



**ΑΝΟΙΚΤΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΚΥΠΡΟΥ**

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΑΣΤΕΡ

**Μποτσουάνα: Περιβαλλοντική
αναγνώριση από ελεύθερα γεωγραφικά
και δορυφορικά δεδομένα**

Βασιλική Καλογεροπούλου

Επιβλέπων Καθηγητής
Γιώργος Μηλιαρέσης

Μάιος , 2015

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Μποτσουάνα: Περιβαλλοντική αναγνώριση από
ελεύθερα γεωγραφικά και δορυφορικά δεδομένα**

Βασιλική Καλογεροπούλου

Επιβλέπων Καθηγητής
Γιώργος Μηλιαρέσης

Μάιος , 2015

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Ευχαριστίες

Ελληνική Περίληψη

Αγγλική Περίληψη

Πίνακες / Εικόνες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή	16
1.2 Άνυδρες και ημι-ερημικές περιοχές	17
1.3 Κλιματική αλλαγή	18
1.4 Καταγραφικά συστήματα	20
1.4.1. Landsat	21
1.4.2. MODIS	24
1.5 Καταγραφή προβλήματος	32
1.6 Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης	35
1.7 Σκοποί και στόχοι	36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2. Εισαγωγή	37
2.1 Γεωργία	46
2.2 Κλίμα	48

2.3 Εθνικά πάρκα- Προστατευόμενες Περιοχές	49
2.4 Συνοπτική παρουσίαση προβλημάτων	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ	
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	
3.1 Μεθοδολογική προσέγγιση και στόχοι	56
3.2. Δεδομένα	59
3.2.1 ΨΥΜΕ SRTM GL1	59
3.2.2. Βιοφυσικά δεδομένα	61
3.2.2.1 Καλύψεις-χρήσεις γης	61
3.2.2.1.1 Landsat NASA Mosaics	62
3.2.2.1.2 GlobCover	63
3.2.2.1.3 EVI	64
3.2.2.2 Θερμοκρασία	71
3.2.2.3 Βροχοπτώσεις	78
3.2.3. Γεωγραφικά δεδομένα	85
3.3.Βιοφυσική κατάτμηση	87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ	
4. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	93
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ	
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	98
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	

ΑΦΙΕΡΩΣΕΙΣ

Στους γονείς μου

Ευχαριστίες

Είλικρινείς ευχαριστίες στους γονείς μου και στην αδελφή μου, που αποτέλεσαν το κίνητρο για την ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών σπουδών μου τα δύο αυτά χρόνια. Η κατανόηση και η ανεκτικότητα που έδειξαν το διάστημα αυτό ήταν καθοριστικής σημασίας.

Ευχαριστίες οφείλω στον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Γεώργιο Μηλιαρέση για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου με την ανάθεση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, αλλά και για τη συνολική επίβλεψή του ώστε αυτή να περατωθεί επιτυχώς.

Επίσης ευχαριστώ όλους τους καθηγητές μου αλλά και τους συμφοιτητές μου από καρδιάς είτε για την άμεση είτε για την έμμεση συμβολή τους στην βελτίωση του επιστημονικού μου επιπέδου και τους αφιερώνω την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή.

Ελληνική Περίληψη

Η Δημοκρατία της Μποτσουάνα, έχει έκταση 600.370 τετραγωνικά χλμ. και πληθυσμό 1.990.876 κατοίκους. Συνορεύει με τη Νότια Αφρική στα νότια και νοτιοανατολικά, τη Ναμίμπια στα δυτικά, τη Ζάμπια στα βόρεια και τη Ζιμπάμπουε στα βορειοανατολικά. Μεγάλο μέρος της χώρας καλύπτεται από άγρια φύση και αποτελεί τουριστικό πόλο έλξης (Υπάρχουν έξι μεγάλα εθνικά πάρκα, 40 ελεγχόμενες οργανωμένες περιοχές για φωτογραφήσεις και έξι περιοχές για σαφάρι και κυνήγι). Η Μποτσουάνα αντιμετωπίζει σήμερα δύο σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα: την ξηρασία και την ερημοποίηση. Τα προβλήματα ερημοποίησης προέρχονται κατά κύριο λόγο από τις σοβαρές περιόδους ξηρασίας στη χώρα. Λόγω της ξηρασίας το 75% των ανθρώπινων και ζωικών πληθυσμών της χώρας εξαρτώνται από τα υπόγεια ύδατα. Τα επιφανειακά ύδατα είναι πολύ σπάνια στην Μποτσουάνα και λιγότερο από το 5% της γεωργίας στη χώρα είναι βιώσιμη από τις βροχοπτώσεις. Η χώρα αυξάνει τα βοοειδή και το ζωικό κεφάλαιο, ως μέσο για ένα εισόδημα. Ως εκ τούτου, το 71% του εδάφους της χώρας χρησιμοποιείται για κοινόχρηστη βόσκηση, η οποία είναι μια σημαντική αιτία για την ερημοποίηση της χώρας. Μία συνοπτική παρουσίαση των προβλημάτων ακολουθεί :

- Η μέση βροχόπτωση είναι μικρότερη από το μέσο όρο εξαμηνιαίας σε όλα τα μέρη της χώρας για το σύνολο του έτους. Οι περισσότεροι τύποι άρδευσης χρησιμοποιούν τα υπόγεια ύδατα και το μεγαλύτερο μέρος της άρδευσης στη χώρα χρησιμοποιείται για καλλιέργειες κηπευτικών. Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η αλατότητα του εδάφους στις γεωργικές ζώνες. Επιπλέον, υπάρχει ο κίνδυνος της μακροπρόθεσμης συσσώρευσης της αλατότητας και της περαιτέρω υποβάθμισης του εδάφους. Περίπου το 85% της γης καλύπτεται από την άμμο της ερήμου Καλαχάρι και θάμνους. Η χώρα έχει τη δυνατότητα να παράγει το 75% της εθνικής ζήτησης του σε κηπευτικά, αλλά παράγει μόνο το 20%. Οι μελέτες που έχουν αναληφθεί στη Μποτσουάνα υποδηλώνουν σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων σε ορισμένες περιοχές της χώρας: για παράδειγμα, στο νότιο τμήμα της Μποτσουάνα, οι βροχοπτώσεις αναμένεται να μειωθούν κατά 11% έως το 2050. Στη Μποτσουάνα άνδρες και ημι-άγονες περιοχές είναι πιθανό να επηρεαστούν σοβαρά λόγω των περιορισμένων υδάτινων πόρων εξαιτίας των μεταβολών που θα προκύψουν από την κλιματική αλλαγή, ενώ χαμηλή θα είναι η προσαρμοστική ικανότητα για να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Στόχος και κύριο στοιχείο καινοτομίας είναι να αξιολογηθεί η δυνατότητα των ελεύθερων γεωγραφικών αλλά και βιοφυσικών δεδομένων από σύγχρονα παθητικά συστήματα

τηλεπισκόπησης, στον περιβαλλοντικό χωροταξικό σχεδιασμό της Μποτσουάνα. Στη χαρτογράφηση και εξέλιξη του φυσικού περιβάλλοντος από υψομετρικά και δορυφορικά δεδομένα, γίνεται: α) αποτύπωση χαρτών καλύψεων/χρήσεων γης, β) μελέτη μορφομετρικών δεικτών από Ψηφιακά Υψομετρικά Μοντέλα Εδάφους, γ) μελέτη από βιοφυσικά δεδομένα, όπως θερμοκρασία εδάφους, δείκτες βλάστησης, στοιχεία για τις βροχοπτώσεις κ.α.

Τα βιοφυσικά δεδομένα καταγράφονται σε ημερήσια βάση, 4 φορές το εικοσιτετράωρο. Τα δεδομένα αυτά ομαδοποιούνται σε εβδομαδιαίες, δεκαπενθήμερες, μηνιαίες εκτιμήσεις και επομένως είναι δυνατόν να ορίσουμε ζώνες με κοινή βιοφυσική υπογραφή. Η βιοφυσική υπογραφή μπορεί δυνητικά να ανατεθεί σε στοιχεία καλύψεων γης ή να βοηθήσει στη διάκριση περιοχών μέσα στην ίδια κάλυψη γης με διαφορετική βιοφυσική υπογραφή. Αυτές οι διακρίσεις βοηθούν στο να εντοπίσουμε ζώνες που είναι περισσότερο επιδεκτικές για συγκεκριμένες χρήσεις (καλλιέργειες κ.α.), θα επιτρέψουν π.χ. τη βέλτιστη χωροθέτηση δραστηριοτήτων σε σχέση με την επερχόμενη κλιματική αλλαγή. Τα στάδια που ακολουθήθηκαν για την υλοποίηση των πιο πάνω έχουν ως εξής: α) Κατάτμηση σε ζώνες με διαφορετική βιοφυσική καταγραφή, β) Εντοπισμό βιοφυσικών διαχρονικών ανωμαλιών κι ερμηνεία τους σε σχέση με το φυσικό περιβάλλον. Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν: α) αξιολόγηση των δυνατοτήτων και των δυνητικών περιορισμών που προσφέρει η διαθεσιμότητα ελεύθερων σύγχρονων βιοφυσικών γεωγραφικών δεδομένων, στον εντοπισμό και τη μελέτη εξέλιξης των καλύψεων γης, β) στις ζώνες με διαφορετική βιοφυσική υπογραφή χωροθετήθηκαν δυνητικές χρήσεις και δραστηριότητες και εξετάστηκε κατά πόσο οι θεματικοί χάρτες και τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης θα μπορέσουν να συνεισφέρουν στο σχεδιασμό.

Σε σχέση με την ερμηνεία της χωρικής και εποχικής μεταβολής της θερμοκρασίας (νυχτερινή λήψη 1:30), είναι σαφές ότι η χωρική κατανομή των τάξεων της θερμοκρασίας, και η εποχική τους μεταβολή οριοθετεί ζώνες που συσχετίζονται άμεσα με τις καλύψεις γης και τις φυσικές διεργασίες (πχ Δέλτα Okavango) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την χωροθέτηση χρήσεων (πχ τουρισμός, καλλιέργειες ανάλογα με την εποχική μεταβολή των θερμοκρασιών κάθε τάξης). Πιο συγκεκριμένα:

- Η εποχική μεταβολή της θερμοκρασίας και για τις 7 τάξεις υποδηλώνει ελάχιστο τον Ιούνιο - Ιούλιο, και μέγιστο το Δεκέμβριο – Ιανουάριο. Αυτή η μεταβολή δείχνει μια μεταβολή που αντιστοιχεί στο Νότιο Ημισφαίριο με αντιστροφή των εποχών σε σχέση με το Βόρειο ημισφαίριο.
- Υπάρχουν τάξεις που παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ χειμερινής και θερινής περιόδου που φθάνει τους 16 βαθμούς Κελσίου. Αντίθετα σε

άλλες τάξεις, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ χειμερινής και θερινής περιόδου ελαχιστοποιείται. Αυτή η διαφορά προσδιορίζει τον εποχικό δείκτη δυσφορίας που αντανακλά το περιβαλλοντικό στρες στην πανίδα και την χλωρίδα εξ αιτίας της εποχικής μεταβολής της θερμοκρασίας.

- Η χωρική κατανομή των τάξεων υποδεικνύει ότι οι τάξεις στις οποίες μεγιστοποιείται η διάφορα θερμοκρασίας μεταξύ της χειμερινής και θερινής περιόδου, αλλά και οι οποίες παρουσιάζουν την πιο χαμηλή θερμοκρασία Ιούνιο-Ιούλιο, κατανέμονται στη Νότιο-Δυτική χώρα που καταλαμβάνεται από την Έρημο Καλαχάρι. Επειδή πρόκειται για νυκτερινή λήψη, υπάρχει πολύ μεγάλη πτώση της θερμοκρασίας την νυκτερινή περίοδο στις ερήμους, που είναι ακόμη πιο έντονη τις περιόδους που δεν υπάρχουν νεφώσεις.
- Το Δέλτα Okavango που αντιστοιχεί στην τάξη 7, παρουσιάζει την μικρότερη εποχική διακύμανση θερμοκρασίας αλλά και την μικρότερη πτώση θερμοκρασίας την χειμερινή περίοδο (λόγω των ποσοτήτων νερού που δέχεται).
- Η Ανατολική πλευρά της χώρας καταλαμβάνεται από τις τάξεις 1 και 2 που παρουσιάζουν σημαντικά υψηλότερες θερμοκρασίες σε όλες τις εποχές και πολύ μικρότερη εποχική διακύμανση από τις τάξεις που αντιστοιχούν στην Έρημο Καλαχάρι. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού εξ' αιτίας της βλάστησης, η θερμοκρασία δεν πέφτει τόσο την νυκτερινή περίοδο όσο στην ερημική ζώνη.
- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η τάξη 5 που αντιστοιχεί στις επιφανειακές αποθέσεις αλατιού Makgadikgadi Salt Pan όπου η θερμοκρασία παρουσιάζει μέγιστο την θερινή περίοδο (Δεκέμβριος-Ιανουάριος) λόγω παντελούς απουσίας βλάστησης.

Ως προς τον δείκτη βλάστησης η χωρική του κατανομή και η εποχική του μεταβλητότητα καθορίζει ζώνες που είναι ή δεν είναι κατάλληλες για την χωροθέτηση δραστηριοτήτων όπως η εκτροφή βοοειδών, το δυνητικό εύρος της καλλιεργητικής περιόδου, κ.α. αλλά και την διαχρονική υπογραφή βλάστησης στα εθνικά πάρκα στις προστατευόμενες περιοχές, που προσδιορίζει την ανάγκη για την υλοποίηση μέτρων προστασίας. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι

- Οι ζώνες που παρουσιάζουν την μικρότερη τιμή του δείκτη βλάστησης οριοθετούνται στην Νότιο Δυτική περιοχή που αντιστοιχούν στην ζώνη Καλαχάρι.
- Οι ζώνες αυτές παρουσιάζουν μια διαβάθμιση από Νότιο Δυτικά προς Βόρειο Ανατολικά, υποδηλώνοντας πολύ περισσότερο ακραίες βιοφυσικές συνθήκες στην Δυτική Καλαχάρι.

- Τα κέντρα βάρους καθορίζουν την εποχικότητα (αυξομείωση) της βλάστησης μεταξύ θέρους και χειμώνα.
- Παρατηρείται ότι η μικρότερη εποχικότητα παρατηρείται για τις τάξεις που αντιστοιχούν στην Έρημο Καλαχάρι (Δυτικά) αλλά και στο Makgadikgadi Salt Pan στα Ανατολικά λόγω των επιφανειακών αποθέσεων αλατιού.
- Η ζώνη με το μεγαλύτερο ποσοστό βλάστησης (υψηλότερες τιμές του δείκτη βλάστησης) για όλες τις εποχές/μήνες οριοθετείται στην Βόρειο Ανατολική χώρα και συμπίπτει με την τάξη 3.

Ως προς την βροχόπτωση, τα ύψη βροχόπτωσης είναι εξαιρετικά μικρά. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι :

- Την περίοδο από Μάιο μέχρι Σεπτέμβριο παρατηρούνται μηδενικά ύψη βροχόπτωσης για το σύνολο των τάξεων, δηλαδή για το σύνολο της χώρας.
- Από Δεκέμβρη μέχρι Φεβρουάριο παρατηρούνται βροχοπτώσεις που κατανέμονται κυρίως στο Βόρειο και στο Ανατολικό τμήμα της χώρας.

Αγγλική Περίληψη

The Republic of Botswana, has an area of 600,370 sq km. And a population of 1,990,876 inhabitants. It is bordered by South Africa to the south and southeast, Namibia to the west, Zambia to the north and Zimbabwe to the northeast. Much of the country is covered by the wild and is a tourist attraction (There are six major national parks, 40 controlled organized areas for photo shoots and six areas for safari and hunting). Botswana is currently facing two major environmental problems: drought and desertification. The desertification problems stem primarily from the severe drought in the country. Because of the drought 75% of the human and animal populations country dependent groundwater. Surface water is very scarce in Botswana and less than 5% of agriculture in the country is sustained by rainfall. The country raises cattle and livestock as a means for an income. Therefore, 71% of the country's territory used for communal grazing, which is a significant cause of desertification country. A summary of the following problems:

- The average rainfall is less than the average reference evapotranspiration in all parts of the country for the whole year, Most types of irrigation using groundwater and the majority of irrigation in the country is used for vegetable crops. The biggest problem is the salinity of soils in agricultural areas. Moreover, there is a risk of long-term accumulation of salinity and further soil degradation. About 85% of the land covered by the sands of the Kalahari Desert and shrubs. The country has the potential to produce 75% of the national demand of vegetables, but produces only 20%. The studies undertaken in Botswana suggests significant reduction in rainfall in some regions of the country: for example, in southern Botswana, rainfall is expected to decrease by 11% by 2050. In Botzouana arid and semi-arid regions are likely to seriously affected because of the limited water resources due to the changes that will result from climate change, while lower the adaptive capacity to cope with the effects of climate change.

Aim and main innovation of this research is to evaluate the possibility of freely geographical and biophysical data from modern passive remote sensing systems in the environmental planning of Botswana. Mapping of the natural environment was based on elevation and landcover / land use, and biophysical data such as land temperature, vegetation indices, rainfall etc. etc.

The biophysical data is recorded on a daily basis, four times a day, a satellite systems (AQUA, TERRA) equipped with the same recording system MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Therefore is possible to define zones with common biophysical signature on a weekly, monthly, seasonal, annual and enduring basis. The biophysical signature can potentially be assigned to land covers information or help distinguish areas within the same land cover with different biophysical signature. These study will help to identify areas that are more susceptible to certain climatic hazards, enabling measures to be taken in relation to the upcoming climate change.

The steps followed for the implementation of the above are as follows:

- Literature review of technical biophysical analysis, mapping, b) Determination / organization biophysical temporal MODIS images for the country in a grid database, c) Partition into zones with different biophysical signature, d) Identify biophysical temporal anomalies and their interpretation in relation to the natural environment.

The results include:

- an assessment of the capabilities and potential limitations offered by the availability of free modern biophysical geographic data, to identify and study the evolution of land cover, b) in zones with different biophysical signature was situated potential uses and activities and examined whether thematic maps and the results of this study could contribute to the planning and support activities of state bodies.

Πίνακες/ Εικόνες

ΠΙΝΑΚΕΣ

- Πίνακας 1.4.1.1 Ενδεικτικές εφαρμογές των δορυφόρων Landsat ETM.
- Πίνακας 1.4.2.1 Τα κανάλια του σαρωτή MODIS (φασματική δειγματοληψία)
- Πίνακας 1.4.2.2 Φασματικές Ζώνες του MODIS.
- Πίνακας 1.4.2.3 Τα βιοφυσικά προϊόντα του σαρωτή MODIS.
- Πίνακας 2.2.1 Εμβαδό και παραγωγή σιτηρών/δημητριακών στη Μποτσουάνα (1997-2009).
- Πίνακας 2.2.2 Εμβαδό και παραγωγή φρούτων στη Μποτσουάνα (2003-2009)
- Πίνακας 3.2.2.1.2 Οι κατηγοριοποιήσεις GlobCover (Σχήμα 3.2.2.1.2)
- Πίνακας 3.3.1 Τα κέντρα βάρους των τάξεων για τον δείκτη βλάστησης (EVI) –εποχική μεταβολή.
- Πίνακας 3.3.2 Τα κέντρα βάρους των τάξεων για την Θερμοκρασία νύκτας –εποχική μεταβολή
- Πίνακας 3.3.3 Τα κέντρα βάρους των τάξεων για την βροχόπτωση –εποχική μεταβολή

ΕΙΚΟΝΕΣ

- Σχήμα 1.4.1.1 Φωτομωσαικό της Μποτσουάνας από τα κανάλια 7,4,1 του Landsat ETM
- Σχήμα 1.4.2.1. Χάρτης καλύψεων γης
- Σχήμα 1.4.2.2. Έγχρωμο σύνθετο φυσικού χρώματος σε χωρική διακριτική ικανότητα 500 μ, για τον Ιανουάριο
- Σχήμα 1.4.2.3. Έγχρωμο σύνθετο φυσικού χρώματος σε χωρική διακριτική ικανότητα 500 μ, για τον Φεβρουάριο
- Σχήμα 1.5.1. Πολιτικός Χάρτης της Κεντρικής και Νοτίου Αφρικής.
- Σχήμα 1.5.2. SRTM ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο της περιοχής μελέτης με χωρική διακριτική ικανότητα 30 μέτρα..
- Σχήμα 2.1. Χάρτης Γενικής Χρήσης
- Σχήμα 2.2 Το τοπογραφικό ανάγλυφο της Μποτσουάνα
- Σχήμα 2.3. Κατανομή του πληθυσμού
- Σχήμα 2.4 Οι καλύψεις γης
- Σχήμα 2.5. Οι γεωλογικές ενότητες
- Σχήμα 2.6. Οι βροχοπτώσεις
- Σχήμα 2.7. Υδρογραφικές λεκάνες
- Σχήμα 2.8 Η βλάστηση

Σχήμα 2.9. Γεωγραφικός χάρτης

Σχήμα 3.2.1.1 ΨΥΜΕ SRTM GL1

Σχήμα 3.2.1.2 ΨΥΜΕ SRTM GL1 με υπέρθεση ισοϋψών ανά 100 m.

Σχήμα 3.2.2.1 Landsat Mosaic, (Geover 2015) ανά 28 m (1990)

Σχήμα 3.2.2.1.2 Οι κατηγοριοποιήσεις GlobCover

Σχήμα 3.2.2.1.3.1 Δείκτης βλάστησης (Ιανουάριος 2013)

Σχήμα 3.2.2.1.3.2 Δείκτης βλάστησης (Φεβρουάριος 2013)

Σχήμα 3.2.2.1.3.3 Δείκτης βλάστησης (Μάρτιος 2013)

Σχήμα 3.2.2.1.3.4 Δείκτης βλάστησης (Απρίλιος 2013)

Σχήμα 3.2.2.1.3.5 Δείκτης βλάστησης (Μάιος 2013)

Σχήμα 3.2.2.1.3.6 Δείκτης βλάστησης (Ιούνιος 2013)

Σχήμα 3.2.2.1.3.7 Δείκτης βλάστησης (Ιούλιος 2013)

Σχήμα 3.2.2.1.3.8 Δείκτης βλάστησης (Αύγουστος 2013)

Σχήμα 3.2.2.1.3.9 Δείκτης βλάστησης (Σεπτέμβριος 2013)

Σχήμα 3.2.2.1.3.10 Δείκτης βλάστησης (Οκτώβριος 2013)

Σχήμα 3.2.2.1.3.11 Δείκτης βλάστησης (Νοέμβριος 2013)

Σχήμα 3.2.2.1.3.12 Δείκτης βλάστησης (Δεκέμβριος 2013)

Σχήμα 3.2.2.2.1 Θ (Ιανουάριος 2013)

Σχήμα 3.2.2.2.2 Θ (Φεβρουάριος 2013)

Σχήμα 3.2.2.2.3 Θ (Μάρτιος 2013)

Σχήμα 3.2.2.2.4 Θ (Απρίλιος 2013)

Σχήμα 3.2.2.2.5 Θ (Μάιος 2013)

Σχήμα 3.2.2.2.6 Θ (Ιούνιος 2013)

Σχήμα 3.2.2.2.7 Θ (Ιούλιος 2013)

Σχήμα 3.2.2.2.8 Θ (Αύγουστος 2013)

Σχήμα 3.2.2.2.9 Θ (Σεπτέμβριος 2013)

Σχήμα 3.2.2.2.10 Θ (Οκτώβριος 2013)

Σχήμα 3.2.2.2.11 Θ (Νοέμβριος 2013)

Σχήμα 3.2.2.2.12 Θ (Δεκέμβριος 2013)

Σχήμα 3.2.2.3.1 Βροχόπτωση (Ιανουάριος)

Σχήμα 3.2.2.3.2 Βροχόπτωση (Φεβρουάριος)

Σχήμα 3.2.2.3.3 Βροχόπτωση (Μάρτιος)

Σχήμα 3.2.2.3.4 Βροχόπτωση (Απρίλιος)

Σχήμα 3.2.2.3.5 Βροχόπτωση (Μάιος)

Σχήμα 3.2.2.3.6 Βροχόπτωση (Ιούνιος)

Σχήμα 3.2.2.3.7 Βροχόπτωση (Ιούλιος)

Σχήμα 3.2.2.3.8 Βροχόπτωση (Αύγουστος)

Σχήμα 3.2.2.3.9 Βροχόπτωση (Σεπτέμβριος)

Σχήμα 3.2.2.3.10 Βροχόπτωση (Οκτώβριος)

Σχήμα 3.2.2.3.11 Βροχόπτωση (Νοέμβριος)

Σχήμα 3.2.2.3.12 Βροχόπτωση (Δεκέμβριος)

Σχήμα 3.2.3.1 Φυσιογραφικές ενότητες, τοπωνύμια και γεωγραφία της Μποτσουάνα

Σχήμα 3.2.3.2. Πληθυσμιακή πυκνότητα (πληθυσμός ανά km²)

Σχήμα 3.3.1. Χωρική κατανομή των τάξεων για τον δείκτη βλάστησης (EVI)

Σχήμα 3.3.2 Τα κέντρα βάρους των τάξεων για τον δείκτη EVI – εποχική μεταβολή

Σχήμα 3.3.3. Χωρική κατανομή των τάξεων για την Θερμοκρασία νύκτας (01:30)

Σχήμα 3.3.4 Τα κέντρα βάρους των τάξεων για την Θερμοκρασία νύκτας –εποχική μεταβολή

Σχήμα 3.3.5. Χωρική κατανομή των τάξεων για την βροχόπτωση.

Σχήμα 3.3.6 Τα κέντρα βάρους των τάξεων για την βροχόπτωση–εποχική μεταβολή

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή

Προηγούμενες μελέτες και έρευνες στον τομέα της χαρτογράφησης φυσικών διαθεσίμων και της προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος υποδηλώνουν τη συσχέτιση καλύψεων – χρήσεων γης με τις βιοφυσικές ιδιότητες σε μια περιοχή (Miliareisis 2009, Miliareisis 2012). Από την άλλη πλευρά, η κλιματική αλλαγή σαν αποτέλεσμα των ανθρώπινων παρεμβάσεων επηρεάζει, τόσο τις καλύψεις γης, όσο τις χρήσεις γης αλλά και πρόσφατα τις βιοφυσικές ιδιότητες της επιφάνειας της γης (Miliareisis 2013, Miliareisis 2014).

Η συσχέτιση αυτή

- δεν είναι μονοσήμαντη αφού η χρήση ή η κάλυψη γης μπορεί καθορίζει τη βιοφυσική υπογραφή μιας συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής είτε η βιοφυσική υπογραφή να καθορίζει τη χρήση ή την κάλυψη γης μιας συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής (Miliareisis and Tsatsaris 2010),
- ούτε αμφιμονοσήμαντη αφού η συγκεκριμένη χρήση- κάλυψη γης μπορεί να αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη βιοφυσική υπογραφή και αντιστρόφως (Miliareisis and Tsatsaris 2011).

Πολλές φορές οι ανθρώπινες παρεμβάσεις έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία καλύψεων- χρήσεων γης σε γεωγραφικές ζώνες που είναι σε πλήρη αντίθεση με την βιοφυσική υπογραφή μιας γεωγραφικής ενότητας και σε πλήρη αντίθεση με τη φυσική πραγματικότητα. Ένα παράδειγμα είναι οι οάσεις στην έρημο.

1.2 Άνυδρες και ημι-ερημικές περιοχές

Σαν όαση ορίζεται μία μικρή ή μεγάλη νησίδα με βλάστηση και πιθανώς νερό στο μέσο της ερήμου. Η όαση σε μια ερημική ζώνη εκ πρώτης όψεως φαίνεται να είναι σε αντίθεση με τις βιοφυσικές συνθήκες που υπάρχουν στην ευρύτερη γεωγραφική περιοχή. Στην πραγματικότητα έχουμε δύο ζώνες (την έρημο και την όαση) στις οποίες διαφοροποιούνται οι βιοφυσικές συνθήκες (π.χ η ύπαρξη τοπικών υπόγειων αποθεμάτων νερού) και για αυτό αναπτύσσονται διαφορετικές καλύψεις – χρήσεις γης (Reynolds et al 2007). Οι άνυδρες περιοχές καταλαμβάνουν περίπου το 41% της επιφάνειας της γης στις οποίες διαβιούν περίπου 2 δισεκατομμύρια άνθρωποι (Dougill et al 2004). Μεταξύ 10 και 20% των εκτάσεων του πλανήτη θεωρούνται υποβαθμισμένες με βάση την αξιολόγηση οικοσυστημάτων τους. Ωστόσο, η υποβάθμιση της γης υπόκειται σε μια σειρά από διαφορετικούς ορισμούς και μετρήσεις. Οι αντιλήψεις κυμαίνονται από εκείνες που εστιάζουν περισσότερο στις βιοφυσικές λειτουργίες και στις αλλαγές τους (π.χ. Stringer et al 2007), και ανάμεσα σε εκείνες που βασίζονται κυρίως σε αλλαγές στο παραγωγικό δυναμικό της γης που προορίζονται για ανθρώπινη χρήση (Schwilch et al. 2011).

- Η πρώτη τείνει να τονίσει βιοφυσικές εκτιμήσεις των αποθεμάτων φυσικού κεφαλαίου (π.χ. χρησιμοποιώντας οικολογικές παραμέτρους και του εδάφους με βάση προσεγγίσεις και τηλεπισκόπησης), ενώ οι προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση της υποβάθμισης του εδάφους βασίζονται σε τεχνικές όπως η σταθεροποίηση του εδάφους και την εκ νέου βλάστηση (Reynolds et al 2007).
- Η δεύτερη εστιάζει περισσότερο στην εκτίμηση των ροών του οικοσυστήματος, και των οικονομικών δεικτών των τοπικών κοινοτήτων (π.χ. εξέλιξη της παραγωγικότητας με βάση τα στοιχεία της απογραφής του ζωικού κεφαλαίου).

Ολοένα και περισσότερο, οι αξιολογήσεις συνδυάζουν βιοφυσικές και κοινωνικοοικονομικές προσεγγίσεις προκειμένου να εξασφαλιστεί μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της υποβάθμισης άνυδρων περιοχών (Sallu et al. 2009, Reynolds et al., 2007, Reed et al., 2010). Τέτοιες συνδυασμένες αξιολογήσεις είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη της πολιτικής, επιτρέποντας στους ιθύνοντες να αξιολογήσουν τις πιθανές κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διαφόρων επιλογών πολιτικής (Reed et al., 2007, 2002), και να προσδιορίσουν μηχανισμούς πολιτικής που μπορεί ρεαλιστικά να εφαρμοστούν για την

αντιμετώπιση της υποβάθμισης του εδάφους και την επίτευξη της αειφορίας (Schwilch et al., 2011, Worku, et al. 2011).

1.3 Κλιματική αλλαγή

Μία παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη στις μέρες μας είναι η **κλιματική αλλαγή** η οποία μεταβάλλει τόσο τη βιοφυσική υπογραφή όσο και καλύψεις- χρήσεις γης. Παράδειγμα αποτελεί η άνοδος της θερμοκρασίας, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η μείωση ή η αύξηση των βροχοπτώσεων (Nayan et al 2015), κ.α.

Η κλιματική αλλαγή και οι επιπτώσεις της στο σύνολο της οικονομίας και στο φυσικό περιβάλλον είναι πλέον επιστημονικά ακλόνητες (Wang et al 2015). Απειλούν, δε, όλους τους τομείς της ανθρώπινης ζωής αλλά και την επιβίωση όλων των ζωντανών οργανισμών στον πλανήτη, από τους κοραλλιογενείς υφάλους έως την Αρκτική.

Οι κλιματικές συνθήκες στη Γη καθορίζονται από μια συνεχή ροή ενέργειας από τον ήλιο. Η θερμική ενέργεια του ήλιου, διαπερνά την ατμόσφαιρα της Γης και θερμαίνει την επιφάνεια της. Όσο αυξάνει η θερμοκρασία της επιφάνειας, η Γη στέλνει, υπό τη μορφή υπερυθρης ακτινοβολίας, θερμική ενέργεια πίσω στην ατμόσφαιρα. Ένα μέρος αυτής της ενέργειας απορροφάται από αέρια (τα λεγόμενα ‘αέρια του θερμοκηπίου’), όπως το διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου και υδρατμοί, παγιδεύοντας έτσι την ενέργεια και διατηρώντας τη μέση θερμοκρασία της Γης στους 15°C περίπου (Grouillet et al. 2015) . Αυτά τα επίπεδα θερμοκρασίας είναι απαραίτητα για τη διατήρηση της ζωής για ανθρώπους, φυτά και ζώα. Δίχως αυτά τα αέρια, η θερμοκρασία της Γης θα έφτανε στους -18°C, ‘παγώνοντας’ τις περισσότερες μορφές ζωής.

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι το πιο σημαντικό από τα αέρια που διατηρούν τα επιθυμητά επίπεδα θερμοκρασίας στη Γη (Manandhar et al 2015). Οι διεργασίες εκπομπής και απορρόφησης CO₂ που προκύπτουν στη φύση αποτελούν τον φυσικό κύκλο του αερίου και είναι υπεύθυνες για τη διατήρηση της ισορροπημένης συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα (Manandhar et al 2015). Μέσω της αποσύνθεσης φυτών, ηφαιστειακών εκρήξεων, της αναπνοής ζωικών οργανισμών, ελευθερώνεται CO₂ στην ατμόσφαιρα το οποίο απορροφάται εκ νέου μέσω της φωτοσύνθεσης και της διάλυσης του στο νερό (π.χ. στους ωκεανούς).

Η φύση έχει προνοήσει για την σχεδόν τέλεια διατήρηση της ισορροπίας εκπεμπόμενου CO₂ και της αντίστοιχης ποσότητας που απορροφάται. Ακόμα, όμως, και μικρές αλλαγές οφειλόμενες σε ανθρώπινες δραστηριότητες είναι δυνατό να επηρεάσουν αυτή την εύθραυστη ισορροπία (Wang et al 2015). Η αιτία της κλιματικής αλλαγής είναι η υπερβολική χρήση ορυκτών πόρων, όπως είναι ο άνθρακας, ο λιγνίτης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, η καύση των οποίων απελευθερώνει τεράστιες ποσότητες CO₂ στην ατμόσφαιρα.

Η αλλαγή της βιοφυσικής υπογραφής έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση δευτερογενών φαινομένων που μεταβάλλουν ραγδαία τις καλύψεις γης και αποτρέπουν ή περιορίζουν την ανάπτυξη συγκεκριμένων χρήσεων γης. Παράδειγμα αποτελούν καταστροφικές πυρκαγιές εξ' αιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου που έχουν σα συνέπεια, σε συνδυασμό με ραγδαίες βροχοπτώσεις, να καταστρέφουν τη χλωρίδα και τον εδαφικό ορίζοντα δημιουργώντας πλημμύρες και λασποροές (Manandhar et al 2015).

1.4 Καταγραφικά συστήματα

Στην εποχή μας υπάρχουν δορυφορικά καταγραφικά συστήματα (AQUA 2013) που αποτυπώνουν τις καλύψεις-χρήσεις γης και βιοφυσικά δεδομένα όπως η θερμοκρασία, η ανακλαστικότητα (Miliareisis 2007, Miliareisis and Paraschou 2005, Miliareisis 2014).

Παράδειγμα :

- Καταγραφικό σύστημα MODIS (MODIS Web. 2013).
- Καταγραφικό σύστημα SRTM που συνθέτει ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα εδάφους (Miliareisis 2007)

Επιπλέον στη βιοφυσική υπογραφή στις μέρες μας λαμβάνονται υπόψη και ατμοσφαιρικές ιδιότητες (MODIS Web. 2013) όπως για παράδειγμα:

- Ατμοσφαιρική διαπερατότητα
- Η περιεχόμενη σκόνη

Αυτές οι ατμοσφαιρικές ιδιότητες λαμβάνονται υπόψη επειδή επιτείνουν το αίσθημα δυσφορίας των έμβιων όντων, μεταβάλουν τη βιοφυσική υπογραφή μιας γεωγραφικής ζώνης (αύξηση θερμοκρασίας, μείωση ή αύξηση βροχοπτώσεων κ.α).

Μέχρι σήμερα, στη χαρτογράφηση και εξέλιξη του φυσικού περιβάλλοντος από υψομετρικά και δορυφορικά δεδομένα (Μηλιαρέσης 2003, Μηλιαρέσης 2006), γίνεται:

- αποτύπωση χαρτών καλύψεων/χρήσεων γης (Miliareisis 2009)
- μελέτη μορφομετρικών βιοφυσικών δεικτών από Ψηφιακά Υψομετρικά Μοντέλα Εδάφους ΨΥΜΕ (Miliareisis 2007).
- εντοπισμός αλλαγών από διαχρονικές δορυφορικές εικόνες (π.χ. η μεταβολή της επιφάνειας μιας λίμνης ή μιας δασικής έκτασης από 1972 μέχρι σήμερα).

Τα δορυφορικά συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα για αυτές τις μελέτες (χαρτογράφηση καλύψεων γης και βιοφυσικών παραμέτρων είναι κυρίως ο σαρωτής ETM (στην σειρά δορυφόρων Landsat) και ο σαρωτής MODIS (στους ταυτόσημους δορυφόρους Aqua και Terra).

1.4.1 LANDSAT ETM

Το Πρόγραμμα LANDSAT είναι η επιχείρηση με την μακρύτερη λειτουργία για την απόκτηση εικόνων της γης από το διάστημα. Ο πρώτος δορυφόρος LANDSAT ξεκίνησε από τη NASA το 1972. Ο πιο πρόσφατος, το LANDSAT 7, ξεκίνησε στις 15 Απριλίου 1999. Οι δορυφορικές εικόνες LANDSAT αποτελούν τις πιο παλιές εμπορικά διαθέσιμες εικόνες. Ο πρώτος δορυφόρος LANDSAT εκτοξεύτηκε το 1972 και από τότε πέντε συνολικά δορυφόροι έχουν εκτοξευθεί επιτυχώς (Arvidson et al 2006).

Πίνακας 1.4.1.1 Σύγκριση των δορυφόρων Landsat 7 και 8 που είναι σε λειτουργία

Enhanced Thematic Mapper ETM+		Operational Land Imager (OLI)	
Landsat 7	λ μm	Landsat 8	λ μm
-	-	Band 1 – Coastal aerosol	0.433 - 0.453
Band 1- blue	0.45-0.52	Band 2 – Blue	0.450 – 0.515
Band 2-Green	0.52-0.60	Band 3 – Green	0.525 – 0.600
Band 3-Red	0.63-0.69	Band 4 – Red	0.630 – 0.680
Band 4-VNIR	0.77-0.90	Band 5 – NIR	0.845 – 0.885
Band 5-SWIR1	1.55-1.75	Band 9 – Cirrus	1.360 – 1.390
Band 7-SWIR2	2.09-2.35	Band 6 – SWIR 1	1.560 – 1.660
Band 6-TIR	10.40-12.50	Band 7 – SWIR 2	2.100 – 2.300
Band 8-Pan	.52-.90	Band 10 – TIR 1	10.3 – 11.3
		Band 11 – TIR 2	11.5 – 12.5
		Band 8 – Panchromatic	0.500 – 0.680

Τα καταγραφικά συστήματα των δορυφόρων LANDSAT έχουν πάρει εκατομμύρια εικόνες. Αυτές οι εικόνες αποτελούν μοναδική πηγή πληροφοριών για την έρευνα της παγκόσμιας αλλαγής και εφαρμογές στην γεωργία, χαρτογραφία, γεωλογία, δασοκομία, χωροταξία, εποπτεία, εκπαίδευση και εθνική ασφάλεια (Loveland et al 2012, Bartholome et al 2005).

.Σήμερα, οι δορυφόροι LANDSAT (Πίνακας 1.4.1.1, Πίνακας 1.4.1.2) «βλέπουν» και καταγράφουν το μπλε, πράσινο και κόκκινο φως του ορατού φάσματος, καθώς και το εγγύς υπέρυθρο, μέσο-υπέρυθρο και θερμικό-υπέρυθρο φως που τα ανθρώπινα μάτια δεν μπορούν

να αντιληφθούν (αν και μπορούμε να αισθανόμαστε το θερμικό-υπέρυθρο ως θερμότητα) (Anderson et al. 2011).

