυθμό αύξησης/ μείωσης των μεγεθών, που μελετάμε μέσα στο χρόνο, καταλήγουμε σε ορισμένα συμπεράσματα. Τον Ιούλιο όλες οι κλίσεις είναι θετικές και διαφέρουν ελάχιστα, κάτι που

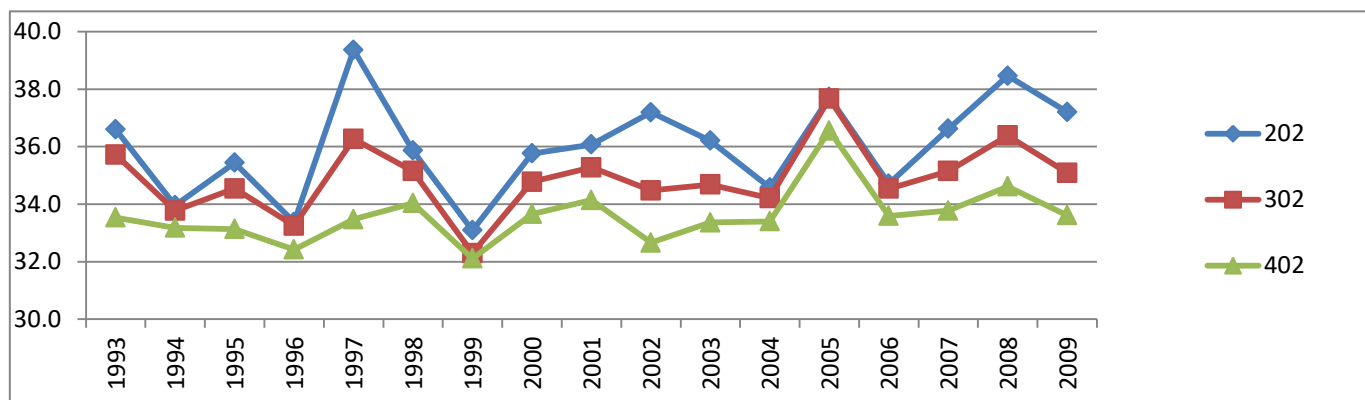
φαίνεται και στα διαγράμματα που αναφέρονται σε αυτόν τον μήνα. Τον Αύγουστο ενώ οι κλίσεις για τις υποπεριοχές χαμηλού υψομέτρου είναι θετικές και σχεδόν ίσες, στις υπόλοιπες υποπεριοχές είναι αρνητικές και παρόμοιες σε μέγεθος. Τον Σεπτέμβριο όλες οι κλίσεις είναι θετικές εκτός από αυτήν στην ομάδα 202, καθώς και οι κλίσεις στις 301, 401 και 402 είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις άλλες υποπεριοχές. Ωστόσο, οι κλίσεις και στους τρεις μήνες αυτής της περιόδου δεν θεωρούνται τόσο μεγάλες, συνεπώς οι μέσες θερμοκρασίες εδάφους ανά ομάδα υψομέτρου-προσανατολισμού στους τρεις αυτούς μήνες δεν μεταβλήθηκαν πολύ κατά την διάρκεια των ετών 1993-2009.

ΟΜΑΔΕΣ	ΕΥΘΕΙΕΣ ΤΑΣΗΣ	ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
201	$y = 0.0808 * x + 37.475$	38.2	$\pm 1.65$
202	$y = 0.1159 * x + 34.97$	36.0	$\pm 1.73$
301	$y = 0.0647 * x + 36.053$	36.6	$\pm 1.18$
302	$y = 0.0749 * x + 34.225$	34.9	$\pm 1.24$
401	$y = 0.0819 * x + 33.856$	34.6	$\pm 1.01$
402	$y = 0.0791 * x + 32.894$	33.6	$\pm 0.98$

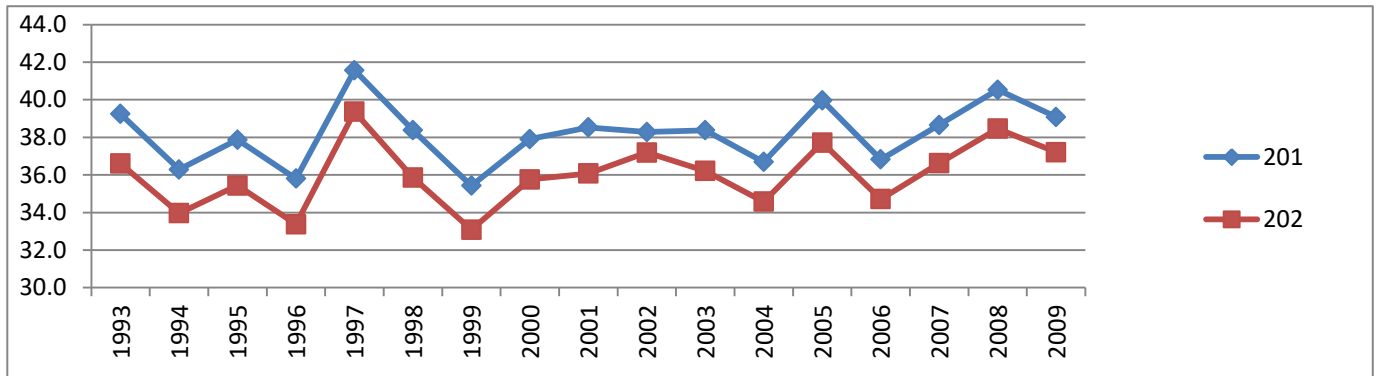
Πίνακας 4.7: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις θερμοκρασιών θερμοκρασιών εδάφους Ιουλίου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 5



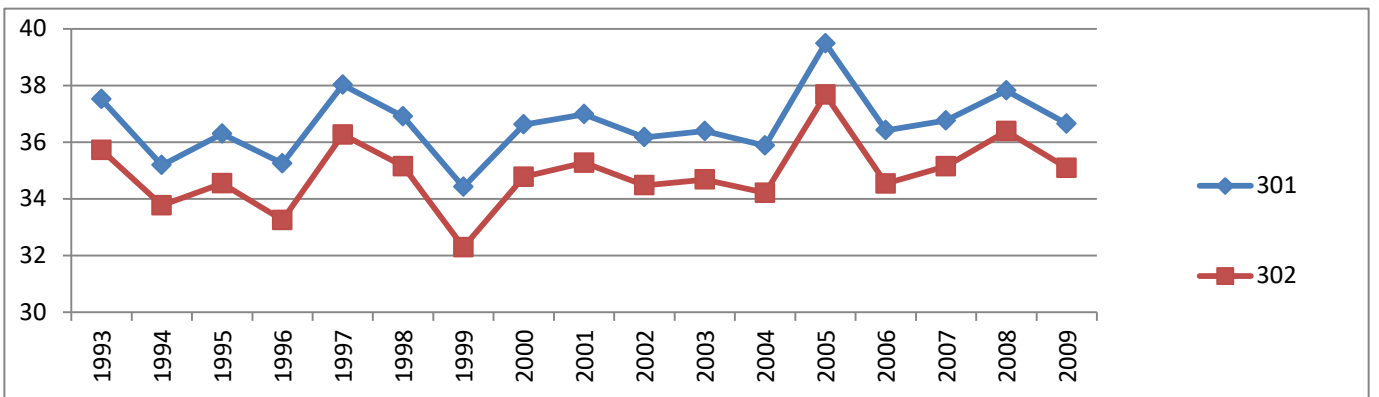
Διάγραμμα 4.53: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5



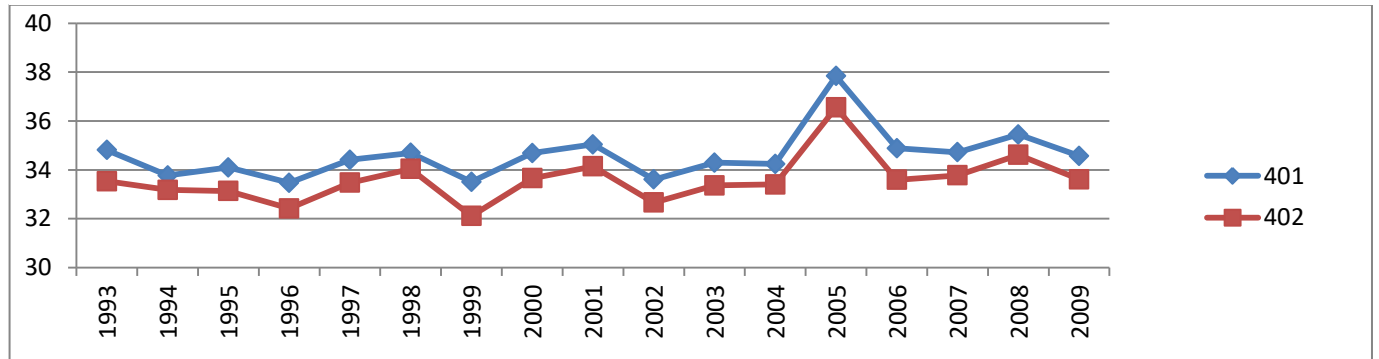
Διάγραμμα 4.54: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5



Διάγραμμα 4.55: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 5



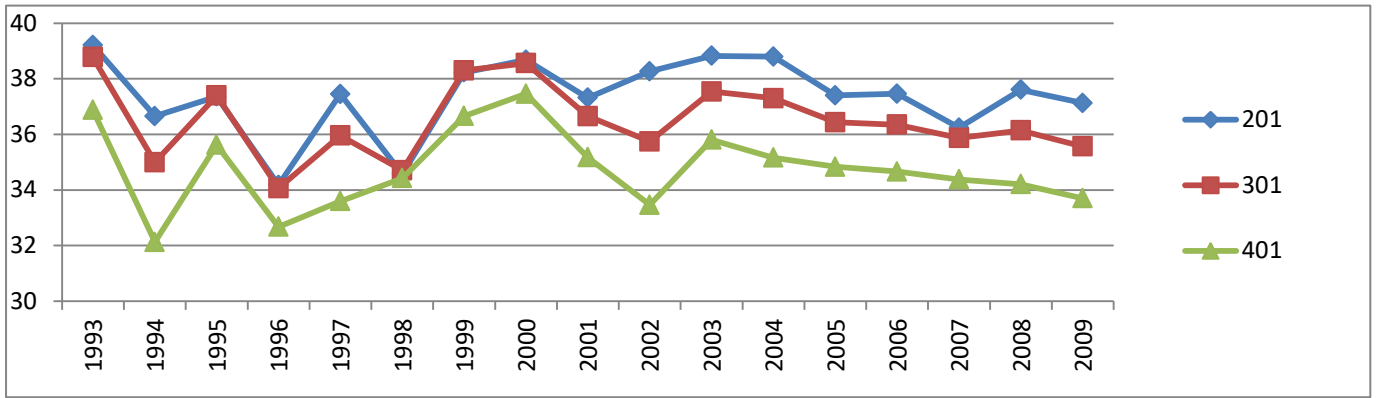
Διάγραμμα 4.56: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 5



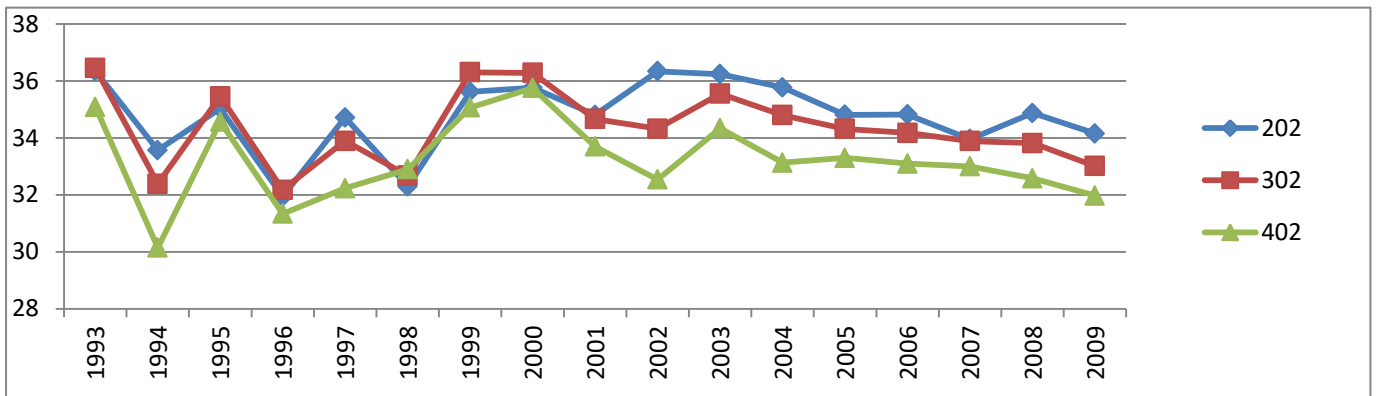
Διάγραμμα 4.57: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 5

ΟΜΑΔΕΣ	ΕΥΘΕΙΕΣ ΤΑΣΗΣ	ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
201	$y = 0.0316 * x + 37.09$	37.4	± 1.38
202	$y = 0.0296 * x + 34.499$	34.8	± 1.29
301	$y = -0.0245 * x + 36.71$	36.5	± 1.34
302	$y = -0.0302 * x + 34.634$	34.4	± 1.34
401	$y = -0.017 * x + 34.908$	34.8	± 1.45
402	$y = -0.0201 * x + 33.4$	33.2	± 1.44

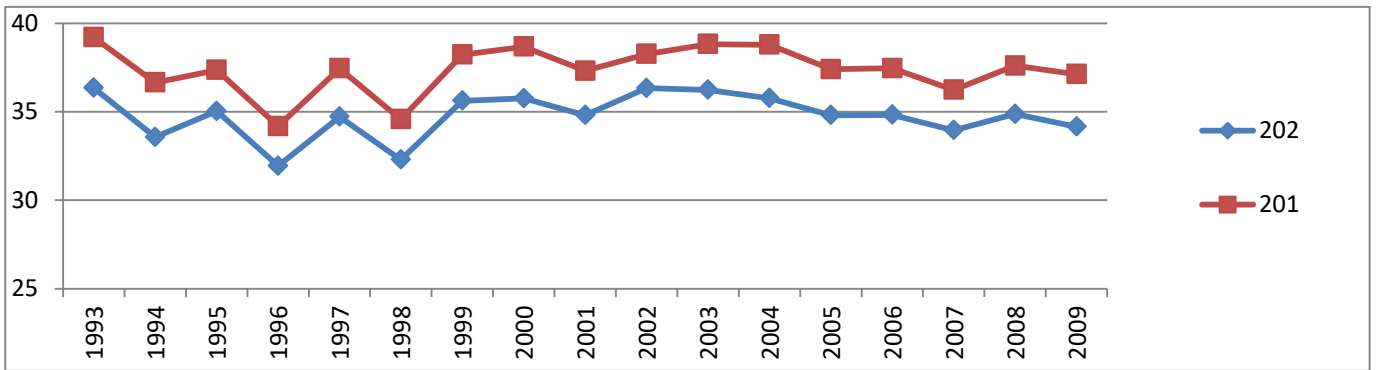
Πίνακας 4.8: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις θερμοκρασιών εδάφους Αυγούστου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 5



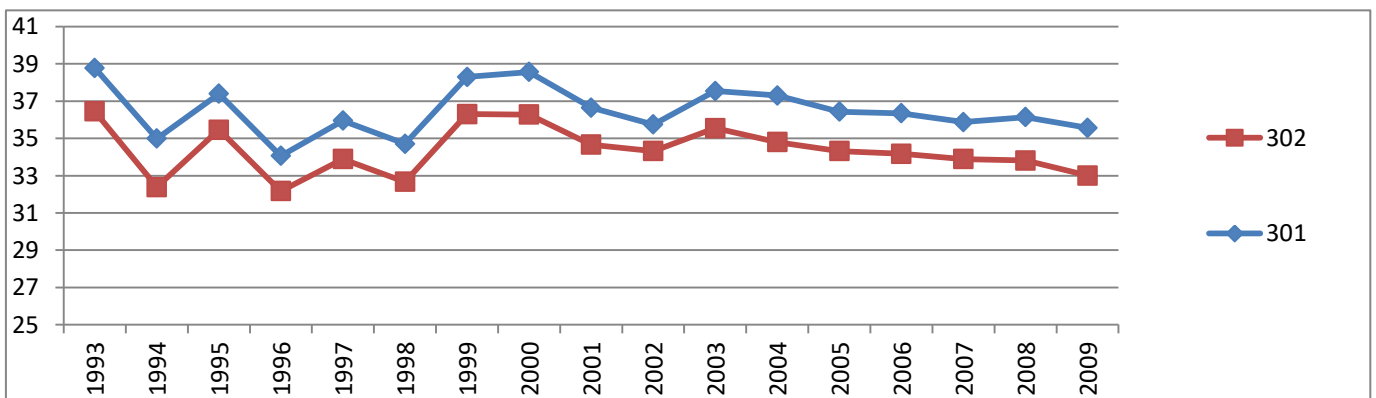
Διάγραμμα 4.58: Θερμοκρασίες εδάφους Αυγούστου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5



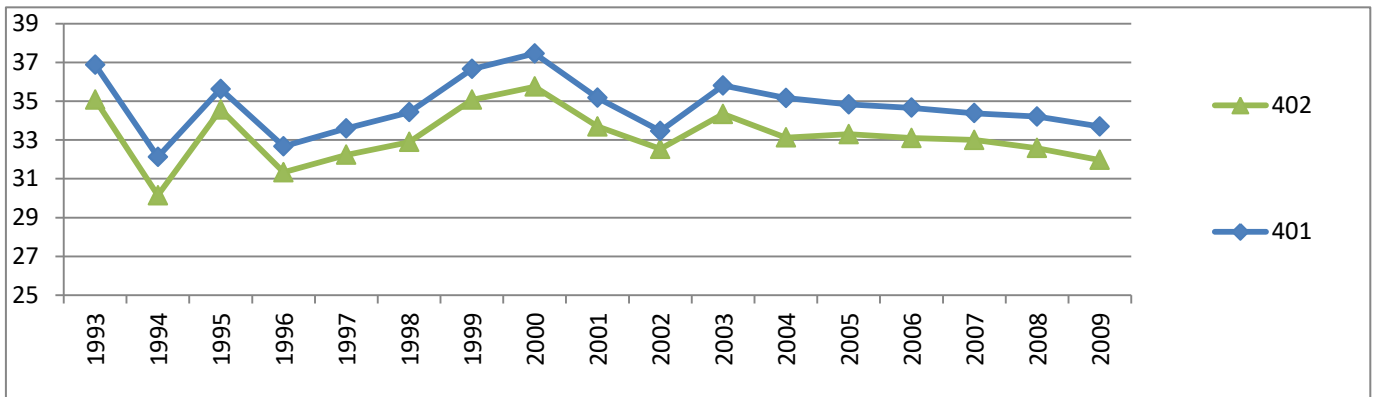
Διάγραμμα 4.59: Θερμοκρασίες εδάφους Αυγούστου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5



Διάγραμμα 4.60: Θερμοκρασίες εδάφους Αυγούστου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 5



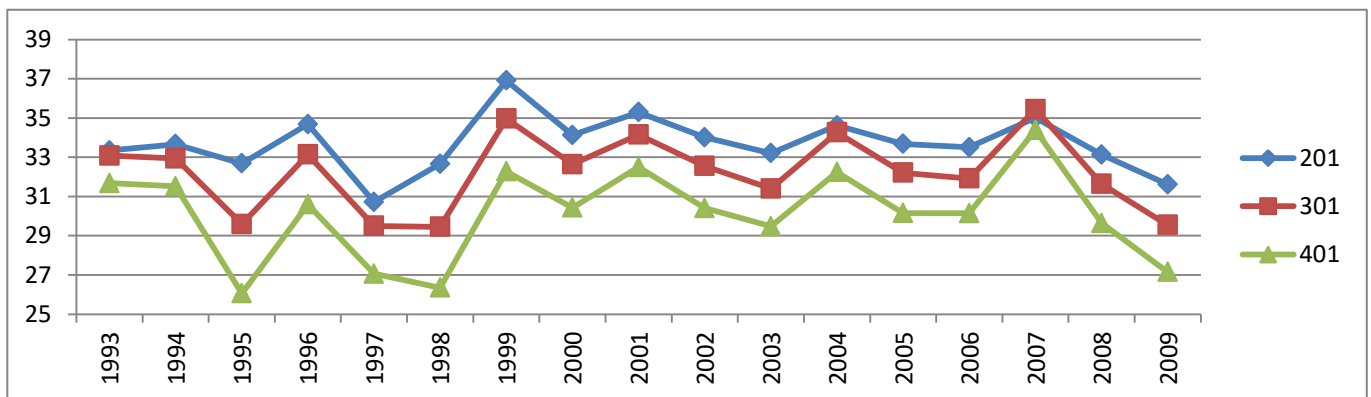
Διάγραμμα 4.61: Θερμοκρασίες εδάφους Αυγούστου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 5



Διάγραμμα 4.62: Θερμοκρασίες εδάφους Αυγούστου υποπεριοχών υψομέτρων από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 5

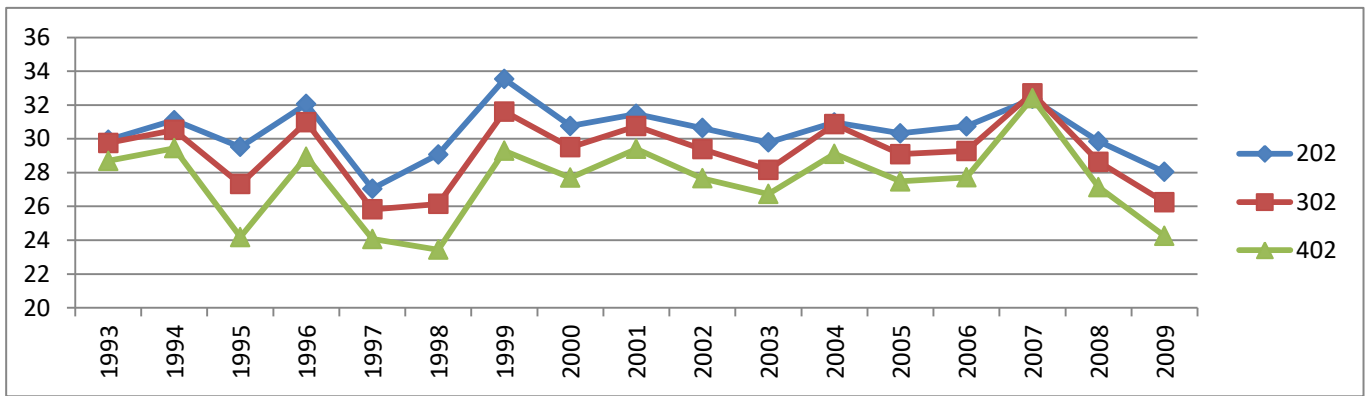
ΟΜΑΔΕΣ	ΕΥΘΕΙΕΣ ΤΑΣΗΣ	ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
201	$y = 0.0019 * x + 33.68$	33.7	$\pm 1.43$
202	$y = -0.0056 * x + 30.473$	30.4	$\pm 1.56$
301	$y = 0.0238 * x + 32.046$	32.3	$\pm 1.91$
302	$y = 0.0065 * x + 29.165$	29.2	$\pm 1.98$
401	$y = 0.0556 * x + 29.621$	30.1	$\pm 2.34$
402	$y = 0.0418 * x + 27.133$	27.5	$\pm 2.39$

Πίνακας 4.9: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις θερμοκρασιών εδάφους Σεπτεμβρίου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 5

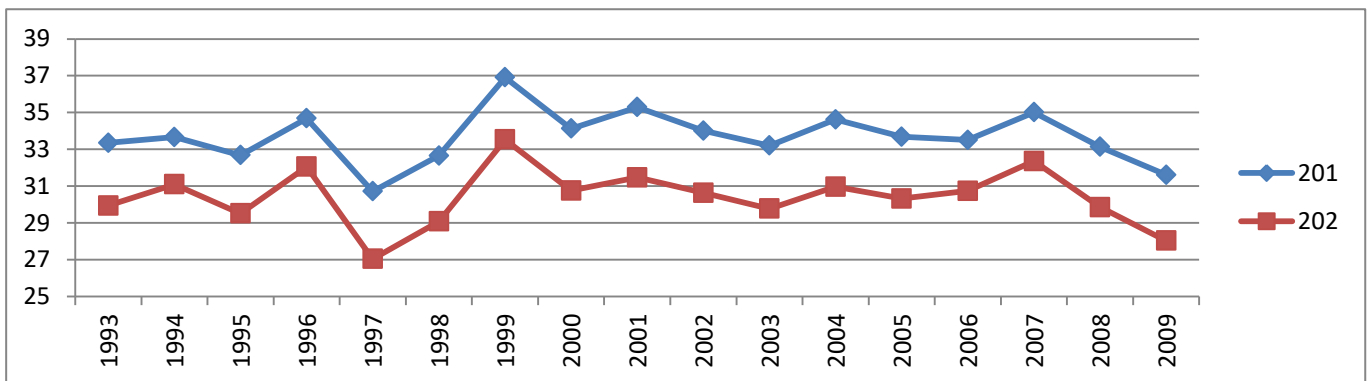


Διάγραμμα 4.63: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5

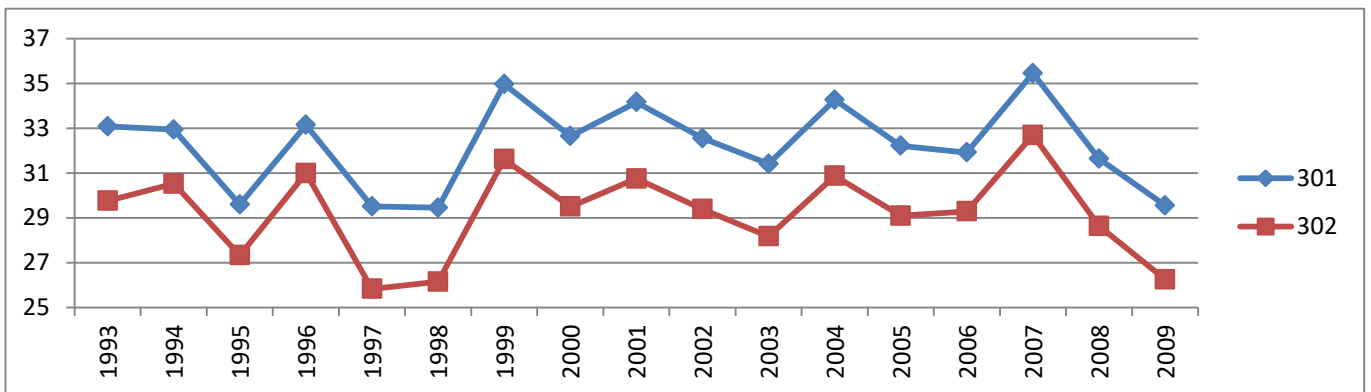




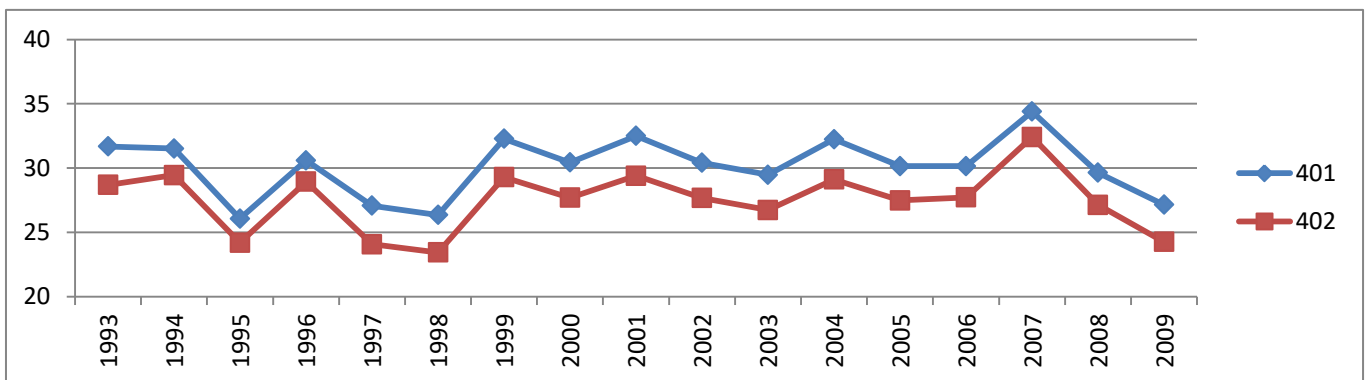
Διάγραμμα 4.64: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5



Διάγραμμα 4.65: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 5



Διάγραμμα 4.66: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 5



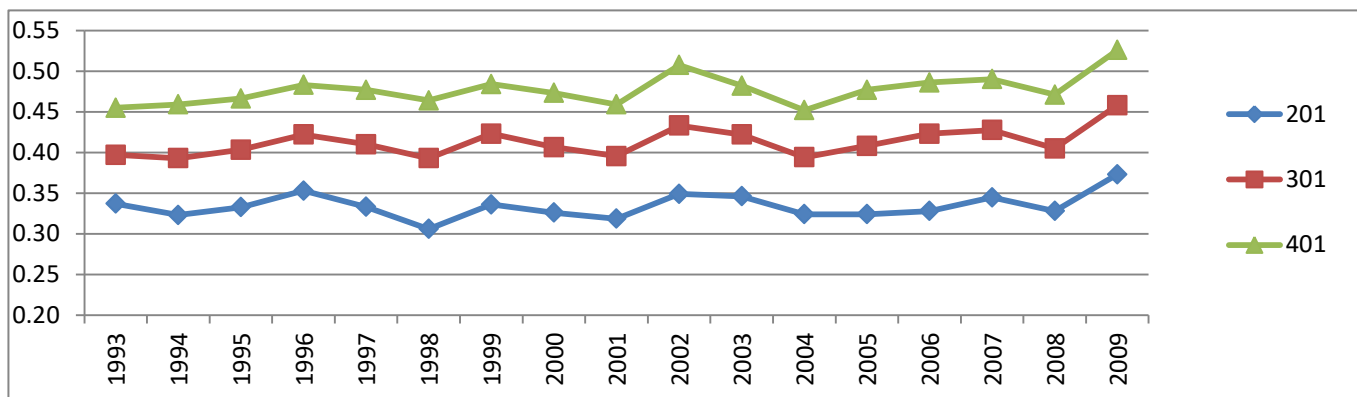
Διάγραμμα 4.67: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 5

Κατά τα έτη 1993 έως 2009 από τους πίνακες 4.10 έως 4.12 παρατηρούμε ότι και στους τρεις μήνες ο μεγαλύτερος μέσος όρος των δεικτών NDVI που εξετάζονται συναντάται σε υποπεριοχές στο δάσος της Πάφου μεγάλου υψομέτρου και βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού, ενώ ο μικρότερος σε υποπεριοχές μικρού υψομέτρου και νότιου ή /και ανατολικού προσανατολισμού. Παρόλα αυτά, και στους τρεις μήνες αυτές οι τιμές του δείκτη NDVI σε υποπεριοχές χαμηλού και μεσαίου υψομέτρου αλλάζοντας την ομάδα προσανατολισμού μπορεί να αλλάξουν έως κατά 0.05 της μονάδας, αλλά σε υψηλά υψόμετρα μέχρι κατά 0.02 της μονάδας. Σε κάθε περίπτωση από αυτές, υπερτερούν αριθμητικά στην τιμή του NDVI οι υποπεριοχές με βόρειο ή/και δυτικό προσανατολισμό. Επίσης, και στους τρεις μήνες αν σε υποπεριοχές ίδιας ομάδας προσανατολισμού μεταβληθεί το υψόμετρο από ομάδα 200 προς 300, ο δείκτης NDVI παρουσιάζει αύξηση μέχρι της τάξης του 0.1 της μονάδας, αλλά από την 300 προς την 400 δεν θα υπάρχει τόσο μεγάλη διαφορά μεταξύ τους. Όσον αφορά τις τυπικές αποκλίσεις ανά μήνα σχεδόν όλες είναι ίσες, αλλά οι μεγαλύτερες ανά ομάδα υψομέτρου-προσανατολισμού συγκριτικά με όλους τους μήνες, που εξετάζονται, συναντώνται τον Σεπτέμβριο.

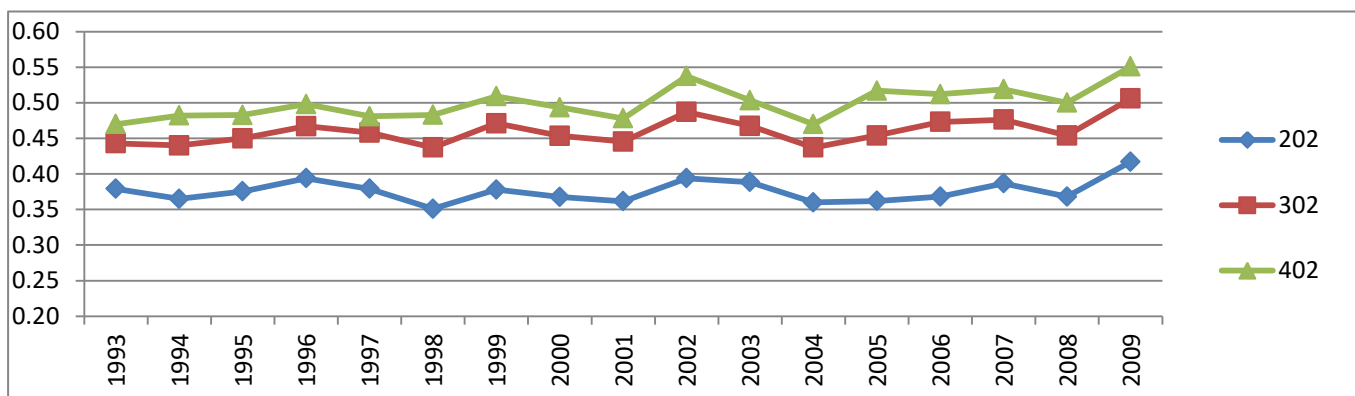
Όσον αφορά κλίσεις των ευθειών τάσης, τον Ιουλίου αυτές είναι θετικές και όλες είναι μικρές και σχεδόν ίσες μεταξύ τους. Τον Αύγουστο οι κλίσεις είναι επίσης θετικές και οι περισσότερες σχεδόν ίσες μεταξύ τους, με εξαίρεση αυτές στις υποπεριοχές 302 και 401 που είναι λίγο μεγαλύτερες από τις υπόλοιπες. Τέλος, με βάση τις κλίσεις το Σεπτέμβριο, φαίνεται ότι η τάση είναι και πάλι αυξητική και έχει σχεδόν τον ίδιο ρυθμό σε κάθε υποπεριοχή ανεξαρτήτως των χαρακτηριστικών της.

