

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών *Διαχείριση και
Προστασία Περιβάλλοντος*

Μεταπτυχιακή Διατριβή



Εκτίμηση της Ξηρασίας στην Κύπρο με την Χρήση Δεικτών
την Περίοδο 2000 - 2016

Γεώργιος Στεργιόπουλος

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Σταύρος Κολιός

Ιούνιος 2018

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Διαχείριση και
Προστασία Περιβάλλοντος**

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**Εκτίμηση της Ξηρασίας στην Κύπρο με την Χρήση
Δεικτών την Περίοδο 2000 - 2016**

Γεώργιος Στεργιόπουλος

**Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Σταυρος Κολίος**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στη Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Ιούνιος 2018

Περίληψη

Η εκτίμηση και παρακολούθηση της ξηρασίας με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων είναι ευρέως διαδεδομένη τις τελευταίες δεκαετίες. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και η χρήση της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών έχει διευρύνει σε μεγάλο βαθμό το πεδίο έρευνας και εφαρμογών προσφέροντας ένα μεγάλο αριθμό πληροφοριών οι οποίες δεν είναι εύκολο να ανακτηθούν με συμβατικές μεθόδους. Αντικείμενο της παρούσας διατριβής είναι η μελέτη και η ανάλυση του φαινομένου της Ξηρασίας, στην Κύπρο, και η εκτίμηση της γεωγραφικής της κατανομής μέσα από τη χρήση τηλεσκοπικών μεθόδων και συγκεκριμένα μέσω της χρήσης του Κανονικοποιημένου Δείκτη Υγρασίας (Normalized Difference Water Index - NDWI) καθώς και η εκτίμηση της με την ανάλυση του Τυποποιημένου Δείκτη Βροχοπτώσεων (SPI). Από την ανάλυση των στοιχείων προκύπτει ότι στο σύνολο σχεδόν της περιοχής μελέτης και για τις δυο χρονικές περιόδους που εξετάστηκαν, παρατηρήθηκε ότι τόσο οι τιμές του δείκτη NDWI όσο και του δείκτη SPI, κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, γεγονός που υποδεικνύει ότι τα επίπεδα του υδατικού περιεχομένου της βλάστησης είναι μειωμένα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας περιελάμβαναν τη χρήση και την επεξεργασία δορυφορικών εικόνων των δορυφόρων Landsat 7 και Landsat 8 καθώς και δεδομένων βροχόπτωσης. Η επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων έγινε χρησιμοποιώντας ως αναφορά, στοιχεία από το Τμήμα Μετεωρολογίας. Οι δείκτες παρουσίασαν ταύτιση των περιόδων ξηρασίας για τα έτη 2000 και 2016 και ανέδειξε ανέδειξαν τις περιοχές όπου το φαινόμενο παρουσιάζεται εντονότερο.

Λέξεις κλειδιά: Ξηρασία, Landsat, Δείκτες Ξηρασίας, SPI, NDWI, Δορυφορική Τηλεπισκόπηση, Κύπρος.

Summary

The estimation and monitoring of drought using satellite data has been widespread in recent decades. The rapid development of technology and the use of Remote Sensing and Geographic Information Systems has expanded the field of research and the relative applications by offering a large number of information that can not be retrieved easily by conventional methods. The aim of this dissertation is to study and analyse the Drought phenomenon, in Cyprus, and to estimate its geographical distribution through the use of remote sensing methods and in particular through the use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) as well as its assessment through the analysis of the Standard Precipitation Index (SPI). The data used to develop the methodology included the use and processing of satellite images of Landsat 7 and Landsat 8 satellites as well as rainfall data. The analysis showed that for the study area for both time periods examined, it has been observed that the values of the NDWI and the SPI index are comparatively at a low level, indicating that the levels of the water content of the vegetation are reduced. The validation of the findings was made by comparing rainfall data from the Meteorological Service. Both indices identified the drought periods for the years 2000 and 2016 and highlighted the areas with the most intense phenomena.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διατριβή με τίτλο «Εκτίμηση της Ξηρασίας στην Κύπρο με την Χρήση Δεικτών την Περίοδο 2000 - 2016», εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης του μεταπτυχιακού προγράμματος «Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος» της σχολής Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα, Δρ. Κολιό Σταύρο, καθηγητή του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου, για τη ανεκτίμητη βοήθεια που μου παρείχε και για την άψογη συνεργασία και επικοινωνία που είχαμε καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τη σύντροφό μου για την ηθική στήριξη που μου έδωσε για την ολοκλήρωση της διατριβής μου.

Στη μνήμη της μητέρας μου Κλεονίκης

Περιεχόμενα

| | |
|--|----------|
| Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή | 1 |
| 1.1 Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης..... | 5 |
| Κεφάλαιο 2 Ορισμοί, Έννοιες, Βιβλιογραφική Ανασκόπηση | 8 |
| 2.1 Ξηρασία - Ορισμοί | 8 |
| 2.2 Χαρακτηριστικά της ξηρασίας | 11 |
| 2.3 Δείκτες Ξηρασίας στην Κύπρο - Εφαρμογή του Σχεδίου Διαχείρισης Ξηρασίας .. | 15 |
| 2.3.1 Τυποποιημένος Δείκτης Βροχοπτώσεων SPI | 17 |
| 2.3.2 Δείκτης Απορροής Υδρολογικού Έτους..... | 17 |
| 2.4 Τηλεπισκόπηση..... | 21 |
| 2.5 Αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τη βλάστηση..... | 22 |
| 2.6 Φασματικά χαρακτηριστικά εδάφους..... | 25 |
| 2.7 Φασματικά χαρακτηριστικά υδάτινων μαζών..... | 26 |
| 2.8 Όργανα καταγραφής..... | 27 |
| 2.8.1 Βασικά χαρακτηριστικά των οργάνων καταγραφής..... | 28 |
| 2.8.1.1 Χωρική διακριτική ικανότητα | 28 |
| 2.8.1.2 Φασματική διακριτική ικανότητα:..... | 28 |
| 2.8.1.3 Χρονική διακριτική ικανότητα | 28 |
| 2.8.1.4 Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα | 28 |
| 2.8.2 Ραδιομετρικές διορθώσεις | 28 |
| 2.8.3 Ατμοσφαιρικές διορθώσεις | 31 |
| 2.8.3.1 Απόλυτες ατμοσφαιρικές διορθώσεις..... | 32 |
| 2.8.3.2 Σχετικές Ατμοσφαιρικές διορθώσεις | 34 |
| 2.8.4 Τοπογραφικές διορθώσεις | 34 |
| 2.8.4.1 Πηλίο φασματικών καναλιών | 34 |
| 2.8.4.2 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM)..... | 35 |
| 2.9 Οι δορυφόροι Landsat | 35 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 2.10 | Διάκριση δεικτών | 39 |
| 2.11 | Δείκτες ξηρασίας και δείκτες βλάστησης | 40 |
| 2.11.1 | Επιδράσεις στη λειτουργικότητα των δεικτών ξηρασίας | 42 |
| 2.12 | NDVI | 43 |
| 2.13 | NDWI | 45 |
| 2.14 | Δείκτης Κανονικοποιημένης Βροχόπτωσης (SPI)..... | 51 |
| Κεφάλαιο 3 Επισκόπηση Περιοχής Μελέτης | | 54 |
| 3.1 | Περιοχή Μελέτης - Γενικά..... | 54 |
| 3.2 | Πληθυσμός..... | 55 |
| 3.3 | Κλιματολογικά Στοιχεία | 57 |
| 3.3.1 | Ηλιοφάνεια | 57 |
| 3.3.2 | Βροχόπτωση..... | 58 |
| 3.3.3.1 | Θερμοκρασία Εδάφους | 60 |
| 3.3.3.2 | Θερμοκρασία Αέρα..... | 60 |
| 3.4 | Υδάτινοι πόροι | 62 |
| 3.4.3 | Φράγματα | 62 |
| 3.5.4 | Υπόγεια υδατικά σώματα | 63 |
| 4.3 | Υδρολογικές Περιοχές..... | 63 |
| 4.4 | Η κατάσταση των υδάτινων πόρων στην Κύπρο | 64 |
| 3.5 | Υδατικό ισοζύγιο και ζήτηση υδάτων | 69 |
| 3.6 | Χλωρίδα | 73 |
| 3.7 | Γεωλογία | 76 |
| 3.8 | Τα εδάφη της Κύπρου..... | 79 |
| 3.9 | Γεωργία | 82 |
| 3.10 | Κτηνοτροφία | 87 |
| 3.11 | Τουρισμός | 89 |

| | |
|--|------------|
| Κεφάλαιο 4 Μεθοδολογία | 93 |
| 4.1 Συλλογή Δεδομένων | 93 |
| 4.1.1 Δορυφορικές εικόνες | 93 |
| 4.2 Επεξεργασία δορυφορικών εικόνων | 94 |
| 4.3 Υπολογισμός του δείκτη NDWI | 95 |
| 4.4 Επεξεργασία στοιχείων βροχόπτωσης και υπολογισμός Δείκτη SPI | 95 |
| Κεφάλαιο 5 Αποτελέσματα | 97 |
| 5.1 Αποτελέσματα Δείκτη NDWI | 97 |
| 5.2 Αποτελέσματα Δείκτη SPI | 101 |
| Κεφάλαιο 6 Επίλογος | 107 |
| 6.1 Συμπεράσματα | 107 |
| 6.2 Προτάσεις | 109 |
| Βιβλιογραφία | 111 |
| Παράρτημα Ι | 121 |

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες έχουν μεταβάλει τη σύνθεση της ατμόσφαιρας και των ιδιοτήτων της και έχουν συμβάλει καθοριστικά στην αλλαγή του κλίματος. Εκτιμάται ότι οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα αυξήθηκαν από την εποχή της προ-βιομηχανικής περιόδου, περί το 1750, έως σήμερα από 280 ppm σε 408 ppm κυρίως ως αποτέλεσμα της καύσης ορυκτών καυσίμων και της αποψίλωσης των δασών (IPCC, 2014; NASA, 2018).

Το γεγονός αυτό συνδέεται με την αύξηση της μέσης τιμής της θερμοκρασίας του αέρα κατά τον τελευταίο αιώνα, κατά 0.76°C, μια τάση που προβλέπεται να συνεχισθεί και ενδεχομένως να αυξηθεί περαιτέρω προς το τέλος του 21^{ου} αιώνα καθώς σύμφωνα με τα πορίσματα της Διακυβερνητικής Ομάδας για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), στο πλαίσιο της 5ης έκθεσης αξιολόγησης, η αύξηση της μέσης τιμής της θερμοκρασίας συσχετίζεται με τις μεταβολές της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα (IPCC, 2014).

Οι συνέπειες από την κλιματική αλλαγή προβλέπεται ότι θα είναι δραματικές. Υπολογίζεται ότι το συνολικό κόστος από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής θα ισοδυναμεί με την απώλεια του 5% τουλάχιστον του παγκόσμιου ΑΕΠ ετησίως, ενώ εάν επαληθεύουν τα πιο ακραία σενάρια το ποσοστό αυτό θα μπορούσε να ανέλθει ή και να υπερβεί το 20% του παγκόσμιου ΑΕΠ (Stern, 2007).

Η αύξηση της θερμοκρασίας και η μεταβολή των επιπέδων βροχόπτωσης ως αποτέλεσμα των κλιματικών αλλαγών θα έχει επιπτώσεις, μεταξύ άλλων, στα φαινόμενα ξηρασίας τα οποία προβλέπεται ότι θα εμφανίζονται σε μεγαλύτερη

συχνότητα και με μεγαλύτερη ένταση και χρονική διάρκεια ενώ αναμένεται ότι θα παρατηρηθεί μια γενικότερη χωρική εξάπλωση του φαινομένου (Milly et al., 2002; Mishra και Singh, 2010).

Ήδη κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών έχουν παρατηρηθεί έντονες ξηρασίες μεγάλης κλίμακας σε όλες ανεξαιρέτως τις ηπείρους, πλήττοντας μεγάλες περιοχές στην Ευρώπη, την Αφρική, την Ασία, την Αυστραλία, τη Νότια Αμερική, την Κεντρική Αμερική και τη Βόρειο Αμερική (Le Comte, 1995).

Στις νότιες, στις νοτιοανατολικές περιοχές της Ευρώπης αλλά και σε περιοχές της Μεσογείου έχει παρατηρηθεί σημαντική αύξηση στη συχνότητα και στη διάρκεια εμφάνισης της ξηρασίας (Kundzewicz et al., 2007). Οι ξηρασίες αυτές δεν αποτελούν χαρακτηριστικό της ευρύτερης λεκάνης της Μεσογείου αλλά εμφανίζεται να έχουν ένα τοπικό χαρακτήρα και να εντοπίζονται γεωγραφικά στη Δυτική Μεσόγειο, την Ελλάδα και την περιοχή της Λεβαντίνης, μιας περιοχής της Μέσης Ανατολής που περιλαμβάνει μεταξύ άλλων το Ισραήλ, τον Λίβανο, την Ιορδανία και την Κύπρο (Cook et al, 2016).

Σύμφωνα με την έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (ΕΚ, 2008), η Κύπρος συγκαταλέγεται στις χώρες της νοτιοανατολικής Ευρώπης στις οποίες έχουν παρατηρηθεί οι υψηλότερες συχνότητες εμφάνισης ξηρασίας κατά την περίοδο 1976 έως 2006, με το μεγαλύτερο μέρος της επικράτειας της να επηρεάζεται σημαντικά σε κάθε επεισόδιο ξηρασίας.

Είναι χαρακτηριστικό ότι κατά την περίοδο 1971-2008 παρατηρήθηκαν στην Κύπρο συνολικά 9 περίοδοι μετεωρολογικής ξηρασίας με τις πιο σημαντικές να τοποθετούνται χρονικά κατά τα έτη 1971-1974, 1981-1984, 1989-1991 1993-1994 1995-2000 και 2004-2008 ενώ αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι τις πρώτες πέντε χρονικά μετεωρολογικές ξηρασίες ακολούθησε ένα οξύ υδατικό πρόβλημα που είχε σαν αποτέλεσμα τη λήψη έκτατων μέτρων μεταξύ των οποίων ήταν και οι περικοπές στην υδροδότηση, επηρεάζοντας το σύνολο της κυπριακής επικράτειας (Τμήμα Μετεωρολογίας Κύπρου, 2018).

Παράλληλα ο αριθμός των ετών με ολιγομβρία, ήταν επίσης συγκριτικά μεγαλύτερος σε διάρκεια σε σχέση με το παρελθόν, ενώ τα περισσότερα θερμά

έτη του αιώνα σημειώθηκαν κατά την τελευταία εικοσαετία (Τμήμα Μετεωρολογίας Κύπρου, 2018).

Ειδικότερα για την Κύπρο κατά τη διάρκεια του 20^{ου} και στις αρχές του 21^{ου} αιώνα παρατηρήθηκαν σημαντικές μεταβολές στις δύο βασικότερες κλιματικές παραμέτρους, βροχόπτωση και θερμοκρασία, με τη βροχόπτωση να παρουσιάζει μια πτωτική τάση ενώ αντιστρόφως να παρατηρείται μια συνεχώς ανοδική τάση για τη θερμοκρασία (Pashiardis, 2009).

Οι συνθήκες ξηρασίας που ήδη παρατηρούνται στην νοτιοανατολική περιοχή της Μεσογείου προβλέπεται ότι θα οξυνθούν περαιτέρω λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και της μεταβολής των επιπέδων βροχόπτωσης ως συνέπεια της κλιματικής αλλαγής (European Environment Agency, 2017), ενισχύοντας έτσι τις ανησυχίες για ευρύτερες κοινωνικοπολιτικές και οικονομικές εντάσεις σε μια ιδιαίτερα ευαίσθητη γεωπολιτικά περιοχή.

Οι προσομοιώσεις των κλιματολογικών μοντέλων για τον 21 αιώνα υπογραμμίζουν την τρωτότητα της Κύπρου στις κλιματικές αλλαγές, καθώς προβλέπεται αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας κατά 1,3 έως 1,9 ° C για την περίοδο 2021-2050 και 3,6 έως 5,0 ° C για την περίοδο 2071-2100. Παράλληλα προβλέπεται ότι θα υπάρξει μια απότομη μείωση των βροχοπτώσεων μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα. Η δε διάρκεια των περιόδων ξηρασίας στην Κύπρο, εκτιμάται ότι στο μέλλον θα αυξηθεί κατά μέσο όρο σε 12 ημέρες / έτος (Zachariadis, 2016).

Η έλλειψη του νερού είναι ήδη ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η Κύπρος καθώς οι υδάτινοι πόροι της είναι περιορισμένοι. Η παρατεταμένη ολιγομβρία σε συνδυασμό με την αυξημένη ηλιοφάνεια και την υψηλή κατανάλωση νερού, λόγω του υψηλού βιοτικού επιπέδου και των αναγκών που προκύπτουν από τον τουρισμό και την γεωργία, επιτείνουν το όλο πρόβλημα (Zachariadis, 2010). Ένα πρόβλημα που αναμένεται να ενταθεί στο μέλλον καθώς η Κύπρος θα αντιμετωπίσει σοβαρές προκλήσεις ως συνέπεια των κλιματικών αλλαγών.

Μεταξύ των τομέων που προβλέπεται ότι θα επηρεαστούν από την μεταβολή των κλιματολογικών συνθηκών είναι η γεωργία, οι υδάτινοι πόροι, η βιοποικιλότητα, το δασικό δυναμικό και οι παράκτιες ζώνες (CYPADAPT, 2012).

Σύμφωνα με τους (Bruggeman et al., 2011) η μεταβλητότητα του κλίματος, οι υψηλές θερμοκρασίες καθώς και οι περιορισμένες βροχοπτώσεις θα μειώσουν σημαντικά τη φυτική παραγωγή στην Κύπρο με αποτέλεσμα οι ετήσιες αποδόσεις των καλλιεργειών να μειωθούν σε ποσοστά της τάξης του 41- 43%, γεγονός που θα επιφέρει απώλειες στην κυπριακή οικονομία έως και 80 εκατ. ευρώ σε ετήσια βάση ενώ το πρόσθετο κόστος λόγω της μειωμένης διαθεσιμότητας νερού για τον οικιακό και τον βιομηχανικό τομέα υπολογίζεται ότι θα κυμανθεί στα 16-32 εκατ. Ευρώ σε τιμές του 2009 (Ζαχαριάδης, 2010).

Η μείωση της βροχόπτωσης και οι παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας θα έχουν επίσης αρνητική επίδραση στο δασικό δυναμικό της Κύπρου. Ήδη τα δάση της Κύπρου έχουν επηρεαστεί αρνητικά λόγω της ξηρασίας των προηγούμενων ετών με αποτέλεσμα τη συρρίκνωση τους, ειδικά στην περιοχή του Τροόδους ενώ ως συνέπεια της μεταβολής των κλιματολογικών συνθηκών παρατηρήθηκε αύξηση στην προσβολή τους από ασθένειες και επιβλαβή έντομα (Τμήμα Δασών, 2018).

Το σημαντικότερο περιστατικό που σημειώθηκε κατά την παρατεταμένη περίοδο ξηρασίας 2005-2008 είχε σημαντική επίδραση σε μεγάλο αριθμό δασικών ειδών ενώ η περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας και οι παρατεταμένες ξηρασίες θα ευνοήσουν την ανάπτυξη και την εξάπλωση αυτών των βλαβερών οργανισμών (CYPADAPT, 2012).

Παράλληλα λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και των παρατεταμένων περιόδων ξηρασίας που επικρατούν στο νησί, αλλά και λόγω της συσσώρευσης ξηρής εύφλεκτης βλάστησης τα δάση θα καταστούν πιο ευάλωτα στις πυρκαγιές. Με βάση τις προβλέψεις για τις κλιματικές αλλαγές, ο αριθμός των ημερών με κίνδυνο πυρκαγιάς προβλέπεται ότι θα αυξηθεί κατά 5 έως 15 ημέρες ενώ ο αριθμός των ημερών με ακραίο κίνδυνο πυρκαγιάς θα παρουσιάσει αύξηση από 1 έως 5 ημέρες το χρόνο (CYPADAPT, 2012).

Ο βαθμός στον οποίο οι επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή θα επηρεάσουν την κοινωνία, την οικονομία και το περιβάλλον της Κύπρου θα εξαρτηθεί από την πολιτική και τις δράσεις που θα εφαρμοστούν στο πλαίσιο ενός εθνικού σχεδίου στρατηγικής προσαρμογής (Papadaskaloroulou et. al., 2014).

Σημαντικός παράγοντας για την αξιολόγηση και την ορθολογική αντιμετώπιση των συνεπειών από την κλιματική αλλαγή θα διαδραματίσει η επάρκεια και αξιοπιστία των απαραίτητων δεδομένων. Κρίνεται επομένως σκόπιμο να αναπτυχθεί ένας κατάλληλος μηχανισμός για τη συλλογή και επεξεργασία των απαραίτητων στοιχείων με σκοπό την επαρκή παρακολούθηση και αξιολόγηση της κατάστασης.

1.1 Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης

Η αναγνώριση, ποσοτικοποίηση και η παρακολούθηση του φαινομένου της ξηρασίας είναι εν γένει μια δύσκολη διαδικασία, η οποία όμως είναι απαραίτητη καθώς δίνει τη δυνατότητα σε όλους τους εμπλεκόμενους φορείς (π.χ. κυβερνήσεις, οργανισμούς κ.α.) να προβαίνουν στη λήψη των απαραίτητων μέτρων για την έγκαιρη και πιο αποτελεσματική αντιμετώπιση των συνεπειών του φαινομένου αυτού (WMO, 2006).

Για την εκτίμηση και αξιολόγηση των χαρακτηριστικών της ξηρασίας όπως λ.χ. έναρξη, ένταση, χωρική κατανομή, έχει αναπτυχθεί ένας σημαντικός αριθμός εργαλείων μεταξύ των οποίων και οι δείκτες ξηρασίας (Heim, 2002).

Οι δείκτες ξηρασίας αποτελούν ένα εύχρηστο εργαλείο για την καταγραφή και περιγραφή μια κατάστασης, παρέχοντας περισσότερη και πιο συμπυκμένη πληροφορία σε σχέση με τα πρωτογενή δεδομένα δίνοντας σε μεγαλύτερο βαθμό, τη δυνατότητα παρακολούθησης της διαχρονικής εξέλιξης ενός φαινομένου και καθιστώντας δυνατή την έγκαιρη επισήμανση και αναγνώριση τάσεων και τη σύγκριση σε τοπικό, περιφερειακό και διεθνές επίπεδο (Zargar et al., 2011).

Για τον υπολογισμό των δεικτών ξηρασίας χρησιμοποιούνται κυρίως μετρήσεις μετεωρολογικών και υδρολογικών δεδομένων, όπως οι τιμές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας (Hayes et al. 2007).

Οι εγγενείς όμως δυσκολίες που παρουσιάζονται πολλές φορές κατά τη διαδικασία λήψης και καταγραφής αυτών των δεδομένων, ο σημειακός χαρακτήρας λήψης τους καθώς και το συχνά αραιό δίκτυο των μετεωρολογικών σταθμών, περιορίζουν εν μέρη την αποτελεσματικότητα των «συμβατικών» δεικτών ξηρασίας καθώς δεν παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες που σχετίζονται με τη χωρική έκταση του φαινομένου (Thenkabail et al., 2004).

Τις τελευταίες δεκαετίες με τη ραγδαία ανάπτυξη της ψηφιακής τεχνολογίας και τη σχετικά εύκολη πρόσβαση σε δεδομένα τηλεπισκόπησης, δόθηκε η δυνατότητα για την επεξεργασία δορυφορικών εικόνων και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων αναφορικά με το φαινόμενο της ξηρασίας (Thenkabail et. al., 2004).

Η δυνατότητα ανάκτησης των τηλεσκοπικών δεδομένων ανά τακτά χρονικά διαστήματα και σε σχεδόν πραγματικό χρόνο και προπαντός η δυνατότητα για τη χωρική εκτίμηση του φαινομένου ιδιαίτερα για περιοχές για τις οποίες η πρόσβαση είναι εν γένει δύσκολη, αποτελούν σημαντικά πλεονεκτήματα καθιστώντας έτσι τη δορυφορική τηλεπισκόπηση ως ένα αξιόλογο εργαλείο για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους, επιτρέποντας έτσι την αποτελεσματικότερη παρακολούθηση της ξηρασίας σε μεγαλύτερη χωρική κάλυψη (Kogan, 1997).

Η χρησιμότητά των δεικτών βλάστησης έγκειται στο γεγονός ότι αποτελούν μια αξιόλογη μέθοδο για την ερμηνεία των εικόνων τηλεπισκόπησης καθώς και για την ανίχνευση των αλλαγών στη χρήση γης, μέσω της ανάλυσης δεδομένων διαφορετικών χρονικών περιόδων, την αξιολόγηση της πυκνότητας της φυτικής κάλυψης, τη διάκριση μεταξύ των διαφορετικών ειδών καλλιεργειών καθώς επίσης και την πρόβλεψη της απόδοσης τους (Glenn et. al, 2008) ενώ η χρήση τους δίνει τη δυνατότητα του συσχετισμού των διαφοροποιήσεων που παρατηρούνται χρονικά στην κατάσταση της βλάστησης, με τις αντίστοιχες καιρικές συνθήκες που επικρατούν και την επηρεάζουν όπως λ.χ. την εμφάνιση της ξηρασίας.

Σύμφωνα με τον Tucker, (1979) οι δείκτες βλάστησης παρουσιάζουν συγκριτικά μεγαλύτερη ευαισθησία σε σχέση με τις μεμονωμένες φασματικές αποκρίσεις

της βλάστησης και επομένως χαρακτηρίζουν καλύτερα την ποιότητα και την ενεργητικότητα της.

Στη διεθνή βιβλιογραφία καταγράφονται περισσότεροι από 100 δείκτες βλάστησης, (Xue και Su, 2017) με κάθε δείκτη να παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα, πλεονεκτήματα και περιορισμούς και κυρίως την ικανότητα ως προς την αξιολόγηση της πράσινης βλάστησης.

Κεφάλαιο 2

Ορισμοί, Έννοιες, Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Ξηρασία - Ορισμοί

Αν και η ξηρασία αποτελεί διαχρονικά ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα με ευρύτερες κοινωνικό - οικονομικές επιπτώσεις είναι κοινή η διαπίστωση ότι δεν υπάρχει ένας καθολικά αποδεκτός ορισμός της, τόσο από την επιστημονική κοινότητα όσο και από τους φορείς που εμπλέκονται στη παρακολούθηση, αξιολόγηση και αντιμετώπιση των επιπτώσεων της (Wilhite, 2005).

Χαρακτηριστικό είναι ότι από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση προκύπτει ότι υπάρχει μια πληθώρα ορισμών της ξηρασίας γεγονός που καταδεικνύει την πολύπλευρη διάστασή της, που έγκειται κυρίως στη ποικιλομορφία του τρόπου εμφάνισής της, στη γεωγραφική καθώς και στη χρονική κατανομή της και κυρίως στις επιπτώσεις της σε ένα ευρύ φάσμα τομέων (Heim, 2002).

Οι ορισμοί που έχουν διατυπωθεί από μεγάλους Οργανισμούς όπως ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός, ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας και ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών συνδέουν τη ξηρασία με το έλλειμμα και τις επιπτώσεις που παρατηρούνται από τα μειωμένα επίπεδα βροχόπτωσης.

Συγκεκριμένα ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO, 1992) ορίζει την ξηρασία ως μια «συνεχή, εκτεταμένη ανεπάρκεια βροχόπτωσης» ενώ σύμφωνα με τον ορισμό του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (Συνθήκη για την Καταπολέμηση της Ερημοποίησης) η ξηρασία ορίζεται ως «το φυσικό φαινόμενο

που παρατηρείται όταν οι βροχοπτώσεις βρίσκονται σημαντικά κάτω από τα κανονικά επίπεδα που έχουν καταγραφεί, προκαλώντας σοβαρές υδρολογικές ανισορροπίες που επηρεάζουν δυσμενώς τα συστήματα παραγωγής χερσαίων πόρων».

Αντίστοιχα, η ξηρασία ορίζεται από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (Food and Agriculture Organization, FAO) των Ηνωμένων Εθνών ως «το ποσοστό των ετών, κατά το οποίο οι καλλιέργειες αποτυγχάνουν από την έλλειψη υγρασίας» (FAO, 1983).

Καθίσταται επομένως σαφές ότι η ξηρασία αποτελεί ένα περίπλοκο και πολυδιάστατο φαινόμενο με επιδράσεις που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Για το σκοπό αυτό έχει γίνει από την επιστημονική κοινότητα μια προσέγγιση για την ανάλυση και την αξιολόγηση της ξηρασίας με βάση τις επιπτώσεις των τομέων που επηρεάζονται κατά περίπτωση (Mishra and Singh, 2010).

Η κατηγοριοποίηση αυτή, προτάθηκε αρχικά από τους Dracup κ.α. (1980) και έτυχε ευρείας αποδοχής από την επιστημονική κοινότητα. Διακρίνει την ξηρασία σε τέσσερις διακριτές κατηγορίες ανάλογα με τον τομέα που επηρεάζεται. Οι κατηγορίες αυτές είναι η μετεωρολογική, η γεωργική, η υδρολογική και η κοινωνικοοικονομική.

Η Μετεωρολογική ή Κλιματολογική ξηρασία (meteorological drought) σχετίζεται με την παρατεταμένη, μη κανονική έλλειψη υγρασίας, η οποία είναι συγκριτικά χαμηλότερη από το μέσο όρο ενός μεγάλου αριθμού παρατηρήσεων (Palmer, 1965). Η Μετεωρολογική ξηρασία συνήθως εκφράζεται μέσω της σύγκρισης των βροχοπτώσεων που παρατηρούνται σε μια δεδομένη περιοχή, σε σχέση με τις συνήθειες ή «κανονικές» μέσες τιμές βροχόπτωσης της συγκεκριμένης περιοχής.

Ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (World Meteorological Organization - WMO) θέτει σαν διακριτό όριο για τον χαρακτηρισμό της μετεωρολογικής ξηρασίας το έλλειμμα της βροχόπτωσης σε ποσοστό ίσο ή μεγαλύτερο του 40%, το οποίο παρατηρείται για χρονική διάρκεια μεγαλύτερη των δύο διαδοχικών

ετών και για χωρική κάλυψη μεγαλύτερη του 50% της συνολικής έκτασης της περιοχής στην οποία εμφανίζεται η ξηρασία (WMO, 1986).

Η Γεωργική ξηρασία (agricultural drought) σχετίζεται με τη μη αναμενόμενη ανάπτυξη των καλλιεργειών σαν συνέπεια της περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού και συνδέει τα χαρακτηριστικά της μετεωρολογικής και της υδρολογικής ξηρασίας, (όπως λ.χ. την έλλειψη βροχόπτωσης, τη διαφορά μεταξύ πραγματικής και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, το διαθέσιμο εδαφικό νερό κ.α.) με τις επιπτώσεις τους στη γεωργία Dracup κ.α. (1980).

Στις περιπτώσεις όπου η διαθέσιμη ποσότητα εδαφικής υγρασίας στο επίπεδο του ριζικού συστήματος βρίσκεται κάτω από ένα κρίσιμο όριο, το οποίο είναι απαραίτητο για τη φυσιολογική βιολογική λειτουργία και την ανάπτυξη του φυτού, παρατηρούνται αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη του Dracup κ.α. (1980).

Η γεωργική ξηρασία, οδηγεί σε χαμηλές αποδόσεις των καλλιεργειών ενώ σε μερικές περιπτώσεις τα αποτελέσματα είναι καταστροφικά ειδικότερα εάν παρουσιαστεί σε περίοδο κατά την οποία οι ανάγκες των φυτών σε νερό είναι αυξημένες.

Η Γεωργική ξηρασία (agricultural drought) σχετίζεται με τη μη αναμενόμενη ανάπτυξη των καλλιεργειών σαν συνέπεια της περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού και συνδέει τα χαρακτηριστικά της μετεωρολογικής και της υδρολογικής ξηρασίας, (όπως λ.χ. την έλλειψη βροχόπτωσης, τη διαφορά μεταξύ πραγματικής και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, το διαθέσιμο εδαφικό νερό κ.α.) με τις επιπτώσεις τους στη γεωργία (WMO,, 1975).

Στις περιπτώσεις όπου η διαθέσιμη ποσότητα εδαφικής υγρασίας στο επίπεδο του ριζικού συστήματος βρίσκεται κάτω από ένα κρίσιμο όριο, το οποίο είναι απαραίτητο για τη φυσιολογική βιολογική λειτουργία και την ανάπτυξη του φυτού, παρατηρούνται αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη του.

Η γεωργική ξηρασία, οδηγεί σε χαμηλές αποδόσεις των καλλιεργειών ενώ σε μερικές περιπτώσεις τα αποτελέσματα είναι καταστροφικά ειδικότερα εάν

παρουσιαστεί σε περίοδο κατά την οποία οι ανάγκες των φυτών σε νερό είναι αυξημένες (WMO, 1975).

Η Υδρολογική ξηρασία (hydrological drought) σχετίζεται με τις επιπτώσεις του υδρολογικού ελλείμματος στα επιφανειακά και υπόγεια αποθέματα νερού. Η υδρολογική ξηρασία εκφράζεται μέσω της ελάττωσης των απορροών, την πτώση της στάθμης των ποταμών, των λιμνών και των υπόγειων υδροφορέων και παρουσιάζει συνήθως χρονική υστέρηση στην εμφάνιση της σε σχέση με τη μετεωρολογική ξηρασία καθώς χρειάζεται ένα επαρκές χρονικό διάστημα για να αποτυπωθούν τα ελλείμματα των βροχοπτώσεων στα στοιχεία του υδρολογικού συστήματος ενώ εξαρτάται σημαντικά από την υφιστάμενη εδαφική υγρασία (WMO, 2006).

Τέλος, η Κοινωνικό-οικονομική ξηρασία (socioeconomic drought) σχετίζεται με τις επιπτώσεις της ξηρασίας και γενικότερα της μείωσης των υδάτινων πόρων τόσο στην κοινωνική όσο και στην οικονομική δραστηριότητα μιας περιοχής.

Η Κοινωνικό-οικονομική ξηρασία δεν αποτελεί έναν ανεξάρτητο τύπο ξηρασίας αλλά ουσιαστικά αναδεικνύει τις επιπτώσεις της μειωμένης διαθεσιμότητας υδατικών πόρων, η οποία μπορεί να οφείλεται είτε στην μειωμένη βροχόπτωση είτε στην υπερκατανάλωση είτε στις ανεπαρκείς υποδομές διαχείρισης των υφιστάμενων υδατικών πόρων σε σχέση με την ικανότητα προσαρμογής των κοινωνικο-οικονομικών συστημάτων (WMO, 2006).

2.2 Χαρακτηριστικά της ξηρασίας

Ο εντοπισμός η παρακολούθηση και αξιολόγηση της ξηρασίας αποτελούν τις πιο σημαντικές διαδικασίες για την έγκαιρη αντιμετώπιση και διαχείριση του φαινομένου. Για τη συστηματικότερη όμως αντιμετώπιση της ξηρασίας με σκοπό αφενός τη λήψη προληπτικών μέτρων όσο και μέτρων για την απάμβλυνση των επιπτώσεών της, απαιτείται μια πολύπλευρη και ενδεδειγμένη ανάλυση των χαρακτηριστικών της γνωρισμάτων.

Η αναγνώριση τουλάχιστον των τριών βασικών χαρακτηριστικών ή διαστάσεων της ξηρασίας δηλαδή της έντασης, της διάρκειας και της χωρικής έκτασης (Wilhite, 2000) είναι σημαντική για την αξιολόγηση της ξηρασίας ενώ και άλλα

χαρακτηριστικά του φαινομένου όπως η συχνότητα καθώς και η ανάπτυξη και εξέλιξη του (Mishra and Singh, 2010) διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο για την κατανόηση του φαινομένου.

Η χωρική έκταση της ξηρασίας αναφέρεται στη γεωγραφική έκταση που επηρεάζεται. Συχνά η ξηρασία αναπτύσσεται σε χωρικό επίπεδο σταδιακά με την πάροδο του χρόνου, με αποτέλεσμα να καλύπτει όλο και μεγαλύτερη έκταση. Η γνώση της χωρικής κατανομής της ξηρασίας είναι πολύ σημαντική για τη διαχείριση των υδατικών πόρων με σκοπό την αντιμετώπιση και την απάμβλυση των επιπτώσεων της ξηρασίας.

Η ένταση αναφέρεται στη διαβάθμιση της δριμύτητας της ξηρασίας. Μπορεί να μετρηθεί με σημείο αναφοράς κάποια μέση ή συνήθη τιμή και συνδέεται με τη σφοδρότητα των επιπτώσεων της. Γενικότερα η ένταση καθορίζεται με τον υπολογισμό διάφορων Δεικτών Ξηρασίας (WMO, 2016). Ο πιο διαδεδομένος δείκτης μέτρησης της έντασης της ξηρασίας βασίζεται σε μετεωρολογικά στοιχεία και συγκεκριμένα στα στοιχεία βροχόπτωσης μιας περιοχής και υπολογίζεται έως το επί της εκατό ποσοστό σε σχέση με τις κανονικές τιμές της βροχόπτωσης για το διάστημα που εξετάζεται σε δεδομένη περιοχή (WMO, 2006).

Η διάρκεια ενός επεισοδίου ξηρασίας ονομάζεται το χρονικό διάστημα εμφάνισης της ξηρασίας και συνήθως ορίζεται ως ο αριθμός των συνεχόμενων χρονικών περιόδων κατά τα οποία παρουσιάζεται το φαινόμενο. Χρονικά μια ξηρασία μπορεί να διαρκέσει από ένα μικρό χρονικό διάστημα μερικών μηνών ως και αρκετά έτη και να χαρακτηριστεί ως μόνιμη, αν το φαινόμενο παρουσιάζει εμμονή ετών σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή (Wilhite, 2000).

Ο προσδιορισμός της έναρξης και της λήξης της ξηρασίας εκτιμάται με τη βοήθεια κάποιου δείκτη (Dracup et al., 1980). Η οριοθέτηση ή ο καθορισμός του εύρους των τιμών ενός δείκτη μέσω του οποίου χαρακτηρίζεται η έναρξης ή η λήξη της ξηρασίας ή ακόμα και η έντασή της συνήθως επιλέγεται αυθαίρετα. Η επιλογή ενός προκαθορισμένου ορίου είναι εν γένει δύσκολη και μπορεί να διαφέρει ανά περίπτωση και γεωγραφική περιοχή.

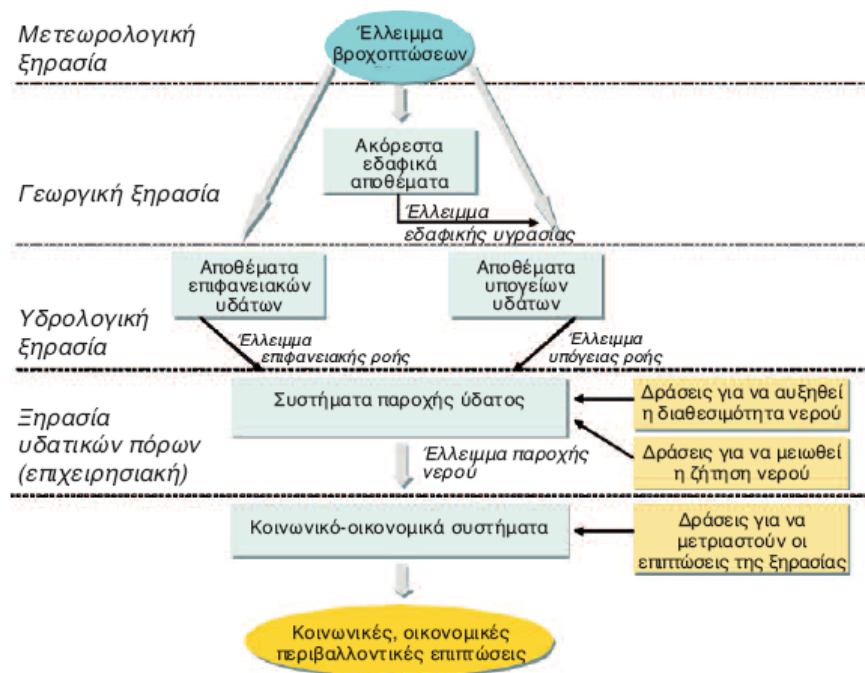
Η χρονική στιγμή της έναρξης της ξηρασίας είναι ιδιαίτερα σημαντική και σχετίζεται με τον προσδιορισμό του τύπου ξηρασίας που παρατηρείται καθώς η εμφάνιση της ξηρασίας σε διαφορετική χρονική στιγμή μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικές επιπτώσεις π.χ. η μείωση της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια της σποράς έχει σημαντικές επιπτώσεις στο φυτικό δυναμικό μιας περιοχής και μπορεί να θεωρηθεί έως γεωργική ξηρασία ενώ αντίστοιχα η ίδια ελάττωση της βροχόπτωσης σε κάποια άλλη χρονική στιγμή πιθανόν να μην έχει ιδιαίτερες επιπτώσεις στο φυτικό δυναμικό και να θεωρηθεί μόνο ως μετεωρολογική ξηρασία (Wilhite, 2000).

Με τον όρο συχνότητα της ξηρασίας (Frequency or return period) ορίζεται η μέση τιμή του χρονικού διαστήματος το οποίο μεσολαβεί για την εμφάνιση δύο συνεχόμενων γεγονότων ξηρασίας και ουσιαστικά χαρακτηρίζει την περίοδο επανεμφάνισης του φαινομένου σε μια περιοχή η οποία μπορεί να ποικίλει (WMO, 2006).

Η ακολουθία της εμφάνισης των διαφόρων τύπων της ξηρασίας είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς δίνει στους αρμόδιους φορείς τη δυνατότητα για έγκαιρο προγραμματισμό με σκοπό την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση των συνεπειών της (E.E., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006).

Συνήθως ο γεωργικός τομέας επηρεάζεται πρώτος σε συνθήκες παρατεταμένης ολιγομβρίας εξαιτίας της άμεσης εξάρτησης του από την εδαφική υγρασία, η οποία σε συνδυασμό με την επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών εξατμίζεται με ταχύτερους ρυθμούς λόγω της αυξημένης εξατμισοδιαπνοής, με συνεπακόλουθο τις δυσμενείς επιπτώσεις στην ανάπτυξη του φυτικού δυναμικού (E.E., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006).

Ακολουθώς και δεδομένης της συνεχιζόμενης μειωμένης βροχόπτωσης και αναλόγως των χαρακτηριστικών του υδρολογικού συστήματος, παρατηρείται μια μείωση των απορροών η οποία μεταφράζεται σε μείωση των επιπέδων των επιφανειακών υδάτων όπως λ.χ. λιμνών και ταμιευτήρων και αντιστοίχως σε μείωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα λόγω του ελλείμματος υπόγειας ροής.



Εικόνα 0.1: Διάγραμμα στο οποίο παρουσιάζονται οι μορφές της ξηρασίας και οι σχέσεις μεταξύ τους (πηγή: E.E., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006.)

Τέλος η παρατεταμένη ολιγομβρία, η οποία σε συνδυασμό με τις ανεπαρκείς υποδομές και την ανισορροπία που προκαλείται από την γενικότερη αύξηση της ζήτησης στους περιορισμένους υδάτινους πόρους, προκαλεί δυσμενείς επιπτώσεις και σε κοινωνικό-οικονομικό επίπεδο (E.E., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006).

Με την αποκατάσταση όμως των κανονικών επιπέδων βροχόπτωσης, οι επιπτώσεις της ξηρασίας υποχωρούν σταδιακά. Αρχικά αυξάνονται τα αποθέματα της εδαφικής υγρασίας και εν συνέχεια αποκαθίστανται το επίπεδο των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων του υδρολογικού συστήματος. Το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την επαναφορά του υδρολογικού συστήματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διάρκειά και τη δριμύτητα της ξηρασίας που έχει προηγηθεί καθώς επίσης και από το ύψος της βροχόπτωσης που λαμβάνει χώρα μέχρι τη λήξη του επεισοδίου.

2.3 Δείκτες Ξηρασίας στην Κύπρο - Εφαρμογή του Σχεδίου Διαχείρισης Ξηρασίας

Στα πλαίσια εφαρμογής του σχεδίου Διαχείρισης της Ξηρασίας έχει καταρτιστεί από το Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων ένα σχέδιο δράσης μέσω του οποίου δίνεται η δυνατότητα για την έγκαιρη διάγνωση της απειλής της ξηρασίας.

Βασικό στοιχείο του Σχεδίου Διαχείρισης Ξηρασίας είναι η υιοθέτηση και εφαρμογή ενός συστήματος δεικτών το οποίο αποτελεί το εργαλείο ποσοτικοποίησης και έγκαιρης διάγνωσης της ξηρασίας παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά της όπως λ.χ. το χρόνο έναρξης και λήξης της καθώς και την ένταση, τη διάρκεια και το γεωγραφικό εύρος της με σκοπό την αποτελεσματικότερη διαχείριση και περιορισμού των δυσμενών επιπτώσεων της (Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων, 2011).

Για την παρακολούθηση και αξιολόγηση της ξηρασίας σε εθνικό επίπεδο χρησιμοποιούνται συνολικά έξι (6) Δείκτες Ξηρασίας εκ των οποίων οι πέντε (5) αφορούν την ανάλυση των υδρολογικών στοιχείων του νησιού (Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων, 2013).

Οι δείκτες αυτοί είναι:

1. Ο Τυποποιημένος Δείκτης Βροχοπτώσεων SPI.
2. Ο Δείκτης απορροών υγρής περιόδου.
3. Ο Δείκτης απορροών υδρολογικών ετών.
4. Ο Δείκτης μηνιαίας δίαιτας ποταμών
5. Ο Δείκτης αποθεμάτων στα φράγματα:
 - α) του Έργου Νοτίου Αγωγού και
 - β) του Έργου Πάφου
6. Ο Δείκτης Παρακολούθησης της ποσοτικής κατάστασης σωματών υπόγειου ύδατος

Σημειώνεται ότι ο υπολογισμός των πέντε Υδρολογικών δεικτών εμπίπτει στις αρμοδιότητες του Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων ενώ ο υπολογισμός του μετεωρολογικού δείκτη SPI εμπίπτει στις αρμοδιότητες του Τμήματος Μετεωρολογίας.

