

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**IŞIK KULLANIM ETKİNLİĞİ (LUE) MODELİ İLE ÇANKIRI İLİNDEKİ
MERALARDA BİYOKÜTLE TAHMİNİ**

Ediz ÜNAL

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**ANKARA
2011**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Ediz ÜNAL tarafından hazırlanan “**Işık Kullanım Etkinliği (LUE) Modeli ile Çankırı İlindeki Meralarda Biyokütle Tahmini**” adlı tez çalışması 24.05.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç.Dr. İlhami BAYRAMİN

Jüri Üyeleri:

Başkan: Prof.Dr. Osman KETENOĞLU

Ankara Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı

Üye : Prof.Dr. Mahmut YÜKSEL

Ankara Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Üye : Prof.Dr. Günay ERPUL

Ankara Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Üye : Doç.Dr. S. Zuhal AKYÜREK

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği

Üye : Doç.Dr. İlhami BAYRAMİN

Ankara Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof.Dr. Özer KOLSARICI

Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

İŞIK KULLANIM ETKİNLİĞİ (LUE) MODELİ İLE ÇANKIRI İLİNDEKİ MERALARDA BİYOKÜTLE TAHMİNİ

Ediz ÜNAL

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. İlhami BAYRAMIN

Yeşil aksamaya sahip bitki topluluğunun birim alandaki toplam kütlesi anlamına gelen biyokütle, meraların otlatma kapasitelerinin ve verimlerinin tespit edilmesi amacıyla kullanılan en önemli özelliklerinden biridir. Meraların en iyi şekilde yönetimini sağlamak ve onlardan maksimum faydayı temin etmek için, botanik kompozisyonunun, besin üretim miktarının ve bunun alansal ve zamansal dağılımının belirlenmesi gereklidir. Bu çalışmada Işık Kullanım Etkinliği (LUE) modeli ile Çankırı ilindeki meraların 2000-2009 yılları arasındaki aylık ve yıllık toplam biyokütle miktarları hesaplanmıştır. Buna ilaveten, on yıllık zaman aralığında biyokütledeki mekansal değişim ve bu değişimin yönü (eğilimi) belirlenerek haritalandırılmış ve bunları etkileyen faktörler tartışılmıştır. On yıllık ortalamalardan elde edilen verilere göre il genelindeki meraların biyokütle üretimleri yıllık 25000 ton civarındadır. Bu üretim miktarı, birim alanda (1 m^2) yaklaşık 11,4 gr kuru madde olarak verime tekabül etmektedir. Meraların biyokütle verimleri on yıllık döneme (2000-2009) göre azalma eğilimi içerisinde (ortalama eğilim $-0,87 \text{ g/m}^2$). Korelasyon analizi, yağış ve verim eğilimleri arasında %99 güven aralığında pozitif yönde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir. Toplam biyokütle miktarını belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılan tümlşik NDVI yöntemi ile LUE modelinden hesaplanan biyokütle, %69 oranındaki bir doğrulukta tahmin edilebilmektedir.

Mayıs 2011, 131 sayfa

Anahtar Kelimeler: Mera, Biyokütle, Işık, Uzaktan Algılama, Su Stresi, Radyasyon, Vegetasyon, Fenoloji, Çankırı.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

BIOMASS ESTIMATION OF PASTURE LANDS OF ÇANKIRI PROVINCE USING LIGHT USE EFFICIENCY (LUE) MODEL

Ediz ÜNAL

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İlhami BAYRAMİN

Biomass which means total production of live vegetation in a unit of area is one of the most important features of pastures to find out their productivity and grazing capacities. It is necessary to determine pastures' botanical composition and organic material they produce and their spatial extension that it can be managed to get maximum sustainable yield. In this study, monthly and annual total biomass of pastures in Çankırı province for the period of 2000-2009 is calculated using Light Use Efficiency (LUE) Model. In addition to spatial variances of biomass, its trends and magnitude throughout the ten-year period is estimated and mapped. The factors which affect biomass productivity, its geographical distribution, temporal trend and magnitude are also discussed. Findings showed that average total biomass production of ten years is approximately 25000 tons for entire pastureland in the province. This means that gross primary productivity is 11.4 gr/m² for a unit of area. According to analysis, pastures' productivity is in the trend of decrease (average slope -0.87g/m²) between 2000-2009. Correlation analysis shows that there is a positive meaningful relationship with %99 confidence interval between trends of rainfall and biomass production. Biomass production calculated from LUE model can be estimated %69 accuracy using integrated NDVI.

May 2011, 131 pages

Key Words: Rangelands, Biomass, Light, Remote Sensing, Water Stress, Radiation, Vegetation, Phenology, Çankırı

TEŞEKKÜR

Bana bu çalışma konusunda tez yapma olanağı veren ve çalışma sırasında her aşamada bilgi, deneyim, önerileri ve değerli yardımlarını gördüğüm başta sayın danışman hocam Doç.Dr. İlhami BAYRAMİN'e (Ankara Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme A.B.D), tez izleme komitesi üyeleri Prof.Dr. Günay ERPUL'a (Ankara Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme A.B.D) ve Prof.Dr. Osman KETENOĞLU (Ankara Üniversitesi Biyoloji A.B.D) hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca tez savunmasında değerli katkı ve desteklerinden dolayı Prof. Dr. Mahmut YÜKSEL (Ankara Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme A.B.D) ve Doç. Dr. S. Zuhal AKYÜREK (Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği) hocalarıma da teşekkür ederim.

Doktora çalışmam için gereken idari izinleri sağlayan Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürü ve Müdür Yardımcılarına ve tez çalışmasının yürütülmesi sırasında bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan, her zaman desteğini gördüğüm bölüm başkanımız Dr. Ali MERMER'e ve yine mesai arkadaşlarımdan arazi çalışmalarına katkıda bulunan Zir. Müh. Metin AYDOĞDU'ya, verilerin işlenmesi ve düzenlenmesinde desteğini veren Dr. Hakan YILDIZ'a, istatistiksel analiz ve değerlendirmelerde yardımcı olan Günseli AYTAÇ'a, yazılım ve donanımla ilgili teknik destek sağlayan Zir. Müh. Osman AYDOĞMUŞ'a ve diğer mesai arkadaşlarıma ve meslektaşlarıma teşekkür ederim. Son olarak, tez çalışmalarım süresince beni destekleyen eşim Arzu ve kızım Gizem'e de en derin duygularla teşekkür ederim.

Bu doktora çalışması, TÜBİTAK - Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projeleri Destekleme Programı (1007) çerçevesinde yürütülen 106G017 No'lu ULUSAL MERA KULLANIM VE YÖNETİM PROJESİ tarafından desteklenmiştir. Bu kapsamda tez çalışmasındaki desteklerinden dolayı da ayrıca proje yöneticisine ve TÜBİTAK kuruma teşekkür ederim.

Ediz ÜNAL
Ankara, Mayıs 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1 Materyal	19
3.2 Yöntem	24
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	46
4.1 Meraların Biyokütle Miktarları	46
4.2 Değişkenlik Analizi	53
4.3 Eğilim (Trend) Analizi.....	64
4.4 Model Performans Değerlendirme	69
4.5 Biyokütle Tahmin Modelindeki Etmenlerin Analizi.....	78
4.6 Modelin Duyarlılık Analizi.....	82
5. SONUÇ.....	88
KAYNAKLAR	91
EKLER.....	102
EK 1 NDVI Toprak Yansıması Düzeltmesi	103
EK 2 Gerçek Evapotranspirasyon (AET) Hesaplaması	106
EK 3 Potansiyel Evapotranspirasyon (PET) Hesaplaması	114
EK 4 Toprak Analizi Sonuçları	117
EK 5 Örneklem Noktası Kuadrat Ölçümleri	119
EK 6 Botanik Kompozisyon Ölçüm Sonuçları	121
ÖZGEÇMİŞ.....	130

KISALTMALAR DİZİNİ

AET	Gerçek Evapotranspirasyon
ANOVA	Varyans Analizi
APAR	Absorbe edilen Fotosentetik Aktif Radyasyon
AVHRR	Gelişmiş Yüksek Çözünürlüklü Radyometre
AT	Gerçek Transpirasyon
BTG	Büyük Toprak Grupları
C	Karbon
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CO ₂	Karbondiyoksit
EVI	Gelişmiş Vejetasyon İndeksi
ET ₀	Potansiyel Evapotranspirasyon
FAO	Dünya Gıda Örgütü
FPAR	Oransal Fotosentetik Aktif Radyasyon
FVC	Toprak Kaplama Oranı
FTP	Dosya Transfer Protokolü
GPP	Bürüt Primer Produktivite
Ha	Hektar
Kc	Vejetatif Dönem Bitki Faktörü
Kcr	Vejetatif Dönem Öncesi Bitki Faktörü
LUE	Işık Kullanım Etkinliği
MJ	Megajoule
NDVI	Normalleştirilmiş Farklılık Vejetasyon İndeksi
NDVI _t	Her daim toprak NDVI değeri
NDVI _v	Her daim bitki örtüsü NDVI değeri
NIR	Yakın Kızıl Ötesi Dalga Boyu
NOAA	Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Atmosferik ve Okyanus Kurumu
O ₂	Oksijen
PAR	Fotosentetik Aktif Radyasyon
PET	Potansiyel Evapotranspirasyon
PT	Potansiyel Transpirasyon
R	Kırmızı Dalga Boyu
RS	Güneşlenme Şiddeti
SAVI	Toprak Düzeltmeli Vejetasyon İndeksi
STK	Su Tutma Kapasitesi
TRD	Toprak Referans NDVI Değeri
TOK	Toprak Özellikleri Kombinasyonu
UA	Uzaktan Algılama
WS	Su Stres Katsayısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Meralarımızın coğrafi dağılımı	5
Şekil 3.1 Fenoloji takvimi	16
Şekil 3.2 Materyal ve yöntemin şematik gösterimi.....	18
Şekil 3.3 20-31 Mart 2000 maksimum kompozit NDVI görüntüsü.....	19
Şekil 3.4 Arazi çalışması örnekleme alanları	21
Şekil 3.5 Arazi çalışmaları ile toprak üstü biyokütlenin örneklenmesi	22
Şekil 3.6 Meteoroloji istasyonlarının dağılımı	23
Şekil 3.7 Çalışma Alanı	26
Şekil 3.8 On günlük ortalama RS değerlerinden PAR hesaplaması (grafik gösterim) ...	30
Şekil 3.9 20-31 Mart 2000 FPAR verisi.....	33
Şekil 3.10 APAR - Absorbe edilen fotosentetik aktif radyasyon (20-31 Mart 2000).....	34
Şekil 3.11 Evapotranspirasyon, transpirasyon ve evaporasyon ilişkisi	41
Şekil 3.12 Su stres faktörünün hesaplanması	43
Şekil 3.13 On günlük ortalama, aylık toplam ve yıllık toplam biyokütle (a,b,c).....	44
Şekil 3.14 Mera poligonları (a), poligonlardan kesilerek üretilen meralar (b)	45
Şekil 4.1.a. Aylık biyokütle (Mart 2000), b. Yıllık biyokütle (2000).....	47
Şekil 4.2 Meraların yıllık (2000-2009) ortalama biyokütle verimleri	49
Şekil 4.3 Ortalama yağış, mm (2000-2009).....	50
Şekil 4.4 Biyokütle miktarlarının yıllar itibarı ile aylık değişimleri (2000-2009).....	51
Şekil 4.5 Biyokütlenin 2000-2009 arası değişimi	51
Şekil 4.6 Mayıs-Haziran arası yağış ve biyokütlenin ortalamalarına göre değişimleri ..	53
Şekil 4.7 Mevsimsel biyokütle ve yağış değişkenlikleri (2000-2003, 2005, 2008).....	55
Şekil 4.8 2004 yılı biyokütle ve yağış değişkenlikleri	56
Şekil 4.9 2006 yılı biyokütle ve yağış değişkenlikleri	56
Şekil 4.10 2007 yılı biyokütle ve yağış değişkenlikleri	57
Şekil 4.11 2009 yılı biyokütle ve yağış değişkenlikleri	58
Şekil 4.12 a. 2000-2009 arası ortalama biyokütle, b. biyokütlerdeki varyasyon	59
Şekil 4.13 Çankırı meralarının eğim haritası	61
Şekil 4.14 Doğrusal regresyon grafiği örneği	65
Şekil 4.15 2000-2009 arasında biyokütle verimindeki eğilim miktarları ve yönü.....	66
Şekil 4.16 2000-2009 arasında yağış trendi ve yıllara göre ortalama yağış grafiği	67
Şekil 4.17 Çankırı ili toplam büyük baş hayvan varlığı (1999-2009).....	69
Şekil 4.18 Uydu ve arazi verileri arasındaki regresyon analizi.....	70
Şekil 4.19 Odunsu ve otsu yapıdaki bitki türleri için bir örnek	72
Şekil 4.20 Uydu ve yer verileri arasındaki ilişki.....	73
Şekil 4.21 Yer, uydu ve tahmin verilerinin örneklem noktalarındaki biyokütle değerleri.....	74
Şekil 4.22 Kuru materyalin biyokütle üzerindeki arka plan etkisi.....	75
Şekil 4.23 Uydu verisi ve arazi verisinin boyutsal farklılığı.....	76
Şekil 4.24 LUE modeli biyokütlesi ve arazi biyokütlesi ile tümleşik NDVI değerleri arasındaki regresyon ve ilişki katsayısı.....	77
Şekil 4.25 Biyoküte (a), fotosentetik radyasyon (b), yağış (c) ve su stres faktörü (d)'nün on yıllık ortalama değerleri	81
Şekil 4.26 Oransal duyarlılık katsayılarının istatistiksel dağılımları	87

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Türkiye’de mera alanlarının değişimi	2
Çizelge 1.2 Geniş mera alanlarına sahip bazı ülkeler	2
Çizelge 1.3 Mera alanlarının bölgesel dağılımları	4
Çizelge 3.1 Vejetatif dönemdeki 10 günlükler ve toplam sayıları.....	17
Çizelge 3.2 Ortalama ve standart sapma LUE değerleri	35
Çizelge 3.3 Meralardaki farklı bitkiler için tespit edilen LUE değerleri.	36
Çizelge 4.1 Çankırı ili meralarının ürettiği aylık ve yıllık biyokütle miktarları	47
Çizelge 4.2 Bölgeye düşen 10 yıllık ortalama yağış miktarları (mm) ve grafiği	60
Çizelge 4.3 Toprak derinliğine göre mera poligonlarının ortalama biyokütle değerleri standart sapmaları ve varyansı	62
Çizelge 4.4 Eğime göre mera poligonlarının ortalama biyokütle değerleri, standart sapmaları ve varyansı	63
Çizelge 4.5 ANOVA tablosu, etki testi tablosu ve çoklu karşılaştırma tablosu	63
Çizelge 4.6 Çankırı ilinin büyük baş hayvan varlığı.....	68
Çizelge 4.7 Uydu ve tahmin verileri t-testi	74
Çizelge 4.8 LUE modeli çıktısı ile tümleşik NDVI arasındaki anlamlılık testi.....	78
Çizelge 4.9 Değişkenlerin korelasyon katsayıları	79
Çizelge 4.10 Biyokütle ile değişkenler arası korelasyon sonuçları.....	79
Çizelge 4.11 Duyarlılık katsayısı çizelgesi	84
Çizelge 4.12 Değişkenlerin mekansal duyarlılık katsayısı istatistiki verileri	85
Çizelge 4.13 Duyarlılık analizi senaryoları ve uzun yıllar ortalamalarından elde edilen biyokütle üretim ve verim değerleri	86

1. GİRİŞ

Bir ülkenin hayvansal varlığını etkileyen faktörlerin başında sahip olduğu çayır ve mera alanları gelmektedir. Özellikle ülkemiz hayvancılığının %70 oranında meralara bağlı olduğu ve hayvan varlığımızın bir yılda tükettiği ham proteinin %68'nin çayır ve meralardan temin edildiği bildirilmektedir (Tarman 1972). Meralar, hayvanlar için yaşam alanı ve beslenme sahaları olması açısından önemli olduğu kadar, toprağı tutarak erozyonu azaltması, pınar ve memba sularına kaynak olması, biyolojik çeşitliliğe barınak teşkil etmesi ve de en önemlisi olarak biyolojik yaşam döngüsünün temel ögesi olan bitkileri üzerinde barındırması açısından büyük öneme sahiptirler.

Ülkemizde meralar devletin hüküm ve tasarrufu altında olup, kullanma hakkı bir ya da birden çok köy ve belediyeye aittir ve çoğu kurak otlak alanları olup hayvan otlatmada kullanılmaktadır. Kamuya ait bu otlatma alanları çiftçilerin ortak kullanımına açıktır. Geleneksel olarak çiftçiler, iklim şartları otlatmaya uygun olduğu sürece meraları otlatmaya meyillidirler. Bu nedenle ılıman bölgelerde otlatma tüm yıl boyunca devam etmektedir. Soğuk yüksek alanlarda ise otlatma, ilkbaharda karın erimesi ile başlayıp sonbaharda ilk kar düşene kadar devam eder.

Ülkemiz mera varlığı son 70 - 80 yılda büyük bir düşüş yaşamıştır. İkinci Dünya savaşı yıllarında toplam mera alanımız yaklaşık 43 Milyon hektar olup toplam yüz ölçümünün %57 'si civarındaydı. Ancak 1950-1970'li yıllar arasında Türk tarımında mekanizasyonun artması ve hızla artan nüfusu beslemek için tahıl alanlarının genişlemesi, önemli oranda mera alanının sürülüp tarım alanına dönüştürülmesine yol açmıştır. Aynı dönemde hayvan sayısındaki artış nedeniyle kalan mera alanlarında artan oranda çevresel bozulma ortaya çıkarmıştır. Bunun sonucunda 1950'de 37,8 milyon ha olan mera alanı 1975'de 21,7 milyon hektara düşmüştür (Çizelge 1.1). Aynı dönemde hayvan sayısı yaklaşık %70 artmıştır (Anonim, 1950 ve 1976). Diğer bir ifadeyle daha az alana daha fazla sayıda hayvan otlatmaya getirilmiştir. Hazine malı meraların alanının bugün yaklaşık 14 milyon ha olduğu tahmin edilmektedir.

Meralarımız genelde tarla arazisi karakterinde olup, mera olarak kullanılan yerlerin sürülerek tarlaya dönüştürülmesinde sakınca olmadığı düşünülmeyle birlikte, gerçek mera arazilerinin sürülmesi önemli problemler yaratmaktadır. Çünkü bu alanlar sürüldüklerinde doğal bitki örtüsü özelliklerini kaybetmektedirler ve aynı zamanda tarla tarımı olarak verimliliklerini de birkaç yılda tükettiklerinden erozyona maruz kalarak tamamıyla çıplak hale dönüşmektedir.

Çizelge 1.1 Türkiye’de mera alanlarının değişimi (Munzur 1989 ve Anonim 1950, 1976)

Yıllar	Mera alanı (Milyon ha)	Toplam yüzölçümüne oranı (%)
1940	44,21	56.8
1950	37,90	48.6
1960	28,65	36.8
1980	21,70	27.9
2000	14,10	15.9

Ülkemiz 14,6 milyon hektarlık mera varlığı ile dünyada 42. sırada yer almaktadır. En geniş mera alanlarına sahip üç ülke Çin, Avustralya ve A.B.D sırasıyla 400, 380 ve 238 milyon ha ile dünyadaki toplam mera alanının %23’ne sahiptirler (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2 Geniş mera alanlarına sahip bazı ülkeler (Anonim 2009)

Mera Alanları (1000 ha)				
Sıra	Ülkeler	1995	2000	2007
1	Çin	400001	400001	400001
2	Avustralya	423048	407900	380919
3	A.B.D	236000	236331	238000
4	Brezilya	192972	196206	197000
5	Kazakistan	182326	185098	185098
6	Suudi Arabistan	170000	170000	170000
7	Sudan	114000	117180	117227
8	Moğolistan	117147	129294	115143
42	Türkiye	12378	14100	14617
	Dünya	3405752	3429747	3378173

Türkiye meraları

Çayır ve meraların üzerinde barındırdıkları canlılar ve insan yaşamı açısından çok önemli bir yere sahip olduğu bahsedilmişti. Bu önemlilik, meraların doğal yaşamın barınağı ve biyolojik çeşitlilik kaynağı olması yanında, toprakların verimliliğini artırması, su kaynaklarının kalitesini ve oluşumunu etkilemesi ve nihayetinde iklim değişikliği nedeniyle sera etkisinin azaltılmasına katkıda bulunmasından kaynaklanmaktadır. Ülkemizin bitki ve genetik çeşitlilik açısından en zengin ekosistemlerini oluşturan çayır ve meralar, 1998 yılında çıkarılan 4342 sayılı mera kanunu ile yasal statü altına alınmıştır. Bu kanun, meraların yıpranmadan daha verimli kullanılmasını ve çiftçilerimizin bilinçli bir şekilde yönlendirilmesini amaçlamaktadır.

Yıllardan beri devam eden aşırı ve düzensiz otlatma sonucu üzerindeki bitki örtüsü büyük ölçüde tahrip olan meralarımızın otlatma kapasitesi düşmüş ve erozyona maruz sahalar durumuna gelmiştir. Bu durum ise meraya özgü otların zayıflamasına ve zamanla ortadan kalkmasına neden olmaktadır. Buna karşılık meralarda bulunan ve çoğunluğu yabancı olan dikenli ve acı ot türleri artmaktadır. Bunun sonucunda da sıgırkuyruğu (*Verbascum sp.*), sütleğen (*Euphorbia sp.*), çoban yastığı (*Acantholimon sp.*), deve dikenli (*Alhagi sp.*) ve geven (*Astragalus sp.*) gibi dikenli otlar baskın hale gelmektedir. Özellikle yarı kurak bölgelerimizdeki ot kompozisyonu önemli ölçüde bozulmuş ve buralarda yerli otların yerini kurakçıl ve dikenli olan otlar istila etmiştir. Meralarımızdaki bitkiler genellikle buğdaygil ve baklagillerden oluşmaktadır ve mevcut meralarımızın büyük bir kısmında kaliteli yem bitkilerinin botanik kompozisyonundaki oranları da oldukça düşüktür (Başaran vd. 2006). Ülkemizde meraların bulunduğu toprakların yüzeyleri çoğunlukla engebeli ve eğimlidir, taban suları ise derinde yer almaktadır (Büyükburç, 1999). Meralar aldıkları yağış miktarlarına göre iki kategoride toplanabilir:

- a) Yıllık yağışı 800 mm'nin üzerinde olan ve yüzeyleri devamlı olarak çeşitli mera bitkileri ile kaplı olan alanlar. Bu tür meralara devamlı veya kapalı meralar denir.
- b) Yıllık yağışları 800 mm'den daha az ve yüzeyleri bitki örtme açısından daha zayıf olan alanlar. Bu tür meraların ot verimleri daha azdır. Bu meralarda yağış miktarı düştükçe, yetişmekte olan bitkiler seyrekleşir, yatık formdaki bitki türleri

baskınlaşır ve meranın verimi daha da düştüğü için hayvanlar besinlerini karşılayabilmek için daha fazla dolaşmak zorunda kalırlar. Bu tür meralar aynı zamanda “kıraç mera” olarak da adlandırılır.

Bu her iki mera sınıfı, kendiliğinden yetişen tabii meralardır. Tabii meraların ot verimlerinin azalması veya besin değeri düşük bitkilerin çoğalması bu meraların hayvan stoklama kapasitesini düşürmektedir. Bu sebeple ülkemizde uzun yıllar aşırı otlatma sonucunda meralarımızın verimliliği ve kalitesinin azaldığı bilinmektedir. Meralarımızın bitki türü ve yoğunluğu, bölgelere ve bölge içinde de topoğrafya, enlem, yağış durumu ve toprak yapısına göre değişmekte olup (Fırıncıoğlu 2004), temelde 3 ana grupta incelenebilir. Birinci grup meralar (Doğu Anadolu ve Karadeniz), % 50-60 oranında bitki örtüsü ile kaplı, uzun boylu ve buğdaygil bitkilerinden oluşmaktadır. Özellikleri açısından büyükbaş hayvanların otlatılması için uygun yapıya sahiptirler. İkinci grup meralar ise, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerimizde yer alan meralar olup, % 10-15 oranında bitki örtüsü içermektedir. Mera kompozisyonundaki bitkiler genel olarak, kısa boylu, geniş yapraklı ve dikensi yapıdadır (Akman vd. 1984, Kurt vd. 2006). En verimsiz meralarımız bu bölgelerde yer almaktadır. Yağışın yıllık 300-500 mm civarında olması ve aşırı otlama buna temel sebep olarak gösterilmektedir. Bu iki bölgemizdeki meraların taban arazileri büyük baş, diğer kesimleri ise koyun ve keçi otlatmaya uygun özellik taşımaktadır. Üçüncü grup olan sahil meraları (Marmara-Ege-Akdeniz) ise, yüzde 25-30 oranında bitki örtüsü ile kaplıdır. Bitki örtüsünde ağırlıklı olarak baklagil, buğdaygil yem bitkileri barınmaktadır. Sahil bölgelerimizdeki meralarda karışık hayvan türleri otlatılabilir. 2001 yılı istatistik verilerine göre ülkemizdeki mera alanlarının bölgelere göre rakamsal değerleri Çizelge 1.3’de, coğrafi dağılımı ise Şekil 1.1’de verilmiştir (Anonim 2001).

Çizelge 1.3 Mera alanlarının bölgesel dağılımları (Anonim 2001)

Bölgeler	Mera alanı (Ha)	Oranı (%)
Marmara	518 500	3,94
Ege	750 055	5,70
Akdeniz	630 729	4,79
İç Anadolu	4 388 276	33,33
Karadeniz	1 269 176	9,64

Çizelge 1.3 Mera alanlarının bölgesel dağılımları (devamı)

Bölgeler	Mera alanı (Ha)	Oranı (%)
Doğu Anadolu	4 662 289	35,41
Güneydoğu Anadolu	948 349	7,20
TOPLAM	13 167 375	100



Şekil 1.1 Meralarımızın coğrafi dağılımı (Toprak Su Kaynakları, Türkiye Genel Toprak Veritabanından üretilmiştir)

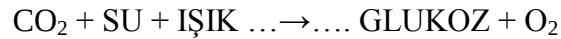
Meralarımızın üretim ve verim kapasiteleri, üretim potansiyellerinin bir göstergesi olarak kabul edilmemelidir. Meraların verimlerinin artırılması amacıyla sürme, gübreleme, zararlı bitkilerin temizlenmesi ve uygun bitki tohum ekimi gibi çeşitli ıslah çalışmaları ile verimsiz hale gelmiş olan meralar kültür altına alınabilmektedir. Bu amaçla ihtiyaca cevap verecek bir mera kanunu (4342 sayılı) 1998 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu kanun meraların, yaylak ve kışlakların tespiti ve tahsisıyla ilgili hükümleri içermekle birlikte, bakım, ıslah, koruma konularında düzenlemeleri de getirmektedir. Bu kanun ile çiftçilerimizin daha bilinçli bir şekilde yönlendirilmesi ve böylece meraların yıpratılmadan verimli kullanılması amaçlanmıştır. Mera yasasının ülke ve bölgeler bazında çok iyi değerlendirilmesi gerekir, özellikle bölgeler bazında meralarda yapılacak doğru uygulamalar, ülkenin hayvancılık politikalarının oluşturulmasında önemli rol oynayacaktır.

Biyokütle

Biyokütle, belirli bir zamanda ve birim alanda (m²) üretilen bitkisel materyalin toplam kütlesi olarak tanımlanabilir. Bitkilerin ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan biyokütle, genelde güneş enerjisini fotosentez yardımıyla depolayan bitkisel organizmalar olarak adlandırılır. Canlı kütle ve dikili ürün deyimiyle eş anlama gelmektedir.

Biyokütlenin önemi

Yaşam döngüsünde bitkilerin önemi ile ilgili çalışmalar uzun yıllardan beri yapılmaktadır. Bitki ve insan arasında yeryüzündeki hayatın devamını sağlayan bir döngü mevcuttur. Bitkilerin yapmış oldukları fotosentez işlemi ile havadaki CO₂, topraktaki su ve güneş enerjisi bitkiler tarafından kullanılarak organik bileşiklere dönüştürülür ve ana ürün olarak O₂ ve glikoz bileşikleri oluşur. Bu süreç aşağıdaki gibidir:



Biyokütleyi oluşturan bitkiler;

- Oksijen kaynağıdır
- Havadaki CO₂'i tüketerek atmosfere CO₂ salınım oranını azaltır
- Suyu filtreleme ve temizleme görevini yürütür
- İnsan ve hayvan gıdası olarak kullanılırlar
- Yenilenebilir bir kaynaktır

Mera biyokütlesi

Yeşil aksama sahip bitki topluluğunun birim alandaki toplam kütlesi anlamına gelen biyokütle, meraların otlatma kapasitelerinin ve verimlerinin tespit edilmesi amacıyla kullanılan en önemli mera özelliklerinden biridir. Meraların biyokütlesi yapay ve doğal etmenlerin etkisi altında olup, zamansal ve konumsal değişimler göstermektedir. Mera biyokütlesini en çok etkileyen doğal etmenlerin başında yağış ve sıcaklık faktörleri gelmektedir (Hielkema vd. 1986, Nicholson vd. 1990, Tucker vd. 1991, Clenton vd. 1999, DuPlessis 1999, Wang vd. 2001). Bu iki etken bitkilerin, fotosentez, soluma ve

terleme gibi biyolojik ve fizyolojik faaliyetlerini olumlu veya olumsuz yönde etkileyerek meraların besin üretim miktarını belirlemektedir.

Çayır ve meraların önemli faydalarını sürdürebilmesi ancak üzerinde barındırdığı bitki topluluklarının yaşamlarını sürdürmesi ve hayat çevriminin devamlılığı ile sağlanabilmektedir. Meraların bu önemli görevlerinin değerlendirilebilmesi için coğrafi dağılımlarının, alanlarının ve bitki kompozisyon yapıları ile biyokütle miktarının ve veriminin bilinmesi bir gereklilik haline gelmiştir. Böylelikle bu değerli doğal kaynaklarımızın en iyi şekilde yönetimini sağlamak ve onlardan maksimum faydayı temin etme şansı yakalanabilecektir. Bu çerçevede değerlendirildiğinde, meralarımızın vejetatif yapısının belirlenmesi, üzerindeki bitki topluluklarının besin üretiminin diğer bir ifade ile biyokütle miktarının tahmin edilmesi öncelikli hedeflerimizden biri olmalıdır.

Mera biyokütlesinin tahmin edilmesi mera varlığının ortaya konulması açısından kaçınılmaz bir gerekliliktir. Meralarda biyokütle tahmini, geleneksel yöntem adını verdiğimiz arazi çalışması düzenlenerek ilgili alandan bitki kesimi yoluyla gerçekleştirilen ölçüm yöntemi ile yapılabilmektedir. Bu yöntemde, büyüme sezonu boyunca rastgele belirlenen noktalardan toprak üstü yeşil aksam kesilerek örnekleme alınır, örnekler kurutulur ve kuru materyal tartılarak biyokütle miktarı toplamı olarak tahmin edilir (Gower vd. 1999). Diğer taraftan bu tür çalışmaların ülkelerin geniş alanlarını kaplayan meralarda gerçekleştirilmesi hem zaman hem de ekonomik açıdan oldukça külfetlidir. Bu durumda uzaktan algılama yöntemleri alternatif bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Uzaktan algılama yöntemleri ile daha hızlı ve düşük maliyetli çalışmalar gerçekleştirilerek meraların bitkisel özelliklerinin ve dağılım alanlarının belirlenmesi ve izlenmesi, gelişen teknoloji ile mümkün hale gelmiştir. Uzaktan algılama ile elde edilen veriler, mera verimliliğinin belirlenmesinde, biyokütle tahminlerinin yapılmasında ve meraların sağlık durumlarının izlenmesinde son yıllarda çok sık olarak kullanılmaktadır (Reeves 2001). Uzaktan algılama yöntemi ile biyokütle tahmininde, uydu görüntüleri ve

hava fotoğrafları geniş alanların ve ulaşımı zor olan mera sahalarının ve orman alanlarının gözlenmesi için iyi birer veri girdisidir.

Bu tez çalışmasının temelini oluşturan “Işık Kullanım Etkinliği” (Light Use Efficiency-LUE) modeli, uydu verilerini ana girdilerden biri olarak kullanmaktadır. Işık kullanım etkinliği kavramı ilk defa Monteith (1972) tarafından ortaya atılmıştır. Monteith’e göre biyokütle ile bitkinin fotosentez işlemi süresince tuttuğu güneş ışığı miktarı arasında doğrudan ilişki bulunmaktadır. Bu ilişki daha sonra, “Işık Kullanım Etkinliği Modeli” veya Epsilon modeli olarak birçok araştırmacı tarafından karasal ekosistemdeki biyokütle tahminlerinde çok yaygın bir biçimde kullanılmıştır (Heimann ve Keeling 1989, Running ve Hunt 1993, Ruimy vd. 1994, Field vd. 1995, Hunt vd. 1996, Liu vd. 1997). LUE modelinin temelinde bitkiler tarafından soğrulan güneş ışığı miktarı ile tutulan karbon miktarının arasında belirli bir orantı olması yatmaktadır. Bilindiği gibi ototrof organizmalar olan yeşil bitkiler, fotosentez işlemi ile yanabilme özelliğinde olmayan topraktaki su ve havadaki CO₂’den yararlanarak yanabilme özelliğine sahip karbonhidrat ve O₂ üretirler. Fotosentez olarak anılan bu süreç yeryüzündeki yaşamın devamlılığını sağlayan en önemli fizyolojik olaylardan birisidir. Fotosentez ile elde edilen bu besin maddesi, bitkinin enerji ihtiyacının karşılanması ve büyümesi için bitki yapraklarında, köklerinde ve dallarında biyokütle olarak depolanmaktadır. Bu besin üretimine aynı zamanda birincil üretim veya primer produktivite adı da verilmektedir. En kısa anlamda primer produktivite ya da biyokütle terimi birim alanda ve belirli bir zaman sürecinde fotosentez işlemi neticesinde bitkilerce üretilen organik madde miktarıdır.

Tezin amacı

Bu doktora çalışmasının temel hedefi, Çankırı ilindeki meraların biyokütle miktarını (birincil üretim kapasitelerini) Işık Kullanım Etkinliği Modeli ile belirlemek ve biyokütle dağılımını haritalandırmaktır. Bu amaca ulaşırken aşağıdaki hedefler de gerçekleştirilmiştir;

- a) Çalışma alanındaki meraların vejetatif dönemlerini kapsayan zaman aralığında (20 Mart -10 Ağustos) her yıl için (2000–2009 arası), 10 günlük

ortalama, aylık ortalama ve yıllık ortalama biyokütle miktarının tespit edilmesi,

- b) Hesaplanan biyokütle miktarlarının, gerçekleştirilen arazi çalışmaları ile doğruluğunun test edilmesi,
- c) Çalışma alanındaki meraların biyokütle açısından değişkenliğinin yıllar ve aylara göre belirlenmesi,
- d) Biyokütledeki değişkenliğin, coğrafik dağılımının, kapasitesinin ve eğiliminin (trendi) tespit edilmesi.

Tezin sonraki bölümlerinde verilen bilgiler şu düzendedir; **Materyal ve Yöntem** bölümünde, biyokütle tahmin modelinde uygulanan yöntem ve kullanılan veriler açıklanmıştır. **Bulgular ve Tartışma** bölümünde ise biyokütlenin yıl içi ve yıllar arası değişimi belirlemek ve bu değişimlerin yönünü ve eğilimini tespit etmek amacıyla uygulanan değişkenlik ve eğilim analizleri, değişimlerin muhtemel sebepleri, modelin artı ve eksi yönleri, tutarlılığı ve benzeri hususlar tartışılmıştır. Yine aynı bölümde, LUE modeli ile tespit edilen biyokütle tahminlerinin doğruluk derecesini saptamak amacıyla model performans değerlendirmesi yapılmıştır. Tezin **Sonuç** bölümünde ise, modelin ve elde edilen sonuçların genel değerlendirilmesi yapılmış, elde edilen net çıktılar ve öneriler ortaya konulmuştur. **Ekler** bölümünde de sırasıyla, NDVI toprak yansıma düzeltmesi, gerçek ve potansiyel transpirasyon hesaplamaları, toprak analizi ve örneklem noktaları kuadrat ölçümleri ve bu noktaların botanik kompozisyon sonuçları verilmiştir.

Bu doktora çalışmasında kullanılan yöntem ve bizatihi çalışmanın kendisi, ülkemizde yapılmış kendine özgün araştırmalardan biridir. Bu çalışmadan elde edilecek sonuç ile Türkiye meralarının biyokütle varlığının belirlenmesinde alternatif bir seçenek sunacak ve yapılacak benzer çalışmalara yön verecektir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Küresel ve bölgesel biyokütle veriminin tahmin edilmesi amacıyla kullanılan ölçümleme ve modelleme teknikleri özellikle son yıllarda koordineli bir strateji içinde oldukça ilerlemiş durumdadır. Hali hazırda birçok model mevcuttur, diğer bazı kompleks modeller ise geliştirilme aşamasındadır. Ekosistem süreç modellemeleri ile uzaktan algılama gözlemlerinin küresel ölçekte birleştirilerek primer üretimin coğrafi dağılımı ve şiddetini belirlemek mümkün hale gelmiştir. Aşağıda, modelleme yöntemleri ile biyokütle tahmini konusunda yapılmış olan değişik araştırma ve çalışmalara ait özet bilgiler verilmiştir.

1970’li yıllardan beri bilim adamları biyokütle tahmin modelleri üzerinde çalışmaktadırlar. Bu konuda ilk çalışma Monteith (1972) tarafından yapılmıştır. Monteith, bitkilerin fotosentezde kullandıkları güneş ışığı ile tarımsal bitkilerin biyolojik organik madde üretimini bir biyofiziksel dönüşüm faktörü yardımıyla ilişkilendirerek biyokütle tahmin modelini ilk çalışan araştırmacılardan birisidir. Potter vd. (1993), bu yaklaşımı küresel biyokütle tahminleri için kullanmış ve modeli doğal bitki örtüsü için genişletmiştir.

Biyokütle tahmin modelleri ile ilgili çalışmalardan öncü araştırmacılardan biri olan Lieth (1975), yıllık net primer üretimini sıcaklık ve yağış ile olan ilişkisini araştırmak amacıyla deneysel regresyon analizleri gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada güneş ışığının etkisi dikkate alınmamıştır. Çalışmanın basitliği ve deneysel tabana dayanmasından dolayı daha karmaşık modellerin geliştirilmesinde, bu çalışma halen ana model olarak kullanılmaktadır.

Farquar vd. (1980) birçok mekanistik simülasyon modelleri üzerinde çalışmışlar. Bu çalışmalarda bitkilerin fotosentez işlemlerinin biyokimyasal yapısını detaylı olarak ortaya koyulmasıyla primer üretimin tahmin kapasitesinin artırılması amaçlanmıştır. Bu mekanistik modeller, çoğunlukla ışık, su, sıcaklık, nitrojen gibi bir veya daha fazla çevresel kontrol parametrelerini içeren modellerdir.

Uzaktan algılama yöntemlerinin bu amaçla kullanımı da aynı yıllara rast gelmektedir. Bilindiği gibi uydu görüntülerinden elde edilen uzaktan algılama verileri, mera verimliliğinin değerlendirilmesi, aktif vejetasyon varlığının tespit edilmesi ve gözlenmesi amaçlı olarak uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bu hedeflerin gerçekleştirilmesinde iki temel yöntem mevcuttur. Bunlar a) uydu görüntülerinin spektral değerleri ile biyokütle miktarları arasındaki deneysel ilişkiler kurmak, b) bitkilerin fotosentez işlemlerinde kullandıkları ışık miktarını tahmin etmek için spektral yansıma değerlerini kullanmak. Birçok araştırmacı, mera vejetasyonunun aktif biyokütlesini belirlemek amacıyla ilk yöntemi kullanmışlar ve tahmin edilen biyokütlenin uydu verilerinden elde edilen vejetasyon indeks değerleri ile yüksek oranda ilişkili olduğunu belirlemişlerdir (Tucker vd. 1983, Kennedy 1989, Thoma 1998).

Uzaktan algılamaya dayalı biyokütle modelleri, vejetasyon indeksi (örneğin normalleştirilmiş farklılık vejetasyon indeksi-NDVI) ile absorbe edilen fotosentetik radyasyon (APAR) arasındaki ilişkiye göre geniş alanlardaki biyolojik üretimin miktarını tespit etmeye çalışır (Maissongrande vd. 1995). Bu yaklaşım, APAR değerinin biyokütleyle dönüşüm faktörünü kullanan ışık kullanım etkinliği kavramını ortaya çıkarmıştır.

Yaprak alan indeksi gibi vejetasyon parametreleri ile uydu verileri arasındaki ilişkiye bağlı olarak mera ekosistemleri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Friedl vd. (1994) bitki yaprak alan indeksi (LAI) ve biyokütle tahminleri için arazi verileri ve uydu görüntülerinden elde edilen verileri doğrusal regresyon modelleri ile karşılaştırmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre: biyokütle ve yaprak alan indeksinin arazi değişkenleri (eğim, bakı vb.) ile yüksek bir ilişkiye sahip olduğunu bildirmiş olmalarına rağmen, uydu-yer biyokütle ölçümleri arasında dikkate değer oranda farklılıklar olduğunu belirtmişlerdir. Bu farklılıkların, biyokütle ölçümlerinin arazide nokta bazlı yapılırken, uydudan yapılan biyokütle tahminlerinin alan bazlı yapılması ile ortaya çıkan mekansal çözünürlük ve ölçek farklılıklarından dolayı kaynaklandığı bildirilmiştir.

Son 20-30 yılda biyokütle (primer prodüktivite) tahmini için çok sayıda model geliştirilmiştir. Geleneksel korelasyon modellerinden, eko fizyolojik modellere kadar farklı biyokütle tahmin yöntemleri birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Melillo vd. 1993, Foley 1994, Warnant vd. 1994). Bu modeller genelde nokta ölçümlü ve alansal interpolasyon tekniğine dayanmaktadır. İnterpolasyon tekniğinin geniş arazilere uygulanmasında, heterojenik arazi yapısı ile örnekleme sıklığı arasındaki ölçek farklılığından dolayı bazı hataların oluştuğu araştırmacılar tarafından bildirilmiştir.

Hirakoba vd. (1997) 'nin yaptığı çalışmalarda; uydu görüntülerinden elde edilen vejetasyon indeks verilerini ve fotosentetik aktif radyasyon değerlerini “Üretim Etkinlik Kavramı” yöntemi içinde kullanarak küresel primer üretim tahmini yapmışlardır. Tahmin sonuçları FAO istatistikleri ile karşılaştırılmıştır.

(<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1997/ts12/ts12008.asp>, 2009)

A.B.D, Colorado eyaletinde yapılan bir çalışmada (Todd vd. 1998), otlatılan ve otlatılmayan meraların toprak üstü biyokütleleri spektral indeks yöntemleri ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu yöntemler içinde Tassel Cap İndeksi, parlaklık indeksi, nem indeksi, normalleştirilmiş farklılık indeksi ve kırmızı dalga boyu indeksi bulunmaktadır. Araziden 1 m² kuadratlarda kesilerek kuru ağırlık olarak tespit edilen toprak üstü biyokütle miktarları, Ordinary Regresyon modeli ile bu indeksler test edilmiştir. Otlatılan mera alanları için, biyokütle değerlerinin bütün indekslerle doğrusal bir ilişki içinde ($R^2=0,36-0,67$) olduğu gözlenmiştir. Otlatılan alanlarda ise önemli bir ilişki tespit edilmemiştir. Kırmızı dalga boyu indeksi, biyokütle değişimlerine en hassas indeks olarak bulunmakla beraber, özellikle vejetatif aksamın sararma döneminde toprağın ve kuru maddenin yüksek arka plan etkisinden dolayı bu hassasiyetin azaldığı belirtilmiştir.

Uzaktan algılama ile meraların verimlerinin tespit edilmesi ve izlenmesi amacıyla yapılan başka bir çalışmada (Jianlong vd. 1998), yerden yapılan gözlemlerle birlikte uydu verilerinden üretilmiş vejetasyon indeks değerlerinin biyokütle tahminlerinde kullanılabileceği vurgulanmıştır. 6 yıllık bir zaman süreci içinde yapılan biyokütle tahminleri, korelasyon analizleri ile test edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre yeşil bitki

verimliliği ile vejetasyon indeks değerleri arasındaki ilişki katsayısı (r^2) 0,67 ve verim tahminlerindeki doğruluk oranı da %75 bulunmuştur. Çalışmadan çıkarılan diğer bir sonuçta biyokütle tahminlerinde doğrusal olmayan modellerin daha güvenilir ve gerçeğe yakın veriler ürettiğidir.

Yaban hayatı parklarında yangın riskinin değerlendirilmesi ve kontrollü yangın bölgelerinin seçilmesi amacıyla parkların biyokütle üretiminin tahmin edilmesi için yapılan bir çalışmada (Sannier vd. 2002) NOAA uydu görüntüleri vejetasyon indeks verileri ve arazide disk metre ile ölçülen vejetasyon değerleri arasındaki ilişkiye bakılmıştır. Elde edilen bulgulara göre bu iki veri arasında oldukça yüksek bir korelasyon bulunmuş ve farklı bitki türleri için farklı regresyon eşitliklerinin ve daha fazla yer verisinin kullanılmasıyla biyokütle tahminlerinin daha doğru olarak yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

Seaquist vd. (2003), Batı Afrika Sahel'lerinde yaptıkları çalışmada, meraların biyokütle miktarlarını belirlemek amacıyla Işık Kullanım Etkinliği modelini kullanmışlardır. Burada kullanılan model kendine özgün bir model olup, diğer yöntemlerde kullanılmayan gerçek transpirasyon değeri, modelde doğrudan yer almıştır. Yardımcı veri olarak uydu verileri, iklim verileri ve saha çalışmalarından elde edilen veriler kullanılmıştır. Çalışmada 20 yıllık dönemde her yıl için toplam biyokütle miktarı tespit edilmiş ve biyokütlenin yıllar içi ve yıllar arasındaki değişimi belirlenmiştir. Araştırma sonucuna göre, yağışın az olduğu kurak bölgelerde yıllık toplam biyokütle değerlerinin oldukça az olduğu, diğer taraftan en yüksek biyokütle değerlerinin de (3500 gr/m^2) yağışın nispeten fazla olduğu Chad gölünün kuzey bölgelerinde tespit edildiğini bildirmişlerdir.