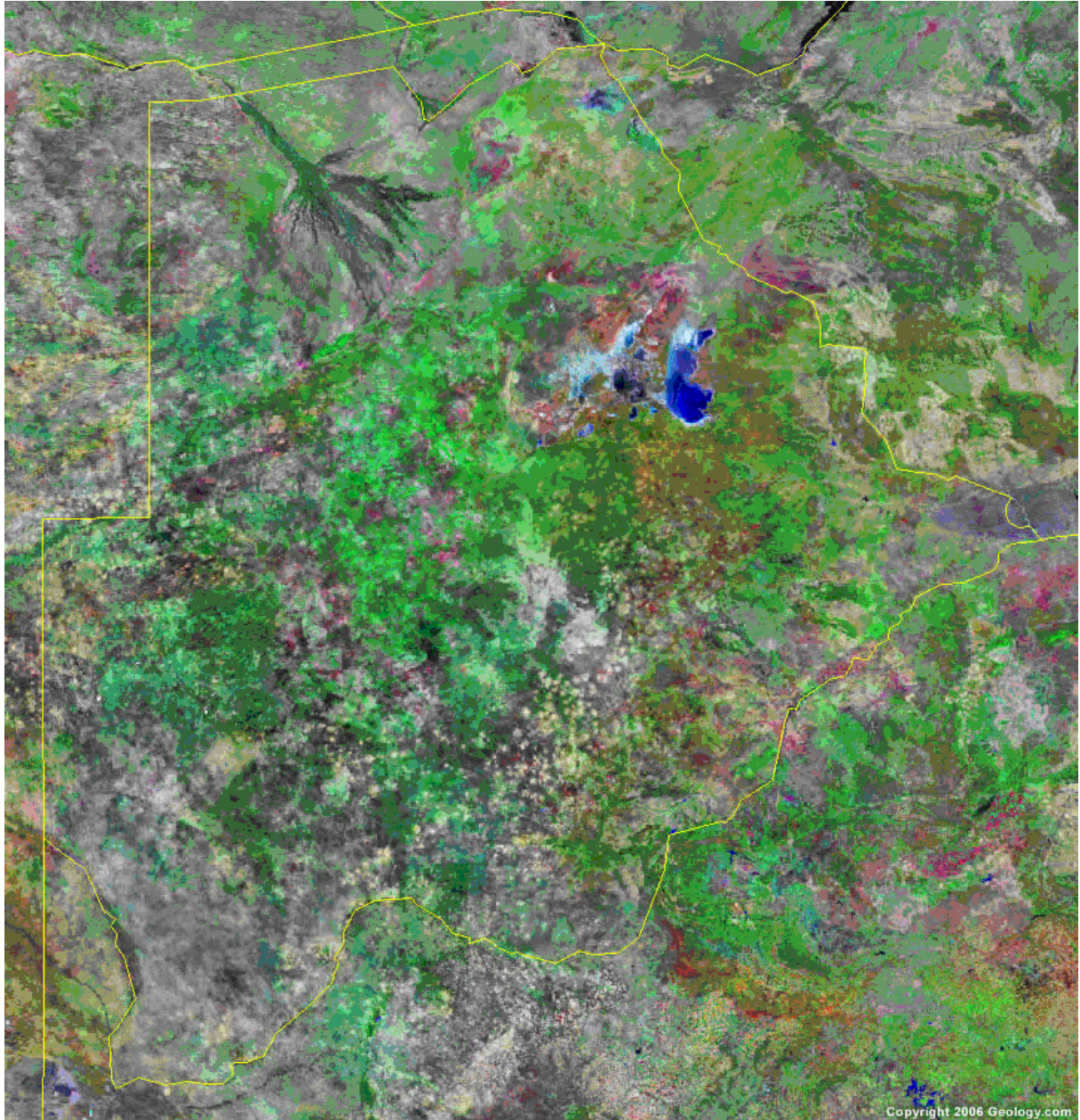
Πίνακας 1.4.1.2 Ενδεικτικές εφαρμογές των δορυφόρων Landsat ETM (Loveland et al. 2012)

ΓΕΩΡΓΙΑ / ΔΑΣΟΚΟΜΙΑ	ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ	ΓΕΩΛΟΓΙΑ	ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΟΙ ΠΟΡΟΙ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
Διάκριση καλλιέργειας και τύπου ξυλείας	Είδη χρήσης γεωργικής γης	Χαρτογράφηση γεωλογικών χαρακτηριστικών	Επιφανειακά ύδατα, οριοθέτηση	Χαρακτηριστικά	Παρακολούθηση δασών
Μέτρηση βιομάζας	Ενημέρωση χαρτών	Αναθεώρηση γεωλογικών χαρτών	Πλημμύρες χαρτογράφηση	Αλλαγή ακτογραμμής	Ηφαιστειακή δραστηριότητα
Διαχείριση γεωργίας	Κατηγοριοποίηση γης	Ταξινόμηση ειδών βράχων	Έκταση χιονιού και πάγου	Χαρτογράφηση υφάλων	Ρύπανση υδάτων
Συγκομιδή καλλιεργειών και δασών	Αστική ανάπτυξη		Μεταβολές έκτασης παγετώνων	Θαλάσσιος πάγος	Συνέπειες φυσικών καταστροφών
Βιομάζα	Βοήθεια στην χωροταξία	Ηφαιστειακές εναποθέσεις	Μέτρηση θολερότητας και ιζημάτων	Διάβρωση παραλιών	Επιπτώσεις ξηρασίας
	Οδικά δίκτυα		Αρδευόμενες περιοχές	Κοραλλιογενής ύφαλη	Πετρελαιοκιλήδες
	Όρια γης και νερού	Δείκτες ορυκτών και πετρελαίου	Αποθέματα σε λίμνες	Διάβρωση ακτών	Δασικές πυρκαγιές
Αξιολόγηση ενδιατημάτων άγριας ζωής	Σχεδιασμός χώρων διάθεσης στερεών αποβλήτων, σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κ.α. βιομηχανικές δραστηριότητες	Χαρτογράφηση κρατήρων	Υπολογισμός απορροής λιωμένου χιονιού	Χαρτογράφηση λιμνών και κλειστών λεκανών	Εκτίμηση αποθεμάτων άνθρακα
Παρακολούθηση και χαρτογράφηση εντόμων	Χαρτογραφικές ανακαλύψεις		Παρακολούθηση υγροβιότοπων		

Το μεγαλύτερο τμήμα της Γης έχει χαρτογραφηθεί για περισσότερες από 350 φορές, για περισσότερο από 40 χρόνια συνεχών λήψεων.

Οι εικόνες του LANDSAT 7 έχουν χωρική ανάλυση (μέγεθος pixel) των 15μ σε παγχρωματική λειτουργία, 30μ πολυφασματικής λειτουργίας και 60 μ στο θερμικό IR κανάλι.

Ακολουθεί ένα φωτομωσαϊκό της Μποτσουάνα (Σχήμα 1.4.1.1) από δορυφορικές εικόνες Landsat στον χρωματικό συνδυασμό καναλιών 7,5,1



Σχήμα 1.4.1.1 Φωτομωσαικό της Μποτσουάνας από τα κανάλια 7,4,1 του Landsat ETM
(Botswana Country Data, 2015)

1.4.2. Καταγραφικό σύστημα MODIS

Η συστηματική παγκόσμια μέτρηση πληθώρας γεωφυσικών παραμέτρων έγινε δυνατή με την αξιοσημείωτη πρόοδο της τεχνολογίας περίπου στα μέσα των 1970's και τη χρήση δορυφόρων στους οποίους προσαρτήθηκαν δέκτες για την καταγραφή αυτών των παραμέτρων (MODIS Web. 2013).

Από το 1983 η NASA (National Aeronautics and Space Administration) έχει αναλάβει το πρόγραμμα της μακροπρόθεσμης παρατήρησης, έρευνας και ανάλυσης της ξηράς, της ατμόσφαιρας και του ωκεανού, καθώς και των αλληλεπιδράσεών τους από το σύστημα EOS. Ο δέκτης Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) είναι ένας από αυτούς που αναπτύχθηκαν για να συμπληρώσουν το σύστημα EOS και αποτελεί πλέον ένα σημαντικό εργαλείο στα χέρια του κάθε χρήστη στα πλαίσια της μελέτης του περιβάλλοντος και της διαχείρισής του (Tian et al. 2013).

Την άνοιξη του 1984, η NASA διαμόρφωσε επιτροπές, ώστε να αναπτυχθούν και να υλοποιηθούν οι επιστημονικές απαιτήσεις και έννοιες για τον κάθε δέκτη που θα συμπλήρωνε το σύστημα EOS. Ένας από τους υπό εξέταση δέκτες ήταν ο Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS), ο οποίος θα περιελάμβανε πολλές ιδιότητες από τους δέκτες CZCS, AVHRR και HIRS, καθώς επίσης, και σχετικά χαρακτηριστικά από τον Landsat Thematic Mapper (TM). Η επιτροπή για τον MODIS, αποτελούνταν αρχικά από μία ομάδα δεκαεννέα επιστημόνων και τεχνικών τηλεπισκόπησης από κρατικά εργαστήρια και πανεπιστήμια, η οποία κατόπιν και εξέτασε τα τότε δεδομένα για την επιστήμη της τηλεπισκόπησης. Έτσι, αναπτύχθηκε ένα πλάνο όσον αφορά τον MODIS, που αφορούσε δύο δέκτες, MODIS-N (nadir) και MODIS-T (tilt). Ο MODIS-N ήταν ένα συμβατικό ραδιόμετρο φίλτρων απεικόνισης με 35 φασματικά κανάλια και ο MODIS-T ήταν ένα φασματόμετρο απεικόνισης 64 καναλιών, με την ικανότητα να παίρνει κλίση, ώστε να αποφεύγει τη λάμψη του ηλίου προερχόμενη από την επιφάνεια του ωκεανού. Η διαχείριση και η ανάπτυξη του συστήματος του MODIS ανατέθηκε στο επιστημονικό κέντρο Goddard Space Flight Center της NASA, όπου και αποφασίστηκε η κατασκευή του MODIS-T από τους ιδίους και η κατασκευή του MODIS-N από έναν επιλεγμένο ανάδοχο έργου. Λίγο αργότερα από τη λήψη αυτής της απόφασης, όμως, επαναπροσδιορίστηκε η ιδέα του προγράμματος EOS σε νέες βάσεις,

σύμφωνα με τις οποίες η ανάπτυξη του MODIS-T δεν ήταν πλέον αναγκαία, οπότε αποφασίστηκε να τερματιστεί και να διατηρηθεί η ιδέα της ανάπτυξης του MODIS-N). Επιπλέον, για να αντισταθμιστεί μερικώς η απώλεια του MODIS-T, ο οποίος πρωτίστως επικεντρωνόταν στην παρακολούθηση και παρατήρηση του ωκεάνιου χρώματος, και για να έχει καλύτερη ικανότητα παρακολούθησης της χρονικής μεταβλητότητας των νεφών και των όρων κάλυψης του εδάφους, αποφασίστηκε ότι ο MODIS θα ήταν σε μεσο-πρωινή τροχιά καθόδου και μεσο-απογευματινή τροχιά ανόδου (Ronggao et al. 2012), έτσι ώστε να αποφευχθεί η κατοπτρική ανάκλαση (sunglint).

Ο δέκτης MODIS στους δύο διαφορετικούς δορυφόρους, Terra και Aqua όπου είναι προσαρτημένος, σαρώνει συνολικά περιοχή πλάτους 2330 km σε κάθε τροχιά (είναι το πλάτος κάθε εικόνας). Η καταγραφή των δεδομένων επιτυγχάνεται σε 36 υψηλής ανάλυσης φασματικά κανάλια (Πίνακας 1.4.2.1) μεταξύ 0.415 και 14.235μm με χωρική ανάλυση 250 m στα κανάλια 1 και 2, 500 m στα κανάλια 3 έως 7 και 1000 m στα κανάλια 8 έως 36.

Πίνακας 1.4.2.1 Τα κανάλια του σαρωτή MODIS (φασματική δειγματοληψία) (MODIS Web. 2013).

Κανάλι	λ (μm)	Κανάλι	λ (μm)	Κανάλι	Κανάλι	λ (μm)
1	0,620 -0, 670	13	0,662 -0, 672	25	4,482 – 4,549	
2	0,841 -0, 876	14	0,673 -0, 683	26	1,360 – 1,390	
3	0,459 – 0,479	15	0,743 – 0,753	27	6,535 – 6,895	
4	0,545 – 0,565	16	0,862 – 0,877	28	7,175 – 7,475	
5	1,230 – 1,250	17	0,890 – 0,920	29	8,400 – 8,700	
6	1,628 – 1,652	18	0,931 – 0,941	30	9,580 – 9,880	
7	2,105 – 2,155	19	0,915 -0,965	31	10,780 – 11,280	
8	0,405 – 0,420	20	3,660 – 3,840	32	11,770 – 12,270	
9	0,438 -0, 448	21	3,929 – 3,989	33	13,185 – 13,485	
10	0,483 -0, 493	22	3,929 – 3,989	34	13,485 – 13,785	
11	0,526 – 0,536	23	4,020 – 4,080	35	13,785 – 14,085	
12	0,546 -0, 556	24	4,433 – 4,498	36	14,085 – 14,385	

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η κατανομή των καναλιών του MODIS στις φασματικές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, απεικονίζουμε στον πίνακα 1.4.2.2 το κάθε κανάλι με το όνομα της φασματικής ζώνης στην οποία ανήκει.

Πίνακας 1.4.2.2 Φασματικές Ζώνες του MODIS (MODIS Web. 2013).

Κανάλι	Φασματική Ζώνη	Κανάλι	Φασματική Ζώνη	Κανάλι	Φασματική Ζώνη
1	Ορατό-Κόκκινο	13	Ορατό-Κόκκινο	25	Άπω Υπέρυθρο
2	Εγγύς Υπέρυθρο	14	Ορατό-Κόκκινο	26	Μέσο Υπέρυθρο
3	Ορατό-Μπλε	15	Εγγύς Υπέρυθρο	27	Άπω Υπέρυθρο
4	Ορατό-Πράσινο	16	Εγγύς Υπέρυθρο	28	Άπω Υπέρυθρο
5	Μέσο Υπέρυθρο	17	Εγγύς Υπέρυθρο	29	Άπω Υπέρυθρο
6	Μέσο Υπέρυθρο	18	Εγγύς Υπέρυθρο	30	Άπω Υπέρυθρο
7	Μέσο Υπέρυθρο	19	Εγγύς Υπέρυθρο	31	Άπω Υπέρυθρο
8	Ορατό-Μπλε	20	Άπω Υπέρυθρο	32	Άπω Υπέρυθρο
9	Ορατό-Μπλε	21	Άπω Υπέρυθρο	33	Άπω Υπέρυθρο
10	Ορατό-Μπλε	22	Άπω Υπέρυθρο	34	Άπω Υπέρυθρο
11	Ορατό-Πράσινο	23	Άπω Υπέρυθρο	35	Άπω Υπέρυθρο
12	Ορατό-Πράσινο	24	Άπω Υπέρυθρο	36	Άπω Υπέρυθρο

Από τα 36 φασματικά κανάλια του MODIS, 10 καταγράφουν στο ορατό, 6 στο εγγύς υπέρυθρο, 4 στο μέσο υπέρυθρο και 16 στο άπω (θερμικό) ερυθρό.

Στο πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 1.4.2.3), εμπεριέχονται σε συνοπτική μορφή τα βιοφυσικά προϊόντα του σαρωτή MODIS από τους δορυφόρους Aqua και Terra για την ξηρά.

Πίνακας 1.4.2.3 Τα βιοφυσικά προϊόντα του σαρωτή MODIS από τους δορυφόρους Aqua και Terra (MODIS Web. 2013). Στη πρώτη στήλη εμπεριέχεται η κωδική ονομασία κάθε βιοφυσικού προϊόντος, στην δεύτερη στήλη διασαφηνίζεται αν το συγκεκριμένο προϊόν έχει προέλθει από τον Aqua ή τον Terra, ή αν είναι συνδυασμός καταγραφών και από τους δύο δορυφόρους. Στην τρίτη στήλη δίνεται μια περιγραφή του βιοφυσικού προϊόντος και στην τέταρτη προσδιορίζεται αν είναι πλεγματού τύπου CMG ή Tile. Το CMG υποδηλώνει ένα ενιαίο μωσαϊκό εικόνων που έχει προέλθει από την ένωση των επιμέρους καταγραφών (Tiles) του MODIS και καλύπτει το σύνολο της επιφάνειας της γης. Το προϊόν Tile καλύπτει την

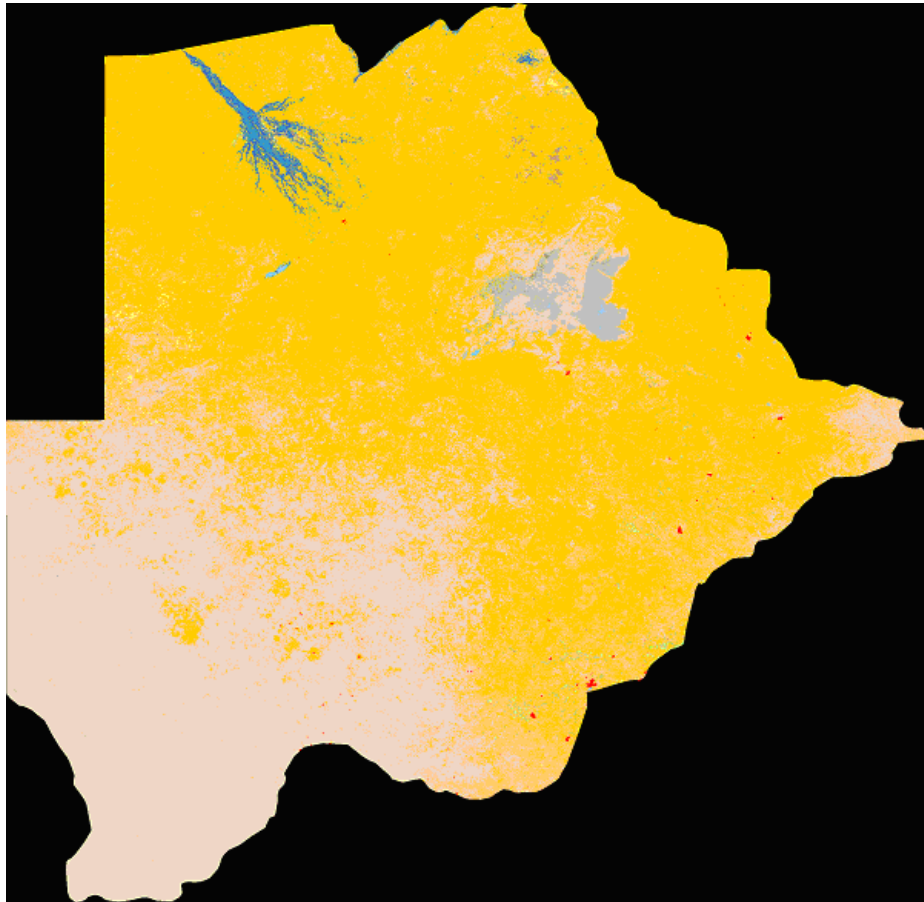
επιφάνεια της γης που συμπεριλαμβάνεται σε μια εικόνα του σαρωτή MODIS με πλάτος περίπου 2000 Km. Στη πέμπτη στήλη παρέχεται η διακριτική χωρική ικανότητα (pixel size), ενώ στην έκτη στήλη δίνεται η χρονική διακριτική ικανότητα.

Short Name▲	Platform	MODIS Data Product	Raster type	Res (m)	Temporal Granularity
MCD12C1	Combined	Land Cover Type	CMG	5600m	Yearly
MCD12Q1	Combined	Land Cover Type	Tile	500m	Yearly
MCD12Q2	Combined	Land Cover Dynamics	Tile	500m	Yearly
MCD15A2	Combined	Leaf Area Index - FPAR	Tile	1000m	8 day
MCD15A3	Combined	Leaf Area Index - FPAR	Tile	1000m	4 day
MCD43A1	Combined	BRDF-Albedo Model Parameters	Tile	500m	16 day
MCD43A2	Combined	BRDF-Albedo Quality	Tile	500m	16 day
MCD43A3	Combined	Albedo	Tile	500m	16 day
MCD43A4	Combined	Nadir BRDF-Adjusted Reflectance	Tile	500m	16 day
MCD43B1	Combined	BRDF-Albedo Model Parameters	Tile	1000m	16 day
MCD43B2	Combined	BRDF-Albedo Quality	Tile	1000m	16 day
MCD43B3	Combined	Albedo	Tile	1000m	16 day
MCD43B4	Combined	Nadir BRDF-Adjusted Reflectance	Tile	1000m	16 day
MCD43C1	Combined	BRDF-Albedo Model Parameters	CMG	5600m	16 day
MCD43C2	Combined	BRDF-Albedo Snow-free Quality	CMG	5600m	16 day
MCD43C3	Combined	Albedo	CMG	5600m	16 day
MCD43C4	Combined	Nadir BRDF-Adjusted Reflectance	CMG	5600m	16 day
MCD45A1	Combined	Thermal Anomalies & Fire	Tile	500m	Monthly
MOD09A1	Terra	Surface Reflectance Bands 1–7	Tile	500m	8 day
MOD09CMG	Terra	Surface Reflectance Bands 1–7	CMG	5600m	Daily
MOD09GA	Terra	Surface Reflectance Bands 1–7	Tile	500/1000m	Daily
MOD09GQ	Terra	Surface Reflectance Bands 1–2	Tile	250m	Daily
MOD09Q1	Terra	Surface Reflectance Bands 1–2	Tile	250m	8 day
MOD11A1	Terra	Land Surface Temperature & Emissivity	Tile	1000m	Daily
MOD11A2	Terra	Land Surface Temperature & Emissivity	Tile	1000m	8 day

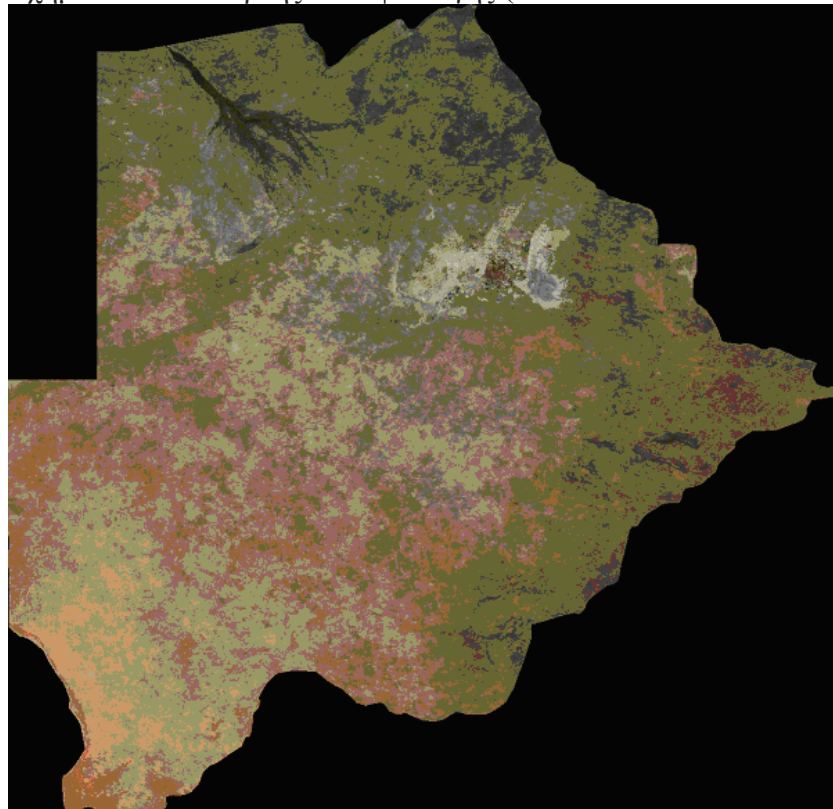
Short Name▲	Platform	MODIS Data Product	Raster type	Res (m)	Temporal Granularity
MOD11B1	Terra	Land Surface Temperature & Emissivity	Tile	5600m	Daily
MOD11C1	Terra	Land Surface Temperature & Emissivity	CMG	5600m	Daily
MOD11C2	Terra	Land Surface Temperature & Emissivity	CMG	5600m	8 day
MOD11C3	Terra	Land Surface Temperature & Emissivity	CMG	5600m	Monthly
MOD11_L2	Terra	Land Surface Temperature & Emissivity	Swath	1000m	5 min
MOD13A1	Terra	Vegetation Indices	Tile	500m	16 day
MOD13A2	Terra	Vegetation Indices	Tile	1000m	16 day
MOD13A3	Terra	Vegetation Indices	Tile	1000m	Monthly
MOD13C1	Terra	Vegetation Indices	CMG	5600m	16 day
MOD13C2	Terra	Vegetation Indices	CMG	5600m	Monthly
MOD13Q1	Terra	Vegetation Indices	Tile	250m	16 day
MOD14	Terra	Thermal Anomalies & Fire	Swath	1000m	5 min
MOD14A1	Terra	Thermal Anomalies & Fire	Tile	1000m	Daily
MOD14A2	Terra	Thermal Anomalies & Fire	Tile	1000m	8 day
MOD15A2	Terra	Leaf Area Index - FPAR	Tile	1000m	8 day
MOD17A2	Terra	Gross Primary Productivity	Tile	1000m	8 day
MOD17A3	Terra	Net Primary Productivity	Tile	1000m	Yearly
MOD44A	Terra	Vegetation Continuous Cover	Tile	250m	96 day
MOD44B	Terra	Vegetation Continuous Fields	Tile	250m	Yearly
MOD44W	Terra	Land Water Mask Derived	Tile	250m	None
MYD09A1	Aqua	Surface Reflectance Bands 1–7	Tile	500m	8 day
MYD09CMG	Aqua	Surface Reflectance Bands 1–7	CMG	5600m	Daily
MYD09GA	Aqua	Surface Reflectance Bands 1–7	Tile	500/1000m	Daily
MYD09GQ	Aqua	Surface Reflectance Bands 1–2	Tile	250m	Daily
MYD09Q1	Aqua	Surface Reflectance Bands 1–2	Tile	250m	8 day
MYD11A1	Aqua	Land Surface Temperature & Emissivity	Tile	1000m	Daily
MYD11A2	Aqua	Land Surface Temperature &	Tile	1000m	8 day

Short Name▲	Platform	MODIS Data Product	Raster type	Res (m)	Temporal Granularity
		Emissivity			
MYD11B1	Aqua	Land Surface Temperature & Emissivity	Tile	5600m	Daily
MYD11C1	Aqua	Land Surface Temperature & Emissivity	CMG	5600m	Daily
MYD11C2	Aqua	Land Surface Temperature & Emissivity	CMG	5600m	8 day
MYD11C3	Aqua	Land Surface Temperature & Emissivity	CMG	5600m	Monthly
MYD11_L2	Aqua	Land Surface Temperature & Emissivity	Swath	1000m	5 min
MYD13A1	Aqua	Vegetation Indices	Tile	500m	16 day
MYD13A2	Aqua	Vegetation Indices	Tile	1000m	16 day
MYD13A3	Aqua	Vegetation Indices	Tile	1000m	Monthly
MYD13C1	Aqua	Vegetation Indices	CMG	5600m	16 day
MYD13C2	Aqua	Vegetation Indices	CMG	5600m	Monthly
MYD13Q1	Aqua	Vegetation Indices	Tile	250m	16 day
MYD14	Aqua	Thermal Anomalies & Fire	Swath	1000m	5 min
MYD14A1	Aqua	Thermal Anomalies & Fire	Tile	1000m	Daily
MYD14A2	Aqua	Thermal Anomalies & Fire	Tile	1000m	8 day
MYD15A2	Aqua	Leaf Area Index - FPAR	Tile	1000m	8 day
MYD17A2	Aqua	Gross Primary Productivity	Tile	1000m	8 day

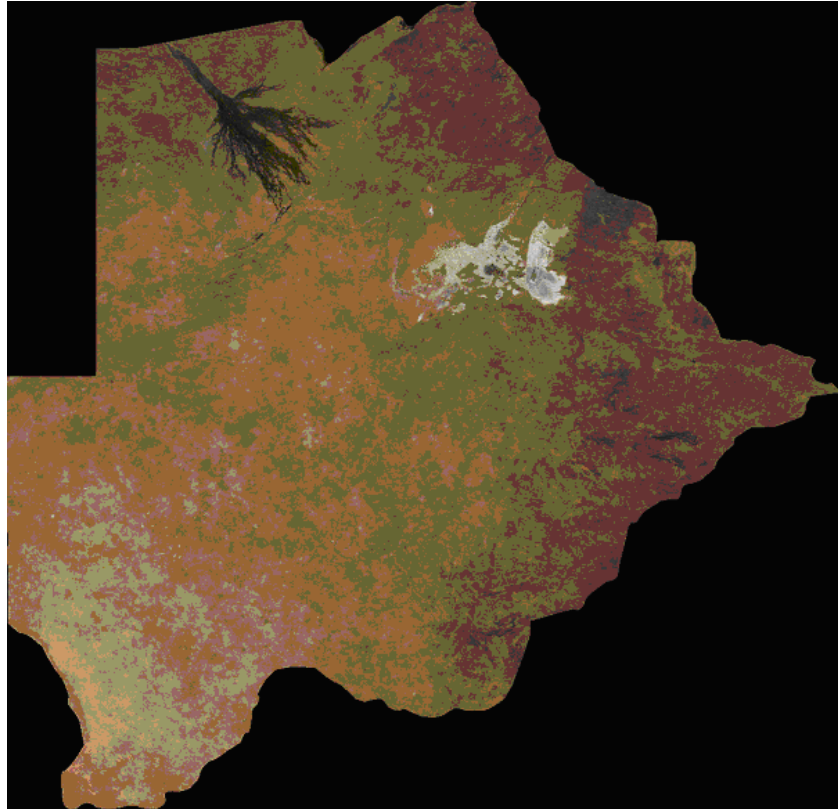
Ακολουθεί ο χάρτης καλύψεων γης της χώρας (MODIS Landcover 2013) με βάση το καταγραφικό σύστημα MODIS για το 2012 (Σχήμα 1.4.2.1.) αλλά και δύο έγχρωμα σύνθετα φυσικού χρώματος σε χωρική διακριτική ικανότητα 500 μ, για τους μήνες Ιανουάριο (Σχήμα 1.4.2.2.) και Ιούλιο (Σχήμα 1.4.2.3.) για το 2012 (GDEX,2015).



Σχήμα 1.4.2.1. Χάρτης καλύψεων γης (MODIS Landcover 2013)



Σχήμα 1.4.2.2. Έγχρωμο σύνθετο φυσικού χρώματος σε χωρική διακριτική ικανότητα 500 μ, για τον Ιανουάριο που αντιστοιχεί στην θερινή περίοδο (GDEX 2015).



Σχήμα 1.4.2.3. Έγχρωμο σύνθετο φυσικού χρώματος σε χωρική διακριτική ικανότητα 500 μ, για τον Ιούλιο που αντιστοιχεί στην χειμερινή περίοδο (GDEX 2015).

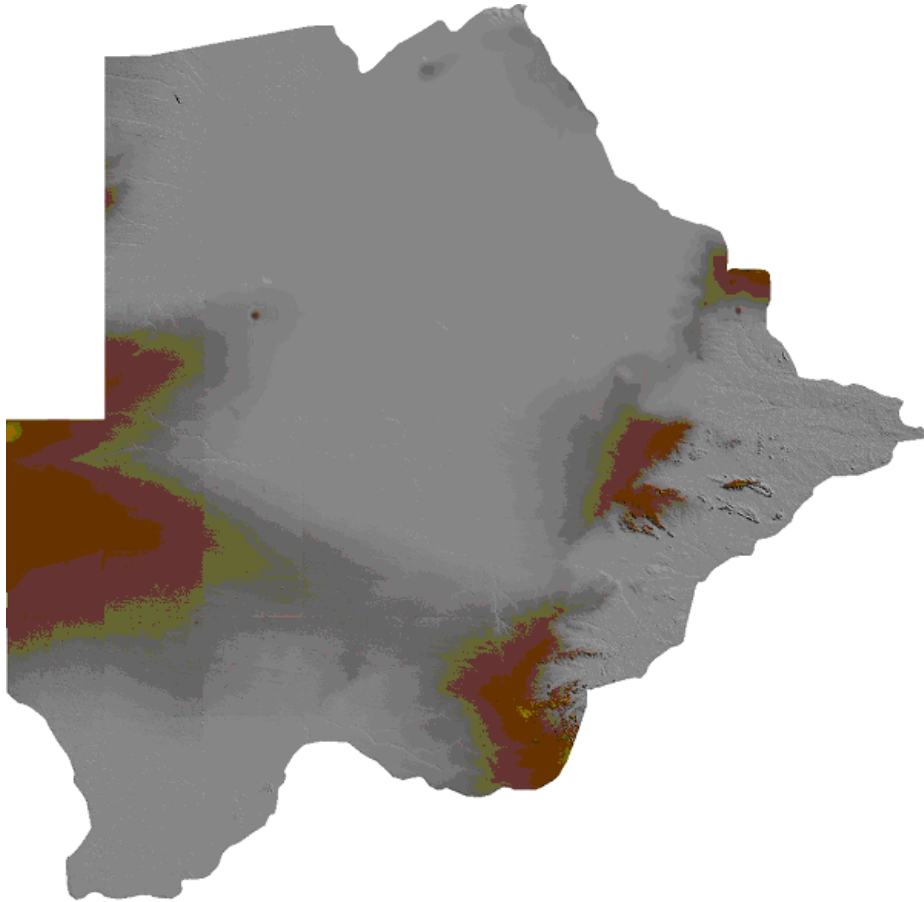
1.5 Καταγραφή του προβλήματος

Η Δημοκρατία της Μποτσουάνας, έχει έκταση 600.370 τετραγωνικά χλμ. και πληθυσμό 1.990.876 κατοίκους. Συνορεύει με τη Νότια Αφρική στα νότια και νοτιοανατολικά, τη Ναμίμπια στα δυτικά, τη Ζάμπια στα βόρεια και τη Ζιμπάμπουε στα βορειοανατολικά. Μεγάλο μέρος της χώρας καλύπτεται από άγρια φύση και αποτελεί τουριστικό πόλο έλξης (Υπάρχουν έξι μεγάλα εθνικά πάρκα, 40 ελεγχόμενες οργανωμένες περιοχές για φωτογραφίες και έξι περιοχές για σαφάρι και κυνήγι).



Σχήμα 1.5.1. Πολιτικός Χάρτης της Κεντρικής και Νοτίου Αφρικής (Botswana Country Data, 2015)

Το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (Σχήμα 1.5.2.) της περιοχής μελέτης υποδηλώνει γενικά ήπιο ανάγλυφο (SRTMGL1 2015).



Σχήμα 1.5.2. SRTM ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο της περιοχής μελέτης (SRTMGL1 2015) με χωρική διακριτική ικανότητα 30 μέτρα..

Η Μποτσουάνα αντιμετωπίζει σήμερα δύο σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα: την ξηρασία και την ερημοποίηση (Tedeschi et al 2005). Τα προβλήματα ερημοποίησης προέρχονται κατά κύριο λόγο από τις σοβαρές περιόδους ξηρασίας στη χώρα (Beltraõ et al 2000). Λόγω της ξηρασίας 75% των ανθρώπινων και ζωικών πληθυσμών της χώρας εξαρτώνται από τα υπόγεια ύδατα. Επιφανειακά ύδατα είναι πολύ σπάνια στην Μποτσουάνα και λιγότερο από το 5% της γεωργίας στη χώρα είναι βιώσιμη από τις βροχοπτώσεις (Kenabatho et al 2012). Η χώρα αυξάνει τα βοοειδή και το ζωικό κεφάλαιο, ως μέσο για ένα εισόδημα (Masike et al 2007). Ως εκ τούτου, το 71% του εδάφους της χώρας χρησιμοποιείται για κοινόχρηστη βόσκηση, η οποία είναι μια σημαντική αιτία για την ερημοποίηση της χώρας (Bok et al 2006)

Μία συνοπτική παρουσίαση των προβλημάτων ακολουθεί :

- Η μέση βροχόπτωση είναι μικρότερη από το μέσο όρο εξατμισοδιαπνοής αναφοράς σε όλα τα μέρη της χώρας για το σύνολο του έτους,
- Οι περισσότεροι τύποι άρδευσης χρησιμοποιούν τα υπόγεια ύδατα και το μεγαλύτερο μέρος της άρδευσης στη χώρα χρησιμοποιείται για καλλιέργειες κηπευτικών.
- Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η αλατότητα του εδάφους στις γεωργικές ζώνες. Επιπλέον, υπάρχει ο κίνδυνος της μακροπρόθεσμης συσσώρευσης της αλατότητας και της περαιτέρω υποβάθμισης του εδάφους.
- Περίπου το 85% της γης καλύπτεται από την άμμο της ερήμου Καλαχάρι και θάμνους
- Η χώρα έχει τη δυνατότητα να παράγει το 75% της εθνικής ζήτησης σε κηπευτικά, αλλά παράγει μόνο το 20%
- Οι μελέτες που έχουν αναληφθεί σε Μποτσουάνα υποδηλώνουν σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων σε ορισμένες περιοχές της χώρας: για παράδειγμα, στο νότιο τμήμα της Μποτσουάνα, οι βροχοπτώσεις αναμένεται να μειωθούν κατά 11% έως το 2050 (Christensen et al 2007).
- Στη Μποτσουάνα άνδρες και ημι άγονες περιοχές είναι πιθανό να επηρεαστούν σοβαρά λόγω των περιορισμένων υδάτινων πόρων εξαιτίας των μεταβολών που θα προκύψουν από την κλιματική αλλαγή, ενώ χαμηλή θα είναι η προσαρμοστική ικανότητα για να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

1.6 Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης

Με βάση τα αυξημένα περιβαλλοντικά και διαχειριστικά προβλήματα που υπάρχουν στην χώρα σε σχέση με την επάρκεια των φυσικών πόρων και των επιπτώσεων που θα έχει η κλιματική αλλαγή στις βροχοπτώσεις, στο εύρος της καλλιεργητικής περιόδου κ.α. είναι αναγκαίο να μελετηθεί η εποχική μεταβολή της βλάστησης, της θερμοκρασίας του εδάφους, των βροχοπτώσεων και να καταταμηθεί η χώρα σε ζώνες με διαφορετική εποχικότητα ως προς τις μεταβολές των βιοφυσικών δεικτών.

Μέχρι σήμερα, στη χαρτογράφηση και εξέλιξη του φυσικού περιβάλλοντος, από υψομετρικά και δορυφορικά δεδομένα, γίνεται:

- αποτύπωση χαρτών καλύψεων/χρήσεων γης (π.χ. GlobCover)
- μελέτη μορφομετρικών βιοφυσικών δεικτών από Ψηφιακά Υψομετρικά Μοντέλα Εδάφους ΨΥΜΕ.
- εντοπισμός αλλαγών από διαχρονικές δορυφορικές εικόνες (π.χ. η μεταβολή της επιφάνειας μιας λίμνης ή μιας δασικής έκτασης από 1972 μέχρι σήμερα).

Σήμερα υπάρχουν βιοφυσικά δεδομένα, όπως θερμοκρασία εδάφους (LST) μέρας και νύχτας, δείκτες βλάστησης (NDVI, EVI κ.α.), στοιχεία για τις βροχοπτώσεις, τα αιωρούμενα σωματίδια, την ανακλαστικότητα κ.α. τα οποία καταγράφονται σε ημερήσια βάση, 4 φορές το εικοσιτετράωρο, από ένα αστερισμό δορυφορικών συστημάτων (AQUA, TERRA) που είναι εξοπλισμένος με το ίδιο καταγραφικό σύστημα MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Τα δεδομένα αυτά στο επίπεδο επεξεργασίας 3 ομαδοποιούνται σε εβδομαδιαίες, δεκαπενθήμερες, μηνιαίες εκτιμήσεις για το σύνολο της επιφάνειας της γης και επομένως είναι δυνατόν να ορίσουμε ζώνες με κοινή βιοφυσική υπογραφή σε εβδομαδιαία, μηνιαία, εποχική, ετήσια και διαχρονική βάση.

Η βιοφυσική υπογραφή μπορεί δυνητικά να ανατεθεί σε στοιχεία καλύψεων γης ή να βοηθήσει στη διάκριση περιοχών μέσα στην ίδια κάλυψη γης με διαφορετική βιοφυσική υπογραφή. Αυτές οι διακρίσεις βοηθούν στο να εντοπίσουμε ζώνες που είναι περισσότερο επιδεκτικές για συγκεκριμένες χρήσεις (καλλιέργειες κ.α.), θα επιτρέψουν π.χ. τη βέλτιστη χωροθέτηση δραστηριοτήτων σε σχέση με την επερχόμενη κλιματική αλλαγή.

1.7. Σκοποί και Στόχοι

Στόχος και κύριο στοιχείο καινοτομίας είναι να αξιολογηθεί η δυνατότητα των ελεύθερων γεωγραφικών αλλά και βιοφυσικών δεδομένων (όπως οι νυκτερινές λήψεις από θερμικούς σαρωτές, βροχοπτώσεις, κ.α.) από σύγχρονα παθητικά συστήματα τηλεπισκόπησης, στον περιβαλλοντικό χωροταξικό σχεδιασμό, καθώς και την αξιολόγηση και καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης στην Μποτσουάνα. Πιο συγκεκριμένα:

- Θα γίνει αξιολόγηση των δυνατοτήτων και των δυνητικών περιορισμών που προσφέρει η διαθεσιμότητα ελεύθερων σύγχρονων βιοφυσικών και γεωγραφικών δεδομένων, στον εντοπισμό και τη μελέτη εξέλιξης των καλύψεων γης.
- Στις ζώνες με διαφορετική βιοφυσική υπογραφή θα χωροθετηθούν δυνητικές χρήσεις και δραστηριότητες.
- Θα εξεταστεί κατά πόσο οι θεματικοί χάρτες και τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης θα μπορέσουν να συνεισφέρουν στο σχεδιασμό και στην υποστήριξη δραστηριοτήτων των κρατικών φορέων.

Τα στάδια που θα ακολουθηθούν για την υλοποίηση των πιο πάνω έχουν ως εξής:

- Βιβλιογραφική αναδρομή των τεχνικών βιοφυσικής ανάλυσης, χαρτογράφησης
- Προσδιορισμός /οργάνωση των βιοφυσικών διαχρονικών εικόνων MODIS για την χώρα σε μια πλεγματική βάση δεδομένων
- Κατάτμηση σε ζώνες με διαφορετική βιοφυσική καταγραφή
- Εντοπισμό βιοφυσικών διαχρονικών ανωμαλιών κι ερμηνεία τους σε σχέση με το φυσικό περιβάλλον

Κεφάλαιο Δεύτερο

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

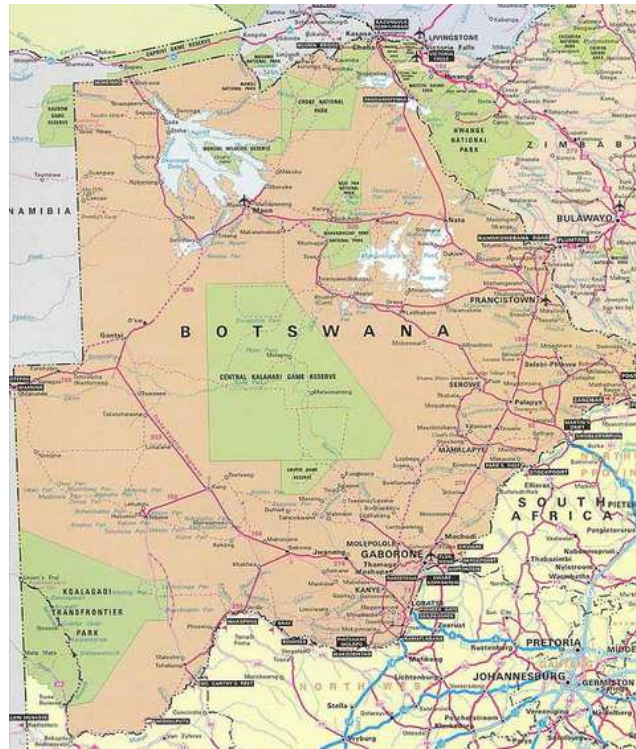
Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγραφεί η γεωγραφία, το φυσικό περιβάλλον, η αγροτική οικονομία και το κλίμα της Μποτσουάνα. Η Δημοκρατία της Μποτσουάνα, έχει έκταση 600.370 τετραγωνικά χλμ. και πληθυσμό 1.990.876 κατοίκους.