Πίνακας 0.1: Δείκτες Σχεδίου Διαχείρισης της Ξηρασίας και αντικείμενα παρακολούθησης

| ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ | ΔΕΙΚΤΕΣ | | | | | |
|--|---------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | SPI | Δείκτης απορροών υγρής περιόδου | Δείκτης απορροών υδρολογικών ετών | Δείκτης μηνιαίας διαίτης | Δείκτης αποθεμάτων στα φράγματα | Χαρακτηρισμός υπόγειων σωμάτων |
| Έναρξη και λήξη ξηρασίας | √ | √ | √ | | | |
| Ένταση ξηρασίας | √ | | √ | | | |
| Εξασφάλιση έγκαιρης διάγνωσης | | √ | | | √ | |
| Πιέσεις στο ευρύτερο φυσικό περιβάλλον | √ | | | | | |
| Πιέσεις στα ποτάμια οικοσυστήματα | | | | √ | | |
| Πιέσεις στα λιμναία οικοσυστήματα | | | √ | | √ | |
| Πιέσεις στα υπόγεια σώματα | √ | | | | | √ |
| Πιέσεις στην ύδρευση | | | | | | √ |
| Πιέσεις στην άρδευση | √ | | √ | | √ | √ |
| Πιέσεις στην μη αρδευόμενη γεωργία | √ | | | | | |

(πηγή: Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων, 2013)

Οι δείκτες ξηρασίας του σχεδίου Διαχείρισης της Ξηρασίας της Κυπριακής Δημοκρατίας υπολογίζονται με βάση ιστορικά υδρομετεωρολογικά στοιχεία και οι τιμές τους διακυμαίνονται εντός συγκεκριμένου εύρους, παρέχοντας πληροφορίες για την ύπαρξη και την ένταση της ξηρασίας σε μία περιοχή ενώ μέσω της αντιστοίχισης των κρίσιμων τιμών των δεικτών με συγκεκριμένες προδιαγραμμένες δράσεις, επιχειρείται η αντιμετώπιση ή/και η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της ξηρασίας. (Παράρτημα I Διάγραμμα για τη Διαχείριση της

Ξηρασίας). Παράλληλα μέσω των δεικτών αποτυπώνονται οι πιέσεις που ασκούνται στα υδατικά σώματα της Κύπρου.

Στον Πίνακα 2.1 καταγράφονται οι Δείκτες που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της ξηρασίας στην Κύπρο από το Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων καθώς και τα αντικείμενα παρακολούθησης για την Κύπρο.

2.3.1 Τυποποιημένος Δείκτης Βροχοπτώσεων SPI

Ο κύριος δείκτης που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της ξηρασίας είναι μετεωρολογικός και αφορά την επιφανειακή βροχόπτωση στις Υδρολογικές Περιοχές που έχουν οριστεί. Η επιλογή του Δείκτη SPI (Standardized Precipitation Index) σχετίζεται με τη δυνατότητα του για άμεση σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών υδρολογικών περιοχών. Επειδή οι υδρολογικές λεκάνες της Κύπρου είναι μικρές, η συμβολή των χιονοπτώσεων πολύ μικρή και οι βροχοπτώσεις αρκετά συγκεντρωμένες χρονικά, ο συγκεκριμένος μετεωρολογικός δείκτης είναι κατάλληλος σαν δείκτης οδηγός για την ξηρασία, επιτρέποντας τον προσδιορισμό της σπανιότητας μιας περιόδου ξηρασίας για μια δεδομένη χρονική κλίμακα και για οποιαδήποτε θέση, δεδομένης της διαθεσιμότητας ικανοποιητικής χρονοσειράς βροχοπτώσεων. Μεταξύ των πλεονεκτημάτων του είναι η δυνατότητα συγκρισιμότητας μεταξύ περιοχών με διαφορετικά χαρακτηριστικά.

2.3.2 Δείκτης Απορροής Υδρολογικού Έτους

Ο Δείκτης Απορροής Υδρολογικού Έτους λειτουργεί σαν συμπληρωματικός του Τυποποιημένου Δείκτη Βροχοπτώσεων SPI επειδή εξαρτάται απευθείας από τις τιμές απορροής αναδεικνύοντάς έτσι τις πιθανές αδυναμίες του δείκτη SPI να προβλέψει τις επιπτώσεις στην απορροή οι οποίες ενδεχομένως να μην προκύψουν από αυτό καθ' αυτό το ύψος των βροχοπτώσεων.

Ο δείκτης υπολογίζεται με βάση την εκτίμηση της τυπικής απόκλισης των ετήσιων εισροών στα φράγματα της Κύπρου. Μία χαμηλή τιμή υποδεικνύει μικρή μεταβλητότητα της απορροής και έτσι μειώνεται η ευαισθησία της διαθεσιμότητας ύδατος, ενώ αντίθετα υψηλή μεταβλητότητα υποδηλώνει

αυξημένη ευαισθησία. Ο δείκτης χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ασφάλειας ύδρευσης για την Κύπρο.

Πίνακας 0.2: Αντιστοίχιση επιπέδου επιφυλακής και ενεργειών σε περίοδο ξηρασίας

| ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΕΠΙΦΥΛΑΚΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ | |
|--|--|
| Επίπεδο Επιφυλακής | Ενέργειες (ΑΡΜΟΔΙΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑ) |
| Ήπια | <p>Ενημέρωση αρμόδιων λειτουργών. (ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ)</p> <p>Ενημέρωση χρηστών για αυξημένη προσοχή στην κατανάλωση. (ΔΗΜΟΣΙΟΤΗΤΑ)</p> <p>Μεγιστοποίηση ύδρευσης από αφαλατώσεις. (ΥΔΡΕΥΣΗ)</p> <p>Απολήψεις από τα μεγάλα έργα σύμφωνα με το δείκτη αποθεμάτων. (ΥΔΡΕΥΣΗ & ΑΡΔΕΥΣΗ)</p> |
| Μέτρια | <p>Ενημέρωση αρμόδιων λειτουργών. (ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ)</p> <p>Ενημέρωση χρηστών για αυξημένη προσοχή στην κατανάλωση. (ΔΗΜΟΣΙΟΤΗΤΑ)</p> <p>Μεγιστοποίηση ύδρευσης από αφαλατώσεις. (ΥΔΡΕΥΣΗ) Δημοσιοποίηση κατάστασης και εντατικοποίηση του προγράμματος ενημέρωσης του κοινού. (ΔΗΜΟΣΙΟΤΗΤΑ)</p> <p>Εντατικοποίηση ελέγχων για περιορισμό ανεξέλεγκτων απολήψεων και αντλήσεων, καθώς και περιορισμό σπατάλης. (ΕΠΙΔΡΑΣΙΑΚΑ ΓΡΑΦΕΙΑ) Απολήψεις από τα μεγάλα έργα σύμφωνα με το δείκτη αποθεμάτων. (ΥΔΡΕΥΣΗ & ΑΡΔΕΥΣΗ)</p> |
| Υψηλή | <p>Ενημέρωση αρμόδιων λειτουργών. (ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ)</p> <p>Ενημέρωση χρηστών για μείωση στην κατανάλωση. (ΔΗΜΟΣΙΟΤΗΤΑ)</p> <p>Μεγιστοποίηση ύδρευσης από αφαλατώσεις. (ΥΔΡΕΥΣΗ)</p> <p>Δημοσιοποίηση κατάστασης και εντατικοποίηση του προγράμματος ενημέρωσης του κοινού. (ΔΗΜΟΣΙΟΤΗΤΑ)</p> <p>Εντατικοποίηση ελέγχων για περιορισμό ανεξέλεγκτων απολήψεων και αντλήσεων, καθώς και περιορισμό σπατάλης. (ΕΠΙΔΡΑΣΙΑΚΑ)</p> <p>Απολήψεις από τα μεγάλα έργα, σύμφωνα με το δείκτη αποθεμάτων, αλλά όχι περισσότερες από αυτές που αντιστοιχούν στη δράση «σημαντικές περικοπές» (ΥΔΡΕΥΣΗ & ΑΡΔΕΥΣΗ)</p> <p>Υπολογισμός του δείκτη μηνιαίας διαίτας και λήψη μέτρων σχετικά με τις ανάντη απολήψεις εφόσον είναι απαραίτητο (δείκτης μικρότερος του 5%). (ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ)</p> |
| Εξαιρετικά υψηλή | <p>Ενημέρωση αρμόδιων λειτουργών. (ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ)</p> <p>Ενημέρωση χρηστών για μείωση στην κατανάλωση. (ΔΗΜΟΣΙΟΤΗΤΑ)</p> <p>Μεγιστοποίηση παραγωγής μονάδων αφαλατώσεων, όπου είναι δυνατή η ταμίευση της περίσσειας. (ΥΔΡΕΥΣΗ)</p> <p>Δημοσιοποίηση κατάστασης και εντατικοποίηση του προγράμματος ενημέρωσης του κοινού. (ΔΗΜΟΣΙΟΤΗΤΑ)</p> <p>Εντατικοποίηση ελέγχων για περιορισμό ανεξέλεγκτων απολήψεων και αντλήσεων, καθώς και περιορισμό σπατάλης. (ΕΠΙΔΡΑΣΙΑΚΑ)</p> |

(πηγή: Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων, 2013)

Θα πρέπει εδώ να επισημανθεί ότι σύμφωνα με το εθνικό σχέδιο της Κύπρου για την αντιμετώπιση της ξηρασίας, η παρακολούθηση, εκτίμηση και αξιολόγηση του φαινομένου, στηρίζεται στη χρήση κυρίως υδρολογικών και μετεωρολογικών παραμέτρων.

Αν και το δίκτυο συλλογής των δεδομένων βροχόπτωσης καθώς και το δίκτυο παρακολούθησης των υδατικών αποθεμάτων χαρακτηρίζονται ως επαρκή, με αποτέλεσμα να δίνεται μια σαφής εικόνα των υδατικών πόρων και των πιέσεων που ασκούνται, εντούτοις είναι εμφανές ότι η αξιολόγηση του φαινομένου και των επιπτώσεων του, περιορίζεται κυρίως στην υδρολογική και στη μετεωρολογική διάσταση της ξηρασίας.

Η αξιοποίηση των δυνατοτήτων που παρέχουν οι δορυφορικοί δείκτες βλάστησης στην αξιολόγηση και στην έγκαιρη διάγνωση της ξηρασίας, έχουν ήδη αναφερθεί εκτενώς στη παρούσα διατριβή.

Η δυνατότητα παροχής πληροφοριών σε σχεδόν πραγματικό χρόνο αναφορικά με την κατάσταση της βλάστησης καθώς και η καθολική γεωγραφική κάλυψη, μπορεί να βελτιώσει, σημαντικά τη διαχείριση των υδάτινων πόρων ενώ η έγκαιρη αναγνώριση του υδατικού στρες της βλάστησης μπορεί να αποδειχτεί κρίσιμη για τον μετριασμό ή και την αποτροπή τυχόν αρνητικών συνεπειών για τη γεωργία (Thenkabail et al., 2004).

Επιπλέον η εύκολη πρόσβαση σε δορυφορικά δεδομένα, η καλύτερη χωρική διακριτική ικανότητα των δορυφόρων νέας γενιάς, το πολύ χαμηλό κόστος των δορυφορικών δεδομένων και η δυνατότητα για συχνή και επαναλαμβανόμενη επισκόπηση μιας περιοχής, προσφέρει μια αξιόλογη εναλλακτική επιλογή για την παρακολούθηση και εκτίμηση της ξηρασίας(Thenkabail et al., 2004).

Ειδικότερα τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί μια σημαντική ανάπτυξη της δορυφορικής τεχνολογίας και της τεχνογνωσίας, η οποία καθιστά τις μεθόδους αυτές περισσότερο αξιόπιστες στην απεικόνιση δεδομένων, αλλά και στην εκτίμηση παραμέτρων όπως είναι η ξηρασία.

Ειδικά για την Κύπρο που πλήττεται συχνά από σοβαρές ξηρασίες, η χρήση της δορυφορικής τηλεπισκόπησης αποτελεί μια σημαντική επιλογή για την

παρακολούθηση και αξιολόγηση του φαινομένου. Δείκτες βλάστησης όπως οι NDVI, NDVI, SAVI, MSAVI και SARVI έχουν χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της ξηρασίας (Hadjimitsis et al., 2010) ενώ οι Papadavid et al., (2010) έχουν εξετάσει τις δυνατότητες που προσφέρουν οι δείκτες βλάστησης στην παρακολούθηση των γεωργικών καλλιεργειών στην Κύπρο, με θετικά αποτελέσματα.

Τεχνικές τηλεπισκόπησης έχουν επίσης εφαρμοστεί για την παρακολούθηση των επιπτώσεων των δασικών πυρκαγιών και για την εκτίμηση των χωρικών και χρονικών μεταβολών στην κάλυψη γης από τις πυρκαγιές με τη χρήση των δεικτών NDVI και MSAVI (Hadjimitsis, 2008) ενώ ανάλογες τεχνικές έχουν προταθεί για την εκτίμηση των κινδύνων εκδήλωσης πυρκαγιών από τη συσσώρευση βιομάζας και ξηροφυτικής βλάστησης.

Οι Hadjimitsis et al. (2002) υποδεικνύουν ότι η συχνή παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης μέσω δορυφορικών εφαρμογών, σε συνδιασμό με την συνεκτίμηση άλλων σχετικών κλιματολογικών παραμέτρων, επιτρέπει την αξιολόγηση και καταγραφή των περιοχών που είναι ευπαθείς τόσο στην ξηρασία όσο και στην πρόκληση πυρκαγιών.

Πρόλα αυτά, όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, η χρησιμοποίηση τηλεσκοπικών δεικτών στην Κύπρο για την εκτίμηση της ξηρασίας δεν είναι αναπτυγμένη. Χαρακτηριστικό είναι, όπως έχει αναφερθεί, ότι για την εκτίμηση και παρακολούθηση του φαινομένου της ξηρασίας με σκοπό την λήψη μέτρων, όπως προκύπτει από το Σχέδιο για την Αντιμετώπιση της Ξηρασίας (Τμήματος Ανάπτυξης Υδάτων, 2013), δεν έχουν αξιοποιηθεί οι δυνατότητες που προσφέρονται από τη δορυφορική τηλεπισκόπηση ενώ κανένας άλλος κρατικός φορέας δεν έχει υιοθετήσει τη χρήση δεικτών για την αξιολόγηση της ξηρασίας.

Οι κλιματολογικές συνθήκες επηρεάζουν τη χρήση της δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Οι Hadjimitsis et al. (2010) επισημαίνουν ότι η διαθεσιμότητα δορυφορικών εικόνων χωρίς συννεφοκάλυψη είναι πολύ σημαντική για την εφαρμογή των τεχνικών δορυφορικής τηλεπισκόπησης και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη γεωγραφική θέση και τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην

περιοχή ενδιαφέροντος, με αποτέλεσμα η Κύπρος που γενικά χαρακτηρίζεται από καλές κλιματολογικές συνθήκες να θεωρείται ιδανική για την εφαρμογή τεχνικών δορυφορικής τηλεπισκόπησης.

Κρίνεται επομένως σκόπιμο να εξεταστεί η δυνατότητα χρησιμοποίησης ενός επιπρόσθετου εργαλείου για την παρατήρηση και αξιολόγηση του φαινομένου της ξηρασίας, το οποίο θα βελτιώσει σημαντικά το επίπεδο της παρεχόμενης πληροφορίας δίνοντας περιθώριο για καλύτερη και ορθολογικότερη χρήση των υδάτινων πόρων.

2.4 Τηλεπισκόπηση

Τηλεπισκόπηση (remote sensing) ορίζεται ως *«η επιστήμη της συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας της πληροφορίας γύρω από ένα στόχο, με σκοπό την αναγνώριση και μέτρηση των ιδιοτήτων του, μέσω της εξέτασης των αλληλεπιδράσεων του με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, χωρίς να υπάρχει απευθείας επαφή με αυτόν»* (Μερτίκας, 2009).

Αν και ο ορισμός αυτός είναι αρκετά γενικός, με τον όρο «τηλεπισκόπηση», συνήθως εννοείται η επιστήμη της παρατήρησης και μελέτης των χαρακτηριστικών της *γήινης επιφάνειας*, συμπεριλαμβανομένης της ατμόσφαιρας και των ωκεανών, βάσει της αλληλεπίδρασης των υλικών που βρίσκονται σε αυτήν με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, χωρίς όμως να υπάρχει άμεση επαφή.

Κύριος σκοπός της τηλεπισκόπησης είναι η μέτρηση και η απεικόνιση της γης, η κατανομή των διάφορων αντικειμένων και φαινομένων στον χώρο καθώς και ο καθορισμός της θέσης και των ιδιοτήτων τους (Μερτίκας, 2009).

Η τηλεπισκόπηση βασίζεται στην αρχή ότι τα αντικείμενα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά επιφάνειας και επομένως αντανακλούν ή απορροφούν την ακτινοβολία με διαφορετικούς τρόπους.

Αυτές οι διαφορές καθιστούν δυνατή την ταυτοποίηση τους μέσω της ανάλυσης των φασματικών τους υπογραφών. Έτσι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά

γνωρίσματα των επιμέρους αντικείμενων, μπορούν να μελετηθούν εξετάζοντας την ακτινοβολία που ανακλάται ή εκπέμπεται από αυτά.

Κάθε υλικό παρουσιάζει διαφορετική κατανομή στην ανακλώμενη, εκπεμπόμενη ή απορροφούμενη ακτινοβολία σε σχέση με το μήκος κύματος λ . Η μορφή της καμπύλης της φασματικής απόκρισης ενός αντικειμένου σαν συνάρτηση του μήκους κύματος, ονομάζεται *φασματική υπογραφή (spectral signature)* και είναι χαρακτηριστική για κάθε αντικείμενο.

Παράλληλα μέσω της τηλεπισκόπησης καθίσταται δυνατή η διάκριση ή η σύγκριση ενός αντικειμένου σε σχέση με κάποιο άλλο καθώς και η αξιολόγηση του σχήματος, του μεγέθους και των φυσικών ή χημικών ιδιοτήτων του.

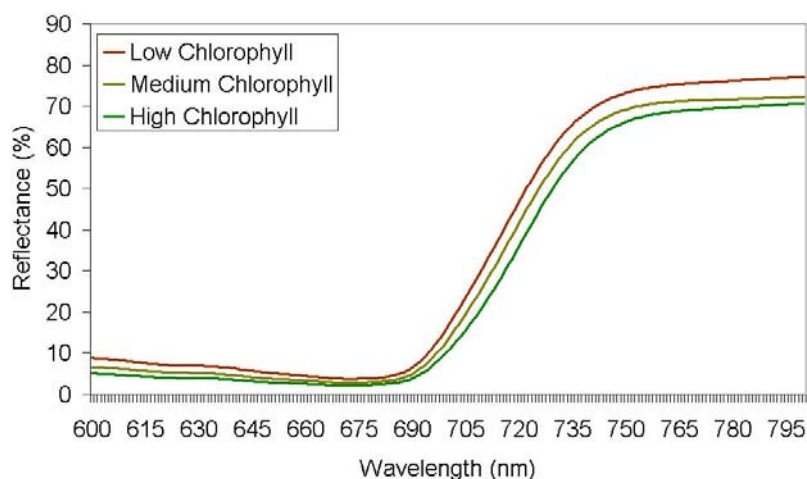
2.5 Αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τη βλάστηση

Κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης, τα φυτά χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για να παράγουν τα απαραίτητα συστατικά για την ανάπτυξη τους. Στη διαδικασία αυτή οι χλωροφύλλες, οι χρωστικές ουσίες που περιέχονται στους χλωροπλάστες, απορροφούν ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία για να φωτοσυνθέσουν (Lillesand et. al, 2008).

Λόγω της φωτοσύνθεσης παρατηρείται μια σημαντική απορρόφηση σε δύο περιοχές του ορατού τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και συγκεκριμένα στα 0,4 μm και στα 0,68 μm που αντιστοιχούν στο μπλε και στο κόκκινο ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ενώ αντίθετα, παρατηρείται συγκριτικά πολύ μικρότερη απορρόφηση στα 0,55 μm που αντιστοιχεί στο πράσινο φως.

Παράλληλα με την απορρόφηση στις δυο αυτές περιοχές του ορατού τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος παρατηρείται μια ισχυρή ανάκλαση στο κοντινό υπέρυθρο εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στην περιοχή 0,75 μm -1,35 μm , η οποία οφείλεται κυρίως στην ανάκλαση της ακτινοβολίας από το εσωτερικό των φύλλων, το σπογγώδες μεσόφυλλο, το οποίο βρίσκεται στα βαθύτερα στρώματα του φύλλου (spongy mesophyll).

Η αντανάκλαση που παρατηρείται στο εγγύς υπέρυθρο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, είναι συγκριτικά μεγαλύτερη σε σχέση με την αντανάκλαση που παρατηρείται στο ορατό τμήμα. Η απότομη αυτή αύξηση της ανάκλασης στην περιοχή 690-730 nm είναι γνωστή ως η «κόκκινη ακμή» (*red edge*).



Εικόνα 0.2: Μετατόπιση κόκκινης ακμής ως συνάρτησης της συγκέντρωσης χλωροφύλλης (πηγή: seos-project.eu, 2018)

Ο συνδυασμός αυτών των δύο φασματικών αποκρίσεων επιτρέπει τη διαφοροποίηση της βλάστησης από το έδαφος ή κάποιο άλλο υλικό και προσδιορίζει την ένταση και την έκταση της φωτοσυνθετικής ενεργότητας της βιομάζας και της πυκνότητας της φυτικής κάλυψης (Purkis and Klemas, 2011).

Η φωτοσύνθεση αλλά και γενικότερα οι βιοφυσικές ιδιότητες της βλάστησης επηρεάζουν την απορρόφηση, ανάκλαση και μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε διαφορετικά μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

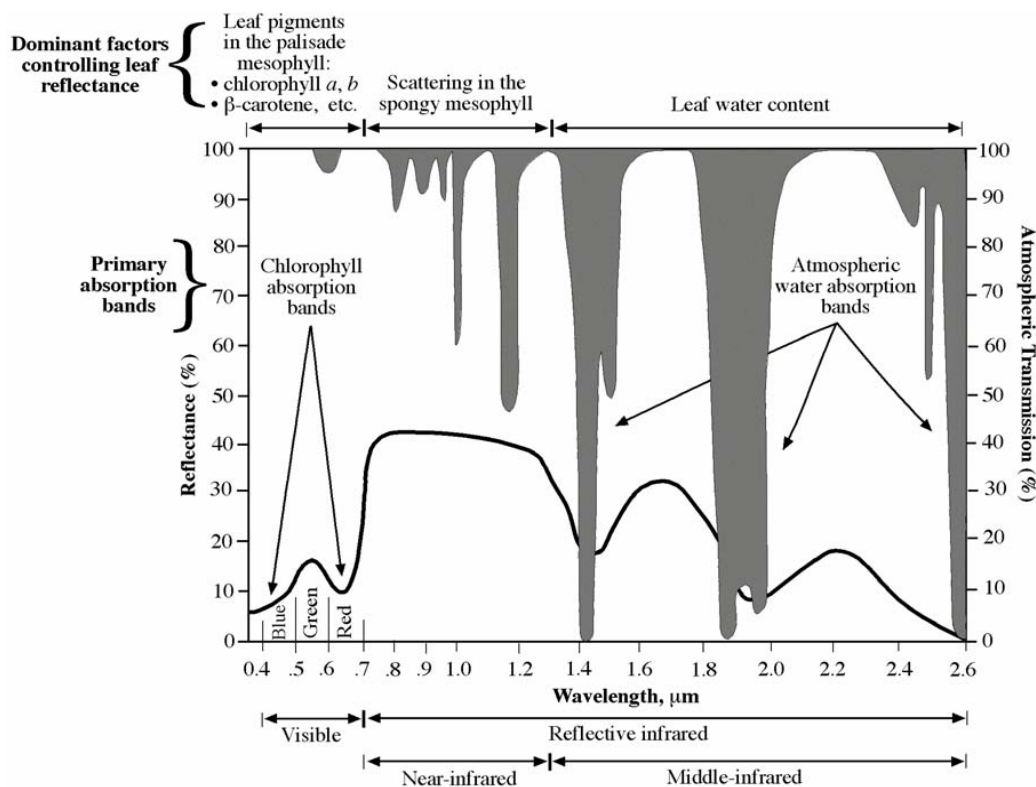
Σύμφωνα με τους (Major et al., 1990) η φασματική απόκριση της βλάστησης στο κόκκινο συσχετίζεται άμεσα με τη συγκέντρωση χλωροφύλλης ενώ η αντίστοιχη φασματική απόκριση στην υπέρυθρη ακτινοβολία σχετίζεται την πυκνότητα της βλάστησης καθώς επίσης και της υγρασίας που υπάρχει στον φυλλώδη ιστό.

Καθώς η συγκέντρωση της χλωροφύλλης αυξάνεται σε ένα φυτό, αντιστοίχως αυξάνεται και η απορρόφηση στο ερυθρό τμήμα του φάσματος, με αποτέλεσμα να υπάρχει χαμηλότερη ανάκλαση. Αυτό προκαλεί παράλληλα και τη μείωση της

κλίσης την κόκκινης ακμής και την μετακίνηση της προς μεγαλύτερα μήκη κύματος.

Σημαντικές επίσης παράμετροι που επηρεάζουν την ανακλαστικότητα της βλάστησης και κατ'επέκταση τις τιμές που υπολογίζονται από τους δείκτες βλάστησης είναι οι παράμετροι που σχετίζονται με τη δομή της φυλλώδους κάλυψης στο χώρο, όπως είναι η κατανομή των φύλλων στον θόλο του φυτού, η γεωμετρία και το ποσοστό κάλυψης του φυλλώδους ιστού, ο προσανατολισμός και η απόσταση μεταξύ των δέντρων (Jackson, 1986).

Παράλληλα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι οπτικές ιδιότητες της βλάστησης μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου καθώς εξαρτώνται από μια σειρά άλλων μεταβλητών παραγόντων που επηρεάζουν την κατάσταση του φυλλώδους ιστού όπως είναι λ.χ. η περιεκτικότητα σε νερό, η διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών στο έδαφος, η ηλικία του βλαστικού ιστού και η παρουσία τυχόν παρασιτικών ασθενειών στον φυλλώδη ιστό (Guyot, 1989).



Εικόνα 0.3: Φασματική υπογραφή βλάστησης (πηγή: Basso et al., 2004)

2.6 Φασματικά χαρακτηριστικά εδάφους

Η φασματική υπογραφή του εδάφους είναι λιγότερο μεταβλητή σε σχέση με αυτή της βλάστησης καθώς παρατηρείται μια αύξηση της αντανάκλαστικότητας του εδάφους με την αύξηση του μήκους κύματος, ιδιαίτερα στο ορατό και στο εγγύς-υπέρυθρο τμήμα του φάσματος.

Η σχεδόν ομαλή αύξουσα καμπύλη αρχίζει περίπου από το 20 % της συνολικής ανακλαστικότητας και φθάνει περίπου στο 45% στις περιοχές των 1,8 μm και 2,1 μm του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. (Εικόνα 2.4).

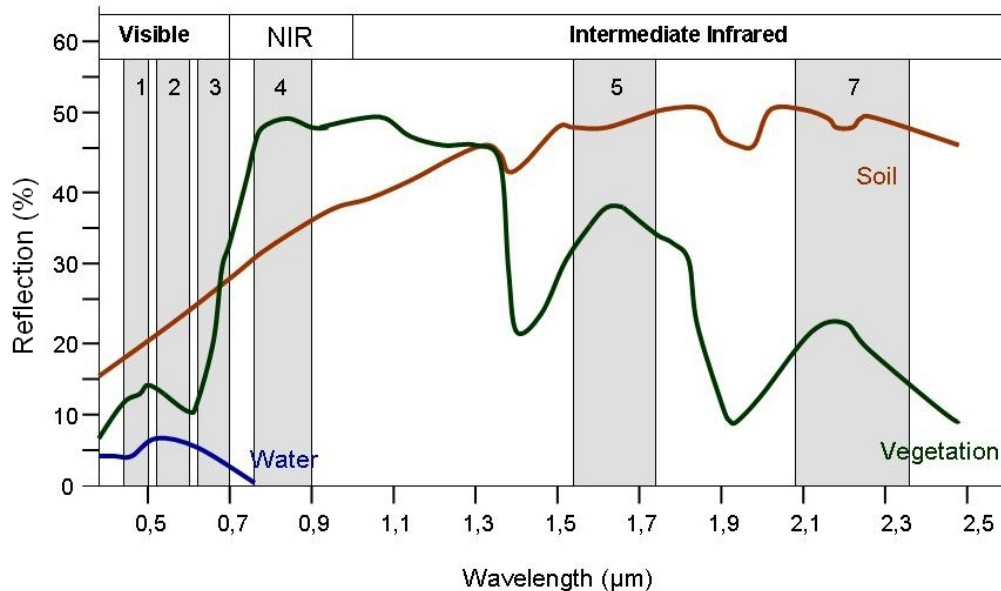
Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντανάκλαστικότητα του εδάφους εξαρτώνται κυρίως με την περιεκτικότητα του σε άργιλο, ιλύ και άμμο η οποία επηρεάζει την υφή της επιφάνειάς του. Επίσης σημαντικοί παράγοντες είναι η περιεχόμενη σε αυτό υγρασία, η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη, τα χαρακτηριστικά του ανάγλυφου του, η τραχύτητα του και η ποιοτική και ποσοτική περιεκτικότητα του σε χημικά στοιχεία όπως π.χ. σε οξείδια του σιδήρου.

Στα εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο παρατηρείται συγκράτηση συγκριτικά μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού εξ' αιτίας της μεγάλης ειδικής επιφάνειας των σωματιδίων της αργίλου και της συγχρόνως μικρής εξάτμισης καθώς η παρουσία πολύ μικρών κενών μεταξύ των σωματιδίων της αργίλου δεν επιτρέπει την εύκολη αποστράγγιση και εξάτμιση του νερού.

Αντίθετα στα αμμώδη εδάφη, εξαιτίας του μεγάλου σχετικά μεγέθους των συστατικών, μειώνεται η ειδική επιφάνεια και επομένως η αποθηκευτική τους ικανότητα ενώ λόγω των σχετικά μεγάλων διάκενων το νερό αποστραγγίζεται και εξατμίζεται ευκολότερα.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας, ο οποίος επηρεάζει της αντανάκλαση των εδαφών είναι η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη καθώς επίσης και ο βαθμός αποσύνθεσης αυτής. Η αύξηση της περιεκτικότητας σε οργανική ύλη και η

αύξηση του βαθμού αποσύνθεσης της τείνει να μειώσει την αντανάκλαση του εδάφους. Παρόμοια φασματική συμπεριφορά παρατηρείται και στην περίπτωση στην οποία το έδαφος περιέχει διάφορα οξείδια, όπως π.χ. οξείδια του σιδήρου.



Εικόνα 0.4: Φασματικές υπογραφές εδάφους, βλάστησης, νερού και φασματικές ζώνες του δορυφόρου Landsat 7 (πηγή: seos-project.eu)

2.7 Φασματικά χαρακτηριστικά υδάτινων μαζών

Η φασματική υπογραφή του καθαρού νερού παρουσιάζεται σαν μία καμπύλη που εμφανίζει μόνο ένα τοπικό μέγιστο στα 0,5 περίπου μm και μηδενίζεται σχεδόν στις περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που αντιστοιχούν σε μήκη κύματος 0,8-0,9 μm. Λόγω αυτής της χαρακτηριστικής ιδιότητας, τα υδάτινα σώματα μπορούν εύκολα να εντοπιστούν, ανιχνευθούν και οριοθετηθούν μέσω των δεδομένων τηλεπισκόπησης.

Εκτός όμως από τις φυσικοχημικές ιδιότητες του, αρκετοί άλλοι παράγοντες επηρεάζουν τη φασματική του απόκριση καθώς το νερό σπάνια συναντάται στη φύση υπό πολύ καθαρή μορφή. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη φασματική του απόκριση, είναι η περιεκτικότητα σε οργανικά και ανόργανα συστατικά, η ύπαρξη αιωρούμενων σωματιδίων και η παρουσία χλωροφύλλης.

Η παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων, προκαλεί τη διάχυση και την απορρόφηση της εισερχόμενης ενέργειας με αποτέλεσμα να παρατηρείται σημαντικά μεγαλύτερη αντανάκλαση από ότι στο καθαρό νερό ενώ το μέγιστο της αντανάκλασης μετατοπίζεται προς μεγαλύτερα μήκη κύματος.

Άλλη σημαντική παράμετρος που επηρεάζει τη φασματική υπογραφή του νερού είναι η παρουσία της χλωροφύλλης. Η αύξηση στη συγκέντρωση της χλωροφύλλης συνεπάγεται στη μείωση της ενέργειας που αντανακλάται στο μήκος κύματος που αντιστοιχεί στο μπλε χρώμα ενώ παράλληλα παρατηρείται μια αντίστοιχη αύξηση στο μήκος κύματος που αντιστοιχεί στο πράσινο χρώμα. Η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης χλωροφύλλης και της φασματικής απόκρισης είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι σχετίζεται με τον ευτροφισμό των υδατικών οικοσυστημάτων.

2.8 Όργανα καταγραφής

Τα συστήματα τηλεπισκόπησης κατατάσσονται σε δυο κύριες κατηγορίες: τα ενεργητικά και τα παθητικά (Περάκης κ.α, 2015).

Ενεργητικά συστήματα ονομάζονται τα συστήματα καταγραφής που εκπέμπουν κάποιου είδους ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προς μια επιφάνεια - στόχο και στη συνέχεια καταγράφουν την ανακλώμενη ακτινοβολία/ σήμα που επιστρέφει στο ίδιο το σύστημα. Δηλαδή έχουν τη δική τους πηγή ενέργειας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου τύπου οργάνων είναι τα Radars που εκπέμπουν στην περιοχή των μικροκυμάτων.

Σε αντιδιαστολή παθητικά ονομάζονται τα συστήματα τηλεπισκόπησης που καταγράφουν τη φυσική ενέργεια (ακτινοβολία) που εκπέμπεται ή αντανακλάται από ένα αντικείμενο. Η πιο συνηθισμένη πηγή ακτινοβολίας που μετράται από τους παθητικούς αισθητήρες είναι το αντανακλαστικό φως του ήλιου.

2.8.1 Βασικά χαρακτηριστικά των οργάνων καταγραφής

Η ποιότητα των δορυφορικών εικόνων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των φασματόμετρων που διαθέτουν οι αντίστοιχοι δορυφόροι (Περάκης και άλλοι, 2015). Οι βασικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τη διακριτική ικανότητα του αισθητήρα κάποιου δορυφόρου είναι:

2.8.1.1 Χωρική διακριτική ικανότητα

Χωρική διακριτική ικανότητα: η ικανότητα ενός ανιχνευτή να διακρίνει δυο διαφορετικά αντικείμενα και μετράται ως η μικρότερη απόσταση μεταξύ των αντικειμένων η οποία είναι απαραίτητη για να τα διαχωρίσει ένας αισθητήρας.

2.8.1.2 Φασματική διακριτική ικανότητα:

Φασματική διακριτική ικανότητα: Η φασματική διακριτική ικανότητα, η οποία σχετίζεται με τον αριθμό των φασματικών καναλιών που χρησιμοποιεί ο κάθε δορυφόρος και πρακτικά υποδηλώνει τις περιοχές του φάσματος που ένας αισθητήρας μπορεί να καταγράψει.

2.8.1.3 Χρονική διακριτική ικανότητα

Χρονική διακριτική ικανότητα: Η χρονική διακριτική ικανότητα ενός συστήματος ορίζεται ως το χρονικό διάστημα που χρειάζεται ένας δορυφόρος για να σαρώσει την ίδια περιοχή. Σχετίζεται με τη συχνότητα με την οποία ο δορυφόρος παρέχει πληροφορίες για ένα συγκεκριμένο σημείο.

2.8.1.4 Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα

Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα: η οποία περιγράφει την ικανότητα ενός συστήματος να καταγράφει διαφορές στην ισχύ του σήματος. Εξαρτάται από την ευαισθησία του αισθητήρα του δορυφόρου. Αύξηση της ραδιομετρικής ικανότητας συνεπάγεται ανάλογη αύξηση των διαβαθμίσεων/ αποχρώσεων σε μια εικόνα.

2.8.2 Ραδιομετρικές διορθώσεις

Ραδιομετρικά σφάλματα ονομάζονται τα σφάλματα στα οποία οφείλεται η διαφορά μεταξύ της πραγματικής ραδιομετρικής τιμής ενός εικονοστοιχείου στο έδαφος και της τιμής του αντίστοιχου εικονοστοιχείου που καταγράφεται από τους αισθητήρες των δορυφόρων.

Σύμφωνα με τον (Richards, 2013) τα ραδιομετρικά σφάλματα, διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες

- Στα εσωτερικά σφάλματα, που προκύπτουν από το ίδιο το σύστημα καταγραφής και ουσιαστικά πρόκειται για συστηματικά σφάλματα των αισθητήρων
- Στα εξωτερικά σφάλματα, που προκύπτουν από διάφορους εξωγενείς παράγοντες, όπως λ.χ. την επίδραση της ατμόσφαιρας, τη σχετική θέση του ήλιου σε σχέση με τον στόχο, τον προσανατολισμό του εδάφους κ.α.

Τα ραδιομετρικά σφάλματα σύμφωνα με τους (Paolini et al. 2006) μπορούν επίσης να ταξινομηθούν με βάση:

- Τις διαφορές στις ραδιομετρικές αποκρίσεις μεταξύ των δορυφόρων.
- Τις αλλαγές στην βαθμονόμηση των αισθητήρων των δορυφόρων.
- Τις διαφορές στη γωνία παρατήρησης και στη φωτεινότητα.
- Τις ατμοσφαιρικές μεταβολές και επιδράσεις του ανάγλυφου.

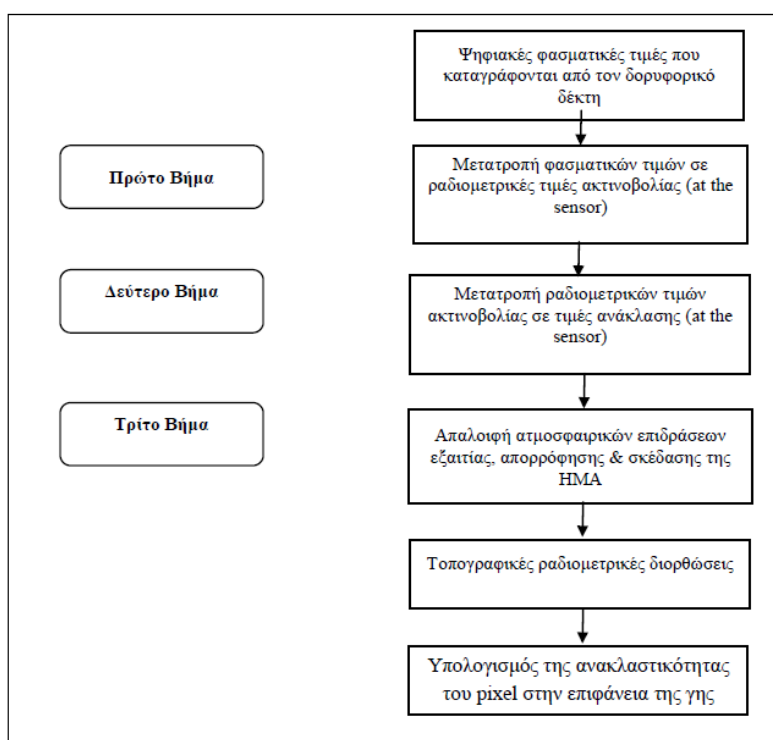
Η πιο πάνω ταξινόμηση λαμβάνει υπόψη τη δυνατότητα επεξεργασίας δύο ή και περισσότερων πολυφασματικών εικόνων, με διαφορετικό χρονικό ορίζοντα λήψης, με σκοπό, την παρατήρηση των διαχρονικών μεταβολών στη γήινη επιφάνεια.

Σε κάθε περίπτωση οι διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται εξαιτίας των ραδιομετρικών σφαλμάτων μπορεί να είναι σημαντικές με αποτέλεσμα να οδηγήσουν σε λανθασμένα συμπεράσματα. Ως εκ τούτου η ραδιομετρική διόρθωση αποτελεί μια αναγκαία διαδικασία για την βελτίωση της ποιότητας των εικόνων και την ασφαλή εξαγωγή ποιοτικών και ποσοτικών συμπερασμάτων.

Στόχος των ραδιομετρικών διορθώσεων των εικόνων είναι η μείωση ή και η απαλειφή των ελαττωματικών λειτουργιών των αισθητήρων (όπως λ.χ.

θόρυβος) καθώς και των ατμοσφαιρικών και τοπογραφικών επιδράσεων, ώστε να καταγράφονται οι πραγματικές ραδιομετρικές τιμές του στόχου στο έδαφος. Η ραδιομετρική διόρθωση είναι σημαντική ειδικά στις περιπτώσεις όπου υπάρχει:

- Σύγκριση εικόνων για εντοπισμό αλλαγών, με διαφορετικές ημερομηνίες λήψης.
- Σύγκριση δορυφορικών δεδομένων ανάκλασης από διαφορετικούς δέκτες με παρόμοια όμως φασματικά χαρακτηριστικά.
- Σύγκριση και επαλήθευση των τιμών ανάκλασης της γήινης επιφάνειας από δορυφορικά δεδομένα με τις αντίστοιχες επιτόπιες μετρήσεις ανάκλασης στο έδαφος.
- Εξαγωγή ποσοτικών πληροφοριών (τιμές βιομάζας – συγκεντρώσεις ουσιών στο νερό κ.α.).



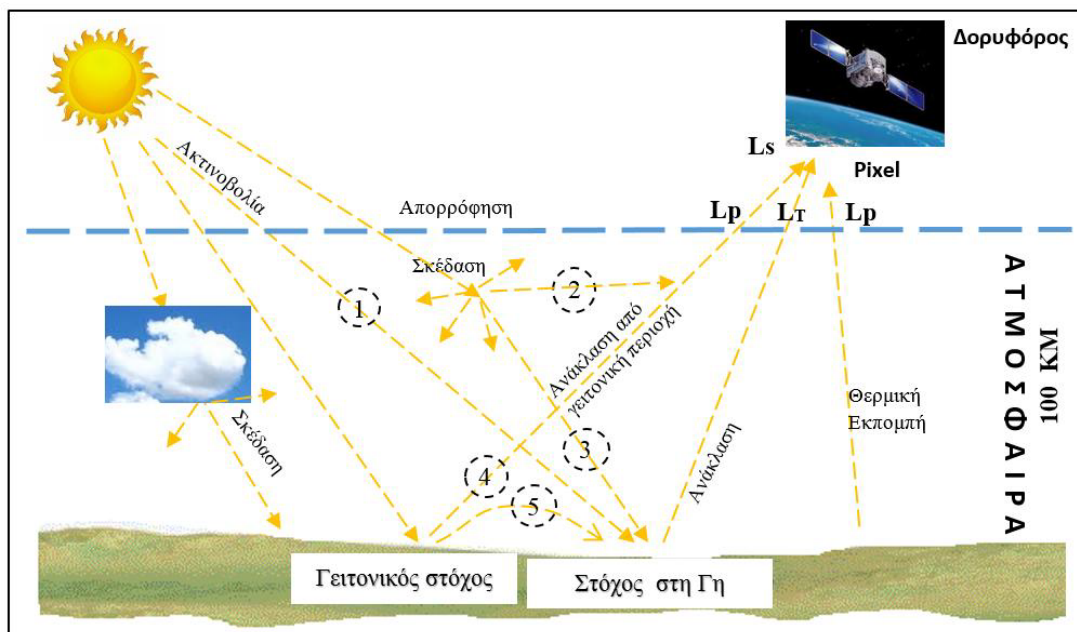
Εικόνα 0.5: Απλοποιημένο διάγραμμα ραδιομετρικών ατμοσφαιρικών διορθώσεων (πηγή: Περάκης, 2011)

2.8.3 Ατμοσφαιρικές διορθώσεις

Η ατμόσφαιρα είναι ένα δυναμικό φυσικό σύστημα και η παρουσία των αιωρούμενων σωματιδίων και αέριων επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό, τα δεδομένα που καταγράφονται από τους αισθητήρες τόσο στην ορατή όσο και στην υπέρυθρη ζώνη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Όπως έχει ήδη αναλυθεί η παρουσία της ατμόσφαιρας επιδρά και επηρεάζει σημαντικά την ακτινοβολία που φτάνει στον ανιχνευτή κυρίως λόγω των διεργασιών της σκέδασης και της απορρόφησης.

Στην Εικόνα 2.6 περιγράφονται οι διεργασίες που υφίσταται αρχικά η ηλιακή ακτινοβολία από την είσοδό της στην ατμόσφαιρα μέχρι την επιφάνεια της γης και στη συνέχεια την επίδραση που υφίσταται η εκπεμπόμενη ακτινοβολία από την επιφάνεια του στόχου μέχρι την καταγραφή της από τους αισθητήρες των δορυφόρων.



