

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EDDY KOVARYANS YÖNTEMİYLE BUĞDAY BİTKİSİNİN
KARBONDİOKSİT AKILARININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif SEMİZOĞLU

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Haziran 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EDDY KOVARYANS YÖNTEMİYLE BUĞDAY BİTKİSİNİN
KARBONDİOKSİT AKILARININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Elif SEMİZOĞLU
(511091014)**

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Levent ŞAYLAN

Haziran 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511091014 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Elif SEMİZOĞLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“EDDY KOVARYANS YÖNTEMİYLE BUĞDAY BİTKİSİNİN KARBONDİOKSİT AKILARININ BELİRLENMESİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Zerefşan KAYMAZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Engin YURTSEVEN
Ankara Üniversitesi

Teslim Tarihi : **7 Mayıs 2012**
Savunma Tarihi : **11 Haziran 2012**

ÖNSÖZ

İklim değışikliğinin önemli sebeplerinden biri olarak sera gazı emisyonlarındaki artış gösterilmektedir. Sera gazı konsantrasyonlarındaki yükselişin en büyük sebebi ise insan kaynaklı karbondioksit salınımının artmış olmasıdır. Bu sebeple son yıllarda küresel karbon döngüsü bileşenlerinin atmosferden ne kadar karbon aldığı ve atmosfere ne miktarda karbon salınımı yaptığı önemli bir konu haline gelmiştir. Karasal ekosistemler arasında tarımsal ürünler, kısa zamanda karbondioksiti atmosferden alan ve tekrar atmosfere geri veren en önemli kaynaklardan biridir; ancak tarımsal ürünler üzerine yapılan çalışmalar henüz yeterli düzeye ulaşamamıştır. Ülkemizde ise bu konularda yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışma ile eddy kovaryans yöntemi kullanılarak, Türkiye’de ilk kez buğday bitkisinin karbondioksit akıları belirlenmiştir.

Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından desteklenen “Buğday Bitkisinin Karbondioksit, Su Buharı ve Enerji Akılarının Belirlenmesi” projesi (No:109R006) kapsamında hazırlanmıştır. Bu nedenle desteklerinden dolayı TÜBİTAK’a teşekkür ederim. Bu projede bursiyer olarak yer alma şansını bana veren ve yüksek lisans hayatım boyunca bana yol gösteren tez danışmanım Prof. Dr. Levent Şaylan’a, değerli hocam Dr. Barış Çaldağ’a, Kırklareli Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürü Dr. Fatih Bakanoğulları’na ve diğer enstitü çalışanlarına, tez yazım aşamasında yardımlarını esirgemeyen Y. Müh. Aykut Ceyhan’a, projedeki ekip arkadaşlarıma, çalışmalarım sırasında her zaman yanımda olan aileme ve dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2012

Elif SEMİZOĞLU
(Meteoroloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	3
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
2.1 Çalışma Alanı.....	11
2.2 Eddy Kovaryans Ölçüm Sistemi ve Tarımsal Meteoroloji İstasyonu	11
2.3 Vejetasyon Dinamikleri ve Spektral Özelliklerin Ölçülmesi.....	14
2.4 Eddy Kovaryans Yöntemi	15
2.4.1 Yapılan düzeltmeler	16
2.4.1.1 Frekans tepki düzeltmeleri	17
2.4.1.2 Webb-Pearman-Leuning (WPL) düzeltmesi.....	17
2.4.1.3 Koordinat düzeltmesi	17
2.4.2 Verilerin tamamlanması	19
2.4.3 Brüt fotosentez ve ekosistem solunumunun hesaplanması	20
3. FENOLOJİK GÖZLEMLER.....	23
4. METEOROLOJİK ÖLÇÜMLER.....	29
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
5.1 Kışlık Buğdayın Karbon Değişimi	37
5.1.1 2009-2010 kışlık buğday gelişme dönemi karbon değişimi.....	37
5.1.2 2010-2011 kışlık buğday gelişme dönemi karbon değişimi.....	41
5.2 Karbon Akıları ile Meteorolojik Faktörler Arasındaki İlişkiler	45
5.2.1 2009-2010 gelişme dönemine ait ilişkiler	46
5.2.2 2010-2011 gelişme dönemine ait ilişkiler	53
5.3 Karbon Akıları ile Vejetasyon Dinamikleri Arasındaki İlişkiler	59
5.3.1 2009-2010 gelişme döneminde karbon akıları ve vejetasyon dinamikleri	59

5.3.2 2010-2011 gelişme döneminde karbon akıları ve vejetasyon dinamikleri	61
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	73

KISALTMALAR

ATEK	: Açık tip eddy kovaryans
GLAI	: Yeşil Yaprak Alan İndeksi
GPP	: Brüt Fotosentez
KTEK	: Kapalı tip eddy kovaryans
LAI	: Yaprak Alan İndeksi
LUT	: Taramalı tablo tekniği
MDS	: Marjinal dağılım örnekleme
NDVI	: Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi
NEE	: Net Ekosistem Değişimi
PAR	: Fotosentetik Aktif Radyasyon
PPFD	: Fotosentetik Foton Akı Yoğunluğu
R_{eco}	: Ekosistem Solunumu
SPM	: Yarı-parametrik model
sPRI	: Standartlaştırılmış Fotokimyasal Yansıtma İndeksi
TER	: Toplam Ekosistem Solunumu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Farklı bölgelerde yetiştirilmiş bitki çeşitlerine ait NEE değerleri.....	9
Çizelge 2.1: Eddy kovaryans yönteminde ortaya çıkabilecek hatalar ve yapılması gereken düzeltmeler (Burba ve Anderson, 2007).	16
Çizelge 2.2: Tamamlanmış verilerin kalite sınıflandırma şeması.	20
Çizelge 3.1: 2009-2010 ve 2010-2011 gelişme dönemleri buğday bitkisi özellikleri.	23
Çizelge 3.2: 2009-2010 ve 2010-2011 gelişme dönemlerinde yapılan tarımsal faaliyetler.	24
Çizelge 3.3: Fenolojik tablo.....	25
Çizelge 4.1: Meteorolojik parametrelerin ortalama, maksimum ve minimum değerleri.	35
Çizelge 5.1: 2009-2010 Fenolojik Dönemleri $\sum$ GPP, $\sum$ Reco ve $\sum$ NEE.	40
Çizelge 5.2: 2010-2011 Fenolojik Dönemleri $\sum$ GPP, $\sum$ Reco ve $\sum$ NEE.	44

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Atmosferik CO ₂ konsantrasyonunun yıllık değişimi (ESRL, 2012).	1
Şekil 1.2: FLUXNET kapsamındaki toplam ölçüm kulesi sayısı (FLUXNET, 2012).2	
Şekil 2.1: Çalışma alanı.	11
Şekil 2.2: Eddy kovaryans ölçüm sistemi.	12
Şekil 2.3: Tarımsal meteoroloji istasyonu.	13
Şekil 2.4: Eddy kovaryans yönteminin genel prensibinin şematik gösterimi (Burba ve Anderson, 2007).	15
Şekil 3.1: 2009-2010 ve 2010-2011 gelişme dönemleri LAI değerleri.	26
Şekil 3.2: 2009-2010 ve 2010-2011 gelişme dönemleri NDVI değerleri.	26
Şekil 3.3: 2009-2010 ve 2010-2011 gelişme dönemleri biyokütle değerleri.	27
Şekil 3.4: 2010-2011 gelişme dönemi sPRI değerleri.	28
Şekil 4.1: Ortalama, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları zaman serisi.	29
Şekil 4.2: Ortalama, maksimum ve minimum bağıl nem zaman serisi (%).	30
Şekil 4.3: Global ve net radyasyonun zaman serisi.	31
Şekil 4.4: Fotosentetik foton akı yoğunluğu zaman serisi.	32
Şekil 4.5: Toprak sıcaklığı zaman serisi.	33
Şekil 4.6: Rüzgar şiddeti zaman serisi.	33
Şekil 4.7: Rüzgar yönü dağılımı.	34
Şekil 4.8: Yağış miktarı zaman serisi.	34
Şekil 5.1: 2009-2010 gelişme dönemine ait CO ₂ akıları.	38
Şekil 5.2: 2009-2010 Gelişme Dönemi Günlük Karbon Akıları (g C m ⁻² gün ⁻¹).	39
Şekil 5.3: 2009-2010 Gelişme Dönemi Kümülatif Karbon Akıları (g C m ⁻²).	39
Şekil 5.4: 2009-2010 GPP/R _{eco} , NEE/GPP ve NEE/R _{eco} 'nun günlük değişimi.	41
Şekil 5.5: 2010-2011 gelişme dönemine ait CO ₂ akıları.	42
Şekil 5.6: 2010-2011 Gelişme Dönemi Günlük Karbon Akıları (g C m ⁻² gün ⁻¹).	43
Şekil 5.7: 2010-2011 Gelişme Dönemi Kümülatif Karbon Akıları (g C m ⁻²).	44
Şekil 5.8: 2010-2011 GPP/R _{eco} , NEE/GPP ve NEE/R _{eco} 'nun günlük değişimi.	45
Şekil 5.9: 4 periyot için GPP ile hava sıcaklığı arasındaki ilişki (2009-2010).	46
Şekil 5.10: 4 periyot için GPP ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişki (2009-2010).	47
Şekil 5.11: 4 periyot için GPP ile PPFD arasındaki ilişki (2009-2010).	48
Şekil 5.12: 4 periyot için NEE ile hava sıcaklığı arasındaki ilişki (2009-2010).	49
Şekil 5.13: 4 periyot için NEE ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişki (2009-2010).	50
Şekil 5.14: 4 periyot için NEE ile PPFD arasındaki ilişki (2009-2010).	51
Şekil 5.15: 4 periyot için Reco ile hava sıcaklığı arasındaki ilişki (2009-2010).	52
Şekil 5.16: 4 periyot için Reco ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişki (2009-2010). ...	52
Şekil 5.17: 4 periyot için GPP ile hava sıcaklığı arasındaki ilişki (2010-2011).	53
Şekil 5.18: 4 periyot için GPP ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişki (2010-2011).	54
Şekil 5.19: 4 dönem için GPP ile PPFD arasındaki ilişki (2010-2011).	55
Şekil 5.20: 4 periyot için NEE ile hava sıcaklığı arasındaki ilişki (2010-2011).	55
Şekil 5.21: 4 periyot için NEE ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişki (2010-2011).	56
Şekil 5.22: 4 periyot için NEE ile PPFD arasındaki ilişki (2010-2011).	57

Şekil 5.23: 4 periyot için Reco ile hava sıcaklığı arasındaki ilişki (2010-2011).	58
Şekil 5.24: 4 dönem için Reco ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişki (2010-2011).	58
Şekil 5.25: Σ GPP, Σ Reco, Σ NEE ile Biyokütle arasındaki ilişkiler (2009-2010).	59
Şekil 5.26: Σ GPP, Σ Reco, Σ NEE ile LAI arasındaki ilişkiler (2009-2010).	60
Şekil 5.27: Σ GPP, Σ Reco, Σ NEE ile NDVI arasındaki ilişkiler (2009-2010).	61
Şekil 5.28: Σ GPP, Σ Reco, Σ NEE ile biyokütle arasındaki ilişkiler (2010-2011). ...	62
Şekil 5.29: Σ GPP, Σ Reco, Σ NEE ile LAI arasındaki ilişkiler (2010-2011).	63
Şekil 5.30: Σ GPP, Σ Reco, Σ NEE ile NDVI arasındaki ilişkiler (2010-2011).	64
Şekil 5.31: Σ GPP, Σ Reco, Σ NEE ile sPRI arasındaki ilişkiler.	65

EDDY KOVARYANS YÖNTEMİYLE BUĞDAY BİTKİSİNİN KARBONDİOKSİT AKILARININ BELİRLENMESİ

ÖZET

Farklı ekosistemlerin karbon bütçelerini belirlemek küresel karbon döngüsünü anlayabilmek açısından oldukça önemli bir konudur. Özellikle küresel ısınmanın en büyük sebebinin insan kaynaklı sera gazlarının (karbondioksit ve metan başta olmak üzere) atmosferik konsantrasyonlarının artışı olduğu düşünülünce, bu konuda yapılan bilimsel araştırmaların artış göstermesi yadsınamaz. FLUXNET (Akı Ağı) projesi kapsamında dünya üzerindeki farklı ekosistemlerin karbon bütçesini belirleyebilmek için altı kıtada karbondioksit akıları ölçülmektedir. Akı Ağında ölçüm alanları başta ormanlar olmak üzere, tarım alanları ve çayırlardır. Türkiye ise, bu akı ağı projesine hala dahil değildir.

FAO'ya göre Avrupa'nın 1/3'ünü tarım alanları oluşturmaktadır. Bu sebeple toplam karbon döngüsündeki etkileri küçük de olsa tarım alanları üzerinde yapılan ölçümler, farklı tarım ürünleri ekilmesinin ve farklı tarımsal faaliyetler yürütülmesinin karbon bütçesi üzerindeki etkilerini belirleyebilmek için oldukça gereklidir. Bu ölçümlerin uzun dönemler devam ettirilmesi elde edilecek sonuçların güvenilirliği açısından oldukça önemli bir husustur.

Bu çalışmada, Kırklareli'nde bulunan Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü'ne ait deneme alanında eddy kovaryans ölçüm sistemi kurularak 2009-2010 ve 2010-2011 gelişme dönemleri için buğday bitkisinin karbondioksit akıları ölçülmüştür. Ölçülen verilere frekans tepki düzeltmeleri, Webb-Pearman-Leuning düzeltmesi ve koordinat düzeltmesi yapılmıştır. Yapılan düzeltmelerden sonra elde edilen verilerden yağış, rüzgar yönü, yetersiz türbülans sebebiyle hatalı kabul edilen veriler atılmış ve eksik veriler uluslararası çalışmalarda kabul görmüş tamamlama yöntemleriyle doldurulmuştur. Bu ölçüm sonuçlarından bitkinin ne kadar karbonu atmosferden aldığını ve ne kadarını atmosfere tekrar geri verdiğini gösteren NEE (Net Ekosistem Değişimi), GPP (Brüt Fotosentez) ve R_{eco} (Ekosistem Solunumu) değerleri hesaplanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda kışlık buğdayın toplam NEE, GPP ve R_{eco} değerleri 2009-2010 gelişme döneminde sırasıyla -354.9, 1142.2 ve 788.6 g C m⁻² olarak bulunmuştur. Bu dönem için ortalama günlük GPP 4.21 g C m⁻², R_{eco} 2.91 g C m⁻² ve NEE -1.31 g C m⁻² olmuştur. 2010-2011 gelişme döneminde toplam NEE, GPP ve R_{eco} değerleri sırasıyla -441.3 g C m⁻², 1046.8 g C m⁻² ve 605.5 g C m⁻² olmuştur. Bu dönem için ortalama günlük NEE, GPP ve R_{eco} değerleri ise sırasıyla -1.72 g C m⁻², 4.09 g C m⁻² ve 2.37 g C m⁻² dir.

Bu çalışmada ayrıca karbon akıları ile meteorolojik faktörler ve yine karbon akıları ile vejetasyon dinamikleri (NDVI, LAI, sPRI, biyokütle) arasında ilişki olup olmadığı incelenmiştir. Karbon akıları ile meteorolojik faktörler arasındaki ilişkiler incelendiğinde, özellikle bitkinin fotosentez aktivitesinin arttığı zaman aralığında PPFD ile GPP arasında doğrusal olmayan iyi bir ilişki olduğu görülmektedir. R_{eco} daha çok toprak sıcaklığıyla bağlantılı çıkmıştır. Ayrıca vejetasyon dinamikleri ile

karbon akıları arasında da oldukça yüksek belirlilik katsayısına sahip ilişkiler tespit edilmiştir.

DETERMINATION OF CARBON DIOXIDE FLUXES ABOVE WHEAT BY USING THE EDDY COVARIANCE METHOD

SUMMARY

One of the most important research subjects of agricultural meteorology is evaluating the possible effects of agriculture on climate change. Increasing concentrations of greenhouse gases, especially anthropogenic carbon dioxide, is seen as the most significant reason of global warming. Therefore, determination of the carbon dioxide released to and captured from the atmosphere within the components of global carbon cycle is still being searched by scientists. Terrestrial ecosystems are among the most important components of global carbon cycle on earth because they capture carbon dioxide from the atmosphere and release it to the atmosphere again. Hence, evaluation of the effect of plants in these terrestrial ecosystems on the carbon cycle must be done carefully. Additionally, searching the agricultural activities that affect the amount of captured and released carbon (dioxide) is a scientifically supported issue and long-term flux measurements of different ecosystems are required to be able to do all related researches. For this reason, flux networks are established to measure carbon dioxide, water vapor and energy fluxes between different terrestrial ecosystems (forests, croplands, grasslands, peat lands etc.) and the atmosphere across five continents. Most of the micrometeorological systems are installed first in forests then in croplands. The amount of micrometeorological tower sites is increasing in order to measure mass and energy fluxes above canopies.

In Turkey, there are limited studies about these issues. To fulfill this lack,, changes in carbon dioxide fluxes during the two growing periods of winter wheat were measured and determined in the Thrace Region using a micrometeorological method called Eddy Covariance for the first time in Turkey in the frame of the TÜBİTAK project named “Determination of Carbon Dioxide, Water Vapor and Energy Fluxes for Winter Wheat”. The research field was located at Atatürk Soil Water and Agricultural Meteorology Research Station, Kırklareli. An eddy covariance measurement system that consists of a 3-dimensional sonic anemometer, open path infrared CO₂/H₂O gas analyzer, temperature, humidity sensors and data logger was used to calculate fluxes. Additionally, an agrometeorological station measuring air temperature, soil temperature, relative humidity, wind speed and direction (at different heights), precipitation, global radiation and photosynthetically active radiation etc. was installed in the research field. Furthermore, spectral measurements have been done periodically. Normalized difference vegetation index (NDVI) and scaled photochemical reflectance index (sPRI) have also been calculated from spectral measurements. Additional Leaf area index (LAI) measurements have been done once in a two-week period.

General principle of eddy covariance measurements is the covariance between concentration of interest and vertical wind speed in eddies. Eddy covariance is a widely used micrometeorological method to calculate turbulent fluxes within the atmospheric boundary layer. Complexity of the method, high cost of the system,

correction issues etc. are some disadvantages of this technique. Moreover; experimental knowledge, micrometeorological and agrometeorological background are needed to apply the method correctly. Being a direct measuring method and having no need to empirical constants are the main advantages of this method.

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 de-spiking. Heavy precipitation and low turbulent exchange conditions affect the eddy covariance measurements so that the system produces bad data. Hence, the data gaps caused by the above conditions must be filled. Here, international standard procedures have been followed.

Finally, flux partitioning was done and the net ecosystem exchange (NEE), gross primary production (GPP) and ecosystem respiration (R_{eco}) values were calculated during 2009-2010 and 2010-2011 growth period of winter wheat. NEE is positive (+) when carbon dioxide flux is from winter wheat ecosystem to atmosphere and negative when carbon dioxide flux is from atmosphere to winter wheat ecosystem.

In the 2009-2010 growth period, winter wheat was planted on 9 October 2009 and harvested on 6 July 2010. The eddy covariance flux measurements showed that cumulative NEE, GPP and R_{eco} were -354.9, 1142.2 and 788.6 g C m⁻² respectively for the whole growing period. Daily means of NEE, GPP and R_{eco} for the whole growth period are -1.31, 4.21 and 2.91 g C m⁻², successively. During the 2010-2011 growth period, the crop was sown on 25 October 2010 and harvested on 8 July 2011. For this growth period, cumulative NEE, GPP and R_{eco} have been determined as -441.3, 1046.8 and 605.5 g C m⁻², respectively. Similarly, successive daily means of NEE, GPP and R_{eco} for 2010-2011 of winter wheat were obtained as -1.72, 4.09 and 2.37 g C m⁻².

A further step was taken by the analysis of possible relationships between winter wheat NEE, GPP and R_{eco} and some meteorological factors such as air temperature, soil temperature and photosynthetically active radiation (PPFD). These relationships were examined by taking different winter wheat growing seasons into account. The first period was between sowing and tillering, the second period was between tillering and bolting, whereas the third period was between bolting and flowering and finally the fourth one was between flowering and harvest. In 2009-2010 growth period, the highest value of the determination coefficient ($r^2=0.7$) between GPP and air temperature has been determined for the third period. Determination coefficient between GPP and soil temperature for the third period was also 0.7. In the other three periods, GPP was less or even not related to air or soil temperature. There were nonlinear relationships between GPP and PPFD during the first ($r^2=0.72$) and the third periods ($r^2=0.6$). For the second and the last periods, no significant relationship could be obtained. The results have shown that NEE was not related to air and soil temperature at all. The relationship between NEE and PPFD was the best ($r^2=0.82$) during the first period. There were strong nonlinear correlations (determination of coefficients are between 0.89 and 0.99) between R_{eco} and both air and soil temperatures during the first and the third periods. Similar relationships between carbon fluxes and meteorological factors have also been determined for the 2010-2011 winter wheat growth period. However, the relationships are not appreciable when compared with these during the previous growth period.

Another goal of this study was to evaluate the possible interactions between cumulative carbon fluxes and vegetation indices (NDVI, sPRI, LAI and biomass). To

achieve this, the relationships between cumulative NEE, GPP, R_{eco} and NDVI have been determined for the whole 2009-2010 growth period. Determination coefficients were 0.86 for NEE and R_{eco} and 0.95 for GPP. Same relationships have been investigated for two separated periods in case of the 2010-2011 growth season. The first period was the one during which NDVI is continuously rising whereas NDVI was continuously decreasing in the second period. There were strong nonlinear relationships between cumulative carbon fluxes (NEE, GPP and R_{eco}) and NDVI. The determination coefficients between cumulative GPP and NDVI were 0.74 when NDVI was continuously rising and 0.91 when NDVI was continuously decreasing. r^2 values for the correlation between cumulative NEE and NDVI were 0.7 while NDVI was continuously rising and 0.99 while NDVI was continuously decreasing. Strong nonlinear relationships have also been found (r^2 values are 0.79 while NDVI was rising and 0.997 while NDVI was decreasing) between cumulative R_{eco} and NDVI.

Furthermore, it has been found that cumulative carbon fluxes were strongly correlated with LAI both for 2009-2010 and 2010-2011 growing seasons. During the 2009-2010 growth season, the coefficients of determination (r^2) between cumulative GPP, NEE, R_{eco} and LAI were 0.97 for the period in which the LAI values were continuously rising ($0 < LAI < 3.7$). The determination coefficients between carbon fluxes and LAI varied from 0.87 to 0.98 while LAI values were decreasing. In addition, strong linear correlations have also been specified between all cumulative carbon fluxes and LAI values in 2010-2011 growth season.

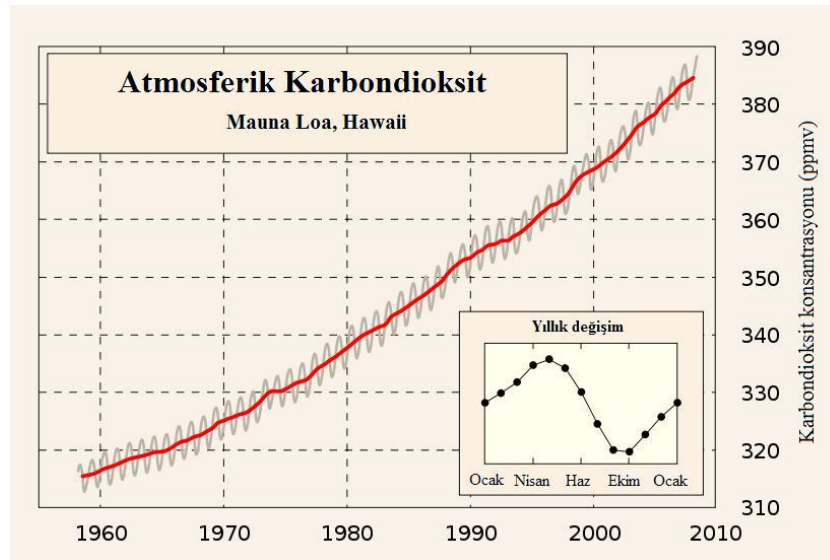
Associations between cumulative carbon fluxes and biomass values have been investigated for the whole growth period. In this context, determination coefficients between cumulative NEE, GPP, R_{eco} and biomass were obtained as 0.97, 0.99 and 0.97, for the 2009-2010 growth period, respectively. Also in 2010-2011 growth period, strong relationships ($0.93 < r^2 < 0.97$) between cumulative carbon fluxes and biomass values have been determined.

The relationships between carbon exchange parameters and sPRI were evaluated by using all the data within the growing period. Consequently, good nonlinear relationships ($0.86 \leq r^2 \leq 0.87$) have been obtained between these parameters. For the whole growth period, a good nonlinear relationship ($r^2 = 0.87$) has been obtained between cumulative GPP and sPRI.

Consequently, the results of this study showed that carbon exchange parameters of winter wheat plant are affected by many meteorological and environmental factors. Clarification of the effects of these factors by making related studies would enable the researchers to define, explain and model the carbon exchange of winter wheat. On the other hand, evaluation of long term eddy covariance measurements is necessary for the reliability of the model results. After that, carbon budget of winter wheat can be estimated for wide areas. In addition to these, it is a clear need to measure and observe fluxes, meteorological factors, vegetation dynamics such as NDVI, sPRI, LAI, biomass for different plant varieties. Modeling by associating the carbon flux measurements with meteorological factors and vegetation dynamics gives the opportunity to use the results for wider areas.

