

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας  
Σχολή Γεωπονικών επιστημών  
Τμήμα Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και  
Υδάτινου Περιβάλλοντος

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ  
& ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
Αρ. Πρωτ.: 1780  
Ημερομηνία: 30-10-08

Τίτλος Πτυχιακής Εργασίας:  
Παρακολούθηση Περιοχικής Ξηρασίας  
με Χρήση του Δείκτη Υγιούς Βλάστησης  
(VHI)

Φοιτήτρια: Κατερίνα Αρβανιτάκη  
Επιβλέπων Καθηγητής Ν. Ρ. Δαλέζιος

Βόλος 2008



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 6843/1  
Ημερ. Εισ.: 22-01-2009  
Δωρεά: Συγγραφέας  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΙΥΠ  
2008  
ΑΡΒ

Παρακολούθηση Περιοχικής Ξηρασίας με χρήση του Δείκτη Υγιούς Βλάστησης

(VHI)

### **Μέλη συμβουλευτικής τριμελούς επιτροπής**

1. Νικόλαος Ρ. Δαλέζιος, Καθηγητής, Αγρομετεωρολογία- Δορυφορική Μετεωρολογία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
2. Γεώργιος Δήμος, Καθηγητής, Άλγεβρα – Διαφορικός και Ολοκληρωτικός Λογισμός – Αναλυτική, Παραστατική και Διαφορική Γεωμετρία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
3. Άρης Ψιλοβίκος, Επίκουρος Καθηγητής, Λειφορική Διαχείριση Υδάτινων Πόρων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος.

Στην αδελφή μου Σοφία Αρβανιτάκη εις ένδειξη αγάπης.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών μου στο τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου Καθ. Νικόλαο Ρ. Δαλέζιο, για την αμέριστη συμβολή του που προσέφερε και για τις γνώσεις με τις οποίες με εφοδίασε, ώστε να φέρω σε πέρας την εργασία αυτή. Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς το Δρ. Χρήστο Δομενικιώτη, για το χρόνο που διέθεσε και την ουσιαστική βοήθεια του κατά την πορεία ανάπτυξης και διεκπεραίωσης της εργασίας μου. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στα άλλα δύο μέλη της τριμελούς επιτροπής μου, Καθηγητή Γεώργιο Δήμου και Επίκουρο Καθηγητή Άρη Ψιλοβίκο, για τις παρατηρήσεις τους και την υποστήριξή τους κατά τη διάρκεια τέλεσης της παρούσας εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την φίλη και συνάδελφο μου Φράγγα Κοκκινίδου για τη βοήθειά της καθώς και τους υποψήφιους διδάκτορες Μανώλη Τσίρο και Έφη Κανέλλου για την παροχή πληροφοριών

Τέλος, ευχαριστώ ιδιαίτερος την οικογένειά μου και το φίλο και συνάδελφο μου Κωνσταντίνο Τσιαμάγκα που μου συμπαραστάθηκαν και με υποστήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Κατερίνα Αρβανιτάκη



## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

- Πίνακας 2.1.** Δείκτες εκτίμησης ξηρασίας με χρήση δορυφορικών και επίγειων δεδομένων.
- Πίνακας 2.2.** Κατηγορίες Καιρού με βάση το δείκτη Palmer (PDSI).
- Πίνακας 2.3.** Κατηγοριοποίηση ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη CMI.
- Πίνακας 2.4.** Κατηγοριοποίηση ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη SPI.
- Πίνακας 2.5.** Κατηγοριοποίηση ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη RDI.
- Πίνακας 2.6.** Ενδεικτικές τιμές του δείκτη NDVI σε διάφορες μορφές κάλυψης εδάφους.
- Πίνακας 2.7.** Κατηγορίες της ξηρασίας βάση των τιμών του VHI (Kogan, 2001)
- Πίνακας 2.8.** Ενδεικτικό ύψος βροχόπτωσης για τρεις μετεωρολογικούς σταθμούς της Θεσσαλίας.
- Πίνακας 2.9.** Υδάτινοι πόροι υδατικού διαμερίσματος Θεσσαλίας
- Πίνακας 3.1** Τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος AVHRR και των δορυφόρων NOAA.
- Πίνακας 3.2.** Περιοχές φάσματος και αντίστοιχα μήκη κύματος
- Πίνακας 4.1.** Μέσος όρος και τυπική απόκλιση ομαλοποιημένης χρονοσειράς VHI με διαφορετικά ποσοστά συμμετοχής.

## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 2.1.** Ο «υδρο-παράλογος» κύκλος της ξηρασίας (Τσακίρης, 1995).
- Εικόνα 2.2.** Φυσική και Κοινωνική διάσταση της Ξηρασίας (Wilhite, 2005).
- Εικόνα 2.3.** Γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας ([www.lib.uth.gr](http://www.lib.uth.gr)).
- Εικόνα 2.4.** Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM) του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.
- Εικόνα 2.5.** Υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας.
- Εικόνα 3.1.** Εικόνα γεωστατικού δορυφόρου.
- Εικόνα 3.2.** Εικόνα δορυφόρου πολιτικής τροχιάς.
- Εικόνα 3.3.** Εικόνα δορυφόρου NOAA.
- Εικόνα 3.4.** Το φάσμα της Ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
- Εικόνα 3.5.** Δορυφορική εικόνα Ευρώπης 1 x 1 km (EOWEB).
- Εικόνα 3.6.** Γεωμετρικά διορθωμένη δορυφορική εικόνα Ελλάδας.
- Εικόνα 3.7.** Βασικά εργαλεία του Model Maker .
- Εικόνα 3.8.** Φίλτρο αφαίρεσης νεφών μέσω του προγράμματος Erdas Imagine 8.7.
- Εικόνα 3.9.** Δορυφορική εικόνα με νεφικούς σχηματισμούς.
- Εικόνα 3.10.** Δορυφορική εικόνα απαλλαγμένη από νεφικούς σχηματισμούς μετά την εφαρμογή φίλτρων.
- Εικόνα 3.11.** Σχηματική απεικόνιση μοντέλου υπολογισμού κλιματικών τιμών NDVI μέσω του προγράμματος Erdas Imagine 8.7.
- Εικόνα 3.12.** στατιστικό φίλτρο κινούμενου διάμεσου (running median).
- Εικόνα 3.13.** Διαδικασία “reroughing-επανατρέχηση”.
- Εικόνα 3.14.** Μοντέλο ολοκληρωμένου υπολογισμού του δείκτη ξηρασίας VCI.
- Εικόνα 3.15.** Μοντέλο υπολογισμού του δείκτη ξηρασίας TCI.
- Εικόνα 4.1.** Μηνιαίος δείκτης VCI για την περιοχή της Λάρισας.
- Εικόνα 4.2.** Διάγραμμα σύγκρισης τιμών VCI και των μέσων τιμών VCI (3x3 km) για την περιοχή της Λάρισας.
- Εικόνα 4.3.** Χάρτης VCI για την περιοχή της Θεσσαλίας για τον Αύγουστο 2003.
- Εικόνα 4.4.** Χάρτης TCI για την περιοχή της Θεσσαλίας για τον Αύγουστο 2003.
- Εικόνα 4.5.** Μηνιαίος δείκτης TCI για την περιοχή της Λάρισας.
- Εικόνα 4.6.** Διάγραμμα σύγκρισης τιμών TCI και των μέσων τιμών TCI (3x3 km) για την περιοχή της Λάρισας.



**Εικόνα 4.7.** Δείκτης VHI για την περιοχή της Λάρισας με χρήση των ειδικών βαρών 50% VCI και 50 % TCI.

**Εικόνα 4.8.** Δείκτης VHI για την περιοχή της Λάρισας με χρήση των ειδικών βαρών 70% VCI και 30 % TCI.

**Εικόνα 4.9.** Δείκτης VHI για την περιοχή της Λάρισας με χρήση των ειδικών βαρών 60% VCI και 40 % TCI.

**Εικόνα 4.10.** Δείκτης VHI για την περιοχή της Λάρισας με χρήση των ειδικών βαρών 40% VCI και 60 % TCI.

**Εικόνα 4.11.** Δείκτης VHI για την περιοχή της Λάρισας με χρήση των ειδικών βαρών 30% VCI και 70 % TCI.

**Εικόνα 4.12.** Σύγκριση δείκτη ξηρασίας Z-Index και VHI με ποσοστά συμμετοχής 70%TCI και 30%VCI.

**Εικόνα 4.13.** Σύγκριση δείκτη ξηρασίας Z-Index και VHI με ποσοστά συμμετοχής 60%TCI και 40%VCI.

**Εικόνα 4.14.** Σύγκριση δείκτη ξηρασίας Z-Index και VHI με ποσοστά συμμετοχής 50%TCI και 50%VCI.

**Εικόνα 4.15.** Σύγκριση δείκτη ξηρασίας Z-Index και VHI με ποσοστά συμμετοχής 40%TCI και 60%VCI.

**Εικόνα 4.16.** Σύγκριση δείκτη ξηρασίας Z-Index και VHI με ποσοστά συμμετοχής 30%TCI και 70%VCI.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>1</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΞΗΡΑΣΙΑ</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Τύποι ξηρασιών</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2 Τρόποι εκτίμησης της ξηρασίας</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2.1. Μεθοδολογίες εκτίμησης ξηρασίας με χρήση επίγειων μετρήσεων των παραμέτρων</b> .....	<b>8</b>
2.2.1.1 Ποσοστό του κανονικού (Percent of normal).....	8
2.2.1.2 Μέθοδος Palmer (Palmer Drought Severity Index) .....	10
2.2.1.3 Δείκτης Υγρασίας Σοδειάς (Crop Moisture Index, CMI) .....	16
2.2.1.4. Κανονικοποιημένος δείκτης βροχόπτωσης (Standardized Precipitation Index, SPI).....	17
2.2.1.5 Δείκτης τροφοδότησης επιφανειακού νερού (Surface Water Supply Index, SWSI) .....	18
<b>2.2.2. Μεθοδολογίες εκτίμησης ξηρασίας με χρήση δορυφορικών δεδομένων</b> ....	<b>19</b>
2.2.2.1. Δείκτης Αναγνώρισης ξηρασίας (Reconnaissance Drought Index, RDI).....	20
2.2.2.2. Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) .....	21
2.2.2.3. Δείκτης Κατάστασης Βλάστησης (Vegetation Condition Index, VCI) .....	22
2.2.2.4. Δείκτης Κατάστασης Θερμοκρασίας (Temperature Condition Index, TCI) .....	24
2.2.2.5. Δείκτης Υγιούς Βλάστησης (Vegetation health index, VHI).....	24
<b>2.3 Συμβατικές μέθοδοι σε σύγκριση με την τηλεπισκόπηση</b> .....	<b>25</b>
<b>2.4 Περιοχή μελέτης</b> .....	<b>27</b>
<b>2.4.1. Το κλίμα της Ελλάδας</b> .....	<b>27</b>
<b>2.4.2. Γενικά χαρακτηριστικά της Θεσσαλίας</b> .....	<b>29</b>
2.4.2.1 Κλιματολογικά –Μετεωρολογικά χαρακτηριστικά.....	30
2.4.2.2 Υδρολογικά στοιχεία .....	32
2.4.2.3. Αναπτυξιακή πορεία.....	34
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</b> .....	<b>36</b>
<b>3.1 Τηλεπισκόπηση</b> .....	<b>36</b>
<b>3.1.1 Τροχιές δορυφόρων</b> .....	<b>37</b>
<b>3.1.2. Χαρακτηριστικά δορυφόρου NOAA</b> .....	<b>40</b>
<b>3.1.3 Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία</b> .....	<b>43</b>
<b>3.1.4 Η τηλεπισκόπηση στην ανακλώμενη περιοχή του ΗΜΦ</b> .....	<b>45</b>

3.1.5 Η τηλεπισκόπηση στη θερμική περιοχή του ΗΜΦ.....	46
3.2 Βάση δεδομένων.....	47
3.3 Προεπεξεργασία δορυφορικών δεδομένων.....	47
3.4 Υπολογισμός του Δείκτη Υγιούς Βλάστησης VHI.....	49
3.4.1 Υπολογισμός του Δείκτη Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) .....	50
3.4.2 Υπολογισμός του Δείκτη Κατάστασης Βλάστησης (Vegetation Condition Index, VCI).....	54
3.4.3. Εξαγωγή θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους (LST) από δορυφορικά δεδομένα .....	55
3.4.4. Υπολογισμός του Δείκτη Κατάστασης Θερμοκρασίας (Temperature Condition Index, TCI).....	56
3.4.5. Υπολογισμός δείκτη ξηρασίας VHI .....	57
3.5. Δείκτης ξηρασίας Z-Index (Palmer) .....	58
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>59</b>
4.1. Σύγκριση των επεξεργασμένων δεικτών με τον Z-Index.....	65
4.2. Στατιστικός έλεγχος Τυπικής Απόκλισης και μέσου όρου των ποσοστιαίων ποσοστών του VHI.....	68
4.3 Επισημάνσεις.....	69
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>	<b>71</b>
5.1. Συμπεράσματα .....	71
5.2. Προτάσεις .....	72
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>73</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>	<b>80</b>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ξηρασίες κατατάσσονται στα ακραία κλιματικά φαινόμενα ενός τόπου και καταλαμβάνουν το χαμηλότερο άκρο της διακύμανσης της βροχής του σε διάφορες χρονικές κλίμακες. Βασική αιτία εκδήλωσης μιας ξηρασίας – καθώς και των υπολοίπων ακραίων καιρικών και κλιματικών φαινομένων – είναι η φυσική διακύμανση του κλίματος ενός τόπου. Ο όρος αυτός φανερώνει το «κληρονομικό» γνώρισμα του κλίματος να παρουσιάζει συχνά διαφορές μεταξύ των ημερήσιων, μηνιαίων, ετήσιων τιμών της βροχής, θερμοκρασίας κλπ. και των αντίστοιχων μέσων τιμών τους. Οι διαφορές αυτές των καιρικών παραμέτρων μπορεί να είναι μία, δύο ή περισσότερες φορές μεγαλύτερες ή μικρότερες από το μέσο όρο.

Η διακύμανση του κλίματος οφείλεται στη μείωση ή αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας (θερμότητας) που δέχεται κάθε τόπος στον πλανήτη τις διάφορες εποχές. Η αυξομείωση της θερμότητας με τη σειρά της επιφέρει αλλαγές στις «κανονικές τάσεις των αερίων μαζών» και διαταράσσει τον καιρό και το κλίμα. Έτσι π.χ. μία περιοχή που κανονικά θα δεχόταν βροχές σε μία εποχή, με τη διατάραξη της κυκλοφορίας των αερίων μαζών απομακρύνονται και οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας από αυτή και επικρατεί ξηρασία.

Η Ελλάδα λόγω της γεωγραφικής της θέσης είναι επιρρεπής στην εκδήλωση συχνών ξηρασιών. Η εκτίμηση και η παρακολούθηση της ξηρασίας σε μια κατά κύριο λόγο αγροτική περιοχή όπως η Θεσσαλία, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής καθώς και στην ανάπτυξη των καλλιεργειών και στον αντίκτυπο τους στην παραγωγή.

Η περιοχή της Θεσσαλίας έχει αντιμετωπίσει αρκετές, έντονες και επίμονες περιόδους ξηρασίας μικρής διάρκειας, σύμφωνα με έρευνα (Loukas *et al.*, 2002a), στα τέλη της δεκαετίας του '50, στις αρχές της δεκαετίας του '60 και στη δεκαετία του '80. Η ανάλυση της μέσης αθροιστικής βροχόπτωσης των περιόδων αυτών δείχνει σημαντική απόκλιση προς τα κάτω από τον μέσο όρο. Ειδικά τα έτη 1976-77 και 1989-90 παρουσιάζονται ως τα πιο ξηρότερα έτη των περιόδων αυτών (Τζαμπύρας, 2005). Η μεγάλη αγροτική χρήση νερού παρουσιάζεται κυρίως στις ανατολικές περιοχές της χώρας που μειονεκτούν από πλευράς φυσικού εμπλουτισμού και ιδιαίτερα στη Θεσσαλία.

Με τη αξιοποίηση των δεικτών ξηρασίας οι οποίοι βασίζονται στη βροχόπτωση, τη θερμοκρασία και άλλες παραμέτρους, παρακολουθείται η κατάσταση της ξηρασίας σε μηνιαία βάση στην περιοχή της Θεσσαλίας.

Στην παρούσα εργασία γίνεται εκτίμηση της ξηρασίας με τους δείκτες Κατάστασης Βλάστησης VCI (Vegetation Condition Index), Κατάστασης Θερμοκρασίας TCI (Temperature Condition Index) χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα, δηλαδή εικόνες με χωρική διακριτική ικανότητα 1x1 Km, για την περιοχή της Θεσσαλίας καθώς και η παρακολούθηση των συνθηκών ξηρασίας σημειοκά για τον μετεωρολογικό σταθμό της Λάρισας βάσει του δείκτη Υγιούς βλάστησης VHI (Vegetation Health Index) και του δείκτη Z-Index του Palmer.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται αναφορά στους ορισμούς της ξηρασίας, ανάλυση των τύπων της καθώς και μέγεθος με το οποίο επηρεάζει το φαινόμενο αυτό τη ζωή των ανθρώπων στους διάφορους τομείς. Στη συνέχεια εξηγείται η σπουδαιότητα της εκτίμησης του φαινομένου της ξηρασίας καθώς και ο τρόπος με τον οποίο εκτιμάται (δείκτες ξηρασίας) αυτή. Σε αυτό το σημείο αναλύονται ενδεικτικά κάποιιοι δείκτες ώστε να γίνει κατανοητή η λειτουργία και η φύση τους. Αντιπαραβάλλονται οι μέθοδοι εκτίμησης ξηρασίας που στηρίζονται σε δορυφορικά δεδομένα με εκείνες που βασίζονται σε επίγειες μετρήσεις ώστε να υπάρχει μια σαφή εικόνα της εγκυρότητας των δεικτών και τέλος παρουσιάζονται τα γνωρίσματα της περιοχής μελέτης καθώς και τα κλιματολογικά –μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της.

Στο κεφάλαιο 3, με σκοπό την καλύτερη κατανόηση του τρόπου εξαγωγής των αποτελεσμάτων, γίνεται αναφορά στην επιστήμη της τηλεπισκόπησης, στα μέσα που διαθέτει καθώς και στην ανάλυση των καναλιών από τα οποία εξήχθησαν τα αποτελέσματα. Εν συνεχεία παραθέτονται τα χαρακτηριστικά της βάσης δεδομένων, η επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων μέσω του προγράμματος Erdas Imagine 8.7 και ο τελικός υπολογισμός των δεικτών ξηρασίας.

Στο κεφάλαιο 4 παραθέτονται και αναλύονται τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας για κάθε δείκτη ξεχωριστά, και συγκρίνονται οι δείκτες που εφαρμόστηκαν. Σημαντικό στοιχείο στο κεφάλαιο αυτό είναι η σύγκριση των δορυφορικών (VCI, TCI και VHI) και επίγειων δεικτών (Z-Index) σε μορφή διαγράμματος για ολόκληρη τη χρονοσειρά. Επίσης επισημαίνονται τα θετικά και τα αρνητικά της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε καθώς και τυχόν προβλήματα και δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν για των υπολογισμό των δεικτών ξηρασίας.

Στο κεφάλαιο 5 συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την εφαρμογή της μεθόδου και του υπολογισμού των δεικτών, αξιολογούνται τα αποτελέσματα και παραθέτονται προτάσεις για την βελτίωση τους.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΞΗΡΑΣΙΑ

Ξηρασία για ένα υδατικό σύστημα είναι το φαινόμενο κατά την διάρκεια εμφάνισης του οποίου το υδατικό σύστημα βρίσκεται κάτω από ένα κρίσιμο επίπεδο σε σχέση με την κανονική του λειτουργία (Τσακίρης, 1995). Το φαινόμενο αυτό άρχισε να απασχολεί πρόσφατα το ευρύ κοινό λόγω της έντονης λειψυδρίας που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια σε πολλές περιοχές του πλανήτη μας. Η έλλειψη του νερού αναφέρεται σε μια σχετικά μόνιμη κατάσταση αντίθετα με την ξηρασία, όπου είναι περισσότερο μια προσωρινή κατάσταση που χαρακτηρίζεται από μια αισθητή μείωση στην διαθεσιμότητα του νερού συγκρινόμενη με τα κανονικά για μια σημαντική χρονική περίοδο σε μια μεγάλη περιοχή. (Rossi *et al.*, 1992).

Η εμφάνιση της ξηρασίας είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων και διαφέρει από τα άλλα ακραία περιβαλλοντικά φαινόμενα σε πολλά σημεία. Καταρχήν είναι δύσκολο να οριστεί η έναρξη και η λήξη ενός επεισοδίου ξηρασίας λόγω του τοπικού της χαρακτήρα. (Tannehill, 1947). Δεύτερον, δεν μπορεί να υπάρξει ένας κοινός παγκόσμιος επιστημονικός ορισμός για την ξηρασία γιατί εξαρτάται από την κλιματολογία και την τοπογραφία που χαρακτηρίζει την κάθε περιοχή. Αυτό μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί από το πλήθος των ορισμών που έχουν δοθεί κατά την διάρκεια των τελευταίων χρόνων (World Meteorological Organisation- WMO, 1975; Wilhite and Glantz, 1985). Από τα παραπάνω είναι εύκολο να καταστεί αντιληπτό ότι δεν μπορεί να δοθεί ένας κοινός ορισμός ο οποίος να καλύπτει όλες τις πιθανές εκδοχές.

Η ξηρασία ορίζεται διαφορετικά από περιοχή σε περιοχή όπως προαναφέρθηκε, αλλά εξαρτάται και από τον στόχο της κάθε ερευνητικής προσέγγισης. Οι παράγοντες που καθορίζουν την ένταση (severity) αυτού του φαινομένου είναι οι υψηλές θερμοκρασίες, οι ισχυροί άνεμοι και η χαμηλή σχετική υγρασία (Oladipo, 1985). Η ξηρασία επίσης είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ένταση και τη συχνότητα του φαινομένου της βροχόπτωσης, δηλαδή με το χρόνο - ουσιαστικά την καθυστέρηση- εμφάνισης μιας υγρής περιόδου. Στα αίτια εμφάνισης της ξηρασίας, μπορεί επίσης να συμπεριληφθούν και ανθρώπινοι παράγοντες, όπως “ο βαθμός αποθήκευσης νερού, το σύστημα διανομής του, ο αριθμός, η τοποθεσία και το βάθος των πηγών, η μέθοδος χρήσης του νερού για την κατανάλωση από μεγάλες πόλεις, και πολλά άλλα” (Matthai, 1979). Σύμφωνα με τα παραπάνω κάθε επεισόδιο ξηρασίας χαρακτηρίζεται

από την μοναδικότητα των κλιματικών χαρακτηριστικών και επιπτώσεων. Ακόμα η ξηρασία χαρακτηρίζεται σαν κινητήρια δύναμη (prime mover) που έχει μόνο ιδιότητες ή συνέπειες ή σαν σχετική και όχι απόλυτη έννοια (Μπαλούτσος, 1992).

Το φαινόμενο της ξηρασίας σε αντίθεση με άλλα φυσικά περιβαλλοντικά φαινόμενα που προκαλούν καταστροφές (πλημμύρες, καταιγίδες κλπ.), έχει συνήθως μεγάλη διάρκεια. Έχει οικονομικό (Prout *et al.*, 1986), κοινωνικό και περιβαλλοντικό κόστος σε ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες. Συνήθως αναγκάζει τις κυβερνήσεις να ανακοινώσουν μέτρα για τον περιορισμό της κατανάλωσης αλλά και να αναγγείλουν νέα έργα για την καλύτερη αξιοποίηση των υδατικών πόρων. Επειδή όμως η ξηρασία είναι ένα φαινόμενο που εντάσσεται στη γενικότερη διακύμανση του κλίματος μιας περιοχής, πολλά από τα εν λόγω μέτρα τα οποία αναγγέλλονται κατά τη διάρκεια του φαινομένου, εγκαταλείπονται μόλις εμφανιστούν βροχοπτώσεις. Χαρακτηριστικό είναι το σκίτσο του σχήματος 2.1 που παρουσιάζει τον “υδρο-παράλογο κύκλο” της ξηρασίας.



Εικόνα 2.1. Ο «υδρο-παράλογος» κύκλος της ξηρασίας (Τσακίρης, 1995)

## 2.1 Τύποι ξηρασιών

Η ξηρασία λόγω της ιδιαιτερότητας της δεν είναι εύκολο να εξηγηθεί και να κατανοηθεί μόνο στα πλαίσια της επιστήμης της υδρολογίας. Πρόκειται για ένα φαινόμενο που μπορεί να αναλυθεί σε βάθος μόνο από διεπιστημονική προσέγγιση (Δαλέζιος, 2004).

Οι πιο γνωστές κατηγορίες της ξηρασίας είναι οι εξής (Dracup *et al.*, 1980):

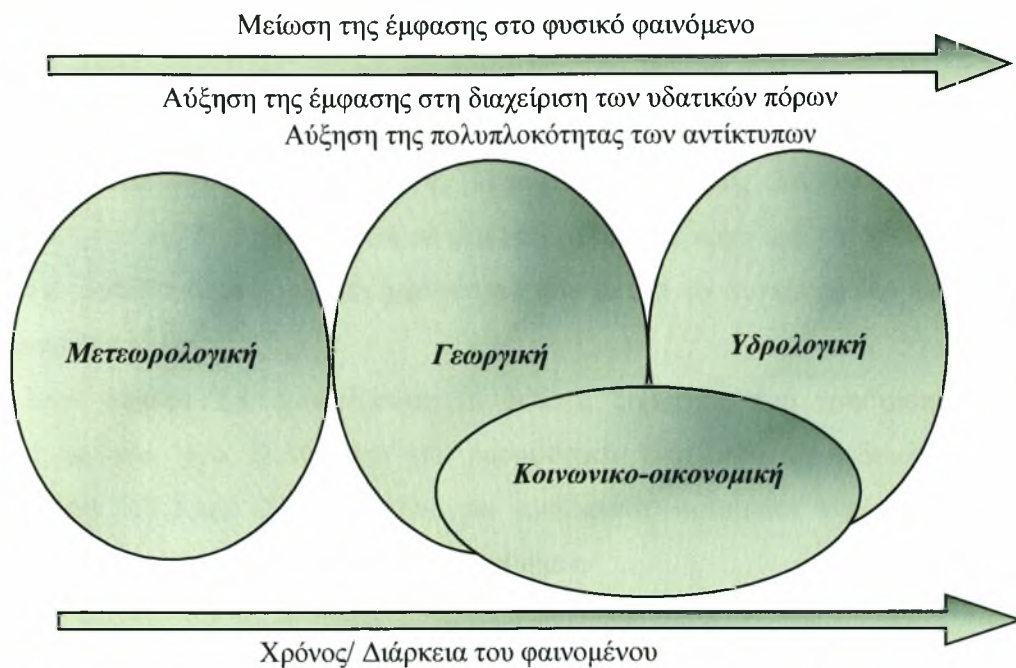
1. Μετεωρολογική ξηρασία, η οποία χαρακτηρίζει μια περίοδο χωρίς αρκετή βροχή που επηρεάζει σημαντικά τη χλωρίδα και την πανίδα μιας περιοχής. Ορίζεται με βάση την απόκλιση της βροχόπτωσης (συνολικό ύψος, περίοδος μεταξύ των βροχοπτώσεων, αριθμός ημερών βροχής) από την αναμενόμενη, με βάση το κλίμα της περιοχής.

2. Υδρολογική ξηρασία, χαρακτηρίζεται μια περίοδος κατά την οποία η παροχή νερού είναι μικρότερη από την ελάχιστη που απαιτείται για την ικανοποίηση των αναγκών μιας περιοχής. Δηλαδή είναι μια περίοδος υδρολογικού ελλείμματος (π.χ. στην απορροή, στην αποθήκευση σε ταμιευτήρες, στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα). Εκδηλώνεται με τη μείωση της εδαφικής υγρασίας, της παροχής των ποταμών και πηγών, της στάθμης λιμνών και των αποθεμάτων των υπόγειων νερών.

3. Γεωργική ξηρασία, που προσδιορίζεται από τη μη κανονική ανάπτυξη των καλλιεργειών σαν συνέπεια της περιορισμένης διαθεσιμότητας του νερού (Δαλέζιος και Πρίνος, 2004). Εξαρτάται από τα επίπεδα εδαφικής υγρασίας και επάρκειας του νερού για την ανάπτυξη των καλλιεργειών.

4. Κοινωνικό-οικονομικές επιπτώσεις της ξηρασίας, που αναφέρεται σε ελλείμματα υδατικών πόρων που συνήθως οφείλονται στην υπερκατανάλωση, την ανεπαρκή υποδομή και προετοιμασία και λιγότερο στις μειωμένες βροχοπτώσεις ή στη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων. Συνδέει όλες τις προηγούμενες παραμέτρους με την προσφορά και ζήτηση αγαθών που σχετίζονται με τη χρήση νερού, όπως το πόσιμο νερό, τα γεωργικά προϊόντα και την υδροηλεκτρική ενέργεια.

Στην εικόνα 2.2 απεικονίζονται τα διάφορα είδη ξηρασίας. Η κοινωνικο-οικονομική ξηρασία εμπεριέχεται στην γεωργική και στην υδρολογική. Όσον αφορά την έμφαση που δίνεται στη διαχείριση των υδατικών πόρων, η υδρολογική ξηρασία παρουσιάζει την υψηλότερη.



**Εικόνα 2.2.** Φυσική και Κοινωνική διάσταση της Ξηρασίας (Wilhite, 2005).

## 2.2 Τρόποι εκτίμησης της ξηρασίας

Το μεγάλο πλήθος ορισμών της ξηρασίας, τα διαφορετικά χαρακτηριστικά που εμφανίζει σε σχέση με την τοπογραφία και το κλίμα της κάθε περιοχής, και οι πολύπλοκες φυσικές διεργασίες που συνδέονται με την εμφάνισή της, επέβαλλαν την δημιουργία δεικτών ξηρασίας έτσι ώστε να είναι εφικτή η αναγνώριση, η καταγραφή της έντασης και έκτασης των επεισοδίων ξηρασίας, καθώς επίσης και η δυνατότητα αξιολόγησης της, όχι μόνο σε τοπικό επίπεδο αλλά και σε μια ευρύτερη περιοχή χρησιμοποιώντας είτε δορυφορικά είτε επίγεια δεδομένα.

Δεδομένα των υψών της βροχής, της χιονοκάλυψης, των αποθεμάτων του νερού στο έδαφος καθώς και άλλων παραμέτρων είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό των διαφόρων δεικτών ξηρασίας. Η απόδοση της τιμής του δείκτη ξηρασίας ως ένας απλός αδιάστατος αριθμός δίνει τη δυνατότητα μιας πιο προσιτής κατανόησης του φαινομένου. Μπορεί επίσης να φανεί περισσότερο χρήσιμος σε σχέση με την ανάλυση της κάθε παραμέτρου χωριστά.

Η εφαρμογή και ο υπολογισμός των δεικτών ξηρασίας δίνει τη δυνατότητα καθορισμού της έναρξης και της λήξης ενός επεισοδίου καθώς επίσης και άλλων ιδιαίτερων γνωρισμάτων του φαινομένου, όπως η πιθανότητα επανεμφάνισής του. Στην περίπτωση όμως της εσφαλμένης χρήσης ή ερμηνείας τους τα αποτελέσματα μπορεί να είναι εντελώς παραπλανητικά.

Παρότι η σπουδαιότητα των δεικτών ξηρασίας είναι αποδεδειγμένη, η χρήση ενός και μόνο δείκτη για το χαρακτηρισμό των συνθηκών μιας περιοχής δεν είναι πανάκεια. Συνήθως οι ερευνητές στηρίζονται στη χρήση περισσότερων δεικτών για τον προσδιορισμό του φαινομένου. Γεγονός είναι όμως ότι κάποιοι δείκτες παρουσιάζουν καλύτερη εφαρμογή σε μια υπό μελέτη περιοχή από ότι κάποιοι άλλοι και αυτό οφείλεται στον τοπικό χαρακτήρα που διέπει το συγκεκριμένο φαινόμενο (Keyantash and Dracup, 2002).

Στον πίνακα 2.1 εμφανίζονται οι δείκτες ξηρασίας που χρησιμοποιούνται συχνότερα και που βασίζονται σε δορυφορικά είτε επίγεια δεδομένα. Στην παράγραφο 2.2.1. και 2.2.2. αναλύονται ενδεικτικά ορισμένοι δείκτες για την καλύτερη κατανόηση των όσων προαναφέρθηκαν.

### **2.2.1. Μεθοδολογίες εκτίμησης ξηρασίας με χρήση επίγειων (συμβατικών) δεδομένων**

Στην παράγραφο αυτή περιγράφονται ενδεικτικά οι παρακάτω δείκτες ξηρασίας: Ποσοστό του κανονικού, Μέθοδο Palmer, Δείκτης Υγρασίας Σοδειάς, Κανονικοποιημένος δείκτης βροχόπτωσης και ο δείκτης τροφοδότησης επιφανειακού νερού.

#### **2.2.1.1 Ποσοστό του κανονικού (Percent of normal)**

Αυτός ο δείκτης είναι κατάλληλος για ανάλυση μιας και μόνο περιοχής ή μίας εποχικής περιόδου καθώς είναι εύκολο να γίνει κάποιο σφάλμα κατανόησης επειδή οι τιμές του εξαρτώνται από την τοποθεσία και τη χρονική περίοδο. Υπολογίζεται διαιρώντας την πραγματική βροχόπτωση με την υπό εκτίμηση βροχόπτωση (τυπικά υπολογίζεται από έναν μέσο όρο 30 ετών) ως ποσοστό επί της 100 (%). Μπορεί να υπολογιστεί για διάφορες χρονικές περιόδους οι οποίες κυμαίνονται από διάστημα ενός μηνός μέχρι ενός συνόλου μηνών που αντιπροσωπεύουν μια συγκεκριμένη περίοδο του έτους ή του υδρολογικού έτους. Η εκτιμώμενη βροχόπτωση για μια συγκεκριμένη περιοχή αναμένεται να είναι 100% (Hayes, 2000). Επιπλέον, ο μέσος όρος βροχόπτωσης διαφέρει από τη μέση βροχόπτωση και αυτό γιατί τείνει να ακολουθεί άνιση κατανομή (Steinemann *et al.*, 2005). Ο δείκτης αυτός θεωρείται δύσχρηστος, διότι αδυνατεί να αντιμετωπίσει φαινόμενα ξηρασίας τα οποία δεν οφείλονται μόνο σε έλλειψη βροχόπτωσης (Willeke *et al.*, 1994).



Δείκτες εκτίμησης ξηρασίας με χρήση συμβατικών δεδομένων

1. Ποσοστό του κανονικού (Percent of normal).

2. Δείκτης ανωμαλιών βροχόπτωσης (RAI).

3. Δεκατημόρια βροχόπτωσης (Rainfall deciles).

4. Δείκτης Περιοχικής Ξηρασίας Drought Area Index.

5. Δείκτης αθροιστικών ανωμαλιών βροχόπτωσης (Discrete and cumulative precipitation anomalies).

6. Κανονικοποιημένος δείκτης βροχόπτωσης (SPI)

7. Αποτελεσματικός δείκτης ξηρασίας Effective Drought Index.

8. Δείκτες ξηρασίας Palmer (z-index, PDSI, PHDI)

9. Δείκτης ξηρασίας σοδειάς (CMI)

10. Δείκτης ξηρασίας Bhalme- Mooley (BMDI)

11. Δείκτης τροφοδότησης επιφανειακού νερού (SWSI)

13. Συνολικό έλλειμμα νερού (Total water deficit).

14. Αθροιστικές ανωμαλίες υδατορροής (Cumulative streamflow anomaly).

15. Δείκτης Υπολογισμένης εδαφικής υγρασίας (Computed soil moisture).

16. Δείκτης ανωμαλιών εδαφικής υγρασίας (Soil Moisture Anomaly Index).

17. Δείκτης αγρο-υδατο δυναμικού (Agro-Hydro Potential).

19. Κανονικοποιημένος δείκτης υδατικού επιπέδου (Standardised Water-Level Index).

Δείκτες δορυφορικής εκτίμησης ξηρασίας

1. Δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI)

2. Δείκτης απόκλισης NDVI (NDVI<sub>DEV</sub>)

3. Βελτιωμένος δείκτης βλάστησης (EVI)

4. Δείκτης κατάστασης βλάστησης (VCI)

5. Μηνιαίος δείκτης κατάστασης βλάστησης (MVC1)

6. Δείκτης κατάστασης θερμοκρασίας (TCI)

7. Δείκτης υγειούς βλάστησης (VHI)

8. Δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς θερμοκρασίας (NDTI)

9. Δείκτης ελλείμματος νερού καλλιέργειας Crop Water Stress Index.

