

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKROMETEOROLOJİK YÖNTEM İLE TARIM EKOSİSTEMİNDE SERA
GAZI AKILARININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serhan YEŞİLKÖY

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKROMETEOROLOJİK YÖNTEM İLE TARIM EKOSİSTEMİNDE SERA
GAZI AKILARININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Serhan YEŞİLKÖY
511121010**

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Levent ŞAYLAN

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511121010 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Serhan YEŞİLKÖY**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**MİKROMETEOROLOJİK YÖNTEM İLE TARIM EKOSİSTEMİNDE SERA GAZI AKILARININ BELİRLENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Levent ŞAYLAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Barış ÇALDAĞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Zafer ASLAN
İstanbul Aydın Üniversitesi

Teslim Tarihi : **15 Aralık 2014**
Savunma Tarihi : **23 Ocak 2015**

Canım babaannem, sevgili annem, babam ve biricik kardeşime,

ÖNSÖZ

Atmosferdeki sera gazları konsantrasyonlarının sanayii devriminden itibaren hızlı artışı üzerinde yaşadığımız gezegendeki denizlerin ve karaların ısınmasına yol açmış ve bununla beraber küresel iklim değişikliğine sebep olmuştur. Bu nedenle bir çok ülkede ve düzenli olarak sera gazları konsantrasyonlarının azaltılması için toplantılar, protokoller yapılmaktadır. Ülkemiz de imzaladığı Kyoto Protokolü sebebiyle sera gazı bütçesinin bileşenlerini, emisyon ve yutak, belirlemek zorundadır. Emisyon ve yutak bileşenlerinin farkı bize net birikimi vermektedir. Özellikle CO₂ ve su buharının atmosfer ile bitkiler arasındaki etkileşimi ile ilgili ölçüm ve analiz çalışmaları ülkemizdeki karbon bütçesinin belirlenmesinde karar vericilere gerçek veriler sağlanmasında büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma ulusal karbon bütçesi çalışmalarına, gelecekte kurulması beklenen karbon borsalarına ve buna bağlı olarak kurumlar tarafından verilecek destek programlarına fikir sağlayacaktır. Bu çalışmadaki asıl amaç, ülkemizde yetişen ve önemli bir besin kaynağı olan kışlık buğday bitkisinin, hasattan sonraki toprak üzerindeki anızın ve çıplak toprağın CO₂ ve su buharı akılarının belirlenmesi için gerekli bilgiler sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar uzaktan algılama ile görselleştirilen verilerin kalibrasyonunda önemli bir referans oluşturmaktadır.

Bu yüksek lisans tezinin hazırlanmasında ve öğrenimim boyunca her anlamda desteğini her zaman hissettiğim, örnek aldığım insan, danışman hocam olan Prof. Dr. Levent ŞAYLAN'a çok teşekkür ederim. Değerli bilgilerini benimle paylaşan Yrd. Doç. Dr. Barış ÇALDAĞ ve Prof. Dr. Zafer ASLAN'a çok teşekkür ederim. Çalıştığım kurum olan Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyon Müdürlüğü'nde desteklerini her zaman hissettiğim müdürüm Dr. Fatih BAKANOĞULLARI, ablam dediğim Dr. Başak AYDIN'a çok teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarını asla esirgemeyen ve maneviyatlarını her zaman hissettiğim Arş. Gör. Nilcan AKATAŞ, Orçun ALTINBAŞ, Özgün İNCEOĞLU ve H. Özhan ÜNAL'a teşekkürü borç bilirim. Son olarak ailem olmak üzere eğitime ve okumaya çok önem veren babaanneciğim Keziban YEŞİLKÖY'e, desteklerini doğduğum andan itibaren hissettiğim annem Seval YEŞİLKÖY, babam U. Serdar YEŞİLKÖY'e, kardeşim Sercan YEŞİLKÖY'e teşekkür ediyorum.

Bu çalışmada elde edilen veriler, TÜBİTAK 109R006 numaralı proje kapsamında alınan alet ve ekipmanlar ile gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle TÜBİTAK'a; ayrıca İstanbul Teknik Üniversitesi Rektörlüğü ile Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'na ve TAGEM'e, Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü'ne bu disiplinler arası çalışmaya katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Aralık 2014

Serhan Yeşilköy
Meteoroloji Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	6
2. MATERYAL	13
2.1 Arazi Bilgisi	13
2.2 Deneme Alanı Toprak Bilgileri.....	15
3. METOT.....	17
3.1 Eddy Kovaryans Yöntemi	17
3.2 Gerçek ve Referans Evapotranspirasyon.....	20
4. VERİ ANALİZİ.....	21
4.1 Verilerin Düzeltilmesi	21
4.2 Hatalı Verilerin Uzaklaştırılması.....	24
4.3 Eksik Verilerin Doldurulması	25
4.4 Brüt Fotosentez ve Ekosistem Solunumu Hesaplanması	26
5. BULGULAR.....	27
5.1 Meteorolojik Değişkenlere Ait Bulgular.....	27
5.2 Arazide Yetiştirilen Buğday Bitkisine Ait Bulgular	34
5.3 Eddy Kovaryans Sisteminden Elde Edilen Bulgular.....	38
5.3.1 Buğday bitkisi gelişme dönemindeki elde edilen bulgular	38
5.3.1.1 Gerçek ve referans evapotranspirasyon değerleri	45
5.3.1.2 NEE, GPP, R_{eco} ile vejetasyon ve meteorolojik değişkenler arasındaki ilişki.....	46
5.3.2 Anız döneminde elde edilen bulgular	52
5.3.3 Çıplak toprak döneminde elde edilen bulgular	63
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ.....	81

KISALTMALAR

ABL	: Atmosferik sınır tabaka
AC	: Otomatik hazne
C_p	: Havanın özgül ısısı
CO₂	: Karbondioksit
EC	: Eddy Kovaryans
ET	: Gerçek evapotranspirasyon
ET₀	: Referans evapotranspirasyon
gC/m²	: gram karbon/metrekare
G	: Toprak ısı akısı
GPP	: Brüt fotosentez
Hz.	: Hertz
H₂O	: Su buharı
H	: Hissedilebilir ısı akısı
k_c	: Bitki katsayısı
LE	: Gizli ısı akısı
LAI	: Yaprak alan indeksi
LUT	: Taramalı tablolar yöntemi
MDS	: Marjinal dağılım örnekleme
M.Ö.	: Milattan Önce
NEE	: Net ekosistem değişimi
NLRs	: Non-Lineer regresyon analizi
PBL	: Planeter sınır tabaka
PPFD	: Fotosentetik foton akı yoğunluğu
R_{eco}	: Ekosistem solunumu
R_g	: Global radyasyon
RH	: Bağıl nem
R_n	: Net Radyasyon
s	: Kuru havanın karışma oranı
s_w	: Havanın Nem Oranını
ρ_d	: Kuru havanın yoğunluğu
u	: Rüzgarın x yönündeki bileşeni
u₂	: 2 m’de ölçülen ortalama rüzgar şiddeti
u*	: Sürtünme rüzgarı
r²	: Determinasyon katsayısı
SPM	: Yarı-parametrik yöntem
T_a	: Hava sıcaklığı
TAGEM	: Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
v	: Rüzgarın y yönündeki bileşeni
VPD	: Buhar basınç farkı
WPL	: Webb-Pearmann-Leuning
W	: Watt

w	: Düşey rüzgar şiddeti
γ	: Psikrometrik katsayı
α	: Rotasyon Katsayısı
β	: Rotasyon Katsayısı
λ	: Suyun buharlaşması için gerekli gizli ısı
Δ	: Buhar basıncı doğrusu eğimi

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : Uygulamalı Meteoroloji Sınıflandırması.....	3
Çizelge 1.2 : Yapılmış Diğer Çalışmalar	11
Çizelge 2.1 : Toprak Yapısının Fiziksel Özellikleri.	16
Çizelge 2.2 : Toprak Yapısının Kimyasal Özellikleri	16
Çizelge 5.1 : Meteorolojik Değişkenlere Ait Bulgular	28
Çizelge 5.2 : Buğday Bitkisi Fenolojik Gözlemleri	34
Çizelge 5.3 : Buğday Bitkisine Ait Biyokütle Değerleri	36

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Atmosferik Süreçlerin Zamansal ve Yersel Ölçeklendirmesi.....	2
Şekil 1.2 : Nisan 2014 itibarıyla FLUXNET Ölçüm Ağı.....	5
Şekil 2.1 : Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Arş. İst. Müd. Arazisi	13
Şekil 2.2 : Ölçüm İstasyonlarının Arazi İçerisindeki Görünümü.....	14
Şekil 2.3 : Eddy Kovaryans Ölçüm Sisteminin Yakından Görüntüsü.....	15
Şekil 3.1 : Rüzgarın Genel Hareketi.....	18
Şekil 3.2 : Aynı Noktada Farklı Zamandaki Ölçümler.....	19
Şekil 4.1 : Ham Veri ile Düzeltilmiş Verilerden Bir Kesit.....	22
Şekil 4.2 : WPL Terimi ile Düzeltilmiş Ham Verilerin Saatlik Hataları.....	23
Şekil 5.1 : 2 Metre Yükseklikteki Hava Sıcaklığının Günlük Değişimi.....	29
Şekil 5.2 : 2 Metre Yükseklikteki Bağıl Nemin Günlük Değişimi.....	29
Şekil 5.3 : Farklı Seviyelerdeki Ortalama Rüzgar Şiddetinin Aylık Değişimi.....	30
Şekil 5.4 : Farklı Seviyelerdeki Rüzgar Şiddetinin Günlük Değişimi.....	31
Şekil 5.5 : Global ve Net Radyasyonun Günlük Değişimi.....	31
Şekil 5.6 : Toprak Isı Akısının Günlük Değişimi.....	32
Şekil 5.7 : Araştırma Dönemindeki Toprak Su İçeriği Takibi.....	33
Şekil 5.8 : Araştırma Dönemi Boyunca Gerçekleşen Yağış Miktarı.....	33
Şekil 5.9 : Buğday Bitkisinin Gelişme Dönemindeki Gövde Boyu Değişimi.....	37
Şekil 5.10 : Buğday Bitkisinin Gelişme Dönemindeki Biyokütle Değişimi	37
Şekil 5.11 : Buğday Bitkisinin Gelişme Dönemindeki Orjinal ve Doldurulmuş NEE Değişimi	38
Şekil 5.12 : Buğday Bitkisinin Gelişme Dönemindeki Orjinal ve Doldurulmuş GPP Değişimi.....	39
Şekil 5.13 : Buğday Bitkisinin Gelişme Dönemindeki R_{eco} Değişimi.....	40
Şekil 5.14 : Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki Orjinal Veriler ve Doldurulmuş LE Değişimi	41
Şekil 5.15 : Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki Global Radyasyon ve Hava Sıcaklığı Değişimi.....	42
Şekil 5.16 : Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki Günlük Toplam NEE, GPP, R_{eco} Değişimi.....	43
Şekil 5.17 : Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki Kümülatif NEE, GPP ve R_{eco} Değişimi	44
Şekil 5.18 : Eksik NEE Verileri ile Doldurulmuş NEE Verileri Arasındaki İlişki ...	44
Şekil 5.19 : Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki NEE ile GPP Arasındaki İlişki ..	45
Şekil 5.20 : Gerçek Evapotranspirasyon ve ET_0 Değişimi	46
Şekil 5.21 : Bitki Katsayısının (k_c) Değişimi	46
Şekil 5.22 : NEE ile Toprak Üstü Biyokütle Arasındaki İlişki	47
Şekil 5.23 : GPP ile Toprak Üstü Biyokütle Arasındaki İlişki	47
Şekil 5.24 : Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki NEE ile PPFD Arasındaki İlişki	48

Şekil 5.25 : Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki NEE ile Toprak Sıcaklığı Arasındaki İlişki	48
Şekil 5.26 : Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki NEE ile Hava Sıcaklığı Arasındaki İlişki	49
Şekil 5.27 : Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki GPP ile PPFD Arasındaki İlişki	49
Şekil 5.28 : Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki GPP ile Toprak Sıcaklığı Arasındaki İlişki	50
Şekil 5.29 : Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki GPP ile Hava Sıcaklığı Arasındaki İlişki	50
Şekil 5.30 : Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki R_{eco} ile PPFD Arasındaki İlişki	51
Şekil 5.31 : Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki R_{eco} ile Toprak Sıcaklığı Arasındaki İlişki	51
Şekil 5.32 : Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki R_{eco} ile Hava Sıcaklığı Arasındaki İlişki.....	52
Şekil 5.33 : Hasattan Sonra Arazi Üzerinde Bırakılan Anız Görüntüsü.....	52
Şekil 5.34 : Anız Dönemindeki Orjinal ve Doldurulmuş NEE Değişimi.....	53
Şekil 5.35 : Anız Dönemindeki Orjinal ve Doldurulmuş GPP Değişimi	53
Şekil 5.36 : Anız Dönemindeki R_{eco} Değişimi.....	54
Şekil 5.37 : Anız Döneminde Gerçekleşen Orjinal ve Doldurulmuş LE Değişimi ...	54
Şekil 5.38 : Anız Dönemindeki R_g ve Hava Sıcaklığı Değişimi	55
Şekil 5.39 : Anız Dönemindeki Günlük NEE, GPP ve R_{eco} Değerleri	56
Şekil 5.40 : Anız Dönemindeki Günlük Kümülatif NEE, GPP ve R_{eco} Değerleri.....	56
Şekil 5.41 : Anız Dönemindeki Orijinal ile Doldurulmuş NEE Verileri Arasındaki İlişki.....	57
Şekil 5.42 : Anız Dönemindeki NEE ve GPP Arasındaki İlişki.....	58
Şekil 5.43 : Anız Dönemindeki NEE ile PPFD Arasındaki İlişki	58
Şekil 5.44 : Anız Dönemindeki NEE ile Hava Sıcaklığı Arasındaki İlişki.	59
Şekil 5.45 : Anız Dönemindeki NEE ile Toprak Sıcaklığı Arasındaki İlişki	59
Şekil 5.46 : Anız Dönemindeki GPP ile PPFD Arasındaki İlişki	60
Şekil 5.47 : Anız Dönemindeki GPP ile Hava Sıcaklığı Arasındaki İlişki.....	60
Şekil 5.48 : Anız Dönemindeki GPP ile Toprak Sıcaklığı Arasındaki İlişki.....	61
Şekil 5.49 : Anız Dönemindeki R_{eco} ile PPFD Arasındaki İlişki	61
Şekil 5.50 : Anız Dönemindeki R_{eco} ile Hava Sıcaklığı Arasındaki İlişki.....	62
Şekil 5.51 : Anız Dönemindeki R_{eco} ile Toprak Sıcaklığı Arasındaki İlişki.....	62
Şekil 5.52 : Çıplak Toprak Olarak Bırakılan Araziden Görüntü	63
Şekil 5.53 : Çıplak Toprak Dönemindeki Orjinal ve Doldurulmuş NEE Değişimi ..	64
Şekil 5.54 : Çıplak Toprak Dönemindeki Orjinal ve Doldurulmuş GPP Değişimi ...	64
Şekil 5.55 : Çıplak Toprak Dönemindeki R_{eco} Değişimi	65
Şekil 5.56 : Çıplak Toprak Dönemindeki LE Değişimi.....	65
Şekil 5.57 : Çıplak Toprak Dönemindeki Global Radyasyon ve Hava Sıcaklığı Değişimi	66
Şekil 5.58 : Çıplak Toprak Dönemindeki Orjinal ve Doldurulmuş NEE Verileri Arasındaki İlişki	67
Şekil 5.59 : Çıplak Toprak Dönemindeki Günlük NEE, GPP, R_{eco} Değişimi	68
Şekil 5.60 : Çıplak Toprak Dönemindeki NEE, GPP, R_{eco} Kümülatif Değişimi.....	68
Şekil 5.61 : Çıplak Toprak Dönemindeki NEE ile GPP Arasındaki İlişki	69
Şekil 5.62 : Çıplak Toprak Dönemindeki NEE ile PPFD Arasındaki İlişki	70
Şekil 5.63 : Çıplak Toprak Dönemindeki NEE ile Hava Sıcaklığı Arasındaki İlişki.....	70
Şekil 5.64 : Çıplak Toprak Dönemindeki NEE ile Toprak Sıcaklığı Arasındaki İlişki.....	71

Şekil 5.65 : Çıplak Toprak Dönemindeki GPP ile PPFD Arasındaki İlişki	71
Şekil 5.66 : Çıplak Toprak Dönemindeki GPP ile Hava Sıcaklığı Arasındaki İlişki.	72
Şekil 5.67 : Çıplak Toprak Dönemindeki GPP ile Toprak Sıcaklığı Arasındaki İlişki	72
Şekil 5.68 : Çıplak Toprak Dönemindeki R_{eco} ile PPFD Arasındaki İlişki	73
Şekil 5.69 : Çıplak Toprak Dönemindeki R_{eco} ile Hava Sıcaklığı Arasındaki İlişki..	73
Şekil 5.70 : Çıplak Toprak Dönemindeki NEE ile Toprak Sıcaklığı Arasındaki İlişki	74

MİKROMETEOROLOJİK YÖNTEM İLE TARIM EKOSİSTEMİNDE SERA GAZI AKILARININ BELİRLENMESİ

ÖZET

18. yüzyılda sanayi devriminin başlaması ile insan gücünün yerini almaya başlayan buharlı ve içten yanmalı makinelerin atmosferdeki sera gazlarının Dünya üzerinde en çok etkisi bulunan CO₂ salınımını arttırmaya başlamıştır. Sera gazlarının konsantrasyonlarındaki artışın güneşten dünyaya gelen radyasyonun geriye olan kaçışını engellemiş ve ısınmasına yol açmıştır. Aynı zamanda dünyanın dönüş hızından kaynaklanan salınımlardan dolayı iklim değişikliği dünyanın süregelen ömründeki kaçınılmaz bir gerçektir.

Dünyanın ortalama sıcaklığındaki hızlı artış sera gazlarının konsantrasyonlarını belirleme ve atmosfere salınan sera gazı emisyonlarının azaltılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. İşte bu sebepten dolayı 1950’li yıllarda Hawaii takım adalarında başlayan karbondioksit konsantrasyon ölçümleri başlamıştır ve halen devam etmektedir. Dünyadan atmosfere salınan ve atmosferden alınan CO₂ başta olmak üzere diğer sera gazlarının hangi alanlardan salındığını ve hangi alanların yutak olarak bilinmesi için çalışmalar başlatılmıştır. İşte bu çalışmalar, yer yüzeyindeki bütün yüzeyler (deniz, orman, şehirler vb.) ile atmosfer arasındaki değişimlerin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Başta ormanlar ve okyanuslar olmak üzere karbon yutak alanları olarak bilinen tarım alanlarında da CO₂, H₂O ve enerji dengesi bileşenlerini belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Önemli karbon yutak alanları olan tarım alanlarında atmosferden alınan CO₂ miktarının bilinmesi küresel karbon bütçesinin belirlenmesi ve iklim değişikliği çalışmaları için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmaların farklı bitkiler üzerinde vejetasyon dönemi boyunca kesintisiz ve sürekli olarak yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmada 2012-2014 yılları arasında Kırklareli’deki Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü arazisinde kışlık buğday, anız ve çıplak toprak yüzeylerinden gerçekleşen CO₂ ve H₂O akıları belirlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı Türkiye için besin kaynağı olan ve geniş alanlarda yetiştirilen kışlık buğday bitkisinin CO₂ ve H₂O akılarının ölçülmesi, analizi ve değerlendirilmesidir. Bu bağlamda araştırma alanında yetiştirilen buğday bitkisi, anız ve çıplak toprak yüzeylerinden gerçekleşen net ekosistem değişimi meteorolojik şartlar ve vejetasyon dinamikleri arasındaki ilişkiler belirlenmiştir.

1990’lı yıllardan itibaren bitkiler üzerinde sera gazı akıları üzerine birçok çalışma yapılmasına karşın ülkemizde bu tarz çalışmalar oldukça sınırlı sayıda gerçekleşmiştir. Bu çalışma önceden yapılmış çalışmalara ek bilgi sağlaması, gelecekte farklı bitkiler üzerinde, farklı iklim koşullarında yapılacak çalışmalara katkı sağlaması açısından katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmanın yapılabilmesi için dünyada kabul görmüş ve yaygın olarak kullanılan Eddy Kovaryans (EC) yöntemi ile CO₂ ve H₂O akıları belirlenmiştir. Sonuç olarak 2012 – 2014 yılları arasındaki toplam kümülatif NEE, GPP ve R_{eco} değerleri sırasıyla 502.75, 2114.50, 1611.75 gC/m² olarak belirlenmiştir. Ayrı ayrı dönemlere bakılacak olursa kışlık buğday bitkisi için toplam kümülatif NEE, GPP, R_{eco} değerleri sırasıyla -383.94, 1222.17, 838.23 gC/m², anız için -105.14, 671.92, 566.78 gC/m², çıplak toprak yüzeyi için -13.67, 220.41, 206.74 gC/m² olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmanın sonuçları Türkiye’de geniş alanlarda yetiştiriciliği yapılan kışlık buğday bitkisinin ülkesel karbon bütçesinin belirlenmesine katkı yapması beklenmektedir. İklim değişikliği ile ilgili uluslararası toplantılara katılan karar vericilere katkı sağlamaktadır.

DETERMINATION OF GREENHOUSE GAS FLUXES USING A MICROMETEOROLOGICAL METHOD OVER AN AGRICULTURAL ECOSYSTEM

SUMMARY

Internal combustion machines started to take the place of manpower with concurrent industrial revolution in the 18th century. In this case, the amount of CO₂ released into the atmosphere has led to increased. Greenhouse gases; especially the anthropogenic CO₂ emissions effect more harmfully on earth's ecosystems. Increasing greenhouses gases concentrations block outgoing radiation from surface and resulting in global warming and climate change. At the same time, the climate change is a continuous and inevitable phenomenon.

Increasing global mean temperatures revealed the need of greenhouse gases concentration evaluations and reduced emission amounts. Therefore, determination of carbon dioxide released to and captured from the atmosphere as major components of global carbon cycle have been searched by scientists. To achieve this, measurements of CO₂ concentrations have begun at Hawaii Island from 1950's. Researches especially over water and forest surfaces allow us to evaluate the variations in CO₂ and H₂O fluxes. Determining the CO₂, H₂O and energy balance components over agricultural areas is crucial because these areas capture carbon dioxide from the atmosphere and release it back to the atmosphere again.

Evaluation of CO₂ and H₂O fluxes over agricultural areas became more important for the studies on global carbon budget and climate change. That is why some flux networks are established to measure carbon dioxide, water vapor and energy fluxes between different terrestrial ecosystems (forests, croplands, grasslands etc.) and the atmosphere. Most of the related micrometeorological systems are installed firstly in forests rather than in croplands. In this connection, amount of the micrometeorological tower sites is increasing in order to measure the needed mass and energy fluxes above canopies. Researches over different plants show that continuous measurements involving whole of the vegetation-growing period are necessary. Although many studies about greenhouse gases over different vegetations exist since 1990's, too limited researches about same issues have been done in Turkey until now.

Main aims of this study were to measure, analyze and evaluate the CO₂ and H₂O fluxes over winter wheat crop, which is an important nutritional source for Turkey. In this context, relationship between net ecosystem exchange of winter wheat and meteorological factors was determined on wide areas by considering also straw and bare surface conditions to analyze the vegetation dynamics better. Changes in carbon dioxide fluxes during two successive growing periods of winter wheat were measured and determined to represent to fulfill this lack for the Thrace region using a well-accepted micrometeorological method called the Eddy Covariance. As a

globally accepted scientific approximation, the eddy-covariance technique has been widely used during the past 20 years to measure exchange fluxes of mass and energy between ecosystems and the atmosphere. Nowadays, there are about 683 operational eddy-covariance stations worldwide, which are organized in continental networks and contributing to the global FLUXNET network continuously. These stations are mainly centered upon Europe, Europe, Asia, and U.S. Estimation of gas fluxes by the eddy-covariance technique requires the use of fast and precise gas analyzers'.

Traditionally, high-speed gas analyzers with a response rate of 10 Hz or higher are designed in open-path, closed-path, and enclosed-path configurations for measurements of eddy covariance fluxes of carbon dioxide and water vapor. There are also some rules and assumptions of the method:

- Measurements at a point should represent an upwind area,
- Measurements are to be done inside the boundary layer of interest,
- Fetch/footprint must be adequate. That mean fluxes should be measured only within the area of interest,
- Flux is fully turbulent and most of the net vertical transfer is done by eddies,
- Terrain is horizontal and uniform. Average of the fluctuations equals to zero. Air density fluctuations, flow convergence & divergence are negligible,
- Instruments are able to detect very small changes at very high frequency.

Main requirements for the instruments and data acquisition systems used for eddy covariance data are their response times to solve fluctuations up to 20 Hz. By all means, the measurements result never perfectly because of the assumptions, nature of the physical phenomena, instrumental problems, and specifics of the particular terrain or setup. Therefore, a number of potential flux errors occur, which can be corrected.

In this study; frequency response corrections, WPL (Webb-Pearman-Leuning) correction and coordinate rotation (tilt correction) have been applied to 10 Hz time series of eddy covariance data after spike removal, high pass, low filtering effects and linear detrending. Precipitation and low turbulent exchange conditions affect the eddy covariance measurements and produces uncorrected data to be filtered out. Hence, data gaps caused by the above conditions must be refilled. At this point, international standard procedures have been followed. Finally, flux partitioning was applied to data set with gaps.

Net ecosystem exchange (NEE), gross primary production (GPP) and ecosystem respiration (R_{eco}) values were calculated during the 2012-2013 winter wheat growing season, straw for July 2013 – December 2013, and bare soil for December 2013 – April 2014; respectively. At night, partitioning is simple as $R_{eco}=NEE$. During the day, the partitioning is dependent on the model used, so there are substantial uncertainties associated with the resulting estimates of GPP and R_{eco} .

In the 2012 – 2013 growing period, winter wheat was planted on 1 November 2012 and harvested on 31 June 2013. The eddy covariance flux measurements showed that cumulative NEE, GPP and R_{eco} of whole growing periods of 17 months were - 502.75, 2114.50, 1611.75 gC/m² respectively.

During the 2012 – 2013 growing period of for winter wheat, cumulative NEE, GPP, and R_{eco} were -383.94, 1222.17, and 838.23 gC/m², respectively. Daily means of

total NEE, GPP and R_{eco} for the whole growth period were -1.59, 5.05, and 3.46 gC/m^2 , successively. Similarly, maximum daily total NEE, GPP and R_{eco} for the whole period were determined as 3.58, 18.74, and 8.82 gC/m^2 . Minimums of daily total NEE, GPP and R_{eco} for the whole growing period were obtained as -10.80, 0 and 0.92 gC/m^2 , respectively. On the other hand, ratio of gaps in the whole data set of NEE and GPP was 42.6%. It is also determined that 78.7% of the total gaps occurred during nighttime and 21.3% at daytime. In addition; mean, maximum and minimum values of LE for winter wheat were 38.54, 479.97 and -64.71 W/m^2 . Relationships between NEE, GPP, R_{eco} and meteorological factors like photosynthetic photon flux density (PPFD), soil temperature, air temperature were also determined. Determination coefficients (r^2) between NEE and GPP is 0.93, whereas it was calculated as 0.47, 0.09, and 0.08 for between NEE and meteorological factors (PPFD, T_{soil} , T_{air}). Additionally, determination coefficients between GPP and meteorological factors were found as 0.69, 0.39, and 0.35. Likewise, determination coefficients between R_{eco} and meteorological factors were determined as 0.57, 0.64, and 0.58. In addition to these, evaluation of r^2 between NEE, GPP and biomass resulted as 0.85, and 0.83. Moreover, daily and growth period total reference evapotranspiration (ET_0) and crop evapotranspiration (ET_c) values were 2.21 mm, 534.05 mm and 1.36 mm, 325.46 mm; successively. Determination coefficient between ET_0 and ET_c was 0.43. Crop coefficient (k_c) is calculated as 0.62 for the 2012 – 2013 growing period of winter wheat.

Secondly, cumulative NEE, GPP, and R_{eco} of whole straw period were determined as -105.14, 671.92, and 566.78 gC/m^2 , respectively. Daily means of total NEE, GPP and R_{eco} for straw period were -0.69, 4.39, and 3.70 gC/m^2 . Maximum daily total NEE, GPP and R_{eco} for the whole growing period were determined as 5.34, 10.50, and 6.93 gC/m^2 . Minimums of daily total NEE, GPP and R_{eco} for the same period were evaluated as -5.40, 0 and 1.40 gC/m^2 , respectively. Ratio of the total gap in the whole NEE and GPP data set was 41.3%, where 75.2% of this gap occurred during night time. In addition; the average, minimum and maximum values of LE for straw surface were 26.70, 167.96, and -132.69 W/m^2 . In addition, the relationships between NEE and meteorological factors (PPFD, T_{soil} , T_{air}) were determined. Corresponding determination coefficients were 0.44, 0.39, and 0.58 respectively. Likewise, determination coefficients of GPP and meteorological factors were 0.75, 0.68 and 0.65. Determination coefficients between R_{eco} and meteorological factors were 0.48, 0.38, and 0.23.

Lastly; cumulative NEE, GPP, and R_{eco} for bare soil were -13.67, 220.41, and 206.74 gC/m^2 , respectively. During this this period between 1 December 2013 and 31 March 2014, the NEE reached its maximum positive value 26.82 gC/m^2 on 25 January 2014. After this period, NEE started to decrease towards negative values because of possible microbiological activities. Daily means of total NEE, GPP and R_{eco} for the period of bare soil were -0.11, 1.81, 1.70 gC/m^2 . Maximums of daily total NEE, GPP and R_{eco} for the whole growing period determined as 2.34, 4.82, and 4.82 gC/m^2 . Concordantly, the minimums of daily total NEE, GPP and R_{eco} for the same period were calculated as evaluated -3.06, -0.08, 0.00 gC/m^2 ; respectively. Gap percentage in the whole data set of NEE and GPP was 48.5%, for which 86.3% was calculated in nighttime and so daytime gap corresponded to 13.7%. Additionally, average, minimum and maximum values of LE for straw were 21.86, 447.11, and -141.63 W/m^2 . Again, possible relationships between NEE and meteorological factors (PPFD, T_{soil} , T_{air}) were also investigated. By these means, the determination

coefficients were 0.12, 0.06, and 0.0004; respectively. Determination coefficients of GPP and meteorological factors were 0.46, 0.03 and 0.15. As the last step; determination coefficients of R_{eco} and meteorological factors were obtained as 0.19, 0.19, and 0.24.

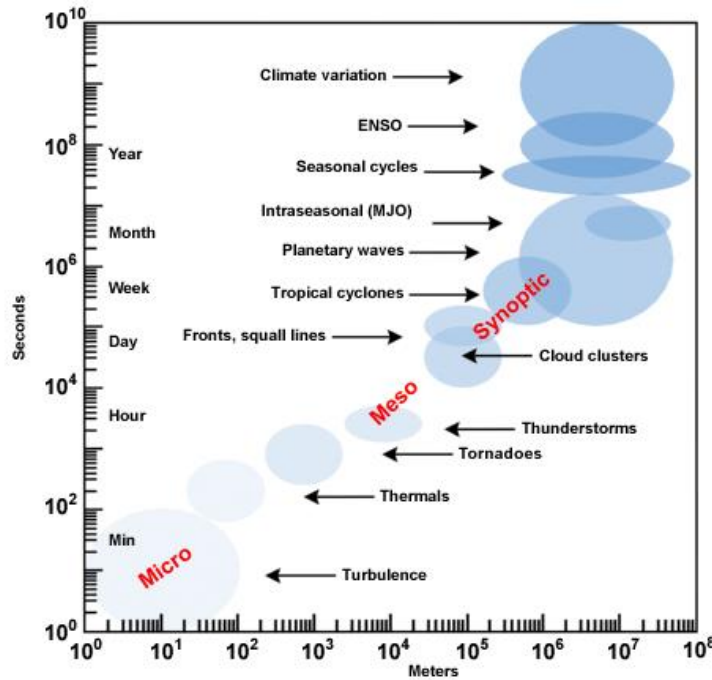
The results of this study showed the practical analysis results for the carbon budget of winter wheat, which is an important nutritional source for Turkey. For the same field, also results of straw and bare soil conditions were evaluated. It is hoped that these results will contribute to the activities of decision makers etc., who could find them needful for the calculation of national/international greenhouse gas budget resulted from agriculture.

1. GİRİŞ

Meteoroloji dünyadaki en eski bilim dallarından biridir. Geriye doğru bakılacak olursa M.Ö. 4. Yüzyıla kadar yani Aristoteles'in 4 ciltlik "Meteorology" kitabının yazıldığı tarihe kadar gidilebilir. Eski zamanlarda, havadaki her türlü görünümlere meteor adı verilirdi. 20. Yy.'ın ilk yarısında, toprağın üst katmanları meteorolojinin bir parçası olduğuna kanaat getirilmiştir. Bugün meteoroloji dendiği zaman genel anlamda klimatolojiyi içeren atmosfer bilimi olarak bilinmektedir. Meteorolojinin tanımını bazen oldukça dar perspektife sığdırıp atmosfer fiziği ve hava tahmini olarak da görebilmekteyiz (Glickman, 2000). Atmosferdeki süreçleri anlamak için fizik, kimya, biyoloji ve coğrafya gibi bilim dallarını iyi bilmek gerekmektedir. Pratik açıdan bakıldığında ise meteoroloji atmosferdeki ölçümlere dayanan ve diğer bilim dallarıyla ilişkilendirilen bir bilim dalıdır. Bu durum, yoğunluğu değişse de atmosferin etkilediği birçok bilim dalıyla beraber çalışan meteorolojinin karakteristik durumudur (Foken, 2008). Meteoroloji, teorik meteoroloji, gözlemsel meteoroloji ve uygulamalı meteoroloji olmak üzere 3 ana başlıkta dallara ayrılmaktadır. Hava tahmini ve klimatoloji uygulamalı meteoroloji alanında bulunmaktadır ve klimatolojinin ise deniz meteorolojisi araştırmaları gibi birçok alt dalları bulunmaktadır (Glickman, 2000).

Özellikle son 50 yılda çeşitli ölçek ve zamanlardaki çalışmalar teknolojinin de gelişmesi ile meteorolojide popüler hale gelmiş ve bunların alt dalları olan makro, mezo ve mikrometeoroloji de gelişmeye başlamıştır. Mikrometeorolojiyi zamansal ve alansal olarak belirli bir sürece kısıtlamamak gerekmektedir. Çünkü mikrometeorolojinin önemi bu kısıtlamaların içerisinde yer almaktadır. İnsanoğlunun yaşadığı ve atmosfer ile etkileşime girdiği çevre mikrometeorolojik araştırmaların odağında bulunmaktadır. Bu atmosferik yüzey tabakası, atmosferin sadece %5-10'luk kısmını oluşturmaktadır ve yükseklik olarak 0.5 ile 2 km arasındadır (Foken, 2008).

Atmosfer ile enerji alışverişinin en çok olduğu tabaka olan yeryüzü tabakası aynı zamanda güneş radyasyonu enerjisinin diğer enerji çeşitlerine dönüştüğü yerdir ve mikrometeorolojinin ilgilendiği ana alandır. Ayrıca, yer yüzeyi tabakası, sürtünme kuvvetinin kaynağı olmasının yanı sıra, rüzgar alanlarında ciddi farklılıklar yaratan ve dünya yüzeyi ile serbest troposfer arasındaki enerji ve momentum alışveriş süreçlerinin işlediği tabakadır. Atmosferdeki zaman ve alan ölçeğinin birbiriyle ilişkili olması nedeniyle mikrometeorolojinin zaman ölçeği, günlük çevrimden azdır (Foken, 2008). Glickman tarafından yapılan mikrometeoroloji tanımı ise atmosferdeki süreçleri gözlemler ile birlikte 1 km'den az yersel ölçek ve 1 günden az zamansal ölçeklerde inceleyen meteorolojinin bir parçasıdır. Meteorolojik süreçler, sürtünme kuvvetinin etkisiyle alçak katmanlarda meydana gelmektedir. Bu yüzden mikrometeorolojinin konusu dünyanın yüzeyi ile bitişik olan ve atmosferik sınır tabakası (ABL) veya planeter sınır tabaka olarak adlandırılan (PBL) yüzey tabakasını oluşturmaktadır. Atmosfer ve toprak, su veya bitkiler ile olan gaz, momentum vb. enerji alışverişi bu tabakada büyük önem arz etmektedir. Mikroklimatoloji ise ilgilenilen uzun dönemli mikrometeorolojik süreçlerin ortalamalarından sapmalarını izah etmeye çalışmaktadır (2000).



Şekil 1.1: Atmosferik Süreçlerin Zamansal ve Yersel Ölçeklendirilmesi
(http://www.goesr.gov/users/comet/tropical/textbook_2nd_edition/navmenu.php_tab_2_page_8.1.0.htm).

Eğer uygulamalı meteorolojinin araştırma alanlarına bakılacak olursa mikro ölçekteki süreçlerin bu alanın en önemli alanını oluşturduğu görülecektir (Çizelge 1.1) Bu yüzden mikrometeoroloji, meteorolojinin uygulamalı alanlarındaki atmosferik sınır tabaka ve yüzey tabakasıyla ilgilenen teorik, deneysel, klimatoloji alanlarında görmekteyiz. Ayrıca son yıllarda, çevre meteorolojisi de mikrometeoroloji ile ilgilidir. Uygulamalı meteoroloji genellikle hava tahmini ve hava kirliliği çalışmalarını içermektedir (Foken, 2008).

Çizelge 1.1: Uygulamalı Meteorolojisi Sınıflandırması.