- Στόχος είναι να αποκτηθούν γνώσεις για την περιοχή μελέτης οι οποίες θα μας βοηθήσουν να ερμηνεύσουμε τις παρατηρήσεις που θα προκύψουν από την επεξεργασία των βιοφυσικών δεδομένων αλλά και να χρησιμοποιήσουμε αυτές τις παρατηρήσεις στο περιβαλλοντικό και χωροταξικό σχεδιασμό.

Μια γενική εισαγωγή στην περιοχή μελέτης προσδιορίζει τα παρακάτω:

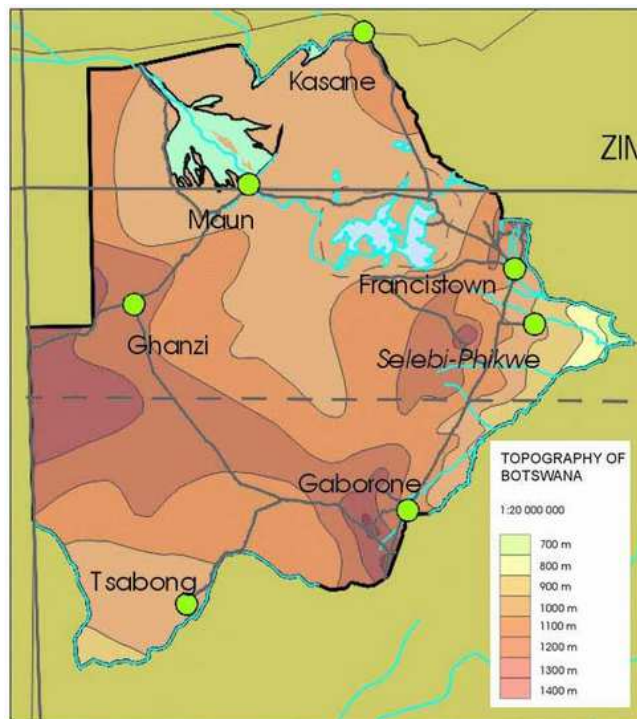
- Συνορεύει με τη Νότια Αφρική στα νότια και νοτιοανατολικά, τη Ναμίμπια στα δυτικά, τη Ζάμπια στα βόρεια και τη Ζιμπάμπουε στα βορειοανατολικά.
- Μεγάλο μέρος της χώρας καλύπτεται από άγρια φύση (Madisa et al 2010^a) και αποτελεί τουριστικό πόλο έλξης (Υπάρχουν έξι μεγάλα εθνικά πάρκα, 40 ελεγχόμενες οργανωμένες περιοχές για φωτογραφήσεις και έξι περιοχές για σαφάρι και κυνήγι).
- Η Μποτσουάνα αντιμετωπίζει σήμερα δύο σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα: την ξηρασία και την ερημοποίηση (Kuroniyi, et al 2008). Τα προβλήματα ερημοποίησης προέρχονται κατά κύριο λόγο από τις σοβαρές περιόδους ξηρασίας στη χώρα. Λόγω της ξηρασίας 75% των ανθρώπων και ζωικών πληθυσμών της χώρας εξαρτώνται από τα υπόγεια ύδατα (Anon 2009).
- Επιφανειακά ύδατα είναι πολύ σπάνια στην Μποτσουάνα και λιγότερο από το 5% της γεωργίας στη χώρα είναι βιώσιμη από τις βροχοπτώσεις (Dogliotti et al. 2005).
- Η χώρα αυξάνει τα βοοειδή και το ζωικό κεφάλαιο, ως μέσο για ένα εισόδημα. Ως εκ τούτου, το 71% του εδάφους της χώρας χρησιμοποιείται για κοινόχρηστη βόσκηση, η οποία είναι μια σημαντική αιτία για την ερημοποίηση της χώρας (Madisa et al 2010^b).

Στο κεφάλαιο αυτό (Εισαγωγή) θα γίνει μια αρχική προσέγγιση στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον όπως και στη γεωγραφία που θα εξειδικευτεί στην συνέχεια.

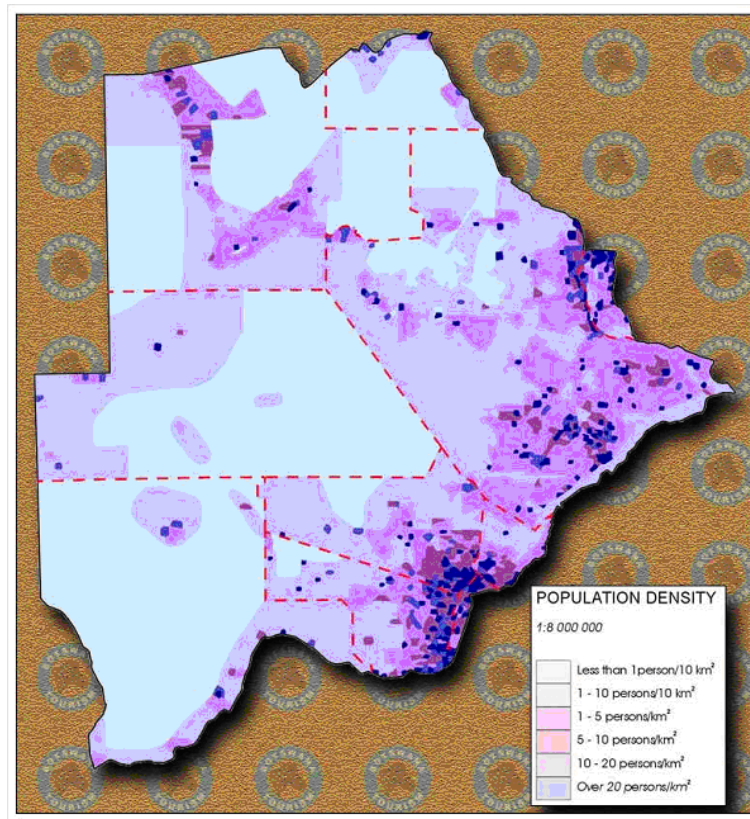


Σχήμα 2.1. Χάρτης Γενικής Χρήσης (Botswana 2014).

Η τοπογραφία της χώρας παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.2. Το ανάγλυφο της χώρας είναι μεταξύ των 700 και των 1400 μέτρων, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό της χώρας είναι πεδινή περιοχή, που διακόπτεται από λόφους.



Σχήμα 2.2 Το τοπογραφικό ανάγλυφο της Μποτσουάνα (Botswana 2014).



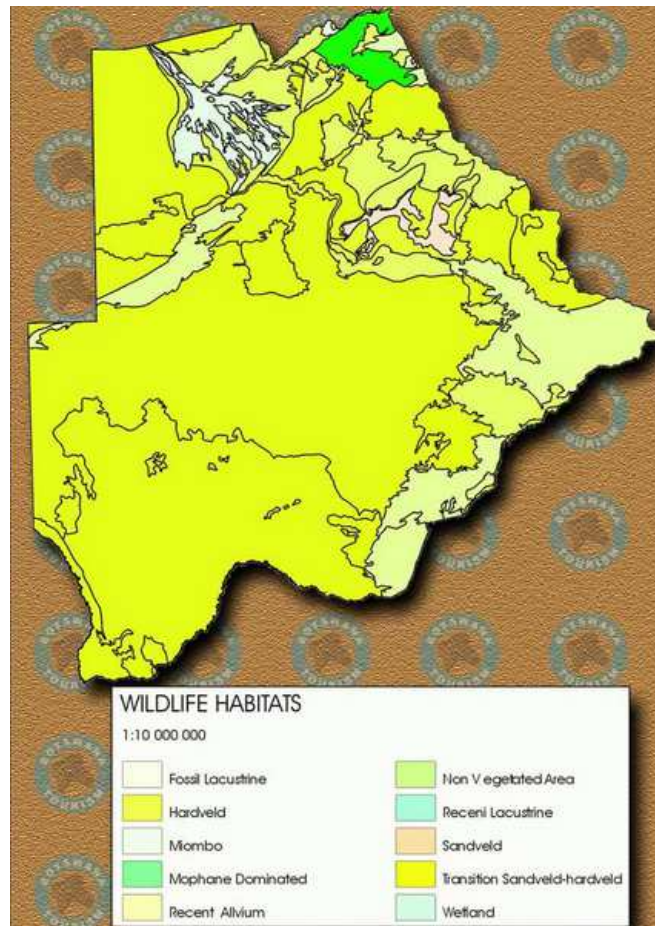
Σχήμα 2.3. Κατανομή του πληθυσμού (Botswana 2014).

Το φυσικό περιβάλλον της Μποτσουάνα εξηγεί τόσο την κατανομή του πληθυσμού όσο και τη χαμηλή πυκνότητα πληθυσμού (Σχήμα 2.3). Η βροχόπτωση είναι χαμηλή, άνισα κατανεμημένη και εξαιρετικά μεταβλητή από έτος σε έτος (Dogliotti et al 2005). Η ξηρασία είναι ένα επαναλαμβανόμενο φαινόμενο, Τα περισσότερα ποτάμια είναι εποχικά ως εκ τούτου, το νερό είναι ένα αγαθό σε ανεπάρκεια (Anon 2009).

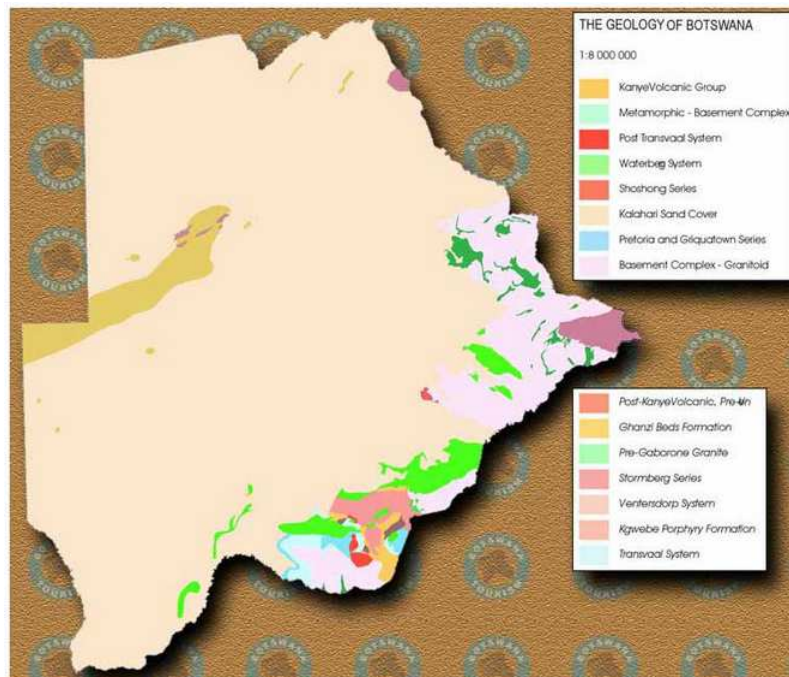
Ο πληθυσμός συγκεντρώνεται στο ανατολικό τμήμα της χώρας, όπου οι αροτραίες καλλιέργειες είναι δυνατές λόγω των πιο ευνοϊκών κλιματολογικών και εδαφολογικών συνθηκών.

Το φυσικό περιβάλλον της Μποτσουάνα δεν επηρεάζει μόνο το πρότυπο κατανομής του πληθυσμού και των γεωργικών δραστηριοτήτων (Σχήμα 2.4), αλλά επίσης επηρεάζει τις εξορυκτικές δραστηριότητες όσο και την κατανομή των βιομηχανικών δραστηριοτήτων (Christensen et al 2007).

Τα πετρώματα της Μποτσουάνα έχουν σχηματιστεί σε μια περίοδο πάνω από 3000 εκατομμύρια χρόνια. Γεωλογικά, η Μποτσουάνα έχει παραμείνει σταθερή για τα τελευταία 500 εκατομμύρια χρόνια ενώ οι κύριες γεωλογικές ενότητες φαίνονται στο Σχήμα 2.5.



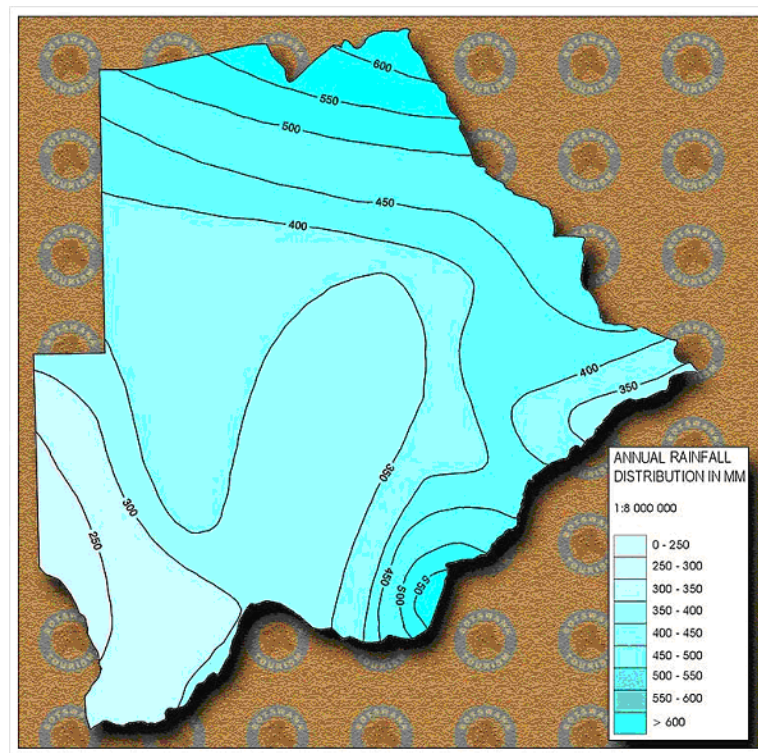
Σχήμα 2.4 Οι καλύψεις γης (Botswana 2014).



Σχήμα 2.5. Οι γεωλογικές ενότητες (Botswana 2014).

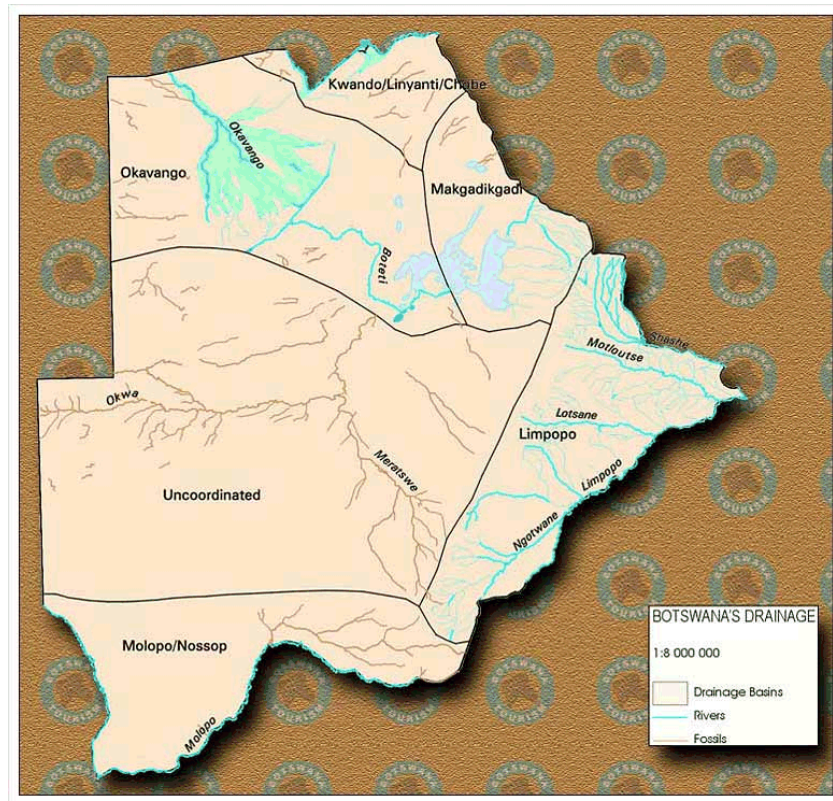
Η γεωμορφολογία της Μποτσουάνα διαιρείται στο Δέλτα του Οκαβάνγκο, τη Sandveld και την Έρημο Καλαχάρι. Αυτή η περιοχή δέχεται το λιγότερο ποσό της βροχόπτωσης σε σύγκριση με την υπόλοιπη χώρα (Dogliotti et al 2005)..

Το κλίμα μορφοποιείται από τις εποχιακές βροχοπτώσεις από το Νοέμβριο μέχρι τον Μάρτιο. Λόγω της θέσης της χώρας, η βροχόπτωση είναι χαμηλή (Σχήμα 2.6) και υπάρχουν εποχιακές περιοχές που οι θερμοκρασίες είναι πολύ υψηλές (Anon 2009).



Σχήμα 2.6. Οι βροχοπτώσεις (ισοϋετείς καμπύλες σε mm ανά έτος) (Botswana 2014).

Οι υψηλότερες μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ των 32 και 35 βαθμών Κελσίου και γενικά καταγράφονται τους μήνες Οκτώβριο και Ιανουάριο. Οι χαμηλότερες μηνιαίες θερμοκρασίες που καταγράφονται, είναι μεταξύ 1 και 5 βαθμών Κελσίου στη νότια και ανατολική χώρα και 5 έως 7 βαθμούς Κελσίου στα βόρεια τμήματα της χώρας (Madisa et al 2010^a).



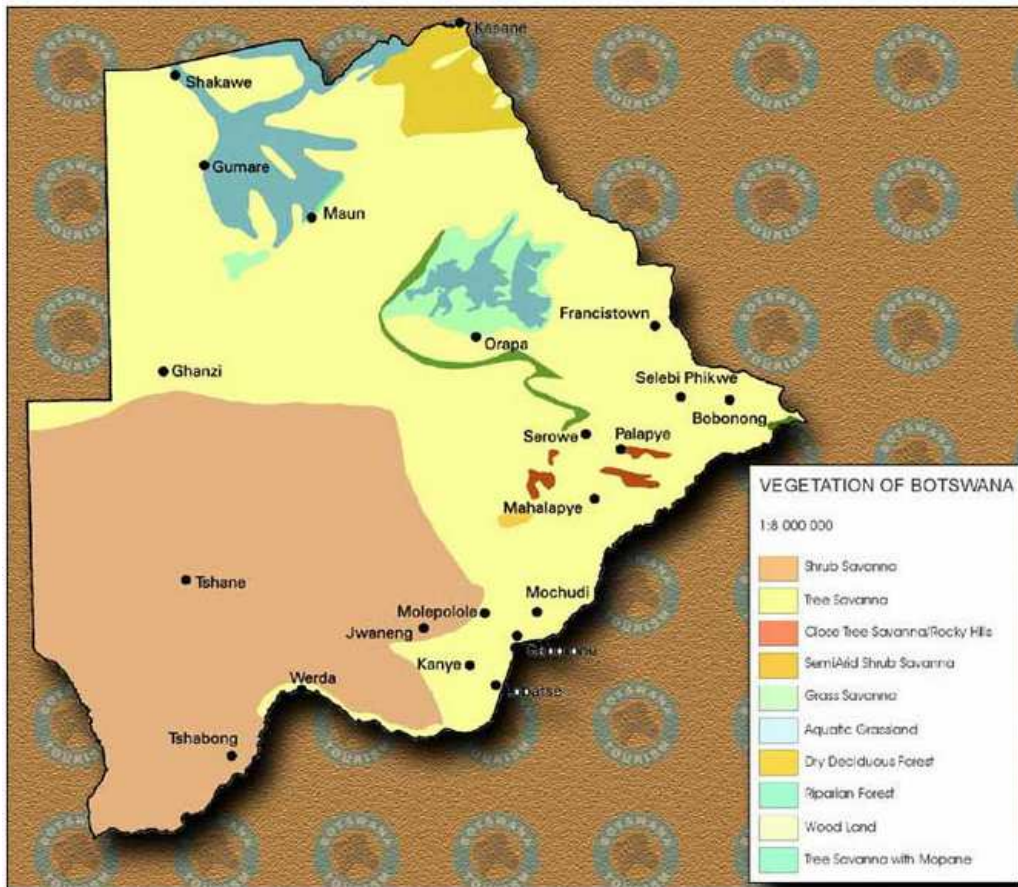
Σχήμα 2.7. Υδρογραφικές λεκάνες (Botswana 2014).

Όλα τα ποτάμια της χώρας είναι εποχιακής ροής, εκτός από τον Οκαβάνγκο στο βόρειο τμήμα της χώρας και τον Λιμπόπο. Υπάρχουν έξι λεκάνες απορροής (Σχήμα 2.7), που βοηθούν στο σχεδιασμό των έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων, όπως φράγματα. Διακρίνονται σε λεκάνες απορροής και εκείνης του συστήματος ροής του Δέλτα του Οκαβάνγκο, η έκταση της οποίας ανέρχεται σε 12 000 περίπου τετραγωνικά χιλιόμετρα (Anon 2009).

Η επισκόπηση των υπόγειων υδάτων ,υποδεικνύει ότι τα τελευταία χρόνια στην Μποτσουάνα ,σκάβουν πηγάδια στο έδαφος για να πάρουν το νερό κάτω από την επιφάνεια της γης για πόση και για άλλους σκοπούς. Τα υπόγεια ύδατα στη Μποτσουάνα όπως και σε όλα τα άλλα μέρη του κόσμου συγκεντρώνονται σε γεωλογικό σχηματισμό (υδροφόρος ορίζοντας), ο οποίος ορίζεται ως ένας σχηματισμός που μπορεί να είναι είτε μια ενοποιημένη είτε μη ενοποιημένη σειρά αλλουβιακών ιζημάτων, τα οποία περιέχουν υδρο-διαπερατό υλικό στο οποίο αποθηκεύονται υδατικοί πόροι (Madisa et al 2011).

Η διαχείριση των υδάτινων πόρων είναι ζωτικής σημασίας για την οικονομία της χώρας, καθώς και την ευημερία των ανθρώπων. Το μεγαλύτερο μέρος της αγροτικής Μποτσουάνα εξαρτάται από τα υπόγεια ύδατα, ενώ η αστική ύδρευση εξαρτάται από την συγκομιδή των

επιφανειακών υδάτων (Madisa 2010b). Η στρατηγική ανάπτυξης και προστασίας των μελλοντικών αναγκών σε νερό της Μποτσουάνα είναι το κύριο θέμα στο Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης της χώρας.



Σχήμα 2.8 Η βλάστηση (Botswana 2014).

Περίπου τα δύο τρίτα της χώρας καλύπτονται από αμμώδη εδάφη που είναι άγονα. Αυτά είναι τα κόκκινα και γκρι εδάφη έρημο στην έρημο Καλαχάρι. Το σύστημα ταξινόμησης των εδαφών βασίζεται στο παγκόσμιο εδαφολογικό χάρτη. Διάφοροι τύποι βλάστησης καλύπτουν μεγάλο μέρος της χώρας. Αυτές περιλαμβάνουν λιβάδια, φυσικά δάση, δασικές εκτάσεις, τους τύπους σαβάνας, θαμνώδη βλάστηση, τα υδρόβια (υγρότοποι) και τεχνητές φυτείες. Η βλάστηση παίζει σημαντικό ρόλο στην κτηνοτροφία και την άγρια ζωή έχει δε μεγάλη συνεισφορά στην εθνική οικονομία και την ευημερία των πολιτών.

Η κυβέρνηση της Μποτσουάνα έχει δεσμευτεί για τη διατήρηση του περιβάλλοντος. Παρά τη μακρά παράδοση της διατήρησης του περιβάλλοντος, η χώρα, τα τελευταία είκοσι χρόνια, αντιμετωπίζει αυξανόμενη πίεση στους φυσικούς πόρους της και ιδιαίτερα στην φυσική βλάστηση (Σχήμα 2.8) λόγω της αύξησης του πληθυσμού και της βιομηχανικής δραστηριότητας. Αυτή η πίεση κατέστησε αναγκαία την διαμόρφωση της Εθνικής

Στρατηγικής Προστασίας, η οποία προωθεί την προστασία του περιβάλλοντος και της αειφόρου ανάπτυξης. Η Μποτσουάνα έχει λάβει μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος της με διάφορα μέσα, τα οποία περιλαμβάνουν επίσης την ανάπτυξη μιας υπηρεσίας διαχείρισης των λυμάτων.

Η γεωργία περιλαμβάνει την εκτροφή των ζώων και την φυτική παραγωγή. Περισσότερο από το 80% του πληθυσμού ασχολείται με τη γεωργία και αυτό παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην οικονομία της χώρας (Madisa 2010^a). Το κλίμα της χώρας (ημι-άνυδρες περιοχές), καθιστά την εκτροφή βοοειδών ως την κύρια γεωργική δραστηριότητα, η οποία έχει οδηγήσει την Μποτσουάνα στο να είναι ένας από τους σημαντικότερους προμηθευτές βόειου κρέατος της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η Μποτσουάνα είναι ένας από τους κορυφαίους παραγωγούς διαμαντιών στον κόσμο και έχει μια μακρά ιστορία σε εξορύξεις μικρής κλίμακας. Τα κύρια ορυκτά είναι το διαμάντι, ο χαλκός και το νικέλιο, ο άνθρακας, η ανθρακική σόδα, το αλάτι και ο χρυσός.

Η ενέργεια στη χώρα προέρχεται από διάφορες πηγές, όπως ο άνθρακας, ξύλο, πετρέλαιο, ηλεκτρική ενέργεια και το βιοαέριο. Το καύσιμο ξύλο είναι η κύρια πηγή ενέργειας των νοικοκυριών στις αγροτικές περιοχές, δεδομένου ότι το κόστος είναι δωρεάν.

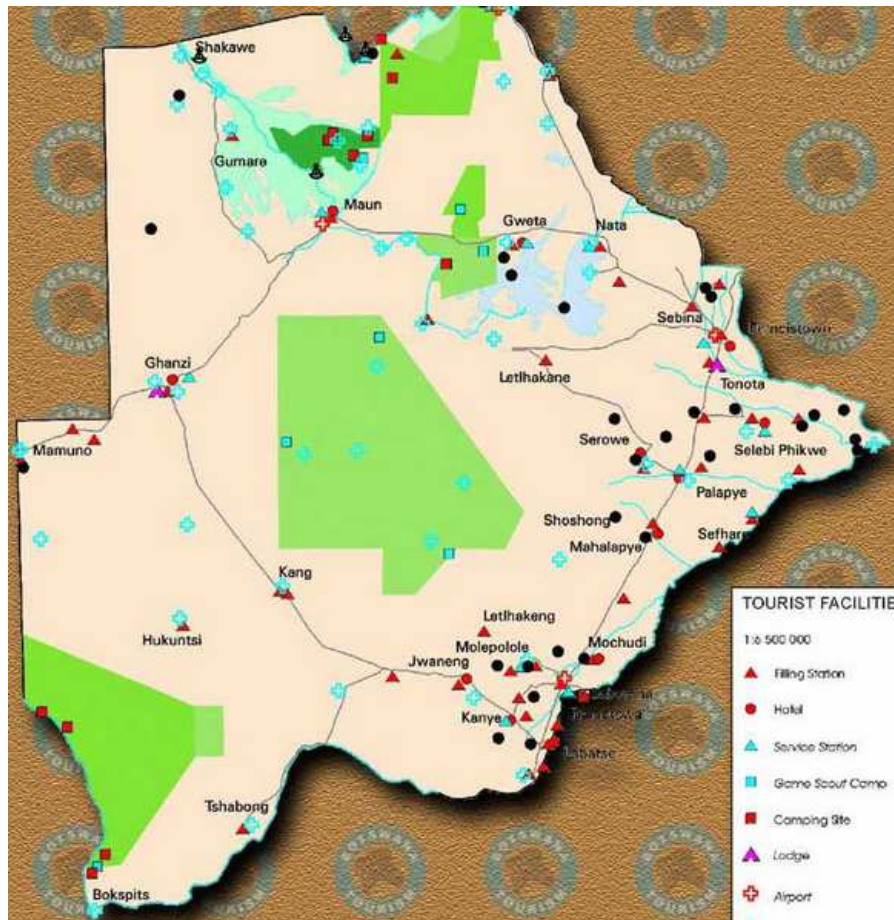
Οι στατιστικές δείχνουν ότι ο οικιακός τομέας είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής της συνολικής παραγόμενης ενέργειας ακολουθούμενη από τη βιομηχανία και τις μεταφορές. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται και διανέμεται από την Επιχείρηση Ηλεκτρισμού η οποία παράγεται από την καύση άνθρακα σε γεννήτριες ατμού στο σταθμό του Morupule στο Palapye.

Η Οικιστική συγκεντρώση στην Μποτσουάνα επηρεάζεται από μια σειρά παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων της κατανομής πληθυσμού, των φυσικών πόρων, των υποδομών, κλπ.

Πριν το 1970 ο πληθυσμός της Μποτσουάνα ήταν σε μεγάλο βαθμό αγροτικός και περίπου το 96 % του πληθυσμού κατοικούσε στο ανατολικό τμήμα. Στα μέσα της δεκαετίας του 1970 και μετά το μοτίβο του οικισμού άλλαξε, οι περισσότεροι άνθρωποι μετακινήθηκαν προς τα αστικά κέντρα.

Η Μποτσουάνα έχει αναγνωρίσει ότι τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών είναι ένα απαραίτητο εργαλείο για την χάραξη πολιτικών για την αειφόρο ανάπτυξη. Η χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών παρέχει υποστήριξη για τη διαχείριση της γης, πληροφορίες σχετικά με τη γη, τους πόρους που βρίσκονται σε αυτή και τη φυσική της εξέλιξη. Όλα αυτά τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών της γης έχουν ένα ψηφιακό

χάρτη της Μποτσουάνα ως τελικό προϊόν. Ο πρωταρχικός στόχος των συστημάτων αυτών αρχικά επικεντρώθηκε στην ιδιοκτησία της γης, στον ακριβή ορισμό του μεγέθους του σχήματος και του τίτλου των ιδιοκτησιών στο δημόσιο μητρώο. Να σημειωθεί ότι η Μποτσουάνα διαθέτει κτηματολόγιο. Σήμερα γίνεται μια προσπάθεια να ενισχυθεί και να διευρυνθεί η περιβαλλοντική διάσταση των εν λόγω συστημάτων.



Σχήμα 2.9. Τουριστικός χάρτης (Botswana 2014).

Μεγάλο μέρος της χώρας καλύπτεται από άγρια φύση και αποτελεί τουριστικό πόλο έλξης (Σχήμα 2.9). Υπάρχουν έξι μεγάλα εθνικά πάρκα, 40 ελεγχόμενες οργανωμένες περιοχές για φωτογραφίες και έξι περιοχές για σαφάρι και κυνήγι.

Υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες γης στην Μποτσουάνα που είναι α) η κοινοτική γη (Tirbal) που ανήκει στην τοπική αυτοδιοίκηση και αντιστοιχεί στο 70%, β) η γη που ανήκει στο ομόσπονδο κράτος που αντιστοιχεί στο 25% της γης, και γ) η γη που ανήκει σε φυσικά πρόσωπα και αντιστοιχεί στο 5% του συνόλου της έκτασης της Μποτσουάνας.

2.1 Γεωργία

Όλη η κηπευτική παραγωγή στην Μποτσουάνα αρδεύεται, καθώς η μέση βροχόπτωση είναι μικρότερη από το μέσο όρο εξατμισοδιαπνοής σε όλα τα μέρη της χώρας για το σύνολο του έτους, και το μεγαλύτερο μέρος της άρδευσης στη χώρα χρησιμοποιείται για καλλιέργειες κηπευτικών (Dougill et al 1999).

Σε γενικές γραμμές, το νερό που χρησιμοποιείται για άρδευση προέρχεται από τα υπόγεια ύδατα, και πολλά από αυτά δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως ποιοτικά εξ' αιτίας της αλατότητας (Ringrose et al 2002). Μια έρευνα πραγματοποιήθηκε σε 60 αγροτικές καλλιέργειες με λάχανο σε πέντε περιοχές της χώρας για να προσδιορίσει το επίπεδο της αλατότητας του νερού άρδευσης και τις πρακτικές που χρησιμοποιούνται για άρδευση. Το συμπέρασμα ήταν ότι δεν υπήρχε σχέση μεταξύ του ρυθμού άρδευσης και της αλατότητας του νερού που χρησιμοποιείται ή της αλατότητας του εδάφους (Vanderpost et al 2007). Αυτό σημαίνει ότι στο νερό γίνεται σπατάλη, επιπλέον, υπάρχει ο κίνδυνος της μακροπρόθεσμης συσσώρευσης της αλατότητας και της υποβάθμισης του εδάφους (Moleele et al 2001).

Η Μποτσουάνα είναι μια χώρα που βρίσκεται στη νότια Αφρική, με μέσο υψόμετρο 1000 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Το κλίμα είναι ημίξηρο με μια δροσερή ξηρή περίοδο μεταξύ Μαΐου και Σεπτεμβρίου και μια καυτή υγρή περίοδο μεταξύ Οκτωβρίου και Απριλίου (Herrmann et al 2005). Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 450 χιλιοστά, ενώ η μέση ετήσια εξατμισοδιαπνοή είναι 1400 mm και υπερβαίνει τη μέση βροχόπτωση κάθε μήνα (Munyati et al 2009). Περίπου το 85% της γης καλύπτεται από την άμμο της ερήμου Καλαχάρι και θάμνους (σαβάννα) με την ξηρότερη περιοχή προς τα νότια να χαρακτηρίζεται από ενεργούς αμμόλοφους και πολύ αραιή βλάστηση. Οι υδάτινοι πόροι είναι εξαιρετικά σπάνιοι σε πολλά μέρη της χώρας. Το δυναμικό του επιφανειακού νερού για άρδευση στην Μποτσουάνα είναι περιορισμένο. Το 2002, μόνο 1439 εκτάρια αρδεύονταν, εκ των οποίων μόνο 620 εκτάρια αρδεύονταν στην εποχή της ξηρασίας (FAO, 2005). Σχεδόν όλη η άρδευση είναι για κηπευτικές καλλιέργειες (FAO, 2005) - κυρίως ποικιλίες ντομάτας *Lycopersicon esculentum*.

Επίσης η άρδευση είναι απαραίτητη για την καλλιέργεια λαχανικών (Bok et al., 2006). Οι περισσότεροι τύποι άρδευσης χρησιμοποιούν τα υπόγεια ύδατα από υδροφορείς με βάθος πάνω από 10 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Οι υδροφορείς έχουν κακή ανατροφοδότηση από βροχοπτώσεις και μέτρια επίπεδα αλατότητας (Tahal Σύμβουλοι Μηχανικοί, 2000).

Πίνακας 2.2.1 Παραγωγή σιτηρών στη Μποτσουάνα 1997-2009 (Madisa etal 2011b)

Έτος	Παραγωγή (Tons)	Εμβαδό (hectares)	Παραγωγικότητα (yield ha-1)
1997/1998	6900.00	407.85	16.92
1998/1999	9198.00	496.75	18.52
1999/2000	3546.00	545.45	6.50
2000/2001	7289.00	1060.11	6.88
2001/2002	8080.00	671.35	12.04
2002/2003	13406.00	462.34	29.00
2003/2004	15874.09	904.57	17.55
2004/2005	18179.63	982.36	18.51
2005/2006	30762.95	1036.00	29.69
2006/2007	24076.16	882.45	27.28
2007/2008	31985.00	925.21	34.57
2008/2009	31150.00	830.00	37.53

Πίνακας 2.2.2 Παραγωγή φρούτων στη Μποτσουάνα (2003-2009). (Madisa etal 2011b)

Έτος	Παραγωγή (Tons)	Εμβαδό (hectares)	Παραγωγικότητα (yield ha-1)
2003/2004	3388.05	340.79	9.94
2004/2005	5212.49	311.40	16.74
2005/2006	6686.79	337.97	19.79
2006/2007	8118.99	683.99	11.87
2007/2008	9551.18	1030.00	9.27
2008/2009	7850.00	1030.00	7.62

Η χώρα έχει τη δυνατότητα να παράγει το 75% της εθνικής ζήτησης σε κηπευτικά, αλλά παράγει μόνο το 20% (Tahal Consulting Engineers, 2000), κυρίως λάχανο (*Brassica*

oleraceavar. capitata) που αναπτύσσεται σε δύο καλλιεργητικές περιόδους. Μια καλλιέργεια μπορεί να φυτευτεί μεταξύ Μαρτίου και Μαΐου, και μια άλλη μεταξύ Μαΐου και Αυγούστου. Η εξέλιξη της παραγωγής σιτηρών και φρούτων συνοψίζεται στους Πίνακες 2.2.1 και 2.2.2.

2.2 Κλίμα

Είναι πλέον γενικά αποδεκτό ότι η κλιματική αλλαγή είναι πραγματική και οι επιπτώσεις δεν μπορούν πλέον να αγνοηθούν (Bates et al 2008). Μία από τις αναμενόμενες αλλαγές περιλαμβάνει αυξημένες θερμοκρασίες ως αποτέλεσμα της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας θα οδηγήσει αναπόφευκτα σε σημαντικές αλλαγές στις ατμοσφαιρικές διεργασίες όπως σχηματισμός των βροχοπτώσεων και μεταβολή των ποσοστών εξάτμισης καθώς και του ποσοστού υγρασίας. Όσον αφορά τις βροχοπτώσεις, προβλέπεται ότι ακραία φαινόμενα, όπως πλημμύρες και ξηρασίες θα συμβούν, και η εποχική διάρκεια των βροχοπτώσεων θα αλλάξει, με αποτέλεσμα ένα πιο αβέβαιο μέλλον (Buytaert et al., 2010, Chiew et al., 2010). Άνυδρες και ημι άγονες περιοχές είναι πιθανό να επηρεαστούν σοβαρά λόγω των περιορισμένων υδάτινων πόρων. Ενώ χαμηλή θα είναι η προσαρμοστική ικανότητα για να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Παρά το γεγονός ότι υπάρχει αβεβαιότητα όσον αφορά τις προβλέψεις των βροχοπτώσεων, περισσότερα κλιματικά μοντέλα προβλέπουν θερμότερο και ξηρότερο κλίμα για τις περισσότερες ημι άγονες περιοχές ιδιαίτερα στο νότιο τμήμα της Αφρικής. Για παράδειγμα, η ετήσια μέση θερμοκρασία στη νότια Αφρική αναμένεται να αυξηθεί από 3 έως και 4 °C μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα, και θα οδηγήσει σε μείωση έως και 20% στη μέση ετήσια βροχόπτωση (Christensen et al 2007). Άλλα μοντέλα προβλέπουν αύξηση έως 7 °C από το Σεπτέμβριο έως το Νοέμβριο σε ορισμένα μέρη της Νότιας Αφρικής, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων στις περιοχές αυτές (Ruosteenoja et al 2003). Οι μελέτες που έχουν αναληφθεί σε Μποτσουάνα υποδηλώνουν σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων σε ορισμένες περιοχές της χώρας: για παράδειγμα, στο νότιο τμήμα της Μποτσουάνα, οι βροχοπτώσεις αναμένεται να μειωθούν κατά 11% έως το 2050, (Masike & Urisch 2008, (Kenabatho 2011).

Οι προβλέψεις αυτές έχουν επιπτώσεις για τη διαθεσιμότητα του νερού στο μέλλον, με πιθανή μείωση των ήδη περιορισμένων υδάτινων πόρων της Μποτσουάνα (Herrmann et al 2005).

2.3 Εθνικά πάρκα- Προστατευόμενες Περιοχές

Μία σύντομη ιστορική ανασκόπηση της εξέλιξης των Εθνικών Δρυμών και των ελεγχόμενων περιοχών κυνηγιού, αποδεικνύει ότι έχουν συνεισφέρει πολύ στην εθνική οικονομία. Η πλειονότητα των ελεγχόμενων περιοχών κυνηγιού, οροθετήθηκαν χωρίς να υπάρχει κεντρικός σχεδιασμός και χωρίς να είναι το αποτέλεσμα προσεκτικού οικολογικού σχεδιασμού (Turton, 2002). Η οριοθέτηση αυτή είναι αποτέλεσμα των ιστορικών συνθηκών και της γεωγραφίας της ευρύτερης περιοχής. Σε πολλές περιπτώσεις τα σύνορά των περιοχών αυτών ήταν και ακόμη είναι, αυθαίρετες γραμμές τραβηγμένες στο χάρτη, ποτάμια, δρόμοι και μονοπάτια. Σε γενικές γραμμές το μέγεθός τους είχε υπολογισθεί ώστε να έρχονται σε επαφή με όσο το δυνατό λιγότερους ανθρώπινους οικισμούς.

Οι προστατευόμενες περιοχές καλύπτουν όλες τις κατηγορίες ενδιαιτημάτων άγριας πανίδας, αν και υπάρχει η ανάγκη για την επέκταση ορισμένων μέτρων προστασίας συγκεκριμένων ειδών. Επιπλέον η πλειοψηφία του πληθυσμού έχει μακρά ιστορία εμπλοκής με το κυνήγι και έτσι είναι σε θέση να κατανοήσει και να εκτιμήσει την έννοια της άγριας πανίδας και χλωρίδας και την επιτακτική ανάγκη διατήρησης και αξιοποίησής της σε ένα πλαίσιο βιώσιμης ανάπτυξης. Διαχρονικά πάντως παρουσιάστηκαν εμπόδια στην ανάπτυξη αυτών των καταφυγίων, εξαιτίας κυρίαρχων παραδοσιακών αντιλήψεων και τη διχοτόμηση της χώρας σε κρατικές περιοχές και σε περιοχές που ανήκουν σε φυλές κάτι που περιορίζει τα περιθώρια χάραξης ενιαίων πολιτικών.

Η μελλοντική ανάπτυξη του Δικτύου των Εθνικών πάρκων πρέπει να δομηθεί και να ενσωματωθεί προσεκτικά με τη γεωργική ανάπτυξη, βασισμένη στην οικολογική έρευνα (White et al., 2008). Από τη στιγμή που η γεωργία αυξάνεται μαζί με τις εξαγωγές γεωργικών προϊόντων εξαιτίας της αυξημένης ζήτησης τροφίμων λόγω ανόδου του βιοτικού επιπέδου, αυξάνει και η ανάγκη για περισσότερες προστατευόμενες περιοχές, ώστε να διασωθεί η πανίδα και η χλωρίδα, καθώς και η ανάγκη για περισσότερες ζώνες ελεγχόμενης θήρευσης, λόγω επέκτασης της τουριστικής βιομηχανίας. Επίσης πρέπει να γίνει κατόπιν διεπιστημονικής προσέγγισης, επανεξέταση της κατάστασης και των τρόπων διατήρησης των προστατευμένων περιοχών, ιδιαίτερα δε εκείνων που είναι λιγότερο κατάλληλες για παραγωγή βοοειδών. Η κυβέρνηση έχει συστήσει μια Συντονιστική Επιτροπή Διαχείρισης Φυσικών Πόρων με επιστήμονες από όλες τις υπηρεσίες που εμπλέκονται με την ανάπτυξη των φυσικών πόρων.