10. Δείκτης δριμύτητας ξηρασίας (DSI)

11. Δείκτης ξηρότητας θερμοκρασίας-βλάστησης (TVDI)

12. Δείκτης νερού κανονικοποιημένων διαφορών (NDWI)

13. Δείκτης αναγνώρισης ξηρασίας (RDI)



### 2.2.1.2. Μέθοδος Palmer (Palmer Drought Severity Index)

Ο δείκτης ξηρασίας PDSI (Palmer Drought Severity Index) αναπτύχθηκε από τον Palmer το 1965 στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής για την εκτίμηση της μετεωρολογικής ξηρασίας (Ζαραγκότας, 2005). Ο δείκτης βασίζεται στη θεώρηση παροχών- αναγκών της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου και λαμβάνει υπόψη τις παρούσες καιρικές συνθήκες, τις συνθήκες υγρασίας του εδάφους καθώς και τις κανονικές κλιματικές συνθήκες της περιοχής (Ζαραγκότας, 2005; Dalezios *et al.*, 2000). Τα βασικά βήματα τα οποία είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό του δείκτη PDSI συνοψίζονται σε πέντε και παρουσιάζονται αναλυτικά ακολούθως.

**Α) Υπολογισμός υδρολογικών παραμέτρων:** Όλοι οι βασικοί όροι της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου, συμπεριλαμβανομένης της εξατμισοδιαπνοής της εδαφικής παρακράτησης, της απορροής και των απωλειών στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους, μπορούν να καθοριστούν από τα αρχικά δεδομένα (βροχόπτωση, θερμοκρασία). Στον υπολογισμό του ισοζυγίου υγρασίας, θεωρείται ότι η εξατμισοδιαπνοή γίνεται κατά δυναμικό τρόπο από το επιφανειακό στρώμα μέχρις ότου χαθεί όλη η διαθέσιμη υγρασία και τότε μόνο συμμετέχει και η υγρασία του κατώτερου στρώματος. Οι απώλειες από τα βαθύτερα στρώματα ( $L_U$ ), εξαρτώνται από την περιεχόμενη υγρασία, τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή και τη διαθέσιμη υδατοϊκανότητα του εδαφικού συστήματος.

Οι απώλειες λόγω εξάτμισης από το επιφανειακό στρώμα ( $L_S$ ) εκτιμούνται με τη μέθοδο του Thornthwaite, η οποία υπολογίζει τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή (PE), όπως αναφέρθηκε όμως, είναι δυνατή η χρήση και άλλων μεθόδων εκτίμησης δυναμικής εξατμισοδιαπνοής (π.χ. Blaney- Criddle). Για τα εφαρμόσιμα αποτελέσματα εισάγεται στους υπολογισμούς η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ET) που θεωρείται συνάρτηση της PE και της υγρασιακής κατάστασης του εδάφους. Από την ανάλυση των παραμέτρων, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, προκύπτουν δύο εξισώσεις:

Αν  $PE > P$ , τότε

$$L_S = \min [S_S (PE - P)] \quad (2.1)$$

$$L_U = [(PE - P) - L_S] S_U / AWC, L_U < S_U \quad (2.2)$$

Όπου  $L_S$  είναι η απώλεια υγρασίας του επιφανειακού στρώματος,  $L_U$  η απώλεια υγρασίας του κατώτερου στρώματος,  $S_S$  και  $S_U$  οι ποσότητες της διαθέσιμης

αποθηκευμένης υγρασίας στην αρχή κάθε μήνα για το επιφανειακό και το κατώτερο στρώμα αντίστοιχα, PE η δυνητική εξατμισοδιαπνοή του μήνα, P η μηνιαία βροχόπτωση και AWC η διαθέσιμη υδατοχωρητικότητα ή υδατοϊκανότητα και των δύο στρώσεων.

Συμπληρωματικά στον μηνιαίο υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου χρησιμοποιούνται τρεις επιπλέον μεταβλητές, οι οποίες καθορίζονται ως εξής:

**1. Δυναμικός ανεφοδιασμός ή δυνητική επαναφόρτιση (Potential Recharge, PR):** είναι η ποσότητα της υγρασίας που απαιτείται για να φθάσει η υγρασία του εδάφους στην υδατοϊκανότητα και δίνεται από τη σχέση:

$$PR = AWC - (S_S + S_U) \quad (2.3)$$

**2. Δυνητική απώλεια (Potential Loss, PL):** είναι η ποσότητα της υγρασίας η οποία θα μπορούσε να χαθεί από το έδαφος λόγω εξατμισοδιαπνοής, εφόσον η μηνιαία βροχόπτωση είναι μηδέν. Η δυνητική απώλεια υπολογίζεται από τη σχέση:

$$PL = PL_S + PL_U \quad (2.4)$$

Όπου  $PL_S$ ,  $PL_U$  είναι η δυνητική απώλεια υγρασίας του επιφανειακού και του κατώτερου στρώματος αντίστοιχα, και καθορίζονται από τις σχέσεις:

$$PL_S = \min [PE, S_S] \quad (2.5)$$

$$PL_U = [PE - PL_S] S_U / AWC, \quad PL_U < S_U \quad (2.6)$$

**3. Δυνητική επιφανειακή απορροή (Potential Runoff, PRO):** Καθορίζεται από τη διαφορά μεταξύ της δυνητικής βροχόπτωσης και της δυνητικής επαναφόρτισης. Η δυνητική βροχόπτωση ισούται με την AWC, άρα η σχέση που διέπει την PRO είναι η εξής:

$$PRO = AWC - PR = S' \quad (2.7)$$

Όπου  $S'$  είναι η διαθέσιμη υγρασία και των δύο στρωμάτων στην αρχή του μήνα.

Για τον αναλυτικό μηνιαίο υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου, χρησιμοποιούνται επιπλέον και οι ακόλουθες σχέσεις:

$$S = S_S + S_U \quad (2.8)$$

$$L = L_S + L_U \quad (2.9)$$

$$ET = P + L \quad (2.10)$$

Όπου S είναι η διαθέσιμη υγρασία και των δύο στρωμάτων στο τέλος του μήνα, L η απώλεια υγρασίας και για τα δύο εδαφικά στρώματα και ET η πραγματική εξατμισοδιαπνοή του μήνα.

**Β) Υπολογισμός συντελεστών κλίματος:** Είναι απαραίτητη η προσομοίωση του μοντέλου σε περίοδο με διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, ώστε να παραχθεί η υδατοχωρητικότητα των κατώτερων εδαφικών στρωμάτων καθώς και τέσσερις συντελεστές που αφορούν την περιοχή μελέτης. Οι ακόλουθοι τέσσερις μηνιαίοι συντελεστές ( $a_j$ ,  $b_j$ ,  $c_j$ ,  $d_j$ ) υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τους τέσσερις δυνητικούς όρους PE, PR, PRO και PL, και δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$a_j = \frac{\overline{ET_j}}{\overline{PE_j}} \quad (2.11)$$

$$b_j = \frac{\overline{R_j}}{\overline{PR_j}} \quad (2.12)$$

$$c_j = \frac{\overline{RO_j}}{\overline{PRO_j}} \quad (2.13)$$

$$d_j = \frac{\overline{L_j}}{\overline{PL_j}} \quad (2.14)$$

Όπου ET είναι η εξατμισοδιαπνοή, R η επαναφόρτιση του εδαφικού νερού, RO η απορροή και L η συνολική απώλεια νερού από το έδαφος. Η υπεργράμμιση στους όρους των εξισώσεων υποδηλώνει τις μέσες τιμές αυτών για κάθε μήνα j.

**Γ) Τιμές CAFEC:** Υπολογίζονται οι Κλιματικά Κατάλληλες για τις Υπάρχουσες Συνθήκες τιμές (Climatically Appropriate For Existing Conditions) και συμβολίζονται με (^). Ως παράδειγμα αναφέρεται η τιμή του CAFEC για την εξατμισοδιαπνοή ET του μήνα j, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$\widehat{ET_j} = \alpha_j \cdot PE_j \quad (2.15)$$

Όπου  $PE_j$  είναι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή του τρέχοντος μήνα  $j$ . Ως εκ τούτου η CAFEC τιμή βροχόπτωσης  $P$  μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\hat{P} = \alpha_j \cdot PE + b_j \cdot PR + c_j \cdot PRO - d_j \cdot PL \quad (2.16)$$

**Δ) Δείκτης ανωμαλιών υγρασίας:** Υπολογίζεται η διαφορά μεταξύ της πραγματικής βροχόπτωσης και της τιμής CAFEC για τη βροχόπτωση. Η διαφορά αυτή η οποία συμβολίζεται με  $D$  εκφράζεται από τη σχέση  $D = P - P$  (Dalezios *et al.*, 2000). Οι διαφορές  $D$  μετατρέπονται σε δείκτες ανωμαλίας υγρασίας ( $Z$ ), γνωστός ως δείκτης Palmer  $Z$ , σύμφωνα με τη σχέση:

$$Z = K_j \cdot D \quad (2.17)$$

Όπου  $K_j$  είναι ο συντελεστής βαρύτητας για το μήνα  $j$  ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη χωρική μεταβλητότητα των διαφορών  $D$ , έτσι ώστε ο δείκτης να είναι χρονικά και χωρικά ανεξάρτητος.

**Ε) Δριμύτητα ξηρασίας:** Τελικά, οι χρονοσειρές που προκύπτουν από το δείκτη  $Z$ , αναλύονται με σκοπό την ανάπτυξη κριτηρίων τα οποία θα καθορίσουν την έναρξη και τη λήξη της περιόδου ξηρασίας καθώς και ενός τύπου προσδιορισμού της δριμύτητας του φαινομένου (Ζαραγκότας, 2005). Σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Palmer, υπολογίζονται τρεις ενδιάμεσοι δείκτες  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ , για κάθε μήνα, και ενός παράγοντα πιθανότητας. Η έναρξη και η λήξη της ξηρασίας εκφράζονται με ποσοστά πιθανότητας. Οι τρεις ενδιάμεσοι δείκτες υπολογίζονται από την εμπειρική σχέση:

$$X_j = 0.897 \cdot X_{j-1} + \frac{Z_j}{3} \quad (2.18)$$

Όπου το  $Z_j$  αντιπροσωπεύει τις συσσωρευμένες τιμές του δείκτη ανωμαλίας υγρασίας  $Z$  για τα διαστήματα με έντονη ξηρασία, και  $X_j$  είναι η τιμή του PDSI για το μήνα  $j$ .

Το μοντέλο του Palmer επιλέγει την τιμή για καθένα από τους ενδιάμεσους δείκτες και τη χρησιμοποιεί στον υπολογισμό του PDSI ανάλογα με την τιμή του παράγοντα πιθανότητας.

Η μέθοδος Palmer που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των δεικτών PDSI και  $Z$ - index, παρουσιάζει έναν αριθμό περιορισμών και μειονεκτημάτων. Οι περιορισμοί αυτοί μπορούν να διακριθούν σε δύο γενικά κατηγορίες, στα

μειονεκτήματα του μοντέλου υδατικού ισοζυγίου και στα χαρακτηριστικά του δείκτη PDSI (Dalezios *et al.*, 2000).

Η πρώτη κατηγορία των περιορισμών της μεθόδου περιλαμβάνει:

- Τη χρήση της μεθόδου Thornthwaite για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, αν και άλλες μέθοδοι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν (όπως για παράδειγμα η Blaney- Criddle).

- Την αυθαίρετη θεώρηση των 25 mm όσον αφορά στην υδατοϊκανότητα του επιφανειακού στρώματος του εδάφους. Η υδατοϊκανότητα είναι δυνατόν να μεταβληθεί σημαντικά, καθώς εξαρτάται από το κλίμα, την υφή του εδάφους και τη φυτοκάλυψη της περιοχής.

- Την υπόθεση ότι η απορροή εκτιμάται χωρίς καμία υστέρηση στη χρονική της κατανομή. Ο Thornthwaite και ο Mather (1955) πρότειναν ότι το 50%-70% της απορροής θα πρέπει να υστερεί κάθε μήνα, ώστε να αναπαραχθούν οι μηνιαίοι όγκοι ροής, οι οποίοι παρατηρούνται στα υδατορεύματα. Το τμήμα της απορροής που παρουσιάζει υστέρηση ποικίλλει σημαντικά και εξαρτάται από το βάθος και την υφή του εδάφους, τη γεωμορφολογία και το μέγεθος της λεκάνης απορροής, και τη φύση του υπεδάφιου υδρολογικού συστήματος.

- Ο χαρακτήρας της μεθόδου του Palmer, ως μοντέλο «τύπου κατωφλίου», το οποία υποθέτει ότι δεν υπάρχει απορροή έως ότου πληρωθεί η υδατοϊκανότητα του ανώτερου και του κατώτερου στρώματος του εδάφους. Η υπόθεση αυτή έχει την τάση να υποεκτιμά την επαναφόρτιση κατά τη διάρκεια των θερινών και των πρώτων φθινοπωρινών μηνών.

- Τέλος, δε λαμβάνεται υπόψη η επίδραση του λιωσίματος του χιονιού ή του παγωμένου εδάφους, αλλά αυτό δε δημιουργεί ιδιαίτερο πρόβλημα κατά την εφαρμογή της μεθόδου σε περιοχές με Μεσογειακό κλίμα, στις οποίες παρατηρείται χιονόπτωση κυρίως σε υψηλότερα υψόμετρα.

Οι περιορισμοί των χαρακτηριστικών του δείκτη PDSI, συνοψίζονται στα εξής:

- Στον αυθαίρετο καθορισμό των κλάσεων του PDSI. Οι κλάσεις αυτές έχουν καθοριστεί από δεδομένα της Κεντρικής Αϊόβα και του Κάνσας των ΗΠΑ.

- Στην ευαισθησία των τιμών του PDSI όσον αφορά το συντελεστή  $K_j$ , ενώ η πλειοψηφία των διαρκειών των ξηρασιών σε διαφορετικές περιοχές, παραμένει ανεπηρέαστη από τη μεταβολή του παράγοντα  $K_j$ .

- Στην ευαισθησία των τιμών του PDSI σε σχέση με το κλίμα κατά την περίοδο της βαθμονόμησης.

Εντούτοις, παρά τη χρήση αρκετών υποθέσεων για τον υπολογισμό των παραμέτρων του υδατικού ισοζυγίου, την ύπαρξη μειονεκτημάτων και περιορισμών, καθώς και την εμπειρική φύση μερικών από συντελεστών, ο δείκτης PDSI μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο τόσο σε ερευνητικές όσο και σε λειτουργικές προσεγγίσεις, αν χρησιμοποιηθεί σωστά, με επίγνωση των περιορισμών και με καλή γνώση των χαρακτηριστικών της περιοχής που μελετάται.

Ο δείκτης PDSI έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν με επιτυχία, κυρίως στην Αμερική, σε πολλές ερευνητικές εφαρμογές (π.χ. Karl, 1986; Kothavala, 1997; Pongracz *et al.*, 1999), καθώς και σε επιχειρησιακή βάση (π.χ. Lohani and Loganathan, 1997). Επίσης έχει εφαρμοστεί στον Καναδά (Louie, 1986), στην Αυστραλία (Kothavala, 1999), Αργεντινή (Scian and Donnari, 1997) και Ουγγαρία (Szinell *et al.*, 1998). Ο PDSI, ακόμη, έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για τη μελέτη της ξηρασίας και της δριμύτητας αυτής στην Ελλάδα (Dalezios *et al.*, 1991; Dalezios *et al.*, 2000).

**Πίνακας 2.2.** Κατηγορίες Καιρού με βάση το δείκτη Palmer (PDSI)

PDSI	Κατηγορία Καιρού
> 4,00	Εξαιρετικά υγρός
3,00 μέχρι 3,99	Πολύ υγρός
2,00 μέχρι 2,99	Μέτρια υγρός
1,00 μέχρι 1,99	Ελαφρά υγρός
0,50 μέχρι 0,99	Ασθενικά υγρός
0,49 μέχρι -0,49	Σχεδόν φυσιολογικός
-0,50 μέχρι -0,99	Ασθενής ξηρασία
-1,00 μέχρι -1,99	Ελαφρά ξηρασία
-2,00 μέχρι -2,99	Μέτρια ξηρασία
-3,00 μέχρι -3,99	Ισχυρή ξηρασία
< -4,00	Ακραία ξηρασία



### 2.2.1.3. Δείκτης Υγρασίας Σοδειάς (Crop Moisture Index, CMI)

Μια άλλη μορφή του δείκτη Palmer αποτελεί ο δείκτης υγρασίας σοδειάς (CMI crop moisture index), έχει ως στόχο να ανιχνεύσει την κατάσταση υγρασίας μιας σοδειάς από εβδομάδα σε εβδομάδα, με μετεωρολογική προσέγγιση (Hayes, 1999). Ο δημιουργός αυτού του δείκτη είναι και πάλι ο Palmer (1968) και η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται είναι ίδια σχεδόν με αυτήν του δείκτη PDSI. Ο δείκτης PDSI εντοπίζει μεγάλης διάρκειας υγρές και ξηρές ακολουθίες, ενώ αντίθετα ο δείκτης CMI σχεδιάστηκε για να εκτιμά μικρής διάρκειας καταστάσεις υγρασίας κυρίως για αγροτικές περιοχές. Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται βάσει των μέσων θερμοκρασιών και του ποσού βροχόπτωσης για κάθε εβδομάδα καθώς επίσης και βάση της τιμής του δείκτη CMI της προηγούμενης εβδομάδας. Ο δείκτης CMI αντιδρά άμεσα στις διάφορες αλλαγές των καιρικών συνθηκών και επειδή έχει διορθωθεί στο χώρο και στον χρόνο μπορεί να συγκρίνει συνθήκες υγρασίας διαφορετικών περιοχών.

Επειδή ο δείκτης αυτός σχεδιάστηκε για να εντοπίζει μικρής διάρκειας καταστάσεις υγρασίας σε μια αναπτυσσόμενη σοδειά, ο δείκτης CMI δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο εντοπισμού μεγάλης διάρκειας ξηρασίας (Hayes, 1999). Η άμεση αντίδραση του δείκτη CMI στις αλλαγές μικρής κλίμακας μπορεί να δώσει λανθασμένα αποτελέσματα σε συνθήκες μεγάλης κλίμακας. Για παράδειγμα, μια ευεργετική βροχόπτωση κατά την διάρκεια της ξηρής ακολουθίας μπορεί να κάνει το δείκτη CMI να δώσει μια ικανοποιητική κατάσταση υγρασίας, ενώ στην πραγματικότητα η ξηρασία συνεχίζει να υφίσταται στην περιοχή. Ένας άλλος λόγος που ο δείκτης CMI δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό μεγάλης κλίμακας ξηρασία είναι ότι αυτός ξεκινά και τελειώνει κάθε νέα καλλιεργητική περίοδο με την τιμή μηδέν. Αυτοί οι περιορισμοί εμποδίζουν τον δείκτη CMI να χρησιμοποιηθεί στον εντοπισμό υδρομετρικών καταστάσεων, εκτός από την περίοδο ανάπτυξης των φυτών, και ιδιαίτερα των ξηρών ακολουθιών που εκτείνονται για αρκετά χρόνια. Θα πρέπει λοιπόν, οι χρήστες του δείκτη CMI να γνωρίζουν καλά πότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πώς να ερμηνεύονται κάθε φορά τα αποτελέσματα του. Για παράδειγμα, ο δείκτης CMI δεν μπορεί να εφαρμοστεί κατά την διάρκεια βλάστησης του σπόρου ή στην αρχή της περιόδου ανάπτυξης των φυτών. Αντίθετα πιο αποτελεσματικός είναι κατά την διάρκεια της θερμής περιόδου (Heim, 2002).

**Πίνακας 2.3.** Κατηγοριοποίηση ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη CMI

Κατηγορίες καιρού	Τιμές του δείκτη CMI
Υπερβολική υγρασία	3.0 και άνω
Μέτρια υγρασία	2.0 έως 2.9
Μη φυσιολογική υγρασία	1.0 έως 1.9
Μέτρια ξηρασία	-0.9 έως 0.9
Μη φυσιολογική ξηρασία	-1.0 έως -1.9
Υπερβολική ξηρασία	-2.0 έως -2.9
Δριμεία ξηρασία	-3.0 και κάτω

#### **2.2.1.4. Κανονικοποιημένος δείκτης Βροχόπτωσης (Standardized Precipitation Index, SPI)**

Ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης (Standardized Precipitation Index) αναπτύχθηκε από τους McKee *et al.* (1993), στο πανεπιστήμιο του Κολοράντο. Η φύση του SPI επιτρέπει τον προσδιορισμό της σπανιότητας εμφάνισης της ξηρασίας ή ενός γεγονότος βροχόπτωσης σε συγκεκριμένη χρονική κλίμακα για οποιοδήποτε μέρος του κόσμου στο οποίο υπάρχουν αρχεία κατακρημνισμάτων. Είναι ένα σχετικά απλός δείκτης, ο οποίος βασίζεται μόνο σε δεδομένα βροχόπτωσης και για τον υπολογισμό του χρειάζεται μόνο δύο παραμέτρους. Δεν εξαρτάται από την εδαφική ξηρασία και μπορεί να εφαρμοστεί εξίσου καλά τόσο τον χειμώνα όσο και το καλοκαίρι. Επίσης δεν εξαρτάται από την τοπογραφία της υπό μελέτη περιοχή. Η δυνατότητα να εφαρμόζεται σε ποικίλες χρονικές κλίμακες, του επιτρέπει την περιγραφή της ξηρασίας, για ένα σημαντικό εύρος μετεωρολογικών, γεωργικών και υδρολογικών φαινομένων. Ένα άλλο σπουδαίο πλεονέκτημα του δείκτη SPI, προέρχεται από την κανονικοποίησή του η οποία εγγυάται ότι η συχνότητα ακραίων γεγονότων ξηρασίας σε κάθε τοποθεσία και κάθε χρονική κλίμακα είναι σταθερή.

Ο υπολογισμός του δείκτη SPI βασίζεται σε δεδομένα βροχόπτωσης μιας μακράς χρονικής περιόδου (μεγαλύτερης των 30 ετών). Τα δεδομένα βροχόπτωσης, προσαρμόζονται πάνω σε μια θεωρητική κατανομή πιθανοτήτων, η οποία στην συνέχεια μετασχηματίζεται σε τυπική κανονική κατανομή, με μέσο όρο μηδέν και τυπική απόκλιση ίση με την μονάδα, έτσι ώστε οι τιμές του SPI να είναι στην πραγματικότητα η τυπική απόκλιση. Το μέγεθος της απόκλισης από το μηδέν απεικονίζει την πιθανότητα του συμβάντος.

Θετικές τιμές SPI υποδηλώνουν βροχόπτωση μεγαλύτερη της μέσης, ενώ αρνητικές τιμές υποδηλώνουν βροχόπτωση μικρότερη της μέσης. Ένα γεγονός ξηρασίας υφίσταται όταν ο δείκτης SPI είναι συνεχώς αρνητικός και λαμβάνει τέλος όταν γίνεται θετικός.

Ο δείκτης SPI έχει την ικανότητα να προσδιορίζει το έλλειμμα βροχόπτωσης για πολλαπλές χρονικές κλίμακες. Αυτές οι χρονικές κλίμακες αντανακλούν την επίδραση της ξηρασίας πάνω στην διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων. Υδατορεύματα, υπόγεια νερά και δεξαμενές αποθήκευσης αντικατοπτρίζονται από ανωμαλίες της βροχόπτωσης σε μεγάλες χρονικές κλίμακες, ενώ η εδαφική υγρασία σε ανωμαλίες βροχοπτώσεις σε μικρές χρονικές κλίμακες.

**Πίνακας 2.4.** Κατηγοριοποίηση ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη SPI.

Τιμές SPI	Κατηγορίες καιρού
Μεγαλύτερο του 2	Εξαιρετικά υγρός
1,5 έως 1,99	Πολύ υγρός
1,00 έως 1,49	Μέτρια υγρός
-0,99 έως 0,99	Κανονικές συνθήκες υγρασίας
-1,00 έως -1,49	Μέτρια υγρός
1,50 έως -1,99	Δριμεία ξηρός
Μικρότερο του 2	Ακραία ξηρός

#### 2.2.1.5 Δείκτης τροφοδότησης επιφανειακού νερού (Surface Water Supply Index, SWSI)

Ο δείκτης παροχής επιφανειακού νερού (SWSI) δημιουργήθηκε από τους Shafer και Dezman (1982) ώστε να συμπληρώνει το δείκτη Palmer για τις υγρές συνθήκες (ποσότητα του χιονιού και την αντίστοιχη απορροή) και για περιοχές με έντονη τοπογραφία. Ο δείκτης SWSI αποτελεί ένα είδος μέτρου του επιφανειακού νερού και εξαρτάται από το νερό που απορρέει από τα βουνά, όπου το χιόνι παίζει σημαντικό ρόλο. Η μαθηματική του έκφραση είναι:

$$SWSI = \frac{aP_{snow} + bP_{prec} + cP_{strm} + dP_{resv} - 50}{12} \quad (2.19)$$

Τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό του δείκτη (SWSI) είναι: το πάχος του χιονοστρώματος, η παροχή, η βροχόπτωση και το πλεόνασμα νερού (απόθεμα), τα οποία εναλλάσσονται ανάλογα με την χρονική περίοδο μελέτης. Για παράδειγμα, για τον χειμώνα ο δείκτης SWSI υπολογίζεται μόνο βάση του ύψους του χιονιού, της βροχόπτωσης και του πλεονάσματος, ενώ για το καλοκαίρι, το ύψος του χιονιού αντικαθίσταται από την παροχή. Όπως και ο δείκτης Palmer, οι τιμές του δείκτη SWSI κυμαίνονται από -4.0 έως +4.0 με μέση τιμή το μηδέν.

Στην μελέτη του ο Hayes (1999) καταγράφει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του δείκτη SWSI. Ειδικότερα, ως πλεονέκτημα του δείκτη αναφέρονται πρώτον ο εύκολος υπολογισμός του και δεύτερον ότι δίνει αντιπροσωπευτικές μετρήσεις της παροχής του επιφανειακού νερού σε όλο το εύρος της περιοχής μελέτης. Τα μειονεκτήματα στην εφαρμογή του δείκτη SWSI είναι τόσο η μη συνεχή ροή δεδομένων από κάποιους σταθμούς, όσο και η παρουσία ενός νέου σταθμού στην λεκάνη απορροής. Μειονεκτήματα που έχουν ως αποτέλεσμα τον καθορισμό των συντελεστών με βάση των καινούργιων κατανομών συχνότητας. Επίσης, κάποιες αλλαγές στη διεύθυνση του νερού μέσα στην λεκάνη απορροής, όπως είναι οι εκτροπές ή καινούργιες υδατοδεξαμενές, απαιτούν την επαναδημιουργία του αλγόριθμου του δείκτη SWSI, έτσι ώστε να υπολογίζονται καινούργιες τιμές για κάθε συντελεστή. Τέλος, τα ακραία φαινόμενα μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στον υπολογισμό του δείκτη SWSI. Αν ένα ακραίο επεισόδιο παρουσιάσει τιμές μικρότερες από αυτές της χρονοσειράς των δεδομένων τότε ο δείκτης πρέπει να υπολογιστεί εκ νέου συμπεριλαμβάνοντας τις νέες τιμές στην κατανομή συχνότητων στη λεκάνη.

### **2.2.2. Μεθοδολογίες εκτίμησης ξηρασίας με χρήση δορυφορικών δεδομένων.**

Ενδεικτικά, στη συγκεκριμένη παράγραφο, περιγράφονται ορισμένοι δείκτες ξηρασίας που βασίζονται σε δορυφορικά δεδομένα. Οι δείκτες αυτοί είναι ο Δείκτης Αναγνώρισης Ξηρασίας, ο Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς, ο Δείκτης Κατάστασης Βλάστησης, ο Δείκτης Κατάστασης Θερμοκρασίας και ο Δείκτης Υγιούς Βλάστησης.

### 2.2.2.1. Δείκτης Αναγνώρισης Ξηρασίας (Reconnaissance Drought Index, RDI)

Ο δείκτης ξηρασίας RDI έχει απαίτηση σε δεδομένα βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και εμφανίζεται με δύο εκφράσεις, την κανονικοποιημένη ( $RDI_{normalized}$ ) και την τυποποιημένη ( $RDI_{standardized}$ ). Στη συγκεκριμένη εργασία για την εκτίμηση της ξηρασίας χρησιμοποιήθηκε η standardized μορφή του δείκτη ( $RDI_{st}$ ):

$$RDI_{st}(k) = \frac{y_k - \bar{y}_k}{\hat{\sigma}_k} \quad (2.20)$$

Όπου,  $y_k$  είναι ο νεπέρειος λογάριθμος ( $\ln$ ) του  $a_k$  (ο υπολογισμός του οποίου δίνεται από την εξίσωση (7)),  $\bar{y}_k$  είναι ο αριθμητικός μέσος όρος των  $a_k$  και  $\hat{\sigma}_k$  είναι η τυπική τους απόκλιση.

Το  $a_k$  είναι η αρχική τιμή του δείκτη για μια συγκεκριμένη περίοδο (συγκεκριμένο μήνα ή διάρκεια μηνών κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους). Το υδρολογικό έτος για τις περιοχές στη Μεσόγειο αρχίζει από τον Οκτώβριο, οπότε το  $a_k$  για τον Οκτώβριο ισούται με 1 (Tsakiris and Vangelis, 2005). Η σχέση που υπολογίζει το  $a_k$  είναι η εξής:

$$a_k = \frac{\sum_{j=1}^{j=k} P_j}{\sum_{j=1}^{j=k} PET_j} \quad (2.21)$$

Όπου,  $P_j$  και  $PET_j$  είναι η βροχόπτωση και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή αντίστοιχα για κάθε μήνα  $j$  του υδρολογικού έτους.

Ο δείκτης ξηρασίας RDI μπορεί να υπολογιστεί για κάθε διαφορετική διάρκεια του υδρολογικού έτους (π.χ. 3, 6, 9 μηνών). Επίσης, το  $a_k$  των δώδεκα μηνών ( $a_{12}$ ) μπορεί να συγκριθεί με τα αποτελέσματα του δείκτη ξηρότητας  $AI$  (Aridity Index). Έρευνες έδειξαν ότι αν το  $a_{12}$ , για ένα συγκεκριμένο έτος και μια συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, είναι μικρότερο από τον  $AI$  τότε η περιοχή βρίσκεται κάτω από συνθήκες ξηρασίας για το έτος αυτό (Tsakiris and Vangelis, 2005). Ο δείκτης RDI κυμαίνεται μεταξύ -2 και +2 και διακρίνει τις κατηγορίες της ξηρασίας σύμφωνα με τον Πίνακα 2.5.



**Πίνακας 2.5.** Κατηγοριοποίηση ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη RDI.

Κατηγορίες ξηρασίας	Τιμές RDI
Ακραία υγρασία Extremely Wet	>2.00
Πολύ υγρασία Very Wet	1.50 to 1.99
Μέτρια υγρασία Moderately Wet	1.00 to 1.49
Κανονικές συνθήκες Near Normal	-0.99 to 0.99
Μέτρια ξηρασία Moderately Dry	-1.00 to -1.49
Έντονη ξηρασία Severely Dry	-1.50 to -1.99
Ακραία ξηρασία Extremely Dry	<-2.00

#### 2.2.2.2. Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

Ο NOAA/AVHRR εκ του οποίου προκύπτει ο δείκτης NDVI χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό στην παρακολούθηση της βλάστησης, στην απόδοση την αποτίμηση και παρακολούθηση καλλιεργειών (Dalezios, 2001), στην παρακολούθηση ξηρασίας και τέλος στη χαρτογράφηση περιοχών (Tucker and Choudhury 1987; Benedetti and Rossini 1993; Kogan 1994; Kogan 1995a; Kogan 1995b; Laporte *et al.* 1995; Hayes *et al.* 1996; Kogan 1997; Dalezios *et al.*, 2001).

Ο NDVI χρησιμοποιείται με επιτυχία για τον υπολογισμό της ξηρασίας παγκοσμίως και θα πρέπει να θεωρείται σαν μέτρο για την ένδειξη βλάστησης (Sellers 1985; Ohring *et al.* 1989; Maiden *et al.* 1994; Kidwell 1994; Los *et al.* 1994; Gutman *et al.* 1995). Ο NDVI υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$NDVI = \frac{CH_2 - CH_1}{CH_2 + CH_1} \quad (2.22)$$



όπου, CH<sub>1</sub> and CH<sub>2</sub> είναι οι τιμές ανακλαστικότητας στα δύο πρώτα κανάλια (ορατό και κοντινό υπέρυθρο, αντίστοιχα) του NOAA/AVHRR.

Ο NDVI προτιμάται για ολική φυτική παρακολούθηση διότι αντισταθμίζει μερικά τις αλλαγές των συνθηκών φωτισμού, την κλίση του εδάφους και τον προσανατολισμό θέσης. Οι τιμές του NDVI κυμαίνονται θεωρητικά από -1 έως +1, όπως εξάγεται από τη μαθηματική εξίσωση που προαναφέρθηκε. Τιμές άνω του μηδενός υποδηλώνουν την ύπαρξη πράσινης βλάστησης (χλωροφύλλης) ή γυμνού εδάφους (τιμές γύρω στο μηδέν), ενώ κάτω του μηδενός δηλώνουν την ύπαρξη νερού, χιονιού, πάγου και νεφών (Πίνακας 2.6).

Η σπουδαιότητα του NDVI ενάγεται στο γεγονός ότι είναι ενδεικτικός του βαθμού της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας της υπό παρακολούθηση βλάστησης. Μετά από αντίξοες συνθήκες, αναμένεται σημαντική μείωση του NDVI στο πεδίο και οι τιμές αποκρίνονται στην έλλειψη στοιχείων χλωροφύλλης και άρα σε μειωμένη κατά πολύ φωτοσυνθετική δραστηριότητα. Προηγούμενες μελέτες έδειξαν ότι ο NDVI συσχετίζεται καλά με αθροιστική βροχόπτωση 2-3 μηνών, γεγονός ιδιαίτερα ενδιαφέρον σε υδρολογικές εφαρμογές.

**Πίνακας 2.6.** Ενδεικτικές τιμές του δείκτη NDVI σε διάφορες μορφές κάλυψης εδάφους.

<b>ΤΥΠΟΣ ΕΛΑΦΟΚΑΛΥΨΗΣ</b>	<b>NDVI (σε κλίμακα -1 έως 1)</b>	<b>NDVI (σε κλίμακα 0-255)</b>
Πυκνή βλάστηση	$0.500 \leq \text{NDVI} \leq 1$	$210 \leq \text{NDVI} \leq 255$
Μέτρια πράσινη βλάστηση	$0.140 \leq \text{NDVI} < 0.500$	$118 \leq \text{NDVI} < 210$
Αραιή βλάστηση	$0.090 \leq \text{NDVI} < 0.140$	$105 \leq \text{NDVI} < 118$
Γυμνό έδαφος (οργωμένο ή βραχώδες)	$0.025 \leq \text{NDVI} < 0.090$	$88 \leq \text{NDVI} < 105$
Νέφη	$0.002 \leq \text{NDVI} < 0.025$	$83 \leq \text{NDVI} < 88$
Χιόνι και πάγος	$-0.046 \leq \text{NDVI} < 0.002$	$70 \leq \text{NDVI} < 83$
Νερό	$-1 \leq \text{NDVI} < -0.046$	$0 \leq \text{NDVI} < 70$

### 2.2.2.3. Δείκτης Κατάστασης Βλάστησης (Vegetation Condition Index, VCI)

Ο NDVI αποτυγχάνει να εκτιμήσει τη βλάστηση με ακρίβεια, όταν ο δείκτης LAI (Leaf Area Index, δείκτης φυλλικής επιφάνειας) που είναι μέτρο του ποσοστού

της κάλυψης του εδάφους με φύλλωμα, έχει ιδιαίτερα χαμηλές τιμές. Έτσι όταν η φυτική βλάστηση καλύπτει κάτω από το 20% του εδάφους, η τιμή του NDVI αντικατοπτρίζει τιμές γυμνού εδάφους και άλλων εδαφικών σχηματισμών στην επιφάνεια.

Για αυτόν τον λόγο δημιουργήθηκε η ανάγκη για ένα νέο δείκτη ο οποίος θα μπορεί να ξεπεράσει αυτό το πρόβλημα βαθμονομώντας την απόκριση του NDVI μιας εικόνας, σε όλο το εύρος των τιμών αποκρίσεων. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση του δείκτη VCI. Δηλαδή είναι μια παραλλαγή του NDVI που χρησιμοποιείται σε περιοχές που ο NDVI αδυνατεί να δώσει ρεαλιστικές τιμές, και ονομάζεται δείκτης κατάστασης βλάστησης (Vegetation Condition Index, VCI). Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$VCI = 100 * \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (2.23)$$

όπου, NDVI,  $NDVI_{\max}$ ,  $NDVI_{\min}$  είναι οι ομαλοποιημένες τιμές του NDVI για μια συγκεκριμένη περιοχή.