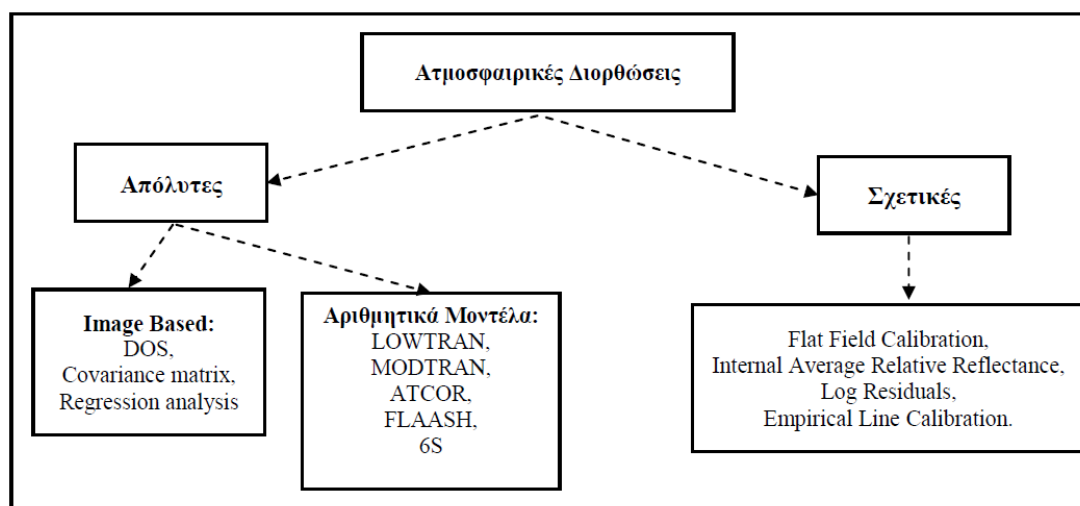
Εικόνα 0.6: Απλοποιημένο σχήμα αλληλεπίδρασης ΗΜΑ - Ατμόσφαιρας (πηγή: Περάκης, 2011)

Ως αποτέλεσμα των δυο αυτών φαινομένων η ποιότητα των εικόνων παρουσιάζει σημαντική απομείωση κυρίως ως προς τη θολερότητα και την ελάττωση της αντίθεσής της (contrast).

Για να είναι επομένως δυνατή η περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων των εικόνων αυτών, θα πρέπει να προηγηθεί η απαλοιφή των ατμοσφαιρικών επιδράσεων. Γενικά οι μέθοδοι των ατμοσφαιρικών διορθώσεων ταξινομούνται σε δυο βασικές κατηγορίες (Lu et al., 2002):

- Απόλυτες Ατμοσφαιρικές διορθώσεις.
- Σχετικές Ατμοσφαιρικές διορθώσεις.

Η εφαρμογή κάθε μιας από αυτές εξαρτάται κατά περίπτωση, από το είδος των εξαγόμενων προϊόντων και από τη διαθεσιμότητα των βοηθητικών στοιχείων που απαιτούνται για την εφαρμογή τους.



Εικόνα 0.7: Κατηγορίες Ατμοσφαιρικών Διορθώσεων (πηγή: Περάκης, 2011)

2.8.3.1 Απόλυτες ατμοσφαιρικές διορθώσεις

Οι διορθώσεις των δορυφορικών εικόνων της συγκεκριμένης κατηγορίας οδηγούν στον υπολογισμό των τιμών ανάκλασης και θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης. Υποδιαιρούνται δε σε 2 υποκατηγορίες:

Μοντέλα βασιζόμενα στα χαρακτηριστικά της εικόνας (image-based atmospheric corrections)

Τα μοντέλα αυτά βασίζονται στην εξέταση και σύγκριση των γνωστών τιμών ανάκλασης αντικειμένων στην επιφάνεια της γης (όπως λ.χ. υδάτινων επιφανειών), με τις αντίστοιχες τιμές που καταγράφονται από τους ανιχνευτές.

Με τον τρόπο αυτόν γίνεται μια εκτίμηση των ατμοσφαιρικών επιδράσεων στις καταγραφείσες τιμές των εικονοστοιχείων μιας εικόνας.

Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν τα μοντέλα:

- Η Αφαίρεση του Μελανού Σώματος (Dark Object Substraction – DOS)
- Ο Πίνακας συνδιακύμανσης εκτιμώμενων παραμέτρων (covariance matrix)
- Η Παλινδρόμηση (Regression analysis)

Αριθμητικά μοντέλα

Με την χρήση των αριθμητικών μοντέλων προσομοιάζεται η συμπεριφορά της ακτινοβολίας κατά τη δίοδό της στην ατμόσφαιρα και η αλληλεπίδρασή της με τα μόρια και τα αιωρούμενα σωματίδια του αέρα. Ουσιαστικά επιχειρείται η μαθηματική μοντελοποίηση των φαινομένων της σκέδασης και της απορρόφησης για την εκτίμηση του μεγέθους των ατμοσφαιρικών επιδράσεων.

Αν και τα μαθηματικά αυτά μοντέλα παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια και εύρος εφαρμογής, εντούτοις μειονεκτούν στο γεγονός ότι για την εφαρμογή τους απαιτούνται λεπτομερή ατμοσφαιρικά δεδομένα τα οποία είναι εν γένει δύσκολό να αποκτηθούν.

Μεταξύ των πιο ευρέως χρησιμοποιούμενων αριθμητικών μοντέλων είναι τα εξής:

- LOWTRAN (LOW resolution atmospheric TRANsmittance).
- MODTRAN (MODerate resolution atmospheric TRANsmittance).
- ATCOR (Atmospheric and Topographic Correction model).
- FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes).
- 6S (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum).

2.8.3.2 Σχετικές Ατμοσφαιρικές διορθώσεις

Οι σχετικές ατμοσφαιρικές διορθώσεις αφορούν τεχνικές στις οποίες μια συγκεκριμένη εικόνα θεωρείται ως εικόνα αναφοράς και όλες οι υπόλοιπες εικόνες διορθώνονται ως προς αυτή. Δηλαδή οι τελικές «διορθωμένες εικόνες» προσομοιάζουν με την εικόνα αναφοράς ως προς τις ατμοσφαιρικές και τοπογραφικές συνθήκες της. Οι σχετικές ατμοσφαιρικές διορθώσεις συνήθως χρησιμοποιούνται όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν οι απόλυτες ατμοσφαιρικές διορθώσεις.

Στις σχετικές ατμοσφαιρικές διορθώσεις ανήκουν μεταξύ άλλων οι: (α) Βαθμονόμηση Επιπέδου Πεδίου (Flat Field Calibration), (β) Εσωτερική, Μέση Σχετική Ανακλαστικότητα (Internal Average Relative Reflectance), (γ) Λογαριθμικά Κατάλοιπα (Log Residuals), (δ) Εμπειρική Γραμμική Βαθμονόμηση (Empirical Line Calibration)

2.8.4 Τοπογραφικές διορθώσεις

Η τοπογραφική διόρθωση ή τοπογραφική κανονικοποίηση αναφέρεται στη διόρθωση της έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας εξαιτίας του ανάγλυφου του εδάφους.

Οι μέθοδοι τοπογραφικών γενικά, ομαδοποιούνται σε δύο κατηγορίες.

- Στις διορθώσεις που βασίζονται στο πηλίκιο των φασματικών καναλιών (band ratios).
- Στις διορθώσεις που βασίζονται στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM).

2.8.4.1 Πηλίκιο φασματικών καναλιών

Η μέθοδος του πηλίκιου των φασματικών καναλιών (band ratios) βασίζεται στη βασική υπόθεση ότι η ανάκλαση μεταβάλλεται (αυξάνεται ή ελαττώνεται) αναλογικά και στα δύο κανάλια με συνέπεια ο λόγος τους να μειώνει τις τοπογραφικές επιδράσεις. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν απαιτούνται επιπλέον δεδομένα για την τοπογραφική διόρθωση των δορυφορικών εικόνων. Η μέθοδος του πηλίκιου των φασματικών καναλιών

υστερεί όμως στο γεγονός ότι οι λόγοι των φασματικών καναλιών μειώνουν την φασματική διακριτική ικανότητα.

2.8.4.2 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM).

Η μέθοδος του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) βασίζεται στην μοντελοποίηση των συνθηκών φωτεινότητας της γήινης επιφάνειας. Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με το έδαφος και με την κάθετο στην επιφάνεια. (Μηλιαρέσης, 2003).

Οι παράμετροι που απαιτούνται για τον υπολογισμό του ψηφιακού μοντέλου εδάφους είναι το ύψος και το αζιμούθιο του ήλιου σε σχέση με την επιφάνεια πρόσπτωσης της ακτινοβολίας καθώς και η κλίση, ο προσανατολισμός και οι ιδιότητες ανάκλασής της επιφάνειας πρόσπτωσης.

2.9 Οι δορυφόροι Landsat

Το πρώτο δορυφορικό σύστημα τηλεπισκόπησης τέθηκε σε λειτουργία από την NASA και αρχικά ονομαζόταν ERTS (Earth Resource Technology Satellite) και είχε σαν σκοπό την παροχή τηλεσκοπικής κάλυψης στο σύνολο σχεδόν της γήινης επιφάνειας σε τακτή βάση. Το 1975 το πρόγραμμα άλλαξε ονομασία σε Landsat. (USGS, 2018).

Στα πλαίσια του προγράμματος εκτοξευτήκαν συνολικά 8 δορυφόροι, εκ των οποίων ο ένας καταστράφηκε, ενώ μέχρι το τέλος του 2020 προγραμματίζεται να τεθεί σε λειτουργία άλλος ένας δορυφόρος.

Landsat 1, 2 και 3

Οι δορυφόροι πρώτης γενιάς Landsat 1, 2 και 3 είχαν παρόμοια χαρακτηριστικά και ήταν σχεδιασμένοι να φέρουν δύο συστήματα για την καταγραφή εικόνων τηλεπισκόπησης. Τη συσκευή RBV (Return Beam Vidicon) και τον πολυφασματικό σαρωτή MSS (Multi Spectral Scanner). Εξαιτίας όμως τεχνικών προβλημάτων κύριος δέκτης για τους δορυφόρους πρώτης γενιάς έγινε ο

σαρωτής MSS. Οι δορυφόροι πρώτης γενιάς τέθηκαν σε τροχιά ύψους 918 km και κάλυπταν 14 τροχιές ανά ημέρα.

Landsat 4 και 5

Οι δορυφόροι Landsat - 4 και Landsat - 5 τέθηκαν σε τροχιά στις 16/7/1982 και 1/3/1984 αντίστοιχα και αποτέλεσαν τη συνέχεια των δορυφόρων πρώτης γενιάς. Η γενιά των δορυφόρων 4 και 5 βελτιώθηκε σημαντικά με την προσθήκη μιας βελτιωμένης έκδοσης του MSS, τον Θεματικό Χαρτογράφο (TM).

Ο Θεματικός Χαρτογράφος (TM) είναι ένας πολυφασματικός γραμμικός σαρωτής, συγκριτικά βελτιωμένος σε σχέση με τον (MSS). Συγκεκριμένα ο (TM) έχει 7 φασματικές ζώνες έναντι των 4 που είχε ο (MSS), γεγονός που βελτιώνει τη φασματική διακριτική ικανότητα του. Οι 7 φασματικές ζώνες καλύπτουν την περιοχή του φάσματος από 0,45 έως 12,5 μm δηλαδή από το ορατό έως το θερμικό υπέρυθρο.

Αντιστοίχως βελτιωμένη είναι και η χωρική ανάλυση του Θεματικού Χαρτογράφου (TM) με ανάλυση 30 μέτρων, σε σχέση με τα 80 μέτρα του (MSS) ενώ η ανάλυση του θερμικού υπέρυθρου είναι 120 μέτρα.

Σε ραδιομετρικό επίπεδο ο Θεματικός Χαρτογράφος (TM) μετατρέπει το αναλογικό σήμα σε ψηφιακό, σε εύρος 256 ψηφιακών τιμών (8 bits) σε σχέση με 64 (6 bits) που χρησιμοποιήθηκαν από τον (MSS), βελτιώνοντας έτσι τη ραδιομετρική ακρίβεια και επιτρέποντας την παρατήρηση μικρότερων αλλαγών για ένα δεδομένο κανάλι.

Οι δορυφόροι δεύτερης γενιάς τέθηκαν σε τροχιά ύψους 705 km σε σχέση με τα 918 Km των δορυφόρων πρώτης γενιάς και κάλυπταν 14,5 τροχιές ανά ημέρα.

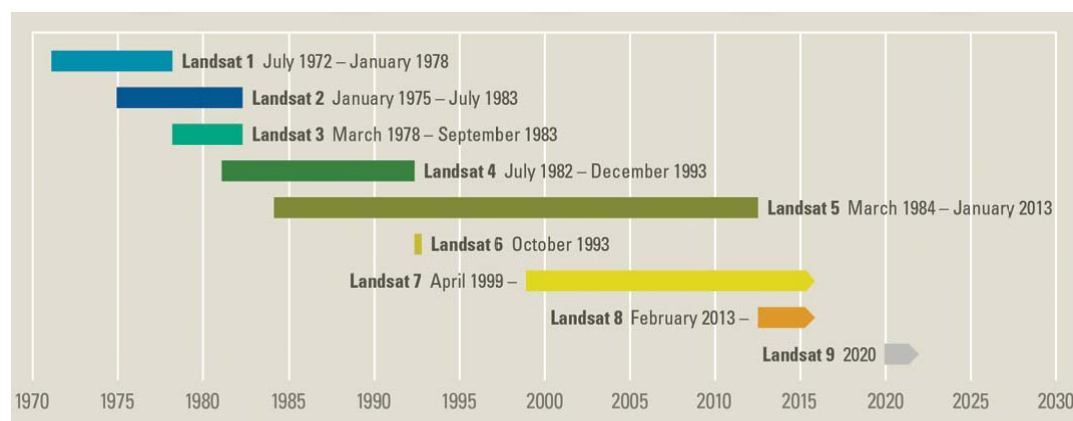
Γενικά οι εικόνες του Θεματικού Χαρτογράφου είναι χρήσιμες για ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών σε σχέση με τις εικόνες του MSS. Αυτό οφείλεται κύρια στην αύξηση του αριθμού των φασματικών καναλιών και στη βελτίωση της χωρικής ανάλυσης.

Landsat 6

Στις 5 Οκτωβρίου 1993 εκτοξεύτηκε ο δορυφόρος Landsat 6 αλλά λόγω τεχνικών προβλημάτων δεν κατέστη δυνατό να τεθεί σε τροχιά.

Landsat 7

Ο δορυφόρος Landsat 7 αναβαθμίστηκε περαιτέρω με την προσθήκη του Βελτιωμένου Θεματικού Χαρτογράφου (ETM+, Enhanced Thematic Mapper Plus), σε σχέση με τον απλό Θεματικό Χαρτογράφο (TM) που μετέφερε ο Landsat 5. Ο Landsat 7 έχει ένα παγχρωματικό κανάλι με χωρική διακριτική ικανότητα της τάξης των 15 μέτρων και καταγράφει δεδομένα που καλύπτουν την περιοχή του φάσματος 0,52-0,9 μm, γεγονός που προσδίδει βελτιωμένο λόγο σήματος/θόρυβο και κατ' επέκταση καλύτερο διαχωρισμό της βλάστησης.

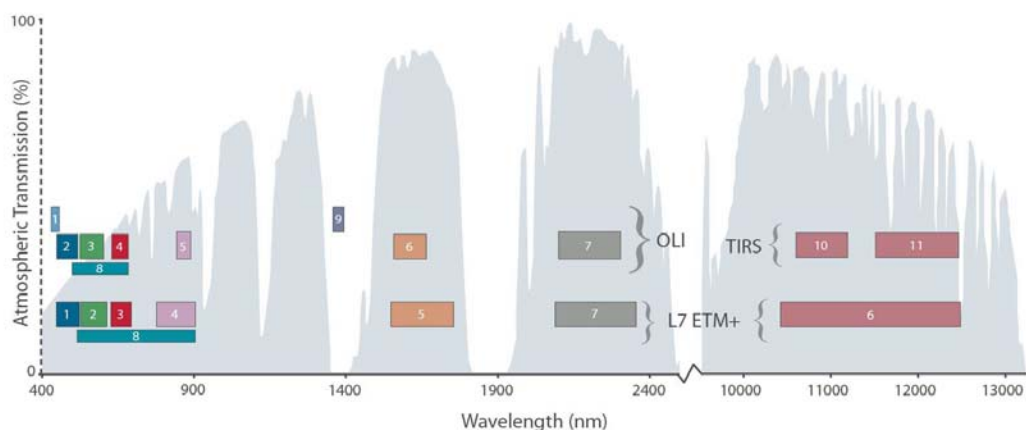


Εικόνα 0.8: Χρονοδιάγραμμα αποστολών Landsat (πηγή:USGS, 2018)

Landsat 8

Ο πιο πρόσφατος δορυφόρος Landsat 8 εκτοξεύτηκε τον Φεβρουάριο του 2013. Μεταφέρει δύο όργανα καταγραφής τον Operational Land Imager (OLI) και τον Thermal Infrared Sensor (TIRS). Οι δύο αυτοί αισθητήρες παρέχουν κάλυψη σε χωρική ανάλυση 30 μέτρων για τα κανάλια που βρίσκονται στο ορατό, κοντινό υπέρυθρο και μικροκυματικό υπέρυθρο, 100 μέτρων για τα θερμικά κανάλια και 15 μέτρων για το παγχρωματικό κανάλι.

Ο αισθητήρας OLI συλλέγει δεδομένα σε δύο νέες φασματικές ζώνες, μία προσαρμοσμένη ειδικά για την ανίχνευση νεφών και μία προσαρμοσμένη για παρατηρήσεις της παράκτιας ζώνης (φασματικό κανάλι 9 και κανάλι 1 αντίστοιχα).



Εικόνα 0.9: Γραφική απεικόνιση φασματικών καναλιών Landsat 8 και Landsat 7 (πηγή USGS)

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά στοιχεία των δορυφόρων παρουσιάζονται στις Εικόνες 2.10 και 2.11.

| Landsat 7 | Bands | Wavelength (micrometers) | Resolution (meters) |
|---|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) | Band 1 - Blue | 0.45-0.52 | 30 |
| | Band 2 - Green | 0.52-0.60 | 30 |
| | Band 3 - Red | 0.63-0.69 | 30 |
| | Band 4 - Near Infrared (NIR) | 0.77-0.90 | 30 |
| | Band 5 - Shortwave Infrared (SWIR) 1 | 1.55-1.75 | 30 |
| | Band 6 - Thermal | 10.40-12.50 | 60 * (30) |
| | Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2 | 2.09-2.35 | 30 |
| | Band 8 - Panchromatic | .52-.90 | 15 |

Εικόνα 0.10: Τεχνικά χαρακτηριστικά δορυφόρου Landsat 7 (πηγή USGS)

| Landsat 8 | Bands | Wavelength (micrometers) | Resolution (meters) |
|--|---------------------------------------|--------------------------|---------------------|
| Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) | Band 1 - Ultra Blue (coastal/aerosol) | 0.435 - 0.451 | 30 |
| | Band 2 - Blue | 0.452 - 0.512 | 30 |
| | Band 3 - Green | 0.533 - 0.590 | 30 |
| | Band 4 - Red | 0.636 - 0.673 | 30 |
| | Band 5 - Near Infrared (NIR) | 0.851 - 0.879 | 30 |
| | Band 6 - Shortwave Infrared (SWIR) 1 | 1.566 - 1.651 | 30 |
| | Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2 | 2.107 - 2.294 | 30 |
| | Band 8 - Panchromatic | 0.503 - 0.676 | 15 |
| | Band 9 - Cirrus | 1.363 - 1.384 | 30 |
| | Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1 | 10.60 - 11.19 | 100 * (30) |
| | Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2 | 11.50 - 12.51 | 100 * (30) |

Εικόνα 0.11: Τεχνικά χαρακτηριστικά δορυφόρου Landsat 8 (πηγή USGS)

2.10 Διάκριση δεικτών

Σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση οι δείκτες ξηρασίας χρησιμοποιούνται μεταξύ άλλων για :

- την αξιολόγηση της ξηρασίας (Niemeyer, 2008) υπό το πρίσμα της εννοιολογικής προσέγγισης της, δηλαδή κατά πόσο οι επικρατούσες συνθήκες μπορούν να χαρακτηριστούν ως ξηρασία σε μια δεδομένη χρονική περίοδο και για δεδομένη γεωγραφική περιοχή (Tsakiris et al. 2007)
- την παρακολούθηση της ξηρασίας σε σχεδόν πραγματικό χρόνο (Niemeyer 2008)
- τον προσδιορισμό του χρόνου έναρξης και λήξης μιας περιόδου ξηρασίας (Tsakiris et al. 2007)
- τον ποσοτικό συσχετισμό των επιπτώσεων της ξηρασίας σε σύγκριση και σε σχέση με διαφορετικές γεωγραφικές και χρονικές περιόδους

- τη διευκόλυνση της επικοινωνίας μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων φορέων αναφορικά με τα χαρακτηριστικά της ξηρασίας με σκοπό τη λήψη των ενδεδειγμένων μέτρων

Το γεγονός ότι υπάρχει μια πληθώρα δεικτών στην παγκόσμια βιβλιογραφία καταδεικνύει αφενός τη σπουδαιότητα που διαδραματίζουν στην μελέτη της ξηρασίας και τη βαρύτητα που τους προσδίδει η επιστημονική κοινότητα (Niemeyer, 2008) και αφετέρου αναδεικνύουν την πολυπλοκότητα του ίδιου του φαινομένου της ξηρασίας.

Για να θεωρηθεί ένας δείκτης ξηρασίας δόκιμος για την περίπτωση που χρησιμοποιείται θα πρέπει να πληροί ορισμένα κριτήρια μεταξύ των οποίων σύμφωνα με τους Tsakiris and Pangalou (2009) είναι: α) να είναι εύχρηστος β) να είναι επιστημονικά αποδεκτός γ) η ευαισθησία του να ανταποκρίνεται σε μεγάλο εύρος τιμών δ) να έχει έγκαιρη απόκριση στις παρατηρούμενες κλιματικές διακυμάνσεις ε) να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές στ) να υπάρχει διαθεσιμότητα σε αξιόπιστα δεδομένα με βάση των οποίων υπολογίζεται και ζ) το κόστος επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων για τον υπολογισμό του να είναι χαμηλό.

2.11 Δείκτες ξηρασίας και δείκτες βλάστησης

Δείκτης ονομάζεται γενικότερα ένας σταθμισμένος συνδυασμός δύο ή περισσότερων παραμέτρων μέσω του οποίου μπορεί να απλοποιηθούν πολύπλοκες σχέσεις, καθιστώντας έτσι την ανάλυση συγκριτικά ευκολότερη σε σχέση με την ανάλυση των επιμέρους παραμέτρων που τον απαρτίζουν. Επειδή δε η τιμή ενός δείκτη είναι εν γένει ένας αδιάστατος αριθμός, δίνεται μια πιο περιεκτική και περιληπτική εικόνα σε σύγκριση με την ανάλυση των πρωτογενών δεδομένων (World Meteorological Organization, 2016).

Ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός ορίζει γενικότερα ως δείκτη ξηρασίας τον δείκτη ο οποίος «συνδέεται με μερικά από τα αθροιστικά αποτελέσματα ενός παρατεταμένου και ασυνήθιστου ελλείμματος υγρασίας με στόχο να αποτυπωθεί ποιοτικά η κατάσταση της ξηρασίας σε μια δεδομένη

γεωγραφική περιοχή και χρονική περίοδο» (World Meteorological Organization, 1992; Heim,2002).

Γενικότερα στη διεθνή βιβλιογραφία οι δείκτες ξηρασίας χρησιμοποιούνται για να παρέχουν μια ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση των χαρακτηριστικών της ξηρασίας όπως λ.χ. την αξιολόγηση της έντασης της ή τον προσδιορισμό του χρόνου έναρξης και λήξης της (Hayes et al. 2007).

Για τον υπολογισμό των «παραδοσιακών» δεικτών ξηρασίας χρησιμοποιούνται κυρίως επίγειες μετρήσεις μετεωρολογικών και υδρολογικών παραμέτρων οι οποίες περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τα επίπεδα βροχόπτωσης, τη θερμοκρασία του αέρα, την υγρασία εδάφους, την εξατμισοδιαπνοή κ.α. (Mishra and Singh, 2010; Steinemann et. al. 2005).

Οι εξελίξεις όμως της τεχνολογίας κατά τις τελευταίες κυρίως δεκαετίες οδήγησαν στην ανάπτυξη μιας νέας ομάδας δεικτών που βασίζεται στη χρήση και επεξεργασία τηλεσκοπικών δεδομένων.

Οι τηλεσκοπικοί δείκτες βλάστησης, αναπτύχθηκαν εκμεταλλευόμενοι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των φασματικών ιδιοτήτων της βλάστησης και συγκεκριμένα στην ανάλυση των φασματικών υπογραφών των φυτών που καταγράφονται από τα συστήματα δορυφόρων κυρίως στο ορατό και το υπέρυθρο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Purkis and Klemas, 2011).

Οι δείκτες αυτοί σχηματίζονται από αλγεβρικούς συνδυασμούς των φασματικών δεδομένων καναλιών (προστίθενται, διαιρούνται ή πολλαπλασιάζονται) με τρόπο ώστε να ενισχυθεί η φασματική συνεισφορά της πράσινης βλάστησης. Έτσι αποδίδεται μια τιμή σ' ένα εικονοστοιχείο (pixel), η οποία συσχετίζεται με την "ποιότητα" της υγιούς βλάστησης (Lillesand et. al., 2008).

Σύμφωνα με τους Purkis και Klemas, (2011) οι δείκτες βλάστησης χαρακτηρίζουν την ποιότητα και την ενεργητικότητα της βλάστησης και παρουσιάζουν συγκριτικά μεγαλύτερη ευαισθησία σε σχέση με τις μεμονωμένες αποκρίσεις των ζώνες φάσματος για την ανίχνευση της βιομάζας.

Ενώ ο Sellers (1985) αναφέρει ότι οι δείκτες βλάστησης είναι αρκετά απλοί και αποτελεσματικοί αλγόριθμοι για την ποσοτική και ποιοτική αξιολόγηση της ποιότητας της βλάστησης, της ενεργότητας και της δυναμικής ανάπτυξης της.

2.11.1 Επιδράσεις στη λειτουργικότητα των δεικτών ξηρασίας

Όπως επισημαίνεται επίσης στη διεθνή βιβλιογραφία η χρησιμότητα των δεικτών βλάστησης υπόκειται σε εγγενείς περιορισμούς που αφορούν κυρίως την ευαισθησία τους στις ατμοσφαιρικές επιδράσεις και στην επίδραση του ετερογενούς υπόβαθρου στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει πυκνή και ομοιόμορφη κάλυψη βλάστησης.

Οι επιδράσεις της ατμόσφαιρας στις φασματικές υπογραφές που καταγράφονται από τα δορυφορικά συστήματα και ιδιαίτερα στα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των δεικτών βλάστησης έχουν επισημανθεί εκτενώς από τους Che και Price, (1992); Bannari κ.α., (1995) καθώς και από τους Dave (1980); Hadjimitsis κ.α., (2010); Jackson κ.α., (1983).

Οι Hadjimitsis κ.α., (2010) εκτίμησαν ότι η μη εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης κατά των υπολογισμό των ευρύτερα χρησιμοποιούμενων δεικτών βλάστησης όπως οι DVI, NDVI, SAVI, MSAVI και SARVI, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές αποκλίσεις. Ειδικότερα για τον NDVI υπολογίσθηκε ότι η μέση διαφορά μεταξύ των τιμών του πριν και μετά την εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης ήταν της τάξης του 18%.

Ενώ οι Che και Price, (1992) εκτίμησαν ότι η μη εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης στα πρωτογενή δεδομένα μπορεί να αυξήσει σημαντικά την αβεβαιότητα κατά τον υπολογισμό των τιμών ενός δείκτη, η οποία αναλόγως με τη φασματική ζώνη μπορεί να υπερβεί το 10%.

Οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις επηρεάζονται επίσης από τη «φωτεινότητα» του υποκείμενου εδάφους ιδιαίτερα στις περιπτώσεις των μερικώς καλυμμένων εκτάσεων από βλάστηση. Τόσο η αύξηση της «φωτεινότητας» του εδάφους όσο και η αύξηση της ατμοσφαιρικής θολερότητας προκαλούν τη μείωση των κανονικοποιημένων τιμών του δείκτη βλάστησης διαφοράς (NDVI) με τη μείωση

της τιμής του NDVI που παρατηρείται να είναι συγκριτικά μεγαλύτερη στα πιο σκούρα εδάφη σε σχέση με τα ανοιχτόχρωμα εδάφη (Huete and Jackson, 1988).

Η φασματική απόκριση που καταγράφεται από έναν αισθητήρα από μια περιοχή στην οποία δεν κυριαρχεί αποκλειστικά και μόνο η φυτική κάλυψη, αποτυπώνει ένα σύνθετο και ετερογενές περιβάλλον που περιλαμβάνει μεταξύ άλλων την απόκριση της βλάστησης, την επίδραση του περιβάλλοντος, της φωτεινότητας του εδάφους, την επίδραση της σκίασης και την υγρασία του εδάφους (Bannari et al, 1995; Basso et al., 2004).

Το γεγονός αυτό είναι σημαντικό καθώς ένα μεγάλο τμήμα της επιφάνειας της γης περιλαμβάνει μερικώς καλυμμένες εκτάσεις από βλάστηση (δασικές εκτάσεις, λειμώνες, ερήμους κτλ.). Οι εκτάσεις αυτές έχουν ένα ετερογενές υπόβαθρο, το οποίο μεταβάλλεται συνεχώς και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ανακλώμενη ακτινοβολία.

Οι Huete κ.α. (1985) αναφέρουν ότι οι φασματικές ιδιότητες του υποκείμενου εδάφους, στις περιπτώσεις των μερικώς καλυμμένων εκτάσεων από βλάστηση, επηρεάζουν σημαντικά τις ανακλώμενες ακτινοβολίες και κατ' επέκταση τον υπολογισμό των δεικτών βλάστησης ενώ σύμφωνα με τους Huete και Jackson (1988) η επίδραση του εδάφους είναι εξίσου σημαντική με την επίδραση της ατμόσφαιρας όσον αφορά τη μεταβολή της συμπεριφοράς των δεικτών βλάστησης στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει πλήρης κάλυψη με βλάστηση.

2.12 NDVI

Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης διαφοράς, (NDVI) Normalized Difference Vegetation Index, είναι ένας από τους πιο ευρέως χρησιμοποιούμενους δείκτες ξηρασίας. Προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Tucker (1979) και υπολογίζεται από την ορατή και την εγγύς υπέρυθρο ακτινοβολία που αντανακλάται από τη βλάστηση. Ορίζεται ως ο λόγος :

$$\text{όπου NDVI} = (\lambda_{\text{NIR}} - \lambda_{\text{RED}}) / (\lambda_{\text{NIR}} + \lambda_{\text{RED}}) \text{ Εξίσωση (1)}$$

και λ_{NIRr} και λ_{red} είναι η ανάκλαση στο κοντινό υπέρυθρο και στο υπέρυθρο αντίστοιχα.

Ειδικά για τις εικόνες Landsat TM ο NDVI ορίζεται από τον τύπο:

$$NDVI = (TM_4 - TM_3) / (TM_4 + TM_3). \text{ Εξίσωση (1α)}$$

Όπου TM_4 είναι το κοντινό υπέρυθρο (0,7-0,8 μm) και TM_3 είναι το κόκκινο (0,6-0,7 μm) φασματικά κανάλια

Το εύρος τιμών του NDVI κυμαίνεται από -1 έως και +1 με τη μηδενική τιμή να εκφράζει την απουσία βλάστησης ενώ οι αρνητικές τιμές περιγράφουν καλύψεις γης που αφορούν υδάτινες επιφάνειες, ανθρωπογενείς κατασκευές κ.ά.

Ο δείκτης NDVI αν και αποτελεί ένα από τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενους τηλεσκοπικούς δείκτες (Pettorelli et al., 2005; Zargar, et al. 2011) παρουσιάζει εντούτοις μερικά σημαντικά μειονεκτήματα τα οποία περιορίζουν τη χρήση του.

Τα μειονεκτήματα αυτά εστιάζονται κυρίως στο γεγονός ότι δεν ανταποκρίνεται πλήρως στις περιπτώσεις όπου παρατηρούνται μικρής έκτασης συγκεντρώσεις βλάστησης με αποτέλεσμα οι τιμές του να επηρεάζονται από την ανακλαστικότητα του υποβάθρου (εδάφους).

Ενώ έχει παρατηρηθεί ότι ο NDVI παρουσιάζει μια χρονική υστέρηση στην απόκριση στη ξηρασία (Reed 1993; Wang et al. 2001), η οποία με τη σειρά της σχετίζεται με τη χρονική υστέρηση στην απόκριση της βλάστησης λόγω της υπάρχουσας αποθηκευμένης εδαφικής υγρασίας.

Η χρονική αυτή καθυστέρηση μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι σημαντική, έως και 3 μήνες, και εξαρτάται στο κατά πόσο η υπό εξέταση περιοχή είναι καθαρά ξηρική, εν μέρει ή πλήρως αρδευόμενη, (Farrar et al. 1994; Wang et al. 2001). Όσο μεγαλύτερη είναι η εξάρτηση από την βροχόπτωση όσο μικρότερη είναι η χρονική υστέρηση.

Τέλος οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, όπως τα λεπτά σύννεφα, δυνητικά μπορούν να επηρεάσουν τις τιμές του NDVI.

2.13 NDWI

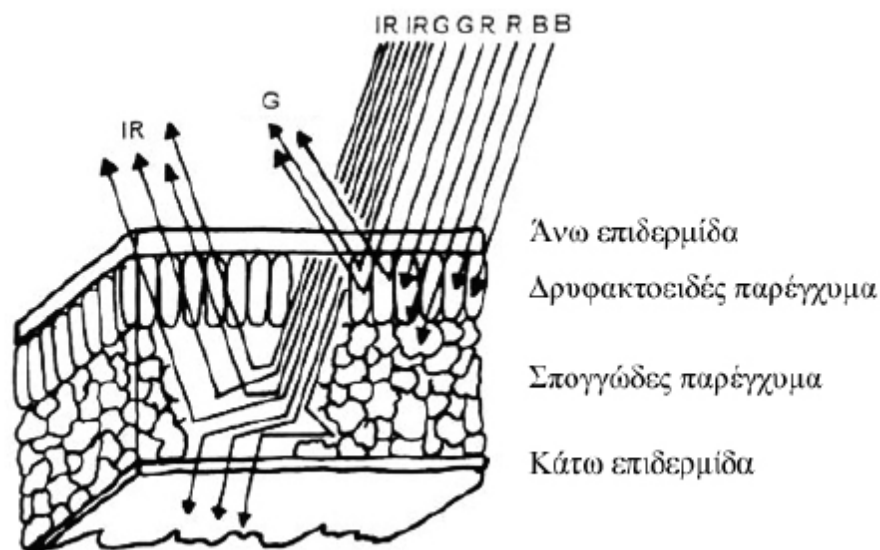
Ο δείκτης NDWI προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Gao (1996) με στόχο τη μελέτη της υδατικής κατάστασης της βλάστησης μέσω της χρήσης δορυφορικών δεδομένων. Ο αρχικός σχεδιασμός του δείκτη, έγινε με βάση τα φασματικά χαρακτηριστικά του δορυφορικού αισθητήρα MODIS και συγκεκριμένα μέσα από τη χρήση των δυο καναλιών του υπέρυθρου φάσματος, με κεντρικά μήκη κύματος τα 0.86 και 1.24 μm .

Η επιλογή των δυο αυτών καναλιών στο εγγύς υπέρυθρο και στο μέσο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος, έγινε με σκοπό να αναδειχθούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της υδατικής κατάστασης της βλάστησης καθώς ο συνδυασμός των δύο υπέρυθρων ζωνών απαλείφει τις μεταβολές που προκαλούνται από την εσωτερική δομή των φύλλων και την περιεκτικότητα τους σε ξηρά ύλη, ενισχύοντας έτσι την ακρίβεια με την οποία αποτυπώνεται η περιεκτικότητα της βλάστησης σε νερό (Ceccato et al., 2001).

Η ηλιακή ακτινοβολία καθώς διαπερνά τους ανώτερους ιστούς του φύλλου απορροφάται ισχυρά από τις χλωροφύλλες και τις άλλες χρωστικές του μεσόφυλλου που συμμετέχουν στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Η απορρόφηση των χλωροφυλλών και των άλλων φωτοσυνθετικών χρωστικών περιορίζεται κυρίως στο ορατό φάσμα ενώ μόνο ένα μικρό ποσοστό της εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας απορροφάται από το σπογγώδες παρέγχυμα, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο ποσοστό της υπέρυθρης ακτινοβολίας να σκεδάζεται είτε με ανοδική (ανακλώμενη ακτινοβολία) ή καθοδική (διαβιβαζόμενη ακτινοβολία) πορεία (Εικόνα 2.12).

Η επιδερμίδα του φύλλου, άνω και κάτω, συνήθως είναι σχεδόν διαφανής όσον αφορά την υπέρυθρη ακτινοβολία, οπότε ελάχιστη ποσότητα υπέρυθρης ακτινοβολίας ανακλάται από την εξωτερική δομή του φύλλου.

Η εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία διαπερνά τα φύλλα σε ποσοστό της τάξης του 50 – 60%, έτσι μεταβιβάζεται σε υψηλό ποσοστό και στα χαμηλότερα στρώματα των φύλλων, το οποίο στη συνέχεια ανακλάται από αυτά και διαχέεται μέσω του θόλου πίσω προς την ατμόσφαιρα (Hall et al. 1995).



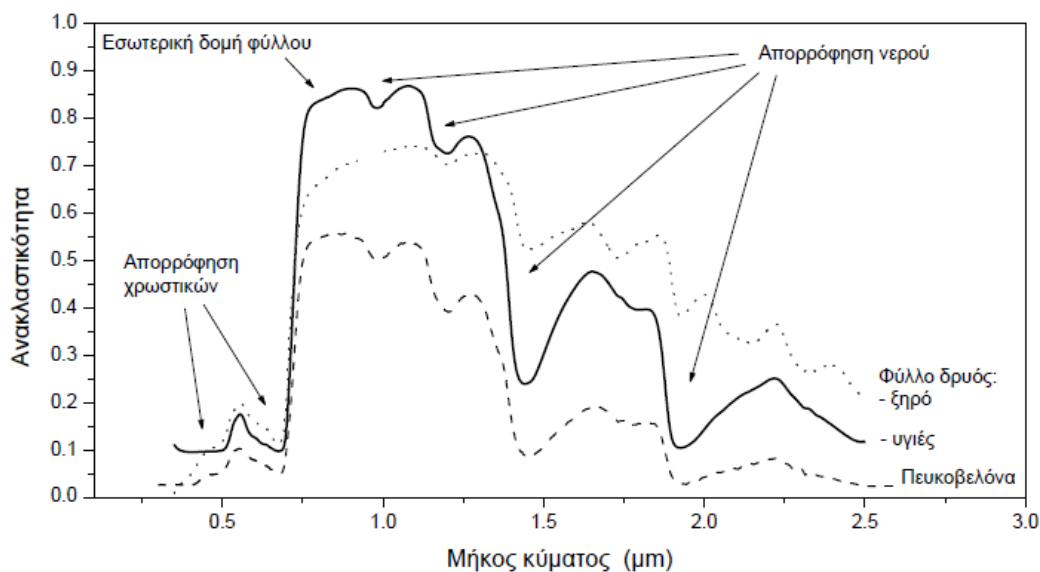
Εικόνα 0.12: Διάγραμμα διατομής τυπικού φύλλου και οι αλληλεπιδράσεις των δομικών στοιχείων του με την προσπίπτουσα ακτινοβολία

Ανάλογη είναι και η φασματική συμπεριφορά όσον αφορά το μέσο υπέρυθρο. Η ανακλαστικότητα σε αυτή τη ζώνη του φάσματος σχετίζεται με τις μεταβολές που παρατηρούνται τόσο στην περιεκτικότητα σε νερό όσο και στη σπογγώδη μεσοφυλλική δομή της βλάστησης.

Πέρα από τη φασματική συμπεριφορά των μεμονωμένων φύλλων εξίσου σημαντική είναι και η φασματική συμπεριφορά και τα φασματικά χαρακτηριστικά του θόλου της βλάστησης. Οι θόλοι της βλάστησης σχηματίζονται από πολλά διαφορετικά φύλλα που εν γένει διαφέρουν ως προς το μέγεθος, τον προσανατολισμό, το σχήμα και τα βιοχημικά χαρακτηριστικά τους. Η δομή του θόλου και η σχετική θέση του ηλίου δημιουργούν πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις με την ακτινοβολία. Εντός του θόλου η ανακλαστικότητα και η διαπερατότητα των φύλλων εξαρτάται από τη σκίαση των διαφορετικών στρώματα φύλλων διαμορφώνοντας έτσι τη συνολική ανακλαστικότητα του θόλου.

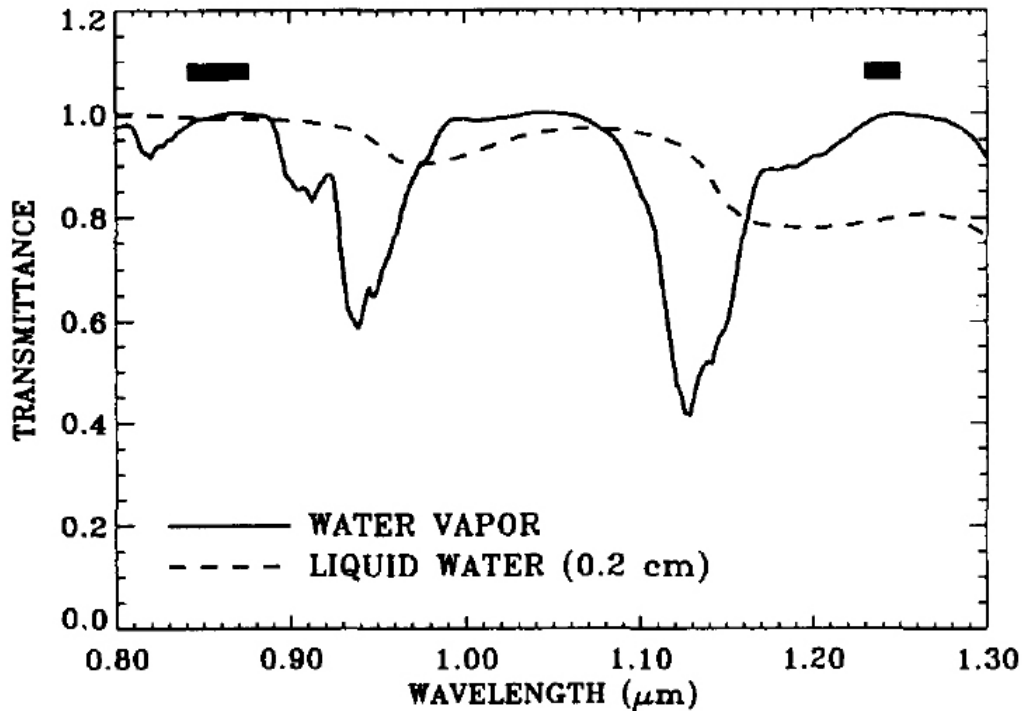
Η σκίαση γενικά ελαττώνει την ανακλαστικότητα του θόλου σε τιμές χαμηλότερες από αυτές που παρατηρούνται στα μεμονωμένα φύλλα. Θεωρείται

ότι το ποσοστό του ορατού φάσματος που ανακλάται από ένα φύλλο είναι περίπου 10%, ενώ από ένα τυπικό θόλο το ποσοστό είναι της τάξης του 3 – 5%. Αντίστοιχα, το εγγύς υπέρυθρο φάσμα ανακλάται από ένα φύλλο σε ποσοστό 50%, ενώ από έναν θόλο κατά 35% (Knipling 1970). Η σχετική μείωση του ποσοστού της ανακλαστικότητας του εγγύς υπέρυθρου φάσματος ανάμεσα στο φύλλο και στον θόλο είναι συγκριτικά πολύ μικρότερη αυτής του ορατού.



Εικόνα 0.13: Φάσματα ανακλαστικότητας ενός φύλλου δρυός (*Quercus robur*) σε φυσική κατάσταση και μετά από ξήρανση, και ενός φύλλου (*Pinus edulis*) σε φυσική κατάσταση (πηγή: Clark et al. 2007).

Και τα δυο κανάλια που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του δείκτη, βρίσκονται στο πλατό υψηλής ανακλαστικότητας του υπέρυθρου ενώ μόνο το κανάλι που αντιστοιχεί στα 1.24 μm, επηρεάζεται από την απορρόφηση του νερού (Εικόνα 2.14). Ο αλγεβρικός συνδυασμός των δυο αυτών καναλιών ενισχύει την απόκριση που οφείλεται στην παρουσία νερού στους ιστούς της βλάστησης δίνοντας έτσι ένα μέτρο της περιεκτικότητας του στη βλάστηση.



Εικόνα 0.14: Φάσματα - διαπερατότητας της ατμοσφαιρικής υγρασίας και του νερού σε υγρή φάση σε μια περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας (πηγή: Gao, 1996).

Με την επιλογή των δύο καναλιών στα 0.86 και 1.24 μm , επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση της επίδρασης της ατμοσφαιρικής υγρασίας (Εικόνα 2.14) καθώς τα κεντρικά μήκη κύματος της απορρόφησης της ατμοσφαιρικής υγρασίας και του νερού στην περιοχή των 0.9-2.5 μm απέχουν 30 - 50 nm μεταξύ τους. Ως αποτέλεσμα το ποσοστό του θορύβου που παρατηρείται κατά τον υπολογισμό του δείκτη και οφείλεται στην επίδραση της ατμοσφαιρικής υγρασίας να είναι πολύ μικρό, της τάξης του 1.5% περίπου.

Οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις που παρατηρούνται στην περιοχή των 0.86-1.24 μm του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, λόγω της απορρόφησης και της σκέδασης των αερολυμάτων, είναι σχετικά ασθενείς με αποτέλεσμα ο δείκτης NDWI να παρουσιάζει συγκριτικά μικρότερη ευαισθησία σε σχέση με τον NDVI.

Περαιτέρω, η επιλογή των δυο καναλιών στο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος παρουσιάζει ένα ακόμη πλεονέκτημα καθώς οι επιδράσεις των σκεδάσεων του θόλου είναι σχεδόν ισότιμες για τα δυο υπέρυθρα κανάλια, με αποτέλεσμα να εξισορροπούνται μέσω της κανονικοποίησης στον τύπο υπολογισμού του δείκτη.