Έτσι, ήδη υπάρχει μία διεπιστημονική προσέγγιση στο πρόβλημα των χρήσεων γης και μία επιθυμία να επιβεβαιωθεί ότι η γη χρησιμοποιείται στο μέγιστο, με ταυτόχρονη προστασία των οικοτόπων. Πιθανόν στο μέλλον να υπάρξει μία στροφή στον τουρισμό για κυνήγι, σε τουρισμό που δεν θα κυνηγάει πια.

Σε πολιτικό επίπεδο πέντε χώρες της Νοτίου Αφρικής (Αγκόλα, Μποτσουάνα, Ναμίμπια, Ζάμπια και Ζιμπάμπουε), υπέγραψαν μνημόνιο για τη δημιουργία της μεγαλύτερης προστατευόμενης περιοχής του κόσμου, ήτοι τη Διασυνοριακή Περιοχή Προστασίας Καβάνγκο-Ζαμβέζη (KAZA), με τη συνένωση τριανταέξι (36) επιμέρους προστατευόμενων περιοχών και των γύρω εκτάσεων. Η συνολική έκταση των περιοχών αυτών φτάνει τα 440.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα.

Το δέλτα Okavango, αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες προστατευόμενες από τη συνθήκη Ραμσάρ περιοχές στο κόσμο και ένα σημαντικό υγροβιότοπο ο οποίος συμβάλει οικονομικά στη Μποτσουάνα, μέσω του τουρισμού που επιφέρει. Έτσι εδώ και αρκετά χρόνια η χρήση γης του δέλτα από κοινόχρηστη, έχει τεθεί υπό κρατικό έλεγχο με αυξημένο ενδιαφέρον διατήρησής του λόγω τουρισμού. Το ενδιαφέρον αυτό για τη διατήρηση του δέλτα, εκδηλώθηκε με την επέκταση των περιοχών προστασίας (Περιοχές Διαχείρισης Άγριας Ζωής) με κύρια χρήση γης την προστασία και αξιοποίηση της άγριας βιοποικιλότητας. Η επέκταση αυτή στη πράξη επέφερε την συνοριακή αύξηση περιοχών για διάφορες δραστηριότητες όπως η απαγόρευση κυνηγιού και η αντικατάστασή του με φωτογράφιση. Φυσικό επακόλουθο των χρήσεων αυτών και κυρίως της τουριστικής χρήσης, είναι η μείωση των πόρων διαβίωσης των τοπικών κοινοτήτων του Δέλτα του Οκαβάνγκο, των οποίων οι κάτοικοι εξαρτιόνταν από το κυνήγι, την αλιεία, την κτηνοτροφία και την αρδευόμενη γεωργία. Η νέα χρήση γης και ο τουρισμός δεν έχουν ισοσταθμίσει με εναλλακτικούς τρόπους τη διαβίωση των κοινοτήτων αυτών, οι οποίες εξακολουθούν να εξαρτώνται από τους ίδιους φυσικούς πόρους όπως και στο παρελθόν, έστω και σε μικρότερες ζώνες πρόσβασης.

Οι υγρότοποι που περιλαμβάνονται στα Εθνικά Πάρκα, πολλές φορές αποκαλούνται ως ‘τα νεφρά μιας περιοχής’ διότι:

- Λειτουργούν ως αποδέκτες των υδάτων καθώς και των αποβλήτων, τόσο από φυσικές όσο και από ανθρώπινες πηγές.
- Ελέγχουν την προσφορά υδάτων επιφέροντας μια σταθερότητα τόσο σε περιόδους πλημμύρων όσο και ξηρασίας (Matiza και Chabwela, 1992).

- Αποτελούν τόπο καθαρισμού μολυσμένων υδάτων και ανατροφοδότησης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.
- Λειτουργούν επίσης ως “βιολογικά super market” λόγω της πλούσιας βιοποικιλότητας και της εκτεταμένης διατροφικής αλυσίδας που υποστηρίζουν (Νικολάου ,1988).
- Παίζουν μείζονα ρόλο στην ευρύτερη περιοχή διότι παρέχουν μοναδικά ενδιαιτήματα για μια ευρεία ποικιλία πανίδας και χλωρίδας. (Mitsch και Gosselink, 2000)

Οι ανθρώπινες παρεμβάσεις στις περισσότερες των περιπτώσεων εκμεταλλεύτηκαν οικονομικά τους φυσικούς πόρους των υγροτόπων επιβαρύνοντάς τους. (Barbier, 1997). Από τις αρχές της ανθρώπινης ιστορίας πολλοί πολιτισμοί είχαν μάθει να ζουν συμβιώνοντας αρμονικά με τους υγροβιότοπους και απολαμβάνοντας τα οικονομικά αγαθά που τους προσέφεραν, ενώ άλλοι πολιτισμοί εξάντλησαν γρήγορα το τοπίο. (Νικολάου 1988). Πολλές μεγάλες πόλεις του κόσμου (Σικάγο, Ουάσιγκτον, Παρίσι ,Μέξικο) χτίστηκαν πάνω σε υγροτόπους.

Η λεκάνη του ποταμού Οκαβάνγκο εξαπλώνεται σε τρεις χώρες (Αγκόλα, Ναμίμπια, Μποτσουάνα) καταλήγοντας σε μεγάλο Δέλτα στη Μποτσουάνα (Turton et al., 2003). Το Δέλτα αυτό καλύπτει μια έκταση 22.000 km² στη Βορειοδυτική Μποτσουάνα και δέχεται κατά μέσο όρο 15 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού ετησίως. Περίπου το 95% αυτής της ποσότητας χάνεται λόγω εξάτμισης (Wolski et al., 2005). Η περιοχή βρίσκεται στην έρημο Καλαχάρι και δέχεται μια μέση ετήσια βροχόπτωση που κυμαίνεται από 450mm έως 600 mm. Η βλάστηση στη περιοχή είναι κυρίως σαβάνα και πυκνή σαβάνα. Ο πληθυσμός της περιοχής είναι άνω των 120.000 ατόμων αποτελούμενοι κατά κύριο λόγο από Bayei, Hambukushu, Herero, Batawana και Basarwa. Επίσης κάποιες εθνικιστικές ομάδες τους Bakgalagadi οι οποίοι ζουν σε χωριά ευρισκόμενα στις παρυφές του Δέλτα (DEA ,2008). Το Δέλτα του Οκαβάνγκο όπως και άλλοι υγρότοποι αποτελεί ένα κομβικό σημείο και φυσικό πόρο αλιείας ,νερού, άγριας πανίδας, μετάλλων και άλλων πόρων. Εκτιμάται ότι 100.000 περίπου τουρίστες περνούν από το Δέλτα κάθε χρόνο και ο τουρισμός είναι η κύρια οικονομική δραστηριότητα στη περιοχή συμβάλλοντας περίπου στο 7% του ΑΕΠ της χώρας. Η κυριότητα των φυσικών πόρων παραμένει ένα αμφιλεγόμενο ζήτημα (White et al., 2008). Ιστορικά πολλά έθνη έχουν έρθει σε πολεμικές συρράξεις διεκδικώντας τη κατοχή και χρήση ορισμένων φυσικών πόρων όπως η γη, το νερό, το πετρέλαιο ,η ξυλεία , τα διαμάντια κα. (Sunderlin et al., 2008). Οι συγκρούσεις αυτές υπερβαίνουν κάποιες φορές τα τοπικά ή

περιφερειακά σύνορα ,τις φυλές τις θρησκείες και το θρήσκευμα των ανθρώπων. Η πραγματική ή η αντιληπτή αξία ενός πόρου από κοινωνικής, οικονομικής, πνευματικής και πολιτιστικής άποψης, συνήθως καθορίζει το μέγεθος της αμφισβήτησης για την ιδιοκτησία και τον έλεγχο του, δηλαδή όσο πιο πολύτιμη (ή αντιληπτά πολύτιμη), είναι η αξία ενός πόρου, τόσο αυξάνονται οι πιθανότητες να προσελκύσουν αμφισβητήσεις για την ιδιοκτησία και τον έλεγχο του (Barbier, 1997) . Το δέλτα του Οκαβάνγκο είναι ένας τέτοιος πόρος. Μέρος του Δέλτα αποτελεί διασυνοριακή λεκάνη απορροής υδάτων, τόπος εθνικιστικών ομάδων και προστατευόμενη περιοχή από τη συνθήκη Ραμσάρ ως εκ τούτου στην ιδιοκτησία του καθώς και στα δικαιώματα χρήσης του εμπλέκονται πολλοί ενδιαφερόμενοι φορείς και πολλαπλά συμφέροντα. Είναι πιθανό αν ενισχυθεί ο διάλογος από όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη να αποφευχθούν οι συγκρούσεις και να επιλυθούν τα προβλήματα για τη διαχείρισή του κάτι που έχει γίνει και σε άλλες περιοχές με υδάτινους φυσικούς πόρους (Turton, 2002).

Η λεκάνη του Οκαβάνγκο περιλαμβάνει εκτάσεις όπου επιτελείται απορροή υδάτων από το Κουμπάνγκο ,την Αγκόλα ,τη βόρεια Ναμίμπια και τη Μποτσουάνα. Τα νερά του ποταμού είναι εξαιρετικής σημασίας για το βιοπορισμό των κατοίκων της περιοχής. Περιβαλλοντικές πιέσεις λόγω ανάπτυξης, έχουν ήδη αντίκτυπο στο περιβάλλον και ενδέχεται να αυξηθούν στο μέλλον λόγω της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού, τις ειρηνευτικές πρωτοβουλίες επανεγκατάστασης πληθυσμών στην Αγκόλα ,καθώς και μεγάλες αναπτυξιακές δραστηριότητες της Ναμίμπια και Μποτσουάνα. Για παράδειγμα είναι δυνατόν μελλοντική αύξηση άντλησης υδάτων από τον ποταμό Οκαβάνγκο να επηρεάσει τη μακροπρόθεσμη περιβαλλοντική βιωσιμότητα του Δέλτα, ελαχιστοποιώντας τη μετατόπιση του καναλιού και μειώνοντας τη χωρική βιοποικιλότητα. Έχει σοβαρό υπόβαθρο η άποψη πως πρέπει να αναγνωριστεί η πιεστική ανάγκη ανάπτυξης της περιοχής παρόλο που η διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος είναι κρίσιμη. Η μείωση της φτώχειας για την ανακούφιση του πληθυσμού καθώς και οι δυσμενείς συνθήκες για το περιβάλλον πρέπει να αντιμετωπιστούν. Η λογική που θα πρέπει να πρυτανεύσει, είναι η βιώσιμη ανάπτυξη της περιοχής μέσω του τουρισμού, με πρωτοβουλίες διαχείρισης των πόρων κάτω από στρατηγικές που θα συμβαδίζουν με την επίτευξη των Αναπτυξιακών Στόχων της Χιλιετίας περί καταπολέμησης της φτώχειας και βιωσιμότητας του περιβάλλοντος στη λεκάνη του Οκαβάνγκο. Οι πρωτοβουλίες στη κατεύθυνση αυτή έχουν ένα συγκριτικό πλεονέκτημα, όπως αποδεικνύεται από την απόδοση των ήδη υφιστάμενων έργων.

Η λεκάνη του ποταμού Οκαβάνγκο είναι σχετικά υποανάπτυκτη και μόλις τα τελευταία χρόνια δέχεται κάποιες περιβαλλοντικές πιέσεις ως αποτέλεσμα των οικονομικών αλλαγών

στα όμορα με τη λεκάνη κράτη δηλαδή της Αγκόλας, Ναμίμπιας και Μποτσουάνας . Ο ποταμός Οκαβάνγκο που είναι από τους μεγαλύτερους της Αφρικής εκτεινόμενος σε πάνω από 1000 km, σχηματίζει στις εκβολές του ένα προσχωσιγενή Δέλτα εξαιρετικής γεωμορφολογίας που το καθιστά από τα διασημότερα στον κόσμο. Δεκατέσσερις μεγάλες εθνότητες ανθρώπων με διαφορετικά πολιτιστικά υπόβαθρα ζουν γύρω από αυτό, οι οποίες συγκαταλέγονται στις πλέον περιθωριοποιημένες ομάδες της Νοτίου Αφρικής, όχι μόνο λόγω της περιορισμένης πρόσβασής τους στην εκπαίδευση ,την υγεία και το βιοτικό επίπεδο ,αλλά και από άποψη της πολιτιστικής τους ταυτότητας (Kgathi et al., 2004).

Ένα σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού στις χώρες της Αγκόλα, Μποτσουάνα και Ναμίμπια εξακολουθούν να ζουν κάτω από το όριο της φτώχειας, ιδιαίτερα δε στην Αγκόλα (Matlosa et al, 2002?. Werner, 2002). Λόγω του υψηλού ποσοστού φτώχειας στη λεκάνη, η πλειοψηφία των άνθρωποι εξαρτάται από τους φυσικούς πόρους οι διατίθενται ελεύθερα από τις παραποτάμιες περιοχές για το βιοπορισμό τους (Werner, 2002?. Kgathi κ.ά., 2004).

Δεδομένου του ότι η φτώχεια είναι πιο οξεία στο τμήμα της Αγκόλας λόγω του υποτροπικού κλίματός της, οι κάτοικοι ασχολούνται με ξερικές καλλιέργειες στη γεωργία, την ανάπτυξη του τουρισμού, και την υδροηλεκτρική παραγωγή ρεύματος στην άνω λεκάνη απορροής (Matlosa et al, 2002?. UNDP, 2005? Pinheiro et al., 2003). Στην ημι-άγονη Μποτσουάνα και τη Ναμίμπια, επί του παρόντος υπάρχει άμεση εξάρτηση από το νερό για αρδευόμενη γεωργία και δραστηριότητες που σχετίζονται με τον τουρισμό, η οποίες προϋποθέτουν τη βιωσιμότητα των οικοτόπων και της άγριας ζωής. Αναμένεται ότι η πίεση στις όχθες του ποταμού και των φυσικών πόρων του, να αυξηθεί στο μέλλον, κυρίως λόγω των δημογραφικών αλλαγών. Η γενικότερη οικονομική ανάπτυξη στη λεκάνη, έχει ανάγκη την ειρηνευτική διαδικασία στην Αγκόλα καθώς και διάφορες αναπτυξιακές πρωτοβουλίες που πρέπει να λάβουν χώρα στα κράτη γύρω από τη λεκάνη (Pinheiro et al., 2003). Ως εκ τούτου, η βιώσιμη χρήση των υδάτων και των πόρων του ποταμού, είναι ζωτικής σημασίας για την κοινωνική, οικονομική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα της λεκάνης στο μέλλον. Θα διαδραματίσει δε, καίριο ρόλο στην επίτευξη των Αναπτυξιακών Στόχων της Χιλιετίας για τη μείωση της φτώχειας και της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας (UNDP, 2003).

Η λεκάνη του ποταμού Οκαβάνγκο παρουσιάζει μια απίστευτα δυναμική και σύνθετη κατάσταση. Είναι μια διπλή πρόκληση: πρώτον να επιφέρει ένα θεμιτό οικονομικό αντίκρισμα σε όλες τις εθνότητες των ανθρώπων που ζουν και ενδιαφέρονται για τη διαχείριση των πόρων της και δεύτερο να αναπτυχθεί μια σοβαρή βιβλιογραφία που θα εμπεριέχει χρήσιμες προτάσεις για την περαιτέρω πορεία αυτής . Πρόκειται για ένα δύσκολο

έργο διότι υπάρχουν πολλοί περιορισμοί. Υπάρχουν όμως και δύο μεγάλα πλεονεκτήματα ,το γεγονός ότι δεν έχει αναπτυχθεί καμιά μεγάλη υποδομή που να εμποδίζει τη φυσική ροή του ποταμού, όπως και των παραποτάμων αυτού και πως η συνολική άρδευση υδάτων τους παραμένει μικρή .

Σε ετήσια βάση ανθρωπογενής φωτιές καίνε περιοχές των υγροτόπων του Οκαβάνγκο μειώνοντας φυσικούς πόρους από τους οποίους εξαρτώνται οι άνθρωποι των γύρω περιοχών. Οι μελέτες δείχνουν ότι οι απώλειες σε φυτική μάζα που χρησιμοποιείται ως βόσκηση είναι σχετικά μικρές. Ο μεγαλύτερος αντίκτυπος των απωλειών αυτών επικεντρώνεται στη χρονική στιγμή της καύσης, άρα πυρκαγιές που εκδηλώνονται εκτός της εποχής βόσκησης των ζώων έχουν πολύ μικρότερες επιπτώσεις. Επιπλέον η πρόσβαση προς εκμετάλλευση των φυσικών πόρων των υγροτόπων, εξαρτάται περισσότερο από τα τεχνικά μέσα και τον εξοπλισμό που διαθέτει το εργατικό δυναμικό των περιοχών. Τα νοικοκυριά που διαθέτουν τέτοια μέσα συλλέγουν τους πόρους που χρειάζονται για την εκτροφή των ζώων τους πολύ πριν τις πυρκαγιές κάτι πιθανολογείται πως αποτελεί κίνητρο εμπρησμών ώστε να αναγεννηθεί η βλάστηση. Ο γυναικείος πληθυσμός από αυτή την άποψη επηρεάζεται αρνητικότερα από τις πυρκαγιές διότι είναι σε ασθενέστερη θέση για πλήρη συλλογή πόρων και αγαθών βόσκησης.

Οι υγρότοποι του Δέλτα του Οκαβάνγκο είναι μια μόνιμη πηγή γλυκού νερού και φιλοξενεί μια πληθώρα ζωής σε αντίθεση με τις υπόλοιπες ημι-άνυδρες περιοχές βορειοδυτικά της Μποτσουάνα. Ο Okavango έχει κατοικηθεί για χιλιάδες χρόνια, από ένα φάσμα διαφορετικών εθνοτικών ομάδων. Εντούτοις, οι ανθρώπινοι οικισμοί ήταν περιορισμένοι λόγω της παρουσίας ασθενειών . Ως εκ τούτου, υπήρξε μικρή ανάπτυξη, και οι άνθρωποι που ζουν σε απομακρυσμένες περιοχές επαιτούν και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τους φυσικούς πόρους για την κάλυψη των βιοποριστικών τους αναγκών. Για τα αγροτικά νοικοκυριά, ο Okavango είναι μια πηγή άφθονων πόρων από τους υγροτόπους.

Κάθε χρόνο οι πυρκαγιές καίνε εκτενώς την περιοχή. Εξαιτίας της έκτασης και της έντασης τους , οι πυρκαγιές έχουν την τάση εξάπλωσης μέχρι τις πολύ υγρές περιοχές προκειμένου να σβήσουν. Πολλές από τις πυρκαγιές προκαλούνται από τους ανθρώπους, αν και οι δασικές πυρκαγιές είναι παράνομες σύμφωνα με τον απαρχαιωμένο (επί του παρόντος βρίσκεται υπό αναθεώρηση)νομικό καθεστώς για τις φωτιές. Ωστόσο, οι άνθρωποι εξακολουθούν να χρησιμοποιούν τη φωτιά ως ένα εργαλείο διαχείρισης των πόρων, όπως γίνεται εδώ και χιλιετίες και σε άλλες περιοχές. Το μέγεθος πολλών από τις πυρκαγιές επιφέρουν εκτεταμένες καταστροφές, και κάθε έτος μειώνουν πόρους από τους οποίους εξαρτώνται πολλοί άνθρωποι. Μέχρι τώρα δεν έχουν υπάρξει μελέτες για τις συνέπειες των πυρκαγιών στο

Οκαβάνγκο ως προς τον βιοπορισμό του πληθυσμού. Οι πρώτες πληροφορίες σχετικά με την έκταση των καμένων εκτάσεων, σύμφωνα με κάποιες ανεπίσημες εκτιμήσεις ανέρχονται στο 75% περίπου των η συνολικών εκτάσεων του Δέλτα του Okavango σε ετήσια βάση. Πιο πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι οι καμμένες εκτάσεις μεταβάλλονται σημαντικά από έτος σε έτος, και πως οι πλημμύρες παίζουν κρίσιμο ρόλο στον καθορισμό του χρόνου και τόπου των πυρκαγιών.

2.4 Συνοπτική παρουσίαση των προβλημάτων

Μία συνοπτική παρουσίαση των προβλημάτων ακολουθεί :

- Η μέση βροχόπτωση είναι μικρότερη από το μέσο όρο εξατμισοδιαπνοής σε όλα τα μέρη της χώρας για το σύνολο του έτους,
- Οι περισσότεροι τύποι άρδευσης χρησιμοποιούν τα υπόγεια ύδατα και το μεγαλύτερο μέρος της άρδευσης στη χώρα χρησιμοποιείται για καλλιέργειες κηπευτικών.
- Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η αλατότητα του εδάφους στις γεωργικές ζώνες. Επιπλέον, υπάρχει ο κίνδυνος της μακροπρόθεσμης συσσώρευση της αλατότητας και της περαιτέρω υποβάθμισης του εδάφους.
- Περίπου το 85% της γης καλύπτεται από την άμμο της ερήμου Καλαχάρι και θάμνους
- Η χώρα έχει τη δυνατότητα να παράγει το 75% της εθνικής ζήτησης του κηπευτικά, αλλά παράγει μόνο το 20%
- Οι μελέτες που έχουν αναληφθεί σε Μποτσουάνα υποδηλώνουν σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων σε ορισμένες περιοχές της χώρας: για παράδειγμα, στο νότιο τμήμα της Μποτσουάνα, οι βροχοπτώσεις αναμένεται να μειωθούν κατά 11% έως το 2050.
- Στη Μποτσουάνα άνυδρες και ημι-άγονες περιοχές είναι πιθανό να επηρεαστούν σοβαρά λόγω των περιορισμένων υδάτινων πόρων εξαιτίας των μεταβολών που θα προκύψουν από την κλιματική αλλαγή, ενώ χαμηλή θα είναι η προσαρμοστική ικανότητα για να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Μεθοδολογική προσέγγιση και στόχοι

Η μεθοδολογική προσέγγιση περιλαμβάνει σύνοψη των κυρίων περιβαλλοντικών προβλημάτων με βάση την βιβλιογραφική ανασκόπηση της περιοχής μελέτης. Αφού γίνει σύνοψη των περιβαλλοντικών προβλημάτων, δηλαδή καθοριστεί το εννοιολογικό πλαίσιο και περιγραφεί το πρόβλημα, θα καθοριστεί ο στόχος και τα ερευνητικά ερωτήματα που αναμένονται να απαντηθούν κατά την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας.

Μετά θα αναζητηθούν κατάλληλα δεδομένα τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στην διπλωματική εργασία. Τα δεδομένα θα περιγραφούν τόσο ως προς την διαθεσιμότητα/πρόσβαση των χρηστών σε αυτά, όσο και ως προς την δομή (χωρική και χρονική διακριτική ικανότητα κ.α.).

Στην συνέχεια θα προσδιορισθούν οι τεχνικές επεξεργασίας και ανάλυση των δεδομένων όπως και οι πληροφορίες που θα εξαχθούν από αυτά. Η επιλογή των τεχνικών θα βασιστεί σε προηγούμενες ερευνητικές προσπάθειες. Παραδειγματικές περιπτώσεις επεξεργασίας αντίστοιχων δεδομένων σε άλλες περιοχές μελέτης, θα περιγραφούν συνοπτικά προκειμένου να αντληθεί εμπειρία προτού γίνει εφαρμογή αυτών των τεχνικών στα δεδομένα της περιοχής μελέτης.

Στο τελικό στάδιο της μεθοδολογίας θα υλοποιηθούν οι τεχνικές στην περιοχή μελέτης και θα εξαχθούν αποτελέσματα στην μορφή θεματικών χαρτών και στατιστικών αναπαραστάσεων.

Η Δημοκρατία της Μποτσουάνας είναι περικλειστή ηπειρωτική χώρα στις παρυφές του Νοτίου Ημισφαιρίου, με πολύ μικρή πυκνότητα πληθυσμού αφού έχει έκταση 600.000 τετραγωνικά χλμ. και πληθυσμό λίγο λιγότερο από 2.000.000 κατοίκους,. Το μεγαλύτερο μέρος της χώρας καλύπτεται από φυσική βλάστηση τουλάχιστον εποχικά ή έρημο (στην δυτική πλευρά που συνορεύει με την Ναμίμπια) και αποτελεί τουριστικό πόλο έλξης. Υπάρχει μεγάλος αριθμός από εθνικά πάρκα και ελεγχόμενες οργανωμένες περιοχές για φωτογραφήσεις και για σαφάρι. Η οικονομία της χώρας και οι υποδομές της (συγκοινωνίες, μεταφορές) είναι άμεσα συνδεδεμένες με την οικονομία της Νότιας Αφρικής με την οποία συνορεύει στα νότια και στα νοτιανατολικά). Εκτός από τον τουρισμό, η οικονομία βασίζεται

στην αγελαδοτροφία και στις ορυκτές πρώτες ύλες με ιδιαίτερη έμφαση στην εξόρυξη διαμαντιών.

Η χώρα αντιμετωπίζει σήμερα δύο σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα: την ξηρασία και την ερημοποίηση. Τα προβλήματα ερημοποίησης προέρχονται κατά κύριο λόγο από τις σοβαρές περιόδους ξηρασίας στη χώρα. Λόγω της ξηρασίας 75% των ανθρώπινων και ζωικών πληθυσμών της χώρας εξαρτώνται από τα υπόγεια ύδατα. Η χρήση των υπογείων υδάτων έχει χαλαρώσει τις επιπτώσεις της ξηρασίας, αλλά έχει αφήσει ένα τίμημα για τη γη. Τα υπόγεια ύδατα αντλούνται μέσω βαθέων γεωτρήσεων, γεγονός που οδηγεί σε διάβρωση της γης. Τα επιφανειακά ύδατα είναι πολύ σπάνια στην Μποτσουάνα και λιγότερο από το 5% της γεωργίας στη χώρα είναι βιώσιμη από τις βροχοπτώσεις, με συνέπεια το 95 % της χώρας να αυξάνει τα βοοειδή και το ζωικό κεφάλαιο, ως μέσο για ένα εισόδημα. Ως εκ τούτου, δεν είναι έκπληξη να δούμε ότι το 71% του εδάφους της χώρας χρησιμοποιείται για κοινόχρηστη βόσκηση, η οποία αποτελεί μια σημαντική αιτία για την ερημοποίηση της χώρας.

- Στόχος και κύριο στοιχείο καινοτομίας είναι να αξιολογηθεί η δυνατότητα των ελευθέρων γεωγραφικών αλλά και βιοφυσικών δεδομένων από σύγχρονα παθητικά συστήματα τηλεπισκόπησης, στον περιβαλλοντικό χωροταξικό σχεδιασμό της Μποτσουάνα.

Στη χαρτογράφηση και εξέλιξη του φυσικού περιβάλλοντος από υψομετρικά και δορυφορικά δεδομένα, θα γίνει:

- αποτύπωση χαρτών καλύψεων/χρήσεων γης,
- χαρτογράφηση από ελεύθερα γεωγραφικά δεδομένα και από ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα εδάφους,
- μελέτη από βιοφυσικά δεδομένα, όπως θερμοκρασία εδάφους, δείκτες βλάστησης, στοιχεία για τις βροχοπτώσεις κ.α.

Τα βιοφυσικά δεδομένα καταγράφονται σε ημερήσια βάση, 4 φορές το εικοσιτετράωρο, από ένα αστερίσκο δορυφορικών συστημάτων (AQUA, TERRA) που είναι εξοπλισμένοι με το ίδιο καταγραφικό σύστημα MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Τα δεδομένα αυτά στο επίπεδο επεξεργασίας 3 ομαδοποιούνται σε εβδομαδιαίες, δεκαπενθήμερες, μηνιαίες εκτιμήσεις για το σύνολο της επιφάνειας της γης και επομένως

είναι δυνατόν να ορίσουμε ζώνες με κοινή βιοφυσική υπογραφή σε εβδομαδιαία, μηνιαία, εποχική, ετήσια και διαχρονική βάση.

Η βιοφυσική υπογραφή μπορεί δυνητικά να ανατεθεί σε στοιχεία καλύψεων γης ή να βοηθήσει στη διάκριση περιοχών μέσα στην ίδια κάλυψη γης με διαφορετική βιοφυσική υπογραφή. Αυτές οι διακρίσεις βοηθούν στο να εντοπίσουμε ζώνες που είναι περισσότερο επιδεκτικές για συγκεκριμένες χρήσεις (καλλιέργειες κ.α.), θα επιτρέψουν π.χ. τη βέλτιστη χωροθέτηση δραστηριοτήτων σε σχέση με την επερχόμενη κλιματική αλλαγή.

Τα στάδια που θα ακολουθηθούν για την υλοποίηση των πιο πάνω έχουν ως εξής:

- Βιβλιογραφική αναδρομή για την αναζήτηση γεωγραφικών και βιοφυσικών δεδομένων
- Προσδιορισμός /οργάνωση των βιοφυσικών διαχρονικών εικόνων MODIS για την χώρα σε μια πλεγματική βάση δεδομένων,
- Κατάτμηση σε ζώνες με διαφορετική βιοφυσική καταγραφή,
- Εντοπισμός βιοφυσικών διαχρονικών ανωμαλιών κι ερμηνεία τους σε σχέση με το φυσικό περιβάλλον.

Τα δυνητικά αποτελέσματα θα περιλαμβάνουν:

- αξιολόγηση των δυνατοτήτων και των δυνητικών περιορισμών που προσφέρει η διαθεσιμότητα ελεύθερων σύγχρονων γεωγραφικών δεδομένων, στην αποτύπωση του φυσικού περιβάλλοντος
- την χαρτογράφηση ζωνών με διαφορετική βιοφυσική υπογραφή και
- την συνεισφορά τους στο σχεδιασμό και στην υποστήριξη δραστηριοτήτων κρατικών φορέων.

3.2 Δεδομένα

3.2.1 ΨΥΜΕ SRTM GL1

Τα υψομετρικά δεδομένα της NASA SRTM προκύπτουν από μια συλλογική προσπάθεια από την Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος (NASA) και της Εθνικής Υπηρεσίας Γεωχωρικής Χαρτογράφησης (Geospatial-Intelligence Agency-NGA) με την συμμετοχή των γερμανικών και ιταλικών διαστημικών υπηρεσιών κατά Farr et al. (2007)..

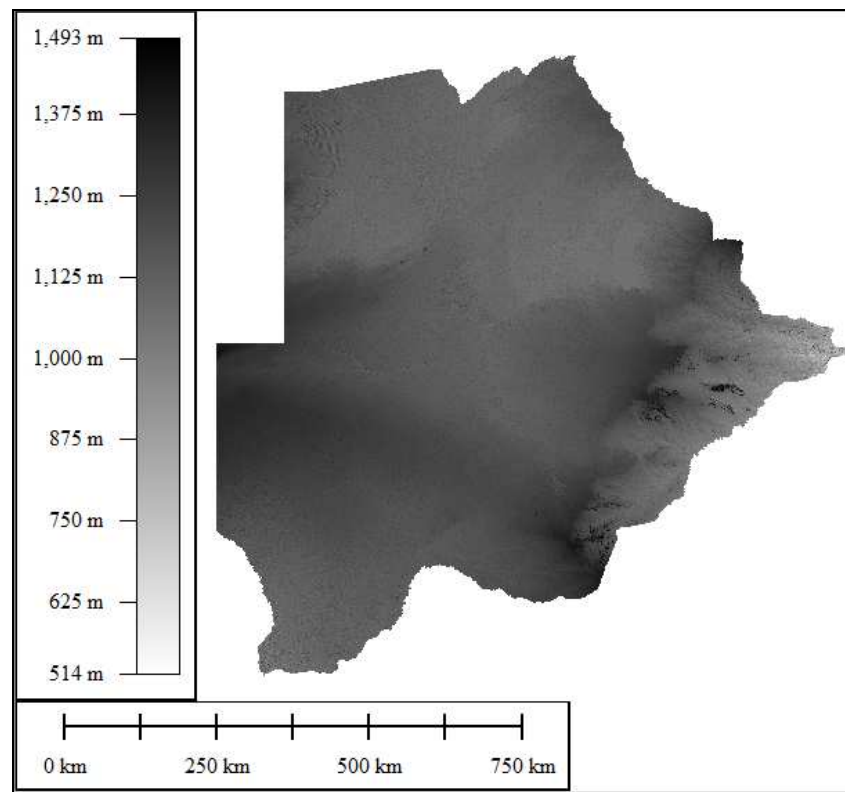
Με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ένα σχεδόν παγκόσμιο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) για την Γη, χρησιμοποιώντας ραντάρ συμβολομετρίας. Το όργανο SRTM αποτελείται από το διαστημικό απεικόνιση ραντάρ-C (SIR-C) (Kobrick, 2006). Μια περιγραφή της αποστολής του SRTM μπορεί να βρεθεί σε Farr και Kobrick (2000) και Farr et al. (2007).

Το SRTM ήταν η κύρια αποστολή (και σχεδόν μοναδική) για την πτήση STS-99 της αποστολής του διαστημικού λεωφορείου Endeavour, η οποία ξεκίνησε 11 Φλεβάρη 2000 και ολοκληρώθηκε σε 11 ημέρες.. Κατά την διάρκεια της πτήσης απεικονίστηκε το 99,96% της ξηράς τουλάχιστον μία φορά, 94,59%, τουλάχιστον δύο φορές και περίπου το 50% τουλάχιστον τρεις ή περισσότερες φορές. Ο στόχος ήταν κάθε σημείο της επιφάνειας της γης να καταγραφεί τουλάχιστον δυο φορές από διαφορετικές γωνίες λήψης (δυο τουλάχιστον, μια αύξουσα και μια φθίνουσα) έτσι ώστε να μην υπάρχουν προβλήματα στις περιοχές σκίασης (Miliareisis & Paraschou 2005).

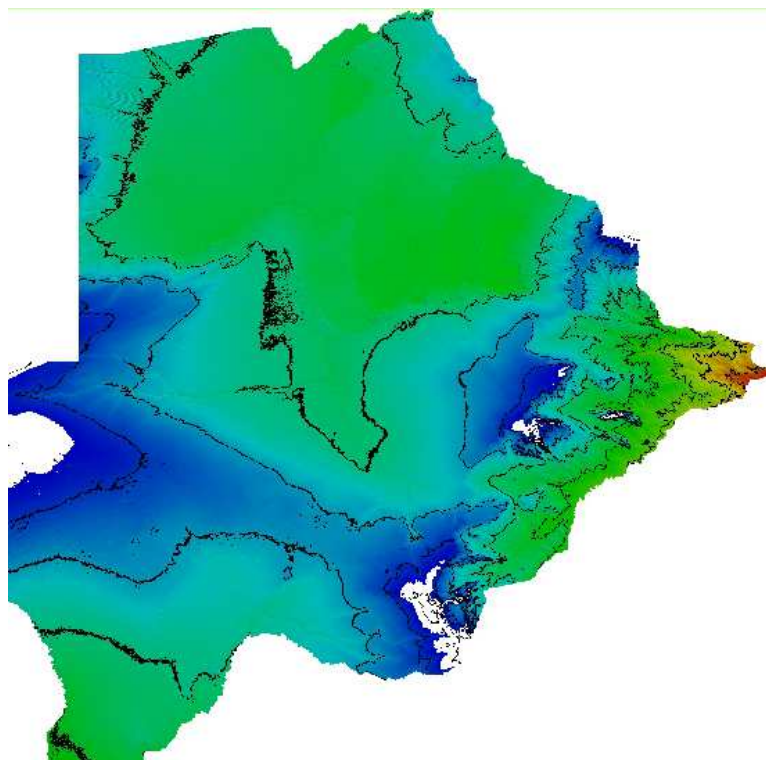
Καταγράφηκαν όλα τα εδάφη για γεωγραφικά πλάτη μεταξύ 56 μοίρες νότιο και 60 μοίρες βόρειο γεωγραφικό πλάτος, τα οποία περιλαμβάνουν σχεδόν ακριβώς το 80% της συνολικής ξηράς της Γης. Τα δεδομένα της NASA SRTM έχουν υποστεί μια σειρά από βήματα επεξεργασίας που καθορίζουν την έκδοση των δεδομένων στην οποία αναφερόμαστε και στις δυνατότητες αυτής (χωρική διακριτική ικανότητα, ακρίβεια κ.α.). Παρόλο που η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε στην μεγαλύτερη δυνατή χωρική ανάλυση 30 μέτρα, τα δεδομένα ήταν αρχικά ελεύθερα για παγκόσμια χρήση, σε χωρική διακριτική ικανότητα τριών τόξου δευτερολέπτου (περίπου 90 μέτρα). Ένα τόξο δευτερολέπτου κάλυψης περιείχε δεδομένα, που ήταν αρχικά ελεύθερα μόνο για τις Ηνωμένες Πολιτείες. Τα ύψη σε μέτρα αναφέρονται στο οριζόντιο (ελλειψοειδές σύστημα αναφοράς) datum WGS84 και στο γεωειδές EGM96.

Στο τέλος του 2014, άρχισε η σταδιακή απελευθέρωση των δεδομένων υψηλότερης ανάλυσης (30 μέτρων) για όλη την γη που θα ολοκληρωθεί εντός του 2015. Τα δεδομένα

αυτά έχουν υποστεί περαιτέρω επεξεργασίες, δεν έχουν κενά και ονομάζονται **SRTM GL1** (SRTMGL1 2015)



Σχήμα 3.2.1.1 ΨΥΜΕ SRTM GL1

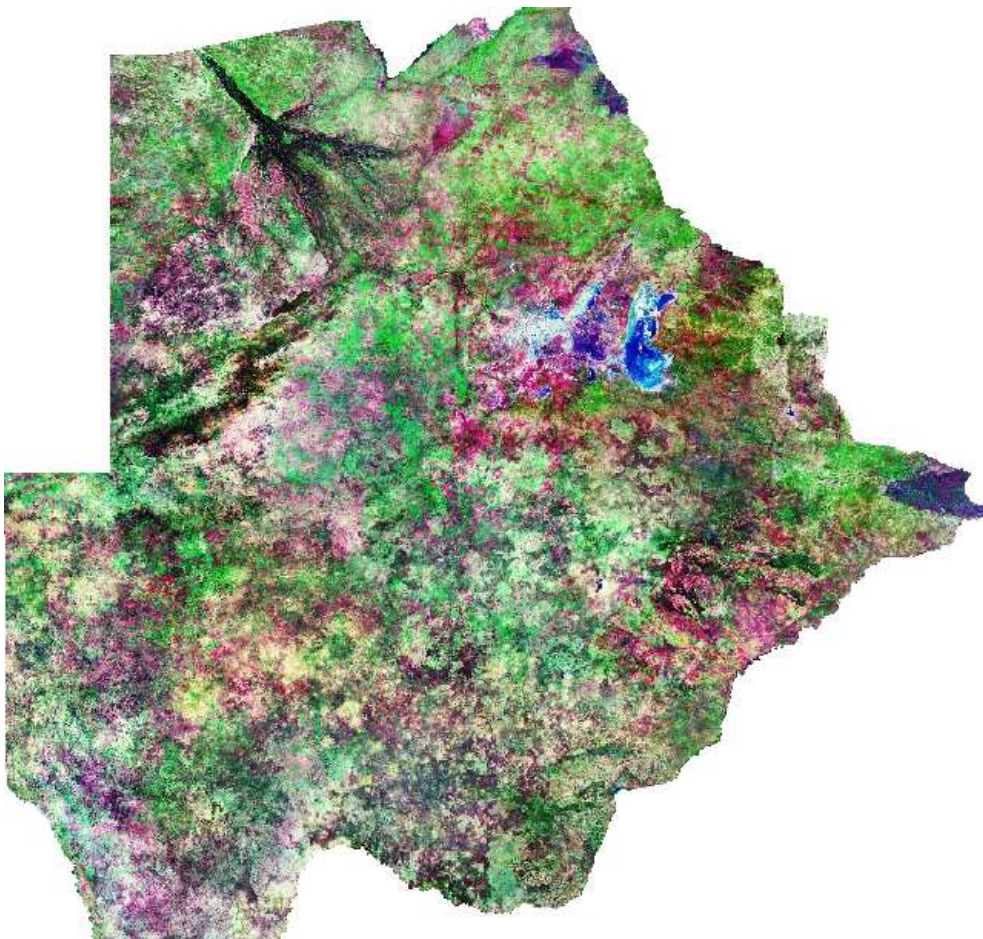


Σχήμα 3.2.1.2 ΨΥΜΕ SRTM GL1 με υπέρθεση ισοϋψών ανά 100 m.