Οι τιμές του VCI κυμαίνονται από μηδέν (για ακραίες δυσμενείς καταστάσεις) έως εκατό (για ιδανικές συνθήκες). Ο VCI διαχωρίζει στα δεδομένα του NDVI, το βραχυπρόθεσμο καιρικό σήμα από το μακροπρόθεσμο οικολογικό σήμα (Kogan and Sullivan, 1993, Kogan, 1997).

Ο Kogan διευκρίνισε ότι οι τιμές του VCI έχουν αντιστοιχία με εδαφικές, βροχομετρικές παρατηρήσεις και ανωμαλίες στην απόδοση των καλλιεργειών, ορίζοντας έτσι την ξηρασία ως τις τιμές του VCI που είναι μικρότερες από 36% για πολυετή βλάστηση σε περιοχές που συνορεύουν με την Αμερική. Αποδείχτηκε ότι ο δείκτης μπορεί να εντοπίζει την αρχή, την ένταση και την διάρκεια της ξηρασίας και γενικότερα, των αντίξων για τη βλάστηση συνθηκών. Αυτό ήταν φανερό για την χρόνια 1988 όπου σημειώθηκε μια καλώς ορισμένη παρατεταμένη και εκτεταμένη ξηρασία, καθώς και για τις χρονιές 1987 και 1989 όπου σημειώθηκαν μικρής διάρκειας και τοπικού χαρακτήρα περίοδοι ξηρασίας, οδηγώντας στην ανάπτυξη αντίξων συνθηκών για τις καλλιέργειες, όπως έλλειμμα νερού (Tsiros *et al.*, 2004).

#### 2.2.2.4. Δείκτης Κατάστασης Θερμοκρασίας (Temperature Condition Index, TCI)

Ο TCI προτάθηκε από τον Kogan (1995, 1997) και υπολογίστηκε παρόμοια με τον VCI. Η διατύπωση του δείκτη μεταβάλλεται ώστε να αντικατοπτρίζει την επίδραση της βλάστησης σε σχέση με την θερμοκρασία (όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία τόσο μεγαλύτερη είναι και η ξηρασία). Ο TCI βασίζεται στην θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους και παρουσιάζει την απόκλιση από τη μέγιστη τιμή θερμοκρασίας ορισμένης χρονικής περιόδου (μηνιαία, εβδομαδιαία κτλ.) (Thenkabail *et al.*, 2004). Η εξίσωση που περιγράφει το δείκτη είναι:

$$TCI = 100 * \frac{LST_{max} - LST}{LST_{max} - LST_{min}} \quad (2.24)$$

όπου  $LST$ ,  $LST_{max}$ ,  $LST_{min}$  είναι αντίστοιχα η εκάστοτε τιμή της θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της για όλη την σειρά δεδομένων, για κάθε εικονοστοιχείο (pixel). Οι χαμηλές τιμές του TCI (κοντά στο 0%) φανερώνουν υψηλές θερμοκρασίες. Όταν ο TCI είναι ίσος με το μηδέν, η θερμοκρασία για αυτό το μήνα είναι ίση με τη μεγαλύτερη τιμή της θερμοκρασίας για το εικονοστοιχείο (pixel), μακροπρόθεσμα.

#### 2.2.2.5. Δείκτης Υγιούς Βλάστησης (Vegetation health index, VHI)

Ο Kogan ανέπτυξε έναν άλλο δείκτη για την εκτίμηση της ξηρασίας, τον VHI (Vegetation Health Index) ο οποίος είναι αντιπροσωπευτικός της ύπαρξης υγιούς βλάστησης σε μια περιοχή και χρησιμοποιείται παγκοσμίως για την παρακολούθηση και χαρτογράφηση της υδρολογικής ξηρασίας των αγροτικών λεκανών απορροής .

Ο VHI είναι συνδυασμός των δύο προαναφερθέντων δεικτών, του VCI και του TCI, για την παρακολούθηση της βλάστησης, της υγρασίας και των θερμικών καταστάσεων, ώστε να προσδιοριστούν οι περιοχές οι οποίες έχουν πληγεί από το φαινόμενο της ξηρασίας (Bayarjargal *et al.*, 2006). Δηλαδή είναι ο συνδυαστικός κρίκος των δεδομένων θερμοκρασίας (TCI) και των δεδομένων κατάστασης βλάστησης (VCI) και για αυτόν τον λόγο δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, παρουσιάζοντας μια σφαιρική εικόνα της επικρατούσας κατάστασης. Για να υπολογιστεί ο δείκτης χρησιμοποιείται η εξίσωση:

$$VHI = 0.5(VCI) + 0.5(TCI) \quad (2.25)$$

Όπως φαίνεται στην εξίσωση, κατά τον υπολογισμό του VHI επιλέγεται τυχαία ίσο ειδικό βάρος (E.B.=0,5) για τον TCI και τον VCI, αφού η συνεισφορά της υγρασίας και της θερμοκρασίας κατά των κύκλο ανάπτυξης της βλάστησης δεν είναι γνωστή. Στον Πίνακα 2.7 παρουσιάζονται οι κατηγορίες ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη VHI.

**Πίνακας 2.7.** Κατηγορίες ξηρασίας βάση των τιμών του VHI (Kogan, 2001)

Τιμές VHI	Κατηγορίες Γεωργικής Ξηρασίας
<10	Ακραία ξηρασία
<20	Δριμεία ξηρασία
<30	Μέτρια ξηρασία
<40	Ήπια ξηρασία
>40	Καθόλου ξηρασία

### 2.3 Συμβατικές μέθοδοι σε σύγκριση με την τηλεπισκόπηση

Ο υπολογισμός της ξηρασίας μπορεί να γίνει με δύο τρόπους είτε αξιοποιώντας τα συμβατικά δεδομένα είτε με τη χρήση της τηλεπισκόπησης.

Ο όρος συμβατικές μέθοδοι αντιστοιχεί στις μεθόδους εκείνες που αντλούν δεδομένα από κάποιον μετεωρολογικό σταθμό. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που καταγράφονται μεταξύ άλλων είναι η βροχόπτωση, η θερμοκρασία του αέρα, η ταχύτητα του ανέμου καθώς και η νεφοκάλυψη. Η καταγραφή αυτών των παραμέτρων γίνεται είτε με διάφορα όργανα (βροχόμετρα, θερμόμετρα, ανεμόμετρα) στην περίπτωση μέτρησης της βροχόπτωσης, της θερμοκρασίας του αέρα και της ταχύτητας του ανέμου αντίστοιχα, είτε χρησιμοποιώντας τις ανθρώπινες αισθήσεις όπως στην περίπτωση της νεφοκάλυψης. Σύμφωνα με τα παραπάνω μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητό ότι σε αυτές τις μετρήσεις υπεισέρχεται η έννοια του σφάλματος.

Με τον όρο σφάλμα εννοούμε τη μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους όπου παρεμβαίνουν διάφοροι παράγοντες, οι οποίοι μεταβάλουν την επαναληψιμότητα των μετρήσεων. Στην πραγματικότητα η τιμή της μέτρησης είναι κάποια τιμή  $\chi$  που προσεγγίζει την αληθινή  $X$  τιμή και δίνεται από τον τύπο  $\chi-X$  χωρίς να συμπίπτει απαραίτητα με αυτήν (Μιχολίτσης, 2002).

Αντίθετα στην περίπτωση εκτίμησης της ξηρασίας με μεθόδους τηλεπισκόπησης γίνεται επεξεργασία δορυφορικών εικόνων, κατά συνέπεια ο ερευνητής δεν έρχεται σε άμεση επαφή με το αντικείμενο-στόχο. Σε ένα μεγάλο μέρος της τηλεπισκόπησης, η διαδικασία περιλαμβάνει μια αλληλεπίδραση μεταξύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και των στόχων ενδιαφέροντος. Νέφη, βροχόπτωση, θερμοκρασίες επιφάνειας, κατατομή (profile) θερμοκρασίας και υγρασίας, ηλιακή και καθαρή πυκνότητα ροής ακτινοβολίας καθώς και θεμελιώδεις διαδικασίες της φωτοσύνθεσης μπορούν να επηρεάσουν την ανακλώμενη και εκπεμπόμενη ακτινοβολία που ανιχνεύονται από τους δορυφόρους. Η πρόκληση της έρευνας είναι η δημιουργία μοντέλων που να μπορούν να αντιστραφούν για να εξάγουν πληροφορίες από τα τηλεπισκοπικά δεδομένα (Δαλέζιος, 2004). Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναλυθεί λεπτομερώς το εύρος των δυνατοτήτων καθώς και τα λειτουργικά μέσα της τηλεπισκόπησης.

Σε πολλές εφαρμογές η τηλεπισκόπηση παρέχει πληροφορίες για θεωρητικές και εφαρμοσμένες έρευνες σε χωρικές κλίμακες που δεν είναι διαθέσιμες από τεχνικές συμβατικών σημειακών μετρήσεων. Τα επίγεια δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών έναντι των δορυφορικών διαφέρουν μεταξύ τους σε δυο βασικά σημεία:

- ❖ Στην διαφορά του ύψους θερμοκρασίας που μετράνε. Τα επίγεια δεδομένα, αναφέρονται σε θερμοκρασίες αέρα, δηλαδή θερμοκρασίες σε ύψος 1,5 m από την επιφάνεια του εδάφους. Αντίθετα, τα δορυφορικά δεδομένα αποδίδουν την επιφανειακή θερμοκρασία της περιοχής, μετρώντας την εκπεμπόμενη γήινη ακτινοβολία.

- ❖ Στην διαφορά του εδαφικού εύρους που αντιστοιχεί η τιμή της παραμέτρου δηλαδή στην χωρική πληροφορία. Τα επίγεια δεδομένα προέρχονται από σημειακές πηγές (μετεωρολογικούς σταθμούς), ενώ οι δορυφορικές τιμές αντιστοιχούν σε επιφάνεια τουλάχιστον 1 km<sup>2</sup>.

Επομένως, η χρήση της τηλεπισκόπησης προσφέρει νέες δυνατότητες, ξεπερνώντας τους περιορισμούς των σημειακών μετρήσεων και δίνεται έτσι η δυνατότητα να εξεταστούν προβλήματα σε μεγαλύτερη κλίμακα, κάτι που πριν δεν ήταν δυνατόν. Χρειάζεται όμως περισσότερη έρευνα κατά την οποία θα αναπτυχθούν και θα δοκιμαστούν κατάλληλες βιοφυσικές θεωρίες, συσχετίζοντας τα δορυφορικά δεδομένα με τις επίγειες μετρήσεις. Αυτό είναι απαραίτητο για να γίνει αξιόπιστη



εκτίμηση των αγροτικών, μετεωρολογικών, υδρολογικών κλπ παραμέτρων από δορυφορικά δεδομένα.

## **2.4 Περιοχή μελέτης**

Η περιοχή μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας είναι το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Στις παραγράφους που ακολουθούν παρουσιάζονται τα γενικότερα χαρακτηριστικά της περιοχής και ευρύτερα του Ελλαδικού χώρου.

### **2.4.1. Το κλίμα της Ελλάδας**

Το κλίμα της Ελλάδας είναι γενικά ήπιο. Ανήκει στο μεσογειακό τύπο, το οποίο κατά το χειμώνα εμφανίζει τα χαρακτηριστικά του κλίματος των εύκρατων ζωνών, ενώ το καλοκαίρι τα χαρακτηριστικά των υποτροπικών ζωνών των υψηλών πιέσεων. Αναλυτικά, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κλίματος αυτού είναι:

- Μέτρια βροχόπτωση (κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα ως επί το πλείστον) με μέσο ετήσιο ύψος βροχής τα 700 mm.

- Ήπιοι χειμώνες.
- Ζεστό και ξηρό καλοκαίρι
- Μεγάλη ηλιοφάνεια, ιδιαίτερα κατά τη θερμή περίοδο του έτους.
- Εποχές άνοιξης και φθινοπώρου με μικρή διάρκεια.

Ακόμα, παρουσιάζεται μεγάλη ποικιλία κλίματος, τόσο από περιοχή σε περιοχή, όσο και από εποχή σε εποχή, ώστε καμία ταξινόμηση και καμία συνοπτική κλιματική παρουσίαση να μην είναι ικανή να περιγράψει, με ικανοποιητικό τρόπο, το κλιματικό αυτό «μωσαϊκό». Αυτό οφείλεται στη συνδυασμένη δράση φυσικογεωγραφικών και δυναμικών παραγόντων.

Οι σπουδαιότεροι φυσικογεωγραφικοί παράγοντες που επηρεάζουν το κλίμα είναι:

- Η πολυμορφία του ανάγλυφου
- Οι μεγάλες οροσειρές που διασχίζουν τη χώρα κατά διάφορες κατευθύνσεις
- Τα μεμονωμένα κωνοειδή όρη
- Οι κόλποι που εισχωρούν βαθειά μέσα στην ξηρά
- Τα πολυάριθμα νησιά
- Η προβολή της χώρας στη Μεσόγειο με τη μορφή της χερσονήσου
- Ο κορμός της Βαλκανικής χερσονήσου

- Οι γειτονικές δυτικές περιοχές της ασιατικής ηπείρου
- Οι εκτεταμένες ερημικές βόρειες περιοχές της Αφρικής

Ενώ οι κυριότεροι δυναμικοί παράγοντες είναι:

- Ο μόνιμος αντικυκλώνας των Αζορών
- Ο Σιβηρικός αντικυκλώνας
- Οι αντικυκλώνες της Ευρώπης
- Οι υφέσεις που σχηματίζονται στο βόρειο Ατλαντικό
- Οι τοπικές υφέσεις της Μεσογείου
- Τα βαρομετρικά χαμηλά στην περιοχή Κύπρου και Ινδιών
- Τα ασθενή κέντρα δράσης της βόρειας Αφρικής

Οι ανεμολογικές συνθήκες χαρακτηρίζονται από μεγάλη ποικιλία από περιοχή σε περιοχή και από εποχή σε εποχή. Στα νησιά πνέουν διαρκώς άνεμοι, από τους οποίους οι κυριότεροι είναι οι βόρειοι, ενώ κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού παρατηρούνται τα μελέμια. Όσο όμως προχωράμε προς την ενδοχώρα αυξάνεται το ποσοστό της άπνοιας (κυρίως στην Θεσσαλία και την Ήπειρο).

Η ηλιοφάνεια, είναι από τα πιο χαρακτηριστικά γνωρίσματα του ελλαδικού κλίματος. Οι ετήσιες μέσες τιμές της ηλιοφάνειας κυμαίνονται στην Ελλάδα μεταξύ της ελάχιστης τιμής 2.300 ώρες στα Γιάννενα και της μέγιστης 3.100 ώρες στη Ζάκυνθο. Η μέγιστη μηνιαία τιμή παρουσιάζεται τον Ιούλιο και είναι 375 ώρες και η μικρότερη τον Ιανουάριο και είναι 114 ώρες. Από γεωγραφική άποψη τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια παρουσιάζει η Πελοπόννησος, τα νησιά του Ιονίου και η Μυτιλήνη.

Οι βροχοπτώσεις είναι γενικά περιορισμένες, εκδηλώνονται κυρίως στη διάρκεια του χειμώνα, με χαρακτηριστικά την περιορισμένη συχνότητα και τη σχετικά μεγάλη ένταση που δυστυχώς συντελεί στην απόπλυση των εδαφών. Οι βροχοπτώσεις είναι σημαντικά περισσότερες στη Δυτική Ελλάδα και την Ήπειρο, γεγονός που οφείλεται κυρίως στην οροσειρά της Πίνδου, σε σχέση με την άνυδρη ανατολική Ελλάδα και τα νησιά. Η μέση ετήσια υγρασία κυμαίνεται σε μέτρια επίπεδα.

Από κλιματολογικής πλευράς το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές: Την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο που διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου



και μέχρι το τέλος Μαρτίου και τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο.

#### 2.4.2. Γενικά χαρακτηριστικά της Θεσσαλίας

Η Θεσσαλία βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της Ελλάδας και ορίζεται από χαρακτηριστικά φυσικά όρια. Συγκεκριμένα από την ανατολική πλευρά ορίζεται από το Αιγαίο Πέλαγος, τον Όλυμπο και συνορεύει με τον νομό Πιερίας. Προς Βορρά ορίζεται από τον Όλυμπο, Χάσια και συνορεύει με τους νομούς Κοζάνης και Γρεβενών. Προς δυσμάς ορίζεται από την οροσειρά της Πίνδου και συνορεύει με τους νομούς Ιωαννίνων, Άρτας και Ευρυτανίας. Προς Νότο ορίζεται από τα βουνά του Δομοκού, του Παγασητικού κόλπου και συνορεύει με τον νομό Φθιώτιδας.

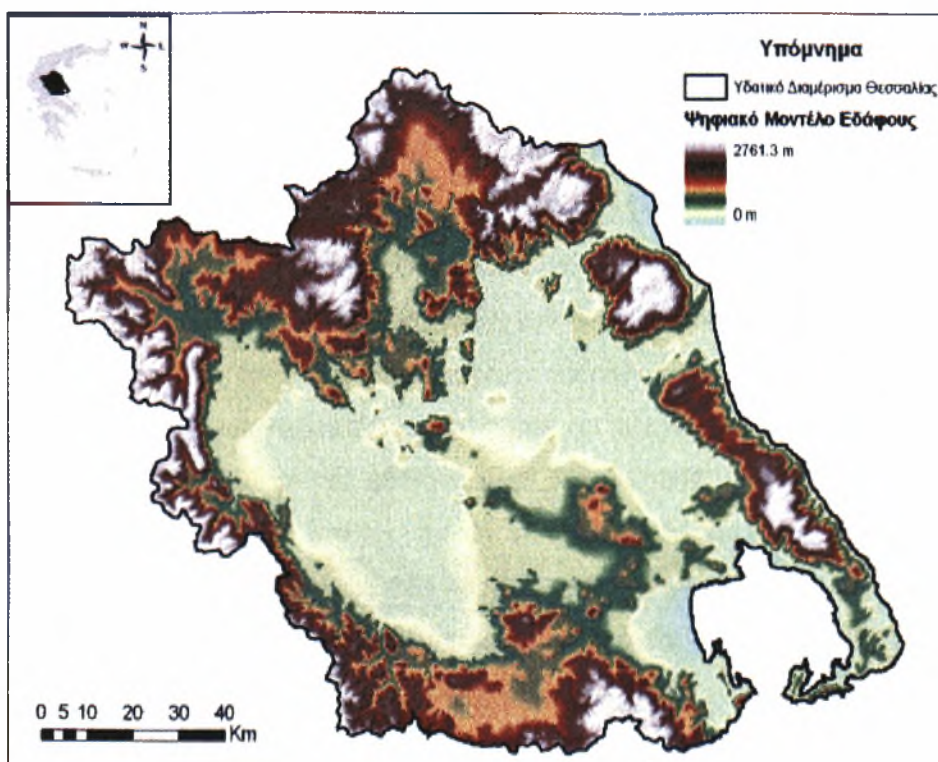
Χωρίζεται σε τέσσερις νομούς: Καρδίτσας με πρωτεύουσα την Καρδίτσα, Τρικάλων με πρωτεύουσα τα Τρίκαλα, Λαρίσης με πρωτεύουσα τη Λάρισα και Μαγνησίας με πρωτεύουσα το Βόλο (Εικόνα 2.3). Καταλαμβάνει έκταση περίπου 13.903,37 km<sup>2</sup> και διαθέτει πεδινές, ορεινές και παραλιακές εκτάσεις (Τζαμπύρας, 2005).



Εικόνα 2.3. Γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας ([www.lib.uth.gr](http://www.lib.uth.gr)).

Η ορεινή Θεσσαλία έχει έκταση 9550 Km<sup>2</sup>, με ποσοστό επί του συνόλου 33,5%. Το μέσο υψόμετρο του διαμερίσματος είναι 285 m (Πέππας, 2001) (Εικόνα 2.4). Το 36,0% του εδάφους είναι πεδινό, το 17,1% ημιορεινό, ενώ το 44,9% είναι ορεινό. Η

εδαφική της διαμόρφωση είναι τέτοια ώστε ψηλά βουνά περιβάλλουν το Θεσσαλικό κάμπο, ο οποίος αποτελεί τη μεγαλύτερη πεδιάδα της χώρας. Η Θεσσαλική πεδιάδα διαρρέεται δυτικά προς τα ανατολικά από τον ποταμό Πηνειό που είναι το τρίτο μεγαλύτερο ποτάμι της χώρας. Τα βουνά που περιβάλλουν την περιοχή είναι ο Όλυμπος, το νότιο τμήμα της οροσειράς της Πίνδου, ο Ίταμος, το Πήλιο και η Όθρυς. Ιδιαίτερης σημασίας είναι η τεχνητή λίμνη του Ταυρωπού, η οποία δημιουργήθηκε ύστερα από απόφραξη της κοίτης του Ταυρωπού, παραπόταμου του Αχελώου. Η Περιφέρεια Θεσσαλίας έχει αξιόλογο ορυκτό πλούτο όπως χρωμίτη, θειούχα μεταλλεύματα, αμιάντο, ιλμενίτη και τελευταία, ανακαλυφθέντα κοιτάσματα λιγνίτη.



Εικόνα 2.4. Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM) του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.

#### 2.4.2.1 Κλιματολογικά –Μετεωρολογικά χαρακτηριστικά

Η περιοχή της Θεσσαλίας διαιρείται σε τρεις κλιματικές περιοχές:

- Την ανατολική παράκτια και ορεινή με μεσογειακό κλίμα.
- Την κεντρική πεδινή, με ηπειρωτικό κλίμα.
- Την δυτική ορεινή, με ορεινό κλίμα.

Η θερμοκρασία στην υπό μελέτη περιοχή με χρονική κλίμακα το 1 έτος δεν

ξεπερνά τους 17°C κατά μέσο όρο. Όσον αφορά την τιμή του ετήσιου θερμομετρικού εύρους είναι άνω των 22°C. Το φαινόμενο του παγετού είναι αρκετά σύνηθες και η χρονική περίοδος που γίνεται η εμφάνιση του είναι μεταξύ των μηνών Νοεμβρίου-Απριλίου. Εξετάζοντας τις ημέρες παγετού για την περιοχή της Λάρισας και των Τρικάλων σε μέση ετήσια βάση είναι 35.5 και 33.8 αντίστοιχα. Σαν πιο θερμοί μήνες θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ο Ιούλιος και ο Αύγουστος ενώ πιο ψυχροί ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος.

Το ύψος των βροχοπτώσεων έχει διάφορες διακυμάνσεις πάνω από την υπό μελέτη περιοχή. Στα δυτικά είναι υψηλό, στο πεδινό τμήμα μειώνεται ενώ στο ορεινό αυξάνεται πάλι. Ενδεικτικά αναφέρονται κάποιες τιμές βροχόπτωσης στον Πίνακα 2.8. Η πιο βροχερή περίοδος είναι μεταξύ των μηνών Οκτωβρίου - Ιανουαρίου ενώ οι λιγότερες βροχοπτώσεις σημειώνονται τους καλοκαιρινούς μήνες Ιούνιο και Ιούλιο.

Οι χιονοπτώσεις είναι αρκετά συνηθισμένες λόγω του ανάγλυφου της περιοχής. Το ύψος χιονοπτώσεις είναι μεγαλύτερο στα ορεινά, όπως είναι αναμενόμενο, και πιο έντονες προς τα Βόρεια και τα Ανατολικά του διαμερίσματος. Οι μήνες με τις πιο συχνές χιονοπτώσεις είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος ενώ στο ορεινό τμήμα ξεκινούν από τον Σεπτέμβριο έως τον Ιούλιο.

**Πίνακας 2.8.** Ενδεικτικό ύψος βροχόπτωσης για τρεις μετεωρολογικούς σταθμούς της Θεσσαλίας.

Μετεωρολογικός σταθμός	Ύψος βροχόπτωσης (mm)
Λάρισα	468
Τύρναβος	550
Μουζάκι	1142

Χαλαζόπτωση εμφανίζεται τους μήνες Μάιο και Ιούνιο στο Βόρειο τμήμα ενώ στο νοτιοανατολικό το διάστημα μεταξύ Φεβρουαρίου και Απριλίου.

Η νέφωση σε μέση ετήσια βάση κυμαίνεται από 4 έως 5 βαθμίδες, οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στα Δυτικά ενώ χαμηλότερες στα ανατολικά.

Η μέση ετήσια σχετική υγρασία κυμαίνεται από 67%-72%. Οι άνεμοι που πνέουν στη περιοχή δεν χαρακτηρίζονται ως επιζήμιοι για την παραγωγή, αλλά ούτε τόσο ισχυροί που να εμποδίζουν την χρησιμοποίηση της άρδευσης με την μέθοδο του κατιονισμού.

Στο νότιο τμήμα της περιοχής εμφανίζεται ξηρή περίοδος 4 έως 5 μηνών στα ανατολικά, η οποία όμως μειώνεται βαθμιαία σε 2 έως 4 μήνες στα κεντρικά-δυτικά πεδινά και 1 έως 2 μήνες στα δυτικά ορεινά.

#### 2.4.2.2 Υδρολογικά στοιχεία

Με βάση τον Νόμο 1739/87 η Θεσσαλία αποτελεί το 8<sup>ο</sup> υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας (Εικόνα 2.5) το οποίο αποτελείται από τις κύριες υδρολογικές λεκάνες του Πηνειού και της Κάρλας καθώς και τις δευτερεύουσες λεκάνες. Από υδρογεωλογικής πλευράς, στο υδατικό διαμέρισμα αναπτύσσονται προσχωματικοί υδροφορείς (στη δυτική και ανατολική λεκάνη) και καρστικές γεωλογικές ενότητες.



**Εικόνα 2.5.** Υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας.

Οι κύριοι υδάτινοι πόροι της Θεσσαλίας είναι ο Πηνειός ποταμός (Γκούμας, 1996), τα νερά του Ταυρωπού, οι νέοι Ταμιευτήρες Σμοκόβου (Καρδίτσα), Παναγιώτικο (Μαγνησία), πλήθος άλλων ταμιευτήρων (Πίνακας 2.9) και οι υπόγειοι υδροφορείς της. Οι ανάγκες σε νερό για όλες τις χρήσεις, δεν καλύπτονται από τους



διαθέσιμους υδατικούς πόρους και το υδάτινο ισοζύγιο είναι ελλειμματικό. Οι συχνές συνθήκες ανομβρίας και η έλλειψη νερού, έχουν σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον, στον Πηνειό και στους υπόγειους υδροφορείς της περιοχής.

Στο μεγαλύτερο μέρος της Θεσσαλίας η υετόπτωση ανέρχεται σε ετήσια βάση σε 500-750 mm, ενώ στην κεντρική Θεσσαλία στην περιοχή γύρω από την Λάρισα και στην λεκάνη της Κάρλας η μέση ετήσια υετόπτωση κυμαίνεται μεταξύ 250mm και 500mm, γεγονός που επιδρά καθοριστικά στο μεγάλο έλλειμμα νερού το οποίο επιδεινώνεται κατά την αρδευτική περίοδο.

**Πίνακας 2.9.** Υδάτινοι πόροι υδατικού διαμερίσματος Θεσσαλίας.

Φράγμα/ Ταμιευτήρας	Δυνατότητα μέσης απόληψης	Για τροφοδοσία κώνου	Απώλειες	Απόληψη για να μη διαταραχθούν τα υπόγεια νερά
Ταυρωπού	76			76
Σμόκοβο	144	20	10	114
Γυρτώνη	55			55
Κάρλα	125			125
Μουζάκι-Πύλη	228	84	22	122
Καλούδα	62	30	2	30
Παλιοδερλί	63	15	5	43
Νεοχώρι	24	4	1	19
Παλαιομονάστηρο	30	14	1	15
Φράγματα Πηνειού	24			24
Σύνολο	831	167	41	623

Οι απολήψιμες ποσότητες επιφανειακών νερών που δεν θα διαταράξουν τα υπόγεια νερά κατάντη των ταμιευτήρων, εμφανίζονται στον πίνακα 2.9. μετά την αφαίρεση των ποσοτήτων για τροφοδοσία και τις απώλειες των ταμιευτήρων, προκύπτουν οι πραγματικά απολήψιμες ποσότητες επιφανειακού νερού, οι οποίες ανέρχονται σε  $623 \times 10^6 \text{ m}^3$  ετησίως.

Εκτιμάται ότι για την ανεπαρκή άρδευση των εκτάσεων της Θεσσαλικής πεδιάδας σήμερα, χρησιμοποιούνται περίπου  $750 \times 10^6 \text{ m}^3$  ( $200-250 \times 10^6 \text{ m}^3$  επιφανειακά νερά και  $500-550 \times 10^6 \text{ m}^3$  υπόγεια νερά).

Σύμφωνα με τη Μ.Π.Ε του Αχελώου και άλλες πρόσφατες μελέτες, οι ανάγκες σε νερό για όλες τις χρήσεις είναι τουλάχιστον  $1.836 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Οι μελλοντικές ανάγκες της Θεσσαλίας σε νερό για τις διάφορες χρήσεις, εκτιμάται ότι δεν θα μειωθούν. Οι αρδεύσεις στην θεσσαλική πεδιάδα θα συνεχισθούν και στο μέλλον, ανεξάρτητα από τις όποιες πολιτικές επιδοτήσεων ή αναδιαρθρώσεων επιβάλλει η Ε.Ε. (με την νέα Κ.Α.Π.). Η πρόβλεψη είναι ότι η καλλιέργεια του βάμβακος παραμένει ως επικρατέστερη καλλιέργεια στην Θεσσαλία. Αλλά ακόμη και αν αντικατασταθεί σε ένα βαθμό (είναι πιθανό στο πλαίσιο της νέας ΚΑΠ) με άλλες, δεν θα είναι εφικτή η εξοικονόμηση σημαντικής ποσότητας νερού, αφού ορισμένες από τις καλλιέργειες αυτές, είναι εξίσου αν όχι περισσότερο υδροβόρες (καλαμπόκι, μηδική).

#### **2.4.2.3. Αναπτυξιακή πορεία**

Το Γεωγραφικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας, όπως έχει ήδη προαναφερθεί, υπάρχει η μεγαλύτερη πεδινή έκταση της χώρας, που όμως παρουσιάζει ανεπάρκεια στους υδατικούς της πόρους. Σε αυτό βρίσκεται το ιστορικό βιομηχανικό κέντρο του Βόλου, με ειδίκευση στη μεταλλουργική βιομηχανία και η βιομηχανική περιοχή Βόλου, από τις μεγαλύτερες και παλαιότερες στη χώρα. Οι περιοχές αυτές αποτελούν ένα σημαντικό αστικό δίπολο που προσφέρει ανώτερου βαθμού υπηρεσίες και διεθνούς επιπέδου τεχνική υποδομή (οδικός και σιδηροδρομικός άξονας, λιμάνι). Εκτός των παραπάνω, η περιοχή διαθέτει σημαντικά ιστορικά μνημεία όλων των εποχών, σημαντικά τοπία και αξιόλογες ακτές.

Από πλευράς ρύπανσης και αλλοιώσεων των στοιχείων της φυσικής και πολιτιστικής κληρονομιάς, το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η ρύπανση του Πηνειού και του Παγασητικού Κόλπου, ενώ αισθητικά οι οικολογικές αλλοιώσεις στα τουριστικώς ανεπτυγμένα σημεία της περιοχής δεν έχουν καταστεί ακόμη κρίσιμες. Κρίσιμο ήταν πάντα και γίνεται όλο και πιο επιτακτικό το πρόβλημα έλλειψης νερού στο υδατικό διαμέρισμα. Πέρα από τα δύο μεγάλα αστικά κέντρα της Λάρισας και του Βόλου, που αποτελούν μία σημαντική αγορά 300.000 κατοίκων σημαντικής εισοδηματικής στάθμης, η Θεσσαλία διαθέτει και μικρότερα δυναμικά αστικά Κέντρα όπως τα Τρίκαλα, η Καρδίτσα, ο Τύρναβος καθώς και 32 ημιαστικά, άμεσα συνδεδεμένα με τις εξελίξεις στον αγροτικό χώρο. Λόγω της κεντρικής του θέσης, το διαμέρισμα συνδέεται άμεσα εκτός από την κεντρική και τη δυτική Μακεδονία και με την Ήπειρο και μέσω αυτών με τις γειτονικές Βαλκανικές χώρες.

Το συσσωρευμένο δυναμικό στο διαμέρισμα και οι σημαντικές δυνατότητες για παραπέρα αξιοποίηση και εκσυγχρονισμό, συγκεντρώνουν σχετικά υψηλό ποσοστό επενδύσεων παγίων κεφαλαίων, δημοσίων αλλά και ιδιωτικών, παρά το γεγονός ότι η Θεσσαλία δε βρίσκεται στη ζώνη των ισχυρών αναπτυξιακών κινήτρων.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Από την δημιουργία της το 1958, η NASA έχει μελετήσει τη γη και το μεταβαλλόμενο περιβάλλον της με την παρατήρηση της ατμόσφαιρας, των ωκεανών, του εδάφους, του πάγου και του χιονιού, και της επιρροής τους στο κλίμα και τον καιρό. Τώρα συνειδητοποιείται ότι σημαντικός παράγοντας για την καλύτερη κατανόηση του περιβάλλοντος (τοπικά ή παγκόσμια) είναι η κατανόηση της αλληλεπίδρασης του γήινου συστήματος, του αέρα, του εδάφους και του ύδατος. Το 1991 η NASA εγκαινίασε ένα σημαντικό πρόγραμμα για την μελέτη της γης. Σκοπός του προγράμματος αυτού, και άλλων ανάλογων προγραμμάτων, είναι η χρήση δορυφόρων και άλλων εργαλείων για την εντατική μελέτη της γης, και της έρευνας των ανθρωπογενών επιπτώσεων στις φυσικές διαδικασίες.

Στην παρούσα εργασία έγινε εκτίμηση του φαινομένου της υδρολογικής ξηρασίας για αγροτικές λεκάνες απορροής χρησιμοποιώντας το δείκτη υγιούς βλάστησης (Vegetation Health Index-VHI) με τη βοήθεια της επιστήμης της τηλεπισκόπησης. Για αυτόν το λόγο κρίνεται απαραίτητο να αναφερθούν τα βασικά χαρακτηριστικά της, καθώς και του δορυφόρου που προήλθαν τα δεδομένα επεξεργασίας. Η καινοτομία της παρούσας εργασίας έγκειται στο γεγονός ότι ο δείκτης VHI υπολογίζεται για πρώτη φορά στην Ελλάδα χρησιμοποιώντας εικόνες με χωρική διακριτική ικανότητα 1x1 Km.

### 3.1 Τηλεπισκόπηση

Με τον όρο **τηλεπισκόπηση** εννοείται η επιστήμη παρατήρησης φαινομένων και χαρακτηριστικών από απόσταση. Η λέξη είναι σύνθετη και αποτελείται από το επίρρημα *τήλε* και το ρήμα *επισκοπέω-ώ*, δηλαδή παρατηρώ από μακριά.

Στη διεθνή βιβλιογραφία χρησιμοποιείται ο όρος **Remote Sensing** (Μουτσούλας, 1993), και ορισμένοι Έλληνες επιστήμονες έχουν μεταφράσει επακριβώς τον όρο σε **Τηλεανίχνευση**, αλλά έχει επικρατήσει ο όρος **Τηλεπισκόπηση**. Σύμφωνα με τον αρχικό ορισμό, η έννοια της τηλεπισκόπησης μπορεί να συμπεριλάβει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών, τεχνικών ή και φυσιολογικών λειτουργιών, όπως για παράδειγμα την ανθρώπινη όραση. Σε πολλές εφαρμογές των περιβαλλοντολογικών επιστημών η τηλεπισκόπηση παρέχει πληροφορίες σε θεωρητικές και εφαρμοσμένες έρευνες σε χωρικές κλίμακες που δεν είναι διαθέσιμες

από τεχνικές συμβατικών ψηφιακών μετρήσεων (Δαλέζιος, 2004). Στην πραγματικότητα, σήμερα με το όρο Τηλεπισκόπηση εννοούμε "την επιστήμη και την τεχνολογία παρατήρησης και μελέτης των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας από απόσταση, βάσει της αλληλεπίδρασης των υλικών που βρίσκονται επάνω σε αυτή με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία "(Μέρτικας, 1999).

### 3.1.1 Τροχιές δορυφόρων

Δορυφόρος είναι ένας εξειδικευμένος ασύρματος εκπομπός/λήπτης (ουσιαστικά ένας επαναλήπτης ραδιοσυχνοτήτων) ο οποίος τίθεται σε τροχιά γύρω από την γη με την βοήθεια πύραυλου. Σε αντίθεση με τους πυραύλους, οι τεχνητοί δορυφόροι αποτελούν τις ιδανικές πλατφόρμες για την τοποθέτηση των τηλεπισκοπικών δεκτών. Έχουν προκαθορισμένη τροχιά, η διάρκεια πτήσης τους είναι πολύ μεγαλύτερη και επιτρέπει μια συνεχή παρακολούθηση της γης.