Uygulamalı Meteoroloji					
Hidrometeoroloji	Teknik Meteoroloji			Canlı Meteorolojisi	
	İnşaat Meteorolojisi	Yol Meteorolojisi	Endüstriyel Meteoroloji	Tarımsal Meteoroloji	Orman Meteorolojisi
					İnsan-Canlı Meteorolojisi
	Ulaşım Meteorolojisi		Fenoloji		

Arya'nın (2001) ifade ettiği gibi atmosferik hareketler yatay ve düşey olarak olarak milimetreler mertebesiyle ekvator çizgisi mertebesine kadar çeşitli ölçeklerde meydana gelmektedir. Uygun olan zamansal ölçekler ise saliselerden birkaç ay veya yıllık olarak değişiklik göstermektedir. Hareketlerin bu ölçekleri genellikle mikro, mezo ve makro ölçek olarak 3 sınıfa ayrılmaktadır. Bazen bu ölçekler lokal, bölgesel ve küresel olarak da karakterize edilebilmektedir. Enerji değişimlerinin fazla olduğu atmosferik sınır tabakada rüzgar, sıcaklık, nem ve atmosferdeki gazların konsantrasyonlarının düşey değişimleri mikrometeorolojinin çalışma kapsamına girmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Atmosferdeki sera gazlarından olan karbondioksitin (CO₂) ortalama konsantrasyonu, küresel olarak sanayileşmenin başlamasının ardından 280 ppm değerinden günümüzde 400 ppm seviyesini geçmiş bulunmaktadır (IPCC, 2013; Ferrocino ve diğ., 2013). Bu kısa dönemdeki hızlı artış küresel olarak ısınmanın ve iklim değişiminin önemli nedenleri arasındadır. İklim değişikliği ile ilgili olarak dünyada bazı ülkeler tarafından kabul edilen Kyoto Protokolü'ne göre ülkeler hem kendi

ulusal sera gazı envanterini belirlerken hem de atmosfere saldıkları kirleticileri ve atmosferden fotosentez vb. şekillerde CO₂ alan yutak alanlarını da dikkate almak zorundadırlar. Bu durum, karbon bütçesinin elemanlarından olan atmosfere verilen sera gazı ve atmosferden alınan sera gazı kaynaklarının belirlenmesini ve ölçümler yapılarak miktarlarının ile ilgili araştırmalar yapılmasını gerektirmektedir. Sera gazlarının, özellikle CO₂'in ve su buharının bitkiler tarafından tutulan miktarı ile ilgili ölçüm çalışmaları gerekli olmaktadır (Şaylan, 2008).

Dünyada bitki ve atmosfer arasındaki enerji akıları ile ilgili uzun zamandan beri araştırmalar yapılmasına rağmen, ülkemizde bu alanda yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. 1950'li yıllarda vejetasyon ve atmosfer arasındaki CO₂ akıları ile ilgili araştırmaların ilk adımları atılmıştır. 1980'li yıllara gelindiğinde ise gelişen teknoloji ile birlikte mikrometeorolojik bir yaklaşım olan Eddy Kovaryans ile hem orman ve meraların CO₂ hem de su buharı ile enerji akılarının ölçülmesinde ve analizinde kullanılmaya odaklanılmıştır (Hernandez-Ramirez ve diğ., 2011). Böylece, artan atmosferik CO₂ konsantrasyonunun tarımsal ürünlere ve doğal ekosistem üzerine etkileri konularına yoğunlaşmıştır. Mikrometeorolojik kuleler kuran ve farklı iklim koşullarında, farklı vejetasyon yüzeyleri (tarımsal ürünler, toprak, mera, ormanlar) üzerinde uzun süreli karbon, su buharı ve enerji akıları ölçümleri yapıp bunları zamansal ve alansal olarak ilişkilendiren küresel bir ağ olan FLUX-NET kurulmuştur (Goulden ve ark, 1996; Lafleur ve ark, 1997; Mitaya ve ark, 2000). Farklı bölgesel ağların ölçüm kulelerini de içermektedir (AmeriFlux, CarboEurope, FLUXNET-Canada, OzFlux, AsiaFlux vb.). Nisan 2014 tarihi ile birlikte dünyada toplam 683 adet farklı ekosistemler üzerinde akı kulesi bulunmaktadır. Bu karbondioksit, su buharı ve enerji akılarını belirleyen ölçüm ağları Eddy Kovaryans ölçüm tekniğine göre belirlenmektedir (Baldocchi ve diğ., 1988).

Eddy Kovaryans yöntemi ile akı ölçümleri herhangi bir ampirik katsayıları kullanmadan direkt olarak akı ölçümü yapan yöntemdir (Lee ve diğ., 2004; Foken, 2008).

Kovaryans ölçüm sistemi ve tarımsal meteoroloji istasyonu TÜBİTAK 109R006 nolu 1001 projesi kapsamında alınmıştır. Bu yapılan çalışma, proje her ne kadar tamamlanmış olsa da devam niteliği taşımaktadır. Ülkemizde üretilen buğday bitkisinin büyük bir kısmı Trakya’da üretilmektedir ve bu çalışma Trakya’da yer alan Kırklareli ilindeki Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı’na bağlı Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü arazisi içerisinde yetiştirilen 2012-2014 yılları arasında 17 aylık dönemdeki buğday bitkisinin, ardından arazide bırakılan anızın ve çıplak toprak yüzeyinde gerçekleşen CO₂ ve su buharı akıları, vejetasyon ve atmosferik dinamikleri arasındaki ilişkiler belirlenmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

1950’li yıllarda Kansas, Amerika’da başlanan ilk deneyler ile mikrometeorolojik bir yöntem olan Eddy Kovaryans 1980’li yıllardan itibaren teknolojinin ilerlemesi ile birlikte Eddy Kovaryans ölçüm istasyonları ile atmosfer ve yüzeyler arasındaki gaz değişim çalışmaları oldukça yaygınlaşmıştır. Atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunu etkileyen en önemli süreçlerden birisi karasal ekosistemler ile atmosfer arasındaki CO₂ değişimidir. Küresel CO₂ bütçesindeki karasal ekosistemlerin rolünü belirlemek ve ileriye yönelik tahminlerde bulunabilmesi için birçok farklı ekosistemlerde uzun süreli ölçümler ve gözlemler yapılmıştır. Bu ölçümler alanları küresel bir ölçüm ağı olan FLUXNET tarafından yürütülmektedir. Bu ölçüm kuleleri çoğunlukla atmosferdeki CO₂ bütçesini önemli ölçüde etkileyen orman alanlarında bulunmaktadır. Ancak, çayır-mera alanları, sulak alanlar ve tarımsal araziler yer yüzeyinin önemli bir kısmını kaplamaktadır ve bölgesel, küresel CO₂ bütçesine katkı yapmaktadır.

Baldocchi’nin (2008) 504 eddy kovaryans ölçüm istasyonları verilerini derlemiştir ve yıllık ortalama ve standart sapma olarak $-181 \pm 269 \text{ gC/m}^2$ belirlemiştir ve bu istasyonlar yıllık -1000 ile 1300 gC/m^2 arasında ekosistemler ve atmosfer arasında net karbon değişiminin meydana geldiği belirlenmiştir. Görüldüğü üzere net karbon değişimi skalası geniş olduğu için uzun süreli ve farklı ekosistemler üzerinde bu çalışmaların yapılması büyük önem taşımaktadır.

Aubinet ve diğ. (2009) tarafından 2004-2008 yılları arasında Belçika Lonzée’de şeker kamışı, kışlık buğday, patates, kışlık buğday ekim döngüsünde CO₂ akıları

belirlenmiştir. Bu çalışmada 2004 yılında şeker kamışı, 2005 yılında kışlık buğday, 2006 yılında patates, 2007 yılında yeniden kışlık buğday ekilerek çalışma yapılmıştır. Bu çalışmadaki amaç, sürekli olarak günlük ve dönemsel NEE, GPP ve toplam ekosistem solunumunun (TER) belirlenmesidir. Bu çalışmada farklı bitkilerin farklı şekilde GPP ve R_{eco} değerlerine sahip olduğu gösterilmiştir ve bu ekim döngüsündeki toplam NEE değeri -1590 gC/m^2 olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda hasat zamanı bitkilerden atmosfere karbon verilmektedir ve bu değer $+220 \text{ gC/m}^2$ olarak belirlenmiştir. Bitki bazında bakılacak olursa NEE değerleri 2004 yılında ekilen şeker kamışı -800 gC/m^2 , 2005 yılında kışlık buğday -630 gC/m^2 , 2006 yılında patates -310 gC/m^2 , 2007 yılında kışlık buğday -730 gC/m^2 olarak belirlenmiştir. 2005 ve 2007 yıllarında yetiştirilen kışlık buğday bitkisinin farklı sonuçlar vermesi iklimsel özelliklerden dolayı olduğu belirtilmiş ve 2007 yılının normallere daha yakın olduğu belirlenmiştir. Aynı bölgede 2004 yılında yapılan farklı bir çalışmada ekilen şeker kamışı $-610 \pm 11 \text{ gC/m}^2$ ve 2005 yılında ekilen kışlık buğday bitkisi içim -630 gC/m^2 olarak belirlenmiştir (Moureaux ve diğ.,2006; Moureaux ve diğ.,2008).

Schimid ve diğ. (2012) tarafından Almanya'nın batısındaki Belçika sınırına yakın Selhausen deneme alanında 2 yıllık EC verileri kullanılarak kışlık buğday bitkisinin mevsimsel, yıllık analizleri meteorolojik faktörler ve arazi kullanımı ile nasıl değiştiğini incelemişlerdir. Bu yüzden deneme alanındaki buğday bitkisinin gelişimi ve araziye uygulanan her türlü tarımsal faaliyet kayıt edilmiştir. İlk yıl buğday bitkisi ekilmeden önce anız bulunurken; buğday hasatları sonrası arazide saman bırakılmamıştır. Elde edilen sonuçlara göre bu iki yıldaki NEE değeri -270 gC/m^2 olarak belirlenmiştir. Buğday bitkisinin gelişme dönemlerindeki NEE değerleri -627 gC/m^2 ile -537 gC/m^2 olurken, arazide bitkinin olmadığı dönemlerde 358 gC/m^2 ile 268 gC/m^2 olarak belirlenmiştir. Ayrıca buğday bitkisinin ekim tarihinden belli süreye kadar atmosfere karbon verse de gelişmeye başladığı dönemde atmosferden bünyesine ciddi miktarda karbon katmaktadır ve 2 farklı gelişme döneminde elde edilen değerlerin farklı olması yine meteorolojik şartlar ile bağlantılı olarak gerçekleşmiş ve ilk yıl buğday bitkisinin biyolojik aktivitesinin daha uzun olması NEE değerlerinde değişikliğe sebep olmuştur.

Béziat ve diğ. (2009) tarafından Fransa'nın güney batısında bulunan Toulouse şehrine yakın Lamasquère ve Auradé adlı yerlerde kışlık ve yazlık bitkiler arasında karşılaştırma yapılmış ve kışlık buğday, trikitale (buğday x çavdar melezi), kolza (yağlık bitki) ve ayçiçeği bitkilerinin NEE değerleri belirlenmiştir. NEE değerleri

kışlık buğday için -324 ± 20 (Auradé, 2006), -369 ± 33 (Lamasquère, 2007), tritikale - 335 ± 42 (Lamasquère, 2005), kolza (Auradé, 2005) -286 ± 23 ve ayçiçeği (Auradé, 2007) $+28 \pm 18$ gC/m² olarak belirlenmiştir. Ayçiçeği bitkisi dışındaki bitkiler atmosferden bünyelerine karbon katmalarına rağmen; ayçiçeği bitkisi atmosfere karbon vermektedir. Bitki alanlarının karbon tutma kapasitelerinin sınırlı olmasına rağmen uzun süreli karbondioksit akılarının farklı iklimler ve farklı bitkiler üzerinde tarımsal faaliyetlerin kayıt edilmesi ile belirlenmesi atmosfer ile yer yüzeyi arasındaki karbon dengesinin belirlenebilmesi iklim değişikliği ve artan nüfus ile birlikte ortaya çıkan gıda ihtiyacı ve güvenliği konuları açısından büyük önem taşımaktadır.

Saito ve diğ. (2005) tarafından Japonya'nın Tsukuba şehrinde 2002 yılında çeltik (pirinç) bitkilerinin yetiştirildiği alanlardaki karbondioksit değişimlerinin mevsimsel değişimi belirlenmiştir. Çeltik bitkisinin gelişme döneminin 140 günlük periyodunda kümülatif olarak -400 gC/m² olan NEE değeri bitkinin kurutulmaya bırakıldığı son 30 günde $+60$ gC/m² NEE değeri olduğu belirlenmiştir. Bitkinin gelişme dönemlerine göre CO₂ akılarının değişimi belirlenmiş. En çok geliştiği dönemlerde CO₂ akılarının yüksek değerlere ulaştığı gösterilmiştir ve yaprak alan indeksi (LAI) değerinin en yüksek olduğu zamanda karbon akısı günlük maksimum 39 gC/m² olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada aynı zamanda önceki kısa bitkilerde yapılan ve hesaba katılmayan CO₂ birikimi (F_s) teriminin her zaman NEE değerleri için kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. Birikim terimi birden fazla yükseklikte ölçülecek akılar ile doğru bir şekilde hesaplanabilmektedir. Tek seviyede yapılan ölçümler kabul yolu ile belirlenmektedir. Genellikle tek seviyede yapılan akı ölçümlerinde elde edilen F_s teriminin muhtemelen daha az belirlendiği vurgulanmıştır.

Şaylan ve diğ. (2011) tarafından nemli-denizsel iklime sahip Japonya'nın Tottori şehrinde sulanan soya fasülyesi üzerinde CO₂ akıları belirlenmiştir. Soya fasülyesinin gelişme dönemindeki toplam NEE değeri -93 gC/m² ve günlük maksimum -3.8 gC/m² olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışma boyunca soya fasülyesi aşırı yağışlar ve sürekli olarak sulanmış ve toprak su içeriği genellikle tarla kapasitesi civarında seyretmiştir. Bu yüzden bitki su stresine girmemiştir. NEE, GPP ve R_{eco} değerleri diğer bitkilerle yapılan çalışmalar bakıldığında zaman yüksek çıkmamıştır. Baker ve Giriffis (2005) tarafından 2002 yılında yapılan çalışmaya (-50 gC/m²) göre daha yüksek NEE değerine sahiptir ve sürekli olarak çalışmaların yapılması gerektiği

vurgulanmıştır.). Çeşitli iklim koşullarında ve farklı zirai uygulamalarla yürütülen birçok çalışmada soya fasulyesinin enerji ve gaz akıları tespit edilmiştir (Chu ve diğ., 2014; Posse ve diğ., 2014)

Wang ve diğ. (2013) tarafından Kasım 2008 – Kasım 2009 tarihleri arasında ılıman karasal muson iklimine sahip Çin'in Yuncheng şehrinde pamuk ve buğday alanlarında Eddy Kovaryans ile otomatik hazne (AC) ile belirlenen kabondiyoksit akılarını karşılaştırmıştır. Yarım saatlik verilere bakıldığında iki yöntem arasında pamuk bitkisi için çarpım katsayısı 0.78, buğday bitkisi çarpım katsayısı 1.06 olarak belirlenmiştir. Günlük toplam akılara bakıldığında iki yöntem daha benzer değerler vermektedir ve pamuk bitkisi için çarpım katsayısı 0.94, buğday bitkisi için çarpım katsayısı 1.00 olarak belirlenmiştir. Bu iki yöntem ile elde edilen kümülatif sonuçlar arasında küçük farklar (%-9 ile %7 arası) belirlenmiştir. Pamuk bitkisinin gelişme dönemi boyunca NEE değerleri EC yöntemi -40 gC/m^2 ; AC yöntemi ile -42 gC/m^2 olarak belirlenmiş. Buğday bitkisinin gelişme dönemindeki NEE değerleri EC yöntemi ile -251 gC/m^2 ; AC yöntemi ile -205 gC/m^2 olarak belirlenmiştir. Bu çalışma kısa boylu bitkilerde NEE değerlerinin belirlenmesi için EC yöntemine alternatif olarak AC yönteminin de kullanılabileceğini göstermesine rağmen farklı bitkiler üzerinde çalışmalara ihtiyaç duymaktadır.

Wang ve diğ. (2013) tarafından Çin'in doğusunda bulunan ve ülkenin önemli tarım alanı olan Loess Ovasında yetiştirilen buğday bitkisinin Eylül 2009 – Haziran 2010 tarihleri arasındaki gelişme döneminde yağış kısıtı yaşayan buğday bitkisinin CO_2 akılarına verdiği tepkiler belirlenmiştir. Bu dönemdeki toplam NEE değeri $-218.9 \pm 11.5 \text{ gC/m}^2$ olarak belirlenmiştir. Günlük toplam yağışın 5 mm'den fazla olduğu zamanlardan sonra R_{eco} ve CO_2 akılarındaki sapmaların yüksek olduğu belirlenmiştir. Toprak su içeriğinin düşük olduğu zamanlarda CO_2 akı verisi de PAR değerinin $1100 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ değerine kadar düşmektedir. Bu değerden sonraki düşüş hızı bir şekilde gerçekleşmemektedir. Bitkinin hızlı geliştiği orta dönemde yağışın yüksek olduğu zamanlarda topraktaki mikrobiyolojik aktivitenin artmasından dolayı karbon akılarında azalmalar meydana gelmektedir. Hasattan sonraki dönemde küçük de olsa topraktan atmosfere karbon çıkışı meydana gelmiştir. Bu dönemdeki karbon akısı PAR, LAI, toprak sıcaklığı ve toprak su içeriğinden etkilenmektedir. Başka alanlarda da yapılması gerektiğini vurgulanmıştır.

Anthoni ve diğ. (2004) tarafından Thuringia/Almanya'da 2001 yılında yetiştirilen kışlık buğday bitkisinin NEE değişimini yıllık -185 ile -245 gC/m^2 arasında

belirlenmiştir. Eddy Kovaryans yöntemi nadiren 24 saatlik kullanılabilir veri üretebilmektedir. Bu oluşan boşluklar farklı veri tamamlama yöntemleri kullanılarak tamamlanmaktadır. Bu çalışmada Monte Carlo tamamlama yöntemi ile Falge ve diğ. (2001) geliştirdiği veri tamamlama yöntemi kullanılmıştır ve farklar meydana gelmiştir. Bu sebepten dolayı NEE değişimi tam bir değer yerine aralık olarak verilmesinin daha doğru olduğunu ifade etmektedirler.

Eddy Kovaryans yöntemi rüzgarın türbülansından yararlanarak akı hesaplamalarını yaptığından dolayı atmosferik şartlara göre (kararlı, kararsız, nötr) verilerin ihmal edilmesi veya düzeltilmesi gereken bir yöntemdir ve 24 saatlik sürekli veri olma ihtimali çok düşüktür (Aubinet ve diğ. (2004). Eksik verilerin tamamlama işlemi tamamlama işlemi bütün veriler için farklı yöntemler önerilmektedir ve EC verilerinin tamamlama tekniklerini karşılaştıran Moffat ve diğ. (2007) Avrupa'daki 6 ormanlık alandan aldıkları 10 adet veri setini 15 farklı teknik uygulayarak performanslarını test edilmiştir. Bu çalışmada veri setlerinde yapay olarak boşluklar yaratılmış ve eksik verilerin tamamlanmasında yarı-parametrik model (SPM), marjinal dağılım örnekleme (MDS), non-lineer regresyon analizi (NLRs), taramalı tablolar yönteminin (LUT) yöntemlerinin güzel sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Kullanılan veri doldurma tekniklerinin yıllık NEE değerlerine olan etkisi $\pm 25 \text{ gC/m}^2$ olarak belirlenmiştir. Bu yapılan çalışmalar ormanlık alanlardan alınan veriler üzerine yapılmıştır. İlerleyen çalışmalarda farklı iklimlerdeki, su alanları ve diğer yetiştirilen bitkiler üzerinde yapılan ölçümlerdeki veriler üzerinde de mutlaka veri tamamlama tekniklerinin performansları test edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Aşağıdaki Çizelge 1.2; farklı tarım ekosistemlerinde ve ülkelerde sera gazı akıları ile ilgili yapılmış araştırmaları göstermektedir.

Çizelge 1.2 : Diğer Ülkelerde Yapılmış Çalışmalar.

Yazar / Tarih	Çalışma Alanı	Bitki Çeşidi	Dönem	NEE (gC/m ²)
Valentini ve diğ. / 2000	Almanya	Norveç Çamı	1997	-77 & -480
Hollinger ve diğ. / 2000	Amerika	Buğday	1996-1997	-183
Frank A.B. ve Dugas W.A. / 1999	Amerika	Çayır Mera Alanı	1996-1999	345
Falge ve diğ. / 2001	Ponca, Amerika	Kışlık Buğday	1997	-183
Anthoni ve diğ. / 2004	Gebesee	Kışlık Buğday	2001	-185
Saito ve diğ. / 2005	Japonya	Çeltik	2002	-340
Hollinger ve diğ. / 2005	Bondville, Amerika	Mısır	1997, 1999, 2001	-576
Verma ve diğ. / 2005	Mead	Sulanmayan ve Sulanan Mısır	2001, 2002, 2003	-454 & -480
Baker ve Griffis / 2005	Rosemount	Soya Fasülyesi	2002	-50
Moureaux ve diğ. / 2006	Belçika	Şeker Kamışı	2004	-610±110
Jun ve diğ. / 2006	Yucheng, Çin	Buğday + Mısır	2003 & 2004	-197.6 & -317.9
Moureaux ve diğ. / 2008	Belçika	Kışlık Buğday	2004-2005	-630
Béziat ve diğ. / 2009	Fransa	Kışlık Buğday, Ayçiçeği, Triticale, Mısır, Kolza	2007	-369±33, 28±18, -335±42, -186±42, -286±23
Schmidt ve diğ. / 2012	Almanya	Kışlık Buğday	2007-2009	-270±18.5
Şaylan ve diğ. / 2011	Tottori, Japonya	Soya Fasülyesi	2005	-93
Şaylan ve diğ. / 2012	Kırklareli, Türkiye	Kışlık Buğday	2009-2010, 2010-2011	-354.9 & -441.3
Wang ve diğ. / 2013	Çin	Kışlık Buğday	2009-2010	-218.9±11.5
Wang ve diğ. / 2013	Çin	Pamuk & Buğday	2008-2010	-40 & -251

2. MATERYAL

2.1 Arazi Bilgisi

Araştırma, Kırklareli ilinde yer alan Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü'ne (TAGEM) bağlı Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü arazisinde yapılmıştır. Bu çalışma Kasım 2012 – Temmuz 2013 buğday bitkisinin gelişme dönemi, hasattan sonra arazide bırakılan anız biçimindeki vejetatif yüzey (Temmuz 2013 – Aralık 2013) ve çıplak toprak (Aralık 2013 – Nisan 2014) üzerinde verilerin sağlandığı Eddy Kovaryans ölçüm sistemi arazi içerisinde yer almaktadır. Eddy Kovaryans ölçüm sistemi ve tarımsal meteoroloji istasyonu $41^{\circ}41'53''$ kuzey enlemi, $27^{\circ}12'37''$ doğu boylamındadır. Deniz seviyesinden olan yüksekliği 171 m'dir. Şekil 2.1'te arazide buğday bitkisinin ekilmiş olduğu alan beyaz çizgi ile belirlenmiştir. Kırmızı noktalar ölçüm sistemlerinin arazi içerisindeki yerlerini göstermektedir. Buğday bitkisinin bu dönemdeki toplam ekili alanı 93.12 dekar büyüklüğündedir.



Şekil 2.1: Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyon Müdürlüğü arazisinde tarlaların ve ölçüm istasyonunun konumları.

Ölçüm istasyonu üniform bir arazidedir ve ayakizi mesafeleri arazi içerisinde yer almaktadır. Eddy Kovaryans ölçümlerinde, sensörlerden kaynaklanan zamansal gecikme, verilerde meydana gelen sıçramalar, hava yoğunluğu farkından hatalı veriler elde edilebilmektedir. Ölçümler 10 Hz. zaman aralığında yapılmıştır. Bu verilerden daha sonra 30 dakikalık veriler elde edilmiştir.

Eddy Kovaryans ölçüm sisteminde 3 boyutlu 3-D sonik anemometre, CO₂/H₂O gaz analiz cihazı bulunmaktadır (Şekil 2.3). Tarımsal meteoroloji istasyonunda ise hava sıcaklığı ve bağıl nem ölçer, global radyasyon ölçer (piranometre), net radyasyon ölçer (net radyometre), fotosentetik foton akı yoğunluğu ölçer (PPFD) toprak ısı akısı ölçer, toprak su içeriği ölçerler, yağış ölçer, rüzgar şiddeti ölçer, toprak sıcaklığı ölçerler istasyonda bulunmaktadır. Şekil 2.2. tarım alanında kurulan ölçüm sistemlerini göstermektedir.

Eddy Kovaryans sisteminin kurulacağı yer seçimi yeterli feç (fetch) mesafesi ve ayakizi (footprint) alanı buğday bitkisinin yetiştirildiği arazide yer almaktadır.



Şekil 2.2: Ölçüm İstasyonlarının Arazi İçerisindeki Görünümü.



Şekil 2.3: Eddy Kovaryans Ölçüm Sisteminin Yakından Görüntüsü.

2.2 Deneme Alanı Toprak Bilgileri

Deneme alanı toprak özellikleri Şaylan ve diğ. (2012) tarafından TÜBİTAK projesi kapsamında analiz edilmiştir. Topraktan çakma silindirleri ile bozulmamış toprak örnekleri ve fiziksel özelliklerini tespit etmek amacıyla bozulmuş toprak örnekleri alınmıştır.

Alınan toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek için Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyon Müdürlüğü bünyesinde bulunan toprak analizi laboratuvarında sonuçlar elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen değerler, Çizelge 2.1 ve 2.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1: Toprak Yapısının Fiziksel Özellikleri (Şaylan ve diğ., 2012).

Derinlik (cm)	Su ile Doy. (%)	Su ile Doy. (pH)	Top. Tuz (%)	Kireç (%) CaCO ₃	Organik Madde (%)	Bitkilere Yararışlı		Bünye			Tarla Kap. (Ağırlık %)	Solma Nok. (Ağırlık %)	Bünye Sınıfı
						Fosfor (kg/da)	Potasyum (kg/da)	Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)			
0-30	44	7.67	0.08	2.2	1.46	22.07	84.69	12.50	20.83	66.67	16.20	6.73	Kumlu Tın
30-60	59	7.63	0.07	1.5	1.58	32.06	60.69	18.75	27.08	54.17	16.85	10.32	
60-90	57	7.77	0.07	1.5	1.10	34.86	55.52	16.67	27.08	56.25	22.82	10.12	
90-150	49	7.71	0.06	9.0	0.84	30.31	64.21	16.67	25.00	58.33	22.56	9.56	

Çizelge 2.2: Toprak Yapısının Kimyasal Özellikleri (Şaylan ve diğ., 2012)

Derinlik (cm)	Toplam Azot (N. %)	Toplam Karbon (C. %)	Değişebilir Fosfor (ppm)	Ca (cmol/kg)	K (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Na (cmol/kg)	kDk (cmol/kg)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)
0-30	0.093	0.846	38.54	24.71	0.22	0.40	0.15	25.48	6.57	7.34	9.41	12.88
30-60	0.111	0.916	55.98	24.10	0.23	0.51	0.23	25.07	8.49	13.35	2.60	9.48
60-90	0.093	0.638	60.87	21.72	0.23	0.51	0.20	22.66	-0.04	0.07	-0.01	-0.69
90-150	0.102	0.487	52.92	19.40	0.31	0.52	0.15	20.38	6.11	6.67	1.18	8.30

3. METOT

3.1 Eddy Kovaryans Yöntemi

Atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunu etkileyen en önemli süreçlerden birisi toprak, bitki ve atmosfer arasındaki etkileşimdir. Karasal ekosistemdeki CO₂ bütçesini yani karbon emisyon ve yutaklarının belirlenmesi için, Dünya üzerinde birçok farklı türdeki arazi ve ekosistemlerde uzun süreli ölçümler yapılmaktadır (Frank ve Dugas, 2001; Saigursa ve diğ., 2002). Tüm Dünya’da ölçüm yapan bu sistemler bir küresel ağ tarafından organize edilmiştir ve genellikle orman alanlarında ölçümlerini yapmaktadırlar. Orman arazileri dışında kalan ve bölgesel değişikliğe sebep olan üstü topraklar, büyük su alanları ve tarım arazilerinde de ölçümler yapılmaktadır.

1960’lı yıllardan itibaren CO₂ akılarını mikrometeorolojik yöntemlerle belirlemek amacıyla çalışmalar başlatılmıştır. Ancak Eddy Kovaryans (EC) yöntemi, 1980’li yıllardan sonra bu alandaki birçok araştırmada ölçüm ve analiz amacıyla kullanılmıştır (Miyata ve diğ., 2000). Bu yöntem, ekosistemlerden meydana gelen net CO₂ değişimlerini direkt olarak belirlemede kullanılan en yaygın yöntemlerden birisidir. Tarım arazilerindeki CO₂ akıları, meteorolojik faktörlerin yanı sıra, üzerinde yetişen bitkilerin ve bu bitkilerin çeşitli dönemlerinde değişiklik göstermektedir. Özellikle bitkiler, gelişmenin hızlandığı bahar aylarında fotosentezin artmasıyla, atmosferden bünyesine daha fazla CO₂ almaktadır (Moureaux ve diğ., 2006).

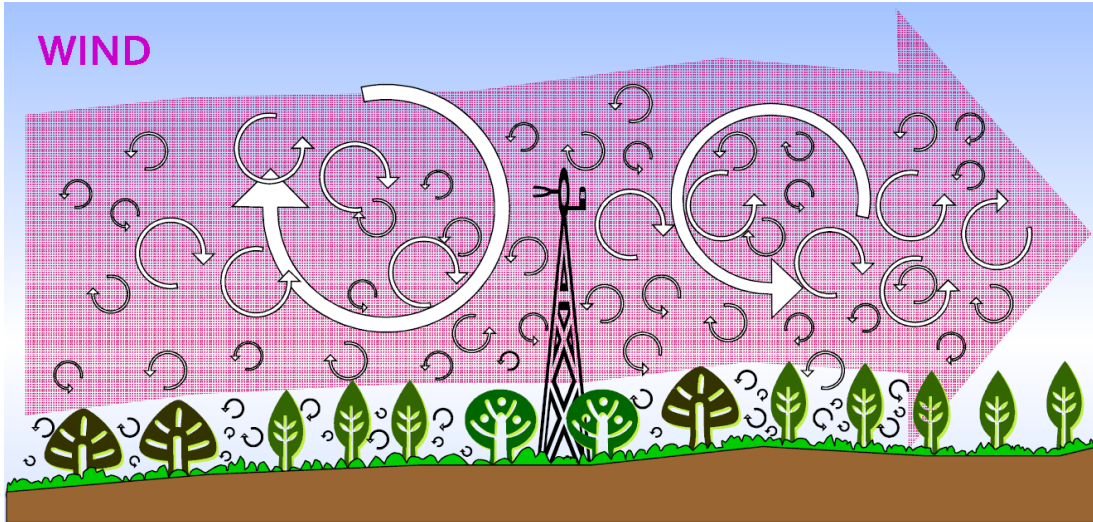
EC yöntemi ile şu ana kadar birçok ülkede birçok bitki ve ormanlar üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Araştırma yapılan bitkilerin en başında Dünya’da ana besin kaynaklarından biri olan ve birçok bölgede ticareti yapılan buğday bitkisi gelmektedir (Moureaux ve diğ., 2008). Türkiye’de yaklaşık 9.4 milyon hektarda ekilebilen buğday bitkisi üretimde yıldan yıla değişmekle birlikte 20 milyon ton civarında gerçekleşmektedir. Trakya’da buğday, yaklaşık 550,000 hektar alanda ekilmekte, 2 milyon ton civarında üretilmektedir ve dekardan alınan verim 380-410

kg arasında değişmektedir. Trakya'dan alınan buğday verimi Türkiye ortalamasından daha fazladır (Öztürk ve diğ., 2008).

Teorik olarak EC yöntemi, ölçüm yapılan alan ile atmosfer arasındaki CO₂, sıcaklık ve düşey rüzgar şiddetinin kovaryansından hesaplanmaktadır (Webb et al., 1980; Massman, 2004):

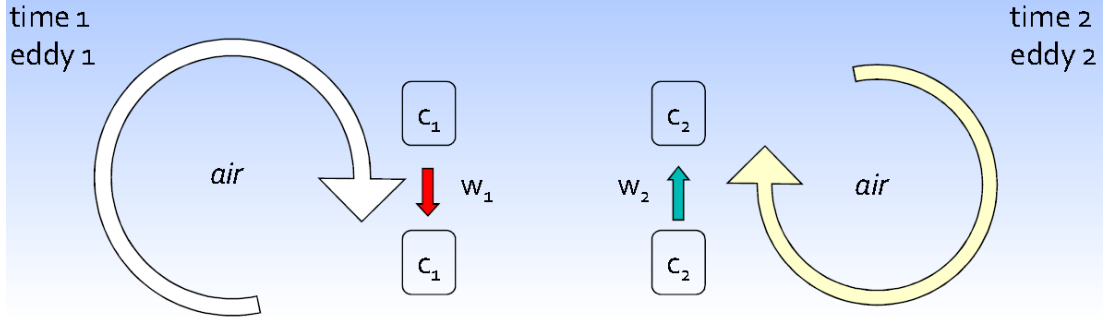
$$F_{cm} = \overline{\omega \rho s_w} \approx \overline{\rho_d \omega' s'} \quad (3.1)$$

Eşitlikte; F_{cm} , karışma oranı değerlerinden yararlanılarak düzeltilmiş akı yoğunluğunu; ω , düşey rüzgar şiddetini; ρ , havanın yoğunluğunu; s_w , havanın nem oranını; ρ_d , kuru havanın yoğunluğunu; s karışma oranını (kuru havanın) göstermektedir. Aşağıdaki Şekil 3.1, bitki örtüsü üzerinde hava hareketini ve gazların bu tabakada nasıl bir değişim içinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.1: Rüzgarın Genel Hareketi.

Şekil 3.2'de gösterildiği üzere EC yönteminin bileşenleri 3 boyutlu rüzgar şiddeti, gaz konsantrasyonu yoğunluğu, nemlilik ve sıcaklık değişkenleridir. Türbülans çalkantılarından veya ortalamadan sapmalardan yararlanılarak CO₂ ve H₂O akıları hesaplanmaktadır. Türbülans ile ne kadar molekül gaz atmosferden bitkiye veya bitkiden atmosfere geçtiğinin bilinmesi akı hesaplanmasına olanak sağlamaktadır. Atmosferik sınır tabakada gerçekleşen türbülans çok değişken ve kısa sürede gerçekleştiği için bu ölçümlerin çok kısa zaman aralıklarında (10 veya 20 Hz. gibi) yapılması gerekmektedir.



Şekil 3.2: Aynı Noktada Farklı Zamanlardaki Ölçümler.

EC yöntemi, atmosferik sınır tabakada akıların ölçülmesinde dünyada kullanılan en yaygın yöntemlerdendir. Teknolojinin gelişmesi ile ölçüm aletlerinin kalitesi ve yazılımlar bu yöntemin kullanılmasındaki önemli faktörlerden birisidir. Bu yöntemin en önemli özelliği arazi içerisinde sürekli ve kesintisiz direkt olarak bitkilerden veri sağlamasıdır. Ölçüm aletinden alınan ham veriler bazı matematiksel hesaplamalar, düzeltmeler ve eksik olan verilerin tamamlanması ile mümkün olmaktadır.

Denklem 2.1’de genel olarak akıların nasıl hesaplandığı formül gösterilmektedir. Hissedilebilir ısı akısı, gizli ısı akısı ve CO₂ akısı denklem (2.2), (2.3) ve (2.4)’te gösterilmektedir.

$$H = \rho_a C_p \overline{w'T'} \quad (3.2)$$

Eşitlikte H hissedilebilir ısı akısını, ρ_a havanın yoğunluğunu, C_p havanın spesifik ısı katsayısını, w düşey rüzgar şiddetini ve T sonik sıcaklığın düşey değişiminin kovaryansının ortalamasını göstermektedir (Kaimal ve Gaynor, 1991)

$$\lambda LE = \lambda \rho_a \overline{w'q'} \quad (3.3)$$

Eşitlikte λLE buharlaşma gizli ısı akısını, λ suyun buharlaşması için gerekli gizli ısıyı, $w'q'$ ’nin ortalaması ise düşey rüzgar şiddeti ile subuharının düşey değişiminin kovaryansını göstermektedir.

$$F_{CO_2} = \overline{w'c'} \quad (3.4)$$

Eşitlikte F_{CO_2} karbondioksit akısını, $w'c'$ ’nin ortalaması ise ölçülen karbonu ifade etmektedir.

3.2 Gerçek ve Referans Evapotranspirasyon

Gerçek evapotranspirasyonunun (ET) doğru bir şekilde belirlenebilmesi için lizimetreler veya mikrometeorolojik yöntemler kullanılmaktadır. Ancak bu sistemlerin pahalı olması, bazılarının pratik olmaması meteorolojik değişkenler vasıtasıyla ET'nin elde etme yoluna doğru gidilmesine sebep olmuştur. Bu sebepten dolayı ET'nin belirlenebilmesi Penman-Monteith eşitliğinden (Birleşmiş Milletler, Gıda ve Tarım Organizasyonu yaklaşımı) faydalanılmaktadır (Gavilan ve diğ., 2007). Ölçüm arazisinde bulunan EC sistemi ve tarımsal meteoroloji istasyonu ile gerçek evapotranspirasyon değerleri belirlenmiştir. Meteorolojik değişkenler yardımıyla elde edilen referans evapotranspirasyon (ET_0) değerleri, Penman-Monteith (FAO) denklemi kullanılarak günlük olarak hesaplanmıştır. FAO yaklaşımında günlük olarak hesaplanan toprak ısı akısı ($G \approx 0$) olarak alınmaktadır.