ΟΜΑΔΕΣ	ΕΥΘΕΙΕΣ ΤΑΣΗΣ	ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
201	$y = 0.0008 * x + 0.3269$	0.33	$\pm 0.016$
202	$y = 0.0007 * x + 0.3703$	0.38	$\pm 0.016$
301	$y = 0.0018 * x + 0.3962$	0.41	$\pm 0.018$
302	$y = 0.002 * x + 0.4423$	0.46	$\pm 0.019$
401	$y = 0.002 * x + 0.4595$	0.48	$\pm 0.019$
402	$y = 0.0029 * x + 0.4728$	0.50	$\pm 0.023$

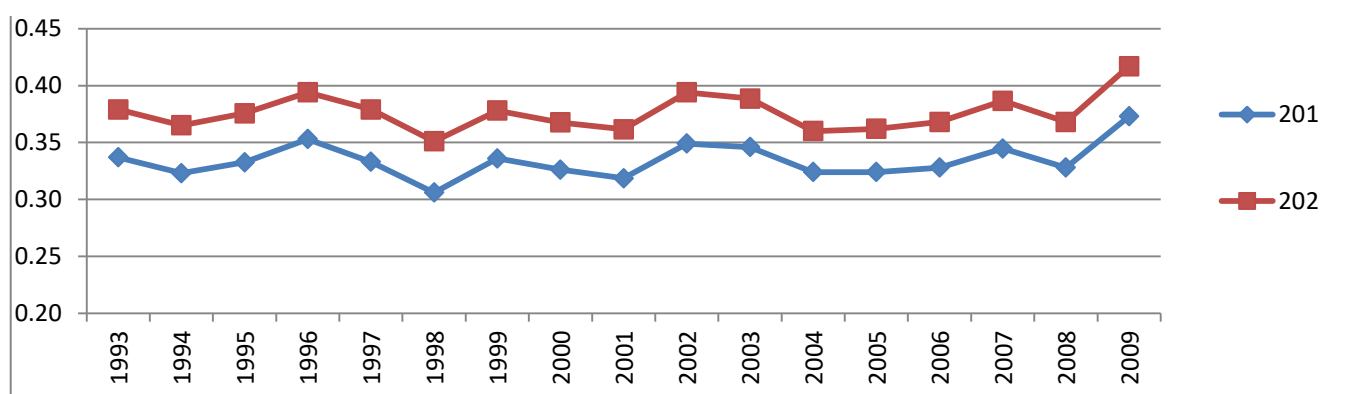
Πίνακας 4.10: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις δεικτών NDVI Ιουλίου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 5



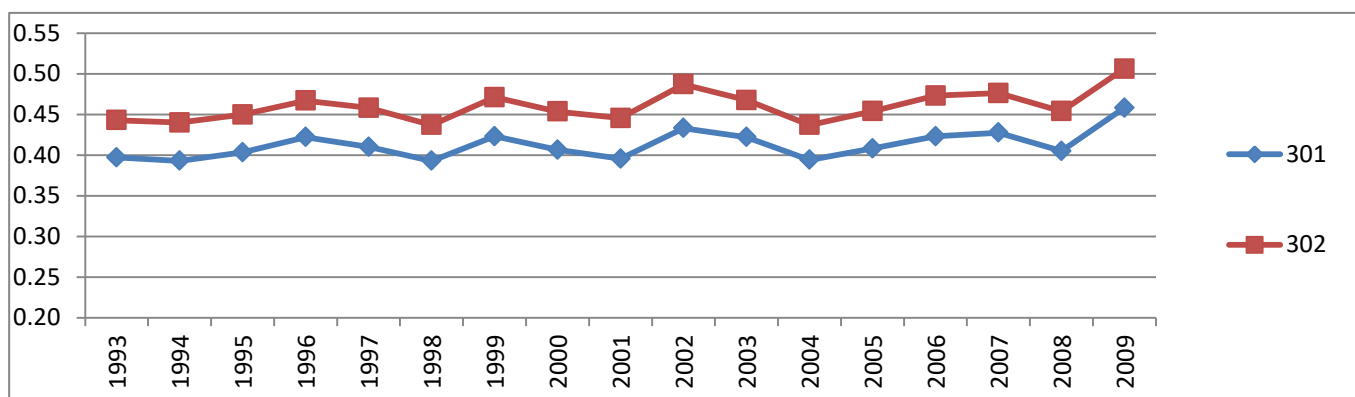
Διάγραμμα 4.68: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5



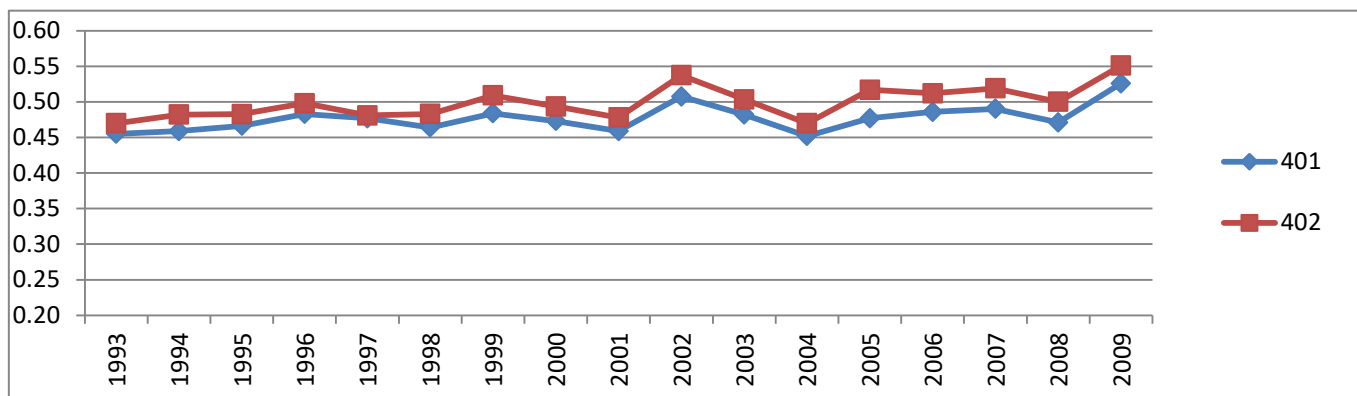
Διάγραμμα 4.69: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5



Διάγραμμα 4.70: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 5



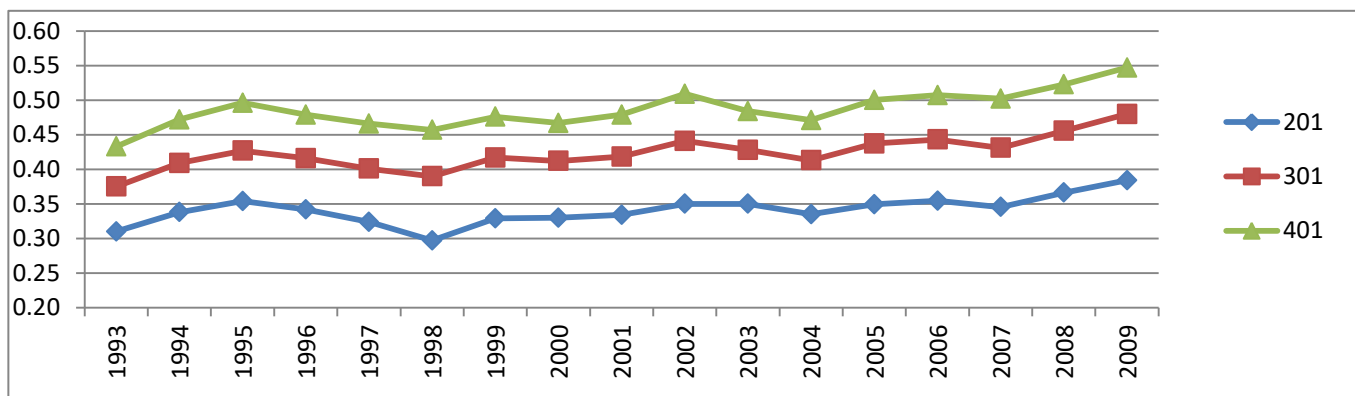
Διάγραμμα 4.71: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 5



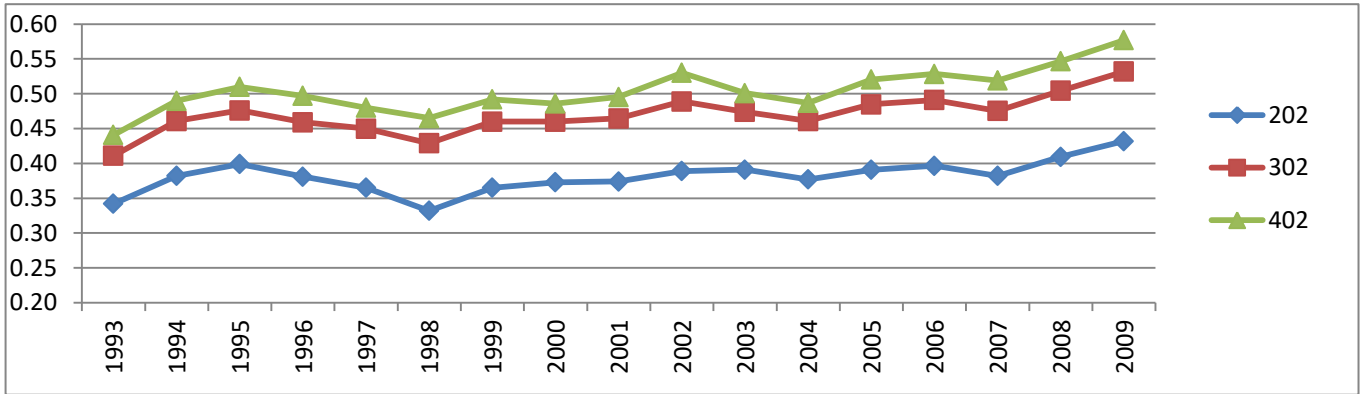
Διάγραμμα 4.72: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 5

ΟΜΑΔΕΣ	ΕΥΘΕΙΕΣ ΤΑΣΗΣ	ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
201	$y = 0.0026 * x + 0.3169$	0.34	$\pm 0.020$
202	$y = 0.0029 * x + 0.3549$	0.38	$\pm 0.023$
301	$y = 0.0039 * x + 0.3881$	0.42	$\pm 0.025$
302	$y = 0.042 * x + 0.4316$	0.47	$\pm 0.028$
401	$y = 0.041 * x + 0.4493$	0.49	$\pm 0.027$
402	$y = 0.0049 * x + 0.4601$	0.50	$\pm 0.032$

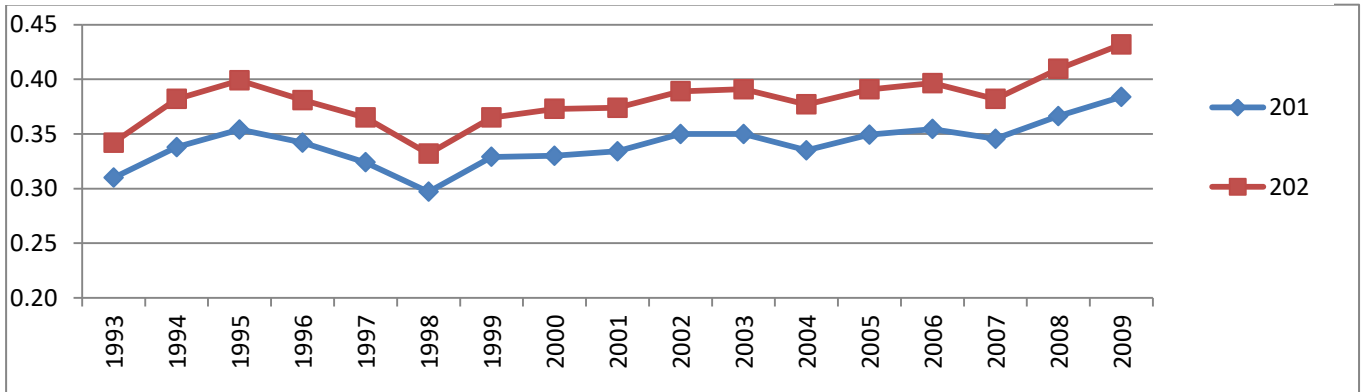
Πίνακας 4.11: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις δεικτών NDVI Αυγούστου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 5



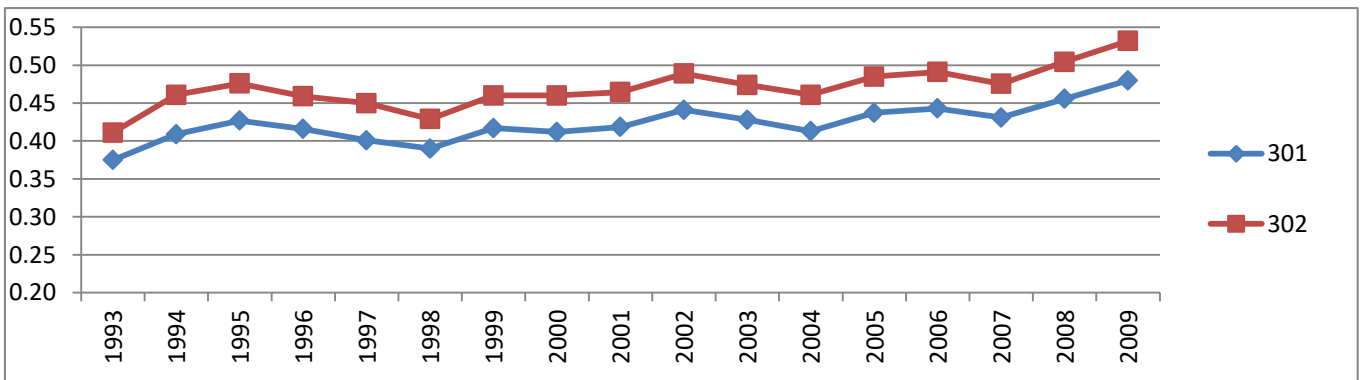
Διάγραμμα 4.73: Δείκτες NDVI Αυγούστου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5



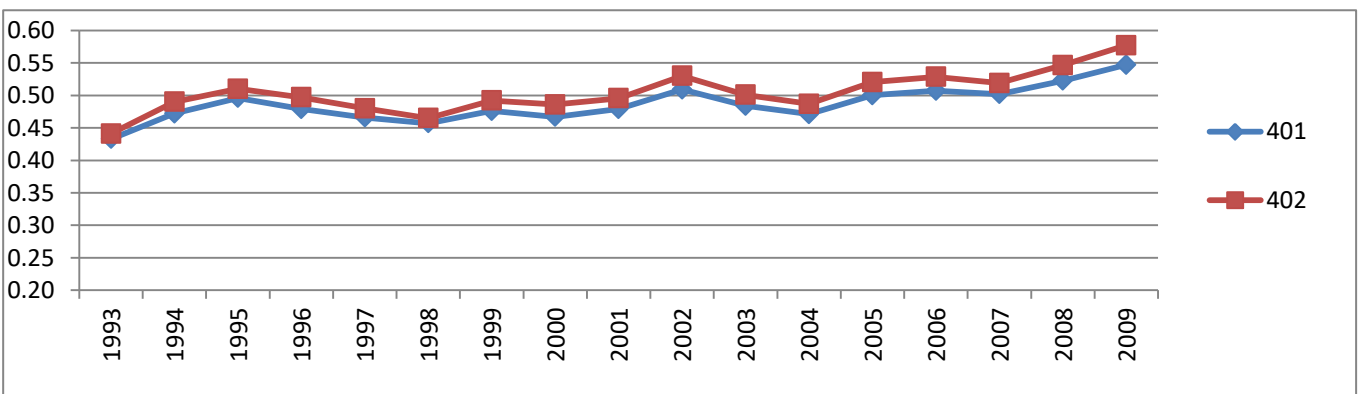
Διάγραμμα 4.74: Δείκτες NDVI Αυγούστου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5



Διάγραμμα 4.75: Δείκτες NDVI Αυγούστου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 5



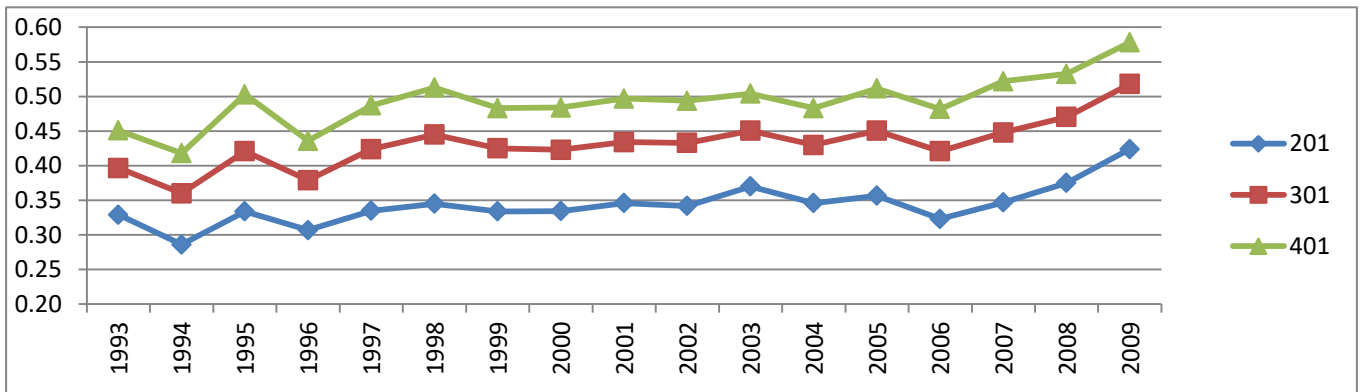
Διάγραμμα 4.76: Δείκτες NDVI Αυγούστου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 5



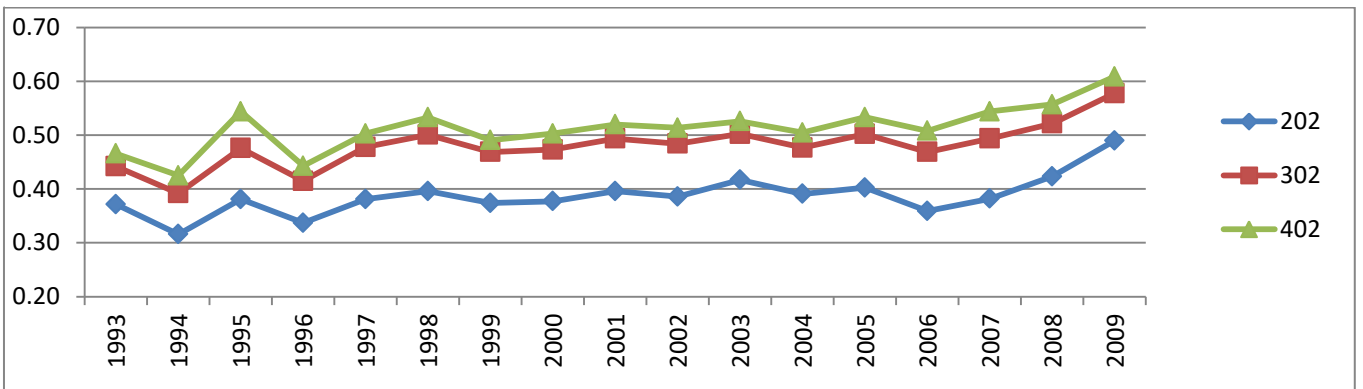
Διάγραμμα 4.77: Δείκτες NDVI Αυγούστου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 5

ΟΜΑΔΕΣ	ΕΥΘΕΙΕΣ ΤΑΣΗΣ	ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
201	$y = 0.0042 * x + 0.3054$	0.34	$\pm 0.030$
202	$y = 0.0049 * x + 0.3434$	0.39	$\pm 0.037$
301	$y = 0.0055 * x + 0.3817$	0.43	$\pm 0.035$
302	$y = 0.0061 * x + 0.4259$	0.48	$\pm 0.041$
401	$y = 0.0054 * x + 0.4439$	0.49	$\pm 0.037$
402	$y = 0.0062 * x + 0.4578$	0.51	$\pm 0.043$

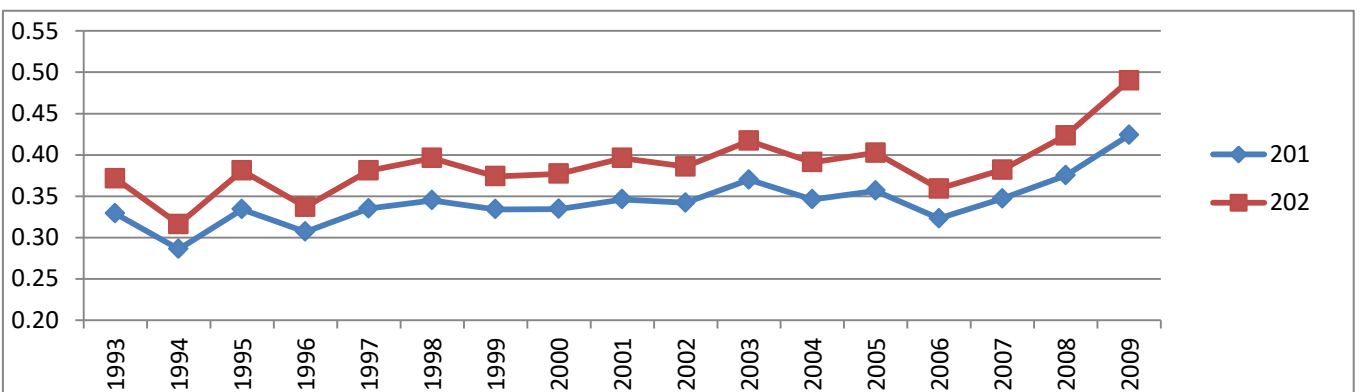
Πίνακας 4.12: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις δεικτών NDVI Σεπτεμβρίου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 5



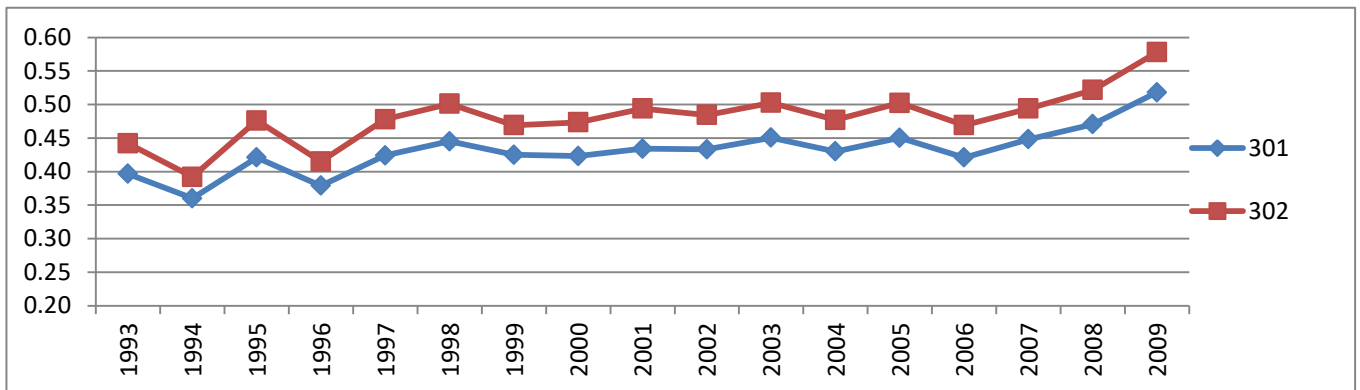
Διάγραμμα 4.78: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5



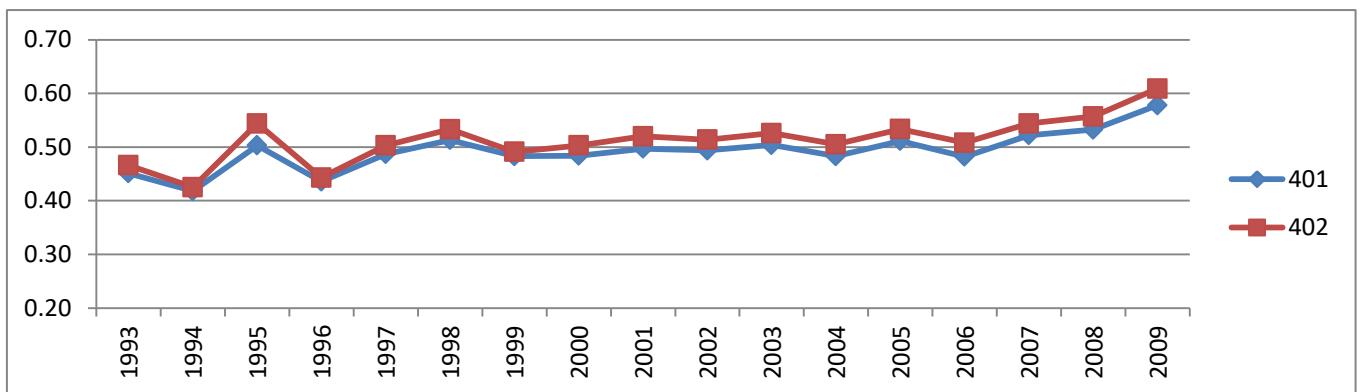
Διάγραμμα 4.79: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5



Διάγραμμα 4.80: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 5



Διάγραμμα 4.81: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 5



Διάγραμμα 4.82: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 5

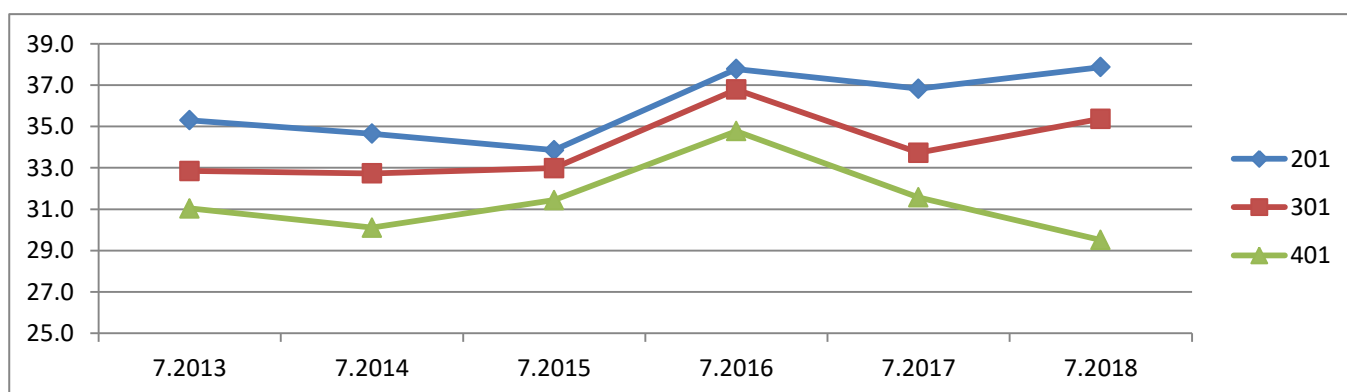
Εξετάζοντας την περίοδο από 2013 έως 2018, σύμφωνα με τους πίνακες 4.13 έως 4.15 παρατηρούμε ότι και στους τρεις μήνες ο μεγαλύτερος μέσος όρος θερμοκρασιών εδάφους βρίσκεται σε υποπεριοχές στο δάσος της Πάφου χαμηλού υψομέτρου και νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού, ενώ ο μικρότερος σε υποπεριοχές υψηλού υψομέτρου και βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού. Επίσης, τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο στις υποπεριοχές όλες τις ομάδες υψομέτρου οι θερμοκρασίες εδάφους αυτές με την αλλαγή ομάδας προσανατολισμού διαφέρουν μέχρι και κατά περίπου 2 °C, με εξαίρεση την περίπτωση του Ιουλίου στις υποπεριοχές υψηλού υψομέτρου που δεν έχουν σχεδόν καμία διαφορά μεταξύ τους. Όμως, τον Σεπτέμβριο οι διαφορές μεταξύ των θερμοκρασιών εδάφους σε όλο το εύρος των υψομέτρων μεταβάλλοντας την ομάδα προσανατολισμού είναι λίγο πιο αισθητές τόσο από τα αντίστοιχα διάγραμμα όσο και από τους παραπάνω πίνακες, αφού αυτές είναι περίπου 2-3 °C. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, οι υποπεριοχές που είναι λίγο πιο θερμές είναι αυτές με νότιο ή /και ανατολικό προσανατολισμό. Επιπλέον, και στους τρεις μήνες με την αύξηση του υψομέτρου ανάμεσα στις τρεις αυτές ομάδες οι θερμοκρασίες εδάφους μειώνονται κατά 1-3 °C και ως προς τις δύο ομάδες προσανατολισμού. Ακόμη, τον Ιούλιο η μεγαλύτερη τυπική απόκλιση των μέσων θερμοκρασιών εδάφους διαχρονικά είναι

στις υποπεριοχές υψηλού υψομέτρου και νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού και η μικρότερη σε υποπεριοχές υψηλού υψομέτρου και βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού συγκριτικά με τις υπόλοιπες υποπεριοχές. Παρόλα αυτά, τον Αύγουστο οι θερμοκρασίες εδάφους απέχουν μέσα στο χρόνο περισσότερο μεταξύ τους στις υποπεριοχές υψηλού υψομέτρου και λιγότερο στις υποπεριοχές χαμηλού υψομέτρου και βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού. Επιπροσθέτως, τον Σεπτέμβριο η μικρότερη τυπική απόκλιση παρουσιάζεται στις υποπεριοχές 201 και η μεγαλύτερη στις υποπεριοχές με υψηλά υψόμετρα.

Σχετικά με τις κλίσεις των ευθειών τάσης τον Ιούλιο, η τάση είναι ανοδική και οι περισσότερες κλίσεις είναι πολύ μεγάλες εκτός από τις υποπεριοχές 401, κάτι που φαίνεται και στα διαγράμματα που αναφέρονται σε αυτόν τον μήνα. Τον Αύγουστο οι κλίσεις για όλες τις υποπεριοχές είναι θετικές, εξίσου πολύ μεγάλες και σχεδόν ίσες, εκτός από τις υποπεριοχές 201 και 202 από τις οποίες η δεύτερη μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει σταθερές τιμές θερμοκρασίας εδάφους μέσα στον χρόνο λόγω της μικρής κλίσης. Τον Σεπτέμβριο όλες οι κλίσεις είναι θετικές και σχεδόν ίσες, εκτός από τις υποπεριοχές 401 και 402 που έχουν μεγαλύτερες κλίσεις, άρα η ανοδική τάση σε αυτές είναι πιο έντονη.

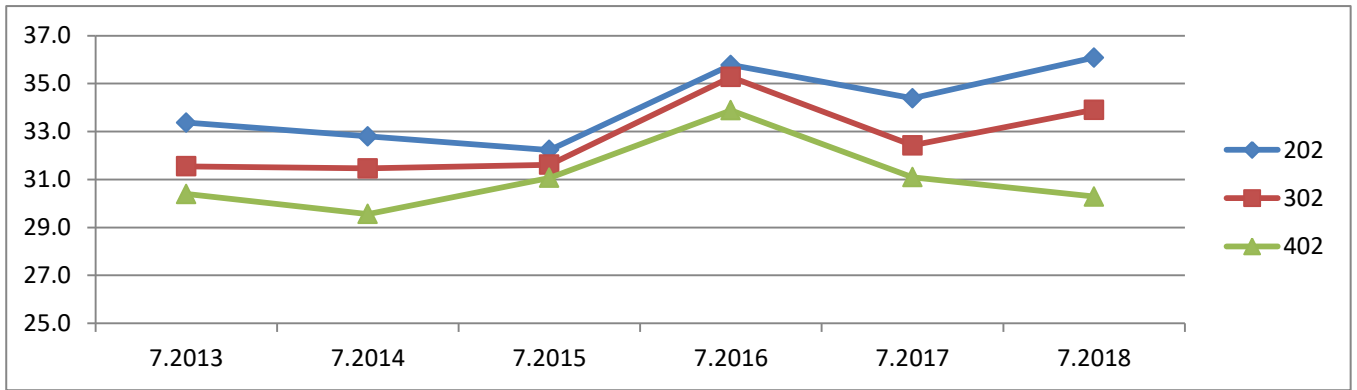
ΟΜΑΔΕΣ	ΕΥΘΕΙΕΣ ΤΑΣΗΣ	ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
201	$y = 0.6651 * x + 33.717$	36.0	$\pm 1.69$
202	$y = 0.6245 * x + 31.921$	34.1	$\pm 1.58$
301	$y = 0.5549 * x + 32.131$	34.1	$\pm 1.65$
302	$y = 0.523 * x + 30.875$	32.7	$\pm 1.56$
401	$y = 0.0034 * x + 31.396$	31.4	$\pm 1.83$
402	$y = 0.196 * x + 30.363$	31.0	$\pm 1.50$

Πίνακας 4.13: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις θερμοκρασιών εδάφους Ιουλίου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 8

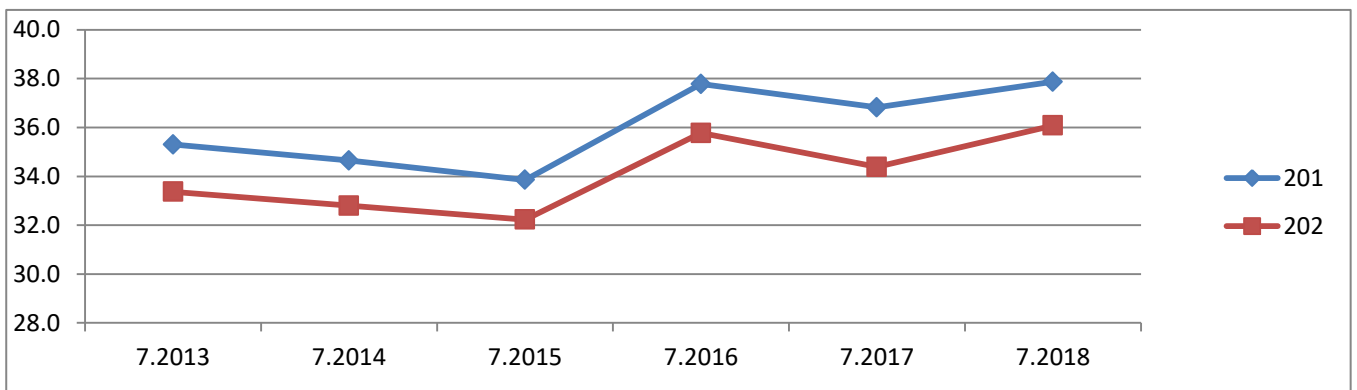


Διάγραμμα 4.83: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8

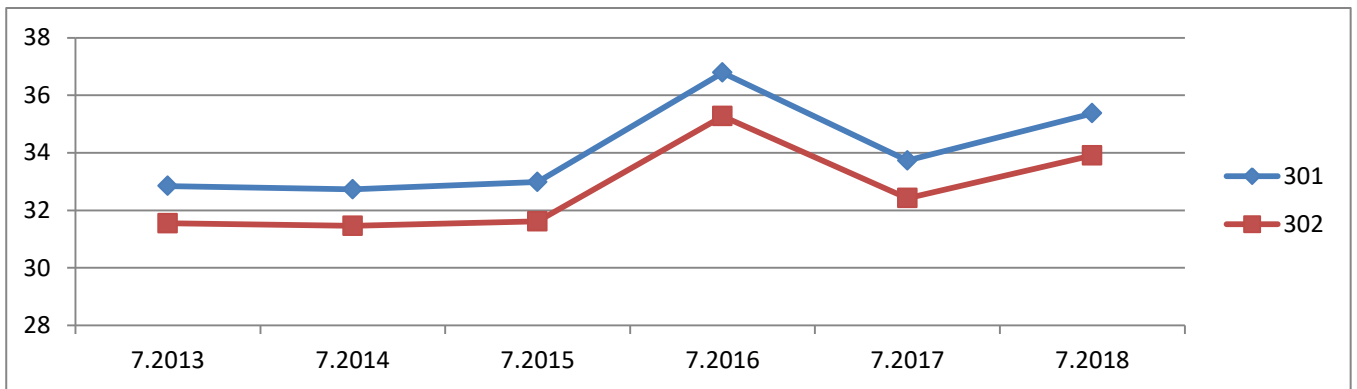




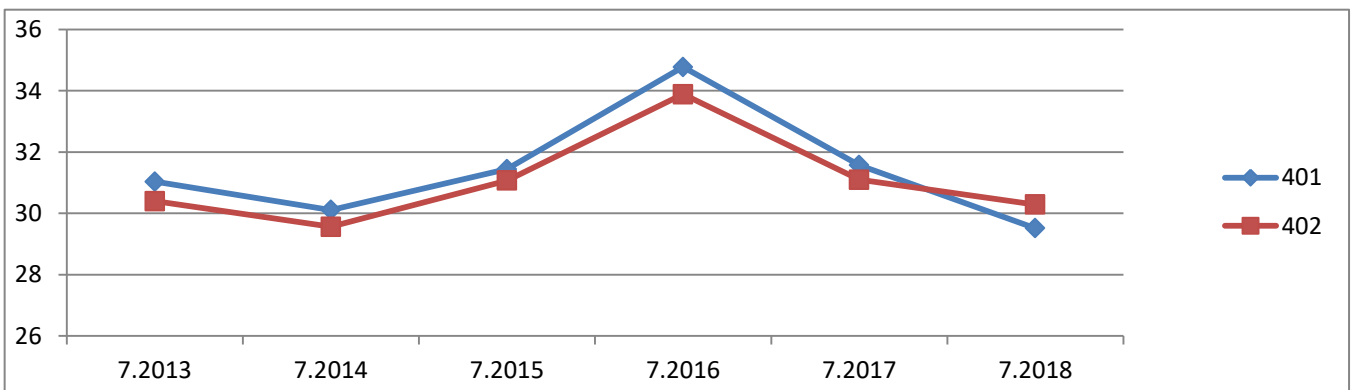
Διάγραμμα 4.84: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8



Διάγραμμα 4.85: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 8



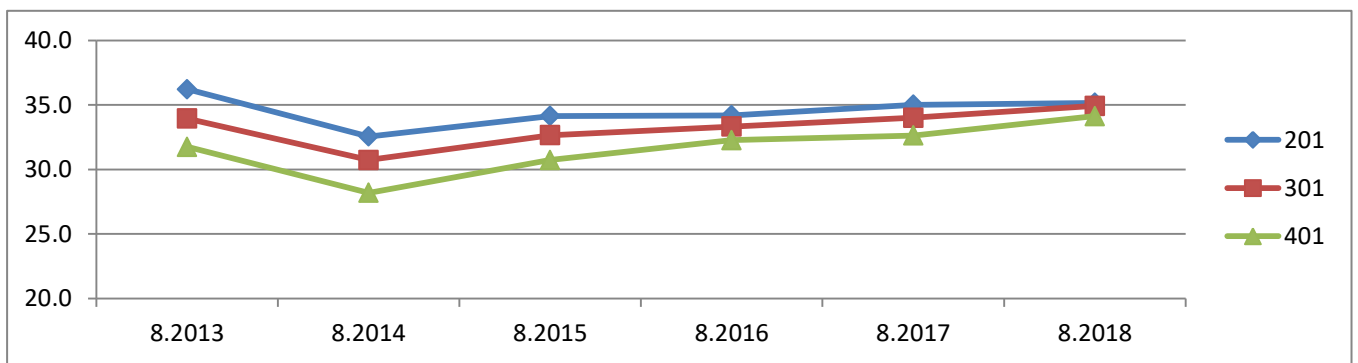
Διάγραμμα 4.86: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 8



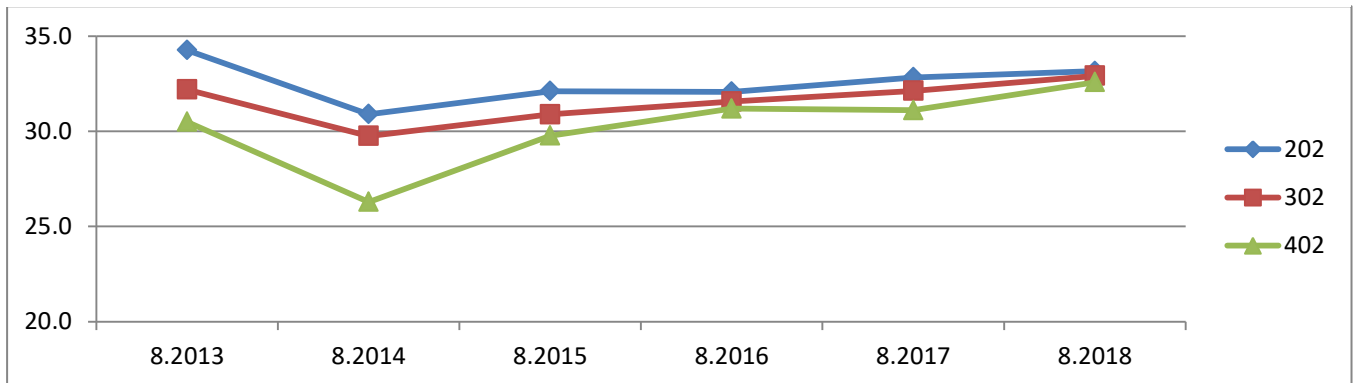
Διάγραμμα 4.87: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 8

ΟΜΑΔΕΣ	ΕΥΘΕΙΕΣ ΤΑΣΗΣ	ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
201	$y = 0.0624 * x + 34.324$	34.5	$\pm 1.23$
202	$y = 0.0067 * x + 32.526$	32.5	$\pm 1.14$
301	$y = 0.44 * x + 31.72$	33.3	$\pm 1.45$
302	$y = 0.325 * x + 30.431$	31.6	$\pm 1.12$
401	$y = 0.7646 * x + 28.938$	31.6	$\pm 2.02$
402	$y = 0.7512 * x + 27.605$	30.2	$\pm 2.14$

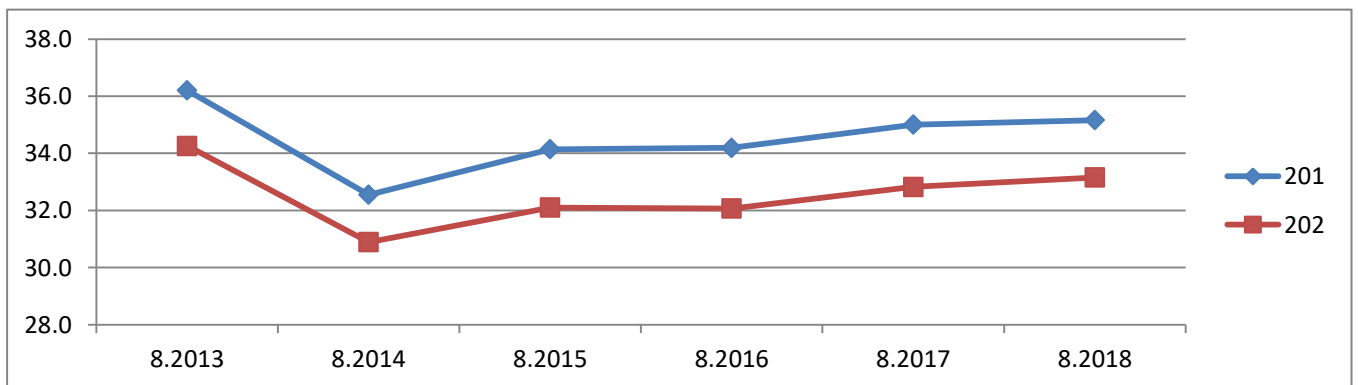
Πίνακας 4.14: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις θερμοκρασιών εδάφους Αυγούστου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 8