Η πορεία που ακολουθεί ένας δορυφόρος ονομάζεται τροχιά (orbit). Η επιλογή της τροχιάς γίνεται με κριτήρια που αφορούν την χρονική διάρκεια κάλυψης του στόχου, την ικανότητα του αισθητήρα-ανιχνευτή καθώς και άλλους παράγοντες. Μία τροχιά καθορίζεται από το ύψος της πάνω από την επιφάνεια της Γης, την σχετική κλίση του επιπέδου της τροχιάς ως προς τον Ισημερινό της Γης και την φορά της.

Το πρώτο είδος τροχιάς είναι οι λεγόμενες γεωστατικές (geostationary) τροχιές σε μεγάλο ύψος (συνήθως 36000 Km) (Εικόνα 3.1). Σε αυτές ο δορυφόρος περιφέρεται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα της περιστροφής της Γης οπότε πάντοτε επιβλέπει το ίδιο τμήμα της επιφάνειας της Γης (π.χ. δορυφόροι METEOSAT). Δορυφόροι τηλεπικοινωνιών και πρόβλεψης καιρού χρησιμοποιούν αυτό το είδος τροχιάς και λόγω του μεγάλου ύψους μπορούν να καλύπτουν πολλές φορές και ολόκληρο ημισφαίριο της Γης.

Πολλές δορυφορικές πλατφόρμες ακολουθούν την πορεία βορράς-νότος σε επίπεδο που διέρχεται (ή είναι κοντά στον άξονα περιστροφής της Γης) και σε συνδυασμό με την περιστροφή της Γης (ανατολικά-δυτικά) επιτρέπουν την κάλυψη μεγάλων περιοχών της επιφάνειας (π.χ. δορυφόροι NOAA) (Εικόνα 3.2). Αυτές είναι οι εγγύς πολικές τροχιές (near-polar orbits). Πολλές από αυτές τις τροχιές είναι επιπλέον και ηλιοσύγχρονες (sun-synchronous) που σημαίνει ότι για δεδομένο τόπο (δεδομένου γεωγραφικού πλάτους) ο δορυφόρος διέρχεται πάντοτε σε δεδομένη χρονική στιγμή (που ονομάζεται τοπικός ηλιακός χρόνος). Αυτό διασφαλίζει ότι η

συνθήκες (ηλιακού) φωτισμού του στόχου-επιφάνειας είναι οι ίδιες και αυτό έχει σημασία διότι μπορεί κανείς να διερευνήσει αλλαγές που αφορούν τον επίγειο στόχο.

Οι περισσότεροι δορυφόροι ακολουθούν εγγύς-πολικές τροχιές που κατά το ανερχόμενο τμήμα (ascending pass) κατευθύνονται προς το Βόρειο πόλο και κατά το κατερχόμενο τμήμα (descending pass) προς τον Νότιο πόλο. Εάν ταυτόχρονα βρίσκεται σε ηλιοσύγχρονη τροχιά κανονίζεται ώστε στην ανερχόμενη φάση να βρίσκεται σε σκοτεινή (από άποψη ηλιακού φωτισμού) περιοχή ενώ στην κατερχόμενη φάση σε φωτεινή περιοχή. Αυτό δεν επηρεάζει ένα ενεργό σύστημα τηλεπισκόπησης που έχει την δική του εκπομπή ακτινοβολίας που φωτίζει τους στόχους.

Καθώς ο δορυφόρος ακολουθεί την εγγύς πολική τροχιά του σαρώνει ένα τμήμα του γήινου εδάφους που ονομάζεται λωρίδα (swath). Τυπικές τιμές για το εύρος τέτοιων λωρίδων κυμαίνονται από δεκάδες έως λίγες εκατοντάδες χιλιόμετρα. Εάν η Γη δεν περιστρέφονταν τότε ο δορυφόρος θα κάλυπτε πάντα το ίδιο τμήμα της επιφάνειάς της. Λόγω όμως της περιστροφής της Γης καλύπτεται διαφορετικό κομμάτι και είναι δυνατόν ύστερα από κάποιο χρονικό διάστημα να καλυφθεί σχεδόν ολόκληρη η επιφάνεια της Γης.

Εάν ξεκινήσουμε αυθαίρετα με κάποιο σημείο της επιφάνειας της Γης (που καλείται σημείο ναδίρ) μπορούμε να πούμε ότι ύστερα από κάποιο χρόνο και αφού έχει καλυφθεί ένας πλήρης κύκλος περιφορών του δορυφόρου επανέρχεται στο ίδιο σημείο. Αυτός ο χρόνος καλείται περίοδος επανόδου (revisit period). Για δορυφορικά συστήματα τηλεπισκόπησης αυτός ο χρόνος είναι σημαντικός διότι μπορεί να αφορά σε κάποια κρίσιμη εφαρμογή (όπως παραδείγματος χάριν στην επόπτευση μίας κηλίδας από διαρροή πετρελαίου ή την παρατήρηση πλημμύρας ) και συνήθως οι αισθητήρες επάνω στον δορυφόρο είναι τηλεκατευθυνόμενοι ως προς της διεύθυνση σκόπευσης.

Είναι φανερό ότι για εγγύς-πολικές τροχιές οι περιοχές που είναι κοντά στους πόλους θα σαρώνονται πιο αποτελεσματικά από τις μακρινές περιοχές λόγω της αλληλοεπικάλυψης των παρακείμενων λωρίδων.

Σήμερα, υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός δορυφορικών συστημάτων ο οποίος αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια. Η ταξινόμηση των συστημάτων αυτών μπορεί να γίνει βάσει διαφόρων κριτηρίων. Ένα βασικό κριτήριο είναι το μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που κατατάσσει τα συστήματα σε

ευαίσθητα στην ορατή περιοχή του φάσματος, στην υπέρυθρη και στην περιοχή των μικροκυμάτων. Άλλος τρόπος είναι η ταξινόμηση σε:

- Ενεργητικά συστήματα
- Παθητικά συστήματα

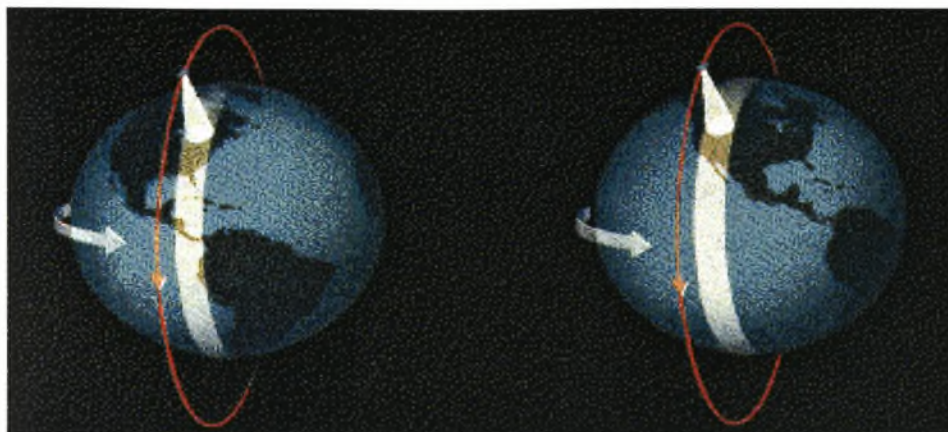
Τα ενεργητικά συστήματα περιλαμβάνουν τα τηλεπισκοπικά συστήματα απεικόνισης που εκπέμπουν ενέργεια και καταγράφουν την ανακλώμενη. Τα παθητικά συστήματα τηλεπισκόπισης εξαρτώνται από το φωτισμό της γης από το ηλιακό φως για την καταγραφή της ανακλώμενης και εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και δεν αποδίδουν ικανοποιητικά παρουσία νεφών, ομίχλης, καπνού και σκότους.

Οι δορυφόροι πολικής τροχιάς (800-1500km) παρέχουν εικόνες μεγαλύτερης ανάλυσης από εκείνες των γεωστατικών δορυφόρων (36.000km), αφού πετούν σε χαμηλότερο ύψος πράγμα που επιτρέπει την καλύτερη αναγνώριση των διάφορων εδαφικών χαρακτηριστικών. Από την άλλη, οι γεωστατικοί δορυφόροι έχουν το πλεονέκτημα της κάλυψης σχεδόν ολόκληρου ημισφαιρίου παρέχοντας μια πληρέστερη εικόνα των μετεωρολογικών συστημάτων σε δεδομένο χρόνο.



Εικόνα 3.1. Εικόνα γεωστατικού δορυφόρου





**Εικόνα 3.2.** Εικόνα δορυφόρου πολικής τροχιάς.

### **3.1.2. Χαρακτηριστικά δορυφόρου NOAA**

Η τροχιά των δορυφόρων αυτών βρίσκεται σε απόσταση 850 km από την επιφάνεια της γης και είναι σχεδόν πολική ηλιοσύγχρονη, με κλίση  $98.7^\circ$  και περίοδο περιστροφής 102 λεπτά (14.1 τροχιές ανά ημέρα).

Πολλοί δορυφόροι έχουν πετάξει στην σειρά NOAA. Το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στους NOAA-6 έως και NOAA-14 που φέρουν αισθητήρα AVHRR. Σήμερα βρίσκονται σε λειτουργία οι NOAA-11, NOAA-12 και NOAA-14. Ο αισθητήρας AVHRR έχει πολύ μεγάλο μέγεθος εικονοστοιχείου (pixel) και κατά συνέπεια κακή χωρική διακριτική ικανότητα. Οι εικόνες παρουσιάζουν μεγάλες παραμορφώσεις στα άκρα, όσο απομακρυνόμαστε από το ναδίρ της τροχιάς του δορυφόρου. Επιτυγχάνεται όμως πολύ καλή χρονική διακριτική ικανότητα, καθώς παρέχεται κάλυψη δύο φορές την ημέρα για τα θερμικά κανάλια και μια φορά την ημέρα για τα ορατά, από κάθε δορυφόρο.

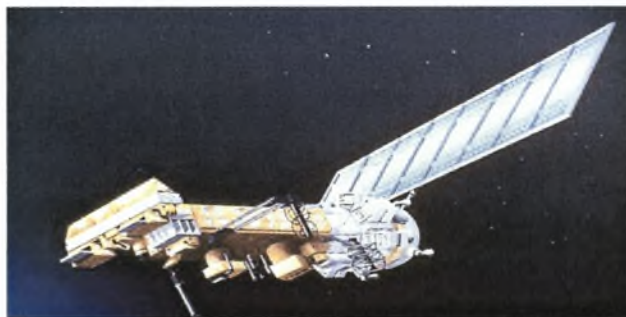
Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία προέρχονται από το ραδιόμετρο AVHRR του δορυφόρου NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) γιατί εκτός του γεγονότος ότι παρέχουν καθημερινή κάλυψη όλης της Ελλάδας, τα στοιχεία είναι ευρέως διαθέσιμα χωρίς κόστος μέσου του διαδικτύου.

Το AVHRR καταγράφει την ακτινοβολία που φτάνει σε αυτό σε πέντε φασματικές περιοχές (Πίνακας 3.1). Τα δεδομένα AVHRR χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την χαρτογράφηση της βλάστησης, την ανάλυση της υγρασίας και θερμοκρασίας του εδάφους, τον εντοπισμό πυρκαγιών, την παρακολούθηση πλημμύρων, την παρακολούθηση αμμοθυελλών στην έρημο, καθώς και για διάφορες



γεωλογικές εφαρμογές, την παρατήρηση ηφαιστειακών εκρήξεων, την χαρτογράφηση δικτύων αποστράγγισης και διάφορων άλλων φυσιογραφικών χαρακτηριστικών (Εικόνα 3.3).

Όσον αφορά τη μελέτη, παρακολούθηση και χαρτογράφηση της βλάστησης χρησιμοποιούνται τα κανάλια 1 στο ορατό και 2 στο εγγύς υπέρυθρο του δέκτη AVHRR. Έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί με επιτυχία μαθηματικοί συνδυασμοί των δύο αυτών καναλιών, οι οποίοι επιτρέπουν την αναγνώριση της υγιούς βλάστησης. Οι μαθηματικές αυτές σχέσεις ονομάζονται Δείκτες Βλάστησης και οι πιο διαδεδομένοι είναι ο απλός Δείκτης Βλάστησης (VI) και ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης (NDVI). Οι δείκτες αυτοί αναδεικνύουν τις περιοχές που καλύπτονται με βλάστηση και τις διαχωρίζουν πλήρως από τα σύννεφα, τις υδάτινες μάζες, το χιόνι, τους βράχους και το γυμνό έδαφος. Ο δείκτης NDVI προτιμάται για την παρακολούθηση της βλάστησης σε όλη την έκταση της γήινης επιφάνειας, γεγονός που επιτυγχάνεται με κατάλληλη επεξεργασία σε ημερήσια βάση των δεδομένων από τους δέκτες των δορυφόρων NOAA και τη δημιουργία ενός μωσαϊκού.



**Εικόνα 3.3.** Εικόνα δορυφόρου NOAA

Πίνακας 3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος AVHRR και των δορυφόρων NOAA.

Τύπος Ραδιόμετρου		Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)				
Τύπος Δορυφόρου	Πολικής Τροχιάς-Ήλιοσύγχρονος					
Μέσο ύψος Τροχιάς	850 km					
Μέση Περίοδος Τροχιάς	102 λεπτά					
Συχνότητα Επανεμφάνισης	9.2 ημέρες					
Διέλευση από τον Ισημερινό	Καθοδική B→N	Ανοδική N→B	NOAA			
Εύρος γωνίας σάρωσης σε μέγιστο πλάτος 2700 km	07:30 LST	19:30 LST	6,8,10,12			
	14:30 LST	02:30 LST	7,9,11,13			
Διακριτική ικανότητα	± 55.4°					
	1.1 km (pixel στο ναδίρ)					
Κανάλια	1	2	3	4	5	
Φασματική Περιοχή	0.58-0.68	0.725-1.1	3.55-3.93	10.5-11.3	11.5-12.5	
	ορατό	Κοντινό υπέρυθρο	Μέσο υπέρυθρο	Θερμικό υπέρυθρο	Θερμικό υπέρυθρο	
	(VIS)	(NIR)	(MIR)	(TIR)	(TIR)	

### 3.1.3 Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία

Η **Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία** είναι τύπος κυμάτων σε μορφή ακτινοβολίας, με συνιστώσες ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, που διαδίδονται στην ύλη και στο κενό. Ο κόσμος όλος βομβαρδίζεται καθημερινά από ενέργεια σε μορφή ακτινοβολίας που και εξ αυτού ονομάζεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ένα μέρος αυτής είναι το ορατό φως. Όμως το μεγαλύτερο μέρος της είναι αόρατο.

Η Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συνίσταται σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα που καλύπτουν μεγάλο εύρος συχνοτήτων και έτσι μπορεί να παραχθεί και τεχνικά. Ορισμένες μορφές αυτής της ακτινοβολίας είναι, σε αυξητική σειρά συχνότητας ή φθίνοντος μήκους κύματος:

- τα ραδιοκύματα (0.3-300 cm)
- τα μικροκύματα (0.3-300 cm)
- οι υπέρυθρες ακτίνες (0.7-300 μm)
- το ορατό φως (0.4-0.7 μm)
- οι υπεριώδεις ακτίνες (3 nm-0.4 μm)
- οι ακτίνες X (0.03-3 nm)
- οι ακτίνες γ (<0.03 nm)

Όλες αυτές οι παραπάνω μορφές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κινούνται (ταξιδεύουν) με την ταχύτητα φωτός και μπορούν ακόμη να διαπεράσουν και ορισμένα υλικά.

Αν και η ορατή περιοχή της ακτινοβολίας είναι πολύ μικρή, είναι φανερή η σπουδαιότητα της στην τηλεπισκόπηση. Τα όρια της ορατής ακτινοβολίας ορίζονται από την ευαισθησία του ανθρώπινου οπτικού συστήματος. Η ορατή ακτινοβολία διαιρείται σε τρία τμήματα που είναι τα τρία προσθετικά βασικά χρώματα (μπλε, πράσινο, κόκκινο). Τα υπόλοιπα χρώματα δημιουργούνται από την μείξη των τριών βασικών (Πίνακας 3.2).

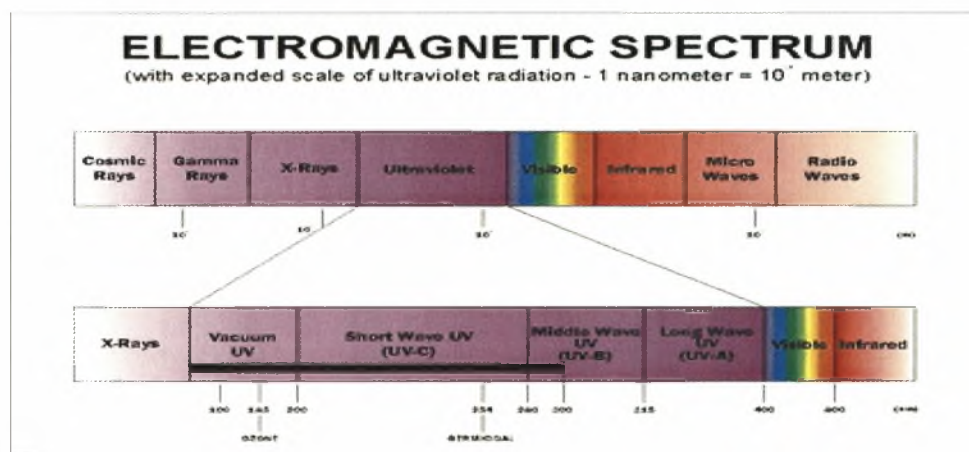
Η τηλεπισκόπηση παρέχει μεγάλη χωρική κάλυψη, μετρώντας την ανακλώμενη και εκπεμπόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, από την επιφάνεια και την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα της γης.

Η λήψη δορυφορικών δεδομένων είναι δυνατή σε πολλές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (ΗΜΦ) (Εικόνα 3.4), όπως υπεριώδεις (UV), ορατό (VIS), κοντινό υπέρυθρο (NIR), μικρού μήκους κύματος (SWIR), μέσο υπέρυθρο (MIR), θερμικό υπέρυθρο (TIR), και μικροκύματα (MV). Τα στοιχεία αυτά μπορούν

να εισαχθούν σε μετεωρολογικά ή υδρολογικά μοντέλα ή να συνδυαστούν με άλλες. Οι μετρήσεις του ΗΜΦ γίνονται συνήθως μέσω δορυφόρων, αεροσκαφών, εδαφικών συστημάτων και γενικότερα σε απόσταση από τον στόχο. Οι δορυφορικές εικόνες καταγράφονται από αισθητήρες με τους οποίους είναι εξοπλισμένοι οι δορυφόροι.

**Πίνακας 3.2.** Περιοχές φάσματος και αντίστοιχα μήκη κύματος .

Περιοχή Φάσματος	Μήκος Κύματος
Ιώδες	0.4-0.446 μm
Μπλε	0.446-0.500 μm
Πράσινο	0.500-0.578 μm
Κίτρινο	0.578-0.592 μm
Πορτοκαλί	0.592-0.620 μm
Κόκκινο	0.620-0.7 μm



**Εικόνα 3.4.** Το φάσμα της Ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Οι περισσότερες δορυφορικές εικόνες σχηματίζονται από σειρές και στήλες εικονοστοιχείων (pixels) τα οποία είναι τα μικρότερα στοιχεία κάθε εικόνας.

**Χωρική διακριτική ικανότητα:** οι περισσότερες δορυφορικές εικόνες σχηματίζονται από σειρές και στήλες εικονοστοιχείων (pixels) τα οποία είναι τα μικρότερα στοιχεία κάθε εικόνας. Τα εικονοστοιχεία αναπαριστούν μια περιοχή που ονομάζεται χωρική διακριτική ικανότητα.

**Χρονική διακριτική ικανότητα:** η χρονική διακριτική ικανότητα αναφέρεται στον χρόνο που απαιτείται για να καταγράψει ο αισθητήρας του δορυφόρου την ίδια περιοχή. Η διακριτική αυτή ικανότητα είναι σημαντική επειδή δίνει την δυνατότητα διαχρονικής παρακολούθησης δεδομένων και περιβαλλοντικών παραμέτρων.

**Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα:** προσδιορίζει την ευαισθησία του μέσου στην ΗΜΑ, δηλαδή περιγράφει την δυνατότητα του συστήματος να διακρίνει μεταξύ μικρών διαφορών της ανιχνευόμενης ενέργειας.

**Η φασματική διακριτική ικανότητα:** περιγράφει την ικανότητα του αισθητήρα να καταγράψει την πληροφορία σε διαφορετικές περιοχές του ΗΜΦ. Έτσι όσο πιο πολλά κανάλια χρησιμοποιεί ο αισθητήρας τόσο μεγαλύτερη είναι η διακριτική ικανότητα του.

Μεταξύ των παραπάνω εννοιών υπάρχει στενή σχέση και είναι γνωστό ότι η προσπάθεια για βελτίωση ενός από τα μεγέθη αυτά, θα έχει αρνητικό αποτέλεσμα στις τιμές των άλλων (Μουτσούλας, 1993).

#### **3.1.4 Η τηλεπισκόπηση στην ανακλώμενη περιοχή του ΗΜΦ**

Η ορατή περιοχή του ΗΜΦ είναι αυτή την οποία αισθάνεται το ανθρώπινο μάτι με αποτέλεσμα την ικανότητα της όρασης. Οι διαφορετικές ανακλαστικές ιδιότητες των υλικών και επιφανειών έχουν ως αποτέλεσμα τον διαχωρισμό των χρωμάτων στο ορατό φάσμα του ΗΜΦ.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ των φύλλων και του φωτός που προσκρούει σε αυτά, είναι ένας καθοριστικός παράγοντας της διαφορετικής απόκρισης στην ερυθρή και στην κοντινή υπέρυθη περιοχή του ανακλώμενου φωτός. Η χρωστική χλωροφύλλη που περιέχεται στα φύλλα, παρουσιάζει την μέγιστη απορρόφηση στην ερυθρή περιοχή του ορατού φάσματος. Χρησιμοποιώντας την πληροφορία στην ορατή αλλά και στην κοντινή υπέρυθη περιοχή του ΗΜΦ μπορούν να προκύψουν δείκτες βλάστησης που έχουν αποδειχτεί σημαντικό εργαλείο στην μελέτη της κατάστασης της βλάστησης από τις αρχές της δεκαετίας του '70.

Το ποσοστό φυτοκάλυψης είναι μια από τις συνιστώσες που ορίζουν την ισχύ του σήματος στην ανακλώμενη περιοχή του ΗΜΦ. Υπάρχουν όμως και άλλοι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την τελική τιμή του εικονοστοιχείου (pixel). Σε αυτούς περιλαμβάνεται και η γεωμετρία των θέσεων ήλιου – στόχου - αισθητήρα. Αυτός ο παράγοντας ελέγχει την συνεισφορά του ποσοστού σκίασης στο σήμα. Η σκίαση μπορεί να είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του ήλιου με την



τοπογραφία και το ανάγλυφο της περιοχής και να επηρεάζεται από τις σκιάσεις που προκαλεί η βλάστηση. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ισχύ του σήματος στην ανακλώμενη περιοχή του ΗΜΦ, είναι οι μεταβολές στο χρώμα του εδάφους, στο σήμα παρατήρησης σε σχέση με τις μεταβολές της ατμοσφαιρικής συνιστώσας του σήματος, εμπεριέχοντας σε αυτές και τα υδάτινα κατακρημνίσματα (Hobbs, 1997) καθώς και οι μεταβολές στην απόκριση του αισθητήρα με την πάροδο του χρόνου.

### 3.1.5 Η τηλεπισκόπηση στη θερμική περιοχή του ΗΜΦ

Η θερμική περιοχή του ΗΜΦ αναφέρεται στο φασματικό εύρος από 3.75-12.5 μm. Η ενέργεια της ακτινοβολίας που συλλέγεται από τους τηλεπισκοπικούς αισθητήρες εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης, τους ωκεανούς και τους ανώτερους νεφικούς σχηματισμούς και είναι συνάρτηση της επιφανειακής θερμοκρασίας. Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί πολλά μοντέλα τα οποία επιτρέπουν τον υπολογισμό της επιφανειακής θερμοκρασίας με την χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων από την θερμική περιοχή.

Η τηλεπισκόπηση στην θερμική περιοχή του ΗΜΦ συμβάλει στην παρατήρηση της κατάστασης του επιφανειακού ενεργειακού ισοζυγίου σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Το επιφανειακό ενεργειακό ισοζύγιο εξαρτάται από την καθαρή ακτινοβολία που προσκρούει στην επιφάνεια. Στην επιφάνεια του εδάφους η καθαρή ακτινοβολία, σε όλα τα μήκη κύματος, βρίσκεται σε ισορροπία με την αισθητή, την λανθάνουσα και την εδαφική ροή θερμότητας. Σε μεγάλες χρονικές περιόδους η εδαφική θερμική ροή θεωρείται μηδενική και το επιφανειακό ενεργειακό ισοζύγιο αντιπροσωπεύει την ισορροπία μεταξύ της αισθητής και της λανθάνουσας ροής θερμότητας. Κατά την διάρκεια της ημέρας η μετρούμενη επιφανειακή θερμοκρασία στην επιφάνεια της γης είναι, εν μέρει, εξαρτημένη από τις σχετικές ποσότητες της αισθητής και της λανθάνουσας ροής θερμότητας.

Το επιφανειακό ενεργειακό ισοζύγιο σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή δίνεται από την εξίσωση:

$$R_n = \lambda E + H + G \quad (3.1)$$

όπου:

$R_n$  είναι η καθαρή ακτινοβολία σε όλα τα μήκη κύματος

$E$  είναι η εξατμισοδιαπνοή των υδρατμών

$\lambda$  είναι η λανθάνουσα θερμότητα της εξάτμισης του νερού

Η είναι η αισθητή ροή θερμότητας

Γ είναι η εδαφική ροή θερμότητας

Το λE αναφέρεται στο ποσό της ενέργειας που χρειάζεται για την μετάβαση μιας συγκεκριμένης ποσότητας ύδατος από την υγρή στην αέρια μορφή είτε με εξάτμιση είτε με διαπνοή.

Η θερμική περιοχή του ΗΜΦ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας εδάφους. Ο δείκτης που εξάγεται από τα δεδομένα του θερμικού καναλιού ονομάζεται Δείκτης Υγιούς βλάστησης (Vegetation Health Index - VHI) και μπορεί να είναι πολύ χρήσιμος στην εκτίμηση των περιβαλλοντικών συνθηκών μιας περιοχής.

### **3.2 Βάση δεδομένων**

Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία προήλθαν από λήψεις του δορυφόρου NOAA/AVHRR. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν εικόνες όλης της Ελλάδας με χωρική διακριτική ικανότητα 1x1 Km (μέγεθος εικονοστοιχείου). Η βάση δεδομένων αποτελείται από 120 μηνιαίες εικόνες του δείκτη βλάστησης NDVI, που προέκυψαν από την επεξεργασία των καναλιών ch1 και ch2, και 120 μηνιαίες εικόνες θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους (LST) από τα θερμικά κανάλια ch4 και ch5 του δορυφόρου, που αντιστοιχούν στην χρονική περίοδο από τον Σεπτέμβριο του 1998 έως το τέλος του Δεκεμβρίου του 2007. Οι δορυφορικές εικόνες του δείκτη βλάστησης και της θερμοκρασίας εδάφους προήλθαν από το διαδικτυακό τόπο της EOWEB.

### **3.3 Προεπεξεργασία δορυφορικών δεδομένων**

Αρχικά πραγματοποιήθηκε αποσυμπίεση των εικόνων, διότι ήταν υπό συμπίεσμένη μορφή, και στη συνέχεια έγινε η εισαγωγή τους στο πρόγραμμα επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων Erdas Imagine 8.7. Οι δορυφορικές εικόνες περιείχαν πληροφορίες για όλη την περιοχή της Ευρώπης (Εικόνα 3.5) και για το λόγο αυτό, μέσω των εργαλείων του προγράμματος, απομονώθηκε η περιοχή της Ελλάδας για όλη τη χρονοσειρά.

Στην συνέχεια οι μηνιαίες δορυφορικές εικόνες ενσωματώθηκαν σε μία ενιαία εικόνα, η οποία περιείχε 120 διαφορετικά επίπεδα (το κάθε επίπεδο αντιπροσωπεύει τον κάθε μήνα). Η εφαρμογή αυτή πραγματοποιήθηκε μέσω της εντολής Stack Layer του προγράμματος Erdas Imagine. Ο σκοπός της τεχνικής Stack Layer ήταν η εύκολη

ανάκτηση πληροφοριών και στοιχείων από την κάθε εικόνα, που πλέον αντιπροσώπευε κάθε μήνα, και με τον τρόπο αυτό να χρησιμοποιηθούν με μεγαλύτερη ευκολία στις παρακάτω εφαρμογές της μεθόδου. Στο τελευταίο βήμα της προεπεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων περιλαμβάνεται η γεωμετρική διόρθωσή τους.



**Εικόνα 3.5.** Δορυφορική εικόνα Ευρώπης 1 x 1 km (EOWEB).

Ο σκοπός της γεωμετρικής διόρθωσης της εικόνας είναι ο μετασχηματισμός του συστήματος συντεταγμένων αυτής ( $x, y$ ) (το οποίο μπορεί να έχει υποστεί παραμορφώσεις), σε κάποιο σύστημα ( $X, Y$ ) χαρτογραφικής προβολής, έτσι ώστε η εικόνα να έχει συγκεκριμένη και ενιαία κλίμακα αλλά και σχεδιαστικές ιδιότητες χάρτη.

Στην Τηλεπισκόπηση υπάρχουν τρεις τύποι γεωμετρικών διορθώσεων:

1. η γεωμετρική αποκατάσταση της εικόνας (geometric rectification), που καλύπτει τη γεωμετρία της διαδικασίας λήψης της εικόνας.

2. η εγγραφή εικόνας σε άλλη εικόνα (image to image) που αναφέρεται στον μετασχηματισμό του συστήματος συντεταγμένων μιας εικόνας σε κάποιο άλλο μιας άλλης ήδη γεωαναφερμένης εικόνας και

3. η εγγραφή εικόνας σε χάρτη, που αφορά στον μετασχηματισμό του συστήματος συντεταγμένων μιας εικόνας στο χαρτογραφικό σύστημα συντεταγμένων του εδάφους.

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε η πρώτη μέθοδος με τη μετατροπή των εικόνων από το σύστημα WGS TM 36 SE (φ, λ) στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ '87 με τη βοήθεια του λογισμικού ERDAS 8.7 (Εικόνα 3.6).



**Εικόνα 3.6.** Γεωμετρικά διορθωμένη δορυφορική εικόνα Ελλάδας.

### **3.4 Υπολογισμός του Δείκτη Υγιούς Βλάστησης (VHI)**

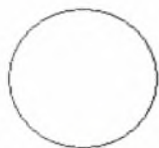
Στην παρούσα εργασία υπολογίζεται ο δείκτης υγιούς βλάστησης χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες χωρικής διακριτικής ικανότητας 1x1 km, σημειακά για το εικονοστοιχείο που βρίσκεται πάνω ακριβώς από τον μετεωρολογικό σταθμό της Λάρισας. Ο VHI είναι ένας δείκτης ο οποίος προτάθηκε από τον Kogan το 2001 και για υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση 2.25. Απαραίτητη προϋπόθεση για τον υπολογισμό του δείκτη VHI είναι ο υπολογισμός δύο άλλων δεικτών του VCI και του TCI και κατά συνέπεια του δείκτη βλάστησης NDVI και της θερμοκρασίας εδάφους LST, οι οποίοι υπολογίστηκαν για όλη τη Θεσσαλία σε μηνιαία βάση για το διάστημα Οκτώβριος 1998 έως Σεπτέμβριος 2007.

### 3.4.1 Υπολογισμός του Δείκτη Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

Για τον υπολογισμό του Δείκτη Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI) χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση 2.22. Λόγω της ύπαρξης νεφών έγινε «φιλτράρισμα» των μηνιαίων εικόνων με την χρήση του των εργαλείων Model Maker του προγράμματος Erdas Imagine 8.7. Το φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε για κάθε μήνα είναι ένα «επιλεκτικό» φίλτρο, όπου επηρεάζει μόνο τα εικονοστοιχεία (pixel) τα οποία καλύπτονται από νεφικούς σχηματισμούς (Tsiros *et al.*, 2008). Η λειτουργία του βασίζεται στον υπολογισμό του μέσου όρου των τιμών περιμετρικά του εικονοστοιχείου (pixel) πάνω από την περιοχή που καλύπτεται από νέφη (σε απόσταση 3 x 3, 5 x 5, 7 x 7 και 11 x 11 km από το κεντρικό εικονοστοιχείο (pixel)). Με αυτόν τον τρόπο δεν επηρεάζονται οι υπόλοιπες τιμές της εικόνας. Το μέγεθος του φίλτρου καθώς και ο αριθμός εφαρμογής του σε κάθε εικόνα διαφέρει και εξαρτάται από το μέγεθος του νεφικού σχηματισμού. Η διαδικασία επαναλήφθηκε και για τις 120 εικόνες οι οποίες ελέγχθηκαν εκ νέου για τυχόν υπολείμματα νεφών. Για την καλύτερη κατανόηση του μοντέλου είναι απαραίτητη η απεικόνιση κάποιων βασικών εργαλείων του Model Maker (Εικόνα 3.7), η μορφή του (Εικόνα 3.8), καθώς και η επεξήγηση αυτών. Ενδεικτικά παρουσιάζεται δορυφορική εικόνα με νέφη και χωρίς νέφη στις Εικόνες 3.9 και 3.10 αντίστοιχα.



**Εικονίδιο Raster** : Εισάγει εικόνες τύπου Raster στο μοντέλο - Έξοδος για την δημιουργία επεξεργασμένων εικόνων.



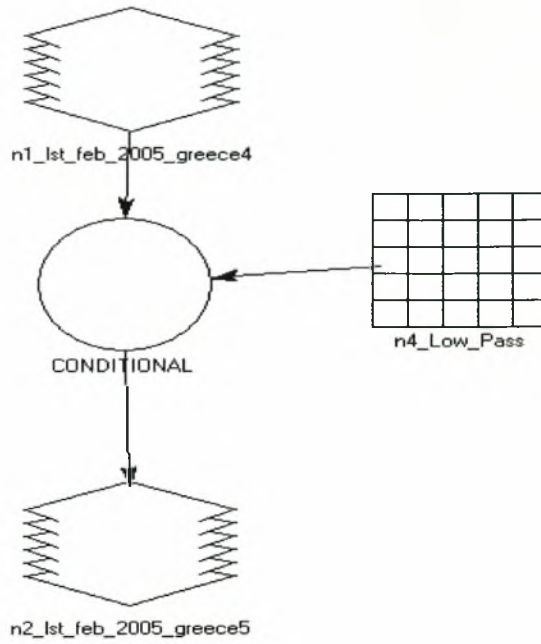
**Εικονίδιο Function** : Εισάγει συναρτήσεις για την επεξεργασία



**Βέλος Σύνδεσης**

Εικόνα 3.7. Βασικά εργαλεία του Model Maker .





Εικόνα 3.8. Φίλτρο αφαίρεσης νεφών μέσω του προγράμματος Erdas Imagine 8.7.

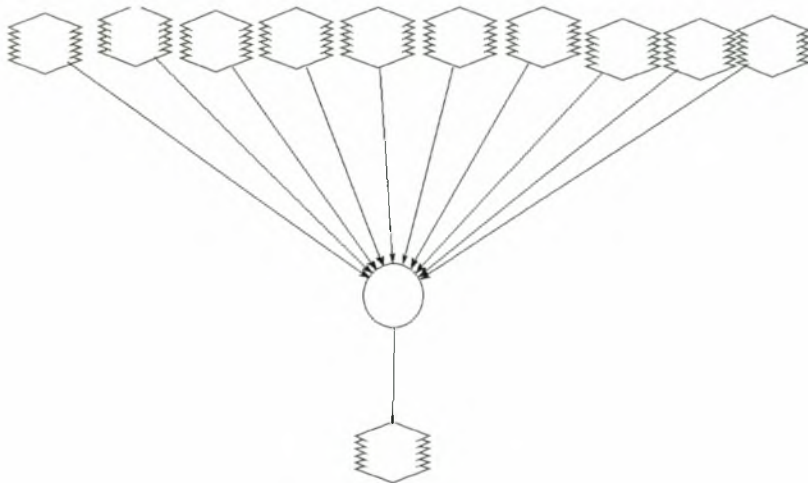


Εικόνα 3.9. Δορυφορική εικόνα με νεφικούς σχηματισμούς.