Η επιλογή του καναλιού του MODIS στα 1.24 μm και όχι στα 1.20 μm εξασφαλίζει επίσης την ελαχιστοποίηση της επίδρασης της κυτταρίνης καθώς το μέγιστο απορρόφησης του νερού βρίσκεται στα 1.20 μm δηλαδή στην ίδια περίπου περιοχή του φάσματος όπου παρατηρείται και μια ασθενής απορρόφηση από την κυτταρίνη (Gao, 1996).

Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η επίδραση της ανάκλασης του εδάφους (επίδραση υποβάθρου) δεν απαλείφεται πλήρως και είναι συγκριτικά παρόμοια με τον δείκτη NDVI. Αν και ο δείκτης NDWI θεωρητικά δεν επηρεάζεται από το επίπεδο υγρασίας του εδάφους, παρόλα αυτά εμφανίζει πολύ μεγάλες διακυμάνσεις ανάλογα τον τύπο του (Gao, 1996; Stoner and Baumgardner, 1980).

Ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Νερού (Normalized Difference Water Index/NDWI) προκύπτει από τον λόγο της διαφοράς της ανακλαστικότητας των περιοχών του εγγύς υπέρυθρου και του βραχέως υπέρυθρου προς το άθροισμα τους και εκφράζεται μαθηματικά από την εξίσωση (2)

$$NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR) \text{ Εξίσωση (2)}$$

Όπου :

NIR η ανακλαστικότητα στο εγγύς υπέρυθρο και

SWIR, η ανακλαστικότητα στο Βραχύ υπέρυθρο

Ο αριθμός που προκύπτει από την εξίσωση (2) είναι αδιάστατος και κυμαίνεται μεταξύ των τιμών από -1 έως +1. Υψηλές τιμές του δείκτη καταδεικνύουν υψηλή περιεκτικότητα σε νερό και υψηλό ποσοστό κάλυψης βλάστησης ενώ αντίθετα χαμηλές τιμές του δείκτη υποδηλώνουν χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό και χαμηλό ποσοστό κάλυψης. Ειδικά σε περίοδο υδατικού στρες, οι τιμές του δείκτη NDWI μειώνονται. Ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Νερού εξαρτάται επίσης από τον τύπο της βλάστησης και από το ποσοστό εδαφοκάλυψης.

Αν και ο δείκτης NDWI παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με τον NDVI όσον αφορά την μαθηματική του έκφραση, εντούτοις, θα πρέπει να επισημανθεί ότι η φύση της πληροφορίας που περιέχεται στο κανάλι 1,24 μm αναφορικά με την κατάσταση της βλάστησης είναι πολύ διαφορετική σε σχέση με εκείνη που περιέχεται στο κανάλι που αντιστοιχεί στο κόκκινο, στα 0.66 μm, το οποίο ουσιαστικά δείχνει το επίπεδο της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας του φυτού και σχετίζεται με τα επίπεδα των χρωστικών ουσιών (χλωροφύλλες) που περιέχονται στο φυλλώδη ιστό.

Η φυσιολογική ανάπτυξη του φυτού καθώς και οι συνθήκες καταπόνησης που δημιουργούνται από φαινόμενα όπως η ξηρασία ή οι ασθένειες, επηρεάζουν τις φασματικές περιοχές ανάκλασης του φύλλου. Ως αποτέλεσμα, οι μεταβολές που λαμβάνουν χώρα και συσχετίζονται με την φυσιολογία και την ακμαιότητα του φυτού εκφράζονται ως μεταβολές στο φάσμα ανακλαστικότητας ενός φύλλου. Οι διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων των φωτοσυνθετικών χρωστικών, όπως η χλωροφύλλη, επηρεάζουν κυρίως το ορατό φάσμα, ενώ οι μεταβολές στην εσωτερική δομή και την μορφή του φύλλου επηρεάζουν το εγγύς υπέρυθρο. Αντίστοιχα οι μεταβολές της εσωτερικής υγρασίας επηρεάζουν κυρίως το μέσο υπέρυθρο φάσμα.

Η χρησιμότητα και αποτελεσματικότητα του δείκτη για την παρακολούθηση και την έγκαιρη προειδοποίηση των συνεπειών της ξηρασίας έχει εξεταστεί εκτενώς από τους Gu κ.α. (2007) καθώς και από τους Ceccato κ.α.(2002).

Παρόλο όμως που ο δείκτης NDWI εντοπίζει σε ικανοποιητικό βαθμό τα επίπεδα υδατικού περιεχομένου, οι αναπτυξιακές διακυμάνσεις του θόλου που σημειώνονται κατά την διάρκεια του έτους επιδρούν σε μεγάλο βαθμό στις τιμές του, με αποτέλεσμα συχνά η υδατική πληροφορία να παρερμηνεύεται λόγω της ανάπτυξης του φυτικού δυναμικού (Σταγάκης, 2012).

Σημαντική είναι επίσης και η επίδραση του θόλου της βλάστησης στον υπολογισμό του NDWI καθώς η διασπορά της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που παρατηρείται στο θόλο του φυτού ενισχύει την απορρόφηση του νερού με αποτέλεσμα ο δείκτης NDWI να παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία στις

μεταβολές της περιεκτικότητας σε υγρασία ενώ οι διακυμάνσεις του εξαρτώνται ουσιαστικά από τον παράγοντα LAI (Leaf area index), κάνοντας έτσι πιο δυσδιάκριτες τις διακυμάνσεις της υδατικής κατάστασης.

2.14 Δείκτης Κανονικοποιημένης Βροχόπτωσης (SPI)

Ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Βροχόπτωσης (Standardized Precipitation Index - SPI) προτάθηκε από τους McKee, Doesken, και Kleist (1993) και ο υπολογισμός του βασίζεται σε μια μεγάλη χρονικά σειρά δεδομένων βροχόπτωσης, τουλάχιστον 30 ετών. Με τον δείκτη SPI ουσιαστικά ποσοτικοποιούνται οι μεταβολές της βροχόπτωσης σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες, για μια καθορισμένη περιοχή (Steinemann et al., 2005).

Οι τιμές του δείκτη που υπολογίζονται για διαφορετικά χρονικά διαστήματα, αντικατοπτρίζουν τις επιπτώσεις της ξηρασίας σε διαφορετικούς υδάτινους πόρους. Η μετεωρολογική ξηρασία καθώς και η γεωργική ξηρασία (που εξαρτάται από την υγρασία του εδάφους), σχετίζονται με ανωμαλίες των κατακρημνίσεων που παρατηρούνται για μικρά χρονικά διαστήματα, που συνήθως κυμαίνονται μεταξύ του 1 έως 6 μηνών ενώ οι μεταβολές στις ροές των υδάτινων σωμάτων (υδρολογική ξηρασία) καθώς και ο εμπλουτισμός των υπόγειων ύδατων σχετίζονται με πιο μακροχρόνιες ανωμαλίες των κατακρημνίσεων, της τάξης των 6 μηνών έως 24 μηνών ή ακόμα και μεγαλύτερες (WMO, 2012).

Πίνακας 0.3: Κατηγορίες ξηρασίας σύμφωνα με τον δείκτη SPI

| Κατηγορίες Ξηρασίας | Τιμές δείκτη SPI |
|---------------------|------------------|
| Εξαιρετικά υγρές | >2.00 |
| Πολύ υγρές | 1.50 to 1.99 |
| Μέτρια υγρές | 1.00 to 1.49 |
| Κανονικές συνθήκες | -0.99 to 0.99 |
| Μέτρια ξηρές | -1.00 to -1.49 |
| Έντονα ξηρές | -1.50 to -1.99 |
| Ακραία ξηρές | <-2.00 |

(πηγή: McKee et al., 1993)

SPI 3 - μηνών

Ο δείκτης SPI₃ (3 μηνών) παρέχει τη δυνατότητα σύγκρισης των κατακρημνίσεων για μια συγκεκριμένη τρίμηνη περίοδο, με τα στοιχεία κατακρημνίσεων της ίδιας περιόδου (3 μηνών) για το σύνολο των ετών που περιλαμβάνονται στα διαθέσιμα δεδομένα.

Ο δείκτης SPI₃ αντανακλά τις βραχυπρόθεσμες και μεσοπρόθεσμες συνθήκες της υγρασίας και παρέχει μια εποχική εκτίμηση της βροχόπτωσης. Ιδιαίτερα σημαντικές είναι οι τιμές που λαμβάνει ο δείκτης για τις γεωργικές περιοχές, καθώς αποτυπώνονται πιο αποτελεσματικά οι επικρατούσες συνθήκες εδαφικής υγρασίας (WMO, 2012).

Ο δείκτης SPI₃ μηνών συγκρίνεται με μεγαλύτερες χρονικές περιόδους καθώς μια σχετικά κανονική ή ακόμα και υγρή περίοδος 3 μηνών είναι δυνατόν να παρατηρηθεί στο μέσο μιας πιο μακροχρόνιας ξηρασίας. Η εξέταση και σύγκριση του δείκτη SPI₃ με μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα εξαλείφει τυχόν εσφαλμένη ερμηνεία για τη λήξη μιας ξηρασίας όταν στην πραγματικότητα παρατηρείται μόνο μια προσωρινή υγρή περίοδος.

SPI 9 - μηνών

Οι τιμές του δείκτη SPI₉ παρέχουν μια ένδειξη για τα πρότυπα κατακρήμνισης μεταξύ των διαφόρων εποχών κατά τη διάρκεια μιας μεσοπρόθεσμης χρονικής διάρκειας. Τιμές του δείκτη SPI₉ μικρότερες από -1,5 για αυτή τη χρονική κλίμακα είναι συνήθως μια ένδειξη ότι η ξηρασία που επικρατεί έχει σημαντικό αντίκτυπο στη γεωργία καθώς οι ξηρασίες συνήθως χρειάζονται μια ή και περισσότερες εποχές για να αναπτυχθούν. Η χρονική περίοδος των 9 μηνών είναι σημαντική καθώς γεφυρώνει μια βραχυπρόθεσμη εποχιακή ξηρασία με τις πιο μακροχρόνιες ξηρασίες που μπορεί να εξελιχθούν σε υδρολογικές (WMO, 2012).

SPI 12 - μηνών

Ο δείκτης SPI₁₂ αποτελεί μια σύγκριση της κατακρήμνισης 12 διαδοχικών μηνών σε σχέση με τις κατακρημνίσεις που καταγράφηκαν τους ίδιους 12 διαδοχικούς μήνες σε όλα τα προηγούμενα έτη των διαθέσιμων δεδομένων βροχόπτωσης. Σε

αυτά τα χρονικά πλαίσια αντικατοπτρίζονται μακροπρόθεσμα πρότυπα κατακρημνίσεων. Επειδή το χρονικό διαστήματα των 12 μηνών είναι το αθροιστικό αποτέλεσμα μικρότερων χρονικών περιόδων που ενδεχομένως να κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα, οι δείκτες SPI που υπολογίζονται για μεγαλύτερα διαστήματα τείνουν να κινούνται προς τιμές ίσες με μηδέν, εκτός και εάν παρατηρηθεί μια σαφής και διακριτική υγρή ή ξηρή τάση. Οι τιμές του δείκτη SPI₁₂ χαρακτηρίζουν συνήθως τις απορροές στα υδάτινα σώματα και τις ροές στα υπόγεια υδάτα (WMO, 2012).

Κεφάλαιο 3

Επισκόπηση Περιοχής Μελέτης

3.1 Περιοχή Μελέτης - Γενικά

Η Κύπρος είναι το τρίτο σε μέγεθος νησί της Μεσογείου με συνολική έκταση 9,250 Km². Βρίσκεται στο βορειοανατολικό άκρο της Μεσογείου σε γεωγραφικό πλάτος από 34°, 34' έως 35°, 42' βόρεια του ισημερινού και γεωγραφικό μήκος από 32°, 16' μέχρι 34°, 36', ανατολικά του μεσημβρινού του Γκρήνουιτς.

Διοικητικά διαιρείται σε έξι επαρχίες:

- *Λευκωσίας* που γεωγραφικά βρίσκεται στο κέντρο του νησιού με έκταση 2.719 Km² και είναι η μοναδική επαρχία που συνορεύει με όλες τις υπόλοιπες,
- *Λεμεσού* που βρίσκεται στο νότιο τμήμα του νησιού και έχει έκταση 1,393 Km²,
- *Λάρνακας* που βρίσκεται επίσης στο νότιο τμήμα του νησιού και έχει έκταση 1,393 km²
- *Πάφου* που γεωγραφικά βρίσκεται στο δυτικό τμήμα του νησιού και έχει εμβαδόν 1,393 km²,
- *Αμμόχωστου* το μεγαλύτερο τμήμα της οποίας βρίσκεται στο κατεχόμενο από τους Τούρκους τμήμα του νησιού με έκταση 1,979 km² και
- *Κερύνειας* η οποία βρίσκεται εξ ολοκλήρου στο κατεχόμενο τμήμα του νησιού με έκταση 640 km².

Τα μορφολογικά της χαρακτηριστικά καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τις δύο μεγάλες οροσειρές, του Τροόδους που δεσπόζει στο κεντρικό-δυτικό τμήμα του νησιού με μέγιστο υψόμετρο 1,951 μέτρων και του Πενταδάκτυλου που βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του νησιού με μέγιστο υψόμετρο 1,085 μέτρων.

Μεταξύ των δύο αυτών οροσειρών εκτείνονται οι πεδιάδες της Μόρφου και της Μεσαορίας. Συνολικά το 47% του εδάφους είναι καλλιεργήσιμη γη, 34% είναι ακαλλιεργήτη γη και το υπόλοιπο 19% αποτελεί δασική έκταση.

Σύμφωνα με την ετήσια *Δημογραφική Έκθεση* της Στατιστικής Υπηρεσίας ο πληθυσμός της Κύπρου στα τέλη του 2011 ανερχόταν σε 842,769 κατοίκους που αντιστοιχεί σε μια πυκνότητα πληθυσμού περίπου 91 κάτοικων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο.



Χάρτης 0.1: Χάρτης της Κύπρου

Επισημαίνεται ότι μετά την Τουρκική εισβολή το 1974, η Κυπριακή Δημοκρατία πρακτικά ελέγχει μόνο το 58% της έκτασης του νησιού ενώ το 37% κατέχεται παράνομα από την Τουρκία. Το υπόλοιπο 5% του νησιού καταλαμβάνεται από τον ΟΗΕ και από το Ηνωμένο Βασίλειο το οποίο διατηρεί δυο περιοχές κυρίαρχων βάσεων.

3.2 Πληθυσμός

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Απογραφής Πληθυσμού του 2011, ο πληθυσμός της Κύπρου κατά την ημέρα αναφοράς της Απογραφής ανερχόταν στις 856.960 άτομα. Από τον συνολικό πληθυσμό, οι 577.574 ή ποσοστό 67,4% κατοικούσαν στις αστικές περιοχές ενώ 279.386 ή ποσοστό 32,6% του πληθυσμού στις αγροτικές περιοχές του νησιού.

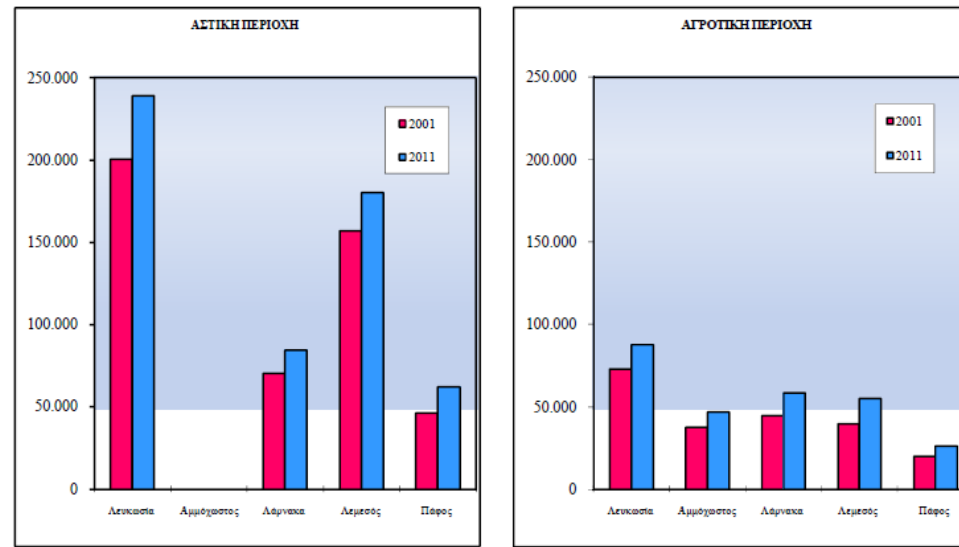
Η πληθυσμιακή πυκνότητα ανέρχεται στα 145 άτομα ανά km² (αφορά τα εδάφη τα οποία είναι υπό τον έλεγχο της Κυπριακής Δημοκρατίας), αλλά παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις αφού ο πληθυσμός κυμαίνεται από λιγότερα από 10 άτομα ανά km² έως 1,000 άτομα ανά km² στα μεγάλα αστικά κέντρα της Κύπρου, τα περισσότερα από τα οποία βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές.

Η γεωγραφική κατανομή του πληθυσμού κατά επαρχία ήταν η ακόλουθη: Λευκωσία 334.120 ή ποσοστό 39,0%, Αμμόχωστος 47.338 ή ποσοστό 5,5%, Λάρνακα 145.365 ή 17,0%, Λεμεσός 239.842 ή 28,0% και Πάφος 90.295 ή ποσοστό 10,5% (Πίνακας 3.1).

Σημειώνεται ότι κατά την περίοδο 2001-2011, ο συνολικός πληθυσμός αυξήθηκε κατά 21,8%, από 703.529 σε 856.960. Σε όλες τις επαρχίες παρατηρήθηκε αύξηση του πληθυσμού με τις πιο σημαντικές αυξήσεις να σημειώνονται στην επαρχία Πάφου, στην επαρχία Λάρνακας και στην επαρχία Αμμοχώστου.

Πίνακας 0.1: Πληθυσμός κατά Επαρχία και Αστική/ Αγροτική περιοχή στις Απογραφές 2011/2001

| ΕΠΑΡΧΙΑ | ΑΠΟΓΡΑΦΗ 2011 | | | ΑΠΟΓΡΑΦΗ 2001 | | | % Μεταβολής από το 2001 | | |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------|-------------|
| | Σύνολο | Αστική | Αγροτική | Σύνολο | Αστική | Αγροτική | Σύνολο | Αστική | Αγροτική |
| Σύνολο | 856.960 | 577.574 | 279.386 | 703.529 | 485.304 | 218.225 | 21,8 | 19,0 | 28,0 |
| Λευκωσία | 334.120 | 244.500 | 89.620 | 279.545 | 205.633 | 73.912 | 19,5 | 18,9 | 21,3 |
| Αμμόχωστος | 47.338 | .. | 47.338 | 38.371 | .. | 38.371 | 23,4 | .. | 23,4 |
| Λάρνακα | 145.365 | 85.874 | 59.491 | 117.124 | 71.740 | 45.384 | 24,1 | 19,7 | 31,1 |
| Λεμεσός | 239.842 | 183.658 | 56.184 | 201.057 | 160.733 | 40.324 | 19,3 | 14,3 | 39,3 |
| Πάφος | 90.295 | 63.542 | 26.753 | 67.432 | 47.198 | 20.234 | 33,9 | 34,6 | 32,2 |



Διάγραμμα 0.1: Πληθυσμός που καταγράφηκε κατά Επαρχία και Αγροτική/ Αστική περιοχή στις Απογραφές 2001 και 2011

Η αύξηση του πληθυσμού στις τρεις αυτές επαρχίες ήταν 33,9%, 24,1% και 23,4% αντίστοιχα. Τη μεγαλύτερη αύξηση πληθυσμού στις αστικές περιοχές παρουσίασε η επαρχία Πάφου, ενώ τη μεγαλύτερη αύξηση στις αγροτικές περιοχές σημείωσε η επαρχία Λεμεσού.

3.3 Κλιματολογικά Στοιχεία

3.3.1 Ηλιοφάνεια

Η διάρκεια της ηλιοφάνειας στην Κύπρο είναι ιδιαίτερα υψηλή. Από τα στατιστικά στοιχεία προκύπτει ότι ο μέσος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας, στις πεδινές περιοχές, για ολόκληρο το έτος κυμαίνεται στο 75% των ωρών της θεωρητικά μέγιστης δυνατής διάρκειας της ηλιοφάνειας ενώ καθ' όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού η διάρκειά της είναι κατά μέσο όρο 11.5 ώρες την ημέρα. Συγκριτικά η μέγιστη δυνατή διάρκεια της ηλιοφάνειας για την Κύπρο (δηλαδή από την ανατολή μέχρι τη δύση του ήλιου) κυμαίνεται από 9.8 ώρες την ημέρα τον μήνα Δεκέμβριο έως 14.5 ώρες την ημέρα για τον μήνα Ιούνιο.

Στους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο όπου παρατηρείται και η πιο μεγάλη νέφωση, η διάρκεια της ηλιοφάνειας ελαττώνεται στις 5.5 ώρες την ημέρα. Στις υψηλότερες περιοχές του Τροόδου κατά τους χειμερινούς μήνες, η μέση ηλιοφάνεια είναι περίπου 4 ώρες την ημέρα ενώ κατά τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο κυμαίνεται στις 11 ώρες.

3.3.2 Βροχόπτωση

Ως αποτέλεσμα του ανατολικού μεσογειακού κλίματος, το κλίμα της Κύπρου χαρακτηρίζεται από χαμηλή μέση ετήσια βροχόπτωση. Για την περίοδο 1961-1990 η μέση ετήσια βροχόπτωση, περιλαμβανόμενης και της χιονόπτωσης, κυμάνθηκε στα 503 mm ενώ από το 2000 μέχρι σήμερα έχει μειωθεί στα 463 mm.

Τα μεγαλύτερα ποσοστά βροχόπτωσης παρατηρούνται την περίοδο από το Νοέμβρη έως το Μάρτη ενώ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η βροχόπτωση είναι πολύ χαμηλή. Την άνοιξη και το φθινόπωρο οι βροχές είναι επίσης περιορισμένες και κυρίως τοπικού χαρακτήρα.

Η βροχόπτωση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες συμβάλλει ελάχιστα στους υδάτινους πόρους και στη γεωργία καθώς οι ελάχιστες ποσότητες που πέφτουν απορροφούνται από το πολύ ξηρό έδαφος και εξατμίζονται γρήγορα από τις υψηλές θερμοκρασίες και την χαμηλή υγρασία που κατά κανόνα επικρατούν.

Η βροχόπτωση που παρατηρείται κατά την φθινοπωρινή και χειμερινή περίοδο είναι κάπως μεταβλητή και αντιστοιχεί περίπου στο 60% της συνολικά ετήσιας βροχόπτωσης ενώ η αντίστοιχη της καλοκαιρινής περιόδου δεν ξεπερνά το 5% της μέσης ολικής ετήσιας βροχόπτωσης.

Η επίδραση του ανάγλυφου της ξηράς είναι ιδιαίτερα σημαντική στην κατανομή της βροχόπτωσης καθώς η μέση ετήσια βροχόπτωση που παρατηρείται στις νοτιοδυτικές προσήνεμες περιοχές της οροσειράς του Τροόδους αυξάνεται από τα 450 περίπου mm στους πρόποδες, στα 1,100 mm στην κορυφή του Τροόδους, τον Όλυμπο, ενώ στις υπήνεμες πλαγιές η βροχόπτωση ελαττώνεται σταθερά σε τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 300 και 350 mm στην κεντρική πεδιάδα και στις πεδινές νοτιοανατολικές περιοχές.

Από τη στατιστική ανάλυση της βροχόπτωσης προκύπτει ότι την τελευταία 30 ετία υπάρχει μια μείωση των ποσοστών των βροχοπτώσεων σε σχέση με τις προηγούμενες δεκαετίες.

Η μέση βροχόπτωση στην περίοδο 1991/92 - 2007/08 (17 υδρομετεωρολογικά έτη) ήταν 457 mm ή κατά 9% χαμηλότερη από την κανονική (503 mm) της περιόδου 1961 - 1990 ενώ σύμφωνα με τους πιο πάνω ρυθμούς αναμένεται ότι μέχρι το 2030 η βροχόπτωση θα ελαττωθεί κατά 10-15% σε σύγκριση με τις κανονικές τιμές της περιόδου 1961-1990.

Η ανάλυση των διαθέσιμων στοιχείων για τα έτη 1916/17 έως 1999/00 καταδεικνύει επίσης ότι οι χρονολογικές σειρές των βροχοπτώσεων παρουσιάζουν μια διακριτή μεταβολή περί το

έτος 1970 και μπορεί να χωριστούν σε δύο ξεχωριστές περιόδους. Την περίοδο που διαρκεί από το 1916/17 έως το 1969/70 και την περίοδο που διαρκεί από το 1970/71 έως το 1999/00.

Η μέση βροχόπτωση της περιόδου που διαρκεί από το 1970/71 έως το 1999/00 είναι συγκριτικά χαμηλότερη σε σχέση με τη μέση βροχόπτωση της παλαιότερης περιόδου που διαρκεί από το 1916/17 έως το 1969/70.

Η μεταβολή της μέσης βροχόπτωσης είναι μεγαλύτερη στον ορεινό όγκο του Τροόδους σε σχέση με τις παράκτιες και τις πεδινές περιοχές της ενδοχώρας. Ο δε μέσος όρος της ετήσιας βροχόπτωσης της πρόσφατης περιόδου είναι κατά 100 mm ή και περισσότερο μειωμένος σε σχέση με τη μέση τιμή της παλαιότερης περιόδου για τις περιοχές που το υψόμετρο τους είναι μεγαλύτερο από 500 μέτρα . Η μείωση αυτή είναι σημαντική και κυμαίνεται μεταξύ του 15% και 25% του μέσου ετήσιου βροχόπτωσης της παλαιότερης περιόδου.

Παράλληλα με τις βροχοπτώσεις, κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών παρατηρούνται χιονοπτώσεις σε περιοχές της οροσειράς του Τροόδους με υψόμετρο άνω των 1,000 μέτρων ενώ σπανιότερα στις πεδινές περιοχές και στην οροσειρά του Πενταδακτύλου. Το χιόνι δεν καλύπτει μόνιμα το έδαφος καθ'όλη τη διάρκεια του χειμώνα ενώ μετά την τελευταία χιονόπτωση το χιόνι μπορεί να εξακολουθήσει να καλύπτει το έδαφος μόνο για μερικές ημέρες.

3.3.3 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία στην Κύπρο κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα παρουσίασε ένα μέσο ρυθμό αύξησης της τάξης του 0.01°C/έτος. Ειδικότερα για την περίοδο 1976-1998 ο μέσος ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας στις πόλεις ήταν 0.035°C/έτος ενώ ο αντίστοιχος στην ύπαιθρο ήταν 0.015°C/έτος.

Η μέση θερμοκρασία κατά την περίοδο 1991 - 2007 ήταν 17.7°C ή κατά 0.5°C ψηλότερη από την κανονική (17.2°C) της περιόδου 1961 - 1990.

Σύμφωνα με τους πιο πάνω ρυθμούς αναμένεται ότι μέχρι το 2030 η θερμοκρασία θα αυξηθεί κατά 1,0 - 1, 5°C σε σύγκριση με τις κανονικές τιμές της περιόδου 1961-1990.

3.3.3.1 Θερμοκρασία Εδάφους

Η απορρόφηση μεγάλων ποσοτήτων ηλιακής ενέργειας κατά τη διάρκεια της μέρας και η μεγάλη απώλεια θερμότητας λόγω της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας τη νύχτα, οφείλονται για την μεγάλη ημερήσια διακύμανση στη θερμοκρασία του επιφανειακού στρώματος του εδάφους ιδιαίτερα κατά την περίοδο του καλοκαιριού.

Η μέση θερμοκρασία εδάφους σε βάθος 10 εκατοστών στις πεδινές περιοχές κυμαίνεται στους 10 °C, τον Ιανουάριο και στους 33 °C τον Ιούλιο ενώ στις ορεινές περιοχές με υψόμετρο άνω των 1,000 μέτρων οι τιμές αυτές είναι κατά 5 °C περίπου πιο χαμηλές.

Τον μήνα Ιούλιο η θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους στις πεδινές περιοχές παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς κατά τις αυγινές ώρες είναι 15 °C ενώ 2-3 ώρες μετά το μεσημέρι ανέρχεται στους 60 °C. Κατά την ίδια χρονική περίοδο οι αντίστοιχες τιμές σε βάθος 5 εκατοστών είναι 24 και 42 °C αντίστοιχα ενώ σε βάθος μεγαλύτερο των 50 εκατοστών η ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας είναι αμελητέα.

3.3.3.2 Θερμοκρασία Αέρα

Το ετήσιο εύρος της θερμοκρασίας του αέρα είναι αρκετά μεγάλο και κυμαίνεται γύρω στους 18 °C στις εσωτερικές περιοχές και γύρω στους 14 °C στα παράλια.

Τον Ιούλιο και τον Αύγουστο οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 29 °C στο εσωτερικό και 22 °C στις ψηλότερες κορυφές του Τροόδους, ενώ οι μέσες μέγιστες θερμοκρασίες είναι 36 και 27 °C αντίστοιχα.

Τον Ιανουάριο οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες είναι 10 °C στο εσωτερικό και 3 °C στις ψηλότερες κορυφές του Τροόδους, με μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες τους 5 °C και τους 0 °C αντίστοιχα.

Σημαντικοί παράγοντες για αυτή τη θερμοκρασιακή διαφοροποίηση είναι το ανάγλυφο που ελαττώνει τη θερμοκρασία κατά 5 °C περίπου ανά 1,000 μέτρα ύψος και η επίδραση της θάλασσας.

3.3.4 Άνεμοι

Στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου οι άνεμοι που παρατηρούνται είναι κυρίως ελαφροί

ως μέτριοι δυτικοί ή νοτιοδυτικοί το χειμώνα και βόρειοι ή βορειοδυτικοί το καλοκαίρι ενώ Πολύ ισχυροί άνεμοι παρατηρούνται σπανιότερα.

Οι γενικοί αυτοί άνεμοι τροποποιούνται από τους τοπικούς ανέμους. Οι οποίοι είναι κυρίως θαλάσσιες και απόγειες αύρες στις παράλιες περιοχές και αναβατικοί και καταβατικοί άνεμοι στις ορεινές περιοχές.

Οι θαλάσσιες και απόγειες αύρες οι οποίες παρατηρούνται στις παράλιες περιοχές μπορούν να γίνουν αισθητές σε απόσταση μέχρι και 35 περίπου χιλιομέτρων στην ενδοχώρα. Το σύστημα αυτό της κυκλοφορίας του αέρα οφείλεται βασικά στη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της ξηράς και της θάλασσας η οποία δημιουργεί μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης πάνω από την ξηρά και τη θάλασσα.

Αντίστοιχα φαινόμενα παρατηρούνται στις ορεινές περιοχές. Αιτία της δημιουργίας των τοπικών αυτών ανέμων, αναβατικοί άνεμοι (αύρες των κοιλάδων) την ημέρα και καταβατικοί άνεμοι (αύρες των ορέων) τη νύχτα, είναι ο διαφορετικός βαθμός θέρμανσης ή ψύξης των περιοχών που γειτνιάζουν.

Οι θαλάσσιες αύρες στις παράλιες περιοχές και οι αναβατικοί άνεμοι στις ορεινές περιοχές έχουν τη μεγαλύτερή τους ένταση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ οι απόγειες αύρες στις παράλιες περιοχές και οι καταβατικοί άνεμοι στις ορεινές περιοχές έχουν τη μεγαλύτερή τους ένταση κατά τους μήνες του χειμώνα.

Οι άνεμοι στην περιοχή της Κύπρου είναι κυρίως ελαφροί ως μέτριοι όσον αφορά την ταχύτητα. Ισχυροί άνεμοι με ταχύτητα 24 κόμβων και άνω είναι μικρής διάρκειας και παρατηρούνται σε περιπτώσεις μεγάλης κακοκαιρίας. Οι πολύ ισχυροί άνεμοι (ταχύτητα ανέμου 34 κόμβοι και πάνω) είναι σπάνιοι και συμβαίνουν κυρίως στις προσήνεμες περιοχές όταν επηρεάζουν την Κύπρο συστήματα με πολύ χαμηλές πιέσεις.

3.3.5 Σχετική Υγρασία Αέρα

Κατά το χειμώνα στη διάρκεια της μέρας και σ' όλες τις νύχτες του χρόνου η σχετική υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 65% και 95% ενώ κατά τις μεσημβρινές ώρες του καλοκαιριού οι τιμές της σχετικής υγρασίας είναι πολύ χαμηλές και κυμαίνονται γύρω στο 30% μέχρι και 15% στο εσωτερικό του νησιού.

Το υψόμετρο και η απόσταση από την παραλία παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των τιμών της σχετικής υγρασίας του αέρα, οι οποίες είναι σε μεγάλο βαθμό ενδεικτικές των θερμοκρασιακών διαφορών που σημειώνονται από περιοχή σε περιοχή.

Ομίχλη παρατηρείται επίσης σε μερικές περιπτώσεις κυρίως κατά τις πρωινές ώρες ενώ στις ορεινές περιοχές είναι μεγαλύτερης διάρκειας και κατά τη διάρκεια του χειμώνα συχνά νέφη καλύπτουν τις βουνοκορφές.

3.4 Υδάτινοι πόροι

3.4.1 Ποταμοί

Οι περισσότεροι ποταμοί πηγάζουν από την περιοχή του Τροόδους. Η εποχιακή κατανομή της επιφανειακής απορροής τους, ακολουθεί την εποχιακή κατανομή των βροχοπτώσεων, με ελάχιστες τιμές κατά τους θερινούς μήνες και μέγιστες τιμές κατά τους χειμερινούς μήνες.

Μόνο τμήματα κάποιων ποταμών τα οποία βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή του Τροόδους έχουν συνεχή ροή (οι ποταμοί Ξερός, Διαρίζος, Καργώτης Μαραθάσας, Κούρης και Γερμασόγειας) ενώ οι περισσότεροι ποταμοί ρέουν για 3 με 4 μήνες και στερεύουν για το υπόλοιπο έτος.

3.4.2 Λίμνες

Ως αποτέλεσμα του ξηρού κλίματος, υπάρχουν μόνο 5 φυσικές λίμνες οι οποίες είναι υφάλμυρες ή αλμυρές. Τα υπόλοιπα υδατικά συστήματα είναι τεχνητοί ταμιευτήρες και αποθηκευτικές δεξαμενές κατασκευασμένες με σκοπό την παροχή πόσιμου νερού και νερού για άρδευση.

Η ποσότητα του νερού που υπάρχει στις λίμνες και τις δεξαμενές προέρχεται κυρίως από την εισροή νερού από τα ποτάμια και τους χείμαρρους κατά την περίοδο του χειμώνα ενώ η στάθμη του νερού είναι μεταβαλλόμενη καθώς εξαρτάται τόσο από τη βροχόπτωση όσο και από τη χρήση. Συχνό είναι δε το φαινόμενο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι λίμνες να ξηραίνονται.

3.4.3 Φράγματα

Η Κύπρος έχει συνολικά 108 φράγματα συνολικής χωρητικότητας 331.951.000 m³. Τα πέντε μεγαλύτερα φράγματα είναι αυτά του "Κούρρη" στη Λεμεσό (115 εκατομ. κυβ. μέτρα), του "Ασπρόκρεμμου" στην Πάφο, της "Ευρέτου" στην Πάφο, της "Κανναβιού" στην Πάφο και της "Καλαβασσού" στη Λάρνακα.

Η μέση ποσότητα εισροών στα φράγματα κατά την περίοδο 1971-2000 ήταν μειωμένη κατά 40% σε σχέση με τις αρχικές εκτιμήσεις σχεδιασμού της περιόδου 1917-1970 ενώ συγκριτικά η μέση μείωση της βροχόπτωσης ήταν περίπου 13% (Rossel, 2002). Η αντίστοιχη μεταβολή στην εισροή νερού στα φράγματα κατά την περίοδο 2021-2050 σε σύγκριση με την περίοδο 1970-2000 αναμένεται να είναι μειωμένη κατά 23%, ενώ η μέση μεταβολή των βροχοπτώσεων υπολογίζεται να είναι σύμφωνα με τα κλιματικά μοντέλα μειωμένη κατά 5%.

3.5.4 Υπόγεια υδατικά σώματα

Συνολικά υπάρχουν 66 υδροφορείς στην Κύπρο, οι οποίοι ομαδοποιούνται σε 22 συστήματα υπόγειων υδάτων, με βάση τη λιθολογία, τα υδραυλικά χαρακτηριστικά, τις πιέσεις και τη χρήση του κάθε υδροφορέα. Οι περισσότεροι υδροφορείς του νησιού είναι φρεάτιοι και είναι ανεπτυγμένοι σε ποτάμιες ή παράκτιες αλλουβιακές αποθέσεις και ανατροφοδοτούνται κυρίως από τις παροχές ποταμών και τις βροχοπτώσεις.

4.3 Υδρολογικές Περιοχές

Υδρογραφικά, το νησί της Κύπρου υποδιαιρείται σε 9 υδρολογικές περιοχές αποτελούμενες από 70 λεκάνες απορροής ποταμών και 387 υπολεκάνες. Η περιοχή υπό τον έλεγχο της Κυπριακής Δημοκρατίας περιλαμβάνει 47 λεκάνες απορροής ποταμών. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι τα περισσότερα ποτάμια παρουσιάζουν μη μόνιμη ροή και λόγω του μεγέθους τους, θα χαρακτηρίζονταν ως χείμαρροι σε χώρες με μεγαλύτερη επιφάνεια και μεγαλύτερες λεκάνες απορροής.



Χάρτης 0.2: Υδρολογικές περιοχές Κύπρου(πηγή: ΤΑΥ 2015)

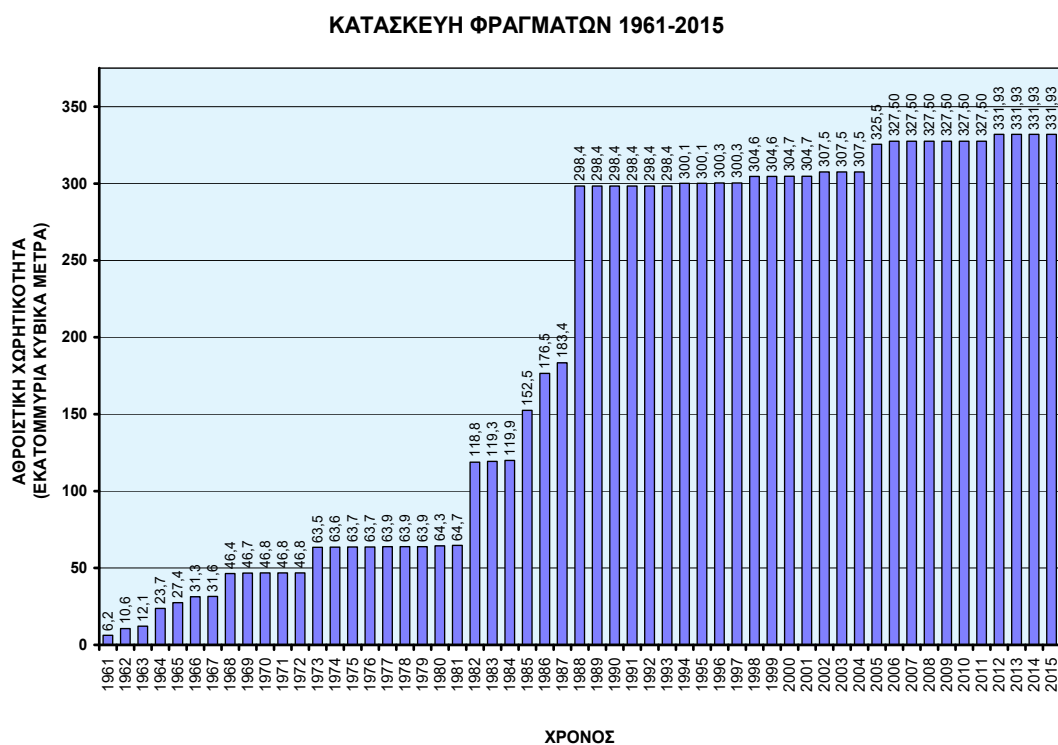
4.4 Η κατάσταση των υδάτινων πόρων στην Κύπρο

Οι υδάτινοι πόροι της Κύπρου είναι περιορισμένοι λόγω του ημι-ξηρού κλίματος που επικρατεί στο νησί ενώ η διαθεσιμότητα του νερού εξαρτάται σχεδόν εξ ολοκλήρου από τις βροχοπτώσεις οι οποίες είναι σε μεγάλο βαθμό μεταβλητές, με συχνές παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας. Ως αποτέλεσμα, η ζήτηση νερού υπερβαίνει σε πολλές περιπτώσεις τη διαθέσιμη ποσότητα νερού.

Μέχρι το 1970, τα υπόγεια ύδατα αποτελούσαν την κύρια πηγή τόσο για την άρδευση όσο και για την ύδρευση της Κύπρου, με αποτέλεσμα τα υδροφόρα στρώματα σε πολλές περιοχές του νησιού να αρχίσουν να εξαντλούνται ή και να υποβαθμίζονται ποιοτικά λόγω της υπαλμύρισης τους από την εισροή θαλάσσιου νερού. Παράλληλα οι ποσότητες των όμβριων υδάτων λόγω της ανεπάρκειας των υδατικών υποδομών κατέληγαν ανεκμετάλλευτες στη θάλασσα.

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1960, δόθηκε έμφαση στην ανάπτυξη μια σειράς εμπλουτιστικών και αποθηκευτικών υδατικών έργων με κύριο πυλώνα αυτής της προσπάθειας την κατασκευή ενός μεγάλου αριθμού φραγμάτων. Από τα μέσα της δεκαετίας

του 1980 η χωρητικότητα των φραγμάτων αυξήθηκε σημαντικά ενώ σήμερα ανέρχεται στα 331,13 εκατ. m³ νερού περίπου, σε σύγκριση με τα 6,2 εκατ. m³ νερού που ήταν το 1961.

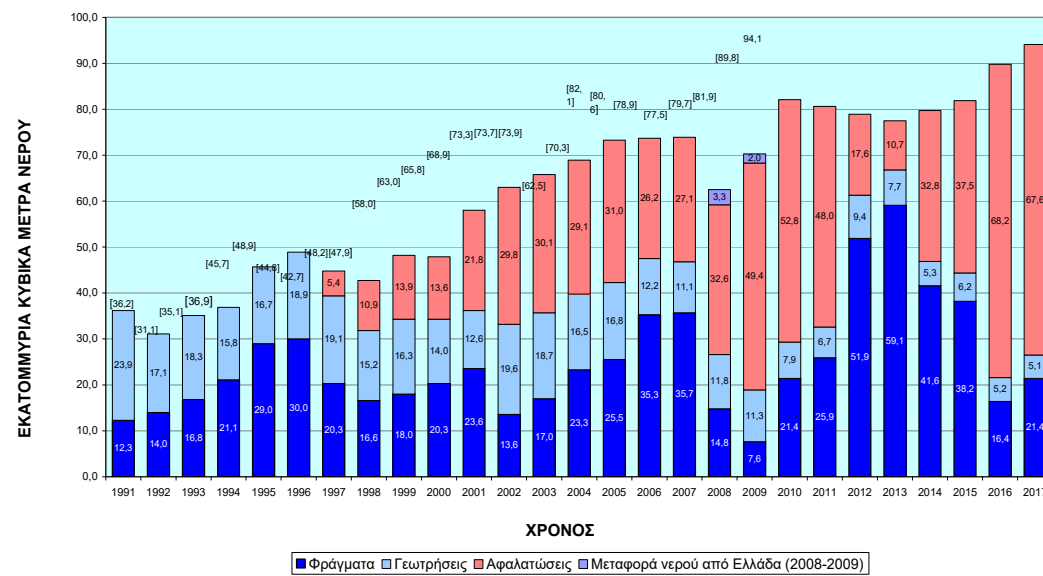


Διάγραμμα 0.2: Συνολική Χωρητικότητα Φραγμάτων 1961-2015 (πηγή:ΤΑΥ,2018)

Παρά το έργο που επιτελέστηκε στον τομέα της υδατικής ανάπτυξης, λόγω της αυξανόμενης ζήτησης νερού αλλά και της πτωτικής τάσης της βροχόπτωσης, εξαιτίας των κλιματικών αλλαγών, οι διαθέσιμες ποσότητες νερού για ύδρευση και άρδευση δεν ήταν αρκετές, με αποτέλεσμα να εφαρμόζονται περιορισμοί στην παροχή νερού με δυσμενείς επιπτώσεις για τον γεωργικό τομέα και γενικά για την οικονομία του τόπου.

Για την αντιμετώπιση της κατάστασης, δημιουργήθηκαν μονάδες αφαλάτωσης με σκοπό την απεξάρτηση από τη βροχόπτωση και την απρόσκοπτη παροχή πόσιμου νερού στα μεγάλα αστικά κέντρα. Παράλληλα αξιοποιήθηκαν και άλλες πηγές νερού, όπως το ανακυκλωμένο νερό που προέρχεται από την επεξεργασία των λυμάτων των αποχετευτικών συστημάτων, η χρήση του οποίου αποδέσμευσε σημαντικές ποσότητες νερού για σκοπούς άρδευσης των γεωργικών καλλιεργειών και για τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων. Παρόλ'αυτά, αν και η διαθεσιμότητα νερού αυξήθηκε ικανοποιητικά τα τελευταία χρόνια, εντούτοις η πίεση στους υδάτινους πόρους παραμένει σημαντική.