1. GİRİŞ

Küresel iklim değişiminin son yüzyılın en önemli problemlerinden biri olarak gösterilmeye başlanmasıyla birlikte, dünya genelinde iklim değişiminin sebeplerini anlamak ve iklim değişiminin negatif etkilerinden korunmak için çözüm yolları üretmek güncel konular haline gelmiştir. İklim bilimcilerin küresel ısınmanın en önemli sebeplerinden biri olarak insan kaynaklı sera gazı salınımlarını göstermesi, dikkati sera gazı konsantrasyonlarına çekmiştir. Atmosferde miktar olarak küçük ama önemli bir yer tutan karbondioksit (CO_2) ise sera gazları arasında ilk sırada gelmektedir. Manua Loa’da yapılan ölçümlere göre 1960’lardan beri karbondioksit konsantrasyonu sürekli artış göstermektedir (Şekil 1.1). Öte yandan Smith ve diğ. (2000) tarafından da belirtildiği gibi Kyoto Protokolü sonucunda ilk sorumluluk periyodu içinde (2008-2012) CO_2 emisyonlarının 1990’lı yıllardaki değerine düşürülmesi planlanmıştır. Bu düşüşün gerçekleştirilebilmesi için yapılması gerekenlerden biri olarak karasal ekosistemlerde arazi kullanımının ve tarımsal faaliyetlerin değiştirilmesi gösterilmiştir (Semizoğlu ve diğ, 2011a).

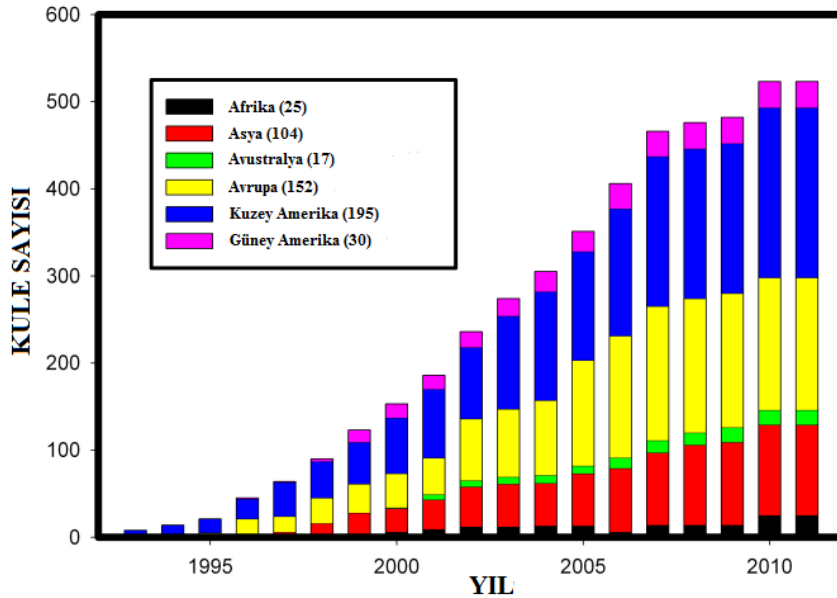


Şekil 1.1: Atmosferik CO_2 konsantrasyonunun yıllık değişimi (ESRL, 2012).

Karasal ekosistemlerde arazi kullanımının veya tarımsal faaliyetlerin karbon bütçesine nasıl etki ettiğini anlayabilmek için öncelikle bu ekosistemlerdeki karbon

bütçelerini bilmek gereklidir. Bu amaç doğrultusunda CO₂ akılarını ve diğer enerji akılarını ölçmek amacıyla dünya çapında çeşitli ülkelerde eddy kovaryans mikrometeorolojik ölçüm sistemleri kurulmaya başlanmıştır. Daha sonra sayıları gitgide artan bu kuleler FLUXNET (Akı Ağı) oluşumu altında birleşmiştir. FLUXNET kısa bir süre içinde 6 kıtaya birden yayılmış ve 7 Mart 2011 itibariyle ağa dahil kule sayısı 500'ü aşmıştır (Şekil 1.2). FLUXNET kapsamındaki ölçüm sistemlerinin çoğu karasal ekosistemler arasında karbon bütçesinde en önemli yeri tutan ormanlık arazilerde kurulmuştur. Ormanlarla birlikte tarım alanları ve çayırarda da ölçüm kuleleri bulunmaktadır; ancak sayılarının az olması sebebiyle en büyük bilgi eksikliği bu alandadır. Öyle ki bilgi eksikliğinin fazla olması sebebiyle, bir takım yanlış sonuçlar bile ortaya çıkabilmektedir. Smith ve diğ. (2005) yaptıkları çalışmada Avrupa'daki tarım alanlarının karbon tutma potansiyelinin fazla tahmin edildiğini tespit etmiştir. Tarım alanlarının Avrupa topraklarının yaklaşık 1/3'ünü kapsamı sebebiyle, karbon bütçesinin tam olarak belirlenebilmesi için bu alanlardaki CO₂ akılarının doğru bir şekilde ölçülmesi oldukça önemlidir.

FLUXNET'in Yayılımı **523 Kule (7 Mart 2011)**



Şekil 1.2: FLUXNET kapsamındaki toplam ölçüm kulesi sayısı (FLUXNET, 2012).

Karbon bütçesi ile ilgili yapılan çalışmaların sayısının artması ve eddy kovaryans yöntemiyle elde edilen akı verilerinin çoğalmasıyla birlikte bir üst aşama olan, yerde

elde edilen verilerin uydu verileriyle karşılaştırılmasına geçilmiştir (Xiao ve diğ., 2011). Yer verilerinin uydu verileriyle tutarlı olması daha geniş alanlar için net ekosistem değişimi değerlerinin belirlenmesine ve dolayısıyla karasal ekosistemlerin karbon bütçesinin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

CO₂ akılarının hesaplanmasında eddy kovaryans yöntemi, dünya genelinde yaygın olarak kullanılmasına rağmen Türkiye’de bu yöntem, çalışmanın yürütüldüğü tarih itibariyle pek kullanılmamaktadır. Özellikle buğday bitkisinin CO₂ akılarının eddy kovaryans yöntemi kullanılarak hesaplanması ile ilgili literatürde geçen bir çalışma bulunmamaktadır. Ülkemizde bu eksikliği doldurmak amacıyla yapılan çalışmada, dünya üzerinde en çok ekilen tahıllardan biri olan buğday bitkisinin iki gelişme dönemi için CO₂ akıları ölçülmüştür. Ölçülen bu değerlerden gerekli düzeltmeler yapıldıktan ve veri tamamlama işlemleri uygulandıktan sonra toplam yıllık net ekosistem değişimi (NEE), brüt fotosentez (GPP) ve ekosistem solunumu (R_{eco}) değerleri elde edilmiştir. Her iki gelişme dönemi için karbon akılarını (NEE, GPP ve R_{eco}) kontrol eden mekanizmaları belirlemek başlıca amaçlardan biridir. Ana hedefe ulaşabilmek için hava sıcaklığı, toprak sıcaklığı, fotosentetik foton akı yoğunluğu (PPFD) gibi meteorolojik faktörlerin ölçülmesi ve karbon akıları ile ilişkilerinin incelenmesi alt amaçlardan biri olmuştur. Tezin bir diğer alt amacı ise, biyokütle, LAI (Yaprak Alan İndeksi) ve bitkinin spektral yansıtma değerlerinden elde edilen NDVI (Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi), sPRI (Standartlaştırılmış Fotokimyasal Yansıma İndeksi) gibi vejetasyon indeksleri ile karbon akıları arasındaki ilişkilerin incelenmesidir. Tezde kullanılan ölçüm ve gözlemler TÜBİTAK 1001 projesi çerçevesinde Kırklarelinde yürütülen 109R006 nolu projenin ölçüm sonuçları ve hedeflerinden bazılarıdır. Bu tez bahsi geçen bu proje kapsamında yapılmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Anthoni ve diğ. (2004) Thuringia, Almanya’da yürüttükleri çalışmada eddy kovaryans yöntemini kullanarak kışlık buğdayın karbon değişimini hesaplamışlardır. 2001 yılı için net ekosistem değişiminin (NEE) -185 ile -245 g C m⁻² arasında olduğunu belirtmişlerdir ve yıllık NEE değerlerinin hesaplanmasında kullanılan veri işleme metotlarının bu farkın oluşmasına sebep olduğunu vurgulamışlardır. Bu

sebeple NEE değeri için potansiyel bir aralık belirlenmesinin tek bir değer vermekten daha uygun olacağını söylemişlerdir.

Buğday bitkisi için yapılan bir diğer çalışmaya göre, Oklahama, Amerika'da Ponca bölgesinde 1997 yılında net karbon değişimi -183 g C m^{-2} olarak bulunmuştur (Falge ve diğ., 2001). Jun ve diğ. (2006) 2002-2004 yılları arasında Çin'in Yucheng bölgesinde ekilen kışlık buğday, mısır münavebesi için eddy kovaryans yöntemiyle karbon akılarını hesaplamışlardır. Toplam NEE'yi 2002-2003 döneminde $-197.6 \text{ g C m}^{-2}$ ve 2003-2004 döneminde $-317.9 \text{ g C m}^{-2}$ olarak tespit etmişlerdir. Kışlık buğday için ise, toplam NEE'yi 2002-2003 döneminde -77.6 g C m^{-2} ve 2003-2004 döneminde $-152.2 \text{ g C m}^{-2}$ olarak ölçmüşlerdir.

Aubinet ve diğ. (2009) 2004-2008 yılları arasını kapsayan 4 yıllık bir süreçte Lonzée, Belçika'da ekilen şeker kamışı, kışlık buğday ve tatlı patates bitkilerinin karbon bütçesini incelemişlerdir. Çalışmada; 2004 yılında şeker kamışı, 2005 yılında kışlık buğday, 2006 yılında tatlı patates ve 2007 yılında tekrar kışlık buğday ekilmiştir. Çalışmanın başlıca amaçları; her bir bitki için net karbon akısını hesaplamak, bitki tarafından münavebe döngüsü boyunca tutulan toplam karbon miktarını belirlemek, farklı bitkilerin karbon bütçelerini karşılaştırabilmek, iklimin ve tarımsal faaliyetlerin küresel karbon döngüsünde etkilerini belirlemek, solunumun karbon döngüsündeki önemini ortaya koymak ve net akı değişiminin iklime etkilerini değiştirebilen fizyolojik aşamaların daha iyi nasıl kontrol edilebileceğini araştırmaktır. 4 yıllık münavebe için tüm karbon bütçesi hesaplandığında NEE -1590 g C m^{-2} olarak bulunmuştur. 2005 yılında ekilen kışlık buğday için, NEE -630 g C m^{-2} brüt fotosentez (GPP) 1580 g C m^{-2} ve toplam ekosistem solunumu (TER) 950 g C m^{-2} olarak hesaplanmıştır. 2007 yılında ekilen kışlık buğday için ise NEE -730 g C m^{-2} , GPP 1680 g C m^{-2} ve TER 950 g C m^{-2} 'dir. Kışlık buğday, şeker kamışına göre (NEE= -800 g C m^{-2}) daha az karbon tutarken, tatlı patatese göre (NEE= -310 g C m^{-2}) daha çok karbonu atmosferden alıp bünyesine katmıştır. Yine aynı bölgede (Lonzée) yapılan bir diğer çalışmaya göre şeker kamışının 2004 yılı için NEE değeri $-610 \pm 11 \text{ g C m}^{-2}$ olarak hesaplanmıştır (Moureaux ve diğ., 2006). Bir önceki çalışmada hesaplanan şeker kamışı net ekosistem değişimi değeriyle aradaki bu fark, iki çalışmada farklı düzeltme ve veri tamamlama teknikleri uygulanmasından dolayıdır.

Fransa'nın güneybatısında iki farklı alanda ekilen üçer bitkinin karbon akıları eddy kovaryans yöntemiyle hesaplanmıştır. Auradé bölgesinde 2004 yılında kolza, 2005

yılında kışlık buğday ve 2007’de ayçiçeği ekilmiştir. Lamasquère bölgesinde ise 2004’te tritikale (buğday ve çavdar hibriti), 2006’da mısır ve kışlık buğday ekilmiştir. Kışlık buğday için NEE değerleri, Auradé’de $-324 \pm 20 \text{ g C m}^{-2}$ ve Lamasquère’de $-369 \pm 33 \text{ g C m}^{-2}$ olmuştur. NEE, kolza için $-286 \pm 23 \text{ g C m}^{-2}$, tritikale için $-335 \pm 42 \text{ g C m}^{-2}$, mısır için $-186 \pm 42 \text{ g C m}^{-2}$ ve ayçiçeği için $28 \pm 18 \text{ g C m}^{-2}$ olmuştur. Çalışmaya göre ayçiçeği hariç, tüm bitkiler için NEE yönü atmosferden karasal ekosisteme doğrudur. Kışlık buğday bitkisi için maksimum ekosistem solunumu (R_e) 7 ve 11.5 g C m^{-2} , maksimum GPP 15.6 ve 18.9 g C m^{-2} olarak bulunmuştur. Sonuç olarak karasal ekosistemler arasında tarımsal alanların karbon depolama potansiyeli düşük gözükse de, farklı bitkilerin ve münavebelerin karbon döngüsünü değerlendirmek açısından uzun dönem ölçümlerin yapılmasının oldukça önemli olduğu belirtilmiştir (Béziat ve diğ, 2009).

Glenn ve diğ. (2010) Kanada’da bulunan Manitoba Üniversitesi Glenlea Araştırma İstasyonu’na ait araştırma alanında 3 sene boyunca (2006-2008) mısır, bakla ve yazlık buğday münavebesinin net karbondioksit ekosistem değişimini takip etmişlerdir. Karbondioksit akıları akı-gradyan metoduyla hesaplanmıştır. Çalışma alanına 2006 yılında mısır, 2007 yılında bakla ve 2008 yılında yazlık buğday ekilmiştir. Mısır ve yazlık buğday bitkileri atmosferden karbonu alırken bakla bitkisi daha çok solunumla karbonu atmosfere geri vermiştir. Mısır için yıllık toplam NEE $-72 \pm 17 \text{ g C m}^{-2}$, bakla için $7 \pm 3 \text{ g C m}^{-2}$ ve son olarak yazlık buğday için $-240 \pm 43 \text{ g C m}^{-2}$ olarak bulunmuştur. Çalışmada ayrıca gece solunum değerleri ile hava sıcaklığı arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu ilişkiler incelenirken başta 30 dakikalık akı ve meteoroloji verileri kullanılmıştır; ancak günlük ortalamalar kullanıldığında ve meteorolojik veri setleri periyotlara ayrıldığında daha güçlü ilişkiler (daha yüksek r^2 ve daha düşük hata değerleri) bulunmuştur. Yazlık buğday için 23 Haziran – 23 Temmuz 2008 arası büyüme dönemi olarak ayrı incelenmiştir. Bu dönemde solunumla hava sıcaklığı arasında tespit edilen ilişki belirlilik katsayısı 0.59’dur. Geri kalan dönemde ise ilişki biraz daha zayıftır ($r^2=0.36$). Sonuç olarak Glenn ve diğ. farklı bitkiler üzerinde yapılacak uzun dönem mikrometeorolojik CO_2 akı çalışmalarının, bitkinin karbon alımını arttırabilecek tarımsal faaliyetleri tespit etmede yardımcı olabileceğini vurgulamışlardır.

Eddy kovaryans yöntemi kullanılarak yapılan diğer bir çalışma İtalya’nın kuzeydoğusunda bulunan 13.3 ha’lık bir alanda yürütülmüştür. Bu alan 8.6 ha ve 4.7

ha olarak iki küçük alana bölünmüş ve büyük alana (M-M) araştırma süresi boyunca sadece mısır ekilmiştir. Küçük alana (M-Y) ise mısır ve yonca bitkisi ekilmiştir.

M-M alanı için NEE, 2007 yılında -473 g C m^{-2} ve 2008 yılında -343 g C m^{-2} iken M-Y alanı için NEE, 2007'de -616 g C m^{-2} ve 2008'de -481 g C m^{-2} olmuştur. M-Y alanında karbon alımı M-M alanına göre daha fazla olmuştur; ancak bu durumun daimi olduğunu ortaya koymak için ölçümlerin daha uzun süre devam etmesi gerektiği belirtilmiştir (Alberti ve diğ., 2010).

Farklı bir bitki üzerine yapılan bir diğer çalışma da Tseng ve diğ. (2010) tarafından Tayvan'ın Caotun bölgesinde çeltik üzerinde yürütülmüştür. 2006 yılında ekilen çeltik bitkisi için günlük ortalama CO_2 akısı $0.71 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda çeltik bitkisinin atmosfer için bir CO_2 kaynağı olduğu görülmüştür.

Çeltik bitkisinin CO_2 akıları üzerine bir diğer çalışma Hatala ve diğ. (2012) tarafından Twitchell Adası, Kaliforniya'da yürütülmüştür. Bu çalışmada 2009-2010 ve 2010-2011 gelişme dönemlerinde çeltik tarlası üzerinde CO_2 akıları ölçülmüş ve NEE, GPP ve R_{eco} değerleri hesaplanmıştır. 2009-2010 gelişme döneminde NEE -84 g C m^{-2} iken 2010-2011 gelişme döneminde NEE -283 g C m^{-2} olmuştur. GPP, 2009-2010 gelişme döneminde -1258 g C m^{-2} iken 2010-2011 gelişme döneminde -1577 g C m^{-2} olmuştur. R_{eco} değeri ise 2009-2010 gelişme döneminde 1176 g C m^{-2} ve 2010-2011 gelişme döneminde 1350 g C m^{-2} 'dir. Çalışmada Tayvan'da yapılan çalışmanın aksine, çeltik tarlasının atmosferden CO_2 alma bakımından etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Suyker ve diğ. (2005) Nebraska'nın doğusunda soya fasülyesi ve mısır bitkileri için eddy kovaryans yöntemini kullanarak GPP ve R_{eco} değerlerini hesaplamışlardır. Toplam GPP ve R_{eco} mısır için sırasıyla 1744 g C m^{-2} ve 1154 g C m^{-2} olarak bulunmuştur. Soya fasülyesi için ise GPP ve R_{eco} değerleri sırasıyla 966 g C m^{-2} ve 826 g C m^{-2} 'dir. Soya fasülyesine ait karbon akılarının her ikisi de mısırinkilere göre ciddi anlamda daha azdır. Suyker ve diğ. bu farkı, büyük ölçüde mısır bitkisinin soya fasülyesine oranla daha yüksek olan fotosentetik kapasitesine bağlamışlardır. Bu çalışmada ayrıca GPP ve R_{eco} 'yu kontrol eden faktörler incelenmiştir. Bunun sonucunda fotosentetik aktif radyasyon (PAR) ile yeşil yaprak alan indeksinin (GLAI) GPP'yi ve hava sıcaklığı ile GLAI'nin R_{eco} 'yu kontrol eden faktörler olduğu ortaya konmuştur.

Şaylan ve diğ. (2011a) de Japonya’da yaptıkları bir araştırmada eddy kovaryans yöntemiyle soya fasüyesinin CO₂ akılarını belirlemişlerdir.

Tarımsal ekosistemlerle karşılaştırıldığında ormanlar daha güçlü yutak alanlarıdır. Bu sebeple eddy kovaryans ölçümlerinin büyük bir kısmı ormanlık alanlarda yürütülmektedir. Bu konuyla ilgili çalışmalardan biri de Brezilya’nın güneydoğusunda, okalıptüs ağaçlarının bulunduğu bir alanın üzerinde yürütülmüştür. Karbon akıları hesaplanırken iki farklı veri tamamlama tekniği (Falge ve diğ, 2001 ve Reichstein ve diğ, 2002) kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Buna göre 1. yıl için NEE değerleri $-993 \pm 82 \text{ g C m}^{-2}$ ve $-705 \pm 87 \text{ g C m}^{-2}$ olarak hesaplanmıştır. 2. yıl için ise toplam NEE değerleri $-1400 \pm 67 \text{ g C m}^{-2}$ ve $-1070 \pm 73 \text{ g C m}^{-2}$ olarak bulunmuştur. Kurak geçen ilk yılda NEE, GPP ve R_{eco} değerleri daha düşük çıkmıştır (Cabral ve diğ, 2011).

Farklı bitki türleri farklı karbon tutma kapasitesine sahiptir. Bununla birlikte bölgenin iklimi, toprak çeşidi ve tarımsal faaliyetler (sulama, gübreleme vs.) gibi etkenler de türlerin karbon tutma kapasitelerini etkilemektedir. Çizelge 1.1’de incelenen çalışmalarda bahsi geçen bitkilerin ekildiği yerler ve Net Ekosistem Değişimi değerleri verilmiştir.

Eddy kovaryans yöntemi düzeltme ihtiyacı oldukça fazla olan bir yöntemdir ve literatürde eddy kovaryans verisini düzeltmek ve tamamlamak için farklı teknikler bulunmaktadır. Bu sebeple eddy kovaryans ölçümleriyle elde edilen sonuçlara farklı düzeltme ve veri tamamlama teknikleri uygulandığında farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Eddy kovaryans ile karbondioksit akıları üzerine yapılan onlarca çalışmada hangi düzeltme yöntemlerinin ve hangi veri tamamlama tekniklerinin daha iyi olduğu araştırılmıştır.

Falge ve diğ. (2001) Küresel Akı Ağı FLUXNET’e ait eddy kovaryans yöntemiyle elde edilen akı verilerinin, mikrometeorolojik yaklaşımlarda bozulmalar, aletlerden kaynaklı bozulmalar ve hava şartlarından dolayı ortaya çıkabilecek bozulmalardan dolayı kontrol edilmeden kabul edilmesinin ya da çalışmalarda kullanılmasının imkansız olduğunu belirtmektedir. Yapılan çalışmalar eksik veri tamamlama tekniklerine belli bir standart getirme gerekliliğini ortaya koymuştur. Böylelikle FLUXNET bünyesindeki istasyonlardan elde edilen verilerin karşılaştırılması yapılabilir. Falge ve diğ. veri tamamlama işlemine bir standart getirmek için, FLUXNET verilerinden ortalama veri kapsamı %69 ile %75 arasında olan veri setleri seçmişlerdir. Seçilen bölgeler için verilerde yapay eksiklikler yaratılmıştır. Daha

sonra bu eksik veriler iki farklı yöntemle tamamlanmış ve sonuçlar gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan yöntemlerden biri ortalama günlük değişimlere (MDV) dayanmaktadır. Diğer yöntem ise, eksik akı verilerinin yerine, benzer meteorolojik şartları taşıyan farklı veri pencerelerinin (taramalı tablolar) bulunup buradaki akı değerlerinin kullanılması temeline dayanmaktadır. Bu iki eksik veri tamamlama yönteminin yıllık toplam karbon ekosistem değişimine ne kadar etki ettiğine bakıldığında, meteorolojik şartlar kontrol edilerek verilerin tamamlanmasının gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Reichstein ve diğ. (2005) tarafından, NEE'nin R_{eco} ve GPP'ye ayrılmasında kullanılan metotların avantajları ve dezavantajları tartışılmıştır. R_{eco} 'nun hesaplanmasında kullanılan sıcaklık hassasiyeti katsayısının (E_0) tüm veri seti kullanılarak veya veri seti periyotlara ayrılarak bulunmasının sonuçları nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bunun için Avrupa ve Amerika'yı kapsayan eddy kovaryans ağına ait, bir senelik periyotlardan oluşan 16 adet veri seti kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda veri setinin periyotlara ayrılmasının yerine tüm veri seti için tek bir E_0 değeri kullanılmasının, yazın aktif ekosistemlerde R_{eco} tahminlerinin daha fazla çıkmasına, kışın aktif sistemlerde ise R_{eco} tahminlerinin daha az çıkmasına sebep olduğu ortaya konmuştur. Tahminlerdeki bu farkların yıllık bütçe için %25'ten daha fazla olabileceği ve dolayısıyla GPP tahmin sonuçlarını da etkileyeceği söylenmiştir. Grelle ve Burba (2007) çalışmalarında, açık tip gaz analiz aletlerinde (LI-7500) yapay yoğunluk çalkantılarından dolayı CO_2 akılarında ortaya çıkan hataları düzeltmek için ince platin tel termometre kullanmışlar ve sonuçlarını bir diğer yoğunluk hatalarını düzeltme tekniği olan WPL (Webb, Pearman ve Leuning) düzeltmesi ile karşılaştırmışlardır. Sonuçları karşılaştırmak için aynı çalışma alanında farklı bir gaz analiz aletiyle (LI-6262) daha ölçüm yapmışlardır. İnce platin termometre kullanılarak, WPL düzeltmesinde yer alan doğal ısı akılarının yanına gaz analiz aletinin yüzeyinin ısınmasından dolayı ortaya çıkan ısı akılarını da dahil etmişlerdir. Sonuç olarak WPL düzeltmesi formülü veri setine uygulanırken normalde kullanılan doğal ısı akısı yerine gaz analiz aletinin yolunu etkileyen toplam ısı akısını kullanmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre ince tel termometre düzeltmesiyle gerçeğe (LI-6262 ölçüm sonuçları) daha yakın sonuçlar elde etmişler ve geleneksel WPL düzeltmesinin uygulandığı sonuçların CO_2 akılarını ölü sezon için eksik tahmin ettiğini ortaya koymuşlardır. Aynı şekilde Burba ve diğ. (2008) de yaptıkları çalışmada açık tip gaz analiz aletlerinin ölü sezon boyunca CO_2 emilimini

az tahmin ettiği sonucuna varmışlardır. Bunun yanında ölü sezon harici periyotlarda ise CO₂ salınımını daha iyi tahmin ettiğini vurgulamışlardır.