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (3.5)$$

Eşitlik 3.5'teki R_n net radyasyon, u_2 2 metre yüksekliğinde ölçülen ortalama rüzgar şiddeti, T 2 metre yüksekliğinde ölçülen ortalama hava sıcaklığı, e_s doymuş buhar basıncı, e_a aktüel buhar basıncı, $e_s - e_a$ doymuş buhar basınç farkı, Δ buhar basıncı doğrusundaki eğim, γ psikrometrik katsayıyı ifade etmektedir.

Hesaplanan ET_0 değerleri ile yurtdışında farklı ülkelerde yapılan çalışmalardan elde edilen bir katsayı sayesinde gerçek evapotranspirasyon değerleri elde edilmektedir.

$$ET = k_c \times ET_0 \quad (3.6)$$

Eşitlik 3.6'daki k_c bitki katsayısını göstermektedir. Bu bitki katsayısı bitkinin çeşidine göre değişiklik göstermektedir.

4. VERİ ANALİZİ

4.1 Verilerin Düzeltilmesi

Eddy kovaryans verileri, gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra türbülansın bir ölçüsü olan sürtünme rüzgarı (u_*) filtresinden geçmek zorundadır. Yağışlı zamanlar ile yeterli türbülansın bulunmadığı zamanlarda ölçülen Eddy Kovaryans verileri hatalı olarak kabul edilmektedir. Rüzgar, hakim rüzgar yönü olan kuzey, kuzeydoğudan esmediği zamanlar veriler, yeterli fetch (feç) mesafesinin olmadığı zamanlarda rüzgar esmesi durumunda veriler kullanılmamaktadır. Ölçüm sisteminin arazi içerisindeki konumu ilk aşamada uygun feç mesafesi ayarlanarak kurulduğu için ölçüm sisteminin yeterli feç mesafesi bulunmaktadır ve feç mesafesinden kaynaklı bir veri kaybı yaşanmamıştır.

Eddy Kovaryans ölçümlerinde atmosferik şartlar, yapılan bir takım kabuller, ölçüm sistemlerinden kaynaklanan teknik sorunlar ve ölçüm yapılan arazinin coğrafi özelliklerinden kaynaklanan hatalar meydana gelmektedir. Burba ve Anderson'un frekans tepki düzeltmesi %5-30, verilerdeki ani sıçramalar ve gürültü %0-15 oranında verilerde hataya sebep olmaktadır. Webb ve diğ. (1980) tarafından CO₂ ve H₂O akı ölçümlerindeki yükselme ve alçalmalara, sıcaklık ve subuharı ölçümlerinden kaynaklanan hatalar Webb-Pearmann-Leuning (WPL) düzeltmesi ile düzeltilmektedir.

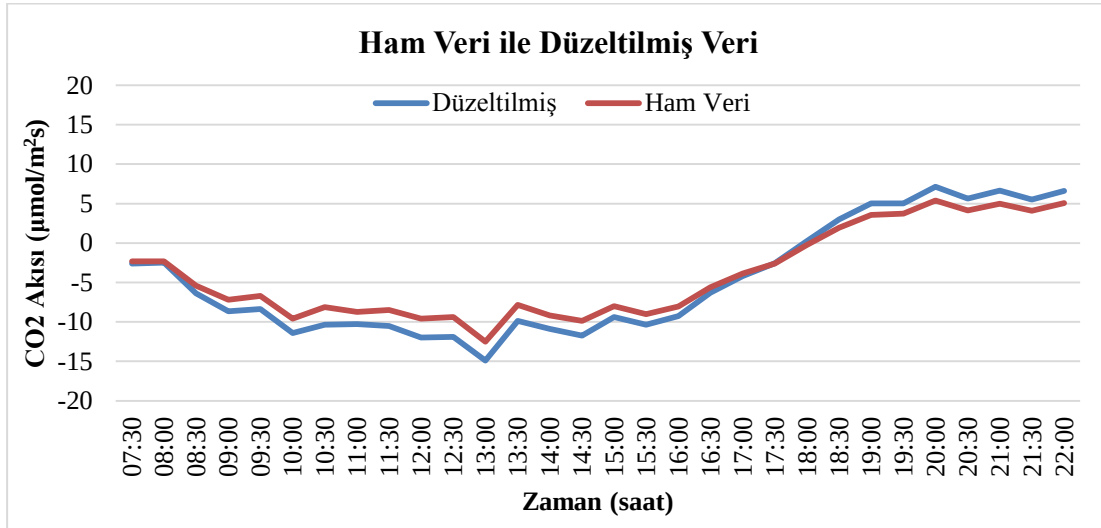
$$F_{ct} = \overline{\omega'q_c'} + \mu \frac{E}{\rho_d} \frac{\overline{q_c}}{1+\mu(\rho_v/\rho_d)} + \frac{H}{\rho C_p} \frac{\overline{q_c}}{T} \quad (4.1)$$

Eşitlikte; F_{ct} , WPL-düzeltilmeli akıyı; q_c , geleneksel yöntem ile hesaplanmış gaz yoğunluğunu; E , evapotranspirasyonu (buharlaşma gizli ısı akısını); H hissedilebilir ısı akısını; ρ_v , H₂O buharı yoğunluğunu; C_p , havanın özgül ısısını; T , hava sıcaklığını; μ havanın suya göre molar kütlelerinin oranını ($\mu=1.6077$) göstermektedir.

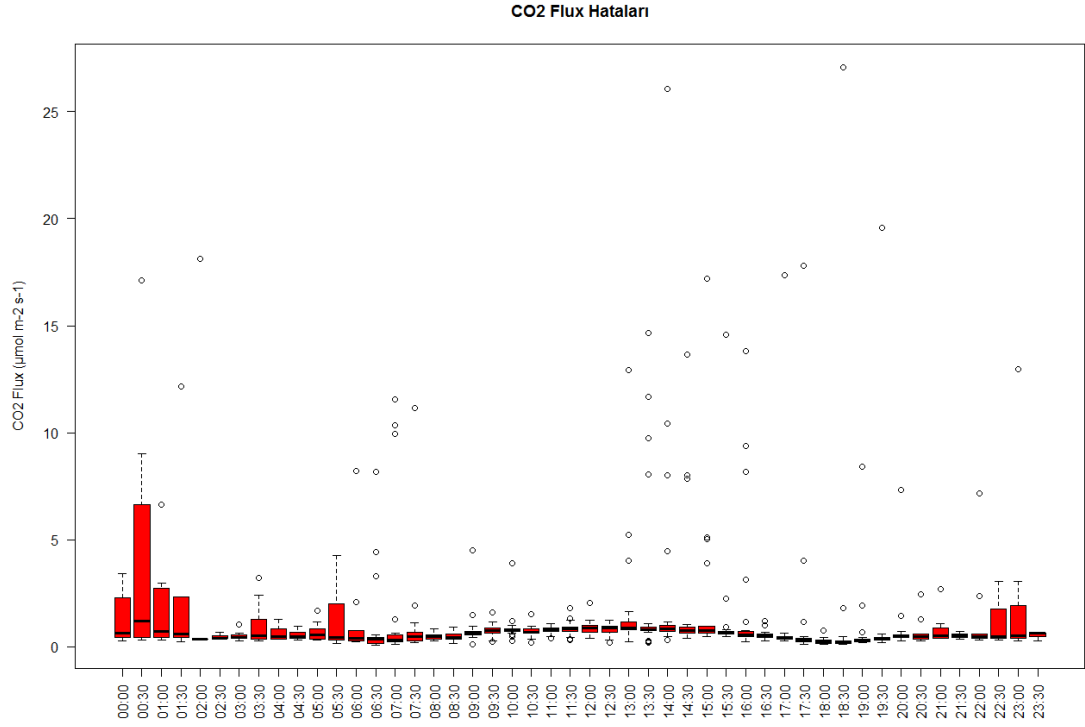
WPL düzeltmesi, ölçüm yapılan alandaki sıcaklık ve su buharı çalkantılarından kaynaklanan CO_2 , H_2O ve diğer gazlar üzerindeki çalkantıları telafi etmektedir. Bu süreci basitçe canlandırmak için yüzeyde bir akı değişiminin olmadığı bir ortamda yüzeyin üzerindeki soğuk havanın belli bir süre sonra ısınıp genleşmesinden dolayı hacminin artması ölçüm aletinin akı ölçmesine sebep olmaktadır. Detaylıca düşünülecek olursa, 10 Hz gibi yüksek frekans ölçümü yapıldığı varsayılırsa, inert olan CO_2 yüzeyi sıcak ve nemli, yukarı yönlü rüzgar hızı, w' , aşağı yönlü rüzgar olduğundan daha sıcak ve daha nemli olmaktadır. Çünkü yüzeyden atmosfere ısı ve su buharı transferi olmasıyla ifade edilebilir. Bu yüzden yukarı yönlü rüzgar hızı olduğunda CO_2 yoğunluğunda ortalama aynı olsa bile, aşağı yönlü rüzgar hızı olduğundan daha az ölçülmektedir. Yüksek frekans işlemleri yüzeyin sıcak ve/veya nemli olmasından dolayı CO_2 akısı olmadığı zamanlarda bile CO_2 akısı yaratabilir.

WPL terimi genellikle bitki gelişiminin olduğu dönemlerde küçük ve dönem dışındaki zamanlarda daha büyük olmaktadır ve birçok defa gerçek akının olduğu değere ulaşmaktadır. WPL düzeltmesi open-path ölçüm yapan aletlerde kullanılmaktadır ve CO_2 , LE, H_2O ve diğer gazlara uygulanmaktadır.

Buğday bitkisinin gelişme dönemindeki ham veriler ile WPL düzeltmesi yapılmış CO_2 akı verileri arasında toplamda %23.68 oranında hata bulunmuştur. Atmosferdeki radyatif soğuma ile kararlı olduğu gece saatlerinde hata oranı %33.05 iken gündüz saatlerinde hata oranı %21.81 olarak hesaplanmıştır (Yeşilköy ve diğ., 2014)



Şekil 4.1: Ham Veri ile Düzeltmiş Verilerden Bir Kesit.



Şekil 4.2: WPL Terimi ile Düzeltilmiş Ham Verilerin Saatlik Hataları.

Ham EC verilerine uygulanması gereken bir başka düzeltme ise ölçüm sisteminin kurulumundan kaynaklanan koordinat düzeltmesidir. Ölçüm sistemi ne kadar doğru kurulursa kurulsun sonic anemometrenin düşey bileşeni (w) ortalama akışa hiçbir zaman dik yerleştirilememesinden dolayı meydana gelmektedir. Ayrıca düşey rüzgar şiddeti (w) sinyalinin, rüzgarın diğer iki bileşeninden (u , v) yüzünden bozulmuş olma ihtimali de bulunmaktadır. Söz konusu sorunu ortadan kaldırmak için bu yöntem ile kartezyen rotasyon katsayıları hesaplanarak, anemometrenin u , v ve w bileşenleri akı hızında bir koordinat sistemine getirilmektedir (Lee ve diğ., 2004).

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\bar{v}}{\bar{u}}\right) \quad (4.2)$$

$$\beta = \tan^{-1}\frac{\bar{w}}{\sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}} \quad (4.3)$$

$$y = \frac{1}{2} \tan^{-1}\left(\frac{2\bar{v}'_2\bar{w}'_2}{\bar{v}'_2{}^2 - \bar{w}'_2{}^2}\right) \quad (4.4)$$

Eşitlik 3.2, 3.3 ve 3.4 rotasyon katsayılarının hesaplandığı eşitlikler gösterilmektedir. Buna ek olarak 3 rotasyon daha u , v , ve w bileşenlerine uygulanır. Eşitliklerde; α , β , γ rotasyon katsayılarını, $\bar{u}$, $\bar{v}$, $\bar{w}$ ortalama rüzgar bileşenlerini, u' , v' , w' bileşenleri ise rüzgar bileşenlerinin ortalamadan sapmasını ifade etmektedir.

Katsayılar belirlendikten sonra (3.5), (3.6) ve (3.7) eşitliklerinde düzeltmeler u, v ve w bileşenlerine nasıl uygulandığı gösterilmektedir.

$$u_1 = u_0 \cos \alpha + v_0 \sin \alpha \quad (4.5)$$

$$v_1 = -u_0 \sin \alpha + v_0 \cos \alpha \quad (4.6)$$

$$w_1 = w_0 \quad (4.7)$$

Eşitlik (3.8), (3.9) ve (3.10)'da rüzgarın u, v ve w bileşenlerine ikinci düzeltmenin uygulandığı formüller belirtilmektedir.

$$u_2 = u_1 \cos \beta + w_1 \sin \beta \quad (4.8)$$

$$v_2 = v_1 \quad (4.9)$$

$$w_2 = -u_1 \sin \beta + w_1 \cos \beta \quad (4.10)$$

Yukarıda belirtilen denklemlerde α ve β rotasyon açılarını, $\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$ ortalama rüzgar bileşenlerini göstermektedir. Bu eşitliklerden faydalanılarak koordinat döndürülür ve ortalama $w=0$ elde edilerek düzeltme yapılmış olur (Burba ve Anderson, 2010).

4.2 Hatalı Verilerin Uzaklaştırılması

Türbülansın yetersiz olduğu durumlardaki değerleri, veri setinden uzaklaştırmak için sürtünme hızı kriteri uygulanmıştır. Sürtünme hızı filtrelenmesi için tüm veriler aynı boyutta 6 sıcaklık sınıfına ayrılmıştır. Her sıcaklık sınıfı da kendi içerisinde 20 sürtünme hızı sınıfına ayrılmıştır. Yüksek sürtünme hızı sınıfından başlayarak gece akıları hesaplanmıştır. Gece akıları, ortalama akının %95'inden fazlasına ulaştığı anda bir sonraki sürtünme hızı sınıfı sınır olarak kabul edilmiştir. Tüm sıcaklık sınıfları için bu işlem yapılmıştır. Tüm veri setleri için sınır 6 sıcaklık sınıfı için belirlenmiş en yüksek sürtünme hızı sınırı seçilmiştir. Bu yöntem, bitki gelişiminin mevsimsel değişimini de hesaba katabilmek için veri seti 3 aylık periyotlara ayrılarak uygulanmıştır. Çalışmada buğday bitkisi, anız ve çıplak toprak dönemleri için sürtünme hızı sınırı 0.1 m/s olarak bulunmuştur. Sürtünme hızının 0.1 m/s'nin altında olduğu zamanlardaki akı değerleri veri setinden uzaklaştırılmıştır.

Atmosferik şartlardan dolayı Eddy Kovaryans ölçüm sisteminin hatalı ölçüm yapmaktadır. Havadaki türbülansın yararlanarak ölçüm yapan bu sistem sürtünme rüzgarının (u_*) belirli bir değerin altında olduğu anlarda hatalı ölçüme sebep

olmaktadır. Ayrıca havanın yağışlı olduğu durumlarda da veriler hatalı olarak kabul edilmektedir. Bu zamanlarda meydana gelen atmosferik şartlar verilerin aniden sapması ya da sensörlerden kaynaklı hatalı ölçümler meydana gelmektedir. Bu alanda yapılmış uluslararası makalelerde bu durumlar vurgulanmıştır. Falge ve diğ. (2001) tarafından belirlenen kriterlere göre verilerin düzeltilmesi ve tamamlanması gerektiği belirtilmiştir.

4.3 Eksik Verilerin Doldurulması

Eddy Kovaryans sisteminden gelen hatalı veriler veri setinden uzaklaştırıldıktan sonra bu veriler Falge ve diğ. (2001) ve Reichstein ve diğ. (2005) tarafından tanımlanan 3 aşamada gerçekleştirilen esaslara göre veriler tamamlanmaktadır.

Birinci durum akı verilerinin eksik olduğu ancak diğer tüm meteorolojik şartların var olduğu durumdur. İkinci durum hava sıcaklığının (T_a) ve buhar basınç farkının (VPD) eksik olduğu ancak global radyasyon (R_g) verilerinin var olduğu durumdur. Üçüncü durum ise global radyasyon (R_g), hava sıcaklığı (T_a) ve buhar basınç farkının (VPD) üçünün de olmadığı durumdur.

Hatalı ve eksik verilerin tamamlanma işlemi 3 farklı aşamada yapılmaktadır. İlk aşamada ± 7 günlük zaman aralığındaki benzer meteorolojik şartların meydana geldiği zamanlara bakılır. Bu benzer şartlar R_g 'nin $\pm 50 \text{ W/m}^2$, T_a 'nın $\pm 2.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ve VPD'nin $\pm 5.0 \text{ hPa}$ farktan fazla olmaması istenir ve bu şartlara uygun veriler varsa tamamlanır. İkinci durumda ise eğer ± 7 günlük zaman aralığında buna benzer meteorolojik şartlar bulunamazsa ± 14 günlük zaman aralığında veriler tekrar gözden geçirilir. Sadece R_g 'nin $\pm 50 \text{ W/m}^2$ kriterine bakılarak ilk durumdaki aralıklar kontrol edilir. Üçüncü durumda ise istenen meteorolojik verilerin olmaması nedeniyle 1 saat içerisindeki veriler eksik verinin yerine yazılmaktadır. Bu durumda zaman ± 0.5 günden başlamaktadır. Eğer bu şartlar yine sağlanmadığı takdirde zaman aralığı genişletilmektedir ve veriler tamamlanmaktadır. Eksik verilerin tamamlanması işlemi gerçekleştirilmiş olmaktadır ve zaman aralığı arttıkça tamamlanan verilerin kalitesi düşmektedir.

4.4 Brüt Fotosentez (GPP) ve Ekosistem Solunumu Hesaplanması (R_{eco})

Brüt fotosentez (GPP) ile ekosistem solunumunun (R_{eco}) hesaplanması için orjinal yani veri doldurma işlemi yapılmamış veriler kullanılmaktadır. Gece herhangi bir fotosentez aktivitesi olamayacağından dolayı global radyasyonun (R_g) 20 W/m^2 'den az olduğu zamanlarda sadece R_{eco} 'nun olduğu kabul edilmiştir. Ardından very seti birbirini izleyen 10 günlük periyotlar halinde bölünmüş ve yöntemin kullanılabilmesi için gerekli şartların sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir. Tüm periyotlar için şartlar sağlandığında Lloyd ve Taylor (1994) tarafından geliştirilmiş ve eşitlik (4.11)'deki regresyon modeli kullanılmıştır. Bu eşitlik R_{eco} 'nun toprak veya hava sıcaklığı ile ilişkili olduğu esasına dayanmaktadır.

$$R_{eco} = R_{eco,ref} \cdot e^{E_0 \left(\frac{1}{T_{ref}-T_0} - \frac{1}{T-T_0} \right)} \quad (4.11)$$

Eşitlikte T_0 regresyon değişkenini göstermektedir ve $-46.02 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak belirlenmiştir. E_0 ise sıcaklık hassasiyetini belirleyen değişkendir. T_{ref} , referans sıcaklıktır ve $10 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak belirlenmiştir.

Brüt fotosentezin (GPP) hesaplanabilmesi için ise NEE değerleri ile Reco değerleri arasındaki farktan yola çıkarak hesaplanmaktadır ve eşitlik (4.12)'de gösterilmiştir.

$$NEE = R_{eco} - GPP \quad (4.12)$$

Araştırma boyunca NEE'in negative (-) olduğu zamanlar atmosferden bitkiye, pozitif (+) olduğu zamanlar bitkiden atmosfere CO_2 akısının olduğunu göstermektedir.

5. BULGULAR

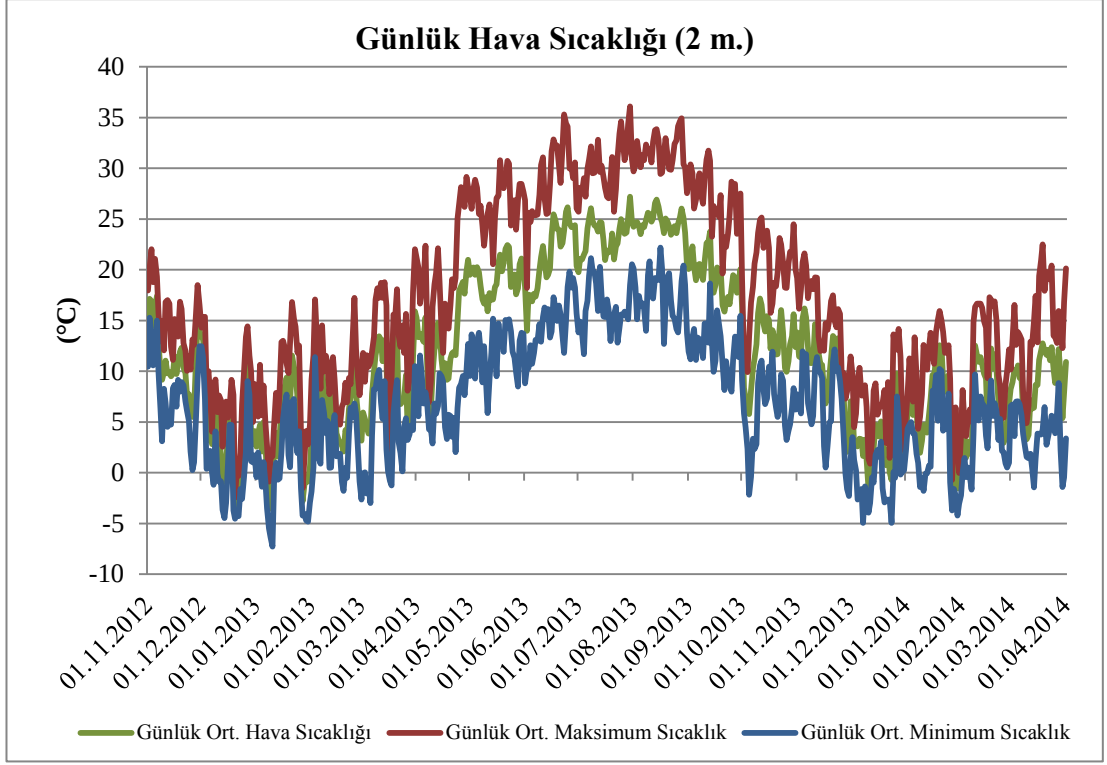
5.1 Meteorolojik Değişkenlere Ait Bulgular

2009 tarihinden itibaren arazi içerisinde sürekli ve kesintisiz ölçüm yapan tarımsal meteoroloji istasyonunda alınan 30 dakika ve 1 günlük ortalamalara sahip meteoroloji verileri bulunmaktadır. Çalışmanın yapıldığı süre boyunca istasyondan alınan verilerde aletten veya meteorolojik şartlardan dolayı meteoroloji verilerinde herhangi bir kayıp bulunmamaktadır. Çizelge 5.1’de arazi içerisinde bulunan tarımsal meteoroloji istasyonundan alınan verilerin 1 Kasım 2012 – 1 Nisan 2014 tarihleri arasında gerçekleşen hadiseler ile ilgili bilgiler gösterilmektedir.

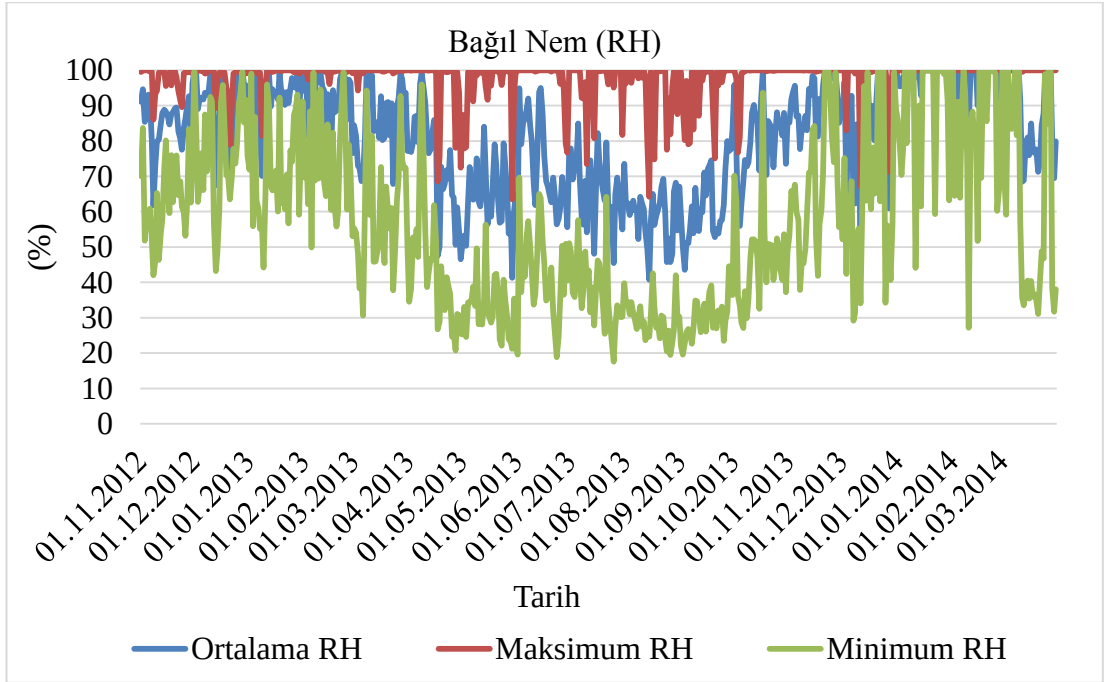
Çizelge 5.1: Meteorolojik Değişkenlere Ait Bulgular.

Değişken	Birim	Ortalama	Minimum	Maksimum	Std. Sapma
Ortalama Hava Sıcaklığı (2 m)	°C	13.49	-0.42	39.38	8.55
Maksimum Hava Sıcaklığı (2 m)	°C	17.37	-2.44	36.09	9.15
Minimum Hava Sıcaklığı (2 m)	°C	6.95	-7.30	22.18	6.43
Ortalama Bağıl Nem	%	81.38	40.80	100.00	15.53
Maksimum Bağıl Nem	%	97.90	63.44	100.00	5.77
Minimum Bağıl Nem	%	57.22	17.55	100.00	23.94
Rüzgar Şiddeti (0.5 m)	m/s	1.14	0.00	11.46	1.57
Rüzgar Şiddeti (1 m)	m/s	1.58	0.00	12.67	1.80
Rüzgar Şiddeti (2 m)	m/s	1.93	0.00	13.92	2.05
Rüzgar Şiddeti (5 m)	m/s	2.58	0.00	15.78	2.24
Rüzgar Şiddeti (10 m)	m/s	3.01	0.00	17.74	2.44
Sürtünme Rüzgarı (u^*)	m/s	0.17	0.00	2.80	0.18
Global Radyasyon (R_g)	MJ/m ²	13.10	0.00	91.24	21.24
Global Radyasyon (R_g), $R_g > 0$	MJ/m ²	25.63	0.01	92.24	23.69
Net Radyasyon (R_n)	MJ/m ²	4.81	-16.61	63.43	13.97
Fotosentetik Foton Akı Yoğunluğu (PPFD)	$\mu\text{mol/m}^2 \text{ s}$	261.23	0.00	1805.00	1924.8
Fotosentetik Foton Akı Yoğunluğu (PPFD), PPFD > 0	$\mu\text{mol/m}^2 \text{ s}$	467.95	0.01	1805.00	2148.5
Toprak Isı Akısı (G)	MJ/m ²	0.11	-19.52	9.28	1.66
Toprak Su İçeriği (0-30 cm)	%	16.72	7.00	34.70	5.42
Toprak Su İçeriği (30-60 cm)	%	23.88	13.10	37.20	6.30
Toprak Su İçeriği (60-90 cm)	%	26.69	16.70	42.60	7.82
Toprak Sıcaklığı (2 cm)	°C	13.49	-0.42	39.38	8.55
Toprak Sıcaklığı (5 cm)	°C	12.63	-7.90	41.13	9.43
Toprak Sıcaklığı (10 cm)	°C	12.80	1.23	27.88	6.97
Toprak Sıcaklığı (20 cm)	°C	12.93	-7.82	48.71	9.46
Toprak Sıcaklığı (100 cm)	°C	12.41	-7.36	38.56	8.77
Toplam Yağış	mm	905.7			

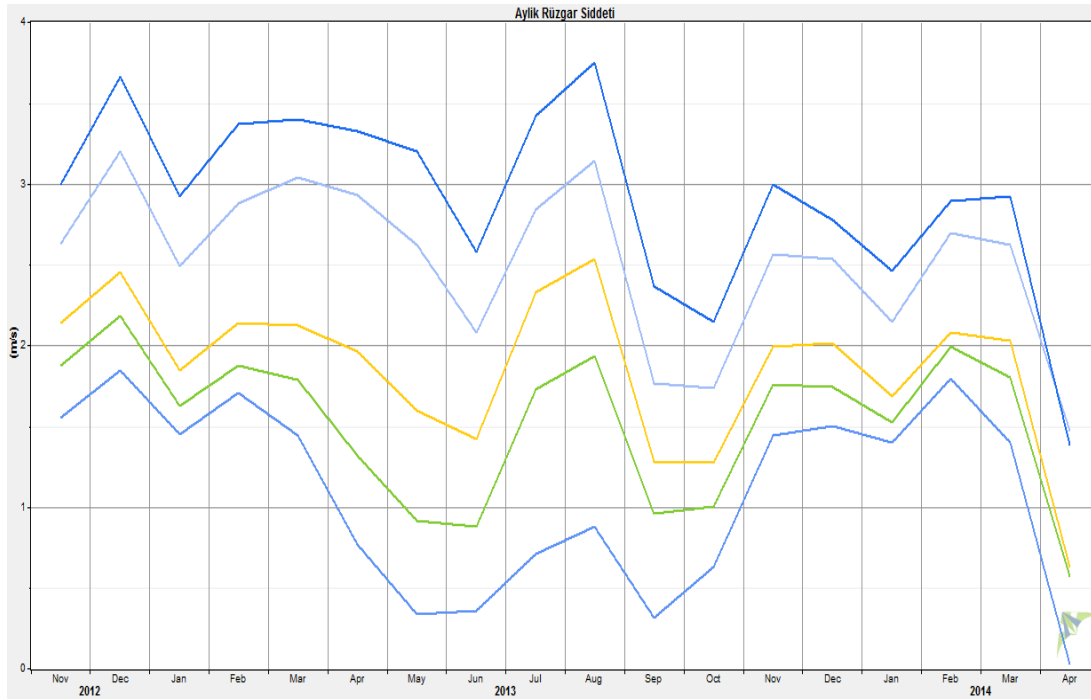
Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3'te 2 m'de ölçülen, günlük ortalama hava sıcaklığının, bağıl nemin ve rüzgar şiddetinin zamnasal değişimi verilmiştir.



Şekil 5.1: 2 Metre Yükseklikteki Hava Sıcaklığının Günlük Değişimi.

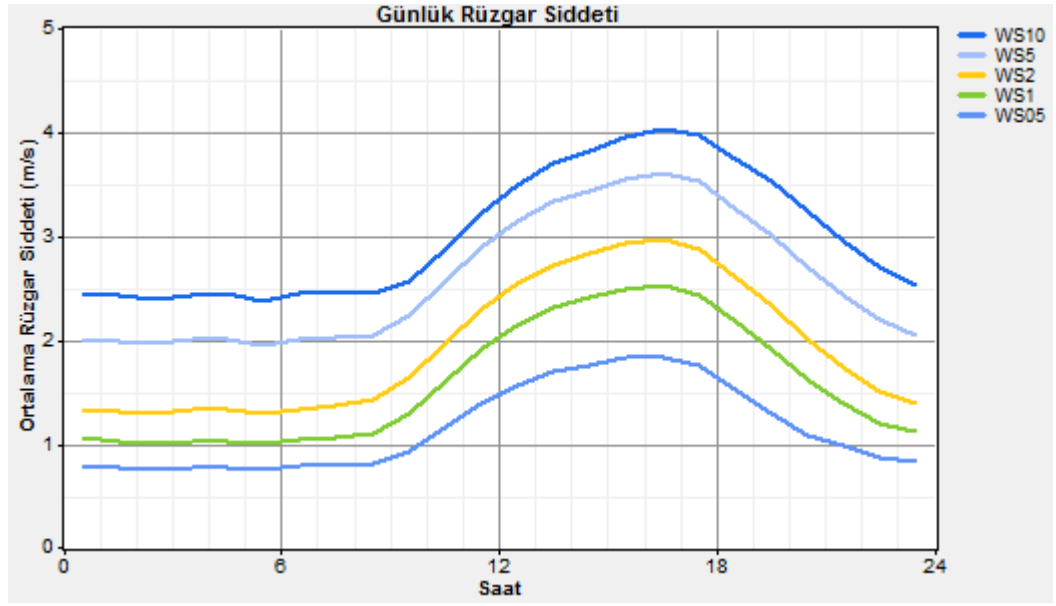


Şekil 5.2 : 2 metredeki Bağıl Nem Günlük Değişimi.



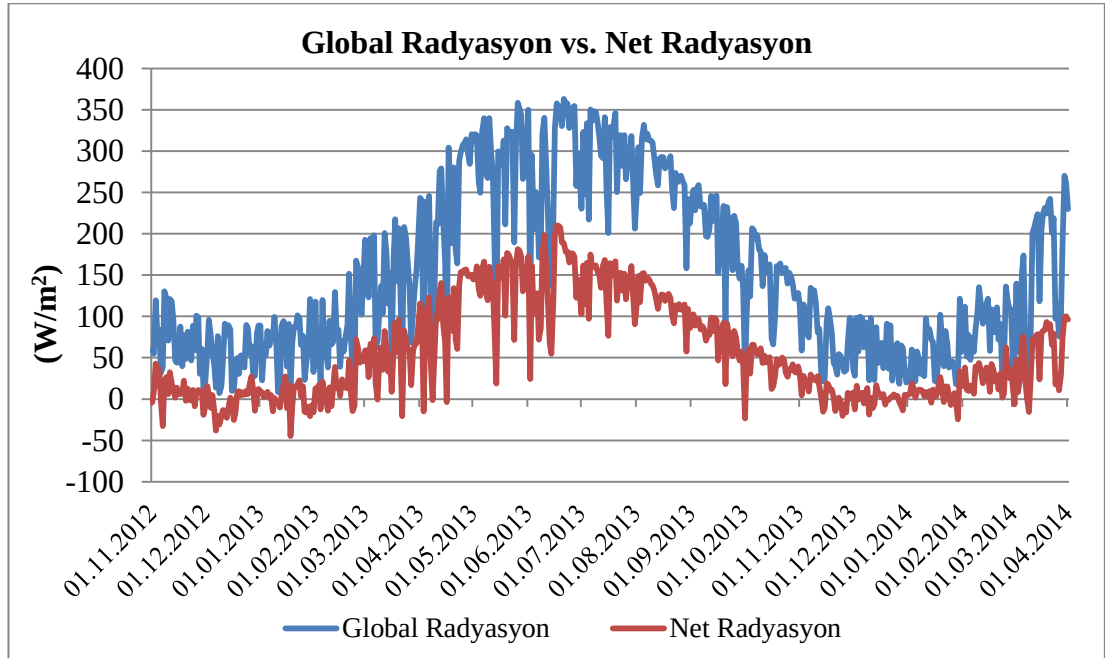
Şekil 5.3: Ortalama Rüzgar Şiddetinin Farklı Seviyelerdeki Değişimi.

Şekil 5.4’de farklı seviyelerde ölçüm yapılan rüzgar şiddetinin gün içerisindeki değişimi gösterilmektedir. Ölçüm yapılan 0.5, 1 ve 2 m’deki ölçümler birbirine daha yakın olmasına rağmen 5 m ve 10 m’deki ölçümlerden biraz ayrılmışlardır. Özellikle gece saatlerinde rüzgar şiddetinin düşük olması ve bitki boyunun da etkili olması 0.5, 1, 2 m’deki ölçümlerin birbirine yakın ve daha düşük olmasına sebep olmaktadır. Güneşin doğmasıyla toprak ile birlikte üzerindeki atmosferin ısınıp gece genellikle kararlı halde bulunan atmosfer kararsız hale gelip rüzgar şiddetinin artmasına sebep olmaktadır. Güneşin batması ile zayıflamaktadır. Bu bölgedeki rüzgar şiddeti üzerinde arazinin düz ve üniform olması sebebiyle global radyasyon değerlerinin etkili olduğu, topografyanın bir etkisi bulunmamaktadır.



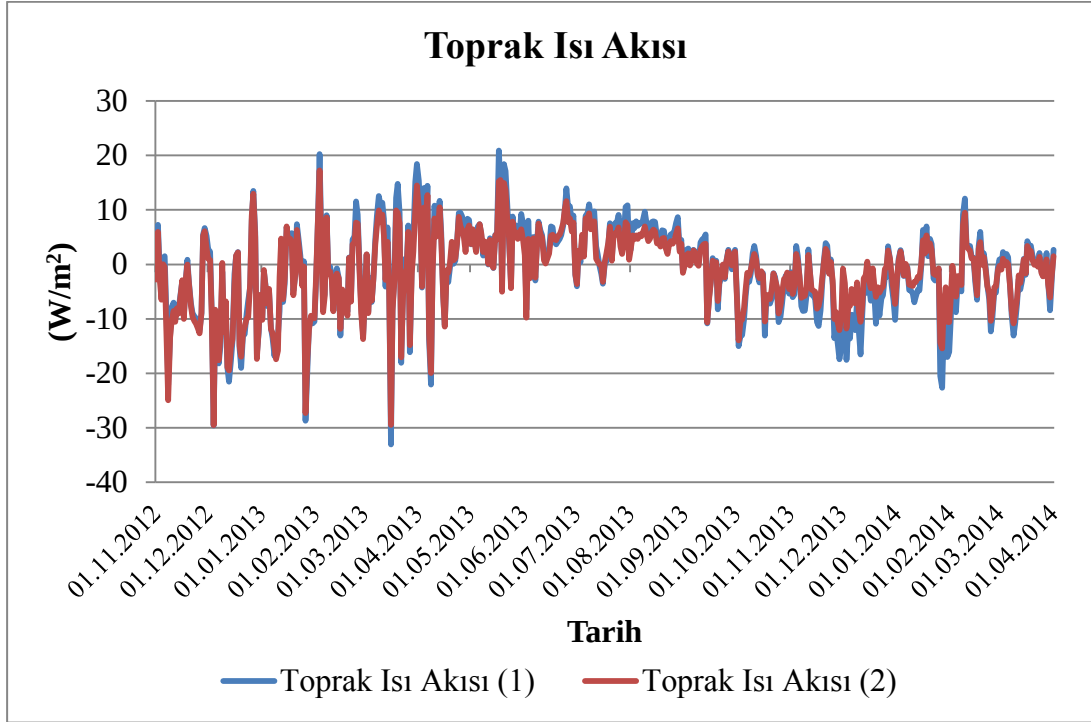
Şekil 5.4: Rüzgar Şiddetinin Farklı Seviyedeki Günlük Değişimi.