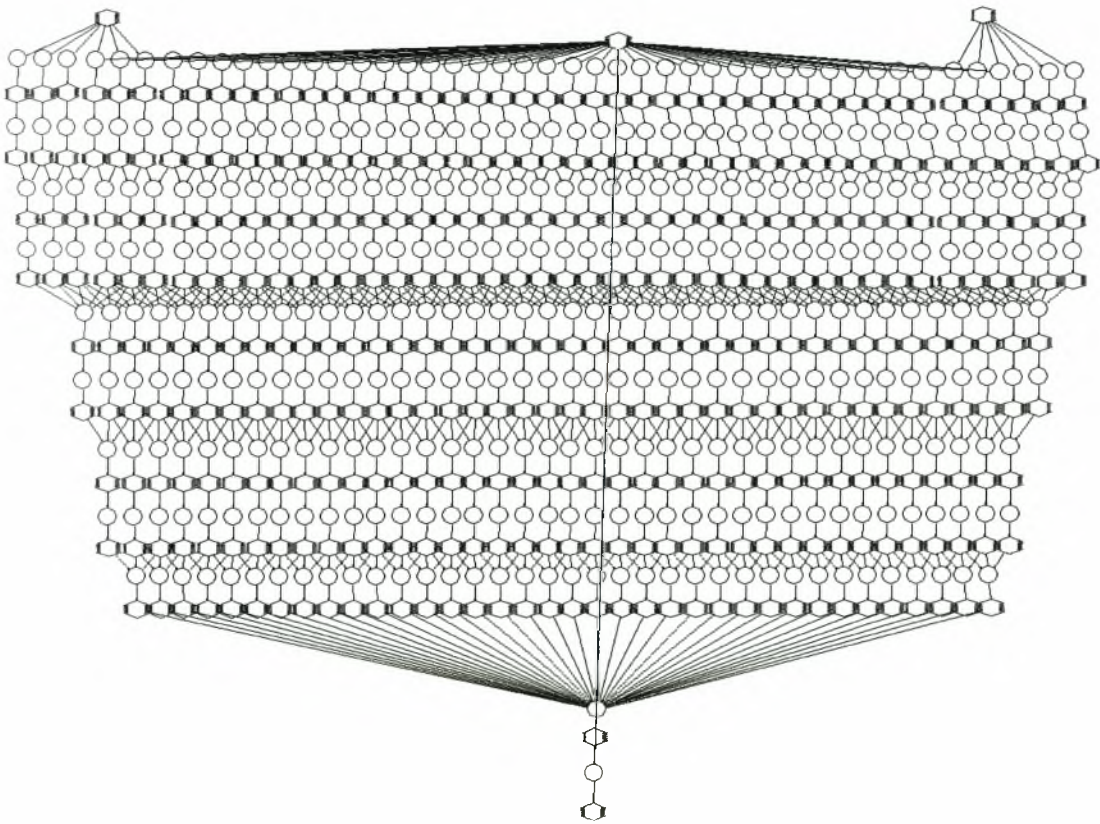
**Εικόνα 3.10.** Δορυφορική εικόνα απαλλαγμένη από νεφικούς σχηματισμούς μετά την εφαρμογή φίλτρων.

Οι εικόνες που συνέχισαν να έχουν νέφη ή έλλειπαν λόγω προβλήματος του αισθητήρα αντικαταστάθηκαν με κλιματικές τιμές των αντίστοιχων μηνών. Παράδειγμα ενός τέτοιου μοντέλου υπολογισμού των κλιματικών τιμών μέσω του προγράμματος Erdas Imagine 8.7 παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.11.



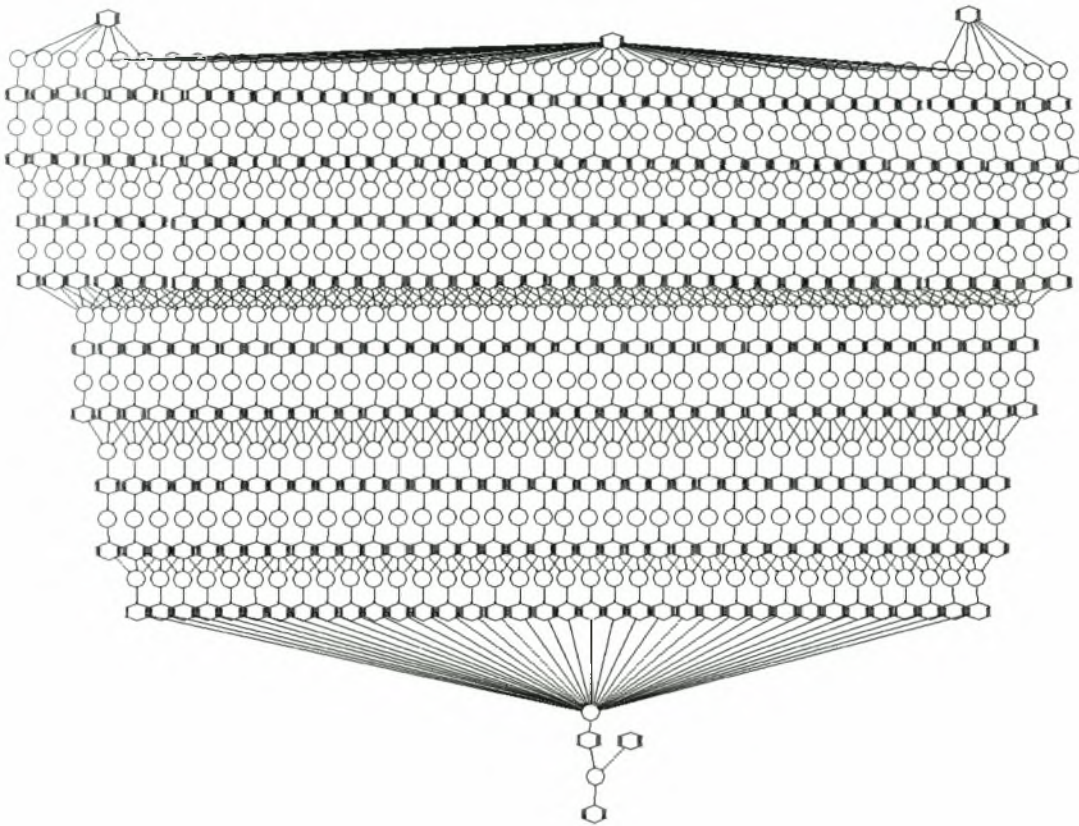
**Εικόνα 3.11.** Σχηματική απεικόνιση μοντέλου υπολογισμού κλιματικών τιμών NDVI μέσω του προγράμματος Erdas Imagine 8.7.

Στην συνέχεια, για την ομαλοποίηση των εικόνων και για την αφαίρεση του «θορύβου» από την χρονοσειρά εικόνων NDVI χρησιμοποιήθηκε ένα σύνθετο φίλτρο “compound twice” 4253. Το φίλτρο αυτό είναι ένα στατιστικό φίλτρο κινούμενου διάμεσου (running median) (Εικόνα 3.12). Το φιλτράρισμα με την χρήση αυτού του φίλτρου είναι τόσο έντονο που αφαιρεί και δεδομένα τα οποία ανήκουν στο πεδίο ενδιαφέροντος. Γι’ αυτό, το υπόλοιπο της πρώτης διαδικασίας υπόκειται και αυτό σε φιλτράρισμα με το ίδιο φίλτρο και το αποτέλεσμα προστίθεται στα πρώτα φιλτραρισμένα δεδομένα. Από αυτή την διαδικασία προκύπτει και ο όρος “twice” (δύο φορές). Γενικά αυτή η δεύτερη διαδικασία ονομάζεται “reroughing-επανατράχυνση” (Εικόνα 3.13).



**Εικόνα 3.12.** στατιστικό φίλτρο κινούμενου διάμεσου (running median).

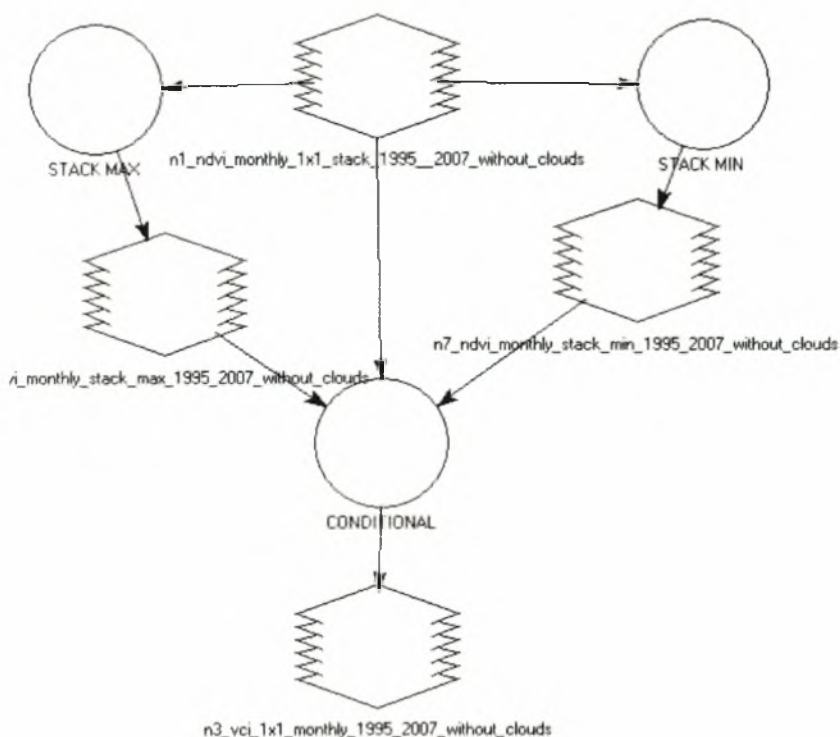




Εικόνα 3.13. Διαδικασία “roughing-επανατράχωση”.

### 3.4.2 Υπολογισμός του Δείκτη Κατάστασης Βλάστησης (Vegetation Condition Index, VCI)

Ο VCI προτάθηκε από τον Kogan το 1990, είναι χρήσιμος στην παρακολούθηση των επιδράσεων των περιβαλλοντικών συνθηκών στη βλάστηση και υπολογίζεται από την σχέση 2.23. Τα δεδομένα που χρησιμοποιεί η εξίσωση 2.23 υπολογισμού του VCI είναι ο  $NDVI_{min}$  και ο  $NDVI_{max}$  τα οποία υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα της μεθοδολογίας για το διάστημα 1998-2007. Εν συνεχεία μέσω του προγράμματος Erdas Imagine 8.7, χρησιμοποιώντας το εργαλείο model maker, δημιουργείται μοντέλο (Εικόνα 3.14) το οποίο εντοπίζει αυτόματα τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές του NDVI και στη συνέχεια τις τροφοδοτεί στην εξίσωση 2.23 με σκοπό την εξαγωγή του δείκτη VCI.



Εικόνα 3.14. Μοντέλο ολοκληρωμένου υπολογισμού του δείκτη ξηρασίας VCI.

### 3.4.3. Εξαγωγή θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους (LST) από δορυφορικά δεδομένα

Δύο μεγάλα προβλήματα παρουσιάζονται κατά την εξαγωγή της θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους (Land Surface Temperature – LST) από δορυφορικά δεδομένα NOAA/AVHRR:

1. Η επίδραση της ατμόσφαιρας
2. Η άγνωστη εκπομπή ακτινοβολίας της επιφάνειας υπό εξέταση

Στην παρούσα εργασία, η παραγωγή των χαρτών LST στηρίζεται στον αλγόριθμο «split window» των Becker και Li (1990). Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί την διαφορά της επίδρασης της απορρόφησης στα κανάλια τέσσερα και πέντε (CH<sub>4</sub> και CH<sub>5</sub>) για την διόρθωση της ατμοσφαιρικής εξασθένησης η οποία προκαλείται κυρίως από την απορρόφηση των υδρατμών. Η σχέση για την εκτίμηση της εκπομπής της υπέρυθρης ακτινοβολίας από την επιφάνεια, προήλθε από τους Van de Griend and Owe (1993).

Η σχέση των Becker and Li έχει τη μορφή της εξίσωσης (3.2):



$$T = 1,274 + (T_4+T_5)/2 [1+0,15616\{(1-e)/e\} - 0.482de/e^{**2}] + (T_4-T_5)/2[6.26+3.989\{(1-e)/e\} + 38.33de/e^{**2}] \quad (3.2)$$

όπου T η θερμοκρασία επιφανείας, T<sub>4</sub> και T<sub>5</sub> η τιμές των θερμικών καναλιών 4 και 5 του δορυφόρου, τα e και de ορίζονται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$e = (e_4 + e_5)/2 \quad (3.3)$$

$$de = e_4 - e_5 \quad (3.4)$$

όπου e<sub>4</sub>, e<sub>5</sub> οι τιμές ανάκλασης των καναλιών 4 και 5 αντίστοιχα, οι οποίες δίνονται από τις εξισώσεις (3.5) και (3.6) των Van de Griend and Owe.

$$e_4 = 1.0094 + 0.047 \ln(\text{NDVI}) \quad (3.5)$$

$$e_5 = e_4 + 0,01 \quad (3.6)$$

Οι τιμές των εικονοστοιχείων (pixel) στις εικόνες LST (8-bit integer format) είναι σε κλίμακα από 0-255 (κλίμακα του γκρι). Η τιμή μηδέν αναφέρεται στο «νερό», η τιμή 255 αντιπροσωπεύει περιοχές που καλύπτονται από «νέφη». Για να μετατραπούν οι τιμές LST σε θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου (°C) χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εξίσωση:

$$T (^{\circ}\text{C}) = (\text{τιμή σε κλίμακα του γκρι} \times 0.5) - 40 \quad (3.7)$$

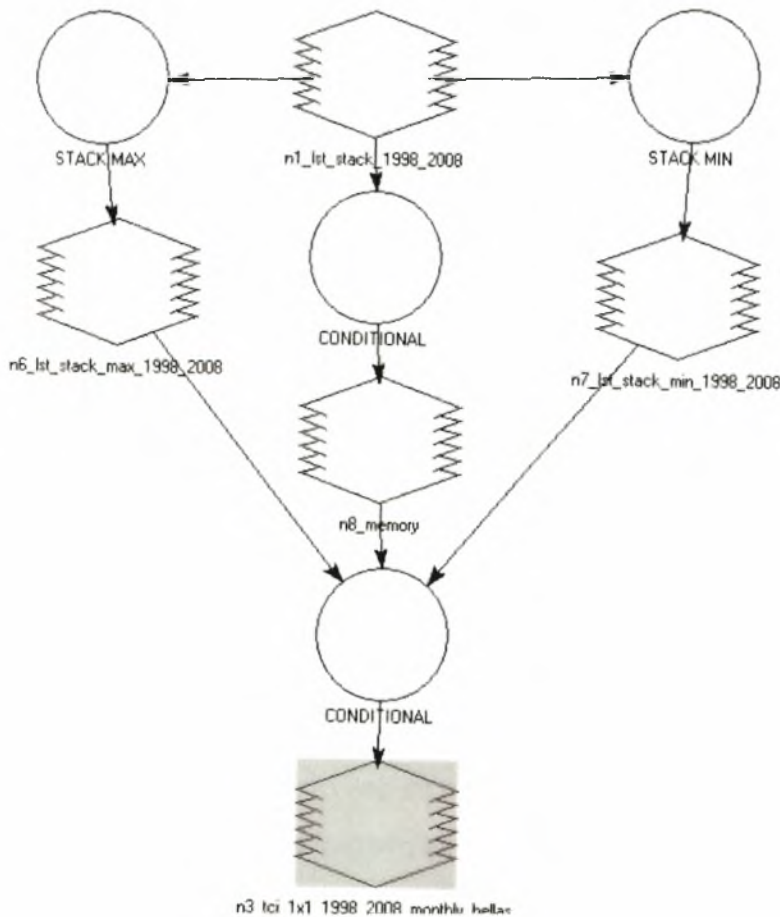
Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα είναι πλέον 0.5 °C και το εύρος των τιμών από -40 °C έως 87.5 °C (τιμή «1» και τιμή «254» σε κλίμακα του γκρι, αντίστοιχα).

Στην συνέχεια, οι εικόνες θερμοκρασίας LST υπέστησαν επεξεργασία με την εφαρμογή των κατάλληλων φίλτρων αντιστοιχών των NDVI για την εξαίρεση των νεφών και της ομαλοποίησης του θορύβου των εικόνων (κινούμενου διαμέσου).

#### **3.4.4. Υπολογισμός του Δείκτη Κατάστασης Θερμοκρασίας (Temperature Condition Index, TCI)**

Ο TCI είναι ένας δείκτης που εκτιμά την ξηρασία χρησιμοποιώντας μια πολύ σημαντική παράμετρο, την θερμοκρασία. Ο δείκτης προτάθηκε από τον Kogan και υπολογίζεται από την εξίσωση 2.24. οι τιμές που χρησιμοποιεί ως δεδομένα είναι οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές της θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους. Υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μοντέλο (Εικόνα 3.15) που κατασκευάστηκε με την βοήθεια του

model maker του προγράμματος Erdas Imagine 8.7. Η λειτουργία του μοντέλου είναι η εξής: Αρχικά εντοπίζονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές των θερμοκρασιών επιφάνειας εδάφους από τις υπολογισμένες εικόνες LST και στη συνέχεια εφαρμόζεται η εξίσωση 2.24.



Εικόνα 3.15. Μοντέλο υπολογισμού του δείκτη ξηρασίας TCI.

### 3.4.5. Υπολογισμός δείκτη ξηρασίας VHI

Ο Δείκτης Υγιούς Βλάστησης VHI υπολογίστηκε σημειακά για το μετεωρολογικό σταθμό της Λάρισας σύμφωνα με την εξίσωση 2.25 η οποία προτάθηκε από τον Kogan 2001. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούσαν τις τιμές VCI και TCI που υπολογίστηκαν μηνιαία, με χρήση δορυφορικών δεδομένων για τα υδρολογικά έτη Οκτώβριος του 1998 έως το Σεπτέμβριο του 2007. Το ποσοστό συμμετοχής του κάθε δείκτη στον υπολογισμό του VHI είναι 50% για τον κάθε ένα αντίστοιχα.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια τροποποίησης της εξίσωσης αλλάζοντας τα ποσοστά συμμετοχής του κάθε δείκτη. Το μικρότερο ποσοστό συμμετοχής κρίθηκε σκόπιμο να είναι το 30%, διότι ένα μικρότερο ποσοστό συμμετοχής καθιστά την επιρροή του δείκτη αμελητέα. Το βήμα αύξησης του ποσοστού σε κάθε μια επιπλέον προσπάθεια είναι ίσο με 10%. Τα διαφορετικά ποσοστά που εφαρμόστηκαν στη διαδικασία υπολογισμού του VHI, αποσκοπούσαν στον έλεγχο της πιθανότητας καλύτερης προσαρμογής ενός διαφορετικού ποσοστού από εκείνου που προτάθηκε από τον Kogan. Οι συνδυασμοί που χρησιμοποιήθηκαν στην προσπάθεια τροποποίησης των ποσοστών συμμετοχής παρουσιάζονται στις κάτωθι εξισώσεις (3.8 έως 3.11):

$$\diamond \quad \text{VHI} = 0,7 \text{ TCI} + 0,3 \text{ VCI} \quad (3.8)$$

$$\diamond \quad \text{VHI} = 0,6 \text{ TCI} + 0,4 \text{ VCI} \quad (3.9)$$

$$\diamond \quad \text{VHI} = 0,4 \text{ TCI} + 0,6 \text{ VCI} \quad (3.10)$$

$$\diamond \quad \text{VHI} = 0,3 \text{ TCI} + 0,7 \text{ VCI} \quad (3.11)$$

### 3.5. Δείκτης ξηρασίας Z-Index (Palmer)

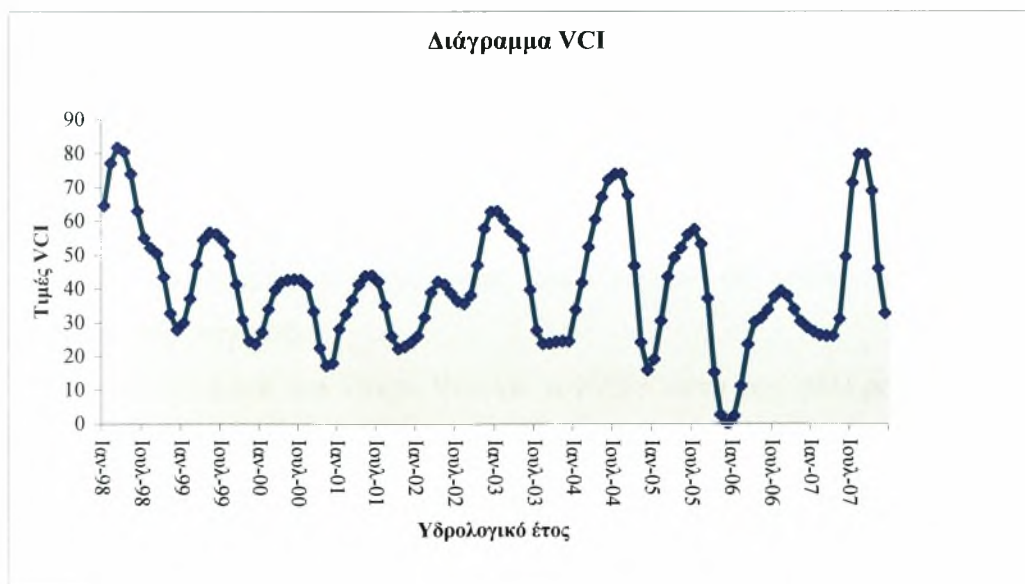
Στην εργασία αυτή, θεωρήθηκε απαραίτητο να υπολογιστεί και ένας δείκτης ξηρασίας με επίγεια δεδομένα με σκοπό τη σύγκριση των δορυφορικών δεικτών που υπολογίστηκαν με αυτόν. Για τη σύγκριση αυτή, η οποία δίνει τη δυνατότητα ελέγχου των νέων δεικτών που υπολογίστηκαν, επιλέχθηκε ένας ευρέως διαδεδομένος και αξιόπιστος δείκτης ξηρασίας ο Z-Index της μεθόδου Palmer.

Ο δείκτης αυτός, που περιγράφεται αναλυτικά στο δεύτερο κεφάλαιο, έχει υπολογιστεί και σε παλαιότερες έρευνες για τη συγκεκριμένη περιοχή επιτυχώς, αλλά για μικρότερο εύρος δεδομένων. Στην παρούσα φάση ο Z-Index υπολογίστηκε εκ νέου για ολοκληρωμένη χρονοσειρά από το 1956 έως και το 2007, με τη βοήθεια ειδικευμένου προγράμματος. Για τον υπολογισμό του χρησιμοποιήθηκαν μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας του μετεωρολογικού σταθμού της Λάρισας, κλιματικές τιμές θερμοκρασίας της περιοχής και αρχική τιμή εδαφικής υγρασίας για το συγκεκριμένο σταθμό ίση με 200 mm. Τα αποτελέσματα που αφορούσαν το χρονικό διάστημα από τον Οκτώβριο 1998 έως και το Σεπτέμβριο 2007 συγκρίθηκαν με τους υπολογισμένους δορυφορικούς δείκτες VCI και VHI.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στην παρούσα εργασία συνολικά υπολογίστηκαν τρεις δορυφορικοί δείκτες ξηρασίας (VCI, TCI και VHI) με μεθόδους Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Επίσης, υλοποιήθηκε και ο υπολογισμός του δείκτη ξηρασίας Z-Index του Palmer με επίγεια δεδομένα. Τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας συνολικά παρουσιάζονται και αναλύονται στο κεφάλαιο αυτό.

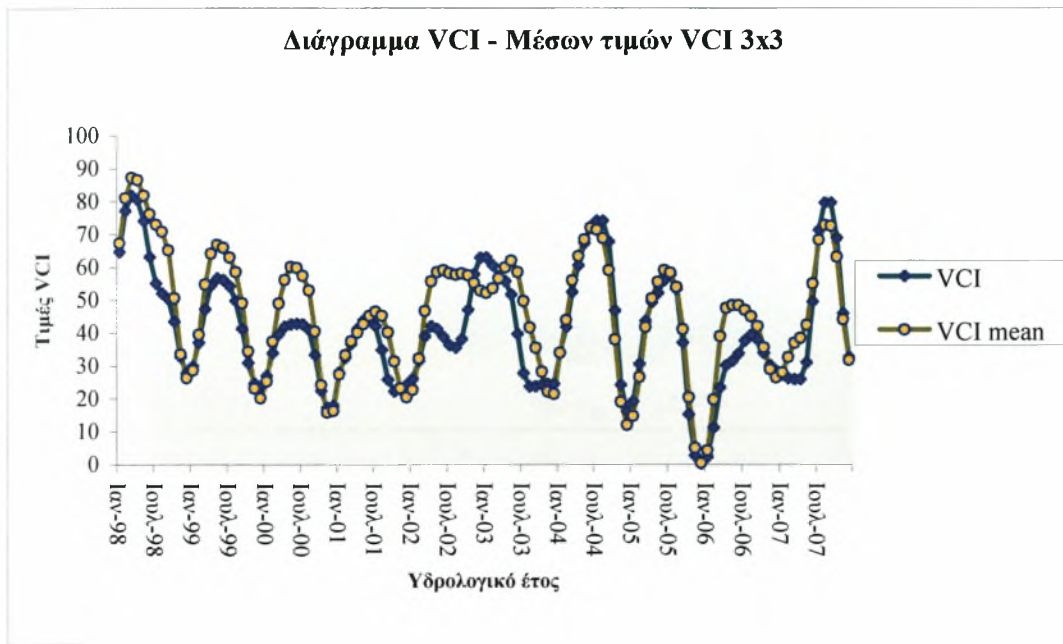
Ο δείκτης VCI όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι ένας δείκτης ο οποίος εκτιμά την ξηρασία σύμφωνα με τα δεδομένα φυτοκάλυψης. Οι τιμές του δείκτη καθώς και ο Μέσος Όρος περιμετρικά του σταθμού φαίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 1 του παραρτήματος. Στην εικόνα 4.1 απεικονίζονται διαγραμματικά οι τιμές του δείκτη σε μηνιαία βάση. Σύμφωνα με τον πίνακα κατηγοριοποίησης των τιμών του VCI ως ξηρές περιόδους θεωρούνται οι τιμές οι οποίες βρίσκονται κάτω από την τιμή 40. Για την υπό εξέταση χρονική περίοδο, ξηρασία εντοπίζεται στα υδρολογικά έτη 1999-2000, 2000-2001, 2003-2004 και τέλος στο 2005-2006. Οι πιο ακραίες τιμές σημειώνονται κατά το μήνα Δεκέμβριο του 2005 (VCI = 0), 2004 (VCI = 15,94), και του 2000 (VCI = 17,94).



Εικόνα 4.1. Μηνιαίος δείκτης VCI για την περιοχή της Λάρισας.

Η τιμές του VCI απεικονίζουν τις συνθήκες για την περιοχή της Λάρισας και συγκεκριμένα για το εικονοστοιχείο (pixel) μεγέθους 1x1 km, το οποίο βρίσκεται

πάνω από το μετεωρολογικό σταθμό της περιοχής. Στην εικόνα 4.2 γίνεται μια σύγκριση του VCI και των μέσων τιμών του VCI για απόσταση 3x3 km περιμετρικά του σταθμού. Τα αποτελέσματα σε αυτήν την περίπτωση είναι ελαφρώς διαφοροποιημένα χωρίς αξιοσημείωτες διαφορές.



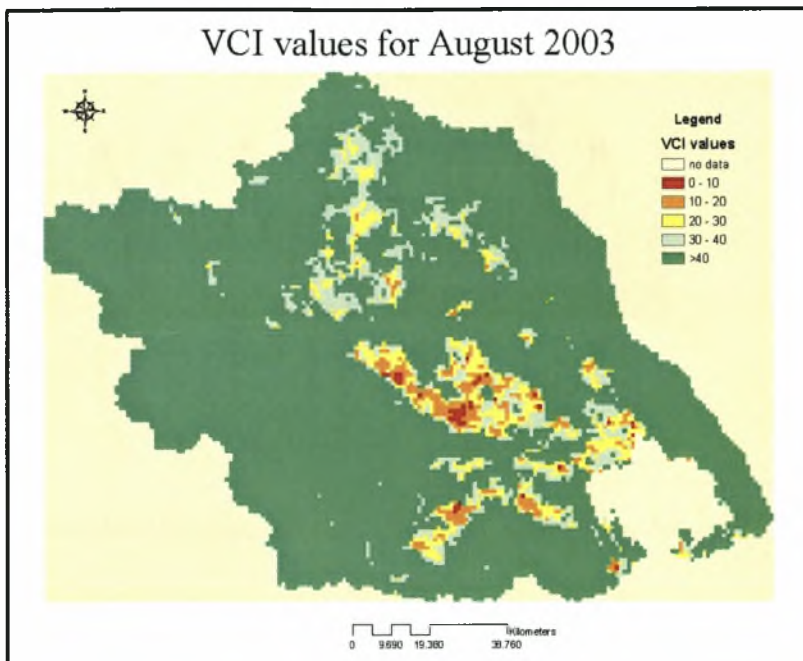
Εικόνα 4.2. Διάγραμμα σύγκρισης τιμών VCI και των μέσων τιμών VCI (3x3 km) για την περιοχή της Λάρισας.

Από το διάγραμμα παρατηρείται ότι σε ορισμένες περιπτώσεις οι τιμές του μέσου 3x3 VCI είναι υψηλότερες σε σχέση με τον ίδιο τον δείκτη εμφανίζοντας μεγαλύτερης κλίμακας υγρές συνθήκες στην περιοχή. Αυτό είναι δυνατόν να οφείλεται στην ύπαρξη αναπτυγμένων καλλιεργειών σε εικονοστοιχείο (pixel) περιμετρικά του σταθμού.

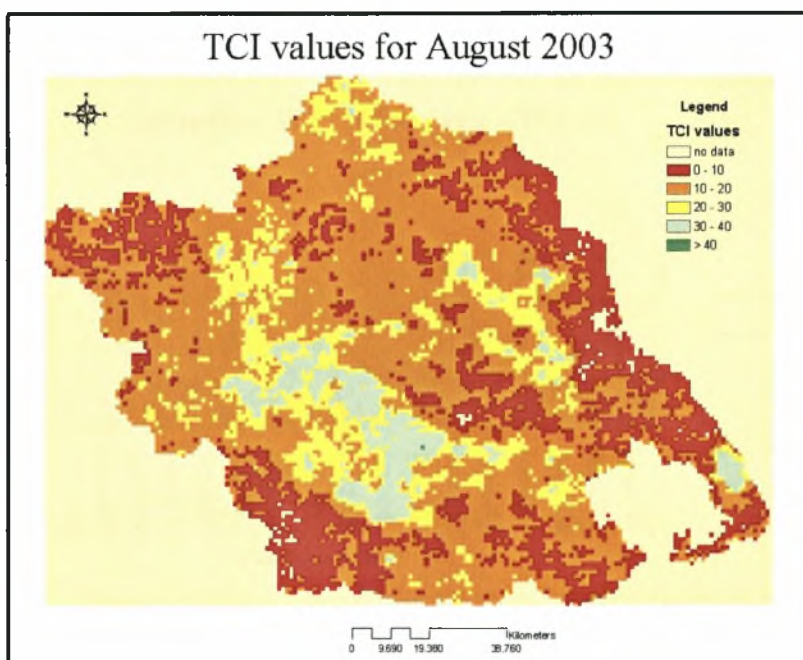
Τα αποτελέσματα του δείκτη VCI για τον Αύγουστο του 2003 παρουσιάζονται ενδεικτικά στο χάρτη της Εικόνας 4.3, όπου εμφανίζονται χωρικά οι συνθήκες ξηρασίας του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας με μέγεθος εικονοστοιχείου (pixel) 1 x1 km.

Για το ίδιο χρονικό διάστημα και την ίδια περιοχή υπολογίστηκε ο δείκτης ξηρασίας TCI. Ο χάρτης του δείκτη για τον Αύγουστο του 2003 παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.4. Τα αποτελέσματα του TCI για την περιοχή της Λάρισας εμφανίζονται στο διάγραμμα της Εικόνας 4.5.

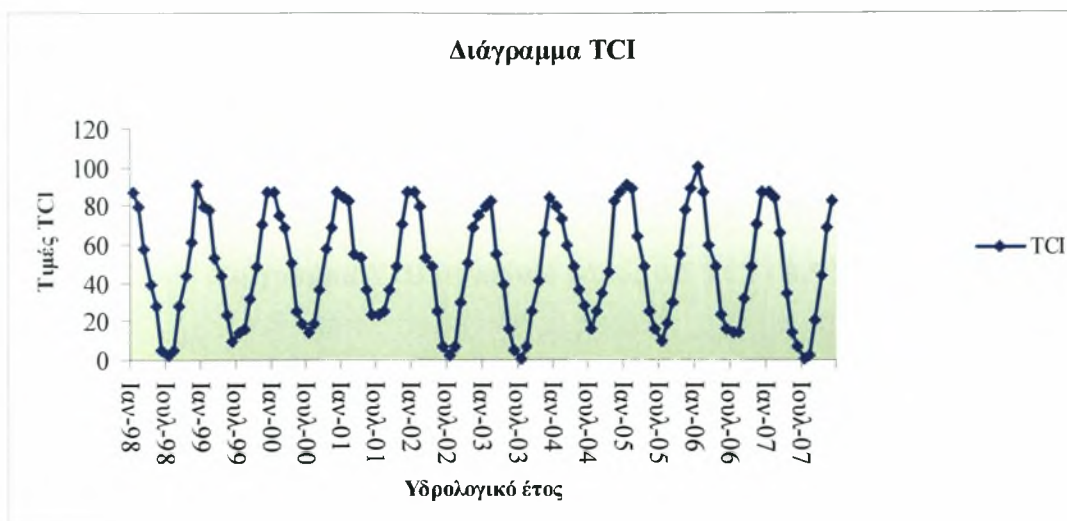




Εικόνα 4.3. Χάρτης VCI για την περιοχή της Θεσσαλίας για τον Αύγουστο 2003.

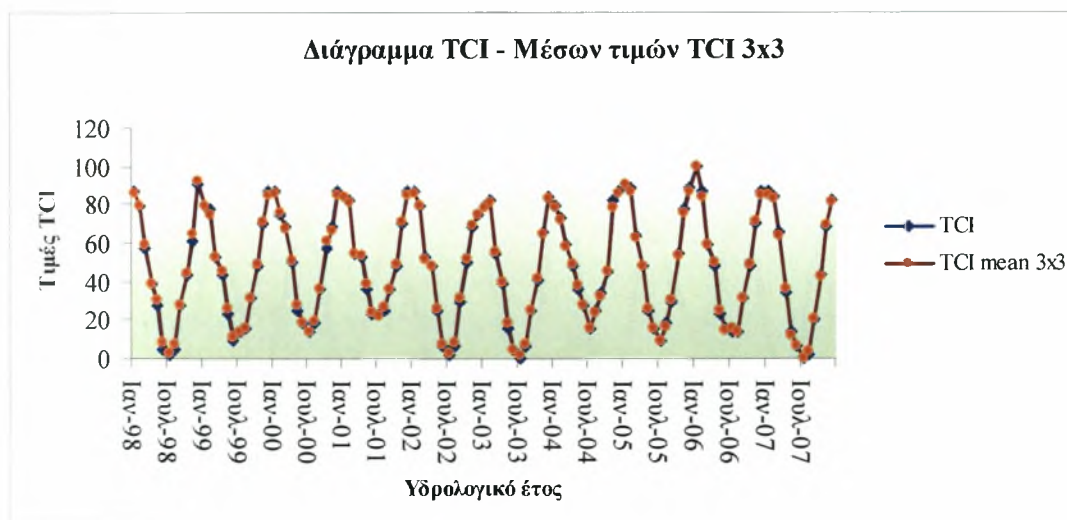


Εικόνα 4.4. Χάρτης TCI για την περιοχή της Θεσσαλίας για τον Αύγουστο 2003.



Εικόνα 4.5. Μηνιαίος δείκτης TCI για την περιοχή της Λάρισας.