Meraların primer üretimini haritalandırmak, aylık ve yıllık biyokütle üretim miktarlarını tespit etmek ve uzun yıllar değişimlerini belirlemek amacıyla Moğolistan'ın iç bölgelerindeki meralarda yapılan bir başka çalışmada (Brogaard vd. 2004), 1982-1999 yılları arasındaki dönemi kapsayan uydu görüntülerinden elde edilen vejetasyon indeks verileri (NDVI) Lund Üniversitesi Işık Kullanım Etkinliği (LULUE) modeli ile birlikte

kullanılmıştır. Su stres faktörü ve diğer bir çevre faktörü olan sıcaklık değişkeni modele dahil edilmiştir. Çalışma sonucunda, meraların uzun yıllar (18 yıl) biyokütle değişimlerinin izlenmesi ve biyokütle üretim miktarının LULUE Modeli ile tespit edilmesi, diğer modellere göre (CENTURY ve NDVI) daha doğru olarak yapıldığı bildirilmiştir.

Kogan vd.'nin (2004), Moğolistan'da geniş yer kaplayan ve ülke ekonomisinde önemli bir payı olan meraların mevcut ot verimlerini uzaktan algılama yöntemiyle belirlemeye çalıştığı bir araştırmada, uydu görüntülerinden (NOAA) üretilen vejetasyon sağlık indeksi (VH) verilerinin, mera biyokütlelerinin belirli bir doğrulukta ($r^2=0,65$) tespit edilmesinde, mera vejetasyonunun izlenmesinde ve uygun otlatma planlarının hazırlanmasında kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Batı Namibya'da yapılan bir çalışmada (Richters 2005), toprak üstü biyokütlenin hesaplanması ve orta ölçek biyosfer modeli ile biyokütlenin mevsimsel değişiminin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada 2000-2003 yıllarını kapsayan MODIS uydu verisi (NDVI), güneş ışığı miktarı ve biyofiziksel dönüşüm faktörü, birincil üretim (primer produktivite) miktarının hesaplanması için model oluşturulmuştur. Bu model ile üretilen sonuçlara göre, dört yıllık dönem içinde çalışma alanının biyokütle miktarında 10g/m^2 civarında bir azalma tespit edilmiştir. Bu azalmanın temel sebebi olarak da bölgede görülen yağış miktarındaki düzensizlikler ve farklılıklar gösterilmiştir.

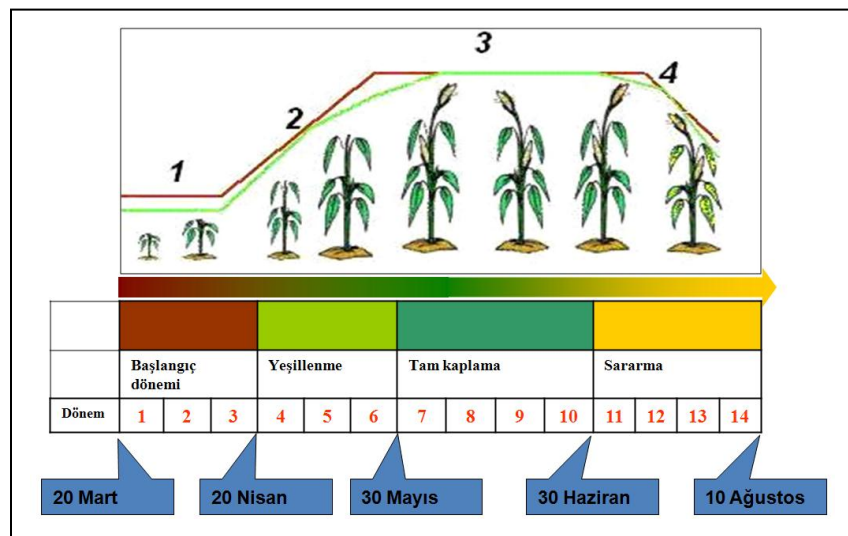
Wessels vd. (2006), Güney Afrika'daki Kruger Ulusal Parkında uzun yıllar (1989-2003) araziden toplanan biyokütle değerleri ve yağış miktarları ile 1 km çözünürlüklü uydu verilerinden üretilmiş vejetasyon indeksi değerleri arasındaki ilişkiyi ayrı ayrı incelemişler ve her vejetatif dönem için uydu verileri üzerinden biyokütle haritaları oluşturmuşlardır. Ortalama biyokütle değerleri, toplam vejetasyon indeksi değerleri ve yağış değerleri arasında kuvvetli ilişkiler bulunmuştur. Toplam vejetasyon indeksi değerleri, sabit lokasyonlar için biyokütledeki mevsimsel değişimleri belirlemede oldukça başarılı olmakla beraber, birden fazla lokasyon için mevcut ilişki ($R^2=0,36$) güvenilir biyokütle haritalarının oluşturulması için yeterli görülmemiştir.

Hu ve arkadaşları (<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1996/ts12/ts12009.asp>, 2009) uydu verileri ve karbon dinamik modellemesini entegre ederek küresel biyokütle haritaları üretmişlerdir. Çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci safhada AVHRR-NDVI verileri ışık kullanım etkinliği modeli ile birlikte kullanılarak net primer verimlilik tespit edilmiştir. İkinci aşamada ise elde edilen biyokütle verisi, karbon dinamik modeli (Phytomass) simüle edilerek bitki süksesyonu süreci içinde biyokütle birikimi ortaya koyulmuştur. Çalışma sonucunda biyokütle tahminleri 14 adet arazi ölçüm sonuçları ile doğrulanmıştır ve korelasyon katsayısı 0,65 olarak teyit edilmiştir. Diğer taraftan bu entegre modelin mekansal olarak değişen aşırı ve eksik biyokütle tahminleri yaptığını bildirmişler ve Phytomass karbon dinamiği yaklaşımının bir takım düzeltmelerle daha doğru biyokütle tahmin çalışmalarında kullanılabileceği vurgulamışlardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Biyokütle tahmini için uygulanan modelde öncelikle modelin ihtiyaç duyduğu temel girdiler (meteorolojik veriler, toprak verileri, uydu görüntüleri vb.) temin edilmiştir. Temel girdiler bir seri işlemten sonra ara girdi (su stres faktörü, absorbe edilen fotosentetik radyasyon-APAR, LUE faktörü) olarak oluşturulmuş ve 10 günlük, aylık ve yıllık toplam biyokütle hesaplamaları yapılmıştır. Biyokütle tahmini, vejetasyonun etkin olduğu dönem için yapılmıştır. Etkin vejetatif dönem, ilk yeşillenmeden başlayarak tam kaplama ve sararma sonuna kadar uzanan dönemi kapsamaktadır. Bu çerçevede gerek arazi çalışmaları süresince çiftçilerle yapılan görüşmeler, gerekse Çankırı Tarım İl Müdürlüğü'ndeki personelle yapılan karşılıklı görüşmeler sonunda elde edilen bilgilere göre bu dönem Mart ortalarından başlayarak Ağustos ayının ilk haftasına kadar uzanan yaklaşık 5,5 aylık bir dönemi kapsamaktadır. Vejetatif dönemin içine aldığı alt dönemler aşağıda verilmiş ve fenoloji takvimi Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Başlangıç dönemi, yeni yaprak oluşumundan, %10 yeşil örtü kaplamaya kadar geçen süredir. **Yeşillenme dönemi** ise %10 yeşil örtü kaplamadan tam kaplamaya kadar geçen süredir. **Tam kaplama**, tam kaplamadan sararma başlangıcına kadar geçen süredir. **Sararma** dönemi ise, sararma başlangıcından tam sararmaya kadar geçen süre.



Şekil 3.1 Fenoloji takvimi

Model içinde değerler 10 günlük olarak değerlendirileceği için vejetatif dönem’de 10 günlük periyotlara bölünmüştür. Her 10 günlük dönem, “dekad” (İngilizceden gelen “decade” teriminden) olarak adlandırılmaktadır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Vejetatif dönemdeki 10 günlükler ve toplam sayıları

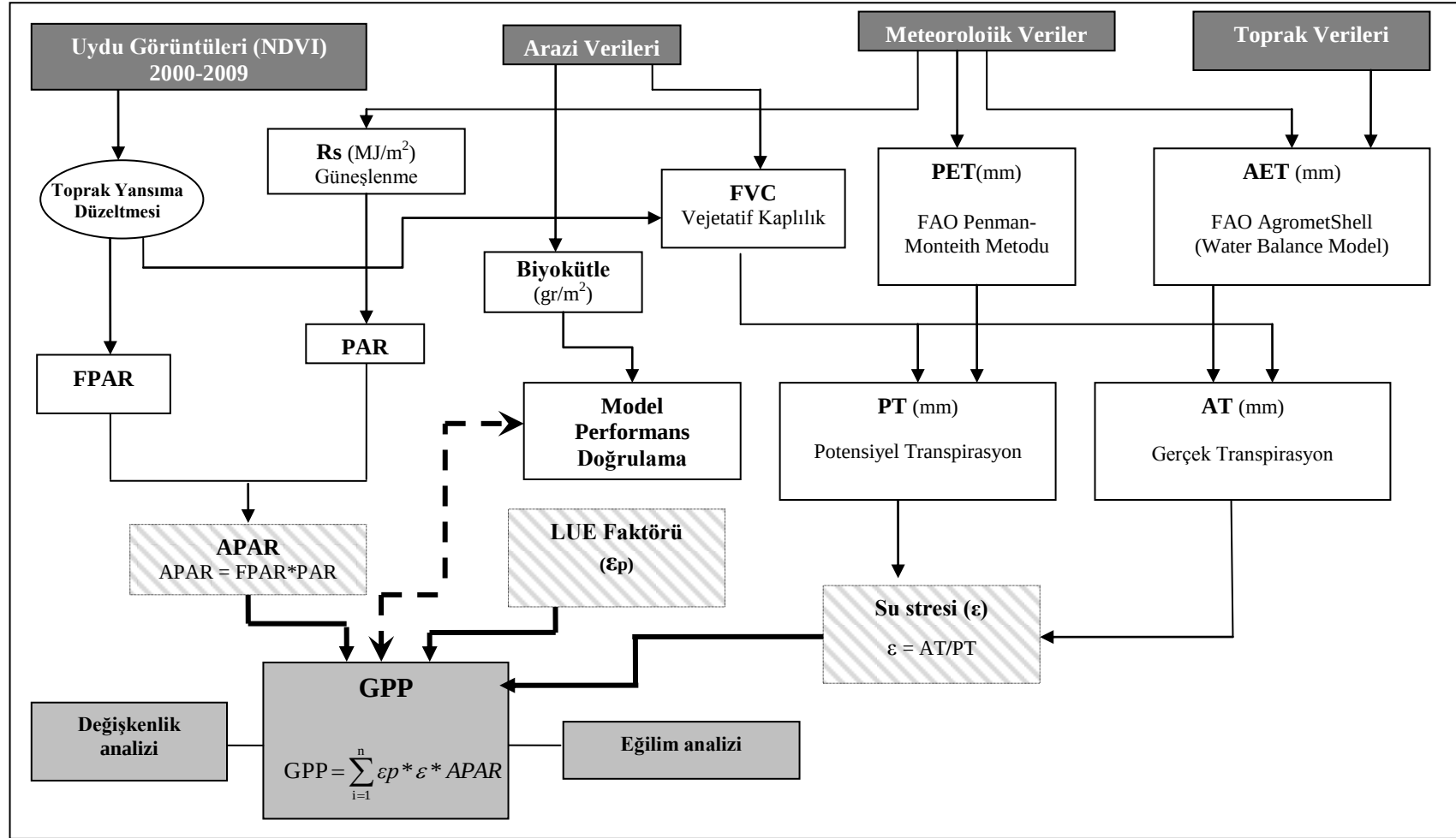
VEJETATİF DÖNEM	AYLAR	Sıra	DEKADLAR
20-31 Mart	MART	1	9
1-10 Nisan	NİSAN	2	10
10-20 Nisan		3	11
20-30 Nisan		4	12
1-10 Mayıs	MAYIS	5	13
10-20 Mayıs		6	14
20-31 Mayıs		7	15
1-10 Haziran	HAZİRAN	8	16
10-20 Haziran		9	17
20-30 Haziran		10	18
1-10 Temmuz	TEMMUZ	11	19
10-20 Temmuz		12	20
20-31 Temmuz		13	21
1-10 Ağustos	AĞUSTOS	14	22

×

10 YIL

(2000-2009) = 140 adet NDVI verisi

Işık kullanım etkinliği modeli ile meralarda biyokütle tahmini için yürütülen bu doktora çalışmasında uygulanan yöntem ve kullanılan veri girdileri Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



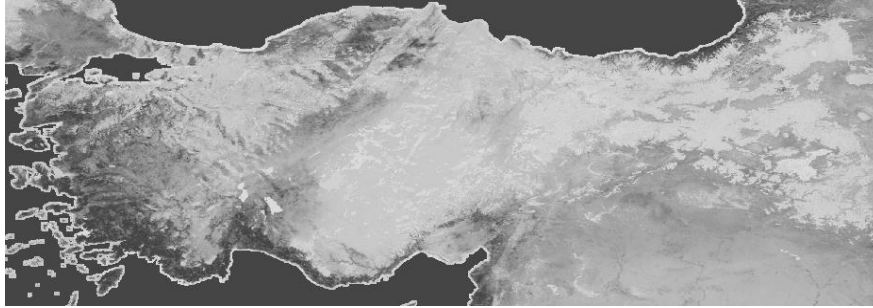
Şekil 3.2 Materyal ve yöntemin şematik gösterimi

Örnekleme yerlerinin belirlenmesi, LUE modelinin oluşturulması, çalıştırılması, sayısal verilerin mekansal sorgulama ve analizi ve sonuçların haritalandırılması amacıyla coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama (UA) yazılımları (Arc GIS ve Erdas Imagine) yazılımları, su stres faktörünün hesaplanmasında AgrometShell programı ve verilerin istatistiksel analizi ve değerlendirilmesi amacıyla da SPSS istatistiksel yazılımı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan materyaller ve yöntemle ilgili açıklamalar aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.1 Materyal

3.1.1 Uydu verileri

Dünya Gıda Örgütünün (FAO), Erken Uyarı Sistemleri programı çerçevesinde vejetatif gelişimin izlenmesi amacıyla yürüttüğü ARTEMIS projesi kapsamında 1km çözünürlüklü SPOT uydu görüntülerinden üretilmiş 10 günlük (dekad) maksimum vejetasyon indeks (NDVI) verileri FAO sunucularından temin edilmiştir (Şekil 3.3). NDVI görüntüleri 1998 yılından başlayan ve tüm dünyayı kapsayan sürekli arşiv verileridir.



Şekil 3.3 20-31 Mart 2000 maksimum kompozit NDVI görüntüsü

NDVI terimi, bitki canlılığını ve yoğunluğunu ifade etmektedir. Normalleştirilmiş farklılık vejetasyon indeksi olarak da anılan NDVI bir çeşit spektral transformasyon işlemi olup, iki elektromanyetik ışık dalga boyunun (Yakın Kızıl Ötesi-NIR ve Kırmızı-R) farklarının, toplamalarına oranıdır ($NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$). NDVI yeşil bitkiyle olan

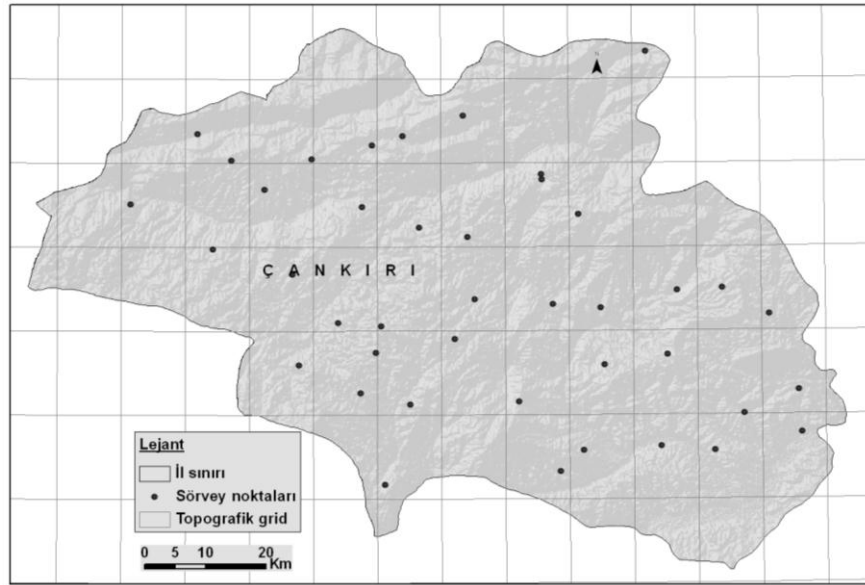
etkileşimi gösterir. NDVI değerleri, (-1) ve (+1) arasında değişim göstermektedir. Negatif değerler bitki yoğunluğunun azaldığı (toprak, su, kar yüzey örtüleri negatif NDVI değerleri içerirler), pozitif değerler ise bitki yoğunluğun arttığı (orman, ekili araziler, yeşil meralar vb) anlamına gelmektedir. Dolayısıyla NDVI görüntüsündeki pozitif değerlere sahip piksellerin (görüntü elemanı) bulunduğu yerlerin bitki yoğunluğu, negatif olan yerlere göre daha fazla kabul edilmektedir. Bu çalışmada NDVI verisi, oransal fotosentetik aktif radyasyon değerinin (FPAR) hesaplanmasında kullanılmıştır.

Biyokütledeki değişkenlik ve eğilim analizi için 10 yıllık zaman serisi (2000-2009) dönemine ait uydu verilerine gerek duyulmuştur. Çalışma alanının fenolojik gözlemlerine bağlı olarak her yıl için 20 Mart -10 Ağustos aralığını kapsayan 14 adet on günlük olmak üzere toplamda 10 yıl için 140 adet NDVI görüntüsü, FAO sunucuları üzerinden temin edilmiştir. FAO veri tabanındaki NDVI verileri gerçekte 10 günlük maksimum kompozit NDVI verileridir. Bu veriler, ilgili 10 günlük dönemde en yüksek NDVI değerlerini içeren piksel değerleri alınarak oluşturulan verilerdir. Maksimum kompozit NDVI, sık kullanılan bir yöntem olup görüntülerde atmosferik ve çekim açılarından dolayı oluşacak hataları en aza indirir (Holben 1986, Bannari vd. 1995, Nemani vd. 2003, Geerken ve Ilaiwi 2004).

Özellikle yarı-kurak bölgelerde ve kısa boylu bitkilerin hakim olduğu mera alanlarında, toprağın baskın arka plan etkisinden dolayı, bu değişkenin NDVI değerleri üzerinde oluşturduğu ilave yansıma değerlerinin normalize edilmesi gereklidir (Tucker 1979, Schowengerdt 1983, Elvidge ve Chen 1995, Blackburn ve Steele 1999, Gao vd. 2000, Boegh vd. 2002). FAO'dan temin edilen maksimum kompozit NDVI verisinde böyle bir düzeltme yapılmadığı için, NDVI değerlerinde toprağın ilave yansıma etkisi bulunduğu farz edilmektedir. Bu çalışmada toprağın baskın etkisini ortadan kaldırmak için NDVI verisine, toprak yansıma düzeltmesi uygulanmıştır. Toprak yansıma düzeltmesinin yöntemi ile ilgili açıklamalar EK 1'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.1.2 Saha çalışması verileri

Saha çalışması verileri, Çankırı il sınırları içinde yer alan 41 örneklem noktasında 2008 ve 2009 yıllarında yürütülmüştür. Örneklem noktaları, il sınırının tamamını kapsayan 1/25000 ölçekli topografik haritaların her bir gridi içine düşen ve bölgeyi temsil eden meralardan seçilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Arazi çalışması örnekleme alanları

Saha çalışması verileri 3 grup altında toplanmıştır;

- Birinci grupta, meralardan alınan toprak örneklerinin fiziksel analizi (su tutma kapasitesi, tekstürel yapısı, organik madde miktarı gibi) ve kimyasal analizi (saturasyon, pH, Toplam tuz, kireç ve organik madde miktarı) ile elde edilen bilgiler yer almaktadır. Toprak örneklerinin alımı sadece 2008 yılı için gerçekleştirilmiştir. Toprak örneklerinin analizi Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Toprak Gübre Ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nce yürütülmüştür. Toprak fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Ek 4'de verilmiştir.

- İkinci grupta, toprak örneklerinin alındığı noktalarda toprak üstü vejetatif aksamın biyokütle miktarı yer almaktadır. Bu amaçla, 1 m² alandaki (kuadrat) toprak üstü vejetatif aksam, makasla biçildikten sonra 75 °C’de 2 gün boyunca fırında kurutulması (Todd vd. 1998) yoluyla bütün örneklem noktalarının kuru madde ağırlığı belirlenmiştir (Şekil 3.5). Kuadrattan sadece biyokütle miktarı değil aynı zamanda, kuadratin içindeki vejetatif kaplılık, kuru materyal, taş, toprak vs. yüzdesi ve baskın olan bitki türü de kaydedilmiştir. Bu çalışmada kaydedilen veriler Ek 5’de verilmiştir. Model performansının değerlendirilmesi amacıyla, modelden hesaplanan biyokütle miktarı ile arazi çalışmaları sonucunda elde edilen kuru madde miktarı karşılaştırılmıştır. Bununla ilgili değerlendirmeler Bulgular ve Tartışma bölümünde verilmiştir.

- Üçüncü grup arazi verileri ise örneklem noktasının botanik kompozisyonunun belirlenmesi amacıyla “Tekerlek-Nokta Yöntemi” (Wheel-point) ile (Tidmarsh ve Havenga 1955, Roux 1963, Du Toit 1997a, Du Toit 1997b) elde edilen verilerden oluşmaktadır. Bu veriler, 100 metrelik bir hat üzerinde yer alan bitkilerin frekansı (sayısı) ve türünü içermektedir. Bu veriler biyokütle miktarı ile bitki kompozisyonu arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi amacıyla daha sonra başka bir çalışmada kullanılabilecektir.

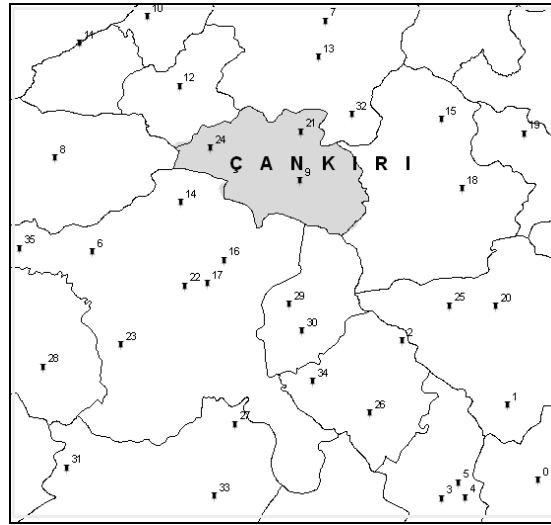


Şekil 3.5 Arazi çalışmaları ile toprak üstü biyokütlenin örneklenmesi

3.1.3 Meteorolojik veriler

2000-2009 yıllarını kapsayan meteorolojik veriler, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Bu veriler Türkiye geneline yayılmış ve koordinatları sabit olan toplam 265 meteoroloji istasyonunda yapılan ölçümleri içermektedir. Bu

meteorolojik ölçümler içinde, modelde kullanılacak olan yağış, güneşlenme şiddeti (RS), sıcaklık, nem, rüzgar hızı gibi değerler yer almaktadır. Çankırı ili sınırları dahilinde yeterli sayıda istasyon olmamasından dolayı (3 istasyon) ve gerçekleştirilecek enterpolasyon işlemini il geneline yaydırmak amacıyla çevre illerde yer alan diğer istasyonlar dikkate alınmış ve toplam 36 meteoroloji istasyonundan elde edilen değerler modelde kullanılmıştır (Şekil 3.6). LUE Modelinde girdi olarak kullanılan fotosentetik aktif radyasyon (PAR), bu 36 istasyondan elde edilen meteorolojik verilerden elde edilmiştir.



Şekil 3.6 Meteoroloji istasyonlarının dağılımı

Meteorolojik veriler, fotosentetik aktif radyasyonun, potansiyel ve gerçek transpirasyon miktarlarının (PT ve AT) belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. PAR, AT ve PT ara girdileri ise LUE modelinde doğrudan kullanılan APAR ve su stres faktörü değerlerinin bulunması için kullanılmıştır. Potansiyel ve gerçek transpirasyon değerleri vejetatif periyod (Mart-Ağustos) içinde 10'ar günlük toplam değerler şeklinde potansiyel ve gerçek evapotranspirasyon (PET ve AET) değerlerinden hesaplanmıştır. PET ve AET hesaplaması için FAO Penman-Monteith Yöntemi (FAO, 1998) ve FAO AgrometShell su bütçesi modeli kullanılmıştır. PT ve AT hesaplamaları Bölüm 3.2'de açıklanmıştır. AET ve PET hesaplamaları ise sırasıyla EK 2 ve EK 3'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.1.4 Toprak verileri

Mülga Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsünün ürettiği 1/25000 ölçekli sayısal Türkiye toprak veri tabanı ve Mülga Toprak Su Genel Müdürlüğünün Kızılırmak havzasında yaptığı arazi çalışmalarından elde edilen veriler (Anonim, 1974) kullanılmıştır. 1949 yılında revize edilen 1938 Amerika sınıflama sistemine göre yapılan ve haritalama ünitesi olarak büyük toprak grupları ile bunların önemli fazları esas alınan bu haritalar vektörel tabanlı poligonlardan oluşmaktadır ve bahsedildiği gibi her poligon, toprak grupları ve toprak özellikleri kombinasyonları öznitelik bilgisini ihtiva etmektedir. Toprak verileri, gerçek evapotranspirasyon (AET) miktarının hesaplanması amacıyla modelde yer almıştır (AET hesaplamasında toprak verilerinin nasıl kullanıldığı ile ilgili bilgiler EK 2’de verilmiştir).

3.2 Yöntem

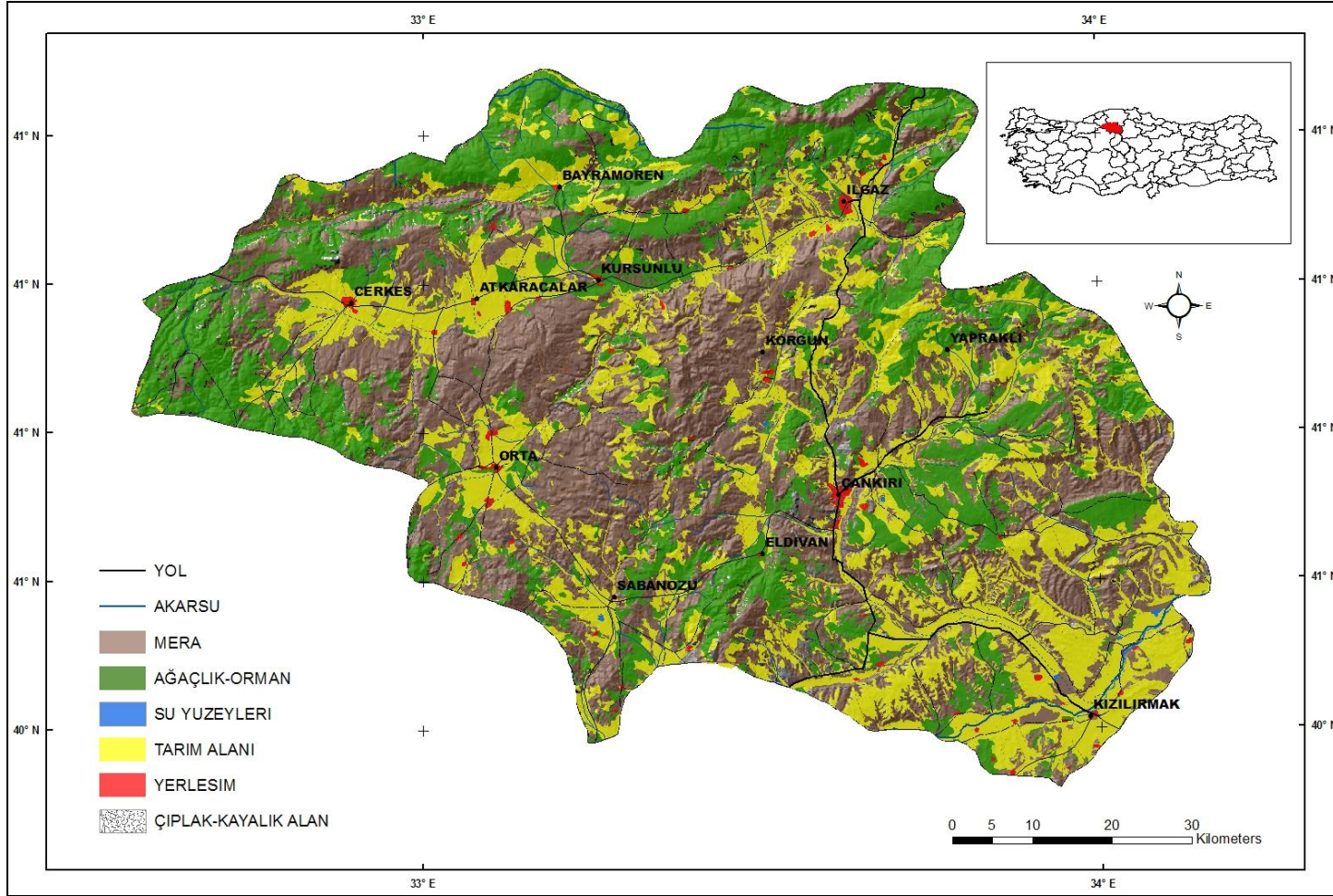
Mera varlığının ortaya konulması, meraların atmosferik karbon çevriminde etkin rollerinin olması ve bu alanların kuraklık izlenmesinde değerlendirici kriterlerden biri olması açısından değerlendirildiğinde meralarda biyokütlenin diğer bir ifade ile birincil üretimin (primer produktivite) tahmin edilmesi önem arz etmektedir. Çalışmada kullanılan yöntem, Seaquist (2003) ve Brogaard (2004) isimli araştırmacıların kullandıkları modelin kısmen değiştirilmiş versiyonunu içermektedir. Bu değişiklik PET ve AET hesaplamalarında ortaya çıkmaktadır. Bu doktora çalışmasında PET hesaplaması için FAO Penman-Monteith metodu kullanılırken, AET hesaplamasında FAO AgrometShell programı (Su Bütçesi Modeli) kullanılmıştır. Temelde yöntemin esası, Işık Kullanım Etkinliği modeline dayanmaktadır (Monteith 1972 ve 1977). Diğer taraftan uydu verileri ve meteorolojik veriler de modelde temel girdi olarak kullanılmıştır.

3.2.1 Çalışma alanı

Orta Anadolu'nun kuzeyinde, Kızılırmak ile Batı Karadeniz ana havzaları arasında yer alan Çankırı, 40° 30' ve 41° kuzey enlemleri ile 32° 30' ve 34° doğu boylamları arasında yer almaktadır. İlin komşuları batıda Bolu, kuzeybatıda Karabük, kuzeyde Kastamonu, doğuda Çorum ve güneyde Ankara ile Kırıkkale'dir (Şekil 3.7).

Çankırı topraklarının yaklaşık % 60'ı dağlar ve yüksek tepelerden oluşmaktadır. İlin ortalama rakımı 723 metredir. İlin kuzey sınırındaki Ilgaz Dağları doğu-batı düzleminde uzanmaktadır ve aynı zamanda ilin en yüksek kesimini teşkil etmektedir. En yüksek noktası 2587 metre olan Büyük Hacet Tepesi (2587 m), bu dağ sırasının üzerinde bulunmaktadır. Çankırı'da Kızılırmak Havzası dışında kayda değer önemli ovalar yoktur. Ne var ki bu havzanın da sularının tuzlu olması sulanabilen tarım arazisinin sınırlı olmasına sebep olmaktadır. Karadeniz iklim kuşağından İç Anadolu Bölgesine özgü kara iklimine geçiş kuşağında yer almasına rağmen Çankırı'da genellikle İç Anadolu'ya özgü iklim hüküm sürmektedir. Hemen hemen her mevsim yağışın görüldüğü ilde ortalama yıllık yağış miktarı 392-538 (kg/m²) arasında değişmektedir.

İldeki bitki örtüsünün üst florasını oluşturan iğne yapraklı ağaçlar, özellikle de karaçam, sarıçam, ardıç, meşe, ladin ve köknar gibi orman ağaçlarıyla ahlat ve kızılçık ağaçlarıdır. Bitki örtüsünün alt florasında ise hububat, yemlik ve yemeklik baklagiller ile ayırkotu, devediken ve yumak gibi bitkiler bulunmaktadır. Ayrıca akarsular boyunca söğüt ve kavak ağaçları ile zengin meyve bahçelerine de rastlanmaktadır. Ağırlıklı olarak çıplak dağlar ve platolarla kaplı olan il toprakları şiddetli erozyon tehdidi altındadır. Bu yüzden tarım yapılamayan araziler otlak olarak kullanılmaktadır. Engebeli ve eğimli arazilerde ise sekileme yöntemiyle şeritsel tarım yapılabilir. Arazinin toprak yapısı (arazi yetenek sınıfı) bakımından IV. ve VI. sınıf topraklardan oluşmaktadır (Anonim, 2008).



Şekil 3.7 Çalışma Alanı

Çankırı ili sınırları içerisinde alüvyal, kolüvyal, kestane renkli, kahverengi orman ve kireçsiz kahverengi orman toprakları olmak üzere toplam altı tür toprak bulunmaktadır. İlin yüzölçümü yaklaşık 750000 ha civarındadır. Bunun 283000 hektarı çayır-mera alanı olup, toplam arazinin % 37,8' ini teşkil etmektedir. Mevcut meraların geneli, bitki örtüsünün ağırlık olarak % 0 – 25'i kaliteli bitkilerden oluşan zayıf ve % 26 – 51'i kaliteli bitkilerden oluşan orta sınıf arasında değişmektedir. Dik meyil, su ve rüzgâr erozyonuna müsait olma, düşük su tutma kapasitesi, sık topraklar, taşlılık, çok düşük rutubet kapasitesi, bazı alanlarda tuzluluk ve alkalilik gibi sınırlayıcı faktörler söz konusudur. Yağış kuşağına göre yararlanılabilir (hayvanların otlayabileceği) yeşil ot miktarı, zayıf meralarda ortalama 6,8 kg/ha ve orta meralarda ortalama 13,5 kg/ha'dır. Otlatma gün sayısı yıl içerisinde 180 gündür. İldeki meraların çoğu kıraç mera niteliğindedir ve ot verimleri düşüktür (Ketenoglu vd. 1983, Akman vd. 1994, Kurt vd. 1999, Erdoğan vd. 2008). Islah projesi uygulanan birkaç mera haricindeki meralarda herhangi bir kontrollü otlatma ve gübreleme yapılmamaktadır.

Bunun dışında ilgili kurumlarca il genelinde yürütülen çayır mera ve yem bitkilerini geliştirme projesi kapsamında, meraların ot verimini arttırmak, yem bitkisi üretimini yaygınlaştırmak ve ihtiyaç duyulan kaliteli kaba yemi temin ederek meraların üzerindeki baskıyı hafifletecek çalışmalar yapılmıştır.

3.2.2 LUE Modeli

Birincil üretim (primer prodüktivite veya biyokütle) atmosferik karbonun bitki bünyesinde organik karbona dönüşümünü ifade etmektedir. Diğer bir deyişle biyokütle, bitkilerin yapraklarında, köklerinde ve gövdesinde karbon depolanmasıdır ve bitki büyümesinin kantitatif (nicel) ölçmesi olarak değerlendirilir. Bitkilerin bu organik madde veya biyolojik üretimi, fotosentez işlemlerinde enerji kaynağı olarak kullanılan güneş ışığının miktarı ile doğrudan orantılıdır (Monteith 1972). Fotosentez sürecinde yeşil bitkilerin en fazla kullandıkları güneş ışığı, elektromanyetik spektrumun 400-700 nanometre dalga boyundaki ışık olup fotosentetik aktif radyasyon (PAR) olarak isimlendirilir (Hall ve Rao 1994). Gerçekte fotosentetik aktif radyasyonun tamamı

soğrulmaz sadece bir bölümü bitkiler tarafından tutularak fotosentez işleminde kullanılır ki bu radyasyon “oransal fotosentetik aktif radyasyon” (FPAR) olarak adlandırılır ve bu değer vejetasyon indeks değeri ile doğrusal olarak orantılıdır (Goward ve Huemmrich 1992, Prince ve Goward 1995). Işık kullanım etkinliği (LUE), belirli bir zaman süreci içinde primer prodüktivitenin (GPP) toplamı şeklinde ifade edilmektedir.

$$GPP = \sum_{i=1}^n \varepsilon_p * \varepsilon * FPAR * PAR \quad (3.1)$$

GPP, Toplam primer prodüktivite (biyokütle) (g/m²)

FPAR, Oransal fotosentetik aktif radyasyon [Megajule (MJ)/ m²]

PAR, Fotosentetik aktif radyasyon (MJ/ m²)

ε , Su stres faktörü (birimsiz)

ε_p , LUE faktörü (gMJ⁻¹)

$\sum_{i=1}^n$ Vejetasyon dönemi (20 Mart – 10 Ağustos)

Not- FPAR ile PAR değerinin çarpımı, bitkilerce absorbe edilen radyasyon (APAR) değerini vermektedir.

Modelin işleyişi ile özet şeklindeki akış diyagramı daha önceden Şekil 3.2’de verilmiştir.

3.2.2.1 Fotosentetik Aktif Radyasyon (PAR)

Karbondiyoksit asimilasyonu için gerekli olan enerjiyi sağlayan ışık, yeşil bitkilerin yaşama, büyüme ve gelişmesi için önemli bir faktördür. Işığın çimlenmeden başlayarak bitkinin bütün büyüme ve gelişmesinde, bitki gövdesinde ve yapraklarında klorofilin oluşmasında etkisi büyüktür. Dolayısıyla meraların yeşil ot miktarı üretimi için ışık en önemli iklim faktörlerinden biridir. Işık tayfının 400-700 nanometre dalga boyundaki bölümü olup, bu spektrum aralığı aynı zamanda insanoğlunun görebilme sınırlarıdır. Bitkilerin ışık enerjisini organik maddeye (biyokütle) dönüştürmek için yaptıkları

fotosentez işlemlerinde gereksinim duyduğu ışık enerjisi de bu dalga boyları arasında olduğu için bu ışık aralığına fotosentetik aktif radyasyon (PAR) adı verilir.

PAR haritalarının oluşturulması, su ve enerji çevrimlerinin ve bunların iklim değişikliği ile nasıl etkilendiğinin anlaşılmasında büyük öneme sahiptir. PAR aynı zamanda tarımsal verimliliğin belirlenmesi ve sürdürülmesi, enerji ve su yönetimi gibi alanlarda kullanılmaktadır. PAR değerinin küresel olarak ölçülmesi için herhangi bir uluslararası ağ sistemi yoktur, ölçüm çalışmaları bölgesel çaplı yapılmakta ve PAR ölçümleri uzaktan algılama teknolojisi yardımıyla birçok modelleme çalışmalarında kullanılmaktadır. Yeryüzüne ulaşan PAR miktarı, geliş açısına, bulutluluk durumuna ve atmosferik partiküllerin (su buharı, aerosol vb.) özelliklerine göre değişmekle birlikte, zamansal ve mekansal özelliklere göre de değişmektedir.

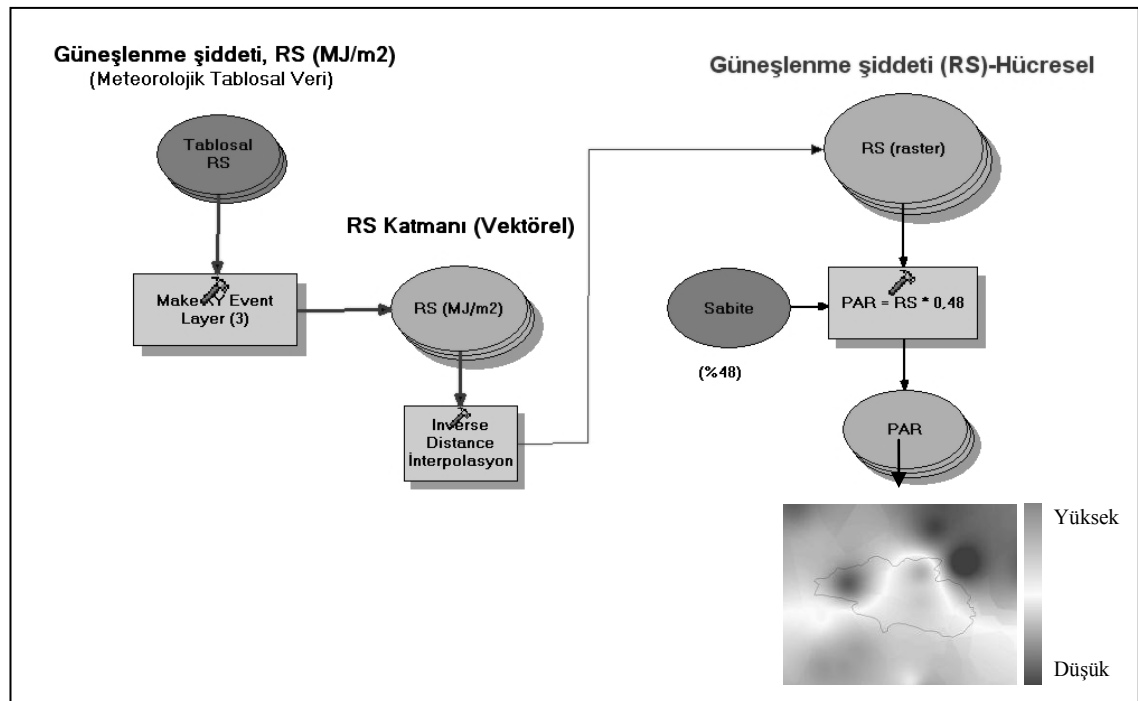
Bu çalışmada PAR değeri, meteoroloji istasyonlarında ölçülen günlük güneşlenme şiddeti (MJ/m^2) değerinden hesaplanmıştır. PAR ile toplam güneşlenme şiddeti arasındaki oran günlük ölçek açısından bakıldığında göreceli olarak sabit kalmaktadır. Bu sebeple PAR değerini hesaplamada en çok kullanılan yöntem toplam günlük güneşlenme miktarından oranlama yoluyla elde edilmesidir (Tarpley 1979, Gautier vd. 1980, Möser ve Raschke 1984, Cano vd. 1986, Beyer vd. 1996). Bu oran birçok çalışmada bildirildiği gibi 0,48 olarak verilmektedir (Begue vd. 1991, Frouin ve Pinker 1995). PAR değeri, güneş görme açısı, bulutluluk, atmosferik içerik (su buharı ve askıdaki maddeler) değerlerinin fonksiyonu olarak değişkenlik gösterse de 1 gün veya daha fazla zaman ölçeği içinde toplam güneşlenme şiddetinin yaklaşık % 45-50 arasında olduğu bildirilmektedir (Frouin ve Pinker 1995). Le Roux vd. (1997), PAR değerinin toplam güneşlenme şiddetine oranını yaklaşık 0,467 olarak hesaplamıştır.

Bu çalışmada yukarıda verilen bilgiler ışığında PAR değeri, toplam güneşlenme şiddetinin (RS) %48'i olarak alınmıştır.

$$\text{PAR} = 0,48 * \text{Rs} \quad (3.2)$$

Güneşlenme şiddeti (Rs)

Çalışma alanı içindeki 36 meteoroloji istasyonunun günlük güneşlenme şiddeti değerlerinden (MJ/m^2) vejetasyon dönemini kapsayan 10 günlük (14 adet) ortalama değerler olarak hesaplanmıştır. Hesaplamada AgrometShell'den Excel dosyası olarak indirilen 10 günlük veriler daha sonra ArcGIS'te "Inverse Distance" interpolasyon tekniği ile raster (hücresel) görüntüye dönüştürülmüştür (Şekil 3.8). Güneşlenme şiddeti değerleri fotosentetik aktif radyasyon (PAR) miktarının bulunması amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 3.8 On günlük ortalama RS değerlerinden PAR hesaplaması (grafik gösterim)

3.2.2.2 Oransal fotosentetik aktif radyasyon (FPAR)

FPAR değeri, bitki tarafından soğrulan ışığın yüzdesi olarak tarif edilir. Soğrulan ışığın içerisinde zeminden geri yansıyan ışık ile dal, gövde vb. gibi fotosentetik olmayan vejetatif elemanlar tarafından soğrulan ışık miktarı da bulunmaktadır.