1 Kasım 2012 – 1 Nisan 2014 tarihleri arasındaki global radyasyon (R_g) ve net radyasyon (R_n) değişimi Şekil 5.5’de gösterilmektedir. Güneş radyasyonunun mevsimsel olarak değişimi net bir şekilde görülmektedir. Kış aylarındaki düşük değerlere karşılık yaz aylarındaki yüksek değerler bitkilerin biyolojik aktivitelerinin de artmasına sebep olmaktadır.



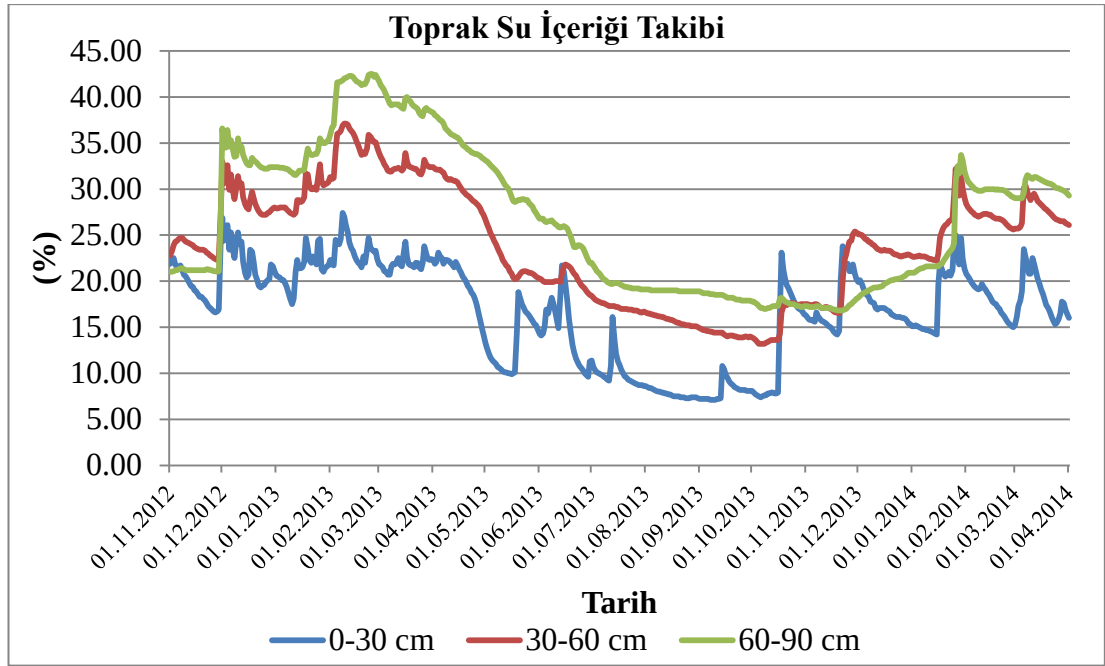
Şekil 5.5: Global Radyasyon ve Net Radyasyonun Günlük Değişimi.

Şekil 5.6’de toprak ısı akısının (G) 1 Kasım 2012 – 1 Nisan 2014 tarihleri arasındaki değişimi gösterilmektedir. Toprak ısı akısının kış aylarında genellikle negatif; yaz aylarında ise pozitif olduğu görülmektedir.



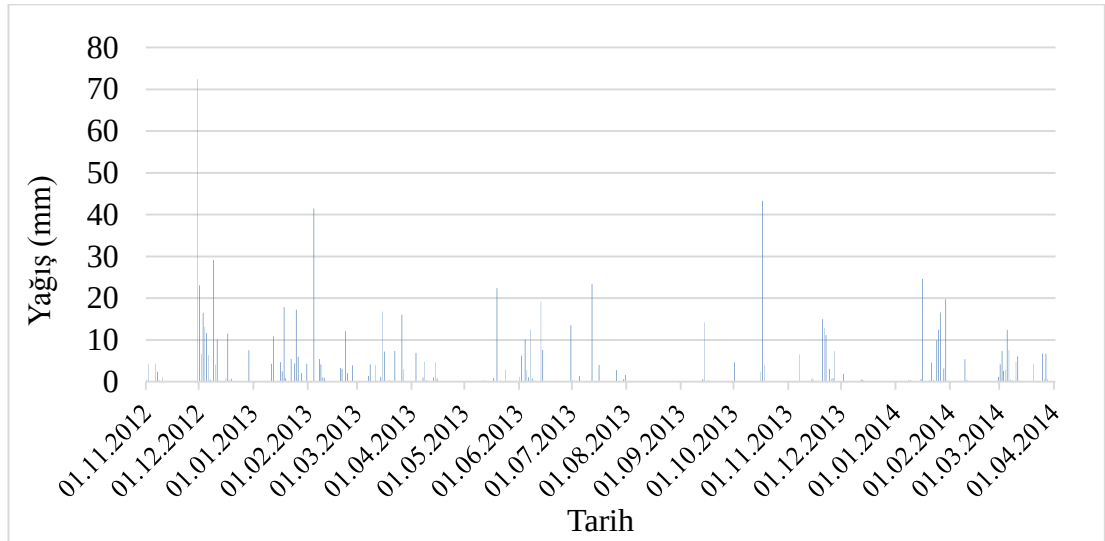
Şekil 5.6: Araştırma Dönemi Boyunca Toprak Isı Akısının Değişimi.

Şekil 5.7’de Kasım 2012 – Nisan 2014 dönemi arasında arazi içerisinde 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm arasındaki toprak su içeriği sürekli olarak takip edilmiştir. Yağışların olduğu dönemler ile 0-30 cm toprak su içeriği hızlı bir şekilde değişiklik gösterirken 60-90 cm toprak su içeriği değerleri daha yavaş ve yağın yağmurun da belirli bir süre içerisinde toprakta alt seviyelere gelmesi 60-90 cm toprak su içeriğindeki hareketlerin keskin olmadığı görülmektedir. Sırasıyla ortalama toprak su içeriği değerleri %16.72 (0-30 cm), %23.88 (30-60 cm), %26.69 (60-90 cm) olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.7: Araştırma Dönemindeki Toprak Su İçeriği Takibi.

Şekil 5.8’de Kasım 2012 – Nisan 2014 dönemi arasında gerçekleşen günlük toplam yağış miktarları gösterilmektedir. Bu dönem boyunca toplam 905.7 mm yağış düşmüştür ve günlük gerçekleşen maksimum toplam yağış 72.4 mm ile 30.11.2012 tarihinde yaşanmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre 1954-2013 yılları arasındaki yıllık toplam yağış ortalaması 563.5 mm olarak belirtilmektedir.



Şekil 5.8: Araştırma Dönemi Boyunca Gerçekleşen Yağış Miktarı.

5.2 Arazide Yetiştirilen Buğday Bitkisine Ait Bulgular

Kırklareli ilindeki Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü arazisinde yetiştirilen buğday bitkisi ekim döneminden hasat dönemine kadar sürekli fenolojik gözlem kayıtları alınmıştır. Aynı zamanda 2 haftalık periyotlar halinde buğday bitkisinden biyokütle örnekleri alınmıştır. Çizelge 5.2’de buğday bitkisinin fenolojik dönemlerine ait fotoğrafları ve Çizelge 5.3’de buğday bitkisinin biyokütle değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.2 : Buğday Bitkisi Fenolojik Gözlemleri.

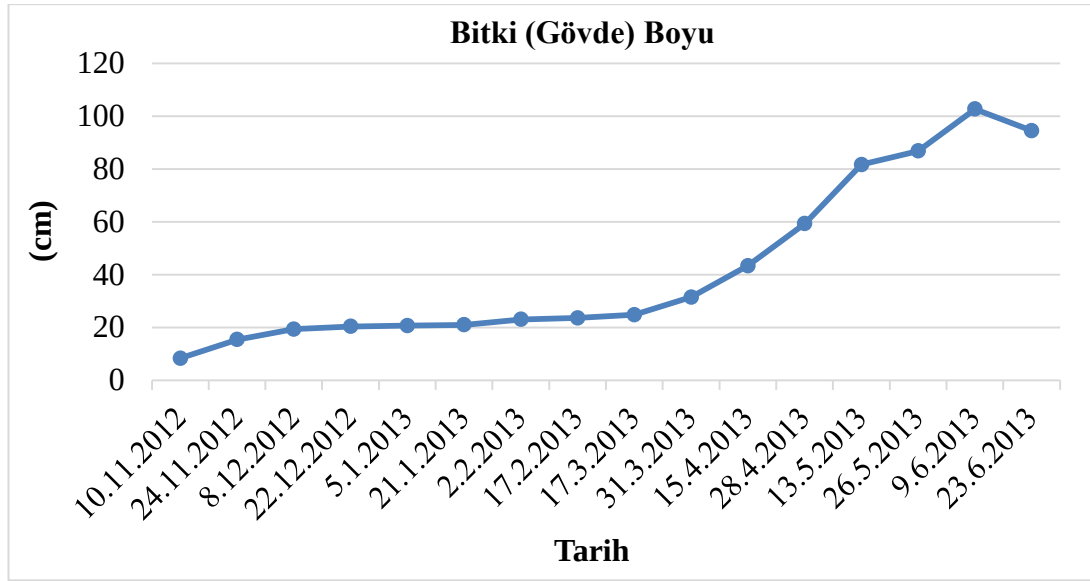
0 – Ekim	1 – Çıkış	2 – 3. Yaprak
		
3 – Kardeşlenme	4 – Sapa Kalkma	5 – Başaklanma
		
6 – Çiçeklenme	7 – Olgunlaşma	8 – Hasat
		

Buğday bitkisinin gelişme dönemi boyunca sürekli olarak fenolojik gözlemlerin yanı sıra araziden 15 günlük periyotlar halinde biyokütle örnekleri alınmaya çalışılmıştır. Araziden alınan bitki örneklerinin boy (gövde) boyları da dahil olmak üzere yaş ve kuru ağırlıkları da belirlenmiştir. Kuru ağırlıklarının belirlenebilmesi için yaş olarak ölçüm alındıktan sonra 65°C fırında 48 saat bekletildikten sonra kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Çizelge 4.3’de buğday bitkisinin gövde boyu bilgileri, yaş ve kuru biyokütle bilgileri gösterilmektedir. Şekil 4.8 ve şekil 4.9’da bu değerlere ait grafikler gösterilmiştir.

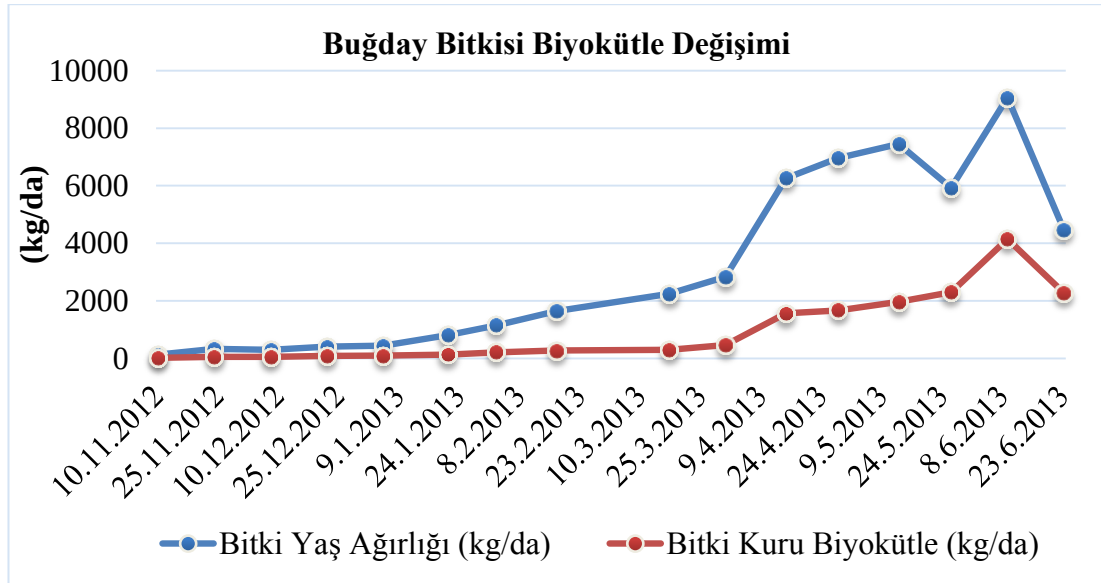
Buğday bitkisinin ekim tarihinden (1 Kasım 2012) itibaren alınan örnekler bitki boyu ve biyokütle değerlerinin hızlı bir şekilde artmadığını göstermektedir. Fenolojik olarak gelişme dönemi olan sapa kalkma döneminde bitkinin biyolojik aktivitesi hızlanmış global radyasyon değerlerinin de artmasından dolayı fotosentez yapması ile birlikte boyu ve biyokütlesi hızlı bir şekilde artmıştır. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da bu değişimlere ait grafikler gösterilmiştir.

Çizelge 5.3: Buğday Bitkisine Ait Biyokütle Değerleri.

Tarih	Bitki Yaş Ağırlığı (kg/da)	Yaş Verim (kg/da)	Top. Üstü Bitki Yaş Ağırlığı (kg/da)	Top. Alt. Bitki Yaş Ağırlığı (kg/da)	Bitki Kuru Biyokütle (kg/da)	Kuru Verim (kg/da)	Top. Üst. Kuru Biyokütle (kg/da)	Top. Alt. Kuru Biyokütle (kg/da)	Bitki (gövde) Boy (cm)
10.11.2012	127.800	-	54.160	73.640	17.740	-	9.200	8.540	8.35
24.11.2012	334.700	-	156.140	178.560	49.520	-	28.580	20.940	15.40
08.12.2012	300.260	-	139.200	161.060	49.940	-	21.680	28.260	19.35
22.12.2012	405.680	-	225.440	188.240	83.400	-	49.680	33.720	20.40
05.01.2013	442.520	-	223.720	218.800	95.580	-	57.280	38.300	20.70
21.01.2013	816.180	-	468.860	347.320	135.160	-	76.020	59.140	21.00
02.02.2013	1149.880	-	678.280	471.600	211.480	-	114.300	97.180	23.05
17.02.2013	1645.740	-	951.380	694.380	272.680	-	162.980	109.700	23.60
17.03.2013	2245.380	-	1591.280	654.100	300.240	-	212.460	87.780	24.80
31.03.2013	2834.520	-	2123.320	711.200	461.720	-	337.280	124.440	31.50
15.04.2013	6261.300	-	5077.200	1184.100	1563.200	-	1201.900	361.300	43.35
28.04.2013	6963.500	-	5642.220	1321.280	1668.480	-	1222.000	462.480	59.30
13.05.2013	7453.200	950.640	5486.950	1016.250	1962.860	369.250	1236.880	356.730	81.65
26.05.2013	5932.320	1460.920	3717.700	753.500	2298.600	616.700	1340.380	341.520	86.80
09.06.2013	9061.160	2821.560	5052.240	1187.360	4150.480	1723.120	1964.880	462.480	102.70
23.06.2013	4466.040	1317.320	2354.200	794.520	2277.960	998.280	991.560	288.120	94.50



Şekil 5.9: Buğday Bitkisinin Gelişme Dönemindeki Gövde Boyu Değişimi.



Şekil 5.10: Buğday Bitkisinin Gelişme Dönemindeki Biyokütle Değişimi.

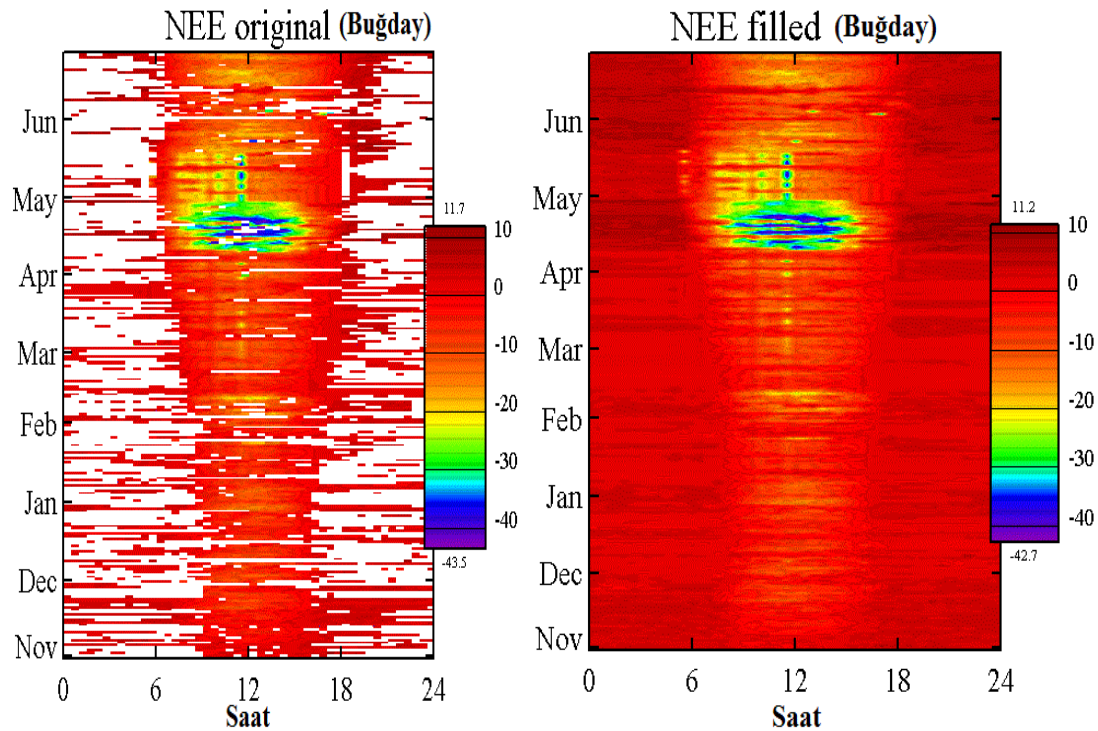
5.3 Eddy Kovaryans Sisteminden Elde Edilen Bulgular

5.3.1 Buğday bitkisi gelişme dönemindeki elde edilen bulgular

Eddy Kovaryans sisteminde 10 Hz. Seviyesinde yapılan yüksek frekanslı ölçülen ham veriler 30 dk'lık ortalama verilere dönüştürüldükten sonra verilere; düzeltme, hatalı verilerin uzaklaştırılması ve boşlukların doldurulması işlemleri yapılmıştır. Tüm bu işlemler sonucunda NEE, GPP, R_{eco} , LE değişkenlerine ait buğday, anız ve çıplak toprak dönemlerine ait değerler hesaplanmıştır.

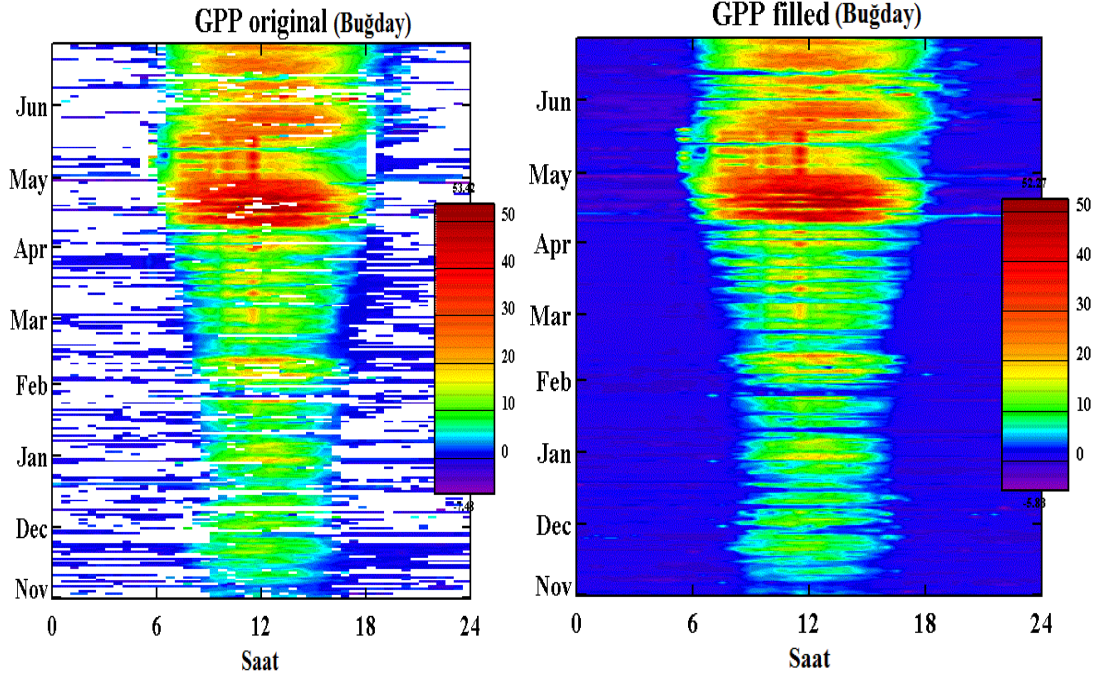
Şekil 5.11'de buğday bitkisinin gelişme dönemindeki net ekosistem değişimi (NEE) değerlerinin değişimi gösterilmektedir. Buğday bitkisinin gelişme dönemindeki NEE veri kaybı %42.6 olarak belirlenmiştir. Eksik olan verilerin de %78.7'si gece saatlerinde, gündüz saatlerinde ise %21.3'ü eksiktir. Gece saatlerinde atmosferin genellikle kararlı olduğu zamanlarda verilerin eksik olduğu görülmektedir. Gündüz saatlerindeki veri kayıpları daha azdır.

Buğday gelişme dönemindeki günlük toplam NEE değerlerinin ortalaması -1.59 gC/m^2 , maksimum değeri 3.58 gC/m^2 ve minimum değeri -10.80 gC/m^2 olarak hesaplanmıştır.



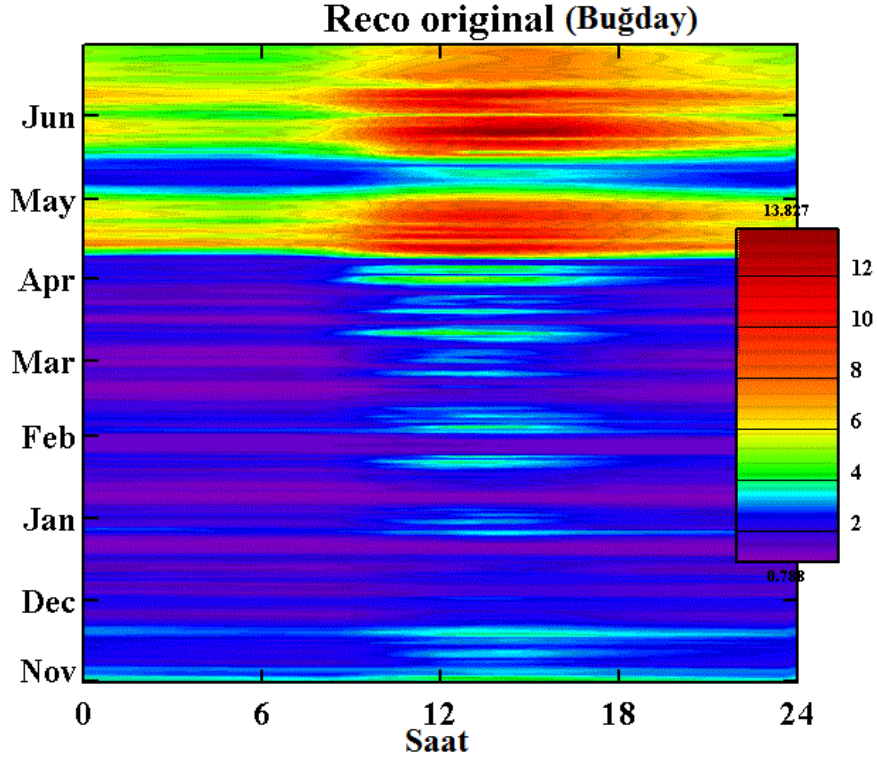
Şekil 5.11: Buğday Bitkisinin Gelişme Dönemindeki Orjinal ve Doldurulmuş NEE Değişimi.

Buğday bitkisinin gelişme dönemi boyunca gerçekleşen brüt fotosentez (GPP) değerleri şekil 5.12’de gösterilmektedir. Gelişme dönemi boyunca gerçekleşen ortalama günlük toplam GPP değeri 5.05 gC/m^2 , maksimum 18.74 gC/m^2 olarak hesaplanmıştır.



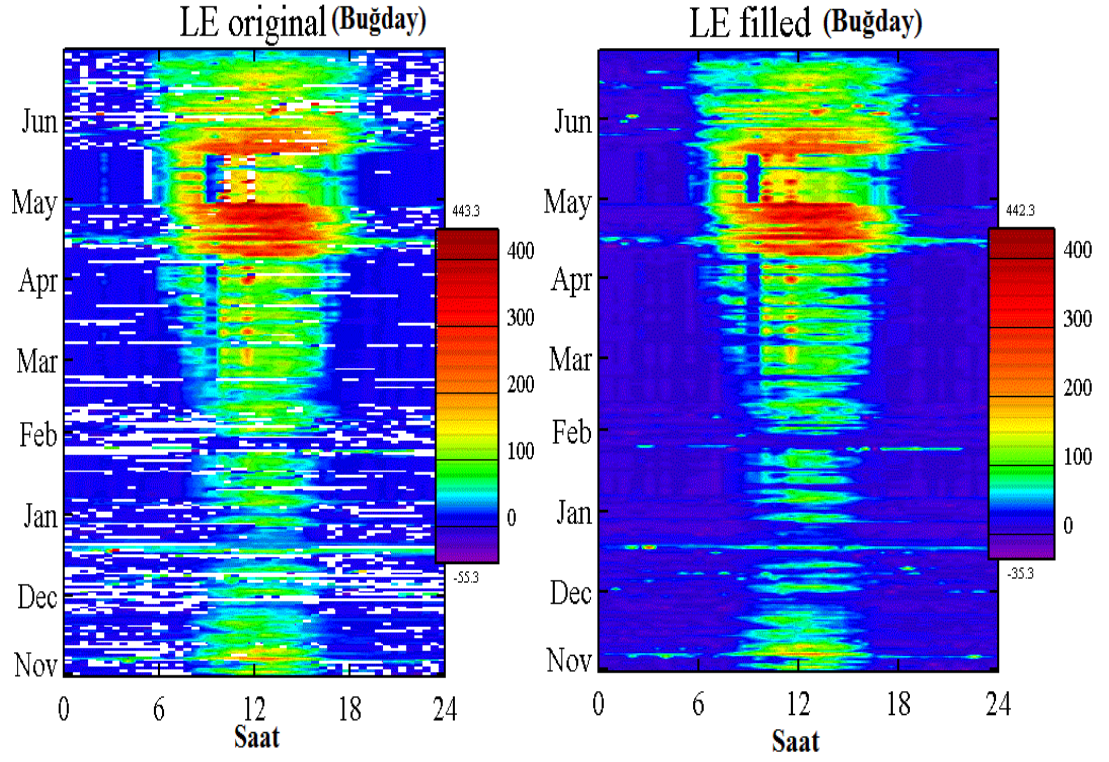
Şekil 5.12: Buğday Bitkisinin Gelişme Dönemindeki Orjinal ve Doldurulmuş GPP Değişimi.

Buğday bitkisinin gelişme dönemindeki solunum (R_{eco}) değerlerinin değişimi şekil 5.13’de gösterilmektedir. Gece saatleri de dahil olmak üzere solunum aktivitesi her zaman olacağından dolayı Lloyd ve Taylor (1994) tarafından geliştirilen regresyon modeli yardımıyla hesaplanmıştır. Bu dönemdeki ortalama günlük toplam R_{eco} değeri 3.46 gC/m^2 , minimum 0.92 gC/m^2 , maksimum 8.82 gC/m^2 olarak hesaplanmıştır.



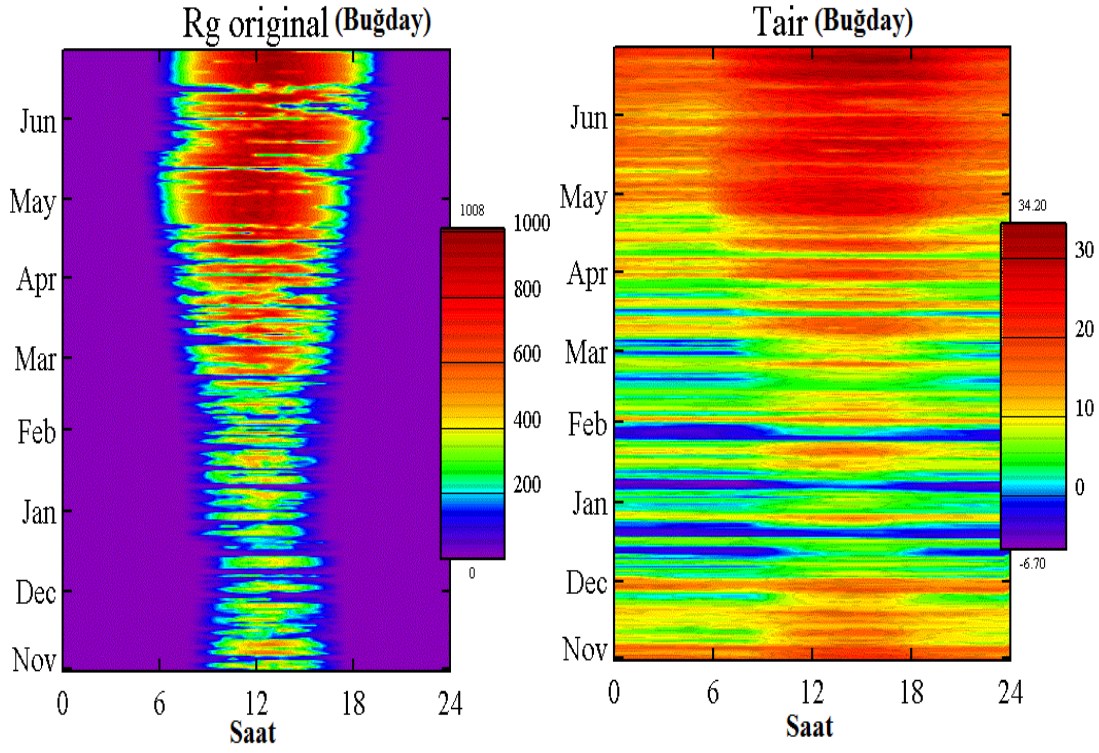
Şekil 5.13: Buğday Bitkisinin Gelişme Dönemindeki R_{eco} Değişimi.

Buğday bitkisi gelişme dönemindeki buharlaşma gizli ısı akısı (LE) değerleri şekil 5.14’de gösterilmektedir. Bu dönemde LE değerlerinin %14.3’ü eksiktir. Eksik verilerin %68.9’u gece, %31.1’i gündüz saatlerinde gerçekleşmiştir. Gelişme dönemindeki ortalama LE değeri 38.54 W/m^2 , minimum -64.71 W/m^2 , maksimum 479.97 W/m^2 olarak hesaplanmıştır.



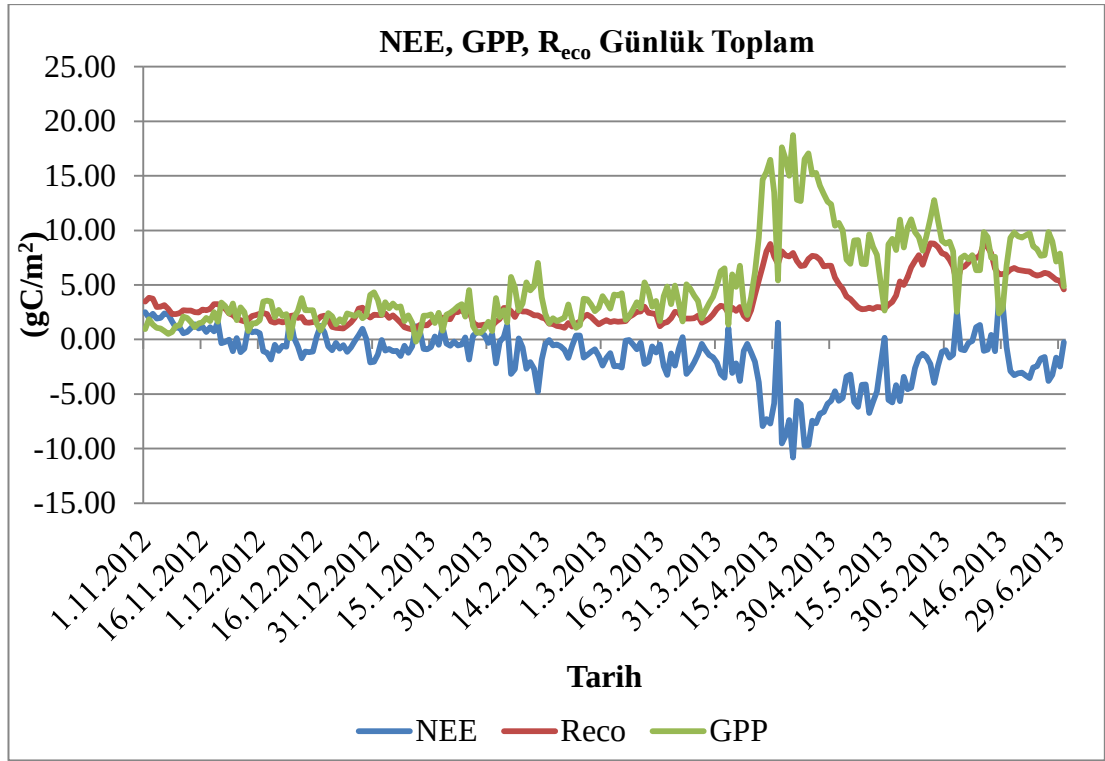
Şekil 5.14: Buğday Bitkisi Gelişme Döneminde Orijinal Veriler ve Doldurulmuş LE Değişimi.

Buğday bitkisinin gelişme dönemi boyunca gerçekleşen global radyasyon (R_g) ve hava sıcaklığı (T) değerlerinin değişimi gösterilmektedir. Global radyasyon değerlerinin artışı ile hava sıcaklığının artışı paralel olarak gerçekleştiği görülmektedir.



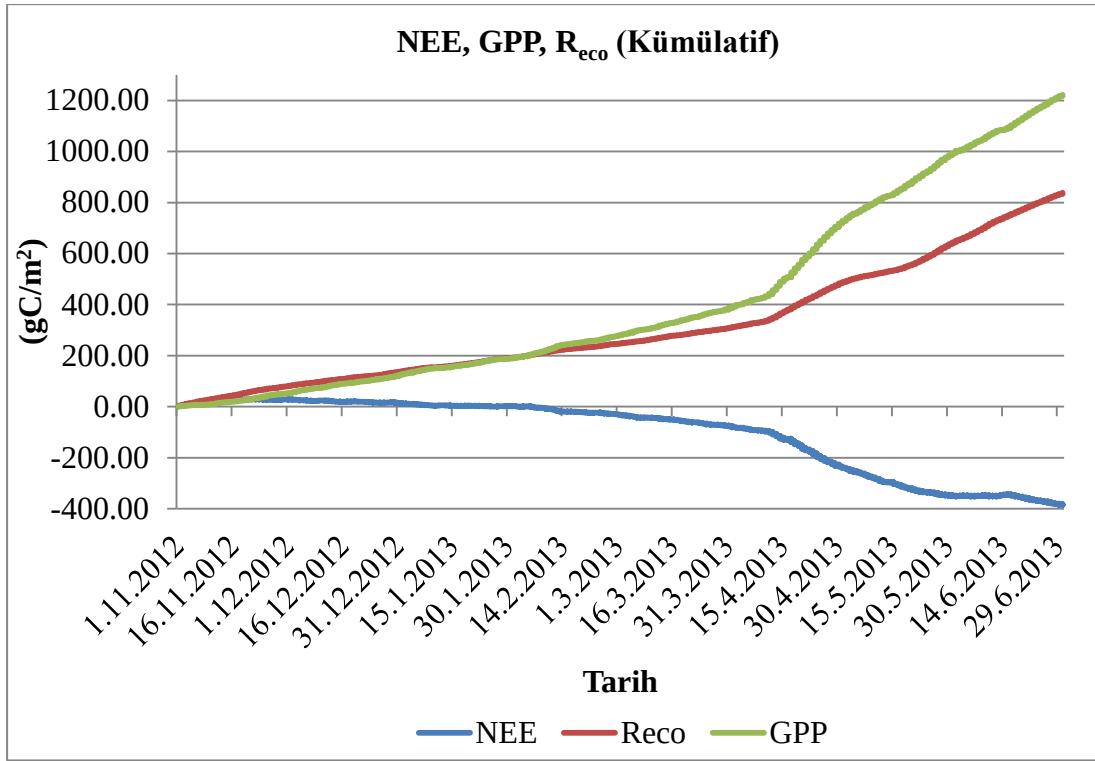
Şekil 5.15: Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki Global Radyasyon ve Hava Sıcaklığı Değişimi.