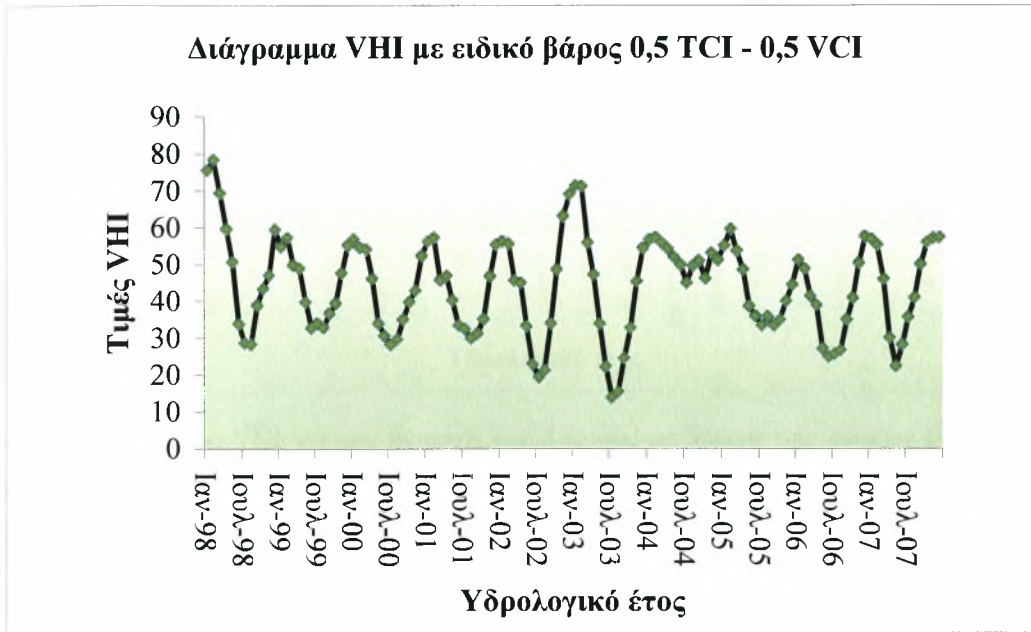
Στην Εικόνα 4.6 παρουσιάζεται η σύγκριση των τιμών TCI με τις μέσες τιμές του TCI για απόσταση 3x3 km περιμετρικά του σταθμού, οι τιμές φαίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 2 του παραρτήματος. Φαίνεται από το διάγραμμα ότι δεν υπάρχει καμία ουσιαστική διαφοροποίηση. Από τα δύο διαγράμματα του TCI είναι εμφανής η εποχική διακύμανση της θερμοκρασίας. Οι υψηλότερες τιμές τις παραμέτρου εκφράζονται με χαμηλότερο ποσοστό του δείκτη.



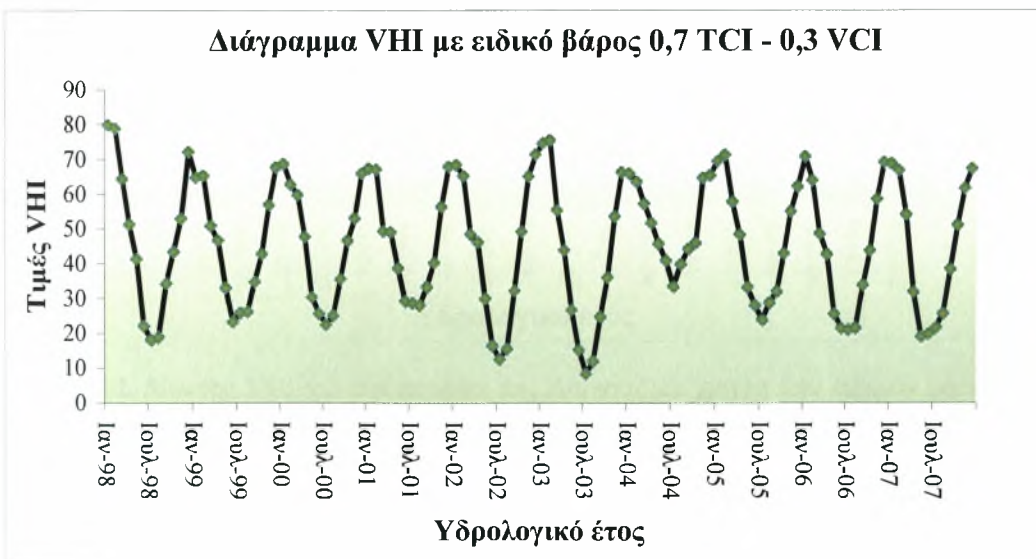
Εικόνα 4.6. Διάγραμμα σύγκρισης τιμών TCI και των μέσων τιμών TCI (3x3 km) για την περιοχή της Λάρισας.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη VHI για την περιοχή της Λάρισας με τη χρήση όλων των συνδυασμών των ειδικών βαρών VHI και TCI

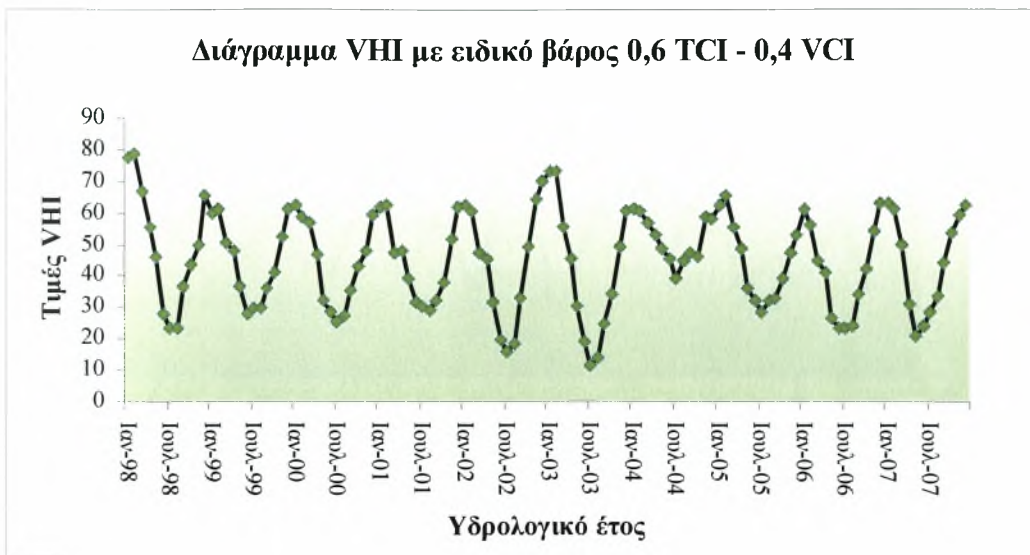
υπό την μορφή διαγραμμάτων στις εικόνες 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 και 4.11 ενώ αναλυτικά οι τιμές κάθε μήνα όλων των υδρολογικών ετών βρίσκονται στο παράρτημα στους Πίνακες 3, 4, 5, 6 και 7.



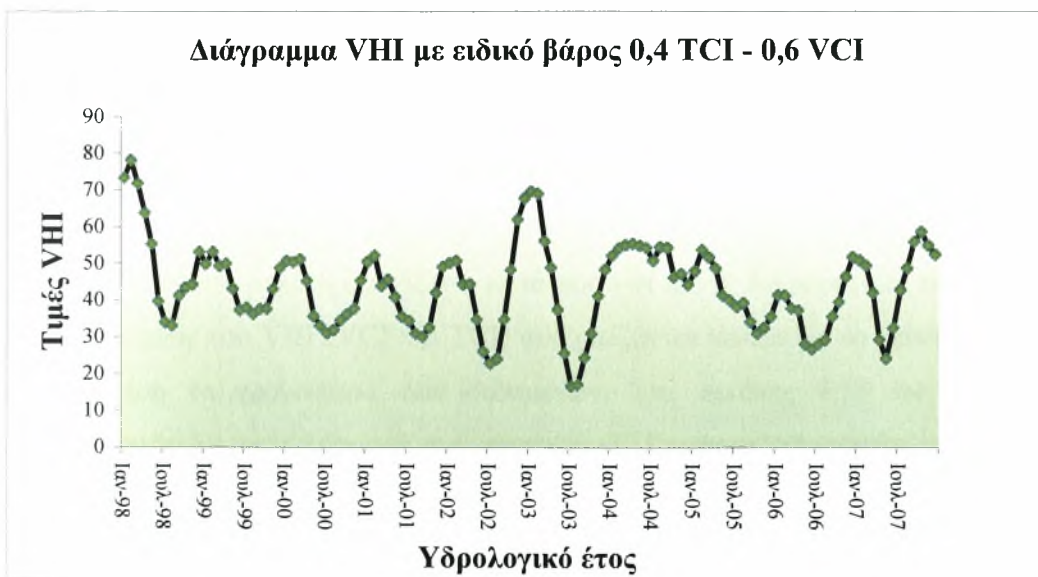
Εικόνα 4.7. Δείκτης VHI για την περιοχή της Λάρισας με χρήση των ειδικών βαρών 50% VCI και 50 % TCI.



Εικόνα 4.8. Δείκτης VHI για την περιοχή της Λάρισας με χρήση των ειδικών βαρών 70% VCI και 30 % TCI.

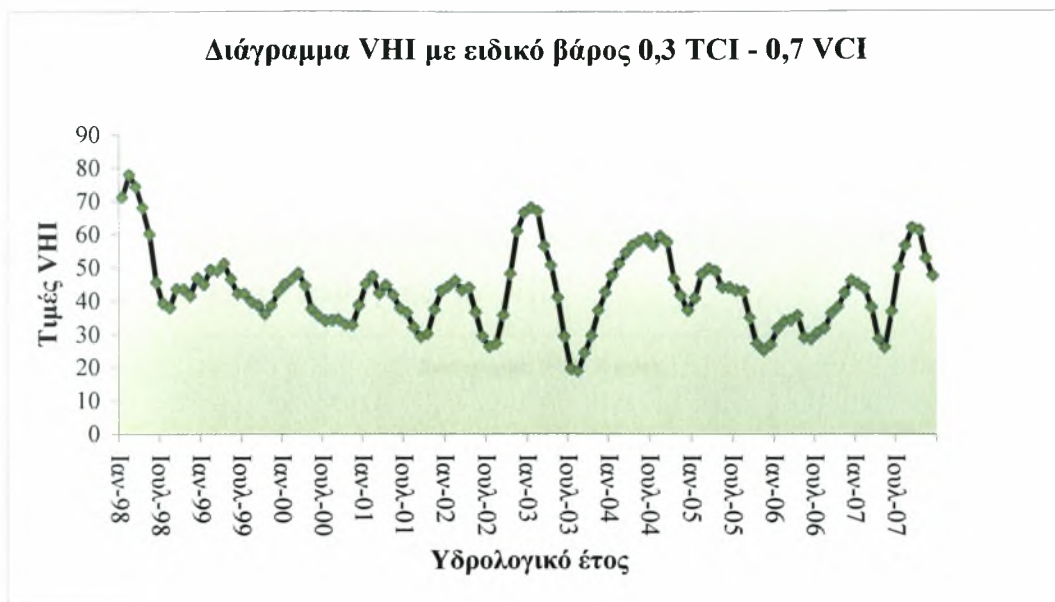


**Εικόνα 4.9.** Δείκτης VHI για την περιοχή της Λάρισας με χρήση των ειδικών βαρών 60% VCI και 40 % TCI.



**Εικόνα 4.10.** Δείκτης VHI για την περιοχή της Λάρισας με χρήση των ειδικών βαρών 40% VCI και 60 % TCI.





**Εικόνα 4.11.** Δείκτης VHI για την περιοχή της Λάρισας με χρήση των ειδικών βαρών 30% VCI και 70 % TCI.

#### 4.1. Σύγκριση των επεξεργασμένων δεικτών με τον Z-Index

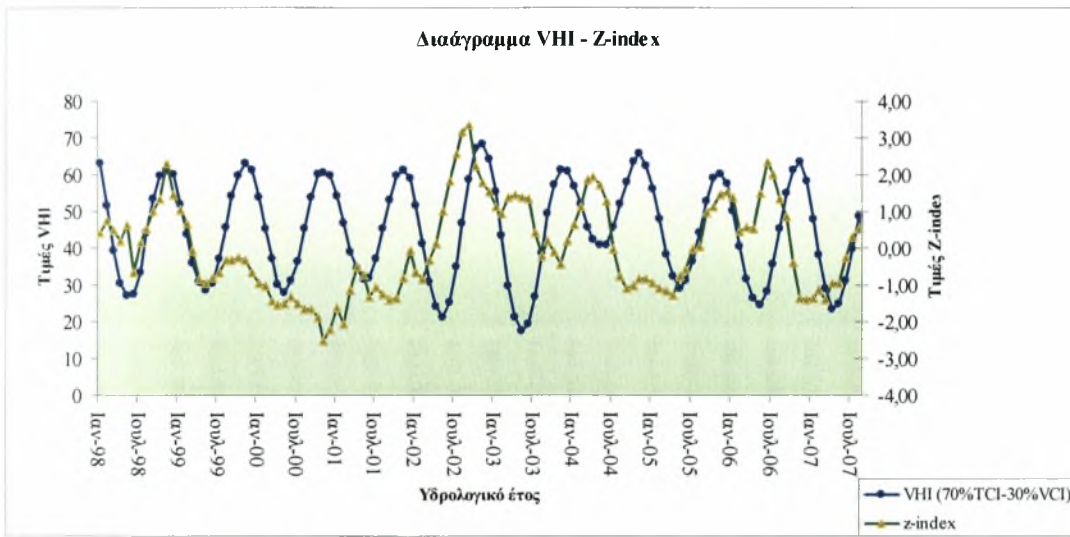
Ο Z-Index είναι ένας επίγειος δείκτης εκτίμησης ξηρασίας ο οποίος χρησιμοποιεί για τον υπολογισμό του δεδομένα υγρασίας και θερμοκρασίας και κατατάσσεται στους δείκτες εκτίμησης μετεωρολογικής ξηρασίας. Οι τιμές του δείκτη για τα υδρολογικά έτη 1998-2007 παραθέτονται στο παράρτημα στον πίνακα 8.

Στην παρούσα μελέτη εξετάζεται κατά πόσο οι πέντε διαφορετικοί συνδυασμοί των παραμέτρων του VHI (VCI και TCI) συσχετίζονται καλά με το δείκτη Z-Index για ολόκληρη τη χρονοσειρά των δεδομένων. Στις εικόνες 4.12 έως και 4.16 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συγκρίσεων. Για πραγματοποιηθεί η σύγκριση των διαφορετικών VHI και του Z-index προηγήθηκε η ομαλοποίηση των τιμών τους με την μέθοδο του κινούμενου μέσου (moving average) ( Δήμος, 2005) και έγινε η εξαγωγή του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης κάθε ομαλοποιημένης χρονοσειράς VHI. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται διαγραμματικά στον Πίνακα 4.1 ενώ οι τιμές τους παραθέτονται στους Πίνακες 9, 10, 11, 12 και 13 του παρατήματος.

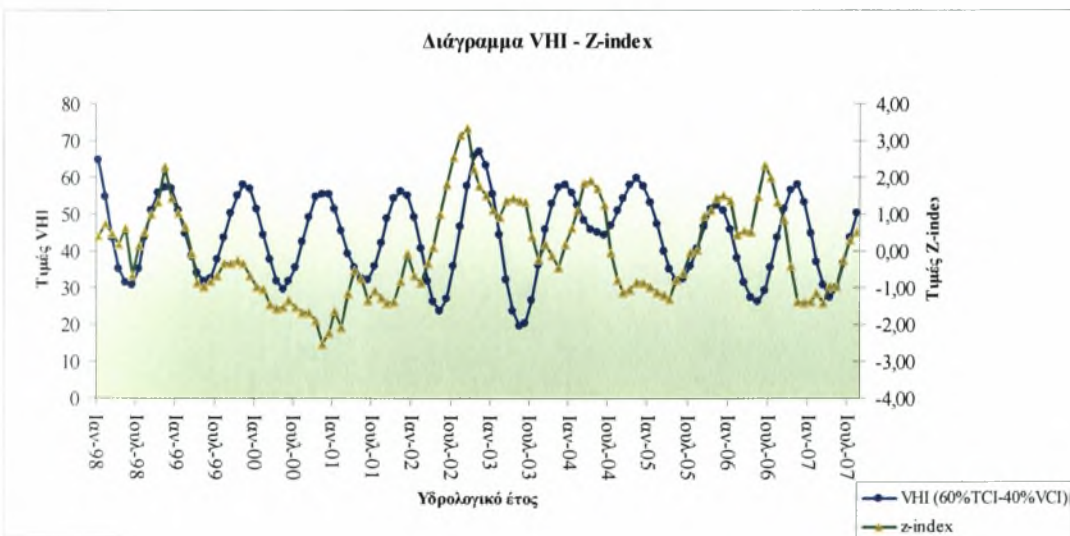
Από τα διαγράμματα φαίνεται ότι οι συνδυασμοί που έχουν ποιοτική σύμπτωση με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη Z-Index είναι εκείνοι που χρησιμοποιούν ποσοστό συμμετοχής 70% TCI και 30%VCI. Η χρονική καθυστέρηση εμφάνισης των ακραίων



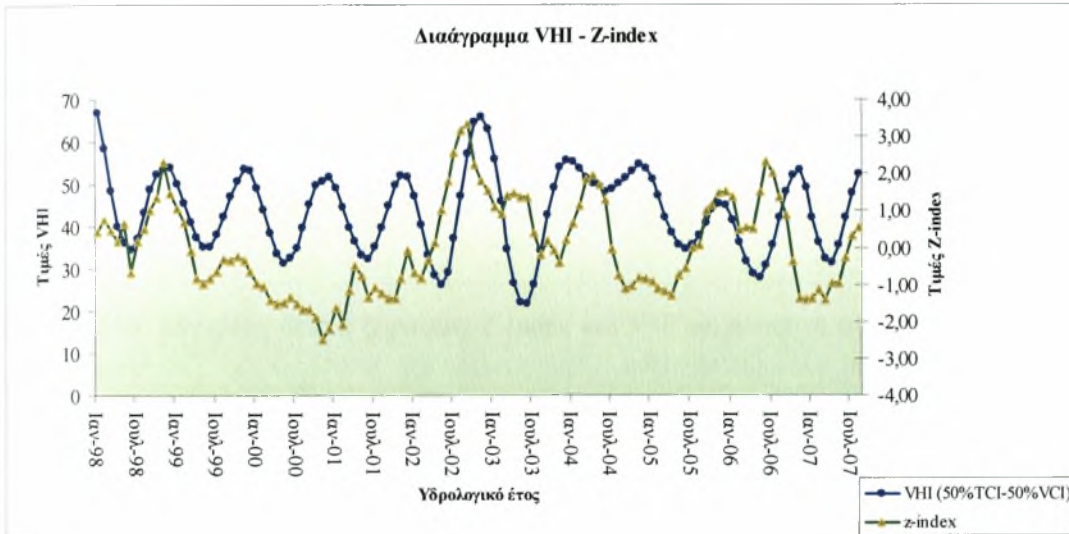
τιμών ανάμεσα στο δείκτη VCI και εξηγείται από τη διαφορετική φύση των δεικτών αυτών και τον τρόπο υπολογισμού κάθε δείκτη. Ο Z-Index είναι δείκτης μετεωρολογικής ξηρασίας και χρησιμοποιεί δεδομένα εδαφικής υγρασίας προηγούμενων μηνών, ενώ ο VHI παρουσιάζει την τρέχουσα κατάσταση ξηρασίας κάθε μήνα. Επίσης όπως φαίνεται και από τις εικόνες 4.12 -4.16 ο δείκτης TCI επιδρά σημαντικά στον τελικό υπολογισμό του VHI.



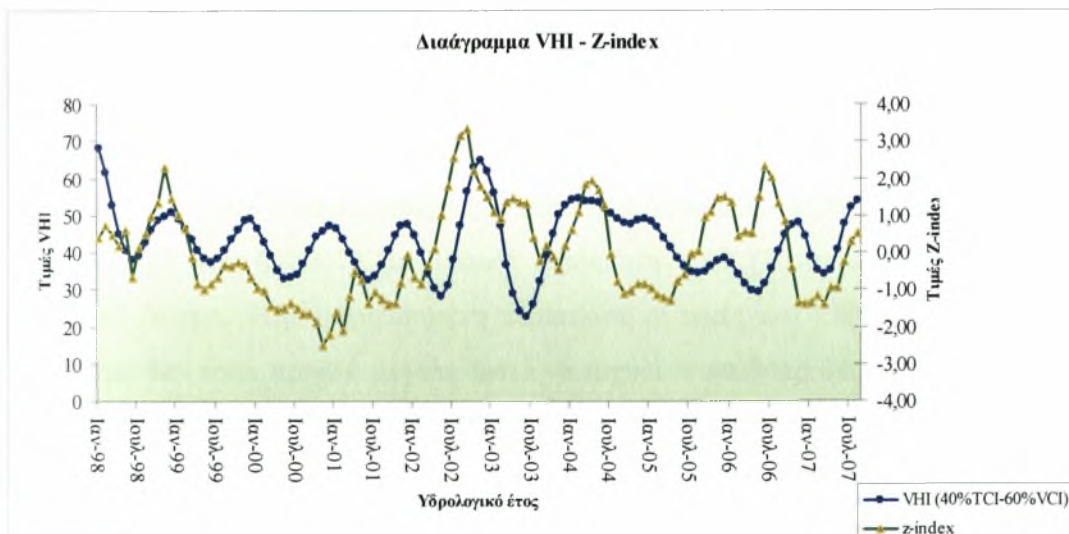
Εικόνα 4.12. Σύγκριση δείκτη ξηρασίας Z-Index και VHI με ποσοστά συμμετοχής 70%TCI και 30%VCI.



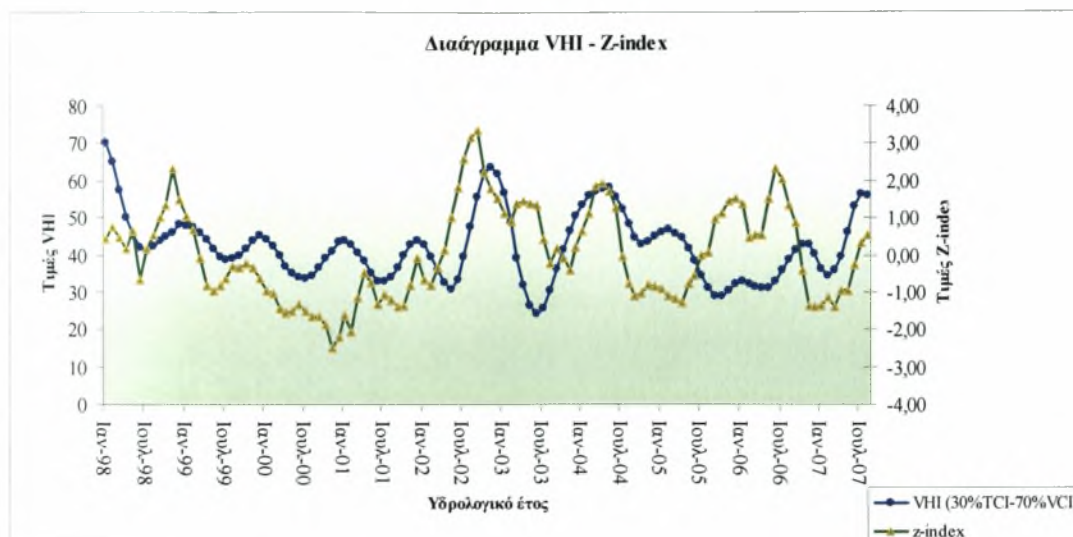
Εικόνα 4.13. Σύγκριση δείκτη ξηρασίας Z-Index και VHI με ποσοστά συμμετοχής 60%TCI και 40%VCI.



Εικόνα 4.14. Σύγκριση δείκτη ξηρασίας Z-Index και VHI με ποσοστά συμμετοχής 50%TCI και 50%VCI.



Εικόνα 4.15. Σύγκριση δείκτη ξηρασίας Z-Index και VHI με ποσοστά συμμετοχής 40%TCI και 60%VCI.



**Εικόνα 4.16.** Σύγκριση δείκτη ξηρασίας Z-Index και VHI με ποσοστά συμμετοχής 30%TCI και 70%VCI.

#### 4.2. Στατιστικός έλεγχος Τυπικής Απόκλισης και Μέσου Όρου των ποσοστιαίων συνδυασμών του VHI.

Σχετικά με την συμφωνία μεταξύ των ακραίων τιμών των δύο δεικτών, ο συνδυασμός 70% TCI και 30%VCI φαίνεται ότι παρουσιάζει μεγαλύτερες μέσες τιμές (Πίνακας 4.1.) όσον αφορά τις κατηγορίες της ξηρασίας. Για τις τιμές υγρασίας οι αποκλίσεις είναι μεγαλύτερες από αυτές των άλλων ποσοστιαίων συνδυασμών, όμως εξ'ορισμού ο VHI δεν έχει κατηγορίες διαβάθμισης όσον αφορά τις κατηγορίες υγρασίας, έτσι οποιαδήποτε σύγκριση δεν θα ήταν δόκιμη. Παρόλα αυτά αν θεωρηθεί ότι τα περισσότερα φαινόμενα στη φύση ακολουθούν κανονική κατανομή, εξετάζεται πέρα από το Μέσο Όρο και η Τυπική Απόκλιση. Με βάση την παραπάνω παραδοχή ο συνδυασμός που παρουσιάζει τη μικρότερη Τυπική Απόκλιση είναι 40%TCI και 60%VCI με Τυπική Απόκλιση 8,69 (Πίνακας 4.1.). Όμως το στατιστικό δείγμα, στην συγκεκριμένη περίπτωση οι τιμές του VHI, ανά ποσοστιαίο συνδυασμό δεν είναι αρκετά μεγάλο ώστε να ισχύει η υπόθεση ότι σε βάθος χρόνου το υπό μελέτη φαινόμενο ακολουθεί κανονική κατανομή.

**Πίνακας 4.1.** Μέσος όρος και τυπική απόκλιση ομαλοποιημένης χρονοσειράς VHI με διαφορετικά ποσοστά συμμετοχής.

VHI	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
VHI (70% TCI και 30% VCI)	44,51	13,24
VHI (60% TCI και 40% VCI)	43,92	11,09
VHI (50% TCI και 50% VCI)	42,33	9,48
VHI (40% TCI και 60% VCI)	42,73	8,70
VHI (30% TCI και 70% VCI)	42,14	8,99

### 4.3. Επισημάνσεις

Από την εφαρμογή της μεθοδολογίας προέκυψαν σημαντικά αποτελέσματα για την εκτίμηση της ξηρασίας στην περιοχή μελέτης. Εντούτοις, παρουσιάστηκαν δυσκολίες κατά τη σύγκριση των δορυφορικών και των επίγειων δεικτών και συγκεκριμένα του VHI και του Z-Index.

Το γεγονός αυτό εξηγείται αν ληφθεί υπόψη η διαφορετική φύση των δύο δεικτών. Ο VHI είναι ένας δείκτης ο οποίος για τον υπολογισμό του λαμβάνει υπόψη δεδομένα της χρονικής περιόδου την οποία εξετάζει (είναι αυτούσιος), δηλαδή δεν απαιτούνται για τον υπολογισμό του δεδομένα προηγούμενου ή επόμενου μήνα. Από την άλλη ο Z-Index για να υπολογιστεί χρησιμοποιεί τα δεδομένα υγρασίας του προηγούμενου μήνα.

Μια σημαντική διαφορά των δυο αυτών δεικτών είναι πως ο VHI λόγω του γεγονότος ότι συμπεριλαμβάνει δεδομένα βλάστησης (VCI) δεν μπορεί να αναγνωρίσει ποιες καλλιέργειες αρδεύονται και ποιες όχι. Αυτό έχει σαν συνέπεια να αλλοιώνονται σε μικρό βαθμό κάποια αποτελέσματα, ενώ ο Z-Index χρησιμοποιεί επίγεια δεδομένα εξατμισιοδιαπνοής και θερμοκρασίας.

Μια τελευταία επισήμανση για την διαφορετικότητα των δυο αυτών δεικτών είναι ότι ο Z-Index υπολογίζεται σημειακά (μετεωρολογικός σταθμός), ενώ ο VHI υπολογίζεται για το εικονοστοιχείο (pixel) πάνω από τον μετεωρολογικό σταθμό της Λάρισας το οποίο καλύπτει μια επιφάνεια 1x1 km.

Για συγκριθούν οι δύο αυτοί δείκτες χρειάστηκε να γίνει ομαλοποίηση των τιμών τους με την μέθοδο του κινούμενου μέσου (moving average). Μετά την επεξεργασία αυτή παρατηρείται μια μεγαλύτερη σύγκλιση των τιμών μεταξύ τους, παρότι δεν είναι δυνατόν να συμπέσουν οι δείκτες απόλυτα. Παρ' όλες τις διαφορές που εντοπίστηκαν ανάμεσα στους δείκτες αυτούς, ο Z-Index χρησιμοποιήθηκε για

την επαλήθευση των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας ως πιο ευρέως διαδεδομένος και αξιόπιστος δείκτης εκτίμησης ξηρασίας.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 5.1. Συμπεράσματα

Από την εφαρμογή της μεθοδολογίας για την εκτίμηση της ξηρασίας στο Υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας με τη χρήση επίγειων και δορυφορικών δεικτών προέκυψαν συμπεράσματα τα οποία αφορούν τη μεθοδολογία καθ' αυτή καθώς και τη σύγκριση των δεικτών μεταξύ τους.

Σύμφωνα με όσα μελετήθηκαν και αναλύθηκαν προκύπτει ότι η μέθοδος VHI που εφαρμόστηκε εμφανίζεται κατάλληλη στο να περιγράψει και να εκτιμήσει το φαινόμενο της ξηρασίας στην περιοχή μελέτης. Οι επιμέρους παραμέτρους της, δηλαδή ο υπολογισμός των δεικτών VCI και TCI έδειξαν ότι είναι σε θέση να μελετήσουν χωρικά την εμφάνιση ξηρασίας σε όλη την περιοχή μελέτης.

Στην παρούσα εργασία, επίσης, ερευνήθηκε η συμβολή των ποσοστών VCI και TCI κατά τον υπολογισμό του VHI εξετάζοντας αν οι συνθήκες στην περιοχή προσεγγίζονται καλύτερα από κάποιον διαφορετικό συνδυασμό των δύο δεικτών. Πραγματοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό δοκιμές αλλαγής των ειδικών βαρών της εξίσωσης 2.25 (VHI), μεταβάλλοντας το ευρέως διαδεδομένο ποσοστό του δείκτη 50%VCI – 50% TCI με διαφορετικά ποσοστά τα οποία κυμαίνονταν από το 30% στο 70% για τον κάθε δείκτη ξεχωριστά.

Για να επαληθευτούν και να εξακριβωθούν τα αποτελέσματα έγινε σύγκριση με έναν δείκτη ο οποίος είναι έγκυρος και αξιόπιστος στο να εκτιμά την ξηρασία, τον Z-Index (Palmer). Ο δείκτης αυτός συγκρίθηκε με τα διαγράμματα που προέκυψαν από κάθε διαφορετικό συνδυασμό ποσοστού των VCI και TCI και επιλέχθηκε το διάγραμμα εκείνο που παρουσίαζε καλύτερη προσαρμογή με τη χρονοσειρά του Z-index.

Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τη σύγκριση αυτή και τις επιμέρους δοκιμές ήταν ικανοποιητικά, λόγω του γεγονότος ότι βρέθηκε ένας άλλος συνδυασμός (70% TCI – 30% VCI) που θα μπορούσε να προσέγγιση την κατάσταση σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι ο συνδυασμός (50%VCI – 50% TCI). Επιπλέον, επισημάνθηκε το γεγονός της πρωθύστερης εμφάνισης ξηρασίας (ακραίων τιμών κυρίως) βάσει του Z-index συγκρίνοντας με τη χρονοσειρά επεισοδίων ξηρασίας βάσει του δείκτη VHI. Αυτό οφείλεται κυρίως στη διαφορετική φύση των δύο δεικτών εφόσον ο Z-index περιγράφει τη υδρο-μετεωρολογική ξηρασία ενώ ο δείκτης

VHI την υδρολογική ξηρασία σε αγροτικές λεκάνες απορροής καθώς βασίζεται και σε δεδομένα φυτοκάλυψης.

Από όλα τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα της σημαντικής συμβολής της Τηλεπισκόπησης και των GIS στη διαχρονική και χωρική προσέγγιση του φαινομένου της ξηρασίας σε μια περιοχή, η οποία έχει τη δυνατότητα παροχής πληροφοριών σε κάθε σημείο ενός υδατικού διαμερίσματος ακόμα και εκεί που η συλλογή δεδομένων είναι δύσκολη ή αδύνατη (μη προσβάσιμοι μετεωρολογικοί σταθμοί ή ανυπαρξία αυτών).

## **5.2. Προτάσεις**

Αν και τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας ήταν ικανοποιητικά εντούτοις υπάρχουν δυνατότητες βελτίωσης της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε. Κατά τον υπολογισμό του δείκτη υγιούς βλάστησης (VHI) έγινε μια προσπάθεια αλλαγής του ποσοστού συμμετοχής κάθε παραμέτρου (θερμοκρασίας και βλάστησης) στην εξίσωση εξαγωγής του VHI. Η αλλαγή του ποσοστού είναι θέμα μείζονος σημασίας στην αντιμετώπιση του φαινομένου της ξηρασίας. Επομένως είναι σημαντική η περαιτέρω διερεύνηση των ποσοστών συμμετοχής για την καλύτερη απόδοση των συνθηκών στην περιοχή.

Για την υλοποίηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα για το χρονικό διάστημα των δέκα ετών λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητάς τους. Η χρήση μιας πιο εκτεταμένης χρονοσειράς θα συνέβαλε στην αποτελεσματικότερη εκτίμηση και κατανόηση του φαινομένου καθώς θα παρουσίαζε τις μεταβολές και τις διακυμάνσεις των επεισοδίων ξηρασίας στην περιοχή μελέτης. Δορυφορικές εικόνες με μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα (μικρότερο μέγεθος εικονοστοιχείου ) θα ήταν περισσότερο αποτελεσματικές και θα προσέφεραν τη δυνατότητα πιο λεπτομερών και ακριβέστερων αποτελεσμάτων όσον αφορά τη χωρική μεταβλητότητα του φαινομένου.

## ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bayarjargal Y., Karnieli A., Bayasgalan M., Khudulmur S., Gandush C. and Tucker C.J. (2006). A comparative study of NOAA–AVHRR derived drought indices using change vector analysis. *Remote Sensing of Environment*, 14 p.
2. Becker F. and Li Z.L. (1990). Towards a local “split window” method over land surface. *Int. J. Rem. Sens.*, No 3, pp. 369-393.
3. Benedetti R., and Rossini P. (1993). On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics. The case study of wheat yield estimate and forecast in Emilia Romagna. *Remote Sensing of Environment*, 45, pp. 311–326.
4. Bhalme H. N. and Mooley D. A. (1980). Large-scale droughts/Floods and monsoon circulation. *Mon. Wea. Rev.*, No 108, pp. 1197-1211.
5. Dalezios N.R, Domenikiotis C., Loukas (2001). Identification procedure of severe rainstorms and hailstorms using satellite and radar data. XXVI General Assembly of the European Geophysical Society, Nice, France, 25-30 March 2001 *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 3.
6. Dalezios N.R., Loukas A., Vasiliades L. and Liakopoulos E. (2000). Severity-duration- frequency analysis of droughts and wet periods in Greece. *J. Hydrological Sciences*, 45 (5), pp. 751-769.
7. Dalezios N.R., Papazafiriou Z.G., Papamichail D.M. and Karacostas T.S. (1991). Drought assessment for the potential of precipitation enhancement in Northern Greece. *Theor. Appl. Climatol.*, 44, pp. 75-88.
8. Dracup J.A., Lee K.S. and Paulson Jr. E.G. (1980). On the definition of droughts. *Water Resour. Res.*, 16 (2), pp. 297-302.
9. Gutman G., Tarpley D., Ignatov A., and Olson S. (1995). The enhanced NOAA global land data set from the Advanced Very High Resolution Radiometer,” *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, vol. 76, no. 7, pp. 1141-1156.
10. Hayes M. J. and Decker W. L. (1996). Using NOAA AVHRR data to estimate maize production in the United States Corn Belt. *International Journal of Remote Sensing*.17, pp. 3189-3200.

11. Hayes MJ, Svodova MD, Wilhite DA, and Vanyranko O. V. (1999). Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, No. 80, pp.429-438.
12. Hayes, M. J. (cited 2000). Drought indices. [Available online at <http://enso.unl.edu/ndmc/enigma/indices.htm>.].
13. Heim Richard R. Jr. (2002). A review of twentieth-century drought indices used in the United States, American Meteorological Society.
14. Hoobs T.J. (1997). Atmospheric correction of NOAA-11 NDVI data in the arid rangelands of Central Australia. *International Journal of Remote Sensing*, 18, pp. 1051-1058.
15. Karl T. R. (1986). The sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-index to their calibration coefficients including potential evapotranspiration. *J. Clim. Appl. Meteor.*, Vol 25, pp. 77-86.
16. Keyantash J. and Dracup J. A. (2002). The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices. *Bulletin of American Meteorological Society*, pp. 1167-1180.
17. Kidwell K. B. (1994). *Global Vegetation Index User's Guide*. Washington, DC: U.S. Department of Commerce, Technical Report,
18. Kogan F.N. (1990). Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogenous areas. *International Journal of Remote Sensing*, 11, pp. 1405-1419.
19. Kogan F. N. (1994). NOAA plays leadership role in developing satellite technology for drought watch. *Earth Observation Magazine*. September, 18-21.
20. Kogan F. N., (1995a). Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76, pp. 655-668.
21. Kogan F. N. (1995b). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Adv. In Space Res.* 15, pp. 91-100.
22. Kogan F. N. (1997). Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 78, pp. 621-636.
23. Kogan F.N. (2001). Operational Space Technology for Global Vegetation Assessment. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 82 (9), pp. 1949-1964.