Çizelge 1.1: Farklı bölgelerde yetiştirilmiş bitki çeşitlerine ait NEE değerleri.

Yazar / Tarih	Çalışma Alanı	Bitki Çeşidi	NEE (g C m ⁻²)
Anthoni ve diğ. 2004	Thuringia, Almanya	Kışlık buğday	-185 & -245
Falge ve diğ. 2001	Oklahoma, Amerika	Kışlık buğday	-183
Jun ve diğ. 2006	Yucheng, Çin	Kışlık buğday	-77.6 & -152.2
Aubinet ve diğ. 2009	Lonzée, Belçika	Kışlık buğday	-630 & -730
Aubinet ve diğ. 2009	Lonzée, Belçika	Şeker kamışı	-800
Aubinet ve diğ. 2009	Lonzée, Belçika	Tatlı patates	-310
Moureaux ve diğ. 2006	Lonzée, Belçika	Şeker kamışı	-610 ± 11
Beziat ve diğ. 2009	Auradé, Fransa	Kolza	-286 ± 23
Beziat ve diğ. 2009	Auradé, Fransa	Kışlık buğday	-324 ± 20
Beziat ve diğ. 2009	Auradé, Fransa	Ayçiçeği	28 ± 18
Beziat ve diğ. 2009	Lamasquère, Fransa	Tritikale	-335 ± 42
Beziat ve diğ. 2009	Lamasquère, Fransa	Mısır	-186 ± 42
Beziat ve diğ. 2009	Lamasquère, Fransa	Kışlık buğday	-369 ± 33
Glenn ve diğ. 2010	Manitoba, Kanada	Mısır	-72 ± 17
Glenn ve diğ. 2010	Manitoba, Kanada	Bakla	7 ± 3
Glenn ve diğ. 2010	Manitoba, Kanada	Yazlık buğday	-240 ± 43
Alberti ve diğ. 2010	İtalya	Mısır+Mısır	-473 & -343
Alberti ve diğ. 2010	İtalya	Mısır+Yonca	-616 & -481
Hatala ve diğ. 2012	Kaliforniya, ABD	Çeltik	-84 & -283
Suyker ve diğ. 2005	Nebraska	Mısır	-590
Suyker ve diğ. 2005	Nebraska	Soya fasülyesi	-140
Cabral ve diğ. 2011	Brezilya	Okaliptüs	-993 ± 82 & -705 ± 87 -1400 ± 67 & -1070 ± 73

Eddy kovaryans net karbon akı verilerini tamamlama tekniklerini karşılaştıran bir diğer çalışmada, Avrupa'daki 6 orman alanına ait 10 veri seti 15 farklı tekniği karşılaştırmak için kullanılmıştır. Bu 15 veri tamamlama tekniğinin performansını değerlendirebilmek için verilerde farklı yapay eksiklikler oluşturulmuştur. Karşılaştırma sonucunda, linear olmayan regresyon analizlerinin, taramalı tablolar tekniğinin (LUT), marjinal dağılım örneklemesinin (MDS) ve yarı-parametrik modelin (SPM) genel olarak iyi performans gösterdiği ortaya konmuştur. Ancak bu tekniklere oranla yapay sinir ağına dayalı tekniklerin çok az daha iyi olduğu görülmüştür. Son olarak MDV daha ortalama bir performans gösterirken pek çok özel olarak geliştirilmiş tekniğin ise düşük güvenilirliğe sahip olduğu ve hala geliştirilmeye ihtiyaçları olduğu ortaya konmuştur. Tüm bu karşılaştırmaların sonucunda elde edilen toplam NEE değerlerindeki farklar yıllık $\pm 25 \text{ g C m}^{-2}$ aralığını aşmamıştır (Moffat ve diğ, 2007).

2. MATERİYAL VE YÖNTEM

2.1 Çalışma Alanı

Çalışmanın yürütüldüğü yaklaşık 80.000 m²'lik alan (41°41'56" K, 27°12'39" D, 171 m asl) Kırklareli'nde bulunan Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü'ne aittir. Toprak tipi kumlu tındır. Şekil 2.1'de ölçüm sistemlerinin kurulu olduğu buğday ekili tarla görülmektedir. 1 ve 2 numaralı bölgeler sırasıyla eddy kovaryans ölçüm sisteminin ve tarımsal meteoroloji istasyonunun kurulduğu yerleri göstermektedir. Çalışma alanında hakim rüzgar yönü kuzeydir ve bu doğrultuda feç mesafesi 185 m civarındadır.



Şekil 2.1: Çalışma alanı.

2.2 Eddy Kovaryans Ölçüm Sistemi ve Tarımsal Meteoroloji İstasyonu

Bu çalışmada CO₂ ve diğer enerji akıplarını ölçmek amacıyla Açık Tip Eddy Kovaryans (ATEK) sistemi kullanılmıştır. Sistem yerden 2 m yüksekliğe yerleştirilmiştir. ATEK sisteminin tercih edilme sebepleri Kapalı Tip Eddy Kovaryans (KTEP) sistemlerine göre kalibrasyonlarının ve genel hücre temizliklerinin daha kolay olması, gecikme hatalarının daha az olması ve daha az güç tüketmesi olarak sıralanabilir (Burba ve Anderson, 2007). Sistem; 3 boyutlu sonik

anemometre (CSAT3, Campbell Scientific), açık tip kızılötesi CO₂/H₂O gaz analiz aleti (LI-7500, LI-COR Biosciences), sıcaklık ve nem sensörleri (HMP45C, Campbell Scientific) ve veri toplayıcıdan (CR1000, Campbell Scientific) oluşmaktadır (Şekil 2.2). Mikrometeorolojik veriler zaman serisi 10 Hz (saniyede 10 veri) olacak şekilde kaydedilmiştir. Akı sonuçları ve ortalamalar 30 dakikalık olarak kaydedilmiştir. Mikrometeorolojik veriler rüzgarın yatay ve düşey bileşenleri olan U_x , U_y ve U_z (m / s), sonik sıcaklık (°C), karbondioksit kütle yoğunluğu (mg m^{-3}), su buharı kütle yoğunluğu (g m^{-3}), sistem basıncı (kPa) ve buhar basıncından (kPa) oluşmaktadır. 30 dakikalık olarak kaydedilen veriler ise hissedilir ısı akısı (W m^{-2}), karbondioksit akısı ($\text{mg m}^{-2} \text{s}^{-1}$), buharlaşma gizli ısı akısı (W m^{-2}), sürtünme hızı (m s^{-1}), ortalama sonik sıcaklık (°C), ortalama karbondioksit yoğunluğu (mg m^{-3}), ortalama su buharı yoğunluğu (g m^{-3}), rüzgarın yatay ve düşey bileşenlerinin ortalamaları (m s^{-1}), ortalama barometrik basınç (kPa), ortalama bağıl nem (%), ortalama hava yoğunluğu (kg m^{-3}), yatay rüzgar şiddeti (m s^{-1}) ve yönüdür (derece). Veriler iki hafta ile 45 gün arasında değişen periyotlarla, 2 GB'lık PC/CF kart yardımı ile veri toplayıcıdan sağlanmıştır.



Şekil 2.2: Eddy kovaryans ölçüm sistemi.

Eddy kovaryans ölçüm sisteminin bulunduğu tarla üzerinde, ayrıca bir adet tarımsal meteoroloji istasyonu kurulmuştur. Bu istasyonda 2 ve 3 m yükseklikteki hava sıcaklığı ve bağıl nem (Hygromer MP100A, Rotronic Instrument Corp), 0.5, 1, 2, 5 ve 10 m yüksekliklerdeki rüzgar şiddeti ve 2 m yükseklikteki rüzgar yönü (NRG #40C Anemometre ve NRG #200P Wind Direction Wane, NRG Systems), 2, 5, 10 ve 20 cm derinlikteki toprak sıcaklığı (FW05 Campbell Scientific), yağış (TE525 Tipping Bucket Rain Gage, Campbell Scientific), toplam güneş radyasyonu (CMP3, Kipp&Zonen), net radyasyon (NR LITE, Kipp&Zonen) ve fotosentetik aktif radyasyon (LI190SB Quantum Sensor, LI-COR) ölçülmüştür (Şekil 2.3). Meteoroloji verileri 10, 30 dakikalık ve günlük ortalamalar olarak veri toplayıcıya (CR1000, Campbell Scientific) kaydedilmiştir.



Şekil 2.3: Tarımsal meteoroloji istasyonu.

2.3 Vejetasyon Dinamikleri ve Spektral Özelliklerin Ölçülmesi

Bitki gelişimini daha iyi takip edebilmek amacıyla çalışma alanına iki haftalık aralıklarla gidilerek biyokütle değerleri ile spektral özellikler, Yaprak Alan İndeksi (LAI) ölçülmüş ve spektral ölçüm sonuçlarından yararlanılarak Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) ve Standartlaştırılmış Fotokimyasal Yansıma İndeksi (sPRI) gibi bitki indeksleri hesaplanmıştır.

Her iki gelişme dönemi boyunca iki haftada bir tarladan buğday örnekleri alınmış ve bu örnekler kök ve gövde kısımlarına ayrılarak 65-70° arasında bitkinin bünyesindeki su tükenene kadar (24 ile 48 saat arası) etüvde kurutulmuştur. Örnekler kurutulduktan sonra tartılarak biyokütle değerleri hesaplanmıştır.

LAI, 1 m² toprak alanına düşen toplam yaprak alanını vermektedir. LAI ölçümleri LAI ölçüm aleti kullanılarak (LAI-2000, LI-COR) iki haftalık periyotlarla yapılmıştır.

Bitkinin spektral yansıtma değerleri spektrometre (FieldSpec, ASD) ile iki haftada bir ölçülmüş ve bu değerlerden NDVI ve sPRI değerleri hesaplanmıştır.

NDVI, Rouse ve diğ. (1974) tarafından geliştirilen ve hala kullanımı en yaygın olan bitki indeksidir. NDVI bitkinin biyofiziksel özelliklerini gözlemleyebilmek amacıyla absorpsiyon ve yansıtma özelliklerini kullanmaktadır. NDVI değerleri -1 ile 1 arasında değişmekte ve 0.1 ile 1 arasındaki değerler yeşil vejetasyonu temsil etmektedir. Eşitlik 2.1’de verilen formülle NDVI değerleri hesaplanmaktadır. R₈₆₄ ve R₆₇₁ sırasıyla kırmızı ve kızılötesi bantlardaki yansıtma değerlerini göstermektedir (Karayusufoglu ve diğ, 2011).

$$NDVI = \frac{R_{864} - R_{671}}{R_{864} + R_{671}} \quad (2.1)$$

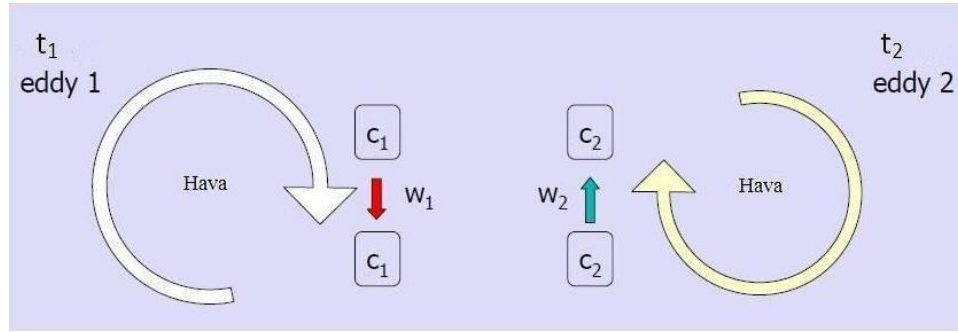
PRI Gamon ve diğ. (1990), Peñuelas ve diğ. (1994) ve Gamon ve diğ. (1992) çalışmalarında değinildiği üzere, kısa dönem lütein pigmenti (bitkilere sarı rengi veren pigment) değişikliklerine dayanan ve fotosentez aktivitesine karşı duyarlı bir indekstir (Şaylan ve diğ, 2012c). PRI Eşitlik 2.2 kullanılarak hesaplanır ve negatif değerleri yok etmek için standartlaştırılır (Eşitlik 2.3). R₅₂₉ ve R₅₆₉ sırasıyla 529 nm ve 569 nm’deki yansıtma değerlerini göstermektedir.

$$PRI = \frac{R_{529} - R_{569}}{R_{529} + R_{569}} \quad (2.2)$$

$$sPRI = \frac{PRI + 1}{2} \quad (2.3)$$

2.4 Eddy Kovaryans Yöntemi

Akı; bir maddenin birim zamanda birim alandan hangi oranda geçtiğini tanımlamaktadır. Akı ölçümleri; ısı ve su değişimleri, CO₂ ve metan gibi atmosferdeki diğer iz gazların değişimini değerlendirmek amacıyla yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Eddy kovaryans yöntemi bu gibi akıların ölçülmesinde kullanılabilecek en geçerli direkt yöntemdir. Yöntemin genel prensibi konsantrasyon ile türbülanstaki düşey rüzgar hızı arasındaki kovaryanstır. Şekil 2.4'te eddy kovaryans ölçümlerinin genel prensibi şematik olarak gösterilmiştir. 1. zaman adımında 1. eddy c₁ hava parselini w₁ hızıyla aşağı doğru hareket ettirmektedir. 2. zaman adımında 2. eddy c₂ hava parselini w₂ hızıyla yukarı doğru hareket ettirmektedir. Her parselin sıcaklık, gaz konsantrasyonu, nem gibi farklı karakteristik özellikleri vardır. Bu karakteristik özellikler ve düşey hava hareketinin hızı ile, gaz konsantrasyonu, sıcaklık ve nem akıları hesaplanmaktadır (Burba ve Anderson, 2007).



Şekil 2.4: Eddy kovaryans yönteminin genel prensibinin şematik gösterimi (Burba ve Anderson, 2007).

Eşitlik 2.4'te eddy kovaryans yöntemiyle CO₂ akısının nasıl hesaplandığı görülmektedir. Eşitlikte; F_c, karbondioksit akısını; w', düşey rüzgar hızının ve ρ_c' ise karbondioksit konsantrasyonunun ortalamadan anlık sapmasını göstermektedir (Foken, 2008).

$$F_c = w' \rho_c' \quad (2.4)$$

Eddy kovaryans yöntemi akı ölçümlerinin doğrudan yapıldığı ve sabitlere bağlı olmayan bir yöntemdir. Bu özellikleri onu diğer akı ölçme yöntemlerine göre daha avantajlı hale getirmektedir (Businger, 1986; Kaimal ve Finnigan, 1994; Semizoğlu ve diğ., 2011a). Bu olumlu yanlarının yanında eddy kovaryans yöntemi; ölçüm sisteminin pahalı olması, sistemin kurulması için tarımsal meteorolojik ve mikrometeorolojik bilgi gerektirmesi, matematiksel olarak karmaşık bir yapısı olması ve düzeltme yapılma ihtiyacının fazla olması sebebiyle uygulanması zor ve karmaşık bir yöntemdir (Foken, 2008; Semizoğlu ve diğ., 2011a).

2.4.1 Yapılan düzeltmeler

Eddy kovaryans, düzeltme ihtiyacının oldukça fazla olduğu bir yöntemdir. Öncelikle eddy kovaryans ölçüm sisteminin doğru bir şekilde kurulması oldukça önemlidir. Ölçüm yapılacak arazinin şartları incelenmeli ve sistem feç mesafesi göz önüne alınarak kurulmalıdır. Sistem kurulurken yeterli feç mesafesi özellikle hakim rüzgar yönü doğrultusunda bırakılmamışsa ölçümlerde geri dönülemez ciddi hatalar olmakta ve bu hatalar düzeltilememektedir (Burba ve Anderson, 2007).

Eddy kovaryans ölçümlerinde atmosferik olayların karmaşıklığı, yapılan birtakım kabuller, ölçüm sistemlerinden kaynaklanan problemler ve ölçüm yapılan arazinin karakteristik özellikleri yüzünden hatalar oluşabilir. Bu hataların ölçümlere büyük ölçüde etkisi vardır ve kesinlikle göz ardı edilemezler. Çizelge 2.1’de açık tip eddy kovaryans sistemleri ile ölçülen CO₂ akılarında meydana gelebilecek hatalar, bu hataların akı değerlerini ne derecede etkilediği ve düzeltilmesi için yapılması gerekenler gösterilmiştir (Burba ve Anderson, 2007). Bu bölümde bahsi geçen düzeltmelerin hepsi her iki gelişme döneminde elde edilen akı verilerine uygulanmıştır.

Çizelge 2.1: Eddy kovaryans yönteminde ortaya çıkabilecek hatalar ve yapılması gereken düzeltmeler (Burba ve Anderson, 2007).

Hatalar	Etkileri	Düzeltilmeler
Frekans tepki	% 5-30	Frekans Tepki Düzeltmeleri
Ani yükselişler	% 0-15	Filtreleme
Yoğunlukta dalgalanmalar	% 0-50	Webb-Pearman-Leuning Düzeltmesi
Sonik anemometrenin düzgün kurulmaması	% 0-25	Koordinat Düzeltmesi

2.4.1.1 Frekans tepki düzeltmeleri

Frekans tepki hataları sensör tepki uyumsuzluğundan, filtrelemeden ya da dijital örneklemeden dolayı meydana gelmektedir. Frekans tepki hatalarından dolayı meydana gelen kayıpların pek çok sebebi vardır; ancak bunların hepsi sensörlerden ve ölçüm sistemlerinden kaynaklanan hatalardır. Bu hatalar, veri seti bir dizi düzeltme işleminden geçirilerek giderilir. Bu çalışmada veri setine Burba ve Anderson (2007)'de bahsi geçen frekans tepki düzeltmeleri uygulanmıştır.

2.4.1.2 Webb-Pearman-Leuning (WPL) düzeltmesi

Eddy kovaryans ölçümleri yapılırken yoğunluktaki çalkantıların göz ardı edilmesi, akı verilerinde birtakım hatalara sebep olur. CO₂ ve H₂O akı ölçümlerindeki yükselme ve alçalmalara, sıcaklık ve su buharı ölçümlerindeki sapmaların yaptığı etkiyi gidermek amacıyla WPL düzeltmesi yapılmaktadır. WPL düzeltmesi aynı zamanda yoğunluk düzeltmesi olarak da bilinmektedir. Eşitlik 2.5'te WPL düzeltmesi için kullanılan formül verilmiştir (Webb ve diğ, 1980; Fuehrer ve Friehe, 2002).

$$F_c = F_{c0} + \mu \frac{E}{\rho_d} \frac{q_c}{1 + \mu \frac{\rho_v}{\rho_d}} + \frac{H}{\rho C_p} \frac{q_c}{T_a} \quad (2.5)$$

Eşitlikte; F_c , düzeltilmiş CO₂ akısını; F_{c0} , düzeltilmemiş akıyı; E , evapotranspirasyonu; H , hissedilebilir ısı akısını; q_c , ortalama CO₂ yoğunluğunu; ρ_d , kuru hava yoğunluğunu; ρ_v , su buharı yoğunluğunu; ρ , hava yoğunluğunu; C_p , havanın özgül ısısını; T_a , hava sıcaklığını (°K) ve μ , havanın moleküler ağırlığının suyunkine oranını (1.6111) göstermektedir.

2.4.1.3 Koordinat düzeltmesi

Ölçüm sistemi kurulurken ne kadar dikkat edilirse edilsin sonik anemometrenin, w eksenini ortalama akışa tam dik olacak şekilde hiçbir zaman yerleştirilemez. Bununla birlikte w sinyalinin diğer iki 3 boyutlu rüzgar bileşeni (u ve v) yüzünden bozulmuş olma ihtimali bulunmaktadır. Bu gibi hataları düzeltmek için rüzgar bileşenlerine koordinat düzeltmesi yapılmalıdır. Bu metotla kartezyen rotasyon katsayıları hesaplanır ve anemometrenin u , v ve w bileşenleri akı hızasında bir koordinat sistemine getirilir. Koordinat döndürülerek ortalama w sıfıra eşitlenir ve düzeltme uygulanmış olur (Kaimal ve Finnigan, 1994).

Eşitlik 2.6, 2.7 ve 2.8’de rotasyon katsayılarının nasıl hesaplandığı görülmektedir. Eşitlik 2.9, 2.10 ve 2.11’de ilk rotasyonun u , v ve w bileşenlerine uygulanışı gösterilmektedir. Eşitlik 2.12, 2.13 ve 2.14’te ikinci rotasyonun uygulanışı ve son olarak Eşitlik 2.15, 2.16 ve 2.17’de üçüncü rotasyonun uygulanışı gösterilmektedir. Eşitliklerde; α , β ve γ rotasyon katsayılarını, u , v ve w ortalama rüzgar bileşenlerini ve u' , v' ve w' bileşenleri ise belirtilen rüzgar bileşenlerinin ortalamadan anlık sapmasını göstermektedir.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{v}{u}\right) \quad (2.6)$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{w}{u^2 + v^2} \quad (2.7)$$

$$\gamma = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{2v_2'w_2'}{v_2'v_2' - w_2'w_2'} \quad (2.8)$$

$$u_1 = u_0 \cos \alpha + v_0 \sin \alpha \quad (2.9)$$

$$v_1 = -u_0 \sin \alpha + v_0 \cos \alpha \quad (2.10)$$

$$w_1 = w_0 \quad (2.11)$$

$$u_2 = u_1 \cos \beta + w_1 \sin \beta \quad (2.12)$$

$$v_2 = v_1 \quad (2.13)$$

$$w_2 = -u_1 \sin \beta + w_1 \cos \beta \quad (2.14)$$

$$u_3 = u_2 \quad (2.15)$$

$$v_3 = v_2 \cos \gamma + w_2 \sin \gamma \quad (2.16)$$

$$w_3 = -v_2 \sin \gamma + w_2 \cos \gamma \quad (2.17)$$

2.4.2 Verilerin tamamlanması

Eddy kovaryans verisi, gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra bir kontrol işleminden daha geçmek zorundadır. Bu aşamada meteorolojik şartlar ve ölçüm alanının boyutları sebebiyle oluşabilecek hatalı veri, veri setinden uzaklaştırılır. Yağışlı zamanlar ile yeterli türbülansın bulunmadığı zamanlarda ölçülen eddy kovaryans verileri hatalı kabul edilir. Bununla birlikte yeterli feç mesafesi olmayan bir yönden rüzgar eserse, o ana ait veri de hatalı kabul edilir; ancak çalışmanın yürütüldüğü alanda, feç mesafesi yeterli olduğundan bu sebeple herhangi bir veri kaybı yaşanmamıştır. Türbülansın yetersiz olduğu anlara ait değerleri veri setinden uzaklaştırmak için ise sürtünme hızı kriteri uygulanmıştır. Sürtünme hızı filtrelemesi için veri seti aynı boyutta altı sıcaklık sınıfına ayrılmıştır. Her sıcaklık sınıfı da kendi içinde 20 sürtünme hızı sınıfına ayrılmıştır. Yüksek sürtünme hızı sınıfından başlayarak gece akıları hesaplanmış ve gece akıları ortalama akının %95'inden fazlasına ulaştığı anda bir sonraki sürtünme hızı sınıfı sınır olarak kabul edilmiştir. Tüm sıcaklık sınıfları için bu işlem yapılmış ve bütün veri seti için sınır 6 sıcaklık sınıfı için belirlenmiş en yüksek sürtünme hızı sınırı seçilmiştir. Bu yöntem bitki gelişiminin sezonsal değişimini de hesaba katabilmek için veri seti üçer aylık periyotlara ayrılarak uygulanmıştır (Reichstein ve diğ., 2005). Çalışma da her iki dönem için de sürtünme hızı sınırı 0.1 m/s olarak bulunmuş ve bu değer altında sürtünme hızının olduğu anlardaki akı değerleri veri setinden atılmıştır. Hatalı veriler veri setinden uzaklaştırıldıktan sonra eksik verinin tamamlanması işlemine geçilmiştir. Bu aşamada Falge ve diğ. (2001) çalışmasında açıklanan yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde göre 30 dakikalık eksik akı verileri global radyasyon, hava sıcaklığı ve buhar basınç farkı verilerine bakılarak tamamlanır. Bunun için 3 farklı durum tanımlanmakta ve bu durumlara göre verinin nasıl tamamlanacağına karar verilmektedir. Birinci durumda istenen tüm meteorolojik veriler var; ancak akı verileri eksiktir. İkinci durumda radyasyon verisi (R_g) var; fakat hava sıcaklığı (T_a) ya da buhar basınç farkı (VPD) verisi eksiktir. Üçüncü durumda ise istenen meteorolojik verilerin üçü de eksiktir. Birinci durumla karşılaşıldığında ± 7 günlük bir aralıkta benzer meteorolojik durumların olduğu dönemler aranır. Bu durumda R_g 'de $\pm 50 \text{ W m}^{-2}$ 'lik, T_a 'da $\pm 2.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lik, VPD'de $\pm 5 \text{ hPa}$ 'lık bir değişimden fazlasının olmaması kriteri aranır. Bu kritere uygun veriler bulunursa eksik veri tamamlanır, bulunamazsa kontrol edilen aralık biraz daha genişletilerek ± 14 günlük

bir periyot gözden geçirilir. İkinci durum karşısında sadece R_g 'nin kriterlerine bakılarak aralıklar ilk durumdaki gibi belirlenerek veri seti kontrol edilir. Üçüncü durum karşısında ise meteorolojik veri olmadığı için eksik akı verisinden bir önceki veya bir sonraki değerin ortalaması, eksik verinin yerine yazılır. Bu durumda zaman aralığı ± 0.5 günden başlar ± 2.5 güne kadar devam eder. Eksik verinin tamamlanması için incelenmesi gereken zaman aralığı arttıkça tamamlanan verinin kalitesi düşer (Falge ve diğ. 2001; Reichstein ve diğ. 2005; Şaylan ve diğ. 2011b). Tamamlanmış verilerin kalite sınıflandırma şeması Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. Buna göre A sınıfı en iyi, B sınıfı orta ve C sınıfı ise kötü kalitede doldurulmuş veriyi temsil etmektedir. 2009-2010 gelişme döneminde tamamlanan verilerin % 59.1'i A, % 12.8'i B ve % 28.1'i C kalite sınıfına girmektedir. 2010-2011 gelişme döneminde ise tamamlanan verilerin % 93.2'si A ve % 6.8'si B kalite sınıfına girmektedir. Bu gelişme döneminde eddy kovaryans ölçüm sisteminin çalışma alanına geç kurulması sebebiyle ölçümler 9 Aralık 2009 tarihinden itibaren başlamıştır. Bu dönemden öncesi veri tamamlama işlemiyle doldurulmuştur. Bu sebeple 2009-2010 gelişme döneminde tamamlanan veri kalitesi bir sonraki döneme göre daha düşük çıkmıştır.