3.2.2. Βιοφυσικά δεδομένα

3.2.2.1 Καλύψεις-χρήσεις γης

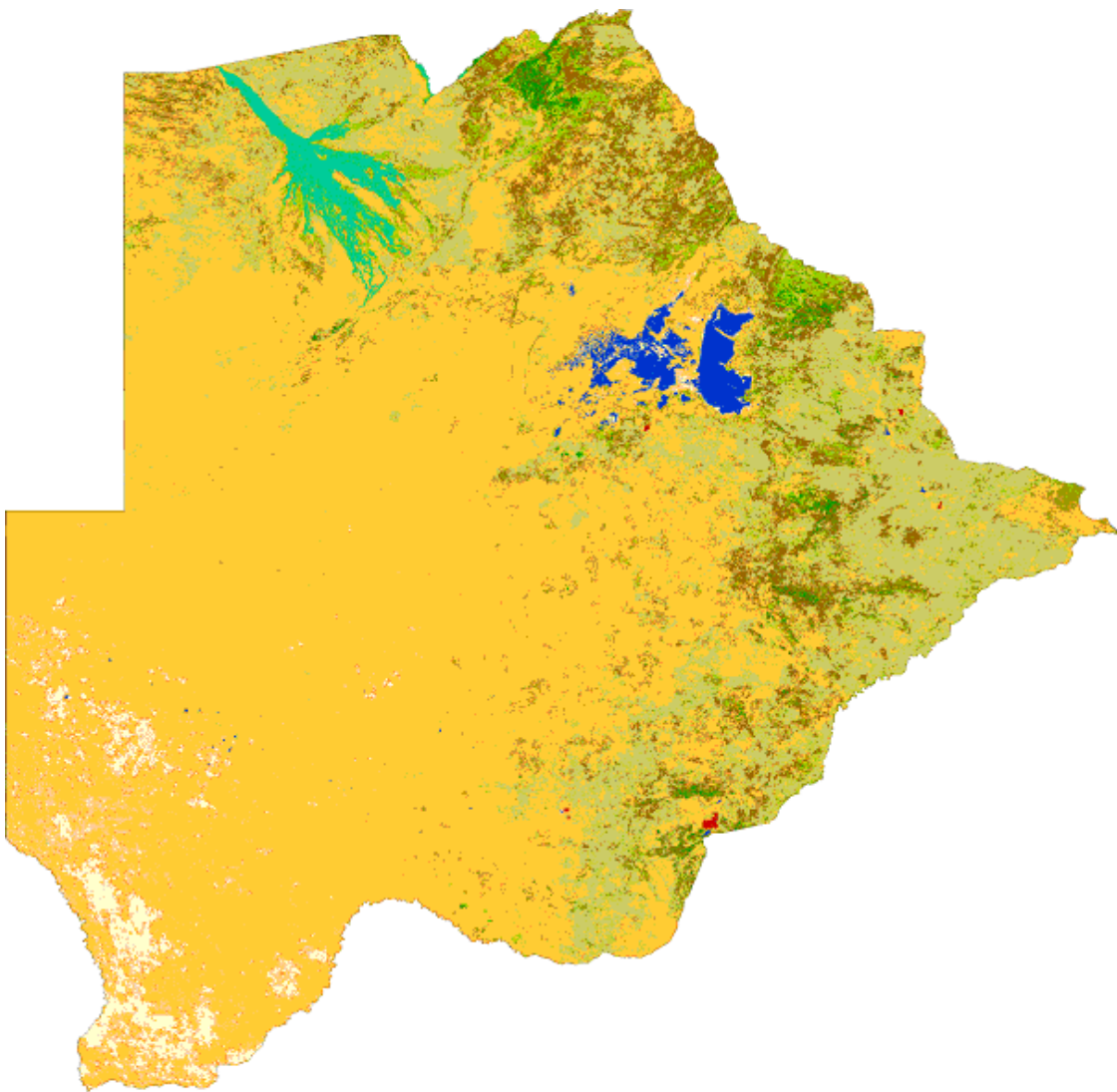
Οι **μεταβολές στην κάλυψη γης**, οι αλλαγές στα βιοφυσικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης, και η **χρήση γης**, που καθορίζονται από τους στόχους της ανθρώπινης χρήσης, είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες για τον καθορισμό των παγκόσμιων περιβαλλοντικών αλλαγών, οι αιτίες για τις οποίες είναι πολλαπλές και πολύπλοκες. Δίπλα στους **παράγοντες που έχουν φυσική επιρροή** όπως το κλίμα, το έδαφος, η υδρολογία (νερό), και η βλάστηση, οι **κοινωνικο-οικονομικοί παράγοντες** (η ανθρώπινη χρήση) παίζουν το μεγαλύτερο ρόλο (Μηλιαρέσης 2003). Οι συνέπειες από αυτές τις αλλαγές στην κάλυψη της γης που προκαλούνται από τον άνθρωπο μπορούν να ταξινομηθούν σε έμμεσες και άμεσες επιπτώσεις. Οι **άμεσες επιπτώσεις**, όπως η μετατροπή, η ζημία, και ο κατακερματισμός της κάλυψης γης οδηγούν σε αυξημένη διάβρωση (απομάκρυνση του εδαφικού υλικού, για παράδειγμα από το νερό), αλλαγές στην επιφανειακή κυκλοφορία των υδάτων, κ.α.. (Μηλιαρέσης 2006). Οι **έμμεσες επιδράσεις** κυμαίνονται από τις μεταβολές των ειδών μέχρι και την απώλεια της βιοποικιλότητας.



Σχήμα 3.2.2.1 Landsat Mosaic, (Geover 2015) ανά 28 m (1990)

3.2.2.1.1 Landsat NASA Mosaics

Τα δεδομένα GeoCover αντιστοιχούν σε ένα φωτομωσαϊκό που καλύπτει το σύνολο της γήινης επιφάνειας (Geocover2015). Προήρθαν από τα δεδομένα των δορυφόρων LAndsat και είναι διαθέσιμο για δύο έτη το 1990 και το 2000. Το κάθε φωτομωσαϊκό αντιστοιχεί σε έγχρωμα σύνθετα από τα κανάλια 7,4,1 που έχουν συγχωνευθεί με το παγχρωματικό κανάλι για το έτος 2000. Η χωρική διακριτή ικανότητα είναι 28 και 14 μέτρα για τα έτη 1990 και 2000 αντίστοιχα. Αν και είναι έγχρωμα σύνθετα που υποδηλώνουν ανακλαστικότητες (Σχήμα 3.2.2.1) και όχι θεματικούς χάρτες που υποδηλώνουν συγκεκριμένο τύπο βλάστησης/ κάλυψης/ χρήσης γης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό αλλαγών.



Σχήμα 3.2.2.1.2 Οι κατηγοριοποιήσεις GlobCover

3.2.2.1.2 GlobCover

Οι χάρτες καλύψεων γης GlobCover της ESA (Arino et al 2012) συνέθεσαν ένα παγκόσμιο χάρτη καλύψεων γης με βάση τα δεδομένα από τον δορυφόρο Envisat MERIS με χωρική ανάλυση 300 m. Τα δεδομένα προσδιορίζουν την επικρατούσα κάλυψη για το έτος 2009.

Πίνακας 3.2.2.1.2 Οι κατηγοριοποιήσεις GlobCover (Σχήμα 3.2.2.1.2)

ID	Καλύψεις γης
11	Post-flooding or irrigated croplands (or aquatic)
14	Rainfed croplands
20	Mosaic cropland (50-70%) / vegetation (grassland/shrubland/forest) (20-50%)
30	Mosaic vegetation (grassland/shrubland/forest) (50-70%) / cropland (20-50%)
40	Closed to open (>15%) broadleaved evergreen or semi-deciduous forest (>5m)
50	Closed (>40%) broadleaved deciduous forest (>5m)
60	Open (15-40%) broadleaved deciduous forest/woodland (>5m)
70	Closed (>40%) needleleaved evergreen forest (>5m)
90	Open (15-40%) needleleaved deciduous or evergreen forest (>5m)
100	Closed to open (>15%) mixed broadleaved and needleleaved forest (>5m)
110	Mosaic forest or shrubland (50-70%) / grassland (20-50%)
120	Mosaic grassland (50-70%) / forest or shrubland (20-50%)
130	Closed to open (>15%) (broadleaved or needleleaved, evergreen or deciduous) shrubland (<5m)
140	Closed to open (>15%) herbaceous vegetation (grassland, savannas or lichens/mosses)
150	Sparse (<15%) vegetation
160	Closed to open (>15%) broadleaved forest regularly flooded (semi-permanently or temporarily) - Fresh or brackish water
170	Closed (>40%) broadleaved forest or shrubland permanently flooded - Saline or brackish water
180	Closed to open (>15%) grassland or woody vegetation on regularly flooded or waterlogged soil - Fresh, brackish or saline water
190	Artificial surfaces and associated areas (Urban areas >50%)
200	Bare areas
210	Water bodies
220	Permanent snow and ice
230	No data (burnt areas, clouds,...)

Το σύστημα γεωταξινόμησης (κατηγοριοποιήσεις καλύψεων γης) που χρησιμοποιήθηκε (GlobCover 2015) (Πίνακας 3.2.2.1.2) αντιστοιχεί στο Σύστημα Γεωταξινόμησης των Ηνωμένων Εθνών (LCCS).

3.2.2.1.3 NDVI

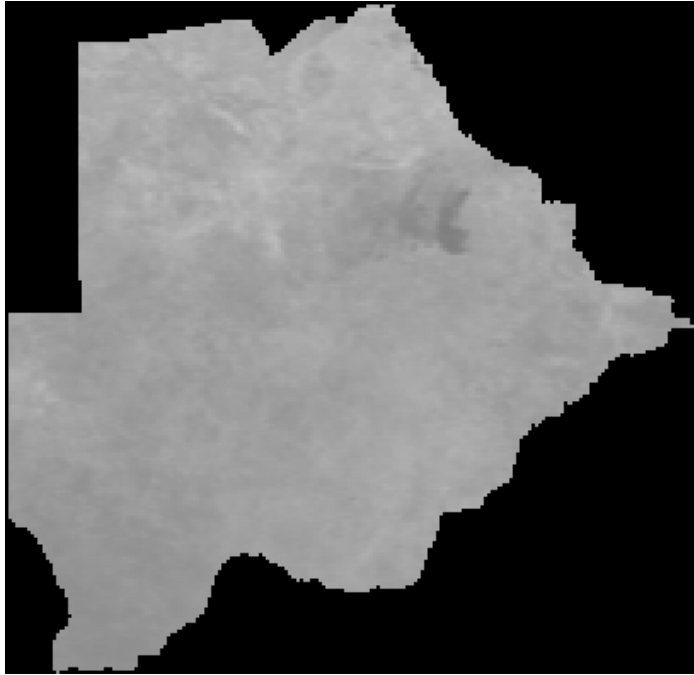
Το μειονέκτημα στην προηγούμενη περίπτωση (GlobCover 2015) είναι ότι ενώ έχουμε στην διάθεση μας ένα θεματικό χάρτη καλύψεων γης, αυτός ο χάρτης εκφράζει μια μέση εκτίμηση της κάλυψης γης για την περίοδο ενός έτους, έτσι δεν είναι δυνατόν να καταγραφούν εποχικές μεταβολές. Έχει παρατηρηθεί ότι η βλάστηση παρουσιάζει χαμηλές τιμές ανάκλασης στο ορατό (IR), ενώ το αντίθετο συμβαίνει στο υπέρυθρο (NIR). Σε αυτή τη συμπεριφορά της βλάστησης καθώς και στο γεγονός ότι όταν καταστρέφεται η χλωροφύλλη στο φύλλωμα παρατηρείται μείωση της ανάκλασης στο εγγύς υπέρυθρο και αύξηση της ανάκλασης στο ερυθρό, βασίζεται η δημιουργία μιας σειράς από δείκτες που έχουν ως στόχο την παρακολούθηση της βλάστησης (Μηλιαρέσης 2003):. Τα παγκόσμια δεδομένα επομένως παρέχουν τυποποιημένες χωρικές και χρονικές συγκρίσεις της μεταβολής της βλάστησης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση αλλαγών στη χρήση γης, την αξιολόγηση της πυκνότητας φυτοκάλυψης, , τη διάκριση των καλλιεργειών. Ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης (NDVI) αποτελεί τον πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενο δείκτη βλάστησης. Ορίζεται ως ο λόγος της διαφοράς της ανάκλασης στο εγγύς υπέρυθρο (NIR) και το κόκκινο (Red) προς το άθροισμα τους. Οι τιμές του κυμαίνονται από -1 (καθόλου βλάστηση) σε +1 (πλούσια βλάστηση). Ο Βελτιωμένος Δείκτης Βλάστησης (Enhanced Vegetation Index EVI), παρέχει συμπληρωματικές πληροφορίες σχετικά με τις χωρικές και χρονικές μεταβολές της βλάστησης, ελαχιστοποιώντας παράλληλα πολλά από τα προβλήματα που υπάρχουν στον NDVI και σχετίζονται με την ύπαρξη σωματιδίων καπνού και νεφών (Liang 2007). Επιπρόσθετα ο EVI δεν χάνει την ευαισθησία με την αύξηση της δασοκάλυψης, σε αντίθεση με τον NDVI που υφίσταται κορεσμό (Glenn et al., 2008). Ο μαθηματικός τύπος του δείκτη αυτού δίνεται παρακάτω (Μηλιαρέσης 2003):

$$EVI = 2,5 * \frac{(NIR - Red)}{(NIR + 6 * Red - 7,5 * Blue + 1)} \text{ όπου}$$

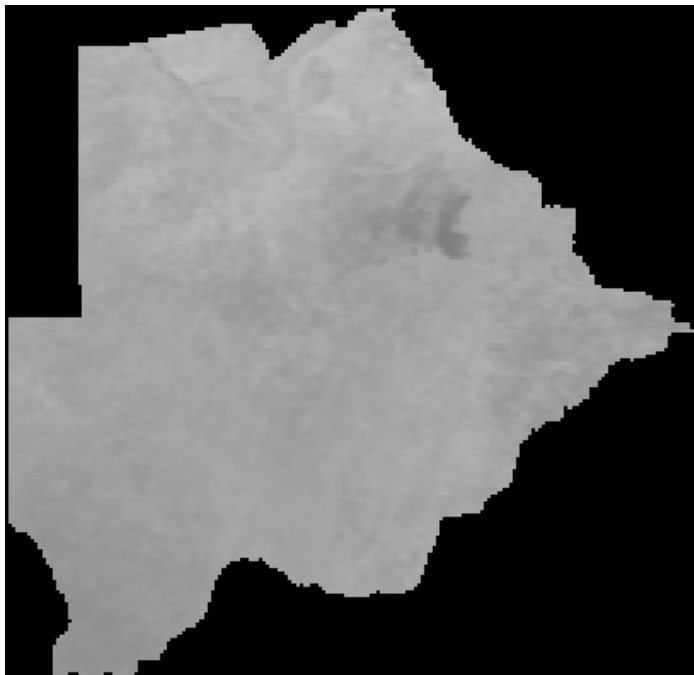
NIR, Red, Blue: οι ανακλαστικότητες στο εγγύς υπέρυθρο, το κόκκινο και το μπλε αντίστοιχα.

Η διαθεσιμότητα των δεδομένων βλάστησης βασίστηκε στο σύστημα MODIS του προγράμματος Τηλεπισκόπησης EOS, που περιλαμβάνει τους δορυφόρους Terra και Aqua (AQUA 2013). Ο

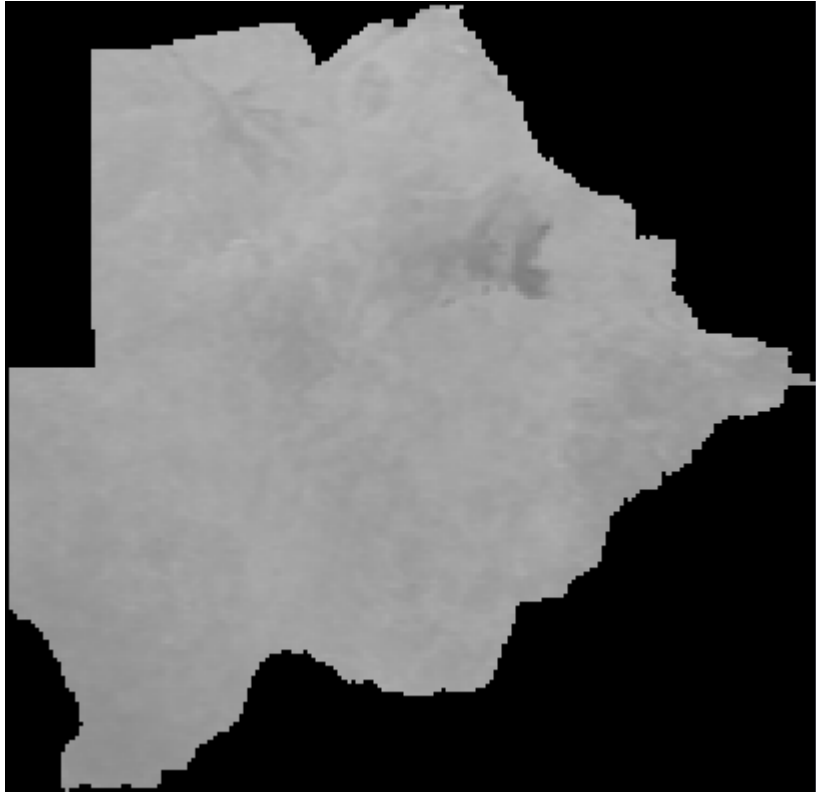
δορυφόρος Terra είναι προϊόν συνεργασίας των ΗΠΑ, της Ιαπωνίας και του Καναδά. Εκτοξεύτηκε σε τροχιά στις 18 Δεκεμβρίου 1999. Είναι ένα υποσύνολο του συστήματος παρατήρησης της Γης (Earth Observing System (EOS) στο οποίο προστέθηκε ο δίδυμος δορυφόρος Aqua το Μάιο του 2002. Χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης EVI, μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις για το έτος 2013, οι καταγραφές την 13.30 (Aqua) το μεσημέρι., με χωρική διακριτική ικανότητα 0.05^0 σε φ, λ στο WGS 84 (AQUA 2013).



Σχήμα 3.2.2.1.3.1 Δείκτης βλάστησης (Ιανουάριος 2013)



Σχήμα 3.2.2.1.3.2 Δείκτης βλάστησης (Φεβρουάριος 2013)



Σχήμα 3.2.2.1.3.3 Δείκτης βλάστησης (Μάρτιος 2013)



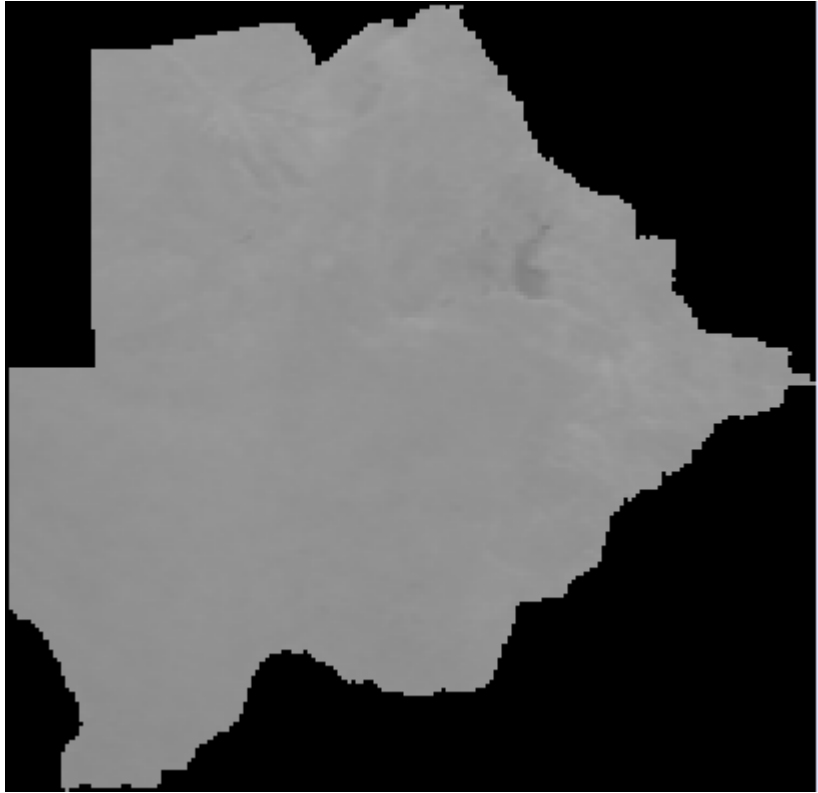
Σχήμα 3.2.2.1.3.4 Δείκτης βλάστησης (Απρίλιος 2013)



Σχήμα 3.2.2.1.3.5 Δείκτης βλάστησης (Μάιος 2013)



Σχήμα 3.2.2.1.3.6 Δείκτης βλάστησης (Ιούνιος 2013)



Σχήμα 3.2.2.1.3.7 Δείκτης βλάστησης (Ιούλιος 2013)



Σχήμα 3.2.2.1.3.8 Δείκτης βλάστησης (Αύγουστος 2013)



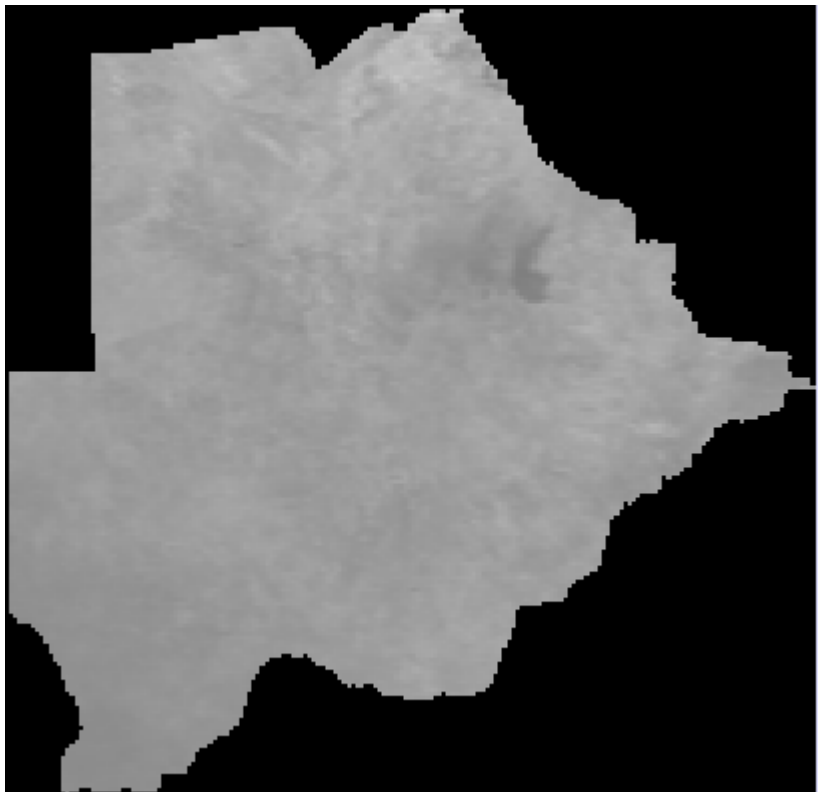
Σχήμα 3.2.2.1.3.9 Δείκτης βλάστησης (Σεπτέμβριος 2013)



Σχήμα 3.2.2.1.3.10 Δείκτης βλάστησης (Οκτώβριος 2013)



Σχήμα 3.2.2.1.3.11 Δείκτης βλάστησης (Νοέμβριος 2013)



Σχήμα 3.2.2.1.3.12 Δείκτης βλάστησης (Δεκέμβριος 2013)

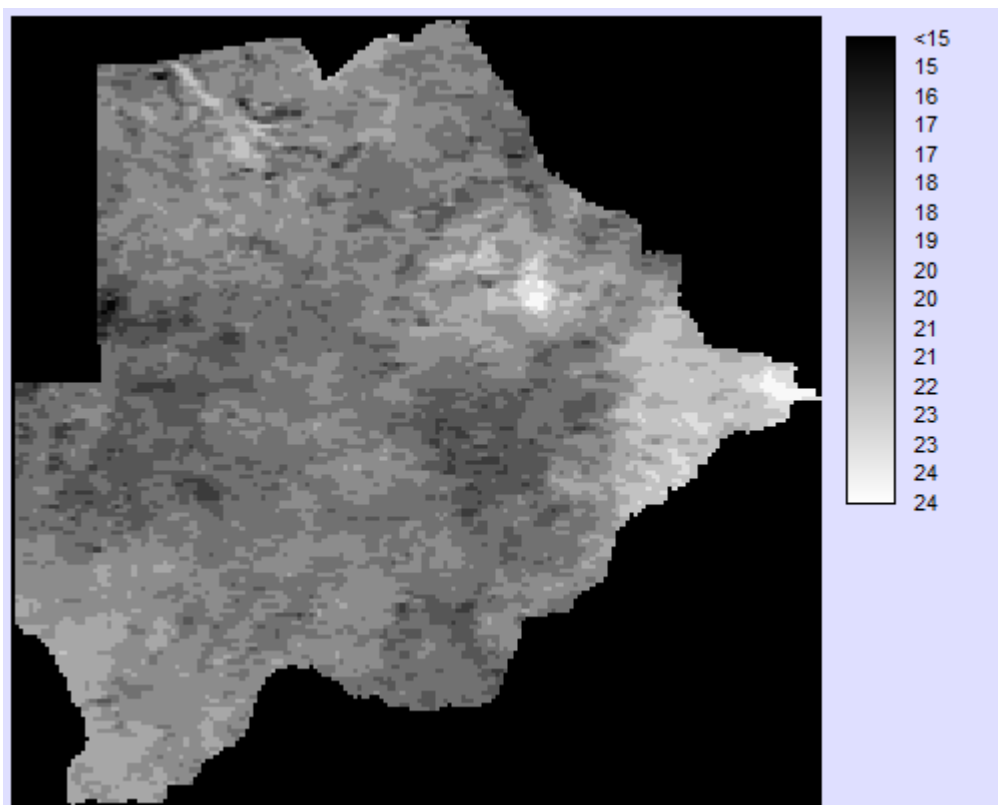
3.2.2.2 Θερμοκρασία

Οι θερμοκρασίες αποτελούν βιοφυσικές παραμέτρους. Η θερμοκρασία, αποτελεί βασική παράμετρο στη φυσική της επιφάνειας της γης αφού ελέγχει την ανταλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος μεταξύ της επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας, ενώ συμμετέχει στο ενεργειακό ισοζύγιο, στην εξατμισο-διαπνοή, κ.α.(Wolski, 2005). Οι θερμοκρασίες, αντιπροσωπεύουν τα αποτελέσματα των ενεργειακών ροών και των επιφανειακών ατμοσφαιρικών αλληλεπιδράσεων με την ατμόσφαιρα (Wan, 2008).

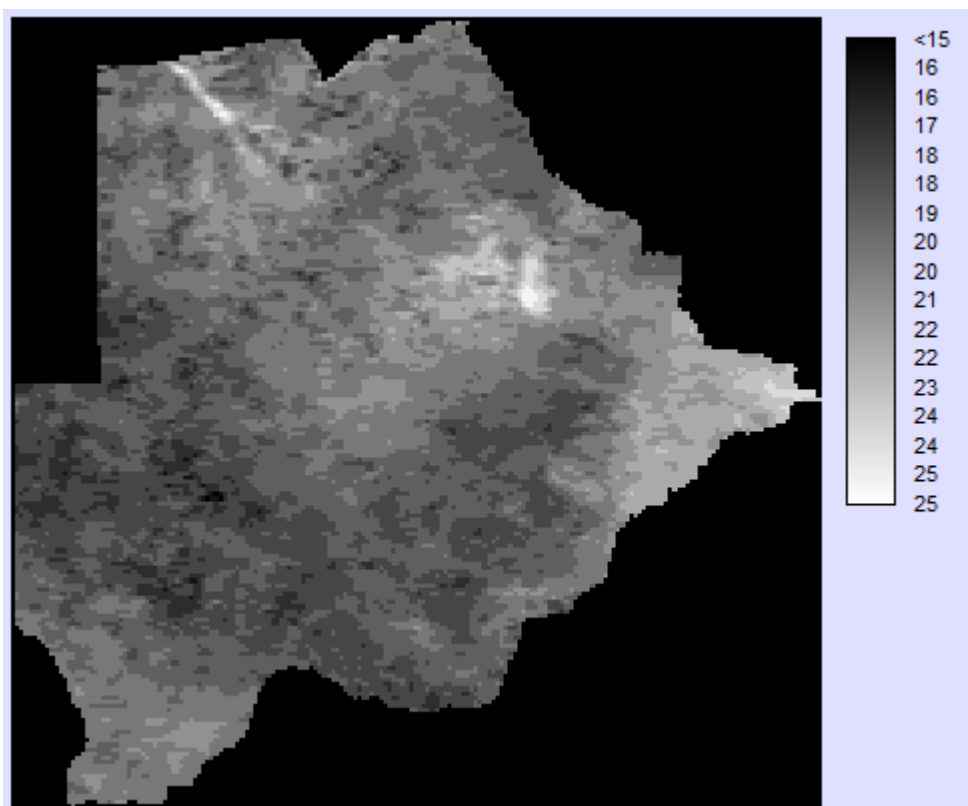
Δεδομένης της πολυπλοκότητας της επιφανειακής θερμοκρασίας πάνω από την ξηρά, οι επίγειες μετρήσεις δεν μπορούν να παρέχουν ουσιαστικά τιμές σε μεγάλες εκτάσεις αλλά μόνο σε συγκεκριμένα σημεία (μετεωρολογικοί σταθμοί) . Με την ανάπτυξη της τηλεπισκόπησης, δορυφορικά δεδομένα προσφέρουν τη μοναδική δυνατότητα για μέτρηση της θερμοκρασίας σε όλη την υδρόγειο με αρκετά υψηλή χρονική ανάλυση. Επί του παρόντος, δορυφορικοί αισθητήρες που καταγράφουν στο θερμικό υπέρυθρο αποτελούν τα μόνα διαθέσιμα λειτουργικά συστήματα που συλλέγουν δεδομένα θερμοκρασιών (LST) σε τακτικές χωρικές και χρονικές αναλύσεις (Miliareisis 2012).

Το κύριο πλεονέκτημα αυτών των δεδομένων σε σχέση με επίγειες μετρήσεις των μετεωρολογικών σταθμών είναι ότι παρέχουν μια σταθερή χωρική ανάλυση των θερμοκρασιών ημέρας και νύχτας. Επιτρέπουν έτσι την χωρική ανάλυση και ανάκτηση πληροφοριών σχετικά με το πώς διαφορετικές παράμετροι, όπως το είδος της γης, η χρήση γης, το υψόμετρο, η απόσταση από τη θάλασσα, επιδρούν στη θερμοκρασία. (Miliareisis 2012).

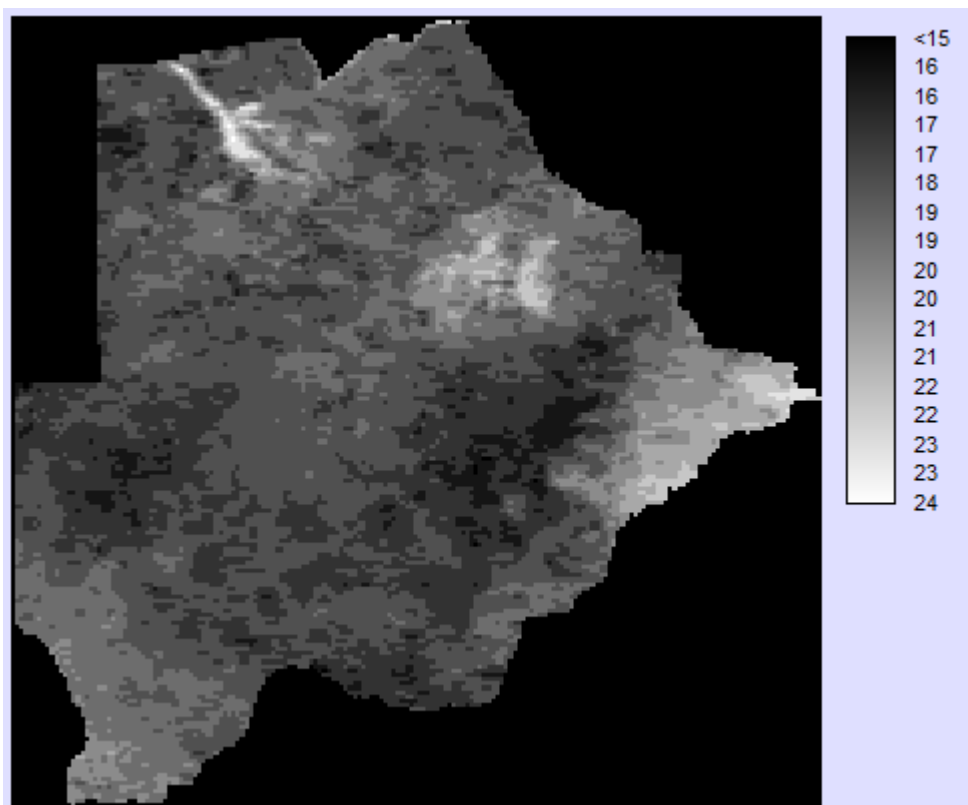
Η διαθεσιμότητα των δεδομένων βλάστησης βασίστηκε στο σύστημα MODIS του προγράμματος Τηλεπισκόπησης EOS, που περιλαμβάνει τους δορυφόρους Terra και Aqua (AQUA 2013). Ο δορυφόρος Terra είναι προϊόν συνεργασίας των ΗΠΑ, της Ιαπωνίας και του Καναδά. Εκτοξεύτηκε σε τροχιά στις 18 Δεκεμβρίου 1999. Είναι ένα υποσύνολο του συστήματος παρατήρησης της Γης (Earth Observing System (EOS) στο οποίο προστέθηκε ο δίδυμος δορυφόρος Aqua το Μάιο του 2002. Χρησιμοποιήθηκε η θερμοκρασία νύχτας την 01.30 πρωινή, μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις για το έτος 2013, με χωρική διακριτική ικανότητα 0.05^0 σε φ, λ στο WGS 84 (AQUA 2013). Τα δεδομένα εκφράζουν την Θερμοκρασία εδάφους σε τιμές Celsius.



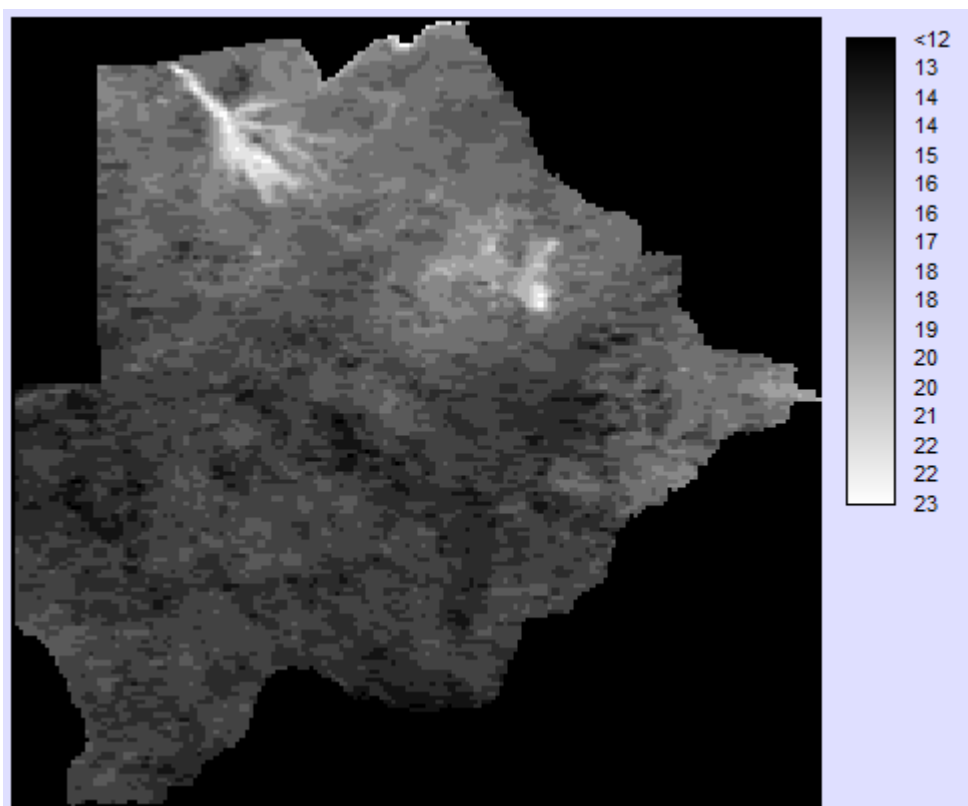
Σχήμα 3.2.2.2.1 Θ (Ιανουάριος 2013)



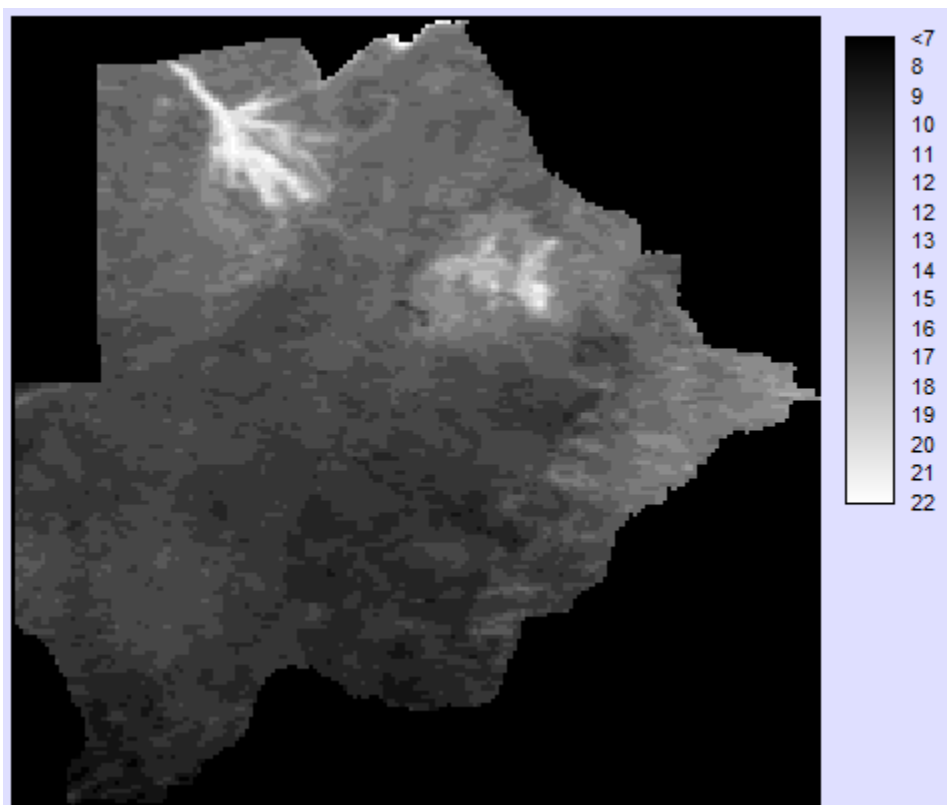
Σχήμα 3.2.2.2.2 Θ (Φεβρουάριος 2013)



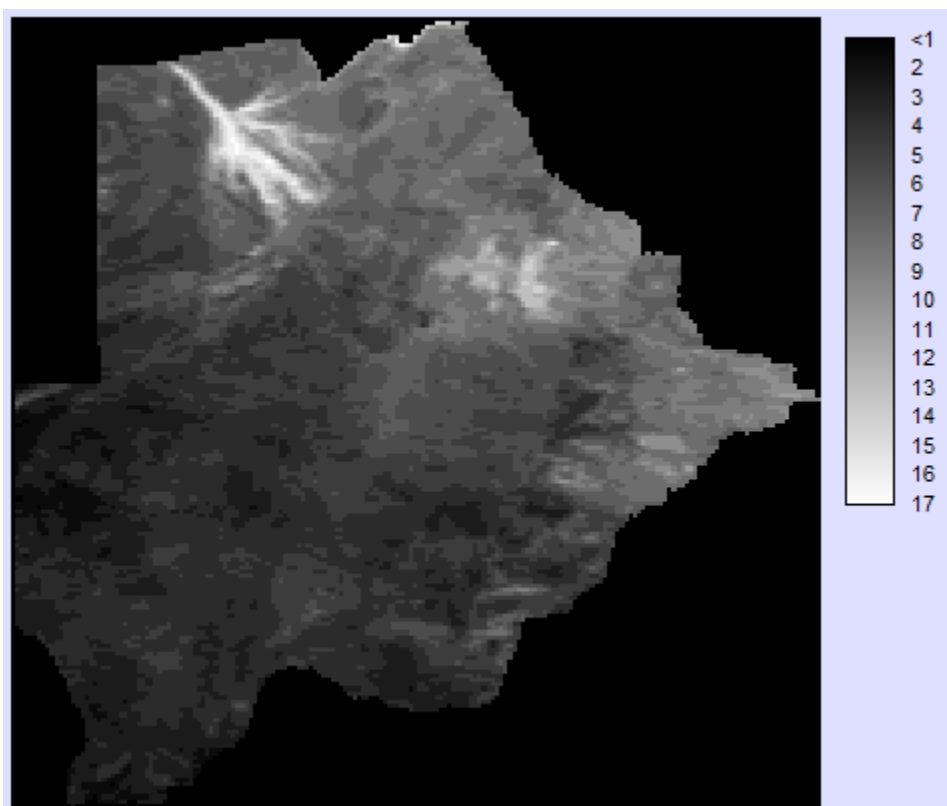
Σχήμα 3.2.2.2.3 Θ (Μάρτιος 2013)



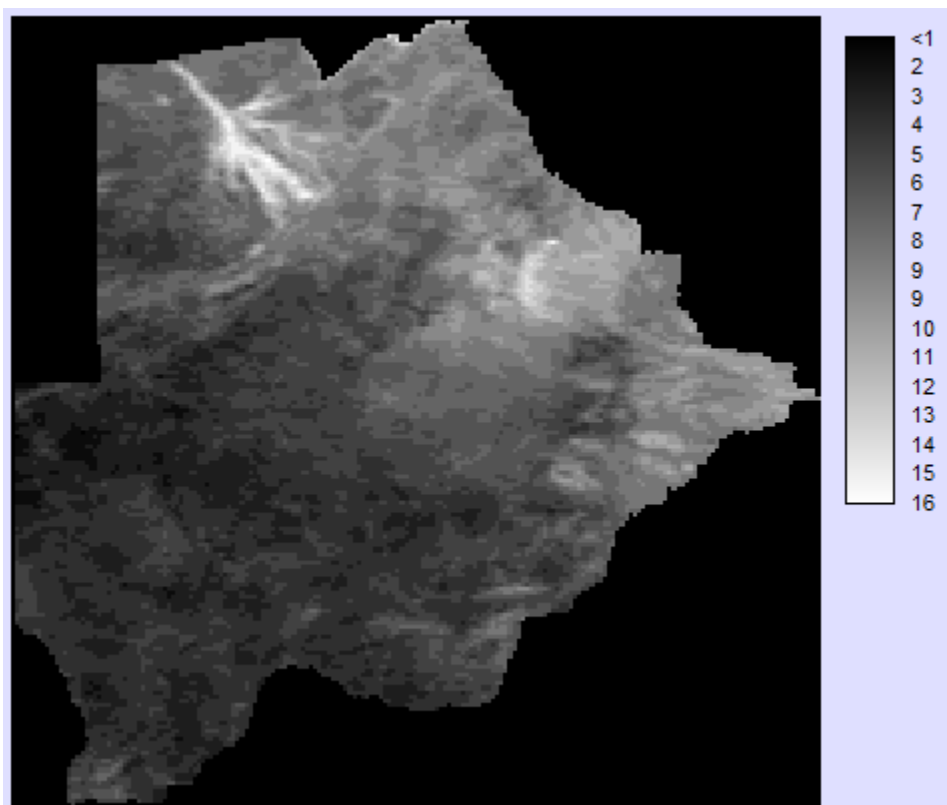
Σχήμα 3.2.2.2.4 Θ (Απρίλιος 2013)