FPAR değerinin bulunmasında genelde empirik (deneysel) ve fiziksel yöntem kullanılmaktadır. Fiziksel yöntemler yaprak, kanopi ve biyofiziksel karakteristikler ile geri yansıma ve yayılan radyasyon arasındaki ilişkinin modellenmesini temel alırken (Li vd. 1985, Hall vd. 1990, Goward vd. 1992, Gobron vd. 1997, Running vd. 1999, Los vd. 2005), empirik yöntemler ise büyük çoğunlukla spektral vejetasyon indekslerini kullanmaktadır (Tucker 1979, Asrar vd. 1984, Sellers vd. 1994, Huete 2002, Seaquist 2003). Vejetatif örtünün spektral özellikleri, piksel karmaşıklığı (heterojenitesi), zemin yansıması, güneş gelme açısı, atmosferik yansıma ve yayılım özellikleri vejetasyon indeksi ile FPAR değerin empirik olarak tahminini etkilemektedir (Li ve Strahler, 1985, Myeni ve Williams 1994). Bu yan etkilerden bazıları gelişmiş indeksleme teknikleri kullanılarak giderilebilmektedir, örneğin toprak etkisini azaltan vejetasyon indeksi (SAVI), veya gelişmiş vejetasyon indeksi (EVI) (Huete 1988, 2002). Bu endeksler vejetatif algıyı arttırarak veya toprağın baskıcı özelliğini azaltarak bitkilerin spektral özelliklerini belirgin hale getirir ve görüntülerdeki atmosferik etkiyi azaltır. Daha önce Bölüm 3.1.1’de de belirtildiği gibi toprağın bu baskın etkisini ortadan kaldırmak için uygulanan NDVI Toprak Yansıması Düzeltme işlemi EK 1’de açıklanmıştır.

1980 yılların başından itibaren yapılan birçok araştırma sonuçlarına göre FPAR değeri ile kırmızı ve yakın kızıl ötesi dalga boylarındaki yaprak yansıması ölçümleri arasında sıkı bir ilişki olduğu belirlenmiş ve bu ilişkinin yaprak tarafından absorbe edilen PAR değerin bir ölçüsü olduğu tespit edilmiştir (Tucker 1979, Daughtry vd. 1983, Asrar vd. 1984, Sellers vd. 1987.) Farklı bitki türleri ve iklim şartlarında spektral vejetasyon indeksleri ile FPAR değeri arasında doğrusal ve doğrusal olmayan ilişki olduğu yine bazı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (Badhwar vd. 1986, Fassnacht ve Gower 1997). Spektral vejetasyon indekslerinden en çok kullanılanı NDVI değeridir ve FPAR değerin NDVI ile doğrusal olarak ilişkili olduğu bilinmektedir (Prince ve Goward 1995, Goetz vd. 1999). Bu ilişki aşağıdaki gibi açıklanabilir;

$$FPAR = a \pm b * NDVI \quad (3.3)$$

Burada;

NDVI, Vejetasyon indeks değeri (Uydu görüntülerinden üretilmiş vejetasyon indeksi) a ve b, Korelasyon katsayılarını ifade etmektedir.

Aşağıda çeşitli araştırmacılarca kullanılan bazı FPAR hesaplamaları verilmiştir:

$$FPAR = 1,67 * (NDVI) - 0,07 \quad (\text{Seaquist 2003}),$$

$$FPAR = 1,25 * (NDVI) - 0,025 \quad (\text{Paruleo 1997}),$$

$$FPAR = 1,24 * (NDVI) - 0,228 \quad (\text{www-cger.nies.go.jp/lugec/Proceedings/32Tsunekawa.pdf})$$

FPAR ve NDVI arasındaki ilişkide, toprak yüzey nemliliğinin etkisinin olduğu bilinmektedir. Artan yıkanma, drenaj ve yangın gibi çevre faktörlerinden dolayı oluşan toprakta farklı renk yapıları ve tekstür FPAR ve NDVI arasındaki ilişkiyi azaltıcı yönde etkileyebilmektedir.

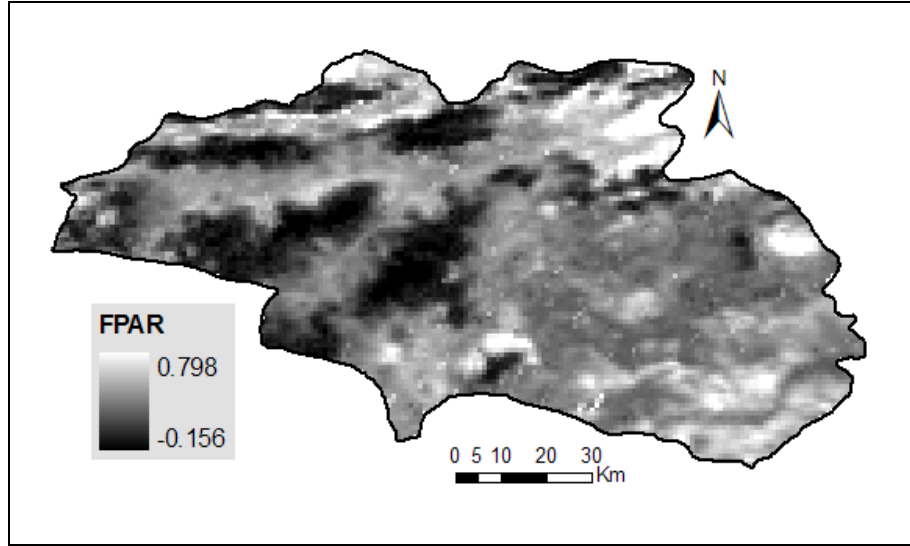
Yeşil aksamın ve ölü aksamın dağılımı, oransal fotosentetik aktif radyasyon değeri üzerinde önemli derecede etkisi vardır. Gelişme dönemi süresince özellikle sararma döneminde ölü materyal tarafından absorbe edilen oransal PAR değerinin yaklaşık %21'e ulaştığı bildirilmiştir (Le Roux 1997). Buradan hareketle kurak karakterli meralarda ölü materyal tarafından absorbe edilen PAR değeri biyokütle hesaplamalarında dikkate alınmıştır. FPAR hesaplamalarında, sararma dönemine gelen aylar için (bu aylar Çankırı için Temmuz ve Ağustos ayları) FPAR değeri 0,20 katsayısı ile çarpılmıştır.

Bu çalışmada Seaquist (2003)'in yapmış olduğu çalışmadaki eşitliklerin benzeri kullanılmıştır. Buradaki tek farklılık, sararma dönemine tekabül eden aylar (Temmuz-Ağustos) için yukarıda bahsedilen sebepten dolayı 0,20 katsayısının eşitliğe çarpan olarak dahil edilmesidir.

$$- FPAR = [1,67 * (NDVI) - 0,07] * 0,20 \quad (\text{Temmuz ve Ağustos dönemleri için}) \quad (3.4)$$

$$- FPAR = 1,67 * (NDVI) - 0,07 \quad (\text{Mart, Nisan, Mayıs, Haziran dönemleri için}) \quad (3.5)$$

FPAR değeri de, PAR hesaplamasındaki gibi yine hücresel 10 günlük veriler şeklinde yukarıda verilen matematiksel işlemler yoluyla hesaplanmıştır. Hesaplanan FPAR değerleri raster veriler şeklinde olduğu için (hesaplama da kullanılan kullanılan girdi, raster NDVI verisidir) interpolasyon tekniği uygulanmamıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 20-31 Mart 2000 FPAR verisi

3.2.2.3 Absorbe edilen fotosentetik aktif radyasyon (APAR)

Işık kullanım etkinliği, bitkilerce absorbe edilen her birim fotosentetik aktif radyasyon ($\text{MJ}^{-2} \text{gün}^{-1}$) için tutulan karbon kütle miktarı olarak da tarif edilmektedir. Absorbe edilen fotosentetik aktif radyasyon, fotosentez işleminde kullanılacak güneş ışığı (FPAR) ile bitki yüzeyine gelen toplam fotosentetik radyasyon (PAR) arasındaki doğrusal ilişkiye bağlıdır ve bu ilişki aşağıdaki şekildedir (Paruelo vd.1997, Olofsson vd. 2007);

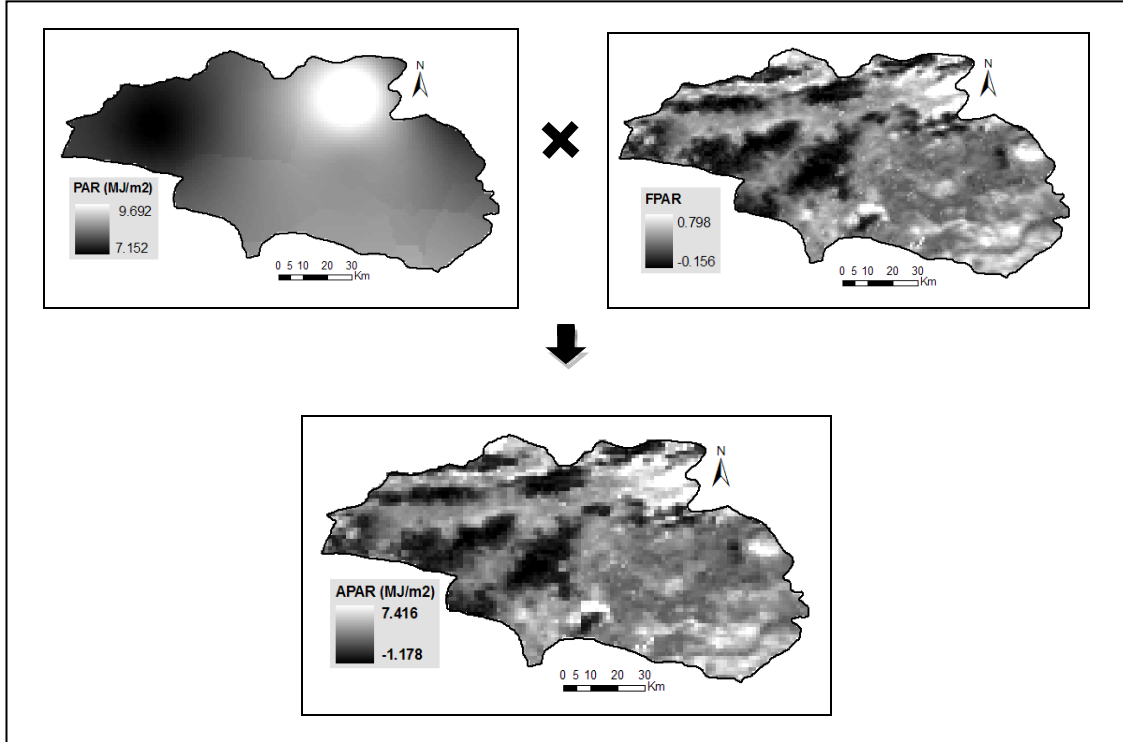
$$\text{APAR} = \text{FPAR} * \text{PAR} \quad (3.6)$$

Burada,

PAR, Fotosentetik aktif radyasyon (MJ/m^2)

FPAR, Oransal fotosentetik aktif radyasyon (birimsiz)

APAR değeri, daha önceden hesaplanan on günlük PAR ve FPAR değerlerinin çarpımı ile bulunmuştur (Şekil 3.10). APAR verileri de, raster yapıda olup çalışma alanının tamamını kaplamaktadır.



Şekil 3.10 APAR - Absorbe edilen fotosentetik aktif radyasyon (20-31 Mart 2000)

3.2.2.4 LUE Faktörü (ϵ_p)

Biyolojik büyüme faktörü veya enerji dönüşüm faktörü olarak da bilinen LUE faktörü, Işık Kullanım Etkinliği modeli ile biyokütle üretiminin belirlenmesi çalışmalarında çevresel şartlardaki değişimlerin etkisinin ortaya konulmasında gerekli bir parametre olarak değerlendirilmektedir (Goetz vd. 1999, Prince 1991a,b, Prince ve Goward 1995, Rasmussen 1998a,b). Bu çevresel etkiler içinde; bitki büyümesini sınırlandıran sıcaklık, ışık, nem, bitki besin maddesi eksikliği, hastalıklar ve respirasyon maliyetleri yer almaktadır.

LUE faktörü, PAR değerinin kuru maddeye (gr/MJ m^2) dönüşümünün biyolojik etkinlik katsayısı olarak ifade edilir (Brogaard vd. 2004). LUE faktörünü etkileyen birçok durum vardır ve bunların geniş alanlardaki etkisinin belirlenmesi oldukça zordur, zira yüksek zamansal ve mekansal değişkenlikler ve değişen meteorolojik şartlar buna sebep olmaktadır.

LUE Modeli ile biyokütle hesaplamalarındaki doğruluk yüzdesi ve gerçekliğe yakınlık bu değer doğru tespitine çok sıkı bir şekilde bağlıdır. LUE faktörü değeri üzerinde birçok tartışma süregelmıştır, çünkü bu değer birçok farklı yöntem ile tespit edilmekte ve yöntemler arasındaki tutarsızlıklar bulunmaktadır. Teorik olarak LUE faktörü değeri $1,1$ ile $8,4 \text{ gMJ}^{-1}$ arasında değişmekle birlikte, pilot çalışmalar bu faktörün $0,42$ ile $3,8 \text{ gMJ}^{-1}$ arasında değiştiğini göstermektedir (Goetz ve Prince 1999). Araştırmacılar LUE faktörünün bitki türüne göre değişip değişmediği ile ilgili birçok varsayımlarda bulunmuşlardır. Bazıları LUE değerinin bitki grupları içinde oldukça sabit olduğunu (Ruimy vd. 1994), bazıları bu değer farklı ekosistemlerde ve türlerde değişkenlik gösterdiğini bildirilmiştir (Green 1987, Heiman ve Keeling 1989, Leblon vd. 1991, Hannan vd. 1995, LeRoux vd. 1997, Gower 1999, O'Connell vd. 2003), diğer bir kısmı da, su miktarı, sıcaklık ve su buharı basıncının eksikliği gibi çevresel faktörlerin LUE üzerinde etkisi olduğunu bildirmişlerdir (Potter vd. 1993). Diğer taraftan LUE değerleri deneysel olarak farklı bitki türleri için hesaplanmış ve aşağıdaki Çizelge 3.2'de verilmiştir (Gower vd. 1999, Ruimy vd. 1999, Lobell vd. 2002).

Çizelge 3.2 Ortalama ve standart sapma LUE değerleri

Bitki türü	Ölçüm sayısı	Ortalama LUE	Std. Sapma	Kaynak
C3	16	2,87	1,07	Gower vd. (1999)
Buğday	7	2,09	0,78	Gower vd. (1999)
C4	17	3,75	0,84	Gower vd. (1999)
Mısır	7	4,37	0,65	Gower vd. (1999)
Azot tutucular	10	2,14	1,18	Gower vd. (1999)
Genel değerler	12	0,95	0,28	Ruimy vd. (1999)
Buğday	744	0,64	0,20	Lobell vd. (2002)
Mısır	816	1,47	0,27	Lobell vd. (2002)
Baklagiller	50	0,18	0,06	Pan vd. (2009)
Yonca	6	0,28	0,09	Pan vd. (2009)

Paruleo vd. (1997), Orta Amerika meralarında net pirimer prodüktivitenin hesaplanması ile ilgili yaptıkları çalışmada LUE faktörünü 0,24 gr C/MJ olarak kullanmıştır. Verimi düşük olan ve zayıf mera özelliği gösteren yerlerde bu değerin 0,10 gr C/MJ, verimli mera alanlarında ise 0,20 gr C/MJ olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler, Field vd. (1995) çalışmasındaki değerler ile benzeşmektedir. Bu araştırmacılar orta verimli meralar için LUE faktörünü 0,277 gr C/MJ olarak, kurak-çölümsü alanlar için ise 0,160 gr C/MJ olarak belirlemiştir.

LUE faktörünün belirlenmesi ile ilgili ABD’de yapılan yer gözlem ölçümlerinde (Çizelge 3.3), kısa mera bitkileri (short grass) için LUE faktörünün ortalama 0,44 -0,62 arasında değiştiği gözlenmiştir.

Çizelge 3.3 Meralardaki farklı bitkiler için tespit edilen LUE değerleri (Sims vd. 1978a,c)

Bitki türü	Yer	LUE faktörü	Ort. LUE	Kaynak
Kurak türler	New Mexico	0,08 - 0,13 - 0,09	0,10	Sims vd. 1978a-c
Kurak türler	New Mexico	0,07 - 0,07 - 0,08	0,07	Sims vd. 1978a-c
Kısa mera bitkileri	Teksa	0,24 - 0,52 - 0,77	0,51	Sims vd. 1978a-c
Kısa mera bitkileri	Teksa	0,29 - 0,80 - 0,76	0,62	Sims vd. 1978a-c
Kısa mera bitkileri	Colorado	0,45 - 0,54 - 0,54	0,51	Sims vd. 1978a-c
Kısa mera bitkileri	Colorado	0,43 - 0,57 - 0,31	0,44	Sims vd. 1978a-c
Otsu türler (Festuca, stipa sp.)	Washington	0,06 - 0,06	0,06	Sims vd. 1978a-c
Otsu türler (Festuca, stipa sp.)	Washington	0,03 - 0,05	0,04	Sims vd. 1978a-c
Karışık türler	Güney Dakota	0,77 - 1,09 - 0,66	0,84	Sims vd. 1978a-c
Karışık türler	Güney Dakota	0,68 - 1,06 - 0,53	0,79	Sims vd. 1978a-c
Karışık türler	Kuzey Dakota	1,74	1,74	Sims vd. 1978a-c
Karışık türler	Kuzey Dakota	2,00	2,00	Sims vd. 1978a-c
Karışık türler	Kansas	1,02	1,02	Sims vd. 1978a-c
Karışık türler	Kansas	0,93	0,93	Sims vd. 1978a-c
Uzun mera bitkileri	Oklohoma	0,89 - 0,95 - 0,80	0,88	Sims vd. 1978a-c
Uzun mera bitkileri	Oklohoma	0,87 - 1,25 - 1,33	1,15	Sims vd. 1978a-c

Ülkemiz meraları için daha önceden belirlenmiş bir LUE değeri bulunmamaktadır. Bu kapsamda, çalışma alanında yapılan vejetasyon sörveyleri sonuçlarına göre Çankırı meraları genellikle kısa mera bitkilerinden oluşmaktadır. Dolayısıyla bu modelde LUE faktörü olarak Sims ve arkadaşlarının (1978a,c) kısa mera bitkileri için belirledikleri

LUE değerleri içinden seçim yapılmıştır. Burada şu hususa dikkat edilmelidir. LUE faktörünün yıl içi değişim gösterdiği ve bu değişimin toprak suyu yeterliliği ve bitkinin fenolojik safhası ile bağlantılı olduğu bilinmektedir (Le Roux 1997). Yeterli toprak suyu elverişliliği durumunda, erken dönemdeki LUE faktörünün değeri, olgunlaşma dönemindeki değerinden daha yüksektir. Bunun muhtemel sebepleri, erken gelişme döneminde mera bitkilerinin yüksek nitrojen içermesi ve fotosentez işlemini daha fazla gerçekleştirmesidir (Le Roux ve Mordelet 1995). Bu şartlar altında, ankırı meralarının fenolojisine göre 20 Mart-10 Haziran tarih aralığı erken dönem olarak tespit edilmiş ve bu dönem için LUE modelinde 0,62 katsayısının kullanılması, olgunlaşma dönemi için de 10 Haziran-10 Ağustos aralığının uygun olduğu ve bu dönemde de 0,42 katsayısının LUE faktörü olarak kullanılması uygun olacağı ön görölmüş ve hesaplamalar buna göre gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.5 Su stres faktörü (ϵ)

Fotosentez, bitkilerin güneş işığını, havadaki karbondioksiti ve suyu sentezleyerek bitki şekerlerine dönüştürme faaliyetidir. Bu temel girdilerden suyun eksik olması durumunda işık ve karbondioksit kullanılmaz ve fotosentez işlemi durur. Bitki hücreleri vokul adı verilen yapıları içerirler. Vokuller su damlacıklarını depolayarak hücre içi turgor basıncını sağlarlar. Bitkinin suyla doygun olması durumunda turgor basıncı yüksektir. Turgor basıncı, bitkilerde açılıp kapanma özellikleri ile bitkideki terlemeyi ve gaz değişimini kontrol eden stomaların açılıp kapanmasını sağlamaktadır. Bitki su kaybettiğinde vokuller büzüşmeye başlar ve turgor basıncını sağlayamaz duruma gelir, hücreler yumuşar, sararmalar başlar, büyüme yavaşlar ve durur. Dolayısıyla su, fotosentez işlevinde girdi olarak kullanılan en önemli eleman olup bitki büyümesini dolayısıyla biyokütleyi etkileyen bir faktördür (Lieth 1975, Gholz 1982, Stephenson 1990).

LUE modelini temel alan birçok küresel primer prodüktivite tahmin çalışmalarında su stres faktörünün, organik materyal üretimini etkileyen en önemli etkenlerden biri olduğu ve model içine su stres faktörünün dahil edilmesiyle daha iyi sonuçların alınabileceği bildirilmiştir (Potter vd. 1993, Prince ve Goward 1995, Nouvellon vd. 2000). Su stres

faktörü içinde kuraklık, sıcaklık, kirlilik, canlı hayvan, besin maddesi azlığı, hastalıklar vb. gibi unsurlar yer alır (Prince 1991b, Law ve Warring 1994). Stres faktörü zamana bağlı olarak değişim göstermektedir. Uzun vadede stres faktörü, yaprak alanında azalmaya, radyasyon tutulumunda düşmeler ve yeşil aksam miktarında azalmalara sebebiyet vermektedir. Kurak ve yarı kurak bölgelerde, biyolojik üretim en fazla yağış miktarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Dolayısıyla stres faktörü, biyolojik etkinliği belirleyen “Su Stresi” olarak da tanımlanmakta ve LUE modellerinde skalar çevre faktörü (ε) olarak yer kullanılmaktadır. Su stres faktörü, Eşitlik 3.7’de gösterildiği gibi gerçek transpirasyon (AT) ile potansiyel transpirasyon (PT) arasındaki oran olarak bildirilmektedir (Seaquist 2003, Brogaard 2004).

$$\varepsilon = \frac{AT}{PT} \quad (3.7)$$

Burada,

AT, Gerçek transpirasyon (mm)

PT, Potansiyel transpirasyon (mm)

Gerçek ve potansiyel transpirasyon ifadelerini açıklamadan önce, transpirasyon ya da diğer bir ifade ile bitkilerde terleme olayından bahsetmek gerekmektedir.

Transpirasyon (terleme)

Transpirasyon bitkinin yapraklarındaki gözenekleri (stoma) vasıtasıyla su kaybetmesi olayıdır. Transpirasyon işlemi, topraktan minerallerin bitkiye iletimi için, bitkinin buharlaşma yoluyla serinlemesi, şeker ve diğer kimyasal maddelerin taşınımı için gerekli metabolik faaliyettir. Transpirasyon, havanın nemine ve sıcaklığa bağlı olarak değişir. Kurak havalarda, havada su buharı basıncı az olduğundan emme kuvveti yüksektir. Böyle zamanlarda bitkiler daha fazla su kaybederler. Terlemeyle dışarı atılan suyun miktarı bitkinin cinsine ve içinde bulunduğu ortamın şartlarına göre değişir. Transpirasyonu toprak su içeriğine göre gerçek ve potansiyel transpirasyon olarak iki şekilde gruplamak mümkündür.

Gerçek transpirasyon (AT): Gerçek arazi şartlarında ve sınırlı toprak suyu mevcut olduğunda bitkiden terleme yoluyla uzaklaşan su miktarını ifade etmektedir.

Potansiyel transpirasyon (PT): Tamamen bitki ile kaplı ve sınırsız toprak suyunun mevcut olduğu arazide terleme yoluyla kaybolan su miktarını ifade eder.

Toprak su içeriği, bitkinin gerçek veya potansiyel transpirasyon yapıp yapmayacağını belirlemektedir. Arazi şartlarında buharlaşma olayı sadece bitkilerde gerçekleşmez. Toprak yüzeyinden de buharlaşma olmaktadır ki buna evaporasyon denilir. Dolayısıyla bitki ile kaplı tarım alanlarında veya mera arazilerinde bitkilerin buharlaşma yoluyla kaybettikleri suya ek olarak toprak yüzeyinden doğrudan buharlaşma yoluyla kaybolan su miktarı da bulunmaktadır ki bu toplam buharlaşan su miktarına evapotranspirasyon adı verilir. Rosenweig (1968), bitki organik madde üretimi ile evapotranspirasyon arasında sıkı bir ilişki olduğunu bildirmiş ve ortalama yıllık yağış değerinden net primer üretim miktarının hesaplanabileceğini ifade etmiştir. Şu hususu da belirtmekte fayda vardır; bitkiler fotosentez ve transpirasyon faaliyetleri ile biyokütlesini arttırmaktadır.

Geniş ölçekli çalışmalarda arazide doğrudan transpirasyon miktarını ölçmek veya toplam buharlaşma (evapotranspirasyon) içinden bitki veya topraktan buharlaşan suyu ayrı ayrı tespit etmek mümkün değildir. Bu amaçla arazideki bitki örtüsünün toprak kaplama oranı (FVC) bilindiği takdirde, evapotranspirasyon değeri ile bu kaplama oranı üzerinden ortalama transpirasyon değeri hesaplanabilmektedir. Bu hesaplamalarda ihtiyaç duyulan gerçek ve potansiyel evapotranspirasyon değerleri sırası ile FAO Agrometshell Su Bütçesi Modeli (Mukhala ve Hoefsloot 2004) ve FAO Penman-Monteith Yöntemi (Anonymous 1998) ile hesaplanmıştır. Gerçek evapotranspirasyon (AET) ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) değerlerinin hesaplanması ile ilgili ayrıntılı açıklamalar Ek 2 ve Ek 3’de verilmiştir. Diğer taraftan hesaplamada ihtiyaç duyulan bitki ile kaplılık oranı (FVC) ise, NDVI görüntülerinden aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$FVC = \left(\frac{NDVI - NDVI_t}{NDVI_v - NDVI_t} \right)^2 \quad (3.8)$$

Burada;

FVC, Kaplama oranı

NDVI, vejetasyon indeks hücre değeri (birimsiz)

NDVI_t, vejetasyon indeksi her daim toprak hücre değeri (birimsiz)

NDVI_v, vejetasyon indeksi her daim vejetasyon hücre değeri (birimsiz)

Eşitlik (3.8)'de kullanılan NDVI_t ve NDVI_v değerlerinin belirlenmesi için uydu görüntüleri incelenmiş ve vejetatif dönem boyunca her zaman bitki örtüsü (ormanlık alan) ile kaplı ve yine her dönem toprak (çıplak alan) ile kaplı olan bölgeler, uydu görüntüsü üzerinden poligonla çevrelenmiştir. NDVI_t ve NDVI_v değerleri, çevrelenen bu poligonlar içine düşen piksellerin ortalamalarından bulunmuş ve kaplama oranı hesaplanmıştır. Örneğin 2000 yılı 1. on günlük dönem (20-31 Mart) için, NDVI_t değeri 0,014, NDVI_v değeri ise 0,520 dir. Bu değerler her 10 günlük dönemde değişmektedir. Ayrıca arazi çalışması esnasında bahsedilen bu alanlara gidilerek arazi örtüsü durumu da test edilmiştir. Kaplama oranı, her 10 günlük için hesaplanmıştır.

Gerçek transpirasyon (AT) hesaplaması

LUE modelinde gerçek transpirasyon, su stres faktörünün hesaplanmasında kullanılan girdilerden biridir. Gerçek transpirasyon değeri yani bitkiden solunum sürecinde buharlaşan su miktarının hesaplanması için, gerçek evapotranspirasyon değeri kullanılmıştır. Gerçek evapotranspirasyon değeri içinde hem bitki hem de topraktan buharlaşan su miktarı vardır (Şekil 3.11). Gerçek evapotranspirasyon değeri, kaplama oranı (vejetatif kaplılık) ile çarpılarak, sadece bitkiden kaybolan su miktarı (AT) bulunmuştur.

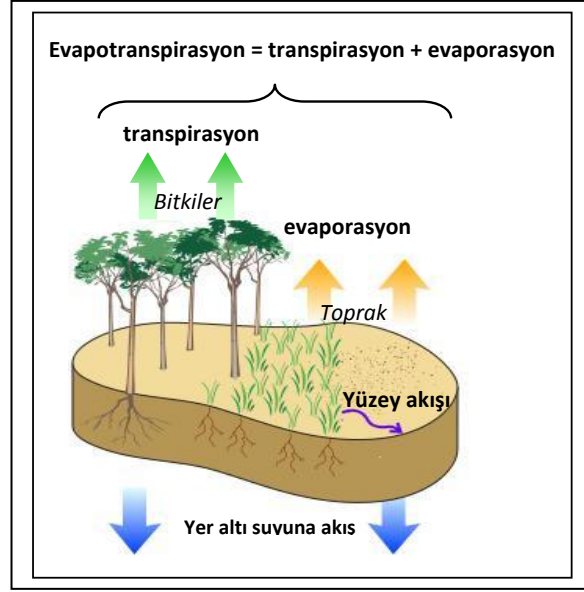
$$AT = AET * FVC \quad (3.9)$$

Burada;

AT, Gerçek transpirasyon (mm)

AET, Gerçek evapotranspirasyon (mm)

FVC, Kaplama oranı



Şekil 3.11 Evapotranspirasyon, transpirasyon ve evaporasyon ilişkisi
(Anonymous 1998)

Modelde, gerçek transpirasyon (AT) değerleri vejetatif dönem süresince (20 Mart-10 Ağustos) her yıl için 10 günlük raster veri olarak hesaplanmıştır.

Potansiyel transpirasyon (PT) hesaplaması

Potansiyel transpirasyon, sınırsız toprak suyunun mevcut olduğu arazide bitkilerin terleme yoluyla buharlaştırdıkları su miktarını ifade eder. FAO Penman-Monteith yöntemiyle bulunan PET değeri (Ek 3'e bakınız) hem bitkinin solunumu ile kaybettiği su hem de topraktan doğrudan buharlaşan su miktarını içermektedir. Potansiyel transpirasyonu hesaplanmak için PET değerini bitki örtüsü oranı (Gerçek transpirasyon hesaplamasında kullanılan orantı) ve bitki faktörü ile muamele edilmesi gereklidir. Bu amaçla aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$PT = K_c * PET * FVC \quad (3.10)$$

Burada;

PT, Potansiyel transpirasyon (mm),

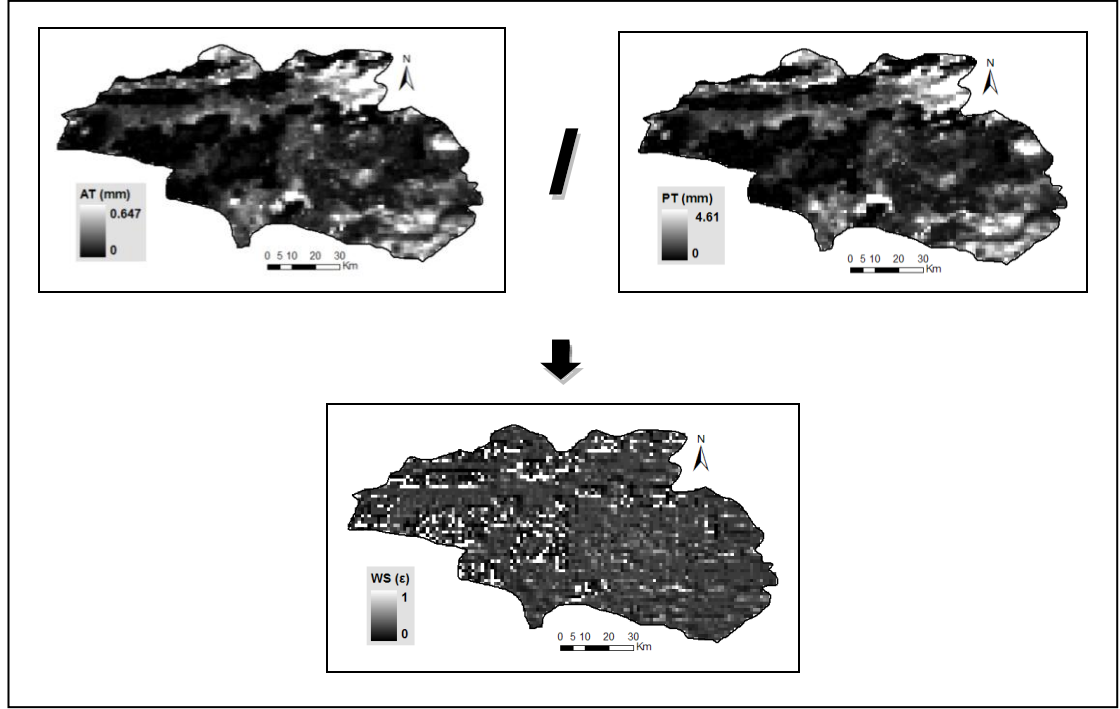
PET, Potansiyel evapotranspirasyon (mm),

K_c, Bitki faktörü (birimsiz),

FVC, Kaplama oranı

Bitki faktörü, potansiyel evapotranspirasyonun gerçek evapotranspirasyona oranı olarak değerlendirilir. Kc, spesifik ürün özellikleri ile değişim gösterebilir, bunlar bitki yüksekliği, albedo, kanopi direnci ve topraktan buharlaşma. Farklı bitkiler, farklı Kc değerlerine sahiptir. Büyüme dönemi süresince bitkinin değişen özellikleri de Kc değerini etkilemektedir. Bitki türü, yaprakların genişliği, bitki aralıklarının dar olması, arazi kaplama oranı, genelde 1'den büyük Kc oranlarına sebep olur (Anonymous 1998). Kurak iklimlerde ve rüzgarlı bölgelerde Kc daha yüksek değerlere ulaşırken, nemli ve rüzgar hızı az olan bölgelerdeki Kc daha düşük çıkmaktadır. Bu çalışmada bitki faktörü için, mera vejetasyonundaki ortalama gelişme dönemi sabitesi olan 0,85 değeri kullanılmıştır (Wight ve Hanks 1981, Seaquist vd. 2003). Modelde, potansiyel transpirasyon (PT) değerleri vejetatif dönem süresince (20 Mart-10 Ağustos) her yıl için 10 günlük raster veri olarak hesaplanmıştır.

Daha önceden açıklandığı gibi su stres katsayısı, gerçek transpirasyon (AT) ile potansiyel transpirasyon (PT) arasındaki orandır. Bu oran, bitki stomalarının iletkenlik kabiliyeti üzerindeki düşük toprak neminin etkisini göstermektedir ve ayrıca bitkinin toprak kaplama oranını etkileyen su stresinin etkisini vurgulamaktadır. Su stres faktörü 0-1 arasında değişen bir değere sahiptir. Modelde, su stres katsayısı her yılın vejetatif dönemi için 10 günlük raster veri olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Su stres faktörünün hesaplanması

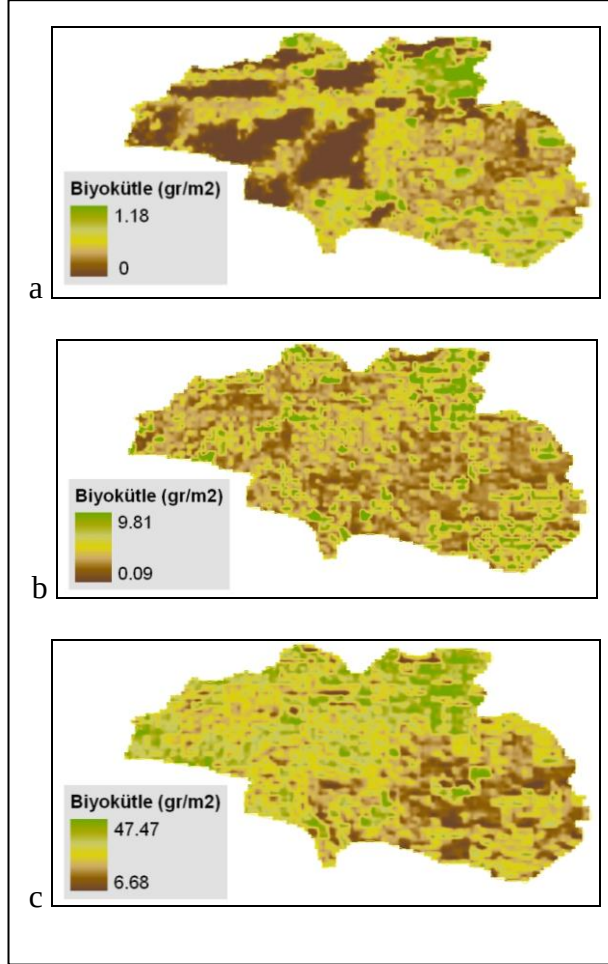
3.2.2.5 Biyokütle (GPP) tahmini

Biyokütle veya primer üretim, bitkilerin belirli bir zaman aralığında birim alanda fotosentez işlemi neticesinde toplam olarak ürettiği organik madde miktarıdır. Uzaktan algılama tabanlı LUE modeli ile biyokütle tahmini, 1972 yılında Monteith'in geliştirdiği bir yöntemdir.

$$GPP = \sum_{i=1}^n \epsilon p * \epsilon * APAR$$

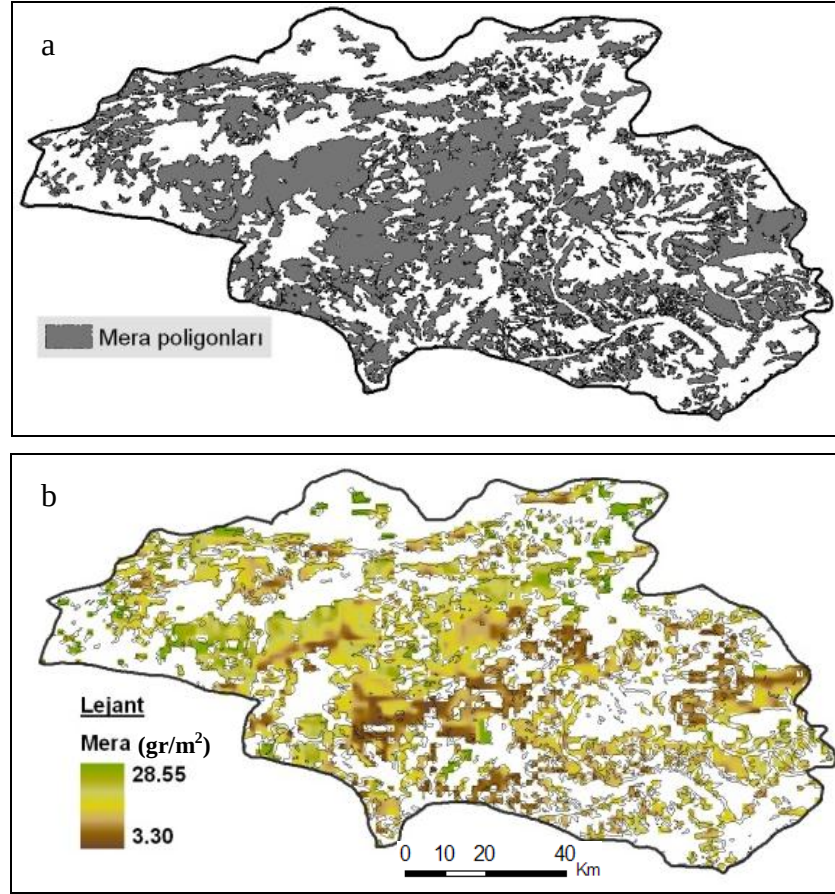
Monteith'e göre bitki organik madde üretimi, bitkilerce absorbe edilen güneş ışığı miktarı (APAR) ile çok sıkı bir ilişkiye sahiptir. Diğer taraftan bitkilerin organik madde üretiminde yağış miktarı da en önemli faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Yağış miktarı, LUE modelinde su stres faktörünü (ϵ) bir katsayı olarak modele yerleştirmektedir. Biyolojik büyüme faktörü olarak da bilinen LUE faktörü (ϵp) ise, PAR değerinin kuru maddeye (gr/MJ/m^2) dönüşüm katsayısıdır.

Bu tez çalışmasında biyokütle miktarları, 10 günlük ortalama, aylık toplam ve yıllık toplam olmak üzere 3 farklı zaman aralıkları için hesaplanmış ve biyokütle haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 On günlük ortalama, aylık toplam ve yıllık toplam biyokütle (a,b,c)

Hesaplanan biyokütle değerleri sadece meraları değil aynı zamanda çalışma alanında yer alan diğer vejetatif ortamları (orman, tarım alanı vb.) da içermektedir. Doktora çalışmasının konusu gereği sadece meralardaki biyokütle miktarlarının belirlenmesi amacıyla; üretilen biyokütle haritalarına daha önceden uydu görüntüleri üzerinden sayısallaştırma yoluyla çizilen mera poligonları ile kesme işlemi uygulanmış ve sadece mera alanlarının yıllık toplam biyokütle verim haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Mera poligonları (a), poligonlardan kesilerek üretilen meralar (b)

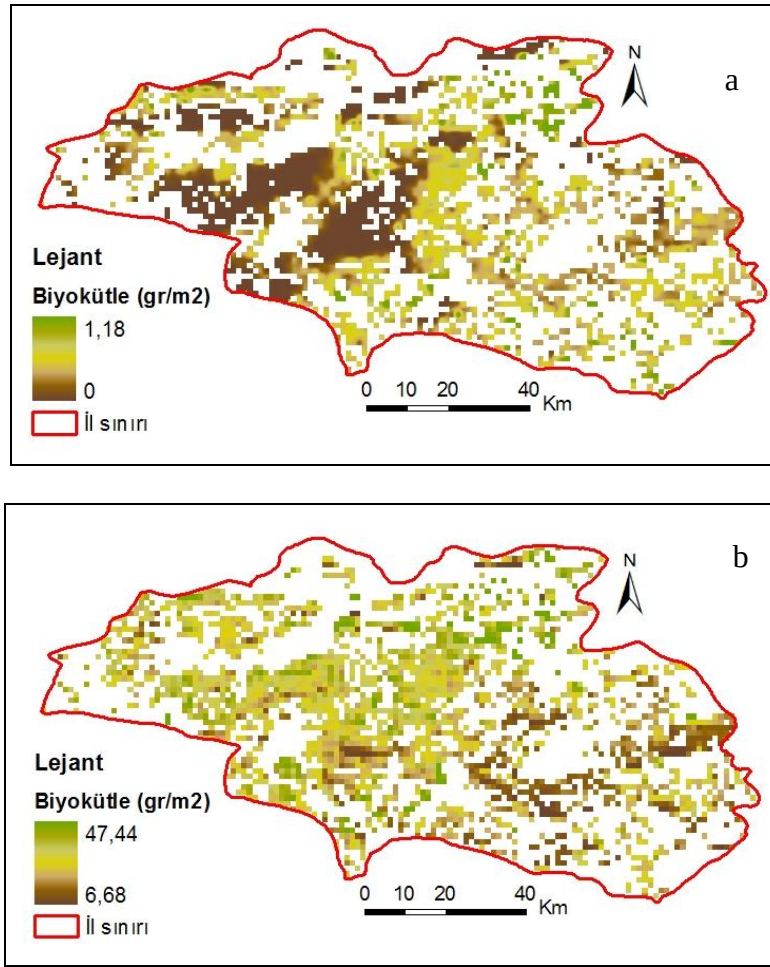
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde, LUE modeli ile hesaplanan aylık ve yıllık biyokütle miktarları toplam olarak verilmiştir. Daha sonra biyokütledeki mevsimsel ve yıllar arası değişimler ve bu değişimlerdeki eğilimin şiddeti ve yönü ile ilgili bulgular verilerek tartışmaya açılmıştır. Son olarak da modelin performansı ile ilgili hususlara değinilmiştir.

4.1 Meraların Biyokütle Miktarları

Işık Kullanım Etkinliği modeli ile il kapsamındaki tüm vejetatif örtü için biyokütle miktarları hesaplanmıştır. Diğer taraftan doktora çalışmasının hedeflerine bağlı kalarak, sadece meralardaki biyokütlenin bulunması amacıyla sayısallaştırma yoluyla hazırlanan mera poligonları içindeki alanların biyokütle miktarları bu bölümde verilmiştir. Biyoküteller aylık ve yıllık toplam olarak hesaplanmıştır. Aylık biyokütle miktarları, 10 günlüklerin toplamı ile hesaplanırken, yıllık biyoküteller aylıkların toplamı ile bulunmuştur. Burada şu hususu hatırlatmada fayda var; yıllık biyokütle miktarları, sadece 20 Mart-10 Ağustos arasındaki yaklaşık 5 aylık vejetatif dönemi kapsamaktadır.

Hesaplanan biyokütle değerleri raster veriler şeklindedir, diğer bir ifade ile biyokütle miktarları mekansal olarak hesaplanmış ve haritalandırılmıştır (Şekil 4.1). İl genelinde uydu verilerinden sayısallaştırılarak ve toprak haritalarından güncellenerek oluşturulan mera poligonlarının toplam alanı Çankırı ilindeki mera alanlarının yüzölçümünü vermektedir. Uydu verilerinden yapılan son güncellemelere göre ildeki mera alanları yaklaşık 301939 ha civarındadır. Mera alanlarının tamamında üretilen yıllık toplam biyokütle miktarını belirlemek amacıyla, biyokütle haritaları üzerinden mera poligonları içine düşen piksellerin değerleri toplanmış ve biyokütle miktarları gr/m^2 cinsinden bulunmuştur. Belirlenen değer meraların yüzölçümü ile çarpıldığında Çankırı ilindeki meralarda toplam biyokütle miktarları (ton) hem aylık hem de yıllık olarak tahmin edilmiştir (Çizelge 4.1).



Şekil 4.1.a. Aylık biyokütle (Mart 2000), b. Yıllık biyokütle (2000)

Çizelge 4.1 Çankırı ili meralarının ürettiği aylık ve yıllık biyokütle miktarları

Aylar	BIYOKÜTLE (Ton)									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Mart	156,00	223,02	96,84	228,85	261,80	300,60	302,94	54,67	113,25	142,88
Nisan	2484,63	2347,50	2044,82	2090,57	2038,69	1840,59	3342,30	2992,47	1839,10	1525,96
Mayıs	15439,60	4204,76	7765,73	7478,81	9873,70	7528,80	7038,16	5720,80	5782,02	6681,00
Haziran	17688,20	4076,22	6492,13	6987,98	7322,56	8027,25	5871,27	3912,14	6227,99	3659,85
Temmuz	1665,91	249,73	572,86	502,18	655,71	789,33	92,39	146,34	375,31	529,04
Ağustos	269,81	62,63	121,23	95,74	151,01	137,91	3,01	22,95	52,39	100,58
Toplam	37704,1	11163,8	17093,6	17384,1	20303,4	18624,4	16650,0	12849,3	14390,0	12639,3

2000-2009 arası 10 yıllık dönem için meralarda üretilen ortalama toplam biyokütle miktarı 17927 ton civarındadır. Bu üretim, mera alanlarını oluşturan 2176 adet pikselin değerlerinin toplamıdır.