Çizelge 2.2: Tamamlanmış verilerin kalite sınıflandırma şeması.

Zaman Aralığı (Günler)	Yöntem		
	1	2	3
± 0.5	x	x	A
$\pm 1.5-2.5$	x	x	B
$>\pm 2.5$	x	x	C
± 7	A	A	x
± 14	A	B	x
$>\pm 28$	B	C	X
$>\pm 56$	C	C	X

2.4.3 Brüt fotosentez ve ekosistem solunumunun hesaplanması

NEE verileri tamamlandıktan sonra solunumun hesaplanması işlemine geçilmiştir. Gece sadece solunum aktivitesi olduğundan bu değerler R_{eco} olarak kabul edilmektedir. Solunumun (R_{eco}) ayrılması işleminde kullanılan yönteme göre; eddy kovaryans sisteminden alınan orijinal CO_2 akı verileri kullanılmıştır. Global radyasyonun $20 W/m^2$ 'nin altında olduğu zamanlar gece olarak kabul edilmiştir. Ek olarak lokal zamandan güneşin doğuş ve batış saatlerine de bakılarak ikinci bir kontrol yapılmış ve bu zamanlar R_{eco} olarak tanımlanmıştır. Bir sonraki adımda veri

seti onar günlük periyotlara ayrılmıştır. Daha sonra solunum hesaplama yönteminin kullanılabilmesi için gereken şartların olup olmadığı kontrol edilmiştir. Yöntemde, onar günlük zaman aralıklarında en az altı adet veri noktasının olması ve sıcaklıktaki değişimin 5°C'den fazla olması şartları aranmaktadır. Bu şartlar sağlandığı takdirde Lloyd ve Taylor (1995)'in geliştirdiği regresyon modeli kullanılabilir. $R_{eco,ref}$ (Referans Ekosistem Solunumu) referans sıcaklığa göre sadece gece saatlerine ait R_{eco} değerleri kullanılarak tüm onar günlük periyotlar için ayrı ayrı Eşitlik 2.18 kullanılarak hesaplanmıştır. Sıcaklığa göre R_{eco} 'nın bulunduğu yöntem Eşitlik 2.18'de gösterilmiştir (Reichstein ve diğ., 2005).

$$R_{eco} = R_{eco,ref} e^{E_0 \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_0} \right) - \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}} \quad (2.18)$$

Eşitlikte regresyon parametresi T_0 'ın değeri -46.02°C'dir. Sıcaklık hassasiyetini belirleyen parametre E_0 ise değişkendir. Referans sıcaklık (T_{ref}) ise 10°C olarak alınmıştır.

Solunum değerleri hesaplandıktan sonra Brüt fotosentezin hesaplanması işlemine geçilmiştir. NEE değerleri R_{eco} ile GPP arasındaki farkı göstermektedir. Böylelikle GPP de Eşitlik 2.19 kullanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada NEE'nin pozitif (+) olduğu değerler CO₂ akısının bitkiden atmosfere doğru, negatif (-) olduğu değerler ise, atmosferden bitkiye doğru olduğunu göstermektedir.

$$GPP = R_{eco} - NEE \quad (2.19)$$

3. FENOLOJİK GÖZLEMLER

Bitki gelişimini sağlıklı takip edebilmek amacıyla biyokütle, bitkinin spektral yansıtma değerleri ve yaprak alan indeksi ölçümleri gibi faaliyetler, çalışma alanı iki haftada bir ziyaret edilerek gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.1’de her iki gelişme dönemi için ekilen buğday bitkisinin çeşidi, ekim tarihi, ekip tipi ve derinliği, çimlenme kapasitesi gibi özellikleri verilmiştir. İki gelişme döneminde elde edilen sonuçların karşılaştırılabilirliği açısından aynı buğday çeşidi (Gelibolu-Trakya TAE) ekilmiştir. 2009-2010 gelişme döneminde 9 Ekim 2009’da ekilen kışlık buğday 6 Temmuz 2010 tarihinde hasat edilmiştir. 2010-2011 gelişme dönemi ise 25 Ekim 2010 ile 8 Temmuz 2011 tarihleri arasındadır. Her iki dönemde de dekar başına 18 kg tohum ekilmiştir. 2009-2010 gelişme döneminde çimlenme kapasitesi % 72.6, 2010-2011 gelişme döneminde ise % 73.05 olarak belirlenmiştir (Şaylan ve diğ, 2011c; Şaylan ve diğ, 2012b).

Çizelge 3.1: 2009-2010 ve 2010-2011 gelişme dönemleri buğday bitkisi özellikleri.

Bitki	2009-2010 Gelişme Dönemi	2010-2011 Gelişme Dönemi
Bitki Çeşidi	Gelibolu (Trakya TAE)	Gelibolu (Trakya TAE)
Ekim Tarihi	09.10.2009	25.10.2010
Ekim Tipi	Mibzerle Sıraya Ekim	Mibzerle Sıraya Ekim
Ekim Derinliği	5-6 cm	5-6 cm
Çıkış Tarihi	17.10.2009	5.11.2010
Hasat Tarihi	6.07.2010	8.07.2011
Ekilen tohum miktarı	18 kg/da	18 kg/da
1000 dane ağırlığı (gr)	36.94 g	37.25 g
Çimlenme Kapasitesi (%)	72.6	73.05
Çimlenen tohum (adet/m ²)	354	353
Verim (kg/da)	519	502

Her iki gelişme döneminde de miktarları toprak analizlerine göre belirlenerek gübreleme yapılmıştır. Tarlada çıkabilecek yabancı otlarla ve bitkiye zarar verebilecek mantarlarla mücadele etmek için iki gelişme döneminde de belirli aralıklarla ilaçlama faaliyetleri yürütülmüştür. Çizelge 3.2’de iki gelişme dönemi

süresince tarlaya atılan gübre ve ilaçlar çeşit, tarih ve miktar değerleri ile belirtilmiştir (Şaylan ve diğ, 2011c; Şaylan ve diğ, 2012b).

Çizelge 3.2: 2009-2010 ve 2010-2011 gelişme dönemlerinde yapılan tarımsal faaliyetler.

Gübreleme ve İlaçlama	Uygulama Tarihi ve Miktar	
	2009-2010 Gelişme Dönemi	2010-2011 Gelişme Dönemi
Üre (Ekimle birlikte saçılarak)	09.10.2009 – 10 kg/da	25.10.2010 – 10 kg/da
Üre (Fırfırla ve elle saçılarak)	03.03.2010 – 15 kg/da	11.02.2011 – 15 kg/da
Amonyum Nitrat (Fırfırla saçılarak)	08.04.2010 – 25 kg/da	25.03.2011 – 15 kg/da
Feramin (Herbisit-1.5lt/depo)	26.11.2009 – 75 ml/da	-
Coltacon (Fungusit)	02.03.2010–100 ml/da	-
Duett ultra (Fungusit)	05.05.2010 – 60 gr/da	-
Clean up (Herbisit)	-	02.11.2010 – 300 ml/da
Input EC460 (Fungusit-2lt/depo)	-	28.03.2011 – 100 ml/da
Prosper Combi EC 460 (Fungusit)	-	16.05.2011 – 60 gr/da

2009-2010 ve 2010-2011 gelişme dönemleri için buğdayın fenolojik gelişimi Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Buna göre, 2009-2010 gelişme döneminde kışlık buğday bitkisi ekiminden yaklaşık 9 gün sonra, 17 Ekim 2009 tarihinde çimlenmiş, 2. yaprak ve 3. yaprak fenolojik aşamalarını 5 gün arayla, 21 Ekim ve 26 Ekim 2009 tarihlerinde tamamlamıştır. Kardeşlenme 25 Kasım 2009, sapa kalkma 31 Mart 2010 ve başaklanma 26 Nisan 2010 tarihinde gerçekleşmiştir. Buğday çiçeklenme fenolojik evresine 10 Mayıs 2010 tarihinde geçmiş ve bundan yaklaşık iki hafta sonra, 24 Mayıs 2010 tarihinde çiçeklenmeyi tamamlamıştır. Dane dolumu 24 Mayıs 2010 tarihinde ve son olarak olgunlaşma evresi 4 Haziran 2010'da gerçekleşmiştir. 2010-2011 gelişme döneminde ise buğday bitkisi ekildikten 10 gün sonra, yani 5 Kasım 2010'da çimlenmiştir. 2. yaprak ve 3. yaprak fenolojik aşamalarına 4 gün arayla 10 Kasım ve 15 Kasım 2010 tarihlerinde giren buğday bitkisinin kardeşlenme, sapa kalkma ve başaklanma fenolojik evrelerine sırasıyla 7 Aralık 2010, 29 Mart 2011 ve 10 Mayıs 2011 tarihlerinde girdiği gözlemlenmiştir. 19 Mayıs 2011 tarihinde çiçeklenmeye başlayan buğday bitkisi bu aşamayı da yaklaşık iki hafta sonra tamamlamıştır. Dane dolumu 1 Haziran 2011'de gerçekleşen bitki bundan 12 gün sonra, 13 Haziran 2011 tarihinde olgunlaşma aşamasına geçmiştir. Buğday bitkisi

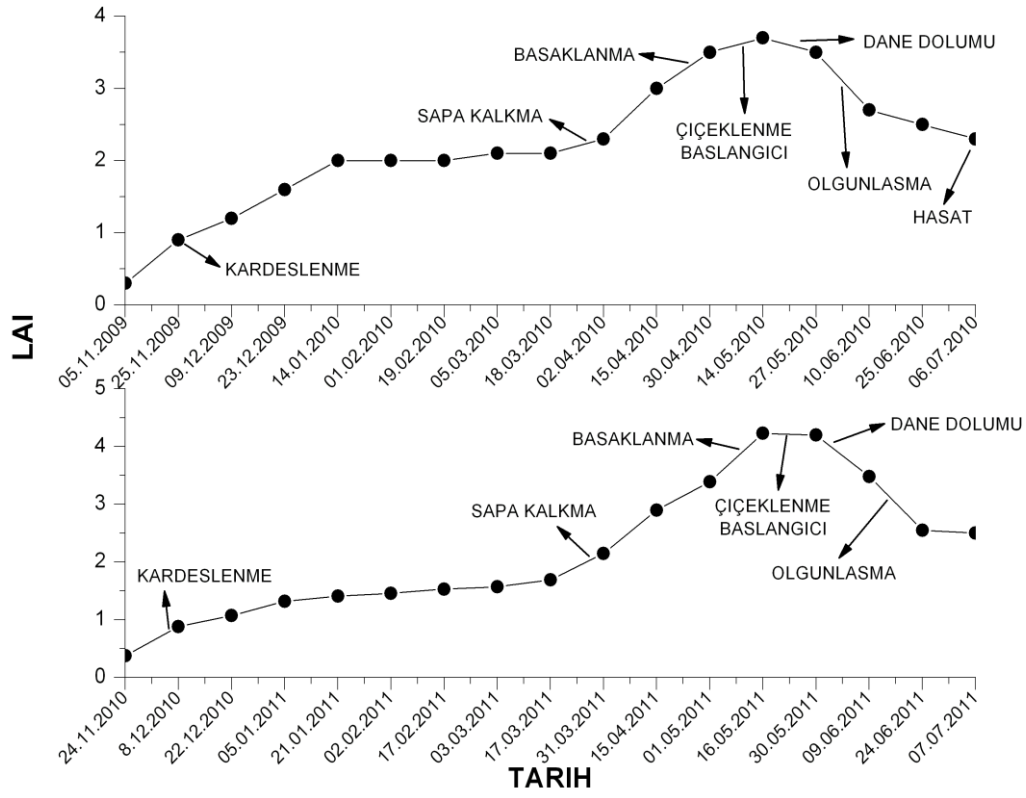
2009-2010 döneminde ekimden hasada kadar olan tüm gelişimini toplam 271 günde tamamlamıştır. Aynı süreç 2010-2011 gelişme döneminde ise 257 günde tamamlanmıştır (Şaylan ve diğ, 2011c).

Çizelge 3.3: Fenolojik tablo.

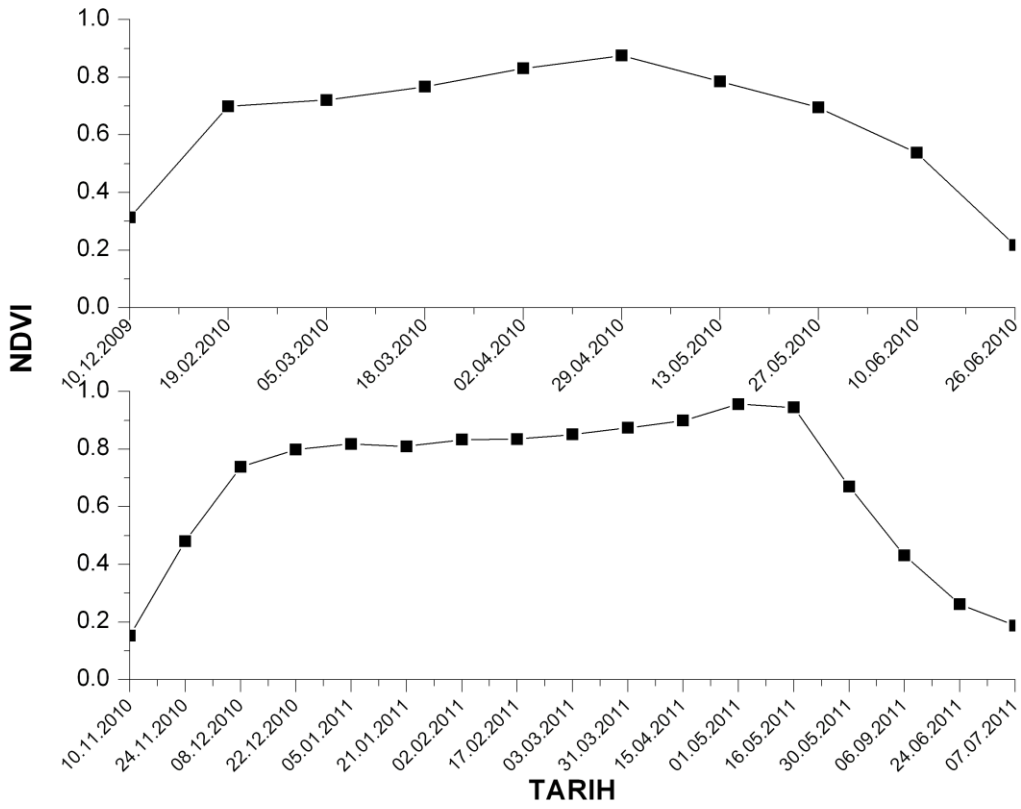
Buğday Fenolojik Gözlemler	2009-2010 Gelişme Dönemi	2010-2011 Gelişme Dönemi
Ekim Tarihi	09.10.2009	25.10.2010
Çimlenme - Çıkış Tarihi	17.10.2009	5.11.2010
2.Yaprak	21.10.2009	10.11.2010
3.Yaprak	26.10.2009	15.11.2010
Kardeşlenme	25.11.2009	7.12.2010
Sapa Kalkma	31.03.2010	29.03.2011
Başaklanma	26.04.2010	10.05.2011
Çiçeklenmeye Başlama	10.05.2010	19.05.2011
Dane Dolumu	24.05.2010	01.06.2011
Olgunlaşma	04.06.2010	13.06.2011
Hasat Tarihi	06.07.2010	08.07.2011

Bitkinin toprak üstüne çıkışından hasadına kadar olan süre boyunca LAI ölçümleri iki haftada bir yapılmıştır. Her iki gelişme dönemine ait LAI değerleri Şekil 3.1’de görülmektedir. 2009-2010 gelişme döneminde en yüksek LAI değeri 14 Mayıs 2010 tarihinde 3.7 olarak ölçülmüştür. LAI’nin maksimum olduğu bu dönem çiçeklenme ve dane dolumu fenolojik evreleri arasına denk gelmektedir. 2010-2011 gelişme döneminde ise en yüksek LAI değeri 16 Mayıs 2011 tarihinde 4.2 olarak ölçülmüştür. Bu tarih, başaklanma ile çiçeklenme başlangıcı fenolojik evreleri arasındadır.

Her iki gelişme dönemine ait NDVI değerleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir. 2009-2010 gelişme döneminde olumsuz hava koşullarından dolayı NDVI için gerekli ölçümler iki haftada bir gerçekleştirilememiş ya da yapılan ölçümlerden sağlıklı sonuçlar elde edilememiştir. Bu sebeple 2009-2010 gelişme dönemine ait NDVI ölçümü 2010-2011 gelişme dönemine göre daha azdır. NDVI değerleri 2009-2010 gelişme döneminde 0.217 ile 0.875 arasında değişmiştir. Bu dönemde NDVI, 29 Nisan 2010 tarihinde en yüksek değerine ulaşmıştır. Bu tarih başaklanma ve çiçeklenme başlangıcı evreleri arasında denk gelmektedir. 2010-2011 gelişme döneminde ise, NDVI değerleri 0.153 ile 0.956 arasında değişmiştir. En yüksek NDVI değeri, sapa kalkma ve başaklanma fenolojik evreleri arasına denk gelen 1 Mayıs 2011 tarihinde ölçülmüştür.

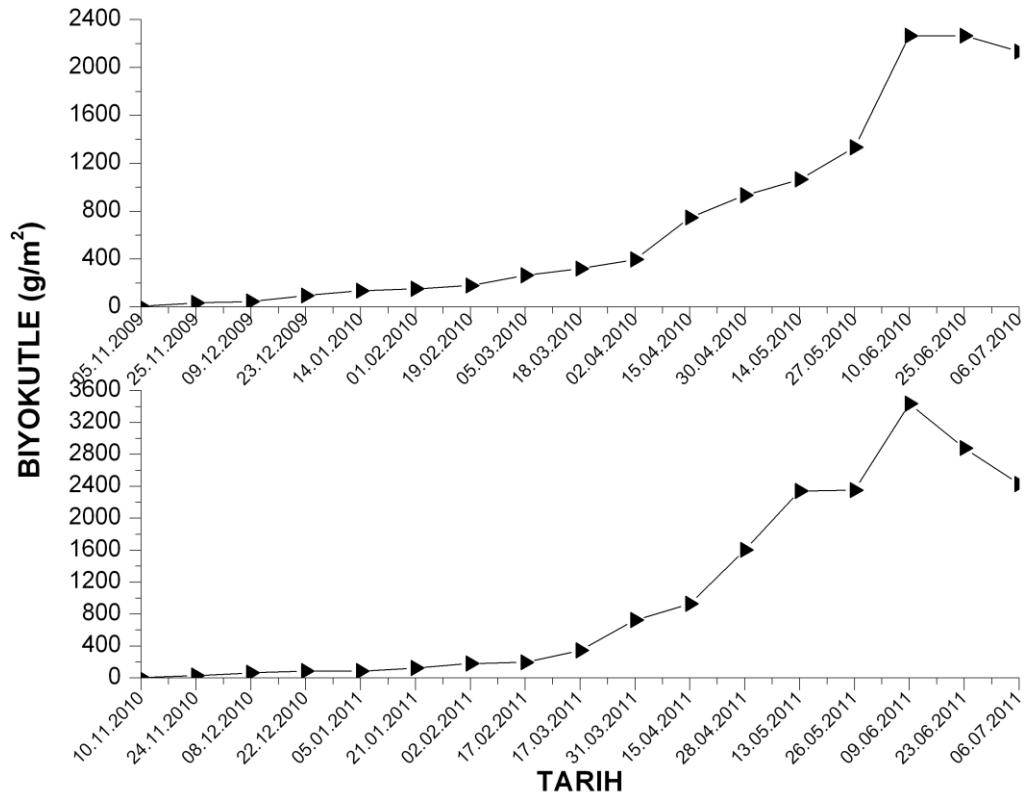


Şekil 3.1: 2009-2010 ve 2010-2011 gelişme dönemleri LAI değerleri.



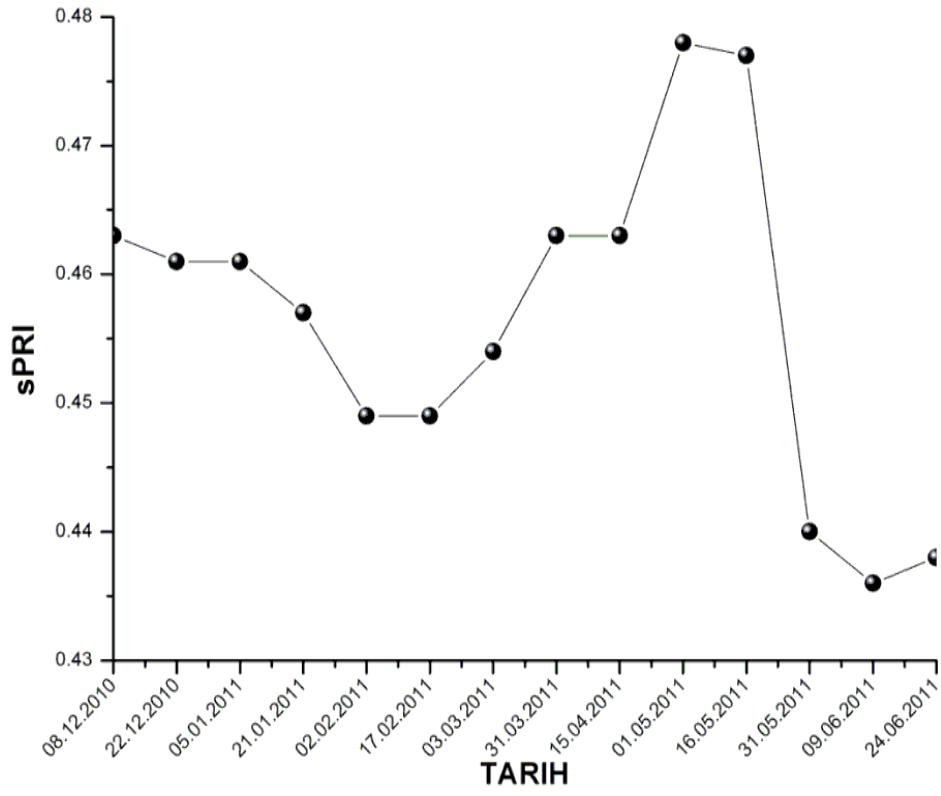
Şekil 3.2: 2009-2010 ve 2010-2011 gelişme dönemleri NDVI değerleri.

Buğday bitkisinin biyokütlesini belirlemek amacıyla da tarladan iki haftada bir örnekler alınmış ve bu örneklerden bitkinin toplam, kök, gövde kuru ve yaş ağırlıkları hesaplanmıştır. Şekil 3.3'te her iki gelişme dönemine ait toprak üstü kuru biyokütle değerleri (g/m^2) görülmektedir. Her iki dönemde de biyokütle değerleri sapa kalkma fenolojik aşamasından sonra daha hızlı artmaya başlamıştır. 1. gelişme döneminde en yüksek biyokütle değeri 10 Haziran 2010 tarihinde 2266.71 g/m^2 olarak elde edilmiştir. Buğdayın hasat edildiği tarihteki biyokütle değeri ise 2133.38 g/m^2 'dir. 2. gelişme döneminde ise 9 Haziran 2011 tarihinde en yüksek biyokütle değeri (3436.4 g/m^2) ölçülmüştür. Hasat tarihine yaklaşıldığında ise biyokütle değeri 2429.53 g/m^2 'ye düşmüştür (Şaylan ve diğ, 2011c).



Şekil 3.3: 2009-2010 ve 2010-2011 gelişme dönemleri biyokütle değerleri.