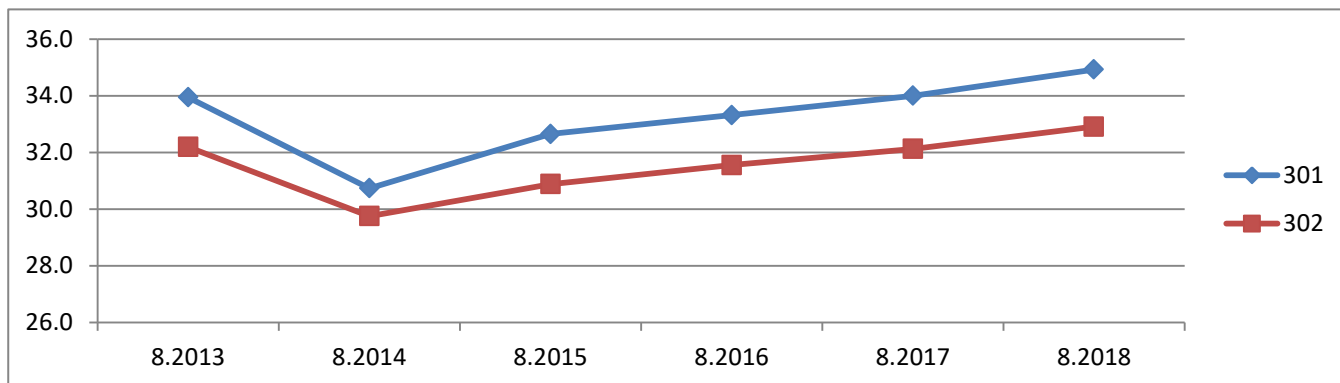
Διάγραμμα 4.88: Θερμοκρασίες εδάφους Αυγούστου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8



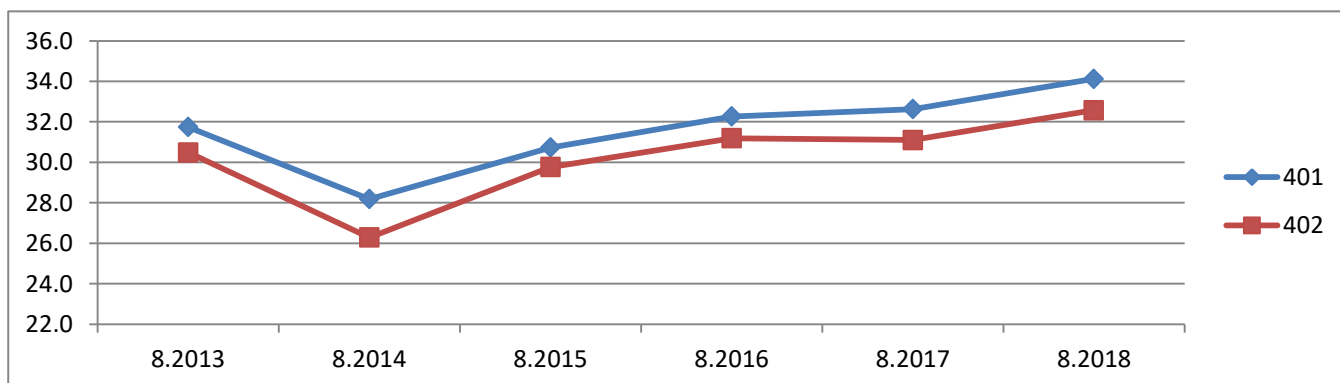
Διάγραμμα 4.89: Θερμοκρασίες εδάφους Αυγούστου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8



Διάγραμμα 4.90: Θερμοκρασίες εδάφους Αυγούστου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 8



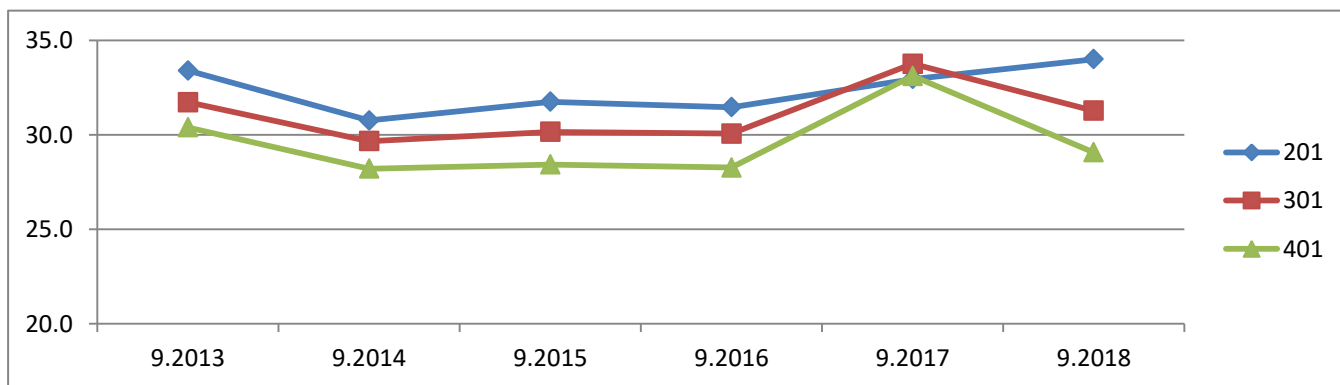
Διάγραμμα 4.91: Θερμοκρασίες εδάφους Αύγουστου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 8



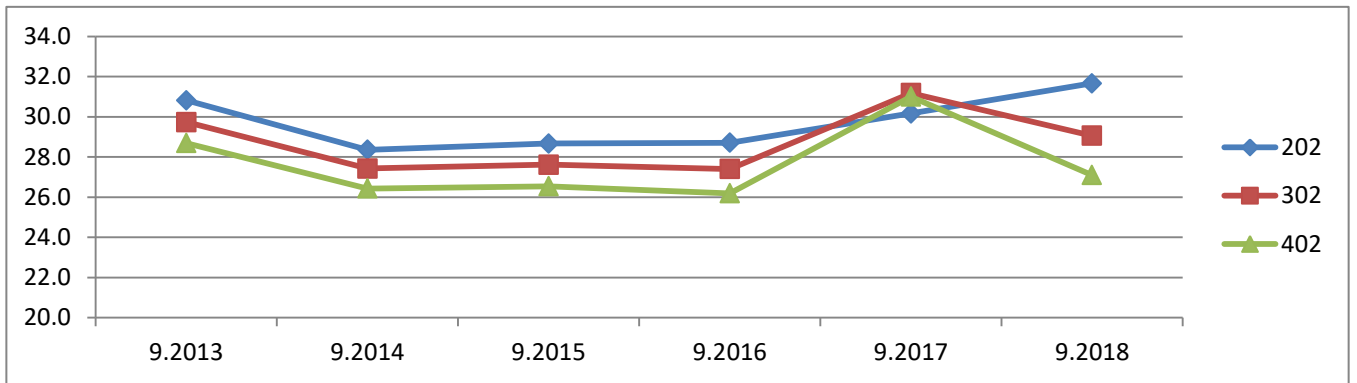
Διάγραμμα 4.92: Θερμοκρασίες εδάφους Αύγουστου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 8

ΟΜΑΔΕΣ	ΕΥΘΕΙΕΣ ΤΑΣΗΣ	ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
201	$y = 0.2669 * x + 31.447$	32.4	$\pm 1.26$
202	$y = 0.2762 * x + 28.763$	29.7	$\pm 1.36$
301	$y = 0.2835 * x + 30.109$	31.1	$\pm 1.52$
302	$y = 0.219 * x + 27.967$	28.7	$\pm 1.54$
401	$y = 0.7646 * x + 28.938$	29.6	$\pm 1.91$
402	$y = 0.7512 * x + 27.605$	27.7	$\pm 1.87$

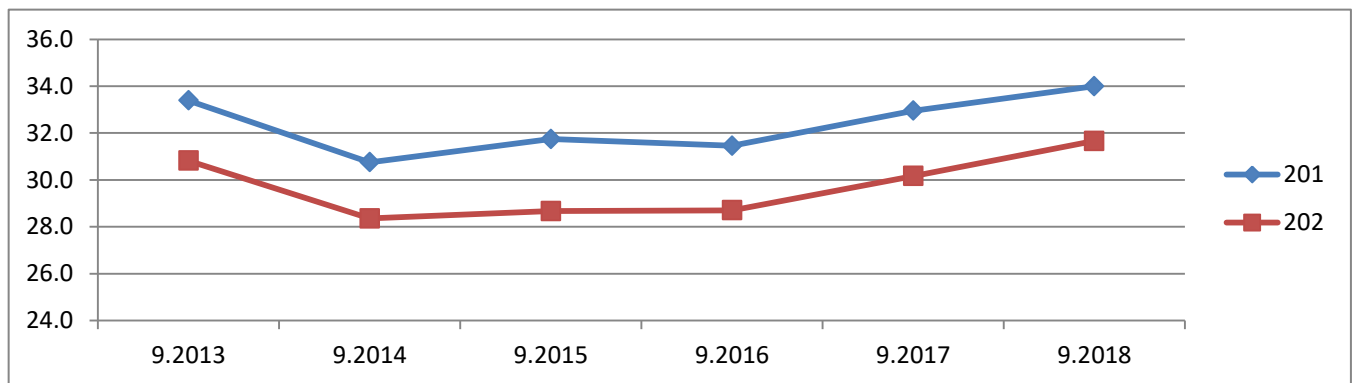
Πίνακας 4.15: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις θερμοκρασιών εδάφους Σεπτεμβρίου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 8



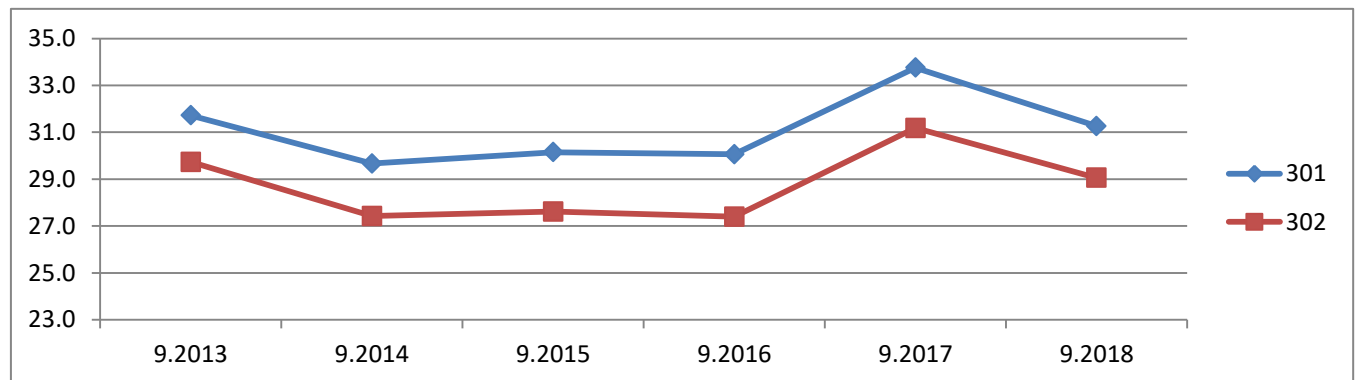
Διάγραμμα 4.93: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8



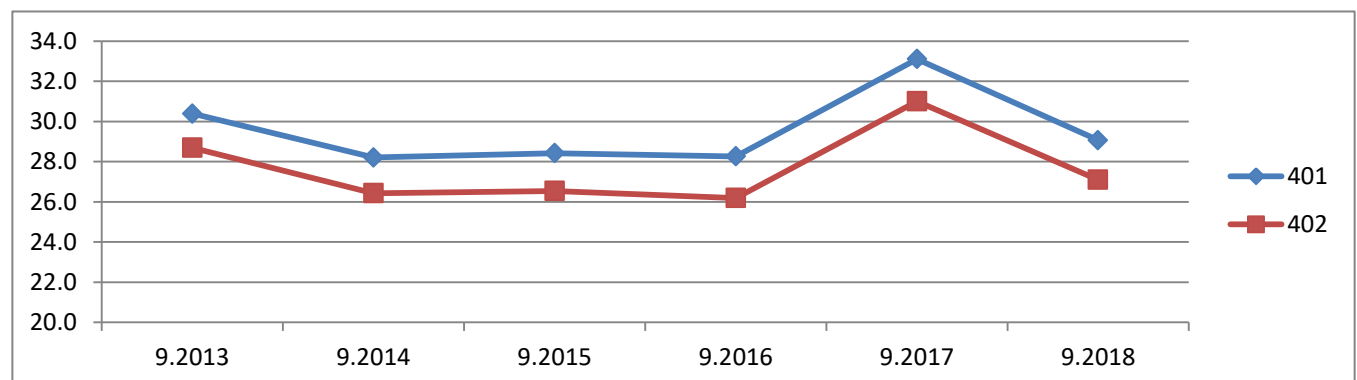
Διάγραμμα 4.94: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8



Διάγραμμα 4.95: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 8



Διάγραμμα 4.96: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 8



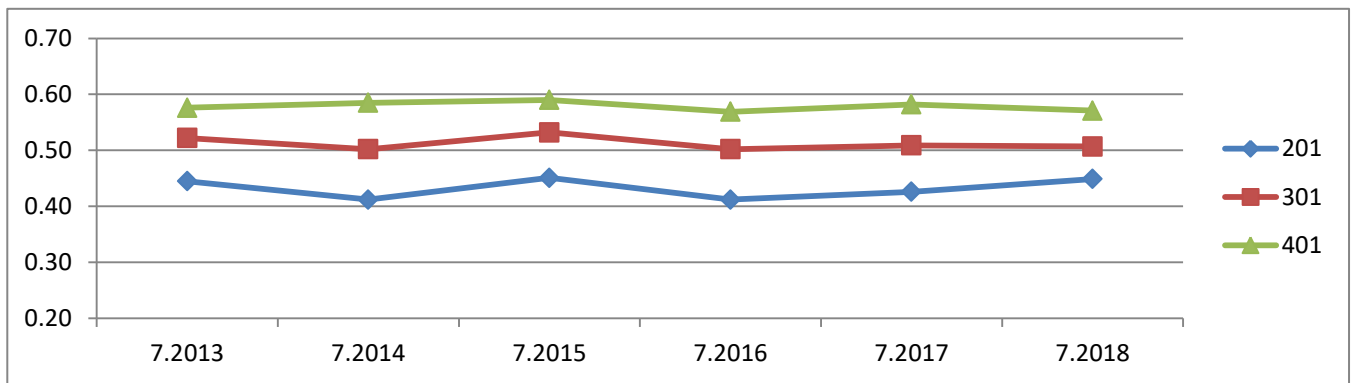
Διάγραμμα 4.97: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 8

Από το 2013 από το 2018 από τους πίνακες 4.16 έως 4.18 βλέπουμε ότι και στους τρεις μήνες ο μεγαλύτερος μέσος όρος των δεικτών NDVI συναντάται σε υποπεριοχές στο δάσος της Πάφου μεγάλου υψομέτρου και βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού, ενώ ο μικρότερος σε υποπεριοχές μικρού υψομέτρου και νότιου ή /και ανατολικού προσανατολισμού. Παράλληλα, και στους τρεις μήνες αυτές οι τιμές του δείκτη NDVI σε υποπεριοχές χαμηλού και μεσαίου υψομέτρου αλλάζοντας την ομάδα προσανατολισμού μπορεί να αλλάξουν έως κατά 0.07 της μονάδας, αλλά σε υψηλά υψόμετρα μέχρι κατά 0.02 της μονάδας. Σε κάθε περίπτωση από αυτές, υπερτερούν αριθμητικά στην τιμή του NDVI οι υποπεριοχές με βόρειο ή/και δυτικό προσανατολισμό. Επίσης, και στους τρεις μήνες αν σε υποπεριοχές ίδιας ομάδας προσανατολισμού μεταβληθεί το υψόμετρο από ομάδα 200 προς 300, ο δείκτης NDVI παρουσιάζει αύξηση μέχρι της τάξης του 0.1 της μονάδας, αλλά από την 300 προς την 400 δεν υπάρχει τόσο μεγάλη διαφορά μεταξύ τους. Όσον αφορά τις τυπικές αποκλίσεις ανά μήνα είναι όλες σχεδόν ίσες εκτός από την υποπεριοχή 402 του Αυγούστου.

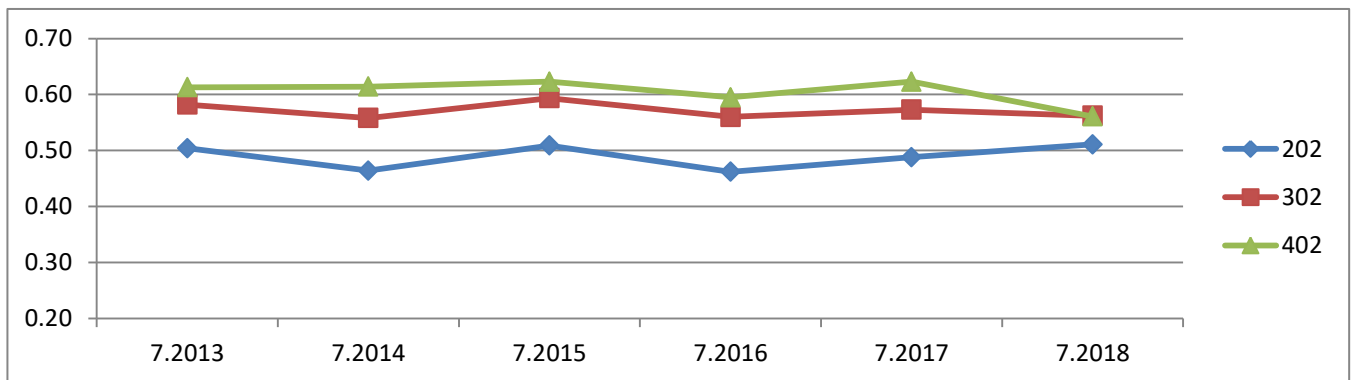
Όσον αφορά κλίσεις των ευθειών τάσης, τον Ιουλίου αυτές στις υποπεριοχές 201 και 202 είναι θετικές, αλλά στις υπόλοιπες υποπεριοχές είναι αρνητικές με την υποπεριοχή 402 να είναι μικρότερη από όλες. Τον Αύγουστο οι κλίσεις είναι επίσης θετικές και σχεδόν ίσες μεταξύ τους, με εξαίρεση αυτή στην υποπεριοχή 401, που είναι μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες. Τέλος, με βάση τις κλίσεις στον Σεπτέμβριο φαίνεται ότι η τάση μεν είναι αυξητική εκτός από την υποπεριοχή 302, αλλά ο ρυθμός της είναι μικρός έως και μηδαμινός ανεξαρτήτως προσανατολισμού και υψομέτρου, κάτι που δεν ισχύει τόσο τους δύο προηγούμενους μήνες.

ΟΜΑΔΕΣ	ΕΥΘΕΙΕΣ ΤΑΣΗΣ	ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
201	$y = 0.0007 * x + 0.4302$	0.43	$\pm 0.018$
202	$y = 0.0017 * x + 0.4837$	0.49	$\pm 0.022$
301	$y = -0.0024 * x + 0.5207$	0.51	$\pm 0.012$
302	$y = -0.0025 * x + 0.5803$	0.57	$\pm 0.014$
401	$y = -0.0016 * x + 0.5843$	0.58	$\pm 0.008$
402	$y = -0.0075 * x + 0.6309$	0.60	$\pm 0.024$

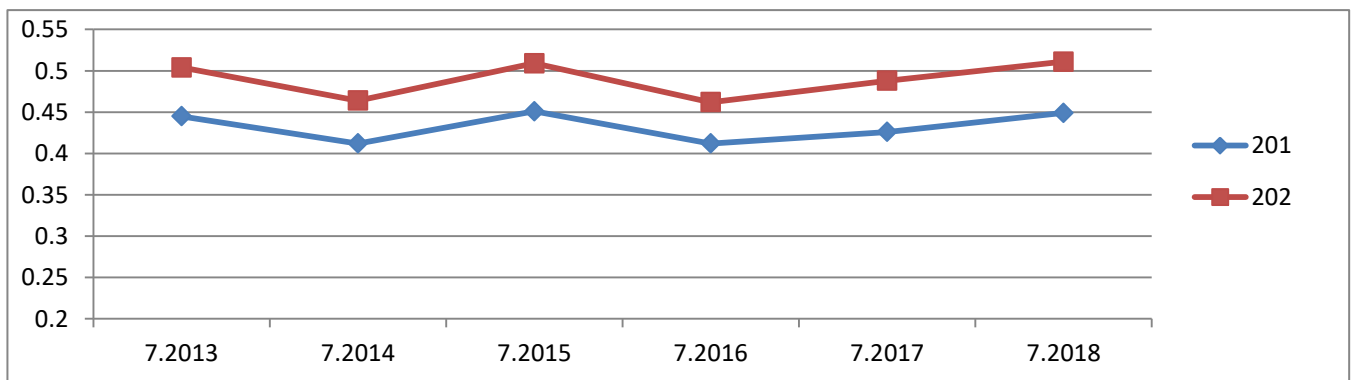
Πίνακας 4.16: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις δεικτών NDVI Ιουλίου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 8



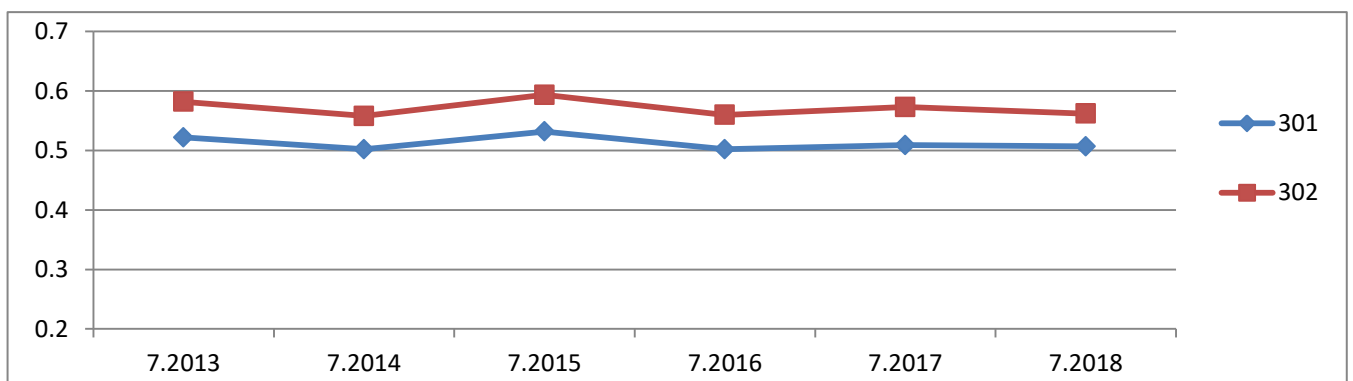
Διάγραμμα 4.98: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8



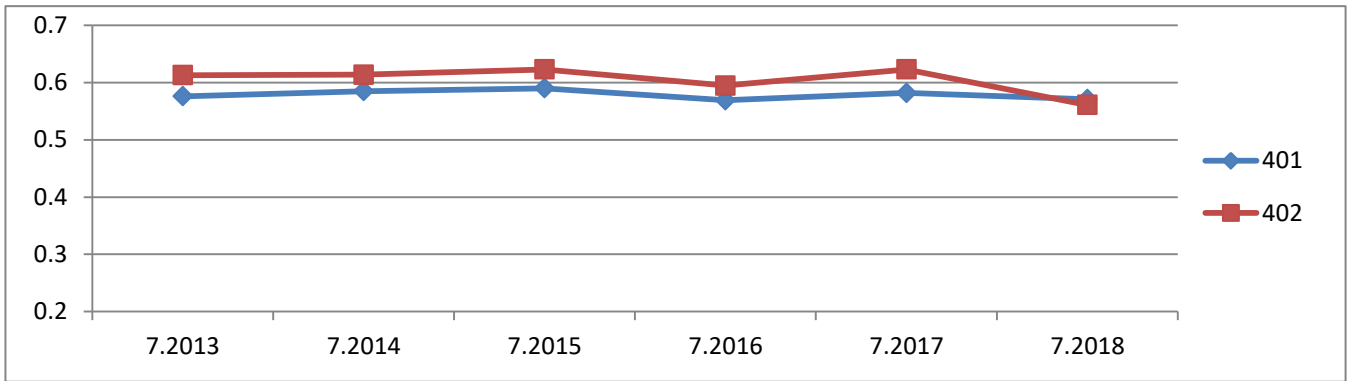
Διάγραμμα 4.99: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8



Διάγραμμα 4.100: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 8



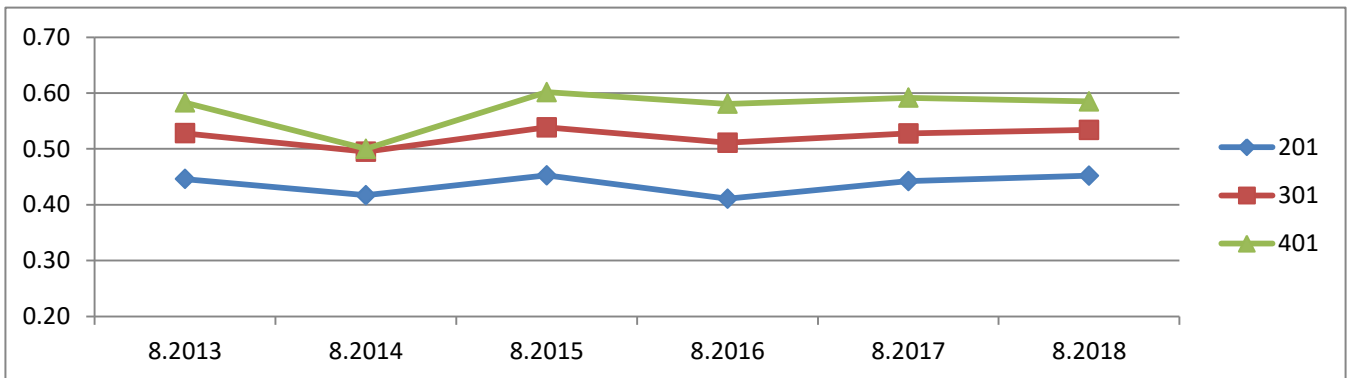
Διάγραμμα 4.101: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 8



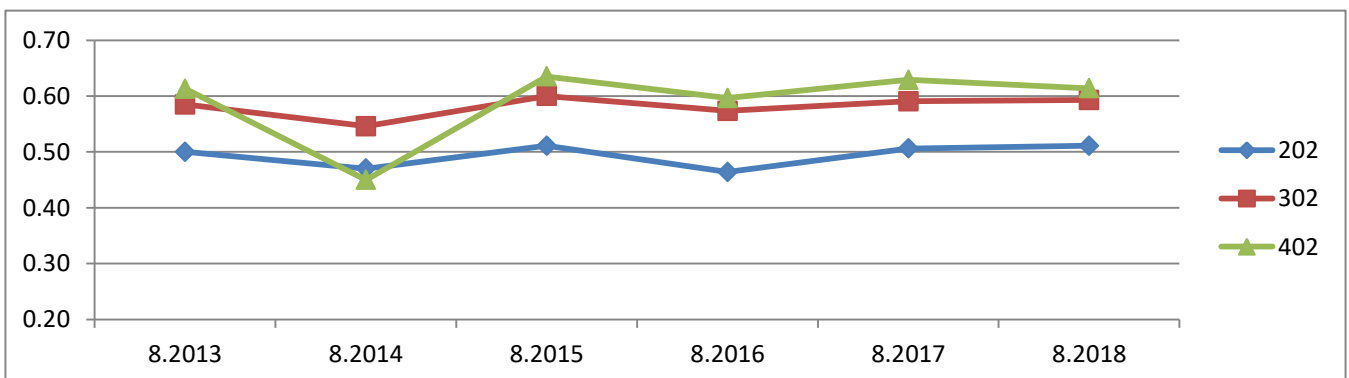
Διάγραμμα 4.102: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 8

ΟΜΑΔΕΣ	ΕΥΘΕΙΕΣ ΤΑΣΗΣ	ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
201	$y = 0.0018 * x + 0.4304$	0.44	$\pm 0.018$
202	$y = 0.0033 * x + 0.4821$	0.49	$\pm 0.021$
301	$y = 0.0029 * x + 0.5123$	0.52	$\pm 0.016$
302	$y = 0.0042 * x + 0.5666$	0.58	$\pm 0.019$
401	$y = 0.0075 * x + 0.5472$	0.57	$\pm 0.037$
402	$y = 0.0144 * x + 0.5392$	0.59	$\pm 0.070$

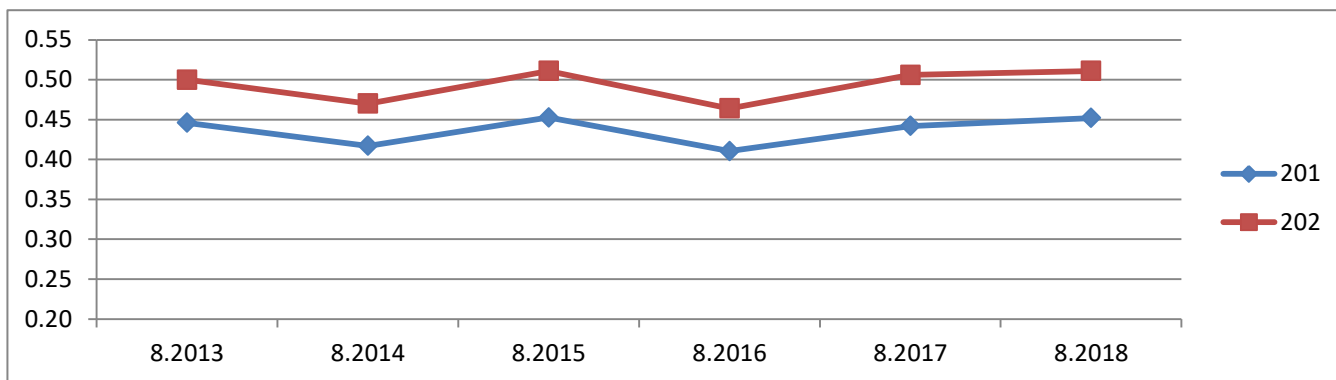
Πίνακας 4.17: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις δεικτών NDVI Αυγούστου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 8



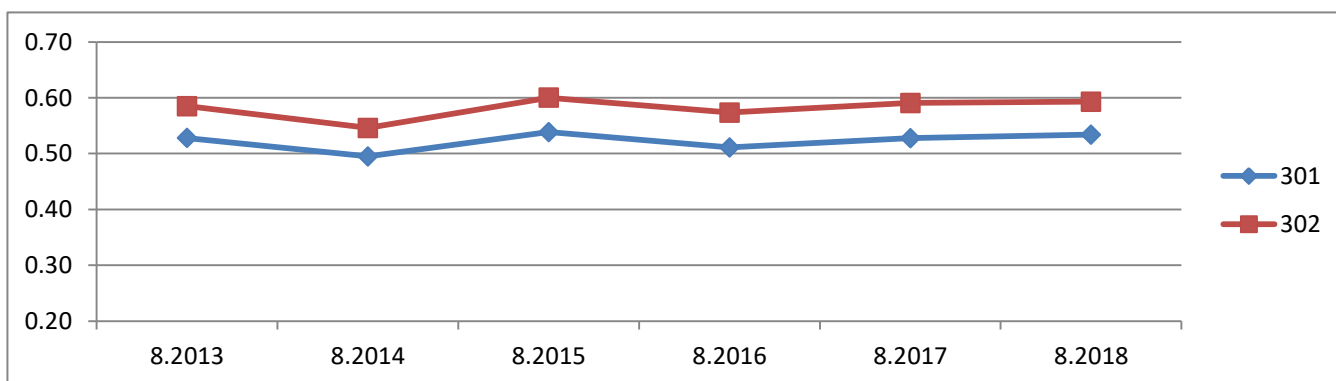
Διάγραμμα 4.103: Δείκτες NDVI Αυγούστου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8



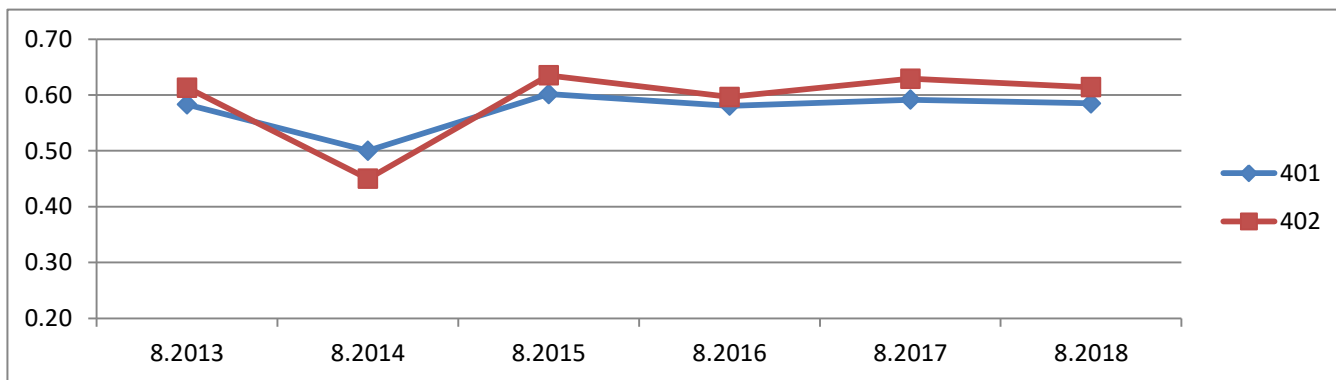
Διάγραμμα 4.104: Δείκτες NDVI Αυγούστου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8



Διάγραμμα 4.105: Δείκτες NDVI Αυγούστου υπο περιοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 8



Διάγραμμα 4.106: Δείκτες NDVI Αυγούστου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 8

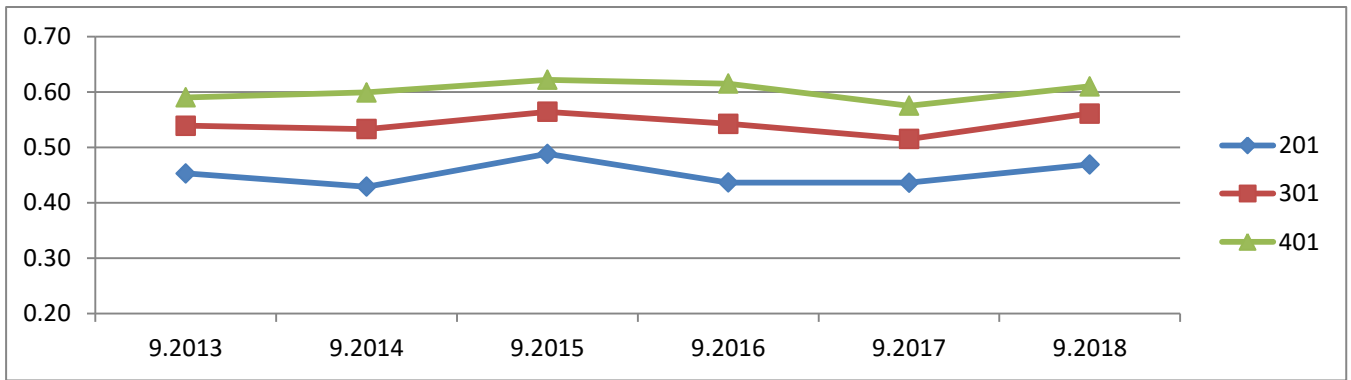


Διάγραμμα 4.107: Δείκτες NDVI Αυγούστου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 8

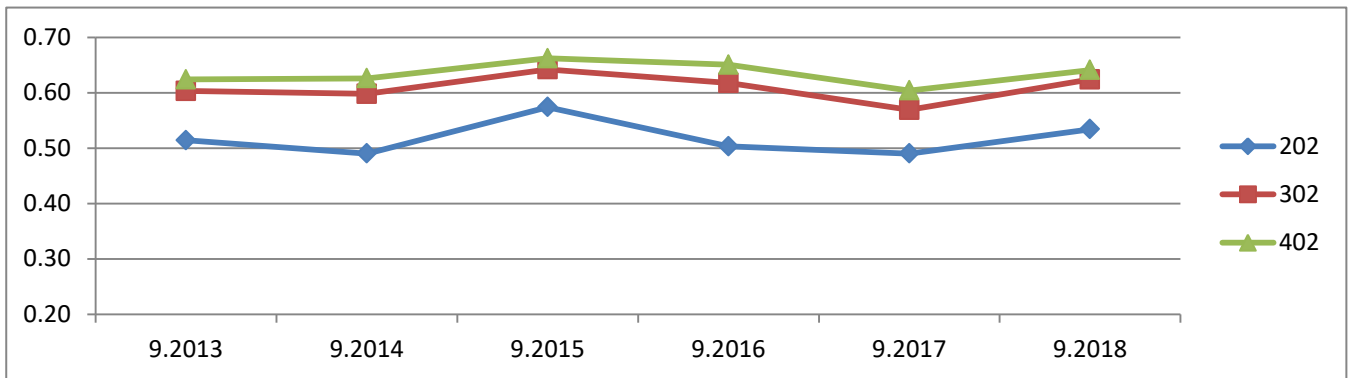
ΟΜΑΔΕΣ	ΕΥΘΕΙΕΣ ΤΑΣΗΣ	ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
201	$y = 0.0014 * x + 0.447$	0.45	$\pm 0.023$
202	$y = 0.0008 * x + 0.5146$	0.52	$\pm 0.032$
301	$y = 0.001 * x + 0.539$	0.54	$\pm 0.018$
302	$y = -0.0002 * x + 0.6096$	0.61	$\pm 0.025$
401	$y = 0.0006 * x + 0.5997$	0.60	$\pm 0.017$
402	$y = 0.0002 * x + 0.6338$	0.63	$\pm 0.021$