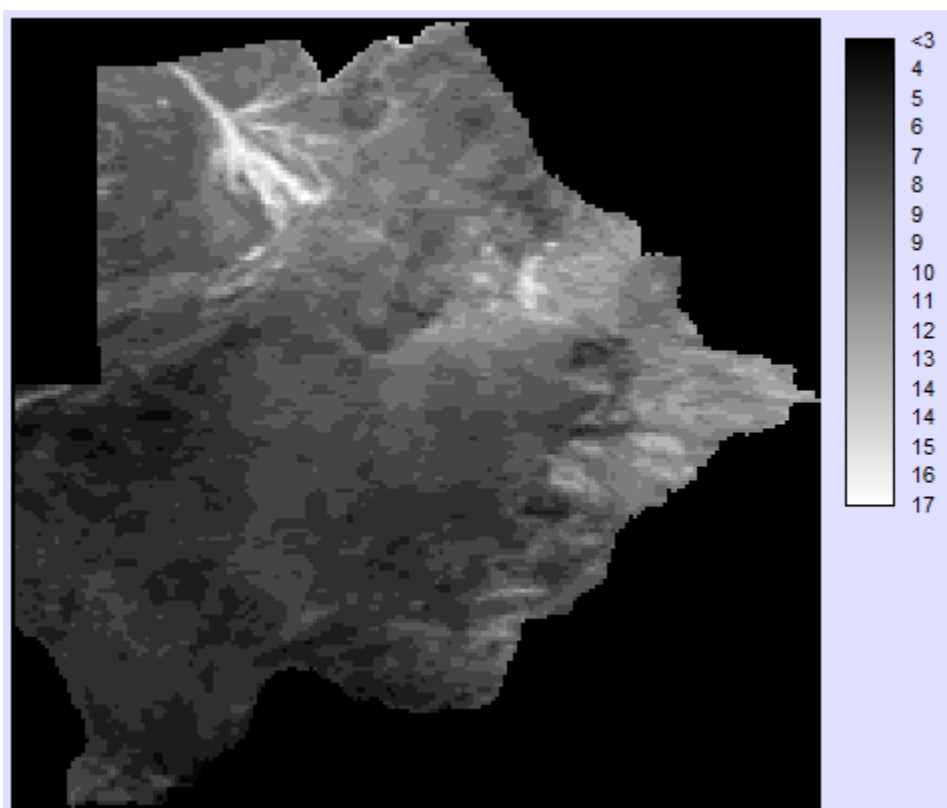
Σχήμα 3.2.2.2.5 Θ (Μάιος 2013)



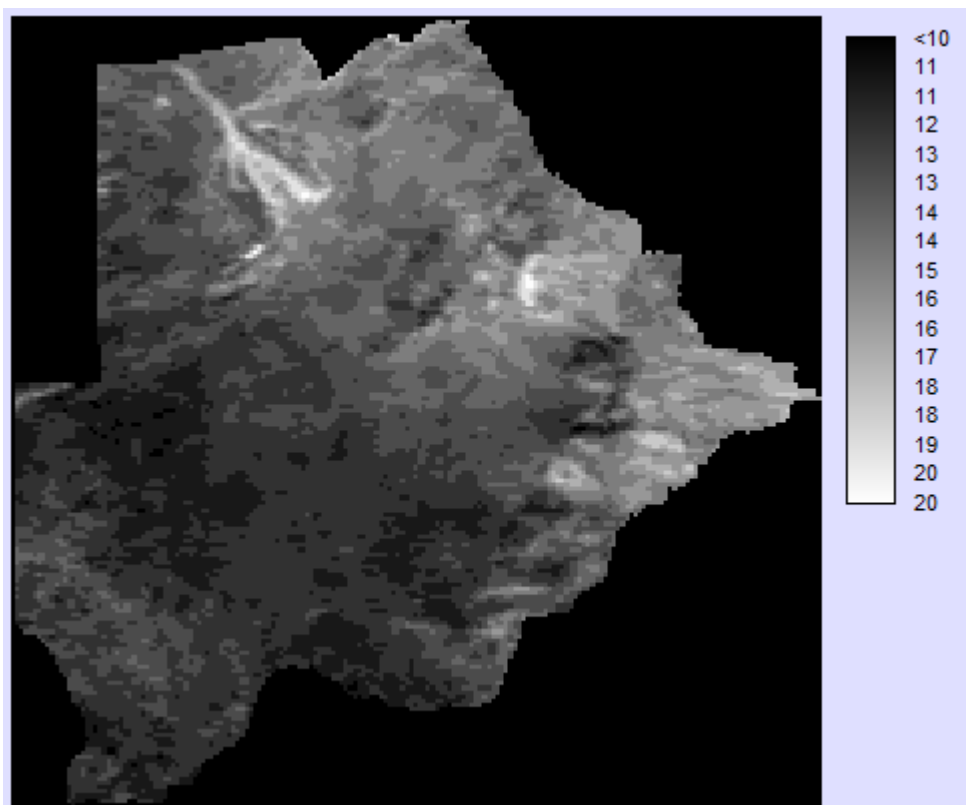
Σχήμα 3.2.2.2.6 Θ (Ιούνιος 2013)



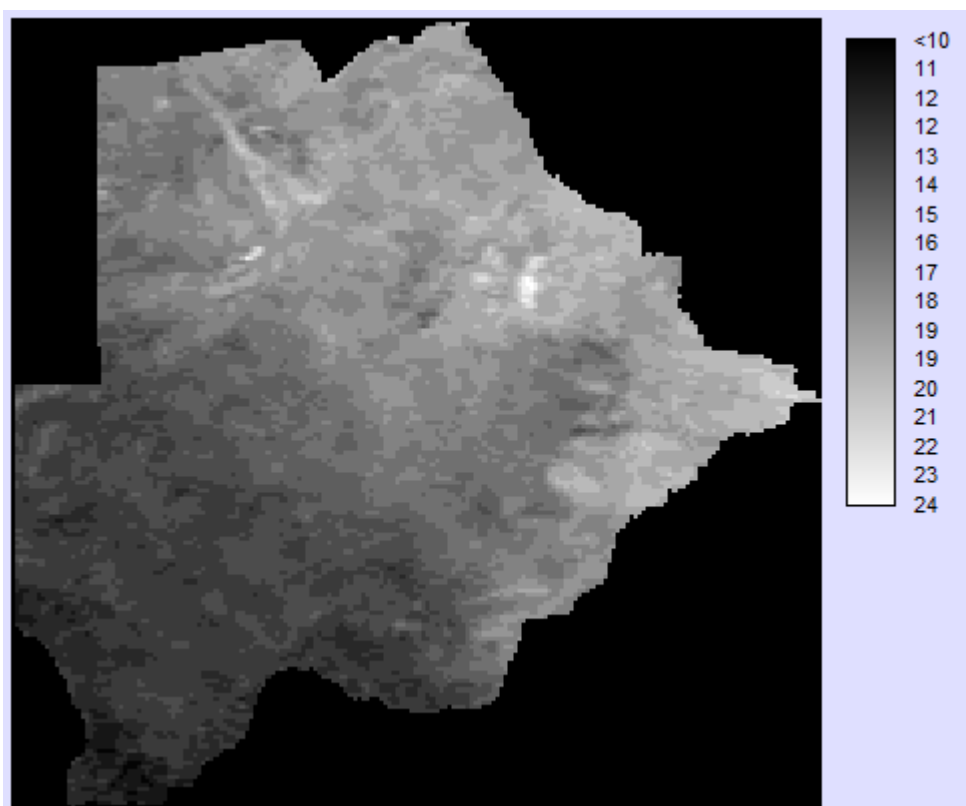
Σχήμα 3.2.2.2.7 Θ (Ιούλιος 2013)



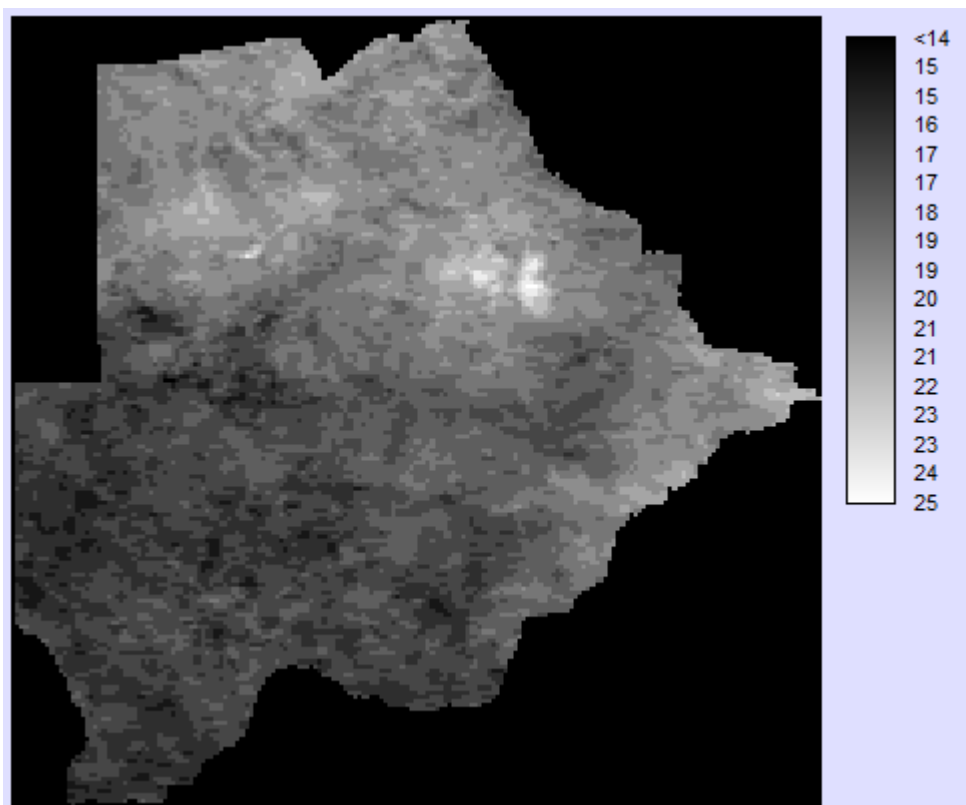
Σχήμα 3.2.2.2.8 Θ (Αύγουστος 2013)



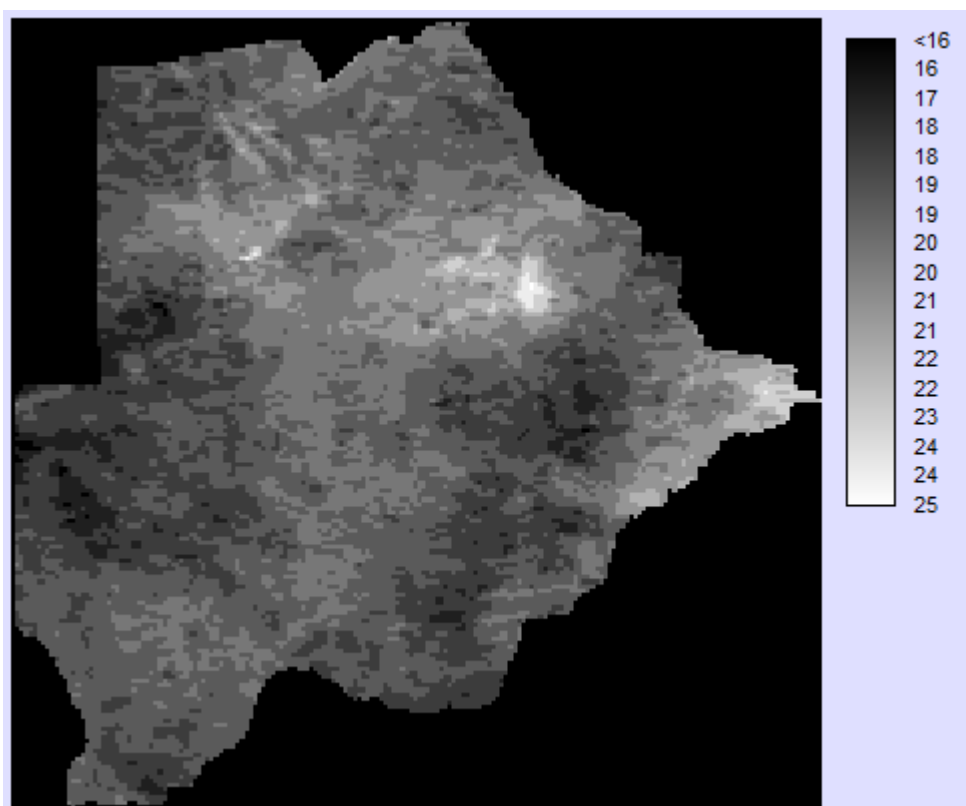
Σχήμα 3.2.2.2.9 Θ (Σεπτέμβριος 2013)



Σχήμα 3.2.2.2.10 Θ (Οκτώβριος 2013)



Σχήμα 3.2.2.2.11 Θ (Νοέμβριος 2013)



Σχήμα 3.2.2.2.12 Θ (Δεκέμβριος 2013)

3.2.2.3 Βροχοπτώσεις

Κλιματολογικά δεδομένα της τελευταίας 50 ετίας (μέσες εκτιμήσεις 50 ετών για το διάστημα 1950 - 2000) είναι διαθέσιμα από τον διαδικτυακό τόπο WorldClim (2015).

Αυτά τα βιοφυσικά επίπεδα πληροφορίας (πλεγματικά) καλύπτουν τις παγκόσμιες περιοχές της γης εκτός από την Ανταρκτική. Είναι διαθέσιμα σε γεωγραφικό πλάτος / γεωγραφικό μήκος και του γεωγραφικού συστήματος αναφοράς συντεταγμένων στο οριζόντιο datum (ελλειψοειδές αναφοράς) WGS84. Υπάρχουν μηνιαίες μεταβλητές όπως μέση ελάχιστη, μέση και μέγιστη κ.α. για συνολικά 18 βιοκλιματικές μεταβλητές.

Παρακαλούμε σημειώστε ότι τα δεδομένα θερμοκρασίας είναι σε $^{\circ}\text{C} * 10$. Αυτό σημαίνει ότι μία τιμή 231 αντιπροσωπεύει $23,1^{\circ}\text{C}$. Αυτό οδηγεί σε κάποια σύγχυση, αλλά αφήνει περιθώρια για πολύ μικρό μέγεθος αρχείου το οποίο είναι σημαντικό και για πολλούς το κατέβασμα μεγάλων αρχείων εξακολουθεί να είναι δύσκολο. Η μονάδα που χρησιμοποιείται για τα δεδομένα της βροχόπτωσης είναι mm (χιλιοστά).

Διατίθενται σε 4 διαφορετικές χωρικές αναλύσεις που αντιστοιχούν σε 30 δευτερόλεπτα ($0,93 \times 0,93 = 0,86 \text{ km}^2$ στον ισημερινό) έως 2,5, 5 και 10 λεπτών ($18,6 \times 18,6 = 344 \text{ km}^2$ στον ισημερινό). Τα δεδομένα είναι αποθηκευμένα σε ZIP (συμπιεσμένο) αρχεία και το κάθε αρχείο περιέχει 12 επίπεδα δεδομένων (ένα για κάθε μήνα). Τα δεδομένα ανά χωρική διακριτική ικανότητα περιλαμβάνουν:

30 seconds resolution

Min. Temperature --- Max. Temperature --- Mean Temperature --- Precipitation --- Bioclim 1-9 & 10-18 --- Altitude

2.5 arc-minutes resolution

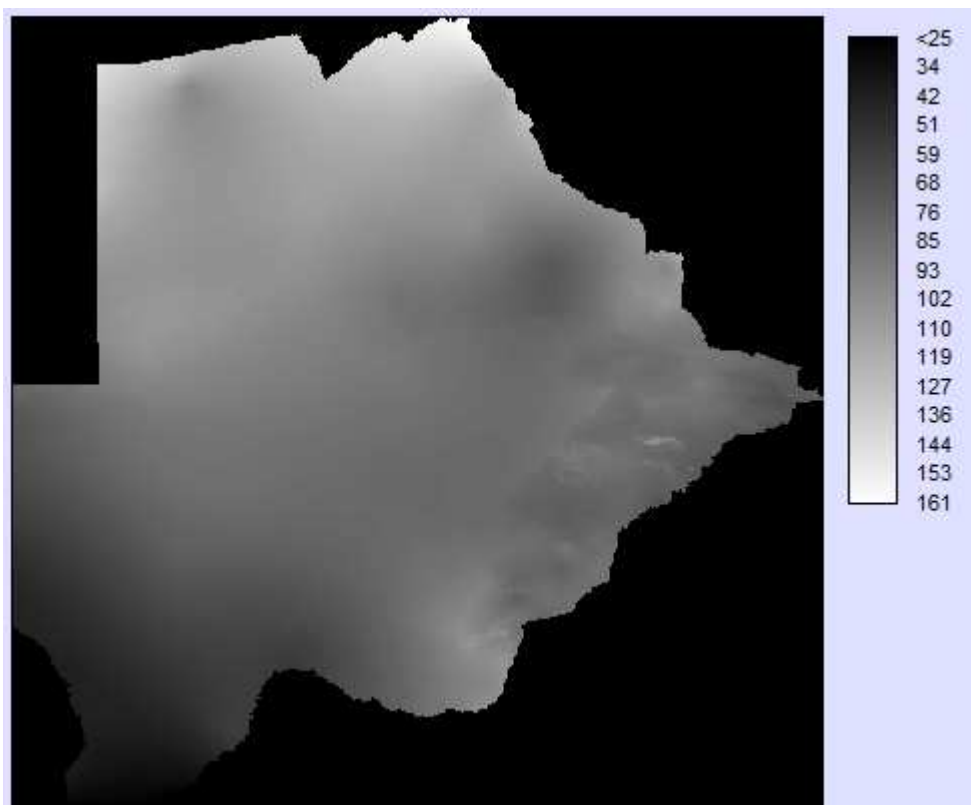
Min. Temperature --- Max. Temperature --- Mean Temperature --- Precipitation --- Bioclim ---Altitude

5 arc-minutes resolution

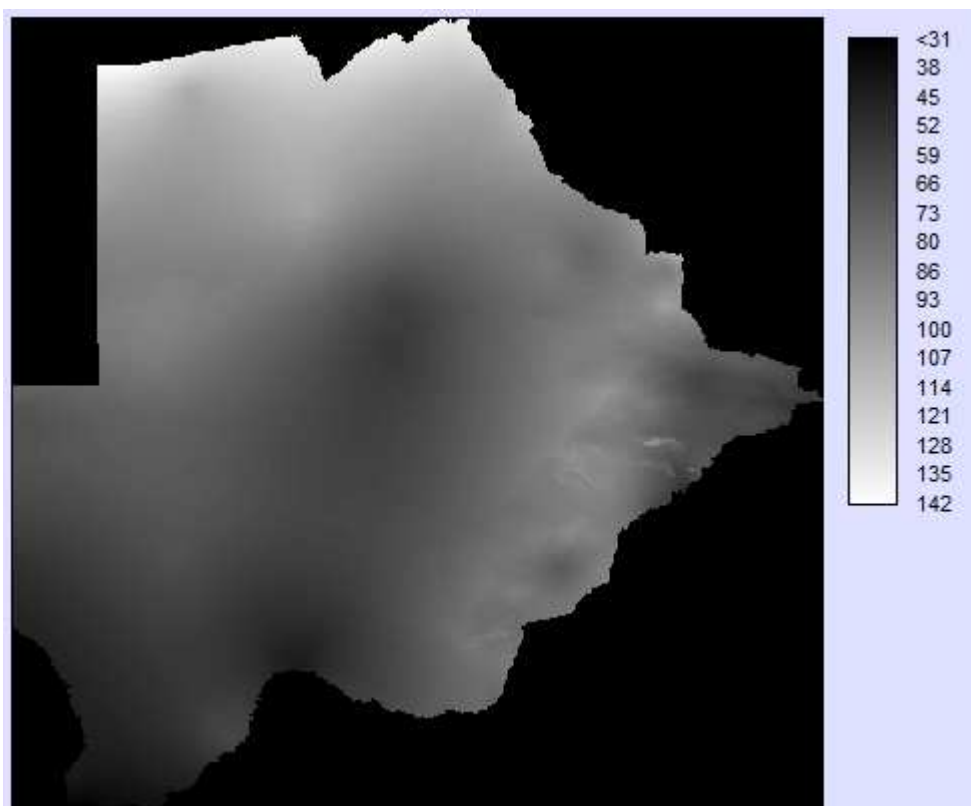
Min. Temperature --- Max. Temperature --- Mean Temperature --- Precipitation --- Bioclim ---Altitude

10 arc-minutes

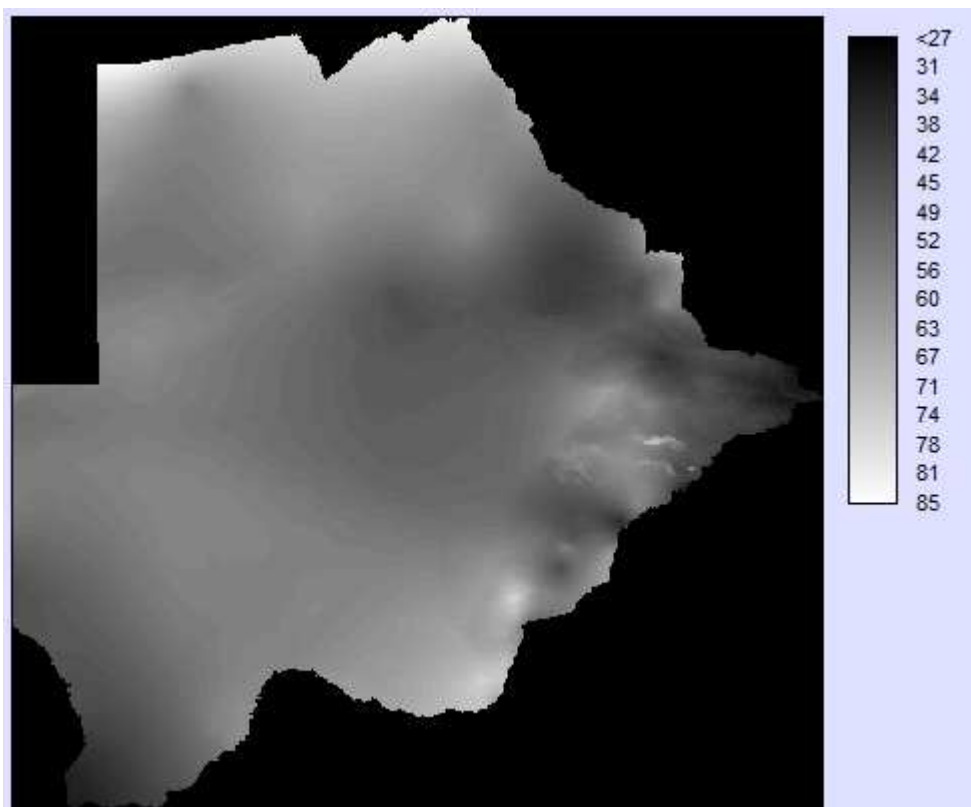
Min. Temperature --- Max. Temperature --- Mean Temperature --- Precipitation --- Bioclim ---Altitude



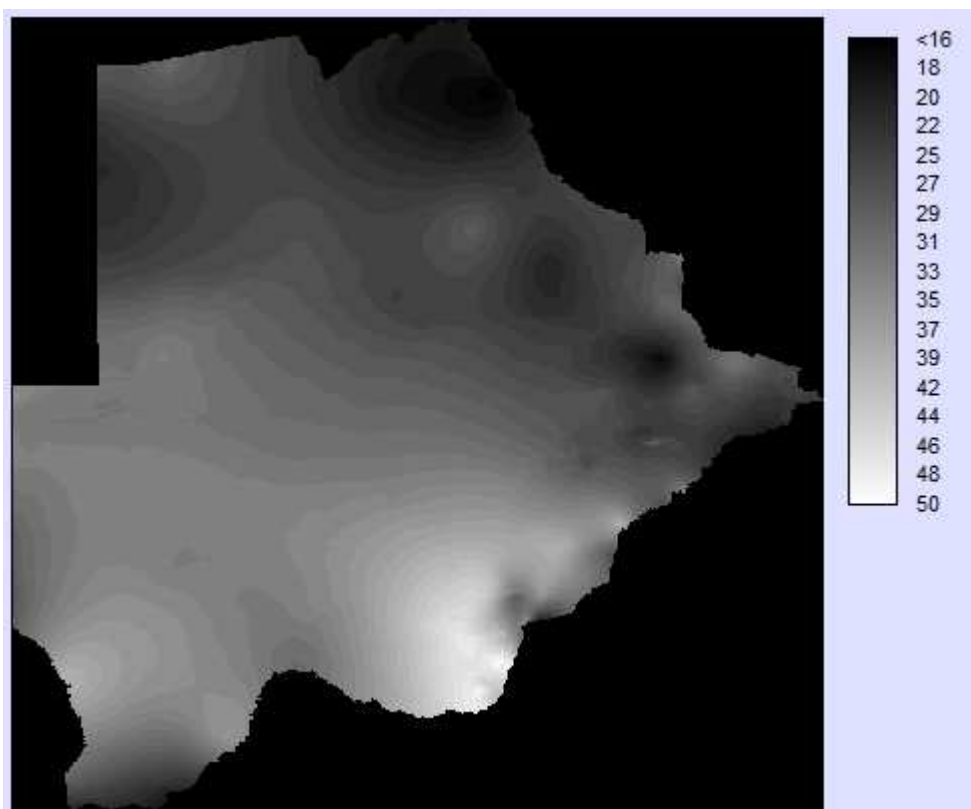
Σχήμα 3.2.2.3.1 Βροχόπτωση (Ιανουάριος)



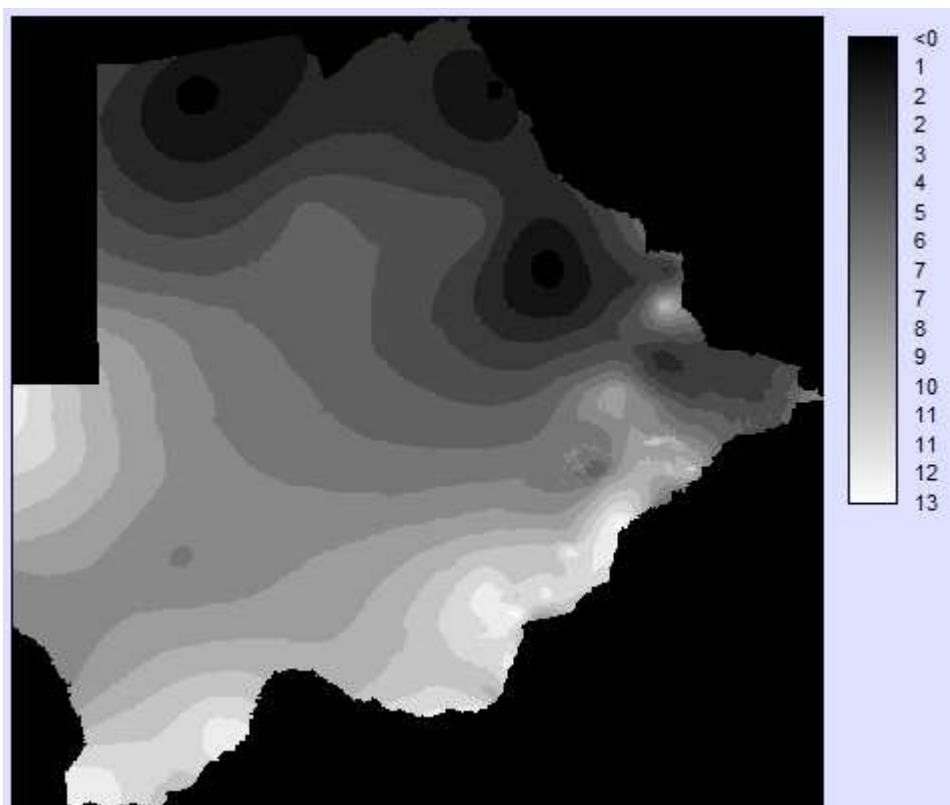
Σχήμα 3.2.2.3.2 Βροχόπτωση (Φεβρουάριος)



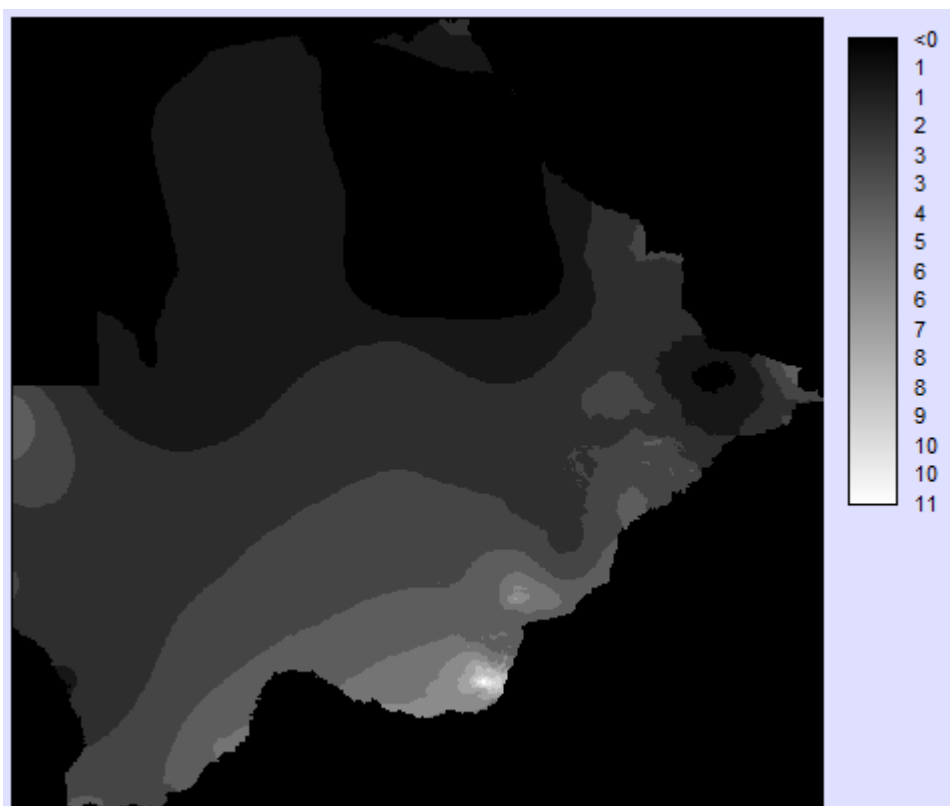
Σχήμα 3.2.2.3.3 Βροχόπτωση (Μάρτιος)



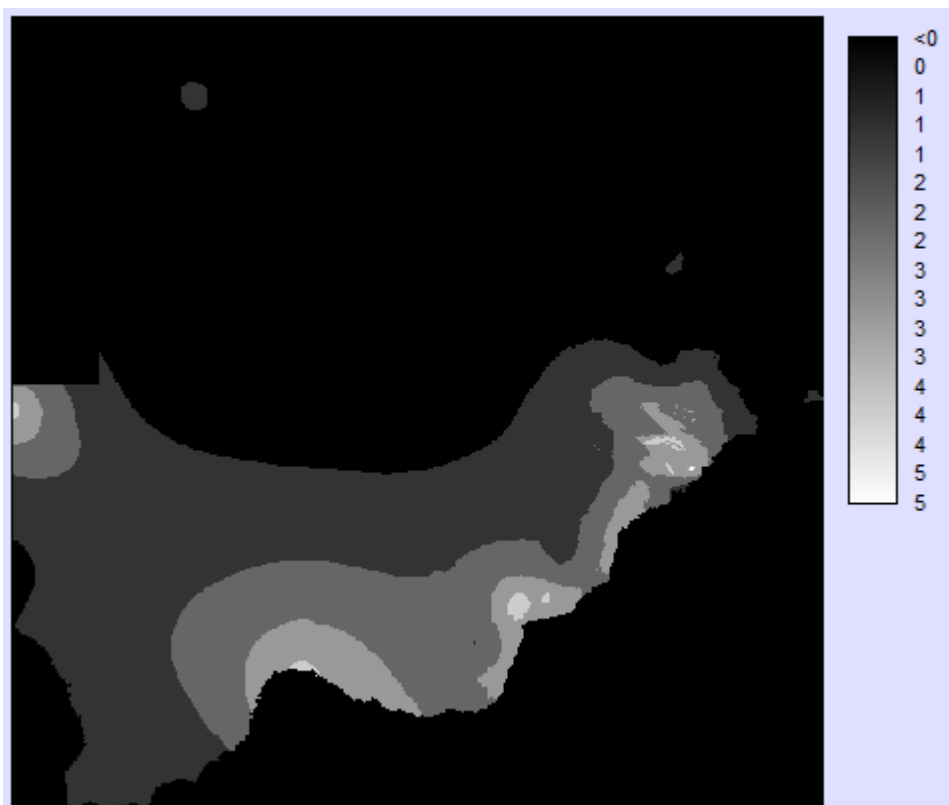
Σχήμα 3.2.2.3.4 Βροχόπτωση (Απρίλιος)



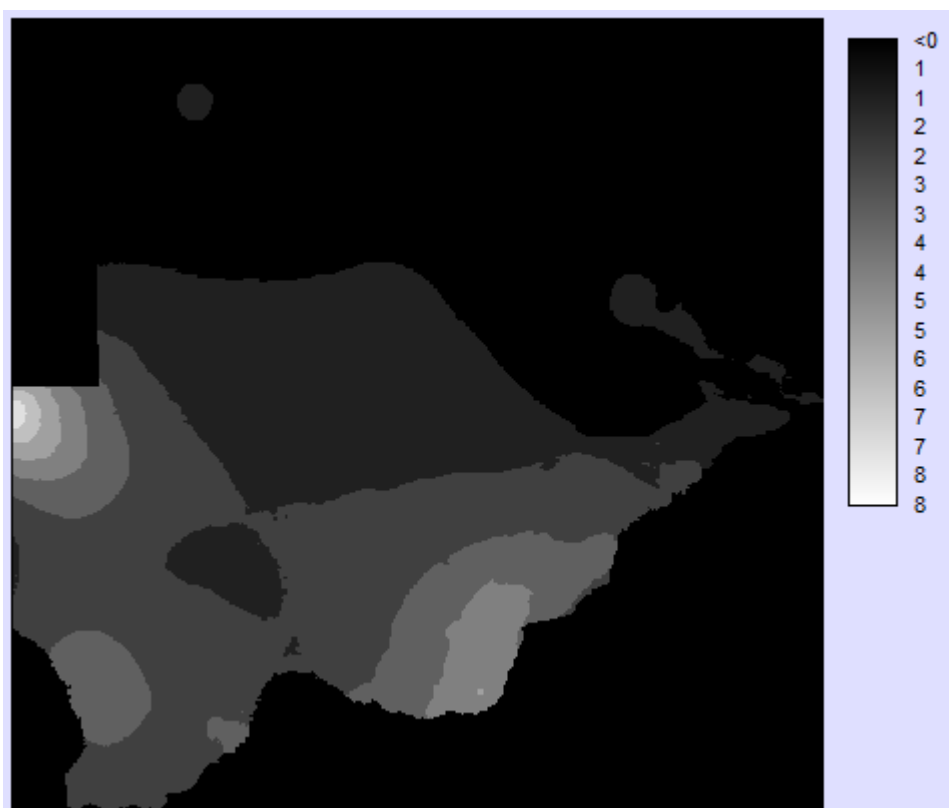
Σχήμα 3.2.2.3.5 Βροχόπτωση (Μάιος)



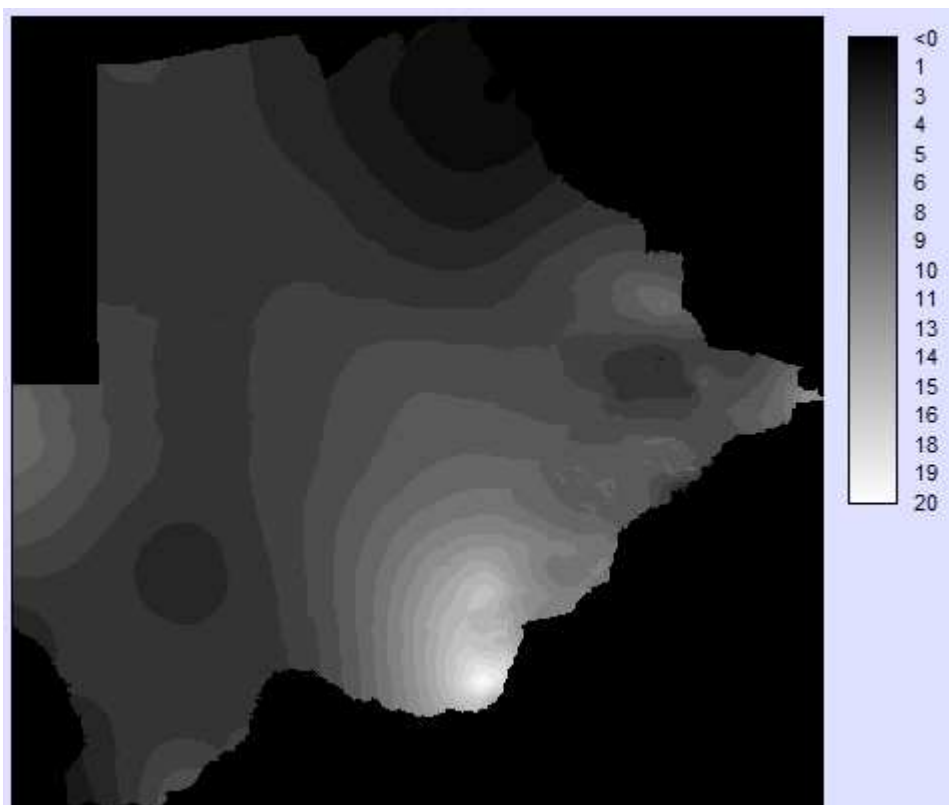
Σχήμα 3.2.2.3.6 Βροχόπτωση (Ιούνιος)



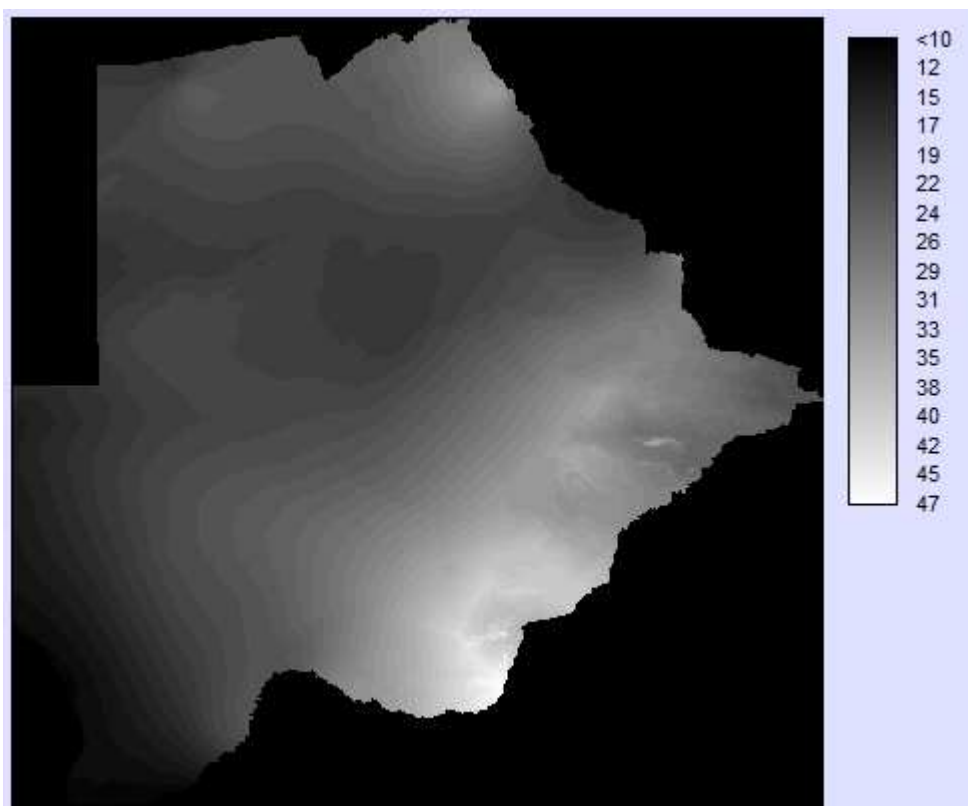
Σχήμα 3.2.2.3.7 Βροχόπτωση (Ιούλιος)



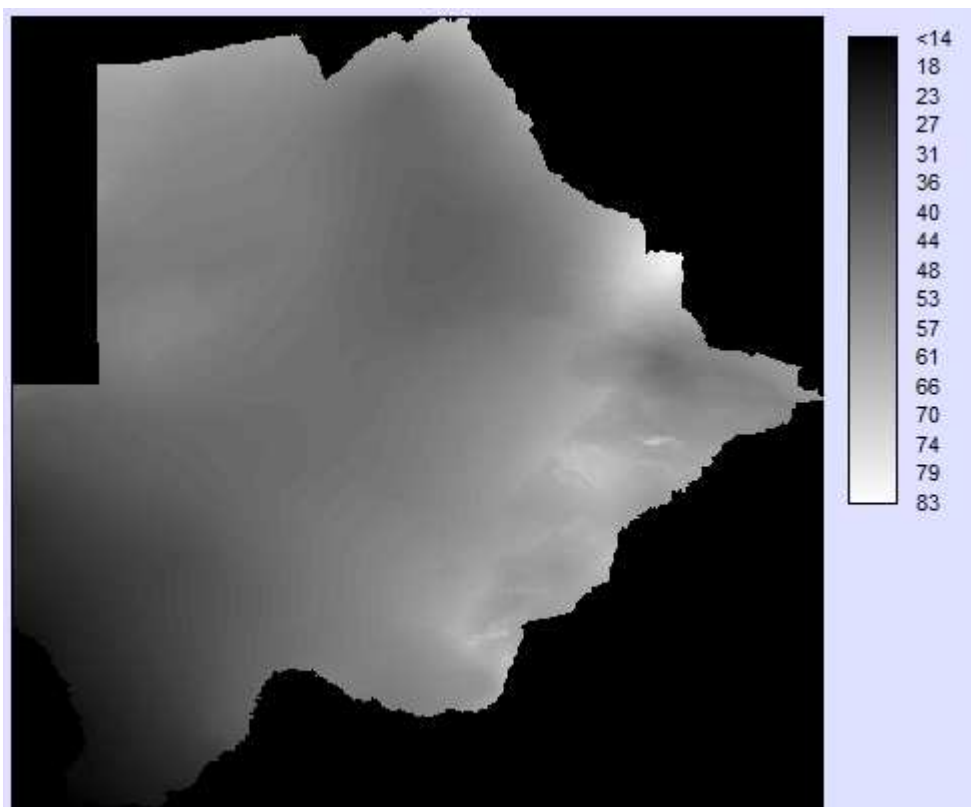
Σχήμα 3.2.2.3.8 Βροχόπτωση (Αύγουστος)