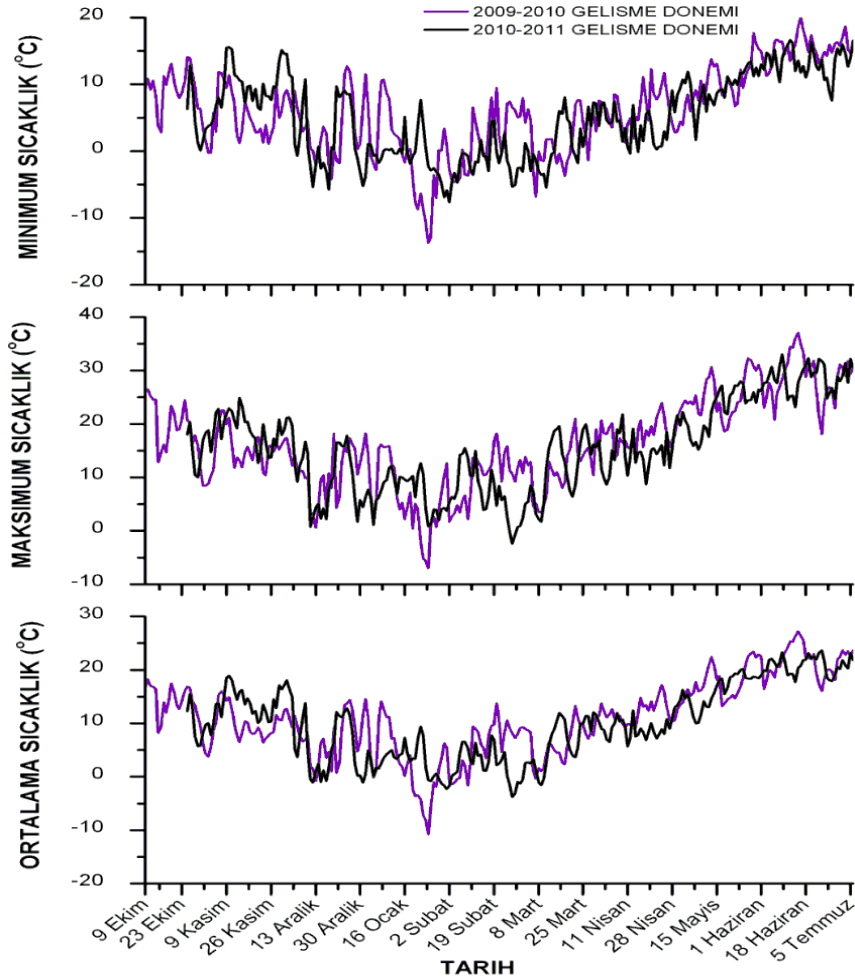
Şekil 3.4'te 2010-2011 gelişme dönemi için hesaplanan sPRI değerleri görülmektedir. Maksimum sPRI değeri 1 Mayıs 2011 tarihinde 0.478 olarak hesaplanmıştır. sPRI kardeşlenme-sapa kalkma fenolojik aşamaları arasındaki dönemde daha düşük değerler almaktadır. Sapa kalkma ile çiçeklenme dönemi arasında yüksek değerler gösterdikten sonra tekrar düşüşe geçmektedir.



Şekil 3.4: 2010-2011 gelişme dönemi sPRI değerleri.

4. METEOROLOJİK ÖLÇÜMLER

Araştırmanın sürdürüldüğü alanda ölçümü yapılan hava sıcaklığı, bağıl nem, toplam güneş radyasyonu, toprak sıcaklığı, rüzgar şiddeti, rüzgar yönü ve yağış gibi meteorolojik değişkenlerin her iki kışlık buğday gelişme dönemi içindeki değişimi aynı grafikte gösterilmiştir. Şekil 4.1’de ortalama, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları her iki gelişme dönemi için verilmiştir. Ortalama hava sıcaklığı 2009-2010 gelişme dönemi için 10.98 °C, 2010-2011 gelişme dönemi için 9.99 °C’dir.

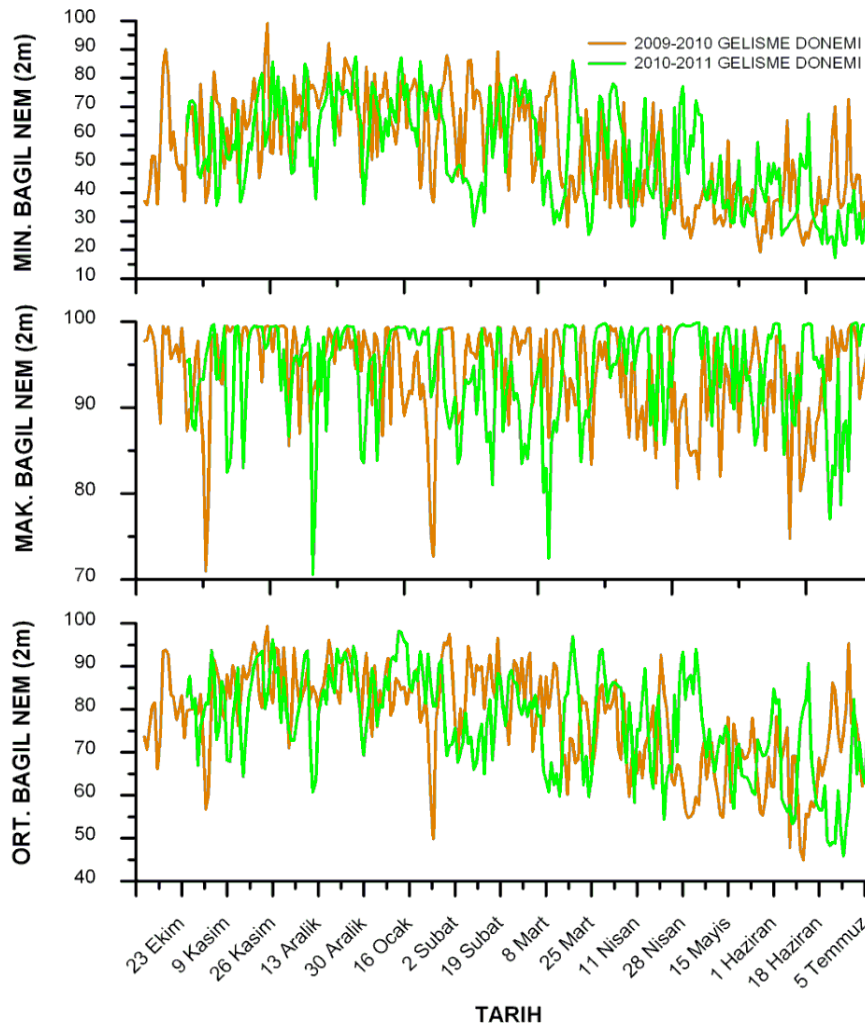


Şekil 4.1: Ortalama, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları zaman serisi.

Maksimum hava sıcaklığı 2009-2010 gelişme döneminde 15 Haziran 2010 tarihinde 37.1 °C olmuştur. 2010-2011 gelişme döneminde ise, 9 Haziran 2011 tarihinde

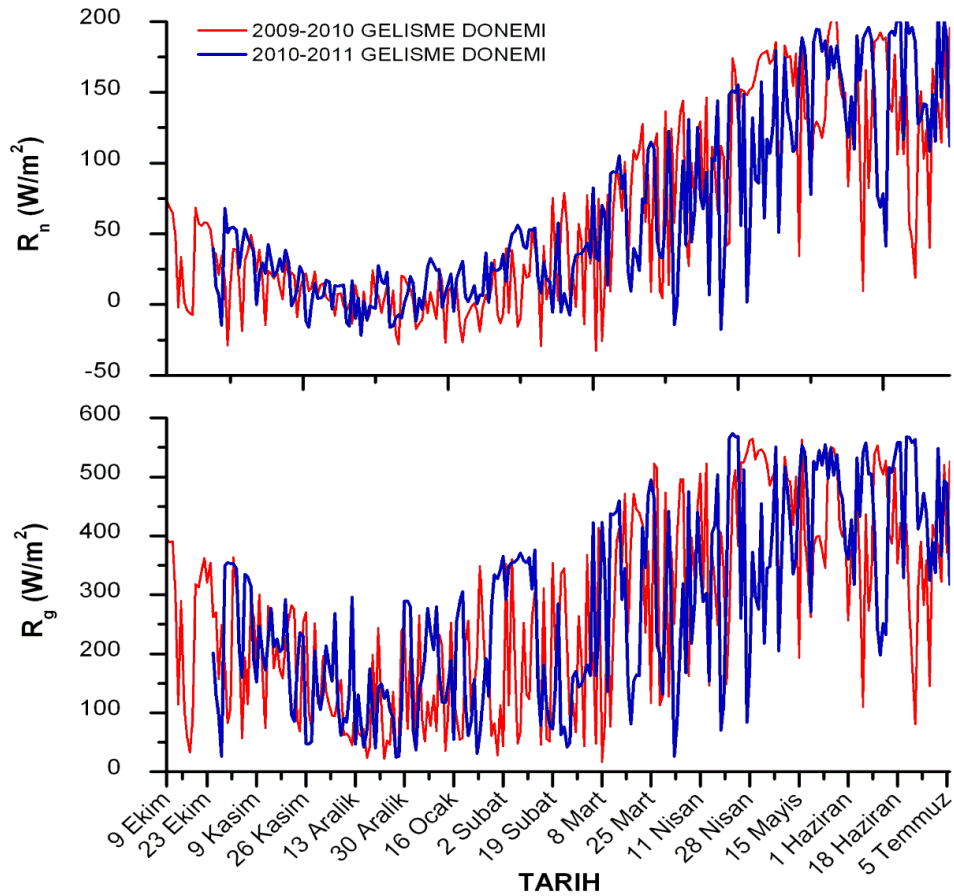
gerçekleşen maksimum hava sıcaklığı 33.02 °C'dir. Minimum hava sıcaklığı 2009-2010 gelişme döneminde -13.72 °C (25 Ocak 2010) iken, 2010-2011 gelişme döneminde -7.67 °C (2 Şubat 2011) olmuştur (Şaylan ve diğ, 2011c).

Şekil 4.2'de her iki gelişme dönemine ait 2 m yükseklikte ölçülen ortalama, maksimum ve minimum bağıl nem değerleri görülmektedir. 2 m'deki ortalama bağıl nem değeri 2009-2010 gelişme dönemi için, % 77.7; 2010-2011 gelişme döneminde ise % 77'dir. Her iki yıldaki bağıl nem ortalamaları birbirine oldukça yakındır. 2009-2010 kışlık buğday gelişme döneminde ortalama bağıl nem 24 Kasım 2009 tarihinde % 99.4 değeri ile maksimuma ulaşırken, 12 Haziran 2010 tarihinde minimum % 44.9 değerine düşmüştür. 2010-2011 gelişme döneminde ise, ortalama bağıl nem 12 Ocak 2011 tarihinde % 98.2 değeri ile maksimuma ulaşmış ve minimum değeri % 45.74 olarak 27 Haziran 2011 tarihinde görmüştür.



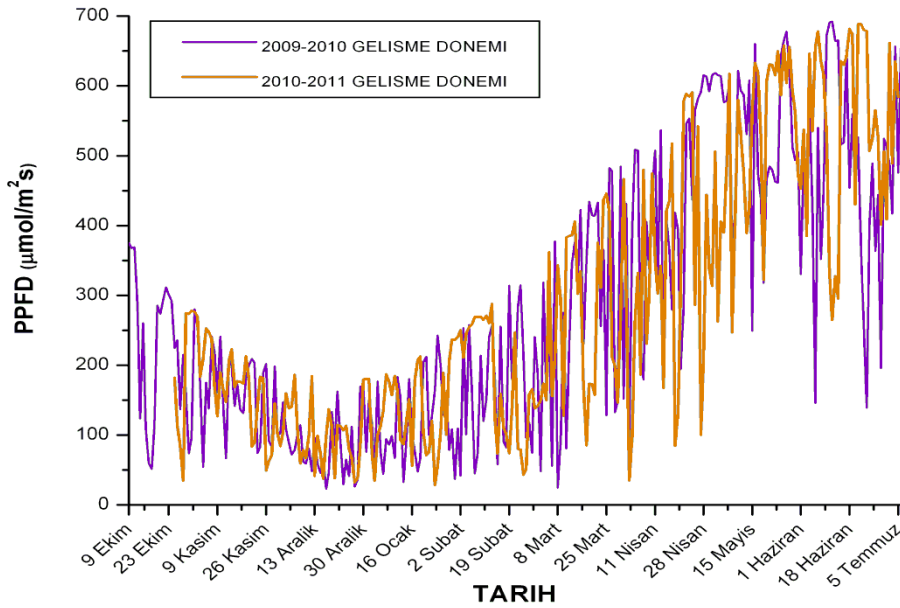
Şekil 4.2: Ortalama, maksimum ve minimum bağıl nem zaman serisi (%).

Şekil 4.3'te global radyasyon (toplam güneş radyasyonu) ve net radyasyonun günlük ortalamaları 2009-2010 ve 2010-2011 gelişme dönemleri için gösterilmiştir. Global radyasyon 2009-2010 gelişme döneminde ortalama 265.92 W/m^2 , 2010-2011 gelişme döneminde ise, ortalama 279.97 W/m^2 olmuştur. 2. gelişme döneminde buğday bitkisi, 1. gelişme dönemine göre % 5.28 daha fazla bir toplam güneş radyasyonuna maruz kalmıştır. Maksimum global radyasyon değeri, 2009-2010 gelişme döneminde 29 Nisan 2010 tarihinde 564.52 W/m^2 olarak, 2010-2011 gelişme döneminde ise 22 Nisan 2011 tarihinde 573.61 W/m^2 olarak ölçülmüştür. Minimum global radyasyon değerleri 2009-2010 ve 2010-2011 gelişme dönemleri için sırasıyla 8 Mart 2010'da 16.71 W/m^2 ve 27 Aralık 2010'da 24.26 W/m^2 olarak ölçülmüştür. Bu bilgilere bakıldığında global radyasyonun 2010-2011 gelişme döneminde daha yüksek olduğu görülmektedir. Ortalama net radyasyon değeri ise, 2009-2010 gelişme döneminde 61.21 W/m^2 ve 2010-2011 gelişme döneminde 65.20 W/m^2 olarak ölçümlerden belirlenmiştir (Şaylan ve diğ., 2011c).



Şekil 4.3: Global ve net radyasyonun zaman serisi.

Şekil 4.4'te her iki gelişme döneminde, fotosentetik foton akı yoğunluğu değerlerinin (PPFD) zaman serisi verilmiştir. 2009-2010 gelişme dönemi için ortalama PPFD $279.28 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ iken, 2010-2011 gelişme döneminde ise $284.20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ değerine yükselmiştir. Maksimum PPFD değeri, 2009-2010 ve 2010-2011 gelişme dönemleri için sırasıyla 12 Haziran 2010 tarihinde $692.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ve 21 Haziran 2011 tarihinde $688.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Minimum PPFD değerleri de, $22.76 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (17 Aralık 2009) ve $28.67 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (24 Ocak 2011) olarak ölçülmüştür (Şaylan ve diğ, 2011c).

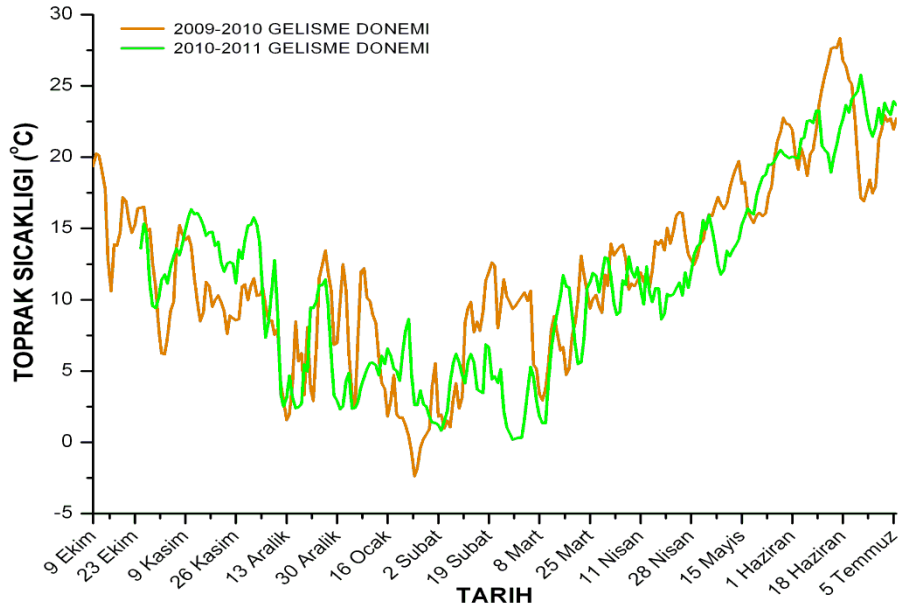


Şekil 4.4: Fotosentetik foton akı yoğunluğu zaman serisi.

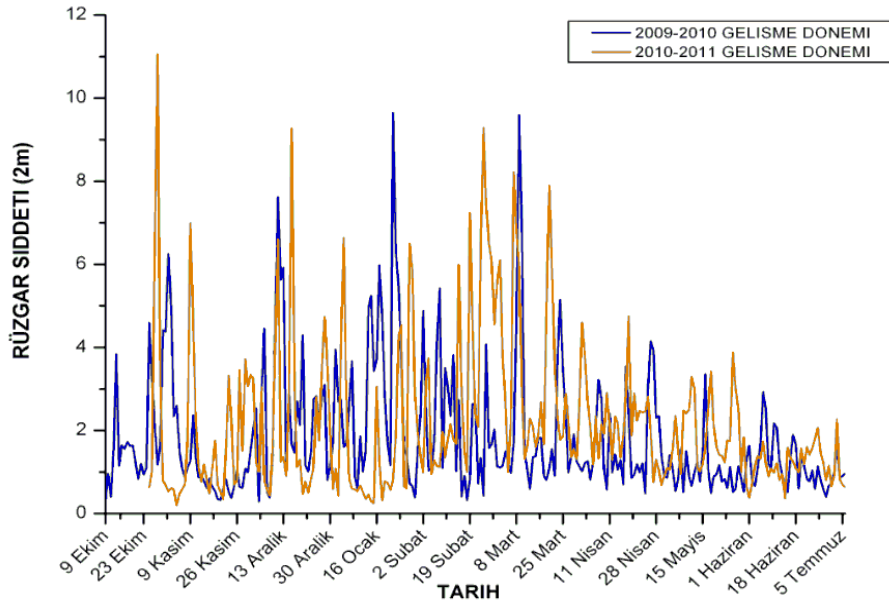
Bunlara ilave olarak, 2 cm derinlikteki toprak sıcaklığının bitki gelişme dönemi boyunca değişimi izlenmiştir. Şekil 4.5'te iki dönem için günlük ortalama toprak sıcaklığı değerleri verilmiştir. Buna göre 2009-2010 gelişme dönemi için ortalama toprak sıcaklığı $11.96 ^\circ\text{C}$ 'dir. 2010-2011 döneminde de buna oldukça yakın bir değer ($11.12 ^\circ\text{C}$) ölçülmüştür. Maksimum toprak sıcaklığı 1. dönemde 17 Haziran 2010'da $28.35 ^\circ\text{C}$ ve 2. dönemde 24 Haziran 2011 tarihinde $25.77 ^\circ\text{C}$ olarak kaydedilmiştir (Şaylan ve diğ, 2011c).

2 m'deki rüzgar şiddeti değerlerinin günlük zaman serisi Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Ortalama rüzgar şiddeti iki gelişme dönemi için sırasıyla 1.85 ve 2.16 m/s olmuştur. Maksimum rüzgar şiddeti 2009-2010 gelişme döneminde 22 Ocak 2010 tarihinde 9.65 m/s, 2010-2011 gelişme döneminde 28 Ekim 2010 tarihinde 11.06 m/s olarak

ölçülmüştür. Minimum rüzgar şiddeti ise 4 Aralık 2009 tarihinde 0.29 m/s ve 4 Kasım 2010 tarihinde 0.19 m/s olmuştur (Şaylan ve diğ, 2011c).

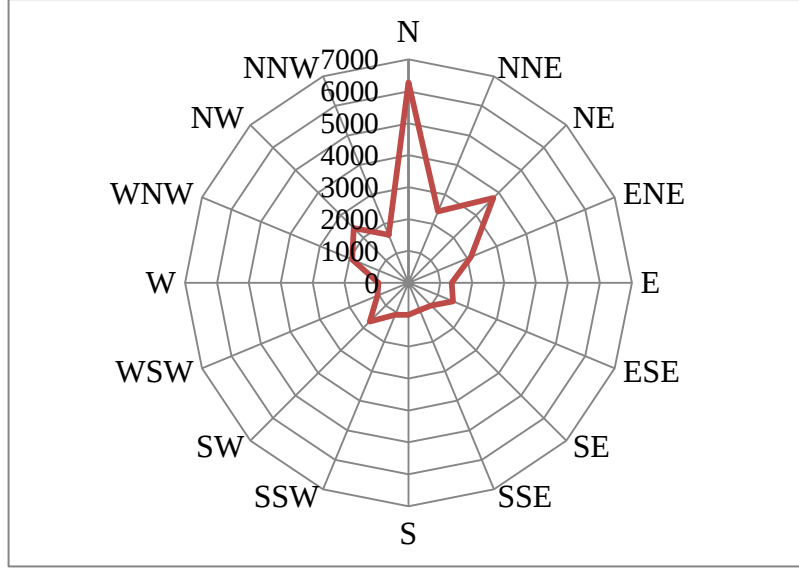


Şekil 4.5: Toprak sıcaklığı zaman serisi.



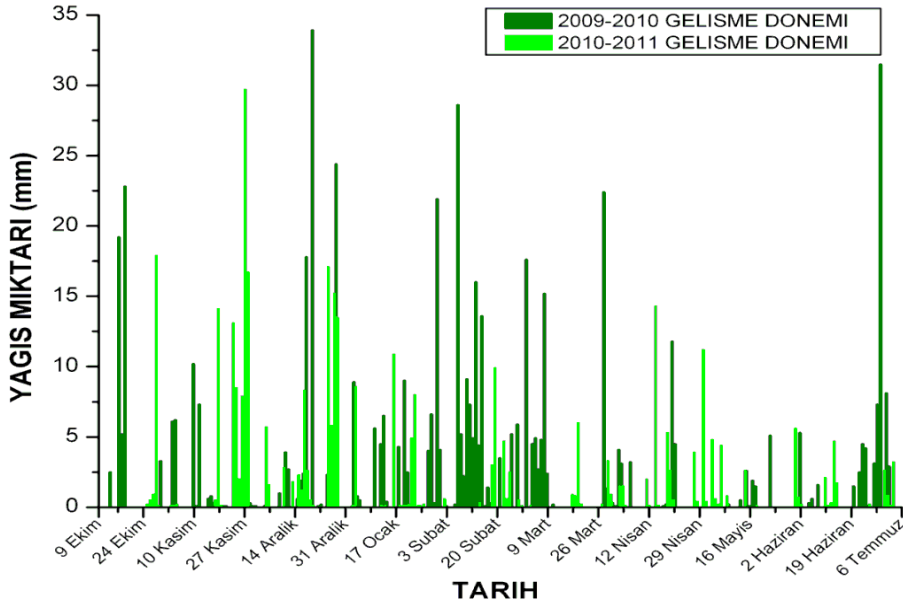
Şekil 4.6: Rüzgar şiddeti zaman serisi.

Şekil 4.7’de her iki gelişme dönemini kapsayan rüzgar yönü değerlerinin dağılımı görülmektedir. Buna göre çalışma alanında 2009-2011 yılları arasındaki hakim rüzgarlar kuzeyli rüzgarlardır.



Şekil 4.7: Rüzgar yönü dağılımı.

Şekil 4.8’de her iki gelişme dönemi için günlük yağış miktarları gösterilmiştir. 2009-2010 gelişme dönemi için toplam yağış miktarı 560.8 mm’dir. 2010-2011 gelişme dönemi için ise toplam yağış miktarı 339 mm olmuştur. En çok yağış 2009-2010 gelişme döneminde 33.9 mm ile 20 Aralık 2009 tarihinde, 2010-2011 gelişme döneminde ise 29.7 mm ile 27 Kasım 2010 tarihinde düşmüştür. İlk gelişme döneminde 116 gün, 2. gelişme döneminde ise 96 gün yağışlı geçmiştir.



Şekil 4.8: Yağış miktarı zaman serisi.

Çizelge 4.1’de bahsedilen tüm meteorolojik parametrelerin ortalama, maksimum ve minimum değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.1: Meteorolojik parametrelerin ortalama, maksimum ve minimum değerleri.