Πίνακας 4.18: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις δεικτών NDVI Σεπτεμβρίου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 8

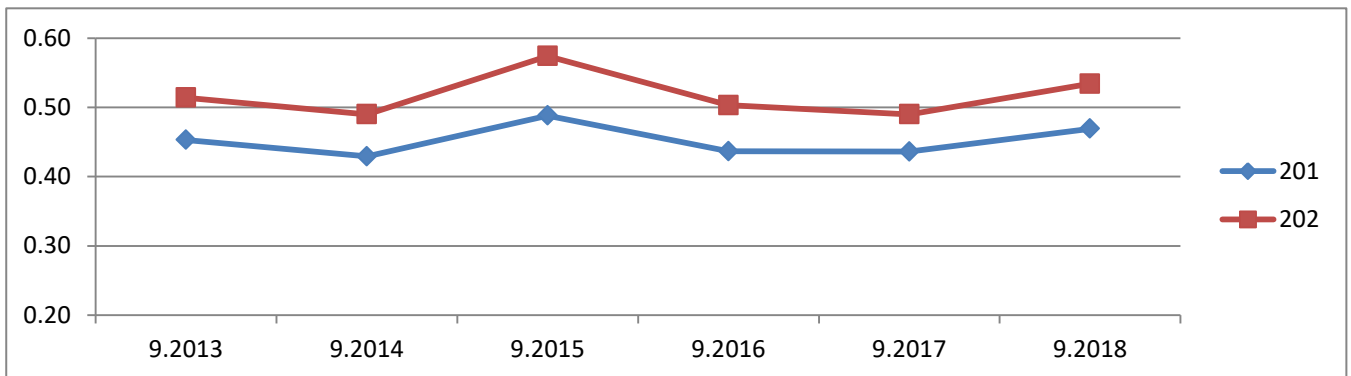




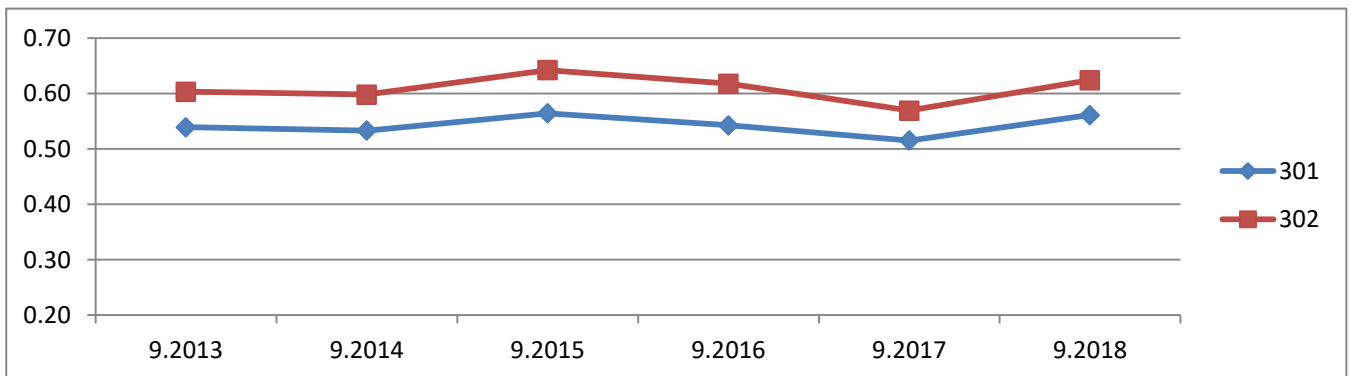
Διάγραμμα 4.108: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8



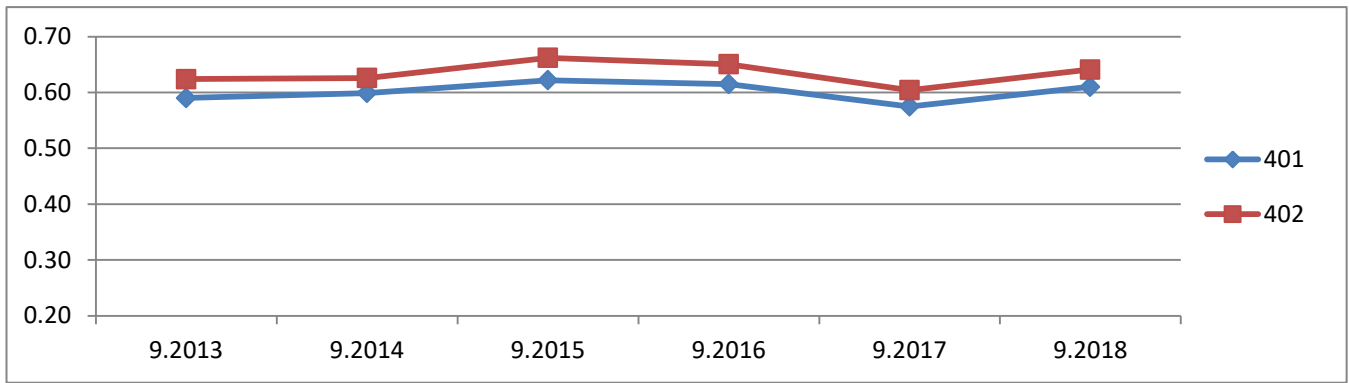
Διάγραμμα 4.109: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8



Διάγραμμα 4.110: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 8



Διάγραμμα 4.111: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 8



Διάγραμμα 4.112: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρων από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 8

#### 4.3.4 Εφαρμογή αποσύνθεσης χρονοσειρών

Εφαρμόσαμε τη μέθοδο της κλασικής αποσύνθεσης στα δεδομένα των τεσσάρων χρονοσειρών που διαμορφώθηκαν στην παράγραφο 4.3.2. Από την διαγραμματική τους αναπαράσταση διαπιστώθηκε ότι οι εποχικές διακυμάνσεις δεν είναι ανάλογες με το πέρασμα του χρόνου, οπότε το κατάλληλο μοντέλο και τις τέσσερις περιπτώσεις ήταν το προσθετικό.

Με βάση την παράγραφο 1.3.2 και σχετικά με το πρώτο βήμα η συνδυαστική συνιστώσα της τάσης και του κύκλου προσδιορίστηκε με υπολογισμό κεντρικού κινητού μέσου όρου  $2 \times 12$  λόγω της μηνιαίας συλλογής δεδομένων και επειδή το μήκος εποχικότητας είναι ζυγός αριθμός. Το μέγεθος αυτό υπολογίζεται για δεδομένη χρονική στιγμή  $t$ , όταν όσα στοιχεία εμπλέκονται στην παρακάτω πράξη υπάρχουν:

$$KKMO(2 \times 12)_t =$$

$$\frac{\left\{ \frac{(x_{t-6} + x_{t-5} + x_{t-4} + x_{t-3} + x_{t-2} + x_{t-1} + x_t + x_{t+1} + x_{t+2} + x_{t+3} + x_{t+4} + x_{t+5})}{12} \right\} + \left\{ \frac{(x_{t-5} + x_{t-4} + x_{t-3} + x_{t-2} + x_{t-1} + x_t + x_{t+1} + x_{t+2} + x_{t+3} + x_{t+4} + x_{t+5} + x_{t+6})}{12} \right\}}{2}$$

$$\Rightarrow KKMO(2 \times 12)_t = T_t + C_t \text{ (εξίσωση 4.14)}$$

Επιπλέον, αναφορικά με το βήμα 3, εφόσον έχουμε προσθετικό μοντέλο με μηνιαία δεδομένα οι δώδεκα τιμές δεικτών εποχικότητας, στις οποίες καταλήξαμε από τους μέσους όρους ανά μήνα, κανονικοποιούνται για να εξαλείψουμε την τυχαιότητα στις διαφορές εποχικότητας έτσι ώστε να ισχύει η παρακάτω συνθήκη:

$$\sum_{i=1}^{12} \text{μέσος όρος δεικτών εποχικότητας}_i = 0 \text{ (εξίσωση 4.15)}$$

Αρα, προκύπτουν οι δώδεκα απαλλαγμένες από τυχαιότητα συνιστώσες εποχικότητας η κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί σε κάθε μήνα και επαναλαμβάνονται για όλα τα έτη της χρονοσειράς.

Τέλος, όσον αφορά το βήμα 7, επειδή τα δεδομένα μας αντιστοιχούσαν σε λίγα έτη καταλήξαμε στο ότι η συνιστώσα του κύκλου επιδρούσε ελάχιστα στις τιμές των

χρονοσειρών που μελετήσαμε σε αυτήν την εργασία με αποτέλεσμα να μην χρειαστεί να την υπολογίσουμε.

#### 4.3.5 Εφαρμογή μεθοδολογίας Box-Jenkins

Η διαδικασία της εύρεσης μοντέλου πρόβλεψης πραγματοποιήθηκε μόνο στις χρονοσειρές των θερμοκρασιών εδάφους και του δείκτη NDVI που διαμορφώθηκαν με δεδομένα από τις εικόνες του Landsat 8. Αποφασίστηκε να ελέγξουμε κατά πόσο η μέθοδος Box-Jenkins εφαρμόζεται δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα προβλέψεων, με το να προβλέψουμε τιμές θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI για επτά στιγμές μετά, δηλαδή από Απρίλιο 2018 έως Οκτώβριο 2018. Στην πραγματικότητα όμως, οι τιμές από τον Ιούλιο 2018 έως τον Οκτώβριο 2018 είναι γνωστές, επειδή υπήρχαν γι αυτές τις χρονικές στιγμές διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες, που παρουσιάζονται στον Π.Π.1.4 στο Παράρτημα 1. Έτσι μας δίνεται η ευκαιρία να δούμε πόσο έγκυρες ήταν οι προβλέψεις από τον Ιούλιο 2018 έως τον Οκτώβριο 2018. Η εύρεση των μοντέλων πρόβλεψης υλοποιήθηκε με αλγορίθμους στην γλώσσα προγραμματισμού R

Αρχικά εξετάστηκε αν τα δεδομένα των χρονοσειρών ήταν στάσιμα με το τεστ KPSS (Kwiatkowski et al, 1992). Τα αποτελέσματα, όπως προέκυψαν, παρουσιάζονται παρακάτω:

- Για τις θερμοκρασίες εδάφους:  
#-----Tests for stationarity-----  
kpss.test(sthermal)  
  
## KPSS Test for Level Stationarity  
## data: sthermal  
## KPSS Level = 0.052607, Truncation lag parameter = 3  
  
## result : 0.052607 < 0.146  
## no rejected null hypothesis time series is stationary  
# at the 5% significance level
- Για τους δείκτες NDVI:  
#-----Tests for stationarity-----  
kpss.test(ndvi)  
  
## KPSS Test for Level Stationarity  
## data: ndvi  
## KPSS Level = 0.0303, Truncation lag parameter = 3

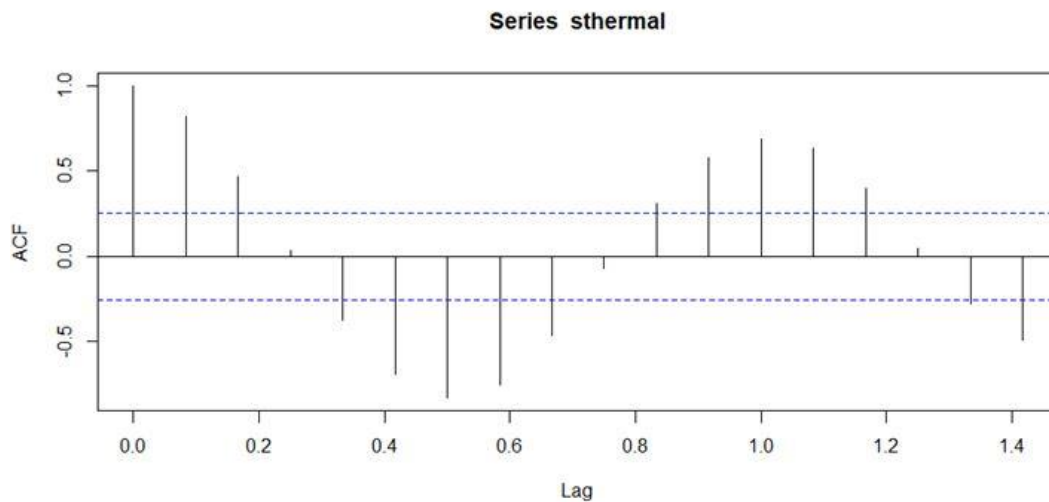
## result : 0.0303 < 0.146

## no rejected null hypothesis time series is stationary

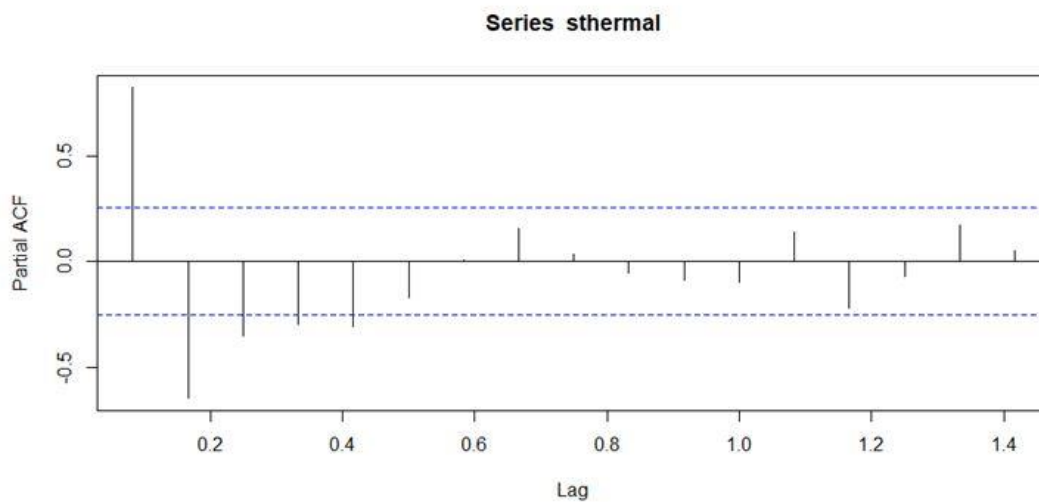
# at the 5% significance level

Για τις δύο χρονοσειρές η μηδενική υπόθεση δεν απορρίφθηκε, εφόσον για τις θερμοκρασίες εδάφους η στατιστική τιμή του τεστ (LM) ήταν 0.052607 και για τους δείκτες NDVI 0.0303 και η οριακή τιμή για επίπεδο σημαντικότητας 5% είναι 0.146. Αφού η οριακή τιμή υπερτερεί κατά πολύ των στατιστικών τιμών, τότε οι χρονοσειρές μπορεί να θεωρηθούν ότι παρουσιάζουν στάσιμη συμπεριφορά.

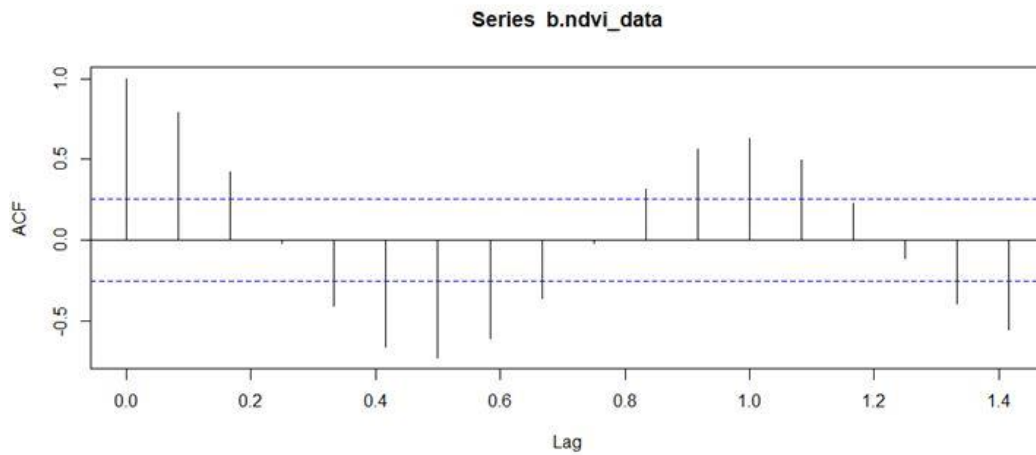
Στην συνέχεια, δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα αυτοσυσχετίσεων ACF και μερικών αυτοσυσχετίσεων PACF των θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω.



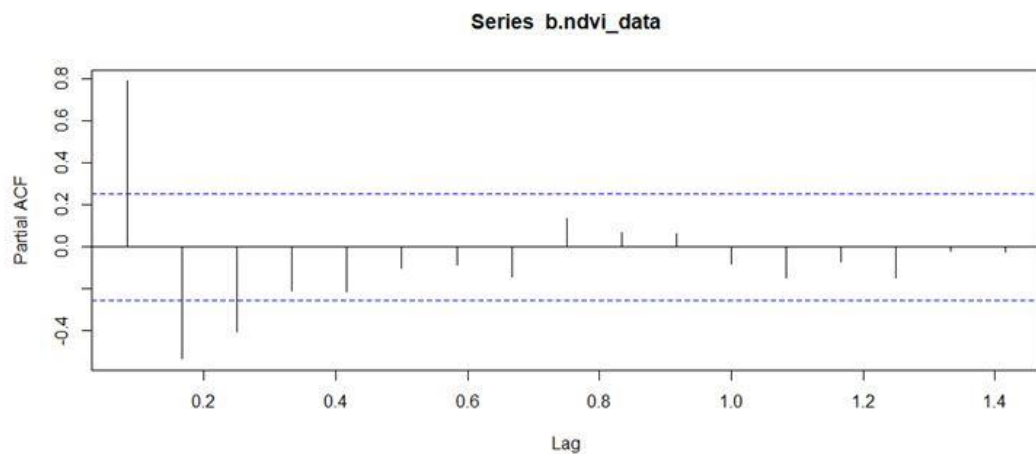
Διάγραμμα 4.113: Διάγραμμα αυτοσυσχετίσεων ACF θερμοκρασιών εδάφους



Διάγραμμα 4.114: Διάγραμμα μερικών αυτοσυσχετίσεων PACF θερμοκρασιών εδάφους



Διάγραμμα 4.115: Διάγραμμα αυτοσυσχετίσεων ACF δεικτών βλάστησης NDVI



Διάγραμμα 4.116: Διάγραμμα μερικών αυτοσυσχετίσεων PACF δεικτών βλάστησης NDVI

Σχετικά με τις θερμοκρασίες εδάφους και παρατηρώντας τα διαγράμματα 4.113 και 4.114, είναι φανερό ότι η κάθε τιμή της χρονοσειράς επηρεάζεται από τις τέσσερις προηγούμενες της, εφόσον οι συντελεστές μερικής αυτοσυσχέτισης PACF στο διάγραμμα από την πρώτη έως την τέταρτη υστέρηση είναι στατιστικά σημαντικοί (η πρώτη στήλη του διαγράμματος παριστάνει την διακύμανση των παρατηρήσεων της χρονοσειράς, δηλαδή πρακτικά η υστέρηση είναι μηδέν, άρα δεν λαμβάνεται υπόψιν στον προσδιορισμό του αριθμού των παραμέτρων του μοντέλου). Οπότε αποφασίστηκε οι δοκιμές για να βρούμε το κατάλληλο μοντέλο να αρχίσουν με το μοντέλο ARIMA(4,0,0). Επιπλέον, παρατηρήσαμε ότι στο διάγραμμα ACF η τιμή στην υστέρηση 12 ήταν μεγάλη, συνεπώς λόγω αυτού και του ότι γενικότερα η θερμοκρασία εδάφους ως μέγεθος έχει εποχικότητα, ελέγχθηκε αν κάποιο εποχικό μοντέλο με εποχικούς συντελεστές MA θα εφαρμοζόταν ικανοποιητικά. Επίσης, παρά το γεγονός ότι η χρονοσειρά των θερμοκρασιών εδάφους είναι στάσιμη, επιλέχθηκε να ελεγχθεί αν με την πρώτη εποχική διαφορίση θα έβγαιναν καλύτερα μοντέλα. Συνεπώς,

πραγματοποιήθηκε διερεύνηση ανάμεσα σε διάφορα μοντέλα ARIMA που εφαρμόστηκαν στην χρονοσειρά αυτή στο περιβάλλον της R και ακολούθησε η αξιολόγησή τους με βάση τις αντίστοιχες τιμές AIC. Τα μοντέλα αυτά και η αξιολόγησή τους παρουσιάζονται στον πίνακα 4.19 στον οποίο αναδεικνύεται ως πιο ικανοποιητικό το  $ARIMA(4,0,2)(0,1,2)_{12}$ .

Διαδικασία ίδιας λογικής υλοποιήθηκε και στην χρονοσειρά των δεικτών NDVI παρατηρώντας τα διαγράμματα 4.115 και 4.116. Στο διάγραμμα PACF υπάρχουν σημαντικοί συντελεστές στις υστερήσεις 1 και 2, καθώς και στο διάγραμμα ACF στην υστέρηση 12 παρατηρείται πάλι μεγάλη αυτοσυσχέτιση. Στον πίνακα 4.20 παρατίθενται τα μοντέλα ARIMA που εξετάστηκαν για αυτήν την χρονοσειρά. Σε αυτά τα μοντέλα συμπεριλήφθηκαν και κάποια εποχικά μοντέλα, τα οποία δεν προσαρμόστηκαν τόσο καλά όσο κάποια μη εποχικά. Πιθανότατα αυτό συνέβη, διότι στο δάσος της Πάφου η βλάστηση απαρτίζεται κυρίως από αειθαλή φυτά, τα οποία διατηρούν τα φύλλα τους όλες τις εποχές του χρόνου και ταυτόχρονα περιέχει αρκετές περιοχές που έχουν πιο αραιή βλάστηση σε σχέση με άλλες. Συνεπώς, λόγω των παραπάνω και του γεγονότος ότι η κάθε χρονική στιγμή της χρονοσειράς περιλαμβάνει την μέση τιμή του δείκτη NDVI για όλο το δάσος, η χρονοσειρά αυτή δεν παρουσιάζει αξία λόγου εποχικότητας. Συμπερασματικά, καταλήγουμε στο ότι θα μπορούσε το  $ARIMA(2,0,3)$  το οποίο περιλαμβάνει και σταθερό όρο, να είναι ικανοποιητικό.

Μοντέλα ARIMA	AIC
ARIMA(4,0,0)	310.60
ARIMA(4,0,1)	293.85
ARIMA(4,0,2)	297.06
ARIMA(4,0,1)(1,0,0) <sub>12</sub>	294.64
ARIMA(4,0,1)(0,0,1) <sub>12</sub>	282.83
ARIMA(4,0,1)(1,1,0) <sub>12</sub>	251.08
ARIMA(4,0,2)(1,1,0) <sub>12</sub>	246.40
ARIMA(4,0,1)(0,1,1) <sub>12</sub>	244.13
ARIMA(4,0,2)(0,1,1) <sub>12</sub>	241.92
<b>ARIMA(4,0,2)(0,1,2)<sub>12</sub></b>	<b>240.40</b>
ARIMA(4,0,2)(0,1,3) <sub>12</sub>	242.33
ARIMA(4,0,2)(0,1,4) <sub>12</sub>	244.19

Πίνακας 4.19: Μοντέλα ARIMA που εφαρμόστηκαν στην χρονοσειρά των θερμοκρασιών εδάφους με τις αντίστοιχες τιμές AIC

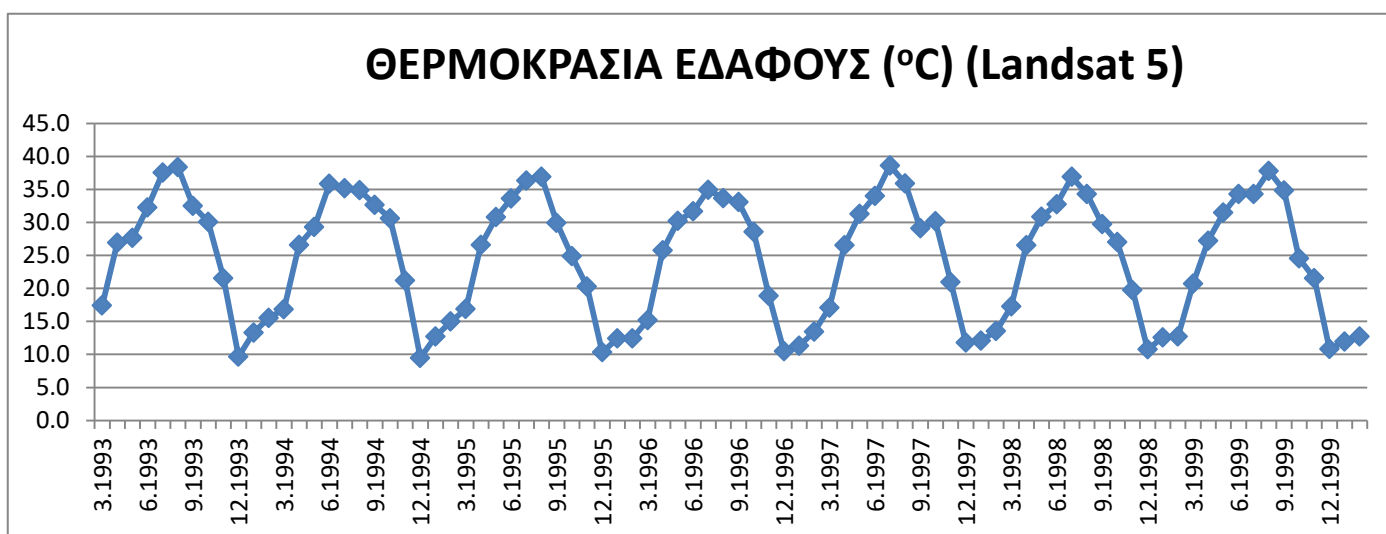
<b>Μοντέλα ARIMA</b>	<b>AIC</b>
ARIMA(2,0,0)	-274.21
ARIMA(2,0,1)	-291.88
ARIMA(2,0,2)	-295.02
<b>ARIMA(2,0,3)</b>	<b>-296.74</b>
ARIMA(2,0,4)	-289.24
ARIMA(2,0,3)(0,0,1) <sub>12</sub>	-294.79
ARIMA(2,0,3)(0,0,2) <sub>12</sub>	-275.31
ARIMA(2,0,3)(0,1,2) <sub>12</sub>	-231.10

Πίνακας 4.20: Μοντέλα ARIMA που εφαρμόστηκαν στην χρονοσειρά των δεικτών NDVI με τις αντίστοιχες τιμές AIC

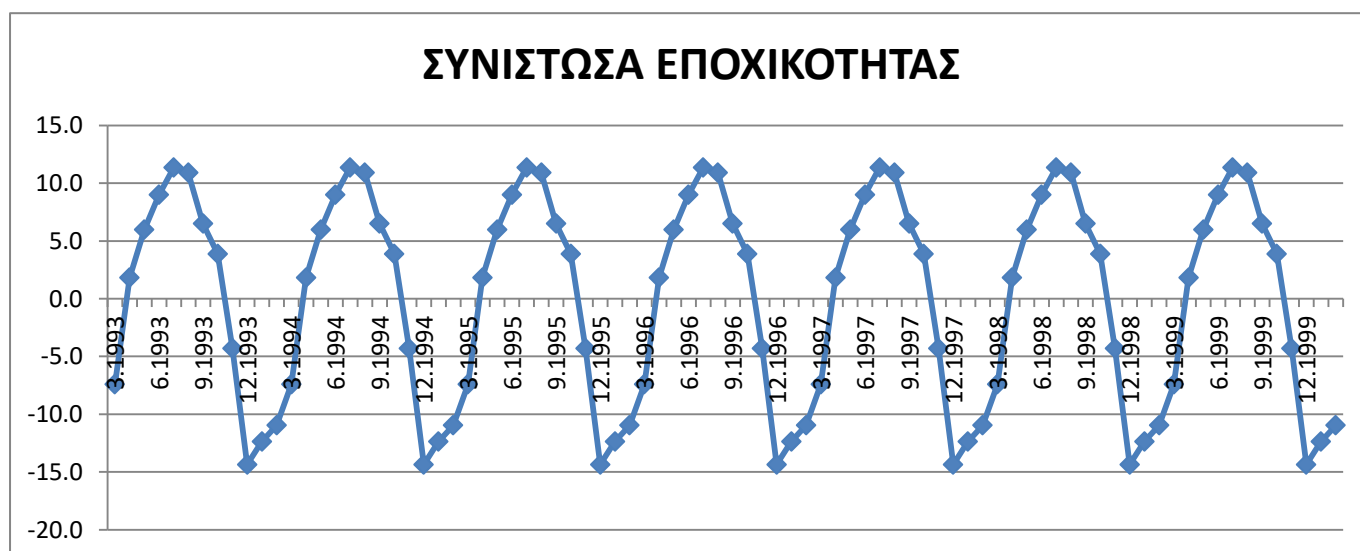
## Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα

### 5.1 Τάση και εποχικότητα θερμοκρασιών και NDVI

Αφού υλοποιήθηκε η διαδικασία της αποσύνθεσης όπως περιγράφηκε στα Κεφάλαια 1 και 4, υπολογίστηκαν οι συνιστώσες της εποχικότητας, της τάσης, και της τυχαιότητας με βάση το προσθετικό μοντέλο για κάθε χρονοσειρά της εργασίας. Στα διαγράμματα 5.2, 5.3 και 5.4 παρουσιάζονται οι τρεις αυτές συνιστώσες για την χρονοσειρά των θερμοκρασιών εδάφους κατά την χρονική περίοδο από τον Μάρτιο 1993 έως τον Φεβρουάριο 2000 (διάγραμμα 5.1).

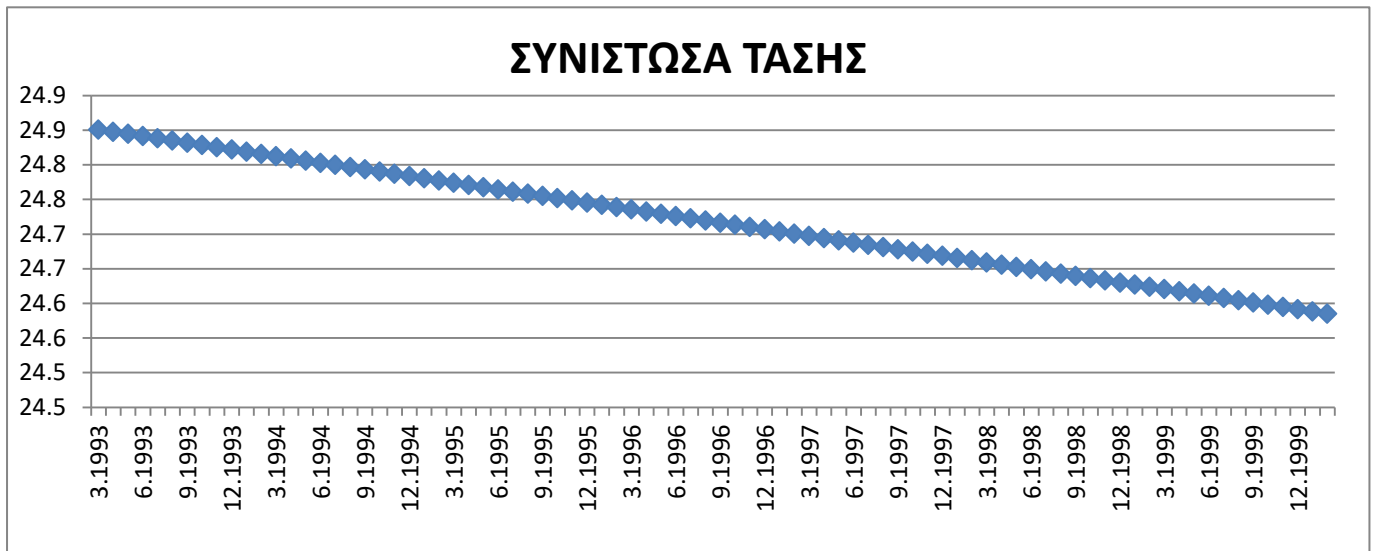


Διάγραμμα 5.1: Χρονοσειρά θερμοκρασιών εδάφους σε βαθμούς Celsius (°C) κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993 - Φεβρουαρίου 2000

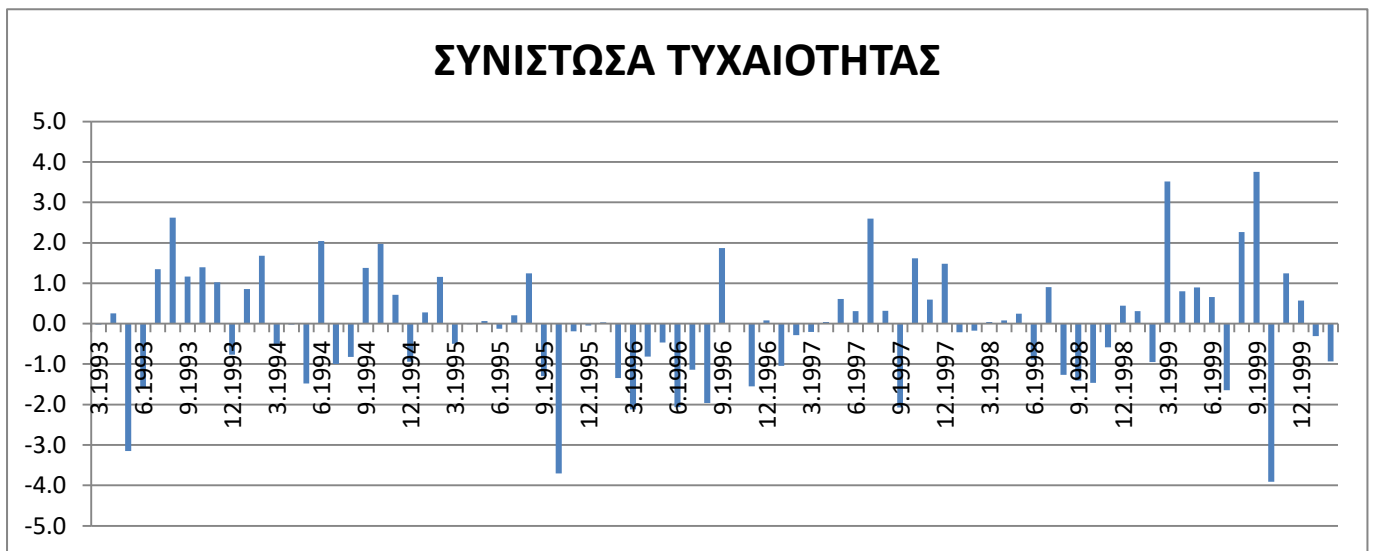


Διάγραμμα 5.2: Συνιστώσα εποχικότητας της χρονοσειράς θερμοκρασιών εδάφους κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993 - Φεβρουαρίου 2000





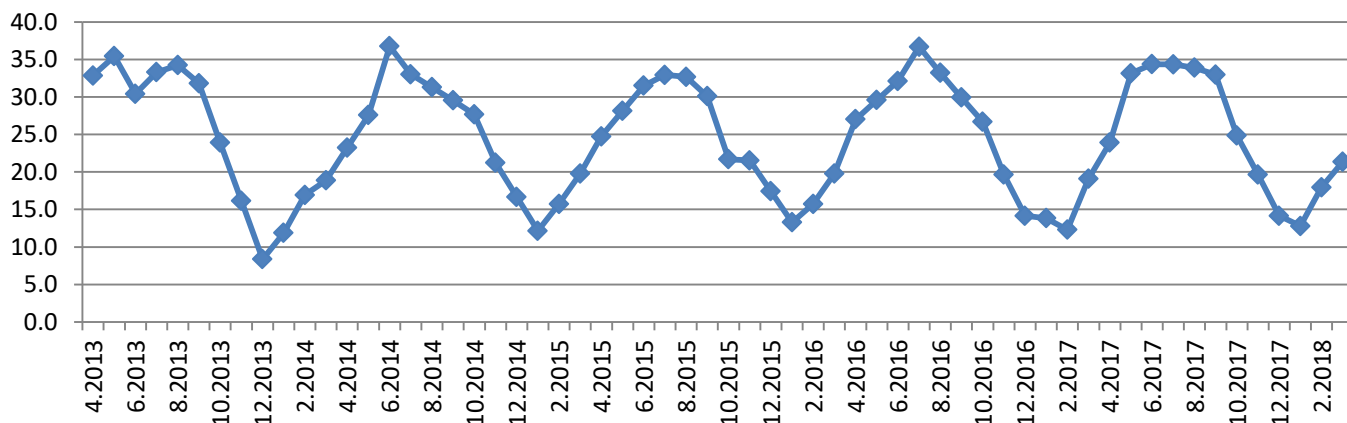
Διάγραμμα 5.3: Συνιστώσα τάσης θερμοκρασιών εδάφους κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993 - Φεβρουαρίου 2000



Διάγραμμα 5.4 : Συνιστώσα τυχαιότητας της χρονοσειράς θερμοκρασιών εδάφους κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993- Φεβρουαρίου 2000

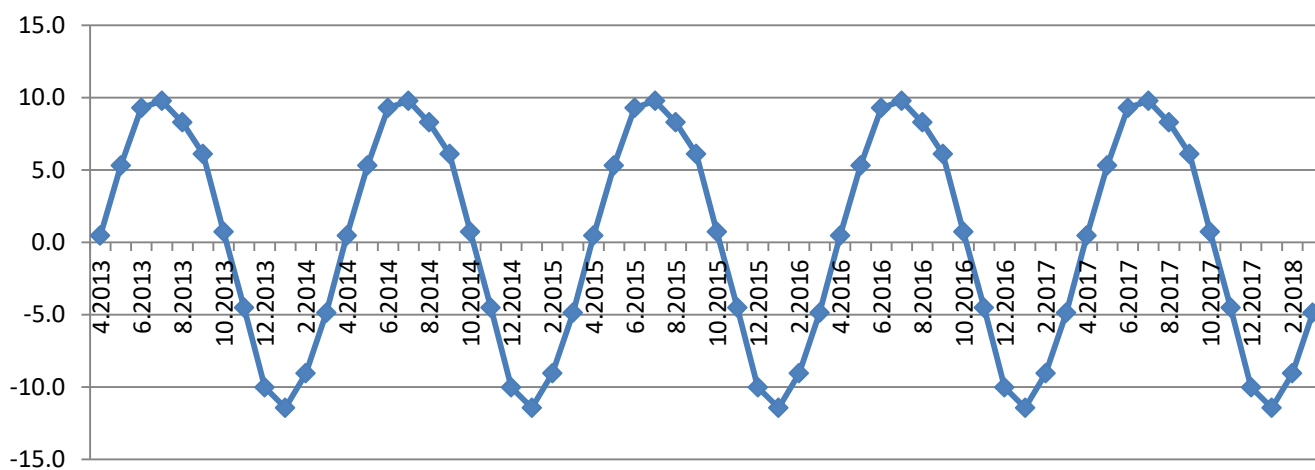
Στην συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα 5.6, 5.7 και 5.8 στα οποία αναπαριστώνται οι αντίστοιχες συνιστώσες για την χρονοσειρά θερμοκρασιών εδάφους για την χρονική περίοδο από τον Απρίλιο 2013 έως τον Μάρτιο 2018 (διάγραμμα 5.5).

## ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ (°C) (Landsat 8)



Διάγραμμα 5.5: Χρονοσειρά θερμοκρασιών εδάφους σε βαθμούς Celsius (°C) κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018

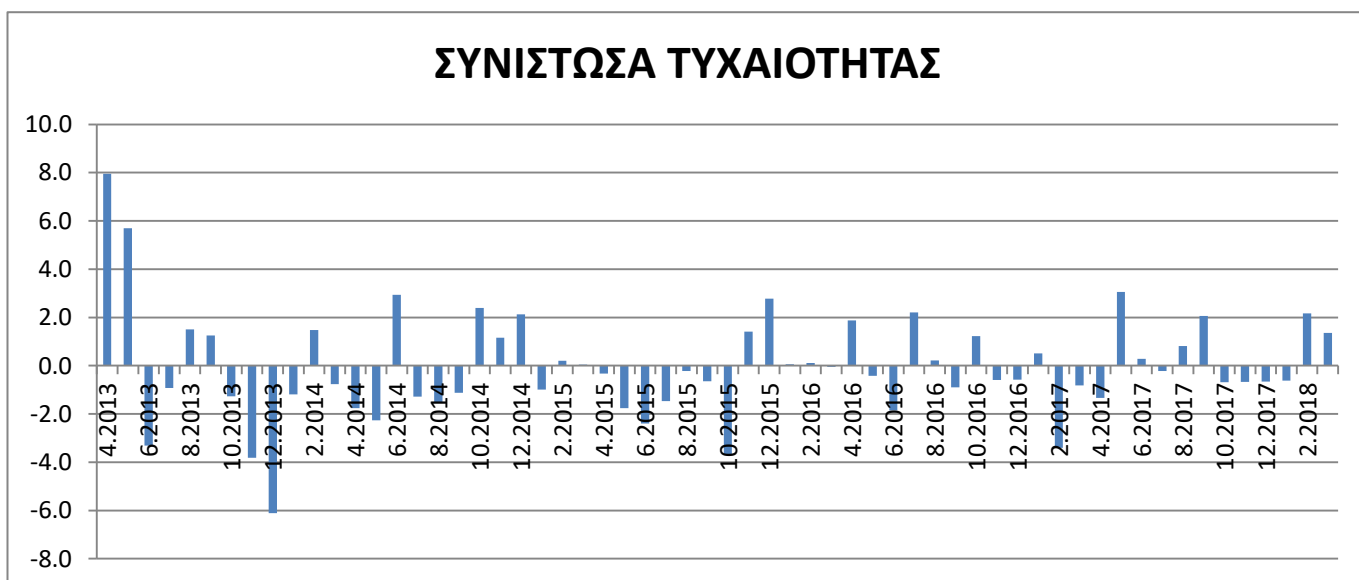
## ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΕΠΟΧΙΚΟΤΗΤΑΣ



Διάγραμμα 5.6: Συνιστώσα εποχικότητας της χρονοσειράς θερμοκρασιών εδάφους κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018



Διάγραμμα 5.7: Συνιστώσα τάσης της χρονοσειράς θερμοκρασιών εδάφους κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018



Διάγραμμα 5.8: Συνιστώσα τυχαιότητας της χρονοσειράς θερμοκρασιών εδάφους κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018

Οι συναρτήσεις των ευθειών τάσης στα διαγράμματα 5.3 και 5.7 είναι οι παρακάτω:

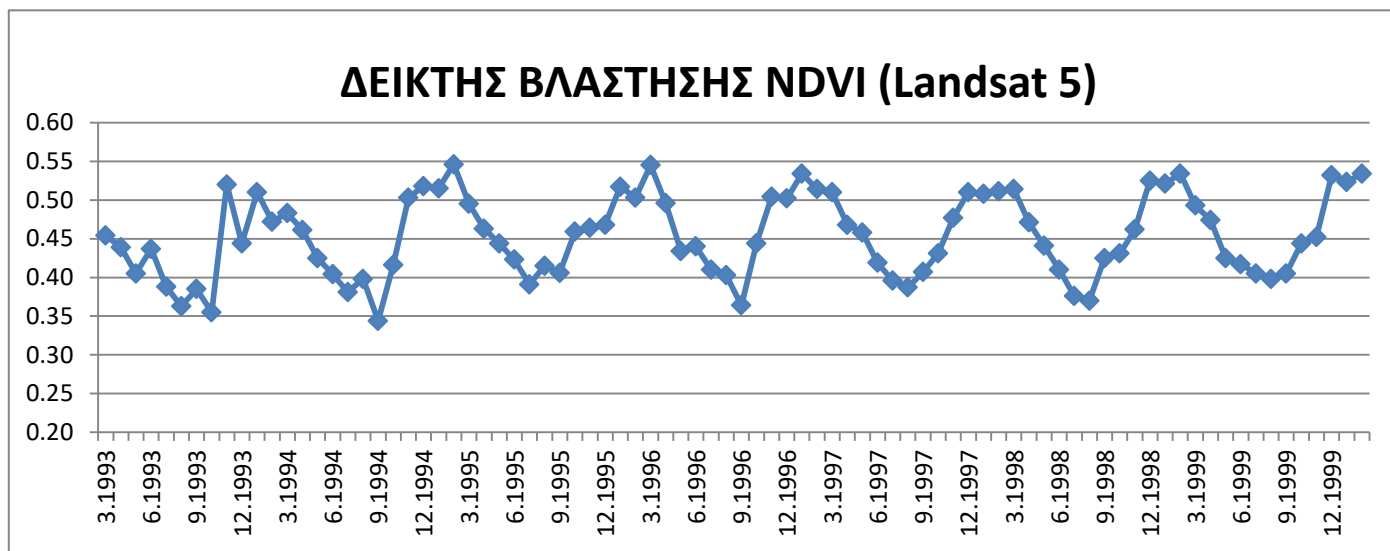
- Για την περίοδο Μάρτιο 1993- Φεβρουάριο 2000 :  $y = -0.0033 * x + 24.855$
- Για την περίοδο Απρίλιο 2013- Μάρτιο 2018 :  $y = 0.0072 * x + 24.424$

Στην πρώτη χρονική περίοδο η τάση των τιμών των θερμοκρασιών εδάφους είναι πτωτική, ενώ στην δεύτερη είναι ανοδική. Ωστόσο, λόγω των μικρών κλίσεων οι τιμές των θερμοκρασιών εδάφους δεν μεταβάλλονται σε σημαντικό βαθμό μέσα στις δύο περιόδους.

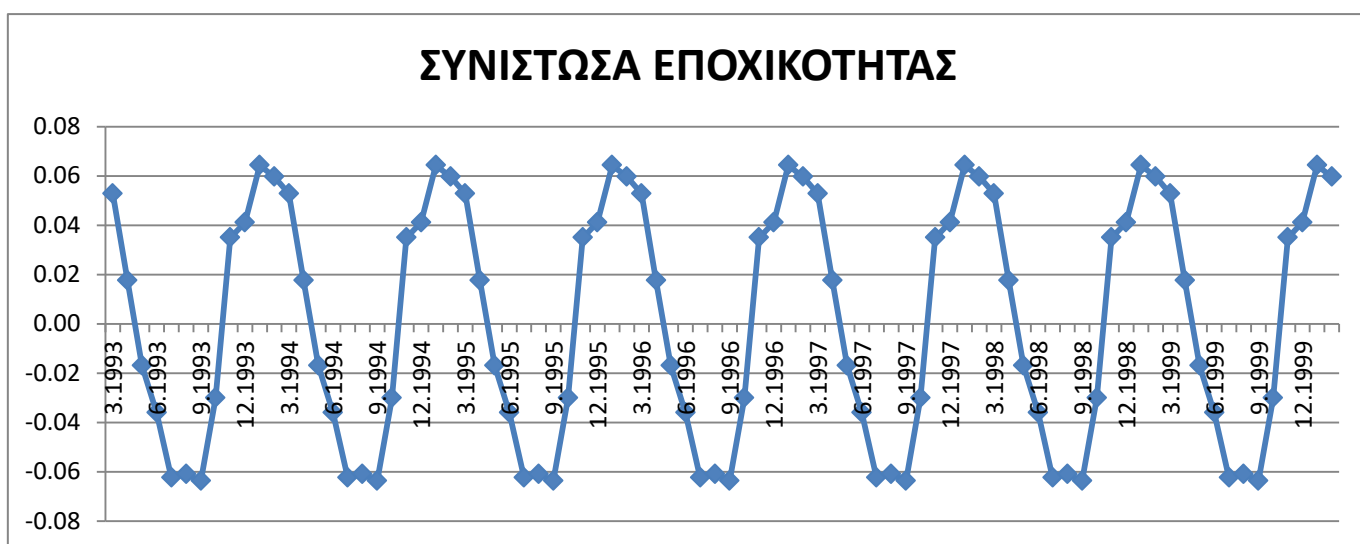
Όσον αφορά τις συνιστώσες εποχικότητας, ουσιαστικά αυτές προκαλούνται από τις αλλαγές της θερμοκρασίας που οφείλονται στην ηλιακή ακτινοβολία την οποία δέχεται η Γη και παρουσιάζει περιοδικότητα μέσα στο έτος. Κατά την πρώτη χρονική περίοδο, στο διάγραμμα

5.2 παρουσιάζεται η ημιτονοειδής παράσταση με εύρος ταλάντωσης 25 °C αλλά το πλάτος στις αρνητικές θερμοκρασίες είναι μεγαλύτερο από αυτό των θετικών. Παράλληλα, κατά την δεύτερη περίοδο το εύρος ταλάντωσης της αντίστοιχη παράστασης είναι περίπου 20 °C και το πλάτος είναι σχεδόν ομοιόμορφο για όλη την περίοδο.

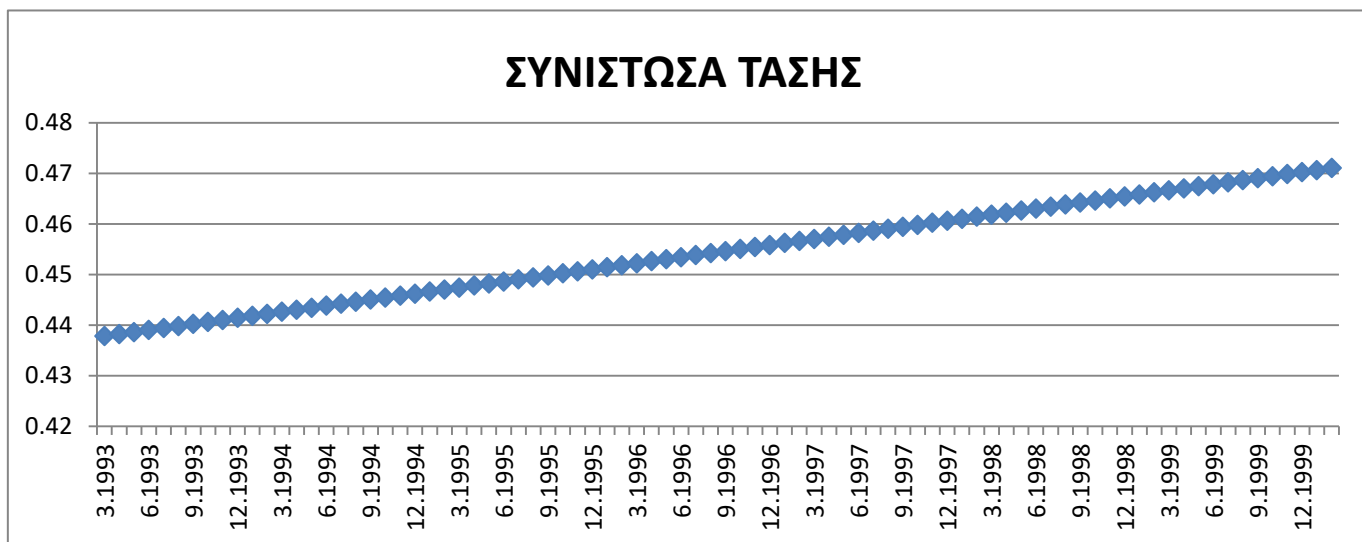
Έπειτα, στα διαγράμματα 5.10, 5.11, 5.12, 5.14, 5.15 και 5.16 παρουσιάζονται οι συνιστώσες εποχικότητας, τάσης και τυχειότητας των χρονοσειρών του δείκτη NDVI για τις δύο χρονικές περιόδους που μελετάμε (διαγράμματα 5.9 και 5.13).



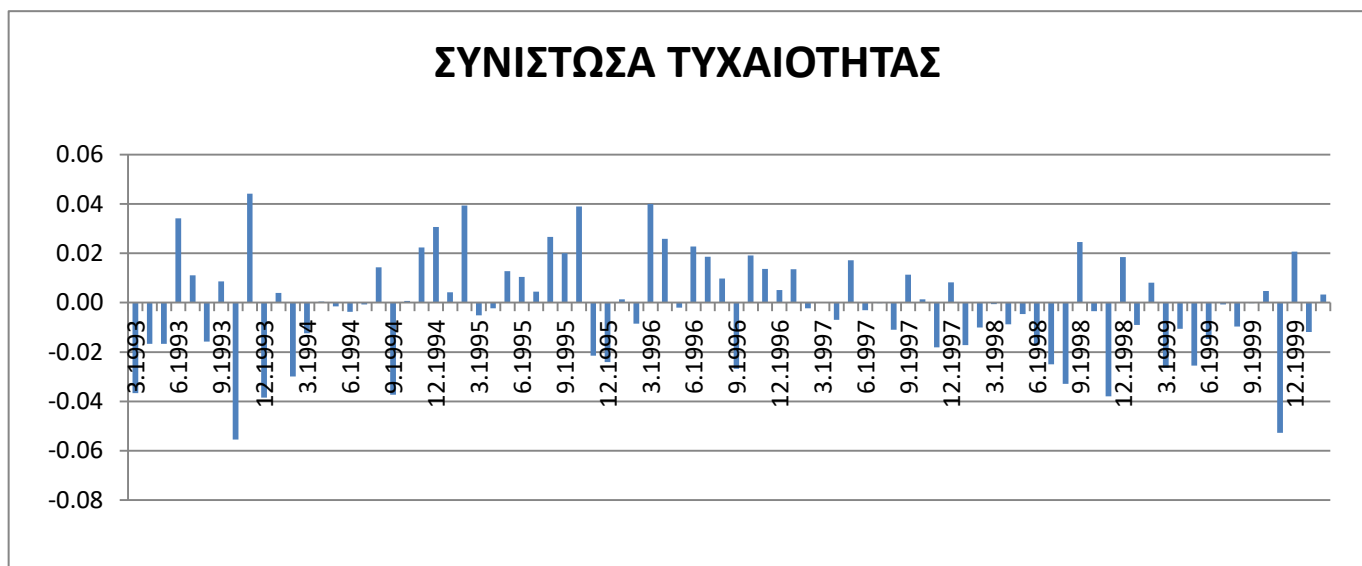
Διάγραμμα 5.9 : Χρονοσειρά δεικτών βλάστησης NDVI κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993 - Φεβρουαρίου 2000



Διάγραμμα 5.10: Συνιστώσα εποχικότητας της χρονοσειράς δείκτη NDVI κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993- Φεβρουαρίου 2000

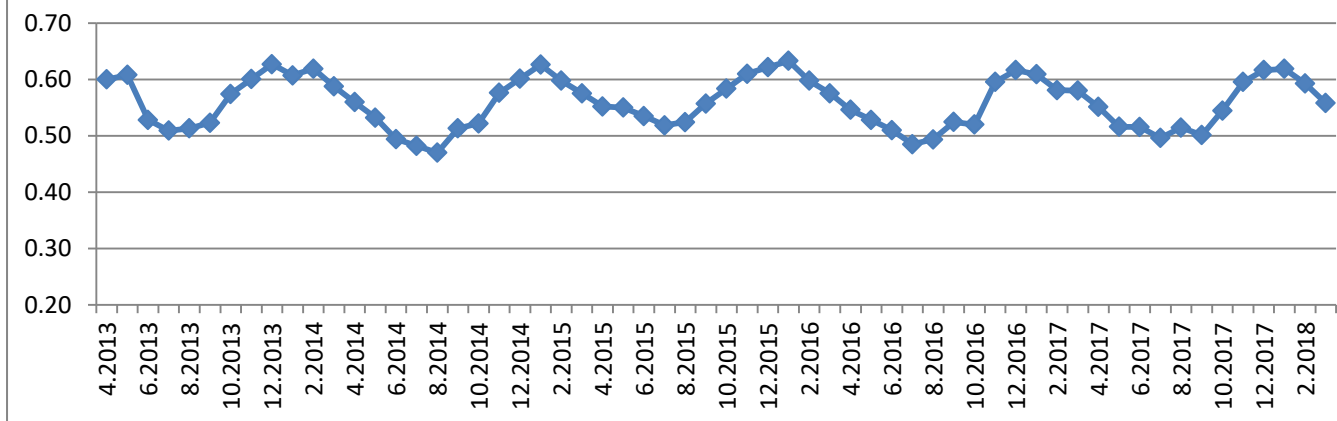


Διάγραμμα 5.11: Συνιστώσα τάσης της χρονοσειράς δείκτη NDVI κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993-Φεβρουαρίου 2000



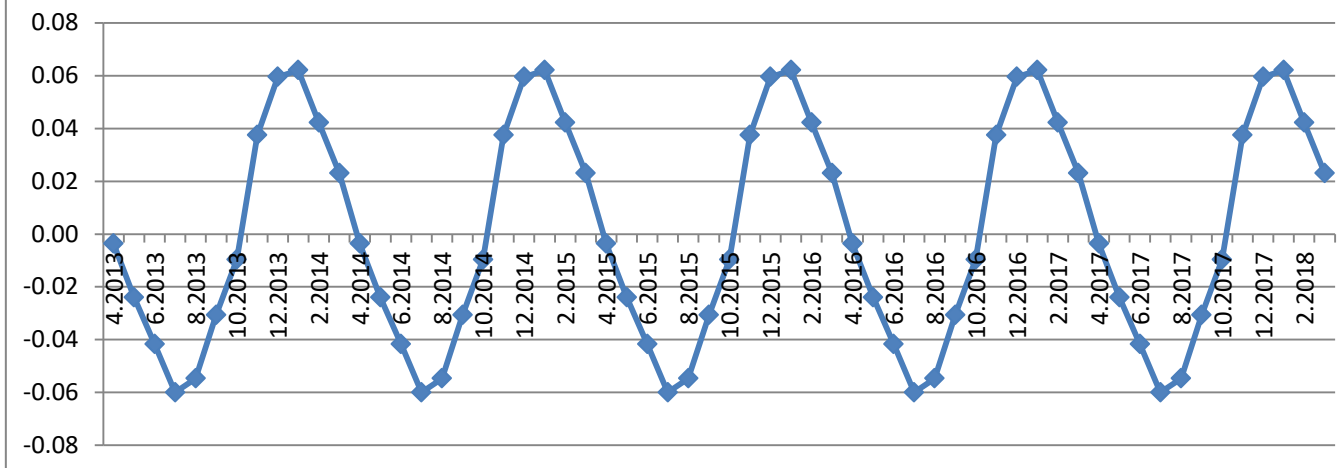
Διάγραμμα 5.12: Συνιστώσα τυχαιότητας της χρονοσειράς δείκτη NDVI κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993-Φεβρουαρίου 2000

### ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ NDVI (Landsat 8)

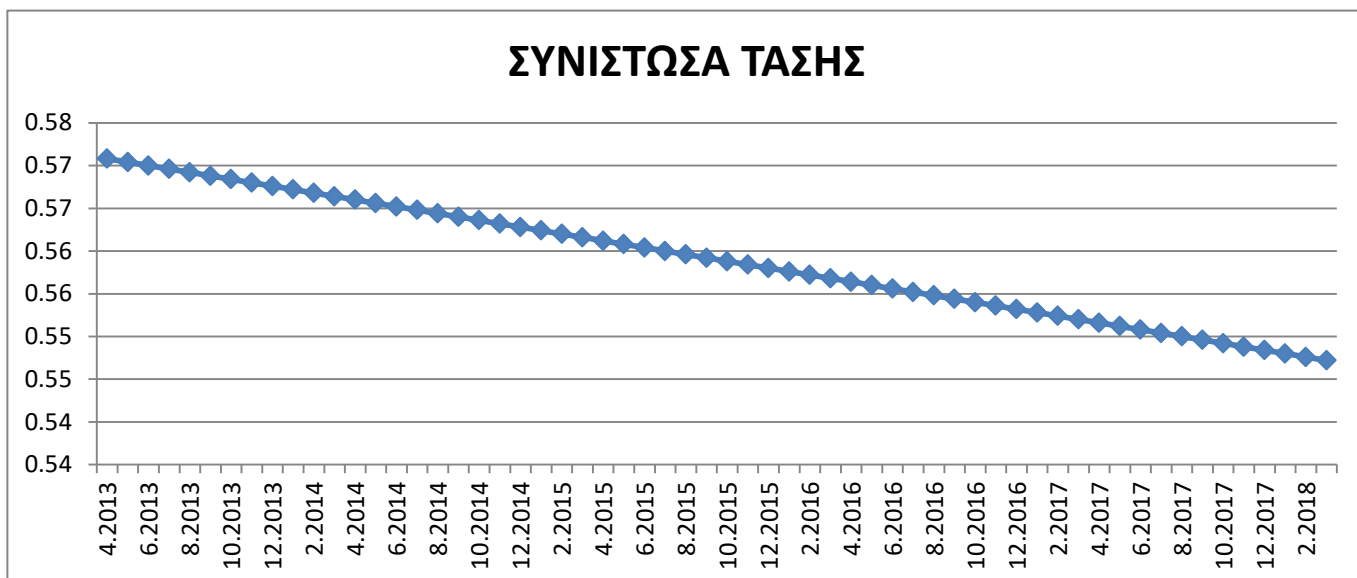


Διάγραμμα 5.13: Χρονοσειρά δεικτών βλάστησης NDVI κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018

### ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΕΠΟΧΙΚΟΤΗΤΑΣ



Διάγραμμα 5.14: Συνιστώσα εποχικότητας της χρονοσειράς δείκτη NDVI κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018



Διάγραμμα 5.15: Συνιστώσα τάσης της χρονοσειράς δείκτη NDVI κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013-Μαρτίου 2018



Διάγραμμα 5.16: Συνιστώσα τυχαιότητας της χρονοσειράς δείκτη NDVI κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013-Μαρτίου 2018

Οι συναρτήσεις των ευθειών τάσης στα διαγράμματα 5.11 και 5.15 είναι οι παρακάτω:

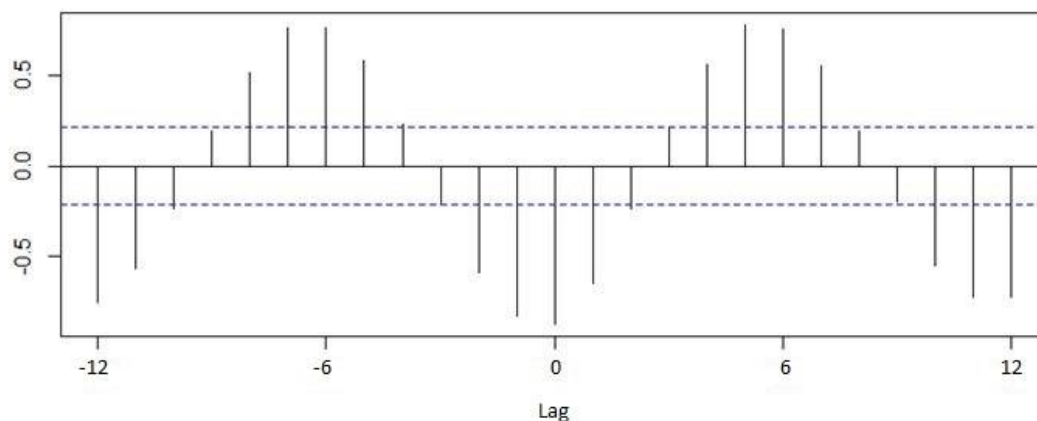
- Για την περίοδο Μάρτιο 1993- Φεβρουάριο 2000 :  $y = 0.0004 * x + 0.4374$
- Για την περίοδο Απρίλιο 2013- Μάρτιο 2018 :  $y = -0.0004 * x + 0.5712$

Παρατηρούμε ότι η τάση είναι ανοδική κατά την πρώτη περίοδο και πτωτική κατά τη δεύτερη. Ο ρυθμός της αύξησης και της μείωσης αντίστοιχα του δείκτη NDVI δεν είναι μεγάλος λόγω των μικρών κλίσεων των ευθειών τάσης. Επιπλέον, θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι τάσεις των θερμοκρασιών εδάφους και των δεικτών NDVI είναι αντιστρόφως ανάλογες, συνεπώς η αύξηση του ενός μεγέθους μέσα στα χρόνια συμπίπτει με τη μείωση του άλλου.

Σχετικά με τις συνιστώσες εποχικότητας που φαίνονται στα διαγράμματα 5.10 και 5.14, η ημιτονοειδής διαγραμματική μορφή τους κυμαίνεται μεταξύ -0.06 και 0.06, κάτι που δεν συνέβη αντίστοιχα στην συνιστώσα εποχικότητας των θερμοκρασιών εδάφους της πρώτης περιόδου.

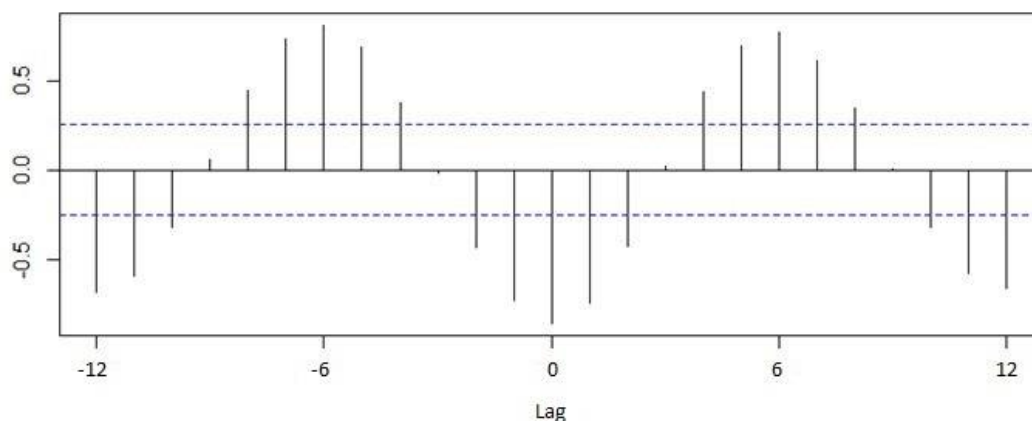
## 5.2 Συσχετίσεις χρονοσειρών

Προκειμένου να βγάλουμε περισσότερα συμπεράσματα για την συσχέτιση χρονοσειρών των θερμοκρασιών εδάφους και των δεικτών NDVI μέσα στις δύο χρονικές περιόδους, υπολογίστηκε η συσχέτιση Cross Correlation μέσω της γλώσσας προγραμματισμού R. Σημειώνεται ότι πριν τον υπολογισμό αυτής της συσχέτισης οι τιμές των δύο μεγεθών κανονικοποιήθηκαν, επειδή αυτά είναι ανόμοια μεταξύ τους. Με αυτόν τον τρόπο ήταν δυνατόν να συγκριθούν. Με βάση όσα περιγράφηκαν στην παράγραφο 1.3.1 η χρονοσειρά  $x_{t+k}$  είναι αυτή των θερμοκρασιών εδάφους και η  $y_t$  των δεικτών NDVI. Στα διαγράμματα 5.17 και 5.18 παρουσιάζονται συσχετίσεις μεταξύ των κανονικοποιημένων θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI για την περίοδο από τον Μάρτιο 1993 έως τον Φεβρουάριο 2000 και από τον Απρίλιο 2013 έως τον Μάρτιο 2018, αντίστοιχα.



Διάγραμμα 5.17 : Συσχέτιση Cross Correlation μεταξύ των χρονοσειρών θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993- Φεβρουαρίου 2000



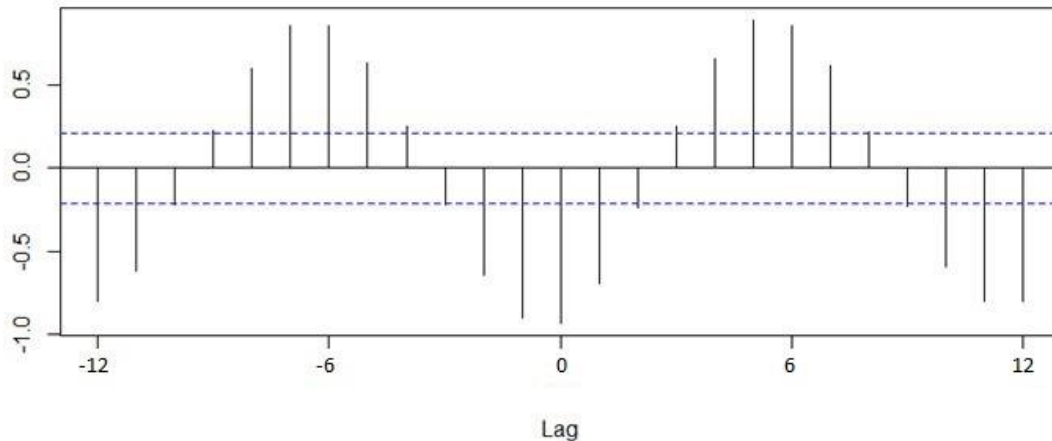


Διάγραμμα 5.18 : Συσχέτιση Cross Correlation μεταξύ των χρονοσειρών θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018

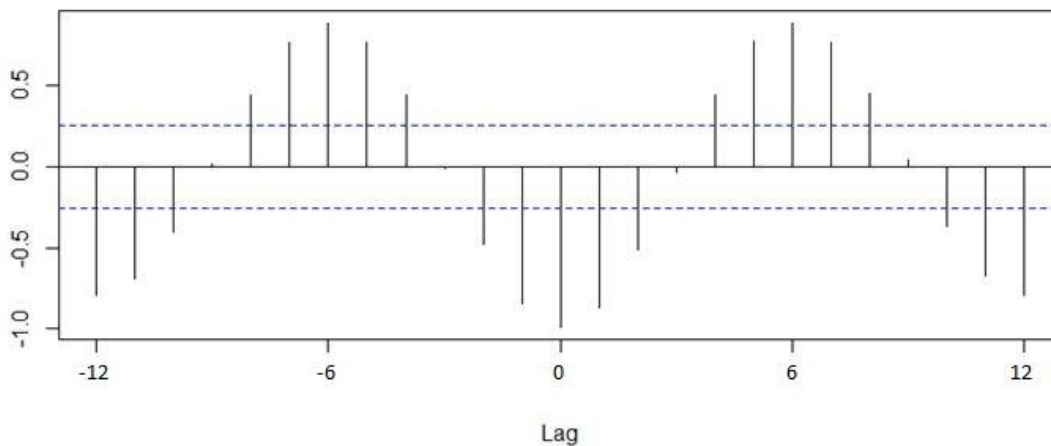
Παρατηρούμε ότι οι περισσότερες συσχετίσεις Cross Correlation είναι αρκετά σημαντικές κατά την διάρκεια και των δύο χρονικών περιόδων. Σχετικά με την πρώτη περίοδο η αύξηση στην θερμοκρασία εδάφους μπορεί να συνδεθεί με την μείωση στον δείκτη NDVI ή το αντίστροφο σε αξιοσημείωτο βαθμό δώδεκα, έντεκα, δύο και ένα μήνες μετά, αλλά και στον ίδιο μήνα ( $k=0$ ). Είναι φανερό ότι η μεγαλύτερη αρνητική συσχέτιση υπάρχει για χρονική υστέρηση μηδέν, δηλαδή όταν τα δύο μεγέθη εξετάζονται τον ίδιο μήνα, και η τιμή της είναι  $-0.871$ . Παρόλα αυτά, υπάρχουν και σημαντικές θετικές συσχετίσεις μεταξύ τους, όταν η χρονική τους απόσταση είναι πέντε, έξι, επτά και οκτώ μήνες με την μεγαλύτερη να είναι στους επτά μήνες ( $0.764$ ).

Όσον αφορά τη δεύτερη χρονική περίοδο, αξιοσημείωτες αρνητικές συσχετίσεις υπάρχουν όταν οι παρατηρήσεις του δείκτη NDVI και της θερμοκρασίας εδάφους απέχουν δώδεκα, έντεκα, δυο και ένα μήνας, καθώς και όταν οι παρατηρήσεις αναφέρονται στον ίδιο μήνα. Επίσης, τα μεγέθη συσχετίζονται θετικά σε σημαντικό βαθμό για υστέρηση πέντε, έξι, επτά και οκτώ. Η μεγαλύτερη θετική συσχέτιση παρουσιάζεται όταν τα δύο μεγέθη απέχουν χρονικά έξι μήνες ( $0.809$ ) και η μεγαλύτερη αρνητική όταν η συσχέτιση προσδιορίζεται με παρατηρήσεις για  $k=0$  ( $-0.855$ ).

Έπειτα, υπολογίστηκαν αντίστοιχες συσχετίσεις με τις προηγούμενες χρησιμοποιώντας ως δεδομένα τις συνιστώσες της εποχικότητας. Στα διαγράμματα 5.19 και 5.20 αναπαριστώνται οι συσχετίσεις αυτές για την περίοδο από τον Μάρτιο 1993 έως τον Φεβρουάριο 2000 και αυτήν από τον Απρίλιο 2013 έως τον Μάρτιο 2018.



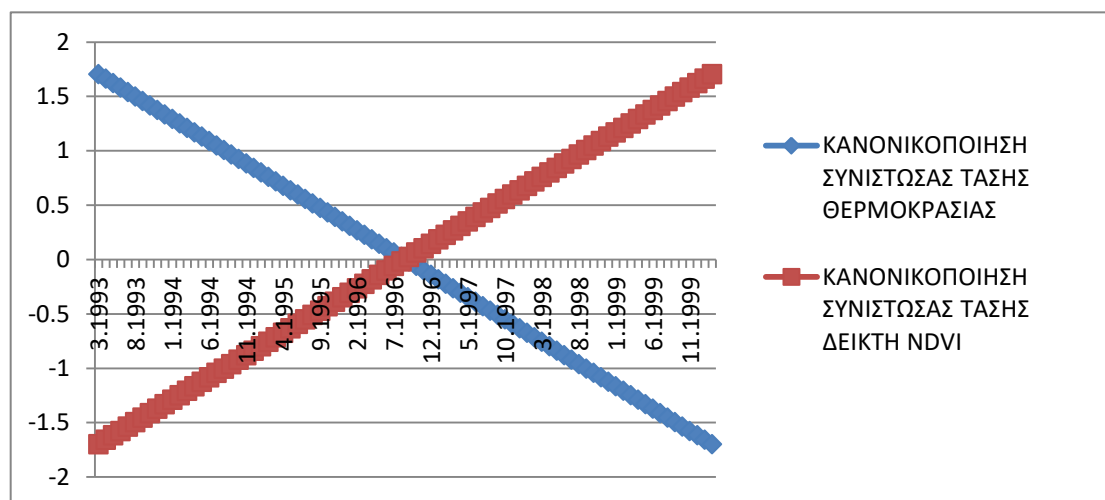
Διάγραμμα 5.19 : Συσχέτιση Cross Correlation μεταξύ των συνιστωσών εποχικότητας των χρονοσειρών θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993- Φεβρουαρίου 2000



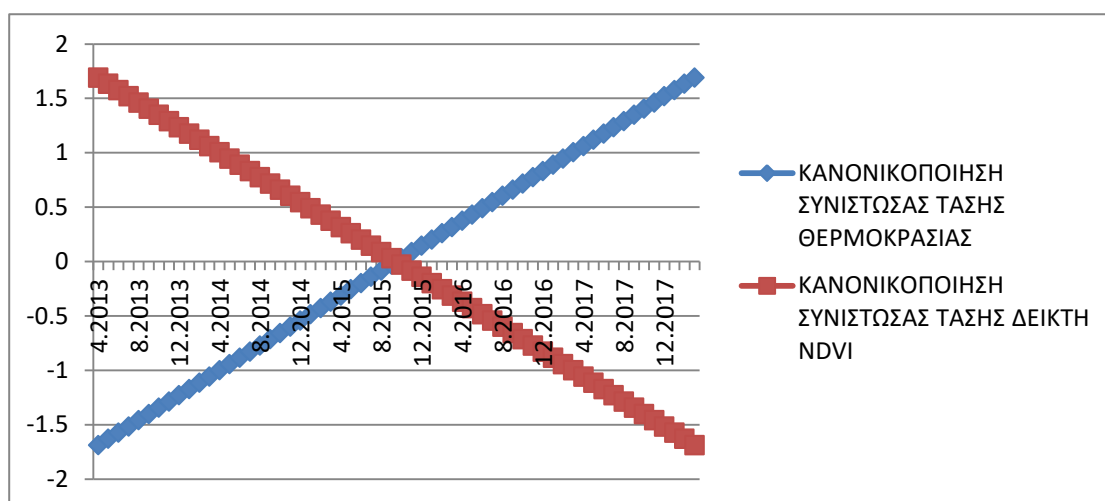
Διάγραμμα 5.20 : Συσχέτιση Cross Correlation μεταξύ των συνιστωσών εποχικότητας των χρονοσειρών θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018

Εφόσον παρατηρήσαμε από πριν ότι η συνιστώσα της τάσης δεν είναι σημαντική σε καμία από τις χρονοσειρές της εργασίας, τελικά δεν υπάρχουν αξιοσημείωτες διαφορές μεταξύ των τιμών των συσχετίσεων σε σχέση με πριν. Αυτό σημαίνει ότι οι υστερήσεις στις οποίες υπάρχουν σημαντικές συσχετίσεις δεν άλλαξαν, αλλά αυξήθηκαν ελάχιστα κατά απόλυτη τιμή. Συγκεκριμένα, κατά την πρώτη χρονική περίοδο η μεγαλύτερη θετική συσχέτιση παρουσιάζεται όταν τα δύο μεγέθη απέχουν χρονικά έξι και επτά μήνες (0.856 και στις δύο περιπτώσεις) και η μεγαλύτερη αρνητική όταν η συσχέτιση προσδιορίζεται με παρατηρήσεις ίδιου μήνα (-0.935). Επιπλέον, κατά την δεύτερη χρονική περίοδο σε σημαντικό βαθμό με την αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους την ίδια χρονική στιγμή μειώνεται ο δείκτης ή το αντίστροφο στον σημαντικότερο βαθμό (-0.987), ενώ η αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας εδάφους συνδέεται με την αύξηση ή την μείωση του δείκτη NDVI αντίστοιχα έξι μήνες μετά (0.883).