24. Kogan F. and Sullivan J. (1993). Development of global drought-watch system using NOAA/AVHRR data. *Adv. Space Res.* 13 (5), pp. 219-222.
25. Kothavala Z. (1997). Extreme precipitation events and the applicability of global climate models to the study of floods and droughts. *Math. Comp. Simul.* Vol. 43, pp. 261-268.
26. Kothavala Z. (1999). The duration and the severity of drought over eastern Australia simulated by a coupled ocean-atmosphere GCM with a transient increase in CO<sub>2</sub>. *Envir. Modell. Software*, Vol. 14, pp. 243-252.
27. Laporte N., Justice C. O., and Kendall S. (1995). Mapping the dense humid forest of Cameroon and Zaire using AVHRR satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 16, pp. 1127-1145.
28. Lohani V.K. and Loganathan G.V. (1997). An early warning system for drought management using the Palmer Drought Index. *J. Am. Water Resour. Ass.*, Vol. 33 (6), pp. 1375-1386.
29. Los S. O., Justice C. O., and Tucker C. J. (1994). A global 1 by 1 degree NDVI data set for Climate studies derived from GIMMS continental NDVI data. *International Journal of Remote Sensing*, 15, pp. 3493-3518.
30. Louie P.Y.T. (1986). An operational Palmer Drought Severity Index. Program for Canadian Synoptic Stations. Proceedings, Can. Hydrology Symposium (CHS86), Regina, Sask., 3-6 June, pp. 101-112.
31. Loukas A., Vasiliades L. and Dalezios N.R. (2002). Hydroclimatic variability of regional droughts in Greece using the Palmer Moisture Anomaly Index. *Nordic Hydrology*, 33 (5), pp. 425-442.
32. Maiden M. E., and Grego S. (1994). NASA's Pathfinder Data Set Program: land surface parameters. *International Journal of Remote Sensing*, 15, pp. 3333-3345.
33. Matthai H.F. (1979). Hydrologic and human aspects of the 1976-77 drought: U.S. Geological Survey Professional Paper 1130, 84 p.
34. McKee TB, Doeskin NJ, Kleist J (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Proceedings of the eighth conference on applied climatology, Anaheim, CA, January 17-23, 1993, American Meteorological Society Boston MA, pp. 179-184.



35. Ohring G., Gallo K., G rubber A., Planet L., Stowe L., Tarpley J.D. (1989). Climate and global change-Characteristics of NOAA satellite data. EOS, Vol. 70, pp. 889-901
36. Oladipo E. O. (1985). A comparative performance analysis of three meteorological drought indices. J. Climatol., Vol. 5, pp. 655-664.
37. Palmer W.C. (1965). Meteorological Drought. U.S. Weather Bureau, Res. Paper No 45, 58 p.
38. Palmer W.C. (1968). Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new Crop Moisture Index. Weatherwise 21, pp. 156-161.
39. Pongracz R., Bogardi I. and Duckstein L. (1999). Application of fuzzy rule-based modeling technique to regional drought. J. Hydrol., Vol. 224: 100-114.
40. Prout N., Dalezios N., Manore M., Tracey J., Brown R. and Walker G. (1986). Agricultural Drought: Precipitation deficiency and NOAA AVHRR indices comparisons. Proceedings, Can. Hydrology Symposium (CHS86), Regina, Sask., 3-6 June, pp. 91-100.
41. Rossi G., Benedini M., Tsakiris G. and Giakoumakis S. (1992). On the regional drought estimation and analysis. Water Resources Management, Vol. 6, No 4, pp. 249-277.
42. Scian B. and Donnari M. (1997). Retrospective analysis of the Palmer Drought Severity Index in the semi-arid pampas region, Argentina. Inter. J. Climat., Vol. 17 (3), pp. 313-322.
43. Sellers P. J. (1985). Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration. International Journal of Remote Sensing, 6, pp. 1335-1372.
44. Shafer B.A. and Dezman L.E. (1982). Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. Proceedings of the Western Snow Conference, pp. 164-175.
45. Steinemann A., Hayes M.J. and Cavalcanti L (2005). Drought Indicators and Triggers. In Wilhite D. (ed.) Drought and Water Crises, Science Technology and Management Issues, Marcer Dekker Publ., pp 71-90.
46. Szinell C.S., Bussay A. and Szentimrey T. (1998). Drought tendencies in Hungary. Inter. J. Climat., Vol. 18 (3): 1479-1491.
47. Tannehill I. R. (1947). Drought: Its Causes and Effects. Princeton University Press, 264 p.

48. Thenkabail P. S., Gamage M.S.D.N. and Smakhin V.U. (2004). The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in Southeast Asia. Research Report 85. IWMI Colombo Sri Lanka. International Water management Institute. 27 p.
49. Thornthwaite C. W. and Mather J. R. (1955). The water budget and its use in irrigation. *Water-Yearbook of Agriculture 1955*, A. Stefferud, Ed., U.S. Dept. of Agriculture, pp. 346-358.
50. Tsakiris G, Vangelis H (2005). Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *Eur Water* 9-10, pp. 1-9.
51. Tsiros E., Domenikiotis C., Spiliotopoulos M. and Dalezios N.R. (2004). Use of NOAA/AVHRR-Based Vegetation Condition Index (VCI) and Temperature Condition Index (TCI) for Drought Monitoring in Thessaly, Greece. International Symposium on Water Resources Management: Risks and Challenges for the 21<sup>st</sup> Century, Ismir, Turkey, 2-4 September 2004, pp. 769-782.
52. Tsiros E., Domenikiotis C., Kanellou E., Dalezios N.R. and Tzortzios S. (2008). Identification of Water Limited Growth Environment Zones Using NOAA/AVHRR Data. 4th International Conference on Information and Communication Technologies in Bio and Earth Sciences (HAICTA 2008), September 18-20, 2008, Athens, Greece, pp. 150-155.
53. Tucker C. J. and Choudhury B. J. (1987). Satellite remote sensing of drought conditions. *Remote Sensing of Environment*. 23, pp. 243-251.
54. Van de Griend A.A. and Owe M. (1993). On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. *Int. J. Rem. Sens.*, No 14, pp. 1119-1137.
55. Wilhite D.A. (Ed.) (2005). *Drought and Water Crises: Science, Technology and Management Issues*. CRC Press and Taylor and Francis, NY, 406 p.
56. Wilhite D.A. and Glantz M.H. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International* 10(3), pp.111–120.
57. Willeke G., Hosking J.R.M., Wallis J.R. and Guttman N.B. (1994). *The National Drought Atlas*. Institute for Water Resources Report 94–NDS–4, U.S. Army Corps of Engineers
58. World Meteorological Organization (1975). *Drought and agriculture*. WMO Note 138, Publ. WMO-392, Geneva, Switzerland, 127 p.

## ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γκούμας Κ. (1996). Η διαχείριση των υδατικών πόρων στη Θεσσαλία και η λειτουργία του θεσμικού πλαισίου (Ν. 1739/87). Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου «Εγγειοβελτιωτικά Έργα-Διαχείριση Υδατικών Πόρων-Εκμηχάνιση Γεωργίας», Λάρισα Α': 104-131.
2. Δαλέζιος Ρ.Ν. (2004). Περιβαλλοντική Τηλεπισκόπηση. Πανεπιστημιακές εκδόσεις. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
3. Δαλέζιος Ρ.Ν., και Π. Πρίνος (2004). Ένταση και έκταση της ξηρασίας στην κεντρική και βόρεια Ελλάδα με τη χρήση του δείκτη Palmer (PDSI). Ερημοποίηση – Επιστημονικές εργασίες Ελλήνων συγγραφέων: 732.
4. Δήμος Γ. (2005). Βιοστατιστική. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Θεσσαλίας.
5. Ελλάδα. Πρακτικά συνεδρίου “*Λειψυδρία και πλημμύρες*”,
6. Ζαραγκότας Χ. (2005). Πιθανοθεωρητική χρονική και χωρική ανάλυση ξηρασίας και διερεύνηση της σχέσης μετεωρολογικής και υδρολογικής ξηρασίας στη Θεσσαλία. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Διαχείρισης Αγροτικού Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
7. Θεσσαλονίκη
8. Μερτικός Σ.Π. (1999). Τηλεπισκόπηση και ψηφιακή ανάλυση εικόνας (Αθήνα: ΙΩΝ).
9. Μιχολίτσης Γ.Α. (2002). Σημειώσεις εργαστηρίου Φυσικής. Πανεπιστημιακές εκδόσεις. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
10. Μουτσούλας Μ. (1993). Εισαγωγή στην Τηλεανίχνευση. Εκπαιδευτικές σημειώσεις, ΕΛΚΕΠΑ.
11. Μπαλούτσος Γ. (1992). Εκτίμηση Μετεωρολογικής Ξηρασίας στην
12. Πέππας Α. (2001). Προσομοίωση υδατικών πόρων και χρήσεων νερού στη Θεσσαλία. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.

13. Τζαμπύρας Ι. (2005). Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην ένταση ξηρασίας στις λεκάνες απορροής του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Διαχείρισης Αγροτικού Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
14. Τσακίρης, Γ. (1995). Υδατικοί πόροι: Ι Τεχνική Υδρολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

- Π 1. Τιμές του δείκτη VCI και του μέσου όρου του VCI για 3x3 km περιμετρικά του σταθμού της Λάρισας.
- Π 2. Τιμές του δείκτη TCI και του μέσου όρου του TCI για 3x3 km περιμετρικά του σταθμού της Λάρισας.
- Π 3. Τιμές του δείκτη VHI (70% TCI και 30% VCI).
- Π 4. Τιμές του δείκτη VHI (60% TCI και 40% VCI).
- Π 5. Τιμές του δείκτη VHI (50% TCI και 50% VCI).
- Π 6. Τιμές του δείκτη VHI (40% TCI και 60% VCI).
- Π 7. Τιμές του δείκτη VHI (30% TCI και 70% VCI).
- Π 8. Τιμές του δείκτη Z-Index.
- Π 9. Ομαλοποιημένες τιμές του VHI (70% TCI και 30% VCI).
- Π 10. Ομαλοποιημένες τιμές του VHI (60% TCI και 40% VCI).
- Π 11. Ομαλοποιημένες τιμές του VHI (50% TCI και 50% VCI).
- Π 12. Ομαλοποιημένες τιμές του VHI (40% TCI και 60% VCI).
- Π 13. Ομαλοποιημένες τιμές του VHI (30% TCI και 70% VCI).



➤ Π 1. Τιμές του δείκτη VCI και του μέσου όρου του VCI για 3x3 km  
περιμετρικά του σταθμού της Λάρισας.

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VCI	VCI MEAN 3X3
1998-1999	Οκτώβριος 1998	43.45	50.62
	Νοέμβριος 1998	32.73	33.52
	Δεκέμβριος 1998	27.84	26.32
	Ιανουάριος 1999	29.89	28.68
	Φεβρουάριος 1999	37.03	39.55
	Μάρτιος 1999	47.24	54.74
	Απρίλιος 1999	54.44	64.00
	Μάιος 1999	56.52	66.78
	Ιούνιος 1999	56.08	65.89
	Ιούλιος 1999	54.17	62.88
	Αύγουστος 1999	49.74	58.48
	Σεπτέμβριος 1999	41.29	49.01
1999-2000	Οκτώβριος 1999	30.84	34.38
	Νοέμβριος 1999	24.58	23.15
	Δεκέμβριος 1999	23.64	20.18
	Ιανουάριος 2000	26.93	25.32
	Φεβρουάριος 2000	33.86	37.41
	Μάρτιος 2000	39.66	48.90
	Απρίλιος 2000	41.91	56.02
	Μάιος 2000	42.63	59.99
	Ιούνιος 2000	42.78	59.72
	Ιούλιος 2000	42.60	57.30
	Αύγουστος 2000	40.93	52.88
	Σεπτέμβριος 2000	33.29	40.48
2000-2001	Οκτώβριος 2000	22.40	24.17
	Νοέμβριος 2000	17.21	15.88
	Δεκέμβριος 2000	17.90	16.32
	Ιανουάριος 2001	28.00	27.39
	Φεβρουάριος 2001	32.37	33.28
	Μάρτιος 2001	36.59	37.55
	Απρίλιος 2001	41.18	40.14
	Μάιος 2001	43.78	42.68
	Ιούνιος 2001	43.90	45.18
	Ιούλιος 2001	42.03	46.48
	Αύγουστος 2001	34.81	45.15
	Σεπτέμβριος 2001	25.82	40.22

Π 1. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VCI	VCI MEAN 3X3
2001-2002	Οκτώβριος 2001	22.22	31.35
	Νοέμβριος 2001	22.86	23.20
	Δεκέμβριος 2001	24.12	20.50
	Ιανουάριος 2002	25.95	22.66
	Φεβρουάριος 2002	31.46	32.22
	Μάρτιος 2002	38.90	46.68
	Απρίλιος 2002	42.03	55.58
	Μάιος 2002	41.18	58.37
	Ιούνιος 2002	38.71	58.94
	Ιούλιος 2002	36.29	58.12
	Αύγουστος 2002	35.51	57.64
	Σεπτέμβριος 2002	38.06	58.00
2002-2003	Οκτώβριος 2002	46.95	57.40
	Νοέμβριος 2002	57.68	55.07
	Δεκέμβριος 2002	62.68	52.81
	Ιανουάριος 2003	62.80	52.10
	Φεβρουάριος 2003	60.39	53.45
	Μάρτιος 2003	57.00	56.44
	Απρίλιος 2003	55.56	59.84
	Μάιος 2003	51.57	61.81
	Ιούνιος 2003	39.61	58.35
	Ιούλιος 2003	27.66	49.63
	Αύγουστος 2003	23.67	41.62
	Σεπτέμβριος 2003	23.79	35.49
2003-2004	Οκτώβριος 2003	24.28	28.16
	Νοέμβριος 2003	24.46	22.09
	Δεκέμβριος 2003	24.46	21.44
	Ιανουάριος 2004	33.73	33.90
	Φεβρουάριος 2004	41.73	43.87
	Μάρτιος 2004	52.29	55.82
	Απρίλιος 2004	60.40	63.14
	Μάιος 2004	67.09	68.31
	Ιούνιος 2004	72.21	71.83
	Ιούλιος 2004	73.91	71.25
	Αύγουστος 2004	73.91	68.65
	Σεπτέμβριος 2004	67.57	58.95

Π 1. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VCI	VCI MEAN 3X3
2004-2005	Οκτώβριος 2004	46.74	38.02
	Νοέμβριος 2004	24.09	19.00
	Δεκέμβριος 2004	15.94	12.01
	Ιανουάριος 2005	19.11	14.67
	Φεβρουάριος 2005	30.43	26.52
	Μάρτιος 2005	43.57	41.70
	Απρίλιος 2005	49.18	50.43
	Μάιος 2005	52.05	55.39
	Ιούνιος 2005	55.89	58.91
	Ιούλιος 2005	57.49	58.22
	Αύγουστος 2005	53.17	53.80
	Σεπτέμβριος 2005	37.05	41.08
2005-2006	Οκτώβριος 2005	15.19	20.41
	Νοέμβριος 2005	2.57	5.02
	Δεκέμβριος 2005	0.00	0.35
	Ιανουάριος 2006	2.20	4.23
	Φεβρουάριος 2006	11.11	19.68
	Μάρτιος 2006	23.40	38.91
	Απρίλιος 2006	30.07	47.46
	Μάιος 2006	31.40	48.38
	Ιούνιος 2006	33.70	48.36
	Ιούλιος 2006	37.56	46.96
	Αύγουστος 2006	39.37	44.98
	Σεπτέμβριος 2006	37.88	41.98
2006-2007	Οκτώβριος 2006	33.80	35.56
	Νοέμβριος 2006	30.13	28.91
	Δεκέμβριος 2006	28.50	26.44
	Ιανουάριος 2007	27.17	27.98
	Φεβρουάριος 2007	26.15	32.55
	Μάρτιος 2007	25.89	36.96
	Απρίλιος 2007	25.86	38.42
	Μάιος 2007	30.92	42.37
	Ιούνιος 2007	49.40	54.92
	Ιούλιος 2007	71.14	68.19
	Αύγουστος 2007	79.47	72.70
	Σεπτέμβριος 2007	79.47	72.39

**Π 2.** Τιμές του δείκτη TCI και του μέσου όρου του TCI για 3x3 km περιμετρικά του σταθμού της Λάρισας.

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	TCI	TCI MEAN 3X3
1998-1999	Οκτώβριος 1998	43.18	43.96
	Νοέμβριος 1998	61.36	64.55
	Δεκέμβριος 1998	90.91	92.71
	Ιανουάριος 1999	79.55	79.65
	Φεβρουάριος 1999	77.27	75.14
	Μάρτιος 1999	52.27	52.51
	Απρίλιος 1999	43.18	45.21
	Μάιος 1999	22.73	25.85
	Ιούνιος 1999	9.09	10.79
	Ιούλιος 1999	13.64	13.55
	Αύγουστος 1999	15.91	15.82
	Σεπτέμβριος 1999	31.82	31.15
1999-2000	Οκτώβριος 1999	47.73	49.25
	Νοέμβριος 1999	70.45	71.10
	Δεκέμβριος 1999	86.36	84.93
	Ιανουάριος 2000	86.36	86.18
	Φεβρουάριος 2000	75.00	75.88
	Μάρτιος 2000	68.18	67.09
	Απρίλιος 2000	50.00	50.75
	Μάιος 2000	25.00	27.37
	Ιούνιος 2000	18.18	18.83
	Ιούλιος 2000	13.64	13.57
	Αύγουστος 2000	18.18	19.58
	Σεπτέμβριος 2000	36.36	35.68
2000-2001	Οκτώβριος 2000	56.82	60.54
	Νοέμβριος 2000	68.18	66.83
	Δεκέμβριος 2000	86.36	84.93
	Ιανουάριος 2001	84.09	83.68
	Φεβρουάριος 2001	81.82	80.92
	Μάρτιος 2001	54.55	54.02
	Απρίλιος 2001	52.27	53.76
	Μάιος 2001	36.36	38.43
	Ιούνιος 2001	22.73	23.60
	Ιούλιος 2001	22.73	22.60
	Αύγουστος 2001	25.00	26.36
	Σεπτέμβριος 2001	36.36	36.43

Π 2. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	TCI	TCI MEAN 3X3
2001-2002	Οκτώβριος 2001	47.73	49.25
	Νοέμβριος 2001	70.45	71.10
	Δεκέμβριος 2001	86.36	84.93
	Ιανουάριος 2002	86.36	86.18
	Φεβρουάριος 2002	79.55	79.40
	Μάρτιος 2002	52.27	51.76
	Απρίλιος 2002	47.73	47.72
	Μάιος 2002	25.00	26.12
	Ιούνιος 2002	6.82	7.02
	Ιούλιος 2002	2.27	3.00
	Αύγουστος 2002	6.82	8.53
	Σεπτέμβριος 2002	29.55	31.13
2002-2003	Οκτώβριος 2002	50.00	51.50
	Νοέμβριος 2002	68.18	68.84
	Δεκέμβριος 2002	75.00	74.37
	Ιανουάριος 2003	79.55	78.90
	Φεβρουάριος 2003	81.82	81.16
	Μάρτιος 2003	54.55	55.02
	Απρίλιος 2003	38.64	39.68
	Μάιος 2003	15.91	18.07
	Ιούνιος 2003	4.55	4.75
	Ιούλιος 2003	0.00	1.75
	Αύγουστος 2003	6.82	7.27
	Σεπτέμβριος 2003	25.00	25.38
2003-2004	Οκτώβριος 2003	40.91	41.21
	Νοέμβριος 2003	65.91	64.32
	Δεκέμβριος 2003	84.09	82.67
	Ιανουάριος 2004	79.55	78.14
	Φεβρουάριος 2004	72.73	72.11
	Μάρτιος 2004	59.09	58.54
	Απρίλιος 2004	47.73	48.99
	Μάιος 2004	36.36	38.18
	Ιούνιος 2004	27.27	27.63
	Ιούλιος 2004	15.91	15.32
	Αύγουστος 2004	25.00	24.37
	Σεπτέμβριος 2004	34.09	31.90



Π 2. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	TCI	TCI MEAN 3X3
2004-2005	Οκτώβριος 2004	45.45	45.48
	Νοέμβριος 2004	81.82	78.65
	Δεκέμβριος 2004	86.36	86.19
	Ιανουάριος 2005	90.91	90.46
	Φεβρουάριος 2005	88.64	86.69
	Μάρτιος 2005	63.64	63.06
	Απρίλιος 2005	47.73	47.72
	Μάιος 2005	25.00	26.12
	Ιούνιος 2005	15.91	15.58
	Ιούλιος 2005	9.09	9.29
	Αύγουστος 2005	18.18	16.58
	Σεπτέμβριος 2005	29.55	30.15
2005-2006	Οκτώβριος 2005	54.55	53.53
	Νοέμβριος 2005	77.27	75.63
	Δεκέμβριος 2005	88.64	87.20
	Ιανουάριος 2006	100.00	100.00
	Φεβρουάριος 2006	86.36	83.94
	Μάρτιος 2006	59.09	59.29
	Απρίλιος 2006	47.73	50.25
	Μάιος 2006	22.73	25.11
	Ιούνιος 2006	15.91	15.07
	Ιούλιος 2006	13.64	15.32
	Αύγουστος 2006	13.64	14.07
	Σεπτέμβριος 2006	31.82	31.15
2006-2007	Οκτώβριος 2006	47.73	49.25
	Νοέμβριος 2006	70.45	71.10
	Δεκέμβριος 2006	86.36	84.93
	Ιανουάριος 2007	86.36	85.19
	Φεβρουάριος 2007	84.09	82.66
	Μάρτιος 2007	65.91	64.07
	Απρίλιος 2007	34.09	35.92
	Μάιος 2007	13.64	11.80
	Ιούνιος 2007	6.82	6.01
	Ιούλιος 2007	0.00	0.25
	Αύγουστος 2007	2.27	3.25
	Σεπτέμβριος 2007	20.45	20.59

Π 3. Τιμές του δείκτη VHI (70% TCI και 30% VCI)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΕΣ	VHI (70% TCI ΚΑΙ 30% VCI)
1998-1999	Οκτώβριος 1998	43.26
	Νοέμβριος 1998	52.77
	Δεκέμβριος 1998	71.99
	Ιανουάριος 1999	64.65
	Φεβρουάριος 1999	65.20
	Μάρτιος 1999	50.76
	Απρίλιος 1999	46.56
	Μάιος 1999	32.87
	Ιούνιος 1999	23.19
	Ιούλιος 1999	25.80
	Αύγουστος 1999	26.06
	Σεπτέμβριος 1999	34.66
1999-2000	Οκτώβριος 1999	42.66
	Νοέμβριος 1999	56.69
	Δεκέμβριος 1999	67.55
	Ιανουάριος 2000	68.53
	Φεβρουάριος 2000	62.66
	Μάρτιος 2000	59.62
	Απρίλιος 2000	47.57
	Μάιος 2000	30.29
	Ιούνιος 2000	25.56
	Ιούλιος 2000	22.33
	Αύγουστος 2000	25.01
	Σεπτέμβριος 2000	35.44
2000-2001	Οκτώβριος 2000	46.49
	Νοέμβριος 2000	52.89
	Δεκέμβριος 2000	65.83
	Ιανουάριος 2001	67.26
	Φεβρουάριος 2001	66.98
	Μάρτιος 2001	49.16
	Απρίλιος 2001	48.95
	Μάιος 2001	38.59
	Ιούνιος 2001	29.08
	Ιούλιος 2001	28.52
	Αύγουστος 2001	27.94
	Σεπτέμβριος 2001	33.20

Π 3. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΕΣ	VHI (70% TCI ΚΑΙ 30% VCI)
2001-2002	Οκτώβριος 2001	40.08
	Νοέμβριος 2001	56.18
	Δεκέμβριος 2001	67.69
	Ιανουάριος 2002	68.24
	Φεβρουάριος 2002	65.12
	Μάρτιος 2002	48.26
	Απρίλιος 2002	46.02
	Μάιος 2002	29.86
	Ιούνιος 2002	16.39
	Ιούλιος 2002	12.48
	Αύγουστος 2002	15.42
	Σεπτέμβριος 2002	32.10
2002-2003	Οκτώβριος 2002	49.09
	Νοέμβριος 2002	65.03
	Δεκέμβριος 2002	71.30
	Ιανουάριος 2003	74.52
	Φεβρουάριος 2003	75.39
	Μάρτιος 2003	55.28
	Απρίλιος 2003	43.71
	Μάιος 2003	26.61
	Ιούνιος 2003	15.07
	Ιούλιος 2003	8.30
	Αύγουστος 2003	11.87
	Σεπτέμβριος 2003	24.64
2003-2004	Οκτώβριος 2003	35.92
	Νοέμβριος 2003	53.47
	Δεκέμβριος 2003	66.20
	Ιανουάριος 2004	65.80
	Φεβρουάριος 2004	63.43
	Μάρτιος 2004	57.05
	Απρίλιος 2004	51.53
	Μάιος 2004	45.58
	Ιούνιος 2004	40.75
	Ιούλιος 2004	33.31
	Αύγουστος 2004	39.67
	Σεπτέμβριος 2004	44.14

Π 3. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΕΣ	VHI (70% TCI ΚΑΙ 30% VCI)
2004-2005	Οκτώβριος 2004	45.84
	Νοέμβριος 2004	64.50
	Δεκέμβριος 2004	65.24
	Ιανουάριος 2005	69.37
	Φεβρουάριος 2005	71.18
	Μάρτιος 2005	57.62
	Απρίλιος 2005	48.16
	Μάιος 2005	33.12
	Ιούνιος 2005	27.90
	Ιούλιος 2005	23.61
	Αύγουστος 2005	28.68
	Σεπτέμβριος 2005	31.80
2005-2006	Οκτώβριος 2005	42.74
	Νοέμβριος 2005	54.86
	Δεκέμβριος 2005	62.05
	Ιανουάριος 2006	70.66
	Φεβρουάριος 2006	63.79
	Μάρτιος 2006	48.38
	Απρίλιος 2006	42.43
	Μάιος 2006	25.33
	Ιούνιος 2006	21.25
	Ιούλιος 2006	20.81
	Αύγουστος 2006	21.36
	Σεπτέμβριος 2006	33.64
2006-2007	Οκτώβριος 2006	43.55
	Νοέμβριος 2006	58.36
	Δεκέμβριος 2006	69.01
	Ιανουάριος 2007	68.61
	Φεβρουάριος 2007	66.71
	Μάρτιος 2007	53.90
	Απρίλιος 2007	31.62
	Μάιος 2007	18.82
	Ιούνιος 2007	19.59
	Ιούλιος 2007	21.34
	Αύγουστος 2007	25.43
	Σεπτέμβριος 2007	38.16

Π 4. Τιμές του δείκτη VHI (60% TCI και 40% VCI).

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (60% TCI ΚΑΙ 40% VCI)
1998-1999	Οκτώβριος 1998	43.29
	Νοέμβριος 1998	49.91
	Δεκέμβριος 1998	65.68
	Ιανουάριος 1999	59.68
	Φεβρουάριος 1999	61.18
	Μάρτιος 1999	50.26
	Απρίλιος 1999	47.68
	Μάιος 1999	36.25
	Ιούνιος 1999	27.89
	Ιούλιος 1999	29.85
	Αύγουστος 1999	29.44
	Σεπτέμβριος 1999	35.61
1999-2000	Οκτώβριος 1999	40.97
	Νοέμβριος 1999	52.10
	Δεκέμβριος 1999	61.27
	Ιανουάριος 2000	62.59
	Φεβρουάριος 2000	58.54
	Μάρτιος 2000	56.77
	Απρίλιος 2000	46.76
	Μάιος 2000	32.05
	Ιούνιος 2000	28.02
	Ιούλιος 2000	25.22
	Αύγουστος 2000	27.28
	Σεπτέμβριος 2000	35.13
2000-2001	Οκτώβριος 2000	43.05
	Νοέμβριος 2000	47.79
	Δεκέμβριος 2000	58.98
	Ιανουάριος 2001	61.66
	Φεβρουάριος 2001	62.04
	Μάρτιος 2001	47.36
	Απρίλιος 2001	47.84
	Μάιος 2001	39.33
	Ιούνιος 2001	31.20
	Ιούλιος 2001	30.45
	Αύγουστος 2001	28.93
	Σεπτέμβριος 2001	32.14



Π 4. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (60% TCI ΚΑΙ 40% VCI)
2001-2002	Οκτώβριος 2001	37.53
	Νοέμβριος 2001	51.42
	Δεκέμβριος 2001	61.47
	Ιανουάριος 2002	62.20
	Φεβρουάριος 2002	60.31
	Μάρτιος 2002	46.93
	Απρίλιος 2002	45.45
	Μάιος 2002	31.47
	Ιούνιος 2002	19.57
	Ιούλιος 2002	15.88
	Αύγουστος 2002	18.29
	Σεπτέμβριος 2002	32.95
2002-2003	Οκτώβριος 2002	48.78
	Νοέμβριος 2002	63.98
	Δεκέμβριος 2002	70.07
	Ιανουάριος 2003	72.85
	Φεβρουάριος 2003	73.25
	Μάρτιος 2003	55.53
	Απρίλιος 2003	45.40
	Μάιος 2003	30.17
	Ιούνιος 2003	18.57
	Ιούλιος 2003	11.06
	Αύγουστος 2003	13.56
	Σεπτέμβριος 2003	24.52
2003-2004	Οκτώβριος 2003	34.26
	Νοέμβριος 2003	49.33
	Δεκέμβριος 2003	60.24
	Ιανουάριος 2004	61.22
	Φεβρουάριος 2004	60.33
	Μάρτιος 2004	56.37
	Απρίλιος 2004	52.80
	Μάιος 2004	48.65
	Ιούνιος 2004	45.25
	Ιούλιος 2004	39.11
	Αύγουστος 2004	44.57
	Σεπτέμβριος 2004	47.48

Π 4. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (60% TCI ΚΑΙ 40% VCI)
2004-2005	Οκτώβριος 2004	45.97
	Νοέμβριος 2004	58.73
	Δεκέμβριος 2004	58.19
	Ιανουάριος 2005	62.19
	Φεβρουάριος 2005	65.36
	Μάρτιος 2005	55.61
	Απρίλιος 2005	48.31
	Μάιος 2005	35.82
	Ιούνιος 2005	31.90
	Ιούλιος 2005	28.45
	Αύγουστος 2005	32.18
	Σεπτέμβριος 2005	32.55
2005-2006	Οκτώβριος 2005	38.80
	Νοέμβριος 2005	47.39
	Δεκέμβριος 2005	53.18
	Ιανουάριος 2006	60.88
	Φεβρουάριος 2006	56.26
	Μάρτιος 2006	44.81
	Απρίλιος 2006	40.67
	Μάιος 2006	26.20
	Ιούνιος 2006	23.02
	Ιούλιος 2006	23.21
	Αύγουστος 2006	23.93
	Σεπτέμβριος 2006	34.24
2006-2007	Οκτώβριος 2006	42.16
	Νοέμβριος 2006	54.33
	Δεκέμβριος 2006	63.22
	Ιανουάριος 2007	62.69
	Φεβρουάριος 2007	60.91
	Μάρτιος 2007	49.90
	Απρίλιος 2007	30.80
	Μάιος 2007	20.55
	Ιούνιος 2007	23.85
	Ιούλιος 2007	28.45
	Αύγουστος 2007	33.15
	Σεπτέμβριος 2007	44.06

Π 5. Τιμές του δείκτη VHI (50% TCI και 50% VCI)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (50% TCI ΚΑΙ 50% VCI)
1998-1999	Οκτώβριος 1998	43.34
	Νοέμβριος 1998	44.18
	Δεκέμβριος 1998	53.07
	Ιανουάριος 1999	49.75
	Φεβρουάριος 1999	53.13
	Μάρτιος 1999	49.25
	Απρίλιος 1999	49.94
	Μάιος 1999	43.00
	Ιούνιος 1999	37.29
	Ιούλιος 1999	37.95
	Αύγουστος 1999	36.21
	Σεπτέμβριος 1999	37.50
1999-2000	Οκτώβριος 1999	37.60
	Νοέμβριος 1999	42.93
	Δεκέμβριος 1999	48.73
	Ιανουάριος 2000	50.70
	Φεβρουάριος 2000	50.32
	Μάρτιος 2000	51.07
	Απρίλιος 2000	45.14
	Μάιος 2000	35.58
	Ιούνιος 2000	32.94
	Ιούλιος 2000	31.02
	Αύγουστος 2000	31.83
	Σεπτέμβριος 2000	34.52
2000-2001	Οκτώβριος 2000	36.17
	Νοέμβριος 2000	37.60
	Δεκέμβριος 2000	45.29
	Ιανουάριος 2001	50.44
	Φεβρουάριος 2001	52.15
	Μάρτιος 2001	43.77
	Απρίλιος 2001	45.62
	Μάιος 2001	40.81
	Ιούνιος 2001	35.43
	Ιούλιος 2001	34.31
	Αύγουστος 2001	30.89
	Σεπτέμβριος 2001	30.03

Π 5. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (50% TCI ΚΑΙ 50% VCI)
2001-2002	Οκτώβριος 2001	32.42
	Νοέμβριος 2001	41.90
	Δεκέμβριος 2001	49.02
	Ιανουάριος 2002	50.12
	Φεβρουάριος 2002	50.69
	Μάρτιος 2002	44.25
	Απρίλιος 2002	44.31
	Μάιος 2002	34.71
	Ιούνιος 2002	25.95
	Ιούλιος 2002	22.68
	Αύγουστος 2002	24.03
	Σεπτέμβριος 2002	34.65
2002-2003	Οκτώβριος 2002	48.17
	Νοέμβριος 2002	61.88
	Δεκέμβριος 2002	67.61
	Ιανουάριος 2003	69.50
	Φεβρουάριος 2003	68.96
	Μάρτιος 2003	56.02
	Απρίλιος 2003	48.79
	Μάιος 2003	37.31
	Ιούνιος 2003	25.59
	Ιούλιος 2003	16.59
	Αύγουστος 2003	16.93
	Σεπτέμβριος 2003	24.28
2003-2004	Οκτώβριος 2003	30.93
	Νοέμβριος 2003	41.04
	Δεκέμβριος 2003	48.31
	Ιανουάριος 2004	52.05
	Φεβρουάριος 2004	54.13
	Μάρτιος 2004	55.01
	Απρίλιος 2004	55.33
	Μάιος 2004	54.80
	Ιούνιος 2004	54.23
	Ιούλιος 2004	50.71
	Αύγουστος 2004	54.35
	Σεπτέμβριος 2004	54.18

Π 5. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (50% TCI ΚΑΙ 50% VCI)
2004-2005	Οκτώβριος 2004	46.23
	Νοέμβριος 2004	47.18
	Δεκέμβριος 2004	44.11
	Ιανουάριος 2005	47.83
	Φεβρουάριος 2005	53.72
	Μάρτιος 2005	51.60
	Απρίλιος 2005	48.60
	Μάιος 2005	41.23
	Ιούνιος 2005	39.90
	Ιούλιος 2005	38.13
	Αύγουστος 2005	39.17
	Σεπτέμβριος 2005	34.05
2005-2006	Οκτώβριος 2005	30.93
	Νοέμβριος 2005	32.45
	Δεκέμβριος 2005	35.45
	Ιανουάριος 2006	41.32
	Φεβρουάριος 2006	41.21
	Μάρτιος 2006	37.68
	Απρίλιος 2006	37.13
	Μάιος 2006	27.93
	Ιούνιος 2006	26.58
	Ιούλιος 2006	27.99
	Αύγουστος 2006	29.08
	Σεπτέμβριος 2006	35.45
2006-2007	Οκτώβριος 2006	39.37
	Νοέμβριος 2006	46.26
	Δεκέμβριος 2006	51.65
	Ιανουάριος 2007	50.85
	Φεβρουάριος 2007	49.32
	Μάρτιος 2007	41.90
	Απρίλιος 2007	29.15
	Μάιος 2007	24.01
	Ιούνιος 2007	32.36
	Ιούλιος 2007	42.68
	Αύγουστος 2007	48.59
	Σεπτέμβριος 2007	55.86