Parametreler	2009-2010			2010-2011		
	Ort.	Mak.	Min.	Ort.	Mak.	Min.
Hava sıcaklığı (°C)	10.98	27.22	-10.76	9.99	23.64	-3.76
Maksimum hava sıcaklığı (°C)	16.38	37.10	-6.99	15.47	33.02	-2.44
Minimum hava sıcaklığı (°C)	6.01	20.17	-13.72	5.03	16.65	-7.67
Bağıl nem (%)	77.70	99.40	44.90	77.00	98.20	45.74
Maksimum bağıl nem (%)	94.07	99.70	70.94	94.07	100.00	70.58
Minimum bağıl nem (%)	55.15	99.20	19.12	53.75	87.50	17.23
Global radyasyon (W/m ²)	265.92	564.52	16.71	279.97	573.61	24.26
Net radyasyon (W/m ²)	61.21	207.2	-32.69	65.20	211.4	-21.73
PPFD (μmol m ⁻² s ⁻¹)	279.28	692.30	22.76	284.20	688.40	28.67
Toprak sıcaklığı (°C, derinlik 2 cm)	11.96	28.35	-2.39	11.12	25.77	0.171
Rüzgar şiddeti (m/s, yükseklik 2 m)	1.85	9.65	0.29	2.16	11.06	0.19

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Kışlık Buğdayın Karbon Değişimi

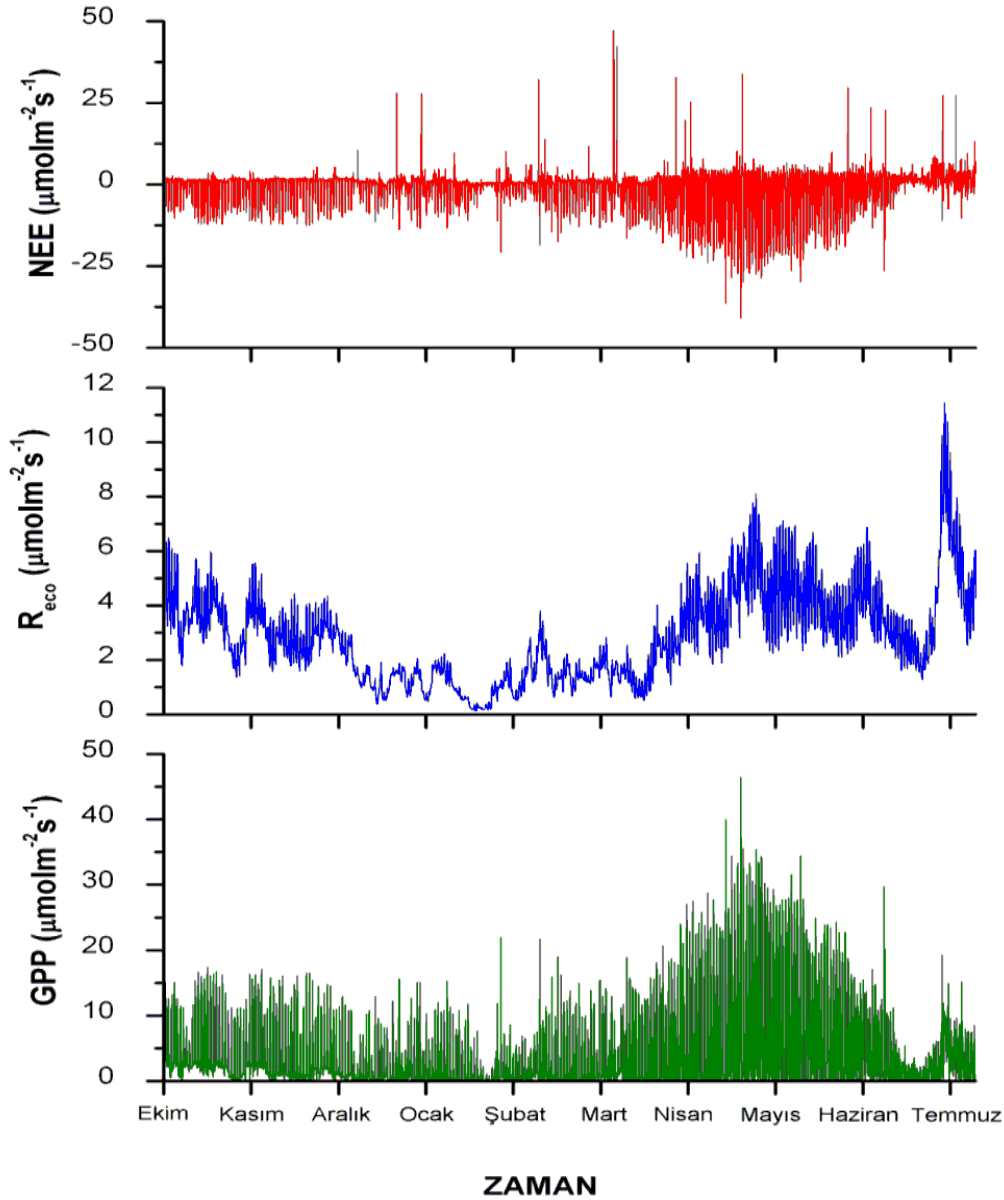
Karbon değişimi incelenirken, her iki gelişme dönemi için de günlük ve kümülatif karbon akıları, bitkinin hangi fenolojik aşamalarda ne kadar karbon biriktirdiği ve son olarak karbon akılarının birbirlerine oranları ele alınmıştır.

5.1.1 2009-2010 kışlık buğday gelişme dönemi karbon değişimi

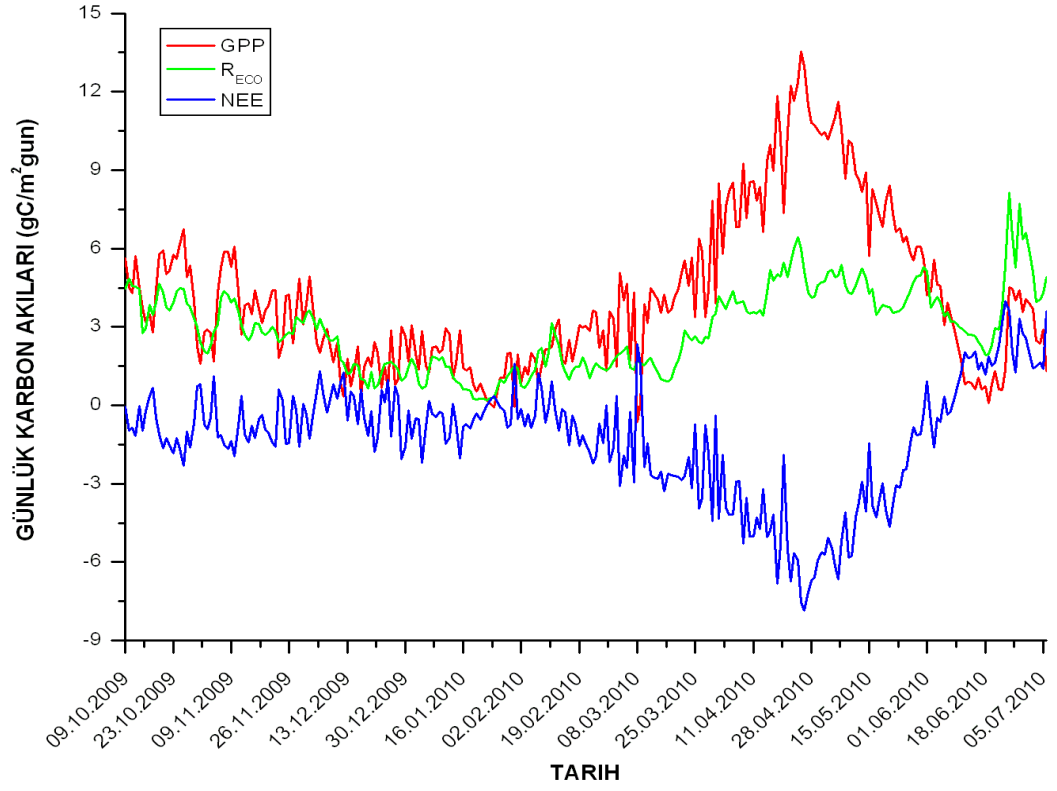
2009-2010 gelişme döneminde elde edilen 10 Hz'lik eddy kovaryans verilerine gerekli düzeltmeler yapıldıktan ve eksik veriler tamamlandıktan sonra $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ cinsinden 30 dakikalık CO_2 akıları elde edilmiştir. Şekil 5.1'de 2009-2010 gelişme dönemine ait 30 dakikalık karbondioksit akıları görülmektedir. Bu gelişme döneminde ortalama GPP, R_{eco} ve NEE sırasıyla 4.08, 2.83 ve -1.26 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ olmuştur. Daha sonra 30 dakikalık CO_2 akıları gram cinsinden karbon değişimine çevrilmiştir ($\text{g C m}^{-2} = 0.02162 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Bu 30 dakikalık karbon akıları toplanarak günlük karbon değişimi değerleri ($\text{g C m}^{-2} \text{gün}^{-1}$ veya g C m^{-2} olarak gösterilmektedir) elde edilmiştir. Bu birim çevirme işlemi her iki gelişme dönemi için de aynı şekilde uygulanmıştır.

2009-2010 kışlık buğday gelişme dönemine ait günlük GPP, R_{eco} ve NEE değişimi Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Mart ayının ortalarından itibaren fotosentez aktivitesinin arttığı ve bu artışın mayıs ayı başına kadar devam ettiği görülmektedir. Daha sonra fotosentez aktivitesi düşmekte ve dolayısıyla bitkinin karbon biriktirme faaliyeti de azalmaktadır. Fotosentez aktivitesinin düştüğü bu zaman aralığında ekosistem solunumu değerleri artış göstermektedir. Bu gelişme dönemi için günlük ortalama GPP 4.21 g C m^{-2} , R_{eco} 2.91 g C m^{-2} ve NEE -1.31 g C m^{-2} olmuştur. Maksimum GPP değeri 25 Nisan 2010 tarihinde 13.54 g C m^{-2} olarak gerçekleşmiştir. NEE ise, 26 Nisan 2010 tarihinde -7.86 g C m^{-2} değeri ile maksimum yutak miktarına ulaşmıştır. Maksimum R_{eco} 'nun (8.14 g C m^{-2}) gerçekleştiği tarih ise, 25 Haziran 2010'dur. GPP ve NEE değerlerinin maksimuma ulaştığı tarihler buğday bitkisinin başaklanma dönemine denk gelmektedir. R_{eco} ise, olgunlaşma fenolojik aşaması

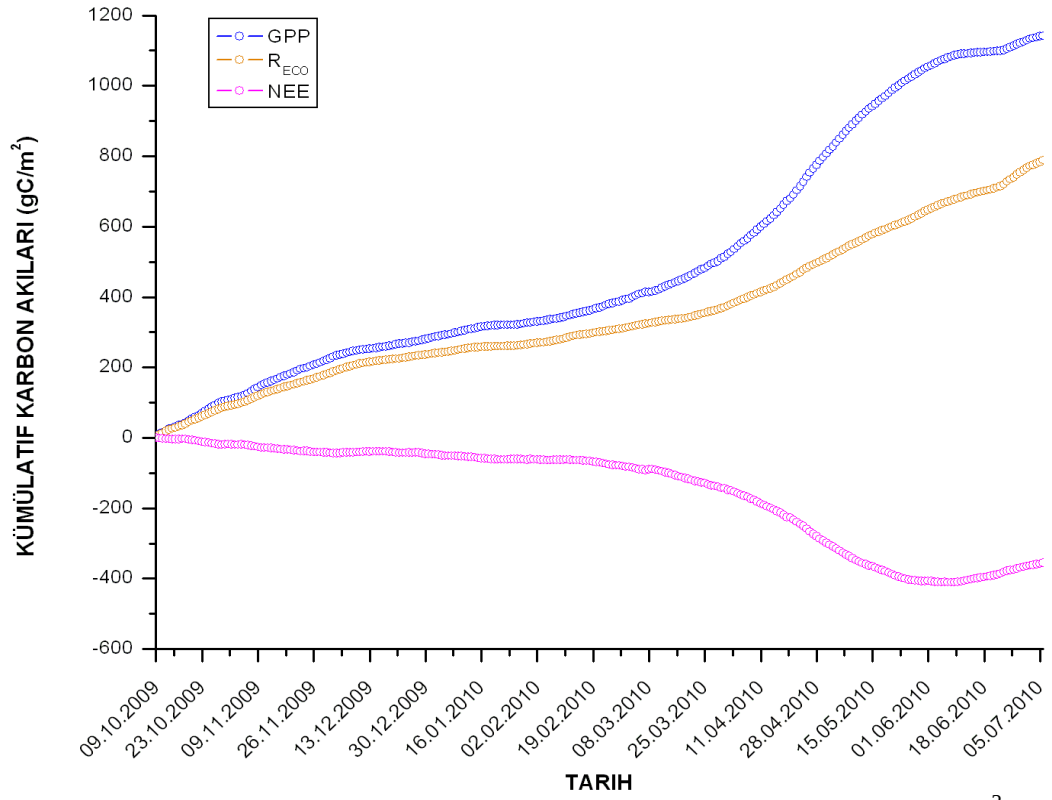
tamamlandıktan sonra maksimum değerine ulaşmıştır. GPP, R_{eco} ve NEE'nin standart sapmaları sırasıyla 3.03, 1.57 ve 2.26 $g\ C\ m^{-2}$ 'dir. GPP, R_{eco} ve NEE toplam değerleri, Şekil 5.3'te sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere sapa kalkma ile başaklanma fenolojik aşamaları arasına gelen dönemde, bitkinin fotosentez ve solunum aktiviteleri artmaktadır. Dolayısıyla net karbon birikimi de bu dönemden sonra artış göstermeye başlamaktadır. 2009-2010 gelişme döneminde $\sum NEE$, $\sum GPP$ ve $\sum R_{eco}$ değerleri sırasıyla, -354.9, 1142.2 ve 788.6 $g\ C\ m^{-2}$ olarak belirlenmiştir (Şaylan ve diğ, 2011b).



Şekil 5.1: 2009-2010 gelişme dönemine ait CO_2 akıları.



Şekil 5.2: 2009-2010 Gelişme Dönemi Günlük Karbon Akıları ($g C m^{-2} gün^{-1}$).



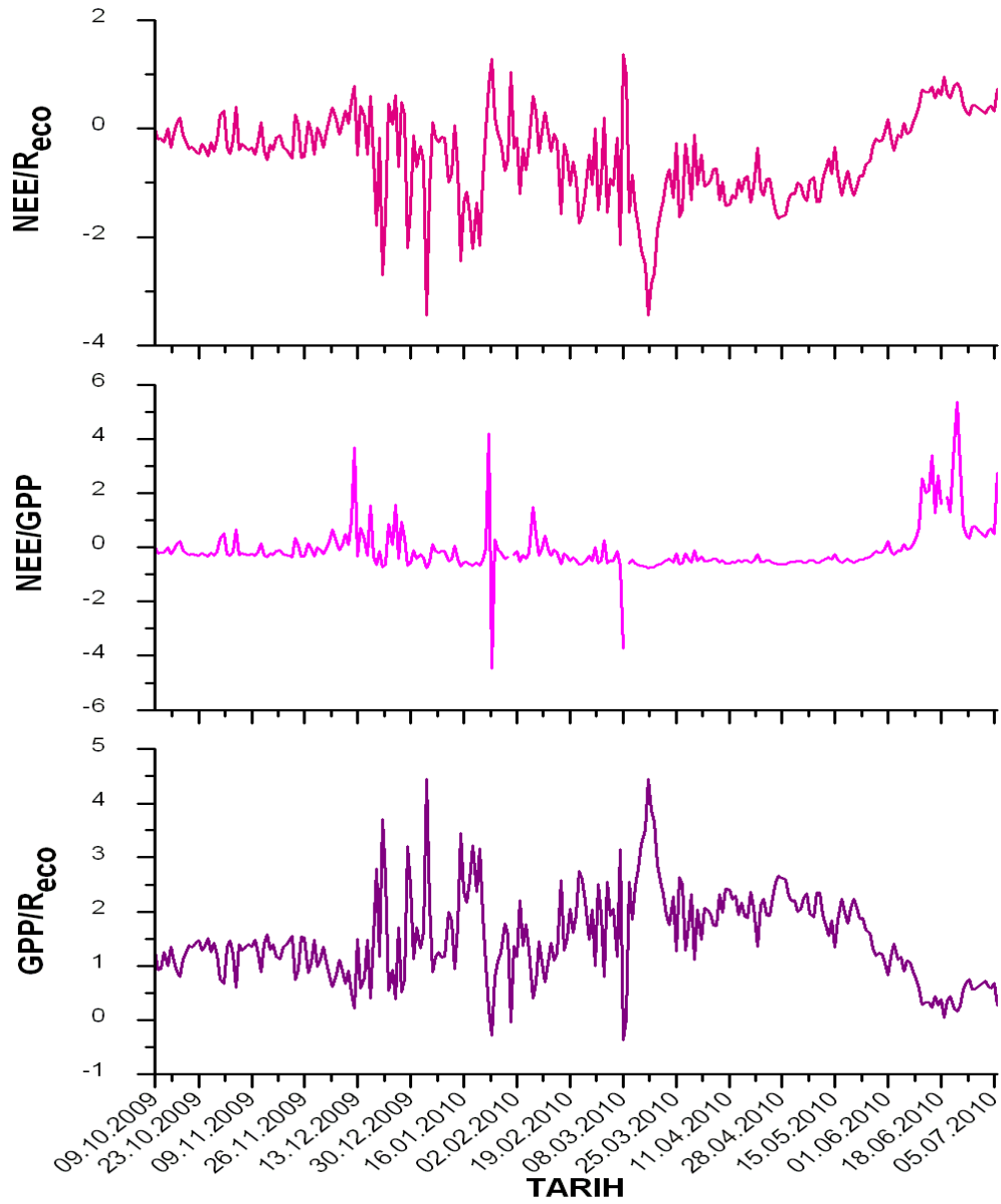
Şekil 5.3: 2009-2010 Gelişme Dönemi Kümülatif Karbon Akıları ($g C m^{-2}$).

Çizelge 5.1’de kışlık buğday bitkisinin hangi fenolojik dönemlerde fotosentezle atmosferden ne kadar karbon aldığı (ΣGPP), solunumla atmosfere ne kadar karbon verdiği (ΣR_{eco}) ve bunların sonucunda bünyesinde ne kadar karbon biriktirdiği (ΣNEE) gösterilmektedir. Buğday, bünyesine en fazla karbonu, sapa kalkma ile başaklanma fenolojik aşamaları arasında katmıştır ($115.31 \text{ g C m}^{-2}$). Fotosentez ve solunum aktivitelerinin en fazla olduğu dönem kardeşlenme ile sapa kalkma fenolojik aşamaları arasındır. Solunum aktivitesi sapa kalkma aşamasından sonra düşmekte ve bu düşüş olgunlaşmanın tamamlanmasına kadar devam etmektedir. Böylece bu dönemler arasında bitki maksimum karbon birikimine ulaşmaktadır. Olgunlaşmadan sonra ise, bitki karbonu bünyesinden atmosfere geri vermeye başlamaktadır.

Çizelge 5.1: 2009-2010 Fenolojik Dönemleri ΣGPP , ΣR_{eco} ve ΣNEE .

Fenolojik Aşamalar	$\Sigma GPP (\text{g C m}^{-2})$	$\Sigma R_{eco} (\text{g C m}^{-2})$	$\Sigma NEE (\text{g C m}^{-2})$
Ekim – Çimlenme	35.05 (% 3.1)	32.47 (% 4.1)	-3.90
Çimlenme – 3 Yaprak	46.61 (% 4.1)	36.54 (% 4.6)	-10.07
3 Yaprak – Kardeşlenme	117.65 (% 10.2)	93.67 (% 11.9)	-23.99
Kardeşlenme – Sapa kalkma	310.39 (% 27.1)	205.04 (% 25.9)	-105.35
Sapa kalkma – Başaklanma	230.51 (% 20.2)	115.21 (% 14.6)	-115.31
Başaklanma – Çiçeklenme	150.12 (% 13.2)	66.15 (% 8.4)	-83.97
Çiçeklenme – Dane dolumu	110.59 (% 9.7)	58.20 (% 7.4)	-52.39
Dane dolumu – Olgunlaşma	62.76 (% 5.5)	48.54 (% 6.2)	-14.21
Olgunlaşma – Hasat	78.50 (% 6.9)	132.83 (% 16.9)	54.33

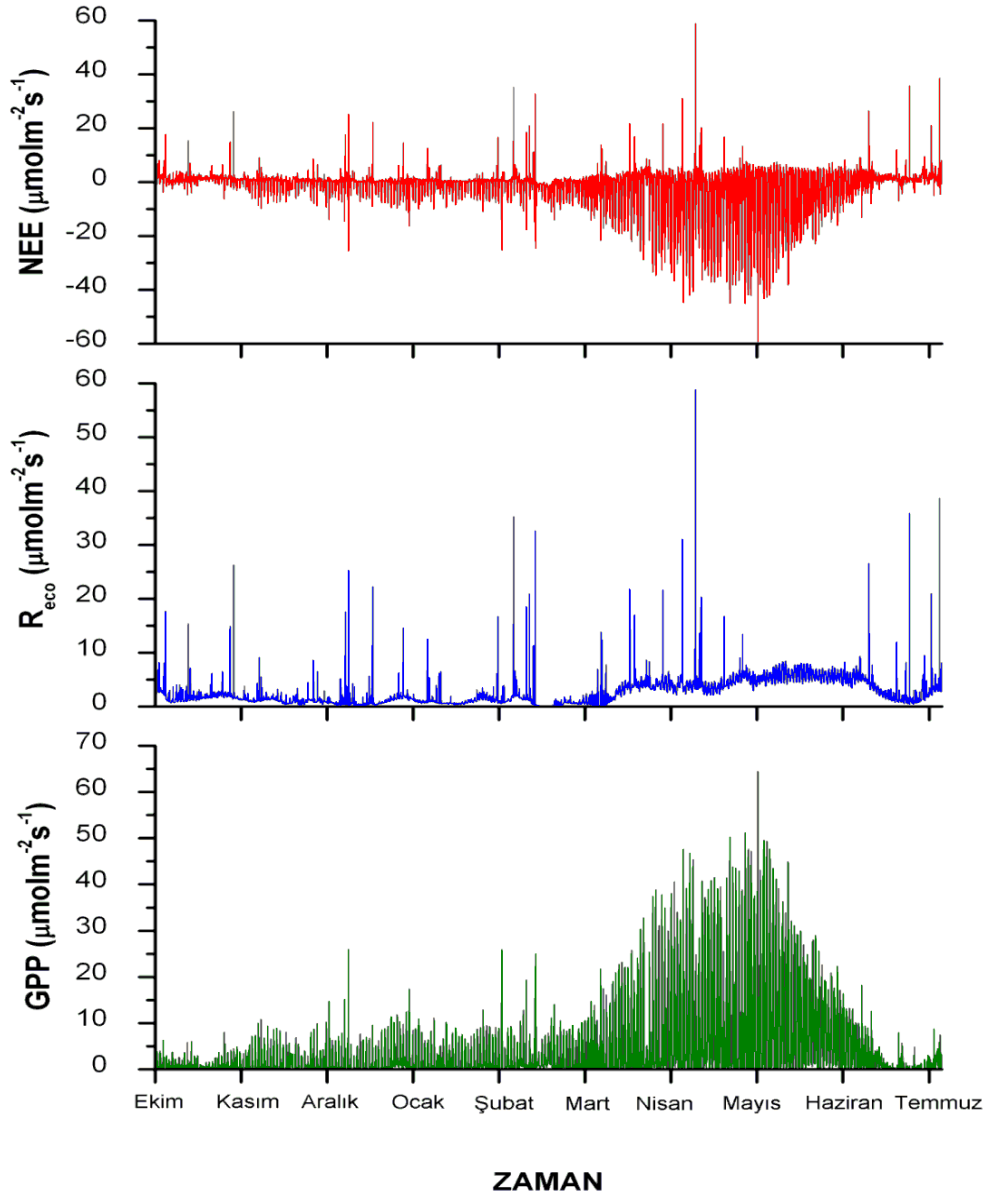
Şekil 5.4’te, NEE/GPP , GPP/R_{eco} ve NEE/R_{eco} oranlarının günlük değişimi verilmiştir. 2009-2010 Gelişme dönemi boyunca ortalama GPP/R_{eco} , NEE/GPP ve NEE/R_{eco} oranları sırasıyla, 1.51, -0.09 ve -0.51 g C m^{-2} olmuştur. GPP/R_{eco} oranı 4 Ocak 2010 (kardeşlenme-sapa kalkma fenolojik dönemleri arası) tarihinde 4.45 g C m^{-2} ile maksimum değerine ulaşmıştır. NEE/GPP oranı 5.36 g C m^{-2} değeri ile 23 Haziran 2010 (Olgunlaşmadan sonra) tarihinde maksimum olmuştur. NEE/R_{eco} oranının en yüksek değeri ise, 8 Mart 2010 tarihinde görülmüştür (1.37 g C m^{-2}) (Şaylan ve diğ, 2011b).



Şekil 5.4: 2009-2010 GPP/R_{eco} , NEE/GPP ve NEE/R_{eco} 'nun günlük değişimi.