Τέλος, υπολογίστηκε απλώς ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των συνιστωσών τάσης των δεικτών NDVI και των θερμοκρασιών εδάφους και για τις δύο χρονικές περιόδους μετά την κανονικοποίησή τους. Το αποτέλεσμα του συντελεστή αυτού είναι -1 και στις δύο περιπτώσεις, κάτι που είναι φανερό από τα διαγράμματα 5.21 και 5.22.



Διάγραμμα 5.21 : Κανονικοποιημένες συνιστώσες τάσης των χρονοσειρών θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993- Φεβρουαρίου 2000



Διάγραμμα 5.22 : Κανονικοποιημένες συνιστώσες τάσης των χρονοσειρών θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018

### 5.3 Προβλέψεις

Σε συνέχεια της παραγράφου 4.3.5 πραγματοποιήσαμε τεστ Ljung-Box στα κατάλοιπα του μοντέλου  $ARIMA(4,0,2)(0,1,2)_{12}$  για τη χρονοσειρά των θερμοκρασιών εδάφους και του μοντέλου  $ARIMA(2,0,3)$  για τη χρονοσειρά των δεικτών NDVI και έπειτα κάναμε πρόβλεψη για τις επτά επόμενες μηνιαίες τιμές. Για τέσσερις τιμές, για τις οποίες έγινε πρόβλεψη, υπήρχαν διαθέσιμες εικόνες, οπότε έχουν υπολογιστεί θερμοκρασίες εδάφους και δείκτες

NDVI γι αυτές από τα τηλεπισκοπικά δεδομένα. Συνεπώς, με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να αξιολογήσουμε κατά πόσο η πρόβλεψη του εκάστοτε μοντέλου είναι έγκυρη. Η μεγαλύτερη τιμή των υστερήσεων,  $m$ , είναι 12 και στις δύο χρονοσειρές, επειδή τα δεδομένα σε αυτές είναι 60, άρα  $m=60/5=12$  είναι μικρότερο του  $m=2*12=24$ .

Αρχικά, για την εφαρμογή του τεστ Ljung-Box στα κατάλοιπα του μοντέλου  $ARIMA(4,0,2)(0,1,2)_{12}$  οι βαθμοί ελευθερίας είναι  $h = m - 4 - 2 - 2 = 12 - 4 - 2 - 2 = 4$  άρα:

$X\text{-squared} = 1.8108$ ,  $df = 4$ ,  $p\text{-value} = 0.7705$

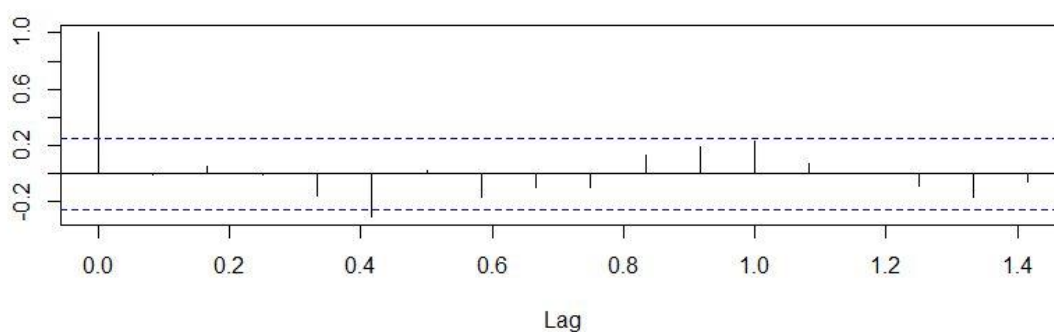
Συνεπώς, το μοντέλο  $ARIMA(4,0,2)(0,1,2)_{12}$  προσαρμόζεται καλά στην χρονοσειρά των θερμοκρασιών εδάφους, αφού  $0.7705 > 0.05$ .

Στην συνέχεια, για την εφαρμογή του τεστ Ljung-Box στα κατάλοιπα του μοντέλου  $ARIMA(2,0,3)$  οι βαθμοί ελευθερίας είναι  $h = 12 - 2 - 3 = 7$  άρα:

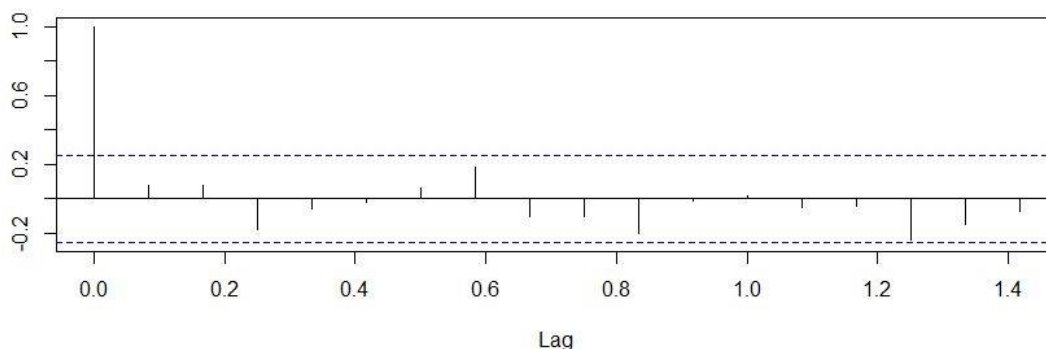
$X\text{-squared} = 5.8558$ ,  $df = 7$ ,  $p\text{-value} = 0.5567$

Συνεπώς, το μοντέλο  $ARIMA(2,0,3)$  προσαρμόζεται καλά στην χρονοσειρά των δεικτών NDVI, αφού  $0.5567 > 0.05$ .

Επιπλέον, παρουσιάζονται τα διαγράμματα αυτοσυσχέτισης των κατάλοιπων από αυτά τα δύο μοντέλα που φαίνονται στο 5.23 για τις θερμοκρασίες εδάφους και στο 5.24 για τους δείκτες NDVI. Παρατηρούμε ότι καμία αυτοσυσχέτιση δεν είναι στατιστικά σημαντική εκτός που αυτές στην υστέρηση μηδέν.



Διάγραμμα 5.23: Διάγραμμα αυτοσυσχετίσεων ACF κατάλοιπων από το μοντέλο  $ARIMA(4,0,2)(0,1,2)_{12}$



Διάγραμμα 5.24: Διάγραμμα αυτοσυσχετίσεων ACF καταλοίπων από το μοντέλο ARIMA(2,0,3)

Παρακάτω εμφανίζονται τα στοιχεία για τα μοντέλα πρόβλεψης στα οποία καταλήξαμε:

Μοντέλο ARIMA(4,0,2)(0,1,2)<sub>12</sub>

Συντελεστές							
AR1	AR2	AR3	AR4	MA1	MA2	SMA1	SMA2
0.6881	-0.8749	0.2146	0.1719	-0.3757	0.7036	-1.9073	0.9996
± 0.2874	± 0.2567	± 0.2412	± 0.1829	± 0.2903	± 0.1991	± 2.3023	± 2.3720

Προσδοκώμενη πιθανοφάνεια L = -111.20, δείκτης AIC = 240.40.

Χρονική στιγμή t+h	Προβλέψεις θερμοκρασιών εδάφους (°C)	Ακρίβεια πρόβλεψης (°C)
1(4.2018)	27.0	± 1.80
2 (5.2018)	28.1	± 1.87
3 (6.2018)	33.4	± 1.87
4 (7.2018)	34.1	± 1.87
5 (8.2018)	32.1	± 1.89
6 (9.2018)	28.3	± 1.93
7 (10.2018)	24.5	± 1.93

Μοντέλο ARIMA(2,0,3)

Συντελεστές					
AR1	AR2	MA1	MA2	MA3	Intercept
1.7145	-0.9928	-1.178	0.3781	0.2702	0.5585
± 0.0164	± 0.0104	± 0.0131	± 0.1867	± 0.1222	± 0.0038

Προσδοκώμενη πιθανοφάνεια  $L = 115.37$ , δείκτης  $AIC = -296.74$ .

Χρονική στιγμή t+h	Προβλέψεις δεικτών βλάστησης NDVI	Ακρίβεια πρόβλεψης
1(4.2018)	0.54	$\pm 0.017$
2 (5.2018)	0.52	$\pm 0.020$
3 (6.2018)	0.51	$\pm 0.020$
4 (7.2018)	0.50	$\pm 0.021$
5 (8.2018)	0.52	$\pm 0.021$
6 (9.2018)	0.54	$\pm 0.021$
7 (10.2018)	0.57	$\pm 0.021$

Τέλος, προχωρήσαμε στην αξιολόγηση που περιγράψαμε παραπάνω. Για τις θερμοκρασίες εδάφους:

Μοντέλο  $ARIMA(4,0,2)(0,1,2)_{12}$  :

Χρονική στιγμή t+h	Υπολογισμένες θερμοκρασίες εδάφους ( $^{\circ}C$ ) (1)	Προβλέψεις θερμοκρασιών εδάφους ( $^{\circ}C$ ) (2)	Διαφορές (1)-(2)
4 (7.2018)	36.1	34.1	2.0
5 (8.2018)	34.6	32.1	2.5
6 (9.2018)	31.7	28.3	3.4
7 (10.2018)	28.8	24.5	4.3

Για τους δείκτες NDVI:

Μοντέλο  $ARIMA(2,0,3)$ :

Χρονική στιγμή t+h	Υπολογισμένες δείκτες NDVI (1)	Προβλέψεις Δεικτών NDVI (2)	Διαφορές (1)-(2)
4 (7.2018)	0.49	0.50	-0.01
5 (8.2018)	0.52	0.52	0.00
6 (9.2018)	0.54	0.54	0.00

7 (10.2018)	0.56	0.57	-0.01
-------------	------	------	-------

Σύμφωνα με τους παραπάνω πίνακες, οι προβλέψεις για τις θερμοκρασίες μέχρι την πέμπτη πρόβλεψη δεν απέχουν πολύ από τις θερμοκρασίες που προέκυψαν από τους υπολογισμούς στις δορυφορικές εικόνες. Η αύξηση των διαφορών μεταξύ αυτών των δύο τιμών θερμοκρασίας στην έκτη και στην έβδομη πρόβλεψη οφείλεται στην μεγάλη χρονική απόστασή τους από το τελευταίο στοιχείο της χρονοσειράς, δηλαδή οι προβλέψεις στις δύο αυτές χρονικές στιγμές μπορούν να θεωρηθούν μακροπρόθεσμες. Όσο αυξάνεται ο ορίζοντας της πρόβλεψης, οι προβλεπόμενες τιμές εξαρτώνται λιγότερο από τις δεδομένες τιμές της χρονοσειράς και περισσότερο στις προηγούμενες προβλέψεις που φέρουν το δικό τους σφάλμα. Παρόλα αυτά, οι προβλέψεις που έγιναν για τους δείκτες NDVI στις τέσσερις αυτές χρονικές στιγμές συνέπιπταν σε μεγάλο βαθμό με τις τιμές που βγήκαν κατά την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων. Ένας από τους λόγους, που γίνεται αυτό, είναι επειδή οι τιμές του NDVI παρουσιάζουν μικρή διακύμανση, κάτι που είναι φανερό από το μικρό ενδοτεταρτημοριακό εύρος σε σχέση με τις τιμές των θερμοκρασιών. Συγκεκριμένα:

Για τους δείκτες βλάστησης NDVI:

- 1<sup>ο</sup> τεταρτομόριο ( $Q_1$ ) : 0.5198
- 3<sup>ο</sup> τεταρτομόριο ( $Q_3$ ) : 0.5985
- ενδοτεταρτημοριακό εύρος:  $Q_3 - Q_1 = 0.0787$

Για τις θερμοκρασίες εδάφους:

- 1<sup>ο</sup> τεταρτομόριο ( $Q_1$ ) : 17.822
- 3<sup>ο</sup> τεταρτομόριο ( $Q_3$ ) : 32.266
- ενδοτεταρτημοριακό εύρος:  $Q_3 - Q_1 = 14.444$

## Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Η ανάλυση των χρονοσειρών των τηλεπισκοπικών δεδομένων Landsat (1992-2018) μας οδήγησε σε σημαντικές παρατηρήσεις και συμπεράσματα σχετικά με την κλιματική αλλαγή και τις επιπτώσεις της στο δάσος της Πάφου. Οι τηλεπισκοπικές απεικονίσεις Landsat μας προσφέρουν πολύτιμα δεδομένα με επαρκή χωρική ανάλυση για την παρακολούθηση των μεταβολών των θερμοκρασιών και της βλάστησης σε μεγάλο χρονικό διάστημα. Εντούτοις παρουσιάζουν δύο αδυναμίες. Η μία είναι η συχνότητα λήψης δεδομένων για την ίδια περιοχή (κάθε 16 ημέρες) και η δεύτερη η αδυναμία καταγραφής πληροφορίας για μία περιοχή σε περίπτωση νεφοκάλυψης. Απόρροια των δύο αδυναμιών είναι τα αραιά δεδομένα, οπότε μέρος της μελέτης αυτής, η αποσύνθεση και η πρόβλεψη, έγινε για διακριτές χρονικές περιόδους (1993-2000 και 2013-2018) όπου τα στοιχεία ήταν πυκνότερα.

Σύμφωνα με την επεξεργασία των διαθέσιμων τιμών των μέσων θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών βλάστησης (παράγραφος 4.3.1) ανά μήνα, συμπεραίνουμε ότι οι σημαντικές αρνητικές και θετικές κλίσεις των ευθειών που εκφράζουν την τάση της θερμοκρασίας ανά μήνα με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα στην περίοδο 1992-2011 από εικόνες Landsat 5 είναι για τους μήνες Φεβρουάριο (θετική κλίση), Μάρτιο (θετική) και Οκτώβριο (αρνητική), συμπέρασμα που συμπίπτει και με το αντίστοιχο από την ανάλυση των θερμοκρασιών αέρα για την περίοδο 1992-2016. Για την περίοδο 2013-2018 οι θερμοκρασίες εδάφους παρουσιάζουν πιο αξιοσημείωτες μεταβολές στις τιμές τους ανά μήνα. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι κατά την διάρκεια των ετών 2013-2018 συντελούνται αλλαγές στις συνθήκες του περιβάλλοντος του δάσους που επηρεάζουν την θερμοκρασία εδάφους, οι οποίες πιθανότατα προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή. Η μέση τιμή της κλίσης των ευθειών τάσης της θερμοκρασίας με βάση την πρώτη (0.0095) και τη δεύτερη περίοδο (0.09) είναι 0.050 για όλο το χρονικό διάστημα 1992-2018, τιμή που είναι αναμενόμενη σε σύγκριση με τη μέση τιμή της κλίσης της τάσης της θερμοκρασίας αέρα (0.0526) για την περίοδο 1992-2016, εάν λάβει κανείς υπόψιν του ότι η θερμοκρασία εδάφους προκύπτει από την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία αφού αφαιρεθεί το ποσοστό που μετατρέπεται σε εξερχόμενη μη αισθητή ροή θερμότητας λόγω της εξατμισοδιαπνοής των φύλλων. Η μέση τιμή της κλίσης της ευθείας τάσης για τον δείκτη βλάστησης NDVI είναι 0.0092 για την περίοδο 1992-2011 και -0.0088 για την περίοδο 2013-2018. Δηλαδή παρατηρείται ανατροπή του αυξητικού ρυθμού της βλάστησης την περίοδο 2013-2018 για το δάσος της Πάφου.

Επιπλέον, στη μελέτη αυτή (παράγραφο 4.3.3) έγινε η επεξεργασία των τιμών των θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI ανά κατηγορία υψομέτρου και προσανατολισμού για τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο για την περίοδο 1993-2009 και 2013-2018. Στους τρεις αυτούς μήνες και κατά τη διάρκεια και των δύο χρονικών περιόδων οι



θερμότερες υποπεριοχές στο δάσος της Πάφου είναι αυτές στα χαμηλά υψόμετρα και με νότιο ή/και ανατολικό προσανατολισμό, ενώ οι ψυχρότερες στα υψηλά υψόμετρα και με βόρειο ή/και δυτικό προσανατολισμό. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι ο προσανατολισμός μίας υποπεριοχής στο δάσος μπορεί να επηρεάσει την τιμή θερμοκρασίας εδάφους, με τις υποπεριοχές νότιου ή /και ανατολικού προσανατολισμού να είναι θερμότερες μέχρι και κατά 3° C. Παρόλα αυτά, στις υποπεριοχές με υψηλά υψόμετρα ο προσανατολισμός δεν επιδρά τόσο στην θερμοκρασία εδάφους. Επιπλέον, στις υποπεριοχές ίδιας ομάδας προσανατολισμού, η αύξηση υψομέτρου μπορεί να συμβάλει στη μείωση της θερμοκρασίας εδάφους μέχρι και κατά 3 °C.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των υποπεριοχών τα σχετικά με τους δείκτες βλάστησης NDVI, και στους τρεις μήνες και κατά την διάρκεια και των δύο χρονικών περιόδων, οι υποπεριοχές με την περισσότερη βλάστηση είναι αυτές σε μεγάλα υψόμετρα και με βόρειο ή/και δυτικό προσανατολισμό, ενώ με τη λιγότερη βλάστηση είναι αυτές σε μικρά υψόμετρα και με νότιο ή /και ανατολικό προσανατολισμό. Επίσης, σε υποπεριοχές ίδιας ομάδας υψομέτρου, οι υποπεριοχές με βόρειο ή/και δυτικό προσανατολισμό έχουν περισσότερη βλάστηση. Εξετάζοντας περιοχές ίδιας ομάδας προσανατολισμού αλλά διαφορετικού υψομέτρου, παρουσιάζεται αύξηση των τιμών του NDVI μέχρι και 0.1 της μονάδας με την αύξηση του υψομέτρου.

Η αποσύνθεση των χρονοσειρών των θερμοκρασιών εδάφους και των δεικτών βλάστησης για τις περιόδους από Μάρτιο 1993 έως Φεβρουάριο 2000 και από Απρίλιο 2013 έως Μάρτιο 2018 οδήγησε σε χρήσιμα συμπεράσματα. Με βάση τις κλίσεις των ευθειών τάσης, κατά την πρώτη περίοδο η συνιστώσα της τάσης των θερμοκρασιών εδάφους έδειξε ότι αυτές έχουν μικρό ρυθμό μείωσης (-0.0033) και μείωση κατά 0.27 °C, ενώ η αντίστοιχη συνιστώσα του δείκτη NDVI έχει μικρό ρυθμό αύξησης (0.0004) και αύξηση κατά 0.033 στην κλίμακα (-1, 1). Κατά τη δεύτερη περίοδο ισχύει το αντίστροφο, δηλαδή για τις συνιστώσες τάσης των θερμοκρασιών εδάφους παρατηρείται ρυθμός αύξησης 0.0072 και αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους κατά 0.42 °C και για τις συνιστώσες τάσης δεικτών NDVI, ρυθμός μείωσης -0.0024 και μείωση των τιμών του δείκτη κατά 0.024. Παρατηρούμε δηλαδή αύξηση των θερμοκρασιών την πενταετία 2013-2018 με παράλληλη μείωση της βλάστησης στο δάσος της Πάφου.

Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να ερμηνευτούν με βάση όσων περιγράφονται στα κεφάλαια 1.1, 1.3, 3.2 και 3.3. Σύμφωνα με αυτά, η Κύπρος δεν θεωρείται ανεπηρέαστη από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, κάτι που φαίνεται από την σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας αέρα κατά τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα και στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα με βάση τα στοιχεία της Τμήματος Μετεωρολογίας, αλλά και τις προβλέψεις από τις προσομοιώσεις

των περιοχικών κλιματικών μοντέλων (RCMs) (Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος - Τμήμα Περιβάλλοντος (2017): Εθνική στρατηγική για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή) για τη διατήρηση αυτής της αυξητικής τάσης για τα επόμενα χρόνια του 21<sup>ου</sup> αιώνα ακόμη και στις ορεινές περιοχές της οροσειράς Τροόδους. Οι μετεωρολογικές αυτές συνθήκες επαληθεύονται από την επεξεργασία του διαθέσιμου δείγματος μετρήσεων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών στον σταθμό «Σταυρός της Ψώκας» κατά την περίοδο από Ιανουάριο 1992 έως τον Απρίλιο 2016, εφόσον στους περισσότερους μήνες εκτός τον Ιούνιο και τον Οκτώβριο οι κλίσεις στις ευθείες τάσης είναι θετικές. Συνεπώς, λόγω αυτής της κατάστασης και με την ταυτόχρονη αύξηση ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα ενισχύεται η διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

Συγχρόνως, σύμφωνα με τις παραπάνω πηγές, εκτός από την αύξηση της θερμοκρασίας διακρίνεται και μείωση των βροχοπτώσεων. Σύμφωνα με τις μετρήσεις των χιλιοστών του νετού στον σταθμό «Σταυρός της Ψώκας» κατά την περίοδο 1990-2019 ο μέσος ετήσιος νετός μειώθηκε κατά περίπου 5.8% σε σχέση με αυτόν κατά την περίοδο 1961-1990. Επιπλέον, οι προσομοιώσεις προβλέπουν ότι η μείωση των βροχοπτώσεων τα επόμενα έτη του 21<sup>ου</sup> αιώνα θα είναι ραγδαία ακόμη και στις ορεινές περιοχές του Τροόδους.

Με βάση τα παραπάνω κατά την περίοδο από Μάρτιο 1993 έως Φεβρουάριο 2000 αιτιολογείται η μικρή αύξηση του δείκτη NDVI, εφόσον οι συνθήκες τότε πιθανότατα ευνοούσαν την φωτοσύνθεση και τη μικρή αύξηση της πυκνότητας της βλάστησης. Συνεπώς, ήταν επακόλουθη η μικρή μείωση στην θερμοκρασία εδάφους, επειδή με την αύξηση πυκνότητας της βλάστησης η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται κυρίως σε εξερχόμενη μη αισθητή ροή θερμότητας. Παρόλα αυτά, σχετικά με την περίοδο από Απρίλιο 2013 έως Μάρτιο 2018, είναι πολύ πιθανόν η μετέπειτα μείωση των αποθεμάτων νερού στο έδαφος σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση των βροχοπτώσεων να προκάλεσε εμπόδια στην διαπνοή των φυτών, μείωση της μη αισθητής ροής θερμότητας, αλλά και μικρή μείωση της πυκνότητας της βλάστησης. Οπότε κάποια φυτά καταστράφηκαν, επειδή δεν μπορούσαν να προσαρμοστούν στις νέες περιβαλλοντικές συνθήκες. Επιπλέον, ήταν λογικό να υπάρξει μικρή αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους όχι μόνο λόγω της μείωσης της βλάστησης, αλλά επειδή τα φυλλάδια των φυτών που μπόρεσαν να ανταπεξέλθουν στις αλλαγές των συνθηκών είναι πιο θερμά λόγω της δυσκολίας πραγματοποίησης της διαπνοής.

Επιπλέον, οι συσχετίσεις μεταξύ τόσο των χρονοσειρών των θερμοκρασιών εδάφους και των δεικτών NDVI μέσα στις χρονικές περιόδους Μαρτίου 1993-Φεβρουαρίου 2000 και Απριλίου 2013-Μαρτίου 2018 όσο και των συνιστωσών εποχικότητάς τους έδειξαν ότι σημαντική αρνητική συσχέτιση υπάρχει, όταν τα δεδομένα των δύο μεγεθών εξετάζονται την ίδια χρονική περίοδο, αλλά και όταν τα δεδομένα των θερμοκρασιών εδάφους απέχουν 12 μήνες

από αυτά των δεικτών NDVI, διότι πιθανότατα οι θερμοκρασίες εδάφους να μην αλλάξαν πολύ σε σχέση με αυτές του ίδιου μήνα, μιας χρονιάς πριν. Επίσης, οι αξιοσημείωτες θετικές συσχετίσεις που παρουσιάζονται στις υστερήσεις 6 και 7 μηνών αιτιολογούνται, εφόσον για ένα μήνα κατά τον οποίον η βλάστηση είναι μεγάλη (ή μικρή), υπάρχει μεγάλη (ή μικρή) τιμή της θερμοκρασίας εδάφους 6 ή 7 μήνες πριν. Π.χ., ο Μάρτιος ως μήνας αναφοράς για τον δείκτη NDVI παρουσιάζει μεγάλες τιμές και ο Αύγουστος του προηγούμενου έτους ως μήνας που αντιπροσωπεύει την υστέρηση 7 μηνών για τις θερμοκρασίες εδάφους παρουσιάζει επίσης μεγάλες τιμές θερμοκρασίας εδάφους. Τέλος, οι συντελεστές συσχέτισης των τάσεων θερμοκρασίας εδάφους και δεικτών NDVI δείχνουν ότι τα δύο αυτά μεγέθη είναι χωρίς αμφιβολία αντιστρόφως ανάλογα.

Σχετικά με την εφαρμογή της μεθοδολογίας Box-Jenkins στις χρονοσειρές των θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI για την περίοδο από Απρίλιο 2013 έως Μάρτιο 2018, αυτή είχε ως στόχο το να καθοριστούν οι παράμετροι των πιο ικανοποιητικών μοντέλων πρόβλεψης τιμών θερμοκρασιών και δεικτών βλάστησης. Συνεπώς καταλήξαμε για τις θερμοκρασίες εδάφους στο εποχικό μοντέλο  $ARIMA(4,0,2)(0,1,2)_{12}$  (με τέσσερις μη εποχικές παραμέτρους για αυτοπαλινδρόμηση, δύο μη εποχικές παραμέτρους για κινητό μέσο όρο, εποχική διαφόριση πρώτης τάξης και δύο εποχικές παραμέτρους για κινητό μέσο όρο), ενώ για τους δείκτες NDVI στο μη εποχικό μοντέλο  $ARIMA(2,0,3)$  (με δύο μη εποχικές παραμέτρους για αυτοπαλινδρόμηση, τρεις μη εποχικές παραμέτρους για κινητό μέσο όρο και σταθερή τιμή). Η αξιολόγηση αυτών των μοντέλων έδειξε ότι οι προβλέψεις των μοντέλων έχουν ικανοποιητική ακρίβεια και οι αποκλίσεις τους από τις παρατηρήσεις, που θεωρήθηκαν άγνωστες για την αξιολόγηση των μοντέλων, μικρές και δικαιολογημένες.

Όσον αφορά μελλοντικές εργασίες που σχετίζονται με την παρούσα μελέτη, δεδομένου ότι το δάσος της Πάφου έχει μεγάλη περιβαλλοντική αξία, θα μπορούσε να αξιολογηθεί ξανά η κατάστασή του τα επόμενα έτη. Η αδυναμία αραιότητας των δεδομένων Landsat θα πρέπει να αντιμετωπιστεί με παρατηρήσεις και από άλλους δορυφορικούς δέκτες, όπως Sentinel-3. Τέλος, οι θερμοκρασίες εδάφους θα μπορούσαν να υπολογιστούν με διαφορετικό τρόπο όπως στις εργασίες των Rajendran και Mani (2015) στην οποία πραγματοποιήθηκαν διεξοδικές μετρήσεις σε δείγματα από την περιοχή μελέτης για να προσδιοριστούν οι συντελεστές εκπομπής, των Du et al (2014) στις οποίες λήφθηκαν υπόψιν οι συνθήκες της ατμόσφαιρας κατά τον υπολογισμό της θερμοκρασίας εδάφους, αλλά πιστεύουμε ότι αυτό θα έχει μικρές βελτιώσεις στα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης.

# Πηγές

## Βιβλιογραφία:

- John R. Jensen (2015). *Τηλεπισκόπηση Περιβάλλοντος Μια προοπτική για τα φυσικά διαθέσιμα* (Σοφία Βαλάνη Μετάφραση , Βασιλεία Καραθανάση Επιστημονική Επιμέλεια), Αθήνα: Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π. (Το πρωτότυπο έργο δημοσιεύτηκε το 2007)
- Βασιλεία Καραθανάση (2018). *Σημειώσεις ΕΚΤ* [Πανεπιστημιακές Σημειώσεις]. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Χειμερινό Εξάμηνο 2018-2019. Αθήνα
- Δημήτρης Π. Αργιαλάς (1999). *Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση 1. Θεμελιώδεις έννοιες Τηλεπισκόπησης 2. Βασικά στοιχεία φωτογραφικών συστημάτων* [Πανεπιστημιακές Σημειώσεις]. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εαρινό Εξάμηνο 2015-2016. Αθήνα
- Όθωνας Παπαδήμας (1998). *Στατιστική ΙΙ*. Αθήνα: ΜΑΚΕΔΟΝΙΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ – Σ.Παρίκου & ΣΙΑ Ε.Ε.
- Α.Μ. Αγατζά - Μπαλοδήμου (2009). *Θεωρία σφαλμάτων & συνορθώσεων ΙΙ* [Πανεπιστημιακές Σημειώσεις]. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εαρινό Εξάμηνο 2016-2017. Αθήνα
- Κύπρος (2007). Στην Πάπυρος Larousse Britannica (Τόμος 31, σ. 439-450). Αθήνα: ΕΚΔΟΤΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΠΑΠΥΡΟΣ

## Διαδίκτυο:

- [https://en.wikipedia.org/wiki/Normalized\\_difference\\_vegetation\\_index](https://en.wikipedia.org/wiki/Normalized_difference_vegetation_index) (τελευταία πρόσβαση 12/2020)
- <https://www.climatechangepost.com/cyprus/climate-change/> (τελευταία πρόσβαση 2/2021)
- [http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/All/C15CD89954708638C2257FF1003494BD/\\$file/%CE%95%CE%B8%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%A3%CF%84%CF%81%CE%B1%CF%84%CE%B7%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%B3%CE%B9%CE%B1%20%CF%84%CE%B7%CE%BD%20%CE%A0%CF%81%CE%BF%CF%83%CE%B1%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%AE%20%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD%20%CE%9A%CE%BB%CE%B9%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%91%CE%BB%CE%BB%CE%B1%CE%B3%CE%AE.pdf](http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/All/C15CD89954708638C2257FF1003494BD/$file/%CE%95%CE%B8%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%A3%CF%84%CF%81%CE%B1%CF%84%CE%B7%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%B3%CE%B9%CE%B1%20%CF%84%CE%B7%CE%BD%20%CE%A0%CF%81%CE%BF%CF%83%CE%B1%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%AE%20%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD%20%CE%9A%CE%BB%CE%B9%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%91%CE%BB%CE%BB%CE%B1%CE%B3%CE%AE.pdf) (τελευταία πρόσβαση 2/2021)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Effects\\_of\\_climate\\_change\\_on\\_plant\\_biodiversity](https://en.wikipedia.org/wiki/Effects_of_climate_change_on_plant_biodiversity) (τελευταία πρόσβαση 2/2021)

- <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/carbon-dioxide-fertilization-greening-earth/> (τελευταία πρόσβαση 2/2021)
- Hyndman, R.J., & Athanasopoulos, G. (2018) *Forecasting: principles and practice*, 2nd edition, OTexts: Melbourne, Australia. OTexts.com/fpp2 (τελευταία πρόσβαση 12/2020)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Ljung%E2%80%93Box\\_test#cite\\_note-BP-1](https://en.wikipedia.org/wiki/Ljung%E2%80%93Box_test#cite_note-BP-1) (τελευταία πρόσβαση 12/2020)
- Stephanie Glen. "Ljung Box Test: Definition" From StatisticsHowTo.com: Elementary Statistics for the rest of us! <https://www.statisticshowto.com/ljung-box-test/> (τελευταία πρόσβαση 12/2020)
- <http://mycourses.ntua.gr/document/document.php> (διαφάνειες: *Τεχνικές Προβλέψεων (1η Διάλεξη) Προετοιμασία & Ανάλυση Χρονοσειράς, Τεχνικές Προβλέψεων (2η Διάλεξη) Αποσύνθεση Χρονοσειράς, Τεχνικές Προβλέψεων (2η Διάλεξη) Παράδειγμα Αποσύνθεσης και Τεχνικές Προβλέψεων (8η Διάλεξη) Μοντέλα ARIMA - Σημειώσεις*) (τελευταία πρόσβαση 12/2020)
- Holmes, E. E., M. D. Scheuerell, and E. J. Ward. Applied time series analysis for fisheries and environmental data. NOAA Fisheries, Northwest Fisheries Science Center, 2725 Montlake Blvd E., Seattle, WA 98112 (τελευταία πρόσβαση 1/2021)
- Stephanie Glen. "P-Value in Statistical Hypothesis Tests: What is it?" From StatisticsHowTo.com: Elementary Statistics for the rest of us! <https://www.statisticshowto.com/probability-and-statistics/statistics-definitions/p-value/> (τελευταία πρόσβαση 12/2020)
- Stephanie Glen. "KPSS Test: Definition and Interpretation" From StatisticsHowTo.com: Elementary Statistics for the rest of us! <https://www.statisticshowto.com/kpss-test/> (τελευταία πρόσβαση 12/2020)
- [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%80%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%AF%CE%B5%CF%82\\_%CF%84%CE%B7%CF%82\\_%CE%9A%CF%85%CF%80%CF%81%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE%CF%82\\_%CE%94%CE%B7%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CF%81%CE%B1%CF%84%CE%AF%CE%B1%CF%82](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%80%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%AF%CE%B5%CF%82_%CF%84%CE%B7%CF%82_%CE%9A%CF%85%CF%80%CF%81%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE%CF%82_%CE%94%CE%B7%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CF%81%CE%B1%CF%84%CE%AF%CE%B1%CF%82) (τελευταία πρόσβαση 11/2020)
- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%81%CF%8C%CE%BF%CE%B4%CE%BF%CF%82#%CE%9A%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%B1> (τελευταία πρόσβαση 11/2020)
- [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%B1\\_%CF%84%CE%B7%CF%82\\_%CE%9A%CF%8D%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%85](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%B1_%CF%84%CE%B7%CF%82_%CE%9A%CF%8D%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%85) (τελευταία πρόσβαση 11/2020)
- <https://www.meteo24news.gr/2013/07/to-klima-tis-kyprou.html> (τελευταία πρόσβαση 11/2020)
- <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/cyprus> (τελευταία πρόσβαση 11/2020)
- [https://web.archive.org/web/20130903163017/http://www.moa.gov.cy/moa/fd/fd.nsf/All/A5AE502137873304C2257A280035C564/\\$file/%CE%A4%CE%BF%20%CE%B4%CE%AC%CF%83%CE%BF%CF%82%20%CE%A0%CE%AC%CF%86%CE%BF%CF%85.pdf](https://web.archive.org/web/20130903163017/http://www.moa.gov.cy/moa/fd/fd.nsf/All/A5AE502137873304C2257A280035C564/$file/%CE%A4%CE%BF%20%CE%B4%CE%AC%CF%83%CE%BF%CF%82%20%CE%A0%CE%AC%CF%86%CE%BF%CF%85.pdf) (τελευταία πρόσβαση 11/2020)

- [http://www.moa.gov.cy/moa/fd/fd.nsf/fd69\\_gr/fd69\\_gr?OpenDocument](http://www.moa.gov.cy/moa/fd/fd.nsf/fd69_gr/fd69_gr?OpenDocument) (τελευταία πρόσβαση 11/2020)
- [www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](http://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con) (τελευταία πρόσβαση 11/2020)
- [www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-4-5-thematic-mapper-tm-level-1-data?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](http://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-4-5-thematic-mapper-tm-level-1-data?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects) (τελευταία πρόσβαση 11/2020)
- [www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-level-1-processing-details](http://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-level-1-processing-details) (τελευταία πρόσβαση 11/2020)
- [www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-collection-2-level-2-science-products](http://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-collection-2-level-2-science-products) (τελευταία πρόσβαση 11/2020)
- [www.usgs.gov/faqs/what-worldwide-reference-system-wrs?qt-news\\_science\\_products=0#qt-news\\_science\\_products](http://www.usgs.gov/faqs/what-worldwide-reference-system-wrs?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products) (τελευταία πρόσβαση 11/2020)
- [www.usgs.gov/media/images/world-reference-system-2-wrs-2-daydescending](http://www.usgs.gov/media/images/world-reference-system-2-wrs-2-daydescending) (τελευταία πρόσβαση 11/2020)
- [https://lpdaac.usgs.gov/documents/434/ASTGTM\\_User\\_Guide\\_V3.pdf](https://lpdaac.usgs.gov/documents/434/ASTGTM_User_Guide_V3.pdf) (τελευταία πρόσβαση 11/2020)

### Άρθρα:

- Sobrino J.A., Julien Y. (2013) Time Series Corrections and Analyses in Thermal Remote Sensing. In: Kuenzer C., Dech S. (eds) Thermal Infrared Remote Sensing. Remote Sensing and Digital Image Processing, vol 17. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-6639-6\\_14](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6639-6_14)
- Glynn C. Hulley, Darren Ghent, Frank M. Göttsche, Pierre C. Guillevic, David J. Mildrexler, César Coll, 3 - Land Surface Temperature, Editor(s): Glynn C. Hulley, Darren Ghent, Taking the Temperature of the Earth, Elsevier, 2019, Pages 57-127, ISBN 9780128144589, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814458-9.00003-4>.
- Denis Kwiatkowski, Peter C.B. Phillips, Peter Schmidt, Yongcheol Shin, Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root?, *Journal of Econometrics*, Volume 54, Issues 1–3, 1992, Pages 159-178, ISSN 0304-4076. [https://doi.org/10.1016/03044076\(92\)90104-Y](https://doi.org/10.1016/03044076(92)90104-Y)
- Prasad Rajendran & Dr.K.Mani (2015). Estimation of Spatial Variability of Land Surface Temperature using Landsat 8 Imagery. *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)*, Volume 4, Issue 11, Pages 19-23.
- Uritescu, B. (2017). The Influences of Land Use on the Urban Heat Island in Bucharest. *Aerul și Apa: Componente ale Mediului*. 2017. 259-265. [10.24193/AWC2017\\_32](https://doi.org/10.24193/AWC2017_32).
- Macarof, P., Groza, S., & Stătescu, F. (2018). Investigating Correlation LST and Vegetation Indices Using Landsat Images for the Warmest Month: A Case Study of Iasi County, *Annals of*

*Valahia University of Targoviste, Geographical Series, 18(1), 33-40.*

doi: <https://doi.org/10.2478/avutgs-2018-0004>

- Du, Chen & Huazhong, Ren & Qin, Qimin & Meng, Jinjie & Zhao, Shaohua. (2015). A Practical Split-Window Algorithm for Estimating Land Surface Temperature from Landsat 8 Data. *Remote Sensing*. 7. 647-665. 10.3390/rs70100647.
- Quan, J., W. Zhan, Y. Chen, M. Wang, and J. Wang (2016), Time series decomposition of remotely sensed land surface temperature and investigation of trends and seasonal variations in surface urban heat islands, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 2638–2657, doi:10.1002/2015JD024354.
- Qiu, Shi & Zhu, Zhe & He, Binbin. (2019). Fmask 4.0: Improved cloud and cloud shadow detection in Landsats 4-8 and Sentinel-2 imagery. *Remote Sensing of Environment*. 231. 111205. 10.1016/j.rse.2019.05.024.