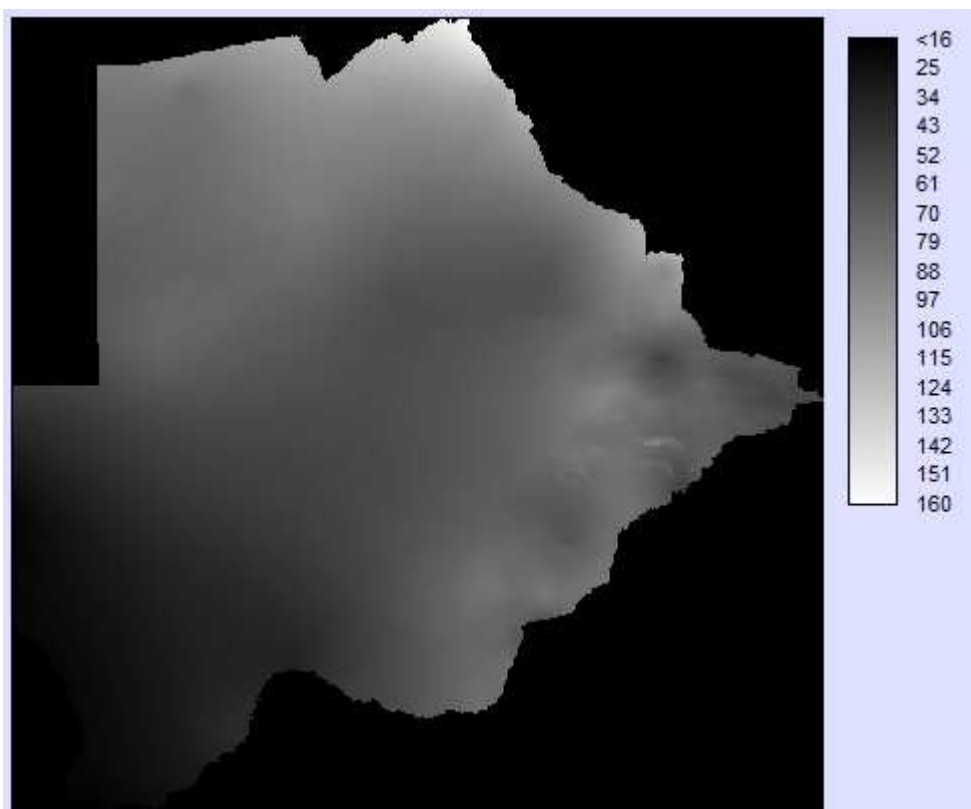
Σχήμα 3.2.2.3.9 Βροχόπτωση (Σεπτέμβριος)



Σχήμα 3.2.2.3.10 Βροχόπτωση (Οκτώβριος)



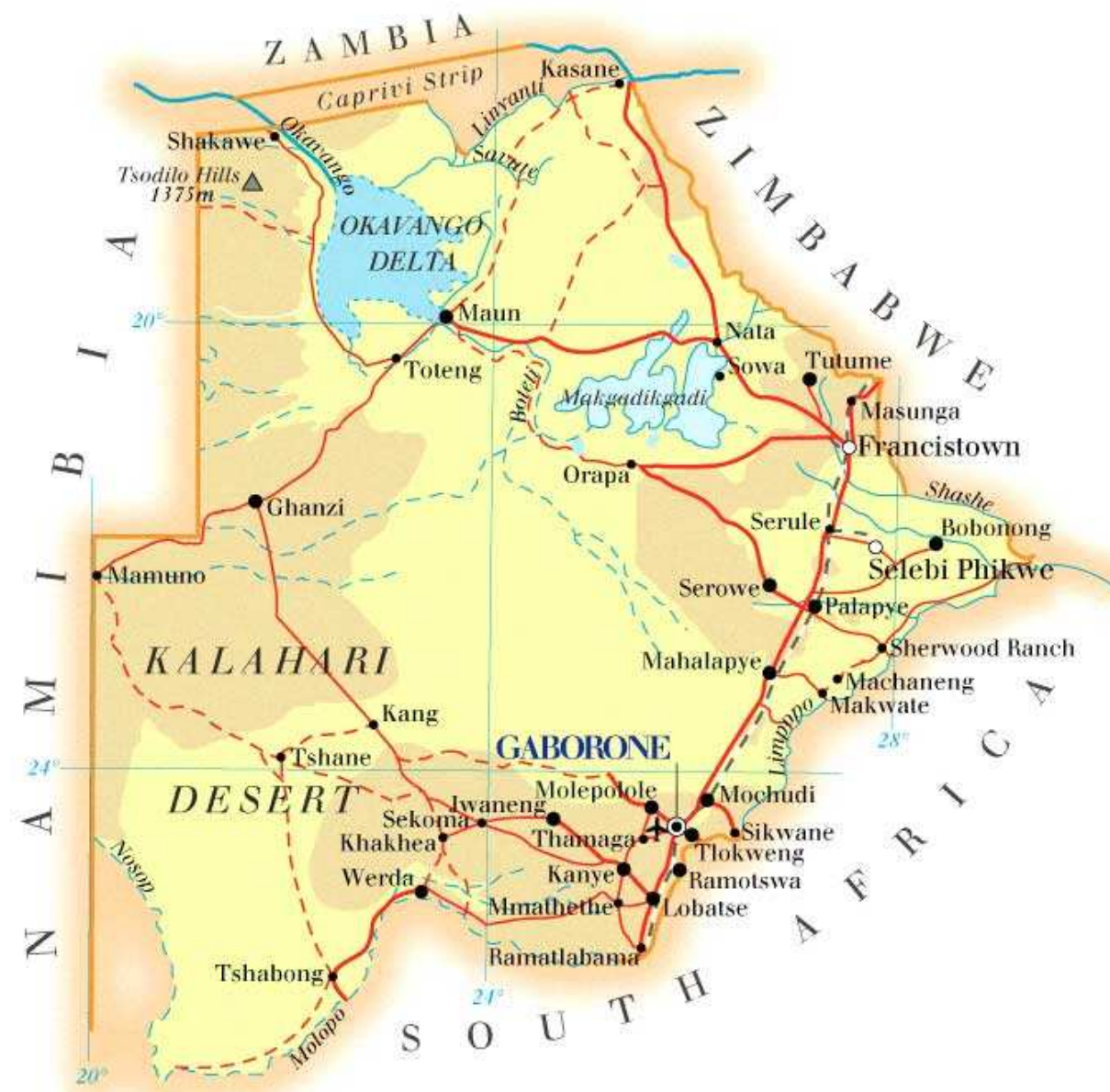
Σχήμα 3.2.2.3.11 Βροχόπτωση (Νοέμβριος)



Σχήμα 3.2.2.3.12 Βροχόπτωση (Δεκέμβριος)

3.2.3. Γεωγραφικά δεδομένα

Η χώρα είναι σε μεγάλο βαθμό επίπεδη και μέχρι το 70% καλύπτεται από την έρημο Καλαχάρι. Συνορεύει με τη Νότια Αφρική στα νότια και νοτιοανατολικά, τη Ναμίμπια στα δυτικά, τη Ζάμπια στα βόρεια και τη Ζιμπάμπουε στα βορειοανατολικά (Σχήμα 3.2.3). Τα σύνορα με τη Ζάμπια, δεν έχουν καθοριστεί με ακρίβεια.



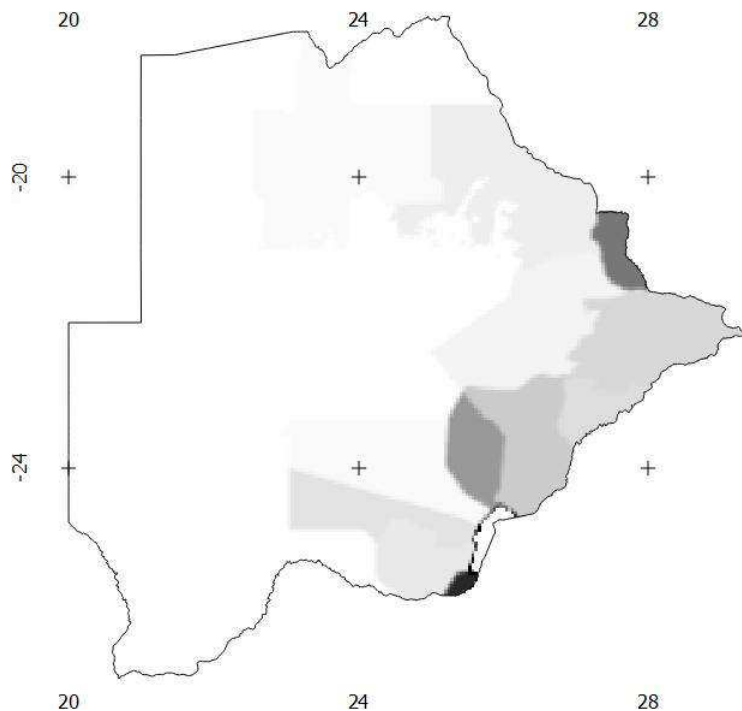
Σχήμα 3.2.3.1 Φυσιογραφικές ενότητες, τοπωνύμια και γεωγραφία της Μποτσουάνα (Botswana Political Map 2015).

Τα κύρια φυσιογραφικά της χώρας (Botswana National Map 2015). είναι:

Η Έρημος Καλαχάρι «ένας τόπος χωρίς νερό», μια άγονη έκταση, μια ημι-άνυδρη περιοχή στο Νότιο Τμήμα της Αφρικής, που καλύπτει ένα μεγάλο μέρος της Μποτσουάνα και τμήματα της Ναμίμπια και της Νοτίου Αφρικής .

Το Okavango Δέλτα, προκύπτει από τον ποταμό Okavango, που δεν εκβάλλει στη θάλασσα, αλλά στην ξηρά. Έτσι απλώνεται σε ένα δέλτα στην έρημο Καλαχάρι, όπου οι περισσότεροι όγκοι από το νερό του, χάνονται από την εξάτμιση και την διαπνοή. Είναι το μεγαλύτερο εσωτερικό δέλτα (εκβολή στην ξηρά) στον κόσμο. Κάθε χρόνο περίπου 11 εκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα του νερού αρδεύουν μια περιοχή έκτασης 15.000 km² ενώ κάποιες πλημμύρες τροφοδοτούν περιοδικά τη λίμνη Ngami. Επίσης το Εθνικό Πάρκο- Moremi Game Reserve , που εξαπλώνεται σε όλη την ανατολική πλευρά του δέλτα καθώς και το Makgadikgadi Salt Pan, μία άγονη περιοχή με τις μεγαλύτερες αποθέσεις επιφανειακού άλατος στον κόσμο. Είναι ότι έχει απομείνει από την αρχαία λίμνη Makgadikgadi, που κάλυπτε κάποτε μια περιοχή μεγαλύτερη από την Ελβετία, αλλά εξατμίστηκε αρκετές χιλιάδες χρόνια πριν.

Πληθυσμιακά δεδομένα είναι διαθέσιμα από την CIESIN (2005) σε χωρική διακριτική ικανότητα 2.5 λεπτών. Υποδηλώνουν πυκνότητα πληθυσμού. Ας σημειωθεί ότι η Μποτσουάνα είναι μια από τις πιο αραιοκατοικημένες χώρες του κόσμου, με την κατανομή του πληθυσμού να εκφράζει τις φυσιογραφικές ζώνες και τις κλιματολογικές συνθήκες.



Σχήμα 3.2.3.2. Πληθυσμιακή πυκνότητα (πληθυσμός ανά km*km)

3.3.Βιοφυσική κατάτμηση

Ο αλγόριθμος των Καρπα-κέντρων είναι μία εξερευνητική μεθοδολογία προσδιορισμού συσσωρεύσεων δυνητικών αντικειμένων μίας τάξης που χρησιμοποιείται προκειμένου να προσδιορισθεί ο τρόπος που κατανέμονται σε υποσύνολα (τάξεις) μια ομάδα αντικειμένων (μετρήσεων) (Adger et al 2005).

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία δεν χρειάζεται καμία εκ των προτέρων πληροφορία ή γνώση για τις τάξεις στις οποίες πρόκειται να οργανωθούν τα αντικείμενα (Rhee et al 2014). Η αιτία- λόγος που επιλέγεται αυτή η τεχνική είναι ότι, μάλλον ασαφή δεδομένα και παρατηρήσεις (Salami 2013) υπάρχουν για την φύση και την περιγραφή των αρχικών αντικειμένων (Miliareisis 2012). Επιπλέον αν και υπάρχουν αρκετά δεδομένα διαθέσιμα με την μορφή διατεταγμένων ζευγών σε οργάνωση παραμέτρων-τιμών για κάθε αντικείμενο δεν είμαστε βέβαιοι πως αυτά τα δεδομένα οργανώνονται σε τάξεις και πως οι παράμετροι των αντικειμένων διαφοροποιούνται από τάξη σε τάξη (Guo et al 2012). Επιπροσθέτως δεν υπάρχει στην διάθεση μας ένα μοντέλο, που

- να χαρακτηρίζει με ποσοτικό τρόπο τα αντικείμενα, και
- να χαρακτηρίζει τα αντικείμενα με βάση την παραμετρική τους αναπαράσταση.

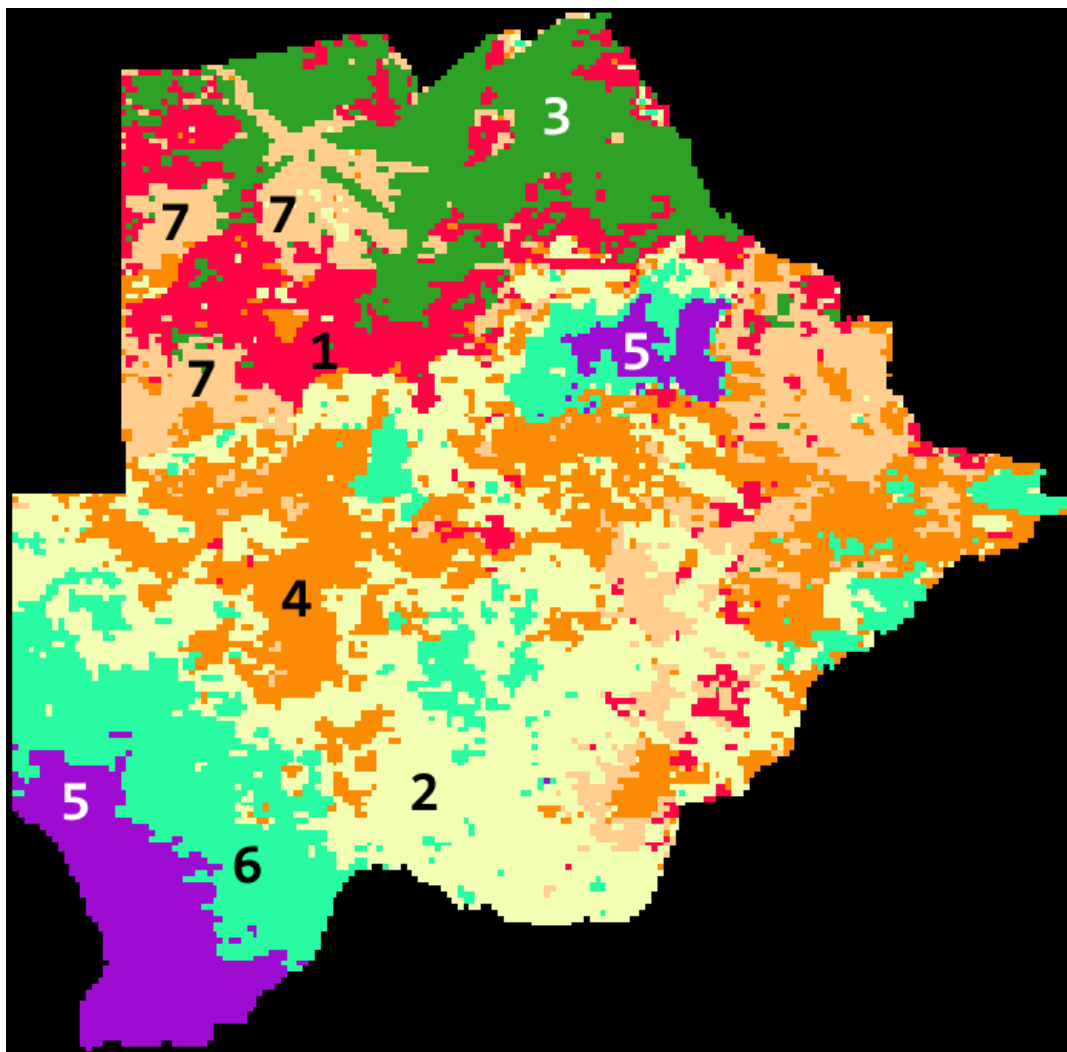
Η παραμετρική αναπαράσταση τυποποιείται έτσι ώστε η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση για κάθε παράμετρο να είναι 0 και 1 αντίστοιχα. Στην συνέχεια χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος των K-Κέντρων (k-means-clustering algorithm) που περιγράφει ο Miliareisis (2013) στον οποίο η Ευκλείδεια απόσταση κάθε αντικειμένου από τα κέντρα των τάξεων καθορίζει την ένταξη του ή μη σε κάποια από τις τάξεις.

Στο τέλος κάθε επανάληψης καινούργια κέντρα υπολογίζονται για κάθε τάξη. Το καινούργιο κέντρο προσδιορίζεται από τα αντικείμενα που απαρτίζουν (κατά την τρέχουσα επανάληψη) την συγκεκριμένη τάξη (Shepherd et al 2014)

. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται επαναληπτικά, και στο τέλος προσδιορίζεται:

- ο πίνακας διαχωρισμού με τις Ευκλείδειες αποστάσεις των τελικών κέντρων των τάξεων
- τα κέντρα βάρους των τάξεων .

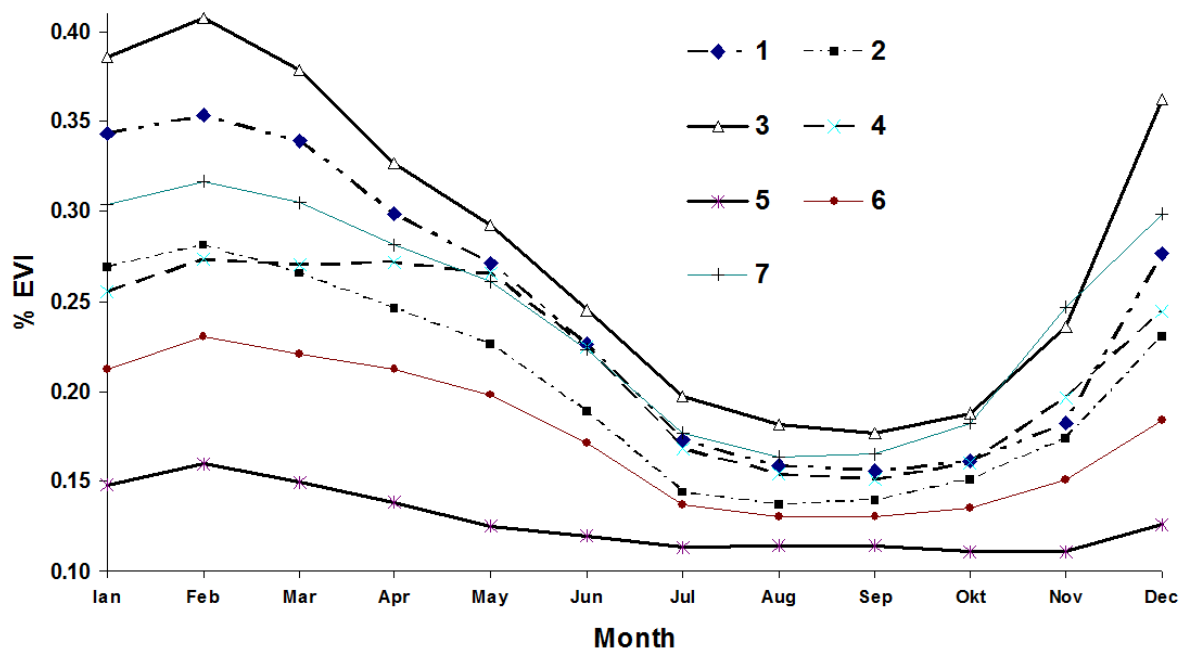
Ακολουθούν οι χωρικοί χάρτες που αντιπροσωπεύουν την χωρική κατανομή των τάξεων και τα κέντρα βάρους τους που αντιπροσωπεύουν την ετήσια/εποχική χρονική μεταβολή, για τον δείκτη βλάστησης (EVI) την θερμοκρασία νύκτας και την βροχόπτωση.



Σχήμα 3.3.1. Χωρική κατανομή των τάξεων για τον δείκτη βλάστησης (EVI)

Πίνακας 3.3.1 Τα κέντρα βάρους των τάξεων για τον δείκτη βλάστησης (EVI) –εποχική μεταβολή.

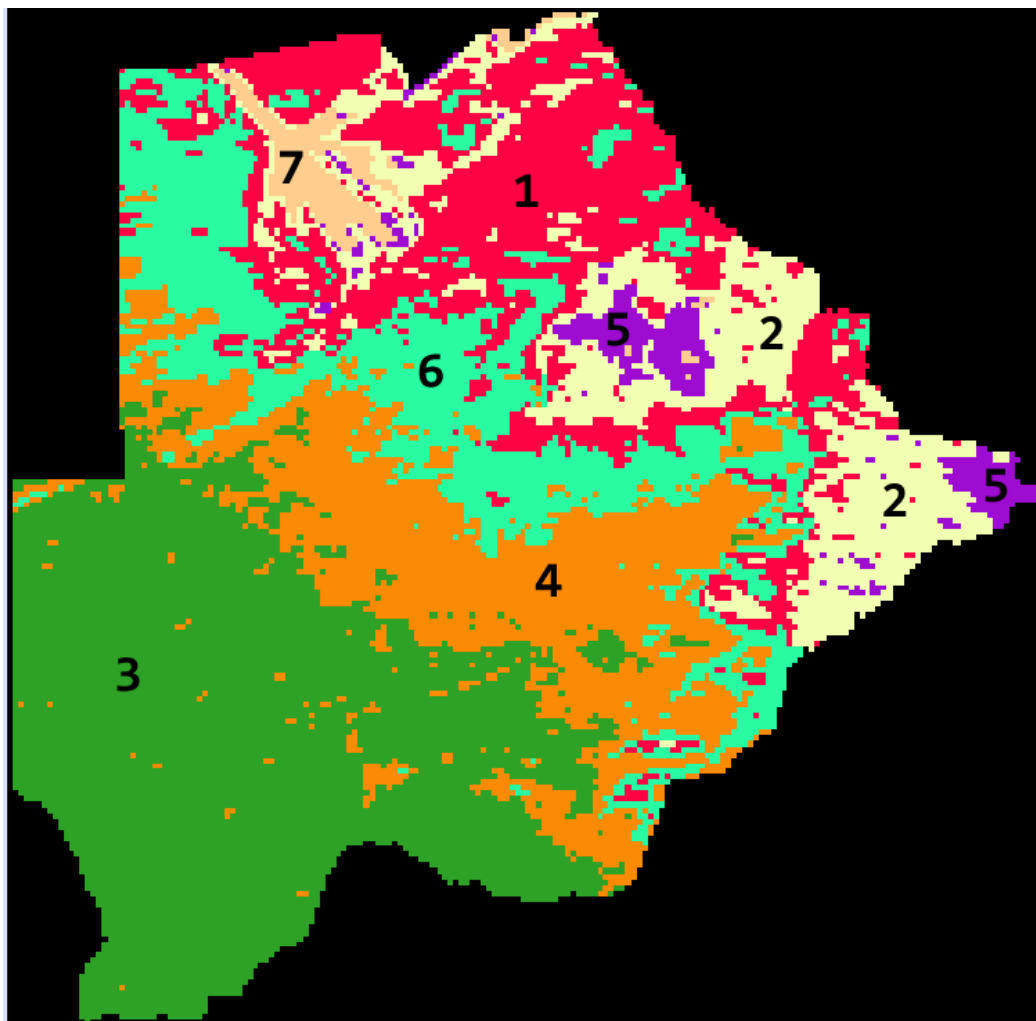
	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.
1	0.34	0.35	0.34	0.30	0.27	0.23	0.17	0.16	0.16	0.16	0.18	0.28
2	0.27	0.28	0.27	0.25	0.23	0.19	0.14	0.14	0.14	0.15	0.17	0.23
3	0.39	0.41	0.38	0.33	0.29	0.25	0.20	0.18	0.18	0.19	0.24	0.36
4	0.26	0.27	0.27	0.27	0.27	0.22	0.17	0.15	0.15	0.16	0.20	0.24
5	0.15	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.13
6	0.21	0.23	0.22	0.21	0.20	0.17	0.14	0.13	0.13	0.14	0.15	0.18
7	0.30	0.32	0.30	0.28	0.26	0.22	0.18	0.16	0.17	0.18	0.25	0.30



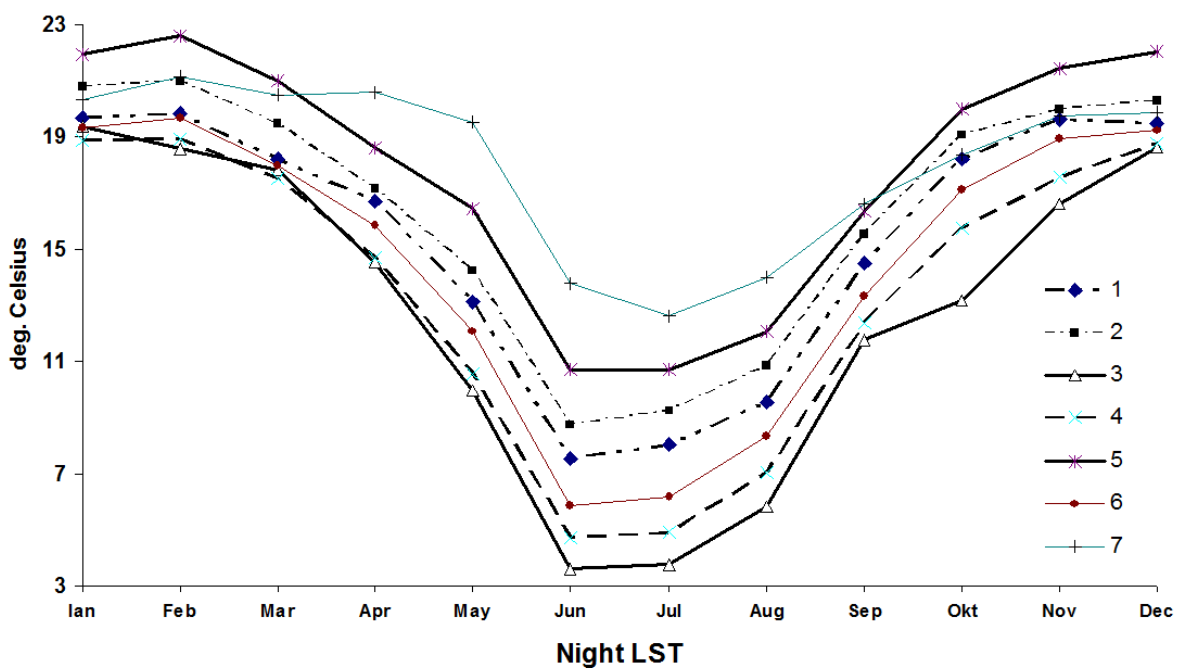
Σχήμα 3.3.2. Τα κέντρα βάρους των τάξεων για τον δείκτη βλάστησης (EVI) –εποχική μεταβολή.

Πίνακας 3.3.2 Τα κέντρα βάρους των τάξεων για την Θερμοκρασία νύκτας (βαθμοί Κελσίου) –εποχική μεταβολή

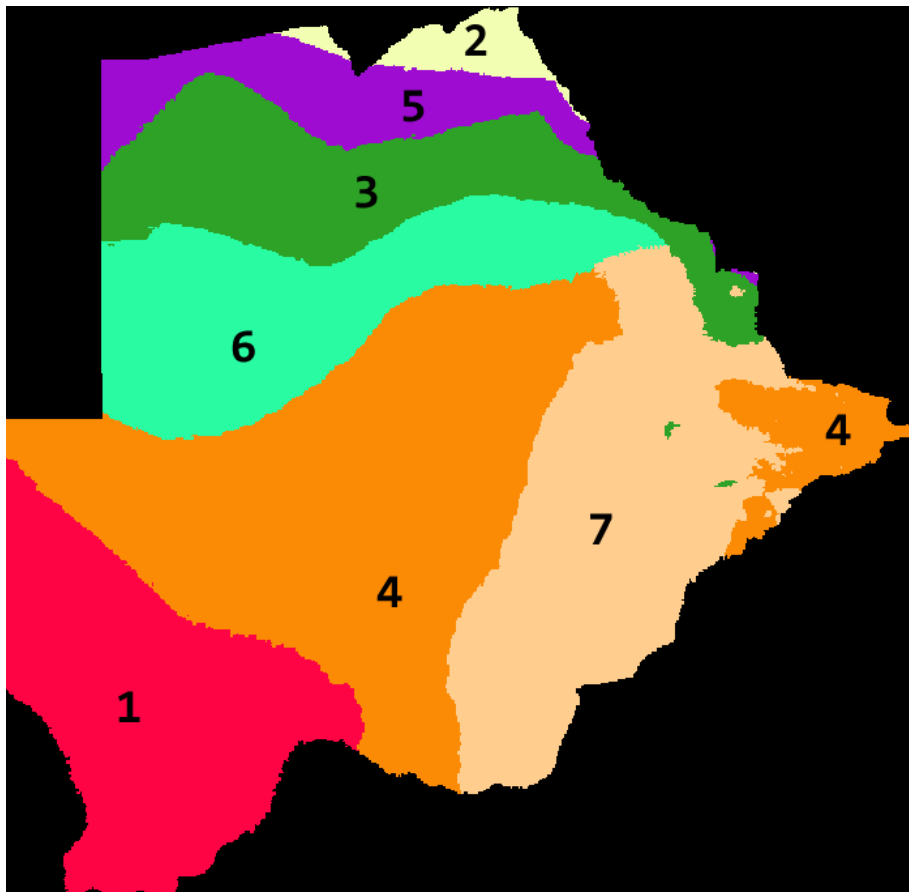
	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.
1	44.8	46.4	42.1	36.5	31.0	29.5	30.4	36.0	43.3	48.0	49.4	50.3
2	32.5	32.4	30.2	28.5	29.9	30.4	30.5	38.1	43.7	47.4	42.5	35.0
3	37.7	37.9	34.7	29.9	28.2	28.4	28.6	35.2	41.8	46.2	45.4	43.6
4	36.3	35.9	32.6	29.3	30.2	30.4	30.7	38.1	44.5	48.8	45.7	40.5
5	36.7	37.1	33.8	28.8	27.9	27.4	28.0	34.6	41.3	45.0	40.5	38.5
6	40.5	41.4	37.7	31.9	29.6	29.2	29.6	36.1	43.2	47.5	45.1	44.1
7	31.8	32.2	30.6	27.5	26.7	25.1	25.1	30.4	35.7	39.4	37.5	33.3



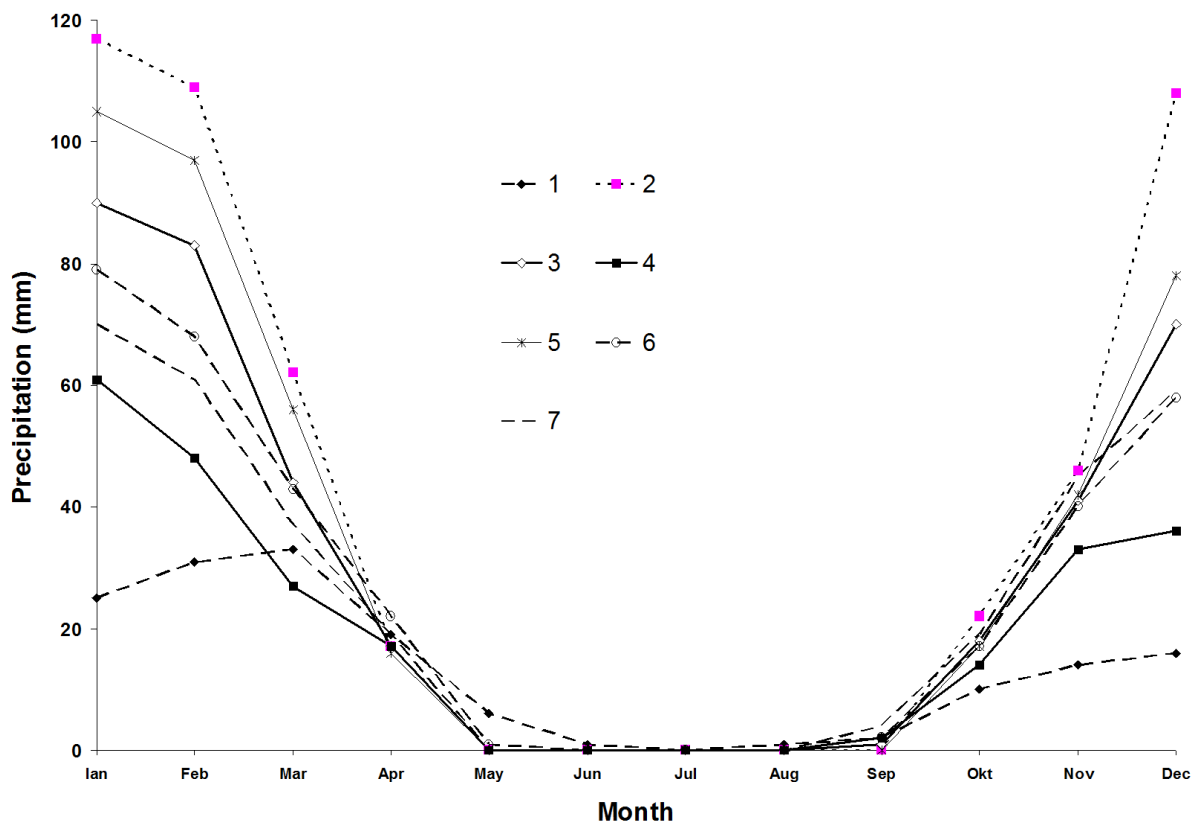
Σχήμα 3.3.3. Χωρική κατανομή των τάξεων για την Θερμοκρασία νύκτας (01:30)



Σχήμα 3.3.4 Τα κέντρα βάρους των τάξεων για την Θερμοκρασία νύκτας –εποχική μεταβολή



Σχήμα 3.3.5. Χωρική κατανομή των τάξεων για την βροχόπτωση



Σχήμα 3.3.6 Τα κέντρα βάρους των τάξεων για την βροχόπτωση – εποχική μεταβολή

Πίνακας 3.3.3 Τα κέντρα βάρους των τάξεων για την βροχόπτωση (ύψος βροχόπτωσης σε mm) –εποχική μεταβολή.

	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.
1	25	31	33	19	6	1	0	1	2	10	14	16
2	117	109	62	17	0	0	0	0	0	22	46	108
3	90	83	44	17	0	0	0	0	1	18	41	70
4	61	48	27	17	0	0	0	0	2	14	33	36
5	105	97	56	16	0	0	0	0	0	17	42	78
6	79	68	43	22	1	0	0	0	2	17	40	58
7	70	61	37	19	0	0	0	0	4	19	45	59

Κεφάλαιο Τέταρτο

4. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στόχος και κύριο στοιχείο καινοτομίας είναι να αξιολογηθεί η δυνατότητα των ελεύθερων βιοφυσικών δεδομένων από σύγχρονα παθητικά συστήματα τηλεπισκόπησης, στον περιβαλλοντικό σχεδιασμό της Μποτσουάνα. Η Δημοκρατία της Μποτσουάνα, έχει έκταση 600.370 τετραγωνικά χλμ. και πληθυσμό 1.990.876 κατοίκους. Είναι μια χώρα περικλειστη αφού συνορεύει με τη Νότια Αφρική στα νότια και νοτιοανατολικά, τη Ναμίμπια στα δυτικά, τη Ζάμπια στα βόρεια και τη Ζιμπάμπουε στα βορειοανατολικά. Αυτό σημαίνει ότι προβλήματα διαχείρισης νερού δεν μπορούν να αντιμετωπισθούν με αφαλάτωση όπως συμβαίνει σε χώρες της Μέσης Ανατολής.

Μεγάλο μέρος της χώρας καλύπτεται από άγρια φύση και αποτελεί τουριστικό πόλο έλξης (Υπάρχουν έξι μεγάλα εθνικά πάρκα, 40 ελεγχόμενες οργανωμένες περιοχές για φωτογραφίες και έξι περιοχές για σαφάρι και κυνήγι). Δηλαδή η οικονομία της σε ένα βαθμό εξαρτάται από τον τουρισμό. Αυτό σημαίνει ότι είναι ιδιαίτερα ευάλωτη στην κλιματική αλλαγή και στις συνέπειες που θα προκύψουν από την άνοδο της θερμοκρασίας.

Η Μποτσουάνα αντιμετωπίζει σήμερα δύο σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα: την ξηρασία και την ερημοποίηση.

- Τα προβλήματα ερημοποίησης προέρχονται κατά κύριο λόγο από τις σοβαρές περιόδους ξηρασίας στη χώρα. Λόγω της ξηρασίας 75% των ανθρώπινων και ζωικών πληθυσμών της χώρας εξαρτώνται από τα υπόγεια ύδατα.
- Επιφανειακά ύδατα είναι πολύ σπάνια στην Μποτσουάνα και λιγότερο από το 5% της γεωργίας στη χώρα είναι βιώσιμη από τις βροχοπτώσεις .

Η χώρα αυξάνει τα βοοειδή και το ζωικό κεφάλαιο, ως μέσο για ένα εισόδημα. Ως εκ τούτου, το 71% του εδάφους της χώρας χρησιμοποιείται για κοινόχρηστη βόσκηση, η οποία είναι μια σημαντική αιτία για την ερημοποίηση της χώρας.

Μία συνοπτική παρουσίαση των προβλημάτων ακολουθεί :

- Η μέση βροχόπτωση είναι μικρότερη από το μέσο όρο εξαμηνιαίας σε όλα τα μέρη της χώρας για το σύνολο του έτους,

- Οι περισσότεροι τύποι άρδευσης χρησιμοποιούν τα υπόγεια ύδατα και το μεγαλύτερο μέρος της άρδευσης στη χώρα χρησιμοποιείται για καλλιέργειες κηπευτικών.
- Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η αλατότητα του εδάφους στις γεωργικές ζώνες. Επιπλέον, υπάρχει ο κίνδυνος της μακροπρόθεσμης συσσώρευσης της αλατότητας και της περαιτέρω υποβάθμισης του εδάφους.
- Περίπου το 85% της γης καλύπτεται από την άμμο της ερήμου Καλαχάρι και θάμνους
- Η χώρα έχει τη δυνατότητα να παράγει το 75% της εθνικής ζήτησης του κηπευτικά, αλλά παράγει μόνο το 20%
- Οι μελέτες που έχουν αναληφθεί στη Μποτσουάνα υποδηλώνουν σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων σε ορισμένες περιοχές της χώρας: για παράδειγμα, στο νότιο τμήμα της Μποτσουάνα, οι βροχοπτώσεις αναμένεται να μειωθούν κατά 11% έως το 2050 (Christensen et al 2007).
- Στη Μποτσουάνα άνδρες και ημι άγονες περιοχές είναι πιθανό να επηρεαστούν σοβαρά λόγω των περιορισμένων υδάτινων πόρων εξαιτίας των μεταβολών που θα προκύψουν από την κλιματική αλλαγή, ενώ χαμηλή θα είναι η προσαρμοστική ικανότητα για να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής

Τα βιοφυσικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν καταγράφονται σε ημερήσια βάση, 4 φορές το εικοσιτετράωρο, από ένα αστερίσκο δορυφορικών συστημάτων (AQUA, TERRA) που είναι εξοπλισμένοι με το ίδιο καταγραφικό σύστημα MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Τα δεδομένα αυτά στο επίπεδο επεξεργασίας 3 ομαδοποιούνται σε εβδομαδιαίες, δεκαπενθήμερες, μηνιαίες εκτιμήσεις για το σύνολο της επιφάνειας της γης και επομένως είναι δυνατόν να ορίσουμε ζώνες με κοινή βιοφυσική υπογραφή σε εβδομαδιαία, μηνιαία, εποχική, ετήσια και διαχρονική βάση.

Η βιοφυσική υπογραφή μπορεί δυνητικά να ανατεθεί σε στοιχεία καλύψεων γης ή να βοηθήσει στη διάκριση περιοχών μέσα στην ίδια κάλυψη γης με διαφορετική βιοφυσική υπογραφή. Αυτές οι διακρίσεις βοηθούν στο να εντοπίσουμε ζώνες που είναι περισσότερο επιδεκτικές για συγκεκριμένες χρήσεις (καλλιέργειες κ.α.), θα επιτρέψουν π.χ. τη βέλτιστη χωροθέτηση δραστηριοτήτων σε σχέση με την επερχόμενη κλιματική αλλαγή.

Στην συγκεκριμένη προσέγγιση χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις για τον δείκτη βλάστησης, την θερμοκρασία (1:30 νυχτερινή λήψη) και την βροχόπτωση.