**ΚΥΒΕΡΝΗΤΙΚΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΕΡΓΑ - ΠΗΓΕΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ
(1991 - 2017)**

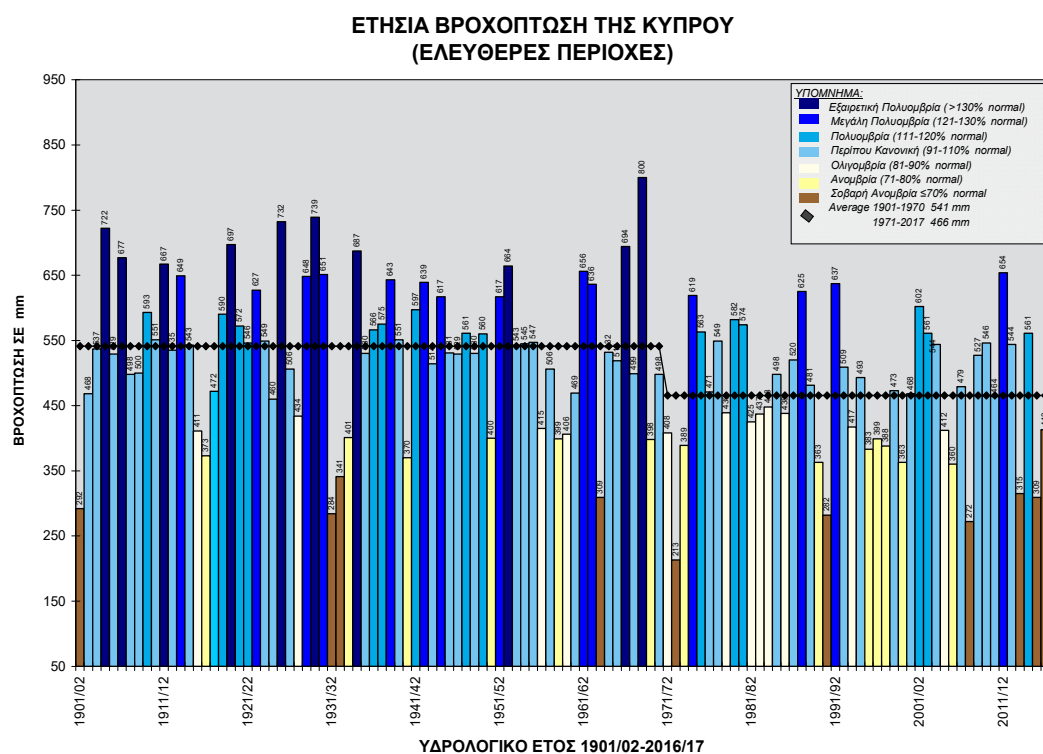


Διάγραμμα 0.3: Κυβερνητικά Υδατικά έργα - Πηγές Ύδρευσης 1991-2017 (πηγή: ΤΑΥ, 2018)

Η κυριότερη πηγή νερού στην Κύπρο είναι οι βροχοπτώσεις. Η μέση ποσότητα νερού των βροχοπτώσεων στην έκταση του εδάφους που ελέγχεται από την Κυπριακή Δημοκρατία υπολογίζεται ότι ήταν για την περίοδο 2000-2010 περίπου 2.783 εκατ. m³. Επισημαίνεται όμως ότι η πραγματική εισροή αντιστοιχεί μόνο στο 10% των κατακρημνίσεων καθώς περίπου το 90% της βροχόπτωσης χάνεται λόγω της εξατμισοδιαπνοής στην ατμόσφαιρα και περίπου το 0.02% ως απορροή στη θάλασσα.

Για την περίοδο 1961-1990 η μέση ετήσια βροχόπτωση, περιλαμβανόμενης και της χιονόπτωσης, κυμάνθηκε στα 503 mm ενώ από το 2000 μέχρι σήμερα έχει μειωθεί στα 463 mm. Από τη στατιστική ανάλυση προκύπτει ότι την τελευταία 30 ετία υπάρχει μια μείωση των ποσοστών των βροχοπτώσεων σε σχέση με τις προηγούμενες δεκαετίες.

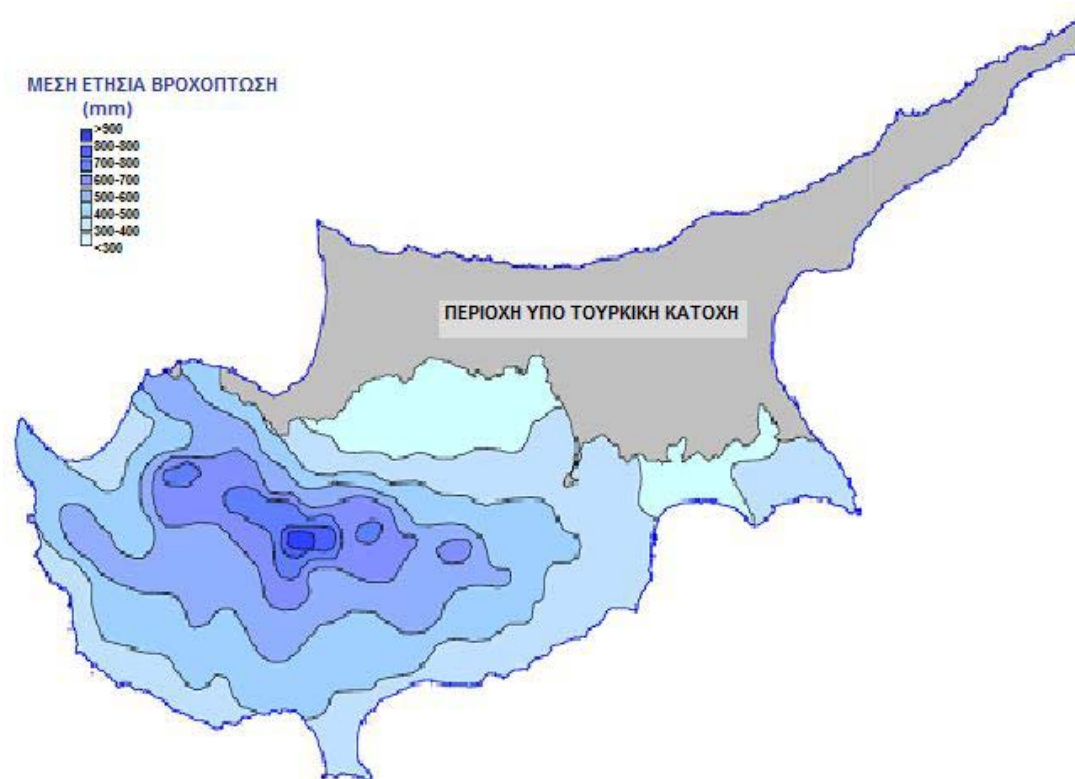
Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση των υδρολογικών ετών της Μετεωρολογικής Υπηρεσίας με βάση την κανονική βροχόπτωση της περιόδου 1961-90 (503mm), το 29% των ετών κατά την περίοδο 1901-2010 χαρακτηρίζεται ως «σοβαρή ξηρασία» (6%), «ξηρασία» (12%) και «κάτω από κανονικές συνθήκες» (11%) (Τμήμα Μετεωρολογίας, 2018).



Διάγραμμα 0.4: Ετήσια Βροχόπτωση της Κύπρου (ελεύθερες περιοχές) (πηγή: ΤΑΥ, 2018)

Σημαντικό ρόλο στην χωρική κατανομή της βροχόπτωσης παρουσιάζει η επίδραση του ανάγλυφου της ξηράς καθώς η μέση ετήσια βροχόπτωση που παρατηρείται στις νοτιοδυτικές προσήνεμες περιοχές της οροσειράς του Τροόδους αυξάνεται από τα 450 περίπου mm στους πρόποδες, στα 1,100 mm στην κορυφή του Τροόδους, τον Όλυμπο, ενώ στις υπήνεμες πλαγιές η βροχόπτωση ελαττώνεται σταθερά σε τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 300 και 350 mm στην κεντρική πεδιάδα και στις πεδινές νοτιοανατολικές περιοχές.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η χρήση των υπόγειων υδάτων για την κάλυψη των αναγκών τόσο σε ύδρευση όσο και άρδευση είναι πολύ σημαντική. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι για την ικανοποίηση της ζήτησης νερού κατά την περίοδο 2000 - 2010 (μέσες τιμές) χρησιμοποιήθηκε κατά μέσο όρο 58% νερό προερχόμενο από γεωτρήσεις.



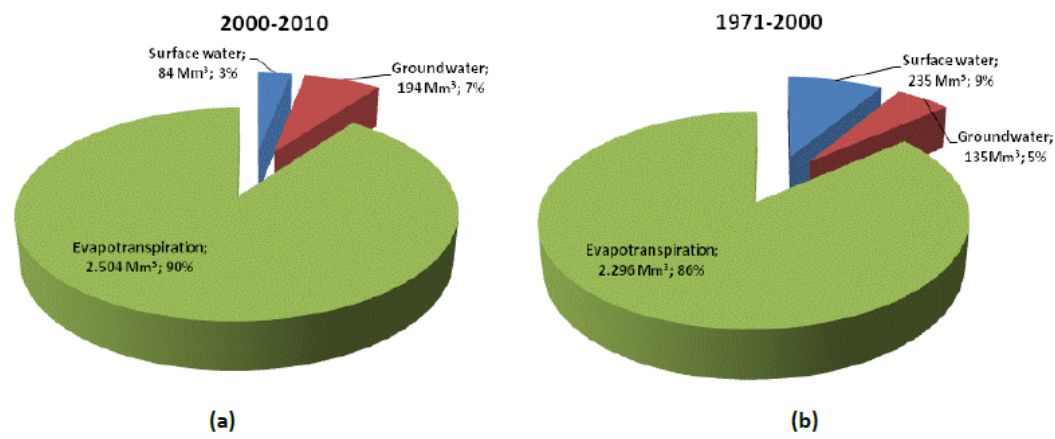
Χάρτης 0.3: Γεωγραφική κατανομή Μέσης Βροχόπτωσης 1990-2000 (πηγή: Τμήμα Μετεωρολογίας, 2017)

Οι υπόγειοι υδάτινοι πόροι της Κύπρου υπεραντλούνταν σε μεγάλο βαθμό, περίπου κατά 40% πέραν της επιτρεπόμενης άντλησης τους. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την εξάντληση των αποθεμάτων με ραγδαίο ρυθμό ενώ συνεχής ήταν και η επέκταση των περιοχών των υδροφορέων που γειτνιάζουν με την θάλασσα, οι οποίοι υποβαθμίστηκαν ποιοτικά από τη διείσδυση του θαλάσσιου νερού με πολύ σοβαρές επιπτώσεις για την ύδρευση και τη γεωργία.

Με βάση τα στοιχεία της περιόδου 2000-2010, εκτιμάται ότι ο φυσικός εμπλουτισμός των υπόγειων υδατικών σωμάτων ανήλθε σε 194 εκατ. m³ ετησίως ενώ παράλληλα τις τελευταίες κυρίως δεκαετίες τα σώματα των υπόγειων υδάτων εμπλουτίστηκαν με νερό από τα φράγματα και από ανακυκλωμένο νερό.

Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας είναι η ικανότητα εμπλουτισμού των υπόγειων υδάτων από τις κατακρημνίσεις και ιδιαίτερα η σχέση που παρουσιάζεται μεταξύ της βροχόπτωσης και του εμπλουτισμού τους. Η μέση ετήσια καθαρή βροχόπτωση κατανέμεται μεταξύ των επιφανειακών και των υπόγειων υδροφορέων σε αναλογία περίπου 1:2 ενώ συγκριτικά για την περίοδο 1971 - 2000, η αντίστοιχη κατανομή των επιφανειακών υδάτων ήταν περίπου 1,7

φορές υψηλότερη σε σχέση με την αντίστοιχη των υπόγειων υδάτων γεγονός που μειώνει την ικανότητα ταχύτερης ανάκαμψης των υπόγειων υδροφορέων.



Διάγραμμα 0.5: Σχέση εξατμισοδιαπνοής και ροών επιφανειακών και υπόγειων υδάτων για τις περιόδους 2000-2010 και 1971-2000(πηγή: ΤΑΥ, 2017)

3.5 Υδατικό ισοζύγιο και ζήτηση υδάτων

Για την περίοδο 2000-2010 η μέση συνολική ζήτηση νερού ανήλθε στα 250 εκατ. m³. ενώ οι αντίστοιχοι διαθέσιμοι πόροι ήταν μόνο 217 εκατ. m³. Ως αποτέλεσμα η διαφορά των 42 εκατ. m³ καλύφθηκε από τη χρήση αφαλατωμένου και ανακυκλωμένου νερού).

Για το έτος 2016, οι διαθέσιμοι φυσικοί υδάτινοι πόροι της Κύπρου ανήλθαν σε 198 εκατ. m³ ενώ περίπου 69 εκατ. m³ προήλθαν από την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού και 19 εκατ. m³ από τα επεξεργασμένα οικιακά απόβλητα.

Για την περίοδο 2000-2010 η συνολική μέση ζήτηση νερού ήταν 250 εκατ. m³. Ωστόσο, οι διαθέσιμοι επιφανειακοί πόροι και οι ποσότητες από την άντληση υπογείων υδάτων (217 εκατ. m³) μπορούσαν να ικανοποιήσουν μόνο το 87% της συνολικής ζήτησης. Αυτή η διαφορά καλύφθηκε από την αφαλάτωση και την ανακύκλωση νερού (Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων) ενώ χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι στις αρχές του 2008, τα αποθέματα νερού στα φράγματα σχεδόν εξαντλήθηκαν και για την κάλυψη των αναγκών σε πόσιμο νερό έγινε εισαγωγή με δεξαμενόπλοια από την Ελλάδα και πραγματοποιήθηκαν περικοπές στην παροχή νερού για γεωργικούς σκοπούς με αποτέλεσμα τη δραματική μείωση των αποδόσεων των καλλιεργειών.

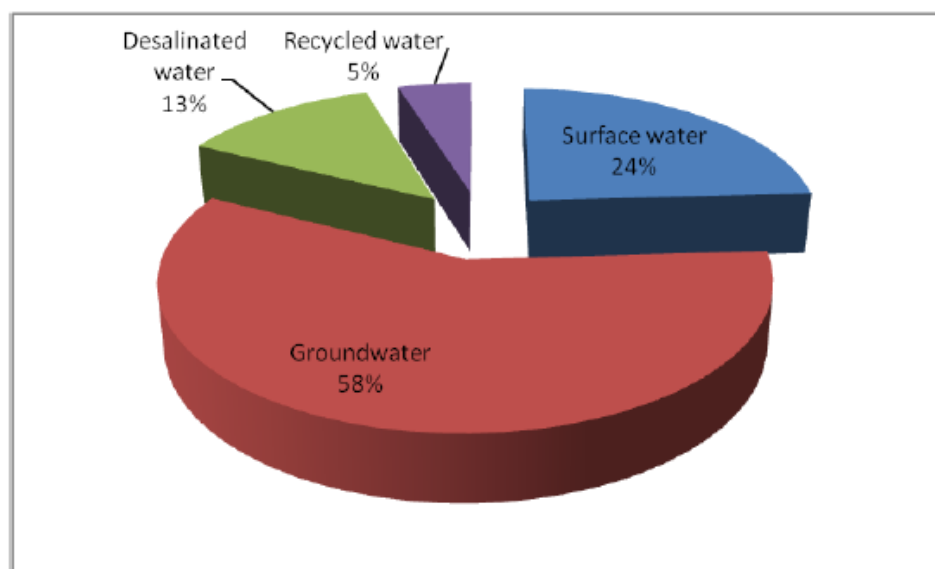
Πίνακας 0.2: Ετήσιο Υδατικό Ισοζύγιο για τα έτη 2010-2016 (πηγή ΤΑΥ, 2018)

| Έτος | Ζήτηση νερού (MCM) | Διαθέσιμη ποσότητα Νερού από Συμβατικές πηγές | | | | Ενίσχυση του Υδατικού ισοζυγίου από Μη Συμβατικές πηγές | | Ολική διαθέσιμη ποσότητα νερού (MCM) | Ισοζύγιο Νερού (MCM) | Ποσότητα νερού που διατέθηκε για ύδρευση (MCM) |
|------|--------------------|---|--------------------|---|-------------------------|---|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|--|
| | | Βροχόπτωση (mm) | Όγκος βροχής (MCM) | Διαθέσιμη ποσότητα νερού από βροχόπτωση (MCM) | Ισολογισμός Νερού (MCM) | Ποσότητα αφάλατομένου νερού (MCM) | Ποσότητα ανακυκλωμένου νερού (MCM) | | | |
| 2010 | 257 | 429 | 2570 | 197 | -60 | 53 | 12 | 262 | 5 | 82 |
| 2011 | 258 | 558 | 3348 | 265 | 7 | 49 | 14 | 328 | 70 | 81 |
| 2012 | 259 | 790 | 4737 | 404 | 145 | 18 | 17 | 438 | 179 | 80 |
| 2013 | 260 | 295 | 1770 | 117 | -143 | 11 | 17 | 145 | -115 | 78 |
| 2014 | 261 | 393 | 2358 | 173 | -88 | 33 | 17 | 222 | -39 | 80 |
| 2015 | 262 | 484 | 2904 | 228 | -34 | 38 | 17 | 284 | 23 | 82 |
| 2016 | 263 | 430 | 2580 | 198 | -65 | 69 | 19 | 285 | 22 | 90 |

Για το 2016 η συνολική ετήσια κατανάλωση νερού ανήλθε σε 263 εκατ. m³. Οι δύο μεγαλύτεροι καταναλωτές νερού είναι ο γεωργικός τομέας (άρδευση) και ο εγχώριος τομέας, με κατανάλωση 60% και 30% αντίστοιχα. Το ποσό της ζήτησης νερού για άρδευση καλύπτεται από περίπου 70% νερό από κυβερνητικά έργα ύδρευσης και 30% νερό από ιδιωτικές γεωτρήσεις (νόμιμες και παράνομες). Σημειώνεται ότι ο εγχώριος τομέας περιλαμβάνει την κατανάλωση νερού για τον μόνιμο πληθυσμό (26%) καθώς και για τουριστικούς σκοπούς (4%) (ΤΑΥ, 2018).

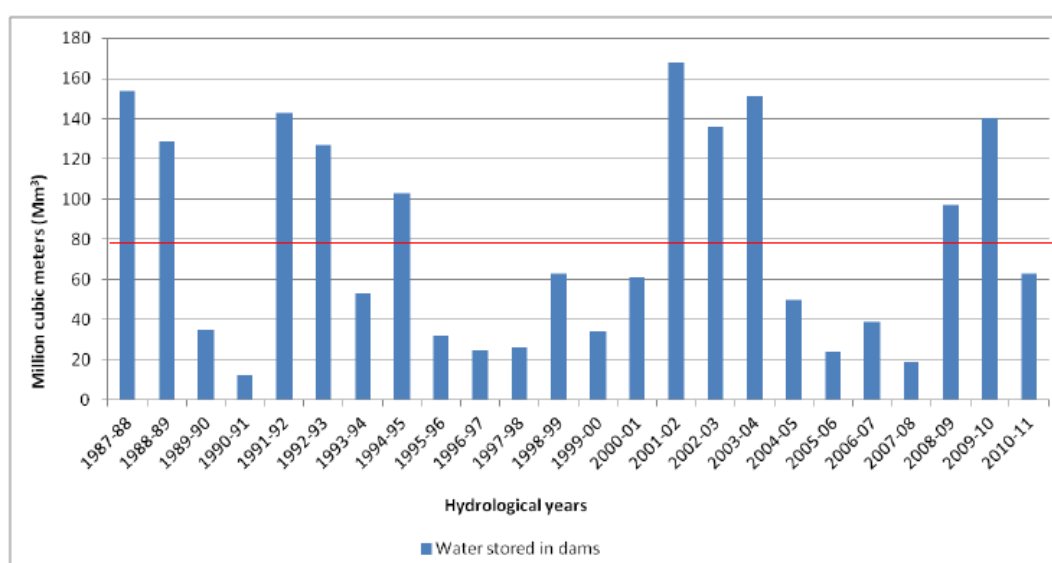
Οι υδάτινοι πόροι της Κύπρου χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερα ευάλωτοι στις κλιματικές αλλαγές, καθώς η διαθεσιμότητα του νερού συνδέεται άμεσα από τις μεταβολές της βροχόπτωσης και της εξατμισοδιαπνοής.

Το γεγονός αυτό αποτυπώνεται και στα στοιχεία του Τμήματος Ανάπτυξης Υδάτων καθώς η μέση ποσότητα εισροής νερού στα φράγματα κατά την περίοδο 1971-2000 μειώθηκε κατά 40% σε σύγκριση με τις εκτιμήσεις σχεδιασμού της περιόδου 1917-1970 ενώ η αντίστοιχη μέση μείωση της βροχόπτωσης για την ίδια περίοδο ήταν της τάξης του 13% καταδεικνύοντας την σχέση σε τυχόν σημαντικές μεταβολές της βροχόπτωσης (Rossel, 2002).



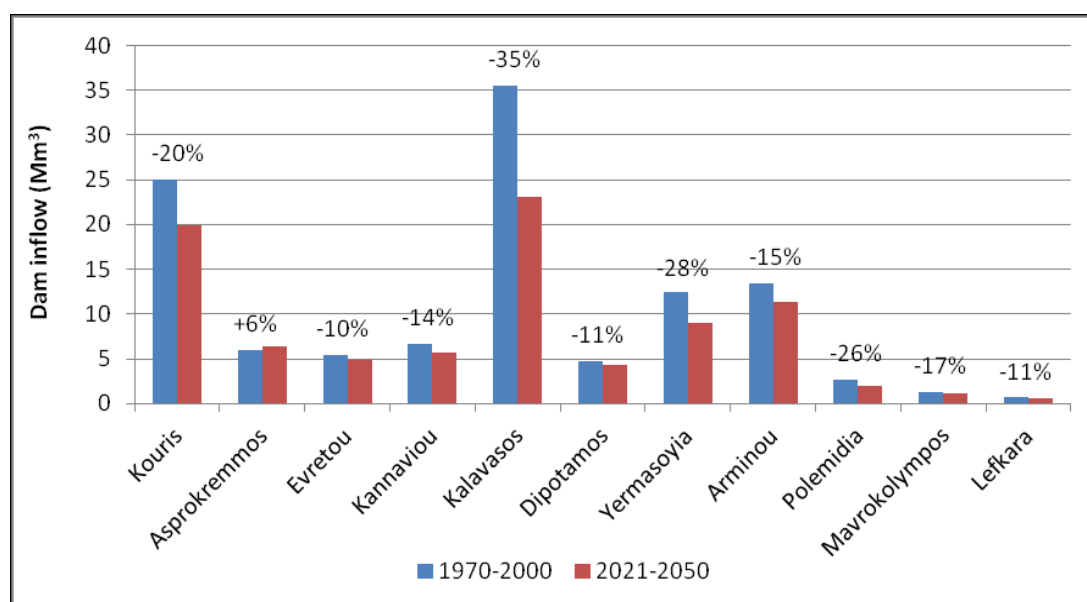
Διάγραμμα 0.6: Κατανομή πόρων για την ικανοποίηση της ζήτησης νερού κατά την περίοδο 2000-2010 (μέσες τιμές)

Χαρακτηριστικό είναι ότι κατά την περίοδο 1987/88- 2010/11 (μέση εισροή φράγματος: 78,5 εκατ. m³/έτος, τυπική απόκλιση: 52,1 εκατ.m³/έτος) παρατηρήθηκε μεγάλη μεταβλητότητα στις εισροές των φραγμάτων (Σχήμα) ενώ ο Ισολογισμός Νερού (Διαθέσιμη ποσότητα νερού από βροχόπτωση - συνολική ζήτηση νερού) για την ίδια περίοδο ήταν αρνητικός.



Διάγραμμα 0.7: Μεταβλητότητα στις εισροές των φραγμάτων κατά την υδρολογική περίοδο 1987/88 - 2010/11 (πηγή: ΤΑΥ, 2017)

Αναφορικά με τις μελλοντικές προβλέψεις, εκτιμάται ότι η μεταβολή στην εισροή νερού στα φράγματα κατά την περίοδο 2021-2050 (σύμφωνα με εκτιμήσεις του κλιματικού μοντέλου PRECIS) θα είναι μειωμένη κατά 23%, σε σύγκριση με την περίοδο 1970-2000 ενώ η μέση μεταβολή των βροχοπτώσεων για την ίδια περίοδο υπολογίζεται ότι θα μειωθεί κατά αντιστοιχία μόνο κατά 5%.



Διάγραμμα 0.8: Μεταβολή των εισροών στα κυριότερα φράγματα της Κύπρου για την περίοδο 1970-2050 (2021-2050 προβολή) (πηγή :ΤΑΥ, 2017)

Η μέση ζήτηση νερού για την περίοδο 2021-2050, εκτιμάται επίσης ότι θα κυμανθεί στα 311 εκατ. m³, ενώ η παροχή νερού από επιφανειακούς πόρους θα ικανοποιεί μόνο το 60% της εκτιμώμενης μελλοντικής συνολικής ζήτησης. Ωστόσο, οι υπάρχουσες και οι σχεδιαζόμενες υποδομές αναμένεται ότι θα ικανοποιήσουν πλήρως τη μελλοντική ζήτηση νερού, με ένα μικρό πλεόνασμα, με την προσθήκη στο υδατικό ισοζύγιο μεγαλύτερων ποσοτήτων αφαλατωμένου και ανακυκλωμένου νερού (περίπου 157 εκατ. m³).

3.6 Χλωρίδα

Σε σχέση με την έκταση της η Κύπρος έχει μια ιδιαίτερα πλούσια χλωρίδα. Αυτό είναι το αποτέλεσμα ενός συνδυασμού οικολογικών παραγόντων οι οποίοι σχετίζονται κυρίως με την ποικιλότητα στη γεωλογία, την τοπογραφία, το υψόμετρο, το μικροκλίμα καθώς επίσης και με το νησιωτικό χαρακτήρα της.

Μέχρι σήμερα, στην Κύπρο, έχουν καταγραφεί 1908 διαφορετικά είδη, υποείδη, ποικιλίες, μορφές και υβρίδια φυτών. Ο αριθμός αυτός περιλαμβάνει όλα τα ιθαγενή και επιγενή φυτά (ξενικά φυτά που αυτοφύονται), χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τα καλλιεργούμενα φυτά.

Σημαντικό χαρακτηριστικό της κυπριακής χλωρίδας είναι ότι έχει ένα ιδιαίτερα ψηλό ποσοστό ενδημικών φυτών που φτάνουν τα 140 ή ποσοστό 7,34% του συνόλου των ιθαγενών φυτών καθώς ως νησιωτική χώρα είναι αρκετά απομονωμένη για να επιτρέψει την εξέλιξη ενός ισχυρού ενδημικού φυτικού στοιχείου. Παράλληλα όμως επειδή περιβάλλεται από μεγάλες ηπείρους, ενσωματώνει βοτανολογικά στοιχεία των γειτονικών της εδαφικών μαζών με αποτέλεσμα σημαντικό μέρος της χλωρίδας να περιλαμβάνει φυτά χαρακτηριστικά της Ανατολικής Μεσογείου ενώ αρκετά από αυτά ανήκουν στην κατηγορία των φυτών που ονομάζεται ημιενδημικά φυτά (near endemics) και απατούνται μόνο σε 2-3 χώρες.

Η οικιστική ανάπτυξη, η εκχέρσωση, οι πυρκαγιές, η αλλαγή των υδρολογικών συνθηκών και οι κλιματικές αλλαγές έχουν διαδραματίσει καταλυτικό ρόλο στη χλωρίδα της Κύπρου με αποτέλεσμα 300 φυτά ή ποσοστό 15,7 % να έχουν χαρακτηριστεί ως απειλούμενα και μερικά εξ αυτών να θεωρούνται ως εξαφανισμένα (extinct in the wild).

Η δασική βλάστηση στην Κύπρο περιλαμβανομένων των ψηλών δασών, των θάμνων και των φρυγάνων, καταλαμβάνει ένα σημαντικό ποσοστό της έκτασης του νησιού της τάξης του 42,3%. Τα ψηλά δάση αποτελούν το 43,8% της δασικής βλάστησης ή το 18,5 % της έκτασης της Κύπρου ενώ το υπόλοιπο ποσοστά είναι ψηλοί και χαμηλοί θαμώνες και φρύγανα.

Οι κύριοι δασικοί τύποι βλάστησης που υπάρχουν στην Κύπρο κατατάσσονται με βάση τα είδη και τη δομή τους στις πιο κάτω γενικές κατηγορίες (Τμήμα Δασών, 2007)

- Πευκοδάση,
- Παραποτάμια δάση,
- Δάση αείφυλλων – σκληρόφυλλων

- Χαμηλά δάση αειφύλλων – σκληρόφυλλων και φρύγανα
- Άλλα ψηλά δάση

Πευκοδάση

Ο κυρίαρχος τύπος δασικής βλάστησης είναι τα δάση της τραχείας Πεύκης (*Pinus brutia*). Καλύπτουν ένα σημαντικό τμήμα του νησιού, περί στο 18,2% και εκτείνονται από τα παράλια μέχρι και σε υψόμετρο 1200m ενώ σε μερικές περιπτώσεις βρίσκονται μέχρι τα 1400m. Το είδος αυτό παρουσιάζει μια εκπληκτική αντοχή στην ξηρασία και μπορεί να επιβιώσει σε όλα σχεδόν τα είδη πετρωμάτων ενώ παράλληλα έχει προσαρμοστεί να εποικίζει πρόσφατα καμένες περιοχές στις οποίες παρατηρείται σχετικά ικανοποιητική ετήσια βροχόπτωση (άνω των 400mm).

Στα χαμηλότερα υψόμετρα συνοδεύεται από πολλά άλλα ξηράντοχα είδη όπως είναι ο αόρατος, η αγριελιά, η χαρουπιά, η σχοινιά κτλ. ενώ στις πιο ψηλές περιοχές συνοδεύεται από τη λατζιά, την αγριοτρεμιθιά και την αντρουκλιά.

Το δεύτερο ιθαγενές είδος πεύκου στην Κύπρο η μαύρη Πεύκη (*Pinus nigra*) απαντάται σε μια περιορισμένη περιοχή στις υψηλότερες περιοχές του δάσους του Τροόδου, περί των 1200-1951 m. Στη χαμηλότερη υψομετρικά ζώνη, η μαύρη Πεύκη απαντάται σε μίξη με την τραχεία Πεύκη, η οποία όμως αρχίζει να υποχωρεί σταδιακά καθώς αυξάνεται το υψόμετρο, όπου η μαύρη Πεύκη σχηματίζει αμιγή ή μαζί με άλλα κρυάντοχα είδη όπως τον αόρατο, δάση.

Παραποτάμια Δάση

Τα δάση αυτά εμφανίζονται στις κοίτες μεγάλων χειμάρρων με ήπια κλίση, σε υψόμετρα κυρίως 300-1600m αν και σε μερικές περιοχές κατεβαίνουν αρκετά πιο χαμηλά, σχεδόν μέχρι την παραλία. Έχουν μια τελείως διαφορετική δομή, σύνθεση και πυκνότητα. Τα κύρια είδη φυτών που τα συνθέτουν είναι ο πλάτανος, η πικροδάφνη, ο κισσός, η μυρτιά και η δάφνη.

Θαμώνες Αειφύλλων.

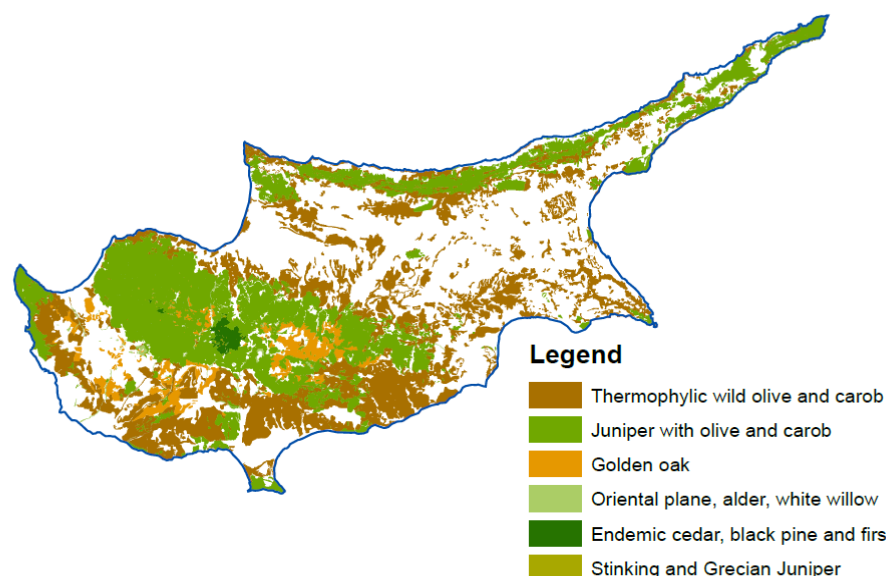
Στους Θαμώνες Αειφύλλων περιλαμβάνονται τύποι βλάστησης που συντίθενται κυρίως από αειθαλείς θάμνους αλλά και ένα μικρό ποσοστό μικρών δέντρων με μέσο ύψος 2-3 m. Κοντά

στις παράλιες περιοχές οι τυπικοί θαμώνες περιλαμβάνουν ξηρόφιλα, σκληρόφυλλα, αειθαλή και συχνά ακανθοφόρα είδη θάμνων με πιο χαρακτηριστικά φυτά τον αόρατο, την αγριελιά, την αγριοχαρουπιά και την σχοινιά ενώ οι θαμώνες της ενδοχώρας επεκτείνονται μέχρι τα 1500m και περιλαμβάνουν την ενδημική λατζιά που σχηματίζει εκτεταμένους θαμώνες στην υψομετρική ζώνη 600-1500m.

Χαμηλοί θαμώνες και φρύγανα.

Οι χαμηλοί θαμώνες έχουν γενικά χαμηλότερο ύψος το οποίο δεν υπερβαίνει συνήθως το 1 μέτρο και περιλαμβάνουν μεγαλύτερο ποσοστό ημιθάμνων και χαμηλών θάμνων. Στα φρύγανα το στοιχείο των θάμνων ελαχιστοποιείται και κυριαρχούν οι ημιθάμνοι και οι πόες.

Οι χαμηλοί θαμώνες συνήθως καταλαμβάνουν περιοχές οι οποίες έχουν καεί πρόσφατα ή περιοχές στις οποίες η βλάστηση καίγεται περιοδικά ενώ ταυτόχρονα υπάρχει υπέρ βόσκηση και είναι επομένως υποβαθμισμένες λόγω της συνεχούς ανθρώπινης επίδρασης. Οι φυτοκοινωνίες αυτές υπάρχουν για αιώνες και αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του παραδοσιακού κυπριακού τοπίου με εξέχουσα σημασία ως ενδιαιτήματα σπάνιων και ενδημικών ειδών της πανίδας και της χλωρίδας.



Χάρτης 0.4: Γεωγραφική κατανομή της βλάστησης ανά είδος

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον από πλευράς χλωρίδας παρουσιάζουν επίσης και οι καλλιέργειες

Οι καλλιέργειες της Κύπρου διακρίνονται σε αρδευόμενες και σε ξηρικές. Το σημαντικότερο ποσοστό της καλλιεργήσιμης γης στην Κύπρο καλύπτεται από ξηρικές καλλιέργειες δημητριακών, κυρίως σιταριού και κριθαριού ενώ στις ορεινές και στις ημιορεινές περιοχές

της Κύπρου, σε μέσα υψόμετρα, συναντώνται και ξηρικές δενδρώδεις καλλιέργειες κυρίως ελιάς και χαρουπιάς. Η ξηρική καλλιέργεια της ελιάς γίνεται σε περιοχές όπου η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι πάνω από 450 mm, ενώ σε περιοχές με χαμηλότερη βροχόπτωση είναι απαραίτητη η άρδευση.

Οι συνηθέστερες αρδευόμενες δενδρώδεις καλλιέργειες στις πεδινές περιοχές είναι οι καλλιέργειες των εσπεριδοειδών, ενώ στις ημιορεινές και στις ορεινές περιοχές οι καλλιέργειες των φυλλοβόλων οπωροφόρων δένδρων.

Στις πεδινές εκτάσεις των νοτιοανατολικών περιοχών (Κοκκινοχώρια) συνηθέστερη είναι η πατατοκαλλιέργεια ενώ η καλλιέργεια των λαχανικών γίνεται, σε μικρή έκταση σε όλη την Κύπρο, κυρίως σε περιοχές που καλύπτονται από τα δίκτυα άρδευσης των υδατοφρακτών της Κύπρου.

Η συνολική γεωργική γη έχει μειωθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες. Σύμφωνα με τη Στατιστική Υπηρεσία (2017) υπολογίζεται ότι από τα 200.500 εκτάρια το 1995 έχει μειωθεί στα 140.100 εκτάρια το 2015 (Cystat, 2017) ενώ περίπου το 18% της γεωργικής γης αρδεύεται (Cystat, 2017).

3.7 Γεωλογία

Η Κύπρος Γεωλογικά χωρίζεται σε τέσσερις ζώνες: (i) την Ακολουθία Κερύνειας (ii) τον Οφιόλιθο Τροόδους (iii) το Σύμπλεγμα Μαμωνιών και (iv) την Ιζηματογενή Ακολουθία Τροόδους.

Ο Οφιόλιθος Τροόδους δεσπόζει στο κεντρικό τμήμα του νησιού και αποτελεί το γεωλογικό πυρήνα της Κύπρου. Εμφανίζεται βασικά σε δύο περιοχές στην κύρια μάζα της οροσειράς Τροόδους και στην περιοχή του Δάσους Λεμεσού και Ακαπνούς στα νότια της οροσειράς με χαρακτηριστικό επίμηκες και θολωτό σχήμα.

Μικρότερες εμφανίσεις του υπάρχουν επίσης στην χερσόνησο του Ακάμα και στην περιοχή του χωριού Τρούλλοι. Πρόκειται για τμήμα του ωκεάνιου φλοιού, πλήρως αναπτυγμένου με σειρά από πλουτώνια, φλεβικά, ηφαιστειακά πετρώματα και χημικά ιζήματα γεγονός που συνιστά και τη μοναδικότητά του.

Η στρωματογραφική σειρά του Οφιολίθου Τροόδους αποτελείται, από τα εξής πετρώματα: Πλουτώνια (ακολουθία Μανδύα, Σωρευτικά), Φλεβικά, Ηφαιστειακά και Χημικά ιζήματα.

Η ακολουθία του Μανδύα αποτελούνται κυρίως από χαρτζβουργίτη, δουνίτη και σερπεντινίτη. Τα σωρειτικά πετρώματα αποτελούνται κυρίως δουνίτη, βερλίτη, πυροξενίτη και πλαγιογρανίτη. Τα φλεβικά πετρώματα είναι βασαλτικής και δολεριτικής σύστασης και προήλθαν από τη στερεοποίηση του μάγματος στις διόδους διείσδυσης και μεταφοράς του από τους μαγματικούς θαλάμους στη βάση του ωκεάνιου φλοιού ενώ τα ηφαιστειακά πετρώματα είναι κυρίως βασαλτικής σύστασης. Τα Χημικά Ιζήματα αποτελούνται από φαιόχωμα (ούμπρα), ραδιολαρίτες και ραδιολαριτικούς πηλίτες, και είναι τα πρώτα χημικά και πελαγικά ιζήματα, που αποτέθηκαν πάνω στα οφιολιθικά πετρώματα, ως αποτέλεσμα υδροθερμικής δραστηριότητας (θερμά διαλύματα πλούσια σε Fe και Mn) και ιζηματογένεσης στο θαλάσσιο πυθμένα.



Χάρτης 0.5: Γεωλογικές ζώνες Κύπρου(πηγή: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης, 2018)

Άμεσα συνδεδεμένα με τον Οφιόλιθο Τροόδους είναι και τα κοιτάσματα μεικτών θειούχων, χρωμίτη και αμιάντου. Τα κοιτάσματα αυτά σχηματίστηκαν σε διάφορες στρωματογραφικές ενότητες του Οφιόλιθου (λάβες, δουνίτη, σερπεντινίτη, αντίστοιχα) και ήλθαν στην επιφάνεια ως αποτέλεσμα της ανύψωσής του.

Η οροσειρά του Τροόδους είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς το ανάγλυφο και το υψόμετρο του Τροόδους είναι οι ρυθμιστές των τοπικών κλιματολογικών συνθηκών και ειδικότερα της βροχόπτωσης. Μαζί με τα γεωλογικά μορφώματα ρυθμίζουν άμεσα τους υδατικούς, επιφανειακούς και υπόγειους πόρους του νησιού καθώς οι ποταμοί και χείμαρροι που ρέουν

από την κορυφή του Τροόδους τροφοδοτούν τους υδροφορείς που αναπτύσσονται στην περιφέρειά του και τις πεδιάδες περιοχές.

Μαμώνια

Το σύμπλεγμα Μαμωνιών αποτελεί μια ξεχωριστή και τεκτονικά πολύπλοκη συγκέντρωση εκρηξιγενών, ιζηματογενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων.

Τα πετρώματα αυτά, που θεωρούνται αλλόχθονα σε σχέση με τα υπερκείμενα αυτόχθονα ανθρακικά πετρώματα και τα οφιολιθικά πετρώματα του Τροόδους, αναπτύχθηκαν πάνω και δίπλα στον Οφιόλιθο Τροόδους. Απαντώνται μόνο στο νότιο τμήμα της Κύπρου και κυρίως στο νοτιοδυτικό τμήμα της επαρχίας Πάφου. Παρά τον έντονο τεκτονισμό των πετρωμάτων της Ζώνης Μαμωνιών είναι διακριτές οι ακόλουθες στρωματογραφικές σειρές:

Η σειρά εκρηξιγενών (λάβες) και ιζηματογενών πετρωμάτων (ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι) της Ομάδας Διαρίζου. Η σειρά πελαγικών ιζηματογενών πετρωμάτων (ασβεστόλιθοι, πηλίτες, χαλαζιακοί ψαμμίτες) της Ομάδας Αγίου Φωτίου και η σειρά μεταμορφωμένων πετρωμάτων (σχιστόλιθοι και μάρμαρα) του Σχηματισμού Αγίας Βαρβάρας. Τα πετρώματα αυτά προήλθαν από μεταμόρφωση πετρωμάτων της Ομάδας Διαρίζου.

Ο μεγάλος βαθμός κατακερματισμού και εξαλλοίωσης των πετρωμάτων σε συνδυασμό με την ύπαρξη των αργίλων και την απότομη τοπογραφία δημιουργούν συνθήκες αστάθειας στην ευρύτερη περιοχή της επαρχίας Πάφου.

Πενταδάκτυλος

Η Ακολουθία Κερύνειας είναι η βορειότερη γεωλογική ζώνη της Κύπρου και θεωρείται ως η νοτιότερη εμφάνιση της Ταυρο-Δειναρικής Αλπικής Ζώνης. Αποτελεί μια στενή και κρημνώδη οροσειρά, που αναδύεται απότομα από το περιβάλλον ανάγλυφο και εκτείνεται από τον Κορμακίτη στα δυτικά μέχρι τον Απόστολο Ανδρέα στα ανατολικά. Οι κορυφές της βρίσκονται σε υψόμετρο μεταξύ 700 και 1024 m. Προς βορρά χωρίζεται από τη θάλασσα με μια στενή πεδιάδα πλάτους μέχρι 5 Km. Στα νότιά της εκτείνεται η πεδιάδα της Μεσαορίας.

Η Ακολουθία Κερύνειας είναι ένα τεκτονικό πολύπλοκα σύνολο από ιζηματογενή και σε περιορισμένο βαθμό μεταμορφωσιγενή και πυριγενή πετρώματα. Οι τρεις κυριότεροι

γεωλογικοί σχηματισμοί (Τριαδικό - Κατώτερο Κρητιδικό, 250-135 εκ. χρόνια) είναι οι αλλόχθονες Σχηματισμοί Δικώμου, Συγχαρί και Αγίου Ιλαρίωνα, που αποτελούν και τις κύριες ασβεστολιθικές μάζες της οροσειράς. Ο Σχηματισμός Δικώμου αποτελείται από παραμορφωμένους λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους με ενστρώσεις γκρίζων και πράσινων φυλλιτών. Ο Σχηματισμός Συγχαρί δομείται από συμπαγείς έως παχυστρωματώδεις δολομιτικούς ασβεστόλιθους. Ο Σχηματισμός Αγίου Ιλαρίωνα αποτελείται από μεσοστρωματώδεις έως συμπαγείς ασβεστόλιθους,.

Η διάρρηξη και καρστικοποίηση των αλλόχθονων ασβεστολίθων έχει συμβάλει στην δημιουργία πολύ καλών τοπικών υδροφορέων που εκφορτίζονται με μεγάλες και σημαντικές πηγές στους πρόποδες της οροσειράς, κοντά στην επαφή των ασβεστολίθων με τα υποκείμενα πετρώματα.

Ιζήματα

Η Ζώνη των αυτόχθονων ιζηματογενών πετρωμάτων καλύπτει κυρίως το χώρο μεταξύ των Ζωνών Πενταδακτύλου και Τροόδους (Μεσαορία) καθώς και το νότιο τμήμα του νησιού. Αποτελείται από μπεντονίτες, ηφαιστειοκλαστικά, συνονθύλευμα πετρωμάτων (melange), μάργες, κρητίδες, κερατόλιθους, ασβεστόλιθους, ασβεστιτικούς ψαμμίτες, εβαπορίτες και κλαστικά ιζήματα.

Τα κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα αποτελούν τους πιο σημαντικούς υδροφορείς του νησιού. Αναπτύσσονται κυρίως στις κοιλάδες και τα δέλτα των ποταμών και σχηματίζουν υδροφορείς που αναπτύσσονται στην δυτική και ανατολική Μεσαορία, το Ακρωτήρι και την Πάφο. Υδροφορείς αναπτύσσονται επίσης μέσα σε πορώδη πετρώματα, (ασβεστολιθικοί ψαμμίτες), καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους και γύψους καθώς επίσης σε διαρρηγμένα πετρώματα όπως είναι οι κρητίδες, οι ασβεστόλιθοι κλπ.

Τα ιζηματογενή πετρώματα επίσης αποτελούν τις κύριες πηγές βιομηχανικών ορυκτών. Τα κυριότερα από αυτά είναι η γύψος, οι άργιλοι, οι μάργες και οι κρητίδες, ο μπεντονίτης και ο σελεστίτης.

3.8 Τα εδάφη της Κύπρου

Η Κύπρος χαρακτηρίζεται από σημαντική εδαφική ποικιλία, γεγονός που οφείλεται κυρίως στην ποικίλη γεωλογική της σύσταση.