# Παράρτημα 1

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα ονόματα των αρχείων των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν για την εργασία.

Π.Π.1.1		ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΥΦΟΡΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΔΟΥΦΟΡΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ	LEVEL 1	LEVEL 2
1	21.3.1993	LT05_L1TP_176036_19930321_20170907_01_T1.tar.gz	LT051760361993032101T1-SC20200213154918.tar.gz
2	22.4.1993	LT05_L1TP_176036_19930422_20171209_01_T1.tar.gz	LT051760361993042201T1-SC20200213154913.tar.gz
3	24.5.1993	LT05_L1TP_176036_19930524_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361993052401T1-SC20200531152442.tar.gz
4	9.6.1993	LT05_L1TP_176036_19930609_20171214_01_T1.tar.gz	LT051760361993060901T1-SC20200213154900.tar.gz
5	11.7.1993	LT05_L1TP_176036_19930711_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361993071101T1-SC20200213154955.tar.gz
6	28.8.1993	LT05_L1TP_176036_19930828_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361993082801T1-SC20200213154959.tar.gz
7	13.9.1993	LT05_L1TP_176036_19930913_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361993091301T1-SC20200213154927.tar.gz
8	29.9.1993	LT05_L1TP_176036_19930929_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361993092901T1-SC20200213154928.tar.gz
9	15.10.1993	LT05_L1TP_176036_19931015_20180218_01_T1.tar.gz	LT051760361993101501T1-SC20200213154948.tar.gz
10	19.1.1994	LT05_L1TP_176036_19940119_20180218_01_T1.tar.gz	LT051760361994011901T1-SC20200213154912.tar.gz
11	20.2.1994	LT05_L1TP_176036_19940220_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361994022001T1-SC20200213154928.tar.gz
12	12.6.1994	LT05_L1TP_176036_19940612_20180613_01_T1.tar.gz	LT051760361994061201T1-SC20200221114435.tar.gz
13	28.6.1994	LT05_L1TP_176036_19940628_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361994062801T1-SC20200221114101.tar.gz
14	14.7.1994	LT05_L1TP_176036_19940714_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361994071401T1-SC20200218234514.tar.gz
15	31.8.1994	LT05_L1TP_176036_19940831_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361994083101T1-SC20200218233302.tar.gz
16	16.9.1994	LT05_L1TP_176036_19940916_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361994091601T1-SC20200218233308.tar.gz
17	2.10.1994	LT05_L1TP_176036_19941002_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361994100201T1-SC20200218234544.tar.gz
18	5.12.1994	LT05_L1TP_176036_19941205_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361994120501T1-SC20200218234612.tar.gz
19	23.2.1995	LT05_L1TP_176036_19950223_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361995022301T1-SC20200218234546.tar.gz
20	30.5.1995	LT05_L1TP_176036_19950530_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361995053001T1-SC20200218234000.tar.gz
21	2.8.1995	LT05_L1TP_176036_19950802_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361995080201T1-SC20200218234033.tar.gz
22	3.9.1995	LT05_L1TP_176036_19950903_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361995090301T1-SC20200218235901.tar.gz
23	21.10.1995	LT05_L1TP_176036_19951021_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361995102101T1-SC20200218233931.tar.gz
24	6.11.1995	LT05_L1TP_176036_19951106_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361995110601T1-SC20200218234029.tar.gz
25	24.12.1995	LT05_L1TP_176036_19951224_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361995122401T1-SC20200218235812.tar.gz
26	26.2.1996	LT05_L1TP_176036_19960226_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361996022601T1-SC20200531152458.tar.gz



27	13.3.1996	LT05_L1TP_176036_19960313_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361996031301T1-SC20200218234046.tar.gz
28	30.4.1996	LT05_L1TP_176036_19960430_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361996043001T1-SC20200531152433.tar.gz
29	17.6.1996	LT05_L1TP_176036_19960617_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361996061701T1-SC20200531152509.tar.gz
30	19.7.1996	LT05_L1TP_176036_19960719_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361996071901T1-SC20200531152515.tar.gz
31	4.8.1996	LT05_L1TP_176036_19960804_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361996080401T1-SC20200218233955.tar.gz
32	5.9.1996	LT05_L1TP_176036_19960905_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361996090501T1-SC20200218233937.tar.gz
33	7.10.1996	LT05_L1TP_176036_19961007_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361996100701T1-SC20200218235818.tar.gz
34	8.11.1996	LT05_L1TP_176036_19961108_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361996110801T1-SC20200218235908.tar.gz
35	24.11.1996	LT05_L1TP_176036_19961124_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361996112401T1-SC20200218234019.tar.gz
36	11.1.1997	LT05_L1TP_176036_19970111_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361997011101T1-SC20200218233916.tar.gz
37	12.2.1997	LT05_L1TP_176036_19970212_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361997021201T1-SC20200218233951.tar.gz
38	19.5.1997	LT05_L1TP_176036_19970519_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361997051901T1-SC20200218233921.tar.gz
39	6.7.1997	LT05_L1TP_176036_19970706_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361997070601T1-SC20200218233934.tar.gz
40	7.8.1997	LT05_L1TP_176036_19970807_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361997080701T1-SC20200218233930.tar.gz
41	24.9.1997	LT05_L1TP_176036_19970924_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361997092401T1-SC20200218235900.tar.gz
42	10.10.1997	LT05_L1TP_176036_19971010_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361997101001T1-SC20200218233933.tar.gz
43	11.11.1997	LT05_L1TP_176036_19971111_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361997111101T1-SC20200218233951.tar.gz
44	13.12.1997	LT05_L1TP_176036_19971213_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361997121301T1-SC20200531152419.tar.gz
45	14.1.1998	LT05_L1TP_176036_19980114_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361998011401T1-SC20200218233230.tar.gz
46	15.2.1998	LT05_L1TP_176036_19980215_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361998021501T1-SC20200218235829.tar.gz
47	7.6.1998	LT05_L1TP_176036_19980607_20161224_01_T1.tar.gz	LT051760361998060701T1-SC20200221114105.tar.gz
48	23.6.1998	LT05_L1TP_176036_19980623_20180704_01_T1.tar.gz	LT051760361998062301T1-SC20200218233228.tar.gz
49	9.7.1998	LT05_L1TP_176036_19980709_20180302_01_T1.tar.gz	LT051760361998070901T1-SC20200218234000.tar.gz
50	26.8.1998	LT05_L1TP_176036_19980826_20180806_01_T1.tar.gz	LT051760361998082601T1-SC20200531152433.tar.gz
51	27.9.1998	LT05_L1TP_176036_19980927_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361998092701T1-SC20200218233403.tar.gz
52	1.1.1999	LT05_L1TP_176036_19990101_20180728_01_T1.tar.gz	LT051760361999010101T1-SC20200218233248.tar.gz
53	6.3.1999	LT05_L1TP_176036_19990306_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361999030601T1-SC20200218233434.tar.gz
54	23.4.1999	LT05_L1TP_176036_19990423_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361999042301T1-SC20200218233401.tar.gz
55	25.5.1999	LT05_L1TP_176036_19990525_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361999052501T1-SC20200218233424.tar.gz
56	28.7.1999	LT05_L1TP_176036_19990728_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361999072801T1-SC20200218233950.tar.gz
57	13.8.1999	LT05_L1TP_176036_19990813_20161216_01_T1.tar.gz	LT051760361999081301T1-SC20200218233254.tar.gz
58	30.9.1999	LT05_L1TP_176036_19990930_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361999093001T1-SC20200218233237.tar.gz

59	16.10.1999	LT05_L1TP_176036_19991016_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361999101601T1-SC20200218233310.tar.gz
60	17.11.1999	LT05_L1TP_176036_19991117_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361999111701T1-SC20200218233239.tar.gz

<b>Π.Π.1.2</b>		<b>ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	
<b>ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΥΦΟΡΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ</b>	<b>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΔΟΥΦΟΡΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ</b>	<b>LEVEL 1</b>	<b>LEVEL 2</b>
1	9.8.1992	LT05_L1TP_176036_19920809_20171214_01_T1.tar.gz	LT051760361992080901T1-SC20200213155104.tar.gz
2	10.9.1992	LT05_L1TP_176036_19920910_20180613_01_T1.tar.gz	LT051760361992091001T1-SC20200213155138.tar.gz
3	12.10.1992	LT05_L1TP_176036_19921012_20171214_01_T1.tar.gz	LT051760361992101201T1-SC20200213155325.tar.gz
4	31.12.1992	LT05_L1TP_176036_19921231_20180209_01_T1.tar.gz	LT051760361992123101T1-SC20200213154901.tar.gz
5	24.3.2000	LT05_L1TP_176036_20000324_20180627_01_T1.tar.gz	LT051760362000032401T1-SC20200218234656.tar.gz
6	11.5.2000	LT05_L1TP_176036_20000511_20161215_01_T1.tar.gz	LT051760362000051101T1-SC20200218233259.tar.gz
7	27.5.2000	LT05_L1TP_176036_20000527_20180915_01_T1.tar.gz	LT051760362000052701T1-SC20200218233309.tar.gz
8	12.6.2000	LT05_L1TP_176036_20000612_20180913_01_T1.tar.gz	LT051760362000061201T1-SC20200218233319.tar.gz
9	15.8.2000	LT05_L1TP_176036_20000815_20161214_01_T1.tar.gz	LT051760362000081501T1-SC20200218233310.tar.gz
10	2.10.2000	LT05_L1TP_176036_20001002_20180621_01_T1.tar.gz	LT051760362000100201T1-SC20200218233320.tar.gz
11	3.11.2000	LT05_L1TP_176036_20001103_20171210_01_T1.tar.gz	LT051760362000110301T1-SC20200218234556.tar.gz
12	19.11.2000	LT05_L1TP_176036_20001119_20180623_01_T1.tar.gz	LT051760362000111901T1-SC20200218234601.tar.gz
13	30.5.2001	LT05_L1TP_176036_20010530_20180311_01_T1.tar.gz	LT051760362001053001T1-SC20200218233300.tar.gz
14	1.7.2001	LT05_L1TP_176036_20010701_20180311_01_T1.tar.gz	LT051760362001070101T1-SC20200218233310.tar.gz
15	17.7.2001	LT05_L1TP_176036_20010717_20171215_01_T1.tar.gz	LT051760362001071701T1-SC20200218233251.tar.gz
16	19.9.2001	LT05_L1TP_176036_20010919_20170908_01_T1.tar.gz	LT051760362001091901T1-SC20200218234634.tar.gz
17	21.10.2001	LT05_L1TP_176036_20011021_20180501_01_T1.tar.gz	LT051760362001102101T1-SC20200531152636.tar.gz
18	17.5.2002	LT05_L1TP_176036_20020517_20161208_01_T1.tar.gz	LT051760362002051701T1-SC20200531152425.tar.gz
19	18.6.2002	LT05_L1TP_176036_20020618_20161207_01_T1.tar.gz	LT051760362002061801T1-SC20200218233345.tar.gz
20	4.7.2002	LT05_L1TP_176036_20020704_20180902_01_T1.tar.gz	LT051760362002070401T1-SC20200218233418.tar.gz
21	20.7.2002	LT05_L1TP_176036_20020720_20180902_01_T1.tar.gz	LT051760362002072001T1-SC20200218234551.tar.gz
22	5.8.2002	LT05_L1TP_176036_20020805_20180621_01_T1.tar.gz	LT051760362002080501T1-SC20200218233406.tar.gz
23	7.7.2003	LT05_L1TP_176036_20030707_20161205_01_T1.tar.gz	LT051760362003070701T1-SC20200218233331.tar.gz
24	23.7.2003	LT05_L1TP_176036_20030723_20161205_01_T1.tar.gz	LT051760362003072301T1-SC20200218234601.tar.gz
25	8.8.2003	LT05_L1TP_176036_20030808_20161205_01_T1.tar.gz	LT051760362003080801T1-SC20200218233340.tar.gz
26	9.9.2003	LT05_L1TP_176036_20030909_20161204_01_T1.tar.gz	LT051760362003090901T1-SC20200218233350.tar.gz

27	25.9.2003	LT05_L1TP_176036_20030925_20161204_01_T1.tar.gz	LT051760362003092501T1-SC20200218233420.tar.gz
28	11.10.2003	LT05_L1TP_176036_20031011_20161203_01_T1.tar.gz	LT051760362003101101T1-SC20200218234628.tar.gz
29	19.3.2004	LT05_L1TP_176036_20040319_20180311_01_T1.tar.gz	LT051760362004031901T1-SC20200221114058.tar.gz
30	22.5.2004	LT05_L1TP_176036_20040522_20180310_01_T1.tar.gz	LT051760362004052201T1-SC20200220012540.tar.gz
31	7.6.2004	LT05_L1TP_176036_20040607_20180312_01_T1.tar.gz	LT051760362004060701T1-SC20200220012617.tar.gz
32	23.6.2004	LT05_L1TP_176036_20040623_20180311_01_T1.tar.gz	LT051760362004062301T1-SC20200220012441.tar.gz
33	9.7.2004	LT05_L1TP_176036_20040709_20180310_01_T1.tar.gz	LT051760362004070901T1-SC20200220012537.tar.gz
34	26.8.2004	LT05_L1TP_176036_20040826_20180310_01_T1.tar.gz	LT051760362004082601T1-SC20200220012524.tar.gz
35	27.9.2004	LT05_L1TP_176036_20040927_20180309_01_T1.tar.gz	LT051760362004092701T1-SC20200220012631.tar.gz
36	30.11.2004	LT05_L1TP_176036_20041130_20180310_01_T1.tar.gz	LT051760362004113001T1-SC20200531144336.tar.gz
37	16.12.2004	LT05_L1TP_176036_20041216_20180310_01_T1.tar.gz	LT051760362004121601T1-SC20200531152517.tar.gz
38	10.6.2005	LT05_L1TP_176036_20050610_20180126_01_T1.tar.gz	LT051760362005061001T1-SC20200220012504.tar.gz
39	28.7.2005	LT05_L1TP_176036_20050728_20180127_01_T1.tar.gz	LT051760362005072801T1-SC20200220012548.tar.gz
40	21.2.2006	LT05_L1TP_176036_20060221_20180311_01_T1.tar.gz	LT051760362006022101T1-SC20200220012556.tar.gz
41	26.4.2006	LT05_L1TP_176036_20060426_20180309_01_T1.tar.gz	LT051760362006042601T1-SC20200220012549.tar.gz
42	12.5.2006	LT05_L1TP_176036_20060512_20180310_01_T1.tar.gz	LT051760362006051201T1-SC20200220012544.tar.gz
43	31.7.2006	LT05_L1TP_176036_20060731_20180309_01_T1.tar.gz	LT051760362006073101T1-SC20200531144342.tar.gz
44	17.9.2006	LT05_L1TP_176036_20060917_20180309_01_T1.tar.gz	LT051760362006091701T1-SC20200220012519.tar.gz
45	6.12.2006	LT05_L1TP_176036_20061206_20180309_01_T1.tar.gz	LT051760362006120601T1-SC20200728062545.tar.gz
46	23.1.2007	LT05_L1TP_176036_20070123_20180123_01_T1.tar.gz	LT051760362007012301T1-SC20200220012643.tar.gz
47	24.2.2007	LT05_L1TP_176036_20070224_20180120_01_T1.tar.gz	LT051760362007022401T1-SC20200220012641.tar.gz
48	31.5.2007	LT05_L1TP_176036_20070531_20180123_01_T1.tar.gz	LT051760362007053101T1-SC20200220012742.tar.gz
49	3.8.2007	LT05_L1TP_176036_20070803_20180120_01_T1.tar.gz	LT051760362007080301T1-SC20200220012636.tar.gz
50	19.8.2007	LT05_L1TP_176036_20070819_20180118_01_T1.tar.gz	LT051760362007081901T1-SC20200220012537.tar.gz
51	4.9.2007	LT05_L1TP_176036_20070904_20180120_01_T1.tar.gz	LT051760362007090401T1-SC20200220012657.tar.gz
52	2.6.2008	LT05_L1TP_176036_20080602_20180120_01_T1.tar.gz	LT051760362008060201T1-SC20200220012547.tar.gz
53	4.7.2008	LT05_L1TP_176036_20080704_20180116_01_T1.tar.gz	LT051760362008070401T1-SC20200220012559.tar.gz
54	27.12.2008	LT05_L1TP_176036_20081227_20180118_01_T1.tar.gz	LT051760362008122701T1-SC20200220012618.tar.gz
55	21.6.2009	LT05_L1TP_176036_20090621_20180309_01_T1.tar.gz	LT051760362009062101T1-SC20200220012605.tar.gz
56	23.7.2009	LT05_L1TP_176036_20090723_20161023_01_T1.tar.gz	LT051760362009072301T1-SC20200220012529.tar.gz
57	24.8.2009	LT05_L1TP_176036_20090824_20161022_01_T1.tar.gz	LT051760362009082401T1-SC20200220012657.tar.gz
58	25.9.2009	LT05_L1TP_176036_20090925_20161020_01_T1.tar.gz	LT051760362009092501T1-SC20200220012529.tar.gz

59	11.10.2009	LT05_L1TP_176036_20091011_20161019_01_T1.tar.gz	LT051760362009101101T1-SC20200220012507.tar.gz
60	28.11.2009	LT05_L1TP_176036_20091128_20161017_01_T1.tar.gz	LT051760362009112801T1-SC20200220012542.tar.gz
61	5.4.2010	LT05_L1TP_176036_20100405_20161016_01_T1.tar.gz	LT051760362010040501T1-SC20200220012620.tar.gz
62	28.9.2010	LT05_L1TP_176036_20100928_20161013_01_T1.tar.gz	LT051760362010092801T1-SC20200220012524.tar.gz
63	13.7.2011	LT05_L1TP_176036_20110713_20180312_01_T1.tar.gz	LT051760362011071301T1-SC20200220012539.tar.gz
64	1.10.2011	LT05_L1TP_176036_20111001_20161005_01_T1.tar.gz	LT051760362011100101T1-SC20200220012634.tar.gz
65	17.10.2011	LT05_L1TP_176036_20111017_20161005_01_T1.tar.gz	LT051760362011101701T1-SC20200531174659.tar.gz

Π.Π.1.3		ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΥΦΟΡΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΔΟΥΦΟΡΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ	LEVEL 1	LEVEL 2
1	29.4.2013	LC08_L1TP_176036_20130429_20170505_01_T1.tar.gz	LC081760362013042901T1-SC20200220003852.tar.gz
2	31.5.2013	LC08_L1TP_176036_20130531_20170504_01_T1.tar.gz	LC081760362013053101T1-SC20200220003851.tar.gz
3	16.6.2013	LC08_L1TP_176036_20130616_20170503_01_T1.tar.gz	LC081760362013061601T1-SC20200220003901.tar.gz
4	2.7.2013	LC08_L1TP_176036_20130702_20170503_01_T1.tar.gz	LC081760362013070201T1-SC20200220003642.tar.gz
5	19.8.2013	LC08_L1TP_176036_20130819_20170502_01_T1.tar.gz	LC081760362013081901T1-SC20200220003657.tar.gz
6	4.9.2013	LC08_L1TP_176036_20130904_20180526_01_T1.tar.gz	LC081760362013090401T1-SC20200220003855.tar.gz
7	22.10.2013	LC08_L1TP_176036_20131022_20170429_01_T1.tar.gz	LC081760362013102201T1-SC20200220003814.tar.gz
8	9.12.2013	LC08_L1TP_176036_20131209_20170428_01_T1.tar.gz	LC081760362013120901T1-SC20200531175451.tar.gz
9	10.1.2014	LC08_L1TP_176036_20140110_20170426_01_T1.tar.gz	LC081760362014011001T1-SC20200531174150.tar.gz
10	11.2.2014	LC08_L1TP_176036_20140211_20170425_01_T1.tar.gz	LC081760362014021101T1-SC20200220003853.tar.gz
11	15.3.2014	LC08_L1TP_176036_20140315_20170425_01_T1.tar.gz	LC081760362014031501T1-SC20200220003806.tar.gz
12	31.3.2014	LC08_L1TP_176036_20140331_20170424_01_T1.tar.gz	LC081760362014033101T1-SC20200220003851.tar.gz
13	18.5.2014	LC08_L1TP_176036_20140518_20170422_01_T1.tar.gz	LC081760362014051801T1-SC20200220003812.tar.gz
14	19.6.2014	LC08_L1TP_176036_20140619_20180526_01_T1.tar.gz	LC081760362014061901T1-SC20200221114031.tar.gz
15	5.7.2014	LC08_L1TP_176036_20140705_20170421_01_T1.tar.gz	LC081760362014070501T1-SC20200531171324.tar.gz
16	6.8.2014	LC08_L1TP_176036_20140806_20170420_01_T1.tar.gz	LC081760362014080601T1-SC20200531174204.tar.gz
17	23.9.2014	LC08_L1TP_176036_20140923_20170419_01_T1.tar.gz	LC081760362014092301T1-SC20200220003637.tar.gz
18	9.10.2014	LC08_L1TP_176036_20141009_20170418_01_T1.tar.gz	LC081760362014100901T1-SC20200531174144.tar.gz
19	10.11.2014	LC08_L1TP_176036_20141110_20170417_01_T1.tar.gz	LC081760362014111001T1-SC20200220003809.tar.gz
20	29.1.2015	LC08_L1TP_176036_20150129_20170413_01_T1.tar.gz	LC081760362015012901T1-SC20200531174149.tar.gz
21	19.4.2015	LC08_L1TP_176036_20150419_20170409_01_T1.tar.gz	LC081760362015041901T1-SC20200220003741.tar.gz

22	5.5.2015	LC08_L1TP_176036_20150505_20170409_01_T1.tar.gz	LC081760362015050501T1-SC20200220003849.tar.gz
23	21.5.2015	LC08_L1TP_176036_20150521_20170409_01_T1.tar.gz	LC081760362015052101T1-SC20200220003841.tar.gz
24	22.6.2015	LC08_L1TP_176036_20150622_20170407_01_T1.tar.gz	LC081760362015062201T1-SC20200531174211.tar.gz
25	8.7.2015	LC08_L1TP_176036_20150708_20170407_01_T1.tar.gz	LC081760362015070801T1-SC20200221114035.tar.gz
26	24.7.2015	LC08_L1TP_176036_20150724_20170406_01_T1.tar.gz	LC081760362015072401T1-SC20200220003633.tar.gz
27	9.8.2015	LC08_L1TP_176036_20150809_20170406_01_T1.tar.gz	LC081760362015080901T1-SC20200220003816.tar.gz
28	25.8.2015	LC08_L1TP_176036_20150825_20170405_01_T1.tar.gz	LC081760362015082501T1-SC20200220003631.tar.gz
29	26.9.2015	LC08_L1TP_176036_20150926_20170403_01_T1.tar.gz	LC081760362015092601T1-SC20200220003811.tar.gz
30	13.11.2015	LC08_L1TP_176036_20151113_20170402_01_T1.tar.gz	LC081760362015111301T1-SC20200220003808.tar.gz
31	16.1.2016	LC08_L1TP_176036_20160116_20170405_01_T1.tar.gz	LC081760362016011601T1-SC20200220003803.tar.gz
32	5.4.2016	LC08_L1TP_176036_20160405_20170327_01_T1.tar.gz	LC081760362016040501T1-SC20200220003806.tar.gz
33	8.6.2016	LC08_L1TP_176036_20160608_20170324_01_T1.tar.gz	LC081760362016060801T1-SC202002211144022.tar.gz
34	10.7.2016	LC08_L1TP_176036_20160710_20180526_01_T1.tar.gz	LC081760362016071001T1-SC20200221114034.tar.gz
35	11.8.2016	LC08_L1TP_176036_20160811_20170322_01_T1.tar.gz	LC081760362016081101T1-SC20200220003820.tar.gz
36	27.8.2016	LC08_L1TP_176036_20160827_20170322_01_T1.tar.gz	LC081760362016082701T1-SC20200531171321.tar.gz
37	12.9.2016	LC08_L1TP_176036_20160912_20170321_01_T1.tar.gz	LC081760362016091201T1-SC20200220003651.tar.gz
38	28.9.2016	LC08_L1TP_176036_20160928_20170321_01_T1.tar.gz	LC081760362016092801T1-SC20200220003800.tar.gz
39	14.10.2016	LC08_L1TP_176036_20161014_20170319_01_T1.tar.gz	LC081760362016101401T1-SC20200220003848.tar.gz
40	30.10.2016	LC08_L1TP_176036_20161030_20170318_01_T1.tar.gz	LC081760362016103001T1-SC20200220003801.tar.gz
41	18.1.2017	LC08_L1TP_176036_20170118_20170311_01_T1.tar.gz	LC081760362017011801T1-SC20200220003758.tar.gz
42	3.2.2017	LC08_L1TP_176036_20170203_20170215_01_T1.tar.gz	LC081760362017020301T1-SC20200220003719.tar.gz
43	19.2.2017	LC08_L1TP_176036_20170219_20170301_01_T1.tar.gz	LC081760362017021901T1-SC20200220003820.tar.gz
44	7.3.2017	LC08_L1TP_176036_20170307_20170317_01_T1.tar.gz	LC081760362017030701T1-SC20200220003826.tar.gz
45	24.4.2017	LC08_L1TP_176036_20170424_20170502_01_T1.tar.gz	LC081760362017042401T1-SC20200220003840.tar.gz
46	10.5.2017	LC08_L1TP_176036_20170510_20170516_01_T1.tar.gz	LC081760362017051001T1-SC20200220003857.tar.gz
47	11.6.2017	LC08_L1TP_176036_20170611_20170627_01_T1.tar.gz	LC081760362017061101T1-SC20200531171404.tar.gz
48	27.6.2017	LC08_L1TP_176036_20170627_20170714_01_T1.tar.gz	LC081760362017062701T1-SC20200531174153.tar.gz
49	29.7.2017	LC08_L1TP_176036_20170729_20170811_01_T1.tar.gz	LC081760362017072901T1-SC20200220003701.tar.gz
50	14.8.2017	LC08_L1TP_176036_20170814_20170825_01_T1.tar.gz	LC081760362017081401T1-SC20200220003856.tar.gz
51	30.8.2017	LC08_L1TP_176036_20170830_20170914_01_T1.tar.gz	LC081760362017083001T1-SC20200220003630.tar.gz
52	15.9.2017	LC08_L1TP_176036_20170915_20180526_01_T1.tar.gz	LC081760362017091501T1-SC20200220003856.tar.gz
53	1.10.2017	LC08_L1TP_176036_20171001_20171013_01_T1.tar.gz	LC081760362017100101T1-SC20200220003808.tar.gz

54	17.10.2017	LC08_L1TP_176036_20171017_20171024_01_T1.tar.gz	LC081760362017101701T1-SC20200220003828.tar.gz
55	6.2.2018	LC08_L1TP_176036_20180206_20180221_01_T1.tar.gz	LC081760362018020601T1-SC20200220003807.tar.gz
56	26.3.2018	LC08_L1TP_176036_20180326_20180404_01_T1.tar.gz	LC081760362018032601T1-SC20200220003856.tar.gz

Π.Π.1.4		ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΥΦΟΡΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΔΟΥΦΟΡΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ	LEVEL 1	LEVEL 2
1	16.7.2018	LC08_L1TP_176036_20180716_20180730_01_T1.tar.gz	LC081760362018071601T1-SC20200531171327.tar.gz
2	17.8.2018	LC08_L1TP_176036_20180817_20180829_01_T1.tar.gz	LC081760362018081701T1-SC20200220003626.tar.gz
3	18.9.2018	LC08_L1TP_176036_20180918_20180928_01_T1.tar.gz	LC081760362018091801T1-SC20200220003656.tar.gz
4	4.10.2018	LC08_L1TP_176036_20181004_20181010_01_T1.tar.gz	LC081760362018100401T1-SC20200220003825.tar.gz

## Παράρτημα 2

Παρακάτω παρουσιάζονται τα batch αρχεία Windows και τα προγράμματα Python που χρησιμοποιήθηκαν για μαζικούς υπολογισμούς για όλες τις εικόνες.

### ➤ Κώδικας 1: Υπολογισμός δείκτη NDVI για εικόνες επιπέδου L2 του Landsat 5

```
for /f "tokens=*" %%i in ('dir /AD /b') do (
cd %%i
for /f "tokens=*" %%j in ('dir /b *.xml') do call :sub_gdal %%j
cd ..
)
goto :eof
:sub_gdal
set str=%1
set str=%str:~0,-4%
set B4=_sr_band4.tif
set B3=_sr_band3.tif
set NN=_NDVI.tif
set NIR=%str%%B4%
set RED=%str%%B3%
set NDVI=%str%%NN%
call gdal_calc --NoDataValue=3.4028234663852886e+38 --calc
"logical_and(A>0,B>0)*(1.*A-1.*B)/(1.*A+1.*B)" --format GTiff --type Float32 -A %NIR%
--A_band 1 -B %RED% --B_band 1 --outfile %NDVI%
exit /b
```

➤ **Κώδικας 2: Υπολογισμός δείκτη NDVI για εικόνες επιπέδου L2 του Landsat 8**

```
for /f "tokens=*" %%i in ('dir /AD /b') do (
cd %%i
for /f "tokens=*" %%j in ('dir /b *.xml') do call :sub_gdal %%j
cd ..
)
goto :eof
:sub_gdal
set str=%1
set str=%str:~0,-4%
set B5=_sr_band5.tif
set B4=_sr_band4.tif
set NN=_NDVI.tif
set NIR=%str%%B5%
set RED=%str%%B4%
set NDVI=%str%%NN%
call gdal_calc --NoDataValue=3.4028234663852886e+38 --calc
"logical_and(A>0,B>0)*(1.*A-1.*B)/(1.*A+1.*B)" --format GTiff --type Float32 -A %NIR%
--A_band 1 -B %RED% --B_band 1 --outfile %NDVI%
exit /b
```

➤ **Κώδικας 3: Εξαγωγή θερμοκρασιών εδάφους (Land Surface Temperature) από το θερμικό κανάλι 6 των εικόνων Landsat 5 (για τις εικόνες με σύννεφα χρησιμοποιήθηκαν το θερμικό κανάλι 6 και ο δείκτης NDVI που έχουν μασκαριστεί από σύννεφα)**

```
for /f "tokens=*" %%i in ('dir /AD /b') do (
cd %%i
for /f "tokens=*" %%j in ('dir /b *_MTL.txt') do call :sub_gdal %%j
cd ..
)
goto :eof
:sub_gdal
set str=%1
set str=%str:~0,-8%
set THER=_CL_B6.TIF
set S_R=_spect_rad.TIF
set T_k=_temp_kelvin.TIF
set pv=_Pv.TIF
set S_V=_NDVI.tif
set T_l=_temp_land.TIF
set T_c=_temp_celsius.TIF
set em=_emissivity.TIF
set THERMAL=%str%%THER%
set SPECT_RAD=%str%%_b6%S_R%
set TEMP_KELVIN=%str%%_b6%T_k%
```

```

set CL_NDVI=%str%_CL%S_V%
set PAR_PV=%str%_b6%pv%
set EMISSIVITY=%str%_b6%em%
set TEMP_LAND=%str%_b6%T_1%
set TEMP_CELSIUM=%str%_b6%T_c%
cd %str%_cl
call gdal_calc --calc "0.055375*A+1.18243" --format GTiff --type Float32 -A
%THERMAL% --A_band 1 --outfile %SPECT_RAD%
call gdal_calc --calc "1260.56/(log((607.76/(1.*A))+1))" --format GTiff --type Float32 -A
%SPECT_RAD% --A_band 1 --outfile %TEMP_KELVIN%
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\min.py %CL_NDVI% >tmpFile
set /p NDVImin= <tmpFile
del tmpFile
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\max.py %CL_NDVI% >tmpFile
set /p NDVImax= <tmpFile
del tmpFile
call gdal_calc --calc "power((((1.*A)-%NDVImin%)/(%NDVImax%-
%NDVImin%+0.000000001)),2)" --format GTiff --type Float32 -A %CL_NDVI% --A_band
1 --outfile %PAR_PV%
call gdal_calc --calc "(0.004*A)+0.986" --format GTiff --type Float32 -A %PAR_PV% --
A_band 1 --outfile %EMISSIVITY%
call gdal_calc --calc "A/(1+(((11.5*A)/14387.7738)*log(B)))" --format GTiff --type Float32 -
A %TEMP_KELVIN% --A_band 1 -B %EMISSIVITY% --B_band 1 --outfile
%TEMP_LAND%
call gdal_calc --calc "(1.*A)-273.15" --format GTiff --type Float32 -A %TEMP_LAND% --
A_band 1 --outfile %TEMP_CELSIUM%
cd ..
exit/b

```

- **Κώδικας 4: Εξαγωγή θερμοκρασιών εδάφους (Land Surface Temperature) από το θερμικό κανάλι 10 των εικόνων Landsat 8 (για τις εικόνες με σύννεφα χρησιμοποιήθηκαν το θερμικό κανάλι 10 και ο δείκτης NDVI που έχουν μασκαριστεί από σύννεφα)**

```

for /f "tokens=*" %%i in ('dir/AD/b') do (
cd %%i
for /f "tokens=*" %%j in ('dir /b *_MTL.txt') do call :sub_gdal %%j
cd ..
)
goto :eof
:sub_gdal
set str=%1
set str=%str:~-0,-8%
set THER=_CL_B10.TIF
set S_R=_spect_rad.TIF
set T_k=_temp_kelvin.TIF
set pv=_Pv.TIF
set S_V=_NDVI.tif

```



```

set T_l=_temp_land.TIF
set T_c=_temp_celsius.TIF
set em=_emissivity.TIF
set THERMAL=%str% %THER%
set SPECT_RAD=%str%_b10%S_R%
set TEMP_KELVIN=%str%_b10%T_k%
set CL_NDVI=%str%_CL%S_V%
set PAR_PV=%str%_b10%pv%
set EMISSIVITY=%str%_b10%em%
set TEMP_LAND=%str%_b10%T_l%
set TEMP_CELSIUM=%str%_b10%T_c%
cd %str%_cl
call gdal_calc --calc "0.0003342*A+0.1" --format GTiff --type Float32 -A %THERMAL% --
A_band 1 --outfile %SPECT_RAD%
call gdal_calc --calc "1321.0789/(log((774.8853/(1.*A))+1))" --format GTiff --type Float32 -
A %SPECT_RAD% --A_band 1 --outfile %TEMP_KELVIN%
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\min.py %CL_NDVI% >tmpFile
set /p NDVImin= <tmpFile
del tmpFile
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\max.py %CL_NDVI% >tmpFile
set /p NDVImax= <tmpFile
del tmpFile
call gdal_calc --calc "power((((1.*A)-%NDVImin%)/(%NDVImax%-
%NDVImin%+0.000000001)),2)" --format GTiff --type Float32 -A %CL_NDVI% --A_band
1 --outfile %PAR_PV%
call gdal_calc --calc "(0.004*A)+0.986" --format GTiff --type Float32 -A %PAR_PV% --
A_band 1 --outfile %EMISSIVITY%
call gdal_calc --calc "A/(1+(((10.9*A)/14387.7738)*log(B)))" --format GTiff --type Float32 -
A %TEMP_KELVIN% --A_band 1 -B %EMISSIVITY% --B_band 1 --outfile
%TEMP_LAND%
call gdal_calc --calc "(1.*A)-273.15" --format GTiff --type Float32 -A %TEMP_LAND% --
A_band 1 --outfile %TEMP_CELSIUM%
cd ..
exit/b

```

- **Κώδικας 5: Εξαγωγή θερμοκρασιών εδάφους (Land Surface Temperature) από το θερμικό κανάλι 11 των εικόνων Landsat 8 (για τις εικόνες με σύννεφα χρησιμοποιήθηκαν το θερμικό κανάλι 11 και δείκτης NDVI που έχουν μασκαριστεί από σύννεφα)**

```

for /f "tokens=*" %%i in ('dir/AD/b') do (
cd %%i
for /f "tokens=*" %%j in ('dir /b *_MTL.txt') do call :sub_gdal %%j
cd ..
)
goto :eof
:sub_gdal
set str=%1
set str=%str:~0,-8%

```

```

set THER=_CL_B11.TIF
set S_R=_spect_rad.TIF
set T_k=_temp_kelvin.TIF
set pv=_Pv.TIF
set S_V=_NDVI.tif
set T_l=_temp_land.TIF
set T_c=_temp_celsius.TIF
set em=_emissivity.TIF
set THERMAL=%str%THER%
set SPECT_RAD=%str%_b11%S_R%
set TEMP_KELVIN=%str%_b11%T_k%
set CL_NDVI=%str%_CL%S_V%
set PAR_PV=%str%_b11%pv%
set EMISSIVITY=%str%_b11%em%
set TEMP_LAND=%str%_b11%T_l%
set TEMP_CELSIUM=%str%_b11%T_c%
cd %str%_cl
call gdal_calc --calc "0.0003342*A+0.1" --format GTiff --type Float32 -A %THERMAL% --
A_band 1 --outfile %SPECT_RAD%
call gdal_calc --calc "1201.1442/(log((480.8883/(1.*A))+1))" --format GTiff --type Float32 -
A %SPECT_RAD% --A_band 1 --outfile %TEMP_KELVIN%
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\min.py %CL_NDVI% >tmpFile
set /p NDVImin= <tmpFile
del tmpFile
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\max.py %CL_NDVI% >tmpFile
set /p NDVImax= <tmpFile
del tmpFile
call gdal_calc --calc "power((((1.*A)-%NDVImin%)/(%NDVImax%-
%NDVImin%+0.000000001)),2)" --format GTiff --type Float32 -A %CL_NDVI% --A_band
1 --outfile %PAR_PV%
call gdal_calc --calc "(0.004*A)+0.986" --format GTiff --type Float32 -A %PAR_PV% --
A_band 1 --outfile %EMISSIVITY%
call gdal_calc --calc "A/(1+(((12*A)/14387.7738)*log(B)))" --format GTiff --type Float32 -A
%TEMP_KELVIN% --A_band 1 -B %EMISSIVITY% --B_band 1 --outfile
%TEMP_LAND%
call gdal_calc --calc "(1.*A)-273.15" --format GTiff --type Float32 -A %TEMP_LAND% --
A_band 1 --outfile %TEMP_CELSIUM%
cd ..
exit/b