Şekil 5.16’da NEE, GPP ve R_{eco} değerlerinin buğday bitkisinin gelişme dönemi boyunca gerçekleşen değerlerinin değişimi gösterilmektedir. NEE minimum değerine 20 Nisan 2013 tarihinde 10.80 gC/m^2 , GPP değeri maksimum değerine 20 Nisan 2013 tarihinde 18.74 gC/m^2 , R_{eco} maksimum değerine 8.82 gC/m^2 26 Mayıs 2013 tarihinde gerçekleşmiştir. NEE, GPP ve R_{eco} değerlerinin standart sapmaları sırasıyla 2.51, 4.06, 2.23 gC/m^2 olarak hesaplanmıştır.



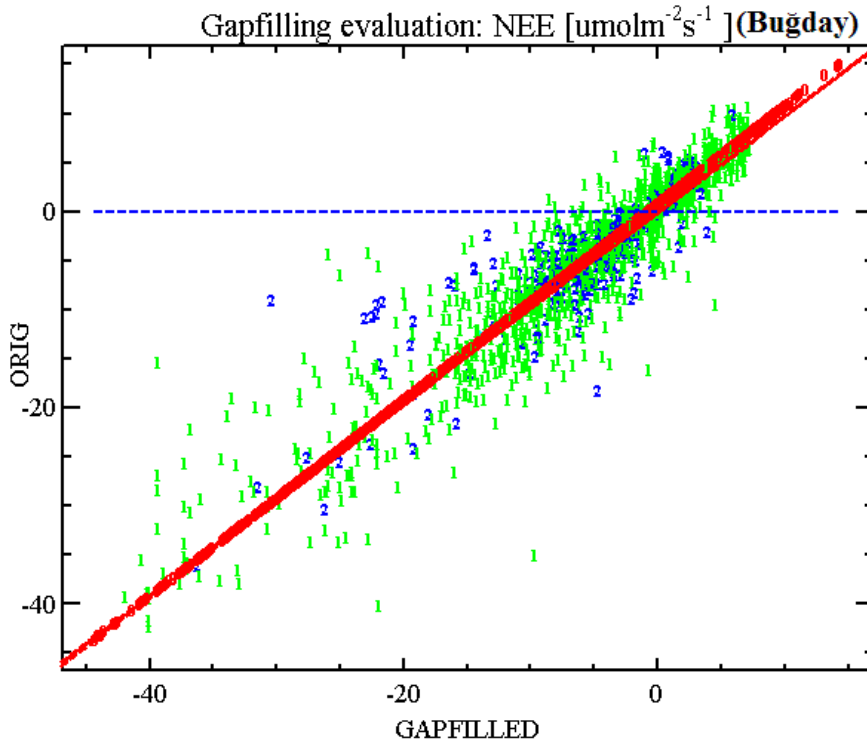
Şekil 5.16: Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki Günlük Toplam NEE, GPP, R_{eco} Değişimi.

Buğday bitkisinin gelişme dönemi boyunca NEE, GPP ve R_{eco} değerlerinin kümülatif olarak değişimi şekil 5.17’de gösterilmektedir. Bu dönemde gerçekleşen kümülatif NEE, GPP ve R_{eco} değerleri sırasıyla -383.94 gC/m^2 , 1222.17 gC/m^2 ve 838.23 gC/m^2 olarak hesaplanmıştır. Buğday bitkisi gelişme dönemi boyunca atmosferden bünyesine bir metrekareden yaklaşık olarak 384 gram karbon indirmektedir.



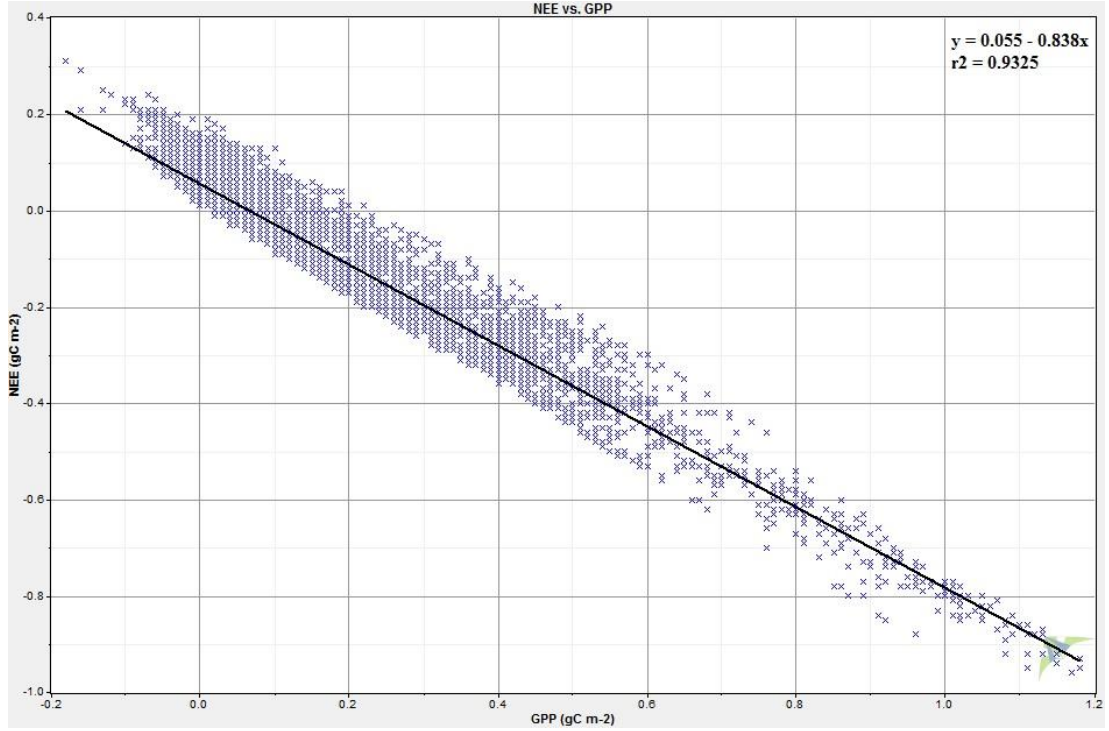
Şekil 5.17: Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki Kümülatif NEE, GPP ve R_{eco} Değişimi.

Eksik olan NEE değerleri ölçülen ve benzer meteorolojik değişkenlerden tamamlanan NEE değerleri arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 5.18: Eksik NEE Verileri ile Doldurulmuş NEE Verileri Arasındaki İlişki.

Şekil 5.19’da buğday bitkisinin gelişme döneminde gerçekleşen NEE ile GPP arasındaki ilişki gösterilmektedir. Bu iki değişken arasındaki determinasyon katsayısı (r^2) 0.93 olarak hesaplanmıştır (n=11615).



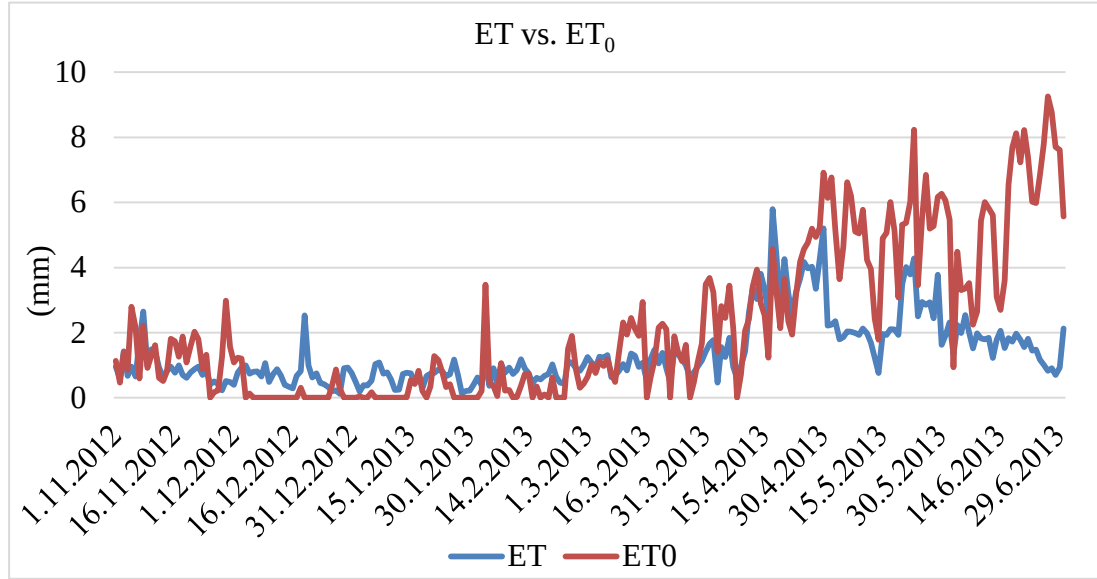
Şekil 5.19: Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki NEE ile GPP Arasındaki İlişki.

5.3.1.1 Gerçek ve referans evapotranspirasyon değerleri

Buğday bitkisinin gelişme dönemi boyunca EC sisteminden elde edilen LE ve T değerleri ile hesaplanmış gerçek evapotranspirasyon (ET) değerleri Şekil 5.20’de gösterilmektedir. Bitki gelişimi boyunca gerçekleşen toplam ET değerleri 325.46 mm olarak hesaplanmıştır. ET günlük ortalama değeri 1.36 mm, minimum 0.12 mm, maksimum 5.80 mm, standart sapma değeri ise 1.03 olarak hesaplanmıştır. Referans evapotranspirasyon (ET_0) değerleri ise bitki gelişimi boyunca toplam 534.05 mm olarak hesaplanmıştır. ET_0 günlük ortalama değeri 2.21 mm, minimum 0.00 mm birçok gün, maksimum 9.25 mm 26 Haziran 2014 tarihinde gerçekleşmiştir. Buğday bitkisi için 2012 – 2013 gelişme dönemindeki bitki katsayısı 0.62 olarak hesaplanmıştır.

Kang ve diğ. (2003) tarafından Çin’in yarı-nemli bir ikliminde yer alan Yangling şehrinde 1987-1997 yılları arasında lizimetreler yardımıyla buğday bitkisi için K_c katsayıları 0.917 olarak belirlenmiştir. Ko ve diğ. (2009) tarafından Amerika’nın

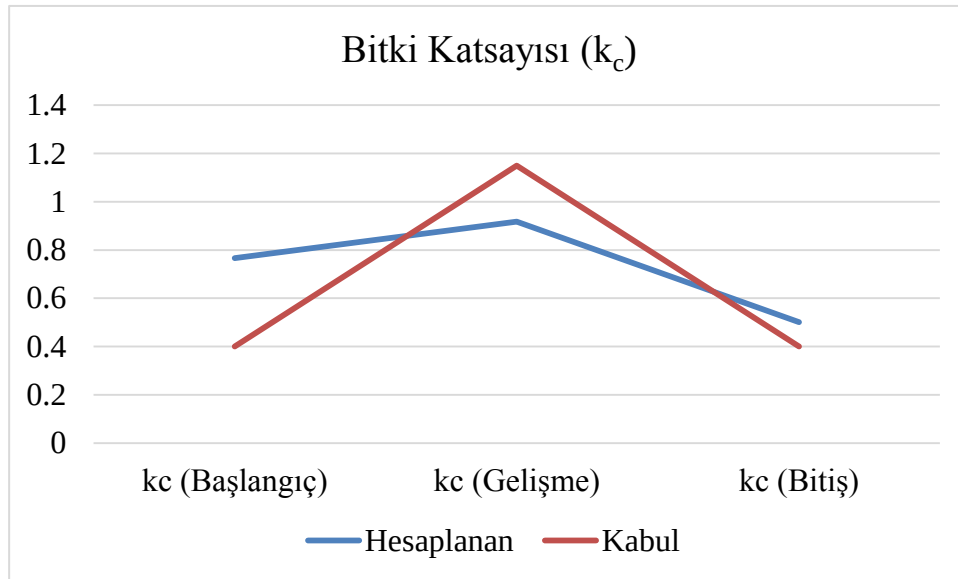
Texas eyaletinde lizimetreler ile yapılan bir çalışmada buğday bitkisi için belirlenmeye çalışılmış 0.1 ile 1.7 arasında değişiklik göstermiştir.



Şekil 5.20: Gerçek Evapotranspirasyon ve ET_0 Değişimi.

EC sisteminden elde edilen gerçek ET değerleri ile hesaplanan ET_0 değerleri arasındaki determinasyon katsayısı (r^2) 0.43 olarak bulunmuştur.

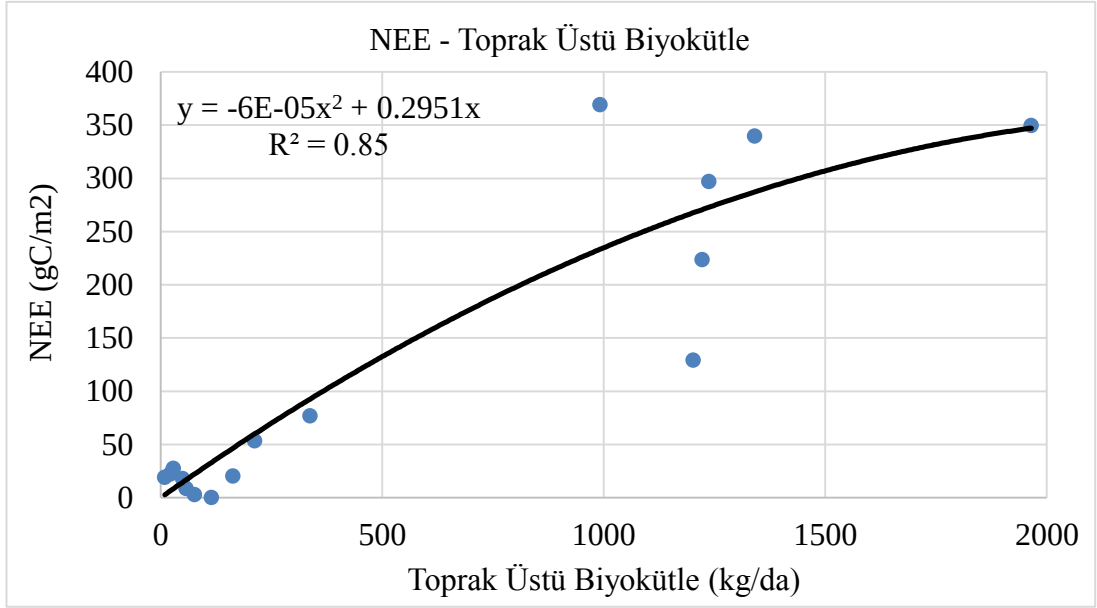
Şekil 5.21’de bitki katsayısının (k_c) değişimi buğday bitkisinin gelişme dönemi boyunca uluslararası kabullere göre Akdeniz bölgesinde yetiştirilen kışlık buğday için belirlenmiş gelişme gün sayılarına ait katsayılar belirlenmiştir. Uluslararası kabullere göre k_c katsayılarında farklılıklar görülmektedir (Allen ve diğ., 2006).



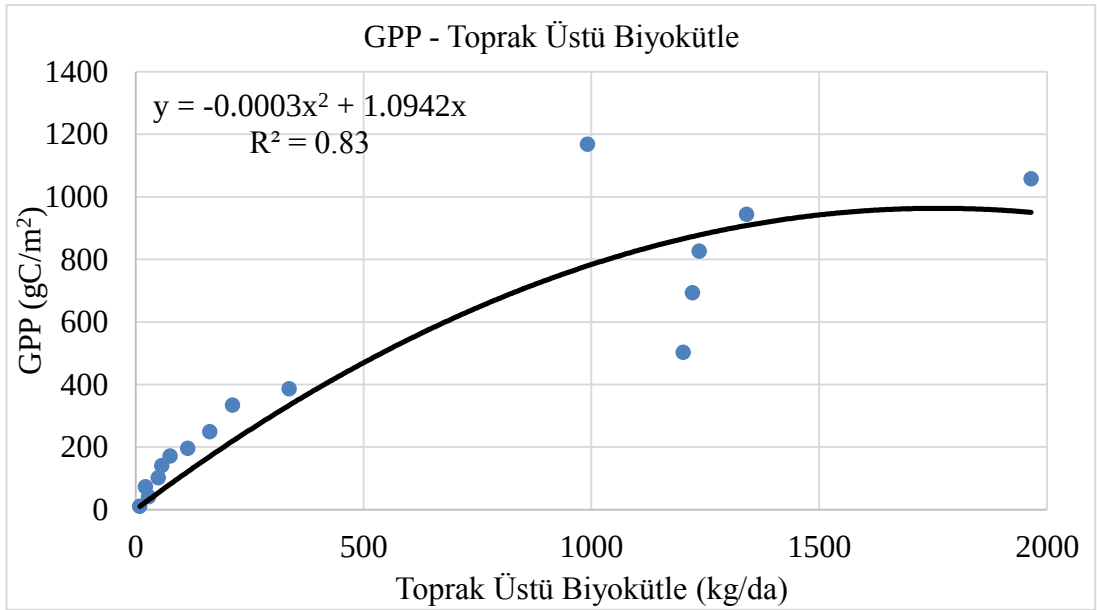
Şekil 5.21: Bitki Katsayısının (k_c) Değişimi.

5.3.1.2 NEE, GPP, R_{eco} ile vejetasyon ve meteorolojik değişkenler arasındaki ilişkiler

Şekil 5.22 ve 5.23’de kümülatif NEE ve GPP değerlerinin toprak üstü biyokütle değerleri ile olan ilişkileri belirlenmiştir. NEE ile toprak üstü biyokütle arasındaki determinasyon katsayısı (r^2) 0.85, GPP ile toprak üstü biyokütle arasındaki $r^2=0.83$ olarak hesaplanmıştır.



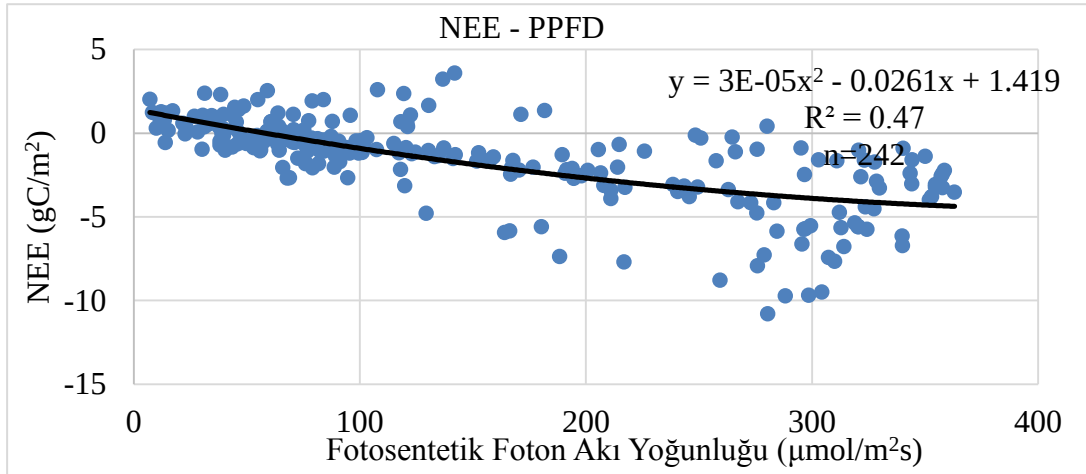
Şekil 5.22: NEE ile Toprak Üstü Biyokütle Arasındaki İlişki.



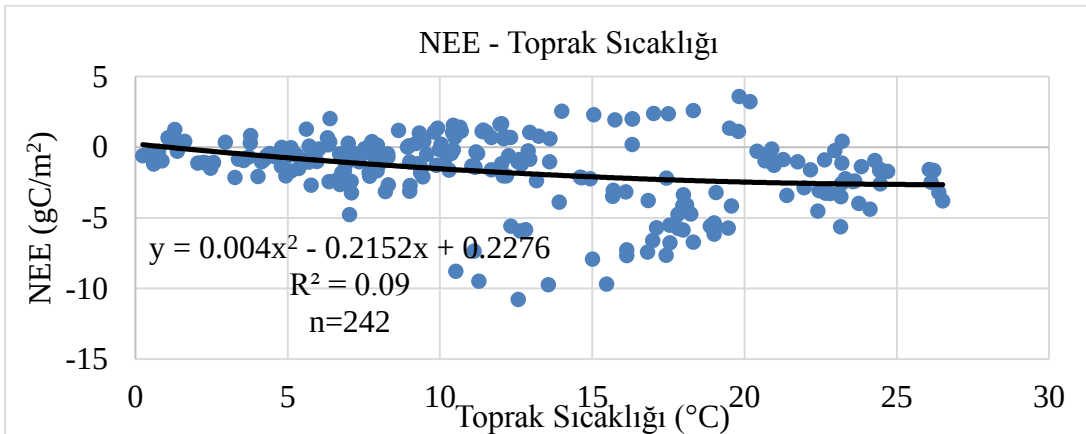
Şekil 5.23: GPP ile Toprak Üstü Biyokütle Arasındaki İlişki.

Şekil 5.24, 5.25, 5.26'daki grafiklerde NEE ile PPFD, toprak sıcaklığı, hava sıcaklığı arasındaki ilişkiler incelenmiştir ve r^2 katsayıları sırasıyla 0.47, 0.09 ve 0.08 olarak hesaplanmıştır. Bu dönemdeki NEE aktivitesini en fazla kontrol eden meteorolojik mekanizma PPFD olarak belirlenmiştir.

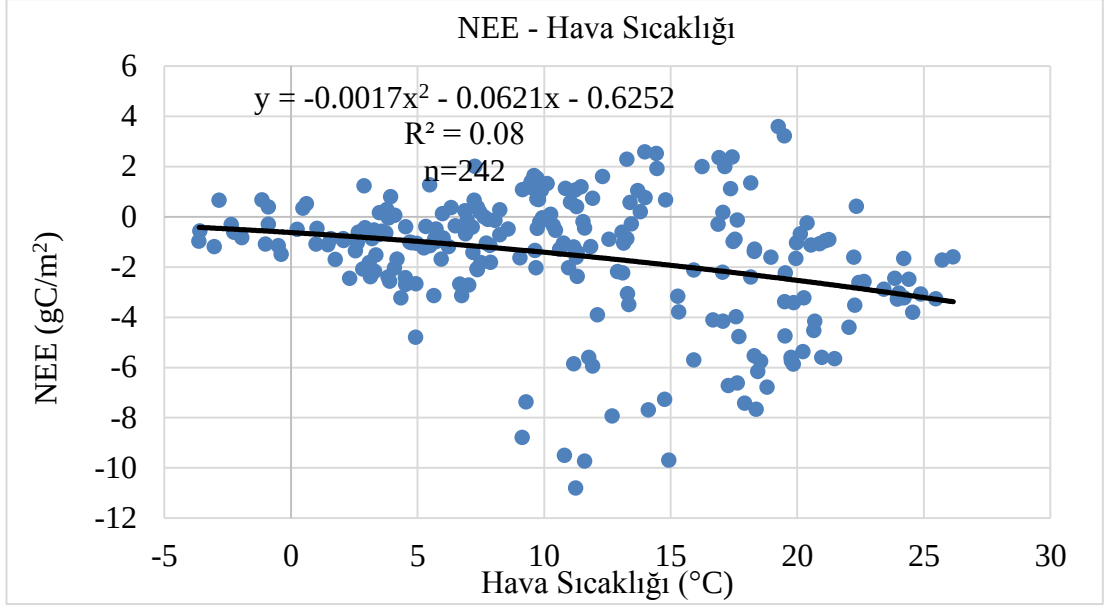
İlişkileri incelenen NEE, GPP ve R_{eco} değerlerinin sırası ile Beta, Gumbell, Lognormal dağılımına uyduğu Q-Q plot yöntemi ile tespit edilmiş ve buna göre α anlamlılık düzeyine göre kritik değerler belirlenmiştir. Elde edilen değerlere t-testi yardımıyla bakılarak, bu değerlerin iki yönlü hipotez testine göre H_0 (kabul) veya H_1 (red) bölgelerinde olup olmadığına bakılmıştır. Güven aralığı %95 olarak seçilmiştir. NEE, GPP, PPFD, hava sıcaklığı ve toprak sıcaklığı için hesaplanan kritik değerler, Kolmogorov-Smirnov testinin $\alpha=0.05$ durumundaki kritik değeri olan 0.0873 ile karşılaştırılarak, H_0 (kabul) bölgesinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumda karşılaştırmaların %95 güven aralığında olduğu söylenebilir. Değişkenler içerisinde yalnızca R_{eco} dağılımının H_1 red bölgesinde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.24: Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki NEE ile PPFD Arasındaki İlişki.

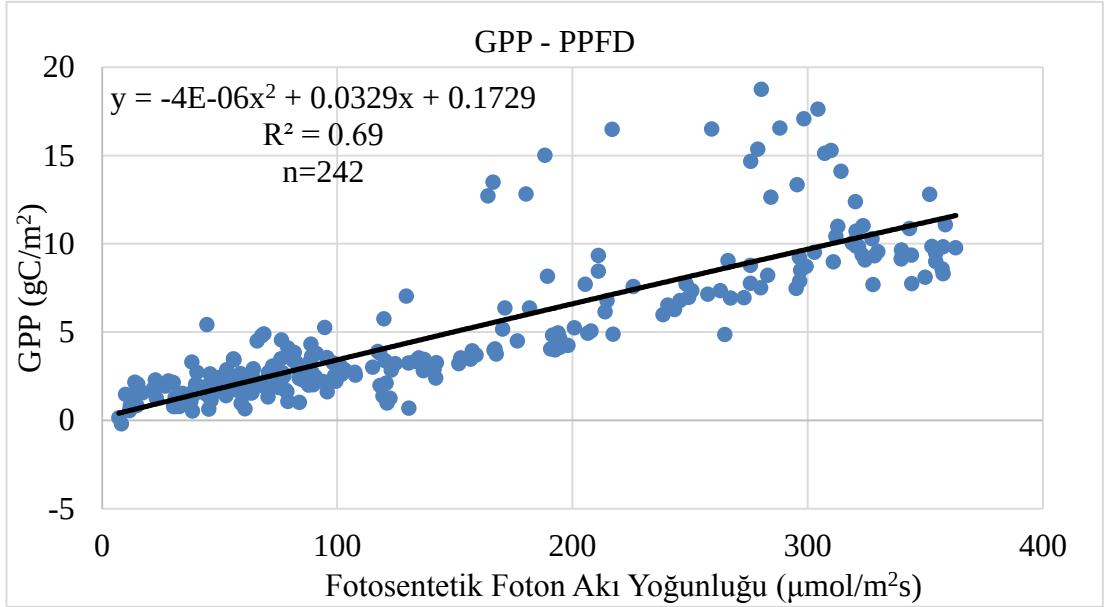


Şekil 5.25: Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki NEE ile Toprak Sıcaklığı Arasındaki İlişki.

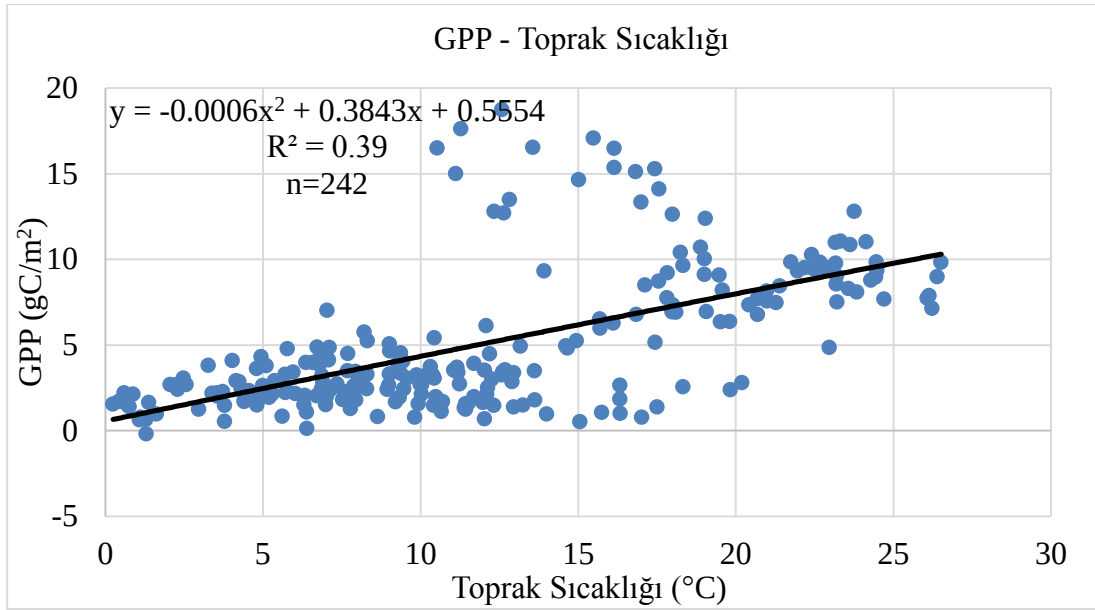


Şekil 5.26: Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki NEE ile Hava Sıcaklığı Arasındaki İlişki.

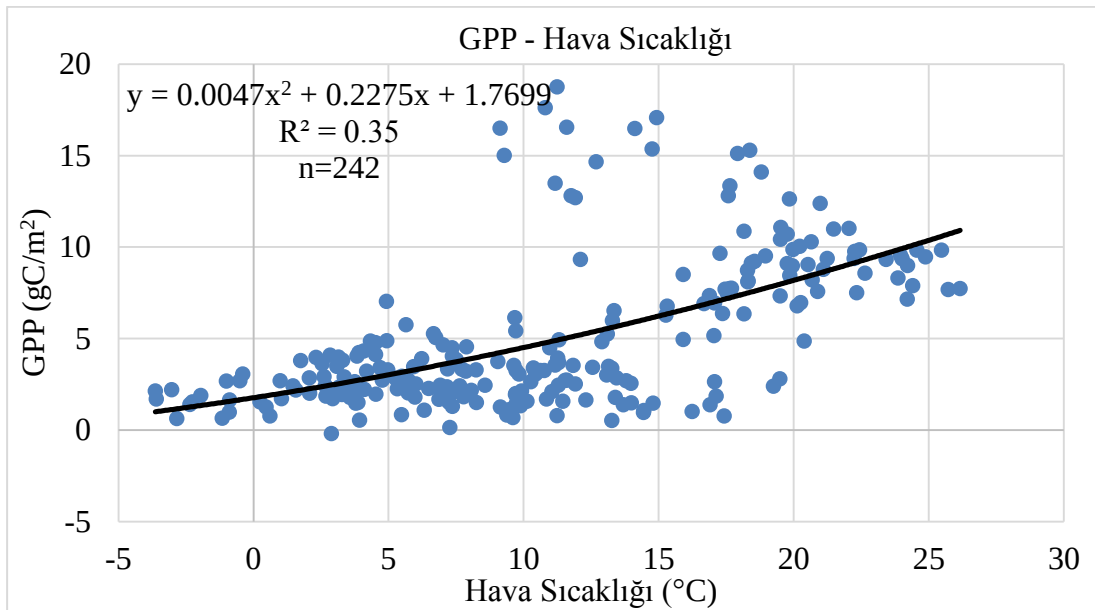
Şekil 5.27, 5.28, 5.29’da GPP ile global radyasyon, toprak sıcaklığı, hava sıcaklığı arasındaki ilişkiler incelenmiş ve r^2 katsayıları sırasıyla 0.69, 0.39, 0.35 olarak hesaplanmıştır. Bu dönemdeki GPP değerlerini en fazla kontrol eden meteorolojik mekanizma global radyasyon olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.27: Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki GPP ile PPFD Arasındaki İlişki.

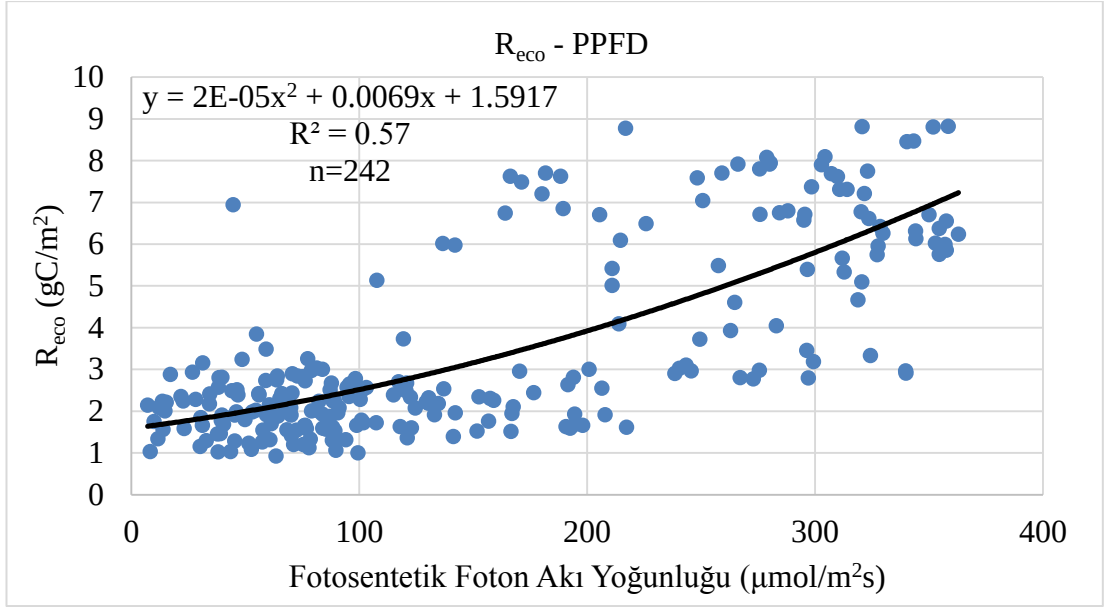


Şekil 5.28: Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki GPP ile Toprak Sıcaklığı Arasındaki İlişki.

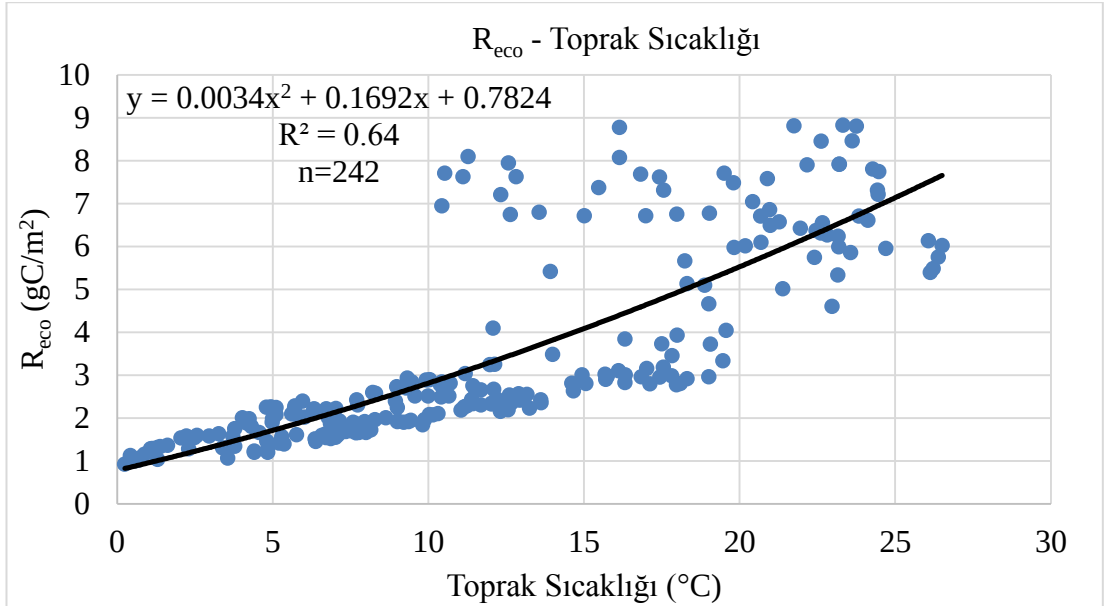


Şekil 5.29: Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki GPP ile Hava Sıcaklığı Arasındaki İlişki.

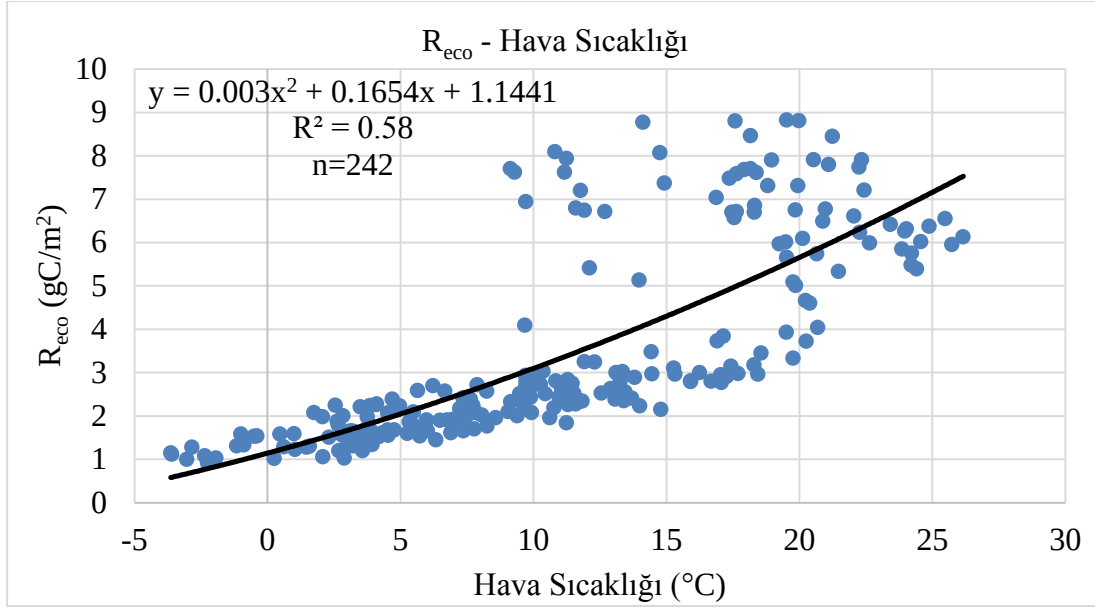
Şekil 5.30, 5.31, 5.32’de R_{eco} ile global radyasyon, toprak sıcaklığı, hava sıcaklığı arasındaki ilişkiler incelenmiştir ve r^2 katsayıları 0.57, 0.64, 0.58 olarak hesaplanmıştır. Bu dönemdeki R_{eco} değerini en fazla kontrol eden meteorolojik mekanizma toprak sıcaklığı olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.30: Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki R_{eco} ile PPFD Arasındaki İlişki.