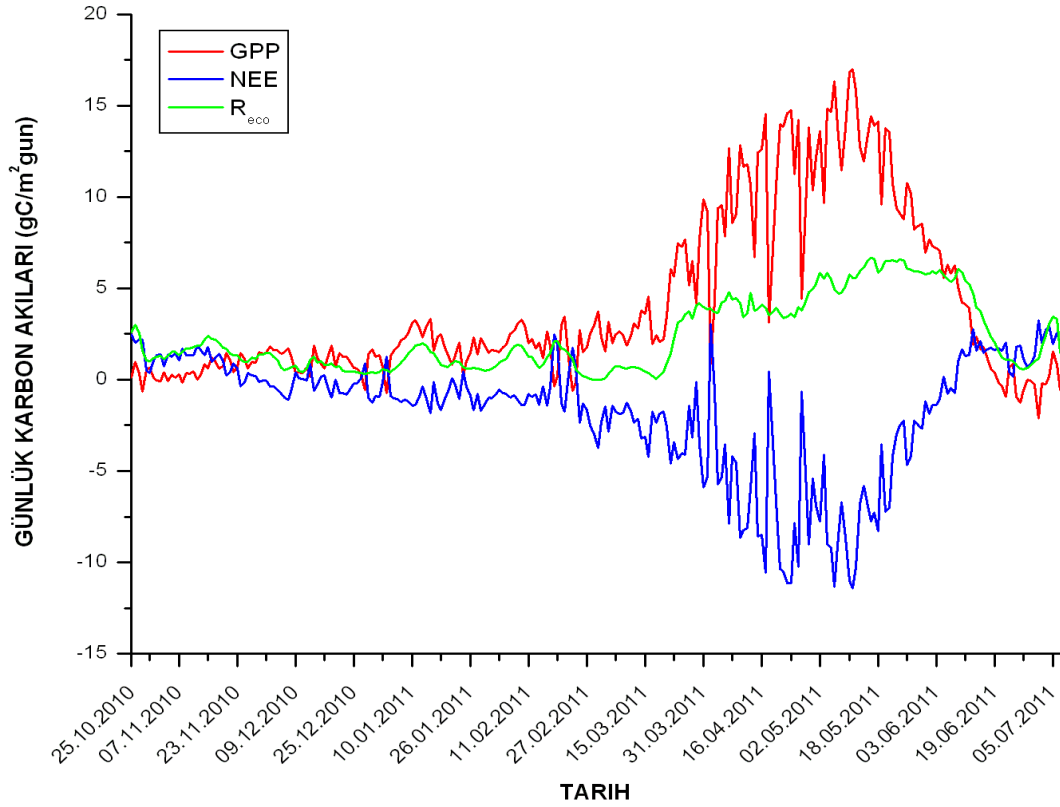
5.1.2 2010-2011 kışlık buğday gelişme dönemi karbon değişimi

2010-2011 kışlık buğday gelişme döneminde de 2009-2010 gelişme döneminde olduğu gibi elde edilen 10 Hz'lik eddy kovaryans verilerine gerekli düzeltmeler (WPL düzeltmesi, frekans tepki düzeltmeleri ve koordinat düzeltmesi) yapıldıktan ve eksik veriler tamamlandıktan sonra $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ cinsinden 30 dakikalık CO_2 akıları elde edilmiştir. Şekil 5.5'te 2010-2011 gelişme dönemine ait 30 dakikalık CO_2 akıları verilmiştir. Bu gelişme döneminde ortalama GPP , R_{eco} ve NEE sırasıyla 3.95, 2.28 ve $-1.66 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 'dir.



Şekil 5.5: 2010-2011 gelişme dönemine ait CO₂ akıları.

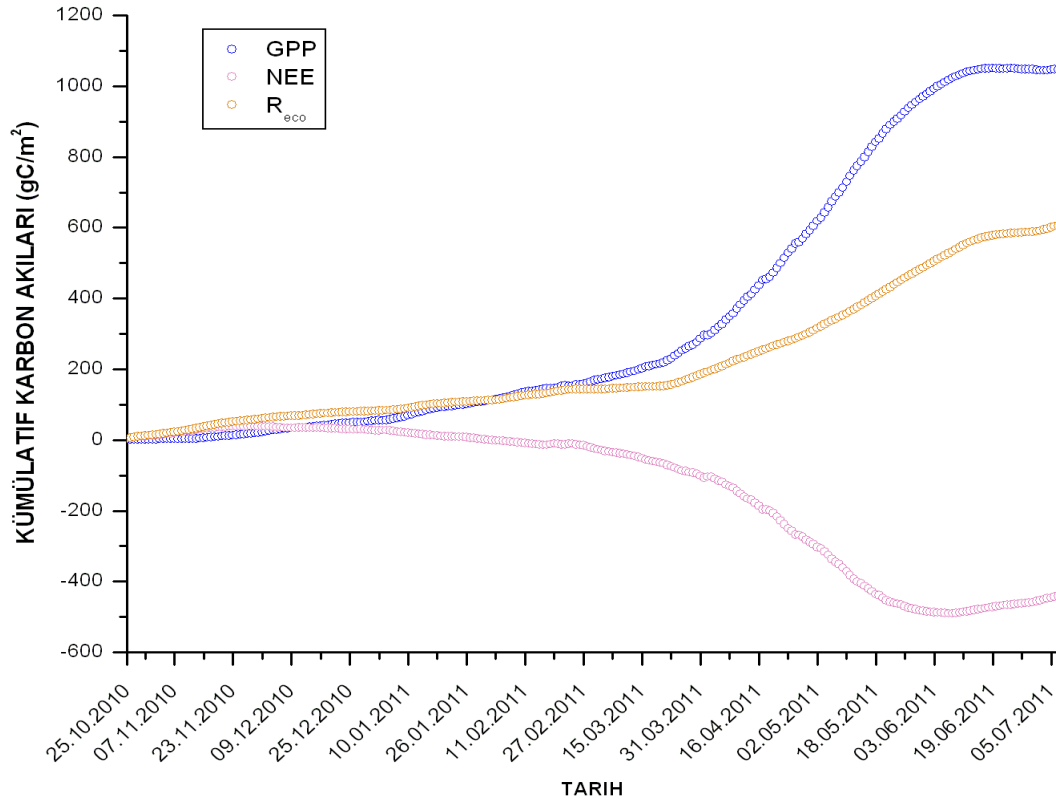
NEE, GPP ve R_{eco} 'nin günlük değişimi Şekil 5.6'da verilmiştir. 2010-2011 gelişme dönemi için günlük ortalama NEE -1.72 g C m^{-2} , GPP 4.09 g C m^{-2} ve R_{eco} 2.37 g C m^{-2} 'dir. Maksimum GPP ve NEE sırasıyla 16.99 ve $-11.42 \text{ g C m}^{-2}$ değerleri ile 11 Mayıs 2011 tarihinde gerçekleşmiştir. Maksimum R_{eco} ise 6.66 g C m^{-2} ile 16 Mayıs 2011 tarihinde gerçekleşmiştir. Bu tarihler başaklanma ile çiçeklenme başlangıcı fenolojik aşamaları arasına denk gelmektedir. Net karbon birikiminin mart sonundan itibaren artışa geçtiği günlük karbon akıları zaman serisi grafiğinden de tespit edilebilmektedir (Şaylan ve diğ, 2011c).



Şekil 5.6: 2010-2011 Gelişme Dönemi Günlük Karbon Akıları ($\text{g C m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$).

Şekil 5.7’de günlük toplam NEE, GPP ve R_{eco} değerleri verilmiştir. Bu gelişme döneminde toplam NEE $-441.3 \text{ g C m}^{-2}$, toplam GPP $1046.8 \text{ g C m}^{-2}$ ve toplam R_{eco} da 605.5 g C m^{-2} olmuştur.

Çizelge 5.2’de 2010-2011 dönemi için farklı fenolojik dönemlere ait kümülatif karbon akıları gösterilmiştir. Buna göre kışlık buğday bu gelişme döneminde en fazla karbonu $-268.58 \text{ g C m}^{-2}$ değeri ile sapa kalkma ile başaklanma dönemleri arasında bünyesine katmıştır. Bu dönem içerisinde buğday bitkisi tüm gelişme dönemi boyunca gerçekleştirdiği fotosentez aktivitesinin %42.8’ini gerçekleştirmiştir. Aynı dönem içerisinde solunum aktivitesinin tüm gelişme dönemindeki miktarına oranı da %29.6 olarak gerçekleşmiştir. Sapa kalkma ile başaklanma fenolojik aşamaları arasından sonra buğday bitkisinin karbonu en fazla depoladığı dönem kardeşlenme ile sapa kalkma fenolojik aşamaları arasına denk gelmektedir. Bitki toplam brüt fotosentezin %22.4’ünü bu dönemde gerçekleştirmiştir. 2009-2010 gelişme döneminden farklı olarak bitkinin bu dönemde, ekimden kardeşlenmeye kadar solunum aktivitesi fotosentez aktivitesinden daha fazla olmuştur. Bu dönem içerisinde bitkinin karbonu atmosfer yerine topraktan aldığı görülmektedir (Şaylan ve diğ., 2011c).



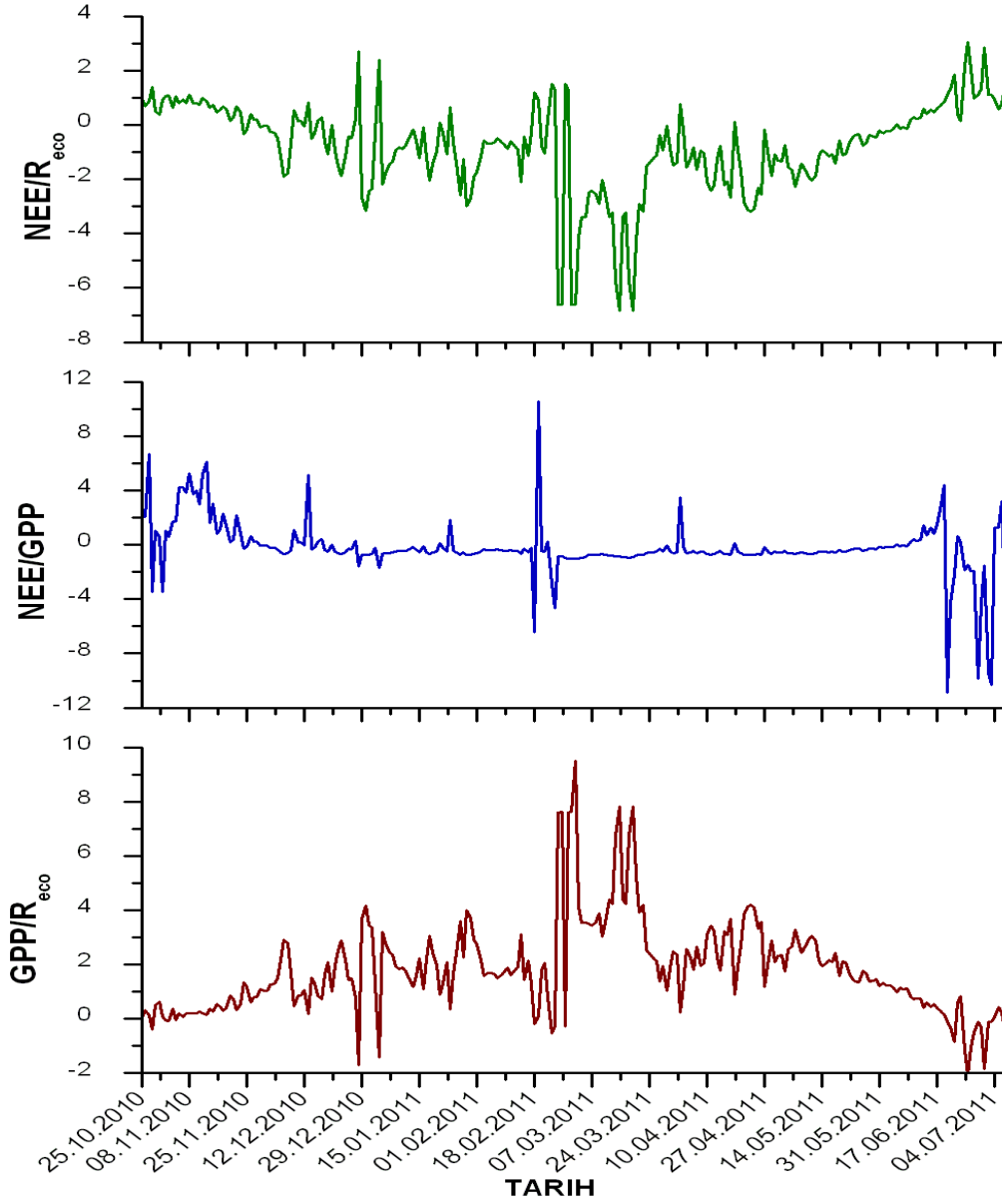
Şekil 5.7: 2010-2011 Gelişme Dönemi Kümülatif Karbon Akıları (g C m^{-2}).

Çizelge 5.2: 2010-2011 Fenolojik Dönemleri ΣGPP , ΣReco ve ΣNEE .

Fenolojik Aşamalar	ΣGPP (g C m^{-2})	ΣReco (g C m^{-2})	ΣNEE (g C m^{-2})
Ekim – Çimlenme	2.23 (% 0.2)	17.92 (% 2.9)	15.68
Çimlenme – 3 Yaprak	2.78 (% 0.3)	17.07 (% 2.8)	14.29
3 Yaprak – Kardeşlenme	25.29 (% 2.4)	30.92 (% 5.1)	5.64
Kardeşlenme – Sapa kalkma	234.48 (% 22.4)	107.12 (% 17.7)	-127.35
Sapa kalkma – Başaklanma	447.63 (% 42.8)	179.05 (% 29.6)	-268.58
Başaklanma – Çiçeklenme	129.89 (% 12.4)	54.55 (% 9)	-75.34
Çiçeklenme – Dane dolumu	127.88 (% 12.2)	80.70 (% 13.3)	-47.18
Dane dolumu – Olgunlaşma	70.54 (% 6.7)	68.31 (% 11.3)	-2.24
Olgunlaşma – Hasat	6.06 (% 0.6)	49.87 (% 8.3)	43.81

2010-2011 gelişme dönemine ait NEE/GPP , $\text{GPP}/\text{R}_{\text{eco}}$ ve $\text{NEE}/\text{R}_{\text{eco}}$ oranlarının günlük değişimi Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Bu gelişme dönemi boyunca ortalama $\text{GPP}/\text{R}_{\text{eco}}$, NEE/GPP ve $\text{NEE}/\text{R}_{\text{eco}}$ oranları sırasıyla 1.81, -0.25 ve -0.79 g C m^{-2} olmuştur. $\text{GPP}/\text{R}_{\text{eco}}$ oranı 2 Mart 2011 tarihinde (kardeşlenme ile sapa kalkma fenolojik dönemleri arası) 9.49 g C m^{-2} ile maksimum değerine ulaşmıştır. NEE/GPP oranı 10.55 g C m^{-2} değeri ile 19 Şubat 2011 (kardeşlenmeden sonra) tarihinde

maksimuma ulaşmıştır. NEE/R_{eco} oranı ise 26 Haziran 2011 tarihinde (olgunlaşmadan sonra) 3.04 g C m^{-2} ile maksimum değerine ulaşmıştır (Şaylan ve diğ, 2011c).



Şekil 5.8: 2010-2011 GPP/R_{eco} , NEE/GPP ve NEE/R_{eco} 'nun günlük değişimi.

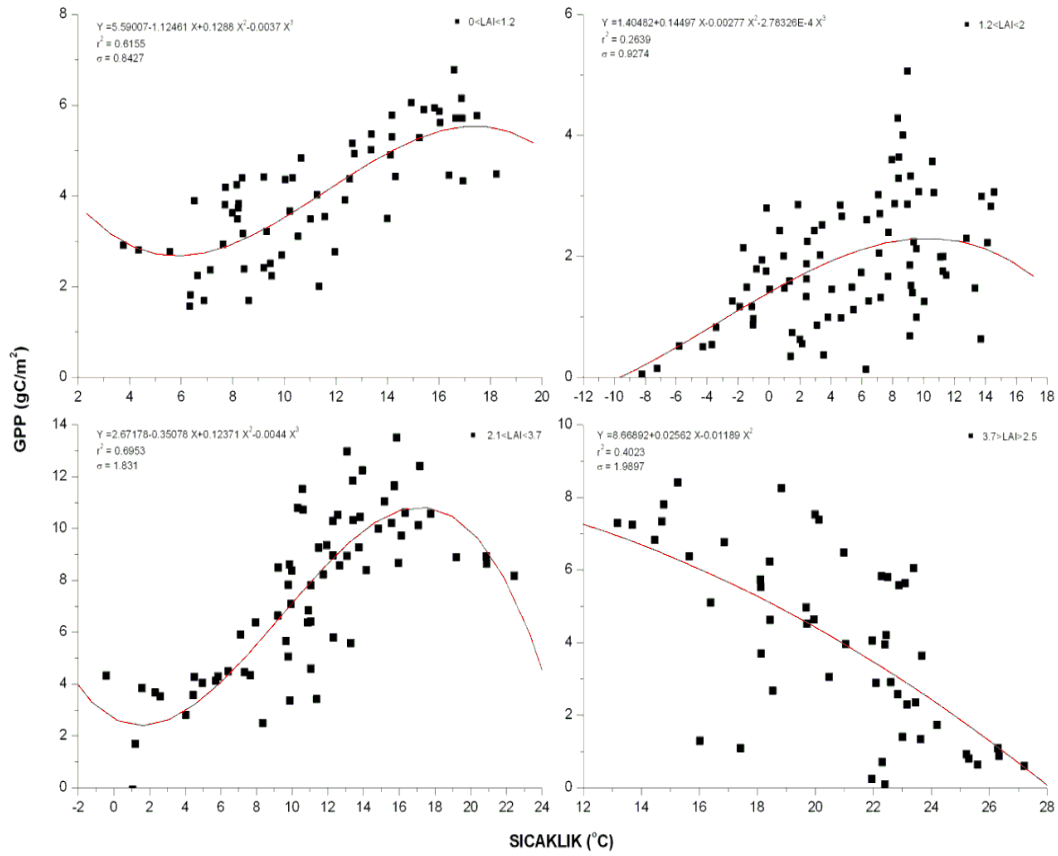
5.2 Karbon Akıları ile Meteorolojik Faktörler Arasındaki İlişkiler

Bitkilerin fotosentez ve solunum aktiviteleri pek çok faktör tarafından kontrol edilebilir. Sıcaklık ve radyasyon gibi meteorolojik faktörlerin yanı sıra bitkinin çeşidi, gelişmişliği gibi faktörler de fotosentez ve solunum miktarını etkilemektedir. Bu sebeple karbon akılarının meteorolojik faktörlerle ilişkisi incelenirken, tüm

gelişme dönemi bitki gelişmişliğinin bir göstergesi olan LAI değerlerinin değişimi göz önünde bulundurularak her iki gelişme dönemi için de 4 periyoda ayrılmıştır.

5.2.1 2009-2010 gelişme dönemine ait ilişkiler

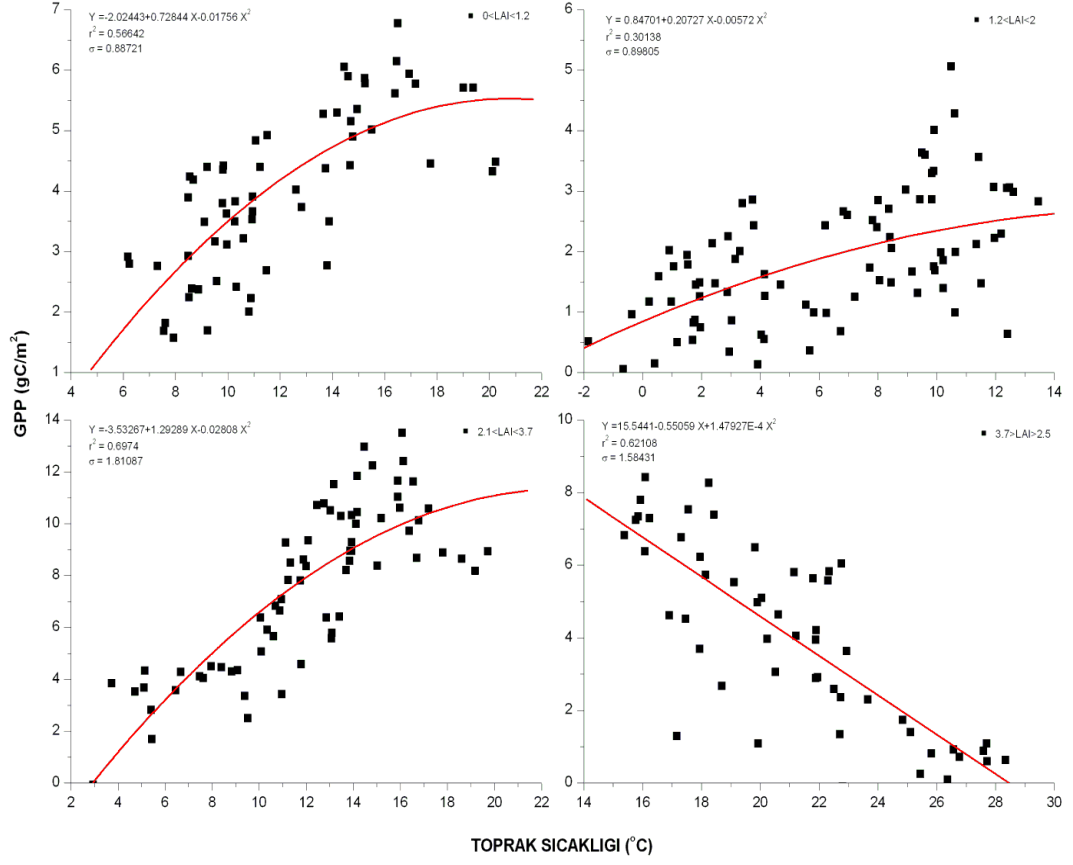
2009-2010 gelişme döneminde LAI değerinin 0 ile 1.2 arasında olduğu fenolojik aşama (ekim-kardeşlenme) 1. periyot, LAI'nin 1.2 ile 2 arasında olduğu fenolojik aşama (kardeşlenme-sapa kalkma) 2. periyot, LAI'nin 2.1 ile 3.7 arasında ölçüldüğü fenolojik aşama (sapa kalkma-çiçeklenme) 3. periyot ve son olarak LAI'nin 3.7 ile 2.5 olduğu zaman da (çiçeklenme-hasat) 4. periyot olarak belirlenmiştir. Bu 4 farklı periyot için GPP ile hava sıcaklığı ilişkisi Şekil 5.9'da görülmektedir. GPP ile hava sıcaklığı arasında her dönem için zayıf da olsa bir ilişki bulunmuştur. En iyi ilişki ($r^2=0.7$) bitki gelişiminin maksimum olduğu 3. dönemde elde edilmiştir (Şaylan ve diğ., 2011b; Şaylan ve diğ., 2011d).



Şekil 5.9: 4 periyot için GPP ile hava sıcaklığı arasındaki ilişki (2009-2010).

Şekil 5.10'da GPP ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişkiler gösterilmektedir. Bu ilişkilere genel olarak bakıldığında GPP'nin hava sıcaklığı ile ilişkisinden daha iyi

ilişkiler olduğu görülmektedir. En iyi ilişki ($r^2=0.7$) yine bitkinin fotosentez aktivitesinin en yüksek olduğu 3. periyoda aittir.

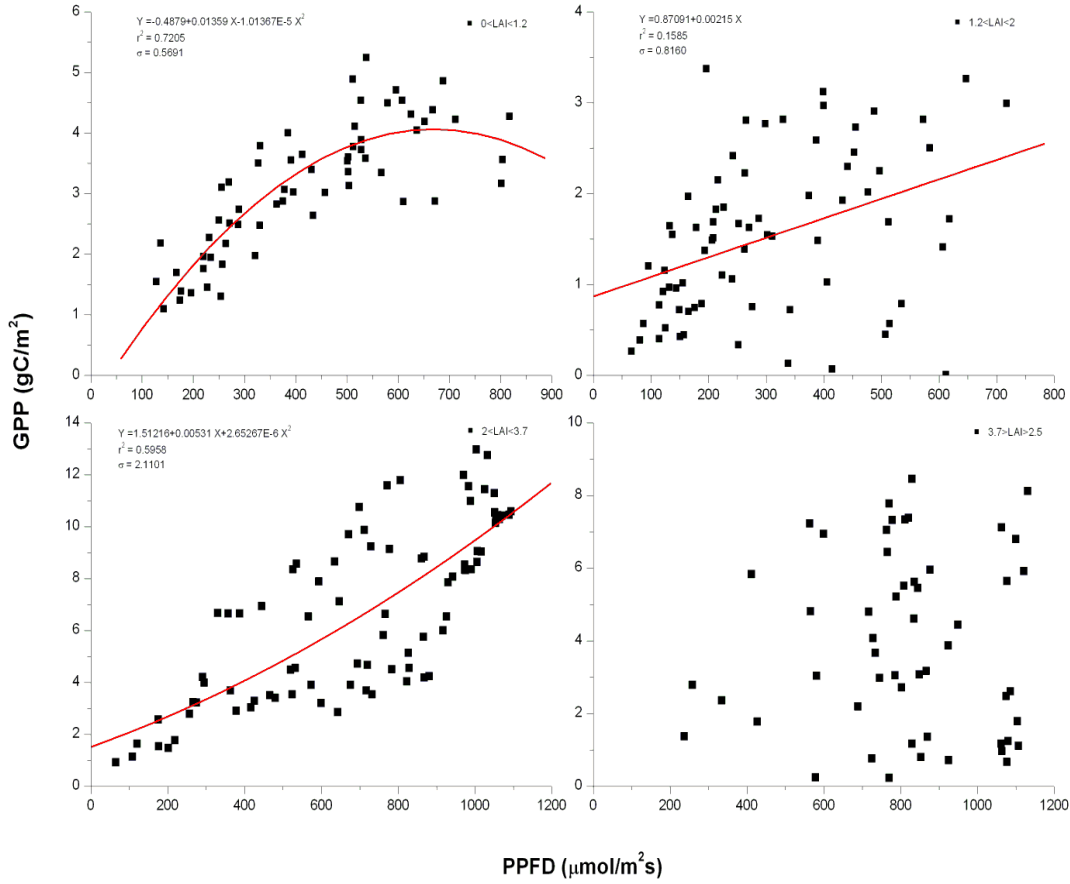


Şekil 5.10: 4 periyot için GPP ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişki (2009-2010).