Meralarda 10 yıllık ortalama biyokütle değerleri ile ilgili istatistiki veriler aşağıda verilmiştir:

Minimum: 3,308 gr/m²

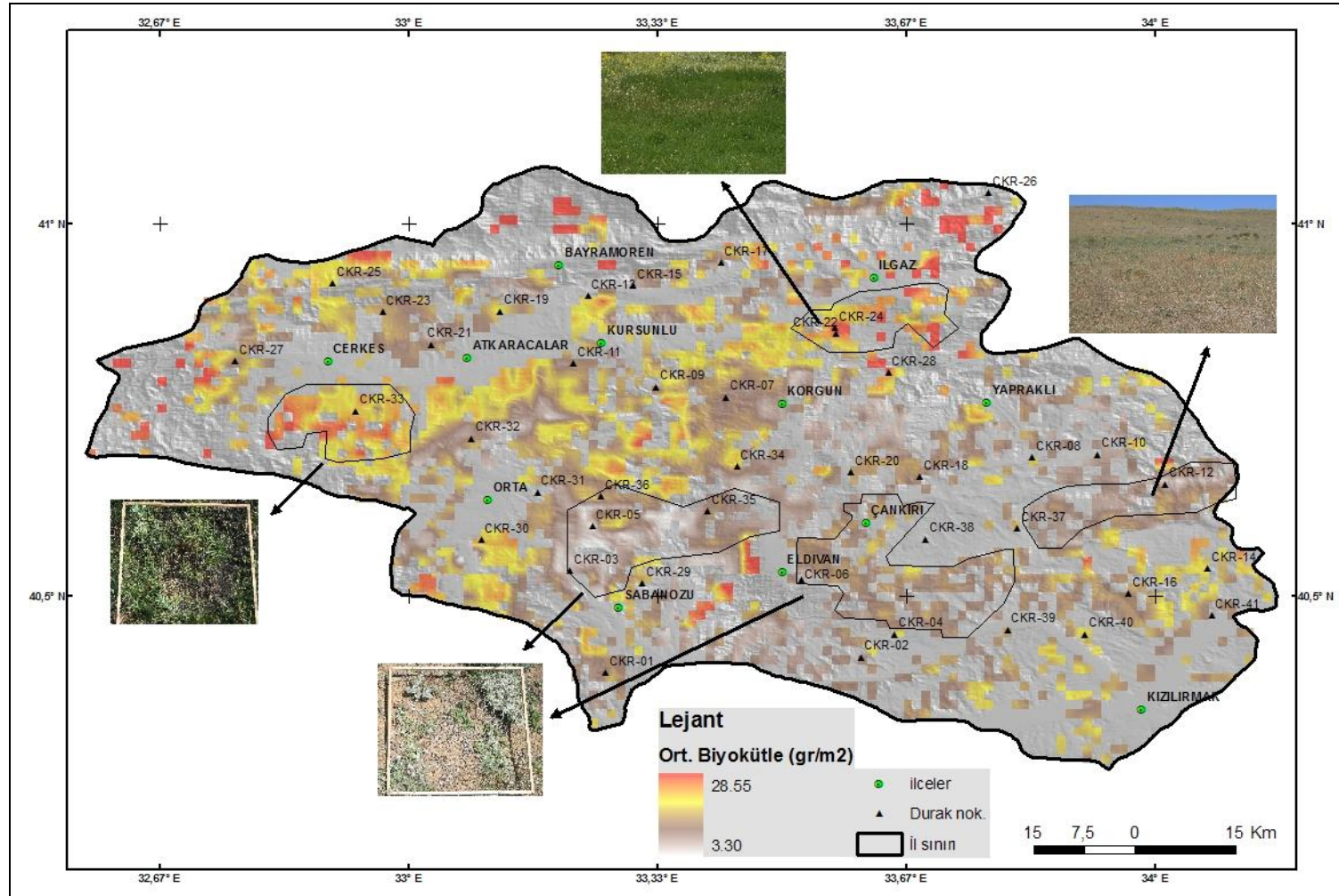
Maksimum: 28,366 gr/m²

Ortalama: 11,375 gr/m²

Standard sapma: 3,727 gr/m²

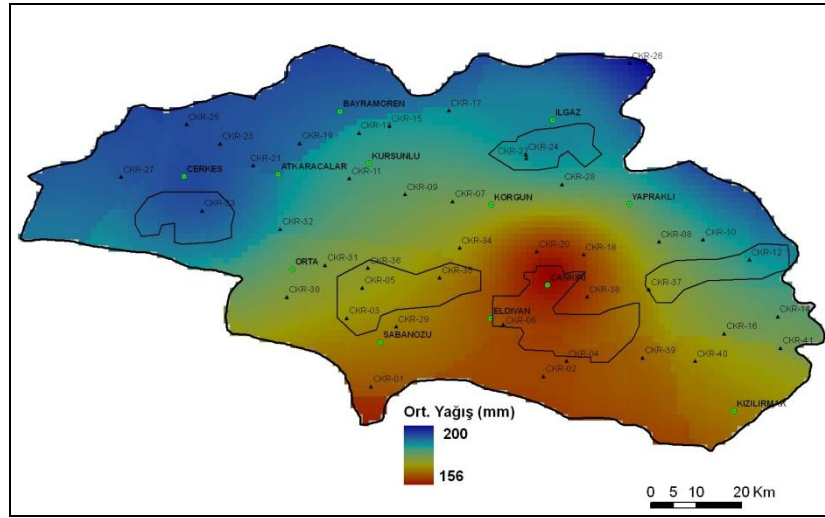
Toplam: 17927 ton

10 yıllık dönemde, verimin en az (3,3 gr/m²) olduğu bölgeler, Merkez ilçenin güneyi, Şabanözü ilçesinin kuzeyi, Orta ilçesinin doğusu ve Korgun ilçesinin güneyinde kalan bölgede ile Yaprak ilçesinin güney-batı tarafında yer alan bölgeler olduğu görülmektedir. Bu alanlarda 6, 3, 5, 35 ve 12 no'lu duraklarda yapılan arazi çalışmalarında, bölgenin genellikle taşlı ve kıraç bir yapısının olduğu, bitkilerin seyrek ve toprak kaplama oranlarının düşük olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.2). Buna mukabil ilin kuzey ve kuzey batı kısımlarında yer alan Çerkeş, Ilgaz ve kısmen de Eldivan ilçelerinin meralarının daha yüksek biyokütle verimlerine sahip oldukları görülmektedir (Şekil 4.2). Bu alanlarda yapılan arazi sürveylerinde (Durak no 27, 33, 22, 24, 28) meralardaki bitki ile kaplılığın daha yüksek olduğu ve arazide toplanan bitki örneklerinin (Ek 5) kuru ot veriminin daha fazla olduğu görülmektedir.



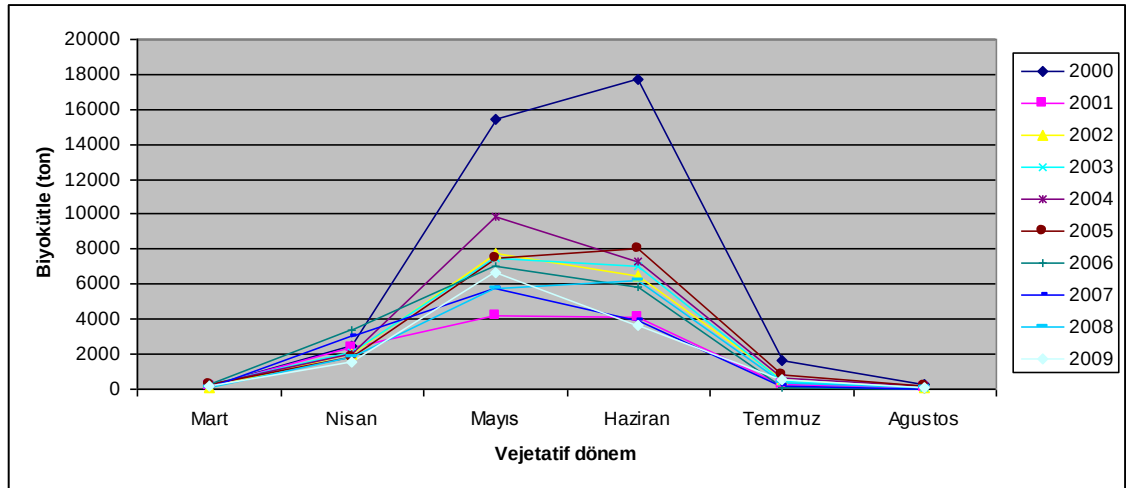
Şekil 4.2 Meraların yıllık (2000-2009) ortalama biyokütle verimleri

On yıllık ortalama biyokütle verimlerinin bu bölgelerde daha az çıkması sebepleri arasında, ilk başta yıllar arasında düşen yağış miktarında azalmalar veya otlatılan hayvan sayısında yükseliş ile otlatma şiddetinin artması olarak düşünülebilir. 10 yıllık ortalama yağış değerleri incelendiğinde; verimin düşük olduğu güneyde ve batıda yer alan iki bölgeye düşen (Bakınız, Şekil 4.2) ortalama yağış miktarlarının, verimin daha yüksek olduğu kuzey bölgelere düşen yağışlardan daha az olduğu görülmektedir (Şekil 4.3).



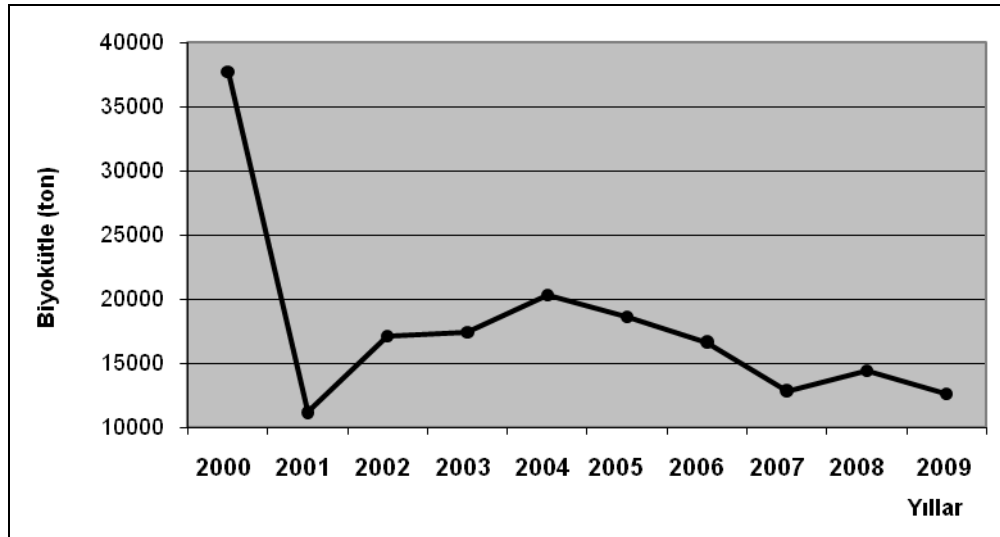
Şekil 4.3 Ortalama yağış, mm (2000-2009)

Çankırı meralarında üretilen biyokütle miktarlarını aylık incelediğimizde (Çizelge 4.1), vejetatif dönem başlangıcında (Mart ayı) biyokütle miktarlarının nispeten az olduğu, daha sonraki dönemlerde yeşillenme ve tam kaplama dönemlerinde (Mayıs-Haziran) ise en yüksek miktara ulaştığı ve sararma döneminde (Temmuz-Ağustos) ise göreceli olarak tekrar azalmaya başladığı gözlenmektedir. Bu durum, bütün yıllar için aynı şekilde seyretmektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Biyokütle miktarlarının yıllar itibarı ile aylık değişimleri (2000-2009)

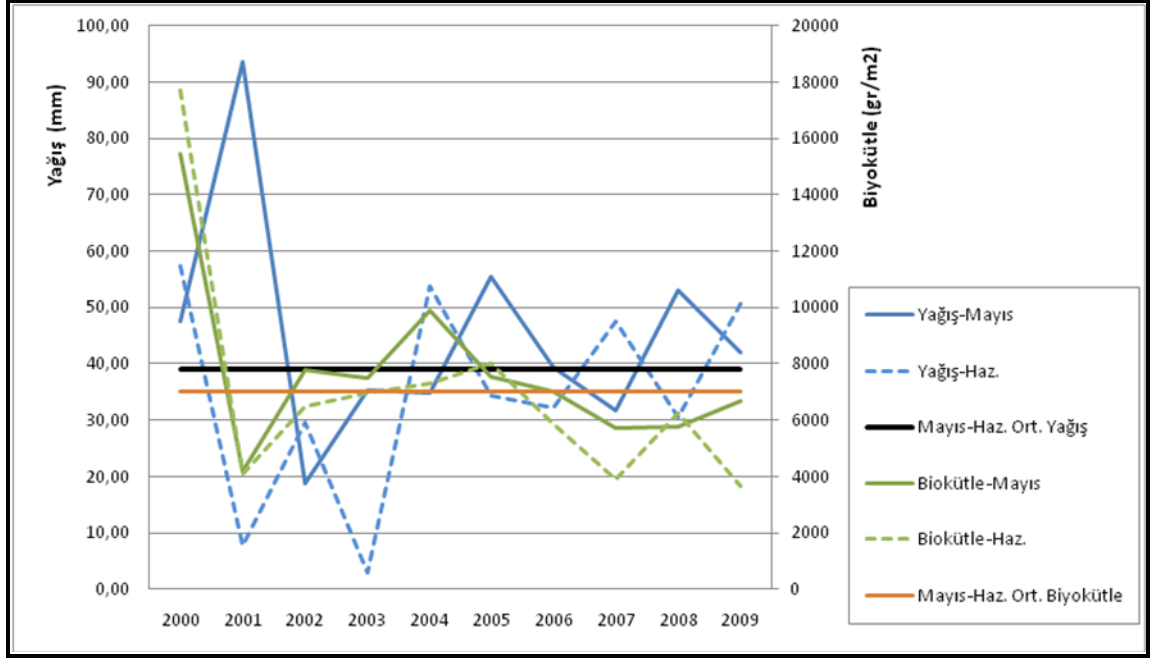
Biyokütle miktarlarını yıllık olarak incelediğimizde ise en fazla üretimin 2000 yılında olduğu görülürken, bir sonraki yılda ise üretimin hemen hemen 1/3 oranında düştüğü gözlenmektedir. Sonraki yıllarda ise biyokütle miktarlarının 12000 ton ile 20000 ton arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Biyokütlenin 2000-2009 arası değişimi

Biyokütle üretimlerini 10 yıla göre değerlendirdiğimizde, Mayıs ve Haziran aylarının etkin olduğu gözlenmektedir (Çizelge 4.1). Dolayısıyla biyokütlenin yıllar içindeki değişiminde Mayıs-Haziran aylarının dikkate alınması gerekmektedir. Bu kapsamda 2000 yılında üretilen toplam biyokütle miktarı 10 yıllık ortalamanın (17880 ton) yaklaşık iki katı civarında olup 35000 tondan fazladır. 2000 yılındaki görülen bu üretim değeri, Mayıs ve Haziran aylarındaki yüksek biyokütle üretiminden kaynaklandığı görülmektedir (Çizelge 4.1). Bu iki ayda üretilen biyokütle miktarı yaklaşık olarak 15000 ve 17000 ton olup, toplam üretimde olduğu gibi 10 yıllık Mayıs ve Haziran ayı ortalamalarının (sırasıyla 7700 ve 7000 ton) iki katı kadardır. Mayıs ve Haziran aylarında biyokütlerdeki ortalama değer üzerindeki bu artışlar, 2000 yılında bölgeye düşen yağış miktarındaki artışlar ile açıklanabilir. Mayıs ve Haziran ayları on yıllık yağış ortalaması sırasıyla 45,2 mm ve 34,9 mm iken, 2000 yılında Mayıs ve Haziran aylarında 47,8 mm ve 57,7 mm yağış düşmüştür. Özellikle Haziran ayında düşen yağış miktarı, on yıllık ortalamadan 22 mm daha fazla olduğu görülmekte ve bu artış haziran ayında 17000 tonluk bir biyokütle üretimini sağlayarak ortalama üretimin iki katına çıkarttığı düşünülebilir (Şekil 4.6).

Diğer taraftan 2001 yılında Mayıs ayındaki 90 mm üzerinde gerçekleşen yağış miktarı, biyokütle üretiminde beklenen artışı sağlamamıştır, aksine Mayıs-Haziran biyokütle ortalamasının altında bir verim getirmiştir. Şekil 4.6 incelendiğinde, biyokütle değişimlerinin, yağış miktarı ile ilişkili olduğunu gösteren ifadeler çıkarılabileceği gibi (örneğin 2000, 2001, 2004, 2005, 2006 yıllarında ortalamanın üzerinde veya ortalamanın altında yağış görüldüğünde, biyokütlenin de ortalama üzerinde veya altında değerler aldığı gözlenmesi), biyokütlenin yağışa bağlı olarak değişim göstermediği de görülmektedir. Bununla birlikte bu olumsuz değişim için biyokütlenin mekansal dağılımındaki diğer faktörlerin (hayvan varlığı, otlatma baskısı, meraların köye uzaklıkları vb.) analiz edilmesi gereklidir. 2000-2009 arasındaki dönemde Çankırı meralarının biyokütle miktarlarındaki mekansal varyasyonlar ve bunların sebepleri, değişkenlik analizi bölümünde ayrıntılı olarak tartışılmıştır.



Şekil 4.6 Mayıs-Haziran arası yağış ve biyokütlenin ortalamalarına göre değişimleri

4.2 Değişkenlik Analizi

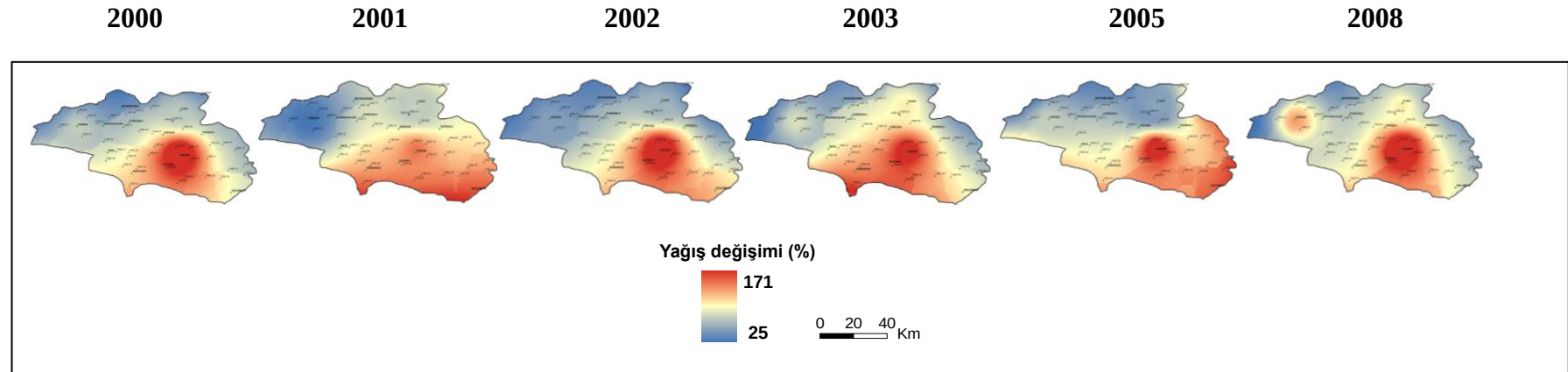
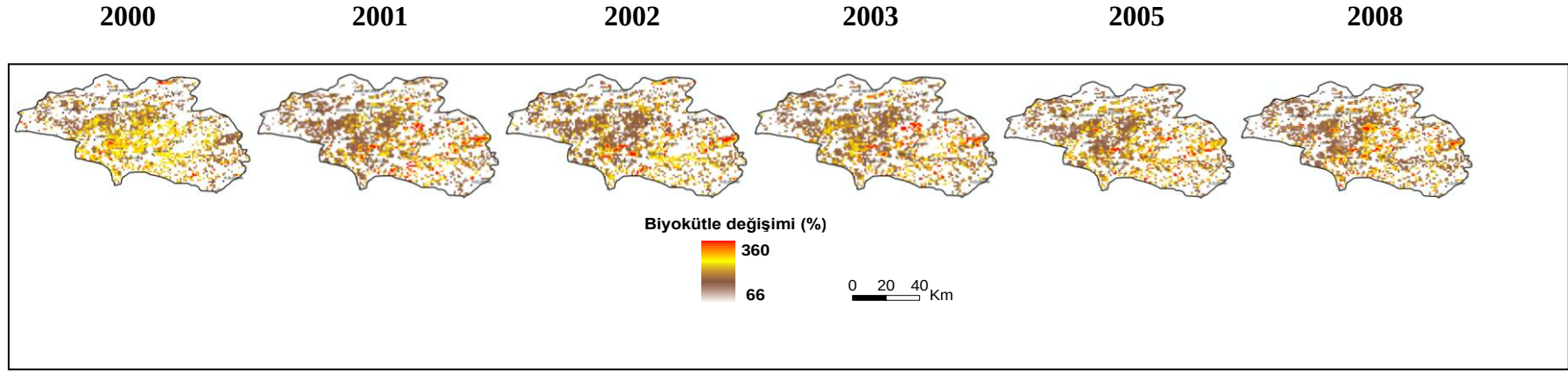
Biyokütlerdeki değişkenlikler, hem yıl içi hem de yıllar arasında görülmektedir. Değişkenliği diğer bir ifade ile varyasyon katsayısını belirlemek amacıyla, ilgili dönem için biyokütle üretiminin öncelikle standart sapması bulunmuş ve bu değer, aynı dönem için hesaplanan ortalama biyokütle değerine bölünmüştür. Yapılan bu hesaplamalar, raster şeklindeki biyokütle verileri üzerinde gerçekleştirildiğinden, varyasyon katsayısı her piksel için elde edilmiştir. Bulunan varyasyon katsayısı bize, ilgili dönem içinde biyokütlerdeki değişkenliğin nerelerde olduğunu göstermektedir.

4.2.1 Mevsimsel (yıl içi) değişkenlik

Biyokütlenin mekansal olarak yıl içi değişkenlik göstermesi, genelde mevsime bağlı ve kısa dönemde bitkilerin fizyolojik ortamını olumlu veya olumsuz yönde etkileyen yağış, güneşlenme vb. gibi faktörlerden kaynaklanabilmektedir. Bu tez çalışmasında mevsimsel değişkenlik her yıl için yüzde (%) olarak hesaplanmıştır. Biyokütlerdeki varyasyon yüzdeleri her yıl için incelenmiştir.

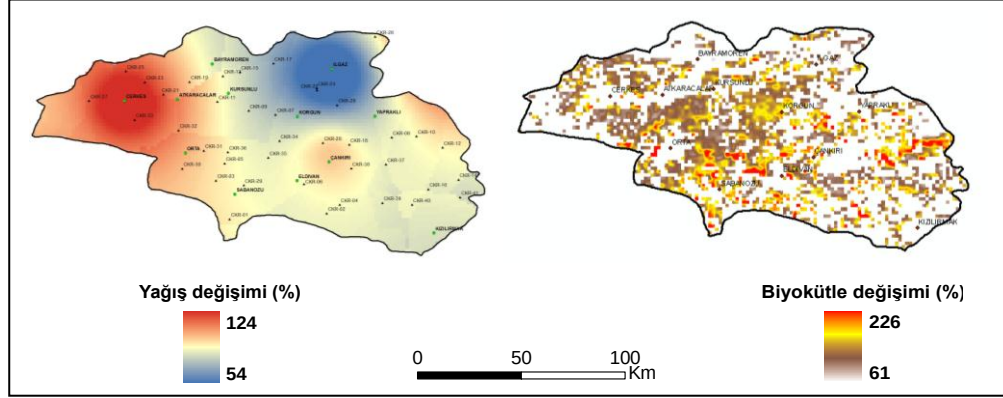
2000, 2001, 2002, 2003, 2005 ve 2008 yılları için Şabanözü, Eldivan, Merkez ve Korgun ilçeleri arasında kalan iç bölge ile kısmen Yapraklı ilçesinin güney batı bölgesinin en fazla değişkenlik gösterdiği gözlenmektedir (Şekil 4.7). Değişkenliğin bu alanlarda fazla olmasının sebepleri yağış miktarı ile ilişkilendirilebilir. Aynı yıllara ait yağış varyasyonlarını incelediğimizde, yukarıda bahsedilen bölgelerde yağış miktarındaki değişimlerin de fazla olduğu gözlenmektedir. Diğer bir ifade ile yıl içinde yağış miktarında meydana gelen azalış ve artışlar, meraların biyokütle verimlerinde de değişkenliğin fazla olmasına sebep olmuştur (Şekil 4.7).

2004 yılı için yukarı paragrafta bahsedilen yağış/biyokütle değişkenliği arasındaki benzer ilişki tam olarak bulunamamıştır. 2004 yılında Çerkeş ilçesinin güney bölgelerinde yağış değişkenliği yüksek olmasına rağmen, biyokütle değerlerinde benzer yüksek değişkenlik meydana getirmemiştir.



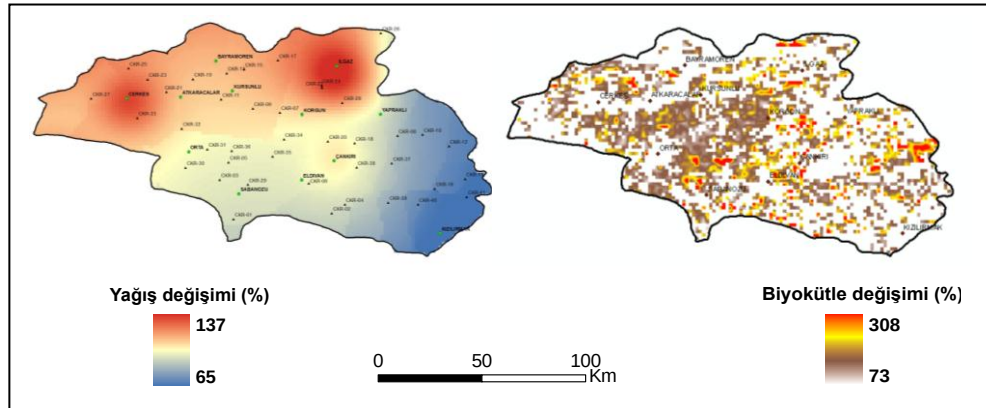
Şekil 4.7 Mevsimsel biyokütle ve yağış değişkenlikleri (2000-2003, 2005, 2008)

Biyokütle değişimlerin fazla olduğu yerlerde (ilin güneyi), yağışlardaki değişkenliğin fazla olmadığı, ortalama değerin (% 75) biraz altında olduğu görülmüştür (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 2004 yılı biyokütle ve yağış değişkenlikleri

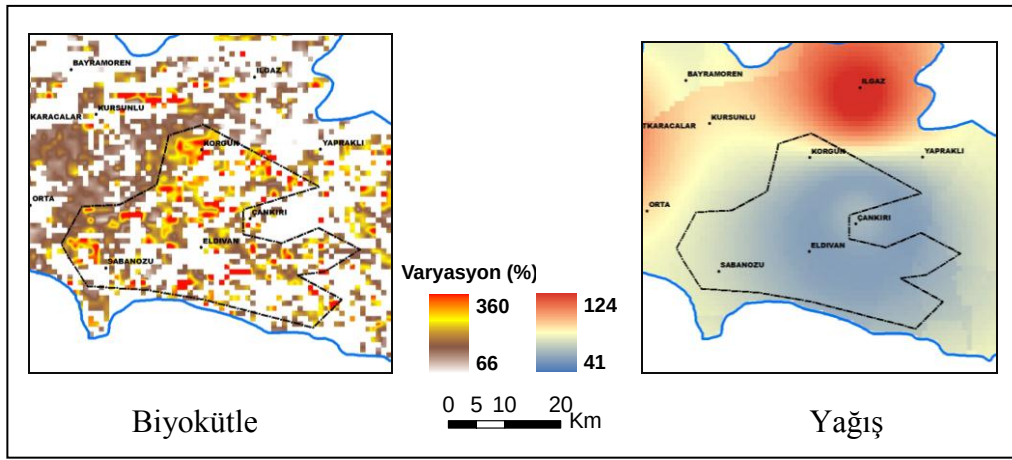
2006 yılında ise biyokütledeki değişkenliğin Şabanözü, Eldivan, Merkez ve Korgun ilçeleri arasında kalan iç bölge ile kısmen Yapraklı ilçesinin güney batısında yine fazla olduğu, fakat buna ilave olarak Çerkeş'in kuzey batısı, Atkaracalar ve Kurşunlu ilçelerinin kuzey bölgelerinde, Ilgaz ilçesinin güneyinde de yüksek değişkenlik değerlerinin görüldüğü gözlenmektedir. Yağış varyasyonlarında da benzer ilişki görülmektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 2006 yılı biyokütle ve yağış değişkenlikleri

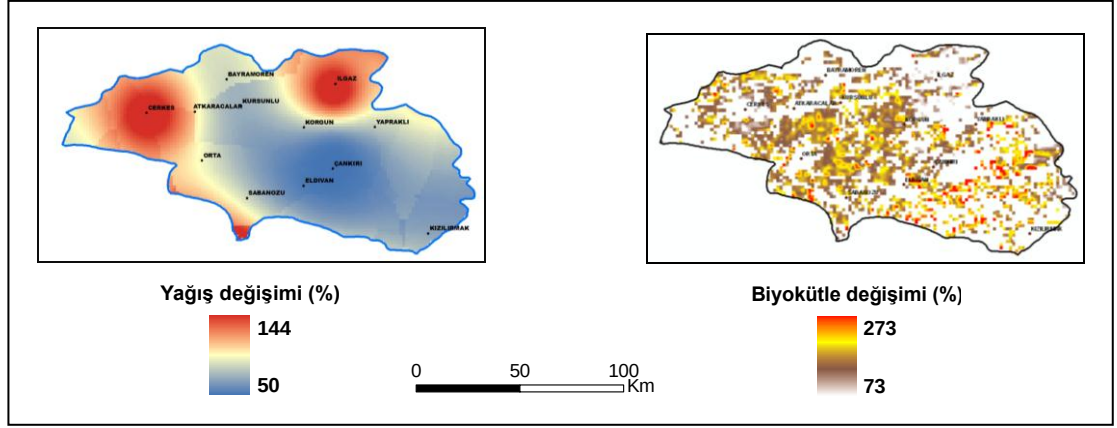
2007 yılı biyokütle değerlerinde yüksek değişkenlik gösteren yerlerden Atkaracalar ilçesinin doğusu Ilgaz'a kadar olan bölgede, yağış değerlerinde ortalama seviyede

(%77) değişkenlik göstermiştir. Ortalamadan yaklaşık +1 standart sapma (%13) oranında yağış değişkenlik değerine (%89) sahip Çerkeş ve Ilgaz ilçelerinde yer alan meraların biyokütlelerinde değişkenlik düşük kalmıştır. İlin orta bölgesinde yer alan kesimlerde (Korgun, Şabanözü, Merkez ilçe, Eldivan çokgeninde) biyokütledeki yüksek değişkenliklerin, yağış miktarındaki değişkenliklerle bağlantılı olmadığı anlaşılmaktadır. Şekil 4.10’da görüldüğü gibi bu bölgede yağıştaki değişkenlik ortalamanın 1 standart sapma kadar altındadır. Yağış dışında güneşlenme, hayvan otlatma gibi başka bir çevresel faktör bu durumu etkilemiş olabilir.



Şekil 4.10 2007 yılı biyokütle ve yağış değişkenlikleri

2009 yılı verileri incelendiğinde, yağıştaki varyasyonun fazla olmadığı, en yüksek değişkenlik değeri Ilgaz ve Çerkeş’te görölse de bu değer ortalama değerin (%69) altında kalmış ve yaklaşık %65 olarak bulunmuştur. Bu yıl içinde yağış miktarındaki en düşük değişkenlik değerleri (%54) ilin orta bölgelerinde görölmüştür. Bu şartlar altında 2009 yılı vejetatif dönemde Ilgaz ve Çerkeş dışında, yağışlarda ani değişiklikler görölmemesine rağmen, meraların biyokütle verimlerinde varyasyonlar oluşmuştur. Bu değişimlerin özellikle ilin güney doğu bölgesinde olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.11).

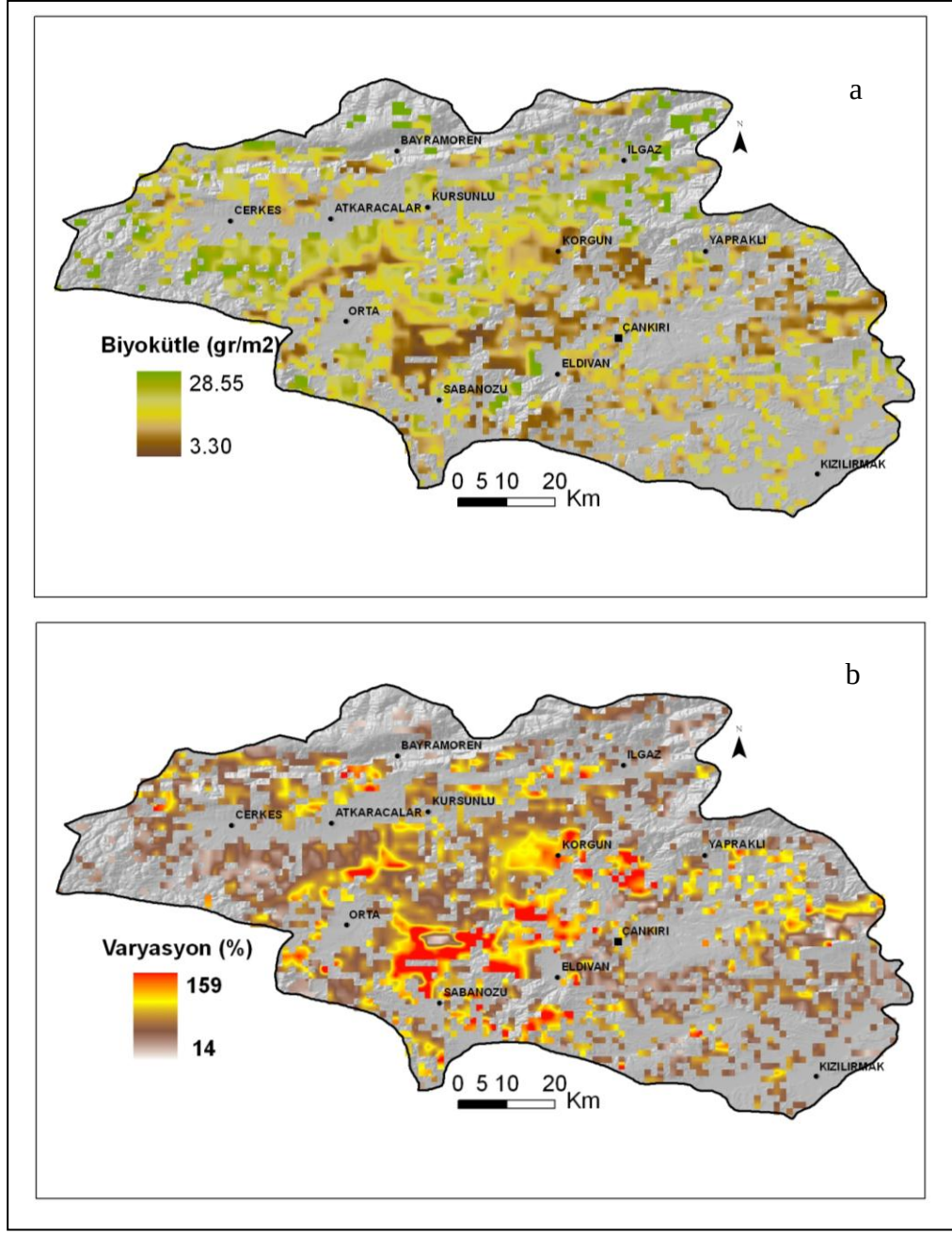


Şekil 4.11 2009 yılı biyokütle ve yağış değişkenlikleri

4.2.2 Yıllar arası değişkenlik

2000-2009 arasında biyokütlerdeki değişkenlik düzeyleri, mevsimsel değişkenlikteki gibi hesaplanmıştır. 10 yıllık dönemde toplam biyokütle değerlerinin standart sapmasının, ortalama değere oranı bize biyokütlerdeki yıllık değişkenlik değerini (%) vermektedir. Ortalama biyokütle ve varyasyon katsayısı hesaplamaları her piksel için yapılmış ve sonuçta meraların biyokütlerdeki değişkenliği mekansal olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.12a,b).

10 yıllık dönemde biyokütlerdeki değişimlerin en fazla olduğu bölgeleri belirlediğimizde, buraların ilin orta güney kısımlarında yer alan Şabanözü, Korgun ve Orta ilçelerinin arasında kalan yerler olduğu görülmektedir. Bu alanların aynı zamanda biyokütlerdeki verimin en az olduğu yerler olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 4.12 a). Verimin düşük olduğu yerlerde, değişimin fazla olması şu şekilde açıklanabilir; ortalama verimin düşük çıktığı alanlarda, on yıllık periyotta düşen yağış miktarında çok az değişiklikler bile görülmesi veya otlatma düzenindeki aksamlar, sarkmalar, artış veya azalışların meydana gelmesi, zaten alt seviyede olan bitkisel üretimin miktarında hızlı artışlar veya azalışlar oluşturarak varyasyonun katsayısının yüksek çıkmasına sebep olmuştur.

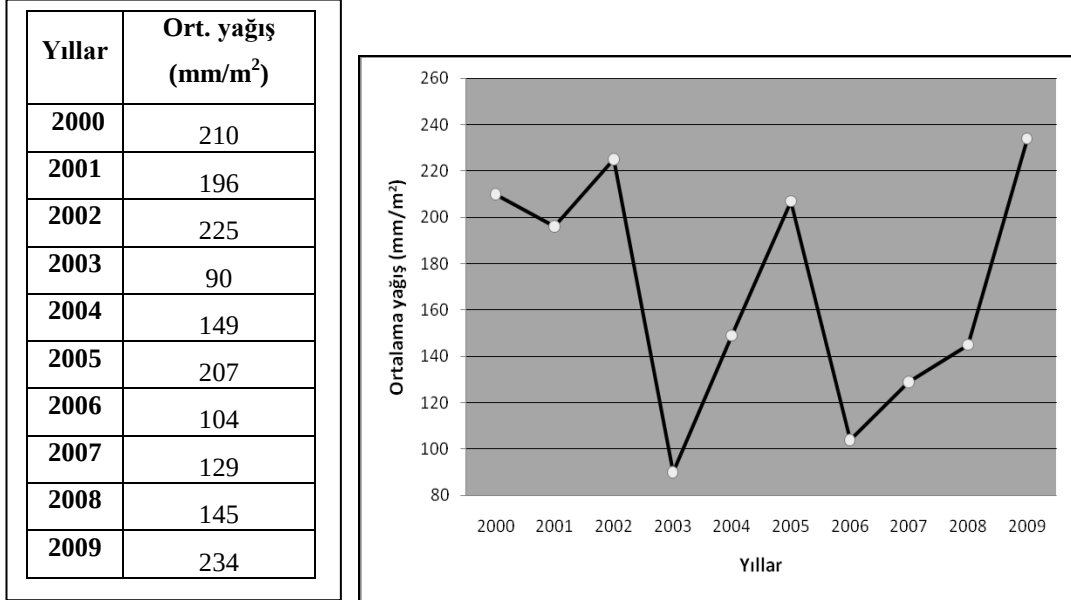


Şekil 4.12 a. 2000-2009 arası ortalama biyokütle, b. biyokütlerdeki varyasyon

Varyasyonun fazla çıktığı bölgelere düşen ortalama yağış miktarını incelediğimizde (Çizelge 4.2), en fazla yağış 230 mm/m^2 ile 2009 yılında meydana gelirken, 2003 yılında 90 mm/m^2 ile en düşük yağış kaydedilmiştir. Diğer taraftan on yıllık dönemde düşen yağış miktarının dalgalı bir seyir izlediği, bir önceki ve bir sonraki yıllarda yağışın azalıp veya arttığı görülmektedir. Yıllar arasında görülen bu yağış

değişkenlikleri neticede yağışa bağımlı olan biyokütlenin de 10 yıllık dönemde yüksek değişkenlik göstermesine sebep olmuştur.

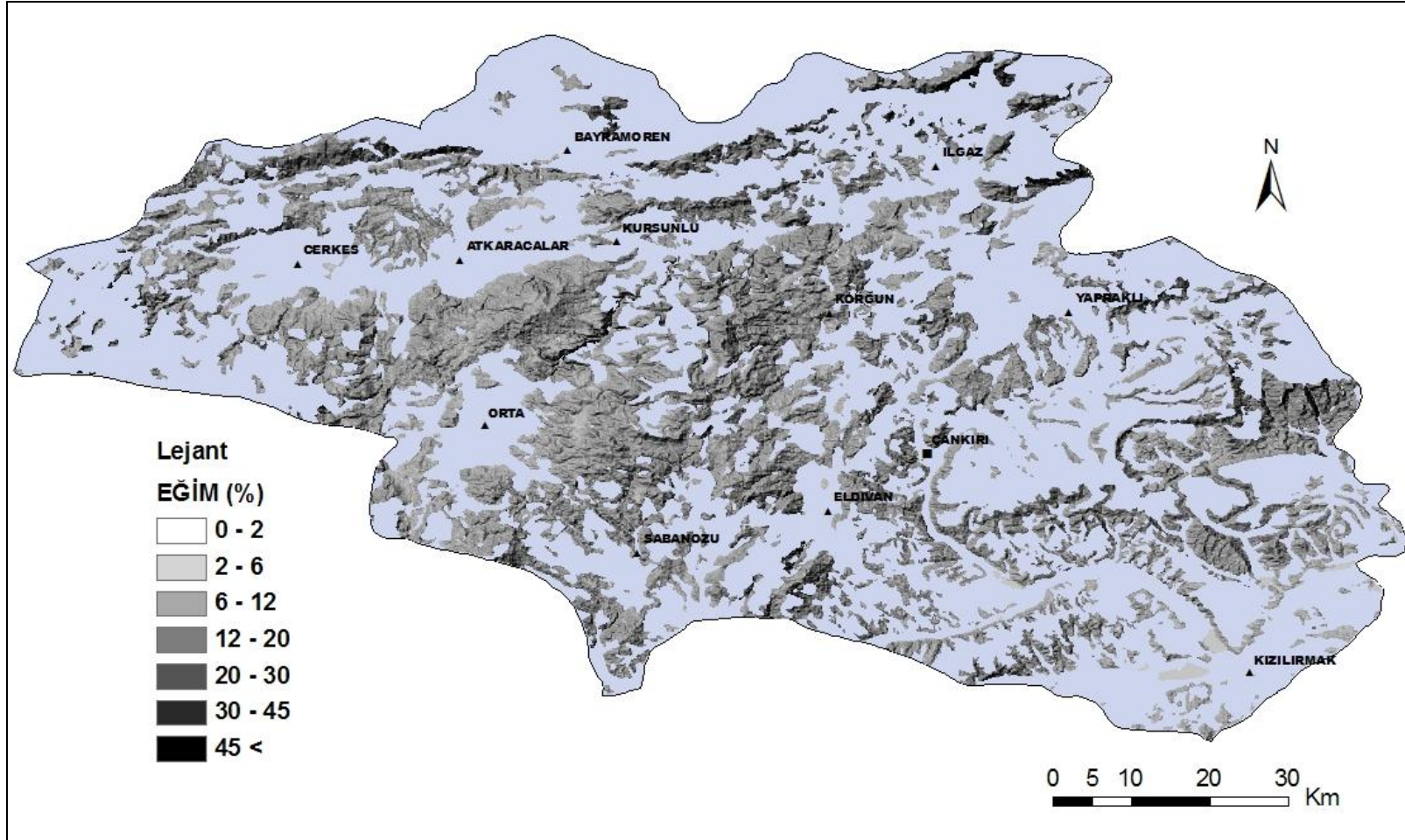
Çizelge 4.2 Bölgeye düşen 10 yıllık ortalama yağış miktarları (mm) ve grafiği



4.2.3 Biyokütlenin toprak derinliği ve eğime göre değişimi

Biyokütlerdeki mevsimsel değişimler burada genellikle yağışla ilişkilendirilmiştir. Yağışın işlevi, bitkilerin fotosentez faaliyetinde kullandıkları suyun kaynağını oluşturmaktadır. Toprağa düşen yağışın bir kısmı toprakta tutulurken bir kısmı eğime göre yüzey akışına geçer geriye kalan kısmı ise yerçekimi etkisiyle daha alt katmanlara akar. Bu çerçevede topraktaki su, toprak derinliği ve eğimin etkisi altındadır. Toprak derinliği ve eğiminin biyokütle üretimi ile ilişkisini incelemek için 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalardan üretilen eğim haritası (Şekil 4.13) ve Türkiye toprak veri tabanından üretilen toprak derinlik haritası kullanılmıştır (EK 2, Şekil 1).