Şekil 5.31: Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki R_{eco} ile Toprak Sıcaklığı Arasındaki İlişki.



Şekil 5.32: Buğday Bitkisi Gelişme Dönemindeki R_{eco} ile Hava Sıcaklığı Arasındaki İlişki.

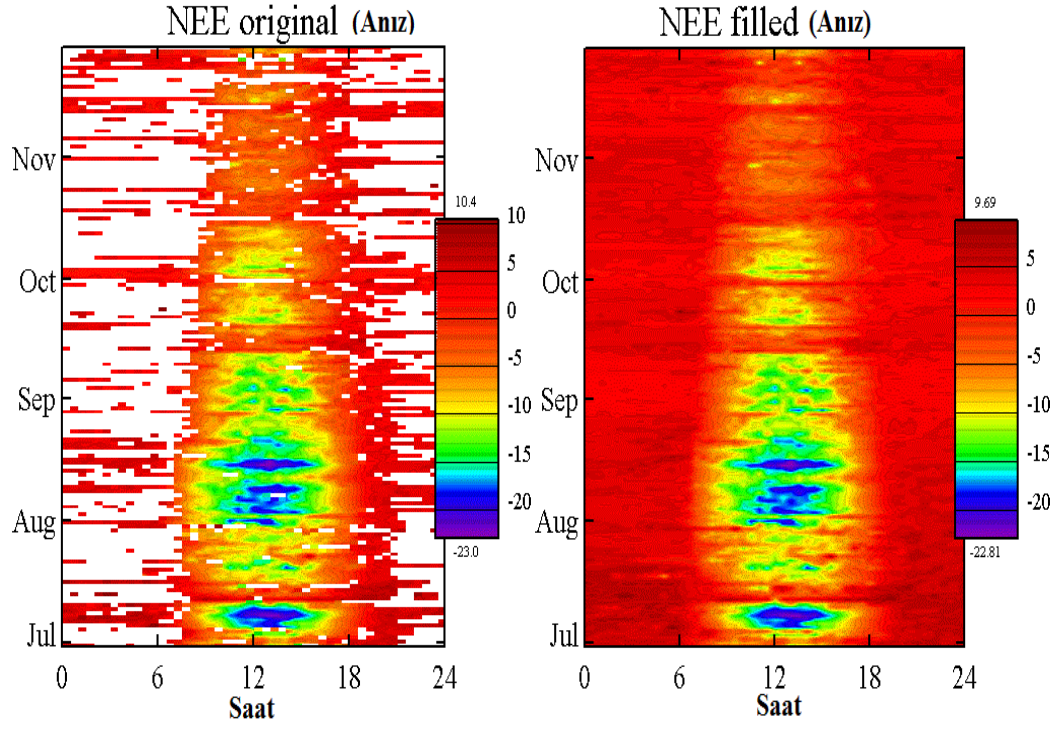
5.3.2 Anız döneminde elde edilen bulgular

1 Temmuz 2013 tarihinde buğday bitkisi hasat edilmiştir. Buğday bitkisi hasat edildikten sonra arazide herhangi bir tarımsal faaliyet yapılmamıştır. Biçerdöverin hasat sırasında buğday bitkisinin alt kısmından belli bir yükseklikten itibaren biçebildiği için arazide buğday bitkisinin alt kısmından belli bir miktarı durmaktadır. Hasattan sonra toprakta kalan kök ve saplarına anız adı verilmektedir. Çalışma arazisinde 1 Temmuz 2013 – 1 Aralık 2013 tarihleri arasında anız bulunmaktadır (Şekil 5.33).



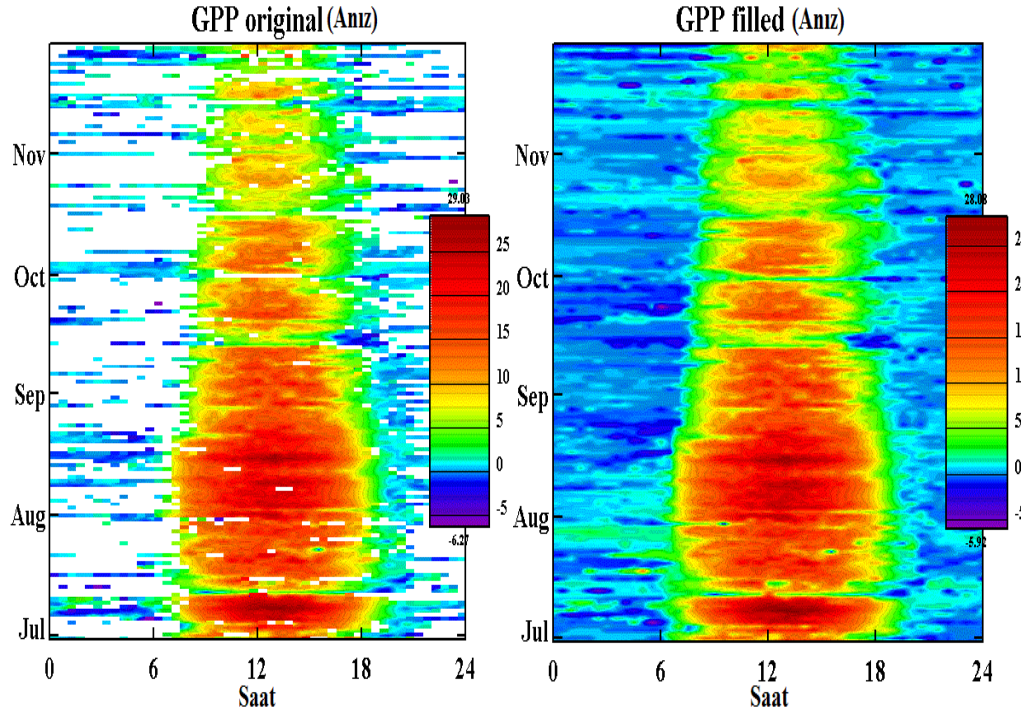
Şekil 5.33: Hasattan Sonra Arazi Üzerinde Bırakılan Anız Görüntüsü.

Şekil 5.34’de anız dönemindeki orjinal ve doldurulmuş NEE değerlerinin değişim gösterilmektedir. Bu dönemdeki eksik veriler, veri setinin %41.3 oluşturmaktadır.



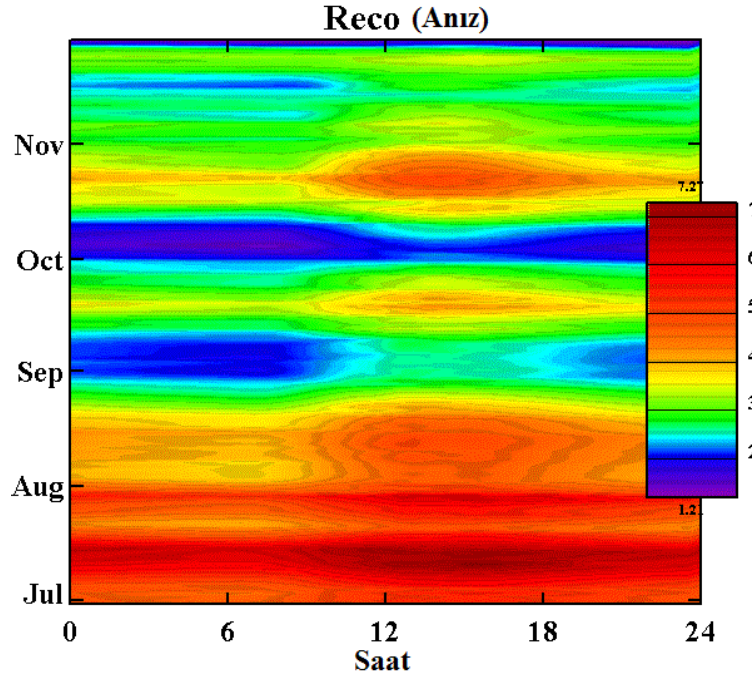
Şekil 5.34: Anız Dönemindeki Orjinal ve Doldurulmuş NEE Değişimi.

Şekil 5.35’de anız dönemindeki orjinal ve doldurulmuş GPP değerlerinin değişimi gösterilmektedir.



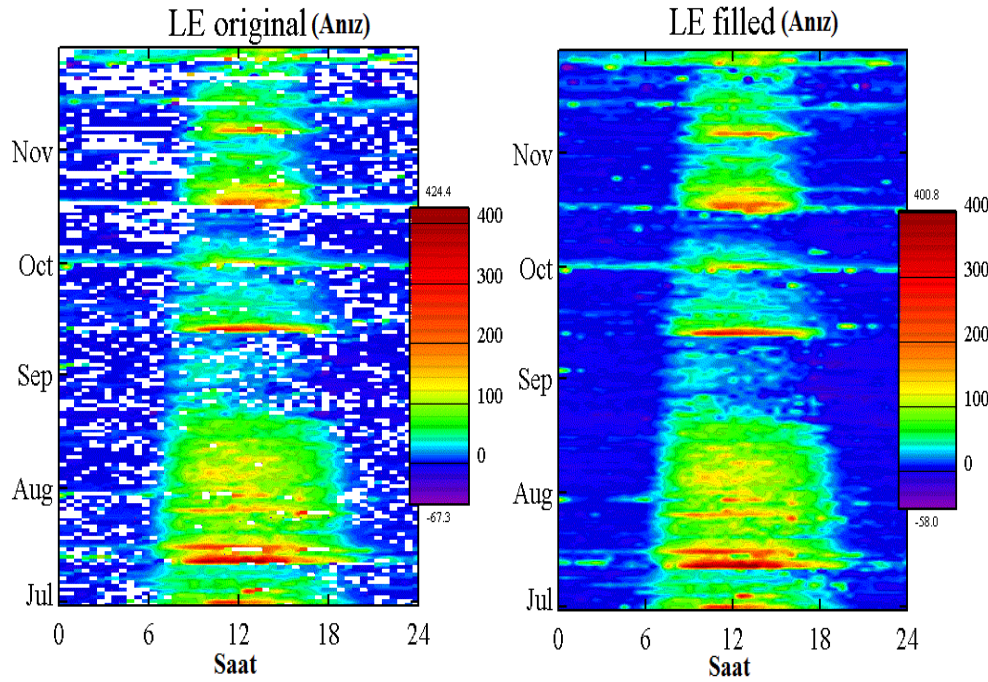
Şekil 5.35: Anız Dönemindeki Orjinal ve Doldurulmuş GPP Değişimi.

Şekil 5.36’de anız dönemindeki R_{eco} değerlerinin değişimi gösterilmektedir. R_{eco} ile R_g ve hava sıcaklığı arasında paralel ilişkiler bulunmaktadır.



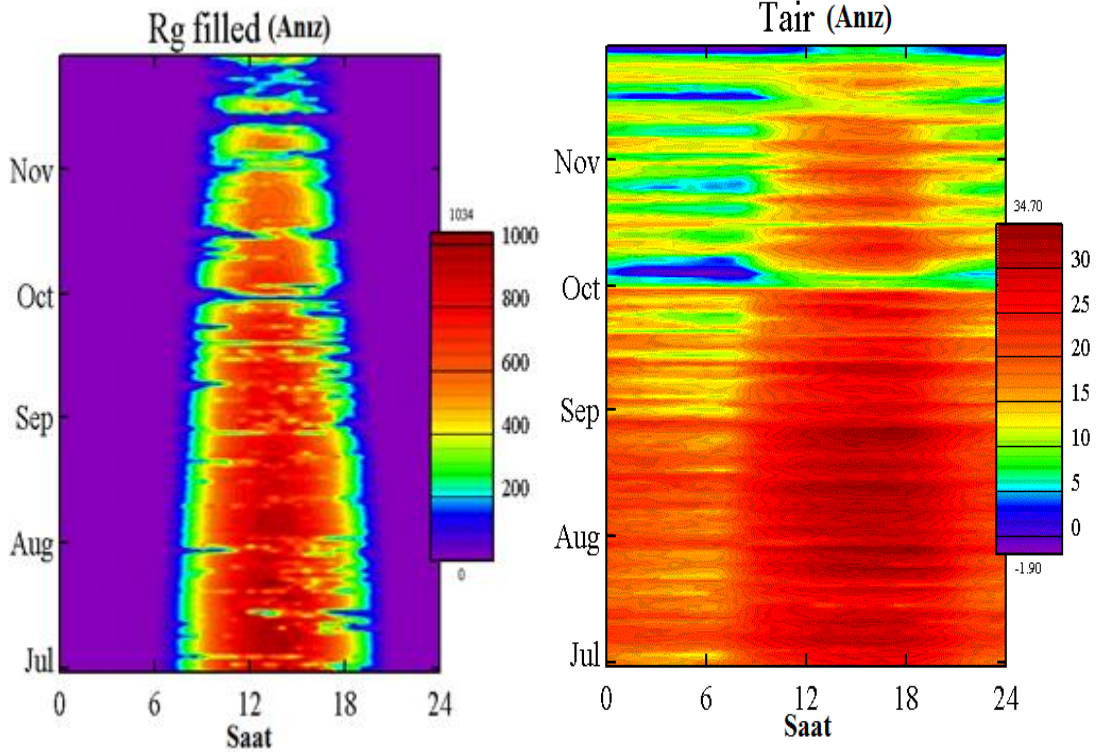
Şekil 5.36: Anız Dönemindeki R_{eco} Değişimi.

Şekil 5.37’de anız dönemindeki orjinal ve doldurulmuş LE değerlerinin değişimi gösterilmektedir. Bu dönemdeki eksik LE verilerinin veri setinin %19.3’ünü oluşturmaktadır.



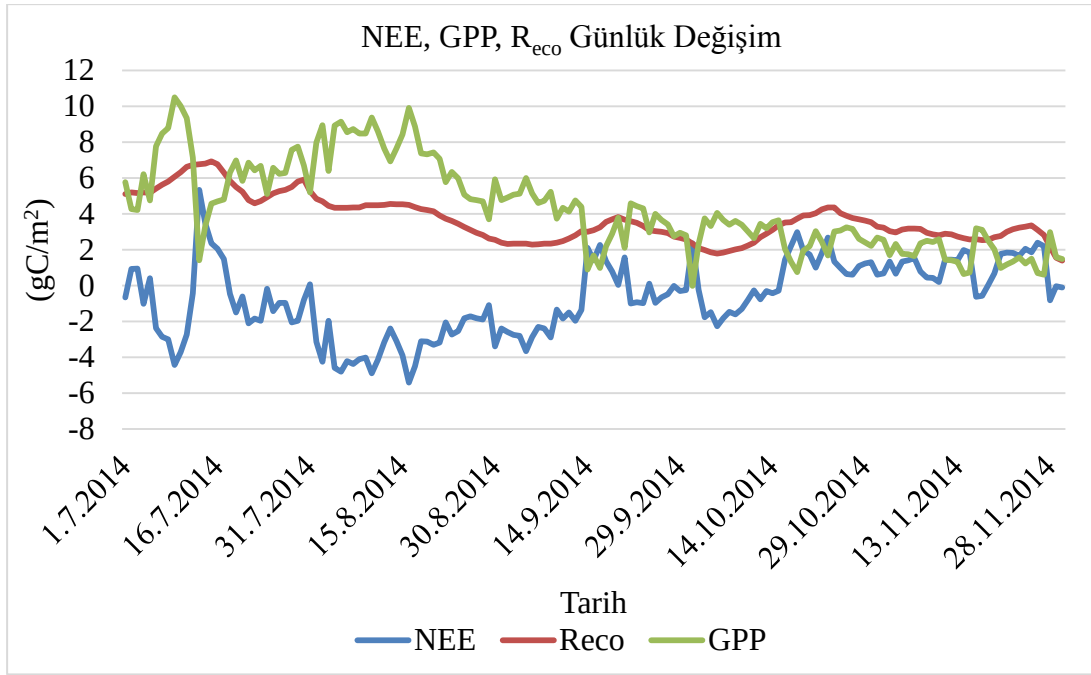
Şekil 5.37: Anız Döneminde Gerçekleşen Orjinal ve Doldurulmuş LE Değişimi.

Şekil 5.38’de anı dönemindeki R_g ile hava sıcaklığının değişimi gösterilmektedir. R_g değerlerinin zaman içerisinde azalması hava sıcaklığının da zaman içerisinde azalmasına sebep olmaktadır.



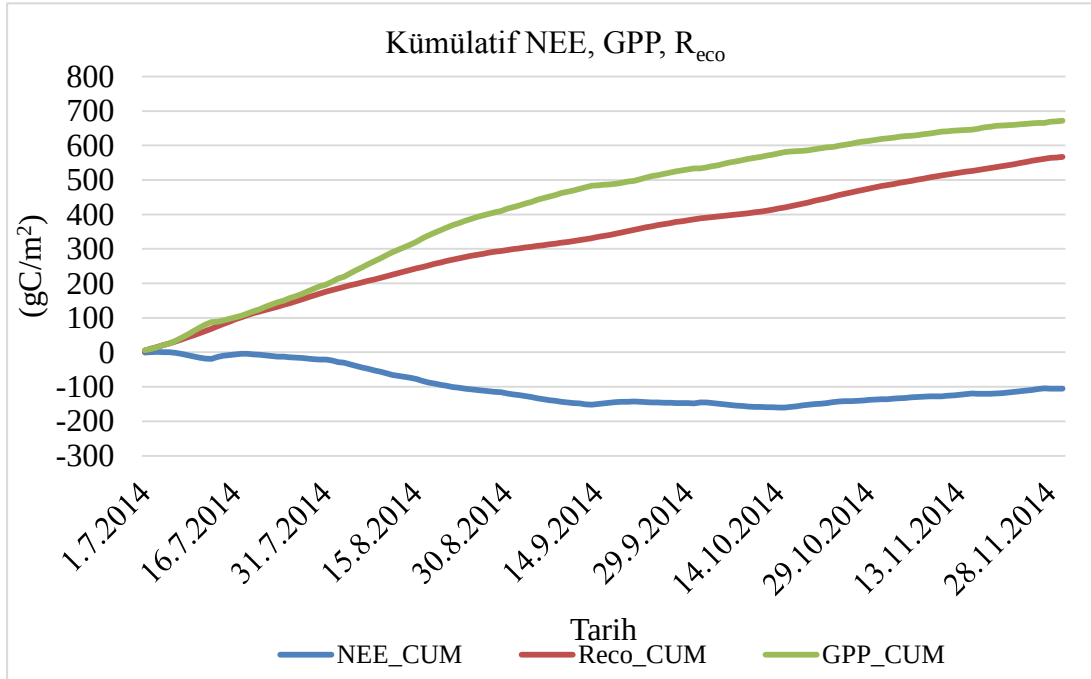
Şekil 5.38: Anız Dönemindeki Global Radyasyon (R_g) ve Hava Sıcaklığı Değişimi.

Şekil 5.39’da anız dönemindeki NEE, GPP, R_{eco} değerlerinin değişimi gösterilmektedir. Bu dönemdeki ortalama günlük toplam NEE -0.69 gC/m^2 , 16 Ağustos 2013 tarihinde minimum -5.40 gC/m^2 , 13 Temmuz 2013 maksimum tarihinde 5.34 gC/m^2 olarak hesaplanmıştır. Ortalama günlük toplam GPP değerleri 4.39 gC/m^2 , 1 Ekim 2013 tarihinde minimum -0.02 gC/m^2 , 9 Temmuz 2013 tarihinde maksimum 10.50 gC/m^2 , ortalama günlük toplam R_{eco} değerleri 3.70 gC/m^2 , 30 Kasım 2013 tarihinde minimum 1.40 gC/m^2 , 15 Temmuz 2013 tarihinde maksimum 6.93 gC/m^2 olarak hesaplanmıştır. NEE, GPP, R_{eco} değerlerinin standart sapmaları sırasıyla 2.09, 2.51, 1.27 gC/m^2 olarak hesaplanmıştır.



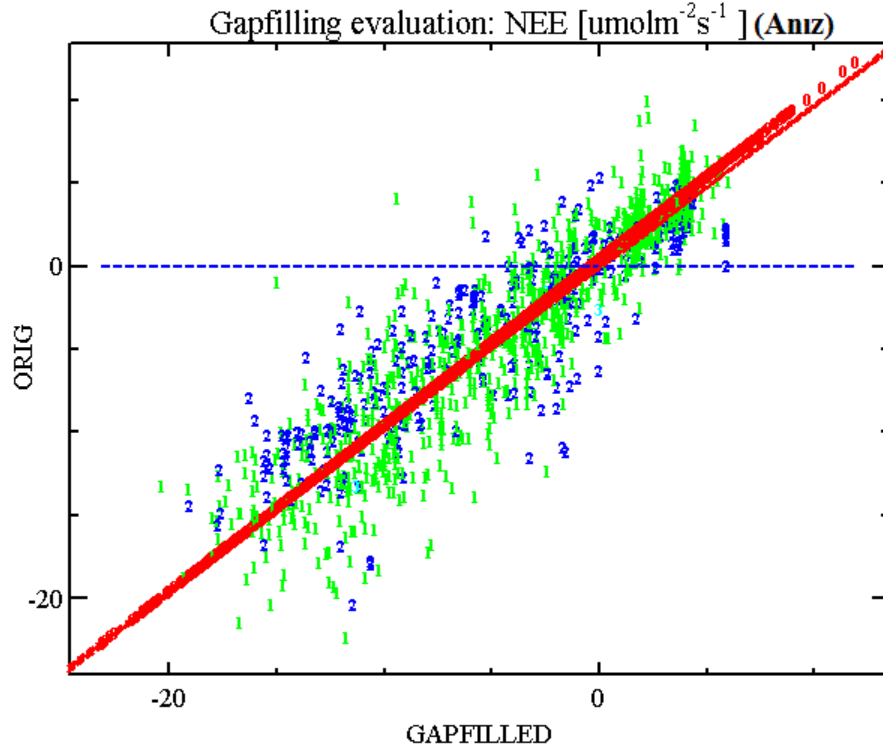
Şekil 5.39: Anız Dönemindeki Günlük NEE, GPP ve R_{eco} Değerleri.

Şekil 5.40'da kümülatif olarak hesaplanan NEE, GPP, R_{eco} değerlerinin değişimi gösterilmektedir. Görüldüğü üzere anız döneminde de arazi içerisinde kalan sap parçaları ve hasat zamanı biçerdöverden düşen buğday taneleri çimlenmiş ve gelişmeye başlamışlardır. Kümülatif NEE, GPP, R_{eco} değerleri sırasıyla -105.14, 671.92, 566.78 gC/m² olarak hesaplanmıştır.



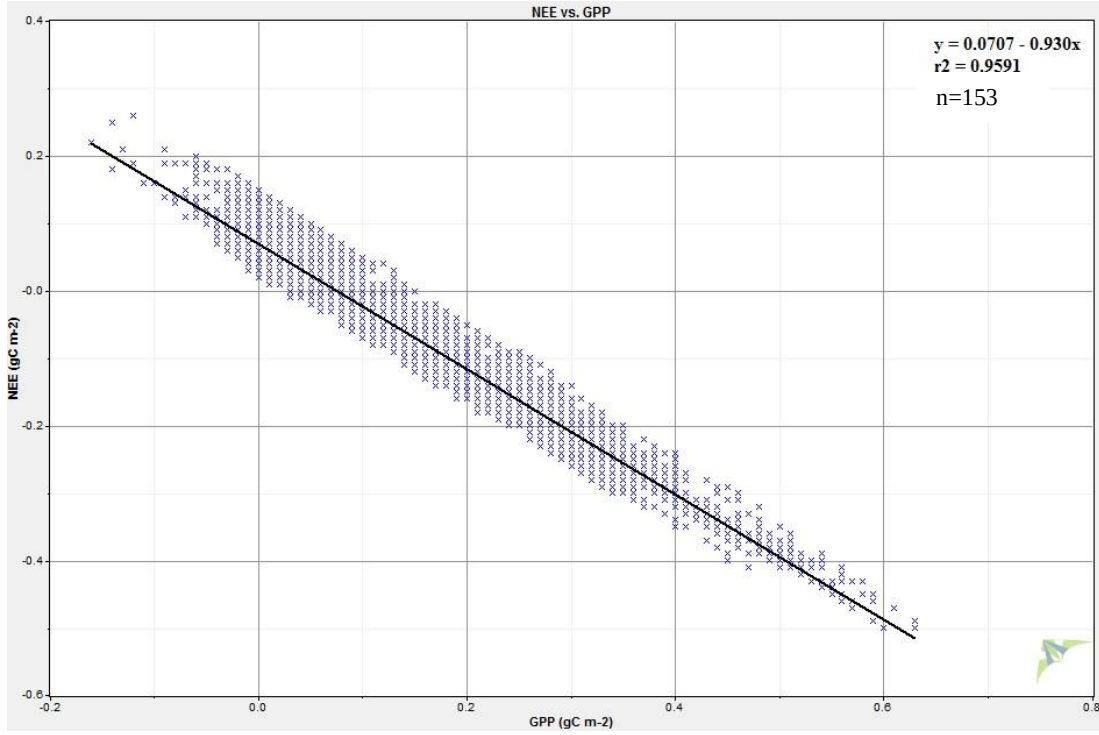
Şekil 5.40: Anız Dönemindeki Günlük Kümülatif NEE, GPP ve R_{eco} Değerleri.

Şekil 5.41’de eksik NEE değerlerinin, ölçülen NEE ve meteorolojik değişkenlerden tamamlanan NEE değerleri arasındaki ilişki gösterilmektedir.



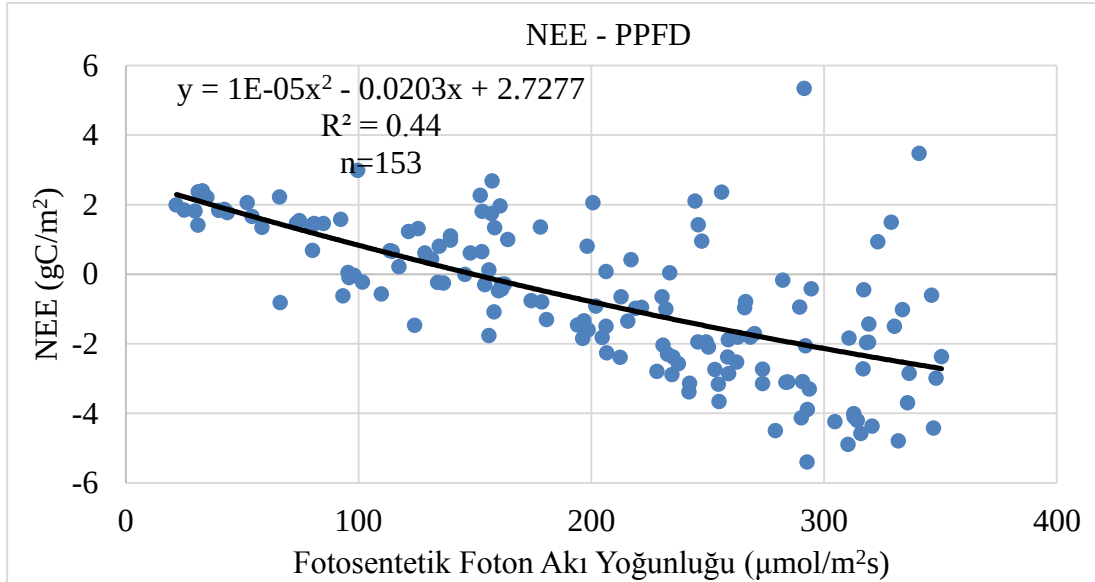
Şekil 5.41: Anız Dönemindeki Orijinal ile Doldurulmuş NEE Verileri Arasındaki İlişki.

Şekil 5.42’de anız dönemindeki NEE ile GPP arasındaki ilişki gösterilmektedir. NEE ile GPP arasında yüksek bir ilişki bulunmaktadır ve r^2 değeri 0.96 olarak hesaplanmıştır (n=7346).

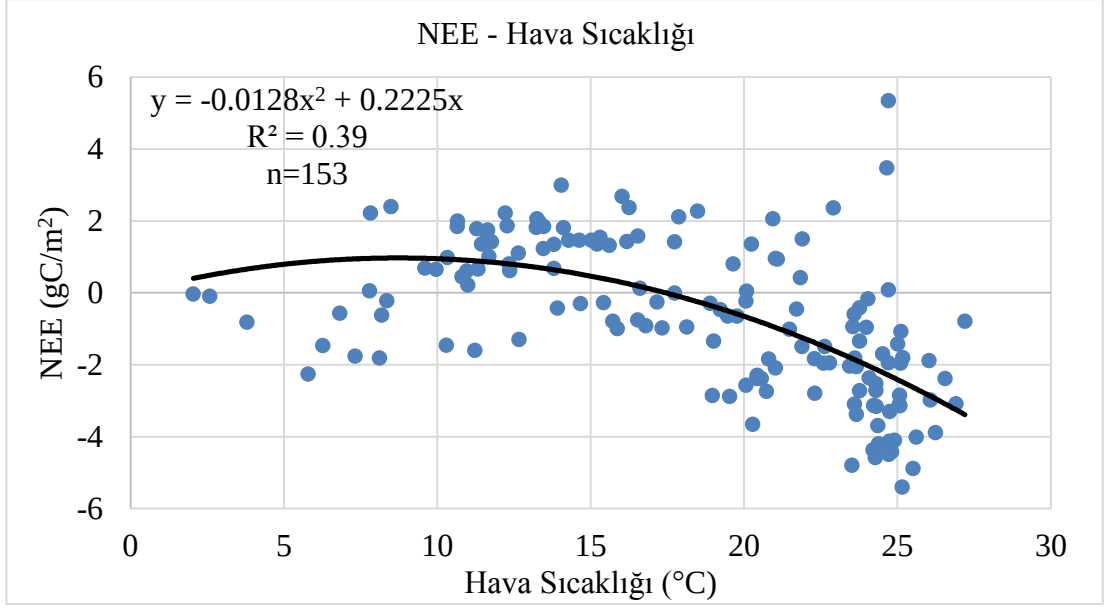


Şekil 5.42: Anız Dönemindeki NEE ve GPP Arasındaki İlişki.

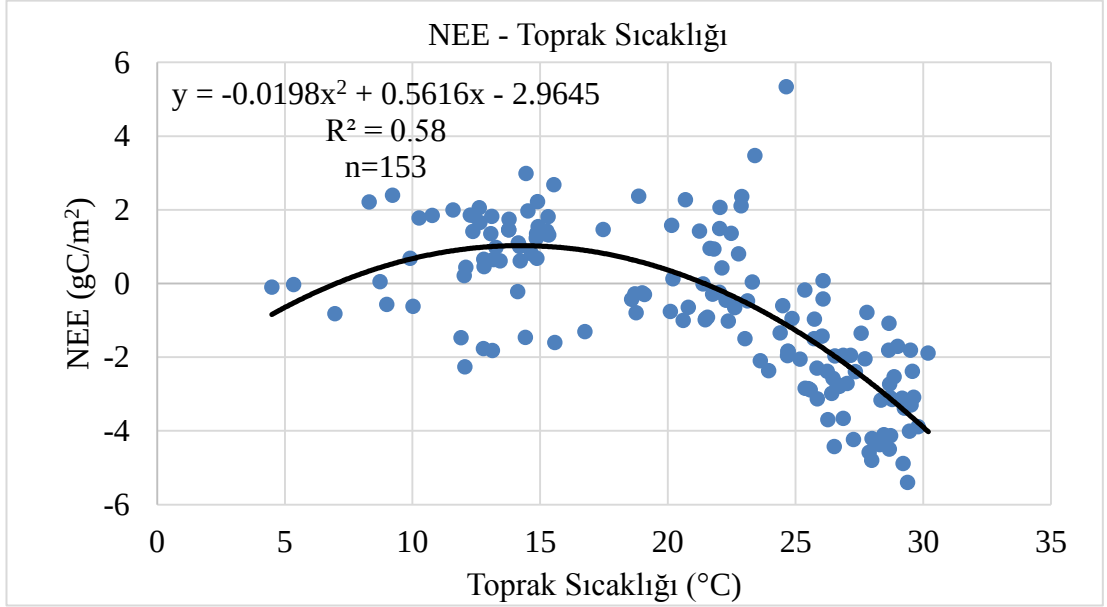
Anız döneminde gerçekleşen NEE değeri ile PPFD, hava sıcaklığı ve toprak sıcaklığı arasındaki ilişkiler incelenmiştir ve sırası ile r^2 değerleri 0.44, 0.39, 0.58 olarak hesaplanmıştır. Bu dönemdeki NEE değerleri en fazla kontrol eden meteorolojik mekanizma toprak sıcaklığı olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.43: Anız Dönemindeki NEE ile PPFD Arasındaki İlişki.

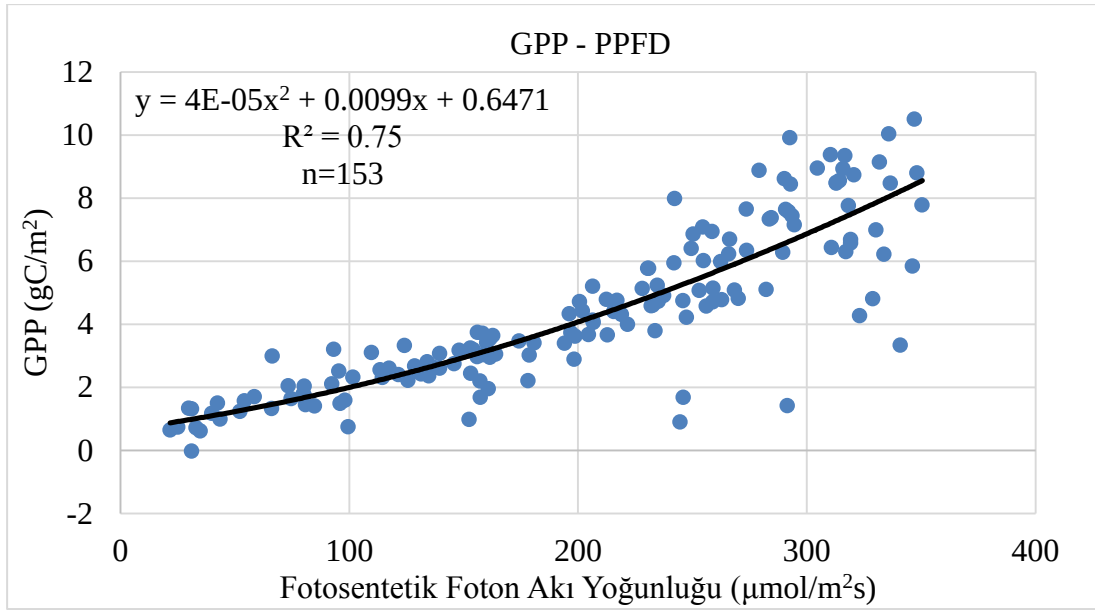


Şekil 5.44: Anız Dönemindeki NEE ile Hava Sıcaklığı Arasındaki İlişki.

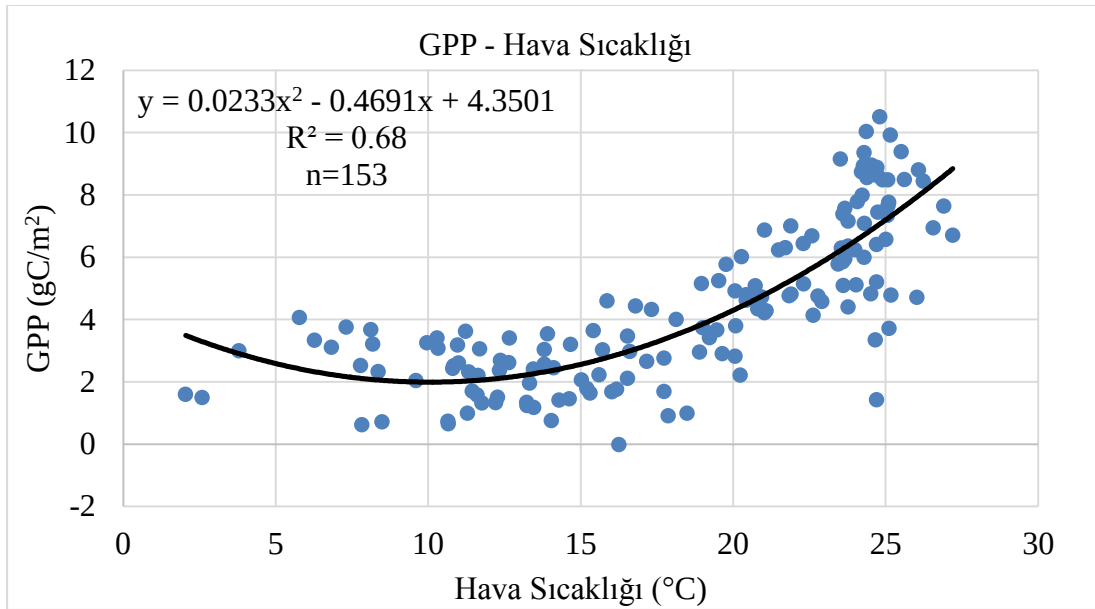


Şekil 5.45: Anız Dönemindeki NEE ile Toprak Sıcaklığı Arasındaki İlişki.