```

**Για τους κώδικες 3, 4 και 5 χρησιμοποιήθηκαν οι δύο εξής βοηθητικοί κώδικες Python:**

### 1. max.py :

```

import sys
import numpy as np
import geoin as geo

```

```

# Set filename
filename1 = sys.argv[1]

# Read GeoTiff data
(inpim, geoTransform, proj, drv_name) = geo.read(filename1)

# exclude noData values
vinpim = inpim[inpim != 3.4028234663852886e+38]

# Find Min and Max values
mn1 = np.amin(vinpim)
mx1 = np.amax(vinpim)
print mx1

```

## 2. min.py :

```

import sys
import numpy as np
import geoim as geo

# Set filename
filename1 = sys.argv[1]

# Read GeoTiff data
(inpim, geoTransform, proj, drv_name) = geo.read(filename1)

# exclude noData values
vinpim = inpim[inpim != 3.4028234663852886e+38]

# Find Min and Max values
mn1 = np.amin(vinpim)
mx1 = np.amax(vinpim)
print mn1

```

### ➤ Κώδικας 6: Υπολογισμός μέσου όρου των θερμοκρασιών εδάφους από εικόνες Landsat 8 που ήταν αποτελέσματα των κώδικων 4 και 5

```

for /f "tokens=*" %%i in ('dir/AD/b') do (
cd %%i
for /f "tokens=*" %%j in ('dir /b *_T1_CL_NDVI.tif') do call :sub_gdal %%j
cd ..
)
goto :eof
:sub_gdal
set str=%1
set str=%str:~0,-15%

```

```

call gdal_calc --calc "(A*1.0+B*1.0)/2" --format GTiff --type Float32 -A
%str%_T1_b10_temp_celsius.TIF -B %str%_T1_b11_temp_celsius.TIF --outfile
%str%_temp_celsius_average.TIF
exit/b

```

➤ **Κώδικας 7: Μασκάρισμα θερμοκρασιών εδάφους των εικόνων Landsat 5 με βάση τις μάσκες λιμνών, σκίασης από SAR και υψομέτρου-προσανατολισμού**

```

for /f "tokens=*" %%i in ('dir/AD/b') do (
cd %%i
for /f "tokens=*" %%j in ('dir /b *_T1_CL_NDVI.tif') do call :sub_gdal %%j
cd ..
)
goto :eof
:sub_gdal
set str=%1
set str=%str:~0,-15%
gdal_translate -projwin 453688.9549000000115484 3890995.29939999999016523
485176.9549000000115484 3859081.29939999999016523 %str%_b6_temp_celsius.TIF
%str%_temp_celsius_masked_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 201.tif --
A_band 1 -B %str%_temp_celsius_masked_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_201_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 202.tif --
A_band 1 -B %str%_temp_celsius_masked_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_202_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 301.tif --
A_band 1 -B %str%_temp_celsius_masked_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_301_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 302.tif --
A_band 1 -B %str%_temp_celsius_masked_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_302_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 401.tif --
A_band 1 -B %str%_temp_celsius_masked_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_401_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 402.tif --
A_band 1 -B %str%_temp_celsius_masked_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_402_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A
prothesi_water_no_0_sar_no_0_mask.tif --A_band 1 -B
%str%_temp_celsius_masked_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_clipped_1.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A" --
format GTiff --type Float32 -A %str%_temp_celsius_201_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_201.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A" --
format GTiff --type Float32 -A %str%_temp_celsius_202_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_202.TIF

```

```

call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_temp_celsius_301_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_301.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_temp_celsius_302_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_302.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_temp_celsius_401_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_401.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_temp_celsius_402_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_402.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_temp_celsius_clipped_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_clipped.TIF
exit/b

```

➤ **Κώδικας 8: Μασκάρισμα θερμοκρασιών εδάφους των εικόνων Landsat 8 με βάση τις μάσκες λυμών, σκίασης από SAR και υψομέτρου-προσανατολισμού**

```

for /f "tokens=*" %%i in ('dir/AD/b') do (
cd %%i
for /f "tokens=*" %%j in ('dir /b * _T1_CL_NDVI.tif') do call :sub_gdal %%j
cd ..
)
goto :eof
:sub_gdal
set str=%1
set str=%str:~0,-15%

gdal_translate -projwin 453688.9549000000115484 3890995.29939999999016523
485176.9549000000115484 3859081.29939999999016523 %str%_temp_celsius_average.TIF
%str%_temp_celsius_average_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 201.tif --
A_band 1 -B %str%_temp_celsius_average_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_201_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 202.tif --
A_band 1 -B %str%_temp_celsius_average_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_202_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 301.tif --
A_band 1 -B %str%_temp_celsius_average_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_301_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 302.tif --
A_band 1 -B %str%_temp_celsius_average_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_302_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 401.tif --
A_band 1 -B %str%_temp_celsius_average_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_401_1.TIF

```

```

call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 402.tif --
A_band 1 -B %str%_temp_celsius_average_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_402_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A
prothesi_water_no_0_sar_no_0_mask.tif --A_band 1 -B
%str%_temp_celsius_average_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_clipped_1.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_temp_celsius_201_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_201.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_temp_celsius_202_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_202.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_temp_celsius_301_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_301.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_temp_celsius_302_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_302.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_temp_celsius_401_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_401.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_temp_celsius_402_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_402.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_temp_celsius_clipped_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_temp_celsius_clipped.TIF
exit/b

```

➤ **Κώδικας 9: Μασκάρισμα δεικτών NDVI των εικόνων Landsat 5 με βάση τις μάσκες λυμών, σκίασης από SAR και υψομέτρου-προσανατολισμού**

```

for /f "tokens=*" %%i in ('dir /AD /b') do (
cd %%i
for /f "tokens=*" %%j in ('dir /b *_T1_CL_NDVI.tif') do call :sub_gdal %%j
cd ..
)
goto :eof
:sub_gdal
set str=%1
set str=%str:~0,-15%
gdal_translate -projwin 453688.9549000000115484 3890995.29939999999016523
485176.9549000000115484 3859081.29939999999016523 %str%_T1_CL_NDVI.tif
%str%_T1_CL_NDVI_masked_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 201.tif --
A_band 1 -B %str%_T1_CL_NDVI_masked_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_NDVI_201_1.TIF

```

```

call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 202.tif --
A_band 1 -B %str%_T1_CL_NDVI_masked_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_NDVI_202_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 301.tif --
A_band 1 -B %str%_T1_CL_NDVI_masked_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_NDVI_301_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 302.tif --
A_band 1 -B %str%_T1_CL_NDVI_masked_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_NDVI_302_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 401.tif --
A_band 1 -B %str%_T1_CL_NDVI_masked_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_NDVI_401_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 402.tif --
A_band 1 -B %str%_T1_CL_NDVI_masked_1.TIF --B_band 1 --outfile
%str%_NDVI_402_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A
prothesi_water_no_0_sar_no_0_mask.tif --A_band 1 -B
%str%_T1_CL_NDVI_masked_1.TIF --B_band 1 --outfile %str%_NDVI_clipped_1.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_NDVI_201_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_NDVI_201.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_NDVI_202_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_NDVI_202.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_NDVI_301_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_NDVI_301.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_NDVI_302_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_NDVI_302.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_NDVI_401_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_NDVI_401.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_NDVI_402_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_NDVI_402.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_NDVI_clipped_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_NDVI_clipped.TIF
exit/b

```

➤ **Κώδικας 10: Μασκάρισμα δεικτών NDVI των εικόνων Landsat 8 με βάση τις μάσκες λιμνών, σκίασης από SAR και υψομέτρου-προσανατολισμού**

```

for /f "tokens=*" %%i in ('dir /AD /b') do (
cd %%i
for /f "tokens=*" %%j in ('dir /b * _T1_CL_NDVI.tif') do call :sub_gdal %%j
cd ..

```

```

)
goto :eof
:sub_gdal
set str=%1
set str=%str:~0,-15%
gdal_translate -projwin 453688.9549000000115484 3890995.29939999999016523
485176.9549000000115484 3859081.29939999999016523 %str%_T1_CL_NDVI.TIF
%str%_T1_CL_NDVI_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 201.tif --
A_band 1 -B %str%_T1_CL_NDVI_1.TIF --B_band 1 --outfile %str%_NDVI_201_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 202.tif --
A_band 1 -B %str%_T1_CL_NDVI_1.TIF --B_band 1 --outfile %str%_NDVI_202_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 301.tif --
A_band 1 -B %str%_T1_CL_NDVI_1.TIF --B_band 1 --outfile %str%_NDVI_301_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 302.tif --
A_band 1 -B %str%_T1_CL_NDVI_1.TIF --B_band 1 --outfile %str%_NDVI_302_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 401.tif --
A_band 1 -B %str%_T1_CL_NDVI_1.TIF --B_band 1 --outfile %str%_NDVI_401_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A 402.tif --
A_band 1 -B %str%_T1_CL_NDVI_1.TIF --B_band 1 --outfile %str%_NDVI_402_1.TIF
call gdal_calc --calc "(( A*1.0 - 1) * B*1.0)*(-1)" --format GTiff --type Float32 -A
prothesi_water_no_0_sar_no_0_mask.tif --A_band 1 -B %str%_T1_CL_NDVI_1.TIF --
B_band 1 --outfile %str%_NDVI_clipped_1.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_NDVI_201_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_NDVI_201.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_NDVI_202_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_NDVI_202.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_NDVI_301_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_NDVI_301.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_NDVI_302_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_NDVI_302.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_NDVI_401_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_NDVI_401.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_NDVI_402_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_NDVI_402.TIF
call gdal_calc --calc "(A==0)*(3.4028234663852886e+38) + (logical_or(A<0,A>0)) * A " --
format GTiff --type Float32 -A %str%_NDVI_clipped_1.TIF --A_band 1 --outfile
%str%_NDVI_clipped.TIF
exit/b

```



➤ **Κώδικας 11: Εξαγωγή στατιστικών στοιχείων εικόνων θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI**

```
for /f "tokens=*" %%i in ('dir/AD/b') do (
cd %%i
for /f "tokens=*" %%j in ('dir /b *_T1_CL_NDVI.tif') do call :sub_gdal %%j
cd ..
)
goto :eof
:sub_gdal
set str=%1
set str=%str:~0,-15%
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\imgstats2.py %str%_NDVI_201.TIF >>
%str%_NDVI_201.txt
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\imgstats2.py %str%_NDVI_202.TIF >>
%str%_NDVI_202.txt
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\imgstats2.py %str%_NDVI_301.TIF >>
%str%_NDVI_301.txt
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\imgstats2.py %str%_NDVI_302.TIF >>
%str%_NDVI_302.txt
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\imgstats2.py %str%_NDVI_401.TIF >>
%str%_NDVI_401.txt
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\imgstats2.py %str%_NDVI_402.TIF >>
%str%_NDVI_402.txt
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\imgstats2.py %str%_NDVI_clipped.TIF >>
%str%_NDVI_clipped.txt
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\imgstats2.py %str%_temp_celsius_201.TIF >>
%str%_temp_celsius_201.txt
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\imgstats2.py %str%_temp_celsius_202.TIF >>
%str%_temp_celsius_202.txt
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\imgstats2.py %str%_temp_celsius_301.TIF >>
%str%_temp_celsius_301.txt
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\imgstats2.py %str%_temp_celsius_302.TIF >>
%str%_temp_celsius_302.txt
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\imgstats2.py %str%_temp_celsius_401.TIF >>
%str%_temp_celsius_401.txt
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\imgstats2.py %str%_temp_celsius_402.TIF >>
%str%_temp_celsius_402.txt
python C:\L1_products\1\Landsat_5\scripts\imgstats2.py %str%_temp_celsius_clipped.TIF
>> %str%_temp_celsius_clipped.txt
```

**Για το παραπάνω κώδικα 11 χρησιμοποιήθηκε ο βοηθητικός κώδικας Python, imgstats2.py:**

```
from osgeo import gdal
import os, sys

src_ds = gdal.Open( sys.argv[1] )
```

```

if src_ds is None:
    print 'Unable to open image'
    sys.exit(1)

print "[ RASTER BAND COUNT ]: ", src_ds.RasterCount
for band in range( src_ds.RasterCount ):
    band += 1
    print "[ GETTING BAND ]: ", band
    srcband = src_ds.GetRasterBand(band)
    if srcband is None:
        continue

    stats = srcband.GetStatistics( True, True )
    if stats is None:
        continue

    print "[ STATS ] = Minimum=, %.3f, Maximum=, %.3f, Mean=, %.3f, StdDev=, %.3f" %
(\
        stats[0], stats[1], stats[2], stats[3] )

```

# Παράρτημα 3

## Διαγράμματα

Διάγραμμα 2.1: Τετραγωνικά σφάλματα των εκτιμώμενων θερμοκρασιών εδάφους από την εξίσωση 2.13 με συντελεστές του Πινάκα 2.2 από την εργασία Du et al (2014)..... 35

Διάγραμμα 3.1: Χρονοσειρά παρατηρήσεων θερμοκρασιών από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» ανά μήνα για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως τον Απρίλιο του 2016..... 48

Διάγραμμα 3.2: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσω των θερμοκρασιών για τον μήνα Ιανουάριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016..... 48

Διάγραμμα 3.3: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσω των θερμοκρασιών για τον μήνα Φεβρουάριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016..... 48

Διάγραμμα 3.4: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσω των θερμοκρασιών για τον μήνα Μάρτιο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016..... 49

Διάγραμμα 3.5: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσω των θερμοκρασιών για τον μήνα Απρίλιο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016..... 49

Διάγραμμα 3.6: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσω των θερμοκρασιών για τον μήνα Μάιο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016..... 49

Διάγραμμα 3.7: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσω των θερμοκρασιών για τον μήνα Ιούνιο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016..... 49

Διάγραμμα 3.8: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσω των θερμοκρασιών για τον μήνα Ιούλιο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016..... 50

Διάγραμμα 3.9: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσω των θερμοκρασιών για τον μήνα Αύγουστο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016..... 50

Διάγραμμα 3.10: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσω των θερμοκρασιών για τον μήνα Σεπτέμβριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016..... 50

Διάγραμμα 3.11: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσω των θερμοκρασιών για τον μήνα Οκτώβριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016..... 50

Διάγραμμα 3.12: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσω των θερμοκρασιών για τον μήνα Νοέμβριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016..... 51

Διάγραμμα 3.13: Χρονοσειρά παρατηρήσεων μέσω των θερμοκρασιών για τον μήνα Δεκέμβριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016..... 51

Διάγραμμα 3.14: Μέσοι όροι θερμοκρασιών ανά μήνα για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016.....	51
Διάγραμμα 3.15: Τυπικές αποκλίσεις θερμοκρασιών ανά μήνα για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016.....	51
Διάγραμμα 3.16: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή R2 για τον μήνα Ιανουάριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016.....	52
Διάγραμμα 3.17: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή R2 για τον μήνα Φεβρουάριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016.....	52
Διάγραμμα 3.18: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή R2 για τον μήνα Μάρτιο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016.....	53
Διάγραμμα 3.19: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή R2 για τον μήνα Απρίλιο από σταθμό τον «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016.....	53
Διάγραμμα 3.20: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή R2 για τον μήνα Μάιο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016.....	53
Διάγραμμα 3.21: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή R2 για τον μήνα Ιούνιο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016.....	53
Διάγραμμα 3.22: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή R2 για τον μήνα Ιούλιο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016.....	54
Διάγραμμα 3.23: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή R2 για τον μήνα Αυγούστου από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016.....	54
Διάγραμμα 3.24: Γραμμικό μοντέλο με τον συντελεστή R2για τον μήνα Σεπτέμβριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016.....	54
Διάγραμμα 3.25: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή R2 για τον μήνα Οκτώβριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016.....	54
Διάγραμμα 3.26: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή R2 για τον μήνα Νοέμβριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016.....	55
Διάγραμμα 3.27: Ευθεία τάσης με τον συντελεστή R2 για τον μήνα Δεκέμβριο από τον σταθμό «Σταυρός της Ψόκας» για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1992 έως Απρίλιο του 2016.....	55
Διάγραμμα 4.1: Κλίσεις ευθειών για θερμοκρασίες εδάφους ανά μήνα από εικόνες Landsat 5.....	73
Διάγραμμα 4.2: Κλίσεις ευθειών για δείκτες NDVI ανά μήνα από εικόνες Landsat 5.....	74
Διάγραμμα 4.3: Θερμοκρασίες εδάφους Ιανουαρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	74
Διάγραμμα 4.4: Δείκτες NDVI Ιανουαρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	74

Διάγραμμα 4.5: Θερμοκρασίες εδάφους Φεβρουαρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	74
Διάγραμμα 4.6: Δείκτες NDVI Φεβρουαρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	74
Διάγραμμα 4.7: Θερμοκρασίες εδάφους Μαρτίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	75
Διάγραμμα 4.8: Δείκτες NDVI Μαρτίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	75
Διάγραμμα 4.9: Θερμοκρασίες εδάφους Απριλίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	75
Διάγραμμα 4.10: Δείκτες NDVI Απριλίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	75
Διάγραμμα 4.11: Θερμοκρασίες εδάφους Μαΐου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	75
Διάγραμμα 4.12: Δείκτες NDVI Μαΐου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	75
Διάγραμμα 4.13: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουνίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	75
Διάγραμμα 4.14: Δείκτες NDVI Ιουνίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	75
Διάγραμμα 4.15: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	76
Διάγραμμα 4.16: Δείκτες NDVI Ιουλίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	76
Διάγραμμα 4.17: Θερμοκρασίες εδάφους Αυγούστου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	76
Διάγραμμα 4.18: Δείκτες NDVI Αυγούστου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	76
Διάγραμμα 4.19: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	76
Διάγραμμα 4.20: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	76
Διάγραμμα 4.21: Θερμοκρασίες εδάφους Οκτωβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	76
Διάγραμμα 4.22: Δείκτες NDVI Οκτωβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	76
Διάγραμμα 4.23: Θερμοκρασίες εδάφους Νοεμβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	77
Διάγραμμα 4.24: Δείκτες NDVI Νοεμβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	77
Διάγραμμα 4.25: Θερμοκρασίες εδάφους Δεκέμβριου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	77
Διάγραμμα 4.26: Δείκτες NDVI Δεκέμβριου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 5.....	77
Διάγραμμα 4.27: Κλίσεις ευθειών για θερμοκρασίες εδάφους ανά μήνα από εικόνες Landsat 8.....	77
Διάγραμμα 4.28: Κλίσεις ευθειών για δείκτες NDVI ανά μήνα από εικόνες Landsat 8.....	78
Διάγραμμα 4.29: Θερμοκρασίες εδάφους Ιανουαρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8.....	78
Διάγραμμα 4.30: Δείκτες NDVI Ιανουαρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8.....	78
Διάγραμμα 4.31: Θερμοκρασίες εδάφους Φεβρουαρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8.....	78
Διάγραμμα 4.32: Δείκτες NDVI Φεβρουαρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8.....	78
Διάγραμμα 4.33: Θερμοκρασίες εδάφους Μαρτίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8.....	79
Διάγραμμα 4.34: Δείκτες NDVI Μαρτίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8.....	79
Διάγραμμα 4.35: Θερμοκρασίες εδάφους Απριλίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8.....	79
Διάγραμμα 4.36: Δείκτες NDVI Απριλίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8.....	79

Διάγραμμα 4.37: Θερμοκρασίες εδάφους Μαΐου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8 .....	79
Διάγραμμα 4.38: Δείκτες NDVI Μαΐου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8 .....	79
Διάγραμμα 4.39: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουνίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8.....	79
Διάγραμμα 4.40: Δείκτες NDVI Ιουνίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8.....	79
Διάγραμμα 4.41: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8.....	80
Διάγραμμα 4.42: Δείκτες NDVI Ιουλίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8.....	80
Διάγραμμα 4.43: Θερμοκρασίες εδάφους Αυγούστου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8.....	80
Διάγραμμα 4.44: Δείκτες NDVI Αυγούστου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8.....	80
Διάγραμμα 4.45: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8.....	80
Διάγραμμα 4.46: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8.....	80
Διάγραμμα 4.47: Θερμοκρασίες εδάφους Οκτωβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8.....	80
Διάγραμμα 4.48: Δείκτες NDVI Οκτωβρίου από διαθέσιμες εικόνες Landsat 8.....	80
Διάγραμμα 4.49 : Χρονοσειρά θερμοκρασιών εδάφους σε βαθμούς Celsius ( °C) από δορυφορικές εικόνες Landsat 5.....	90
Διάγραμμα 4.50 : Χρονοσειρά δεικτών βλάστησης NDVI από δορυφορικές εικόνες Landsat 5.....	90
Διάγραμμα 4.51: Χρονοσειρά θερμοκρασία εδάφους σε βαθμούς Celsius ( °C) από δορυφορικές εικόνες Landsat 8.....	91
Διάγραμμα 4.52 : Χρονοσειρά δεικτών βλάστησης NDVI από δορυφορικές εικόνες Landsat 8.....	91
Διάγραμμα 4.53: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5.....	93
Διάγραμμα 4.54: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5.....	93
Διάγραμμα 4.55: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 5.....	94
Διάγραμμα 4.56: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 5.....	94
Διάγραμμα 4.57: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 5.....	94
Διάγραμμα 4.58: Θερμοκρασίες εδάφους Αυγούστου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5.....	95
Διάγραμμα 4.59: Θερμοκρασίες εδάφους Αυγούστου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5.....	95
Διάγραμμα 4.60: Θερμοκρασίες εδάφους Αύγουστου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 5.....	95
Διάγραμμα 4.61: Θερμοκρασίες εδάφους Αυγούστου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 5.....	95

Διάγραμμα 4.62: Θερμοκρασίες εδάφους Αυγούστου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 5.....	96
Διάγραμμα 4.63: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5.....	96
Διάγραμμα 4.64: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5.....	97
Διάγραμμα 4.65: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 5.....	97
Διάγραμμα 4.66: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 5.....	97
Διάγραμμα 4.67: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 5.....	97
Διάγραμμα 4.68: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5.....	99
Διάγραμμα 4.69: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5.....	99
Διάγραμμα 4.70: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 5.....	99
Διάγραμμα 4.71: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 5.....	99
Διάγραμμα 4.72: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 5.....	100
Διάγραμμα 4.73: Δείκτες NDVI Αυγούστου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5.....	100
Διάγραμμα 4.74: Δείκτες NDVI Αυγούστου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5.....	101
Διάγραμμα 4.75: Δείκτες NDVI Αυγούστου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 5.....	101
Διάγραμμα 4.76: Δείκτες NDVI Αυγούστου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 5.....	101
Διάγραμμα 4.77: Δείκτες NDVI Αυγούστου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 5.....	101
Διάγραμμα 4.78: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5.....	102
Διάγραμμα 4.79: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 5.....	102
Διάγραμμα 4.80: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 5.....	102
Διάγραμμα 4.81: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 5.....	103

Διάγραμμα 4.82: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 5.....	103
Διάγραμμα 4.83: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8.....	104
Διάγραμμα 4.84: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8.....	105
Διάγραμμα 4.85: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 8.....	105
Διάγραμμα 4.86: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 8.....	105
Διάγραμμα 4.87: Θερμοκρασίες εδάφους Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 8.....	105
Διάγραμμα 4.88: Θερμοκρασίες εδάφους Αύγουστου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8.....	106
Διάγραμμα 4.89: Θερμοκρασίες εδάφους Αύγουστου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8.....	106
Διάγραμμα 4.90: Θερμοκρασίες εδάφους Αύγουστου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 8.....	106
Διάγραμμα 4.91: Θερμοκρασίες εδάφους Αύγουστου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 8.....	107
Διάγραμμα 4.92: Θερμοκρασίες εδάφους Αύγουστου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 8.....	107
Διάγραμμα 4.93: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8.....	107
Διάγραμμα 4.94: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8.....	108
Διάγραμμα 4.95: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 8.....	108
Διάγραμμα 4.96: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 8.....	108
Διάγραμμα 4.97: Θερμοκρασίες εδάφους Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 8.....	108
Διάγραμμα 4.98: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8.....	110
Διάγραμμα 4.99: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8.....	110
Διάγραμμα 4.100: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 8.....	110
Διάγραμμα 4.101: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 8.....	110



Διάγραμμα 4.102: Δείκτες NDVI Ιουλίου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 8.....	111
Διάγραμμα 4.103: Δείκτες NDVI Αυγούστου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8.....	111
Διάγραμμα 4.104: Δείκτες NDVI Αυγούστου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8.....	111
Διάγραμμα 4.105: Δείκτες NDVI Αυγούστου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 8.....	112
Διάγραμμα 4.106: Δείκτες NDVI Αυγούστου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 8.....	112
Διάγραμμα 4.107: Δείκτες NDVI Αυγούστου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 8.....	112
Διάγραμμα 4.108: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών νότιου ή/και ανατολικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8.....	113
Διάγραμμα 4.109: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών βόρειου ή/και δυτικού προσανατολισμού από εικόνες Landsat 8.....	113
Διάγραμμα 4.110: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 50 έως 526 μέτρα από εικόνες Landsat 8.....	113
Διάγραμμα 4.111: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 526 έως 1002 μέτρα από εικόνες Landsat 8.....	113
Διάγραμμα 4.112: Δείκτες NDVI Σεπτεμβρίου υποπεριοχών υψομέτρου από 1002 έως 1400 μέτρα από εικόνες Landsat 8.....	114
Διάγραμμα 4.113: Διάγραμμα αυτοσυσχετίσεων ACF θερμοκρασιών εδάφους.....	116
Διάγραμμα 4.114: Διάγραμμα μερικών αυτοσυσχετίσεων PACF θερμοκρασιών εδάφους.....	116
Διάγραμμα 4.115: Διάγραμμα αυτοσυσχετίσεων ACF δεικτών βλάστησης NDVI.....	117
Διάγραμμα 4.116: Διάγραμμα μερικών αυτοσυσχετίσεων PACF δεικτών βλάστησης NDVI.....	117
Διάγραμμα 5.1: Χρονοσειρά θερμοκρασιών εδάφους σε βαθμούς Celsius (°C) κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993 - Φεβρουαρίου 2000.....	120
Διάγραμμα 5.2: Συνιστώσα εποχικότητας της χρονοσειράς θερμοκρασιών εδάφους κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993 - Φεβρουαρίου 2000.....	120
Διάγραμμα 5.3: Συνιστώσα τάσης θερμοκρασιών εδάφους κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993 - Φεβρουαρίου 2000.....	121
Διάγραμμα 5.4 : Συνιστώσα τυχαιότητας της χρονοσειράς θερμοκρασιών εδάφους κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993- Φεβρουαρίου 2000.....	121
Διάγραμμα 5.5: Χρονοσειρά θερμοκρασιών εδάφους σε βαθμούς Celsius (°C) κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018.....	122
Διάγραμμα 5.6: Συνιστώσα εποχικότητας της χρονοσειράς θερμοκρασιών εδάφους κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018.....	122
Διάγραμμα 5.7: Συνιστώσα τάσης της χρονοσειράς θερμοκρασιών εδάφους κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018.....	123

Διάγραμμα 5.8: Συνιστώσα τυχαιότητας της χρονοσειράς θερμοκρασιών εδάφους κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018.....	123
Διάγραμμα 5.9 : Χρονοσειρά δεικτών βλάστησης NDVI κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993 - Φεβρουαρίου 2000.....	124
Διάγραμμα 5.10: Συνιστώσα εποχικότητας της χρονοσειράς δείκτη NDVI κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993- Φεβρουαρίου 2000.....	124
Διάγραμμα 5.11: Συνιστώσα τάσης της χρονοσειράς δείκτη NDVI κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993- Φεβρουαρίου 2000.....	125
Διάγραμμα 5.12: Συνιστώσα τυχαιότητας της χρονοσειράς δείκτη NDVI κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993- Φεβρουαρίου 2000.....	125
Διάγραμμα 5.13: Χρονοσειρά δεικτών βλάστησης NDVI κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018.....	126
Διάγραμμα 5.14: Συνιστώσα εποχικότητας της χρονοσειράς δείκτη NDVI κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018.....	126
Διάγραμμα 5.15: Συνιστώσα τάσης της χρονοσειράς δείκτη NDVI κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018.....	127
Διάγραμμα 5.16: Συνιστώσα τυχαιότητας της χρονοσειράς δείκτη NDVI κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018.....	127
Διάγραμμα 5.17 : Συσχέτιση Cross Correlation μεταξύ των χρονοσειρών θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993- Φεβρουαρίου 2000.....	128
Διάγραμμα 5.18 : Συσχέτιση Cross Correlation μεταξύ των χρονοσειρών θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018.....	129
Διάγραμμα 5.19 : Συσχέτιση Cross Correlation μεταξύ των συνιστωσών εποχικότητας των χρονοσειρών θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993- Φεβρουαρίου 2000.....	130
Διάγραμμα 5.20 : Συσχέτιση Cross Correlation μεταξύ των συνιστωσών εποχικότητας των χρονοσειρών θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018.....	130
Διάγραμμα 5.21 : Κανονικοποιημένες συνιστώσες τάσης των χρονοσειρών θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI κατά την χρονική περίοδο Μαρτίου 1993- Φεβρουαρίου 2000.....	131
Διάγραμμα 5.22 : Κανονικοποιημένες συνιστώσες τάσης των χρονοσειρών θερμοκρασιών εδάφους και δεικτών NDVI κατά την χρονική περίοδο Απριλίου 2013- Μαρτίου 2018.....	131
Διάγραμμα 5.23: Διάγραμμα αυτοσυσχετίσεων ACF καταλοίπων από το μοντέλο ARIMA(4,0,2)(0,1,2)12....	132
Διάγραμμα 5.24: Διάγραμμα αυτοσυσχετίσεων ACF καταλοίπων από το μοντέλο ARIMA(2,0,3).....	133

## Εικόνες

Εικόνα 1.1: Σύγκριση των ροών ενέργειας και νερού μεταξύ των καταστάσεων χαμηλής (αριστερά) και υψηλής (δεξιά) εξάντλησης υδάτινων πόρων σε είδος βλάστησης όπου Ψ η ποσότητα νερού, VPD έλλειμμα τάσης υδρατμών, St η ηλιακή ακτινοβολία και H και LE η αισθητή και η μη αντίστοιχα ροή θερμότητας (πηγή: Hulley et al, 2019) .....	8
--	---

Εικόνα 3.1: Διοικητική διαίρεση της Κύπρου(πηγή: <a href="http://kyprus10.blogspot.com/2013/04/blog-post_256.html">http://kyprus10.blogspot.com/2013/04/blog-post_256.html</a> ).....	39
Εικόνα 3.2: Φυσικός χάρτης της Κύπρου (πηγή: <a href="http://archeia.moec.gov.cy/sm/506/a_gym_vivlio_mathiti.pdf">http://archeia.moec.gov.cy/sm/506/a_gym_vivlio_mathiti.pdf</a> ).....	40
Εικόνα 3.3: Συνολική ενέργεια μικρού μήκους κύματος που λήφθηκε από επιφάνεια οριζόντια στο έδαφος κατά την περίοδο 1994-2018 (© 2019 The World Bank, Source: Global Solar Atlas 2.0, Solar resource data: Solargi).....	43
Εικόνα 3.4: Ποσότητα ενέργειας μικρού μήκους κύματος που προσπίπτει στο έδαφος στην κατεύθυνση που φωτίζει ο ήλιος και για συγκεκριμένη θέση του ήλιου, κατά την περίοδο 1994-2018 (© 2019 The World Bank, Source: Global Solar Atlas 2.0, Solar resource data: Solargis).....	43
Εικόνα 3.5: Δάσος Πάφου (πηγή: Wikipedia, Δάσος Πάφου).....	45
Εικόνα 4.1: Ηλιοσύγχρονη τροχιά του Landsat 5 (πηγή: Αργιολάς,1999).....	57
Εικόνα 4.2: Πολύγωνο περιοχής μελέτης σε μορφή kmz αρχείου στο περιβάλλον του Google Earth .....	61
Εικόνα 4.3: Διάγραμμα ροής του Fmask 4.0 όπου GSWO: Global Surface Water Occurrence; DEM: Digital Elevation Model; BT: Brightness Temperature; PCPs: Potential Cloud Pixel (πηγή: Qiu et al, 2019) .....	64
Εικόνα 4.4: Τμήμα μασκαρισμένου από σύννεφα θερμικού καναλιού 6 εικόνας Landsat 5 με ημερομηνία λήψης 24.5.1993.....	64
Εικόνα 4.5: Τμήματα μασκαρισμένων από σύννεφα θερμικών καναλιών 10 (α) και 11 (β) εικόνας Landsat 8 με ημερομηνία λήψης 2.7.2013 .....	65
Εικόνα 4.6: Τελική εικόνα μασκών υψομέτρου-προσανατολισμού που δημιουργήθηκε από την αφαίρεση λιμνών και σκιασμένων περιοχών στις απεικονίσεις SAR από τις αρχικές μάσκες υψομέτρου-προσανατολισμού. Συμπεριλαμβάνονται τα όρια περιοχής μελέτης και υπόμνημα ομάδων υψομέτρου-προσανατολισμού.....	70
Εικόνα 4.7: Εναπομείναντα εικονοστοιχεία της εικόνας των θερμοκρασιών εδάφους στο σύνολο της περιοχής μελέτης (α) και σε κάθε ομάδα υψομέτρου-προσανατολισμού (β, γ ,δ, ε, στ, ζ) από την εικόνα Landsat 8 με ημερομηνία λήψης 2.7.2013 μετά την εφαρμογή τελικής μάσκας. Συμπεριλαμβάνονται και τα όρια περιοχής μελέτης.....	71

## Πίνακες

Πίνακας 1.1 : Τιμή της συχνότητας χρονοσειράς ανάλογα με το κάθε πότε συλλεγονται τα δεδομένα της (πηγή : Hyndman R.J. & Athanasopoulos G., 2018).....	12
Πίνακα 1.2: Μοτίβα που παρατηρούνται στα διαγράμματα ACF και PACF και συνδέονται με μοντέλα πρόβλεψης ARIMA (πηγή : Ευάγγελος Σπηλιώτης, 2019, Σημειώσεις, Τεχνικές Προβλέψεων, mycourses.ntua.gr).....	26
Πίνακας 2.1: Εκτίμηση του δείκτη NDVI στην εργασία των Urişescu et al ( 2017).....	32
Πίνακας 2.2 : Συντελεστές του αλγόριθμου διαίρεσης παραθύρου για διαφορετικές περιπτώσεις περιεκτικότητας σε υδρατμούς στην ατμόσφαιρα από την εργασία των Du et al (2014).....	35
Πίνακας 2.3: Στατιστικά στοιχεία της κλίσης και του μέσου όρου της συνιστώσας της τάσης ανάλογα με την κάλυψη γης χωρίς σημείο διαχωρισμού.....	38
Πίνακας 2.4: Στατιστικά στοιχεία της εποχικού πλάτους και μετατόπισης της φάσης ανάλογα με την κάλυψη γης.....	38
Πίνακα 3.1: Τιμές μέσης σχετικής υγρασίας για την χρονική περίοδο από Ιανουάριο του 1990 έως τον Δεκέμβριο του 2019 και μέσου μηνιαίου νετού για την ίδια περίοδο και το χρονικό διάστημα των ετών 1961 έως 1990 από σταθμό «Σταυρός της Ψόκας».....	56
Πίνακα 4.1: Φασματικά κανάλια του TM του Landsat 5 με τα αντίστοιχα εύρη μηκών κύματος και διακριτικές ικανότητες (πηγή: <a href="https://www.researchgate.net/figure/Spectral-bands-description-of-Landsat-5-Thematic-Mapper-sensor_tbl2_322911996">https://www.researchgate.net/figure/Spectral-bands-description-of-Landsat-5-Thematic-Mapper-sensor_tbl2_322911996</a> ).....	58

Πίνακα 4.2: Φασματικά κανάλια των OLI και TIRS του Landsat 8 με τα αντίστοιχα εύρη μηκών κύματος και διακριτικές ικανότητες (πηγή: <a href="https://www.researchgate.net/figure/Specifications-of-spectral-bands-of-Landsat-8-OLI_tbl1_271486939">https://www.researchgate.net/figure/Specifications-of-spectral-bands-of-Landsat-8-OLI_tbl1_271486939</a> ).....	59
Πίνακας 4.3: Θερμοκρασίες εδάφους σε βαθμούς Celsius ( °C ) από δορυφορικές εικόνες Landsat 5 σε χρονολογική σειρά.....	85
Πίνακας 4.4: Δείκτες βλάστησης NDVI από δορυφορικές εικόνες Landsat 5 σε χρονολογική σειρά.....	87
Πίνακας 4.5: Θερμοκρασίες εδάφους σε βαθμούς Celsius ( °C) από δορυφορικές εικόνες Landsat 8 σε χρονολογική σειρά .....	88
Πίνακας 4.6: Δείκτες βλάστησης NDVI από δορυφορικές εικόνες Landsat 8 σε χρονολογική σειρά.....	90
Πίνακας 4.7: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις θερμοκρασιών εδάφους Ιουλίου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 5.....	93
Πίνακας 4.8: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις θερμοκρασιών εδάφους Αυγούστου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 5.....	94
Πίνακας 4.9: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις θερμοκρασιών εδάφους Σεπτεμβρίου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 5.....	96
Πίνακας 4.10: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις δεικτών NDVI Ιουλίου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 5.....	98
Πίνακας 4.11: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις δεικτών NDVI Αυγούστου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 5.....	100
Πίνακας 4.12: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις δεικτών NDVI Σεπτεμβρίου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 5.....	102
Πίνακας 4.13: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις θερμοκρασιών εδάφους Ιουλίου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 8.....	104
Πίνακας 4.14: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις θερμοκρασιών εδάφους Αυγούστου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 8.....	106
Πίνακας 4.15: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις θερμοκρασιών εδάφους Σεπτεμβρίου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 8.....	107
Πίνακας 4.16: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις δεικτών NDVI Ιουλίου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 8.....	109
Πίνακας 4.17: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις δεικτών NDVI Αυγούστου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 8.....	111
Πίνακας 4.18: Ευθείες τάσης, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις δεικτών NDVI Σεπτεμβρίου ανά υποπεριοχή από εικόνες Landsat 8.....	112
Πίνακας 4.19: Μοντέλα ARIMA που εφαρμόστηκαν στην χρονοσειρά των θερμοκρασιών εδάφους με τις αντίστοιχες τιμές AIC.....	118
Πίνακας 4.20: Μοντέλα ARIMA που εφαρμόστηκαν στην χρονοσειρά των δεικτών NDVI με τις αντίστοιχες τιμές AIC.....	119