Π 6. Τιμές του δείκτη VHI (40% TCI και 60% VCI)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (40% TCI ΚΑΙ 60% VCI)
1998-1999	Οκτώβριος 1998	43.34
	Νοέμβριος 1998	44.18
	Δεκέμβριος 1998	53.07
	Ιανουάριος 1999	49.75
	Φεβρουάριος 1999	53.13
	Μάρτιος 1999	49.25
	Απρίλιος 1999	49.94
	Μάιος 1999	43.00
	Ιούνιος 1999	37.29
	Ιούλιος 1999	37.95
	Αύγουστος 1999	36.21
	Σεπτέμβριος 1999	37.50
1999-2000	Οκτώβριος 1999	37.60
	Νοέμβριος 1999	42.93
	Δεκέμβριος 1999	48.73
	Ιανουάριος 2000	50.70
	Φεβρουάριος 2000	50.32
	Μάρτιος 2000	51.07
	Απρίλιος 2000	45.14
	Μάιος 2000	35.58
	Ιούνιος 2000	32.94
	Ιούλιος 2000	31.02
	Αύγουστος 2000	31.83
	Σεπτέμβριος 2000	34.52
2000-2001	Οκτώβριος 2000	36.17
	Νοέμβριος 2000	37.60
	Δεκέμβριος 2000	45.29
	Ιανουάριος 2001	50.44
	Φεβρουάριος 2001	52.15
	Μάρτιος 2001	43.77
	Απρίλιος 2001	45.62
	Μάιος 2001	40.81
	Ιούνιος 2001	35.43
	Ιούλιος 2001	34.31
	Αύγουστος 2001	30.89
	Σεπτέμβριος 2001	30.03

Π 6. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (40% TCI ΚΑΙ 60% VCI)
2001-2002	Οκτώβριος 2001	32.42
	Νοέμβριος 2001	41.90
	Δεκέμβριος 2001	49.02
	Ιανουάριος 2002	50.12
	Φεβρουάριος 2002	50.69
	Μάρτιος 2002	44.25
	Απρίλιος 2002	44.31
	Μάιος 2002	34.71
	Ιούνιος 2002	25.95
	Ιούλιος 2002	22.68
	Αύγουστος 2002	24.03
	Σεπτέμβριος 2002	34.65
2002-2003	Οκτώβριος 2002	48.17
	Νοέμβριος 2002	61.88
	Δεκέμβριος 2002	67.61
	Ιανουάριος 2003	69.50
	Φεβρουάριος 2003	68.96
	Μάρτιος 2003	56.02
	Απρίλιος 2003	48.79
	Μάιος 2003	37.31
	Ιούνιος 2003	25.59
	Ιούλιος 2003	16.59
	Αύγουστος 2003	16.93
	Σεπτέμβριος 2003	24.28
2003-2004	Οκτώβριος 2003	30.93
	Νοέμβριος 2003	41.04
	Δεκέμβριος 2003	48.31
	Ιανουάριος 2004	52.05
	Φεβρουάριος 2004	54.13
	Μάρτιος 2004	55.01
	Απρίλιος 2004	55.33
	Μάιος 2004	54.80
	Ιούνιος 2004	54.23
	Ιούλιος 2004	50.71
	Αύγουστος 2004	54.35
	Σεπτέμβριος 2004	54.18

Π 6. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (40% TCI ΚΑΙ 60% VCI)
2004-2005	Οκτώβριος 2004	46.23
	Νοέμβριος 2004	47.18
	Δεκέμβριος 2004	44.11
	Ιανουάριος 2005	47.83
	Φεβρουάριος 2005	53.72
	Μάρτιος 2005	51.60
	Απρίλιος 2005	48.60
	Μάιος 2005	41.23
	Ιούνιος 2005	39.90
	Ιούλιος 2005	38.13
	Αύγουστος 2005	39.17
	Σεπτέμβριος 2005	34.05
2005-2006	Οκτώβριος 2005	30.93
	Νοέμβριος 2005	32.45
	Δεκέμβριος 2005	35.45
	Ιανουάριος 2006	41.32
	Φεβρουάριος 2006	41.21
	Μάρτιος 2006	37.68
	Απρίλιος 2006	37.13
	Μάιος 2006	27.93
	Ιούνιος 2006	26.58
	Ιούλιος 2006	27.99
	Αύγουστος 2006	29.08
	Σεπτέμβριος 2006	35.45
2006-2007	Οκτώβριος 2006	39.37
	Νοέμβριος 2006	46.26
	Δεκέμβριος 2006	51.65
	Ιανουάριος 2007	50.85
	Φεβρουάριος 2007	49.32
	Μάρτιος 2007	41.90
	Απρίλιος 2007	29.15
	Μάιος 2007	24.01
	Ιούνιος 2007	32.36
	Ιούλιος 2007	42.68
	Αύγουστος 2007	48.59
	Σεπτέμβριος 2007	55.86

Π 7. Τιμές του δείκτη VHI (30% TCI και 70% VCI)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (30% TCI ΚΑΙ 70% VCI)
1998-1999	Οκτώβριος 1998	43.34
	Νοέμβριος 1998	44.18
	Δεκέμβριος 1998	53.07
	Ιανουάριος 1999	49.75
	Φεβρουάριος 1999	53.13
	Μάρτιος 1999	49.25
	Απρίλιος 1999	49.94
	Μάιος 1999	43.00
	Ιούνιος 1999	37.29
	Ιούλιος 1999	37.95
	Αύγουστος 1999	36.21
	Σεπτέμβριος 1999	37.50
1999-2000	Οκτώβριος 1999	37.60
	Νοέμβριος 1999	42.93
	Δεκέμβριος 1999	48.73
	Ιανουάριος 2000	50.70
	Φεβρουάριος 2000	50.32
	Μάρτιος 2000	51.07
	Απρίλιος 2000	45.14
	Μάιος 2000	35.58
	Ιούνιος 2000	32.94
	Ιούλιος 2000	31.02
	Αύγουστος 2000	31.83
	Σεπτέμβριος 2000	34.52
2000-2001	Οκτώβριος 2000	36.17
	Νοέμβριος 2000	37.60
	Δεκέμβριος 2000	45.29
	Ιανουάριος 2001	50.44
	Φεβρουάριος 2001	52.15
	Μάρτιος 2001	43.77
	Απρίλιος 2001	45.62
	Μάιος 2001	40.81
	Ιούνιος 2001	35.43
	Ιούλιος 2001	34.31
	Αύγουστος 2001	30.89
	Σεπτέμβριος 2001	30.03

Π 7. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΒΗΙ (30% ΤCΙ ΚΑΙ 70% VCI)
2001-2002	Οκτώβριος 2001	32.42
	Νοέμβριος 2001	41.90
	Δεκέμβριος 2001	49.02
	Ιανουάριος 2002	50.12
	Φεβρουάριος 2002	50.69
	Μάρτιος 2002	44.25
	Απρίλιος 2002	44.31
	Μάιος 2002	34.71
	Ιούνιος 2002	25.95
	Ιούλιος 2002	22.68
	Αύγουστος 2002	24.03
	Σεπτέμβριος 2002	34.65
2002-2003	Οκτώβριος 2002	48.17
	Νοέμβριος 2002	61.88
	Δεκέμβριος 2002	67.61
	Ιανουάριος 2003	69.50
	Φεβρουάριος 2003	68.96
	Μάρτιος 2003	56.02
	Απρίλιος 2003	48.79
	Μάιος 2003	37.31
	Ιούνιος 2003	25.59
	Ιούλιος 2003	16.59
	Αύγουστος 2003	16.93
	Σεπτέμβριος 2003	24.28
2003-2004	Οκτώβριος 2003	30.93
	Νοέμβριος 2003	41.04
	Δεκέμβριος 2003	48.31
	Ιανουάριος 2004	52.05
	Φεβρουάριος 2004	54.13
	Μάρτιος 2004	55.01
	Απρίλιος 2004	55.33
	Μάιος 2004	54.80
	Ιούνιος 2004	54.23
	Ιούλιος 2004	50.71
	Αύγουστος 2004	54.35
	Σεπτέμβριος 2004	54.18



Π 7. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (30% TCI ΚΑΙ 70% VCI)
2004-2005	Οκτώβριος 2004	46.23
	Νοέμβριος 2004	47.18
	Δεκέμβριος 2004	44.11
	Ιανουάριος 2005	47.83
	Φεβρουάριος 2005	53.72
	Μάρτιος 2005	51.60
	Απρίλιος 2005	48.60
	Μάιος 2005	41.23
	Ιούνιος 2005	39.90
	Ιούλιος 2005	38.13
	Αύγουστος 2005	39.17
	Σεπτέμβριος 2005	34.05
2005-2006	Οκτώβριος 2005	30.93
	Νοέμβριος 2005	32.45
	Δεκέμβριος 2005	35.45
	Ιανουάριος 2006	41.32
	Φεβρουάριος 2006	41.21
	Μάρτιος 2006	37.68
	Απρίλιος 2006	37.13
	Μάιος 2006	27.93
	Ιούνιος 2006	26.58
	Ιούλιος 2006	27.99
	Αύγουστος 2006	29.08
	Σεπτέμβριος 2006	35.45
2006-2007	Οκτώβριος 2006	39.37
	Νοέμβριος 2006	46.26
	Δεκέμβριος 2006	51.65
	Ιανουάριος 2007	50.85
	Φεβρουάριος 2007	49.32
	Μάρτιος 2007	41.90
	Απρίλιος 2007	29.15
	Μάιος 2007	24.01
	Ιούνιος 2007	32.36
	Ιούλιος 2007	42.68
	Αύγουστος 2007	48.59
	Σεπτέμβριος 2007	55.86

Π 8. Τιμές του δείκτη Z-Index.

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	Z- INDEX
1998-1999	Οκτώβριος 1998	-1.95
	Νοέμβριος 1998	4.42
	Δεκέμβριος 1998	1.14
	Ιανουάριος 1999	0.91
	Φεβρουάριος 1999	2.23
	Μάρτιος 1999	2.83
	Απρίλιος 1999	0.2
	Μάιος 1999	-0.98
	Ιούνιος 1999	-0.89
	Ιούλιος 1999	-1.62
	Αύγουστος 1999	-0.91
	Σεπτέμβριος 1999	-0.5
1999-2000	Οκτώβριος 1999	-0.23
	Νοέμβριος 1999	-0.02
	Δεκέμβριος 1999	0.07
	Ιανουάριος 2000	-1.07
	Φεβρουάριος 2000	0.02
	Μάρτιος 2000	-0.72
	Απρίλιος 2000	-1.57
	Μάιος 2000	-1.47
	Ιούνιος 2000	-1.45
	Ιούλιος 2000	-1.97
	Αύγουστος 2000	-1.25
	Σεπτέμβριος 2000	-1.37
2000-2001	Οκτώβριος 2000	-0.71
	Νοέμβριος 2000	-2.28
	Δεκέμβριος 2000	-2.73
	Ιανουάριος 2001	-1.23
	Φεβρουάριος 2001	-2.49
	Μάρτιος 2001	-3.77
	Απρίλιος 2001	-0.81
	Μάιος 2001	0.18
	Ιούνιος 2001	-3.5
	Ιούλιος 2001	2.07
	Αύγουστος 2001	-0.48
	Σεπτέμβριος 2001	-2.02

Π 8. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	Z- INDEX
2001-2002	Οκτώβριος 2001	-2.82
	Νοέμβριος 2001	-2.15
	Δεκέμβριος 2001	1.26
	Ιανουάριος 2002	-1.26
	Φεβρουάριος 2002	-1.86
	Μάρτιος 2002	-0.05
	Απρίλιος 2002	1.48
	Μάιος 2002	-1.64
	Ιούνιος 2002	-2.1
	Ιούλιος 2002	0.64
	Αύγουστος 2002	2.26
	Σεπτέμβριος 2002	5.92
2002-2003	Οκτώβριος 2002	2.27
	Νοέμβριος 2002	1.78
	Δεκέμβριος 2002	3.49
	Ιανουάριος 2003	3.24
	Φεβρουάριος 2003	0.29
	Μάρτιος 2003	0.14
	Απρίλιος 2003	0.44
	Μάιος 2003	1.41
	Ιούνιος 2003	2.27
	Ιούλιος 2003	2.57
	Αύγουστος 2003	0.58
	Σεπτέμβριος 2003	-0.05
2003-2004	Οκτώβριος 2003	1.27
	Νοέμβριος 2003	-2.36
	Δεκέμβριος 2003	-0.54
	Ιανουάριος 2004	2.52
	Φεβρουάριος 2004	-1.38
	Μάρτιος 2004	-0.41
	Απρίλιος 2004	0.77
	Μάιος 2004	1.67
	Ιούνιος 2004	4.88
	Ιούλιος 2004	2.29
	Αύγουστος 2004	0.04
	Σεπτέμβριος 2004	-0.42

Π 8. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	Z- INDEX
2004-2005	Οκτώβριος 2004	-0.44
	Νοέμβριος 2004	-1.71
	Δεκέμβριος 2004	-1.34
	Ιανουάριος 2005	-1.64
	Φεβρουάριος 2005	-0.07
	Μάρτιος 2005	0.58
	Απρίλιος 2005	-1.84
	Μάιος 2005	-1.77
	Ιούνιος 2005	-2.52
	Ιούλιος 2005	-0.44
	Αύγουστος 2005	0.1
	Σεπτέμβριος 2005	0.77
	2005-2006	Οκτώβριος 2005
Νοέμβριος 2005		0.26
Δεκέμβριος 2005		-0.12
Ιανουάριος 2006		4.75
Φεβρουάριος 2006		1.48
Μάρτιος 2006		0.9
Απρίλιος 2006		0.54
Μάιος 2006		-0.91
Ιούνιος 2006		0.23
Ιούλιος 2006		1.97
Αύγουστος 2006		0.74
Σεπτέμβριος 2006		5.47
2006-2007		Οκτώβριος 2006
	Νοέμβριος 2006	-1.27
	Δεκέμβριος 2006	-1.44
	Ιανουάριος 2007	-1.62
	Φεβρουάριος 2007	-0.86
	Μάρτιος 2007	-1.66
	Απρίλιος 2007	-1.46
	Μάιος 2007	-1.26
	Ιούνιος 2007	-0.57
	Ιούλιος 2007	-2.07
	Αύγουστος 2007	0.51
	Σεπτέμβριος 2007	-1.45

**Π 9.** Ομαλοποιημένες τιμές του VHI (70% TCI και 30% VCI).

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (30%TCI και 70%VCI)
1998-1999	Οκτώβριος 1998	42,95
	Νοέμβριος 1998	46,29
	Δεκέμβριος 1998	48,69
	Ιανουάριος 1999	49,88
	Φεβρουάριος 1999	51,03
	Μάρτιος 1999	49,01
	Απρίλιος 1999	46,52
	Μάιος 1999	43,49
	Ιούνιος 1999	40,88
	Ιούλιος 1999	38,39
	Αύγουστος 1999	37,31
	Σεπτέμβριος 1999	38,44
1999-2000	Οκτώβριος 1999	40,59
	Νοέμβριος 1999	43,49
	Δεκέμβριος 1999	46,06
	Ιανουάριος 2000	48,75
	Φεβρουάριος 2000	49,19
	Μάρτιος 2000	46,56
	Απρίλιος 2000	43,01
	Μάιος 2000	39,15
	Ιούνιος 2000	35,30
	Ιούλιος 2000	33,18
	Αύγουστος 2000	33,30
	Σεπτέμβριος 2000	34,23
2000-2001	Οκτώβριος 2000	37,08
	Νοέμβριος 2000	40,80
	Δεκέμβριος 2000	44,33
	Ιανουάριος 2001	45,85
	Φεβρουάριος 2001	47,45
	Μάρτιος 2001	46,56
	Απρίλιος 2001	43,56
	Μάιος 2001	39,99
	Ιούνιος 2001	37,41
	Ιούλιος 2001	34,30
	Αύγουστος 2001	32,62
	Σεπτέμβριος 2001	33,91

Π 9. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (30%TCI και 70%VCI
2001-2002	Οκτώβριος 2001	36,85
	Νοέμβριος 2001	40,70
	Δεκέμβριος 2001	44,83
	Ιανουάριος 2002	47,20
	Φεβρουάριος 2002	47,68
	Μάρτιος 2002	44,82
	Απρίλιος 2002	39,98
	Μάιος 2002	34,38
	Ιούνιος 2002	30,34
	Ιούλιος 2002	28,41
	Αύγουστος 2002	31,10
	Σεπτέμβριος 2002	38,28
2002-2003	Οκτώβριος 2002	47,27
	Νοέμβριος 2002	56,36
	Δεκέμβριος 2002	63,22
	Ιανουάριος 2003	64,79
	Φεβρουάριος 2003	62,18
	Μάρτιος 2003	56,11
	Απρίλιος 2003	47,33
	Μάιος 2003	36,86
	Ιούνιος 2003	29,04
	Ιούλιος 2003	24,14
	Αύγουστος 2003	22,86
	Σεπτέμβριος 2003	25,95
2003-2004	Οκτώβριος 2003	32,30
	Νοέμβριος 2003	39,32
	Δεκέμβριος 2003	45,29
	Ιανουάριος 2004	50,11
	Φεβρουάριος 2004	52,97
	Μάρτιος 2004	54,26
	Απρίλιος 2004	54,70
	Μάιος 2004	54,02
	Ιούνιος 2004	53,88
	Ιούλιος 2004	53,65
	Αύγουστος 2004	51,94
	Σεπτέμβριος 2004	50,53



Π 9. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (70%TCI και 30%VCI
2004-2005	Οκτώβριος 2004	51,88
	Νοέμβριος 2004	57,82
	Δεκέμβριος 2004	63,22
	Ιανουάριος 2005	65,58
	Φεβρουάριος 2005	62,31
	Μάρτιος 2005	55,89
	Απρίλιος 2005	47,60
	Μάιος 2005	38,08
	Ιούνιος 2005	32,29
	Ιούλιος 2005	29,02
	Αύγουστος 2005	30,94
	Σεπτέμβριος 2005	36,34
2005-2006	Οκτώβριος 2005	44,02
	Νοέμβριος 2005	52,42
	Δεκέμβριος 2005	58,82
	Ιανουάριος 2006	59,95
	Φεβρουάριος 2006	57,46
	Μάρτιος 2006	50,12
	Απρίλιος 2006	40,24
	Μάιος 2006	31,64
	Ιούνιος 2006	26,24
	Ιούλιος 2006	24,48
	Αύγουστος 2006	28,12
	Σεπτέμβριος 2006	35,54
2006-2007	Οκτώβριος 2006	45,18
	Νοέμβριος 2006	54,63
	Δεκέμβριος 2006	61,25
	Ιανουάριος 2007	63,32
	Φεβρουάριος 2007	57,97
	Μάρτιος 2007	47,93
	Απρίλιος 2007	38,13
	Μάιος 2007	29,06
	Ιούνιος 2007	23,36
	Ιούλιος 2007	24,67
	Αύγουστος 2007	31,07
	Σεπτέμβριος 2007	39,45

**Π 10.** Ομαλοποιημένες τιμές του VHI (60% TCI και 40% VCI).

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (60%TCI και 40%VCI)
1998-1999	Οκτώβριος 1998	43,78
	Νοέμβριος 1998	51,01
	Δεκέμβριος 1998	55,95
	Ιανουάριος 1999	57,34
	Φεβρουάριος 1999	56,90
	Μάρτιος 1999	51,01
	Απρίλιος 1999	44,65
	Μάιος 1999	38,38
	Ιούνιος 1999	34,22
	Ιούλιος 1999	31,81
	Αύγουστος 1999	32,75
	Σεπτέμβριος 1999	37,59
1999-2000	Οκτώβριος 1999	43,88
	Νοέμβριος 1999	50,51
	Δεκέμβριος 1999	55,10
	Ιανουάριος 2000	58,26
	Φεβρουάριος 2000	57,19
	Μάρτιος 2000	51,34
	Απρίλιος 2000	44,43
	Μάιος 2000	37,77
	Ιούνιος 2000	31,87
	Ιούλιος 2000	29,54
	Αύγουστος 2000	31,74
	Σεπτέμβριος 2000	35,70
2000-2001	Οκτώβριος 2000	42,45
	Νοέμβριος 2000	49,32
	Δεκέμβριος 2000	54,70
	Ιανουάριος 2001	55,57
	Φεβρουάριος 2001	55,58
	Μάρτιος 2001	51,65
	Απρίλιος 2001	45,55
	Μάιος 2001	39,24
	Ιούνιος 2001	35,55
	Ιούλιος 2001	32,41
	Αύγουστος 2001	32,05
	Σεπτέμβριος 2001	36,09

Π 10. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (60%TCI και 40%VCI
2001-2002	Οκτώβριος 2001	42,30
	Νοέμβριος 2001	48,95
	Δεκέμβριος 2001	54,58
	Ιανουάριος 2002	56,46
	Φεβρουάριος 2002	55,27
	Μάρτιος 2002	49,27
	Απρίλιος 2002	40,75
	Μάιος 2002	31,86
	Ιούνιος 2002	26,13
	Ιούλιος 2002	23,63
	Αύγουστος 2002	27,10
	Σεπτέμβριος 2002	35,98
2002-2003	Οκτώβριος 2002	46,82
	Νοέμβριος 2002	57,73
	Δεκέμβριος 2002	65,79
	Ιανουάριος 2003	67,14
	Φεβρουάριος 2003	63,42
	Μάρτιος 2003	55,44
	Απρίλιος 2003	44,58
	Μάιος 2003	32,15
	Ιούνιος 2003	23,75
	Ιούλιος 2003	19,58
	Αύγουστος 2003	20,39
	Σεπτέμβριος 2003	26,54
2003-2004	Οκτώβριος 2003	36,38
	Νοέμβριος 2003	45,91
	Δεκέμβριος 2003	53,07
	Ιανουάριος 2004	57,50
	Φεβρουάριος 2004	58,19
	Μάρτιος 2004	55,87
	Απρίλιος 2004	52,68
	Μάιος 2004	48,44
	Ιούνιος 2004	46,07
	Ιούλιος 2004	45,01
	Αύγουστος 2004	44,47
	Σεπτέμβριος 2004	47,17

Π 10. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (60%TCI και 40%VCI)
2004-2005	Οκτώβριος 2004	50,99
	Νοέμβριος 2004	54,51
	Δεκέμβριος 2004	58,09
	Ιανουάριος 2005	60,02
	Φεβρουάριος 2005	57,93
	Μάρτιος 2005	53,46
	Απρίλιος 2005	47,40
	Μάιος 2005	40,02
	Ιούνιος 2005	35,33
	Ιούλιος 2005	32,18
	Αύγουστος 2005	32,78
	Σεπτέμβριος 2005	35,87
2005-2006	Οκτώβριος 2005	40,82
	Νοέμβριος 2005	46,56
	Δεκέμβριος 2005	51,30
	Ιανουάριος 2006	52,51
	Φεβρουάριος 2006	51,16
	Μάρτιος 2006	45,76
	Απρίλιος 2006	38,19
	Μάιος 2006	31,58
	Ιούνιος 2006	27,40
	Ιούλιος 2006	26,12
	Αύγουστος 2006	29,31
	Σεπτέμβριος 2006	35,57
2006-2007	Οκτώβριος 2006	43,57
	Νοέμβριος 2006	51,33
	Δεκέμβριος 2006	56,66
	Ιανουάριος 2007	58,21
	Φεβρουάριος 2007	53,50
	Μάρτιος 2007	44,97
	Απρίλιος 2007	37,20
	Μάιος 2007	30,71
	Ιούνιος 2007	27,36
	Ιούλιος 2007	30,01
	Αύγουστος 2007	36,58
	Σεπτέμβριος 2007	43,67

Π 11. Ομαλοποιημένες τιμές του VHI (50% TCI και 50% VCI).

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (50% TCI και 50% VCI)
1998-1999	Οκτώβριος 1998	42,95
	Νοέμβριος 1998	46,29
	Δεκέμβριος 1998	48,69
	Ιανουάριος 1999	49,88
	Φεβρουάριος 1999	51,03
	Μάρτιος 1999	49,01
	Απρίλιος 1999	46,52
	Μάιος 1999	43,49
	Ιούνιος 1999	40,88
	Ιούλιος 1999	38,39
	Αύγουστος 1999	37,31
	Σεπτέμβριος 1999	38,44
1999-2000	Οκτώβριος 1999	40,59
	Νοέμβριος 1999	43,49
	Δεκέμβριος 1999	46,06
	Ιανουάριος 2000	48,75
	Φεβρουάριος 2000	49,19
	Μάρτιος 2000	46,56
	Απρίλιος 2000	43,01
	Μάιος 2000	39,15
	Ιούνιος 2000	35,30
	Ιούλιος 2000	33,18
	Αύγουστος 2000	33,30
	Σεπτέμβριος 2000	34,23
2000-2001	Οκτώβριος 2000	37,08
	Νοέμβριος 2000	40,80
	Δεκέμβριος 2000	44,33
	Ιανουάριος 2001	45,85
	Φεβρουάριος 2001	47,45
	Μάρτιος 2001	46,56
	Απρίλιος 2001	43,56
	Μάιος 2001	39,99
	Ιούνιος 2001	37,41
	Ιούλιος 2001	34,30
	Αύγουστος 2001	32,62
	Σεπτέμβριος 2001	33,91

Π 11. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (50% TCI και 50% VCI)
2001-2002	Οκτώβριος 2001	36,85
	Νοέμβριος 2001	40,70
	Δεκέμβριος 2001	44,83
	Ιανουάριος 2002	47,20
	Φεβρουάριος 2002	47,68
	Μάρτιος 2002	44,82
	Απρίλιος 2002	39,98
	Μάιος 2002	34,38
	Ιούνιος 2002	30,34
	Ιούλιος 2002	28,41
	Αύγουστος 2002	31,10
	Σεπτέμβριος 2002	38,28
2002-2003	Οκτώβριος 2002	47,27
	Νοέμβριος 2002	56,36
	Δεκέμβριος 2002	63,22
	Ιανουάριος 2003	64,79
	Φεβρουάριος 2003	62,18
	Μάρτιος 2003	56,11
	Απρίλιος 2003	47,33
	Μάιος 2003	36,86
	Ιούνιος 2003	29,04
	Ιούλιος 2003	24,14
	Αύγουστος 2003	22,86
	Σεπτέμβριος 2003	25,95
2003-2004	Οκτώβριος 2003	32,30
	Νοέμβριος 2003	39,32
	Δεκέμβριος 2003	45,29
	Ιανουάριος 2004	50,11
	Φεβρουάριος 2004	52,97
	Μάρτιος 2004	54,26
	Απρίλιος 2004	54,70
	Μάιος 2004	54,02
	Ιούνιος 2004	53,88
	Ιούλιος 2004	53,65
	Αύγουστος 2004	51,94
	Σεπτέμβριος 2004	50,53



Π 11. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (50% TCI και 50% VCI)
2004-2005	Οκτώβριος 2004	49,21
	Νοέμβριος 2004	47,91
	Δεκέμβριος 2004	47,81
	Ιανουάριος 2005	48,89
	Φεβρουάριος 2005	49,17
	Μάρτιος 2005	48,60
	Απρίλιος 2005	47,01
	Μάιος 2005	43,89
	Ιούνιος 2005	41,41
	Ιούλιος 2005	38,50
	Αύγουστος 2005	36,44
	Σεπτέμβριος 2005	34,95
2005-2006	Οκτώβριος 2005	34,41
	Νοέμβριος 2005	34,84
	Δεκέμβριος 2005	36,27
	Ιανουάριος 2006	37,62
	Φεβρουάριος 2006	38,56
	Μάρτιος 2006	37,06
	Απρίλιος 2006	34,11
	Μάιος 2006	31,46
	Ιούνιος 2006	29,74
	Ιούλιος 2006	29,41
	Αύγουστος 2006	31,69
	Σεπτέμβριος 2006	35,63
2006-2007	Οκτώβριος 2006	40,36
	Νοέμβριος 2006	44,72
	Δεκέμβριος 2006	47,49
	Ιανουάριος 2007	48,00
	Φεβρουάριος 2007	44,57
	Μάρτιος 2007	39,05
	Απρίλιος 2007	35,35
	Μάιος 2007	34,02
	Ιούνιος 2007	35,36
	Ιούλιος 2007	40,70
	Αύγουστος 2007	47,60
	Σεπτέμβριος 2007	52,09

Π 12. Ομαλοποιημένες τιμές του VHI (40% TCI και 60% VCI).

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (40%TCI και 60%VCI)
1998-1999	Οκτώβριος 1998	42,95
	Νοέμβριος 1998	46,29
	Δεκέμβριος 1998	48,69
	Ιανουάριος 1999	49,88
	Φεβρουάριος 1999	51,03
	Μάρτιος 1999	49,01
	Απρίλιος 1999	46,52
	Μάιος 1999	43,49
	Ιούνιος 1999	40,88
	Ιούλιος 1999	38,39
	Αύγουστος 1999	37,31
	Σεπτέμβριος 1999	38,44
1999-2000	Οκτώβριος 1999	40,59
	Νοέμβριος 1999	43,49
	Δεκέμβριος 1999	46,06
	Ιανουάριος 2000	48,75
	Φεβρουάριος 2000	49,19
	Μάρτιος 2000	46,56
	Απρίλιος 2000	43,01
	Μάιος 2000	39,15
	Ιούνιος 2000	35,30
	Ιούλιος 2000	33,18
	Αύγουστος 2000	33,30
	Σεπτέμβριος 2000	34,23
2000-2001	Οκτώβριος 2000	37,08
	Νοέμβριος 2000	40,80
	Δεκέμβριος 2000	44,33
	Ιανουάριος 2001	45,85
	Φεβρουάριος 2001	47,45
	Μάρτιος 2001	46,56
	Απρίλιος 2001	43,56
	Μάιος 2001	39,99
	Ιούνιος 2001	37,41
	Ιούλιος 2001	34,30
	Αύγουστος 2001	32,62
	Σεπτέμβριος 2001	33,91

Π 12. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (40%TCI και 60%VCI
2001-2002	Οκτώβριος 2001	36,85
	Νοέμβριος 2001	40,70
	Δεκέμβριος 2001	44,83
	Ιανουάριος 2002	47,20
	Φεβρουάριος 2002	47,68
	Μάρτιος 2002	44,82
	Απρίλιος 2002	39,98
	Μάιος 2002	34,38
	Ιούνιος 2002	30,34
	Ιούλιος 2002	28,41
	Αύγουστος 2002	31,10
	Σεπτέμβριος 2002	38,28
2002-2003	Οκτώβριος 2002	47,27
	Νοέμβριος 2002	56,36
	Δεκέμβριος 2002	63,22
	Ιανουάριος 2003	64,79
	Φεβρουάριος 2003	62,18
	Μάρτιος 2003	56,11
	Απρίλιος 2003	47,33
	Μάιος 2003	36,86
	Ιούνιος 2003	29,04
	Ιούλιος 2003	24,14
	Αύγουστος 2003	22,86
	Σεπτέμβριος 2003	25,95
2003-2004	Οκτώβριος 2003	32,30
	Νοέμβριος 2003	39,32
	Δεκέμβριος 2003	45,29
	Ιανουάριος 2004	50,11
	Φεβρουάριος 2004	52,97
	Μάρτιος 2004	54,26
	Απρίλιος 2004	54,70
	Μάιος 2004	54,02
	Ιούνιος 2004	53,88
	Ιούλιος 2004	53,65
	Αύγουστος 2004	51,94
	Σεπτέμβριος 2004	50,53

Π 12. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (40%TCI και 60%VCI)
2004-2005	Οκτώβριος 2004	49,21
	Νοέμβριος 2004	47,91
	Δεκέμβριος 2004	47,81
	Ιανουάριος 2005	48,89
	Φεβρουάριος 2005	49,17
	Μάρτιος 2005	48,60
	Απρίλιος 2005	47,01
	Μάιος 2005	43,89
	Ιούνιος 2005	41,41
	Ιούλιος 2005	38,50
	Αύγουστος 2005	36,44
	Σεπτέμβριος 2005	34,95
2005-2006	Οκτώβριος 2005	34,41
	Νοέμβριος 2005	34,84
	Δεκέμβριος 2005	36,27
	Ιανουάριος 2006	37,62
	Φεβρουάριος 2006	38,56
	Μάρτιος 2006	37,06
	Απρίλιος 2006	34,11
	Μάιος 2006	31,46
	Ιούνιος 2006	29,74
	Ιούλιος 2006	29,41
	Αύγουστος 2006	31,69
	Σεπτέμβριος 2006	35,63
2006-2007	Οκτώβριος 2006	40,36
	Νοέμβριος 2006	44,72
	Δεκέμβριος 2006	47,49
	Ιανουάριος 2007	48,00
	Φεβρουάριος 2007	44,57
	Μάρτιος 2007	39,05
	Απρίλιος 2007	35,35
	Μάιος 2007	34,02
	Ιούνιος 2007	35,36
	Ιούλιος 2007	40,70
	Αύγουστος 2007	47,60
	Σεπτέμβριος 2007	52,09

**Π 13.** Ομαλοποιημένες τιμές του VHI (30% TCI και 70% VCI).

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (30%TCI και 70%VCI)
1998-1999	Οκτώβριος 1998	42,95
	Νοέμβριος 1998	46,29
	Δεκέμβριος 1998	48,69
	Ιανουάριος 1999	49,88
	Φεβρουάριος 1999	51,03
	Μάρτιος 1999	49,01
	Απρίλιος 1999	46,52
	Μάιος 1999	43,49
	Ιούνιος 1999	40,88
	Ιούλιος 1999	38,39
	Αύγουστος 1999	37,31
	Σεπτέμβριος 1999	38,44
1999-2000	Οκτώβριος 1999	40,59
	Νοέμβριος 1999	43,49
	Δεκέμβριος 1999	46,06
	Ιανουάριος 2000	48,75
	Φεβρουάριος 2000	49,19
	Μάρτιος 2000	46,56
	Απρίλιος 2000	43,01
	Μάιος 2000	39,15
	Ιούνιος 2000	35,30
	Ιούλιος 2000	33,18
	Αύγουστος 2000	33,30
	Σεπτέμβριος 2000	34,23
2000-2001	Οκτώβριος 2000	37,08
	Νοέμβριος 2000	40,80
	Δεκέμβριος 2000	44,33
	Ιανουάριος 2001	45,85
	Φεβρουάριος 2001	47,45
	Μάρτιος 2001	46,56
	Απρίλιος 2001	43,56
	Μάιος 2001	39,99
	Ιούνιος 2001	37,41
	Ιούλιος 2001	34,30
	Αύγουστος 2001	32,62
	Σεπτέμβριος 2001	33,91

Π 13. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (30%TCI και 70%VCI
2001-2002	Οκτώβριος 2001	36,85
	Νοέμβριος 2001	40,70
	Δεκέμβριος 2001	44,83
	Ιανουάριος 2002	47,20
	Φεβρουάριος 2002	47,68
	Μάρτιος 2002	44,82
	Απρίλιος 2002	39,98
	Μάιος 2002	34,38
	Ιούνιος 2002	30,34
	Ιούλιος 2002	28,41
	Αύγουστος 2002	31,10
	Σεπτέμβριος 2002	38,28
	2002-2003	Οκτώβριος 2002
Νοέμβριος 2002		56,36
Δεκέμβριος 2002		63,22
Ιανουάριος 2003		64,79
Φεβρουάριος 2003		62,18
Μάρτιος 2003		56,11
Απρίλιος 2003		47,33
Μάιος 2003		36,86
Ιούνιος 2003		29,04
Ιούλιος 2003		24,14
Αύγουστος 2003		22,86
Σεπτέμβριος 2003		25,95
2003-2004		Οκτώβριος 2003
	Νοέμβριος 2003	39,32
	Δεκέμβριος 2003	45,29
	Ιανουάριος 2004	50,11
	Φεβρουάριος 2004	52,97
	Μάρτιος 2004	54,26
	Απρίλιος 2004	54,70
	Μάιος 2004	54,02
	Ιούνιος 2004	53,88
	Ιούλιος 2004	53,65
	Αύγουστος 2004	51,94
	Σεπτέμβριος 2004	50,53



Π 13. (Συνέχεια)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	VHI (30%TCI και 70%VCI
2004-2005	Οκτώβριος 2004	49,21
	Νοέμβριος 2004	47,91
	Δεκέμβριος 2004	47,81
	Ιανουάριος 2005	48,89
	Φεβρουάριος 2005	49,17
	Μάρτιος 2005	48,60
	Απρίλιος 2005	47,01
	Μάιος 2005	43,89
	Ιούνιος 2005	41,41
	Ιούλιος 2005	38,50
	Αύγουστος 2005	36,44
	Σεπτέμβριος 2005	34,95
	2005-2006	Οκτώβριος 2005
Νοέμβριος 2005		34,84
Δεκέμβριος 2005		36,27
Ιανουάριος 2006		37,62
Φεβρουάριος 2006		38,56
Μάρτιος 2006		37,06
Απρίλιος 2006		34,11
Μάιος 2006		31,46
Ιούνιος 2006		29,74
Ιούλιος 2006		29,41
Αύγουστος 2006		31,69
Σεπτέμβριος 2006		35,63
2006-2007		Οκτώβριος 2006
	Νοέμβριος 2006	44,72
	Δεκέμβριος 2006	47,49
	Ιανουάριος 2007	48,00
	Φεβρουάριος 2007	44,57
	Μάρτιος 2007	39,05
	Απρίλιος 2007	35,35
	Μάιος 2007	34,02
	Ιούνιος 2007	35,36
	Ιούλιος 2007	40,70
	Αύγουστος 2007	47,60
	Σεπτέμβριος 2007	52,09



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000097478