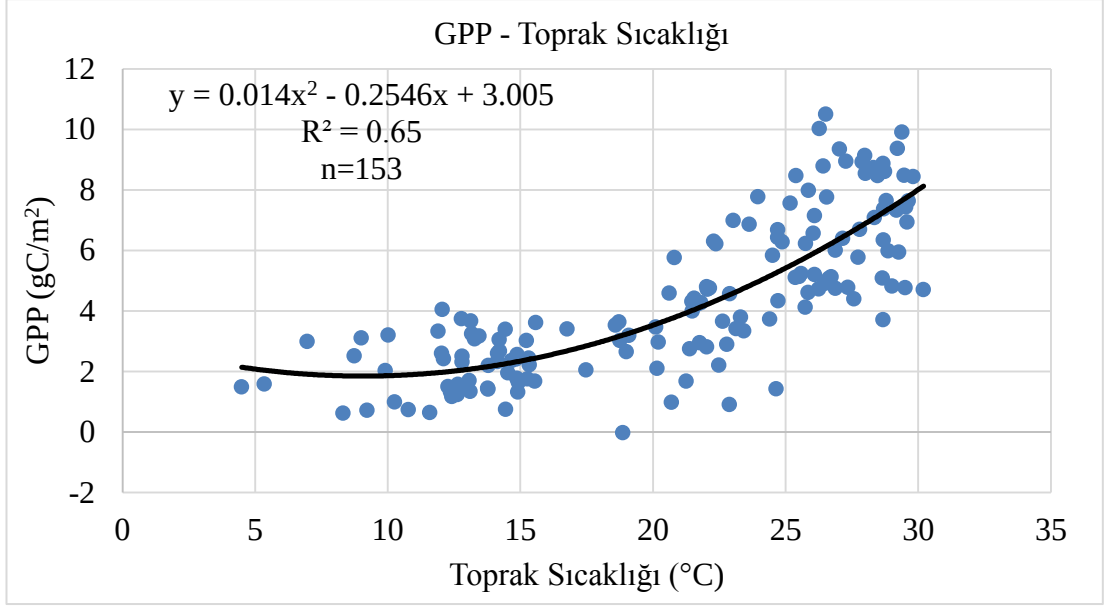
Anız dönemindeki GPP değerleri ile PPFD, hava sıcaklığı, toprak sıcaklığı arasındaki ilişkiler incelenmiş ve sırasıyla r^2 değerleri 0.75, 0.68, 0.65 olarak hesaplanmıştır. Bu dönemdeki GPP aktivitesini en fazla kontrol eden meteorolojik mekanizma global radyasyon olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.46: Anız Dönemindeki GPP ile PPFD Arasındaki İlişki.

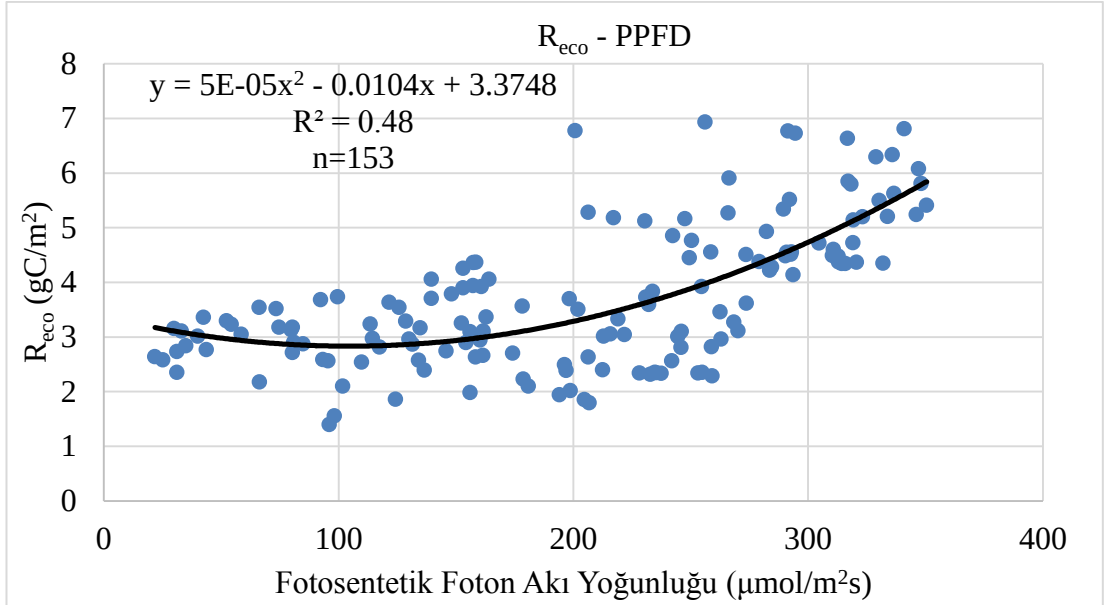


Şekil 5.47: Anız Dönemindeki GPP ile Hava Sıcaklığı Arasındaki İlişki.

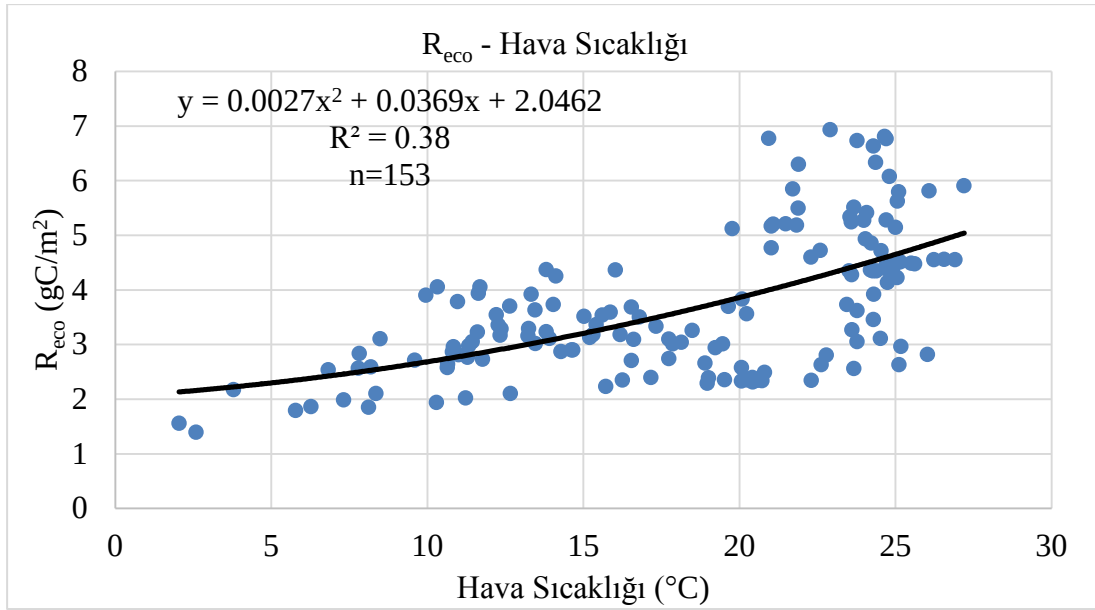


Şekil 5.48: Anız Dönemindeki GPP ile Toprak Sıcaklığı Arasındaki İlişki.

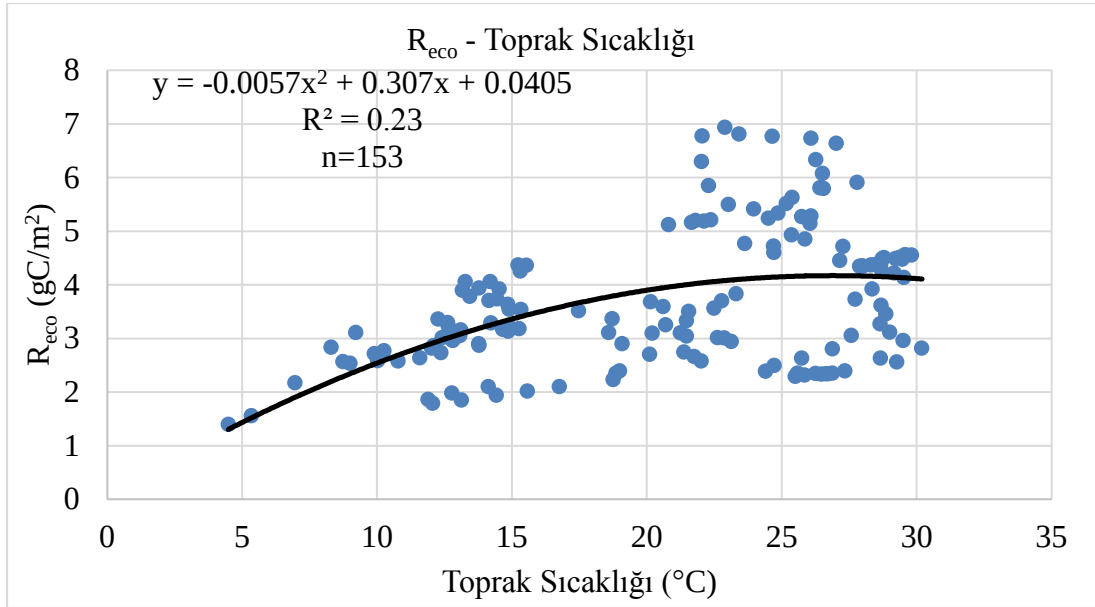
Anız dönemindeki R_{eco} değerleri ile PPFD, hava sıcaklığı, toprak sıcaklığı arasındaki ilişkiler incelenmiştir ve sırasıyla r^2 değerleri 0.48, 0.38, 0.23 olarak hesaplanmıştır. Anız dönemindeki R_{eco} aktivitesini en fazla kontrol eden meteorolojik mekanizma global radyasyon olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.49: Anız Dönemindeki R_{eco} ile PPFD Arasındaki İlişki.



Şekil 5.50: Anız Dönemindeki R_{eco} ile Hava Sıcaklığı Arasındaki İlişki.



Şekil 5.51: R_{eco} ile Toprak Sıcaklığı Arasındaki İlişki.

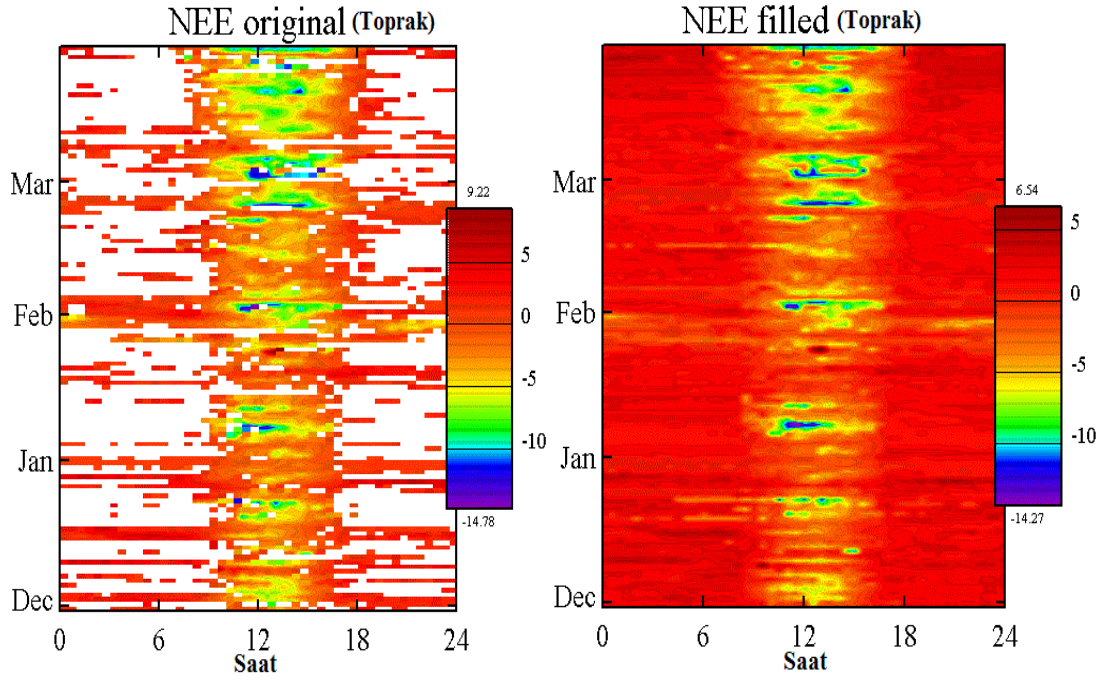
5.3.3 Çıplak toprak döneminde elde edilen bulgular

1 Aralık 2013 tarihinde anız bulunan çalışma arazisine pulluk adı verilen tarımsal alet araziye girmiş ve toprağı yaklaşık 30 cm'ye kadar karıştırmaktadır. 1 Aralık 2013 tarihinden 1 Nisan 2014 tarihine kadar toprak çıplak olarak bırakılmıştır. şekil 5.52'de çıplak toprak arazisinden görüntü gösterilmektedir.



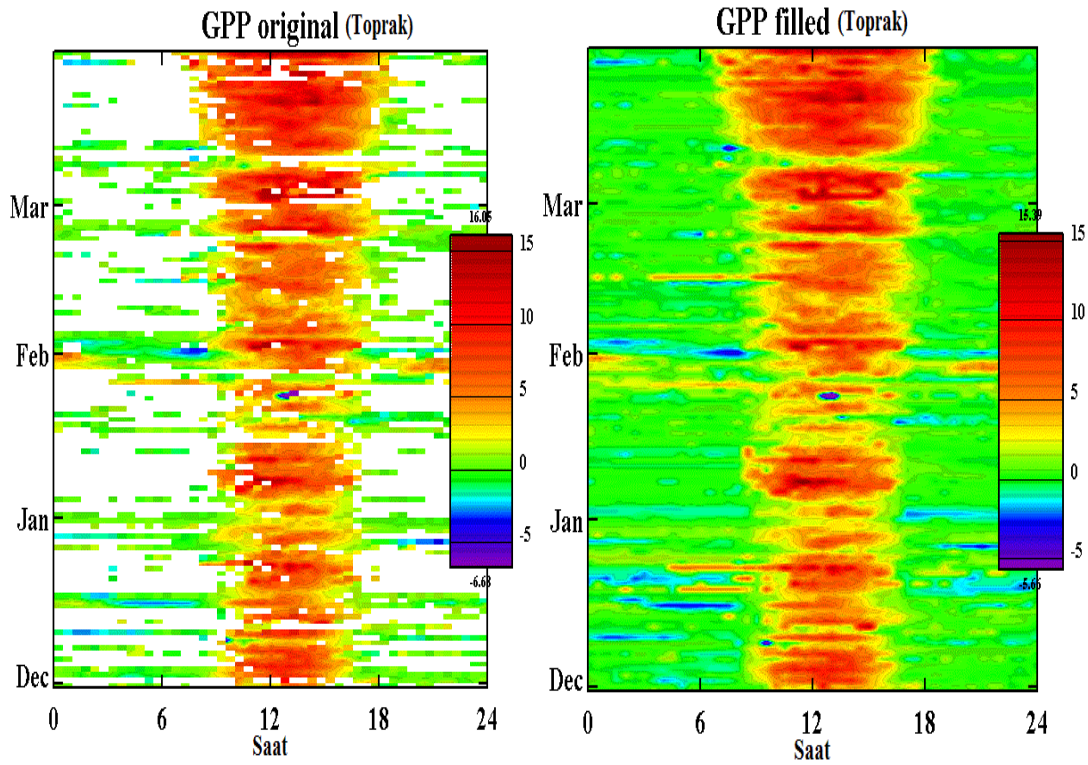
şekil 5.52: Çıplak Toprak Olarak Bırakılan Arazi.

şekil 5.53'de çıplak toprak dönemindeki orjinal ve doldurulmuş NEE değerlerinin değişimi gösterilmektedir. Bu dönemdeki eksik veriler, veri setini %48.5'ini oluştırmaktadır. Mart 2014 tarihinden itibaren mikro organizma ve toprakta kalan tohumların çimlenmesi ile NEE değerlerinde ayırışmalar meydana gelmektedir.



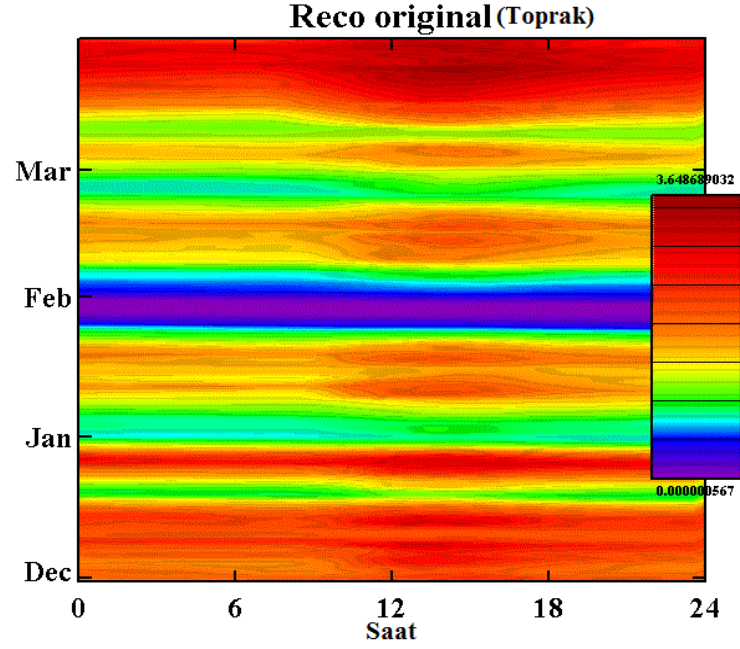
Şekil 5.53: Çıplak Toprak Dönemindeki Orjinal ve Doldurulmuş NEE Değişimi.

Şekil 5.54’de çıplak toprak dönemindeki orjinal ve doldurulmuş GPP değerlerinin değişimi gösterilmektedir. Bu periyotta topraktaki mikro organizma faaliyeti etkili olmaktadır.



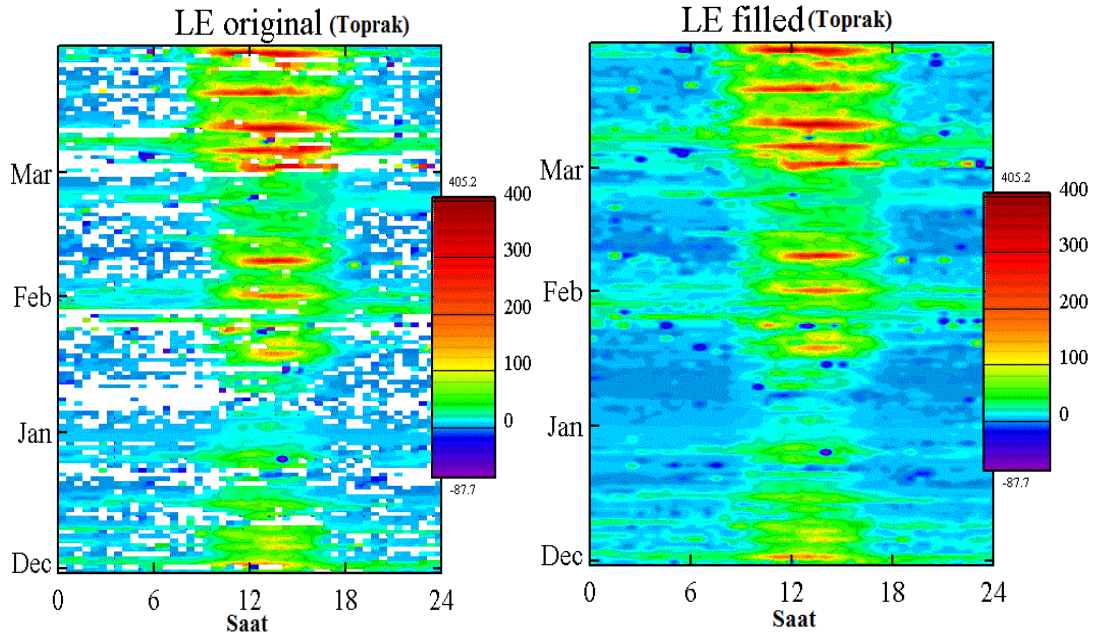
Şekil 5.54: Çıplak Toprak Dönemindeki Orjinal ve Doldurulmuş GPP Değişimi.

Şekil 5.55’de çıplak toprak dönemindeki R_{eco} değerlerinin değişimi gösterilmektedir. R_{eco} değerleri aynı zamanda sıcaklığın bir fonksiyonu olduğundan sıcaklık değişimleri ile paralellik göstermektedir.



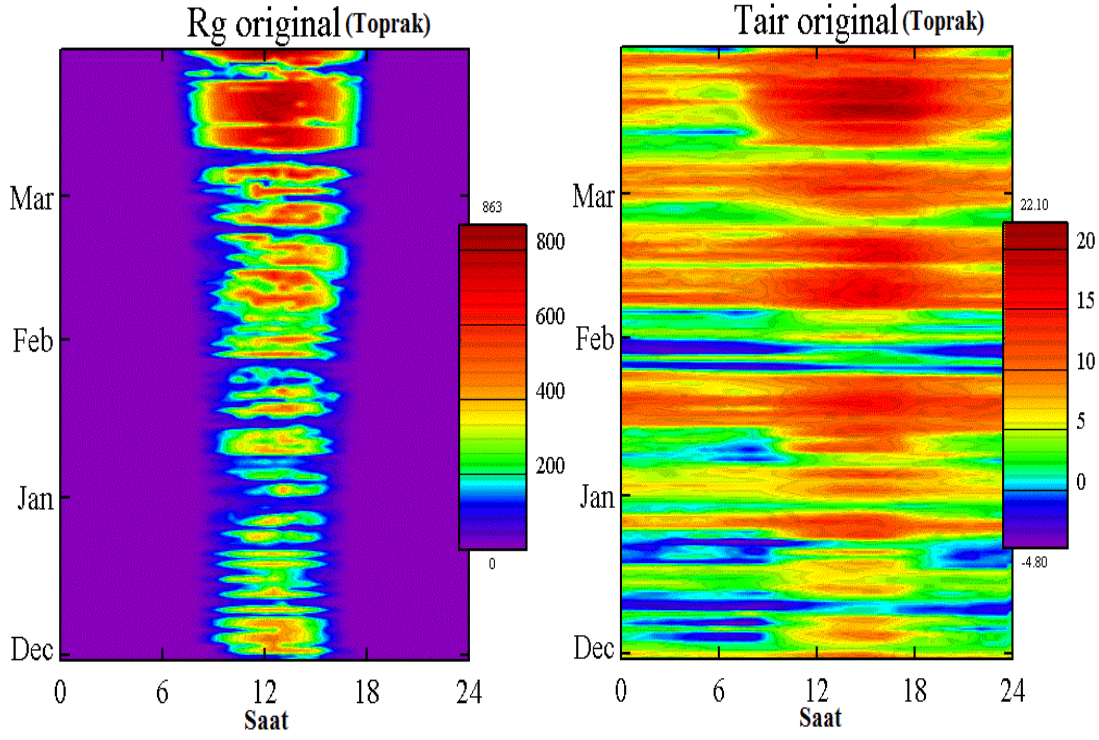
Şekil 5.55: Çıplak Toprak Dönemindeki R_{eco} Değişimi.

Şekil 5.56’de çıplak toprak dönemindeki LE değerlerinin değişimi gösterilmektedir.



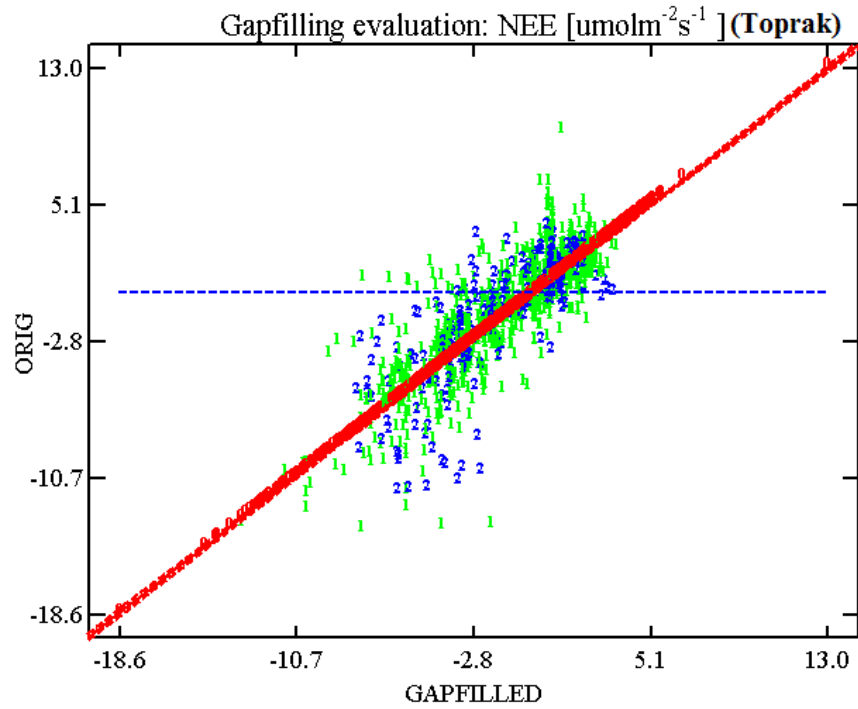
Şekil 5.56: Çıplak Toprak Dönemindeki LE Değişimi.

Şekil 5.57’de çıplak toprak döneminde R_g ve hava sıcaklığı değişimleri gösterilmektedir.



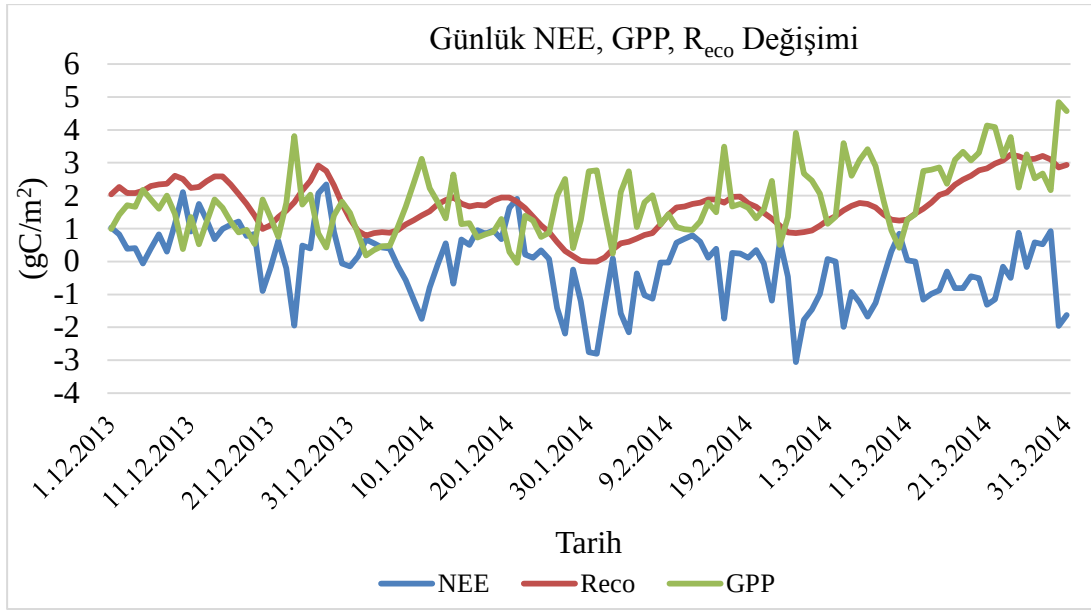
Şekil 5.57: Çıplak Toprak Dönemindeki Global Radyasyon ve Hava Sıcaklığı Değişimi.

Şekil 5.58’de eksik NEE verilerinin, ölçülmüş NEE ve meteorolojik değişkenler vasıtasıyla tamamlandıktan sonraki ilişki gösterilmektedir.



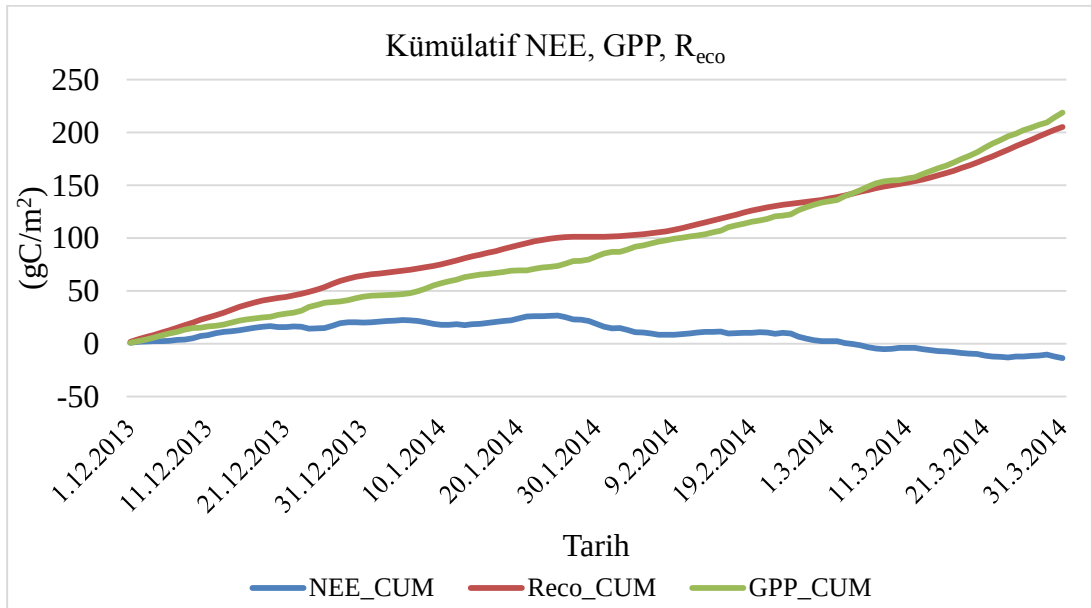
Şekil 5.58: Çıplak Toprak Dönemindeki Orjinal ve Doldurulmuş NEE Verileri Arasındaki İlişki.

Şekil 5.59’de NEE, GPP, R_{eco} günlük toplam değişimi gösterilmektedir. Ortalama günlük toplam NEE değerleri -0.11 gC/m^2 , 25 Şubat 2014 tarihinde minimum -3.06 gC/m^2 , 28 Aralık 2013 tarihinde 2.34 gC/m^2 maksimum olarak belirlenmiştir. Ortalama günlük toplam GPP değerleri 1.81 gC/m^2 , 21 Ocak 2014 tarihinde minimum -0.08 gC/m^2 , 30 Mart 2014 tarihinde maksimum 4.82 gC/m^2 olarak belirlenmiştir. Ortalama günlük toplam R_{eco} değerleri 1.70 gC/m^2 , 30-31 Ocak 2014 tarihlerinde minimum 0.00 gC/m^2 , 24 Mart 2014 tarihinde maksimum 4.82 gC/m^2 olarak belirlenmiştir. Günlük toplam NEE, GPP, R_{eco} değerlerinin standart sapmaları sırasıyla 1.07, 1.03, 0.77 gC/m^2 olarak hesaplanmıştır.



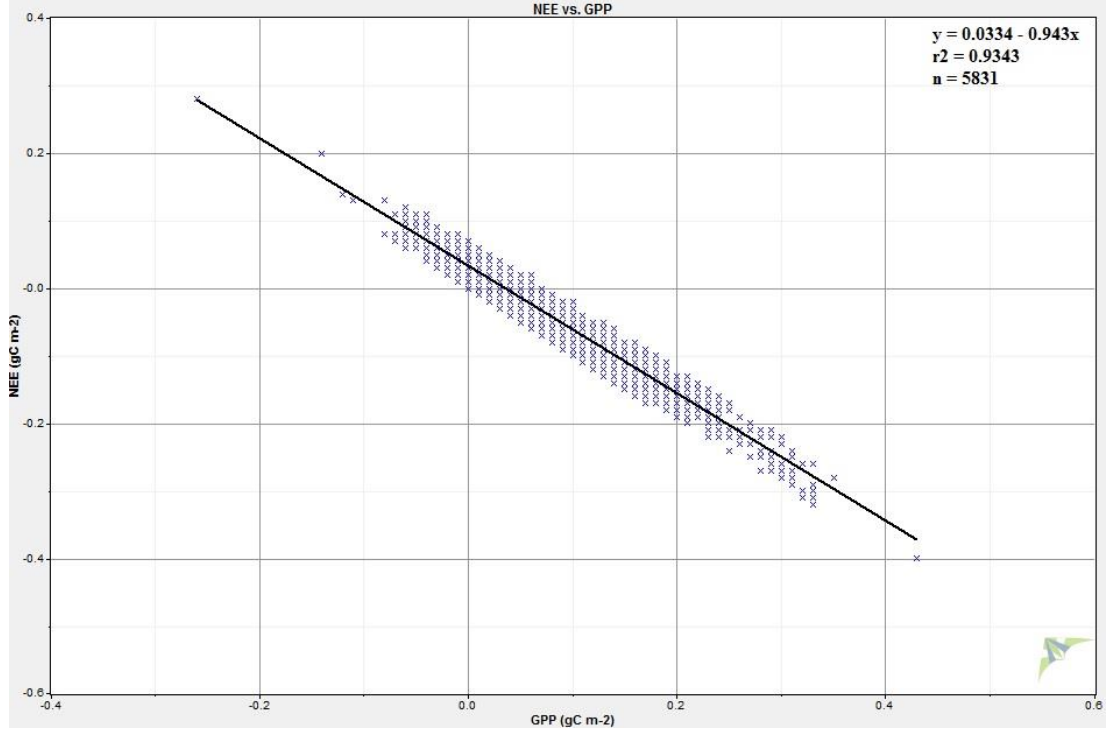
Şekil 5.59: Çıplak Toprak Dönemindeki Günlük NEE, GPP, R_{eco} Değişimi.

Şekil 5.60'da çıplak toprak dönemindeki kümülatif NEE, GPP, R_{eco} değerlerinin değişimi gösterilmektedir. Kümülatif NEE, GPP, R_{eco} değerleri sırasıyla -13.67, 220.41, 206.74 gC/m^2 olarak hesaplanmıştır. Ocak ayının sonuna kadar topraktan atmosfere verilen karbon sürekli olarak artmıştır ve 26.82 gC/m^2 değerine kadar ulaşmıştır. Bu tarihten itibaren NEE değerleri azalmaya başlamış ve dönem sonunda negatif değerlere geçmiştir. Bu durum ocak ayının sonunda toprakta önceden kalan buğday tanelerinin çimlenmesi ve mikro organizma aktiviteleri ile açıklanabilir.



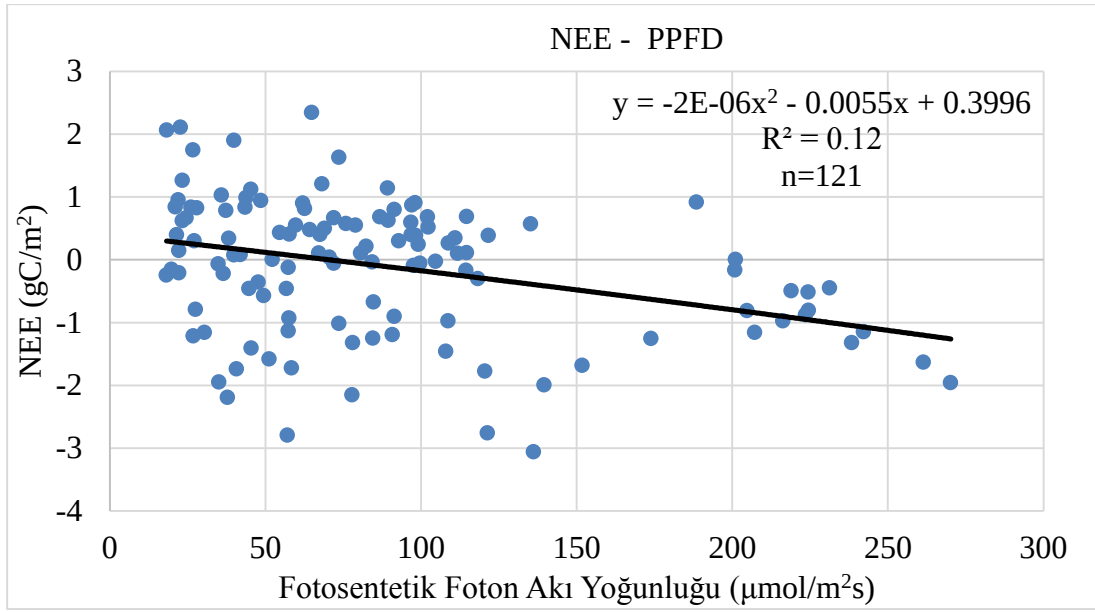
Şekil 5.60: Çıplak Toprak Dönemindeki NEE, GPP, R_{eco} Kümülatif Değişimi.

Şekil 5.61’de çıplak toprak dönemindeki NEE ile GPP arasındaki ilişki gösterilmektedir. Bu dönemde NEE ile GPP arasındaki r^2 değeri 0.93 olarak hesaplanmıştır (n=5831).