Η φύση του μητρικού πετρώματος καθώς και η συνδυασμένη δράση διαφόρων βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων καθορίζει τη σύσταση των εδαφών επιτρέποντας έτσι την ανάπτυξη πλήθους φυτικών ειδών με διαφορετικές εδαφολογικές απαιτήσεις

Τα κυριότερα εδάφη που επικρατούν στις περιοχές γεωργικής δραστηριότητας της Κύπρου, όπως αναφέρονται από τους Νεοφύτου (1971) και Γεωργιάδη (1994) είναι τα ακόλουθα:

Τέρρα ρόζα (Terra rossa)

Τα εδάφη αυτής της κατηγορίας είναι συνήθως αβαθή, αν και τοπικά έχει παρατηρηθεί να έχουν πάχος μέχρι 3 περίπου μέτρα. Βασικό γνώρισμα τους είναι η καλή αποστράγγιση, η εύκολη καλλιέργεια και η αυξημένη παραγωγικότητα, διακρίνονται δε σε δύο υποκατηγορίες:

i) Τέρρα ρόζα σε σχηματισμούς "καυκάλλας".

Είναι λεπτού πάχους ασβεστολιθικοί σχηματισμοί που συνήθως επικάθονται σε μαλακά και εύθρυπτα πετρώματα. Πρόκειται για εδάφη με αργιλοπηλώδη υφή και κοκκώδη δομή, είναι πλαστικά όταν είναι υγρά και εύθρυπτα όταν είναι ξηρά. Εδάφη αυτής της κατηγορίας συναντώνται κυρίως στη νοτιοανατολική περιοχή της Κύπρου, ενώ σποραδικά παρατηρούνται τοπικά και στο εσωτερικό, μέχρι την περιοχή της Λευκωσίας. Η περιοχή των Κοκκινοχωριών καλύπτεται στη μεγαλύτερη της έκταση από εδάφη αυτής της κατηγορίας.

ii) Τέρρα ρόζα σε ασβεστόλιθο.

Πρόκειται για εδάφη παρόμοια με τα προηγούμενα, όμως με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο. Συνήθως βρίσκονται σε ασβεστολιθικές περιοχές όπως του Πενταδακτύλου. Λόγω της μεγάλης κλίσης των μητρικών πετρωμάτων, τα εδάφη αυτά αθροίζονται κυρίως σε κοιλάματα και σε μικρά οροπέδια.

Ερυθρογαίες

Οι Ερυθρογαίες είναι εδάφη σημαντικού, τοπικά, πάχους, τα οποία καταλαμβάνουν σημαντικό μέρος της Δυτικής Κεντρικής πεδιάδας και περιοχές στους πρόποδες του Τροόδους. Προέρχονται από την αποσάθρωση πυριγενούς υλικού που έχει μεταφερθεί από την οροσειρά του Τροόδους στην κεντρική πεδιάδα και έχουν χρώμα ερυθρωπό, όπως και τα εδάφη τέρρα ρόζα.

Οι ερυθρογαίες είναι εδάφη εύφορα και θεωρούνται ιδανικά τόσο για σκοπούς καλλιέργειας εσπεριδοειδών όσο και για εποχιακές καλλιέργειες βρίσκονται κυρίως στην περιοχή Μόρφου, Περιστερώνας και Ακακίου.

Φαιοχώματα

Τα εδάφη αυτά βρίσκονται πέριξ της οροσειράς του Τροόδους. Μητρικό τους πέτρωμα είναι οι λάβες (pillow lavas), οι οποίες περιβάλλουν τον κεντρικό πλουτώνιο σχηματισμό του Τροόδους. Είναι εδάφη υψηλής υδροπερατότητας, μικρού συνήθως πάχους, με χαρακτηριστικό φαιό χρώμα.

Χουμανθρακικά εδάφη

Τα Χουμανθρακικά εδάφη βρίσκονται στο βόρειο τμήμα της Κύπρου. Σχεδόν ολόκληρη η χερσόνησος της Καρπασίας καλύπτεται από χουμανθρακικά εδάφη. Χουμανθρακικά είναι επίσης και τα εδάφη της περιοχής της Κυθρέας, τα οποία αξιοποιούνται σχεδόν εξ ολοκλήρου για σκοπούς ελαιοκαλλιέργειας. Τα χουμανθρακικά εδάφη διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

i) **Ξερορεντζίνες.** Πο οποίες προέρχονται από την αποσάθρωση ασβεστολίθων και μαργών. Είναι βαριά ασβεστούχα εδάφη, πτωχά σε οργανικές ουσίες, με γκριζόφαιο ή κιτρινόφαιο χρώμα. Η ελαιοπαραγωγική περιοχή της Κυθρέας καλύπτεται στη μεγαλύτερη της έκταση από ξερορεντζίνες ενώ ξερορεντζίνες συναντώνται στις περιοχές Λαπήθου και Μύρτου, καθώς και στο Πισσούρι και την Πάχνα.

ii) **Ρεντζίνες.** Διαφέρουν από τις ξερορεντζίνες στην περιεκτικότητα τους σε οργανικές ουσίες η οποία είναι πολύ πιο μεγάλη, με επακόλουθο την αυξημένη παραγωγικότητα. Εδάφη αυτής της κατηγορίας συναντώνται τοπικά μόνο στο νοτιότερο τμήμα της πεδιάδας της Κυθρέας και στον Καραβά.

Ασβεστούχα εδάφη

Είναι τα εδάφη των οινοπαραγωγικών περιοχών της Λεμεσού και της Πάφου (κρασοχώρια). Πρόκειται για εδάφη που σχηματίζονται από την αποσάθρωση ασβεστολιθικών σχηματισμών (των σχηματισμών Λαπήθου και Πάχνας). Τα εδάφη αυτά είναι πλούσια σε ασβεστούχες ενώσεις και έχουν ένα χαρακτηριστικό άσπρο χρώμα (σπροχώματα) και θεωρούνται ιδανικά για την καλλιέργεια αμπελιών.

Προσχωσιγενή εδάφη

Είναι τα αλλουβιακά εδάφη που σχηματίζονται από την εναπόθεση φερτών υλών. Βρίσκονται κυρίως στις κοιλάδες και στις εκβολές χειμάρρων. Σημαντικό μέρος της πεδιάδας της Μεσαορίας, αλλά και οι παράκτιες πεδιάδες της Λάρνακας, Λεμεσού, Πάφου, Πόλεως Χρυσοχούς και Μόρφου καλύπτονται από αυτά τα προσχωσιγενή εδάφη τα οποία λόγω της ευφορίας τους υφίστανται συνήθως έντονη γεωργική εκμετάλλευση.

Πυριτιούχα εδάφη

Τα Πυριτιούχα εδάφη προέρχονται από τη μηχανική αποσάθρωση των υπερβασικών πετρωμάτων και της διάβασης του Τροόδου. Τα εδάφη αυτά αθροίζονται σε πευκόφυτες κοιλάδες σε μεγάλο πάχος. Παραλλαγή πυριτιούχων εδαφών είναι και τα ποτζολικά εδάφη, που συναντώνται τοπικά, μόνο, στο Τρόδος, σε υψόμετρο άνω των 1600 μέτρων και σε περιοχές με βροχόπτωση άνω των 700 mm.

Εδάφη Μαμωνιών

Πρόκειται για βαριά, ερυθρόχρωμα εδάφη με κακή αποστράγγιση, ακατάλληλα συνήθως για γεωργική εκμετάλλευση βρίσκονται κυρίως στην επαρχία Πάφου.

Αιολικά ή ανεμογενή εδάφη

μικρής έκτασης αιολικές αποθέσεις, που αποτελούνται από άμμο σημαντικού πάχους ο οποίος μεταφέρθηκε στην ενδοχώρα από τον άνεμο, σχηματίζοντας θίνες συναντώνται σε παράκτιες, κυρίως, περιοχές, στον κόλπο του Μόρφου, στην Κερύνεια, στην Καρπασία, στην Αμμόχωστο, στην περιοχή Λάρας στην Πάφο. Τα εδάφη αυτά είναι ασταθή και ακατάλληλα από πλευράς γεωργικής εκμετάλλευσης.

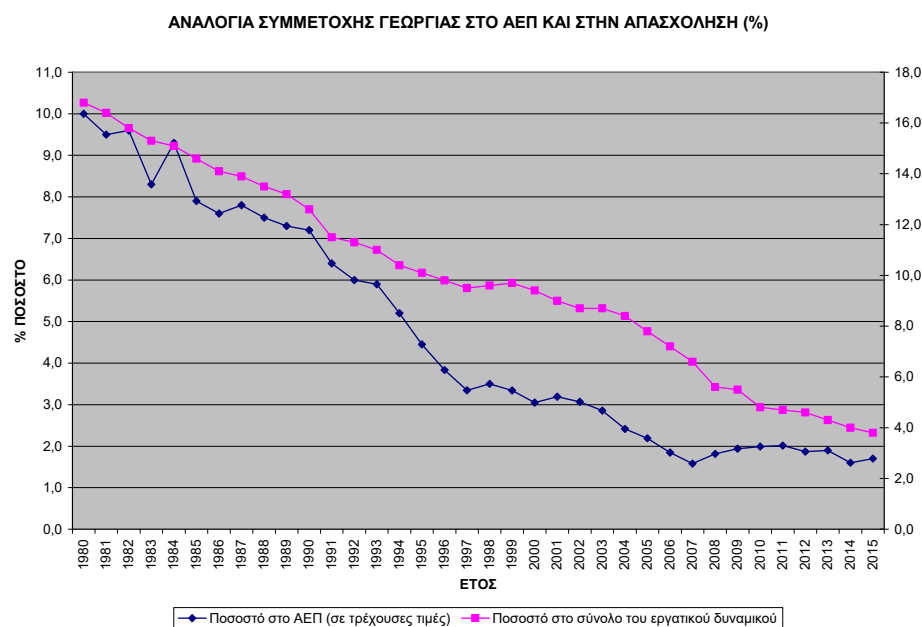
3.9 Γεωργία

Η γεωργία ανέκαθεν υπήρξε μια σημαντική οικονομική δραστηριότητα και σημαντική πηγή απασχόλησης για την Κύπρο. Σύμφωνα με στοιχεία της Στατιστικής Υπηρεσίας (CYSTAT, 2017) το μερίδιο του ΑΕΠ του γεωργικού τομέα στο συνολικό ΑΕΠ της Κύπρου διαμορφώθηκε στο 2,1% το 2017 ενώ οι απασχολούμενοι στο γεωργικό τομέα για το έτος 2016 ανήλθαν στο 3,6% του ενεργού πληθυσμού. Ωστόσο θα πρέπει να επισημανθεί ότι ο αριθμός των απασχολούμενων στον γεωργικό τομέα είναι υψηλότερος, δεδομένου ότι οι αγρότες που δραστηριοποιούνται στο χώρο υπό το καθεστώς της μερικής απασχόλησης δεν

υπολογίζονται στο εργατικό δυναμικό καθώς ούτε και η αντίστοιχη συνεισφορά τους στο ΑΕΠ.

Αξιοσημείωτη όμως είναι η μείωση που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια των δυο τελευταίων δεκαετιών τόσο το μερίδιο στο ΑΕΠ όσο και το μερίδιο της απασχόλησης στη γεωργία καθώς μειώθηκαν από 10,1 % και 5,3% αντίστοιχα το 1995 σε 2,1% και 3,6% αντίστοιχα το 2017 (CYSTAT, 2018). Η μείωση αυτή οφειλόταν κυρίως στη μείωση των τιμών των προϊόντων ως συνέπεια των οικονομικών επιπτώσεων από την εισδοχή της Κύπρου το 2004 ως πλήρες μέλος στην ΕΕ και στη μείωση της φυτικής παραγωγής λόγω της λειψυδρίας.

Με βάση τα στοιχεία της βάσης δεδομένων CORINE 2006 για την κάλυψη γης, προκύπτει ότι κατά την περίοδο 2002-2008 οι αγροτικές περιοχές κάλυπταν σχεδόν το ήμισυ της επιφάνειας του νησιού (47,8%). Με το 20,8% να αποτελούν μόνιμες καλλιέργειες και αντιστοίχως σε ποσοστό 50,7% ετήσιες καλλιέργειες (Στατιστική Υπηρεσία, 2017) ενώ από το 1980 και εντεύθεν η συνολική καλλιεργούμενη γεωργική έκταση των μόνιμων καλλιεργειών παρουσιάζει μια συνεχώς πτωτική πορεία η οποία όμως αποδίδεται σε διάφορους άλλους παράγοντες εκτός από τις κλιματολογικές παραμέτρους (Στατιστική Υπηρεσία, 2017).



Διάγραμμα 0.9: Αναλογία Συμμετοχής στο ΑΕΠ και στην Απασχόληση (%) (πηγή: Στατιστική Υπηρεσία, 2017)

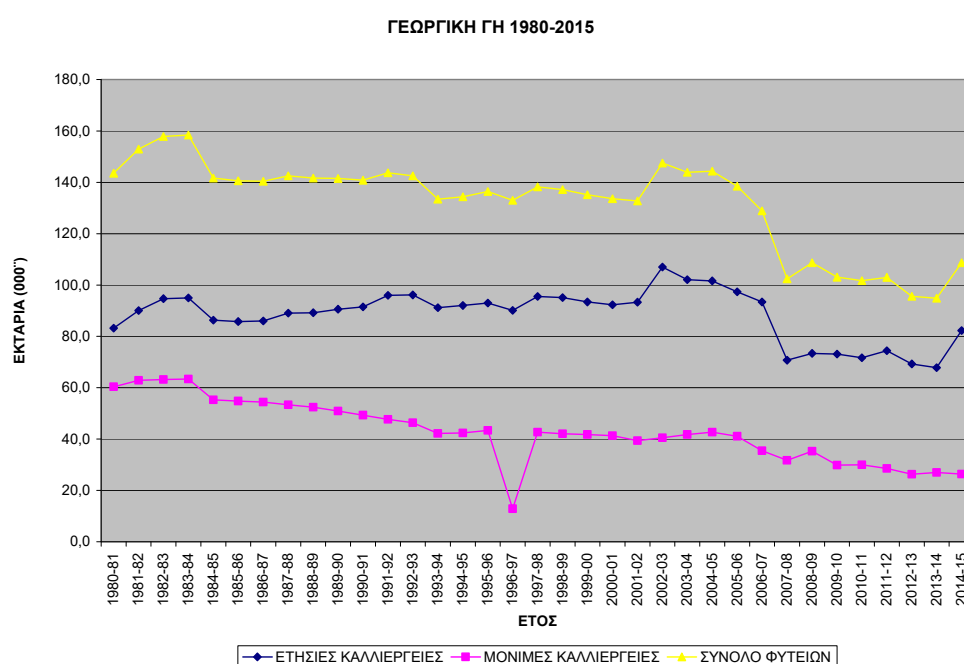
Η κυπριακή γεωργία διακρίνεται σε αρδευόμενη στην οποία περιλαμβάνονται καλλιέργειες όπως λαχανικά, εσπεριδοειδή, πατάτες, πεπόνια, επιτραπέζια σταφύλια, μπανάνες και σε μη

αρδευόμενη που περιλαμβάνει μεταξύ άλλων δημητριακά, καλλιέργειες κτηνοτροφικών φυτών, ελιές, χαρουπιές, σταφύλια, αμύγδαλα. Για την τελευταία δεκαετία περίπου το 24% της συνολικής καλλιεργητικής έκτασης αρδευόταν ενώ αντίστοιχα το 76% των υδατικών ανάγκες καλύπτονταν αποκλειστικά από την βροχή (Στατιστική Υπηρεσία, 2017).

Όπως προκύπτει από στοιχεία της Στατιστικής Υπηρεσίας Κύπρου το 27% της συνολικής καλλιέργειας περιλαμβάνει την καλλιέργεια πατατών, 14% δημητριακά, 11,5% σταφύλια, 9% πορτοκάλια και 6% γκρέιπφρουτ, ενώ άλλες καλλιέργειες έχουν μικρότερη συνεισφορά στη συνολική φυτική παραγωγή (Στατιστική Υπηρεσία, 2017).

Ενδεικτικό της μεγάλης εξάρτησης της από την βροχόπτωση αποτελεί το γεγονός ότι κατά την περίοδο 2002-2008 η άρδευση στις μη μόνιμες καλλιέργειες κάλυψε κατά μέσο όρο μόνο το 28% της συνολικής καλλιεργούμενης έκτασης ενώ αντίστοιχα παράχθηκε το 44% της συνολικής παραγωγής.

Διάγραμμα: Μεταβολή Έκτασης Γεωργικής Γης (1980-2015) (πηγή: Στατιστική Υπηρεσία, 2017)



Διάγραμμα 0.10: Μεταβολή έκτασης Γεωργικής Γης (1980-2015)

Το γεγονός αυτό συνάδει με τα πορίσματα της μελέτης των Bruggeman et al. (2011), σύμφωνα με την οποία η παραγωγή των μη μόνιμων καλλιεργειών παρουσιάζει χρονικές διακυμάνσεις, ακολουθώντας παρόμοια τάση με εκείνη των βροχοπτώσεων, δηλαδή κατά την

περίοδο όπου επικρατούν μειωμένες κατακρημνίσεις η παραγωγή μειώνεται και αντιστρόφως.

Ο γεωργικός τομέας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις κλιματικές συνθήκες, καθώς η θερμοκρασία, το ηλιακό φως και η διαθεσιμότητα του νερού είναι βασικοί παράγοντες για την ανάπτυξη των φυτών.

Παρόλο που ορισμένες επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή θα είναι επωφελείς για την γεωργία όπως π.χ. η αύξηση και η επιμήκυνση των καλλιεργητικών περιόδων, εντούτοις η αύξηση των θερμοκρασιών και η μεταβολή του υδρολογικού κύκλου θα έχουν σοβαρές συνέπειες που δυνητικά θα μπορούν να θέσουν τις γεωργικές δραστηριότητες σε σημαντικό κίνδυνο. Παράλληλα η όλο και συχνότερη εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων όπως η ξηρασία μπορούν να προκαλέσουν ζημιές ή και να μειώσουν τις αποδόσεις των καλλιεργειών (Iglesias et al., 2007, IPCC, 2007).

Η Κύπρος βρίσκεται σε μια περιοχή στην οποία ήδη επικρατούν ζεστές και ξηρές συνθήκες ειδικά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Οι προβλεπόμενες μεταβολές στις κλιματολογικές συνθήκες, όπως η αύξηση της θερμοκρασίας, η αύξηση της εξατμισοδιαπνοής και η μείωση των επιπέδων βροχόπτωσης, θα επιτείνουν τις ήδη έντονες συνθήκες υδατικού στρες που προκαλούν μειωμένες αποδόσεις των καλλιεργειών, οδηγώντας σε περαιτέρω απώλειες στις αποδόσεις. Όπως άλλωστε αναφέρεται σε μελέτη του Ινστιτούτου Γεωργικών Ερευνών (Bruggeman et al., 2011), η μεταβλητότητα του κλίματος, οι υψηλές θερμοκρασίες και τα χαμηλά επίπεδα βροχοπτώσεων θα είναι περιοριστικοί παράγοντες στον μέλλον για τη γεωργία της Κύπρου.

Κρίνεται επομένως σκόπιμο να γίνει μια εκτίμηση των επιπτώσεων των μελλοντικών κλιματικών αλλαγών στον αγροτικό τομέα της Κύπρου.

Οι προβλέψεις των κλιματικών μοντέλων όπως του PRECIS (Providing REgional Climates for Impacts Studies) αναφορικά με την ετήσια μέση βροχόπτωση για την περίοδο 2021-2050 συγκλίνουν ότι με μεγάλο ποσοστό πιθανότητας θα παρουσιαστούν εποχιακές διακυμάνσεις στις χειμερινές και φθινοπωρινές βροχοπτώσεις οι οποίες θα παρουσιάσουν μια μείωση της τάξης των 5-15 mm.

Η μείωση της φθινοπωρινής βροχόπτωσης ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της σποράς αναμένεται ότι θα έχει αρνητικό αντίκτυπο ειδικά στις καλλιέργειες οι οποίες εξαρτώνται από τη βροχόπτωση. Επιπλέον η διάρκεια των περιόδων ξηρασίας στις οποίες παρατηρείται

βροχόπτωση μικρότερη των 0,5 mm αναμένεται ότι θα αυξηθεί κατά μέσο όρο, σε 13 ημέρες ετησίως, με αποτέλεσμα να ενταθεί το υδάτινο στρες για τις καλλιέργειες και να μειωθεί η απόδοση τους.

Η μείωση των βροχοπτώσεων και η αύξηση των περιόδων ξηρασίας προβλέπεται επίσης ότι θα μειώσουν περαιτέρω τη διαθεσιμότητα του νερού για άρδευση και θα αυξήσουν τις πιέσεις στους υδάτινους πόρους.

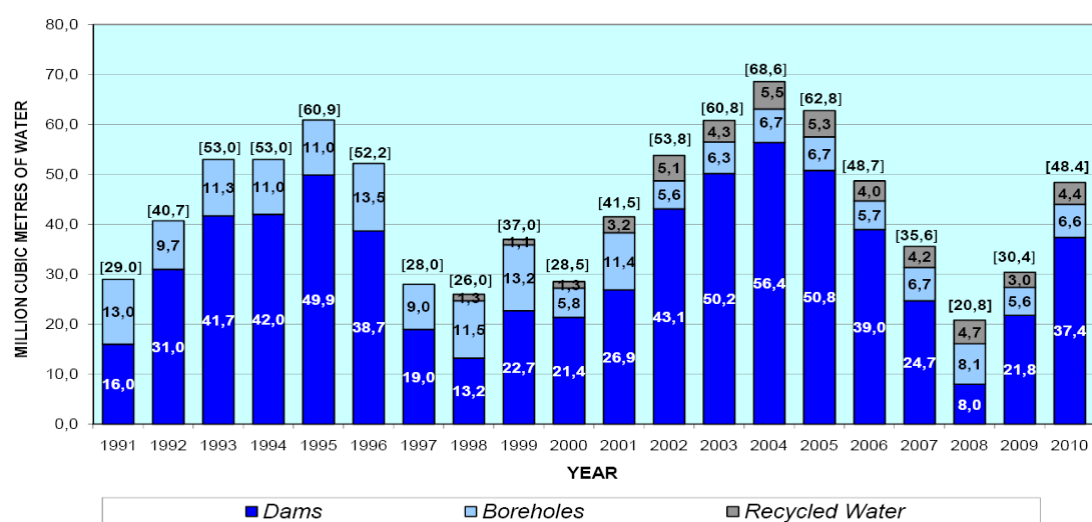
Αν και δεν υπάρχει μελέτη για την προβολή των μελλοντικών τάσεων των καλλιεργειών, εκτιμάται ότι η μέση συνολική ζήτηση νερού για άρδευση για την περίοδο (2021-2050) αναμένεται ότι θα αυξηθεί κατά 25%, η οποία σε απόλυτους αριθμούς ισοδυναμεί με συνολικά 190 εκατ. m³ ανά έτος ενώ εκτιμάται ότι το μερίδιο της ζήτησης ύδατος για άρδευση θα παραμείνει στα ίδια περίπου επίπεδα (61%) λαμβάνοντας υπόψη τις αντίστοιχες μεταβολές στη ζήτηση νερού από τους άλλους τομείς.

Θα πρέπει όμως να επισημανθεί ότι η ποσότητα του διαθέσιμου νερού για σκοπούς άρδευσης δεν είναι πάντα σταθερή καθώς παρουσιάζει διαχρονικά σημαντικές διακυμάνσεις οι οποίες σχετίζονται με την ποσοτική κατάσταση των υδάτινων πόρων του νησιού.

Ιδιαίτερα, κατά τη διάρκεια των περιόδων ξηρασίας η διαθεσιμότητα του νερού για άρδευση από τα κυβερνητικά έργα ύδρευσης περιορίζεται προκειμένου να ικανοποιηθεί κατά προτεραιότητα η ζήτηση του νερού για ύδρευση για τον εγχώριο και τον τουριστικό τομέα

Σύμφωνα με την ιεράρχηση του Τμήματος ως πρώτη προτεραιότητα τίθεται η ικανοποίηση της ζήτησης του οικιακού τομέα ενώ ακολουθεί η ικανοποίηση της ζήτησης σε νερό άρδευσης των μόνιμων καλλιεργειών σε ποσοστό της τάξης ως και 80% των συνιστώμενων επιπέδων άρδευσης ενώ τελευταία στις προτεραιότητες έρχεται η ικανοποίηση της ζήτησης σε νερό άρδευσης των μη μόνιμων καλλιεργειών (ΤΑΥ, 2011). Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι κατά την περίοδο 2000-2010 η παροχή νερού άρδευσης από το Νότιο Αγωγό, ο οποίος είναι ο κύριος αγωγός παροχής νερού άρδευσης για την πλειοψηφία των γεωργικών περιοχών στην Κύπρο, κυμάνθηκε σε ποσοστά από 10% έως 90% με εξαίρεση το 2004 όπου οι περικοπές ήταν μηδενικές (ΤΑΥ, 2011).

Η συνεισφορά του νερού των φραγμάτων είναι διαχρονικά σημαντική όπως άλλωστε φαίνεται και στο Διάγραμμα 3.11 ενώ οι εκτιμήσεις αναφορικά με την μελλοντική διαθεσιμότητα του νερού στα φράγματα, σε σχέση με τις αναμενόμενες μεταβολές στη βροχόπτωση έχουν ήδη αναφερθεί.



Διάγραμμα 0.11: Κατανομή νερού από κρατικά έργα ύδρευσης για αρδευτικούς σκοπούς, 1991-2010

Είναι επομένως σαφές ότι οι μη μόνιμες καλλιέργειες εκτίθενται περισσότερο στη μειωμένη διαθεσιμότητα νερού κάτω από συνθήκες ξηρασίας και στην περίπτωση επιδείνωσης θα εκτεθούν περισσότερο.

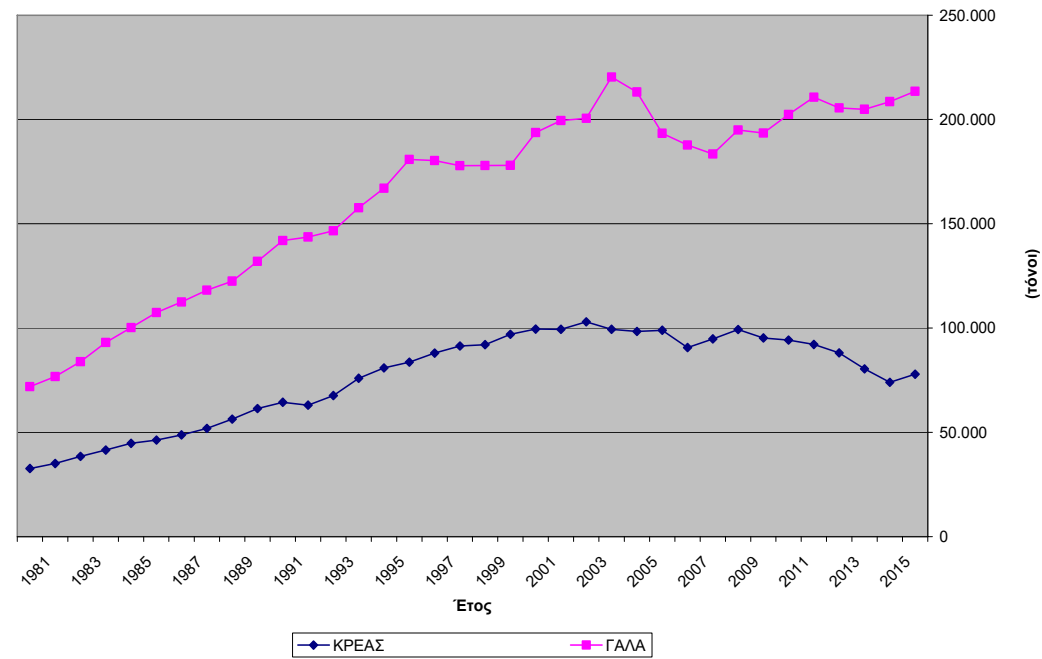
3.10 Κτηνοτροφία

Η κτηνοτροφία αποτελεί ένα σημαντικό πυλώνα της κυπριακής γεωργίας καθώς τις τελευταίες δεκαετίες έχει αναπτυχθεί σημαντικά, καλύπτοντας σε μεγάλο βαθμό τις εγχώριες ανάγκες σε κτηνοτροφικά προϊόντα ενώ σημαντική είναι η συνεισφορά της στον εξαγωγικό τομέα. Τα βοοειδή, τα αιγοπρόβατα, οι χοίροι και τα πουλερικά αποτελούν τους κύριους υποτομείς της.

Οι εγχώριες ανάγκες σε νωπό χοιρινό κρέας, κρέας πουλερικών καθώς και βρώσιμων αυγών και νωπού παστεριωμένου αγελαδινού γάλακτος καλύπτονται πλήρως από την εγχώρια παραγωγή ενώ οι ανάγκες σε βοδινό, μοσχαρίσιο και αρνίσιο κρέας καλύπτονται σε ποσοστά 81% και 92% αντίστοιχα. Η ζήτηση τυριών και άλλων γαλακτοκομικών προϊόντων από αγελαδινό, πρόβειο και αιγινό γάλα ικανοποιείται κατά 85% ενώ τα μικρά ελλείμματα που παρατηρούνται καλύπτονται με εισαγωγές. Το πλεόνασμα νωπού χοιρινού κρέατος συμβάλλει περιστασιακά στον εξαγωγικό τομέα.

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της Στατιστικής Υπηρεσίας Κύπρου (2016) η παραγωγή νωπού γάλακτος και κρέατος σημείωσε μια σημαντική αύξηση κατά τις δεκαετίες του 1980 και 1990

Παραγωγή Κυριότερων Κτηνοτροφικών Προϊόντων 1980-2015



Διάγραμμα 0.12: Παραγωγή κυριότερων Κτηνοτροφικών προϊόντων 1980-2015

Οι σημαντικότεροι περιοριστικοί παράγοντες για τον τομέα της κτηνοτροφίας αφορούν κατά κύριο λόγο τη μη επαρκή εγχώρια παραγωγή ζωοτροφών καθώς και την εξάρτηση του κλάδου από τις εισαγωγές ζωοτροφών. Σημαντικό πρόβλημα αποτελεί επίσης ο χειρισμός και η διάθεση των κτηνοτροφικών αποβλήτων και η προστασία του εδάφους και των υδάτινων πόρων από πρακτικές που δυνητικά μπορούν να ρυπάνουν το περιβάλλον.

Η κατανάλωση νερού στον κλάδο της κτηνοτροφίας εκτιμάται ότι κυμαίνεται στο 3% περίπου της συνολικής ζήτησης νερού στην Κύπρο. Ωστόσο, θα πρέπει να επισημανθεί ότι η ημερήσια απαίτηση σε νερό παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις καθώς το είδος, το μέγεθος και το στάδιο ανάπτυξης του ζώου επηρεάζει σημαντικά τις ανάγκες του σε νερό. Περαιτέρω οι απαιτήσεις σε νερό επηρεάζονται και από τους κλιματικούς παράγοντες που επικρατούν όπως η θερμοκρασία του αέρα και η σχετική υγρασία ενώ σημαντικό ρόλο στην ημερήσια απαίτηση σε νερό έχει και ο τύπος της τροφής που χρησιμοποιείται και η περιεκτικότητά της σε υγρασία.

Οι παρατεταμένες θερμοί περίοδοι και τα κύματα καύσωνα που παρατηρούνται με ολοένα και μεγαλύτερη συχνότητα είναι πολύ πιθανό ότι θα επηρεάσουν αρνητικά τον κλάδο της κτηνοτροφίας.

Η θερμική καταπόνηση, η εκδήλωση ασθενειών καθώς και η ελαττωμένη λήψη τροφής, λόγω των έντονων κλιματικών συνθηκών, μπορεί να οδηγήσουν στη μείωση του ρυθμού ανάπτυξης και στη μείωση της παραγωγικότητας των ζώων (Rowlinson, 2008). Περαιτέρω οι μεταβολές στην ένταση και στη χρονική κατανομή των βροχοπτώσεων καθώς και η αύξηση των περιστατικών πλημμυρών μπορεί να έχουν επίσης αρνητικές επιπτώσεις λόγω της αυξημένης πιθανότητας για διάδοση ζωικών ασθενειών, θέτοντας έτσι πρόσθετους περιορισμούς στην παραγωγικότητα του ζωικού κεφαλαίου.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Τμήματος Ανάπτυξης Υδάτων (ΤΑΥ, 2010) η ζήτηση νερού για την κτηνοτροφία, για την περίοδο 2021-2050, αναμένεται ότι θα ανέλθει στα 11 εκατ. m³ σε σχέση με τα 8,5 εκατ. m³ του έτους 2011, που αντιστοιχεί κατά μέσο όρο σε μία αύξηση της τάξης του 35%. Θα πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι, σε αντίθεση με τις καλλιέργειες, οι ανάγκες της κτηνοτροφίας σε νερό είναι ανελαστικές και δεν μπορούν να μειωθούν σημαντικά.

Οι θερμές και ξηρές κλιματικές συνθήκες καθώς οι περιορισμένοι υδατικοί πόροι, όπως έχει ήδη αναφερθεί, έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην γεωργία και κατεπέκταση στις αποδόσεις των κτηνοτροφικών καλλιεργειών. Ως αποτέλεσμα στο μέλλον αναμένεται να παρατηρηθεί μείωση της εγχώριας παραγωγής ζωοτροφών ενώ παράλληλα θα αυξηθεί το κόστος σίτισης από την ανάγκη προμήθειας εισαγόμενων ζωοτροφών. Η μείωση των διαθέσιμων ποσοτήτων ζωοτροφών και η αύξηση του κόστους θα μπορούσε να οδηγήσει στην τροποποίηση της διατροφής των ζώων, ποιοτικά χαμηλότερης, και να μειώσει τα ποσοστά ανάπτυξης και αναπαραγωγής.

Παράλληλα ο αυξημένος κίνδυνος θερμικής καταπόνησης και η μη παραγωγική βόσκηση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ενδεχομένως να αυξήσουν τις απαιτήσεις στέγασης και του μηχανικού αερισμού με αποτέλεσμα να αυξηθεί το κόστος παραγωγής.

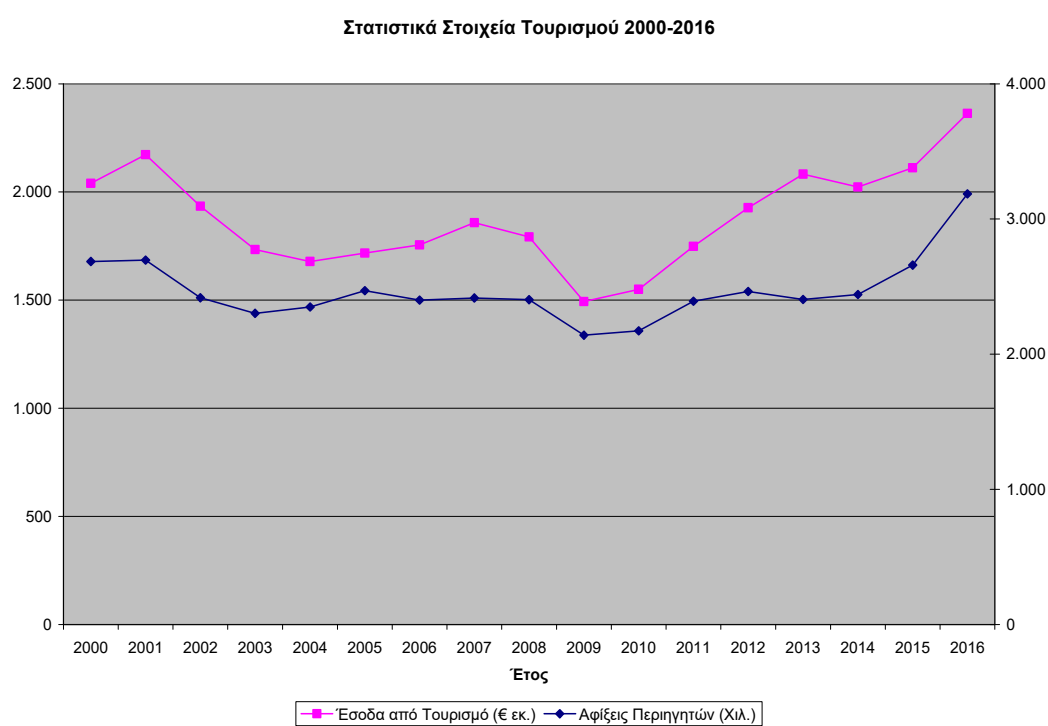
3.11 Τουρισμός

Ο τουρισμός είναι ένας από τους σημαντικότερους τομείς της κυπριακής οικονομίας, συμβάλλοντας σε μεγάλο βαθμό στην απασχόληση και στην οικονομική ανάπτυξη του νησιού. Η συνεισφορά του στο ΑΕΠ για το έτος 2016 υπολογίζεται στο 12% ενώ τα έσοδα για το ίδιο έτος ανέρχονταν στα 2.363,4 εκατ. Ευρώ.

Τις τελευταίες κυρίως δεκαετίες, έχει αναπτυχθεί μια αξιόλογη υποδομή τουριστικών καταλυμάτων προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες του αυξανόμενου εισερχόμενου

τουρισμού καθώς εκτιμάται ότι το 90% περίπου των επισκεπτών, επισκέπτονται την Κύπρο για σκοπούς αναψυχής.

Σύμφωνα με τον Κυπριακό Οργανισμό Τουρισμού, (ΚΟΤ) το 95% των κλινών βρίσκεται στις παραθαλάσσιες πόλεις της ελεύθερης περιοχής Επαρχίας Αμμοχώστου, Πάφου, Λάρνακας και Λεμεσού ενώ μόνο το 2,5% των κλινών βρίσκεται στην πρωτεύουσα, Λευκωσία, και 2,5% στις ορεινές περιοχές του Τροόδους (ΚΟΤ, 2017). Κατά την τελευταία δεκαετία, έχουν αναπτυχθεί και άλλα συναφή είδη τουριστικών υποδομών, όπως γήπεδα γκολφ, προκειμένου να διαφοροποιηθεί το τουριστικό προϊόν από το μοντέλο «Ήλιος και Θάλασσα»

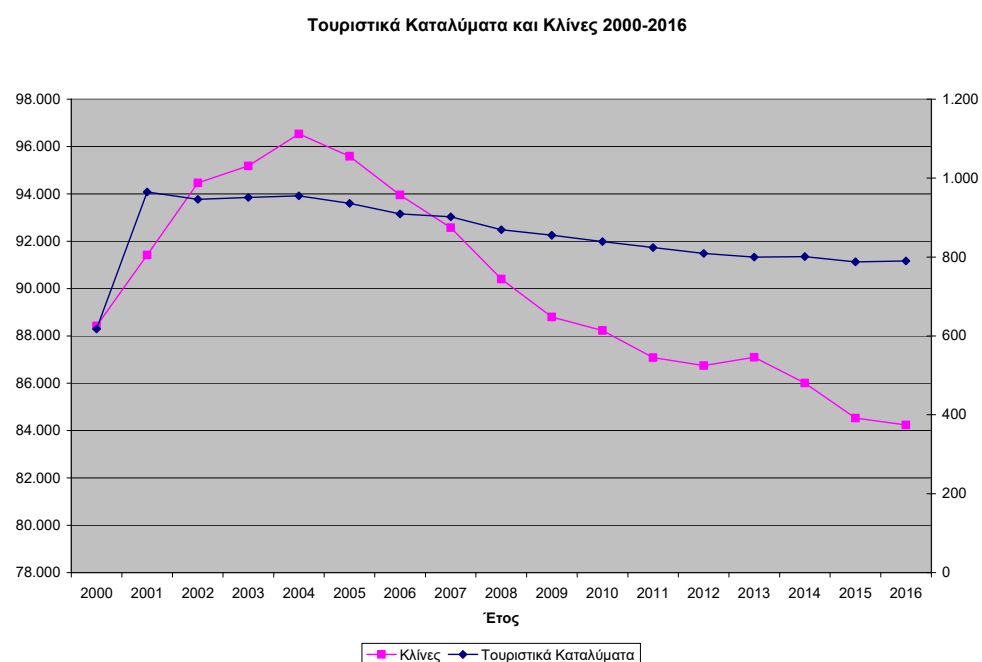


Διάγραμμα 0.13: Στατιστικά Στοιχεία Τουρισμού 2000-2016(πηγή: ΚΟΤ,2018)

Σημαντικές όμως είναι οι επιπτώσεις του Τουρισμού στο περιβάλλον της Κύπρου, καθώς ο συγκριτικά μεγάλος αριθμός τουριστών που επισκέπτεται το νησί, ασκεί μεγάλη πίεση, στους περιορισμένους φυσικούς πόρους (νερό, χρήση γης, ενέργεια κτλ).

Ιδιαίτερα οι περιορισμένοι υδάτινοι πόροι και οι εκτεταμένες περίοδοι ξηρασίας που επικρατούν στην Κύπρο, οδήγησαν στην κατασκευή μια σειράς από μονάδες αφαλάτωσης για την εξασφάλιση μιας επαρκούς και συνεχούς παροχής νερού καθώς τα υδατικά αποθέματα περιορίζονται συχνά κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών περιόδων, όταν η τουριστική περίοδος βρίσκεται στο αποκορύφωμά της.

Οι τουριστικές περιοχές της Λάρνακας, της Αγίας Νάπας, της Λεμεσού και της Πάφου διαθέτουν αφραλατωμένο νερό ενώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι η παραγωγή των μεγάλων αυτών ποσοτήτων αφραλατωμένου νερού αύξησε σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας.



Διάγραμμα 0.14: Τουριστικά Καταλύματα και Κλίνες 2000-2016(πηγή: ΚΟΤ,2018)

Σύμφωνα με την αξιολόγηση της ζήτησης νερού που πραγματοποιήθηκε από το Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων (WDD, 2011), οι τουριστικές διανυκτερεύσεις αναμένεται να αυξηθούν στο μέλλον με ετήσιο ρυθμό αύξησης 1,5%. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η ημερήσια κατανάλωση νερού ανά τουρίστα είναι της τάξης των 350-727 l / άτομο / ημέρα ανάλογα με τον τύπο καταλύματος, εκτιμάται ότι η κατανάλωση νερού στον τομέα του τουρισμού θα ανέλθει στα 12,3 εκατ. m³ κατά μέσο όρο, κατά την περίοδο 2021- 2050 που αντιστοιχεί σε μία σημαντική αύξηση. Στις εκτιμήσεις αυτές δεν λαμβάνεται υπόψη μια πιθανή αύξηση της ζήτησης νερού από παρεμφερείς υπηρεσίες που σχετίζονται με τον τουριστικό τομέα, όπως π.χ. την κατανάλωση νερού για την άρδευση γηπέδων γκολφ.

Ο τουρισμός είναι ένας τομέας ιδιαίτερα ευαίσθητος στις κλιματικές αλλαγές, καθώς συνδέεται άμεσα με μια σειρά μεταβλητών του κλίματος όπως η θερμοκρασία, οι ώρες ηλιοφάνειας, η βροχόπτωση και η υγρασία (Simpson et al., 2008).

Οι υψηλότερες θερινές θερμοκρασίες, η αυξημένη υγρασία και τα κύματα καύσωνα αναμένεται να οδηγήσουν σε σταδιακή μείωση του τουρισμού κατά την καλοκαιρινή περίοδο

στη Κύπρο και στη Μεσόγειο γενικότερα και τη μεταστροφή προς πιο βόρειους τουριστικούς προορισμούς λόγω της αύξησης της δυσφορίας που θα προκαλείται από τις κλιματολογικές συνθήκες. Παράλληλα, αναμένονται να παρατηρηθούν αυξητικές τάσεις για την εαρινή και φθινοπωρινή τουριστική περίοδο λόγω της επικράτησης ευνοϊκότερων κλιματικών συνθηκών, με αποτέλεσμα την επιμήκυνση της τουριστικής περιόδου, αντισταθμίζοντας έτσι εν μέρει τις απώλειες της καλοκαιρινής τουριστικής περιόδου.

Κεφάλαιο 4

Μεθοδολογία

Στην παρούσα διατριβή πραγματοποιείται η χωρική εκτίμηση της ξηρασίας στην Κύπρο, με την εφαρμογή του Κανονικοποιημένου Δείκτη Υγρασίας (Normalized Difference Water Index - NDWI), μέσω της χρήσης δορυφορικών δεδομένων ενώ παράλληλα γίνεται υπολογισμός του Δείκτη Κανονικοποιημένης Βροχόπτωσης (Standardized Precipitation Index - SPI) με τη χρήση ιστορικών στοιχείων βροχόπτωσης, για το σύνολο της επικράτειας που ελέγχεται από την Κυπριακή Δημοκρατία.

4.1 Συλλογή Δεδομένων

4.1.1 Δορυφορικές εικόνες

Η εύρεση των δορυφορικών εικόνων έγινε από τον ιστοτόπο Earth Explorer της Γεωλογικής Ερευνητικής Υπηρεσίας των Ηνωμένων Πολιτειών USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) όπου παραγματοποιήθηκε επιλογή και κατέβασμα των δορυφορικών εικόνων της περιοχής μελέτης.

Για τις ανάγκες της μελέτης συλλέχθηκαν πολυφασματικές εικόνες από τη σειρά των δορυφόρων Landsat και συγκεκριμένα των δορυφόρων Landsat 7 και Landsat 8.

Τα κριτήρια επιλογής των δορυφορικών εικόνων ήταν τα εξής:

- Να είναι πολυφασματικές.
- Να έχουν ποσοστό νεφοκάλυψης λιγότερο από 10%
- Οι συνθήκες φωτισμού, η γωνία του Ηλίου και οι κλιματικές συνθήκες να είναι παρόμοιες.

Οι ακριβείς ημερομηνίες συλλογής των εικόνων είναι 04/05/2000 και 11/05/2000 (Landsat 7) καθώς επίσης 19/07/2016 και 26/07/2016 (Landsat 8). Σημειώνεται ότι οι ημερομηνίες

επιλέχθηκαν έτσι ώστε οι συνθήκες φωτισμού, η γωνία του Ηλίου και οι κλιματικές συνθήκες να είναι μην απέχουν σημαντικά μεταξύ τους.