Bilindiği gibi bitkiler kökleri vasıtası toprakta tutulan suyu alırlar. Toprakta tutulan su ise toprağın tekstürel yapısı ve derinliği ile ilişkilidir. Toprak derinliğinin, toprağın su tutma kapasitesini etkilediği, derin topraklarda daha fazla su tutulduğu bilinmekte ve dolayısıyla toprak derinliğinin fazla olduğu meralarda biyokütle üretiminin fazla



Şekil 4.13 Çankırı meralarının eğim haritası

çıkması beklenmektedir. Diğer taraftan özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde düşen yağışın toprakta tutulmasında en önemli faktörlerden biri de arazi eğimidir. Bu da dolaylı olarak biyokütle üretimini etkileyebilmektedir. Eğim ve toprak derinliğinin biyokütle üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla uygulanacak varyans analizi için, bu değişkenler kendi arasında alt gruplara sınıflandırılmıştır. Bu amaçla derinlik ve eğim sırası ile 4 ve 6 ana grupta toplanmıştır:

<u>Toprak Derinlik Kodu</u>	<u>Toprak derinliği (cm)</u>
1	0-20
2	20-35
3	35-70
4	75-90

<u>Eğim Kodu</u>	<u>Eğim derecesi (%)</u>
1	0-2
2	2-6
3	6-12
4	12-20
5	20-30
6	30 +

Toprak derinliği ve eğim sınıflarına göre çalışma alanındaki meraların on yıllık biyokütle ortalamaları, standart sapması ve varyans değerleri Çizelge 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Toprak derinliğine göre mera poligonlarının ortalama biyokütle değerleri, standart sapmaları ve varyansı

Toprak Derinliği (cm)	Mera poligon sayısı	Ortalama Biyokütle (gr/m²)	Std. Sapma (gr/m²)	Varyans (gr/m²)
0 - 20	281	11,610	3,805	14,479
20 - 35	196	11,995	3,768	14,199
35 - 70	11	11,584	3,557	12,656
70 - 90	12	12,276	5,551	30,816

Çizelge 4.4 Eğime göre mera poligonlarının ortalama biyokütle değerleri, standart sapmaları ve varyansı

Eğim (%)	Mera poligon sayısı	Ortalama Biyokütle (gr/m ²)	Std. Sapma (gr/m ²)	Varyans (gr/m ²)
0-2	12	12,874	5,479	30,022
2-6	10	9,976	2,172	4,718
6-12	66	11,024	3,348	11,209
12-20	175	12,286	3,860	14,906
20-30	164	11,645	3,834	14,700
30 +	73	11,597	3,878	15,043

Hem toprak derinliği, hem de arazi eğiminin biyokütle üretimi üzerindeki etkilerini tespit etmek ve biyokütlenin, toprak derinliği ve eğim grupları arasında ve grupların kendi içinde değişip değişmediği belirlemek amacıyla iki faktörlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. ANOVA'nın temel varsayımı olan varyansların homojen olması şartı, yapılan Levene Testi ile doğrulanmış olup test sonucuna göre farklı toprak derinliği gruplarında $p > 0,05$ düzeyinde anlamlı bir fark saptanmamış ve varyanslarının homojen dağılım gösterdiği belirlenmiştir.

Yapılan varyans analizine göre (Çizelge 4.5), eğim ve derinlik faktörleri ayrı ayrı değerlendirildiklerinde ortalama biyokütle ile aralarında istatistiksel önemli bir ilişki belirlenememiştir. Diğer taraftan derinlik ve eğim interaksyonu ile ortalama biyokütle arasında %1 ($p = 0,074$, $p < 0,01$) düzeyinde anlamlı ilişki bulunmuştur. Diğer bir ifade ile farklı eğim ve toprak derinlik gruplarında, biyokütle verimleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir.

Çizelge 4.5 ANOVA tablosu, etki testi tablosu ve çoklu karşılaştırma tablosu

Anova

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	18	497,7122	27,6507	1,9526
Error	481	6811,4014	14,1609	Prob > F
C. Total	499	7309,1135		0,0110

Etki testleri

Source	Nparm	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
derinlik	3	0	0,00000	.	.
egim	5	1	0,01116	0,0008	0,9776
egim*derinlik	15	10	346,60948	2,4476	0,0074

Çoklu karşılaştırma ($\alpha = 0,050$, $t=1,96491$)

DERİNLİK					
EĞİM		1	2	3	4
	1	-	6,750 ^{DEF}	14,179 ^{CDEF}	13,264 ^{CDE}
	2	11,382 ^{CDEF}	9,007 ^{DEF}	10,187 ^{DEF}	10,303 ^{CDEF}
	3	11,936 ^{DEF}	10,221 ^F	11,604 ^{CDEF}	7,320 ^{DEF}
	4	12,534 ^D	12,084 ^{DE}	9,063 ^{CDEF}	-
	5	11,081 ^{EF}	12,509 ^D	13,024 ^{CDEF}	-
	6	11,053 ^{EF}	15,463 ^C	-	-

Not: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiki olarak önemlidir.

Çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre biyokütle miktarı, derinlikten derinliğe her eğim sınıfında değişim göstermektedir. Eğim ve toprak derinliği değişkenleri arasındaki interaksyon ($p < 0,01$) seviyesinde önemlidir.

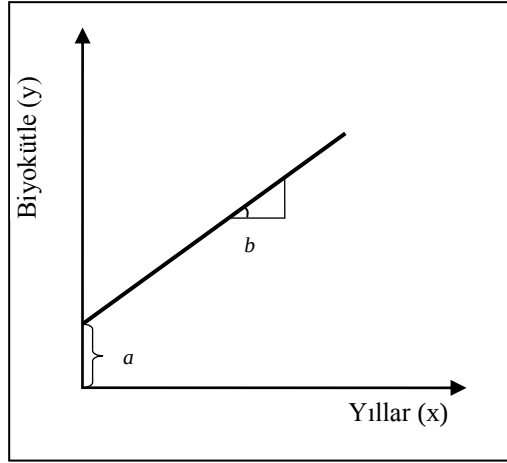
4.3 Eğilim (Trend) Analizi

Değişkenlik analizinde, biyokütlenin 10 yıllık dönemde nasıl değişim gösterdiği ve bu değişimin mekansal olarak nerelerde gerçekleştiğini belirlerken değişim yönü ile ilgili bir açıklamada bulunulmamıştı. Diğer bir ifade ile değişkenlik analizi, meraların biyokütle verimlerinin nerelerde azalış ve nerelerde artış gösterdiğini göstermez. Bunu belirlemek amacıyla eğilim veya trend analizinin yapılması gereklidir. Bu çerçevede, biyokütlenin alana bağlı olarak eğilimini, yönünü ve kuvvetinin belirlenmesi amacıyla bu doktora çalışmasında trend analizi uygulanmıştır.

Biyokütlenin, yıllara göre doğrusal olarak değişimini ortaya koyan bir regresyon grafiği düşündüğümüzde (Şekil 4.14), x eksenini yılları ve y eksenini de yıllara göre biyokütleyi gösterir;

$$y = a + bx$$

eşitliğini yazabiliriz. Bu eşitlikte y bağımlı değişken olan biyokütleyi, x ise bağımsız değişken olan yılları göstermektedir. Eşitlikteki a ise, doğrunun y eksenini kestiği noktanın değeri ve b ise doğrunun eğimini gösteren katsayıdır.



Şekil 4.14 Doğrusal regresyon grafiği örneği

Bu b eğim değeri hesaplandığında, on yıllık dönemde biyokütlenin negatif ve pozitif eğilimi (trendi) mekansal olarak tespit edilebilmektedir. Regresyon eşitliğindeki eğim (b), En Küçük Kareler Yöntemi (Neter vd. 1996) ile hesaplanmıştır (Eşitlik, 4.1).

$$b = \frac{\sum (x_i - x_{ort})(y_i - y_{ort})}{\sum (x_i - x_{ort})^2} \quad (4.1)$$

Burada,

b , eğim (trend)

x_i , yıl değeri

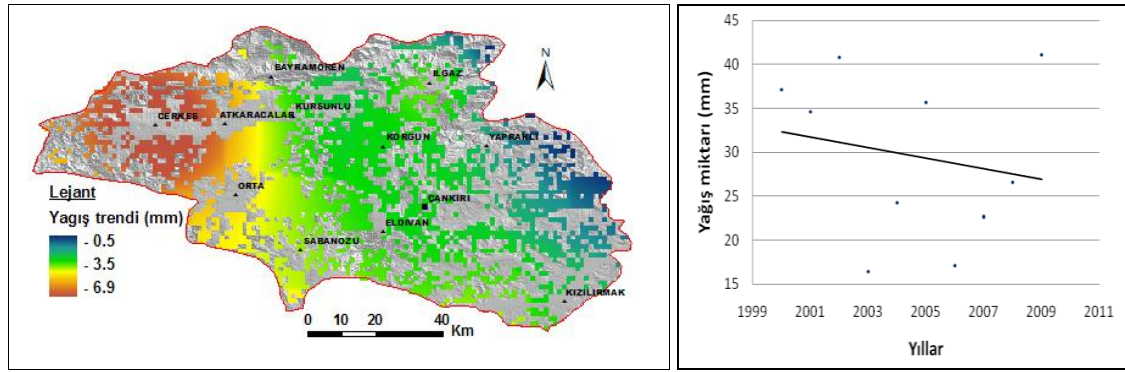
x_{ort} , yılların ortalaması

y_i , biyokütle değeri

y_{ort} , biyokütle ortalaması

düşmüştür. Burada önemli olan il genelinde biyokütledeki bu azalışın muhtemel sebepleri belirleyebilmek ve alınabilecek önlemleri tespit etmektir.

Verimdeki azalmalar iki dış etkenle ilişkilendirilebilir; ortalama yağış miktarındaki azalmalar ve hayvan sayısındaki artış ve sonucunda da otlama baskısının artması. On yıllık dönemde bölgeye düşen yağış miktarının eğilimine baktığımızda benzer bir negatif durum söz konusudur (Şekil 4.16). Yağış trendindeki ortalama değer -3,5 mm dir. On yıllık ortalama yağış değerlerinde ise az da olsa bir düşüş gözlenmektedir. 2000 yılının ortalama yağış değeri 200 mm civarındayken, 2008’de bölgeye düşen ortalama yağış 150 mm’nin altındadır.



Şekil 4.16 2000-2009 arasında yağış trendi ve yıllara göre ortalama yağış grafiği

Biyokütle trendi ile yağış trendi arasındaki paralellik ve ilişki olduğu gözlenmektedir. Bu ilişkinin istatistiki olarak önemlilik seviyesini belirlemek amacıyla korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon analizinde, kurulan hipotez testlerine göre, biyokütle ve yağış trendleri arasında ilişki yoktur hipotezi ret edilmiştir.

Yağış ve Biyokütle trendleri arasındaki korelasyon sonuçları;

H_0 : Yağış ve Biyokütle trendleri arasında ilişki yoktur.

H_1 : Yağış ve Biyokütle trendleri arasında ilişki vardır.

Korelasyon		Biyokütle	Yağış
Biyokütle	Pearson Correlation	1	0,182**
	Sig. (2-tailed)		0,000
Yağış	Pearson Correlation	0,182**	1
	Sig. (2-tailed)	0,000	
	N	2259	2259

** Korelasyon, 0.01 güven aralığında önemlidir

Test sonuçlarına göre $R = 0,182$ bulunmuştur. Buna göre, $R^2 = 0,033$ 'dir. $P = 0,00$ (iki taraflı) olduğundan H_0 hipotezi ret edilmiş ve değişkenler arasında %99 güven düzeyinde ($\alpha=0,01$ anlamlılık düzeyinde) pozitif yönde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmuştur, fakat bu ilişkinin derecesi oldukça zayıftır. Büyük örneklemelerde, çok küçük korelasyon katsayıları için küçük P (sig. değeri) değeri elde edilebilir. Korelasyon katsayısı 0,1 olması durumunda bile istatistiksel olarak önemli olabilir. Bu durum, değişkenler arasında sıfır olmayan, ancak çok küçük doğrusal ilişkinin olduğunu gösterir (Akgül ve Çevik 2005). Bu çalışmada da biyokütle ve yağış değerleri için kullanılan örneklem sayısı çok fazladır (2260) ve Akgül ve Çevik'in bildirmiş olduğu ifadeyle benzerlik göstermektedir.

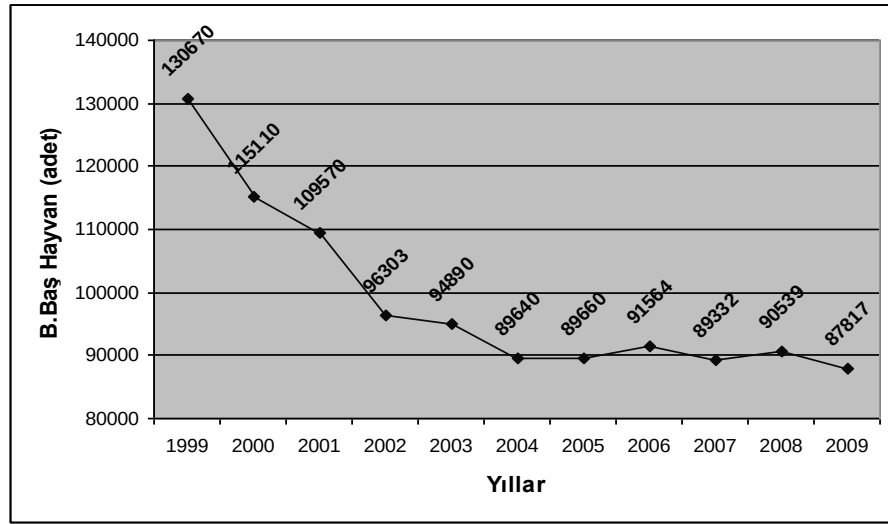
Biyokütle trendindeki negatif durumun ikinci sebebi olarak meralarda otlatılan hayvan sayısındaki artıştan kaynaklanabileceği varsayımıyla on yıllık dönemde toplam yıllık hayvan sayıları tespit edilmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 Çankırı ilinin büyük baş hayvan varlığı (<http://www.tuik.gov.tr>, 2009)

Yıl	Sığır(yerli)	Manda	Sığır (kültür)	Sığır (melez)	TOPLAM
1999	52940	2230	10370	65130	130670
2000	41730	2230	8300	62850	115110
2001	43000	2280	8640	55650	109570
2002	34244	1720	8271	52068	96303
2003	31718	1683	8409	53080	94890
2004	32756	2604	7372	46908	89640
2005	30627	1614	6228	51191	89660
2006	35203	1382	6258	48721	91564
2007	37756	1423	5448	44705	89332
2008	35755	1350	7561	45873	90539
2009	25162	1050	10907	50698	87817

İl genelinde meralarda çoğunlukla büyük baş hayvanlar otlatılmaktadır. Şekil 4.17’de görüldüğü gibi ilin toplam büyük baş hayvan varlığında on yıllık dönemde azalma görülmektedir. Dolayısıyla hayvan sayısındaki azalma, meralarda otlatma baskısının da azalmasına sebep olacağı için meraların ürettiği toplam biyokütle miktarında da görülen negatif trendin azalan hayvan sayısı ile bağlantılı olmadığı tespiti yapılabilir.

Yağış ve biyokütle trendleri arasında %99 güven aralığında pozitif yönde istatistiksel olarak anlamlı bulunan ilişki sebebiyle, biyokütle verimindeki negatif eğilimin, yağış miktarındaki azalmadan kaynaklandığını söyleyebiliriz.



Şekil 4.17 Çankırı ili toplam büyük baş hayvan varlığı (1999-2009)

4.4 Model Performans Değerlendirme

Işık Kullanım Etkinliği Modeli ile hesaplanan biyokütle miktarlarının gerçek değerler ile ne oranda bire bir uyduğunu, diğer bir ifade ile LUE modelinin doğruluk oranının belirlenmesi amacıyla model performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Model performansını değerlendirmek amacıyla 2 yaklaşım kullanılmıştır:

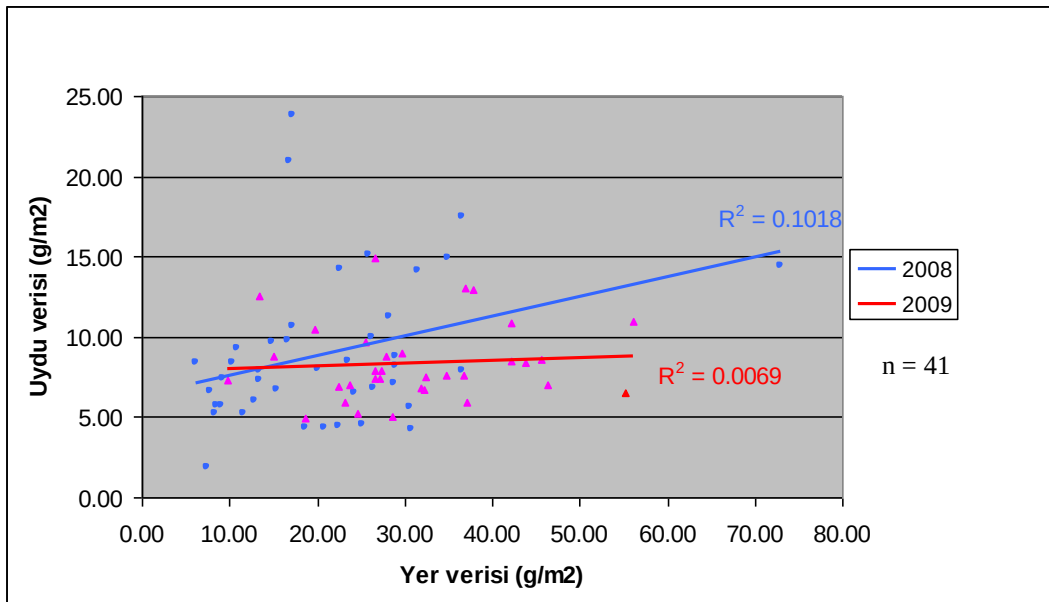
- 1) Arazide ölçülen biyokütle değerleri ile karşılaştırma
- 2) Tümüleşik vejetasyon indeksi (Integrated NDVI) ile karşılaştırma

Birinci yöntemde, LUE modeli ile hesaplanan ortalama biyokütle değerleri (GPP) ve arazi çalışmalarında örnekleme ile elde edilen biyokütle değerleri arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. İkinci yöntemde ise yine model ile hesaplanan biyokütle değerleri ve tümleşik vejetasyon indeks değerleri arasındaki regresyon ilişkisi incelenmiştir.

4.4.1 Arazide ölçülen biyokütle değerleri ile karşılaştırma

Saha çalışmasından elde edilen biyokütle ölçümleri (Arazi verileri) ile LUE modeli ile hesaplanan toplam biyokütle değerleri (uydu verileri) karşılaştırılarak aralarındaki ilişki incelenmiştir. Regresyon analizinde arazi verileri ve uydu verileri arasındaki ilişki seviyesini gösteren belirtim katsayısı (R^2), 2008 yılı için $r^2 = 0,101$ ve 2009 yılı için ise $r^2 = 0,006$ gibi çok düşük bir değer çıkmıştır. Her iki yıl için regresyon istatistikleri saçılma grafiği (Şekil 4.18) aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri (2008)		Regresyon İstatistikleri (2009)	
Çoklu R	0,3191	Çoklu R	0,0672
R^2	0,1018	R^2	0,0045
Düzeltilmiş R^2	0,0788	Düzeltilmiş R^2	-0,0210
Standard hata	4,4542	Standard hata	2,6148
Gözlem sayısı	41	Gözlem sayısı	41



Şekil 4.18 Uydu ve arazi verileri arasındaki regresyon analizi

R^2 değerlerinin çok düşük çıkması, LUE Modeli hesaplanan biyokütle ile meraların gerçekte ürettiği biyokütle arasındaki ilişkinin zayıf olduğunu göstermekte ve LUE modeli ile biyokütle tahmini yapılması durumunda elde edilen sonuçların bazı hatalar içereceğini gösterse de bunun muhtemel sebeplerinin tartışılması ve yöntemin doğruluğunun arttırılması gerekmektedir.

Düşük R^2 değerleri çıkmasına birçok faktör etkilemiş olabilir. Bunlardan bir tanesi örneklenen mera bitki türüdür. Arazi çalışmasında biyokütle ölçümü amacıyla 41 noktada toplanan bazı bitki örnekleri düşük yeşil aksama sahip olsa da gövdelerinin odunsu yapıda olmalarından dolayı kuru madde ağırlıkları, otsu yapıdaki bitkilere göre daha fazla olmaktadır. Kekik (*Tyhmus sp.*), geven (*Astragalus sp.*) ve boğa dikenini (*Eryngium sp.*) bu duruma iyi bir örnektir (Şekil 4.19). Buna benzer türlerin baskın olduğu meraların NDVI değerleri, düşük dolayısıyla LUE ile hesaplanan biyokütle değerleri düşük olurken, odunsu gövdelerinden dolayı kuru madde ağırlıkları yüksek çıkmaktadır. Bu da iki değişken (uydu ve arazi verisi) arasındaki ilişkiyi zayıflatarak belirtim katsayısını az çıkmasına sebep olmaktadır. Yine bu durumun tersi de mümkündür. Örneğin Çayır yumağı (*Festuca sp.*), salkım otu (*Poa sp.*) ve brom (*Bromus sp.*) gibi kaplama oranı yüksek otsu türlerin yer ölçümlerinde düşük biyokütle değerleri elde edilmekle beraber LUE modeli ile daha yüksek biyokütle değerleri hesaplanabilmektedir (Şekil 4.19).

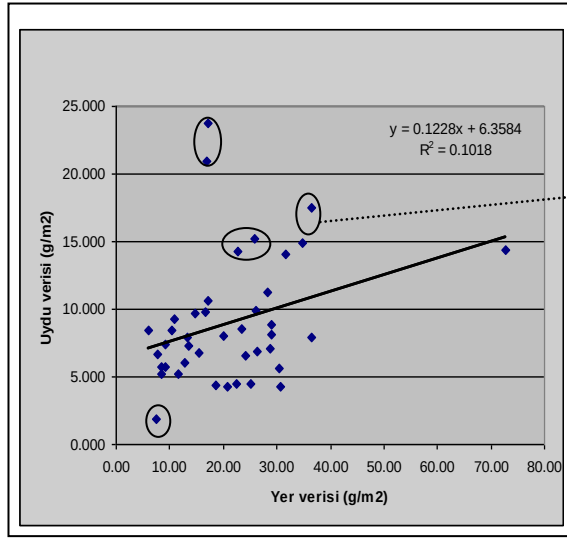


Odunsu bir gövde yapısına sahip olan geven (solda), yeşil aksam açısından zayıf olsa da toprak üstü biyokütle miktarı fazladır. Otsu yapıdaki buğdaygil ise yüksek NDVI değeri ve kaplama oranına sahiptir, fakat toprak üstü biyokütlesi düşüktür.

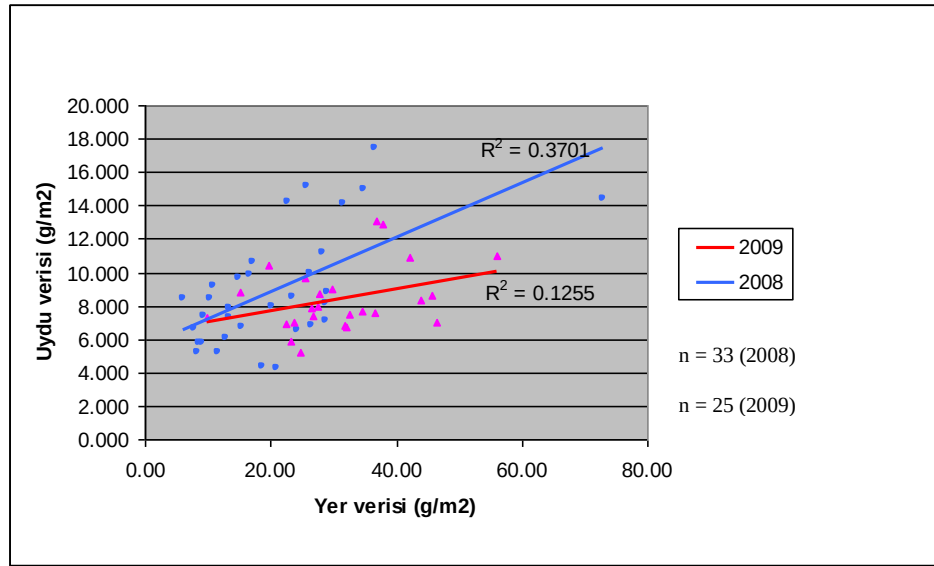
Şekil 4.19 Odunsu ve otsu yapıdaki bitki türleri için bir örnek

Dolayısıyla ilişkiyi azaltan bu noktaları, regresyon analizine dahil etmediğimizde ilişki katsayısının her iki yıl içinde belirli bir oranda arttığı görülmektedir (Şekil 4.20).

Bitki türü faktörünün etkin olduğu örneklemelerin hariç bırakılmasıyla uydu ve yer verileri arasında uygulanan regresyon analizi ile elde edilen belirtim katsayıları 2008 için 0,37 ve 2009 için ise 0,12 değerlerine ulaşmıştır. Bu değerler, 2008 yılı için nispeten orta seviyede bir ilişki olduğunu gösterse de, 2009 yılı için aynı ifade geçerli değildir. İlişkinin düşük olmasının muhtemel diğer sebepleri ise alt paragraflarda verilmiştir.

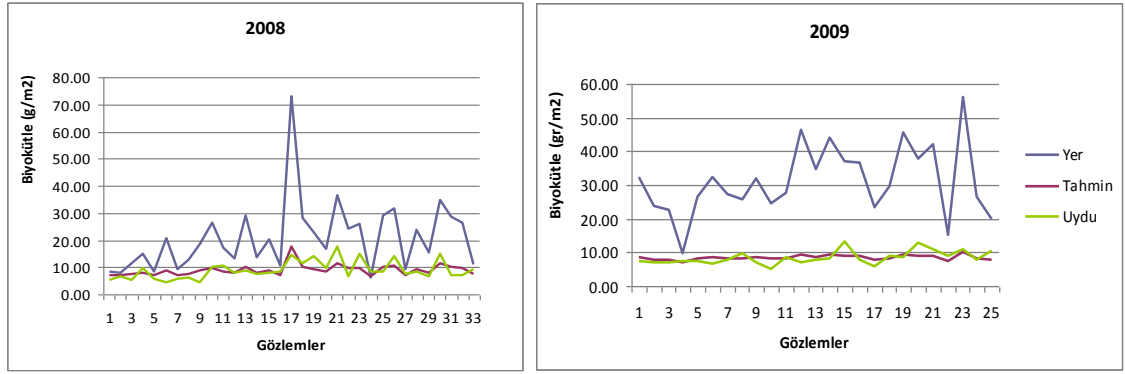


NOKTA	BIO_2008	RASTERVALU	Fark	1 TUR
CKR-01	8.35	5.26	3.09	Festuca valesiaca - 17
CKR-02	7.85	6.64	1.21	Crepis sancta - 9
CKR-03	11.59	5.20	6.39	Trigonella monantha - 18
CKR-04	14.86	9.72	5.14	Bothriochloa ischaemum - 15
CKR-05	7.38	1.88	5.50	Festuca valesiaca - 10
CKR-06	8.57	5.77	2.80	Helianthemum sp. - 13
CKR-07	20.84	4.30	16.54	Bromus tomentellus - 14
CKR-08	22.40	4.43	17.97	Poa pratensis - 56
CKR-09	9.10	5.75	3.35	Festuca valesiaca - 13
CKR-10	30.53	5.66	24.87	Onobrychis aemena - 15
CKR-11	12.80	6.03	6.77	Globularia trichosantha - 17
CKR-12	18.61	4.37	14.24	Cynodon dactylon - 20
CKR-13	26.16	9.94	16.22	Onobrychis cornuta - 23
CKR-14	17.28	10.66	6.62	Thymus leucostomus - 16
CKR-15	13.36	7.88	5.48	Thymus sipyleus - 20
CKR-16	28.96	8.81	20.15	Stipa holosericea - 11
CKR-17	30.75	4.22	26.53	Thymus sipyleus - 18
CKR-18	13.44	7.31	6.13	Thymus leucostomus - 16
CKR-19	20.07	7.99	12.08	Thymus leucostomus - 13
CKR-20	10.33	8.43	1.90	Prasium majus - 8
CKR-21	25.22	4.51	20.71	Thymus sipyleus - 9
CKR-22	72.87	14.39	58.48	Capsella bursa-pastoris - 11
CKR-23	28.26	11.22	17.04	Centaurea drabifolia - 11
CKR-24	16.83	20.93	-4.10	Festuca valesiaca - 10
CKR-25	22.64	14.26	8.38	Chrysopogon gryllus - 11
CKR-26	17.21	23.80	-6.59	Scleranthus annuus - 14
CKR-27	16.60	9.83	6.77	Taeniatherum c-m. - 16
CKR-28	36.54	17.46	19.08	Poa pratensis - 18
CKR-29	24.23	6.56	17.67	Festuca valesiaca - 6
CKR-30	25.83	15.16	10.67	Festuca valesiaca - 14
CKR-31	6.09	8.39	-2.30	Poa bulbosa - 5
CKR-32	28.89	8.16	20.73	Thymus sipyleus - 18
CKR-33	31.56	14.08	17.48	Festuca valesiaca - 22
CKR-34	9.29	7.41	1.88	Chrysopogon gryllus - 19
CKR-35	36.60	7.88	28.72	Astragalus microcephalus - 12
CKR-36	23.52	8.52	15.00	Festuca valesiaca - 14
CKR-37	15.36	6.74	8.62	Thymus sipyleus - 13
CKR-38	34.86	14.95	19.91	Salvia cryptantha - 15
CKR-39	28.73	7.11	21.62	Thymus sipyleus - 8
CKR-40	26.41	6.84	19.57	Thymus sipyleus - 11
CKR-41	10.90	9.24	1.66	Poa bulbosa - 6



Şekil 4.20 Uydu ve yer verileri arasındaki ilişki (odunsu ve otsu türler hariç)

Her iki yıl için elde edilen regresyon eşitlikleri kullanılarak tahmini biyokütleler hesaplanmıştır. Her örneklem noktası için uydu verisi ve tahmin değerlerinin birbirleriyle uyumlu olduğu, fakat yer verilerinin bunlardan farklılık arz ettiği gözlenmektedir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21 Yer, uydu ve tahmin verilerinin örneklem noktalarındaki biyokütle değerleri

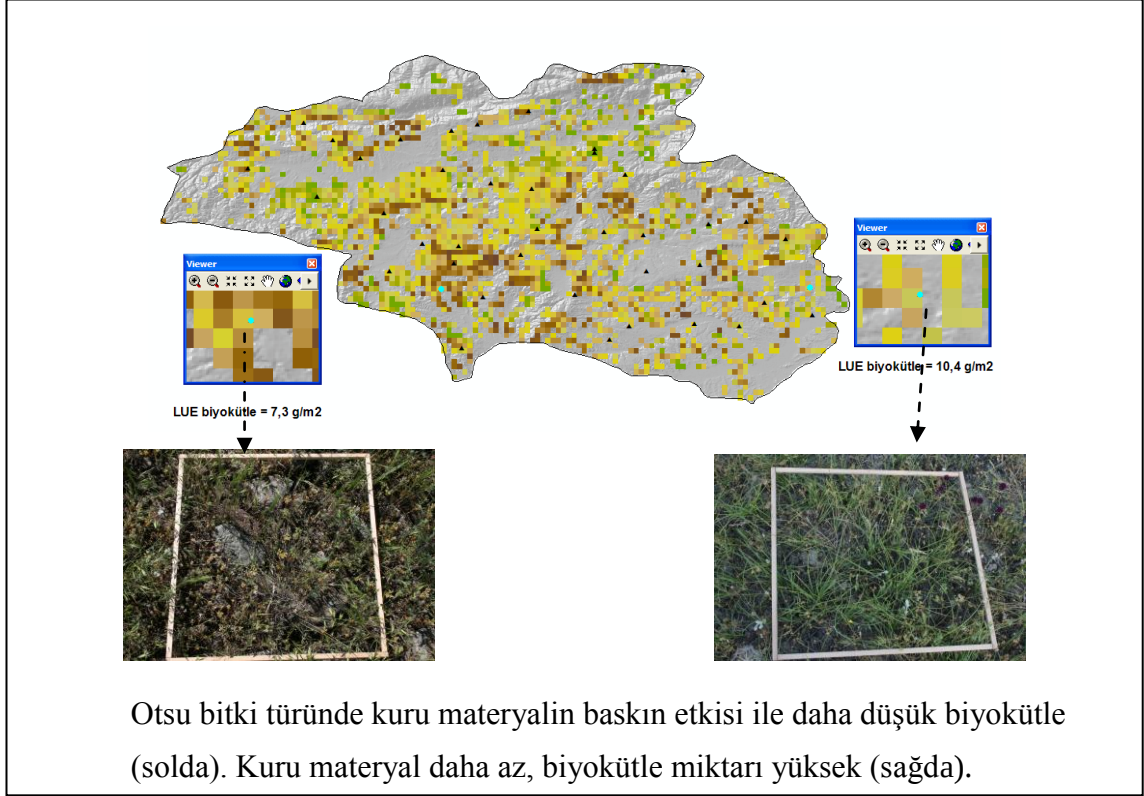
Uydu verileri ile tahmin değerleri arasında fark olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan t testi sonuçlarına göre; uydu verileri ile tahminler arasındaki ilişki $p > 0,05$ 'e göre istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. % 95 güven aralığında, t testi sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7 Uydu ve tahmin verileri t-testi ($\alpha = 0,05$)

	2008		2009	
	Tahmin	Uydu	Tahmin	Uydu
Ortalama	8,9927	9,034	8,419	8,423
Varyans	4,314	11,584	0,487	3,889
Gözlemler	33	33	25	25
Pearson Korelasyonu	0,6083		0,35	
t istatistiği	0,01949		-0,00113	
P(T<=t) iki taraflı	0,98457		0,99	

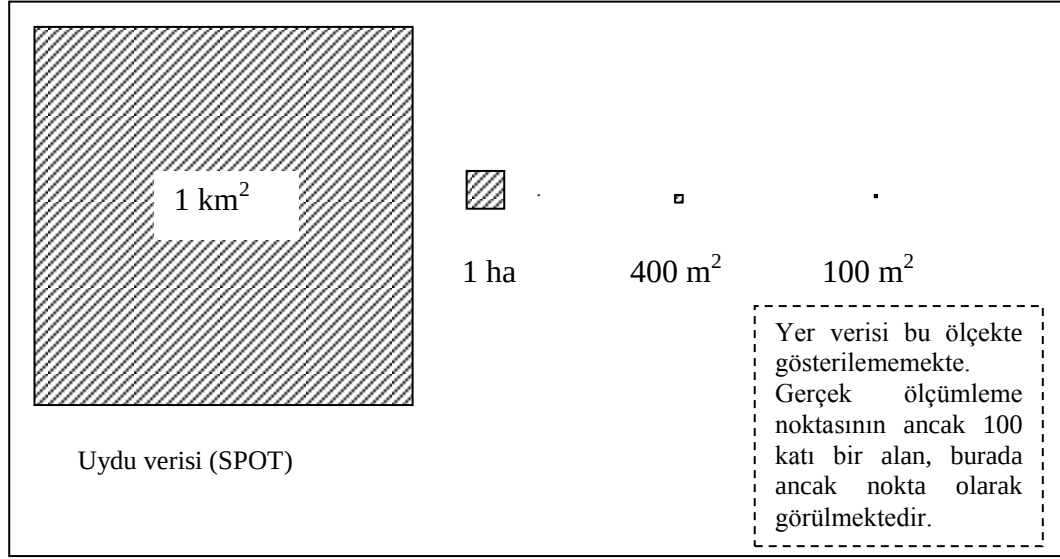
Arazi verileri ile uydu verileri arasındaki ilişkiyi azaltan diğer bir etmen ise yüzeydeki kuru materyal miktarıdır. Önceden kalmış ve kurumuş olan her türlü bitki kalıntısı, kabuk, ve diğer yabancı maddeler kuru materyali oluşturmaktadır. Kuru materyal, arka planda ayna yansıması gibi yüksek albedo değeri oluşturarak bitkinin vejetasyon indeks değerinin azalmasına sebebiyet vermektedir. Dolayısıyla LUE modeli ile hesaplanan biyokütle miktarının arazi verilerine göre daha düşük çıkmasına neden olmaktadır (Şekil 4.22). Benzer etki çıplak toprak içinde geçerlidir. Bu çalışmada çıplak toprağın baskın etkisini ortadan kaldırmak için, vejetasyon indeks görüntülerine toprak yansıma

düzeltilmesi işlemi uygulanmış olsa da kuru materyalin arka plan etkisi, uydu ve arazi verileri arasındaki regresyon ilişkisini azaltmıştır.



Şekil 4.22 Kuru materyalin biyokütle üzerindeki arka plan etkisi

Değişkenler arasındaki ilişkiyi azaltan üçüncü bir etken de yerden toplanan örnekleme büyüklüğü ile uydu verisinin mekansal çözünürlüğü arasındaki ölçek farklılığından kaynaklanmaktadır. Arazi verisi için araziden toplanan biyokütle miktarları 1x1 metre boyutlarındaki bir alandan temin edildiği halde uydu verisini temsil eden biyokütle, 1x1 km²'lik mekansal çözünürlüğe sahip SPOT uydu verilerinden hesaplanmıştır. Diğer bir ifade ile uydu verileri 1km²'lik bir alandaki mevcut bitkisel materyalin biyokütle ortalamasını 1m²'nin değeri olarak göstermektedir. Arazi verileri ve uydu verileri arasındaki 1000 kat kadar olan bu ölçek farklılığı (Şekil 4.23), bu iki değişken arasındaki ilişki katsayısının yeteri kadar yüksek çıkmasını engelleyebilmektedir.



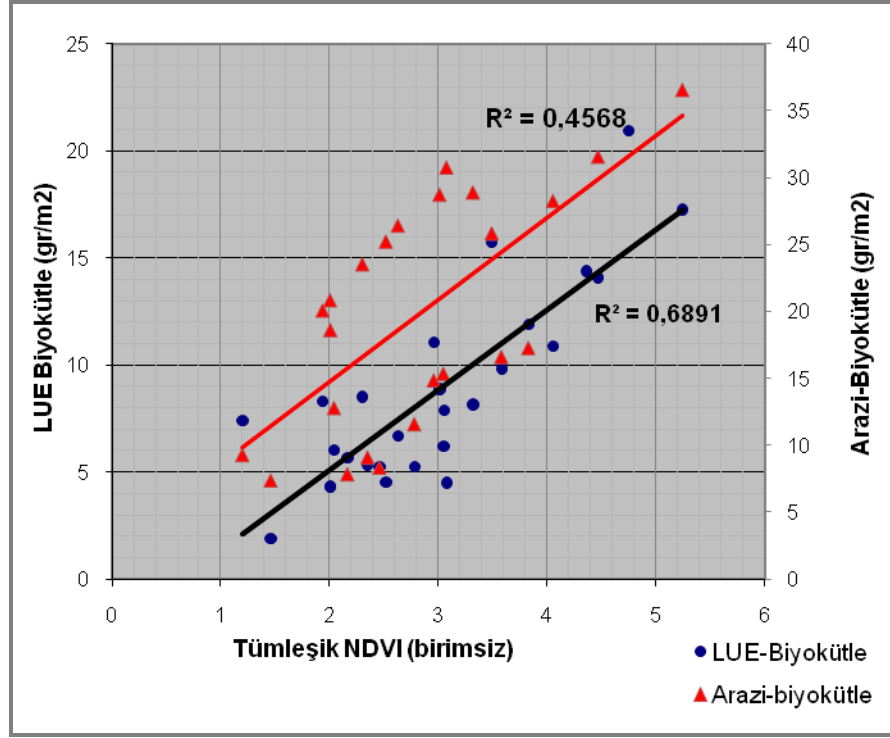
Şekil 4.23 Uydu verisi ve arazi verisinin boyutsal farklılığı

4.4.2 Tümüleşik vejetasyon indeksi (Integrated NDVI) ile karşılaştırma

Primer prodüktivite tahminlerinde, tümleşik NDVI yöntemi özellikle 1980-1990 yılları arasında en sık kullanılan ve test edilen yöntemlerden biridir. (Goward ve Dye 1987, Running ve Nemani 1988, Ruimy vd. 1994). Tümüleşik NDVI, büyüme dönemi içinde mevsimsel olarak baskın olan vejetasyon miktarının belirlenmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Bu değer, yıl içinde oluşan yeşil aksamın NDVI değerlerinin toplamını ifade etmektedir.

Meralarda büyüme sezonu içindeki her piksele tekabül eden bütün vejetasyon indeksi (NDVI) değerleri toplanarak elde edilen raster veri (Tümüleşik NDVI) üzerinden rastgele seçilen noktaların toplam NDVI değerleri ile arazide 1m² alanda toplanan bitki örneklerinin biyokütle (Arazi-Biyokütle) değerleri regresyon analizine tabi tutulmuştur. Şekil 4.24, bu iki değişken arasındaki regresyonu göstermektedir. Bu iki değişken arasındaki ilişkiyi gösteren belirtim katsayısı, $r^2 = 0,45$ gibi orta seviyede bir değere tekabül etmektedir. Bu ilişkinin önem seviyesini test ettiğimizde; % 95 güven aralığında bu iki değişken arasındaki ilişki istatistiksel olarak ($t = 4,03$, $p < 0,05$) önemli bulunmuştur.

Regresyon analizi, aynı zamanda tümleşik NDVI değerleri ile modelden hesaplanan biyokütle değerleri (LUE-Biyokütle) arasında da uygulanmıştır (Şekil 4.24). Burada değişkenler arasındaki ilişki nispeten daha kuvvetli sayılabilecek seviyede ($r^2 \sim 0,69$) bulunmuştur.



Şekil 4.24 LUE modeli biyokütlesi ve arazi biyokütlesi ile tümleşik NDVI değerleri arasındaki regresyon ve ilişki katsayısı

Regresyon sonuçlarına göre, bağımlı değişken LUE-Biyokütlesin'deki %69'luk değişim, modele dahil ettiğimiz bağımsız değişken tümleşik NDVI tarafından açıklanmaktadır. Yani biyokütlerdeki değişimin %69'u tümleşik NDVI'daki değişimlerden kaynaklanmaktadır.

Regresyon modelinin anlamlılık testinde (SPSS istatistik programı çıktısı Çizelge 4.8'de verilmiştir) ise, "F" değeri $<0,05$ olduğundan tümleşik NDVI değerleri ile biyokütle'yi açıkladığımız model, istatistiksel olarak anlamlıdır.

Çizelge 4.8 LUE modeli çıktısı ile tümleşik NDVI arasındaki anlamlılık testi

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	371,7587694	371,7587694	55,40808	8,52E-08
Residual	25	167,7366992	6,709467966		
Total	26	539,4954685			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-2,39669	1,573415	-1,52324	0,1402	-5,6372	0,843819	-5,6372	0,843819
T. NDVI	3,743216	0,502873	7,44366	8,5E-08	2,70753	4,778902	2,70753	4,778902

Çizelge 4.8 aynı zamanda modeldeki katsayıların tahmin değerleri ile ilgili istatistiksel veriler sunmaktadır. NDVI'daki 1 birimlik artış, biyokütleyi 3,743 birim arttıracaktır. Bu katsayıya ilişkin t değeri de anlamlı olarak bulunduğundan NDVI değişkeninin katsayısı istatistiksel olarak anlamlıdır.

Diğer taraftan regresyondaki ilişkiyi olumsuz etkileyen hususlar, LUE faktöründeki varyasyonlar, NDVI değerine çevrenin (ortamın) ve iklimsel parametrelerin etkisi, su stres faktörü, güneşlenme süresi veya toprak özellikleri ve bunların birleşik etkisi olarak verilebilir.

4.5 Biyokütle Tahmin Modelindeki Etmenlerin Analizi

Primer produktivite üretiminde baskın olan etkenleri tespit etmek amacıyla, PAR, NDVI, FPAR, su stres katsayısı (WS) ve yağış değişkenlerinin kendi aralarında ve yıllık ortalama biyokütle değerleri (GPP) arasında korelasyon analizi yapılmıştır. Değişkenlerin kendi aralarındaki korelasyon analizi sonuçları Çizelge 4.9'da ve biyokütle ile ilişkisini gösteren korelasyon katsayısı, ortalaması, ve varyasyon katsayısı değerleri ise Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Biyokütle tahminini etkileyen faktörlerin birbirleriyle olan ilişkilerini test eden korelasyon analizine göre, en yüksek ilişki FPAR ve NDVI değerleri arasında bulunmuştur ($r^2=0,98$). Oransal fotosentetik aktif radyasyon değerinin, vejetatif indeks üzerinden hesaplanması bu ilişkin yüksek çıkmasının da bir göstergesidir.

Çizelge 4.9 Değişkenlerin korelasyon katsayıları

	WS	FPAR	NDVI	PAR	YAGIŞ
WS	1				
FPAR	0,12	1			
NDVI	0,13	0,98	1		
PAR	-0,26	-0,44	-0,40	1	
YAGIŞ	0,28	0,55	0,56	-0,62	1

Diğer taraftan su stres faktörü ve yağış arasındaki ilişki değeri zayıf bulunmuştur ($r^2=0,28$). Bu düşük ilişkinin muhtemel sebeplerinden bir tanesi, bu bölge meralarının vejetatif aksamın düşük toprak kaplama oranlarından kaynaklanması olabilir. Düşük toprak kaplama oranı, gerçek transpirasyon miktarının daha az olmasını ve dolayısıyla da model içinde daha küçük su stres katsayısı değerlerinin hesaplamaya dahil edilmesine sebep olmaktadır. Yağış miktarı ile vejetasyon indeksi arasında orta derecede ilişki görülmüştür ($r^2=0,56$). Bu ilişkinin orta seviyelerde kalması, biyokütle ile yağış arasındaki ilişkinin düşük çıkmasının ($r^2=0,375$, bkzn. Çizelge 4.10) sebeplerinden biri olduğu düşünülmektedir.