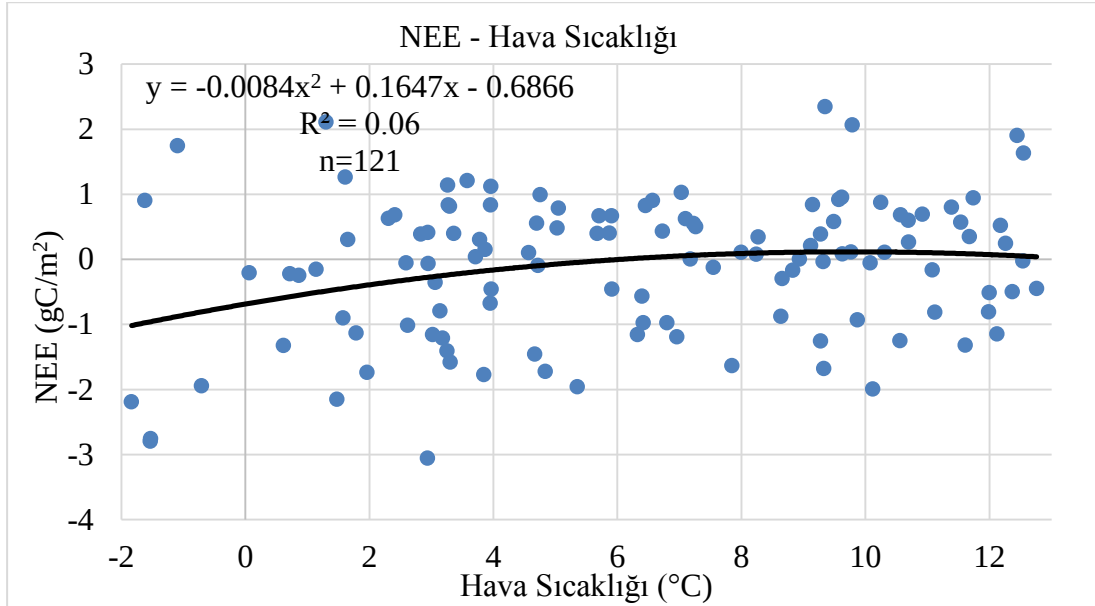


Şekil 5.61: Çıplak Toprak Dönemindeki NEE ile GPP Arasındaki İlişki.

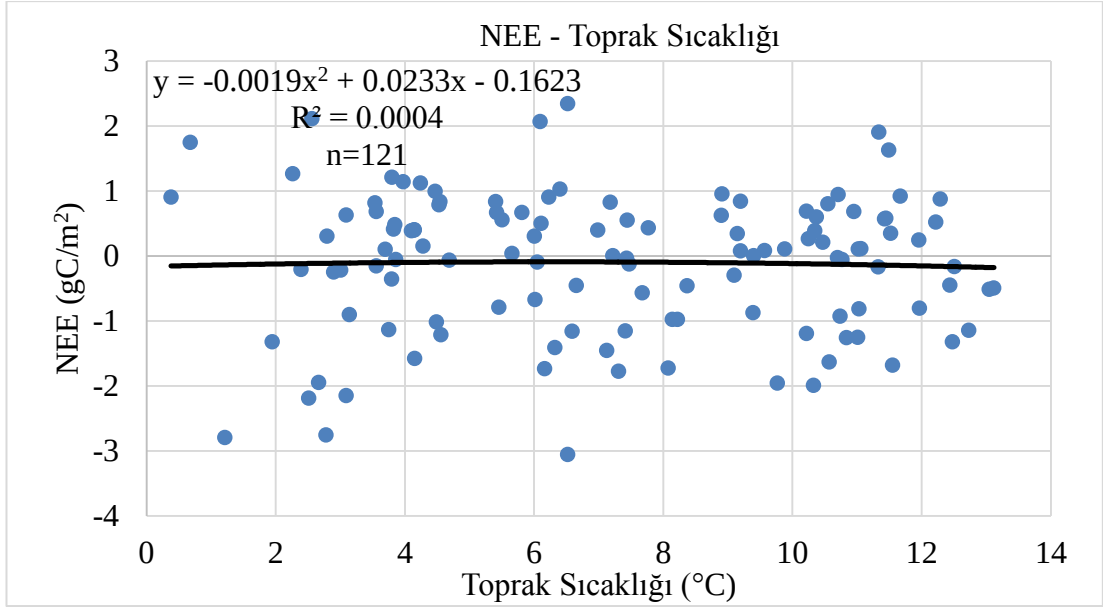
Çıplak toprak döneminde NEE değerleri ile PPFD, hava sıcaklığı, toprak sıcaklığı arasındaki ilişkiler incelenmiştir ve r^2 katsayıları sırasıyla 0.12, 0.06, 0.0004 olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde NEE aktivitesi ile meteorolojik değişkenler ile yüksek bir ilişki tespit edilmemiştir.



Şekil 5.62: Çıplak Toprak Dönemindeki NEE ile PPFD Arasındaki İlişki.

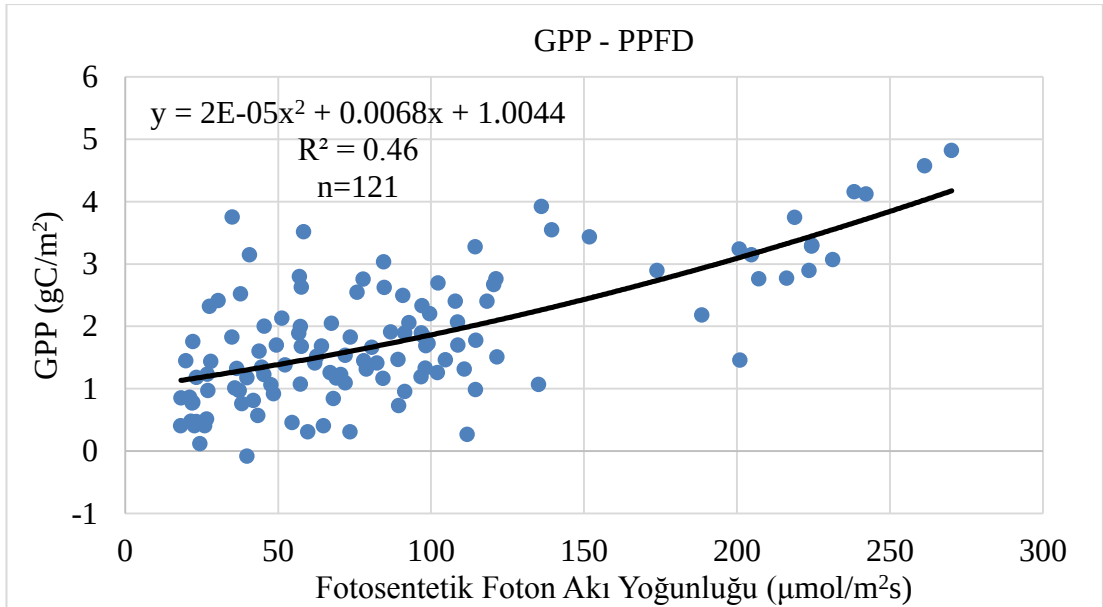


Şekil 5.63: Çıplak Toprak Dönemindeki NEE ile Hava Sıcaklığı Arasındaki İlişki.

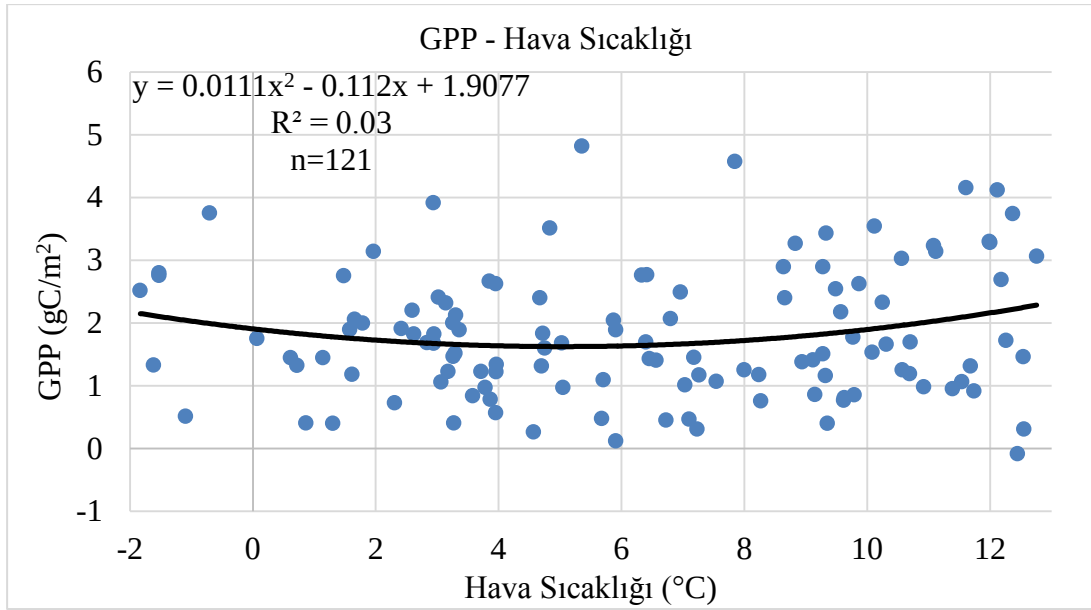


Şekil 5.64: Çıplak Toprak Dönemindeki NEE ile Toprak Sıcaklığı Arasındaki İlişki.

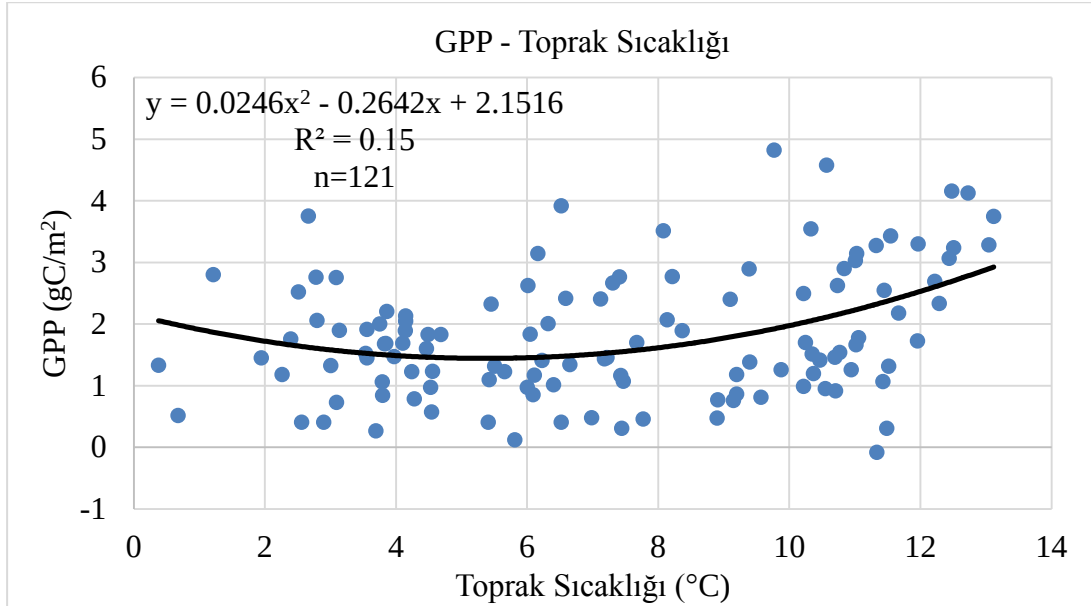
Çıplak toprak döneminde GPP değerleri ile PPFD, hava sıcaklığı, toprak sıcaklığı arasındaki ilişkiler incelenmiştir ve r^2 katsayıları sırasıyla 0.46, 0.03, 0.15 olarak belirlenmiştir. Bu dönemdeki GPP aktivitesini en fazla kontrol eden meteorolojik mekanizma fotosentetik foton akı yoğunluğu olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.65: Çıplak Toprak Dönemindeki GPP ile PPFD Arasındaki İlişki.

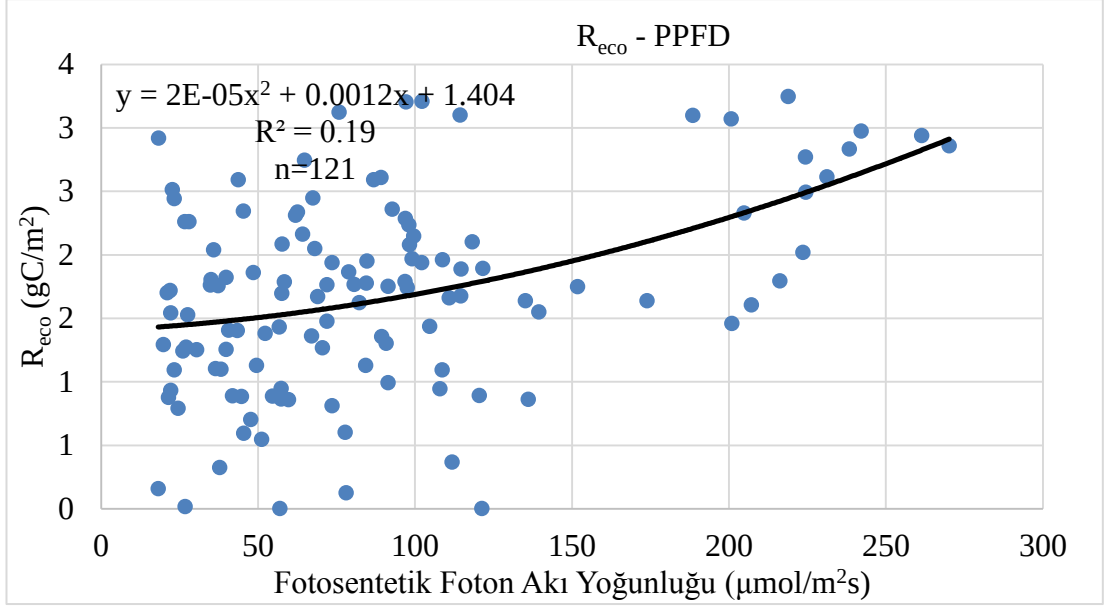


Şekil 5.66: Çıplak Toprak Dönemindeki GPP ile Hava Sıcaklığı Arasındaki İlişki.

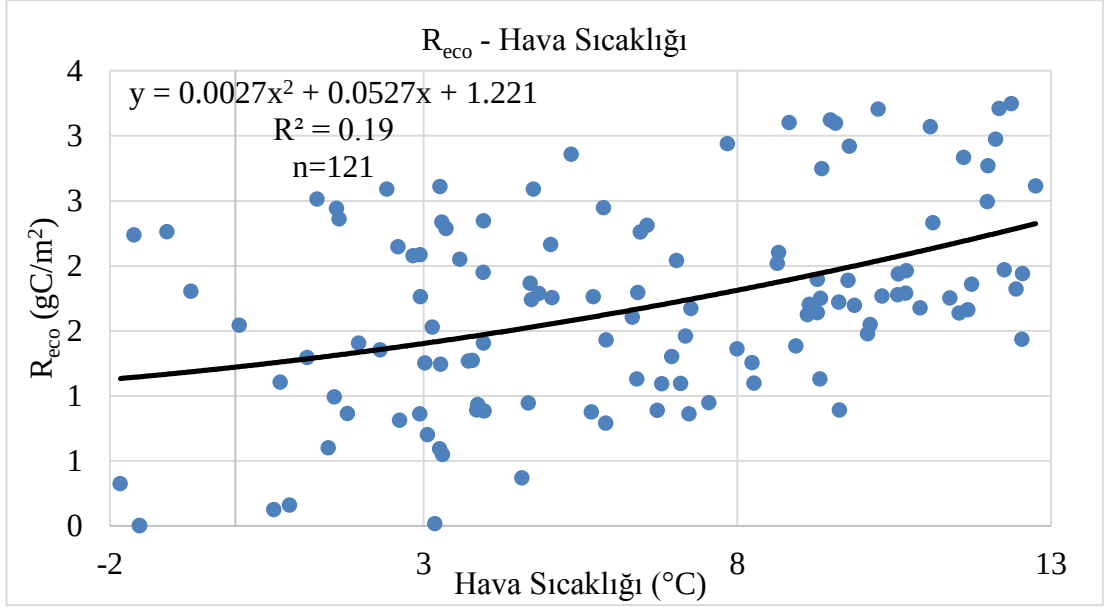


Şekil 5.67: Çıplak Toprak Dönemindeki GPP ile Toprak Sıcaklığı Arasındaki İlişki.

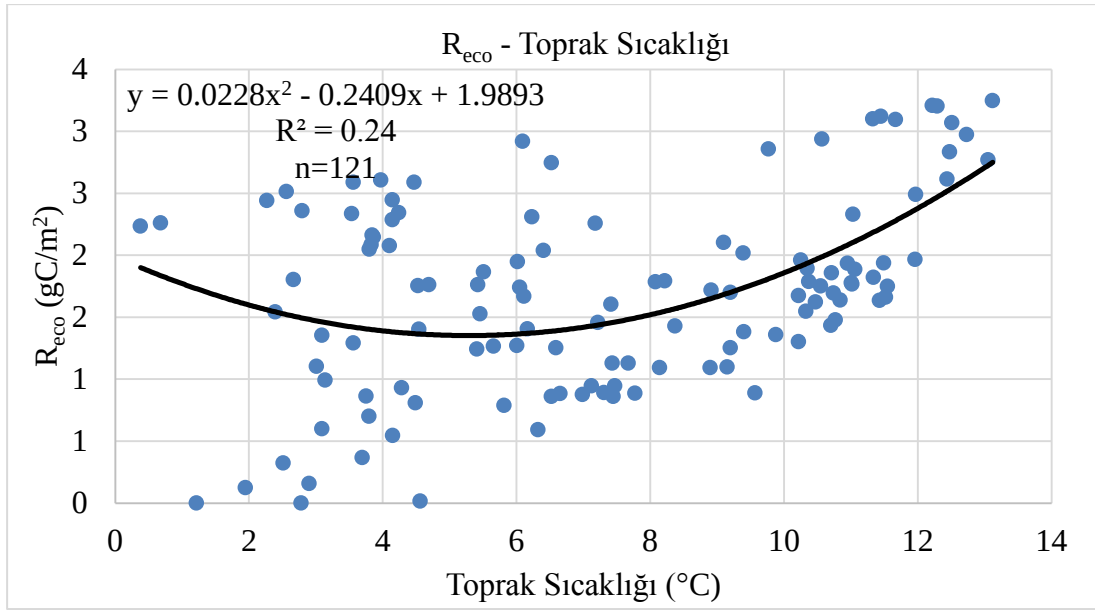
Çıplak toprak döneminde R_{eco} değerleri ile PPFD, hava sıcaklığı, toprak sıcaklığı arasındaki ilişkiler incelenmiştir ve r^2 katsayıları sırasıyla 0.19, 0.19, 0.24 olarak belirlenmiştir. Bu dönemde R_{eco} aktivitesi ile PPFD, hava sıcaklığı ve toprak sıcaklığı arasında yüksek ilişkiler tespit edilmemiştir.



Şekil 5.68: Çıplak Toprak Döneminde R_{eco} ile PPFD Arasındaki İlişki.



Şekil 5.69: Çıplak Toprak Döneminde R_{eco} ile Hava Sıcaklığı Arasındaki İlişki.



Şekil 5.70: Çıplak Toprak Döneminde R_{eco} ile Toprak Sıcaklığı Arasındaki İlişki.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada tarım ekosisteminde kışlık buğday bitkisi ile atmosfer arasındaki CO₂ ve H₂O değişimi incelenmiştir. Bu inceleme 3 farklı dönemde gerçekleştirilmiştir. Bunlar; bitkinin gelişme periyodu, anız ve toprağın sürüldüğü (çıplak toprak) dönemleridir. Böylece hem buğday bitkisinin gelişme dönemindeki sera gazı akısı hem de hasattan sonraki aşama analiz edilmiştir. Hasattan sonra arazide bırakılan anızın ve çıplak toprak yüzeyinden gerçekleşen CO₂ ve H₂O akıları 2012 – 2014 yılları arasında Kırklareli’de bulunan Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü arazisinde belirlenmiştir. Belirlenen net ekosistem değişimi, brüt fotosentez ve ekosistem solunumu değerleri meteorolojik şartlar ile vejetasyon dinamikleri arasındaki ilişki belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda 2012-2014 yılları arasındaki NEE, GPP ve R_{eco} değerleri sırasıyla -502.75, 2114.50, 1611.75 gC/m², günlük ortalama olarak bakıldığında -0.95, 4.08, 3.11 gC/m² olarak hesaplanmıştır. Dönemlere bakılacak olursa Selimiye çeşidi olan kışlık buğday bitkisi için toplam kümülatif NEE, GPP, Reco değerleri sırasıyla -383.94, 1222.17, 838.23 gC/m², anız için -105.14, 671.92, 566.78 gC/m², çıplak toprak yüzeyi için -13.67, 220.41, 206.74 gC/m² olarak hesaplanmıştır.

Kışlık buğday bitkisi için NEE, GPP, R_{eco} ortalama günlük toplam değerleri sırasıyla -1.59, 5.05, 3.46 gC/m²; anız döneminde -0.69, 4.39, 3.70 gC/m²; çıplak toprak döneminde -0.11, 1.81, 1.70 gC/m² olarak belirlenmiştir.

Araştırmadaki farklı vejetatif yüzeylerin NEE, GPP, R_{eco} değerleri ile meteorolojik şartlar arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Kışlık buğday bitkisinin yetiştirildiği dönemde NEE ve GPP’nin en iyi ilişki PPFD; R_{eco} değerleri ise toprak sıcaklığı ile en yüksek ilişkiye sahiptir. Anız dönemindeki belirlenen NEE ile hava sıcaklığı, GPP ile PPFD, Reco değerleri ise PPFD değerleri arasında en yüksek ilişki belirlenmiştir. Çıplak toprak dönemindeki NEE ile PPFD, GPP ile PPFD ve R_{eco} ise toprak sıcaklığı ile en yüksek ilişkiye sahiptir.

Kışlık buğday bitkisinin gelişme dönemindeki vejetasyon dinamikleri belirlenmiştir. NEE ile GPP, toplam kuru biyokütle değerleri arasında yüksek ilişkiler belirlenmiştir.

Kışlık buğday bitkisinin 2012-2013 gelişme döneminde Eddy Kovaryans yöntemi kullanılarak NEE değerleri belirlenmiştir ve yine aynı yöntemi kullanarak Şaylan ve diğ. (2012) tarafından Kırklareli’de ve Béziat ve diğ. (2007) tarafından Fransa’da yapılan kışlık buğday bitkisinin NEE değerleri (-354.9 , -441.3 gC/m^2 ; -369 ± 33 gC/m^2) ile benzer değerlere sahiptir. Diğer ülkelerde yapılan çalışmalarla karşılaştırılacak olursa tarafından kışlık buğday bitkisi ile benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır. Moureaux ve diğ. (2008) tarafından Belçika’da yapılan (-630 gC/m^2) çalışmadan daha az olmasına karşın, Jun ve diğ. (2006) tarafından Çin’de (-197.6 gC/m^2) ve Anthoni ve diğ. (2004) tarafından yapılan çalışmaya (-185 gC/m^2) bakılacak olursa atmosferden bünyesine daha fazla karbon katmıştır.

Anız döneminde gerçekleşen negatif NEE değerleri; buğday bitkisinin hasadını yapan tarım makinesinin tamamen buğday başaklarını toplayamamasından ve/veya yabancı otların gelişmesinden kaynaklanabilir.

Çıplak toprak dönemindeki NEE değerleri, 20 Ocak 2014’e kadar topraktan atmosfere karbon dioksit transferinin gerçekleştiğini göstermektedir (26.8 gC/m^2). Ancak bu tarihten itibaren, negatif NEE değerleri havaların ısınması, güneş radyasyonunun özellikle fotosentetik aktif radyasyonun artması ile toplamda -16.67 gC/m^2 olarak belirlenmiştir.

Bu bilgiler ışığında, ülkemizin sera gazı bütçelerinin belirlenmesinde meteorolojik şartlar ve vejetasyon dinamikleri arasındaki ilişkiler sayesinde karar vericilere ve tarımsal politikaları yönetenlere veya ilgili uzmanlara, ülkemize ait bitki çeşitleri için gerçek bilgiler sağlanabilecektir. Ülkemizde tarımsal üretimden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının ve tutulma miktarlarının belirlenebilmesi, ulusal karbon bütçemizin hesaplanması açısından büyük önem taşımaktadır. Halen ülkemizin tarımdan kaynaklanan sera gazı bütçesinin belirlenmesinde dış ülkelerde geliştirilmiş olan ve tarafımıza uluslararası kurumlarca önerilen katsayılar kullanılmaktadır. Bu hesaplamalarda yapılan kabullerin gerçeği ne kadar yansıttığının araştırmalarla ülkemizde belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma bu bakımda bu alanda atılan önemli ve ilk adımlardan biridir.

KAYNAKLAR

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. ve Smith D.** (2006). *FAO Irrigation and Drainage Paper, Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements)*. No 56, 174pp.
- Anthoni, P. M., Freibauer, A., Kolle, O. ve Schulze, D.** (2004). Winter wheat carbon exchange in Thuringia, Germany. *Agric. Forest Meteorol.*, 121, 55-67.
- Arya, S. P.** (2001). *Introduction to Micrometeorology*. Academic Press, San Diego, 415 pp.
- Aubinet, M., Moureaux, C., Bodson, B., Dufranne, D., Heinesch, B., Suleau, M., Vancutsem, F. ve Vilret, A.** (2009). Carbon sequestration by a crop over a 4-year sugar beet/winter wheat/seed potato/winter wheat rotation cycle. *Agric. Forest Meteorol.*, 149, 407-418.
- Baldocchi, D.** (2008). 'Breathing' of the terrestrial biosphere: lessons learned from a global network of carbon dioxide flux measurement systems. *Australian Journal of Botany*, 56, 1-26.
- Baldocchi, D., Hicks, B. B. ve Meyers, T. D.** (1988). Measuring biosphere-atmosphere exchanges of biological related gases with micrometeorological methods. *Ecology*, 69, 131-1340.
- Burba, G. ve Anderson, D.** (2010). *A Brief Practical Guide to the Eddy Covariance Flux Measurements: Principles and workflow examples for scientific and industrial applications*. Li-Cor Biosciences, 214 pp.
- Chu, H., Chen, J., Gottgens, J., Ouyang, Z., John, R., Czajkowski, K. ve Becker, R.** (2014). Net ecosystem methane and carbon dioxide exchanges in a Lake Erie coastal marsh and a nearby cropland. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, 119, 722-740.
- Dutton, J. A.** (2002). *The Caeseless Wind: An Introduction to the Atmospheric Motion*. Dover Publications, Mineola, NY, 640 pp.
- Falge, E., Balcocchi, D., Olson, R., Anthoni, P., Aubinet, M., Bernhofer, C., Burba, G., Ceulemans, R., Clement, R., Dolman, H., Granier, A., Gross, P., Grünwald, T., Hollinger, D., Jensen, N., Katul, G., Keronen, P., Kowalski, A., Lai, C., Law, B., Meyers, T., Moncrieff, J., Moors, E., Munger, J., Pilegaard, K., Rannik, Ü., Rebmann, C., Suyker, A., Tenhunen, J., Tu, K., Verma, S., Vesala, T., Wilson, K. ve Wofsy S.** (2001). Gap filling strategies for defensible annual sums of net ecosystem exchange. *Agric. Forest Meteorol.*, 107, 43-69.
- Ferrocino, I., Chitarra, W., Pugliese, M., Gilardi, G., Gullino, M. L. ve Garibaldi, A.** (2013). Effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on disease severity of *Fusarium oxysporum* f.sp. *lactucae* on lettuce plants. *Applied Soil Ecology*, 72, 1-6.
- Foken, T.** (2008). *Micrometeorology*. Springer-Verlag Berlin Hiedelberg, ISBN: 978-3-540-74665-2, 306 pp.
- Gavilan, P., Berengena, J. ve Allen, R. G.** (2007). Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: Impact on Penman-Monteith reference ET estimates in semi arid regions. *Agric. Water Manage.*, 89, 275-286.

- Glickman, T. S.** (2000). *Glossary of Meteorology*. American Meteorological Society Boston, MA, 855 pp.
- Goulden, M. L., Munger, J. W., Fan, S. M., Daube, B. C. ve Wofsy, S. C.** (1996). Exchange of carbon dioxide by a deciduous forest: response to interannual climate variability, *Science*, 271, 1576-1578.
- Hernandez-Ramirez, G., Hatfield, J. L., Parkin, T. B., Sauer, T. J. ve Prueger, J. H.** (2011). Carbondioxide fluxes in corn-soybean rotation in the midwestern U.S.:inter and intra-annual variations and biological controls. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, 1831-1842.
- Intergovernmental Panel on Climate Change** (2013). *Climate Change 2013 The Physical Science Basis Fifth Assessment Report*. Cambridge University Press, Cambridge, 1552 pp.
- Kaimal, J. C. ve Gaynor, J. E.** (1991). Another look at sonic anemometry. *Boundary Layer Meteorology*, 56, 401-410.
- Kang, S., Gu, B., Du, T. Ve Zhang, J.** (2003). Crop coefficient and ratio of transpiration to evapotranspiration of winter wheat and maize in a semi-humid region. *Agricultural Water Management*, 59, 239-254.
- Ko, J., Piccinni, G., Marek, T. ve Howell, T.** (2009). Determination of growth-stage-specific crop coefficients (Kc) of cotton and wheat. *Agricultural Water Management*, 96, 1691-1697.
- Lafleur, P. M., McCoughey, J. H., Joiner, D., Bartlett, P. A. ve Jelinski, D. E.** (1997). Seasonal trends in energy, water and carbon dioxide fluxes at a northern boreal wetland. *J. Geophys. Res.*, 102, 29009-29020.
- Lee, X., Massman, W. ve Law, B.** (2004). *Handbook of Micrometeorology: A Guide for Surface Flux Measurement and Analysis*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, ISBN: 1-4020-2264-6, 250 pp.
- Lloyd, J. ve Taylor J. A.** (1994). On the temperature dependence of soil respiration. *Functional Ecology*, 8, 315-323.
- Mitaya, A., Leuning, R., Denmead, O. W., Kim, J. ve Harazano, Y.** (2000). Carbon dioxide and methane fluxes from an intermittently flooded paddy field. *Agricultural and Forest Meteorology*, 102, 287-303.
- Moureaux, C., Debacq, A., Bodson, B., Heinesch, B. ve Aubinet, M.** (2006). Annual net ecosystem carbon exchange by a sugar beet crop. *Agril. Forest Meteorol.*, 139, 25-39.
- Moureaux, C., Debacq, A., Hoyaux, J., Suleau, M., Tourneur, D., Vancutsem, F., Bodson, B. ve Aubinet, M.** (2008). Carbon balance assessment of a Belgian winter wheat crop (*Triticum aestivum* L.). *Global Change Biology*, 14, 1353-1366.
- Öztürk, İ., Avcı, R., Kahraman, T. ve Beşer, N.** (2008). Trakya Bölgesi'nde Üretilen Bazı Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.) Çeşitlerinin Verim ve Verim Unsurları ile Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *Ülkesel Tahıl Sempozyumu*. 2-5 Haziran, Konya.

- Posse, G., Richter, K., Lewczuk, N., Cristiano, P., Gattinoni, N., Rebella, C. ve Achkar, A.** (2014). Attribution of Carbon Dioxide Fluxes to Crop Types in a Heterogeneous Agricultural Landscape of Argentina. *Environmental Modeling Assessment*, 19, 361-372.
- Reichstein, M., Falge, E., Baldocchi, D., Papale, D., Aubinet, M., Berbigier, P., Bernhofer, C., Buchman, N., Gilmanov, T., Granier, A., Grünwald, T., Havrankova, K., Ilvesniemi, H., Janous, D., Matteucci, G., Meyer, T., Miglietta, F., Ourcival, J., Pumpanen, J., Rambal, S., Rotenberg, E., Sanz, M., Tehnunen, J., Seufert, G., Vaccari, F., Vesala, T., Yakir, D. ve Valentini, R.** (2005). On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm. *Global Change Biology*, 11, 1-16.
- Saigursa, N., Yamamoto, S., Murayama, S., Kondo, H. ve Nishimura, N.** (2002). Gross primary production and net ecosystem exchange of a cool-temperate deciduous forest estimated by the eddy covariance method. *Agr. Forest Meteorol.*, 112, 203-215.
- Şaylan, L.** (2008). Karbondioksit ve enerji akılarının tarım ve orman alanlarında belirlenmesi. *TMMOB İklim Değişikliği Sempozyumu*, 13-14 Mart, Ankara, 121-130.
- Şaylan, L., Kimura, R., Munkhtsetseg, E. ve Kamichika, M.** (2011). Seasonal variation of carbon dioxide fluxes over irrigated soybean (*Glycine max* L.). *Theor. Appl. Climatol.*, 105, 277-286.
- Şaylan, L., Çaldağ, B., Bakanoğulları, F. ve Kaymaz, Z.** (2012). *Buğday Bitkisinin CO₂, H₂O ve enerji akılarının belirlenmesi*. TÜBİTAK 109R006 proje sonuç raporu.
- Wang, W., Liao, Y., Wen, X. ve Guo, Q.** (2013). Dynamics of CO₂ fluxes and environmental responses in the rain-fed winter wheat ecosystem of the Loess Plateau, China. *Science of the Total Environment*, 461-462, 10-18.
- Webb, E., Pearman, G. ve Leuning, R.** (1980). Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapour transfer. *Quard. J. R. Meteorol. Soc.*, 106, 85-100.
- Yeşilköy, S., Şaylan, L., Çaldağ, B., Aslan, T. ve Bakanoğulları, F.** (2014). Buharlaşma Gizli Isı Akısının Karbondioksit Akılarına Etkileri. *12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu*, 21-23 Mayıs, Tekirdağ.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Serhan Yeşilköy

Doğum Yeri ve Tarihi: Üsküdar/İstanbul – 18.08.1989

Adres: Kırklareli/Türkiye

E-Posta: serhan.mto@gmail.com

Lisans: Meteoroloji Mühendisliği

Mesleki Deneyim: Kasım 2012 tarihinden itibaren Kırklareli’de bulunan Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü’nde Meteoroloji Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

Yayın Listesi:

Yesilkoy, S., Aktar, C., Inceoglu, O., Menten, S., Tan, E., Unal, Y., Efe, B., Basar, U. ve Unal, E. (2012). Performance analysis of WindSim and WAsP models to estimate wind energy potential in Soma/Turkey, *European Workshop on Renewable Energy Systems*, 17-28 September, Antalya.

Özdere, R., Şaylan, L., Çaldağ, B., Bakanoğulları, F., Gürbüz, M. A. ve **Yeşilköy, S.** (2013). Farklı Toprak Bünyelerinin Bitki Gelişimine ve Verimine Etkilerinin Analizi. *3. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi*, 22-24 Ekim, Tokat.

Bakanoğulları, F. ve **Yeşilköy, S.** (2014) Tarımsal Meteorolojinin Tanımı ve Önemi. *Türktarım Dergisi*, ISSN: 1303-2364, 215, 13-17.

Aslan, T., Şaylan, L., Çaldağ, B., Bakanoğulları, F. ve **Yeşilköy, S.** (2014). Mikrometeorolojik Yaklaşımla Karpuz Bitkisinin Gerçek Evapotranspirasyon Değerinin Belirlenmesi. *12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu*, 21-23 Mayıs, Tekirdağ.

Çaldağ, B., Şaylan, L., Bakanoğulları, F., Aslan, T. ve **Yeşilköy, S.** (2014). İklim Değişiminin Kırklareli’nde Ayçiçeği Verimine Olası Etkilerinin Belirlenmesi. *12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu*, 21-23 Mayıs, Tekirdağ.

Yeşilköy, S., Şaylan, L., Çaldağ, B., Aslan, T. ve Bakanoğulları, F. (2014). Net Radyasyon’un Ölçülmesi, Belirlenmesi ve Evapotranspirasyona Etkileri. *12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu*, 21-23 Mayıs, Tekirdağ.

- Yeşilköy, S.**, Akataş, N. ve Şahin, A. D. (2014). Assessment of Global Radiation Map for the Eastern Part of Turkey. *Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting*, 28July-1August, Sapporo/Japan.
- Bakanoğulları, F. ve **Yeşilköy, S.** (2014). Determination of Meteorological and Hydrological Drought In Damlica Creek Watershed in Çatalca-İstanbul, 8-10 September, *Balkan Agriculture Congress*, Edirne.
- Yeşilköy, S.**, Şaylan, L., Bakanoğulları, F. ve Çaldağ, B. (2014). Bitki-Nem İndeksi ile Buğday Bitkisinin Kuraklık Durumunun Analizi. *II. Uluslararası Katılımlı Kuraklık ve Çölleşme Sempozyumu*, 16-18 Eylül, Konya.
- Bakanoğulları, F., **Yeşilköy, S.**, Şaylan, L. ve Gürbüz, M. A. (2014). İklim Değişikliğinin ve Tarımsal Meteorolojinin Önemi. *II. Uluslararası Katılımlı Kuraklık ve Çölleşme Sempozyumu*, 16-18 Eylül, Konya.
- Çebi, U., Bakanoğulları, F., Özer, S. ve **Yeşilköy, S.** (2014). Küresel Isınma ve Sulama İlişkisi. *TarımTürk Dergisi*, ISSN: 1308-4682, 49, 48-52.
- Bakanoğulları, F. ve **Yeşilköy, S.** (2014). Determination of Meteorological and Hydrological Drought In Damlica Creek Watershed in Çatalca-İstanbul. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, Special Issue:1, 2014, 1152-1157.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- Yeşilköy, S.**, Şaylan, L., Çaldağ, B., Aslan, T. ve Bakanoğulları, F. (2014). Buharlaşma Gizli Isı Akısının Karbondioksit Akılarına Etkileri. *12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu*, 21-23 Mayıs, Tekirdağ.
- Yeşilköy, S.**, Şaylan, L., Semizoğlu, E. ve Çaldağ, B. (2014). Carbon Capture, Storage and Emission: A Case Study for Winter Wheat in Kırklareli/Turkey. *Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting*, 28July-1August, Sapporo/Japan.