Σημειώνεται επίσης ότι συλλέχθηκαν εικόνες από δυο διαφορετικές ημερομηνίες για τα έτη 2000 και 2016 αντίστοιχα, γιατί κατά τη διέλευση τους οι δορυφόροι δεν αποτυπώνουν σε μια ενιαία σκηνή ολόκληρη την Κύπρο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν δυο διαφορετικές εικόνες και ακολούθως με την κατάλληλη επεξεργασία (μωσαϊκό) αποτυπώθηκε ολόκληρο το νησί της Κύπρου.

Πίνακας 0.1 Χαρακτηριστικά δορυφορικών εικόνων

| Δορυφόρος | Αισθητήρας | Ημερομηνία ανάκτησης | Χωρική διακριτική ικανότητα (m) | Τύπος αρχείου | Πηγή | Μήκος κύματος (μm) |
|-----------|------------|----------------------|---------------------------------|---------------|------|--|
| Landsat-7 | ETM+ | 04/05/2000 | 30 | GeoTiff | USGS | Band4 (NIR): 0.750–0.900 |
| Landsat-7 | ETM+ | 11/05/2000 | 30 | GeoTiff | USGS | Band5 (SWIR): 1.550–1.750 Band7 (SWIR): 2.090–2.350 |
| Landsat-8 | OLI | 19/07/2016 | 30 | GeoTiff | USGS | Band5 (NIR): 0.851–0.879 |
| Landsat-8 | OLI | 26/07/2016 | 30 | GeoTiff | USGS | Band6 (SWIR ₁): 1.566–1.651 Band7 (SWIR ₂): 2.107–2.294 |

4.1.2 Στοιχεία βροχόπτωσης

Για τον υπολογισμό των τιμών του Δείκτη SPI, για τα χρονικά διαστήματα τριών, έξι, εννέα και δώδεκα μηνών αντίστοιχα (SPI₃ SPI₆ SPI₉ SPI₁₂) απαιτούνται στατιστικά δεδομένα της μηνιαίας βροχόπτωσης των τελευταίων 30 τουλάχιστον ετών. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν έχουν ληφθεί από τη Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου και καλύπτουν τη χρονική περίοδο 1970-2017.

4.2 Επεξεργασία δορυφορικών εικόνων

Αρχικά όπως προαναφέρθηκε δημιουργήθηκε μωσαϊκό από τη σύνθεση των δυο εικόνων για κάθε έτος ξεχωριστά έτσι ώστε να καλύπτεται το σύνολο της περιοχής μελέτης.

Μετά την δημιουργία μωσαϊκού ακολούθησε η βελτίωση των διαφορών μέσω της τεχνικής του ταιριάσματος των ιστογραμμάτων (histogram matching) για κάθε εικόνα.

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι τιμές ανακλαστικότητας για κάθε κανάλι που χρησιμοποιήθηκε (NIR και SWIR) για κάθε εικόνα ξεχωριστά.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε κανονικοποίηση των τιμών για να βελτιωθούν οι μεταβολές λόγω της διαφορετικής ραδιομετρικής ακρίβειας των εικόνων Landsat 7 και Landsat 8.

4.3 Υπολογισμός του δείκτη NDWI

Αξιοποιώντας τις δορυφορικές εικόνες στα κανάλια ενδιαφέροντος (NIR και SWIR) υπολογίστηκε ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Υγρασίας NDWI σύμφωνα με τη σχέση (Gao, 1996):

$$NDWI = \frac{R_{NIR} - R_{SWIR}}{R_{NIR} + R_{SWIR}} \text{ Εξίσωση (2)}$$

Για τον υπολογισμό του NDWI χρησιμοποιήθηκε η σχέση:

$$NDWI_y = (b1-b2) / (b1+b2) \text{ εξίσωση (2α)}$$

Όπου: $NDWI_y$ οι τιμές του δείκτη για το έτος 2000 και 2016, αντίστοιχα

$b1$ είναι το κανάλι 4 και 5 για τις εικόνες 2000 και 2016, αντίστοιχα

$b2$ είναι το κανάλι 5 και 6 για τις εικόνες 2000 και 2016, αντίστοιχα

Ακολούθως υπολογίστηκε η διαφορά των τιμών του δείκτη μεταξύ των ετών 2016 – 2000 καθώς και η μέση τιμή των τιμών του δείκτη για τα έτη 2000 και 2016. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος QGIS ver. 2.0.1

4.4 Επεξεργασία στοιχείων βροχόπτωσης και υπολογισμός Δείκτη SPI

Για τον υπολογισμό του δείκτη SPI χρησιμοποιείται η εφαρμογή του «Εθνικού Κέντρου Αντιμετώπισης της Ξηρασίας των ΗΠΑ» (The National Drought Mitigation Center (NDMC), University of Nebraska-Lincoln) η οποία είναι διαθέσιμη στον ιστότοπο <http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>.

Για την κανονικοποίηση των δεδομένων βροχοπτώσεων και τον υπολογισμό του δείκτη SPI στα χρονικά διαστήματα, που έχουν επιλεγεί, χρησιμοποιείται το πρόγραμμα «SPI_SL_6.exe». Για τον υπολογισμό των τιμών απαιτείται ο μετασχηματισμός του αρχείου δεδομένων, της χρονικής σειράς των ιστορικών βροχοπτώσεων, αρχικά με την χρονολογική ταξινόμηση των στοιχείων βροχόπτωσης, ανά μήνα και ανά έτος, κατά αύξουσα σειρά και ακολούθως η μετατροπή του αρχείου σε κατάλληλη μορφή (cor.) ώστε να είναι αναγνωρίσιμο από το πρόγραμμα.

Οι καταγεγραμμένες τιμές της βροχόπτωσης του διαστήματος 1970 -2017, προσαρμόζονται σε μια κατανομή πιθανότητας, η οποία στη συνέχεια μετασχηματίζεται σε μια κανονική κατανομή έτσι ώστε ο μέσος όρος του δείκτη SPI, να λαμβάνει μηδενική τιμή για την επιθυμητή περίοδο.

Οι θετικές τιμές που λαμβάνει ο δείκτης SPI αντιστοιχούν σε συγκριτικά μεγαλύτερα ποσοστά βροχόπτωσης σε σχέση με τη μέση τιμή που έχει προκύψει από τον μετασχηματισμό της κατανομής ενώ αντιστοίχως οι αρνητικές τιμές υποδεικνύουν μικρότερα ποσοστά βροχόπτωσης από τη μέση τιμή.

Ξηρασία θεωρείται ότι υφίσταται στις περιπτώσεις όπου η τιμή του δείκτη SPI λάβει αρνητικές τιμές, μικρότερες από την τιμή -1,0 (Πίνακας 2.3) ενώ η ξηρασία θεωρείται ότι έχει λήξει όταν η τιμή του δείκτη γίνει θετική. Συνεπώς μέσω του δείκτη SPI μπορεί να καθοριστεί η αρχή και το τέλος της ξηρασίας καθώς και η χρονική της διάρκεια ενώ η ένταση και το "μέγεθος" της προκύπτει από το θετικό άθροισμα του δείκτη SPI για όλους τους μήνες που διαρκεί.

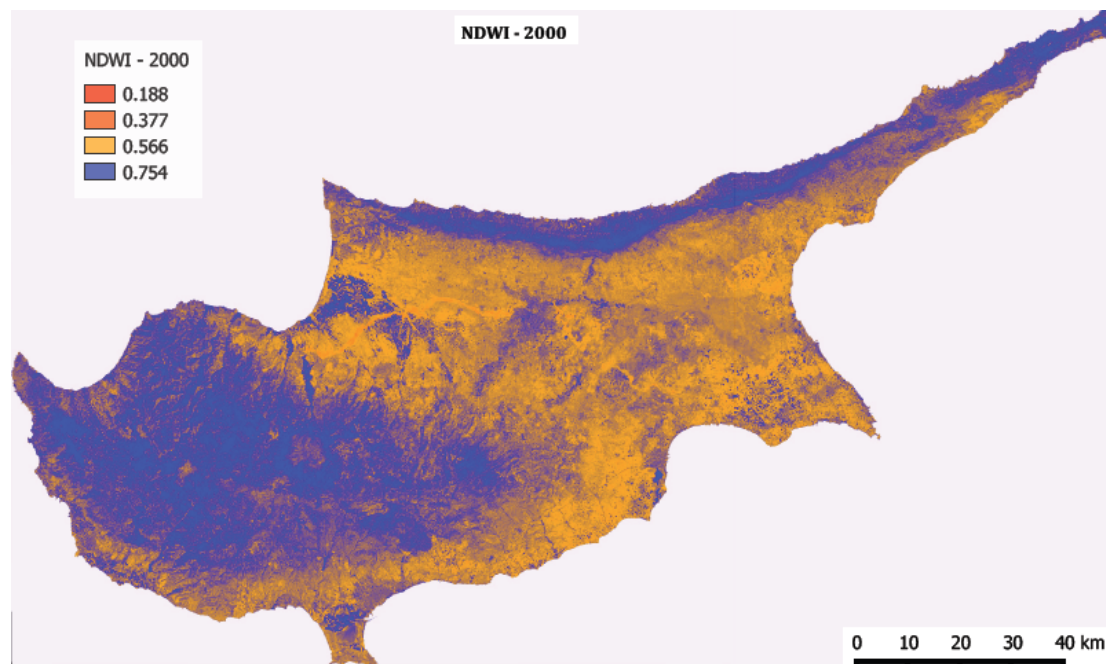
Η σύγκριση του δείκτη SPI₃ (3 μηνών) με μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα είναι απαραίτητη καθώς μια σχετικά κανονική ή ακόμα και μια υγρή περίοδος 3 μηνών μπορεί να παρουσιαστεί στο μέσο μιας πιο μακροχρόνιας ξηρασίας, η οποία γίνεται αντιληπτή μόνο μετά την πάροδο ενός εύλογα μεγαλύτερου χρονικού διαστήματος. Η παράλληλη και σε συνδιασμό εξέταση μεγαλύτερων χρονικών διαστημάτων είναι απαραίτητη για να προσδιοριστεί μια ξηρασία καθώς αποτρέπει την εσφαλμένη ερμηνεία ότι μια ξηρασία έχει λήξει όταν στην πραγματικότητα η υπολογισθείσα τιμή του δείκτη αφορά μια προσωρινή υγρή περίοδο.

Κεφάλαιο 5

Αποτελέσματα

5.1 Αποτελέσματα Δείκτη NDWI

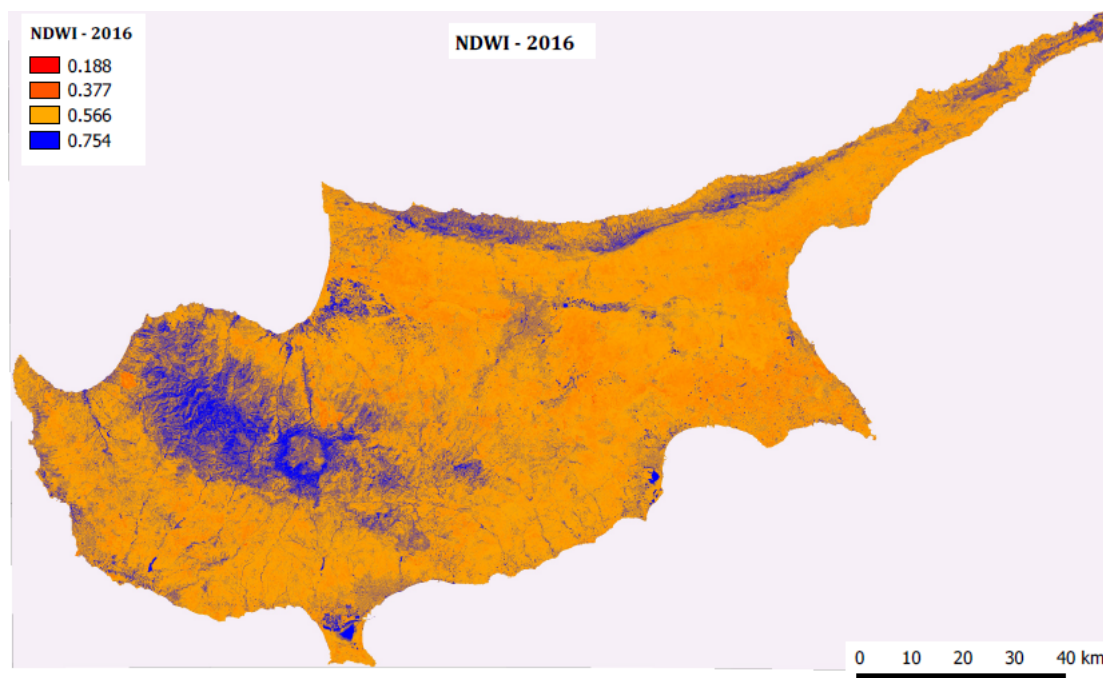
Ο υπολογισμός του δείκτη NDWI έγινε για δυο διαφορετικές χρονικές περιόδους, (έτους 2000 και έτους 2016). Σκοπός ήταν να αποτυπωθεί η υδατική κατάσταση της βλάστησης στη περιοχή μελέτης, ώστε να εκτιμηθεί χωρικά το φαινόμενο της ξηρασίας. Από τον υπολογισμό προκύπτουν οι Εικόνες 5.1 και 5.2 στις οποίες αποτυπώνεται η χωρική - γεωγραφική κατανομή των τιμών του δείκτη, για κάθε έτος αντίστοιχα ως ακολούθως:



Εικόνα 0.1: NDWI 2000

Από την ανάλυση των εικόνων προκύπτει ότι σε σημαντικό τμήμα της περιοχής μελέτης, και για τις δυο χρονικές περιόδους 2000 και 2016 που εξετάστηκαν, παρατηρείται ότι οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη NDWI κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, (Εικόνα 5.1 και Εικόνα 5.2) γεγονός που υποδεικνύει ότι τα επίπεδα του υδατικού περιεχομένου της βλάστησης είναι μειωμένα. Ιδιαίτερα για το έτος 2016 οι τιμές του δείκτη NDWI εμφανίζονται

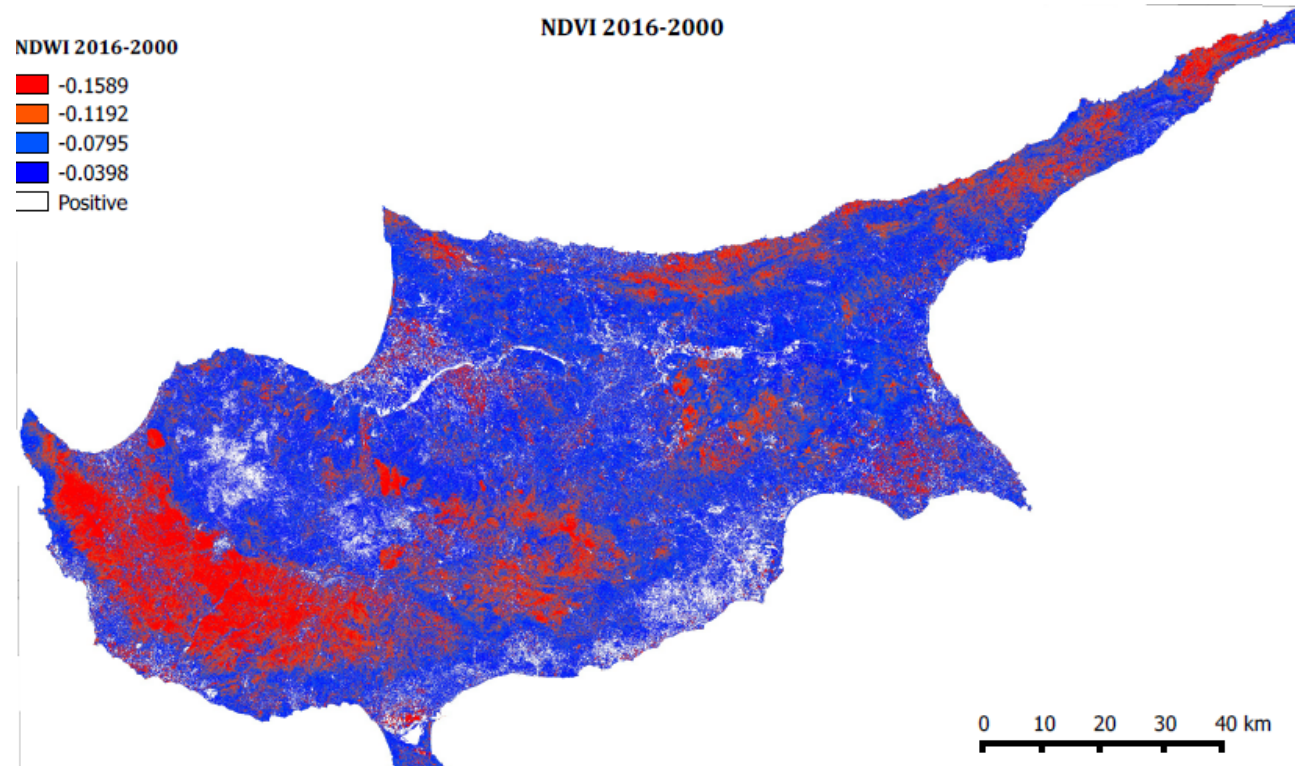
συγκριτικά μικρότερες και καλύπτοντας συγκριτικά σημαντικά μεγαλύτερη χωρική έκταση σε σχέση με το έτος 2000.



Εικόνα 0.2: NDWI 2016

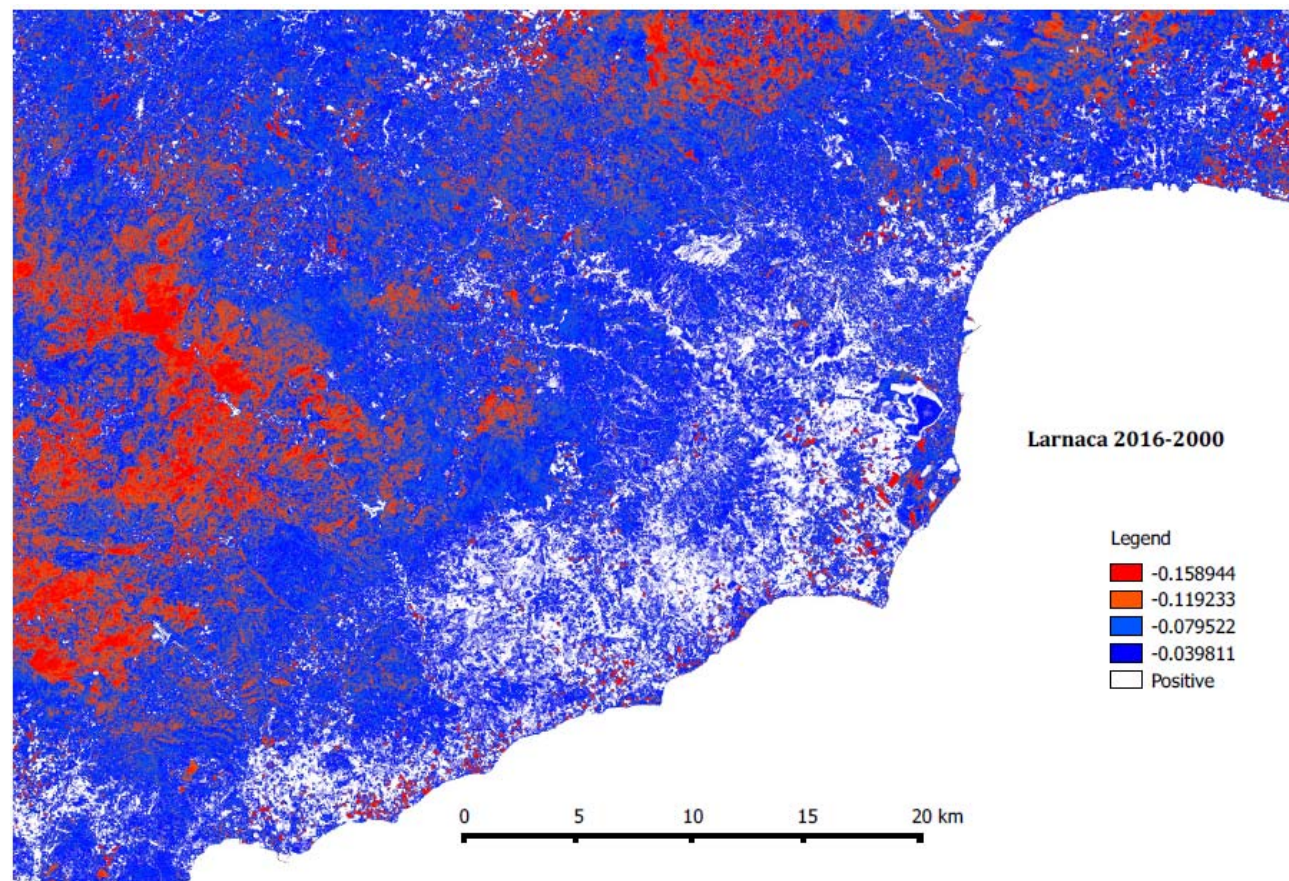
Υπολογίστηκαν επίσης οι μεταβολές των τιμών του Δείκτη, μεταξύ των δυο χρονικών περιόδων 2000 και 2016. (Εικόνα 5.3). Οι μεταβολές των τιμών του δείκτη, αποτυπώνουν τις μεταβολές στην υδατική κατάσταση της βλάστησης τόσο χωρικά όσο και χρονικά και κατ' επέκταση δίνουν μια εκτίμηση της μεταβολής της ξηρασίας μεταξύ των δύο χρονικών περιόδων.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι επίσης η διερεύνηση των μεταβολών του δείκτη σε βάθος χρόνου. Από την σύγκριση μεταξύ των δυο χρονικών περιόδων (Εικόνα 5.3) προκύπτει ότι στο διάστημα των 16 ετών παρατηρείται μια αρνητική μεταβολή του δείκτη NDWI στο σύνολο σχεδόν της Κυπριακής επικράτειας. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει μια γενικότερη επιδείνωση της υδατικής κατάστασης της βλάστησης με αποτέλεσμα το φαινόμενο της ξηρασίας να παρουσιάζεται εντονότερο.



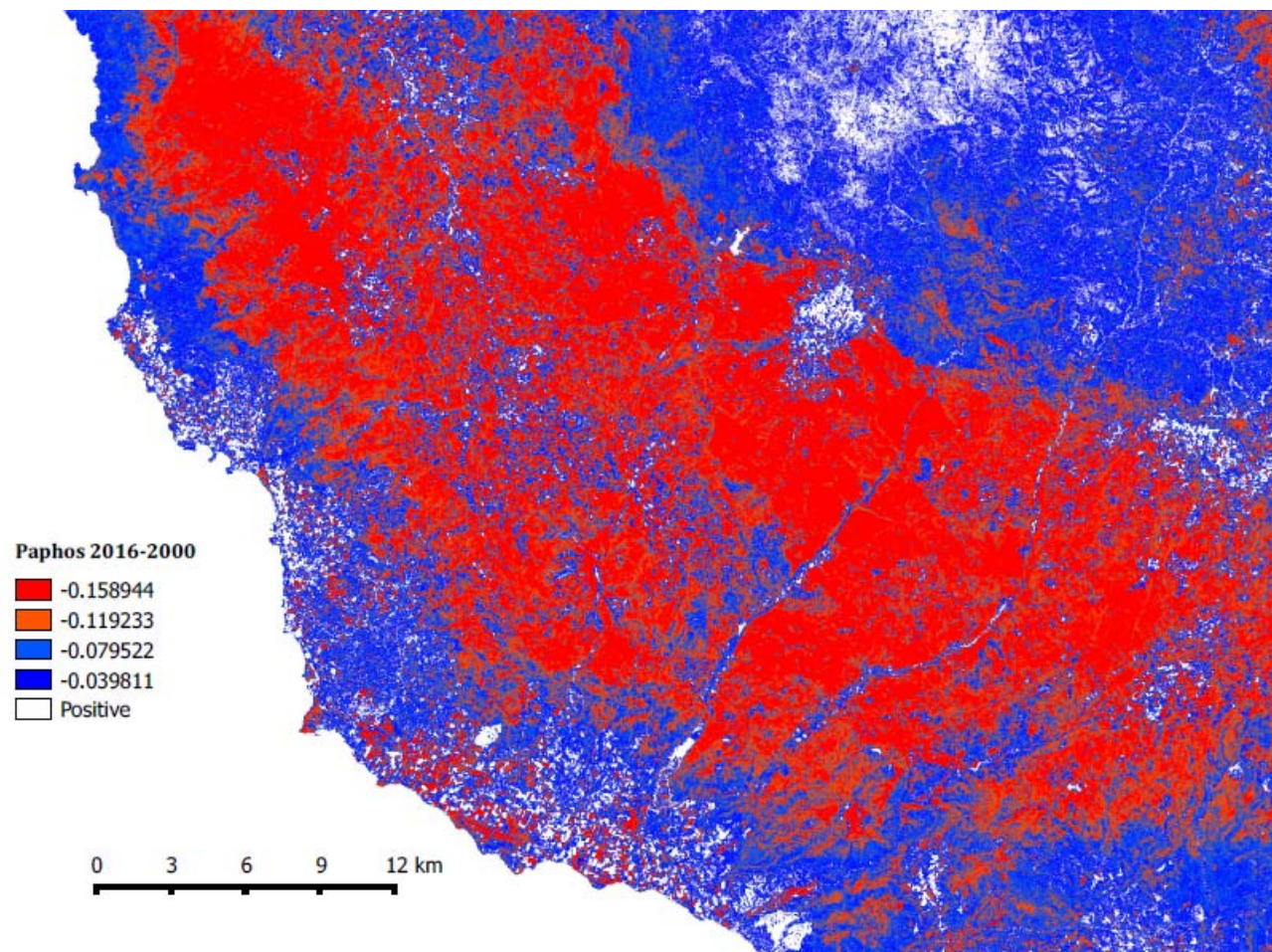
Εικόνα 0.3: Μεταβολή Δείκτη NDWI 2016-2000

Μικρή αύξηση του δείκτη παρουσιάζεται σποραδικά σε παραθαλάσσιες κυρίως περιοχές στην Επαρχία Λάρνακας και στην ελεύθερη περιοχή Αμμοχώστου και στην Επαρχία Πάφου, στο δάσος της Πάφου (Εικόνες 5.4 και 5.5 αντίστοιχα). Η αύξηση αυτή στις παράλιες περιοχές πιθανολογείται ότι είναι συγκυριακή και αφορά κυρίως μεμονωμένες γεωργικές εκμεταλλεύσεις στις οποίες υπάρχει συστηματική άρδευση των καλλιεργειών.



Εικόνα 0.4: Μεταβολή Δείκτη NDWI 2016-200 (Λάρνακα)

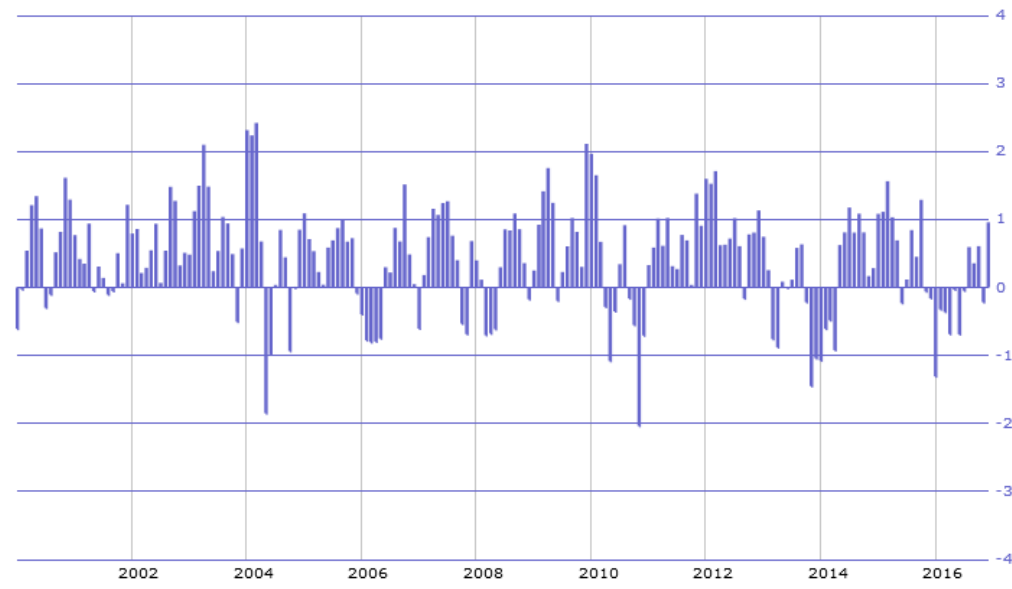
Στο μεγαλύτερο μέρος του νησιού όπως έχει αναφερθεί παρουσιάζεται μια γενικότερη επιδείνωση της υδατικής κατάστασης της βλάστησης. Οι εκτεταμένες δασικές περιοχές της οροσειράς του Τροόδους καθώς και της χερσονήσου του Ακάμα παρουσιάζουν συγκριτικά σημαντική μείωση των τιμών του δείκτη ενώ σημαντική είναι και η μείωση των τιμών στο εσωτερικό του νησιού όπου υπάρχουν πολλές μη αρόσιμες καλλιέργειες και περιοχές με άγρια βλάστηση.



Εικόνα 0.5: Μεταβολή Δείκτη NDWI 2016-2000 (Πάφος)

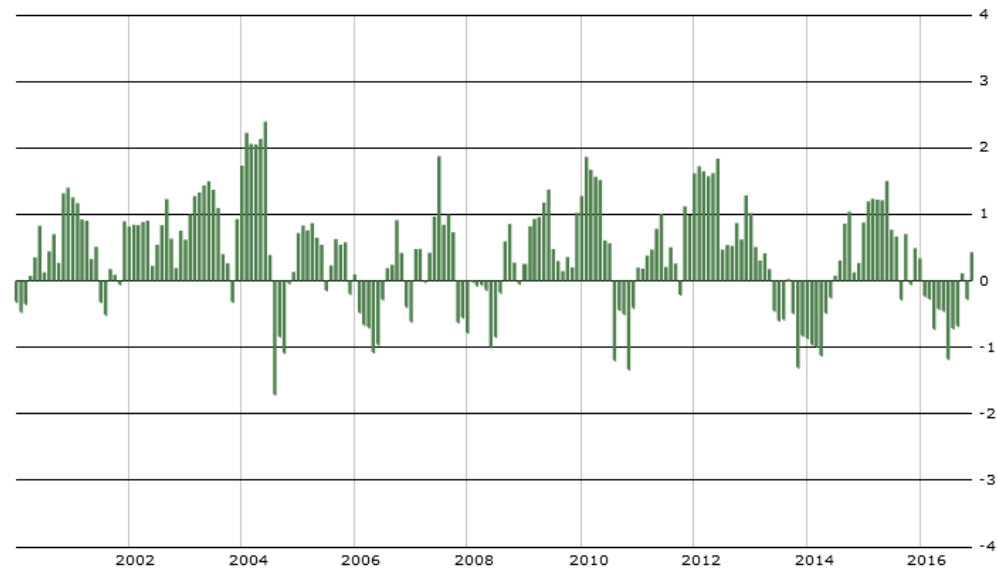
5.2 Αποτελέσματα Δείκτη SPI

Οι τιμές του δείκτη SPI για τα έτη 2000 έως 2016 υπολογίσθηκαν για το τμήμα που ελέγχεται από την Κυπριακή Δημοκρατία για τα χρονικά διαστήματα 3, 6, 9 και 12 μηνών αντίστοιχα. Από τα αποτελέσματα προκύπτουν τα Διαγράμματα 5.1 έως 5.7 ως ακολούθως.



Διάγραμμα 0.1: SPI-3 (2000-2016)

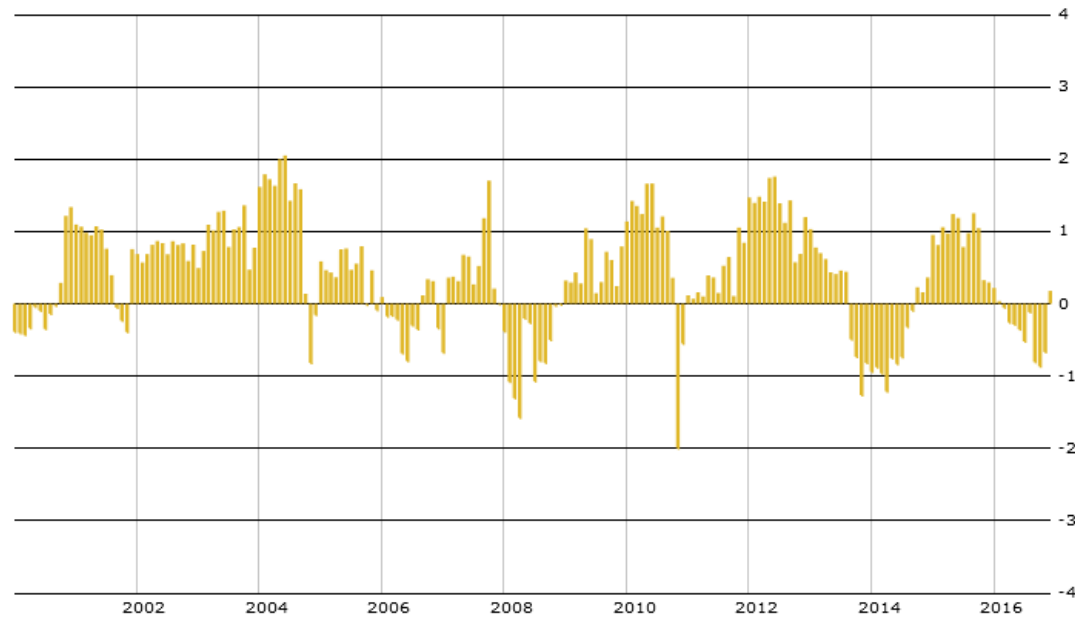
Στο Διάγραμμα 5.1 παρουσιάζεται η μηνιαία κατανομή του δείκτη SPI₃ για το διάστημα 2000-2016. Επισημαίνεται ότι παρατηρούνται περισσότερες αρνητικές τιμές κατά το έτος 2016 σε σχέση με το έτος 2000. Ειδικά για τον μήνα Ιανουάριο, 2016, η τιμή του δείκτη SPI₃ είναι μικρότερη του -1.



Διάγραμμα 0.2: SPI-6 (2000-2016)

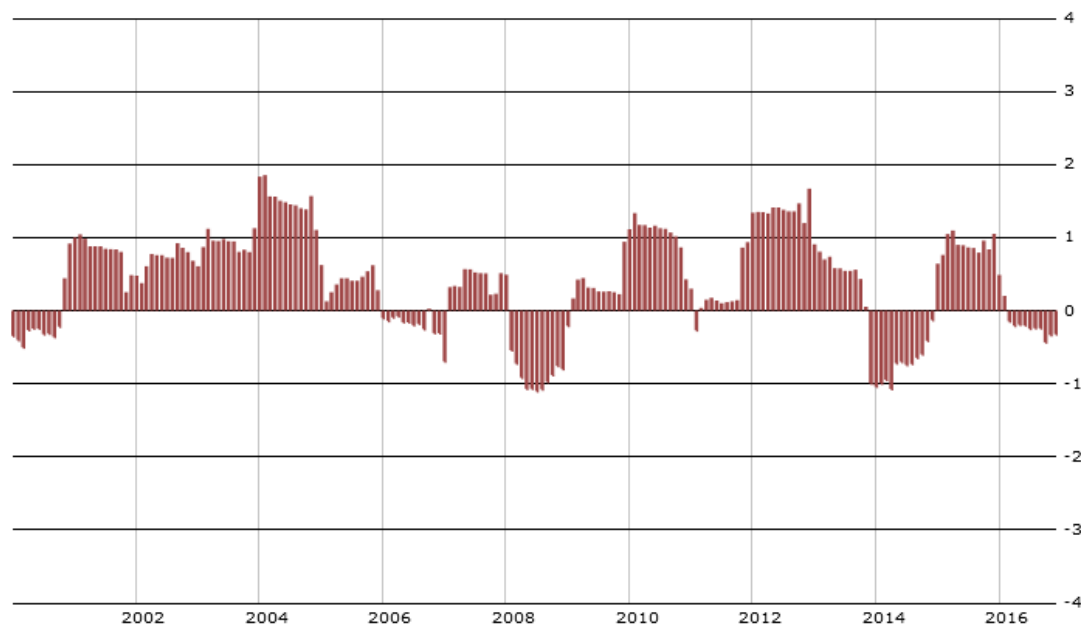
Στο Διάγραμμα 5.2 παρουσιάζεται η μηνιαία κατανομή του δείκτη SPI₆ για το διάστημα 2000-2016. Επισημαίνεται ότι επίσης παρατηρούνται περισσότερες αρνητικές τιμές κατά το έτος 2016 σε σχέση με το έτος 2000. Ιδιαίτερα για το έτος 2016, θετικές τιμές σημειώνονται

στους μήνες Ιανουάριο, Οκτώβριο και Δεκέμβριο σε αντίθεση με το έτος 2000 όπου θετικές τιμές παρατηρούνται καθ' όλη τη διάρκεια εκτός από τους τρεις πρώτους μήνες του έτους.



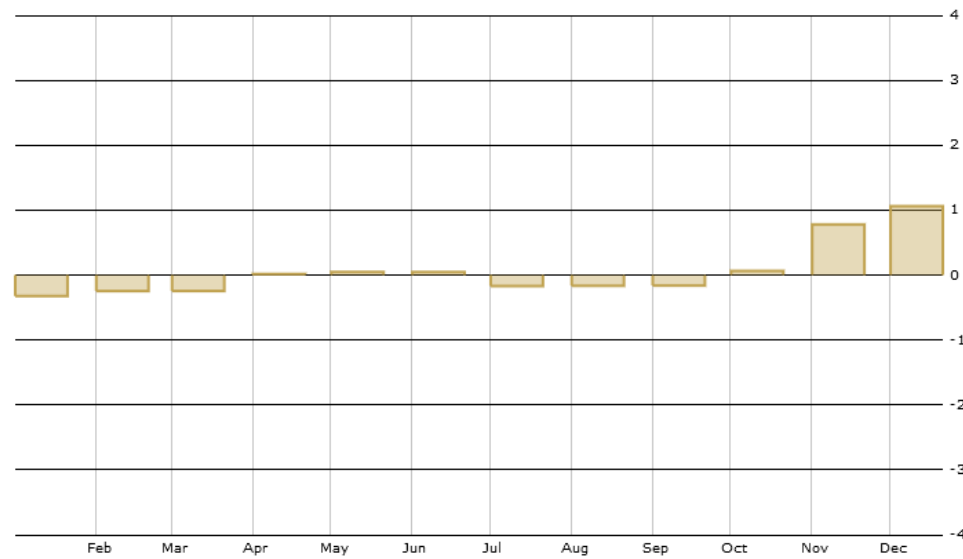
Διάγραμμα 0.3: SPI-9 (2000-2016)

Στο Διάγραμμα 5.3 παρουσιάζεται η μηνιαία κατανομή του δείκτη SPI₉ για το διάστημα 2000-2016. Επισημαίνεται ότι κατά τη διάρκεια του έτους 2016, ο δείκτης SPI λαμβάνει αρνητικές τιμές, με εξαίρεση τον μήνα Δεκέμβριο.



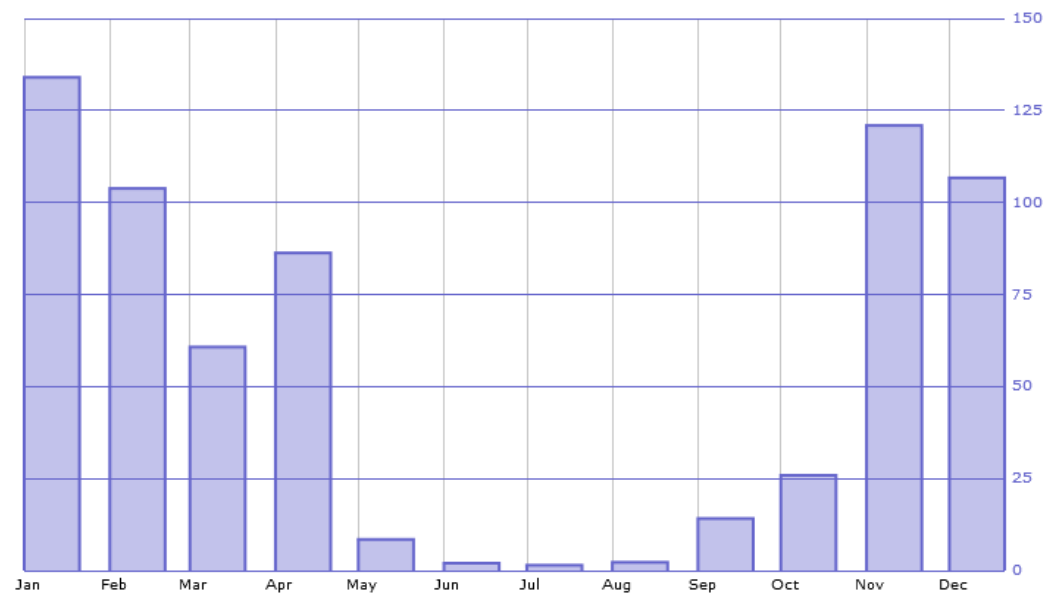
Διάγραμμα 0.4: SPI-12 (2000-2016)

Στο Διάγραμμα 5.4 παρουσιάζεται η μηνιαία κατανομή του δείκτη SPI₉ για το διάστημα 2000-2016.



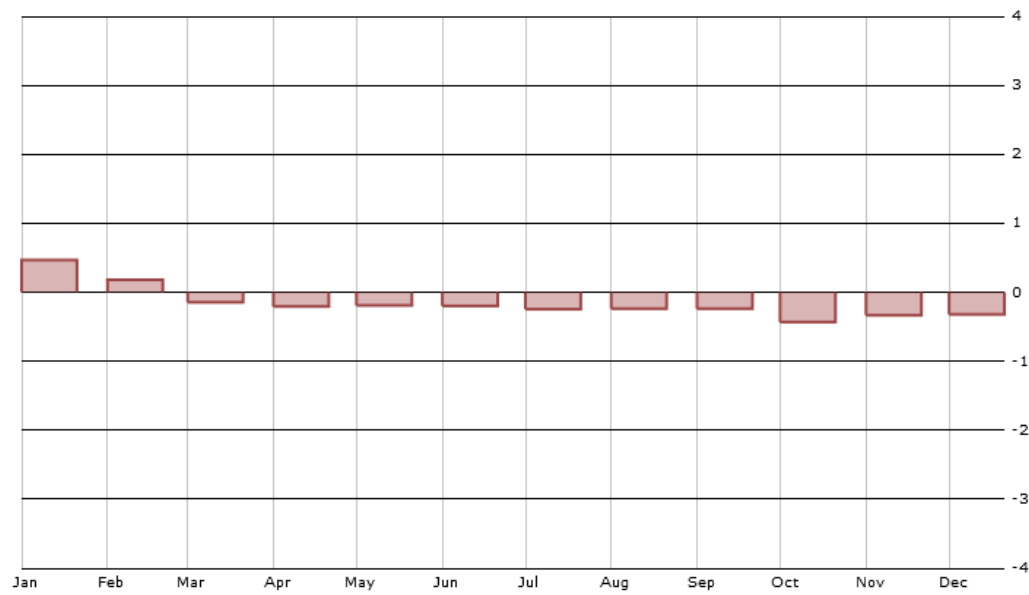
Διάγραμμα 0.5: SPI-12 (Έτος 2000)

Ο δείκτης SPI₁₂ παρουσιάζει αρνητικές τιμές για το έτος 2000 για τους μήνες Ιανουάριο έως και Οκτώβριο, γεγονός που καταδεικνύει ότι τα ποσοστά βροχόπτωσης για το εν λόγω έτος είναι χαμηλότερα σε σχέση με το μέσο όρο των ιστορικών στοιχείων ενώ αρνητικές τιμές παρουσιάζονται για τον δείκτη SPI₃ για τους μήνες Ιανουάριο-Φεβρουάριο καθώς και για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο 2000. Σε κανένα μήνα του έτους 2000 δεν παρουσιάζεται τιμή μικρότερη του -1 που θεωρείται το όριο για την έναρξη ξηρασίας.



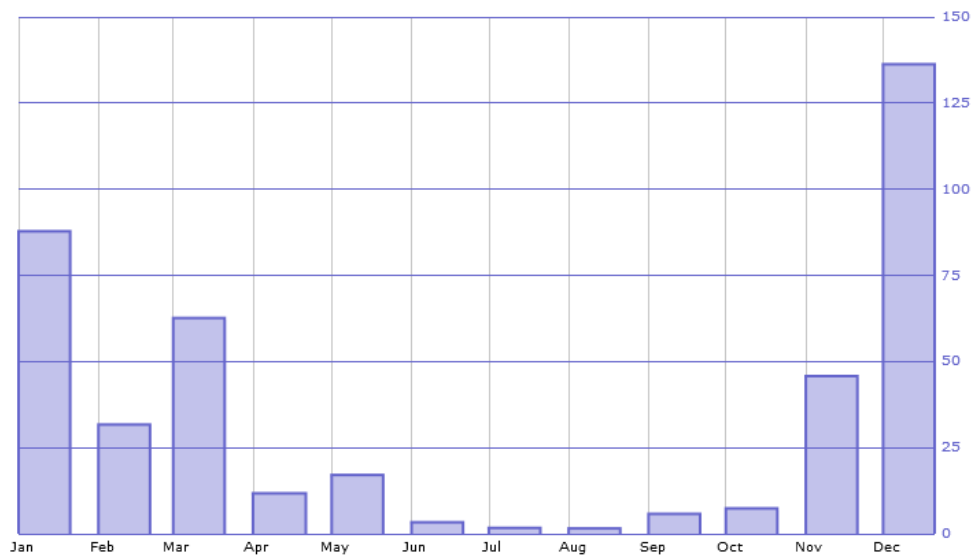
Διάγραμμα 0.6: Κατανομή βροχόπτωσης (mm) για το έτος 2000

Στο Διάγραμμα 5.6 παρουσιάζεται η κατανομή της βροχόπτωσης για το έτος 2000.