Yağış miktarındaki artışların, biyokütlede aynı oranda bir artışı sağlayamamış olması veya sağladığı halde bunun modelde doğrulanmaması, hayvan otlama ile bağlantılı olabileceğini düşündürmektedir. Hayvan otlatmadan sonraki dönemde, meraların vejetasyon indeks değerlerinde azalmalar görüleceği için biyokütle tahmininde hesaplamaya doğrudan giren FPAR değerinin düşmesine ve dolayısıyla hesaplama yoluyla daha az biyokütlenin bulunmasına sebep olmuştur.

Çizelge 4.10 Biyokütle ile değişkenler arası korelasyon sonuçları

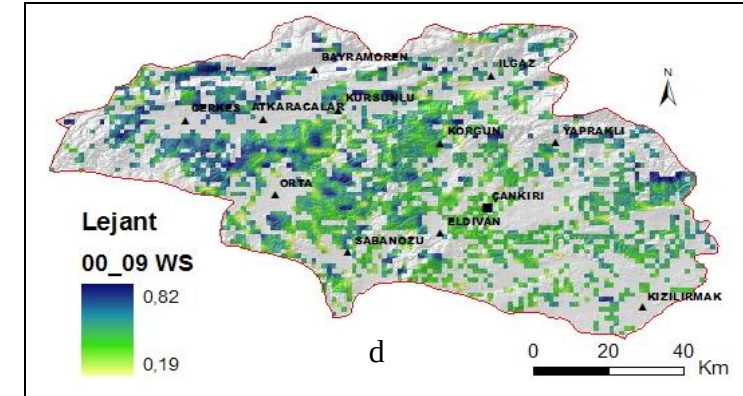
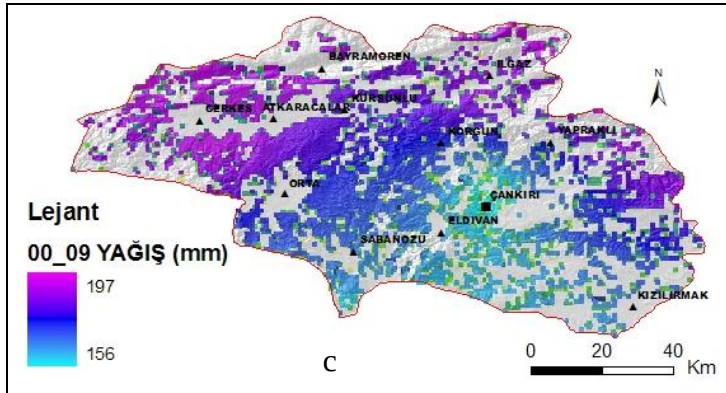
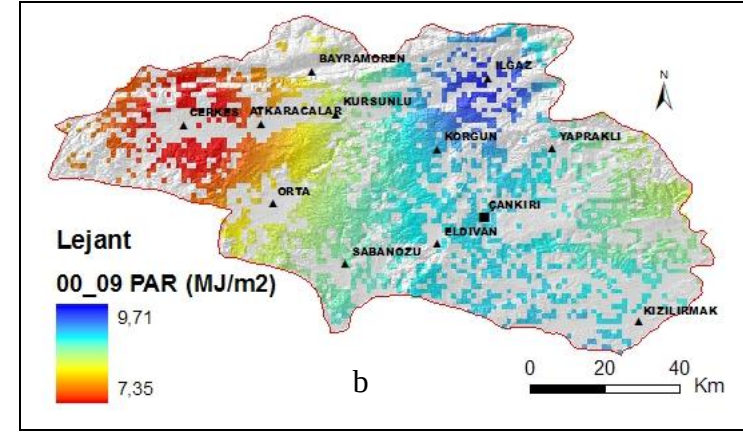
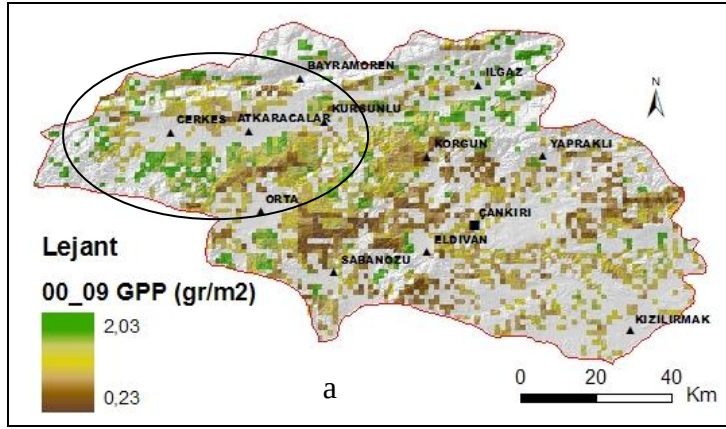
	Korelasyon katsayısı (GPP)	Ortalama değer	Varyasyon katsayısı (%)
NDVI	0,786**	0,252	28,3
FPAR	0,794**	0,258	35,1
WS	0,518**	0,529	12,9
PAR	-0,200**	8,693	6,5
YAGIŞ	0,375**	177,186	6,3

** %5'e göre istatistiksel olarak anlamlı

Biyokütle ile bütün değişkenler arasındaki ilişki pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. En yüksek korelasyon katsayısı değerini veren değişken FPAR ($r^2 = 0,79$) olup 0,05 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Vejetasyon indeks değeri ile biyokütle arasındaki ilişki de oldukça yüksek çıkmıştır ($r^2 = 0,78^{**}$, $\alpha = 0,05$). Su stres katsayısı ise orta seviyede bir ilişkiye sahiptir.

Güneşlenme şiddeti veya fotosentetik aktif radyasyon (PAR) ile biyokütle arasında negatif ve zayıf, fakat anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu benzer negatif zayıf ilişki Brogaard vd.'nin 2004'te yaptıkları çalışmada da bulunmuştur. Aslında bu durum, LUE Modelinin temel aldığı ışık şiddeti ile primer produktivite arasında pozitif ilişki vardır görüşünü desteklememektedir.

Burada değişkenlerin (etmenlerin) biyokütle üzerindeki doğrudan etkilerinin yanında; birbirlerini de etkileyerek biyokütle ile olan ilişkilerini değiştirdiği düşünülmektedir. Örneğin PAR değerinin düşük olduğu Çerkeş ve Atkaracalar'daki meraların (Şekil 4.25) biyokütle değerlerinin yüksek çıkmasının sebebi, bu bölgedeki su stres katsayısının ve yağış değerlerinin en yüksek seviyelere ulaşarak, düşük ışık şiddetinin biyokütle üzerindeki negatif etkisini baskılaması ve biyokütle üretimini arttırmasıdır.



Şekil 4.25 Biyoküte (a), fotosentetik radyasyon (b), yağış (c) ve su stres faktörü (d)'nün on yıllık ortalama değerleri

4.6 Modelin Duyarlılık Analizi

Bir modelin kabul edilebilirlik derecesi, farklı değişkenlik türleri ile yakından ilişkili olup bu değişkenlikler modelin güvenilirliğini, sağlamlığını ve etkinliğini etkilemektedir. Dolayısıyla modelde yer alan değişkenlerin, model çıktısına etkilerinin belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla duyarlılık analizi yöntemleri geliştirilmiştir. Duyarlılık analizi, bir modelin çıktısındaki değişkenliği inceleyen ve bu değişkenliğin modelde yer alan girdi parametreleriyle nasıl bir ilişki içinde olduğunu ve bu ilişkinin şiddetini nitel ve nicel olarak açıklayan bilimsel bir istatistiki çalışma olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir ifade ile duyarlılık analizi, modelde kullanılan bilgilerin, modelin kendi yapısının ve modelin çatısını oluşturan varsayımların, modeli nasıl etkilediğini açıklamaya çalışır.

Literatürde çok sayıda duyarlılık analizi yöntemlerine rastlamak mümkündür (Morgan ve Henrion 1990, Saltelli ve Marivort 1990, Rose vd. 1991, Merz vd. 1992, Shevenell ve Hoffman 1993). Her yöntem kendi içinde avantaj ve dezavantajlara sahiptir, dolayısıyla en iyi duyarlılık analizi yöntemi, durum ve şartlara göre değişmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, duyarlılık analiz yöntemi seçiminde çok çeşitli faktörler göz önünde bulundurulur. Bu faktörlerden en önemlileri ise; modelin yapısı ve karmaşıklığı, analizdeki girdi sayısı, mevcut kaynakların elverişliliği ve en önemlisi de analizin amacıdır. En yaygın kullanılan duyarlılık analiz yöntemlerine örnek olarak aşağıdakiler verilebilir:

- ✓ Risk Eşitlik Kontrol Yöntemi
- ✓ Duyarlılık Katsayısı Yöntemi
- ✓ Duyarlılık Puanı Yöntemi
- ✓ Monte-Carlo Simülasyon Grafiği Yöntemi
- ✓ Korelasyon Katsayıları Yöntemi
- ✓ Normalleştirilmiş Çoklu Regresyon Katsayı Yöntemi

Bu tez çalışmasında Duyarlılık Katsayısı Yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem aynı zamanda “Elastikiyet Denklemi” olarak ta bilinmektedir. Duyarlılık katsayısı, çıktıdaki değişim yüzdesinin, girdi değişkenindeki değişim yüzdesine oranıdır (Eşitlik 4.2).

$$DK = \left(\frac{y2 - y1}{y1} \right) / \left(\frac{x2 - x1}{x1} \right) \quad (4.2)$$

Burada;

DK , Duyarlılık katsayısı

X , Ortalama girdi değeri

$x2$, Girdi değerinin, “En Kötü Durum” ve “En İyi Durum” şartlarına göre maksimum ve minimum değerleri

$y1$, Değişkenlerin ortalama değerlerine göre üretilen biyokütlenin ortalama değeri (gr/m^2)

$y2$, Değişkenlerden birinin değerinin değiştirilmesi ile elde edilen biyokütle değeri (gr/m^2)

Duyarlılık katsayısı, modelin girdi değişkenlerinden hangisinin model çıktısı üzerinde daha etkin olduğunu vurgulayan bir göstergedir. Değişkenlerden, katsayı değeri daha yüksek olanın model çıktısında daha etkin olduğunu, diğer bir ifade ile modelin, katsayısı yüksek olan değişkene daha duyarlı olduğunu göstermektedir. Duyarlılık katsayısı yönteminde, değişkenlerin her birinin alabileceği en büyük ve en küçük değerler sırayla girilirken diğer değişkenlerin standart değerleri girilir ve her değişken için elde edilen duyarlılık katsayıları karşılaştırılarak modelin en çok duyarlı olduğu değişken tespit edilir.

Bu tez çalışmasında, biyokütle hesaplamada son aşamada kullanılan değişkenlerden, PAR, FPAR, Su stres katsayısı (WS) ve LUE faktörü’nün en büyük ve en küçük değerleri alınarak en fazla ve en az biyokütle üretimi senaryoları geliştirilmiş ve her değişken için duyarlılık katsayısı değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.11). Değişkenlerin değerleri 10 yıllık verilerden ortalama olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.11 Duyarlılık katsayısı çizelgesi

Değişkenler	EN AZ BİYOKÜTLE ÜRETİM DURUMU					EN FAZLA BİYOKÜTLE ÜRETİM DURUMU					Birimi
	X1	X2	Y1	Y2	DK	X1	X2	Y1	Y2	DK	
FPAR	0,2614	0,0034	0,5929	0,0043	1,00	0,2614	0,5884	0,5929	1,3309	0,9950	Birimsiz
PAR	8,66	6,0505	0,5929	0,4101	1,02	8,66	10,9156	0,5929	0,7415	0,9623	MJ m ⁻²
WS	0,5291	0,0612	0,5929	0,0666	1,00	0,5291	0,9794	0,5929	1,0827	0,9707	Birimsiz
LUE	0,505	0,42	0,5929	0,4883	1,04	0,505	0,62	0,5929	0,7208	0,9473	g MJ ⁻¹

DK: Duyarlılık katsayısı

X1: Ortalama girdi (değişken) değeri

X2: Girdi (değişken) değerinin, “En Kötü Durum” ve “En İyi Durum” şartlarına göre maksimum ve minimum değerleri

Y1: Değişkenlerin ortalama değerlerine göre üretilen biyokütlenin ortalama değeri (gr/m²)

Y2: Değişkenlerden birinin değerinin değiştirilmesi ile elde edilen biyokütle değeri (gr/m²)

Duyarlılık katsayısı çizelgesi incelendiğinde, “En Kötü Durum” senaryosunda bütün değişkenlerin duyarlılık katsayılarının 1 civarında olduğu gözlenmektedir. Üretilen biyokütle miktarını, bu değişkenlerin hemen hemen aynı oranda etkilediği sonucu çıkarılabilir. Diğer taraftan “En İyi Durum” senaryosu dikkate alındığında da benzer bir durum dikkati çekmekle birlikte, değişkenlerin duyarlılık katsayıları arasındaki maksimum %5’lik fark olduğu görülmektedir. 0,995 değerine sahip FPAR’ın en duyarlı değişken olduğu ve biyokütleyi en çok etkileyen parametre olduğunu söyleyebiliriz. Daha önceden de açıklandığı gibi FPAR değişkeninde en önemli faktör ise vejetasyon indeksi değeridir (Eşitlik 3.3’e bakınız), dolayısıyla vejetasyon indeksi değerinin (NDVI) LUE modelinde biyokütleyi etkileyen en önemli girdi olduğu görülmektedir. En iyi durum senaryosunda, LUE faktörü ise diğer değişkenlere göre daha az duyarlı olduğu görülse de (DK=0,94), model geneli değerlendirildiğinde, meraların biyokütle miktarını önemli oranda etkileyen girdi değişkenlerinden birisidir.

Duyarlılık katsayısının mekansal olarak değişimini incelediğimizde, “En İyi Durum” ve “En Kötü Durum” senaryolarında, bütün değişkenlerin duyarlılık katsayılarının standart sapmaları çok düşük çıkmıştır (Çizelge 4.12). Bu durum, değişkenlerin duyarlılık katsayılarının Çankırı ili genelinde mekansal olarak fazla değişmediğini, değişkenlerin model çıktısına olan duyarlılığının hemen hemen her bölge için aynı değerde olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.12 Değişkenlerin mekansal duyarlılık katsayısı istatistiki verileri

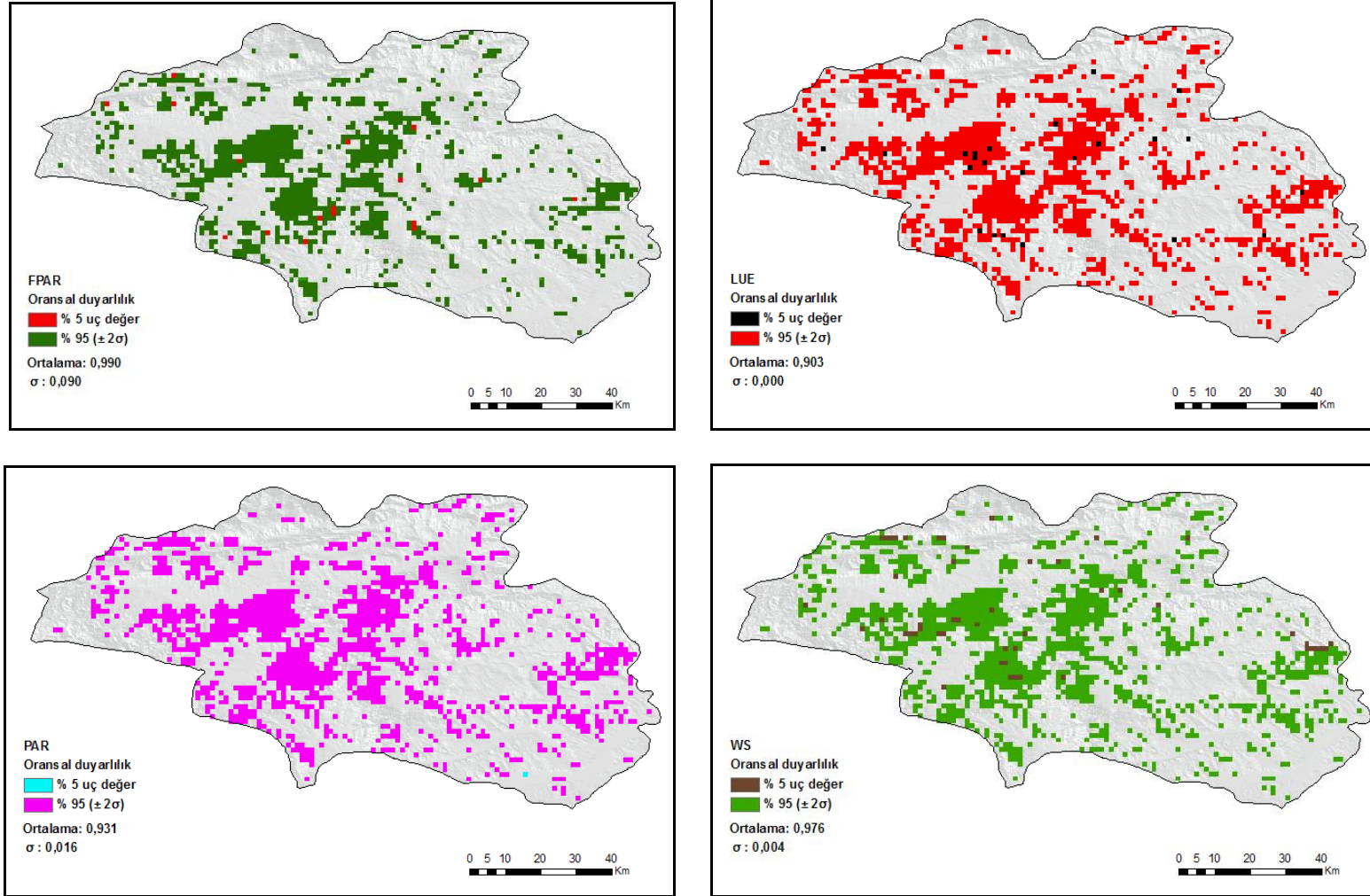
		Minimum	Maksimum	Ortalama	S.Sapma
En İyi	LUE	0,9471	0,9471	0,9471	0,0000
	FPAR	0,3311	3,4063	0,9911	0,1079
	PAR	0,9500	0,9566	0,9527	0,0011
	WS	0,9454	0,9863	0,9779	0,0040
En Kötü	LUE	1,0484	1,0484	1,0484	1,7717
	FPAR	0,8261	1,3102	0,9998	0,0134
	PAR	1,0191	1,0275	1,0226	0,0012
	WS	1,000	1,0035	1,0013	0,0006

Değişkenlere ait duyarlılık katsayılarının “En İyi Durum” ve “En Kötü Durum” senaryolarına göre değişmesinden dolayı, mekansal değişiminin harita üzerinde standart olarak gösterilmesi amacıyla, en iyi ve en kötü durumdaki duyarlılık katsayı değerleri birbirine oranlanmıştır (En iyi durum/En kötü durum). Duyarlılık katsayılarına ait oransal değerlerin mekansal değişimleri Şekil 4.26’da gösterilmiştir. Oransal duyarlılık değerleri mekansal olarak incelendiğinde, mera alanlarının %97’sinde biyokütle tahmin modelindeki değişkenlerin duyarlılığı, %95 güven aralığı ile $\pm 2\sigma$ arasındadır. Geriye kalan %3’lük alanlarda, değişkenlerin duyarlılığı %5’lik uç değerler arasındadır. Diğer bir ifade ile bu bölgelerde, LUE modelinin girdilere (LUE faktörü, WS, PAR, FPAR) olan duyarlılığı düşük olup, çevreye göre değişkenlik göstermektedir. Sonuç olarak değişkenlerin model çıktısına olan duyarlılığı yüksek olup, mekansal olarak değişmemekte ve bu durum meraların %97’si için geçerlidir.

“En İyi Durum” ve “En Kötü Durum” senaryolarında meralarda üretilen toplam biyokütle miktarlarında, beklendiği gibi farklılıklar mevcuttur. Bu farklılıklar modeldeki girdi değişkenlerinin, model çıktısı ile olan pozitif ilişkisini doğrulamaktadır. 2000-2009 yılları arasında Çankırı ilindeki meralarda 10 günlük maksimum biyokütle üretimi 2583 ton iken, duyarlılık analizindeki en iyi durum senaryosunda model değişkenlerinin alabileceği en yüksek değerler ile meralarda üretilebilecek en fazla biyokütle miktarının (10 günlük) 4101 ton olduğu görülmektedir (Çizelge 4.13). En kötü durum senaryosu ile minimum biyokütle üretimi ve verimi arasında da benzer bir özellik görülmektedir.

Çizelge 4.13 Duyarlılık analizi senaryoları ve uzun yıllar ortalamalarından elde edilen biyokütle üretim ve verim değerleri

	Duyarlılık analizi değerlerinden			2000-2009 Biyokütle değerlerinden		
	En iyi durum	Ortalama	En kötü durum	Maksimum	Ortalama	Minimum
Σ Biyokütle (Ton)	4101	1280	3,95	2583	656	188
Biyokütle verimi (gr/m²)	3,806	0,59	0,003	1,67	0,817	0,124



Şekil 4.26 Oransal duyarlılık katsayılarının istatistiksel dağılımları

5. SONUÇ

Bitki ve genetik çeşitlilik açısından en zengin ekosistemlerden olan çayır ve meralar, maalesef yıllardan beri devam eden aşırı ve düzensiz otlatma sonucu üzerindeki bitki örtüsü büyük ölçüde tahrip olan meralarımızın otlatma kapasitesi düşmüş ve erozyona maruz sahalara durumuna gelmiştir. 1990'lı yılların sonlarına doğru çıkarılan mera kanunu ile yasal statü altına alınabilmektedir. Yaklaşık 14 Milyon hektarlık mera varlığımızın en iyi şekilde yönetimini sağlamak ve onlardan azami faydayı temin etmek için dağılımlarının, alanlarının ve bitki kompozisyon yapıları ile biyokütle miktarının ve veriminin bilinmesi bir gereklilik haline gelmiştir. Bu çerçevede değerlendirildiğinde meralarımızın biyokütle miktarının tahmin edilmesine yönelik olarak doktora çalışması kapsamında İç Anadolu Bölgesinde yer alan Çankırı ilindeki meraların biyokütle verimleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla çalışmada Işık Kullanım Etkinliği (LUE) Modeli kullanılmıştır. Biyokütle verimleri tek bir yıl için değil, 2000-2009 yıllarını kapsayan on yıllık dönem için tespit edilmiş ve bu dönem içinde biyokütlerdeki yıllık, mevsimsel ve mekansal değişimler ve bu değişimlerin trendi ve kuvvetine yönelik analizler yapılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan LUE Modeli, Seaquist vd.'nin (2003) kullandıkları modelin benzeri olup, farklılık arz eden tarafları şunlardır;

- a) Su stres faktörünün hesaplanmasında kullanılan gerçek ve potansiyel evapotranspirasyon değerlerinin, FAO AgrometShell ve Penman-Monteith yöntemlerinden elde edilmesidir.
- b) Diğer bir farklılık ise oransal fotosentetik aktif radyasyon (FPAR) hesaplamasında kullanılan katsayıdır. Bu çalışmada sararma dönemi için (Temmuz, Ağustos), FPAR eşitliğine ilave bir 0,20 katsayısı dahil edilmiştir.
- c) Son bir farklılık da LUE faktörünün, büyüme dönemi içinde sabit bir değer yerine iki farklı değer olarak kullanılmasıdır. Çankırı meralarının fenolojisine göre erken dönem için (20 Mart-10 Haziran) 0,62 değeri, olgunlaşma dönemi (10 Haziran-10 Ağustos) için de 0,42 değeri modelde yer almıştır.

LUE modeli ile hesaplanan biyokütle verimlerini, biyokütlenin yıllık, mevsimsel ve mekansal değişimini ve bu değişimin yönünü ve gücünü genel olarak değerlendirdiğimizde;

Uydulardan elde edilen veriler ildeki mera alanlarının yaklaşık 301939 ha civarında olduğunu göstermektedir. 10 yıllık ortalamalarına göre, il genelindeki meraların biyokütle üretimleri yıllık 25000 ton civarındadır. Bu üretim miktarı, birim alanda (1m^2) yaklaşık 11,4 gr kuru madde olarak verime tekabül etmektedir.

Biyokütle verimindeki mevsimsel ya da diğer bir ifade ile yıl içindeki değişimleri, genelde mevsimse bağlı ve kısa dönemde bitkilerin fizyolojik ortamını olumlu veya olumsuz yönde etkileyen yağış, güneşlenme vb. gibi istem dışı faktörlerden kaynaklanabildiği gibi, hayvan sayısı ve otlatma baskısı gibi değiştirilebilir etkenlerden de kaynaklanmaktadır. Yıl içi maksimum biyokütle oluşumu Mayıs sonu ile Haziran'ın ilk haftası arasında meydana gelmektedir.

Yıllar arasında biyokütle veriminde olan değişkenliklerin genellikle bölgeye düşen yağış miktarına bağlı olduğu gözlenmiştir. Bu durum, özellikle biyokütlenin yüksek varyasyon gösterdiği iç bölgelerde (Şekil 4.3 ve Şekil 4.2) görülmektedir.

İl genelindeki meraların biyokütle verimleri on yıllık döneme göre azalma eğilimi içerisindedir (Ortalama eğilim $-0,87\text{ g/m}^2$). On yıllık dönemde meralarda otlatılan hayvan sayısının azalmış olmasına rağmen biyokütlerdeki negatif eğilimin var olması, değişken faktörlerden yağışın etkin olduğunu göstermektedir. Korelasyon analizi, yağış ve verim trendleri arasında %99 güven aralığında pozitif yönde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir.

LUE modelinin performansını değerlendirmek için 2008 ve 2009 yılında yapılan arazi çalışmalarından elde edilen biyokütle verimleri ile model ile hesaplanan biyokütle verimleri arasındaki regresyon belirtim katsayıları sırasıyla 0,37 ve 0,12 bulunmuştur. Bu değerler, iki değişken arasında istatistikî olarak farklılık olduğunu söylemekle

birlikte, regresyon eşitliğinden hesaplanan tahmin biyokütle değerleri ile yer verileri arasında yapılan t testi sonuçlarına göre bu iki değişken arasındaki ilişki $p > 0,05$ 'e göre istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Yer verileri, LUE modeli verileri (uydu verileri) ve tahmin verilerinden üretilen grafiklere bakıldığında (Şekil 4.20), LUE modelinden elde edilen biyokütle değerleri ile regresyon eşitliğinden tahmin edilen değerlerin birbirleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Model performans değerlendirmede kullanılan tümleşik NDVI (integrated NDVI) yöntemi ise LUE modeli ile tümleşik NDVI değerleri arasında nispeten yüksek bir ilişki ($r^2 = 0,69$) bulunduğunu göstermekte ve yapılan hipotez testleri bu ilişkinin önemli olduğunu vurgulamaktadır. Toplam biyokütle miktarını belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılan tümleşik NDVI yöntemi ile LUE modelinden hesaplanan biyokütle verimini %69 oranındaki bir doğrulukta tahmin edebilmektedir.

LUE modeli ile biyokütle veriminin gerçeğe yakın olarak tespit edilmesini diğer bir ifade ile modelin performansını olumsuz etkileyen temel faktörler, meraların botanik kompozisyonunu oluşturan bitki türü, toprağın ve kuru materyalin vejetasyon indeksi üzerindeki baskın arka plan etkisi, NDVI verisinin elde edildiği uydu görüntülerinin mekansal çözünürlüğüdür. Yüksek mekansal çözünürlüğe sahip uydu görüntülerinin kullanılması ve görüntülerle eş zamanlı planlanan arazi çalışmaları ile elde edilecek sonuçların doğruluğu artacaktır. Bundan sonra yapılacak benzer çalışmalarda, meraların botanik kompozisyonu ve bitki türü ile biyokütle arasında ilişki incelenmelidir. Yine benzer şekilde, yükseklik, eğim ve bakı gibi coğrafi faktörlerin biyokütlenin mekansal dağılımını nasıl etkilediği gibi hususlar araştırılmalıdır. Bu amaçla kullanılacak arazi yükseklik verisi ve bundan üretilecek eğim ve bakı verilerinin, kullanılan uydu görüntüsü ile eş çözünürlükte olmasına dikkat edilmelidir.

Bu doktora çalışmasında LUE modeli ile meraların biyokütle verimlerini belirlenmesi, geleneksel verim belirleme çalışmalarına alternatif bir yöntem getirmektedir. Bu yöntem uzaktan algılama teknolojisinin sunduğu veri kaynaklarını ve meteorolojik verileri kullanarak özellikle ulaşılması zor olan mera alanlarının verimlerinin belirlenmesinde bu konuda çalışan kurumlara, tarımsal araştırmacı, uzman ve akademik personele kolaylık sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akgül, A. ve Çevik, O. 2005. İstatistiksel Analiz Teknikleri “SPSS’te İşletme Yönetimi Uygulamaları”. Emwek Ofset Ltd. Std.Ankara. ISBN: 975-96359-3-3.
- Akman, Y., Ketenoğlu, O., Quezel, P. and Demirörs, M. 1984. A syntaxanomic study of stepe vegetation in Central Anatolia. *Phytocoenologia* 12(4), pp. 563-584.
- Akman, Y., Quezel, P., Aydoğdu, M., Ketenoğlu, O., Kurt, L. and Evren, H. 1994. A Phytosociological research on the stepe vegetation of the Yapraklı Mountains (Çankırı/Turkey). *Ecologia Mediterranea*, XX (3/4): ss.1-7.
- Allen, R.G. Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper:56. Rome 1998. pp. 136-137.
- Anonim. 1974. Kızılırmak Havzası Toprakları. Toprak Su Genel Müdürlüğü Yayınları, Yayın no:286. Havza no: 15. Cihan Matbaası, Ankara. ss.31-88.
- Anonim. 1950. DİE (Devlet İstatistik Enstitüsü) Yayınları. Ankara.
- Anonim. 1976. DİE (Devlet İstatistik Enstitüsü) Yayınları. Ankara.
- Anonymous. 1998. Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, pp. 15-29, 103-134. FAO of United Nations, Rome, Italy.
- Anonim. 2001. TC. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara, Türkiye.
- Anonim. 2001. Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), Volume III – Part A. Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment. EPA 540-R-02-002 OSWER 9285.7-45 PB2002 963302. Appendix A. Office of Emergency and Remedial Response U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC 20460.
- Anonim. 2008. Çankırı Tarım İl Müdürlüğü.
- Anonim. 2009. FAO Statistical Year Book. Roma.
- Asrar, G., Fuchs, M., Kanemas, E.T. and Hatfield. J.L. 1984. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf-area index from spectral reflectance in wheat. *Agron Glas*; 76(2), pp.300–6.
- Badhwar, G.D., Macdonald, R.B. and Mehta, N.C. 1986. Satellite-derived leaf-area-index and vegetation maps as input to global carbon-cycle models - A hierarchical approach. *Int J Remote Sens*; 7(2), pp.265–81.

- Bannari, A., Morin, D. and Bonn, F. 1995. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*, 13, pp.95–120.
- Başaran, U., Acar, Z., Mut, H. ve Aşcı, Ö.Ö. 2006. Doğal Olarak Yetişen Bazı Baklagil Yem Bitkilerinin Bazı Morfolojik ve Tarımsal Özellikleri. *OMÜ Zir. Fak. Fak. Dergisi*, 21 (3), ss.314-317.
- Begue, A., Desprat, J.F., Imbernon, J. and Baret, F. 1991. Radiation use efficiency of pearl millet in the Sahelian zone. *Agricultural and Forest Meteorology*, 56, pp.93–110.
- Beyer, H.G., Costanzo, C. and Heinemann, D. 1996. Modifications of the Heliosat procedure for irradiance estimates from satellite images. *Solar Energy*, 56(3), pp.207–212.
- Blackburn, G.A. and Steele, C. M. 1999. Towards the remote sensing of matorral vegetation physiology: relationships between spectral reflectance, pigment, and biophysical characteristics of semiarid bushland canopies. *Remote Sensing of Environment*, 70, pp.278–292.
- Boegh, E., Broge, H.S.N., Hasager, C. B., Jensen, N. O., Schelde, K. and Thomsen, A. 2002. Airborne multispectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration, and photosynthetic efficiency in agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 81, pp.179–193.
- Brogaard, S., Runnström, M. and Seaquist, J.A. 2005. Primary Production of Inner Mongolia, China between 1982 and 1999 estimated by a satellite-driven light use efficiency model. *Global and Planetary Change*, Vol. 45, pp.313-332.
- Büyükburç, U. 1999. Mera ve Çayırların Önemi ve Özellikleri. Çayır-Mera Amenajmanı ve Islahı, T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, Çayır-Mera Yem Bitkileri ve Havza Geliştirme Daire Başkanlığı, Ankara, s. 137-145.
- Cano, D., Monget, J.M., Albuisson, M., Guillard, H., Regas, N. and Wald, L. 1986. A method for the determination of the global solar radiation from meteorological satellites data. *Solar Energy*, 37, pp.31–39.
- Clenton, E., Owensby, J.M., Ham, A., Knapp, K. and Lisa, M.A. 1999. Biomass Production and Species Composition Change in A Tallgrass Prairie Ecosystem After Long-Term Exposure To Elevated Atmospheric CO₂. *Global Change Biology* (1999) 5, pp.497-506.
- Daughtry, C.S.T, Gallo, K.P. and Bauer, M.E. 1983. Spectral estimates of solar-radiation intercepted by corn canopies. *Agronomy Journal*; 75(3), pp.527–531.

- DuPlessis, W. P. 1999. Linear regression relationships between NDVI, vegetation and rainfall in Etosha National Park, Namibia. *Journal of Arid Environments*, 42, pp.235–260.
- Du Toit, P.C.V. 1997a. Description of a method for assessing veld condition in the Kazoo. *African Journal of Range and Forage Science*, 14(3), pp.90-93.
- Du Toit, P.C.V. 1997b. Grazing-index method procedures of vegetation surveys. *African Journal of Range and Forage Science*, 14(3), pp.107-110.
- Elvidge, C.D. and Chen, Z. 1995. Comparison of broad-band and narrow band red and near infrared vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 54, pp.38–48.
- Erdoğan, N., Ketenöglu, O. ve Bingöl, Ü. 2008. Kabalı Dağı (Çankırı-Çerkeş) florası. *Ot Sistematiği Botanik Dergisi*, 14 (2): s.63-82.
- Fassnacht, K.S. and Gower, S.T. 1997. Interrelationships among the edaphic and stand characteristics, leaf area index, and aboveground net primary production of upland forest ecosystems in North Central Wisconsin. *Can J For Res—Rev Can Rech For*; 27 (7), pp.1058–1067.
- Fırıncıoğlu, K. H. 2004. An assessment of the pasture and forage production of Turkey. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 13, s. 1-2, 14-17. Ankara, Türkiye.
- Field, C.B., Randerson, J.T. and Malmstrom, C.M. 1995, Global net primary production: combining ecology and remote sensing. *Remote Sens. Environ.* 51, pp.74–88.
- Friedl, M.A., Michaelsen, J., Dawis, F.W., Walker, H. and Schimel, D.S. 1994. Estimating grassland biomass and leaf area index using ground and satellite data. *Int. J. Remote Sensing*, 15(7), pp.1401-1420.
- Frouin, R. and Pinker, R.T. 1995. Estimating Photosynthetically Active Radiation (PAR) of the Earth's surface from satellite observations. *Remote Sensing of Environment*, 51, pp.98–107.
- Farquar, G.D., Caemmerer, S.V. and Berry, J.A. 1980. Biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. *Planta*, 51, pp.74-88.
- Foley, J.A. 1994. Net primary productivity in the terrestrial biosphere: the application of a global model. *J. Geophys. Res.* 99 (10), 20773–207984.
- Gao, X., Huete, A.R., Ni, W. and Miura, T. 2000. Optical biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. *Remote Sensing of Environment*, 74, pp.609–620.

- Gautier, C., Diak, G. and Masse, S. 1980. A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite data. *Journal of Applied Meteorology*, 19, pp.1005–1012.
- Geerken, R. and Ilaiwi, M. 2004. Assessment of rangeland degradation and development of a strategy for rehabilitation. *Remote Sensing of Environment* 90 (2004), pp.490–504.
- Gholz, H.Z. 1982. Environmental limits on aboveground net primary production, leaf area and biomass in vegetation zones in the Pacific Northwest. *Ecology* 63, pp.469–481.
- Gobron, N., Pinty, B. and Verstraete, M.M. 1997. Theoretical limits to the estimation of the leaf area index on the basis of visible and near-infrared remote sensing data. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*; 35(6), pp.1438–1445.
- Goetz, S.J., Prince, S.D., Goward, S.N., Thawley, M.M. and Small, J. 1999. Satellite remote sensing of primary production: an improved production efficiency modeling approach. *Ecol. Model.* 122, pp.239–255.
- Goward, S.N. and Hummrich, K.F. 1992. Vegetation canopy PAR absorptance and the normalized difference vegetation index: an assessment using SAIL model. *Remote Sensing of Environment*. 39, pp.119-140.
- Goward, S.N. and Dye, D.G. 1987. Evaluating North American net primary productivity with satellite observations. *Advances in Space Research*, 7, pp.165–174.
- Gower, S.T., Kucharik, C.J. and Norman, J.M. 1999. Direct and indirect estimation of leaf area index, FAPAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sensing of Environment* 70, pp.29–51.
- Green, C.F. 1987. Nitrogen nutrition and wheat growth in relation to absorbed solar radiation. *Agric. For. Meteorol.* 41, pp.207–248.
- Hall, F.G., Huemmrich, K.F. and Goward. S.N. 1990. Use of narrow-band spectra to estimate the fraction of absorbed photosynthetically active radiation. *Remote Sens Environ* 32(1), pp.47–54.
- Hall, D.O. and Rao, K.K. 1994. *Photosynthesis*. Cambridge University Pres. pp.211.
- Hannan, N.P., Prince, S. and Brgur, A. 1995. Estimation of absorbed photosynthetically active radiation and vegetation net production efficiency using satellite data. *Agric. For. Meteorol.* 76, pp.259-276.
- Heinmann, M. and Keeling, C.D. 1989. A three-dimensional model of atmospheric CO₂ transport based on observed winds: 2. Model description and simulated tracer

- experiments. In *Climate Variability in the Pacific and the Western Americas* (D.H. Peterson, Ed.), Am. Geophys. Union, Washington, DC.
- Hielkema, J. U., Prince, S.D. and Astle, W.L. 1986. Rainfall and vegetation monitoring in the savanna zone of the democratic-republic of Sudan using the NOAA advanced very high-resolution radiometer. *International Journal of Remote Sensing*, 7(11), pp.1499– 1513.
- Holben, B.N. 1986. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 7(11), pp.1417–1434.
- Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI), *Remote Sensing of Environment*, Vol.25, pp.295–309.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X. and Ferreira, L.G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens Environ*; 83 (1–2), pp.195–213.
- Hunt, E.R., Jr.Piper, S.C., Nemani, R., Keeling, C.D., Otto, R.D. and Running, S.W. 1996. Global net carbon exchange and intra-annual atmospheric CO₂ concentrations predicted by an ecosystem process model and three dimensional atmospheric transport model. *Global Biogeochem. Cycles* 10, pp.431–456.
- Jianlong, L., Tiangang, L. and Quangong, C. 1998. Estimating grassland yields using remote sensing and GIS Technologies in China. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. Vol 41. pp.31-38.
- Kennedy, P. 1989. Monitoring the vegetation of Tunisian grazing lands using the normalized difference vegetation index. *Ambio*, 18, pp.119-123.
- Ketenoglu, O., Quezel, P., Akman, Y. and Aydoğdu, M. 1983. New syntaxa on the gypsaceous formation in the Central Anatolia. *Ecologia Mediterranea*, IX (3/4): pp.211-221.
- Kogan, F., Stark, R., Gitelson, A., Jargalsaikhan, L., Dugrajav, C. and Tsooj, S. 2004. Derivation of pasture biomass in Mongolia from AVHRR-based vegetation health indices. *Int.J. Remote Sensing*, 25(14), pp.2889-2896.
- Kurt, L., Tuğ, G.N. and Ketenoglu, O. 2006. Synoptic view of the steppe vegetation of Central Anatolia (Turkey). *Asian Journal of Plant Sciences* 5(4), pp.733-739.
- Kurt, L., Kurt, F., Evren, H. and Karakaya, A. 1999. Steppic vegetation of the Eldivan Mountain (Çankırı/Turkey). *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Dergisi*. 11(1): 49-57.
- Law, B.E. and Warring, R.H. 1994. Combining remote sensing and climatic data to estimate NPP across Oregon. *Ecological Applications* Vol.4, pp.717– 728.

- Leblon, B., Guerif, M. and Baret, F. 1991. The use of remotely sensed data in estimation of PAR use efficiency and biomass production of flooded rice. *Remote Sens. Environ* 38, pp.147–158.
- Le Roux, H.X., Gauthier, A., Begue, H. and Sinoquet, H. 1997. Radiation absorption and use by humid savanna grassland: assessment using remote sensing and modelling. *Agricultural and Forest Meteorology* 85, pp. 117-132.
- Le Roux, X. and Mordelet, P. 1995. Leaf and canopy CO₂ assimilation in a West African humid savanna during the early growing season. *J. Trop. Ecol.* 11 (4): 529-545.
- Li, X.W. and Strahler, A.H. 1985. Geometric-optical modeling of a conifer forest canopy. *IEEE Trans Geosci Remote Sens.* Vol. 23(5):705–21.
- Lieth, H. 1975. Modeling the primary productivity of the world. In: Lieth, H., Whittaker, R.H. (Eds.), *Primary Productivity of the Biosphere*. Springer-Verlag, New York, pp. 237–262.
- Lind, M. and Fensholt, R. 1999. The spatio-temporal relationship between rainfall and vegetation development in Burkina Faso. *Danish J. Geog. (Special Issue 2)*, pp.43–55.
- Liu, J., Chen, J.M., Cihlar, J. and Park, W.M. 1997. A process-based boreal ecosystem productivity simulator using remote sensing inputs. *Remote Sens. Environ.* 62:155–175.
- Lobell, D.B., Asner, G.P., Ortiz-Monasterio, J.I. and Benning, T.L. 2002. Remote sensing of regional crop production in the Yaqui Valley, Mexico: estimates and uncertainties. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 94, 205–220.
- Los, S.O., North, P.R.J., Grey, W.M.F. and Barnsley, M.J. 2005. A method to convert AVHRR normalized difference vegetation index time series to a standard viewing and illumination geometry. *Remote Sens Environ*; 99(4):400–11.
- Maissongrande, P., Ruimy, G., Dedieu, G. and Saugier, B. 1995. Monitoring seasonal and interannual variations of gross primary productivity, net primary productivity and net ecosystem productivity using a diagnostic model and remotely sensed data. *Telbus Series B-Chemical and Physical Meteorology*, 47B, pp.178-190.
- Melillo, J.M., McGuire, A.D., Kicklighter, D.W., Moore III, B., Vorosmarty, C.J. and Schloss, A.L. 1993. Global climate change and terrestrial net primary production. *Nature* 363, pp.234–240.
- Merz, J., Small, M.J. and Fischbeck, P. 1992. Measuring Decision Sensitivity: A Combined Monte Carlo-Logistic Regression Approach. *Medical Decision Making*, 12: 189–196.

- Monteith, J.L. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*. Vol. 9, pp.747–766.
- Monteith, J.L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 281, pp.277–294.
- Morgan, G.M. and Henrion, M. 1990. *Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*. Cambridge University Press, NY.
- Möser, W. and Raschke, E. 1983. Mapping of global radiation and of cloudiness from METEOSAT image data: theory and ground truth comparisons. *Meteorologische Rundschau*, 36, pp.33–41.
- Mukhala, E. and Hoefsloot, P. 2004. *AgrometShell Manual*. Agrometeorology Group, Environment and Natural Resources Service, Food and Agricultural Organization Rome, Italy.
- Munzur, M. 1989. *Fodder Development, Rangeland Rehabilitation and Management*. TARM, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Yayın No:3. Ankara, Turkey.
- Myneni, R.B. and Williams, D.L. 1994. On the relationship between fAPAR and NDVI. *Remote Sens Environ*; 49(3):200–11.
- Nemani, R.R., Keeling, C.D., Hashimoto, H., Jolly, W.M., Piper, S.C., Tucker, C.J., Myneni, R.B. and Running, S.W. 2003. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. *Science* 300 (5625), pp.1560– 1563.
- Neter, J., Kutner, M.H., Nachtsheim, C.J. and Wasserman, W. 1996. *Applied Linear Statistical Models*. R.R. Donnelley & Sons Company, pp.17-21, USA.
- Nicholson, S. E., Davenport, M. L. and Malo, A.R. 1990. A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa, using normalized difference vegetation index from NOAA AVHRR. *Climate Change*, 17, 209– 241.
- Nouvellon, Y., Seen, D.L., Rambal, S., Begue, A., Mora, M.S., Kerr, Y. and Qi, J. 2000. Time course of radiation use efficiency in a shortgrass ecosystem: consequences for remotely sensed estimation of primary production. *Remote Sensing of Environment* 71, pp.43– 55.
- O’Connell, K.E.B., Gower, S.T. and Norman, J.M. 2003. Comparison of net primary production and light-use dynamics of two boreal black spruce forest communities. *Ecosystems* 6, 236–247.
- Olofsson, P., Van Laake, P. and Eklundh, L. 2007. Estimation of absorbed PAR across Scandinavia from satellite measurements Part I: Incident PAR. *Remote Sensing of Environment* 110 (2007), pp.252–261.