Τα στάδια που ακολουθήθηκαν για την υλοποίηση των πιο πάνω έχουν ως εξής: α) βιβλιογραφική αναδρομή των τεχνικών βιοφυσικής ανάλυσης, χαρτογράφησης, β)

προσδιορισμός /οργάνωση των βιοφυσικών διαχρονικών εικόνων MODIS για την χώρα σε μια πλεγματική βάση δεδομένων, γ) κατάτμηση σε ζώνες με διαφορετική βιοφυσική καταγραφή, δ) εντοπισμός βιοφυσικών διαχρονικών ανωμαλιών κι ερμηνεία τους σε σχέση με το φυσικό περιβάλλον.

Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν: α) αξιολόγηση των δυνατοτήτων και των δυνητικών περιορισμών που προσφέρει η διαθεσιμότητα ελεύθερων σύγχρονων βιοφυσικών γεωγραφικών δεδομένων, στον εντοπισμό και τη μελέτη εξέλιξης των καλύψεων γης, β) στις ζώνες με διαφορετική βιοφυσική υπογραφή θα χωροθετηθούν δυνητικές χρήσεις και δραστηριότητες και θα εξεταστούν κατά πόσο οι θεματικοί χάρτες και τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης θα μπορέσουν να συνεισφέρουν στο σχεδιασμό και στην υποστήριξη δραστηριοτήτων των κρατικών φορέων.

Δεδομένης της πολυπλοκότητας της επιφανειακής θερμοκρασίας, των βροχοπτώσεων κ.α. πάνω από την ξηρά, οι επίγειες μετρήσεις δεν μπορούν να παρέχουν ουσιαστικά τιμές σε μεγάλες εκτάσεις αλλά μόνο σε συγκεκριμένα σημεία (μετεωρολογικοί σταθμοί) . Με την ανάπτυξη της τηλεπισκόπησης, δορυφορικά δεδομένα προσφέρουν τη μοναδική δυνατότητα για μέτρηση της θερμοκρασίας κ.α. βιοφυσικών παραμέτρων σε όλη την υδρόγειο με αρκετά υψηλή χρονική ανάλυση. Επί του παρόντος, δορυφορικοί αισθητήρες που καταγράφουν στο θερμικό υπέρυθρο αποτελούν τα μόνα διαθέσιμα λειτουργικά συστήματα που συλλέγουν δεδομένα θερμοκρασιών (LST) σε τακτικές χωρικές και χρονικές αναλύσεις (Miliareisis 2012).

Το κύριο πλεονέκτημα αυτών των δεδομένων σε σχέση με επίγειες μετρήσεις των μετεωρολογικών σταθμών είναι ότι παρέχουν μια σταθερή χωρική ανάλυση των θερμοκρασιών ημέρας και νύχτας. Επιτρέπουν έτσι την χωρική ανάλυση και ανάκτηση πληροφοριών σχετικά με το πώς διαφορετικές παράμετροι, όπως το είδος της κάλυψης γης, η χρήση γης, το υψόμετρο, η απόσταση από τη θάλασσα, επιδρούν στη θερμοκρασία, στον δείκτη βλάστησης και σε άλλες βιοφυσικές παραμέτρους. (Miliareisis 2012).

Η ερμηνεία της χωρικής και εποχικής μεταβολής ανά βιοφυσική παράμετρο υποδεικνύει ότι:

Θερμοκρασία (νυχτερινή λήψη 1:30), Σχήμα 3.3.3, και 3.3.4.

Η εποχική μεταβολή της θερμοκρασίας και για τις 7 τάξεις υποδηλώνει ελάχιστο τον Ιούνιο - Ιούλιο, και μέγιστο Δεκέμβριο – Ιανουάριο. Αυτή η μεταβολή δείχνει μια μεταβολή που αντιστοιχεί στο Νότιο Ημισφαίριο με αντιστροφή των εποχών σε σχέση με το Βόρειο ημισφαίριο. Υπάρχουν τάξεις όπως η τάξη 3 που παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ χειμερινής και θερινής περιόδου που φθάνει τους 16

βαθμούς Κελσίου. Αυτή η διαφορά προσδιορίζει τον εποχικό δείκτη δυσφορίας που αντανακλά το περιβαλλοντικό στρες στην πανίδα και την χλωρίδα εξ αιτίας της εποχικής μεταβολής της θερμοκρασίας. Αντίθετα σε άλλες τάξεις, όπως η τάξη 7 η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ χειμερινής και θερινής περιόδου ελαχιστοποιείται στους 6 βαθμούς Κελσίου.

Η χωρική κατανομή των τάξεων υποδεικνύει ότι οι τάξεις 3 και 4 στις οποίες μεγιστοποιείται η διάφορα θερμοκρασίας μεταξύ της χειμερινής και θερινής περιόδου, αλλά και οι οποίες παρουσιάζουν την πιο χαμηλή θερμοκρασία Ιούνιο-Ιούλιο, κατανέμονται στη Νότιο-Δυτική χώρα που καταλαμβάνεται από την Έρημο Καλαχάρι (Σχήμα 3.2.3.1). Επειδή πρόκειται για νυκτερινή λήψη, στην έρημο υπάρχει πολύ μεγάλη πτώση της θερμοκρασίας την νυκτερινή περίοδο, που είναι ακόμη πιο έντονη τις περιόδους που δεν υπάρχουν νεφώσεις. Το Okavango Δέλτα (Σχήμα 3.2.3.1) που, αντιστοιχεί στην τάξη 7 παρουσιάζει την μικρότερη εποχική διακύμανση θερμοκρασίας αλλά και την μικρότερη πτώση θερμοκρασίας την χειμερινή περίοδο (λόγω των ποσοτήτων νερού που δέχεται). Η Ανατολική πλευρά της χώρας καταλαμβάνεται από τις τάξεις 1 και 2 που παρουσιάζουν σημαντικά υψηλότερες θερμοκρασίες σε όλες τις εποχές και πολύ μικρότερη εποχική διακύμανση από τις τάξεις που αντιστοιχούν στην Έρημο Καλαχάρι. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού εξ' αιτίας της βλάστησης, η θερμοκρασία δεν πέφτει τόσο την νυκτερινή περίοδο όσο στην ερημική ζώνη. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η τάξη 5 που αντιστοιχεί στις επιφανειακές αποθέσεις αλατιού Makgadikgadi Salt Pan, όπου η θερμοκρασία παρουσιάζει μέγιστο την θερινή περίοδο (Δεκέμβριος-Ιανουάριος) λόγω παντελούς απουσίας βλάστησης. Είναι σαφές ότι η χωρική κατανομή των τάξεων της θερμοκρασίας, και η εποχική τους μεταβολή οριοθετεί ζώνες που συσχετίζονται άμεσα με τις καλύψεις γης και τις φυσικές διεργασίες (πχ Δέλτα Okavango) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την χωροθέτηση χρήσεων (πχ τουρισμός, καλλιέργειες ανάλογα με την εποχική μεταβολή των θερμοκρασιών κάθε τάξης).

Δείκτης βλάστησης, Σχήμα 3.3.1, και 3.3.2.

Οι ζώνες που παρουσιάζουν την μικρότερη τιμή του δείκτη βλάστησης οριοθετούνται στην Νότιο Δυτική περιοχή που αντιστοιχούν στην ζώνη Καλαχάρι. Επιπλέον οι ζώνες αυτές παρουσιάζουν μια διαβάθμιση από Νότιο Δυτικά προς Βόρειο Ανατολικά, υποδηλώνοντας πολύ περισσότερο ακραίες βιοφυσικές συνθήκες στην Δυτική Καλαχάρι. Επιπλέον τα κέντρα βάρους καθορίζουν την εποχικότητα (αυξομείωση) της βλάστησης μεταξύ θέρους και χειμώνα. **Παρατηρείται** ότι η

μικρότερη εποχικότητα σημειώνεται για τις τάξεις που αντιστοιχούν στην Έρημο Καλαχάρι (Δυτικά) αλλά και στο Makgadikgadi Salt Pan στα Ανατολικά λόγω των επιφανειακών αποθέσεων αλατιού. Η ζώνη με την μεγαλύτερο ποσοστό βλάστησης (υψηλότερες τιμές του δείκτη βλάστησης) για όλες τις εποχές/μήνες οριοθετείται στην Βόρειο Ανατολική χώρα και συμπίπτει με την τάξη 3.

Βροχόπτωση, Σχήματα 3.3.5, 3.3.6

Τα ύψη βροχόπτωσης είναι εξαιρετικά μικρά, ενώ την περίοδο από Μάιο μέχρι Σεπτέμβριο παρατηρούνται μηδενικά ύψη βροχόπτωσης για το σύνολο των τάξεων, δηλαδή για το σύνολο της χώρας. Από Δεκέμβρη μέχρι Φεβρουάριο παρατηρούνται βροχοπτώσεις που κατανέμονται κυρίως στο Βόρειο και στο Ανατολικό τμήμα της χώρας.

Κεφάλαιο Πέμπτο

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Δεδομένης της πολυπλοκότητας της επιφανειακής θερμοκρασίας, κ.α. πάνω από την ξηρά, οι επίγειες μετρήσεις δεν μπορούν να παρέχουν ουσιαστικά τιμές σε μεγάλες εκτάσεις αλλά μόνο σε συγκεκριμένα σημεία (μετεωρολογικοί σταθμοί). Με την ανάπτυξη της τηλεπισκόπησης, δορυφορικά δεδομένα προσφέρουν τη μοναδική δυνατότητα για μέτρηση της θερμοκρασίας κ.α. βιοφυσικών παραμέτρων σε όλη την υδρόγειο με αρκετά υψηλή χρονική ανάλυση. Επί του παρόντος, οι δορυφορικοί αισθητήρες που καταγράφουν στο θερμικό υπέρυθρο αποτελούν τα μόνα διαθέσιμα λειτουργικά συστήματα που συλλέγουν δεδομένα θερμοκρασιών κ.α. σε τακτικές χωρικές και χρονικές αναλύσεις. Το κύριο πλεονέκτημα αυτών των δεδομένων σε σχέση με επίγειες μετρήσεις των μετεωρολογικών σταθμών είναι ότι παρέχουν μια σταθερή χωρική ανάλυση των θερμοκρασιών ημέρας και νύχτας. Επιτρέπουν έτσι την χωρική ανάλυση και ανάκτηση πληροφοριών σχετικά με το πώς διαφορετικές παράμετροι, όπως το είδος της κάλυψης γης, η χρήση γης, το υψόμετρο, η απόσταση από τη θάλασσα, επιδρούν στη θερμοκρασία, στον δείκτη βλάστησης και σε άλλες βιοφυσικές παραμέτρους.

Στην συγκεκριμένη προσέγγιση χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις για τον δείκτη βλάστησης, την θερμοκρασία (1:30 νυχτερινή λήψη) και την βροχόπτωση. Τα στάδια που ακολουθήθηκαν για την υλοποίηση περιελάμβαναν εφαρμογή μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης και κατάτμηση σε τάξεις με διαφορετική χωρική και εποχική κατανομή. Η βιοφυσική υπογραφή, που προκύπτει από την χωρική κατανομή των τάξεων και τα κέντρα βάρους τους, μπορεί δυνητικά να ανατεθεί σε στοιχεία καλύψεων γης ή να βοηθήσει στη διάκριση περιοχών μέσα στην ίδια κάλυψη γης με διαφορετική βιοφυσική υπογραφή. Αυτές οι διακρίσεις βοηθούν στο να εντοπίσουμε ζώνες που είναι περισσότερο επιδεκτικές για συγκεκριμένες χρήσεις (καλλιέργειες κ.α.), επιτρέπουν τη βέλτιστη χωροθέτηση δραστηριοτήτων σε σχέση με την επερχόμενη κλιματική αλλαγή, κ.α..

Σε σχέση με την ερμηνεία της χωρικής και εποχικής μεταβολής της θερμοκρασίας (νυχτερινή λήψη 1:30), είναι σαφές ότι η χωρική κατανομή των τάξεων της θερμοκρασίας, και η εποχική τους μεταβολή οριοθετεί ζώνες που συσχετίζονται άμεσα με τις καλύψεις γης και τις φυσικές διεργασίες (πχ Δέλτα Okavango) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την χωροθέτηση

χρήσεων (πχ τουρισμός, καλλιέργειες ανάλογα με την εποχική μεταβολή των θερμοκρασιών κάθε τάξης). Πιο συγκεκριμένα:

- Η εποχική μεταβολή της θερμοκρασίας και για τις 7 τάξεις υποδηλώνει ελάχιστο τον Ιούνιο - Ιούλιο, και μέγιστο Δεκέμβριο – Ιανουάριο. Αυτή η μεταβολή δείχνει μια μεταβολή που αντιστοιχεί στο Νότιο Ημισφαίριο με αντιστροφή των εποχών σε σχέση με το Βόρειο ημισφαίριο.
- Υπάρχουν τάξεις όπως η τάξη 3 που παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ χειμερινής και θερινής περιόδου που φθάνει τους 16 βαθμούς Κελσίου. Αυτή η διαφορά προσδιορίζει τον εποχικό δείκτη δυσφορίας που αντανακλά το περιβαλλοντικό στρες στην πανίδα και την χλωρίδα εξ αιτίας της εποχικής μεταβολής της θερμοκρασίας.
- Αντίθετα σε άλλες τάξεις, όπως η τάξη 7 η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ χειμερινής και θερινής περιόδου ελαχιστοποιείται στους 6 βαθμούς Κελσίου.
- Η χωρική κατανομή των τάξεων υποδεικνύει ότι οι τάξεις 3 και 4 στις οποίες μεγιστοποιείται η διάφορα θερμοκρασίας μεταξύ της χειμερινής και θερινής περιόδου, αλλά και οι οποίες παρουσιάζουν την πιο χαμηλή θερμοκρασία Ιούνιο-Ιούλιο, κατανέμονται στη Νότιο-Δυτική χώρα που καταλαμβάνεται από την Έρημο Καλαχάρι. Επειδή πρόκειται για νυκτερινή λήψη, στην έρημο υπάρχει πολύ μεγάλη πτώση της θερμοκρασίας την νυκτερινή περίοδο, που είναι ακόμη πιο έντονη τις περιόδους που δεν υπάρχουν νεφώσεις.
- Το Okavango Δέλτα που αντιστοιχεί στην τάξη 7, παρουσιάζει την μικρότερη εποχική διακύμανση θερμοκρασίας αλλά και την μικρότερη πτώση θερμοκρασίας την χειμερινή περίοδο (λόγω των ποσοτήτων νερού που δέχεται).
- Η Ανατολική πλευρά της χώρας καταλαμβάνεται από τις τάξεις 1 και 2 που παρουσιάζουν σημαντικά υψηλότερες θερμοκρασίες σε όλες τις εποχές και πολύ μικρότερη εποχική διακύμανση από τις τάξεις που αντιστοιχούν στην Έρημο Καλαχάρι. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού εξ' αιτίας της βλάστησης, η θερμοκρασία δεν πέφτει τόσο την νυκτερινή περίοδο όσο στην ερημική ζώνη.
- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η τάξη 5 που αντιστοιχεί στις επιφανειακές αποθέσεις αλατιού Makgadikgadi Salt Pan όπου η θερμοκρασία παρουσιάζει μέγιστο την θερινή περίοδο (Δεκέμβριος-Ιανουάριος) λόγω παντελούς απουσίας βλάστησης.

Ως προς τον δείκτη βλάστησης η χωρική του κατανομή και η εποχική του μεταβλητότητα καθορίζει ζώνες που είναι ή δεν είναι κατάλληλες για την χωροθέτηση δραστηριοτήτων όπως η εκτροφή βοοειδών, το δυνητικό εύρος της καλλιεργητικής περιόδου, κ.α. αλλά και την

διαχρονική υπογραφή βλάστησης στα εθνικά πάρκα στις προστατευόμενες περιοχές, που προσδιορίζει την ανάγκη για την υλοποίηση μέτρων προστασίας. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι

- Οι ζώνες που παρουσιάζουν την μικρότερη τιμή του δείκτη βλάστησης οριοθετούνται στην Νότιο Δυτική περιοχή που αντιστοιχούν στην ζώνη Καλαχάρι.
- Οι ζώνες αυτές παρουσιάζουν μια διαβάθμιση από Νότιο Δυτικά προς Βόρειο Ανατολικά, υποδηλώνοντας πολύ περισσότερο ακραίες βιοφυσικές συνθήκες στην Δυτική Καλαχάρι.
- Τα κέντρα βάρους καθορίζουν την εποχικότητα (αυξομείωση) της βλάστησης μεταξύ θέρους και χειμώνα.
- Παρατηρείται ότι η μικρότερη εποχικότητα σημειώνεται για τις τάξεις που αντιστοιχούν στην Έρημο Καλαχάρι (Δυτικά) αλλά και στο Makgadikgadi Salt Pan στα Ανατολικά λόγω των επιφανειακών αποθέσεων αλατιού.
- Η ζώνη με την μεγαλύτερο ποσοστό βλάστησης (υψηλότερες τιμές του δείκτη βλάστησης) για όλες τις εποχές/μήνες οριοθετείται στην Βόρειο Ανατολική χώρα και συμπίπτει με την τάξη 3.

Ως προς την βροχόπτωση, τα ύψη βροχόπτωσης είναι εξαιρετικά μικρά. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι :

- Την περίοδο από Μάιο μέχρι Σεπτέμβριο παρατηρούνται μηδενικά ύψη βροχόπτωσης για το σύνολο των τάξεων, δηλαδή για το σύνολο της χώρας.
- Από Δεκέμβρη μέχρι Φεβρουάριο παρατηρούνται βροχοπτώσεις που κατανέμονται κυρίως στο Βόρειο και στο Ανατολικό τμήμα της χώρας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Μηλιαρέσης Γ. (2003). Φωτοερμηνεία- Τηλεπισκόπηση. Εκδόσεις ΙΩΝ.
2. Μηλιαρέσης Γ. (2006). Ειδικές Εφαρμογές στο ArcGIS. Εκδόσεις ΙΩΝ.

Πηγές από το διαδίκτυο

3. Agribotswana 2015. Botswana Agricultural Portal. <http://agribotswana.com/>. Accessed 12/05/2015.
4. AQUA. 2013. Aqua Project Science. National Aeronautics and Space Administration, NASA . <http://aqua.nasa.gov/about/instruments.php> (πρόσβαση 12/05/2015).
5. Bok, I., Madisa, M., Machacha, D., Moamogwe, M., More, K. (Eds.), 2006. Manual for Vegetable Production in Botswana. Department of Agricultural Research, Gaborone, Botswana. Available thhttp://www.dar.gov.bw/manual1_veg_prod_botswana.pdf. Accessed 12/05/2015.
6. Bok, I., Madisa, M., Machacha, D., Moamogwe, M., More, K. (Eds.), 2006. Manual for Vegetable Production in Botswana. Department of Agricultural Research, Gaborone, Botswana. Available http://www.dar.gov.bw/manual1_veg_prod_botswana.pdf. Accessed 2/07/2008. Accessed 12/05/2015.
7. Botswana 2014. Experience Botswana. Tourism organization. <http://www.botswana-tourism.us/> Accessed 12/05/2015.
8. Botswana Country Data, 2015. <http://geology.com/world/> . Geology data resources. Accessed 12/05/2015.
9. Botswana National Map 2015. <http://www.nationsonline.org/oneworld/map/botswana-map.htm> Accessed 12/05/2015.
10. Botswana Political Map 2015. <http://www.mapsofworld.com/botswana/botswana-political-map.html> . Accessed 12/05/2015.
11. CIESIN, 2005. Center for International Earth Science Information Network. Gridded Population of the World Version 3 (GPWv3): Population Density Grids. Palisades, NY:

- Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University. Available at <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw>. Accessed 12/05/2015.
12. Frost, A.J., Chandler, R.E., Segond, M.-L., 2006. Multi-site downscaling for the Blackwater catchment. FD2113 project report, No. 4 (December 2006). <http://www.ucl.ac.uk/Stats/research/Rainfall/reports.html>. Accessed 12/05/2015.
 13. GDEX, 2015. Global Data Explorer, US Geological Survey. <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/> Accessed 12/05/2015
 14. Geocover 2015. Landsat Mosaics. NASA <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/> (πρόσβαση 12/5/2015).
 15. GlobCover 2015. Global Land cover maps for the 2000, 2005 and 2010 epochs. <http://www.esa-landcover-cci.org/?q=node/158> (πρόσβαση 12/5/2015).
 16. Leith, N., 2005. Using GLMs to simulate daily rainfall under scenarios of climate change. FD2113 project report, No. 2 (December 2005). <http://www.ucl.ac.uk/Stats/research/Rainfall/reports.html>. Accessed 12/05/2015.
 17. MODIS Landcover 2013. 500 m, landcover database. NASA https://lpdaac.usgs.gov/about/news_archive/modisterra_land_cover_types_yearly_l3_global_005deg_cm_g_mod12c1 (πρόσβαση 12/5/2015).
 18. MODIS Web 2013. National Aeronautics and Space Administration, NASA. <http://modis.gsfc.nasa.gov> (πρόσβαση 12/5/2015).
 19. SRTMGL1 2015. NASA Shuttle Radar Topography Mission, Global 1 arc second DEM. USGS. https://lpdaac.usgs.gov/products/measures_products_table/srtmg1 (πρόσβαση 12/5/2015).
 20. WorldClim 2015. Global Climate Data. Free climate data for ecological modeling and GIS. <http://www.worldclim.org/formats> (πρόσβαση 12/5/2015)

Διεθνής Βιβλιογραφία

21. Adger, W. N., & Vincent, K. 2005. Uncertainty in adaptive capacity. *Comptes Rendus Geoscience*, 337, 399–410

22. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration—guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy.
23. Anderson Martha , Richard G. Allen , Anthony Morse , William P. Kustas, 2011. Use of Landsat thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources *Remote sensing of Environment*, 76, 67-74
24. Andersson, L., Wilk, J., Todd, M., Hughes, D.A., Earle, A., Kniveton, D., Layberry, R., Savenije, H.H.G., 2006. Impact of climate change and development scenarios on flow patterns in the Okavango River. *J. Hydrol.* 3, 31-43
25. Anon. (2009). Annual Report – 2008-2009. Division of Horticulture and Beekeeping. Ministry of Agriculture, Gaborone Botswana.
26. Arino, Olivier; Ramos Perez, Jose Julio; Kalogirou, Vasileios; Bontemps, Sophie; Defourny, Pierre; Van Bogaert, Eric, 2012. Global Land Cover Map for 2009 (GlobCover 2009). © *European Space Agency (ESA) & Université catholique de Louvain (UCL)*, doi:10.1594/PANGAEA.787668
27. Arntzen, J.W., Kgathi, D.L., 2005. Water Management in the savannas of southern Africa: implications for integrated water resource management. Harry Oppenheimer Okavango Research Centre, University of Botswana, Maun (Botswana).
28. Arvidson, T., S.N. Goward, D.L. Williams, and J. Gasch 2006. Landsat-7 long-term acquisition plan: Development and validation, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72, 1137–1146.
29. Ashton PJ, Neal MJ 2005. Public involvement in water resource management within the Okavango River Basin. In: Bruch C, Jansky L, Nakayama LM, Salewicz KA (eds) *Public Participation in the Governance of International Freshwater Resources*. United Nations University, Tokyo, 169–195
30. Bartholome, E. and A.S. Belward, CLC2000, 2005. a new approach to global land cover mapping from Earth observation data. *Int. J. of Remote Sensing*, 26, 1959-1977.
31. Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., Palutikof, J., 2008. Climate change and water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva.

32. Beltrao, J., Faria, J., Miguel, G., Chaves, P., Trindade, D., 2000. Cabbage yield response to salinity of trickle irrigation water. *Acta Horticulturae* 537, 641–645.
33. Boko, M., Niang, I., Nyong, A., Vogel, C., Githeko, A., Medany, M., et al. 2007. Africa. In M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, & C. E. Hanson (Eds.), *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (pp. 433–467). Cambridge: Cambridge University Press
34. Buytaert, W., Vuille, M., Dewulf, A., Urrutia, R., Karmalkar, A., Celleri, R., 2010. Uncertainties in climate change projections and regional downscaling in the tropical Andes: implications for water resources management. *Hydrology and Earth System Sciences* 14, 1247–1258.
35. Cassidy, L. 2007. Mapping the annual area burned in the wetlands of the Okavango panhandle using a hierarchical classification approach. *Wetlands Ecology and Management*, vol. 15, no. 4, pp. 253- 268.
36. Challinor, A. J. 2009. Towards the development of adaptation options using climate and crop yield forecasting at seasonal to multi-decadal timescale. *Environmental Science and Policy*, 12, 453–465
37. Chiew, F.H.S., Kirono, D.G.C., Kent, D.M., Frost, A.J., Charles, S.P., Timbal, B., Nguyen, K.C., Fub, G., 2010. Comparison of runoff modelled using rainfall from different downscaling methods for historical and future climates. *Journal of Hydrology* 387 (2010), 10–23.
38. Chimbari, M.J., Magole, L., Wiles, G., Dikgola, K., Kurugundla, N., Fanta, T.D., Ngwenya, B., Nyepi, M.S., Motsumi, S., Ama, K., Thakadu, O., Chombo, O., 2009. *Application of the Ecohealth Approach to Understand Flood-Recession (Molapo) Farming in the Context of Hydro-Climate Variability and Hydro-climate Change in the Okavango Delta, Botswana*. University of Botswana Harry Oppenheimer Okavango Research Centre, Maun, Botswana
39. Christensen, J.H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R.K., Kwon, W.-T., Laprise, R., Magana Rueda, V., Mearns, L., Menendez, C.G., Raisanen, J., Rinke, A., Sarr, A., Whetton, P., 2007. Regional climate projections. In: Qin, S.D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), 2007. *Climate Change. The Physical Science Basis. Contribution of Working*

- Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Solomon. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
40. Cooper, P. J. M., Dimes, J., Rao, K. P. C., Shapiro, B., Shiferaw, B., & Twomlow, S. 2008. Coping better with current climatic variability in the rain-fed farming systems of sub-Saharan Africa: an essential first step in adapting to future climate change? *Agriculture Ecosystems & Environment*, 126, 24–35.
 41. DEA, 2008. Okavango Delta Management Plan. Ministry of Environment, Wildlife and Tourism, Gaborone.
 42. Dogliotti, S., Ittersum, M.K.van., & Rossing, W.A.H 2005. A method for exploring sustainable development options at farm scale: a case study for vegetable farms in south Uruguay. *Agricultural Systems*, 86(1), 29-51.
 43. Dougill, A.J., Thomas, A.D., 2004. Kalahari sand soils: spatial heterogeneity, biological soil crusts and land degradation. *Land Degrad. Dev.* 15 (3), 233-242.
 44. Dougill, A.J., Thomas, D.S.G., Heathwaite, A.L., 1999. Environmental change in the Kalahari: integrated land degradation studies for nonequilibrium dryland environments. *Annals of the Association of American Geographers* 89 (3), 420-442
 45. Fabricius, C., Folke, C., Cundill, C., Schultz, L., 2007. Powerless spectators, coping actors and adaptive co-managers: a synthesis of the role of communities in ecosystem management. *Ecol. Soc.* 12 (1), 29.
 46. FAO, 2005. Irrigation in Africa in Figures. AQUASTAT Survey 2005. Ed. K Frenken. FAO Water Report 29. FAO, Rome.
 47. Farr, T.G., E. Caro, R. Crippen, R. Duren, S. Hensley, M. Kobrick, M. Paller, E. Rodriguez, P. Rosen, L. Roth, D. Seal, S. Shaffer, J. Shimada, J. Umland, M. Werner, 2007, The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, volume 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.
 48. Fowler, H.J., Blenkinsop, S., Tebaldi, C., 2007. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. *International Journal of Climatology* 27, 1547–1578

49. Glenn, Edward P.; Huete, Alfredo R.; Nagler, Pamela L.; Nelson, Stephen 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, no. 4: 2136-2160.
50. Grouillet B., J. Fabre, D. Ruelland, A. Dezetter, 2015. Historical reconstruction and 2050 projections of water demand under anthropogenic and climate changes in two contrasted Mediterranean catchments, *Journal of Hydrology*, 522, 684-696.
51. Guo M, X Wang, J Li, K Yi, G Zhong, H Tani, 2012. Assessment of Global Carbon Dioxide Concentration Using MODIS and GOSAT Data. *Sensors*, 12, 16368-16389
52. Heinl M., A. Neuenschwander, J. Sliva *et al.*, 2006. Interactions between fire and flooding in a southern African floodplain system (Okavango Delta, Botswana),” *Landscape Ecology*, 21, 699-709.
53. Heinl, M., P. Frost, C. Vanderpost *et al.*, 2007. Fire activity on drylands and floodplains in the southern Okavango Delta, Botswana, *Journal of Arid Environments*, 68, 77-87.
54. Herrmann, S.M., Anyamba, A., Tucker, C.J., 2005. Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate. *Global Environmental Change Part A* 15 (4), 394-404.
55. Huang, Y., Cai, J., Yin, H., Cai, M., 2009. Correlation of precipitation to temperature variation in the Huanghe River (Yellow River) basin during 1957–2006. *Journal of Hydrology* 372, 1–8.
56. Huntsman-Mapila, P., Kampunzu, A.B., Vink, B., Ringrose, S., 2005. Cryptic indicators of provenance in the geochemistry of the Okavango Delta sediments, NW Botswana. *Sedimentary Geology* 174, 123–148.
57. Jamil, M., Lee, C.C., Rehman, S.U., Lee, D.B., Ashraf, M., Rha, E.S., 2005. Salinity (NaCl) tolerance of basic species at germination and early seedling growth. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry* 4, 970–976.
58. Kenabatho, P.K., McIntyre, N.R., Chandler, E.R., Wheeler, H.S., 2012. Stochastic simulation of rainfall in the semi-arid Limpopo basin, Botswana. *International Journal of Climatology* 32, 1113–1127

59. Kenabatho, P.K., 2011. Hydrological and Water Resources Modelling under Uncertainty and Climate Change: An Application to the Limpopo Basin, Botswana. Ph.D. Thesis. Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College, London
60. Kgathi, D.L., Mmopelwa, G., Mosepele, K., 2005. Natural resource assessment in the Okavango Delta: case studies of some key resources. *Natural Resources Forum* 29 (1), 70–81.
61. Kigobe, M., McIntyre, N., Wheeler, H., Chandler, R., 2011. Multi-site stochastic modelling of daily rainfall in Uganda. *Hydrological Sciences Journal* 56 (1), 201-215
62. Kobrick, M., 2006, On the toes of giants: How SRTM was born. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72, 3, 206-210.
63. Kuponiyi, F.A., & Adewale, J.G. 2008. The use of safety devices in adoption of agro-chemicals by rice farmers in Obafemi-Owode Local Government Area of Ogun State. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 8(4), 427-440.
64. Lenderink, G., Buishand, A., van Deursen, W., 2007. Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. *Hydrology and Earth System Sciences* 11, 1145–1159
65. Liang, S. 2007. Recent developments in estimating land surface biogeophysical variables from optical remote sensing. *Progress in Physical Geography* 31, 501–516
66. Loveland Thomas R , John L. Dwyer, 2102. Landsat: Building a strong future, *Remote Sensing of Environment*, 122, 22–29
67. Madisa, M. E., & Assefa, Y. 2011a. Impact of government financial incentives on peri urban vegetable production in Botswana. *Journal of Horticulture and Forestry*, 3(8), 264-269.
68. Madisa, M. E., Assefa, Y., & Obopile, M. 2010a. Assessment of Production Constraints, Crop and Pest Management Practices in Peri-Urban Vegetable Farms of Botswana. *The Egyptian Academic Journal of Biological Science*, 1, 1-12.
69. Madisa, M. E., Assefa, Y., & Obopile, M. 2010b. Crop diversity, extension services and marketing outlets of vegetables in Botswana. *The Egyptian Academic Journal of Biological Science*, 1(1), 13-22.

70. Madisa, M. E., M. Obopile, Assefa, Y. 2011b. Analysis of Horticultural Production Trends in Botswana. *Journal of Plant Studies*, 1(1) 25-32.
71. Maggio, A., De Pescale, S., Ruggiero, C., Barbieri, G., 2005. Physiological responses of field-grown cabbage to salinity and drought stress. *European Journal of Agronomy* 23, 57–67.
72. Magole, L., 2008. The feasibility of implementing an integrated management plan of the Okavango Delta, Botswana. *Physics and Chemistry of the Earth* 33 (8–13), 906–912.
73. Magole, L., Mazvimavi, D., Motsumi, S., 2008. Operationalizing IWRM within the Okavango Delta, Botswana. In: *Proceedings of the Second IASTED Africa Conference, September 8–10, 2008, Gaborone, Botswana.*
74. Manandhar Sujata, Weerayuth Pratoomchai, Keisuke Ono, So Kazama, Daisuke Komori, 2015. Local people's perceptions of climate change and related hazards in mountainous areas of northern Thailand, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 11, 47-59.
75. Maraun, D., Wetterhall, F., Ireson, A.M., Chandler, R.E., Kendon, E.J., Widmann, M., Brienen, S., Rust, H.W., Sauter, T., Themeßl, M., Venema, V., Chun, K.P., Goodess, C.M., Jones, R.G., Onof, C., Vrac, M., Thiele-Eich, I., 2010. Precipitation downscaling under climate change. Recent developments to bridge the gap between models & the end user. *Reviews of Geophysics* 48, RG3003. DOI: 10.1029/2009RG000314.
76. Masike, S., Urisch, P., 2008. Vulnerability of traditional beef sector to drought and the challenges of climate change: the case of Kgatleng District, Botswana. *Journal of Geography and Regional Planning* 1, 12–18
77. Mbaiwa, J.E., 2005. Enclave tourism and its socio-economic impacts in the Okavango delta, Botswana. *Tourism Management* 26 (2), 157–172
78. Miliareisis G. 2007. An upland object based modelling of the vertical accuracy of the SRTM1 elevation dataset. *Journal of Spatial Science*, 52 (1), 13-28.
79. Miliareisis G., & Paraschou CVE. 2005. Vertical accuracy of the SRTM DTED level 1 of Crete. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 7,49-59.
80. Miliareisis G., 2009. The terrain signatures of administrative units: a tool for environmental assessment. *Environmental monitoring and assessment*, 150(1-4), 385-396.

81. Miliareisis G., 2014. Daily Temperature Oscillation Enhancement of Multi-temporal LST Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 80(5)423-428
82. Miliareisis G., 2013. Thermal anomaly mapping from night MODIS imagery of USA, a tool for environmental assessment. *Environmental Monitoring & Assessment* 185(2):1601-1612.
83. Miliareisis G., Tsatsaris A. 2010. Thermal terrain modeling of spatial objects, a tool for environmental and climatic change assessment. *Environmental Monitoring & Assessment*, 164(1-4):561-572.
84. Miliareisis G., Tsatsaris A. 2011. Mapping the spatial and temporal pattern of day-night temperature difference in Greece from MODIS imagery. *GIScience & Remote Sensing*, 48(2):210-224. doi: 10.2747/1548-1603.48.2.210.
85. Miliareisis, G. 2012. Elevation, Latitude/Longitude Decorrelation Stretch of Multitemporal LST Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 78, 2, 151-160
86. Miliareisis, G. 2012. Elevation, latitude/longitude decorrelation stretch of multi-temporal LST imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 87:151-160.
87. Moleele, N., Ringrose, S., Arnberg, W., Lunden, B., Vanderpost, C., 2001. Assessment of vegetation indexes useful for browse (forage) prediction in semi-arid rangelands. *International Journal of Remote Sensing* 22 (5), 741-756
88. Munyati, C., Makgale, D., 2009. Multitemporal landsat TM imagery analysis for mapping and quantifying degraded rangeland in the Bahurutshe communal grazing lands, South Africa'. *International Journal of Remote Sensing* 30 (14), 3649-3668.
89. NaYan, Andreas C.W. Baas, 2015. Parabolic dunes and their transformations under environmental and climatic changes: Towards a conceptual framework for understanding and prediction, *Global and Planetary Change*, 124, 123-148.
90. Obopile, M., Munthali, D. C., & Matilo, B. 2000. Farmers' knowledge, perceptions and management of vegetable pests and diseases in Botswana. *Crop Protection*, 27, 1220-1224.

91. Ogen, O., 2006. Traditional farming and indigenous knowledge systems in Africa: perspectives from ikale-yoruba experience. *Indilinga – Afr. J. Indigenous Knowl. Syst.* 5, 127-135
92. Parida, B.P., Moalafhi, D.B., 2008. Regional rainfall frequency analysis for Botswana using L-moments and radial basis function network. *Physics and Chemistry of the Earth* 33 (2008), 614–620
93. Reed, M. S., Dougill, A. J., & Taylor, M. J. 2007. Integrating local and scientific knowledge for adaptation to land degradation: Kalahari rangeland management options. *Land Degradation & Development*, 18, 249–268.
94. Reed, M.S., Dougill, A.J., 2002. Participatory selection process for indicators of rangeland condition in the Kalahari. *Geogr. J.* 168, 224-234.
95. Reed, M.S., Dougill, A.J., 2010. Linking degradation assessment to sustainable land management: a decision support system for Kalahari pastoralists. *J. Arid Environ.* 74, 149-155.
96. Reed, M.S., Dougill, A.J., Taylor, M.J., 2007. Integrating local and scientific knowledge for adaptation to land degradation: Kalahari rangeland management options. *Land Degrad. Dev.* 18, 249-268.
97. Reynolds, J.F., Smith, Stafford, Lambin, D.K., Turner II, E.F., Mortimore, B.L., Batterbury, M., Dowing, S.P.J., Th Dowlatabadi, E.H., Fernandez, R.J., Herrick, J.E., Huber Sannwald, E., Jiang, H., Leemans, R., Lynam, T., Maestre, F.T., Ayarza, M., Walker, B., 2007. Global desertification: building a science for dryland development. *Science* 316, 847-851.
98. Rhee J, S Park, Z Lu, 2014. Relationship between land cover patterns and surface temperature in urban areas. *GIScience & Remote Sensing*, 51, 521-536
99. Ringrose, S., Chipanshi, A.C., Matheson, W., Chanda, R., Motoma, L., Magole, I., Jellema, A., 2002. Climate- and human-induced woody vegetation changes in Botswana and their implications for human adaptation. *Environmental Management* 30 (1), 98-109.
100. Ronggao Liu R, Yang Liu 2012. Generation of new cloud masks from MODIS land surface reflectance products. *Remote Sensing of Environment* 133. 21–37.

101. Ruosteenoja, K., Carter, T.R., Jylha, K., Tuomenvirt, H., 2003. Future climate in world regions: an intercomparison of model-based projections for the new IPCC emissions scenarios. Finnish Environment Institute No. 644, Helsinki, 83 pp
102. Salamí, Esther, 2013. Real-Time Data Processing for the Airborne Detection of Hot Spots. *Journal of Aerospace Information Systems*, 10, 444-451
103. Sallu, S.M., Twyman, C., Thomas, D.S.G., 2009. The multidimensional nature of biodiversity and social dynamics and implications for contemporary rural livelihoods in remote Kalahari settlements, Botswana. *Afr. J. Ecol.* 47, 110-118
104. Schwilch, G., Bestelmeyer, B., Bunning, S., Critchley, W., Herrick, J., Kellner, K., Liniger, H.P., Nachtergaele, F., Ritsema, C.J., Schuster, B., Tabo, R., van Lynden, G., Winslow, M., 2011. Experiences in monitoring and assessment of sustainable land management. *Land Degrad. Dev.* 22, 214-225
105. Scudder T 2005. *The Future of Large Dams: Dealing with Social, Environmental, Institutional and Political Costs.* Earthscan, London
106. Shepherd, J.D., Dymond, J.R., Gillingham, S., Bunting, P. 2014. Accurate registration of optical satellite imagery with elevation models for topographic correction. *Remote Sensing Letters*, 5, 637 - 641 .
107. Stringer, L.C., Thomas, D.S.G., Twyman, C., 2007. From global politics to local land users: applying the united nations convention to combat desertification in Swaziland. *Geogr. J.* 173, 129-142.
108. Sunderlin, W., Hatcher, J., Liddle, M., 2008. *From Exclusion to Ownership? Challenges and Opportunities in Advancing Forest Tenure Reform.* Rights and Resources Initiative, Washington DC.
109. Tahal Consulting Engineers, 2000. *National Master Plan for Agricultural Development.* vol. 1, Ministry of Agriculture, Botswana.
110. Tawana Land Board, 2008. *Ngamiland Integrated Land Use Plan.* Tawana Land Board, Maun, Botswana.
111. Tedeschi, A., Dell'Aquila, R., 2005. Effects of irrigation with saline waters, at different concentrations, on soil physical and chemical characteristics. *Agricultural Water Management* 77, 308–322.

112. Tedeschi, A., Dell'Aquila, R., 2005. Effects of irrigation with saline waters, at different concentrations, on soil physical and chemical characteristics. *Agricultural Water Management* 77, 308–322.
113. Tian F, Wang Y, Fensholt R, Wang K, Zhang L, Huang Y. 2013. Mapping and Evaluation of NDVI Trends from Synthetic Time Series Obtained by Blending Landsat and MODIS Data around a Coalfield on the Loess Plateau. *Remote Sensing*, 5, 4255-4279.
114. Vanderpost, C., 2006. Pathways of human sprawl in wilderness buffer zones. *Population Environment* 27, 285–306.
115. Vanderpost, C., Ringrose, S., Kgathi, D., Matheson, W., 2007. The nature and possible causes of land cover change (1984e1996) along a rainfall gradient in southeastern Botswana. *Geocarto International* 22, 161-183.
116. Wan, Z., 2008. New Refinements and Validation of the MODIS Land-Surface Temperature/Emissivity products, *Remote Sensing of Environment*, 112, 3, 59-74.
117. Wang Suiji, Yanjun Wang, Lishan Ran, Teng Su, 2015. Climatic and anthropogenic impacts on runoff changes in the Songhua River basin over the last 56 years (1955–2010), Northeastern China, *CATENA*, 127, 258-269.
118. White, A., Molnar, A., Khare, A., Sunderlin, W., 2008. Seeing People through the Trees; Scaling up Efforts to Advance Rights and Address Poverty, Conflict and Climate Change. UNEP, Earthprint.
119. Wolski, P. et al., 2005. Aspects of Seasonal Dynamics of Flooding in the Okavango Delta. *Botswana Notes and Records*, 37, 179–195
120. Worku, A., Lemenih, M., Fetene, M., Teketay, D., 2011. Socio-economic importance of gum and resin resources in the dry woodlands of Borana, southern Ethiopia. *Trees Livelihoods* 20, 137-155.
121. Yang, C., Chandler, R.E., Isham, V.S., Wheeler, H.S., 2005. Spatial–temporal rainfall simulation using generalized linear models. *Water Resources Research* 41, 1–13