Διάγραμμα 0.7: SPI-12 (2016)

Για το έτος 2016 οι τιμές του δείκτη SPI₁₂ παρουσιάζουν αρνητικές τιμές για τους μήνες Μάρτιο ως και Δεκέμβριο ενώ για τον δείκτη SPI₃ οι τιμές είναι αρνητικές για τους μήνες Ιανουάριο έως Ιούλιο καθώς και για τον μήνα Νοέμβριο. Ειδικότερα για τον μήνα Ιανουάριο η τιμή του δείκτη λαμβάνει τιμή μικρότερη του -1. Γενικότερα οι τιμές του δείκτη για τα διαστήματα 3, 6, 9 και 12 μηνών κυμαίνονται σε αρνητικά επίπεδα γεγονός που υποδηλώνει ότι η βροχόπτωση για το μεγαλύτερο μέρος του έτους κυμάνθηκε σε συγκριτικά χαμηλότερα επίπεδα.



Διάγραμμα 0.8: Κατανομή της βροχόπτωσης (mm) για το έτος 2016

Στο Διάγραμμα 5.8 παρουσιάζεται η κατανομή της βροχόπτωσης για το έτος 2016.

Οι τιμές του δείκτη για το έτος 2016, παρουσιάζονται συγκριτικά περισσότερο αρνητικές σε σχέση με τις αντίστοιχες του έτους 2000, Διαγράμματα 5.7 και 5.5 αντίστοιχα, γεγονός που υποδηλώνει ότι κατά το έτος 2016 έχει παρατηρηθεί γενικότερα μείωση των ποσοστών βροχόπτωσης σε σχέση με το έτος 2000.

Το γεγονός αυτό ενισχύεται συνεκτιμώντας τις τιμές του δείκτη SPI για τα έτη 2000 και 2016 και για τα χρονικά διαστήματα 3 και 6 μηνών όπου παρατηρούνται περισσότερες αποκλίσεις προς το αρνητικότερο για τα ποσοστά βροχόπτωσης (μείωση της βροχόπτωσης) Πίνακας 7.5

Τα πιο πάνω ευρήματα αξιολογήθηκαν με βάση τα μετεωρολογικά στοιχεία βροχόπτωσης των υδρολογικών ετών 1999-2000 και 2015-2016. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι η μέση ετήσια βροχόπτωση και για τα δυο έτη, ήταν σημαντικά μειωμένη (Πίνακας 7.1 , Παράρτημα Ι) σε σχέση με την αντίστοιχη μέση τιμή της κανονικής περιόδου ενώ βάσει των ποσοστών βροχόπτωσης, θεωρείται ότι επικρατούν συνθήκες ανομβρίας και σοβαρής ανομβρίας κατά τα έτη 1999-2000 και 2015-2016, αντίστοιχα (Πίνακες 7.2 και 7.3, Παράρτημα Ι).

Κεφάλαιο 6

Επίλογος

6.1 Συμπεράσματα

Η ξηρασία αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η Κύπρος καθώς οι υδάτινοι πόροι της είναι περιορισμένοι. Οι συνθήκες ξηρασίας που ήδη παρατηρούνται, προβλέπεται ότι θα οξυνθούν περαιτέρω στο μέλλον λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και της μεταβολής των επιπέδων βροχόπτωσης ως συνέπεια της κλιματικής αλλαγής.

Η έξαρση φαινομένων, όπως η ξηρασία, και η συχνή επανεμφάνισή της έχει σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στον ευρύτερο οικονομικό τομέα της χώρας. Η διερεύνηση και παρακολούθηση του φαινομένου παρουσιάζει επομένως ένα ιδιαίτερο ερευνητικό και πρακτικό ενδιαφέρον.

Η αναγνώριση, ποσοτικοποίηση και η παρακολούθηση του φαινομένου της ξηρασίας είναι εν γένει μια δύσκολη διαδικασία, η οποία όμως είναι απαραίτητη για τη λήψη των απαραίτητων μέτρων με σκοπό την έγκαιρη και πιο αποτελεσματική αντιμετώπιση των συνεπειών του φαινομένου αυτού.

Για την εκτίμηση και αξιολόγηση των κύριων χαρακτηριστικών της ξηρασίας στην παρούσα διατριβή (ένταση, χωρική κατανομή), χρησιμοποιήθηκαν δύο δείκτες ξηρασίας οι δείκτες Κανονικοποιημένου Δείκτη Υγρασίας (Normalized Difference Water Index - NDWI) και ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Βροχόπτωσης (Standardized Precipitation Index - SPI)

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας, όσον αφορά τον Δείκτη NDWI, περιελάμβαναν τη χρήση και την επεξεργασία δορυφορικών εικόνων των δορυφόρων Landsat 7 και Landsat 8, χωρικής διακριτικής ικανότητας 30 m. Η χωρική διακριτική ικανότητα των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, κρίνεται αρκούντως ικανοποιητική, καλύπτοντας ολόκληρη την επικράτεια της Κύπρου, περιλαμβανομένου και του κατεχόμενου τμήματος του νησιού.

Επίσης υπολογίστηκε ο Τυποποιημένος Δείκτης Βροχοπτώσεων (SPI) με τη χρήση μετεωρολογικών στοιχείων βροχόπτωσης μέσω της εφαρμογής του «Εθνικού Κέντρου

Αντιμετώπισης της Ξηρασίας των ΗΠΑ» (The National Drought Mitigation Center (NDMC), University of Nebraska-Lincoln)

Ο Δείκτης SPI είναι ένας μετεωρολογικός δείκτης ο οποίος ήδη χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ξηρασίας στην Κύπρο και έχει υιοθετηθεί στο εθνικό «Σχέδιο Διαχείρισης Ξηρασίας» ως ο κυριότερος Δείκτης για την παρακολούθηση του φαινομένου (ΤΑΥ, 2013) ενώ έχει αξιολογηθεί θετικά από τους Pashiardis και Michaelides (2008).

Για τον υπολογισμό του απαιτούνται μετεωρολογικά στοιχεία βροχόπτωσης καθώς και μια ικανοποιητική χρονοσειρά βροχοπτώσεων παρελθόντων ετών. Μέσω του δείκτη προσδιορίζεται η απόκλιση της βροχόπτωσης από τα συνήθη επίπεδα για μια δεδομένη χρονική κλίμακα.

Η επιλογή του έχει γίνει κατά κύριο λόγο διότι παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, μεταξύ των οποίων είναι η ευκολία υπολογισμού του, η δυνατότητα συγκρισιμότητας μεταξύ περιοχών με διαφορετικά χαρακτηριστικά και η δυνατότητα εκτίμησης της ξηρασίας σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες, δεδομένης της διαθεσιμότητας ικανοποιητικής χρονοσειράς βροχοπτώσεων (WMO, 2012).

Οι εγγενείς όμως δυσκολίες που παρουσιάζονται πολλές φορές κατά τη διαδικασία λήψης και καταγραφής αυτών των δεδομένων βροχόπτωσης, ο σημειακός χαρακτήρας λήψης τους και το σχετικά αραιό δίκτυο των μετεωρολογικών σταθμών, περιορίζουν εν μέρη την αποτελεσματικότητα του καθώς δεν παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες που σχετίζονται με τη χωρική έκταση του φαινομένου ενώ δεν λαμβάνονται υπόψη άλλες σημαντικές παραμέτροι όπως η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία κτλ.

Στον αντίποδα οι δορυφορικοί δείκτες δίνουν τη δυνατότητα εκτίμησης μιας ιδιαίτερα σημαντικής παραμέτρου, της χωρικής έκτασης και κατανομής του φαινομένου. Όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση οι δορυφορικοί δείκτες δεν έχουν αξιοποιηθεί επαρκώς για την αξιολόγηση και παρακολούθηση της ξηρασίας στην Κύπρο (Hadjimitsis et al., 2010). Κρίθηκε επομένως σκόπιμο όπως η ξηρασία διερευνηθεί και με τη χρήση ενός δορυφορικού δείκτη.

Ο δείκτης NDWI έχει αξιολογηθεί θετικά για την εκτίμηση της υδατικής κατάστασης της βλάστησης από τους (Jackson et al., 2004; Ceccato et al, 2002; Gu et al 2007; Gao, 1996) μια ιδιότητα που συνδέεται άμεσα με το φαινόμενο της ξηρασίας. Περαιτέρω η υψηλή διακριτική ικανότητα που προσφέρεται από τα κανάλια υπερύθρων των δορυφόρων Landsat παρέχουν

μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα ενώ δίνεται η δυνατότητα για καθολική κάλυψη της περιοχής μελέτης.

Συνοψίζοντας μπορούμε να καταλήξουμε σε κάποιες βασικές διαπιστώσεις:

Με βάση την ανάλυση του δείκτη SPI και του δείκτη NDWI προκύπτει ότι τόσο για το έτος 2000 όσο και για το έτος 2016 υπάρχει μια αρνητική απόκλιση των επιπέδων βροχόπτωσης, όπως προκύπτει από τον υπολογισμό των επιμέρους δεικτών για τις χρονικές περιόδους που υπολογίστηκαν. Ανάλογη μεταβολή αποτυπώνεται και στο δείκτη NDWI για την αντίστοιχη περίοδο. Όπου καταγράφεται μια σαφής αρνητική μεταβολή στην υδατική κατάσταση της βλάστησης.

Τα πορίσματα για την υδατική κατάσταση της βλάστησης που έχουν εκτιμηθεί από τον δείκτη NDWI είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του δείκτη SPI καθώς και με τα μετεωρολογικά στοιχεία βροχόπτωσης για την περίοδο μελέτης, αποδεικνύοντας τη δυνατότητα χρήσης του δείκτη NDWI για την εκτίμηση της ξηρασίας καθώς και την παρακολούθηση της χωρικής και χρονικής εξέλιξης του φαινομένου.

Ο δείκτης NDWI δίνει μια σαφέστερη εικόνα αναφορικά με τη χωρική κατανομή του φαινομένου της ξηρασίας, αναδεικνύοντας τα επιμέρους σημεία που χρίζουν περαιτέρω προσοχής.

6.2 Προτάσεις

Η παρακολούθηση της ξηρασίας στην Κύπρο, βασίζεται κυρίως σε μετεωρολογικά και υδρολογικά δεδομένα που συχνά δεν είναι άμεσα διαθέσιμα και δεν καλύπτουν το σύνολο της επικράτειας ενώ απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα για την συλλογή και ανάλυση τους.

Η εύκολη πρόσβαση σε δορυφορικά δεδομένα, η καλύτερη χωρική διακριτική ικανότητα των δορυφόρων νέας γενιάς, το πολύ χαμηλό κόστος των δορυφορικών δεδομένων και η δυνατότητα για πιο συχνή και επαναλαμβανόμενη επισκόπηση μιας περιοχής, προσφέρει μια αξιόλογη εναλλακτική επιλογή για την παρακολούθηση και εκτίμηση της ξηρασίας.

Ειδικότερα τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί μια σημαντική ανάπτυξη της δορυφορικής τεχνολογίας και της τεχνογνωσίας, η οποία καθιστά τις μεθόδους αυτές περισσότερο αξιόπιστες στην απεικόνιση δεδομένων, αλλά και στην εκτίμηση παραμέτρων όπως είναι η ξηρασία.

Η συστηματική παρακολούθηση δεικτών βλάστησης, όπως ο NDWI σε συνδυασμό με την αξιολόγηση και άλλων υδρομετεωρολογικών δεδομένων, επιτρέπει την παρακολούθηση της εξέλιξης φαινομένων, όπως η ξηρασία με μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία.

Κρίνεται επομένως σκόπιμο όπως η χρήση δορυφορικών δεικτών ενταχθεί ως επέκταση του υφιστάμενου εθνικού συστήματος για την παρακολούθηση και αξιολόγηση της ξηρασίας.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

1. *Bannari, A., Morin, D., Huette, R., and Bonn, F.(1995). A review of vegetation indices. Remote Sensing Reviews, vol 13, pp. 95–120.*
2. *Basso, B., Cammarano D., De Vita, P. (2004). Remotely sensed vegetation indices. theory and application for crop management. Rivista Italiana di Agrometeorologia, vol 1, pp. 36-53.*
3. *Bruggeman, A., Hadjinicolaou, P., Lange, A., Zoumides, C., Pashiardis, S., Zachariadis, T.(2011). Effect of climate variability and climate change on crop production and water resources in Cyprus. The Cyprus Institute, Cyprus University of Technology, Cyprus.
http://www.eewrc.cyi.ac.cy/system/files/Bruggeman_etal_climate_and_agriculture_Cyprus_Jun2011.pdf [πρόσβαση: 30.03.2018]*
4. *Carlson, T.and Ripley, D. (1997). On the relationship between fractional vegetation cover, leaf area index, and NDVI. Remote Sensing of Environment, vol 62, pp.241–252.*
5. *Ceccato, P., Flasse, S., and Gregoire, M. (2002). Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data. Part 2. Validation and applications. Remote Sensing of Environment, 82, pp.198-207.*
6. *Che, N. and Price, C.(1992). Survey of Radiometric calibration results and methods for visible and near infrared channels of NOAA-7, -9, and -11 AVHRRs. Remote Sens. Environ., 41, pp.19–27.*
7. *Cook, B., Anchukaitis, J., Touchan, R. (2016). Spatiotemporal drought variability in the Mediterranean over the last 900 years. Journal of Geophysical Research. Atmospheres 121, pp.2060–2074.*
8. *CYPADAPT.(2012), Report on the climate change impact, vulnerability and adaptation assessment for the case of Cyprus'. Deliverable 1.2, project CYPADAPT LIFE10 ENV/CY/000723. <http://cypadapt.uest.gr/wp-content/uploads/DELIVERABLE2.1.pdf> [πρόσβαση: 10.02.2018]*
9. *CYPADAPT. (2013). Report on the future climate change impact, vulnerability and adaptation assessment for the case of Cyprus. Deliverable 3.4, project CYPADAPT LIFE10 ENV/CY/000723.
<http://uest.ntua.gr/cypadapt/wpcontent/uploads/DELIVERABLE3.4.pdf> [πρόσβαση: 10.02.2018]*
10. *Dave, V. (1980). Effect of atmospheric conditions on remote sensing of*

- vegetation parameters. *Remote Sens. Environ.*, vol 10, pp.87-99.
11. *Dracup, A., Lee, S. and Paulson G., (1980). On the definition of droughts. Water Resour. Res.*,16, pp.297–302.
 12. *Dubrovsky, M., Hayes, M., Duce, P., Trnka, M., Svoboda, M., and Zara, P. (2014). Multi-GCM projections of future drought and climate variability indicators for the Mediterranean region. Regional Environmental Change*,14, pp.1907–1919.
 13. *E.E, Ευρω-Μεσογειακό Περιφερειακό Πρόγραμμα για Τοπική Διαχείριση Υδάτων (MEDAWater), Μεσογειακή Ετοιμότητα και Σχεδιασμός Περιορισμού της Ξηρασίας (MEDROPLAN). (2006). Οδηγίες Διαχείρισης της Ξηρασίας. <http://www.iamz.ciheam.org/medroplan/guidelines/downloads.html> [πρόσβαση: 10.03.2018]*
 14. *European Environment Agency. (2008). Impacts of Europe’s changing climate—2008 indicator- based assessment, Report No.4/2008. EEA: Copenhagen, Denmark. https://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_4 [πρόσβαση: 5.03.2018]*
 15. *European Environment Agency. (2015). National monitoring, reporting and evaluation of climate change adaptation in Europe. Technical Report No. 20/201. EEA: Copenhagen, Denmark. <https://www.eea.europa.eu/publications/national-monitoring-reporting-and-evaluation> [πρόσβαση: 5.03.2018]*
 16. *European Environment Agency. (2017). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report No 1/2017EE: Copenhagen. <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016> [πρόσβαση: 6.03.2018]*
 17. *Elvidge, D., and Lyon, P. (1985). Influence of rock-soil spectral variation on assessment of green biomass, Remote Sens. Environ. Vol 17, pp.265-279.*
 18. *Environment Department. (2008). National Action Plan to Combat Desertification, Ministry of Agriculture, Natural Resources and Environment, Nicosia.*
 19. *European Commission, Directorate-General Environment. (2007). Water scarcity and droughts. In depth assessment; Second Interim Report. EC: Brussels, Belgium. https://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/comm_droughts/2nd_int_report.pdf [πρόσβαση: 6.02.2018]*
 20. *European Commission. (2008). Drought Management Plan Report Including Agricultural, Drought Indicators and Climate Change Aspects. Water Scarcity and Droughts Expert Network, Technical Report - 2008 – 023.EC: Brussels, Belgium.*

https://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/dmp_report.pdf
[πρόσβαση: 6.02.2018]

European Commission. (2013). *An EU Strategy on adaptation to climate change*. Document COM(2013) 216 final. EC:

21. Brussels, Belgium. Available at. http://ec.europa.eu/clima/news/articles/news_2013041601_en.htm [πρόσβαση: 6.02.2018]
22. European Environment Agency. (2010). *Main drought events in Europe, 2000–2009*. <https://www.eea.europa.eu/.../main-drought-events-in-europe-200020132009/fancybox.html>
23. Evans, P. (2009). *21st century climate change in the Middle East*. *Climatic Change*, Vol 92(3-4), pp.417–432.
24. Farrar, T., Nicholson, E., Lare, R. (1994). *The influence of soil type on the relationships between NDVI, rainfall, and soil moisture in semiarid Botswana*. *NDVI response to soil moisture*. *Remote Sensing of Environment*, 50, pp.121–133.
25. Gao, C. (1996). *NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space*. *Remote Sensing of Environment*, 58, pp.257-266.
26. Glenn, P., Huete, R., Nagler, L., and Nelson, G. (2008). *Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes. what vegetation indices can and cannot tell us about the landscape*. *Sensors*, 8(4), pp.2136-2160.
27. Gu, Y., Brown, F., Verdin, P., and Wardlow, B. (2007). *A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States*. *Geophysical Research Letters* Volume 34.
28. Guttman, N.B., (1998). *Comparing the Palmer drought index and the Standardized Precipitation Index*. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1). Pp.113–121.
29. Hadjimitsis D.G., Agapiou, T., Clayton C.R.I. (2007). *‘Overview of satellite remote sensing applications in Cyprus’, Third International Conference “Earth from Space – the Most Effective Solutions” Moscow, Russia*.
30. Hadjimitsis, G., Papadavid, G., Agapiou, A., Themistocleous, K., Retalis, A., Michaelides, S., Chrysoulakis, N., Toullos, L., Clayton, I. (2010). *Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intended for agricultural applications. impact on vegetation indices*. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, pp.89-95.
31. Hadjinicolaou, P., Giannakopoulos, C., Zerefos, C., Lange, M. A., Pashiardis, S., & Lelieveld, J. (2011). *Mid-21st century climate and weather extremes in Cyprus*

- as projected by six regional climate models. *Regional Environmental Change*, 11, pp. 441–457.
32. Hall, G., Townshend, R., & Engman, T. (1995). Status of Remote-Sensing Algorithms for Estimation of Land-Surface State Parameters. *Remote Sensing of Environment*, Vol 51, pp.138-156.
33. Hayes, M.J. (2006). "Drought indices". <http://www.drought.unl.edu/whatis/indices.htm>. [Πρόσβαση. 11.03. 2018].
34. Hayes M.J., Alvord C. and Lowrey J., (2007). Drought Indices. Feature Article, *Intermountain West Climate Summary*, 3(6), pp.2-6.
35. Heim, R., (2002). A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), pp.1149-1165.
36. Huete, A. R., Jackson, R. D., & Post, D. F. (1985). Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sensing of Environment*, 17, pp.37– 53.
37. Huete, A. R., & Jackson, R. D. (1987). Suitability of spectral indices for evaluating vegetation characteristics on arid rangelands. *Remote Sensing of Environment*, 23, pp.213– 232.
38. Huete, R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI), *Remote Sens. Environ.*, Vol 25, pp. 295–309.
39. Huete, A. R., and R. D. Jackson,, (1988). Soil and atmospheric influences on the spectra of partial canopies, *Remote Sensing of Environ.*, 25. pp.89-105.
40. Huete, A.R., (1989). "Soil influences in remotely sensed vegetation-canopy spectra," In. Asrar, G. (Ed.), *Theory and Application of Optical Remote Sensing*. New York: Wiley.
41. Huete, R., Liu, Q., Batchily, K. and Van Leeuwen, W., (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59(3), pp.440-451.
42. IPCC. (2007). *Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva.
43. IPCC. (2014). *Climate change 2014. Synthesis report*. In Core Writing Team, R. K. Pachauri, & L. A. Meyer (Eds.), *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (151 pp.). Geneva.
44. Jackson, R.D. (1986) Spectral response of architecturally different wheat canopies. *Remote Sensing of Environment*, Vol.20, pp.43-56.

45. Jackson, R. D., Slater, P. N., and Pinter, P. J., Jr. (1983). Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. *Remote Sens. Environ*, 13, pp.187-208.
46. Jackson, T., Daoyi, C., Cosh, M., Fuqin, L., Anderson, M. (2004). Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans *Remote Sensing of Environment Vol*, 92, pp. 475–482.
47. Ji, L. and Peters, A. (2003). “Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices”. *Remote Sensing of Environment*, 87, pp. 85–89.
48. Jiang, Z., Huete, A., Chen, J., Chen, Y., Li, J., Yan, G., Zhang, X. (2006). Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 101, pp.366–378.
49. JRC (European Commission’s Joint Research Centre). (2014). *Climate impacts in Europe. The JRC PESETA II Project. JRC Scientific and Policy Reports, EUR 26586EN. <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=7181> [πρόσβαση: 6.01.2018]*
50. Keyantash J. A. and Dracup J. A. (2002). “The quantification of drought. An evaluation of drought indices”. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83, pp.1167–1180.
51. Kogan F. N. (1997). “Global drought watch from space”. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 78, pp.621–636.
52. Kogan, F. N. (2000). *Contribution of remote sensing to drought early warning. In Early warning systems for drought preparedness and drought management. Ed. D.A. Wilhite and D.A. Wood. Geneva: World Meteorological Organization.*
53. Kogan, F. N., Zhu, X. (2001). Evolution of long-term errors in NDVI time series. 1985–1999. *Advances in Space Research, Vol28*, pp.149–153.
54. Kundzewicz, Z. W., Radziejewski, M., and Pinskiwar, I. (2006). Precipitation extremes in the changing climate of Europe, *Climate Res.*, Vol. 1, pp.51–58.
55. Lawrence R.L. and Ripple W.J., (1998). Comparisons among vegetation indices and bandwise regression in a highly disturbed, heterogeneous landscape. *Mount St. Helens, Washington. Remote Sensing of Environment*, 64, pp.91-102.
56. Le Houerou H. N. (1996). “Climate change, drought and desertification”. *J. Arid Environ.*,34, pp.133–185.
57. Lelieveld, J., Hadjinicolaou, P., Kostopoulou, E., Chenoweth, J., El Maayar, M., Giannakopoulos, C., (2012). *Climate change and impacts in the eastern Mediterranean and the Middle East. Climatic Change*, 114, pp.667–687.

58. Lillesand, T., Kiefer, R., Chipman, J. (2008). *Remote Sensing and Image Interpretation*, 6th Edition. NY: John Wiley & Sons, inc.
59. Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., Moran, E., (2002). Assessment of Atmospheric Correction Methods for Landsat TM data applicable to Amazon basin LBA research. *International Journal of Remote Sensing*, 23, pp. 2651–2671.
60. Major, D. J., Baret, F. and Guyot, G. (1990). A ratio vegetation index adjusted for soil brightness. *International Journal of Remote Sensing*, v. 11, p. 727-740.
61. McKee, T.B., Doesken, N., and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, 17–22 January 1993*. Boston, American Meteorological Society, 179–184.
62. Milly, D., Wetherald, R.T., Dunne, K.A., Delworth, T.L. (2002). Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature*, 415, pp.514–517.
63. Mishra, A.K., Singh, V.P., (2010). A review of drought concepts. *J. Hydrol.*, 391 (1–2), pp.202–216.
64. Mishra, A., Singh, V., (2011). Drought modeling – A review. *Journal of Hydrology*, 403, pp. 157–175.
65. Myneni, R.; Hall, F., Sellers, P.; Marshak, A. (1995). The interpretation of spectral vegetation indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 1995, 33, pp.481- 486.
66. Nagler, P., Glenn, E., Huete, A. (2001). Assessment of vegetation indices for riparian vegetation in the Colorado River delta, Mexico. *Journal of Arid Environments*, 49, pp.91–110.
67. Namias J. (1983). “Some causes of United States drought”. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 22, pp.30–39.
68. Nasa. (2018). Carbon-dioxide. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/> [πρόσβαση, 5.1.2018]
69. National Drought Mitigation Center (NDMC), University of Nebraska-Lincoln. *Monitoring tools. SPI*.
<http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>.
[πρόσβαση, 23.4.2018]
70. Nicholson, E., Tucker, J., Ba, B. (1998). “Desertification, drought and surface vegetation. An example from the west African Sahel”. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79, pp.815–829.
71. Niemeyer, S. (2008). New drought indices. *Options Méditerranéennes. Série A. Séminaires Méditerranéens*, 80. pp. 267–274.
72. Ntale, K. and Gan, T. (2003). “Drought indices and their application to East

- Africa*". *International Journal of Climatology*, 23, pp.1335–1357.
73. Ormsby, J., Choudry, B., Owe, M. (1987). *Vegetation spatial variability and its effect on vegetation indexes. International Journal of Remote Sensing*, 8, pp.1301–1306.
74. Palmer, WC (1965). *Meteorological drought. U.S. Research Paper No. 45. Washington: US Weather Bureau, .*
75. Paolini, G., Sobrino, J., Muñoz, J., Karszenbaum, H. (2006). *Radiometric correction effects in Landsat multi-date/multi-sensor change detection studies. International Journal of Remote Sensing*, 27, (4). pp. 6850-704.
76. Papadaskalopoulou, C., Giannakopoulos, C., Lemesios, G., Zachariou-Dodou, M., Loizidou, M., (2014). *Challenges for water resources and their management in light of climate change. the case of Cyprus, Desalination and Water Treatment*, 53.12, pp.3224-3233.
77. Papadavid, G, Agapiou, A., Michaelides, S. and Hadjimitsis, D.G. (2009). *The integration of meteorology and remote sensing for monitoring irrigation demand in Cyprus, Natural Hazards and Earth System Sciences Journal* , 9 (6), pp. 2009-2014.
78. Papadavid, G., Agapiou, A. and Hadjimitsis, D.G. (2010) *Validation of remote sensing vegetation indices, indented for hydrological purposes, through field spectroscopy, 10th International Conference on Meteorology – Climatology and Atmospheric Physics (10th COMECAP), 15-21/5/2010, University of Patras.*
79. Papadavid G., Hadjimitsis D.G., Toullos, L., and Michaelides S. (2011). *Mapping potato crop height and leaf area index through vegetation indices using remote sensing in Cyprus, J. Appl. Remote Sens.* 5, pp. 53-526.
80. Pashiardis, S. and Michaelides, S. (2008). *Implementation of the Standardized Precipitation Index (SPI) and the Reconnaissance Drought Index (RDI) for Regional Drought Assessment. A case study for Cyprus. European Water*, 23/24, pp. 57-65.
81. Pashiardis S (2009). *'Climate changes. Precipitation and temperature trends in Cyprus'. Meteorological Service of Cyprus.*
82. Peters, A. J., E. A. Walter-Shea, L. Ji, A. Vina, M. J. Hayes, and M. D. Svoboda, (2002). *Drought Monitoring with NDVI-based Standardized Vegetation Index. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol 68, pp. 71-75.
83. Pettorelli, N., Vik, J., Mysterud, A., Gaillard, J., Tucker, C., Stenseth, N. (2005). *Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. Trends in Ecology and Evolution* , Vol. 20, pp.503–510.
84. Purkis, S., Klemas, V. (2011). *Remote Sensing and Global Environmental*

- Change*. New York: John Wiley & Sons.
85. Reed, B. C. (1993). Using remote sensing and Geographic Information Systems for analyzing landscape/drought interaction. *International Journal of Remote Sensing*, 14, pp.3489–3503.
86. Richards, A.J., (2013) *Remote Sensing Digital Image Analysis-An Introduction*. Berlin: Springer-Verlag.
87. SEOS, 2018. *Science Education through Earth Observation for High Schools*. <http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c01-s03.gr.html> [πρόσβαση 4.4.2018].
88. Shoukri, E., & Zachariadis, T. (2012). *Climate Change in Cyprus. Impacts and adaptation policies*. Environmental Policy Research Group Report 01-12. Cyprus University of Technology, Limassol, Cyprus. http://works.bepress.com/theodoros_zachariadis/24 [πρόσβαση 20/3/2018]
89. Steinemann, A., Hayes, M., and Cavalcanti, L., (2005). "Drought indicators and triggers." *Drought and water crises. Science, technology, and management issues*. New York: ed. D. Wilhite, Dekker.
90. Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change. The Stern review*. Cambridge: Cambridge University Press.
91. Teillet, P. M., Staenz, K., Willams, D. J. (1997). Effects of spectral, spatial, and radiometric characteristics on remote sensing vegetation indices of forested regions. *Remote Sensing of Environment*, 61, pp.139–149.
92. Thenkabail, P.S., N. Gamage, and V. Smakhin, (2004). *The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in southwest Asia*, IWMI Research Report # 85, IWMI, Colombo, Sri Lanka.
93. Tsakiris, G., Loukas, A., Pangalou, D., Vangelis, H., Tigkas, D., Rossi, G., and Cancelliere, A. (2007). Drought characterization. *Options Méditerranéennes*, 58. pp.85–102.
94. Tucker, C. J., & Miller, L. D. (1977). Soil spectra contributions to grass canopy spectral reflectance. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43, pp.721–726
95. Tucker C.J.(1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), pp.127-150.
96. Tucker, C. J., and B. J. Choudhury, 1984. Satellite Remote Sensing of Drought Conditions.. *Remote Sensing of Environment*, Volume 23, p. 243–251.
97. U.S. Geological Survey. 2018. *U.S. Department of the Interior - U.S. Geological Survey*. <http://landsat.usgs.gov/>. [πρόσβαση, 6.1.2018].
98. Vicente-Serrano, M. (2007). "Evaluating the Impact of Drought Using Remote

- Sensing in a Mediterranean, Semi-arid Region". Natural Hazards, Vol. 40, pp.173–208.*
99. Wang, J., Price, K. P., Rich, P. M. (2001). *Spatial patterns of NDVI in response to precipitation and temperature in the central Great Plains. International Journal of Remote Sensing* ,22 pp.3827–3844.
100. Wilhite D.A and M.H. Glantz, (1985). *Understanding. the Drought Phenomenon. The Role of Definitions. Water International*, 10(3), pp.111-120.
101. World Meteorological Organization. (1975). *"Drought and Agriculture". World Meteorological Organization Technical Note No 138. 392, Geneva, Switzerland.*
102. World Meteorological Organization. (1986). *The Global Climate System, A contribution to the Global Environmental Monitoring System. Geneva: WMO.*
103. World Meteorological Organization. (1992). *International Meteorological Vocabulary. 2d ed. WMO No. 182, Geneva: WMO.*
104. World Meteorological Organization. (2006). *Drought monitoring and early warning. Concepts, progress and future challenges. Weather and climate information for sustainable agricultural development. Geneva: WMO.*
105. World Meteorological Organization, (2012), *Standardized Precipitation Index User Guide, WMO-No. 1090, 2012. Geneva: WMO.*
106. Wu, H., Svoboda, M., Hayes, M., Wilhite, D. and Wen, F. (2007). *Appropriate application of the Standardized Precipitation Index in arid locations and dry seasons. International Journal of Climatology*, 27(1). pp.65–79.
107. Xue, J., & Su, B. (2017). *Significant remote sensing vegetation indices. A review of developments and applications. Journal of Sensors*, 2017.
108. Zachariadis, T. (2010). *'Residential Water Scarcity in Cyprus. Impact of Climate Change and Policy Options', Water 2., pp.788-814.*
109. Zachariadis T., (2016). *Climate Change in Cyprus. Review of the Impacts and Outline of an Adaptation strategy, Springer Briefs in Environmental Science.*
110. World Travel and Tourism Council-WTTC. (2018).
<https://www.wttc.org/-/media/files/reports/economic-impact.../cyprus2017.pdf>
111. Zargar, A.,Sadiq R.,Naser B.,Khan, F. (2011). *A review of drought indices. Environmental Reviews*, 19, pp.333–349.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Κυπριακός Οργανισμός Τουρισμού. (2018). Στατιστικά Στοιχεία Τουρισμού.
112. <http://www.visitcyprus.biz/wps/portal/b2b>
- Μερτίκας, Π.Σ. (2009). Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας: Αθήνα.
113. ΙΩΝ.
- Μηλιαρέσης, Χ.Γ. (2003). Φωτοερμηνεία – Τηλεπισκόπηση. Αθήνα: ΙΩΝ.
114.
- Μπαής, Α., Μπαλή, Δ., Τουρπάλη, Κ. (2011). Φυσική της Ατμόσφαιρας –
115. Σημειώσεις. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Περάκης, Κ., Φαρασλής, Ι., Μωυσιάδης, Α. (2015). Η Τηλεπισκόπηση σε 13
116. Ενότητες. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Σταγάκης, Σ. (2012). Αξιολόγηση και χρήση τεχνικών τηλεπισκόπησης για την
117. παρακολούθηση της δυναμικής χερσαίων οικοσυστημάτων. Διδακτορική
Διατριβή, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.
- Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων. (2013). Σχέδιο Διαχείρισης Ξηρασίας.
118. [http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/index_gr/index_gr?OpenDocumen
t](http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/index_gr/index_gr?OpenDocument). [πρόσβαση, 5.3.2018]
- Τμήμα Δασών. (2018). Η χλωρίδα των δασών της Κύπρου.
119. [http://www.moa.gov.cy/moa/fd/fd.nsf/DMLindex_gr/DMLindex_gr?OpenDocu
ment](http://www.moa.gov.cy/moa/fd/fd.nsf/DMLindex_gr/DMLindex_gr?OpenDocument) [πρόσβαση, 5.3.2018]
- Τμήμα Μετεωρολογίας. Το κλίμα της Κύπρου. (2016). Μετεωρολογική
Υπηρεσία Κύπρου.
120. [http://www.moa.gov.cy/moa/ms/ms.nsf/DMLindex_gr/DMLindex_gr?OpenDoc
ument](http://www.moa.gov.cy/moa/ms/ms.nsf/DMLindex_gr/DMLindex_gr?OpenDocument). [πρόσβαση, 5.3.2018]
- Στατιστική Υπηρεσία Κύπρου. (2018). Στατιστικές Περιβάλλοντος, 2006.
121. [http://www.mof.gov.cy/mof/cystat/statistics.nsf/index_gr/index_gr?OpenDocu
ment](http://www.mof.gov.cy/mof/cystat/statistics.nsf/index_gr/index_gr?OpenDocument). [πρόσβαση, 5.3.2018]
- Στατιστική Υπηρεσία Κύπρου. (2018). Απογραφή Πληθυσμού, 2011.
122. [http://www.mof.gov.cy/mof/cystat/statistics.nsf/index_gr/index_gr?OpenDocu
ment](http://www.mof.gov.cy/mof/cystat/statistics.nsf/index_gr/index_gr?OpenDocument). [πρόσβαση, 5.3.2018]

Παράρτημα Ι

Πίνακας 7.1: Ποσοστιαία μεταβολή των βροχοπτώσεων και των εισροών στις λεκάνες απορροής των κυρίων φραγμάτων της Κύπρου (1970-2050) (πηγή :ΤΑΥ, 2017)

| Λεκάνη απορροής φράγματος | Μεταβολή (%) (1970-2000)-(2021-2050) | |
|---------------------------|--------------------------------------|------------|
| | Εισροές στο φράγμα | Βροχόπτωση |
| Μαυροκόλυμπος | -17% | -6.2% |
| Λεύκαρα | -11% | -3.5% |
| Ευρέτου | -10% | -4.5% |
| Κανναβιού | -14% | -4.5% |
| Ασπρόκρεμμος | 6% | 1.1% |
| Αρμίνου | -15% | -5.8% |
| Κούρης | -20% | -7.1% |
| Πολεμίδια | -26% | -7.1% |
| Γερμασόγεια | -28% | -7.1% |
| Καλαβασός | -35% | -6.1% |
| Διπόταμος | -11% | -4.0% |

Πίνακας 7.2 : : Ετήσια Μέση Βροχόπτωση Υδρολογικών Ετών 1980-2017

| ΚΥΠΡΟΣ: ΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (Περιοχές υπό τον έλεγχο της Κυπριακής Δημοκρατίας) | | | |
|---|---------|-----|--------------------------------------|
| A/A | Έτος | mm | Ποσοστό 30 ετών (Κινητός Μ.Ο.) |
| 1 | 1980-81 | 574 | 1,12 |
| 2 | 1981-82 | 425 | 0,83 |
| 3 | 1982-83 | 437 | 0,85 |
| 4 | 1983-84 | 448 | 0,87 |
| 5 | 1984-85 | 498 | 0,97 |
| 6 | 1985-86 | 438 | 0,85 |
| 7 | 1986-87 | 520 | 1,01 |
| 8 | 1987-88 | 625 | 1,22 |
| 9 | 1988-89 | 481 | 0,94 |
| 10 | 1989-90 | 363 | 0,71 |
| 11 | 1990-91 | 282 | 0,55 |
| 12 | 1991-92 | 637 | 1,24 |
| 13 | 1992-93 | 509 | 0,99 |
| 14 | 1993-94 | 417 | 0,81 |
| 15 | 1994-95 | 493 | 0,96 |
| 16 | 1995-96 | 383 | 0,74 |
| 17 | 1996-97 | 399 | 0,78 |
| 18 | 1997-98 | 388 | 0,75 |
| 19 | 1998-99 | 473 | 0,92 |

| | | | |
|------------------|---------|------------|------|
| 20 | 1999-00 | 363 | 0,71 |
| 21 | 2000-01 | 468 | 0,91 |
| 22 | 2001-02 | 602 | 1,17 |
| 23 | 2002-03 | 561 | 1,09 |
| 24 | 2003-04 | 544 | 1,06 |
| 25 | 2004-05 | 412 | 0,80 |
| 26 | 2005-06 | 360 | 0,70 |
| 27 | 2006-07 | 479 | 0,93 |
| 28 | 2007-08 | 272 | 0,53 |
| 29 | 2008-09 | 527 | 1,02 |
| 30 | 2009-10 | 546 | 1,06 |
| 31 | 2010-11 | 464 | 0,90 |
| 32 | 2011-12 | 654 | 1,27 |
| 33 | 2012-13 | 544 | 1,06 |
| 34 | 2013-14 | 315 | 0,61 |
| 35 | 2014-15 | 561 | 1,09 |
| 36 | 2015-16 | 309 | 0,60 |
| 37 | 2016-17 | 413 | 0,80 |
| Μέση τιμή | | 466 | |

Πίνακας 7.3 : Χαρακτηρισμός υδρολογικού έτους σε σχέση με τα ετήσια ποσοστά βροχόπτωσης (κατάστασης ανομβρίας).

| Χαρακτηρισμός Ανομβρίας | Ποσοστό βροχόπτωσης | |
|-------------------------|---------------------|--|
| Εξαιρετική Πολυομβρία | (>130% normal) | |
| Μεγάλη Πολυομβρία | (121-130% normal) | |
| Πολυομβρία | (111-120% normal) | |
| Περίπου Κανονική | (91-110% normal) | |
| Ολιγομβρία | (81-90% normal) | |
| Ανομβρία | (71-80% normal) | |
| Σοβαρή Ανομβρία | ≤70% normal | |
| | | M.O 1901-1970 541 mm 1971-2017 466 mm |

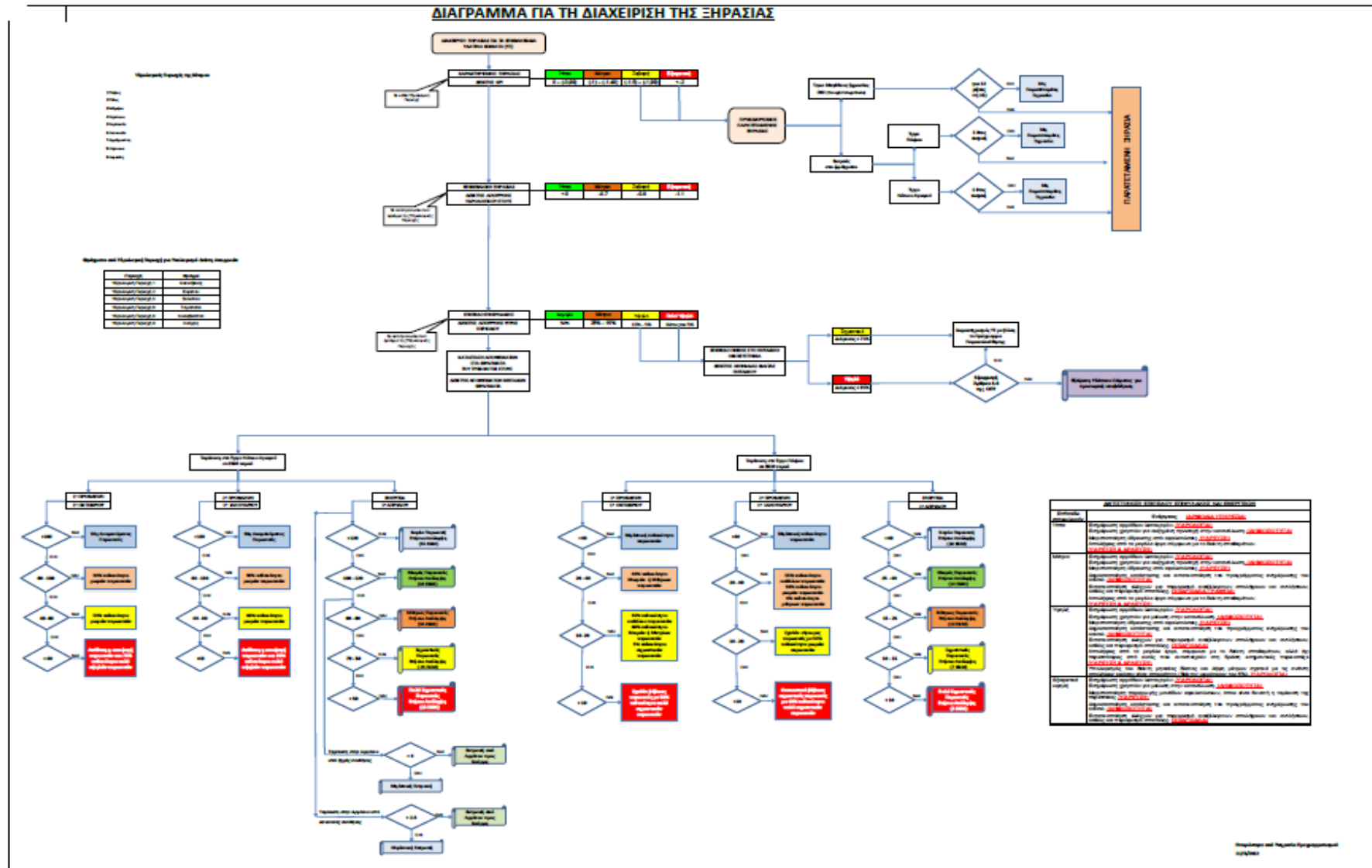
Πίνακας 7.4 : Χαρακτηρισμός κατάστασης ανομβρίας σε σχέση με ετήσια ποσοστά βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1999-2000 και 2015-2016

| Υδρολογικό έτος | Ετήσια μέση βροχόπτωση (mm) | Μέσος όρος βροχόπτωσης κανονικής περιόδου (mm) | Ποσοστό επί τοις εκατό κανονικής περιόδου | Χαρακτηρισμός έτους |
|-----------------|-----------------------------|--|---|---------------------|
| 1999- 2000 | 467 | 466 | 0,71 | Ανομβρία |
| 2015-2016 | 309 | 466 | 0,60 | Σοβαρή Ανομβρία |

Πίνακας 7.5: Τιμές δείκτη SPI για χρονικά διαστήματα 3,6,9,12 μηνών

| Ημερομηνία | SPI-3 | SPI-6 | SPI-9 | SPI-12 |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 2000-01 | -0,608 | -0,312 | -0,384 | -0,344 |
| 2000-02 | -0,028 | -0,463 | -0,404 | -0,403 |
| 2000-03 | 0,521 | -0,345 | -0,427 | -0,501 |
| 2000-04 | 1,189 | 0,053 | -0,334 | -0,264 |
| 2000-05 | 1,321 | 0,331 | -0,039 | -0,243 |
| 2000-06 | 0,847 | 0,806 | -0,092 | -0,245 |
| 2000-07 | -0,298 | 0,106 | -0,345 | -0,321 |
| 2000-08 | -0,103 | 0,423 | -0,139 | -0,313 |
| 2000-09 | 0,497 | 0,680 | -0,025 | -0,359 |
| 2000-10 | 0,797 | 0,250 | 0,269 | -0,218 |
| 2000-11 | 1,592 | 1,294 | 1,194 | 0,423 |
| 2000-12 | 1,270 | 1,380 | 1,316 | 0,896 |
| 2016-01 | -1,307 | 0,315 | 0,196 | 0,467 |
| 2016-02 | -0,322 | -0,226 | 0,017 | 0,181 |
| 2016-03 | -0,359 | -0,265 | -0,051 | -0,147 |
| 2016-04 | -0,684 | -0,719 | -0,256 | -0,208 |
| 2016-05 | -0,032 | -0,419 | -0,286 | -0,190 |
| 2016-06 | -0,686 | -0,449 | -0,353 | -0,200 |
| 2016-07 | -0,046 | -1,171 | -0,521 | -0,246 |
| 2016-08 | 0,573 | -0,711 | -0,114 | -0,238 |
| 2016-09 | 0,333 | -0,673 | -0,803 | -0,240 |
| 2016-10 | 0,586 | 0,093 | -0,864 | -0,433 |
| 2016-11 | -0,215 | -0,270 | -0,666 | -0,334 |
| 2016-12 | 0,937 | 0,409 | 0,156 | -0,322 |

Διάγραμμα: 7.1 : Διάγραμμα για τη Διαχείριση της Ξηρασίας



(πηγή: Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων, 2013)