- Pan, G., Sun, G. and Li, F.M. 2009. Using QuickBird imagery and a production efficiency model to improve crop yield estimation in the semi-arid hilly Loess Plateau, China. *Environmental Modelling & Software* 24, pp.510–516.
- Paruelo, J.M., Howard, E.R., Epstein, E., Lauenroth, W.K. and Burke, I.C. 1997. ANPP Estimates from NDVI for the Central Region of the United States. *Ecology*, 78(3), pp.953-958.
- Prince, S.D. 1991a. Satellite remote sensing of primary production: comparison of results for Sahelian grasslands 1981–1988. *International Journal of Remote Sensing*, 12, pp.1301–1311.
- Prince, S.D. 1991b. A model of regional primary production for use with coarse resolution satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 12, pp.1313–1330.
- Prince, S.D. and Goward, S.N. 1995. Global primary production: a remote sensing approach, *Journal of Biogeography*, Vol.22, pp.815-835.
- Potter, C.S., Randerson, J.T., Field, C.B., Matson, P.A., Vitousek, P.M. and Klooster, S.A. 1993. Terrestrial ecosystem production: A process model based on global satellite and surface data. *Global Biogeochemical Cycles*, 7, pp.811-841.
- Rasmussen, M.S. 1998a. Developing simple, operational, consistent NDVI vegetation models by applying environmental and climatic information. Part I. Assessment of net primary production. *International Journal of Remote Sensing*, 19, 97–117.
- Rasmussen, M.S. 1998b. Developing simple, operational, consistent NDVI vegetation models by applying environmental and climatic information. Part II. Crop yield assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 19, pp.119–139.
- Reeves, M.C., Winslow, J.C. and Running, S.W. 2001. Mapping weekly rangeland vegetation productivity, *Journal of Range Management*, 54(suppl):A90–A105.
- Richardson, A.J. and Wiegand, C.L. 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43, pp.1541–1552.
- Richters, J. 2005. Biomass changes In north-western Namibia: First results from a remote sensing modelling approach. *EARSeL eProceedings*, 4(2), pp.157-170.
- Rose, K.A., Smith, E.P., Gardner, R.H., Brenkert, A.L. and Bartell, S.M. 1991. Parameter Sensitivities, Monte Carlo Filtering, and Model Forecasting Under Uncertainty. *J. Forecast* Vol.10, pp.117–133.
- Rosenweig, M.L. 1968. Net primary productivity of terrestrial communities: prediction from climatological data. *Am. Nat.* 102, pp.67–74.

- Roux, P.W. 1963. The descending point method of vegetation survey. A point sampling method for the measurement of semi-open grasslands and Karoo vegetation in South Africa. *South African Journal of Agricultural Science*, 5:273-288.
- Ruimy, A., Saugier, B. and Dedieu, G. 1994. Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data. *J. Geophys. Res.* 99: pp.5263–5283.
- Running, S.W., Baldocchi, D.D., Turner, D.P., Gower, S.T., Bakwin, P.S. and Hibbard, K.A. 1999. A global terrestrial monitoring network integrating tower fluxes, flask sampling, ecosystem modeling and eos satellite data. *Remote Sens Environ*; 70(1):108–27.
- Running, S. W. and Hunt, E.R. 1993. Generalization of a forest ecosystem process model for other biomes, BIOME- BGC, and an application for global-scale models. In *Scaling Sens. Physiological Processes: Leaf to Globe* (J. R. Ehleringer, and C. B. Field, Eds.), Academic, San Diego, CA, pp.141–158.
- Running, S.W. and Nemani, R.R. 1988. Relating seasonal patterns of the AVHRR vegetation index to simulated photosynthesis and transpiration of forests in different climates. *Remote Sens. Environ.* 24, pp.347–367.
- Saltelli, A. and Marivort, J. 1990. Non-Parametric Statistics in Sensitivity Analysis for Model Output: A Comparison of Selected Techniques. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 28:299–253.
- Sannier, C.A.D., Taylor, J.C. and Du Plessis, W. 2002. Real-time monitoring of vegetation biomass with NOAA-AVHRR in Esotoha National Park, Namibia, for fire risk assessment. *Int. J. Remote Sensing*, 23 (1), pp.71-89.
- Schowengerdt, R.A. 1983. *Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing* (New York: Academic Press).
- Seaquist, J.W., Olsson, L. and Ardö, J. 2003. A remote sensing based primary production model for grassland biomes. *Ecological Modeling* 169, pp.131–155.
- Sellers, P.J. 1987. Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration 2. The role of biophysics in the linearity of their interdependence. *Remote Sens Environ*;21(2):143–83.
- Sellers, P.J., Tucker, C.J., Collatz, G.J., Los, S.O., Justice, C.O. and Dazlich, D.A. 1994. A global 1-degrees-by-1-degrees NDVI data set for climate studies. 2. The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from the NDVI. *Int J Remote Sens*;15(17):3519–45.
- Shevenell, L. and Hoffman, F.O. 1993. Necessity of Uncertainty Analyses in Risk Assessment. *J Hazard Mater.* Vol.35, pp.369–385.

- Sims, P.L. and Singh, J.S. 1978a. The structure and function of ten western North America grasslands. II. Intra-seasonal dynamics in primary producer compartments. *J. Ecol.* 66: pp.251–285.
- Sims, P.L. and Singh, J.S. 1978b. The structure and function of ten western North America grasslands. III. Net primary production, turnover, and efficiencies of energy capture and water use. *J. Ecol.* 66: pp.251–285.
- Sims, P.L., Singh J.S. and Lauenroth, W. 1978c. The structure and function of ten western North America grasslands. Abiotic and vegetational characteristics. *J. Ecol.* 66: pp.251–285.
- Stephenson, N.L. 1990. Climate control of vegetation distribution: the role of the water balance. *Am. Nat.* 135, pp.649–670.
- Tarman, Ö. 1972. Yem Bitkileri, Çayır ve Mera Kültürü. Cilt 1 Genel Esaslar. Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 464, Ders Kitabı:157, Ankara.
- Tarpley, J.D. 1979. Estimating incident solar radiation at the earth's surface from geostationary satellite data. *Journal of Applied Meteorology*, 18, pp.1172–1181.
- Thoma, D. 1998. Near real-time satellite and ground based radiometric estimation of vegetation biomass, and nitrogen content in Montana rangelands. MS Thesis. Montana State University, Bozeman Mont.
- Tidmarsh, C.E.M. and Havenga, C.M. 1955. The wheel-point method of survey and measurement of semi-open grasslands and Karoo vegetation in South Africa. *Memoirs of the Botanical Survey of South Africa*, No. 29.
- Todd, S.W., Hoffer, R.M. and Milchunas, D.G. 1998. Biomass estimation on grazed and ungrazed rangelands using spectral indices. *Int. Journal of Remote Sensing*, , vol. 19, no. 3, pp.427- 438.
- Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8, pp.127–150.
- Tucker, C.J., Vanpraet, C., Boerwinkel, E. and Gaston, A. 1983. Satellite remote sensing of total dry matter production in the Senegalese Sahel. *Rem. Sens. Env.* 13, pp.461–474.
- Tucker, C. J., Dregne, H. E. and Newcomb, W.W. 1991. Expansion and contraction of the Sahara desert from 1980 to 1990. *Science*, 253, pp.299– 301.
- Wang, J., Price, K. P. and Rich, P.M. 2001. Spatial patterns of NDVI in response to precipitation and temperature in the central Great Plains. *International Journal of Remote Sensing*, 22(18), pp.3827– 3844.

- Warnant, P., Francois, L., Strivay, D. and Ge'ard, J.C. 1994. CARAIB: a global model of terrestrial biological productivity. *Glob. Biogeochem. Cycles* 8 (3), pp.255–270.
- Wessels, K.J., Prince, S.D., Zambatis, N., MacFadyen, S., Frost, P.E. and Van Zyl, D. 2006. Relationship between herbaceous biomass and 1-km² Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) NDVI in Kruger National Park, South Africa. . *Int. J. Remote Sensing*, 27 (5), pp.951-973.
- Wight, J.R. and Hanks, R.J. 1981. A water-balance, climate model for range herbage production. *J. Range Manage.* 4, pp.307–311.

EKLER

EK 1 NDVI Toprak Yansıması Düzeltmesi

EK 2 Gerçek Evapotranspirasyon (AET) Hesaplaması

EK 3 Potansiyel Evapotranspirasyon (PET) Hesaplaması

EK 4 Toprak Analizi Sonuçları

EK 5 Örneklem Noktası Kuadrat Ölçümleri

EK 6 Botanik Kompozisyon Ölçüm Sonuçları

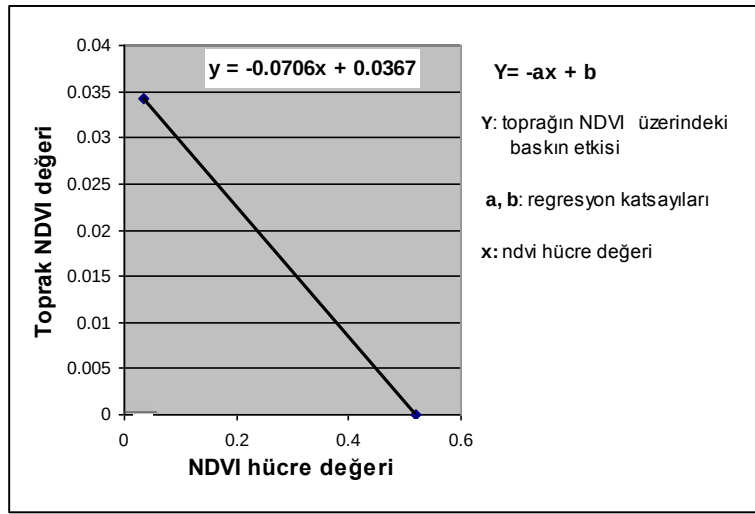
EK 1 NDVI Toprak Yansıması Düzeltmesi

NDVI değeri, Işık Kullanım Etkinliği Modelinde temel girdilerden biri olan bitkilerce absorbe edilen ışık miktarı oranını (FPAR) hesaplamada kullanılmaktadır. Normalleştirilmiş farklılık vejetasyon indeksi (NDVI), uydu verilerinden üretilmektedir. NDVI verileri ile ayrıntılı bilgiler Materyal ve Yöntem bölümünde verilmiştir.

NDVI ölçüsünün özellikle vejetatif örtünün az, toprağın baskın olduğu yerlerde biyokütle verimliliğinin belirlenmesinde doğruluğun azaldığı bilinmektedir (Huete, 1988). Örneğin vejetatif örtü oranı %100'den %0'a doğru azaldıkça, NDVI değerinin toprak özelliklerine olan hassasiyeti artmakta ve nihayetinde vejetatif özellikleri temsil etme kabiliyeti azalmaktadır (Richardson ve Wiegand 1977, Gao vd. 2000). Özellikle yarı-kurak bölgelerde ve kısa boylu bitkilerin hâkim olduğu mera alanlarında, toprağın baskın yansıma etkisinin NDVI değerleri üzerinde oluşturduğu ilave yansıma değerlerinin normalize edilmesi, diğer bir ifade ile bu ilave yansımanın kaldırılması gereklidir (Schowengerdt 1983, Blackburn ve Steele 1999, Lind ve Fensholt 1999). Bu bölümde toprağın baskın etkisini ortadan kaldırmak için uygulanan toprak yansıma düzeltmesi işlemi açıklanmıştır.

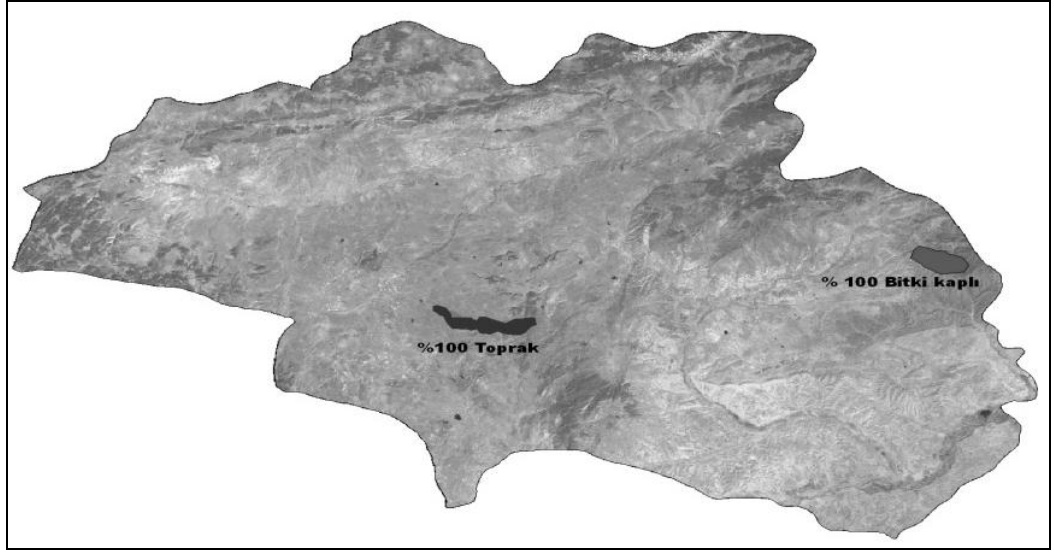
Toprak yansıma etkisinin düzeltilmesi için öncelikle, bitkinin olmadığı ve tamamen toprak ile kaplı alanın NDVI değerinin, ki bunu toprak referans değeri (TRD) olarak gösterirsek, bilinmesi gereklidir. Referans toprak NDVI değeri olarak kabul edilen TRD, uydu verisindeki her pikselin orijinal NDVI değerinden çıkarılarak sadece bitki NDVI değeri bulunmaktadır. Burada şu husus önemlidir, NDVI değerinden TRD değerinin çıkarılması orantısal şekilde yapılmasıdır. Bu orantısal çıkarma işlemi, çıplak toprağı temsil eden piksellerin NDVI değerlerinden, TRD değeri %100 oranında olacak şekilde yapılırken, tamamıyla bitki ile kaplı bölgeyi temsil eden piksellerin NDVI değerlerinden de %0 oranında olacak şekilde çıkarma işlemi uygulanmalıdır. Bu ikisi (Tamamıyla toprak ve tamamıyla bitki ile kaplı) arasında kalan bölgeleri (toprak ve bitkinin bir arada olduğu yerler) temsil eden piksel değerlerinden çıkarma işlemi için

ise, doğrusal regresyon ile elde edilen ölçeklendirilmiş TRD değeri kullanılmıştır (Şekil.1). Doğrusal regresyon eşitliği ile bulunan ilişki (y) bize, toprağın NDVI üzerindeki baskın etkisini göstermektedir. Çıplak toprak ve tam bitki ile kaplılık değerleri 10 günlük dönemler içinde değişikliğe uğradığı için bu regresyon eşitliği her 10 günlük dönem için değişmiştir ve her 10 günlük dönem için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Dolayısıyla 2000-2009 yılları arasında ve her yılın vejetatif dönemi için 14 adet on günlük bulunması itibarıyla toplam 140 adet görüntüde farklı doğrusal regresyon eşitliği kullanılmıştır.



Şekil 1 TRD'yi ölçeklendiren doğrusal regresyon (2009, 1-10 Ağustos dönemi)

Regresyon katsayılarının bulunması için; tamamen bitki ile kaplı ve tamamen çıplak toprağı temsil eden pikseller, detaylı uydu görüntüleri (SPOT, 10 metre çözünürlüklü) üzerinden tespit edilerek toprak ve bitki örtüsü poligonları oluşturulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2 Her daim toprak ve bitki örtüsü olan bölgeleri kaplayan poligonlar

Bu bölgeler ayrıca arazi çalışmalarında da ziyaret edilerek konumları doğrulanmıştır. Toprak ve bitki poligonlarının NDVI değerleri, zonal istatistik ile hesaplanmış ve regresyon eşitliğinde ilgili yerlerine konularak her 10 günlük dönem için eşitlikteki y değeri hesaplanmıştır. Her dönem için hesaplanan ilave toprak yansıması değerleri (y) daha sonra o dönemlere ait NDVI değerlerinden çıkartılarak, elde edilen düzeltilmiş NDVI değerleri, FPAR hesaplanmasında kullanılmıştır.

EK 2 Gerçek Evapotranspirasyon (AET) Hesaplaması

AET değerleri FAO AgrometShell-Su Bütçesi Modeli ile hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler, 2000-2009 yılları arasındaki, her yılın vejetatif dönemi kapsayan (20 Mart-10 Ağustos) 10'ar günlük toplam değerlerdir.

AgrometShell, FAO tarafından ürün izleme ve verim tahmini amacıyla 2000'li yıllarda geliştirilmiş Delphi programlama dilinde yazılmış bir programdır. Programın esası su bütçesi modeline dayanmakta olup, meteorolojik verileri, uzaktan algılama verilerini ve sosyo-ekonomik veri setlerini birleştiren bir yapıdadır. AgrometShell programı, AET hesaplamasında aşağıdaki bilgileri temel girdi olarak kullanmaktadır:

- Meraların (Tarımsal ürünün) ilk yeşillenmeye başladığı dönem (10 günlük)
- Vejetasyon dönemi uzunluğu (10 günlük olarak),
- Toprak su tutma kapasitesi (mm),
- Etkin yağış yüzdesi,
- Vejetatif dönem öncesi bitki faktörü (K_{cr}),
- Vejetatif dönem bitki faktörü (K_c)
- Sulama uygulaması

Bu bilgiler, meteoroloji istasyonların bulunduğu yerlerdeki değerlerdir. Dolayısıyla her değer, her istasyon için belirlenmelidir. Yukarıda verilen bilgilerin elde edilme yöntemleri özetle şu şekildedir;

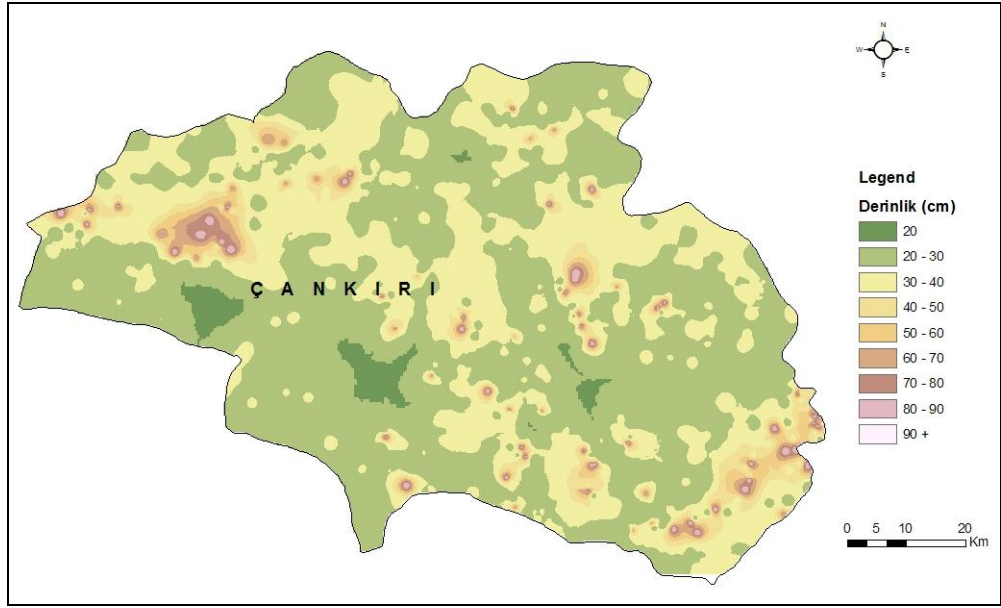
İlk yeşillenmeye başladığı dönem ve **vejetatif dönem uzunluğu**, fenoloji takviminden elde edilmiştir. Örneğin, Çankırı merkez meteoroloji istasyonu için, meraların ilk yeşillenmeye başladığı dönem olan 9. on günlük dönem (Mart ayının üçüncü haftası - 20 Mart), ve yine aynı bölgede vejetatif dönem uzunluğu ise bu tarihten başlayarak Ağustos 2. haftasına kadar süren ve yaklaşık 5,5 aylık dönemi kapsayan zaman aralığıdır. Bu zaman aralığı da 15 adet 10 günlüğün toplamına tekabül etmektedir.

Dolayısıyla, Çankırı meteoroloji istasyonuna girilecek veriler, yeşillenmenin başladığı dönem için 9, vejetatif dönem uzunluğu için ise 15’dir.

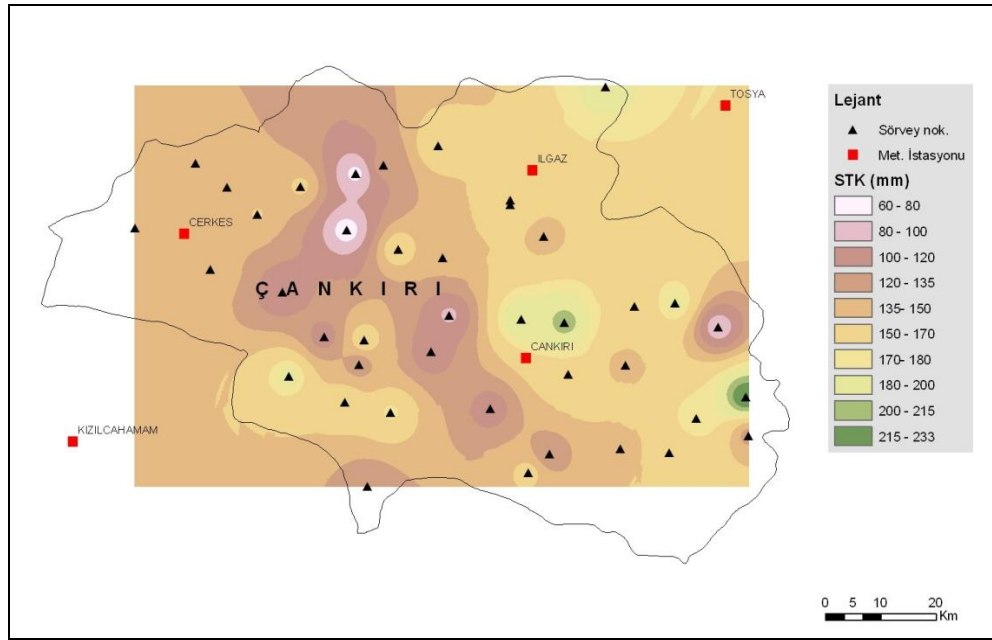
Toprak su tutma kapasitesi ise, il sınırları içindeki istasyonlar (3 istasyon) için toprak verilerinden elde edilen toprak derinliği ile arazi çalışmalarında belirlenen tarla kapasitesi ve solma noktası arasındaki farkın toprak derinliği ve hacim ağırlığının çarpımı ile bulunmuştur. Daha önce belirtildiği gibi toprak verileri vektörel tabanlı poligon haritalarından oluşmaktadır ve veri tabanlarında büyük toprak grupları (BTG) ve toprak özellikleri kombinasyonları (TOK) bilgisini ihtiva etmektedir. Bu iki bilgiden faydalanmak suretiyle toprak haritalarının lejant bilgisi üzerinden her poligon için ortalama toprak derinliği hesaplanarak veri tabanına girilmiştir. Toprak derinliği bilgisini içeren poligonlardan “Inverse Distance” yöntemi ile interpolasyon tekniği uygulanmış ve il genelinde toprak derinlik haritası oluşturulmuştur (Şekil 1). İl sınırı içinde mevcut 3 meteoroloji istasyonunun toprak su tutma kapasitesinin bulunması için, 41 noktada ölçüm yapılan arazi verileri ile derinlik haritası “Overlay Analizi” yapılarak etüt noktalarındaki toprak derinliği elde edilmiştir. Daha sonra her nokta için su tutma kapasitesi (STK);

$$STK = (nem / 100) * hacim ağı (gr/cm^3) * derinlik (mm) \quad (EK 2.1)$$

eşitliği ile mm cinsinden hesaplanmıştır. Noktasal bazda hesaplanan STK’lar yine interpolasyon yöntemi ile hücresel veriye dönüştürülmüştür (Şekil 2). İl genelinde yürütülen arazi çalışmalarının Kuzey ve Doğu’da azami sınırları ilin tamamını kapsayacak durumda olmadığı için, interpolasyon ile üretilen STK verisi de ilin tamamını kapatmamaktadır. Fakat diğer taraftan, il sınırları içinde mevcut 3 meteoroloji istasyonunun su tutma kapasiteleri, STK verisi üzerinden hücresel değerler okutularak elde edilmiştir.



Şekil 1 Toprak derinlik haritası



Şekil 2 Toprak su tutma kapasitesi

İl sınırları dışındaki istasyonlar için ise, su tutma kapasitesi Toprak Su Genel Müdürlüğünün Kızılırmak Havzasını içeren verilerden elde edilmiştir. Kızılırmak Havzası, Fırat'tan sonra Türkiye'nin ikinci büyük havzasıdır ve İç Anadolu'nun doğu bölümündedir. Çankırı il sınırının da büyük bölümü bu havza içinde yer alır (Anonim,

1974). Mülga Toprak Su Genel Müdürlüğünün 1970’li yıllarda Kızılırmak havzası genelinde yapmış olduğu toprak etütleri sonuçlarından oluşmaktadır. Etütler 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanılarak ortalama 1,5 km aralıklı sondalar atılarak, havza toprakları toprak oluşumlarına ve kullanım özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Toprak oluşumlarına göre, Büyük Toprak Grupları olarak kullanım özelliklerine göre de eğim, derinlik, bünye, tuzluluk ve drenaja göre her grup alt sınıflarına ayrılmıştır. Havza genelinde toplam 33 noktada etüt yapılmış. Toprak analizlerinden etüt noktalarının su tutma kapasiteleri belirlenmiş. Etüt noktaları ile meteoroloji istasyonları birbirleri ile çakışmasa da, her ikisinin de Kızılırmak havzalarında bulunması ve benzer toprak grupları üzerinde yer alması sebebiyle, Çankırı il sınırları dışında kalan meteoroloji istasyonlarının STK değerleri için, Kızılırmak havza çalışmasında belirlenen bu değerler kullanılmıştır.

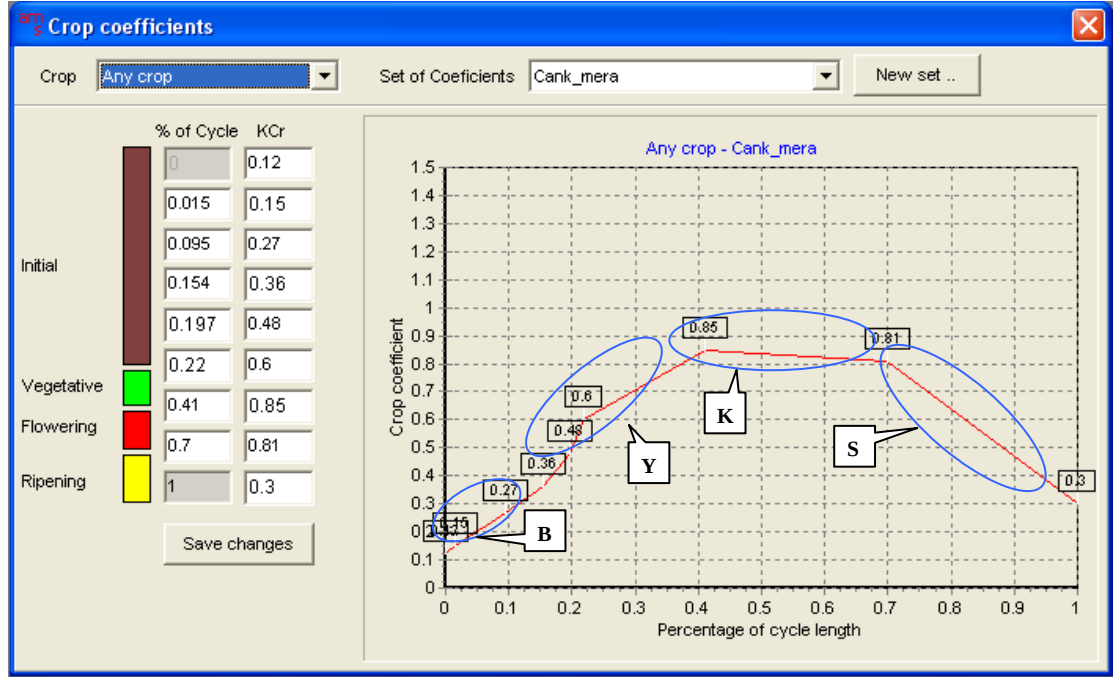
Etkin yağış yüzdesi, 0-100 arasında değişmektedir ve eğimli arazilerde bu değer %100’den küçük, nispeten düz arazilerde ise bu değer %100 olarak girilmiştir. FAO’nun Artemis projesi çerçevesinde bu değer bütün istasyonlar için 100 olarak girilmektedir. Fakat bu doktora çalışmasında etkin yağış yüzdesini, eğim sınıflarına göre gruplandırarak belirlemenin, doğruluğu arttıracakı düşünülmüştür. Bu amaçla istasyonların bulundukları yerlerin eğim oranları arazi yükseklik modelinden oluşturulan eğim haritasından tespit edilmiş ve istasyonların eğim derecelerine göre etkin yağış yüzdesi 3 grupta toplanmış ve her istasyon için bu değerler girilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1 Eğim sınıfları ve etkin yağış yüzdeleri

Eğim (%)	Etkin yağış (%)
0,2 – 9,63	100
9,63 -17,03	95
17,03 – 27,94	90

Vejetatif dönem öncesi bitki faktörü değeri (Kcr) bitki türüne göre değişmekle birlikte, benzer çalışmalarda bu değer yaklaşık 0,15 olarak belirlenmiştir (Allen vd. 1998). Çankırı meralarının çoğu kıraç niteliğinde olarak değerlendirilmesi sebebiyle bu çalışmada Kcr değeri 0,1 olarak alınmıştır.

Vejetatif dönem bitki faktörü (Kc), ise sabit olmayıp, vejetatif dönemler (Başlangıç dönemi, yeşillenme, tam kaplama ve sararma) içinde değişkenlik göstermektedir. Vejetatif dönem başlangıcından (20 Mart), sararma dönemi sonuna (10 Ağustos) kadar olan safhayı, gelişimin %100'ü olarak değerlendirdiğimizde; vejetatif dönem içinde (Başlangıç-B, yeşillenme-Y, tam kaplama-K ve sararma-S) bitki faktörü değerlerinin önce yükselerek artması, tam kaplama döneminde en yüksek değerine ulaşması ve sararma dönemine doğru azalmaya başlaması şeklinde değişim göstermesi beklenir. Bu durum bize bir çan eğrisi şeklini vermektedir. Bitki faktörleri değerleri bu 4 safha sürecine eşleştirilmek suretiyle çalışma alanına özgü Kc grafiği hazırlanmıştır (Şekil.3). Vejetatif dönem boyunca bitkideki fiziksel değişimler ve toprağı kaplama oranındaki artıştan dolayı, her dönem için farklı Kc değerlerinin girilmesini gerektirmektedir. Bu amaçla hazırlanan tablosal veriler, farklı bitki türleri için farklı dönemlerdeki Kc değerlerinin listesini vermektedir (Anonymous 1998). Buradaki değerler kesin değerler olmayıp, coğrafi şartlara göre verilen Kc değerlerinde değişiklikler olabilmektedir. Tabloda verilen katsayılar, genelleştirilmiş değerlerdir. Tablodan otlatma amaçlı olarak kullanılan meraların Kc değerleri; başlangıç dönemi için 0,30, vejetatif dönemde 0,75 ve tam kaplama ve sararma döneminde 0,75 katsayıları, Çankırı'nın mera yapısı dikkate alınarak değiştirilmiş ve aşağıdaki mera grafiğinde görüldüğü şekilde kullanılmıştır. Bu grafik, su bütçesinin hesaplanması sırasında AgrometShell tarafından bir girdi dosyası olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3 Vejetatif dönem bitki faktörü (Kc) değişimi

Sulama uygulaması değerinin girilmesinde iki seçenek mevcuttur. İstasyonların yer aldığı bölgedeki alanlarda sulama işlemi yapılıyorsa 1 değeri, yapılmıyorsa 0 değeri her istasyon için girilmelidir. Genelde meralarımızda herhangi bir sulama faaliyeti yapılmadığı için çalışma alanı içindeki istasyonların sulama uygulaması için 0 değeri girilmiştir.

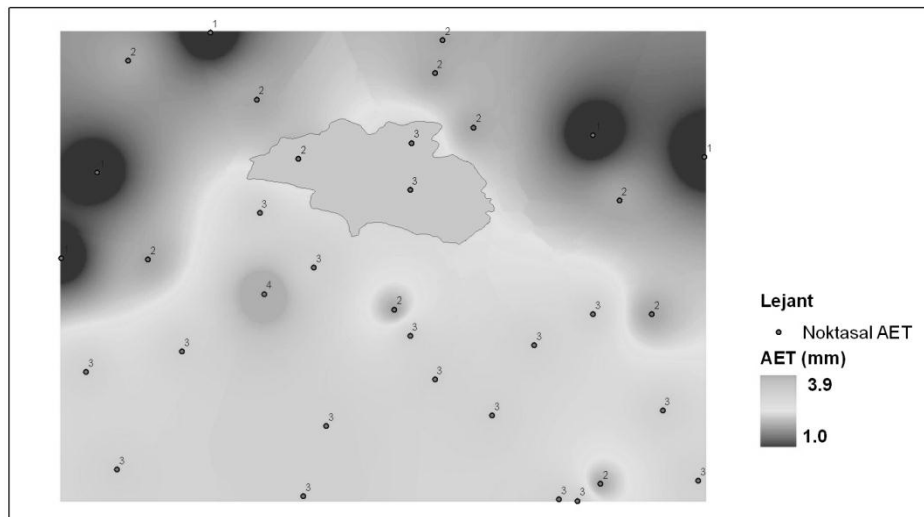
Daha önceden bahsedildiği gibi, AET hesaplamasında AgrometShell programının girdi olarak ihtiyaç duyduğu bu veriler, her istasyon için ayrı ayrı girilmektedir ve programın kullanacağı dosya olarak kaydedilmektedir. Buna ait örnek Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2 Su bütçesi modeli girdi dosyası (AET hesaplaması için)

No	M. İstasyonu Adı	Yeşillenme	Vejetatif dönem uzunluğu	STK	Etkin yağış (%)	Kcr	Sulama uygulaması
1	ANKARA BOLGE	9	15	60	95	0.1	0
2	AVANOS	9	15	15	100	0.1	0
3	BARTIN	7	13	100	95	0.1	0
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
36	YUNAK	10	16	60	100	0.1	0

AgrometShell programı çalıştırıldığında su bütçesi modeli girdi dosyasındaki veriler analiz edilerek, bütün meteoroloji istasyonları için AET değerlerini, istenen yıl için on günlük dönemler halinde otomatik olarak listelemektedir (Şekil 4).

AgrometShell çıktısında istasyon bazlı olarak tablosal veri (10 günlük) şeklinde oluşturulan AET değerleri daha sonra CBS yazılımı ile noktasal haritalara dönüştürülmüştür. Her nokta bir meteoroloji istasyonunun yerini göstermektedir ve içerik bilgisinde gerçek evapotranspirasyon değerini kapsamaktadır. Inverse Distance” interpolasyon tekniği ile raster görüntüye dönüştürülmüştür (Şekil 5).



Şekil 5 Noktasal ve raster AET verisi (20-31 Mart 2000)

AgrometShell [D:\ediz\doktora\ydyll\Agrometshell 1.51\Database\daily.mdb]

File Edit View Database Water balance Interpolate Tools My menu Help

Stat 1 Stat 2 Stat 3 day dekad month dekad month new edit run view image menu history

SEDI Viewer [D:\junk\ÇANKIRI_2009_ActualET_Dekad_Output.dat]

Add Image Add Data Add Graph Add Text

soil water storage in millimeter [crop] actual evapotranspiration [crop] water satisfaction index [crop] soil water surplus or def summary file with all parameters annual variation of Range-land i

Line No	NAME-CROP	Id	X	Y	Z	H	E	P	C	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16
3	"ANKARA BOLGE-Any crop"	11	32.87	39.97	891	60	95	9	15	2	6	9	13	18	35	31	10	10	6	4	10	0	0	0	-999
4	"AVANOS-Any crop"	11	34.85	38.73	950	15	100	9	15	2	4	7	12	15	15	3	0	4	18	11	23	5	0	0	-999
5	"BARTIN-Any crop"	11	32.33	41.63	30	100	95	7	13	1	2	5	12	16	15	17	27	26	27	21	18	3	-999	-999	-999
6	"BEYPAZARI-Any crop"	11	31.93	40.17	682	82	100	8	14	1	3	7	15	14	19	32	29	24	0	6	4	2	0	-999	-999
7	"BOGAZLIYAN-Any crop"	11	35.25	39.20	1067	60	100	10	16	2	4	6	10	22	24	26	0	4	2	26	0	0	0	0	10
8	"BOLU-Any crop"	11	31.60	40.73	743	60	100	8	15	1	3	7	14	14	20	31	29	24	0	28	20	16	15	10	-999
9	"CANKIRI-Any crop"	11	33.62	40.62	751	56	95	9	15	1	4	7	10	13	25	26	30	32	24	29	16	2	2	0	-999
10	"CERKEŞ-Any crop"	11	32.90	40.82	1126	35	100	10	16	2	4	5	9	20	21	29	12	23	15	24	28	10	0	0	9
11	"CICEKDAĞI-Any crop"	11	34.42	39.62	900	42	100	9	15	2	5	7	11	14	28	25	6	7	3	21	10	1	0	0	-999
12	"CIHANBEYLI-Any crop"	11	32.93	38.65	969	50	100	9	15	2	4	8	11	15	29	31	24	11	2	25	11	0	0	0	-999
13	"CORUM-Any crop"	11	34.97	40.55	776	28	100	8	15	1	3	6	11	13	15	29	24	24	5	33	21	18	18	11	-999
14	"DEVREKANI-Any crop"	11	33.83	41.58	1050	72	100	10	16	2	4	6	8	18	20	27	25	27	27	18	26	17	16	13	8
15	"ESENBOGA-Any crop"	11	33.00	40.12	949	76	100	9	15	1	3	5	8	11	20	20	35	39	7	5	14	0	0	0	-999
16	"ETİMESGUT MEYDAN-Any crop"	11	32.68	39.95	799	60	100	9	15	2	4	7	11	14	28	29	14	12	13	6	11	0	0	0	-999
17	"ILGAZ-Any crop"	11	33.63	40.92	885	30	95	9	15	2	4	7	11	14	25	24	17	11	20	18	20	23	13	0	-999
18	"KAMAN-Any crop"	11	33.78	39.40	1075	40	100	10	16	2	5	5	11	23	25	15	17	2	10	21	0	0	0	0	10
19	"KARABUK-Any crop"	11	32.63	41.20	278	60	95	7	13	1	2	5	12	15	15	14	23	23	25	18	18	8	-999	-999	-999
20	"KASTAMONU-Any crop"	11	33.78	41.37	800	60	100	9	15	2	5	8	13	15	28	31	39	37	34	33	19	23	15	11	-999
21	"KAYSERİ BOLGE-Any crop"	11	35.48	38.75	1093	60	100	10	16	3	6	9	13	27	31	23	15	2	17	32	18	0	0	0	6
22	"KEŞKİN-Any crop"	11	33.62	39.68	1140	60	100	10	16	2	5	6	10	23	23	29	19	2	9	3	0	0	0	0	12
23	"KIRIKKALE-Any crop"	11	33.52	39.85	748	60	100	8	15	1	3	7	13	13	16	31	29	30	14	3	6	6	0	0	-999
24	"KIRSEHİR BOLGE-Any crop"	11	34.15	39.17	1007	90	100	10	16	2	5	6	10	24	26	34	34	11	19	4	0	0	0	0	10
25	"KIZILCAHAMAM-Any crop"	11	32.65	40.47	1033	16	90	10	16	2	4	5	10	18	23	18	11	17	5	27	2	11	0	0	10
26	"KULU-Any crop"	11	33.08	39.10	1010	88	100	10	16	2	5	5	10	22	24	32	34	9	5	2	0	0	0	0	12
27	"MERZİFON-Any crop"	11	35.52	40.83	544	60	100	7	14	1	2	5	10	13	16	15	25	21	26	8	17	15	8	-999	-999
28	"NALLİHAN-Any crop"	11	31.37	40.18	650	25	100	8	14	1	4	8	15	14	20	12	14	2	2	29	18	2	-999	-999	-999
29	"NEVSEHİR-Any crop"	11	34.70	38.62	1260	30	90	11	16	2	4	7	18	22	13	11	12	5	28	14	0	0	0	6	5
30	"OSMANCIK-Any crop"	11	34.80	40.97	410	70	95	7	13	1	3	6	13	17	19	18	29	28	30	23	20	14	-999	-999	-999
31	"POLATLI-Any crop"	11	32.15	39.58	886	60	100	9	15	2	5	8	10	15	30	31	18	7	4	0	2	0	2	0	-999
32	"SIVRİHİSAR-Any crop"	11	31.53	39.45	1070	50	100	10	16	2	5	6	11	24	26	34	23	5	3	2	0	1	0	4	9
33	"SORGUN-Any crop"	11	35.18	39.82	1110	60	100	10	16	2	5	6	9	20	20	28	26	24	3	22	6	0	0	0	9
34	"TOSYA-Any crop"	11	34.03	41.02	870	75	100	9	15	1	4	7	11	13	24	25	32	30	34	30	18	24	16	12	-999
35	"URGUP-Any crop"	11	34.58	38.63	1060	23	100	10	16	3	6	9	13	23	6	0	8	9	13	32	11	0	0	0	8
36	"YOZGAT-Any crop"	11	34.80	39.82	1298	60	95	11	17	3	5	7	16	19	27	29	36	34	28	12	0	0	0	8	6
37	"YUNAK-Any crop"	11	31.73	38.82	1140	60	100	10	16	3	7	8	14	29	34	4	2	2	2	0	0	0	0	0	7
38	"ZONGULDAK BOLGE-Any crop"	11	31.80	41.45	137	60	90	7	13	2	2	7	12	19	17	26	33	30	14	19	16	8	-999	-999	-999

Şekil 4 AgrometShell su bütçesi model çıktısı

EK 3 Potansiyel Evapotranspirasyon (PET) Hesaplaması

PET (mm), tamamen bitki ile kaplı ve sınırsız toprak suyunun mevcut olduğu arazide terleme yoluyla kaybolan su miktarını ifade eder. PET, aynı zamanda spesifik bir bölgede ve belirli bir zamanda atmosferin buharlaştırma gücü olarak tarif edilebilir. PET ölçümü genelde zor bir yöntem olup, Lizimetre gibi özel ve pahalı cihazlarla veya sık ölçüm gerektiren buharlaşma tekneleriyle ölçülebilir. Potansiyel evapotranspirasyonu belirleyen en önemli faktör iklim parametreleridir, dolayısıyla PET bir iklim parametresi olarak değerlendirilir ve iklim verilerinden hesaplanabilir. FAO Penman-Monteith Yöntemi (Anonymous, 1998) PET hesaplamasında sık kullanılan yöntemlerden biridir. Yöntem güneşlenme, sıcaklık, nem ve rüzgar hızı verilerine ihtiyaç duymaktadır.

PET hesaplamada aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

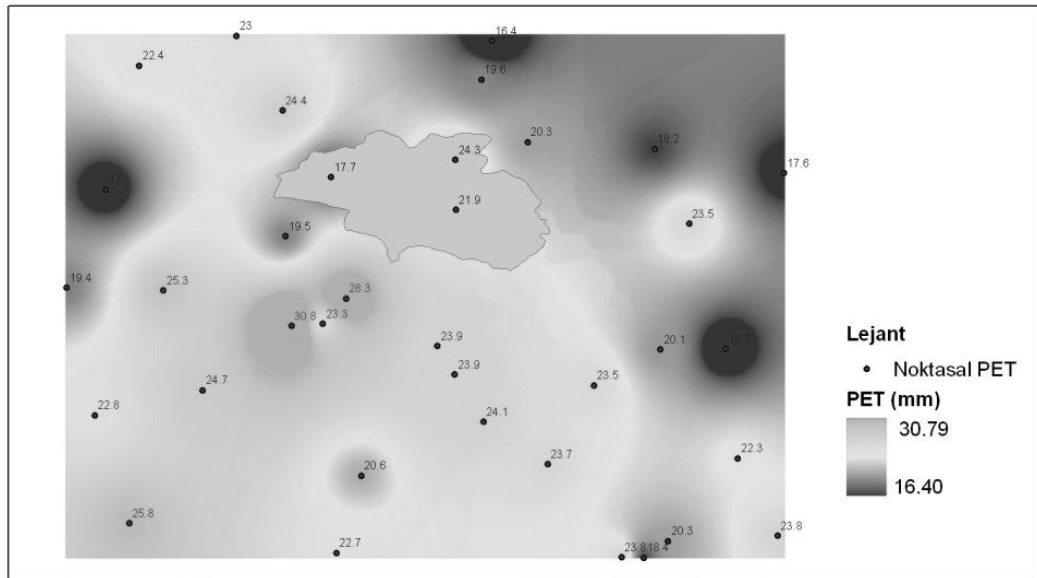
$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)} \quad (EK 3.1)$$

Burada;

- ET₀ - Potansiyel evapotranspirasyon (mm),
- R_n - Net Güneşlenme, gelen güneş ışığı ile geriye dönen güneş ışığı arasındaki fark (MJ m⁻²)
- T - Ortalama günlük hava sıcaklığı (°C),
- u₂ - Rüzgar hızı (ms⁻¹)
- G - Toprak sıcaklığı akış yoğunluğu (MJm⁻²/gün)
- e_s - Saturasyondaki su buharı basıncı (kPa)
- e_a - Gerçek su buharı basıncı (kPa)
- Δ - Su buharı basıncı eğrisi eğimi (kPa °C⁻¹)
- γ - Psikrometrik sabite (kPa °C⁻¹)

FAO Penman-Monteith eşitliği (EK 3.1), evapotranspirasyon sürecini yöneten fiziksel ve fizyolojik faktörlerin basit gösterimsel yaklaşımıdır. Bu eşitlik, meteorolojik verilerin yerden 2m yükseklikte ölçüldüğünü ve yüzeydeki bitki yüksekliğinin 0,12 m, yüzey direncinin 70m/sn olduğu ve albedosunun da 0,23 olduğu sanal bir referans bitki için PET değerini hesaplamaktadır. Yukarıdaki eşitlikte kullanılan girdilerden hava sıcaklığı, nem, güneşlenme ve rüzgar hızı değerleri doğrudan kullanılmakta, diğer girdilerin nasıl hesaplanacağı ile ilgili ayrıntılar verilmemiştir (Detaylı hesaplamalar için Anonymous 1998'e bakılmalıdır). Bunların hesaplanması Excel programında gerçekleştirilmiştir. Excel sayfa görünümüne ait örnek çizelge, Çizelge 1'de verilmiştir .

PET hesaplamaları Excelde 36 istasyonu için tablosal veri (10 günlük) şeklinde yapılmıştır. PET değerleri daha sonra CBS yazılımı ile noktasal haritalara dönüştürülmüştür. Her nokta bir meteoroloji istasyonunun yerini göstermektedir ve içerik bilgisinde potansiyel evapotranspirasyon değerini kapsamaktadır. Inverse Distance” interpolasyon tekniği ile bu noktasal değerler raster görüntüye dönüştürülmüştür (Şekil 1).



Çizelge 1 PET eşitliğinde kullanılan girdiler için örnek çizelge

Tarih	Yılın günü	Nispi nem (%)	R.Hızı (m/s)	Yağış (mm)	Rs (J/m ²)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	T (°C)	Pisikrometrik s. (kPa/°C°)	es (kPa)	Δ (kPa/°C)	ea (kPa)	dr	δ	øs	N	Ra (MJ/m ² /day)	Rns (MJ/m ² /day)	Rnl (MJ/m ² /day)	Rn (MJ/m ² /day)	PET (mm/day)
1/01/00	1	61.30	0.00	0.00	7331086.80	4.40	-2.60	-0.30	0.07	0.67	0.04	0.41	1.03	-0.40	1.24	9.47	15.37	5.64	3.52	2.12	0.35
2/01/00	2	66.00	0.30	0.00	10098561.60	8.30	-3.20	1.00	0.07	0.79	0.05	0.52	1.03	-0.40	1.24	9.48	15.42	7.78	5.62	2.15	0.49
3/01/00	3	71.00	0.52	0.00	8013535.20	7.00	-3.80	2.00	0.07	0.73	0.05	0.52	1.03	-0.40	1.24	9.49	15.48	6.17	3.89	2.28	0.55
4/01/00	4	53.30	1.27	0.00	10609351.20	12.00	-2.40	3.40	0.07	0.96	0.06	0.51	1.03	-0.40	1.24	9.50	15.55	8.17	6.19	1.98	1.11
5/01/00	5	51.30	0.67	0.00	7473438.00	8.40	-1.40	4.30	0.07	0.83	0.06	0.42	1.03	-0.39	1.25	9.51	15.62	5.75	3.66	2.09	0.77
6/01/00	6	65.70	2.24	0.00	10525615.20	8.00	-0.10	2.40	0.07	0.84	0.05	0.55	1.03	-0.39	1.25	9.53	15.69	8.10	5.86	2.24	1.11
7/01/00	7	72.00	0.00	0.00	7209669.60	5.00	-2.10	1.40	0.07	0.70	0.05	0.50	1.03	-0.39	1.25	9.54	15.77	5.55	3.18	2.37	0.41
8/01/00	8	71.00	0.07	0.00	8465709.60	6.00	-2.20	0.00	0.07	0.73	0.04	0.52	1.03	-0.39	1.25	9.56	15.85	6.52	4.11	2.40	0.42

EK 4 Toprak Analizi Sonuçları

Çizelge 1 Duraklara göre toprak analizi değerleri

Durak No	İLÇE	KÖY	T.Derinliği	O.M %	Çok İnce Kum %	Kum %	Silt %	Kil %	Bünye Sınıfı	Nem %	Hacim Ağırlığı gr/cm ³	Tarla Kapasitesi %	Solma Noktası %	Hidrolik İletkenlik cm/saat
CKR001	Şabanözü	Göldağı	25	3,82	1,33	25,6	30,3	44	C	5,62	1,09	31,98	20,66	0,36
CKR002	.	Akören köyü	0-20	1,37	2,51	43,2	21,8	35	CL	3,82	1,29	25,33	13,7	2,13
CKR003	Şabanözü	Karaören	15	1,99	2,21	38,6	32,2	29	CL	5,12	1,36	24,92	13,04	2,95
CKR004	Merkez	Aşağıdırlıoğlu	0-20	1,99	2,48	47,9	22,8	29	CL	4,26	1,35	21,81	13,24	4,58
CKR005	Şabanözü	.	5	2,11	2,97	59,2	24,7	16	SL	2,51	1,4	17,6	8,26	19,73
CKR006	Eldivan	Göletkayı	0-20	1,48	3,46	44,8	27,7	28	CL	3,04	1,36	17,91	9,85	8,18
CKR007	Korgun	.	15	4,26	2,07	37,8	33,4	29	CL	3,74	1,15	24,38	12,29	2,51
CKR008	Yapraklı	Yenice	90-150	2,94	4,3	20,9	34,9	44	C	5,35	1,28	28,8	16,79	0,4
CKR009	Kurşunlu	Hocahasan	30	4,36	3,19	31,2	29,3	40	CL	4,77	1,18	31	16,71	1,08
CKR010	Yapraklı	Subaşı	0-20	4,23	7,15	17,3	38,6	44	C	6,71	1,22	33,47	18,35	0,4
CKR011	Kurşunlu	Dağtarla	30	3,42	1,31	24,4	34,4	41	C	3,6	1,15	24,59	18,61	0,37
CKR012	Yapraklı	Günmek	0-20	1,55	7,07	38,2	37,9	24	L	5,46	1,45	17,2	10,78	4,12
CKR013	Kurşunlu	Madenli	25	3,1	6,38	43,1	29,9	27	L	2,56	1,24	19,44	13,53	3,78
CKR014	Kızılırmak	Danabaşı köyü	50-90	1,94	3,64	11,9	32,4	56	C	4,5	1,23	38,68	20,08	0,14
CKR015	Kurşunlu	Çırdak	10	6,81	2,28	36,2	43,6	20	L	4,44	1,27	24,82	15,15	1,81
CKR016	.	Kuzu köyü	50-90	1,58	2,4	8,08	30	62	C	4,42	1,12	37	21,46	0,11
CKR017	Kurşunlu	İkikavak	35	4,68	0,62	15,8	37	47	C	6,56	1,12	33,44	18,3	0,11
CKR018	Merkez	Dutağaç	20-50	0,9	6,6	31	35,8	33	CL	15,3	1,16	34,94	17,05	0,21
CKR019	Atkaracalar	Budakpınar	10	4,37	2,52	36	34,8	29	CL	4,83	1,28	26,41	14,33	1,24
CKR020	Merkez	Ayan	50-90	0,71	1,93	14	28,5	58	C	5,93	1,33	31,79	16,39	0,09
CKR021	Atkaracalar	Susuz	17	4,21	5,5	38,8	32,1	29	CL	2,57	1,26	25,76	13,48	2,61

Çizelge 1 Duraklara göre toprak analizi değerleri (devamı)

Durak No	İLÇE	KÖY	T.Derinliği	O.M %	Çok İnce Kum %	Kum %	Silt %	Kil %	Bünye Sınıfı	Nem %	Hacim Ağırlığı gr/cm ³	Tarla Kapasitesi %	Solma Noktası %	Hidrolik İletkenlik cm/saat
CKR022	İlgaz	Aktaş	50-90	7,39	1,73	13,9	40	46	SiC	3,94	1,03	35,99	18,93	0,12
CKR023	Çerkeş	Çalçıören	0-20	10,62	5,59	29,4	35,2	35	CL	3,2	1,25	26,33	15,66	1,07
CKR024	İlgaz	Aktaş	0-20	1,9	3,31	57,1	23,3	20	SL	1,43	1,45	16,38	6,74	12,47
CKR025	Çerkeş	Çaylı	5	2,78	3,34	59,5	23	18	SL	1,09	1,45	13,23	3,6	14,03
CKR026	İlgaz	Çomar	0-20	5,13	2,85	49,2	32,1	19	L	1,78	1,24	20,87	5,76	7,65
CKR027	Çerkeş	Bayındır	5	3,36	3,77	38,7	34,2	27	CL	2,98	1,15	23,38	10,58	1,03
CKR028	İlgaz	Ahlat	0-20	3,97	5,43	49	25,9	25	SCL	3,2	1,28	21,68	10,76	5,02
CKR029	Şabanözü	Gürpınar	0-20	1,77	5,08	38,7	3,35	58	C	10,5	1,08	35,83	20,14	0,07
CKR030	Orta	Yaylakent	0-20	3,85	1,89	4,87	65	30	SiCL	5,92	1,24	29,84	15,19	0,59
CKR031	Orta	Karaağaç	0-10	1,34	5,57	61,7	23,6	15	SL	2,07	1,22	16,74	7,5	16,89
CKR032	Orta	Kalfat	0-30	1,74	4,36	24,3	48,5	27	CL	2,73	1,12	21,81	12,98	1,95
CKR033	Çerkeş	Yeşilöz	0-20	3,51	2,26	40,1	41	19	L	2,8	1,13	25,96	13,3	5,29
CKR034	Korgun	Çukurören	0-10	2,02	2,89	52,4	26,5	21	SCL	3,16	1,2	21,95	14,32	8,29
CKR035	Korgun	Maruf	0-20	1,4	3,67	64,4	22,6	13	SL	4,33	1,49	15,92	9,18	16,64
CKR036	Orta	Sarrar	0-20	3,17	5,4	41,6	37,7	21	L	2,64	1,17	23,78	10,16	5,33
CKR037	Merkez	Küçüklü	0-30	2,21	7,74	17,8	35,7	47	C	5,49	1,19	32,34	20,18	0,4
CKR038	Merkez	Doğantepe	0-60	2,52	5,22	11,5	39,6	49	C	5,27	1,2	31,16	17	0,17
CKR039	Merkez	Dede	0-20	2,49	2,28	24,5	31,6	44	C	3,48	1,18	27,04	15,07	0,21
CKR040	Kızılırmak	Yeniyapan	0-30	1,43	5,14	13,7	37,9	48	C	4,12	1,12	28,69	14,79	0,21
CKR041	Kızılırmak	Karaömer	0-20	2,36	2,45	64,1	14,6	21	SCL	2,24	1,44	17,29	8,66	16,8

EK 5 Örneklem Noktası Kuadrat Ölçümleri

Çizelge 1 Duraklara göre kuadrat ölçüm değerleri

Durak No	Çıplak Alan %	Baskın Türler			Çerçeve ölçümleri (%)			Biyokütle (gr/m ²)	
		1.TÜR - %	2.TÜR - %	3.TÜR - %	Toprak alanı	Kuru Mat.	Bitki	2008	2009
CKR-01	26	Festuca valesiaca – 17	Bromus tomentellus - 15	Poa bulbosa - 8	15	30	55	8,35	32,46
CKR-02	54	Crepis sancta – 9	Bromus tectorum - 6	Avena sativa - 5	30	35	35	7,85	23,77
CKR-03	30	Trigonella monantha – 18	Festuca valesiaca - 11	Thymus sipyleus - 10	0	40	60	11,59	22,49
CKR-04	53	Bothriochloa ischaemum - 15	Thymus sipyleus - 6	Poa bulbosa - 4	60	10	30	14,86	9,77
CKR-05	42	Festuca valesiaca – 10	Taeniatherum CP. - 10	Cerastium perfoliatum - 9	45	5	50	7,38	0,00
CKR-06	53	Helianthemum sp. – 13	Thymus leucostomus - 11	Fumana procumbens - 5	70	0	30	8,57	18,64
CKR-07	29	Bromus tomentellus – 14	Poa bulbosa - 11	Festuca valesiaca - 8	5	55	40	20,84	26,66
CKR-08	10	Poa pratensis – 56	Cynodon dactylon - 13	Hordeum murinum - 10	10	0	90	22,40	13,45
CKR-09	31	Festuca valesiaca – 13	Poa bulbosa - 7	Thymus sipyleus - 4	65	5	30	9,10	0,00
CKR-10	36	Onobrychis armena – 15	Thymus leucostomus - 7	Salvia absconditiflora - 6	25	5	70	30,53	37,08
CKR-11	29	Globularia trichosantha - 17	Plantago holosteum - 10	Festuca valesiaca - 10	30	5	65	12,80	32,17
CKR-12	28	Cynodon dactylon - 20	Medicago minima - 12	Plantago lanceolata - 9	40	0	60	18,61	27,42
CKR-13	17	Onobrychis cornuta - 23	Thymus sipyleus	Hedysarum varium - 16	20	0	80	26,16	27,06
CKR-14	36	Thymus leucostomus - 16	Trachynia distachya - 13	Bromus tomentellus - 7	60	0	40	17,28	25,56
CKR-15	31	Thymus sipyleus - 20	Bromus tomentellus - 10	Centaurea drabifolia - 7	70	0	30	13,36	28,54
CKR-16	40	Stipa holosericea - 11	Salvia absconditiflora - 9	Genista aucheri - 6	60	5	35	28,96	31,83
CKR-17	21	Thymus sipyleus - 18	Bromus tomentellus - 16	Festuca valesiaca - 9	0	5	95	30,75	24,62
CKR-18	51	Thymus leucostomus - 16	Genista aucheri - 5	Stipa sp. - 3	70	0	30	13,44	27,80
CKR-19	31	Thymus leucostomus - 13	Stipa holosericea	Bromus tomentellus - 5	35	5	60	20,07	46,34
CKR-20	46	Prasium majus - 8	Thymus sipyleus - 6	Genista aucheri - 5	55	30	15	10,33	34,68
CKR-21	24	Thymus sipyleus - 9	Hedysarum varium	Festuca v, Helianthemum c - 6	35	0	65	25,22	43,86

Çizelge 1 Duraklara göre kuadrat ölçüm değerleri (devamı)

Durak No	Çıplak Alan %	Baskın Türler			Çerçeve ölçümleri (%)			Biyokütle (gr/m ²)	
		1.TÜR - %	2.TÜR - %	3.TÜR - %	Toprak alanı	Kuru Mat.	Bitki	2008	2009
CKR-22	49	Capsella bursa-pastoris - 11	Juncus gerardi - 10	Taraxacum scaturiginosum - 9	0	0	100	72,87	0,00
CKR-23	22	Centaurea drabifolia - 11	Bromus tomentellus - 8	Globularia trichosantha - 7	35	0	65	28,26	0,00
CKR-24	31	Festuca valesiaca - 10	Cerastium perfoliatum - 8	Plantago l., Elymus r. - 5	60	0	40	16,83	36,90
CKR-25	21	Chrysopogon gryllus - 11	Festuca valesiaca - 8	Muscari armeniacum - 7	15	15	70	22,64	36,67
CKR-26	14	Scleranthus annuus - 14	Festuca valesiaca - 13	Plantago holosteum - 9	5	50	45	17,21	26,65
CKR-27	19	Taeniatherum c-m. - 16	Festuca valesiaca - 9	Minuartia hamata - 6	25	15	60	16,60	23,19
CKR-28	17	Poa pratensis - 18	Festuca valesiaca - 14	Chrysopogon gryllus - 10	20	0	80	36,54	29,67
CKR-29	48	Festuca valesiaca - 6	Astragalus microcephalus - 6	Genista albida - 5	30	5	65	24,23	0,00
CKR-30	34	Festuca valesiaca - 14	Trigonella fischeriana - 6	Sanguisorba minor - 5	25	5	70	25,83	45,68
CKR-31	62	Poa bulbosa - 5	Festuca valesiaca - 4	Bromus japonicus - 3	25	70	5	6,09	42,25
CKR-32	29	Thymus sipyleus - 18	Festuca valesiaca - 17	Plantago holosteum - 4	5	0	95	28,89	55,23
CKR-33	35	Festuca valesiaca - 22	Medicago falcata - 6	Ventenata dubia - 4	30	0	70	31,56	37,86
CKR-34	62	Chrysopogon gryllus - 19	Anagallis arvensis - 3	Scabiosa rotata - 2	60	20	20	9,29	42,19
CKR-35	44	Astragalus microcephalus - 12	Thymus sipyleus - 10	Festuca valesiaca - 6	60	0	40	36,60	0,00
CKR-36	37	Festuca valesiaca - 14	Taeniatherum c-m. - 16	Tanacetum armenum - 9	60	10	30	23,52	15,04
CKR-37	49	Thymus sipyleus - 13	Salvia cryptantha - 6	Astragalus plumosus - 6	65	0	35	15,36	56,14
CKR-38	22	Salvia cryptantha - 15	Festuca valesiaca - 9	Hedysarum varium - 8	30	0	70	34,86	0,00
CKR-39	60	Thymus sipyleus - 8	Festuca valesiaca - 7	Artemisia a., Salvia c. - 5	70	10	20	28,73	26,57
CKR-40	50	Thymus sipyleus - 11	Artemisia austriaca - 8	Cynodon dactylon - 7	70	0	30	26,41	19,75
CKR-41	59	Poa bulbosa - 6	Noaea mucronata - 6	Cynodon dactylon - 5	90	0	10	10,90	0,00

EK 6 Botanik Kompozisyon Ölçüm Sonuçları

Çizelge 1 Tekerlek-Nokta yöntemi ile durakların botanik kompozisyon değerleri

Durak No	Bitki No	Bitki Türü/Çıplak alan	Toprağı Kaplama Oranı (%)	Etki	Grup	Yıl	FAMİLYA	TÜRKÇE	Endemik Tür
CKR001	10000	Çıplak Alan	26	.	.	.	.	.	.
CKR001	40047	Festuca valesiaca	16,5	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR001	21220	Bromus tomentellus	15	Azalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Havlı brom	.
CKR001	66121	Poa bulbosa	7,5	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Yumrulu salkım otu	.
CKR001	41300	Galium verum	6	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Rubiaceae	Sarı ç. yoğurt otu	.
CKR001	81139	Thymus sipyleus	4,5	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	Kekik	endemik
CKR002	10000	Çıplak Alan	53,5	.	.	.	.	.	.
CKR002	30837	Crepis sancta	9	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Asteraceae	Tatlı hindiba	.
CKR002	21217	Bromus tectorum	5,75	İstilacı	Buğdaygil	Tek Yıllık	Poaceae	Dam bromu, kır bromu	.
CKR002	18859	Avena sativa	4,75	İstilacı	Buğdaygil	Tek Yıllık	Poaceae	Yulaf	.
CKR002	40132	Filago pyramidata	2,25	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Asteraceae	Keçe otu, Pamuk otu	.
CKR003	10000	Çıplak Alan	29,25	.	.	.	.	.	.
CKR003	82543	Trigonella monantha	17,5	İstilacı	Baklagil	Tek Yıllık	Fabaceae	Tek çiçekli çemen	.
CKR003	40047	Festuca valesiaca	11	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR003	81139	Thymus sipyleus	10	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	Kekik	endemik
CKR003	21220	Bromus tomentellus	6	Azalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Havlı brom	.
CKR004	10000	Çıplak Alan	53	.	.	.	.	.	.
CKR004	20484	Bothriochloa ischaemum	15	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Sarı sakal otu	.
CKR004	81139	Thymus sipyleus	5,75	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	Kekik	endemik
CKR004	66121	Poa bulbosa	4	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Yumrulu salkım otu	.
CKR004	40132	Filago pyramidata	3,75	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Asteraceae	Keçe otu, Pamuk otu	.
CKR005	10000	Çıplak Alan	41,5	.	.	.	.	.	.
CKR005	40047	Festuca valesiaca	10	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.

Çizelge 1 Tekerlek-Nokta yöntemi ile durakların botanik kompozisyon değerleri (devamı)

Durak No	Bitki No	Bitki Türü/Çıplak alan	Toprağı Kaplama Oranı (%)	Etki	Grup	Yıl	FAMİLYA	TÜRKÇE	Endemik Tür
CKR005	79707	Taeniatherum caput-medusae	9,5	İstilacı	Buğdaygil	Tek Yıllık	Poaceae	Kılıçkılı otlak arpası	.
CKR005	25967	Cerastium perfoliatum	8,5	İstilacı	Diğerleri	.	Caryophyllaceae	Kum otu	.
CKR005	83825	Ventenata dubia	7,75	İstilacı	Buğdaygil	Tek Yıllık	Poaceae	.	.
CKR005	66121	Poa bulbosa	3,25	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Yumrulu salkım otu	.
CKR005	81120	Thymus leucostomus	3,25	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Lamiacea - Labiatae	Kır kekiği	endemik
CKR006	10000	Çıplak Alan	52,5	.	.	.	.	.	.
CKR006	81120	Thymus leucostomus	10,5	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Lamiacea	Kır kekiği	endemik
CKR006	44142	Helianthemum canum	7,5	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Cistaceae	Beyaz gri güneşgülü, Altın otu	.
CKR006	44152	Helianthemum ledifolium	5,75	İstilacı	Diğerleri	.	Cistaceae	Altın otu	.
CKR006	40802	Fumana procumbens	4,75	İstilacı	Diğerleri	.	Cistaceae	.	.
CKR006	17729	Astragalus condensatus	3,25	İstilacı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Yastıklı geven	Endemik
CKR007	10000	Çıplak Alan	29,75	.	.	.	.	.	.
CKR007	21220	Bromus tomentellus	13,75	Azalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Havlı brom	.
CKR007	66121	Poa bulbosa	11	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Yumrulu salkım otu	.
CKR007	40047	Festuca valesiaca	7,5	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR007	13113	Alyssum desertorum	6	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Brassicaceae	Alis, Kuduz otu	.
CKR007	18054	Astragalus microcephalus	5,25	İstilacı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Küçükbaşlı geven, Boz geven	.
CKR007	81139	Thymus sipyleus	4,5	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	Kekik	endemik
CKR007	17566	Astragalus angustifolius	4	İstilacı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Dar yapraklı geven	.
CKR008	66237	Poa pratensis	56	Azalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Çayır salkım otu	.
CKR008	32063	Cynodon dactylon	13	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Köpek dişi	.
CKR008	10000	Çıplak Alan	10	.	.	.	.	.	.
CKR008	45579	Hordeum murinum	10	İstilacı	Buğdaygil	Tek Yıllık	Poaceae	Pisipisi arpası	.
CKR008	64371	Phragmites australis	4,5	İstilacı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Kamış, Adi kamış	.
CKR008	79989	Taraxacum scaturiginosum	4	İstilacı	Diğerleri	.	Asteraceae	Aslandişi, Karahindiba	.

Çizelge 1 Tekerlek-Nokta yöntemi ile durakların botanik kompozisyon değerleri (devamı)

Durak No	Bitki No	Bitki Türü/Çıplak alan	Toprağı Kaplama Oranı (%)	Etki	Grup	Yıl	FAMİLYA	TÜRKÇE	Endemik Tür
CKR008	74973	Scorzonera parviflora	2,5	İstilacı	Diğerleri	.	Asteraceae	.	.
CKR009	10000	Çıplak Alan	30,5	.	.	.	.	.	.
CKR009	40047	Festuca valesiaca	13,25	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR009	66121	Poa bulbosa	6,75	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Yumrulu salkım otu	.
CKR009	13113	Alyssum desertorum	4,25	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Brassicaceae	Alis, Kuduz otu	.
CKR009	81139	Thymus sipyleus	4	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	Kekik	endemik
CKR010	10000	Çıplak Alan	35,5	.	.	.	.	.	.
CKR010	59143	Onobrychis armena	14,75	Azalıcı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Kır korungası, Anadolu korungası	.
CKR010	81120	Thymus leucostomus	7	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Lamiaceae	Kır kekiği	endemik
CKR010	73353	Salvia cryptantha	5,5	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	.	.
CKR010	29406	Convolvulus holosericeus	3,75	İstilacı	Diğerleri	.	Convolvulaceae	.	.
CKR010	65688	Plantago holosteum	3,75	Çoğalıcı	Diğerleri	Çok Yıllık	Plantaginaceae	.	.
CKR010	80441	Teucrium chamaedrys	3,75	Çoğalıcı	Diğerleri	Çok Yıllık	Lamiaceae	Yer meşesi, Bodur meşe	.
CKR010	17570	Astragalus anthylloides	3,25	İstilacı	Baklagil	.	Fabaceae	.	.
CKR011	10000	Çıplak Alan	28,75	.	.	.	.	.	.
CKR011	42205	Globularia trichosantha	16,5	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Globulariaceae	Doğu demir omcası	.
CKR011	65688	Plantago holosteum	9,75	Çoğalıcı	Diğerleri	Çok Yıllık	Plantaginaceae	.	.
CKR011	40047	Festuca valesiaca	9,5	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR011	40149	Filipendula vulgaris	7,75	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Rosaceae	Kandil çiçeği	.
CKR011	73612	Sanguisorba minor	5,5	Azalıcı	Diğerleri	Çok Yıllık	Rosaceae	Küçük çayır düğmesi	.
CKR012	10000	Çıplak Alan	28,25	.	.	.	.	.	.
CKR012	32063	Cynodon dactylon	20,25	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Köpek dişi	.
CKR012	54921	Medicago minima	12,25	İstilacı	Baklagil	Tek Yıllık	Fabaceae	Mini yonca, Yoncacık	.
CKR012	65696	Plantago lanceolata	9	Çoğalıcı	Diğerleri	Çok Yıllık	Plantaginaceae	Mızrak yapraklı sinir out, Yılan otu	.
CKR012	56394	Minuartia hybrida	4,75	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Caryophyllaceae	.	.
CKR013	59154	Onobrychis cornuta	23,25	İstilacı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Boynuzlu korunga, Dağ çöveni	.
CKR013	10000	Çıplak Alan	17,25	.	.	.	.	.	.

Çizelge 1 Tekerlek-Nokta yöntemi ile durakların botanik kompozisyon değerleri (devamı)

Durak No	Bitki No	Bitki Türü/Çıplak alan	Toprağı Kaplama Oranı (%)	Etki	Grup	Yıl	FAMİLYA	TÜRKÇE	Endemik Tür
CKR013	81139	Thymus sipyleus	16,75	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	Kekik	endemik
CKR013	44062	Hedysarum varium	16	Çoğalıcı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Alaca İspanyol korungası	.
CKR013	75969	Sesleria alba	7,5	İstilacı	Diğerleri	.	Poaceae	.	.
CKR014	10000	Çıplak Alan	36	.	.	.	.	.	.
CKR014	81120	Thymus leucostomus	16,25	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Lamiaceae	Kır kekiği	endemik
CKR014	81729	Trachynia distachya	13	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Gramineae	.	.
CKR014	21220	Bromus tomentellus	7	Azalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Havlı brom	.
CKR014	27367	Chrysopogon gryllus	7	Azalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Yeşil buzağı otu	.
CKR015	10000	Çıplak Alan	30,5	.	.	.	.	.	.
CKR015	81139	Thymus sipyleus	19,5	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	Kekik	endemik
CKR015	21220	Bromus tomentellus	9,5	Azalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Havlı brom	.
CKR015	25563	Centaurea drabifolia	6,5	İstilacı	Diğerleri	.	Asteraceae	Peygamber çiçeği	endemik
CKR015	57144	Muscari armeniacum	6,25	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Liliaceae	Arap sümbülü	.
CKR015	40047	Festuca valesiaca	4	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR016	10000	Çıplak Alan	39,5	.	.	.	.	.	.
CKR016	78863	Stipa holosericea	10,75	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Kılaç	.
CKR016	73353	Salvia absconditiflora	8,5	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	.	.
CKR016	41526	Genista aucheri	6,25	İstilacı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Anadolu katır tırnağı, Anadolu boya çalısı	.
CKR016	16192	Artemisia santonicum	4,5	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Asteraceae	Deniz pelini	.
CKR016	81139	Thymus sipyleus	4,5	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	.	endemik
CKR016	41300	Galium verum	4,25	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Rubiaceae	Sarı yoğurt otu	.
CKR017	81139	Thymus sipyleus	20,5	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	Kekik	endemik
CKR017	10000	Çıplak Alan	18	.	.	.	.	.	.
CKR017	21220	Bromus tomentellus	15,75	Azalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Havlı brom	.
CKR017	40047	Festuca valesiaca	8,75	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR017	78879	Stipa lessingiana	8,25	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Sorguç otu	.
CKR017	59154	Onobrychis cornuta	5,25	İstilacı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Boynuzlu korunga, Dağ çöveni	.

Çizelge 1 Tekerlek-Nokta yöntemi ile durakların botanik kompozisyon değerleri (devamı)

Durak No	Bitki No	Bitki Türü/Çıplak alan	Toprağı Kaplama Oranı (%)	Etki	Grup	Yıl	FAMİLYA	TÜRKÇE	Endemik Tür
CKR017	44157	Helianthemum nummularium	4,75	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Cistaceae	Altın otu, Küçük güneşgülü	.
CKR018	10000	Çıplak Alan	51	.	.	.	.	.	.
CKR018	81120	Thymus leucostomus	16	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Lamiaceae	Kır kekiği	endemik
CKR018	41526	Genista aucheri	5,25	İstilacı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Anadolu katır tırnağı, Anadolu boya çalısı	.
CKR019	10000	Çıplak Alan	31,25	.	.	.	.	.	.
CKR019	81120	Thymus leucostomus	12,75	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Lamiaceae	Kır kekiği	endemik
CKR019	78863	Stipa holosericea	10,75	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Kılaç	.
CKR019	13157	Alyssum pateri	5,25	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Brassicaceae	Sık kuduz otu	endemik
CKR019	26520	Chamaecytisus pygmaeus	5	Çoğalıcı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Bodur süpürgelik	.
CKR019	21220	Bromus tomentellus	4,5	Azalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Havlı brom	.
CKR019	40047	Festuca valesiaca	4,25	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR020	10000	Çıplak Alan	46,25	.	.	.	.	.	.
CKR020	81139	Thymus sipyleus	6,25	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	Kekik	endemik
CKR020	41526	Genista aucheri	5	İstilacı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Anadolu katır tırnağı, Anadolu boya çalısı	.
CKR020	81729	Trachynia distachya	4,25	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Poaceae	.	.
CKR020	40047	Festuca valesiaca	3,75	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR021	10000	Çıplak Alan	24,25	.	.	.	.	.	.
CKR021	81139	Thymus sipyleus	9	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	Kekik	endemik
CKR021	44062	Hedysarum varium	6,25	Çoğalıcı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Alaca İspanyol korungası	.
CKR021	23777	Carex atrata	6	İstilacı	Diğerleri	.	Cyperaceae	.	.
CKR021	44142	Helianthemum canum	5,75	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Cistaceae	Beyaz gri güneşgülü, Altın otu	.
CKR021	40047	Festuca valesiaca	5,5	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR021	26520	Chamaecytisus pygmaeus	4,5	Çoğalıcı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Bodur süpürgelik	.

Çizelge 1 Tekerlek-Nokta yöntemi ile durakların botanik kompozisyon değerleri (devamı)

Durak No	Bitki No	Bitki Türü/Çıplak alan	Toprağı Kaplama Oranı (%)	Etki	Grup	Yıl	FAMİLYA	TÜRKÇE	Endemik Tür
CKR021	46920	Inula anatolica	4	İstilacı	Diğerleri	.	Asteraceae	.	.
CKR022	11978	Çıplak Alan	49	Azalıcı	Buğdaygil	Tek Yıllık	Poaceae	Sülüklü	.
CKR022	23420	Capsella bursa-pastoris	10,5	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Brassicaceae	Çoban çantası	.
CKR022	48037	Juncus gerardi	10,25	Çoğalıcı	Diğerleri	Çok Yıllık	Juncaeae	Kara hasır sazi	.
CKR022	79989	Taraxacum scaturiginosum	9	İstilacı	Diğerleri	.	Asteraceae	Karahindiba	.
CKR022	82414	Trifolium pratense	6	Azalıcı	Baklagil	Tek Yıllık	Fabaceae	Çayır üçgülü	.
CKR022	12890	Alopecurus arundinaceus	4	Azalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Kamışsı tilki kuyruğu	.
CKR023	10000	Çıplak Alan	22	.	.	.	.	.	.
CKR023	25563	Centaurea drabifolia	10,5	İstilacı	Diğerleri	.	Asteraceae	Peygamber çiçeği	endemik
CKR023	21220	Bromus tomentellus	7,75	Azalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Havlı brom	.
CKR023	42205	Globularia trichosantha	6,75	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Globulariaceae	Doğu demir omcası	.
CKR023	44142	Helianthemum canum	5,5	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Cistaceae	Beyaz gri güneşgülü, Altın otu	.
CKR023	81139	Thymus sipyleus	5,5	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	Kekik	endemik
CKR024	10000	Çıplak Alan	31,25	.	.	.	.	.	.
CKR024	40047	Festuca valesiaca	10,25	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR024	25967	Cerastium perfoliatum	7,5	İstilacı	Diğerleri	.	Caryophyllaceae	.	.
CKR024	36369	Elymus repens	5	Azalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Tarla ayrığı	.
CKR024	65696	lanceolata	4,75	Çoğalıcı	Diğerleri	Çok Yıllık	Plantaginaceae	Mızrak yapraklı sinir out, Yılan otu	.
CKR024	73612	Sanguisorba minor	4,5	Azalıcı	Diğerleri	Çok Yıllık	Rosaceae	Küçük çayır düğmesi	.
CKR025	10000	Çıplak Alan	21,25	.	.	.	.	.	.
CKR025	27367	Chrysopogon gryllus	11	Azalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Yeşil buzağı otu	.
CKR025	40047	Festuca valesiaca	8,25	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR025	57144	Muscari armeniacum	7,25	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Liliaceae	Arap sümbülü	.
CKR025	67676	Potentilla recta	6,75	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Rosaceae	Sarı beşparmak otu	.
CKR025	44152	Helianthemum ledifolium	5,75	İstilacı	Diğerleri	.	Cistaceae	.	.
CKR025	32063	Cynodon dactylon	5	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Köpek dişi	.
CKR025	66121	Poa bulbosa	5	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Yumrulu salkım otu	.
CKR025	80441	Teucrium chamaedrys	4,5	Çoğalıcı	Diğerleri	Çok Yıllık	Lamiacea	Yer meşesi, Bodur meşe	.

Çizelge 1 Tekerlek-Nokta yöntemi ile durakların botanik kompozisyon değerleri (devamı)

Durak No	Bitki No	Bitki Türü/Çıplak alan	Toprağı Kaplama Oranı (%)	Etki	Grup	Yıl	FAMİLYA	TÜRKÇE	Endemik Tür
CKR026	10000	Çıplak Alan	14,25	.	.	.	.	.	.
CKR026	74761	Scleranthus annuus	14	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Illecebraceae	.	.
CKR026	40047	Festuca valesiaca	12,75	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR026	65688	Plantago holosteum	8,75	Çoğalıcı	Diğerleri	Çok Yıllık	Plantaginaceae	.	.
CKR026	38091	Erodium cicutarium	7,5	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Geraniaceae	Kızıl turnagagası, Dönbaba	.
CKR026	66237	Poa pratensis	5,75	Azalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Çayır salkım otu	.
CKR027	10000	Çıplak Alan	19,25	.	.	.	.	.	.
CKR027	79707	Taeniatherum caput-medusae	15,75	İstilacı	Buğdaygil	Tek Yıllık	Poaceae	Kılıçkılı otlak arpası	.
CKR027	40047	Festuca valesiaca	8,75	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR027	56391	Minuartia hamata	6	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Caryophyllaceae	.	.
CKR027	66121	Poa bulbosa	5,25	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Yumrulu salkım otu	.
CKR027	38091	Erodium cicutarium	4,75	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Geraniaceae	Kızıl turnagagası, Dönbaba	.
CKR027	41163	Galium floribundum	4,25	İstilacı	Diğerleri	.	Rubiaceae	Çok çiçekli yoğurt otu	.
CKR028	66237	Poa pratensis	18,25	Azalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Çayır salkım otu	.
CKR028	10000	Çıplak Alan	16,5	.	.	.	.	.	.
CKR028	40047	Festuca valesiaca	14	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR028	27367	Chrysopogon gryllus	9,75	Azalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Yeşil buzağı otu	.
CKR028	79992	Taraxacum serotinum	6	İstilacı	Diğerleri	.	Asteraceae	.	.
CKR028	67676	Potentilla recta	5,25	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Rosaceae	Sarı beşparmak otu	.
CKR029	10000	Çıplak Alan	48	.	.	.	.	.	.
CKR029	40047	Festuca valesiaca	6,25	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR029	18054	Astragalus microcephalus	5,75	İstilacı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Küçükbaşlı geven, Boz geven	.
CKR029	41525	Genista albida	4,75	İstilacı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Katırtırnağı	.
CKR029	36324	Elymus hispidus	4	Azalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Mavi ayrık	.
CKR029	81139	Thymus sipyleus	3,75	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	Kekik	endemik
CKR030	10000	Çıplak Alan	34	.	.	.	.	.	.
CKR030	40047	Festuca valesiaca	13,75	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.

Çizelge 1 Tekerlek-Nokta yöntemi ile durakların botanik kompozisyon değerleri (devamı)

Durak No	Bitki No	Bitki Türü/Çıplak alan	Toprağı Kaplama Oranı (%)	Etki	Grup	Yıl	FAMİLYA	TÜRKÇE	Endemik Tür
CKR030	82532	Trigonella fischeriana	6	İstilacı	Baklagil	Tek Yıllık	Fabaceae	.	.
CKR030	73612	Sanguisorba minor	5	Azalıcı	Diğerleri	Çok Yıllık	Rosaceae	Küçük çayır düğmesi	.
CKR030	81121	Thymus leucotrichus	4,5	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	Kır kekiği	.
CKR030	54908	Medicago falcata	3,75	Azalıcı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Sarı çiçekli yonca	.
CKR031	10000	Çıplak Alan	62,25	.	.	.	.	.	.
CKR031	66121	Poa bulbosa	5,25	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Yumrulu salkım otu	.
CKR031	40047	Festuca valesiaca	4	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR031	21154	Bromus japonicus	3	İstilacı	Buğdaygil	Tek Yıllık	Poaceae	Japon bromu	.
CKR032	10000	Çıplak Alan	29,25	.	.	.	.	.	.
CKR032	81139	Thymus sipyleus	17,5	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	.	endemik
CKR032	40047	Festuca valesiaca	16,75	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR033	10000	Çıplak Alan	34,75	.	.	.	.	.	.
CKR033	40047	Festuca valesiaca	21,5	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR033	54908	Medicago falcata	6	Azalıcı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Sarı çiçekli yonca	.
CKR033	83825	Ventenata dubia	3,75	İstilacı	Buğdaygil	Tek Yıllık	Poaceae	.	.
CKR034	10000	Çıplak Alan	61,75	.	.	.	.	.	.
CKR034	27367	Chrysopogon gryllus	18,75	Azalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Yeşil buzağı otu	.
CKR034	13757	Anagallis arvensis	2,75	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Primulaceae	Tarla fare kulağı	.
CKR035	10000	Çıplak Alan	44,25	.	.	.	.	.	.
CKR035	18054	Astragalus microcephalus	11,5	İstilacı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Küçükbaşlı geven, Boz geven	.
CKR035	81139	Thymus sipyleus	9,5	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	Kekik	endemik
CKR035	40047	Festuca valesiaca	5,5	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR035	80441	Teucrium chamaedrys	4,5	Çoğalıcı	Diğerleri	Çok Yıllık	Lamiaceae	Yer meşesi, Bodur meşe, Kısa mahmut	.
CKR036	10000	Çıplak Alan	36,75	.	.	.	.	.	.
CKR036	40047	Festuca valesiaca	13,75	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR036	79707	Taeniatherum caput-medusae	13,25	İstilacı	Buğdaygil	Tek Yıllık	Poaceae	Kılıçkılı otlak arpası	.
CKR036	79817	Tanacetum armenum	8,5	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Asteraceae	Gümüşdüğme	.

Çizelge 1 Tekerlek-Nokta yöntemi ile durakların botanik kompozisyon değerleri (devamı)

Durak No	Bitki No	Bitki Türü/Çıplak alan	Toprağı Kaplama Oranı (%)	Etki	Grup	Yıl	FAMİLYA	TÜRKÇE	Endemik Tür
CKR036	32712	Dactylis glomerata	3,25	Azalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Domuz ayrığı	.
CKR037	10000	Çıplak Alan	48,75	.	.	.	.	.	.
CKR037	81139	Thymus sipyleus	12,5	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	Kekik	endemik
CKR037	73396	Salvia cryptantha	6	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Lamiaceae	Kara ot, Kara şabla, Ada çayı	.
CKR037	18184	Astragalus plumosus	5,75	İstilacı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Geven	endemik
CKR037	40047	Festuca valesiaca	5	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR038	10000	Çıplak Alan	22	.	.	.	.	.	.
CKR038	73396	Salvia cryptantha	15	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Lamiaceae	Kara ot, Kara şabla, Ada çayı	.
CKR038	40047	Festuca valesiaca	8,75	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR038	44062	Hedysarum varium	7,5	Çoğalıcı	Baklagil	Çok Yıllık	Fabaceae	Alaca İspanyol korungası	.
CKR038	81139	Thymus sipyleus	7,25	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	Kekik	endemik
CKR039	10000	Çıplak Alan	59,5	.	.	.	.	.	.
CKR039	81139	Thymus sipyleus	8	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	Kekik	endemik
CKR039	40047	Festuca valesiaca	6,5	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Koyun yumağı	.
CKR039	16102	Artemisia austriaca	5,25	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Asteraceae	Yavşan	.
CKR039	73396	Salvia cryptantha	4,5	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Lamiaceae	Kara ot, Kara şabla, Ada çayı	.
CKR040	10000	Çıplak Alan	50,25	.	.	.	.	.	.
CKR040	81139	Thymus sipyleus	11	İstilacı	Diğerleri	.	Lamiaceae	Kekik	endemik
CKR040	16102	Artemisia austriaca	7,75	İstilacı	Diğerleri	Tek Yıllık	Asteraceae	Yavşan	.
CKR040	32063	Cynodon dactylon	7	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Köpek dişi	.
CKR041	10000	Çıplak Alan	58,5	.	.	.	.	.	.
CKR041	66121	Poa bulbosa	6,25	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Yumrulu salkım otu	.
CKR041	58285	Noaea mucronata	6	İstilacı	Diğerleri	Çok Yıllık	Chenopodiaceae	Dikenli ölmez otu	.
CKR041	32063	Cynodon dactylon	4,75	Çoğalıcı	Buğdaygil	Çok Yıllık	Poaceae	Köpek dişi	.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ediz ÜNAL

Doğum Yeri : SOMA

Doğum Tarihi : 19.04.1966

Medeni Hali : EVLİ

Yabancı Dili : İNGİLİZCE

Eğitim Durumu

Lise : NAZİLLİ ENDÜSTRİ MESLEK LİSESİ, 1983

Lisans : EGE ÜNİVERSİTESİ SU ÜRÜNLERİ FAK. 1987

Yüksek Lisans: OKLAHOMA STATE UNIV. USA. COĞRAFYA, 1998

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

TARIM ve KÖYİŞLERİ BAKANLIĞI 1990-2011

Yayımları (SCI ve diğer)

Ünal, E., Aydoğdu, M., Ceylan, N., Sezer, A., Özenç, N., Duyar, Ö. 2010. Giresun İlinde Fındık Alanlarının Uzaktan Algılama ile Tespit Edilmesinde Arazi Topografyasının Etkisinin İncelenmesi ve Alternatif Tarım Ürünlerine Uygunluğunun Belirlenmesi. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 2010, 19 (1-2):1-10.

Ceylan, N., **Ünal, E.**, Mason, J. 2009. A Case Study of Developing An Olive Tree Database For Turkey. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol.75, No.12, pp.1397-1405.

Yıldız, H., Avağ, Mermer, A., **Ünal, E.**, Urla, Ö., Aydogdu, M., Dedeoglu, F., Özaydın, K.A., O. Aydogmuş. 2009. Rakım ve Kuraklık İndisi Değerlerine Göre Türkiye'nin Homojen Alanlarının Belirlenmesi. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi. 18 (1-2): 17-21.

Ünal, E., Mermer, A., Urla, Ö., Ceylan, N., Yıldız, H., Aydoğdu, M. 2007. Pilot Study on Wheat Area Estimates in Turkey. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Volume XXXVI-8/W48. Proceedings of The Workshop Remote Sensing Support to Crop Yield Forecast and Area Estimates. Stresa, Italy.

Ünal, E., Mermer, A., Dogan, H. M.. July 2004. Determining Major Orchard (Pistachio, Olive, Vineyard) Areas in Gaziantep Province using Remote Sensing Techniques. ISPRS Congress, 12-23 July 2004, İstanbul (Published in CD form as pdf).

Ünal, E., Mermer, A., Doğan, H.M. 2002. Determination of cotton areas using remote sensing techniques. 5th Cotton, Textile and clothing symposium of Turkey. 28-29 April 2002 Diyarbakır, Turkey. ISBN: 975-407-107-1.

Mermer, A., **Unal, E.**, Tekeli, A., E. Sorman, U. 2000. Snow Cover Monitoring of Sandıras Mountain Using NOAA Satellites Images. Proceedings of Second ICGESA International Conferences on GIS for Earth Science Applications. 11-14 September 2000. Menemen- İzmir-Turkey.

Doğan, H.M., Mermer, A., Urla Ö., **Ünal, E.** 2000. Range Assesment by GIS&RS Techniques. 2nd International Symposium on New Technologies for Environmental Monitoring and Agro-Applications. 18-20 October 2000, Tekirdağ/Turkey.

Mermer A., **Ünal, E.**, Arpak, Ş. 1999. Monitoring Agriculture with NOAA Images in Turkey. 2nd ERDAS User Conference of Turkey. Middle East Technical University. 10-12 June 1999. Ankara, Turkey.

Unal E. 1998. Satellite Monitoring of Some effects of Poultry Operations in The Lake Eucha Watershed in Eastern Oklahoma. Oklahoma State University, Department of Geography. Creative Component. July 1998.