GPP ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişki bitkinin LAI değerinin maksimumdan minimuma düşmeye başladığı yani bitkinin çiçeklenme aşamasından hasada kadar olan dönemde de iyi bir doğrusal olmayan ilişkiye sahiptir ($r^2=0.62$). Bitkinin gelişiminin az olduğu dönemlerde GPP değeri ile toprak sıcaklığı arasındaki belirlilik katsayıları ise oldukça düşüktür.

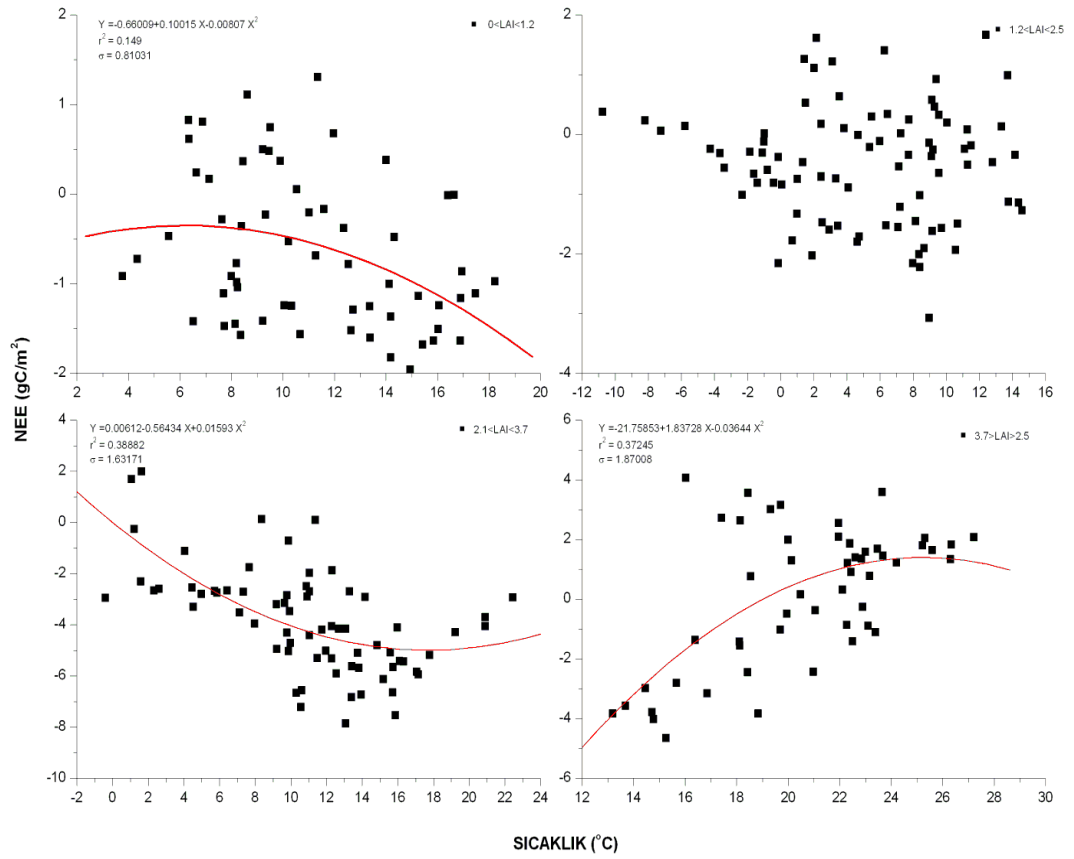
Şekil 5.11’de GPP ile PPFD arasındaki ilişkiler görülmektedir. Bu gelişme döneminde GPP ile PPFD arasında en iyi ilişki ($r^2=0.72$) 1. periyotta elde edilmiştir. Bilindiği üzere PPFD bitkinin fotosentez tarafından kullanılan radyasyon miktarının bir göstergesidir. Bitki gelişiminin PPFD değerinin arttığı 1. ve 3. dönemlerde artması PPFD ve GPP arasında bir ilişki bulunmasına neden olmaktadır. Ancak bitkinin sıcaklığının ve PPFD değerinin düşük olduğu dönemde doğal olarak GPP değeri ile yüksek bir ilişki bulunamamıştır. Yine fotosentez aktivitesinin yüksek olduğu 3. periyotta da iyi bir ilişki ($r^2=0.6$) bulunmuştur. Fotosentez aktivitesinin

düşüşe geçtiği 4. periyotta ise GPP ile PPFD arasında ilişki bulunamamıştır (Şaylan ve diğ, 2011b; Şaylan ve diğ, 2011d). Bunun sebebi bu dönemde bitki fotosentez aktivitesini azaltıp, kurumaya başlamışken, PPFD değerlerinin ise artmasıdır.



Şekil 5.11: 4 periyot için GPP ile PPFD arasındaki ilişki (2009-2010).

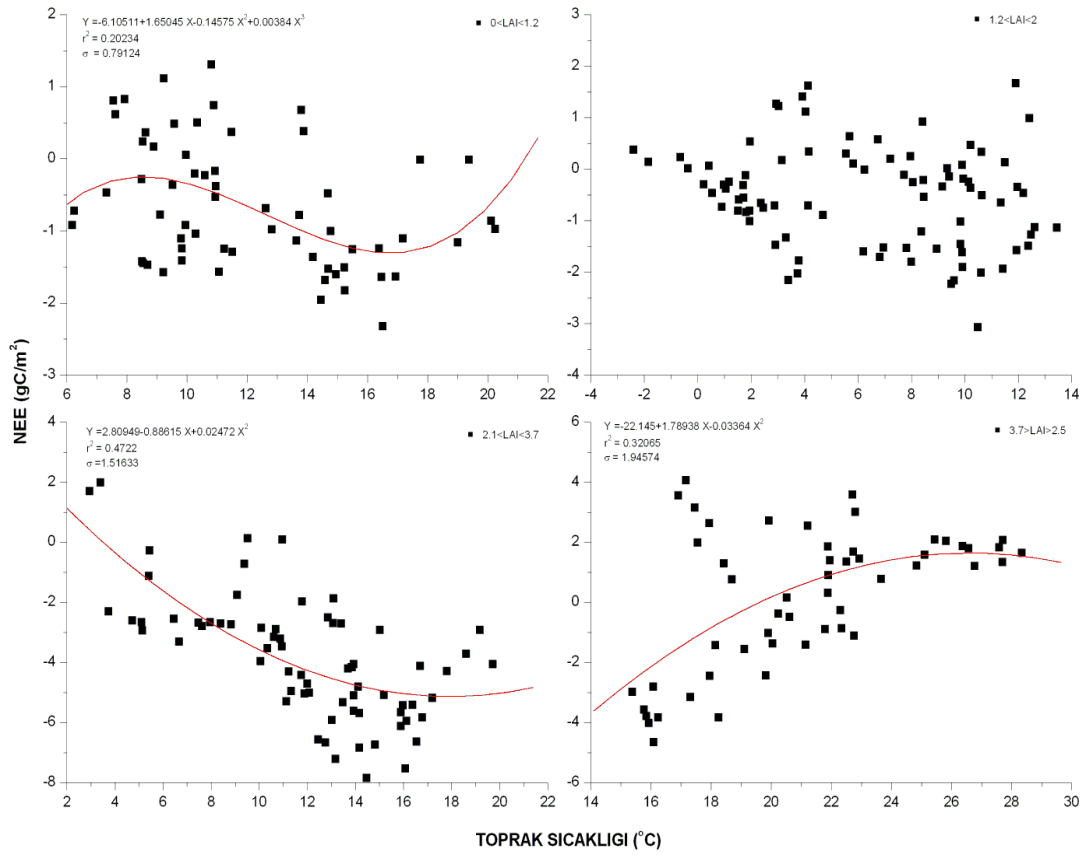
Şekil 5.12’de 2009-2010 kışlık buğday bitkisi gelişme dönemine ait NEE ile hava sıcaklığı arasındaki ilişkiler 4 ayrı periyot için verilmiştir. 2009-2010 gelişme döneminde NEE ile hava sıcaklığı arasında 4 periyot için de ilişki bulunamamıştır. Bunun en önemli sebeplerinden biri net ekosistem değişimi değerlerinin birden fazla meteorolojik parametreden ve bitkinin özelliklerinden etkilenmesidir. En yüksek belirlilik katsayıları 0.39 ile sapa kalkma çiçeklenme fenolojik aşamaları arasını kapsayan 3. periyot ve 0.37 ile çiçeklenme hasat fenolojik aşamaları arasını kapsayan 4. periyotta elde edilmiştir. 1. periyot için belirlilik katsayısı 0.15 olarak bulunmuşken kardeşlenmeden sapa kalkma fenolojik aşamasına kadar olan süreyi kapsayan 2. periyot için herhangi bir ilişki tespit edilememiştir (Şaylan ve diğ, 2011b; Şaylan ve diğ, 2011d).



Şekil 5.12: 4 periyot için NEE ile hava sıcaklığı arasındaki ilişki (2009-2010).

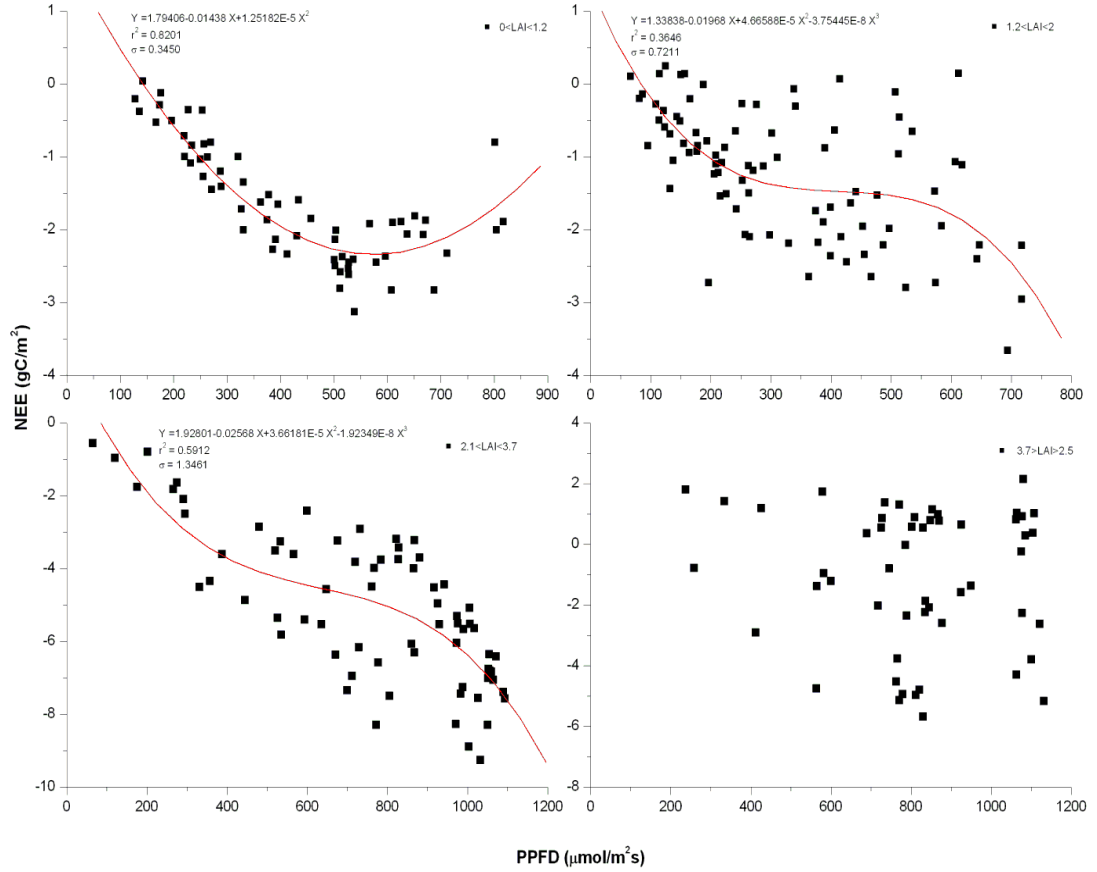
NEE ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişkiler Şekil 5.13'te gösterilmiştir. NEE ile hava sıcaklığı ile arasındaki ilişkilere paralel olarak yine tüm gelişme dönemi için iyi ilişkiler tespit edilememiştir. Maksimum belirlilik katsayıları 0.47 ile 3. periyot ve 0.32 ile 4. periyoda aittir. 1. periyot için belirlilik katsayısı 0.2 olarak tespit edilmiş ve 2. periyot dahilindeki verilere belirlilik katsayısı 0.1 değerinin üzerinde olan bir eğri oturtulamamıştır. Sonuç olarak bu iki periyot için NEE ile hava sıcaklığı arasında ilişki tespit edilememiştir.

Bu sonuçlar doğrultusunda gerek hava sıcaklığının gerekse toprak sıcaklığının, her ne kadar bitkinin gelişme döneminde olumlu ya da olumsuz etkileri olsa da, net ekosistem değişimini tahmin etmede tek başlarına yeterli meteorolojik faktörler olamayacakları sonucu ortaya çıkmıştır. Ancak bulunan sonuçlar doğrultusunda net ekosistem değişimini etkileyebilecek diğer meteorolojik parametrelerle birlikte, karbon birikiminin Yapay Sınır Ağları (YSA) ile modellenmesinde kullanılabilir.



Şekil 5.13: 4 periyot için NEE ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişki (2009-2010).

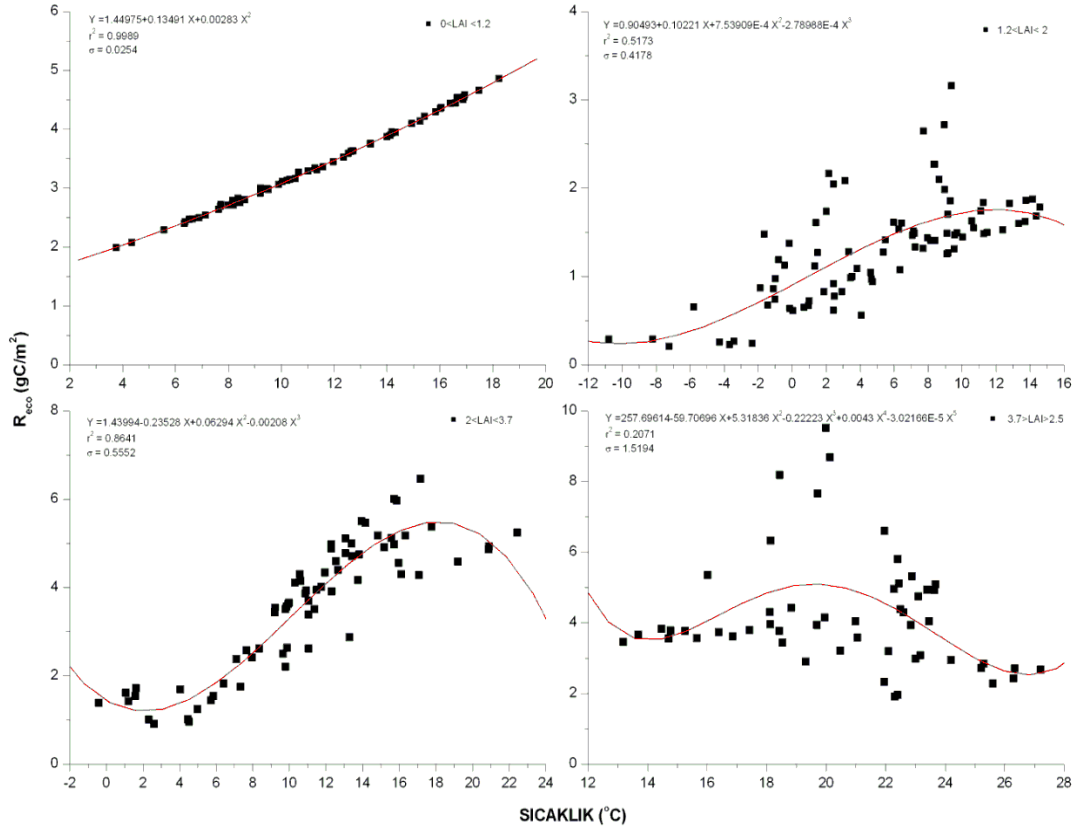
GPP ile PPFD arasındaki ilişkilerle benzerlik gösteren 4 farklı periyot için incelenmiş NEE ile PPFD arasındaki ilişkiler Şekil 5.14'te gösterilmiştir. NEE ile PPFD arasındaki en iyi ilişki ($r^2=0.82$) bitkinin ekiminden kardeşlenme aşamasının tamamlanmasına kadar geçen süreyi kapsayan 1. periyotta elde edilmiştir. 2 periyot için belirlilik katsayısı 0.35 olarak tespit edilmiştir. Bu değer bahsi geçen zaman aralığında NEE ile PPFD arasında bir ilişki vardır diyebilmek için yeterli değildir. 3. periyot için belirlilik katsayısı 0.6 olan 3. dereceden doğrusal olmayan bir ilişki elde edilmiştir. 3. periyot bitki gelişiminin de maksimum olduğu sapa kalkma ile çiçeklenme fenolojik aşamaları arasına denk gelmektedir. Bu dönemde artan PPFD değerleri ile buğday bitkisinin net ekosistem karbon değişimi arasında bir ilişki tespit edilebilmiştir. Ancak çiçeklenmeden hasada kadar olan süreyi kapsayan 4. periyotta bitki gelişiminin durması sebebiyle yüksek PPFD değerleriyle NEE arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır (Şaylan ve diğ, 2011b; Şaylan ve diğ, 2011d).



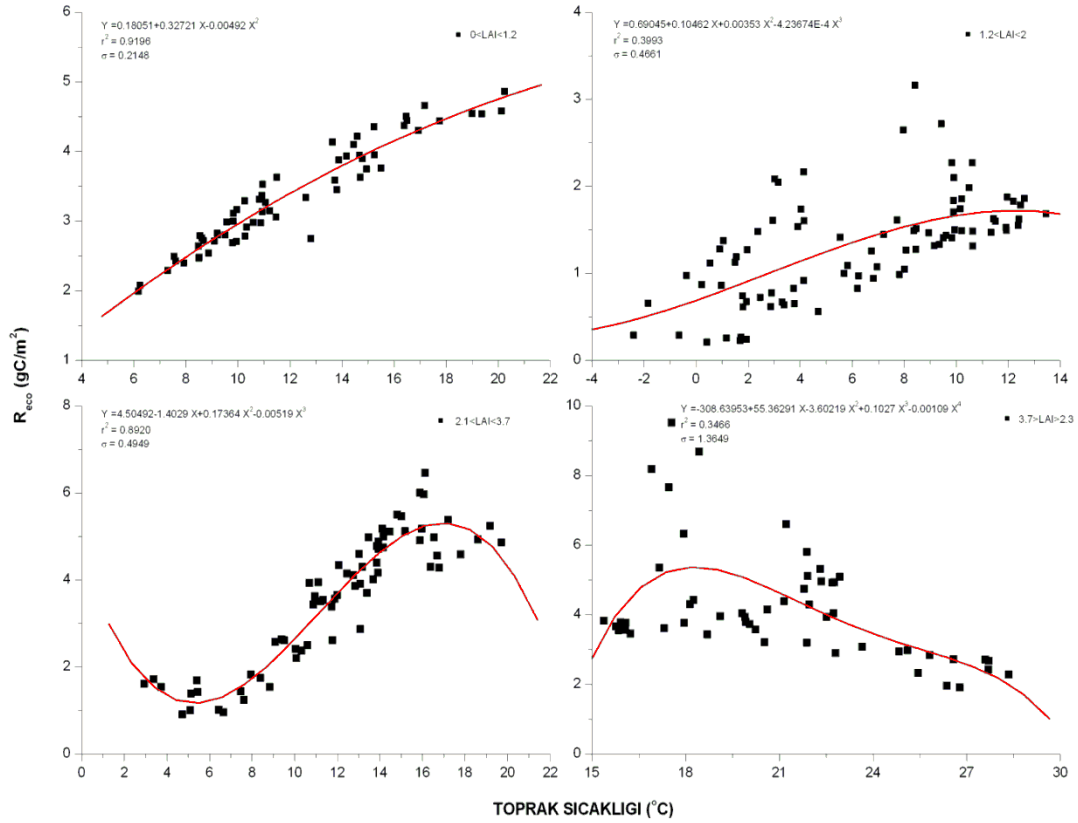
Şekil 5.14: 4 periyot için NEE ile PPFD arasındaki ilişki (2009-2010).

Ekosistem solunumunun hava sıcaklığı ile ilişkisi Şekil 5.15’de verilmiştir. Özellikle 1. ve 3. periyotlar için oldukça iyi ilişkiler elde edilmiştir. 1. periyot için belirlilik katsayısı 0.99 olan 2. dereceden doğrusal olmayan bir korelasyon tespit edilmiştir. 3. periyot için ise belirlilik katsayısı 0.86 olan 3. dereceden doğrusal olmayan bir ilişki belirlenmiştir. 2. periyot için belirlilik katsayısı 0.52 olan bir ilişki tespit edilirken bitkinin fotosentez aktivitesinin düşüşe geçtiği ve solunum aktivitesinin artmaya başladığı 4. periyotta hava sıcaklığı ile R_{eco} arasında ilişki bulunamamıştır (Şaylan ve diğ., 2011b; Şaylan ve diğ., 2011d).

Şekil 5.16’da R_{eco} ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişkiler verilmiştir. Hava sıcaklığıyla olan ilişkisine paralel olarak R_{eco} 1. ve 3. periyotta toprak sıcaklığı ile ilişkili çıkmıştır. Maksimum belirlilik katsayısı 0.92 ile ekim ile kardeşlenme fenolojik aşamaları arasını kapsayan 1. periyoda aitken, 0.9 belirlilik katsayısı ile 3. dönem (sapa kalkma ile çiçeklenme arası) ikinci sırada gelmektedir. 2. ve 4. periyotta ise (belirlilik katsayıları sırasıyla 0.4 ve 0.35) R_{eco} ile toprak sıcaklığı arasında ilişki tespit edilememiştir (Şaylan ve diğ., 2011b; Şaylan ve diğ., 2011d).



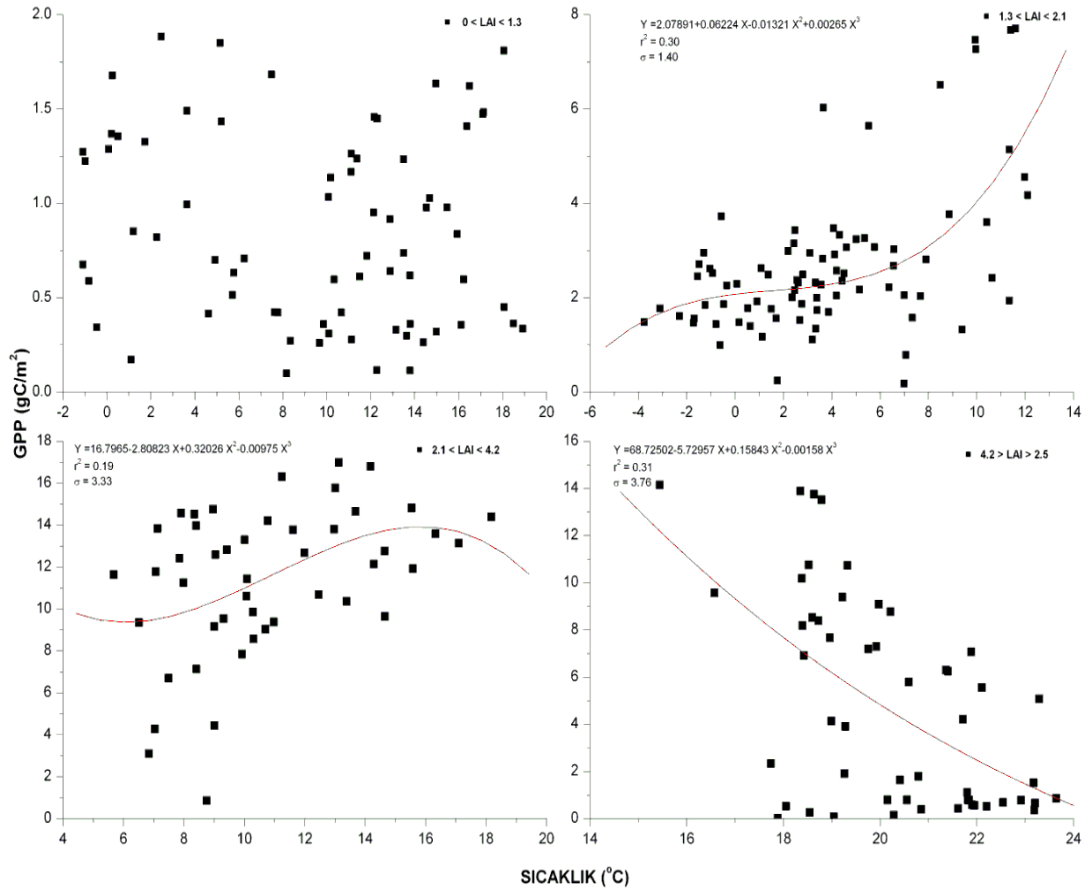
Şekil 5.15: 4 periyot için Reco ile hava sıcaklığı arasındaki ilişki (2009-2010).



Şekil 5.16: 4 periyot için Reco ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişki (2009-2010).

5.2.2 2010-2011 gelişme dönemine ait ilişkiler

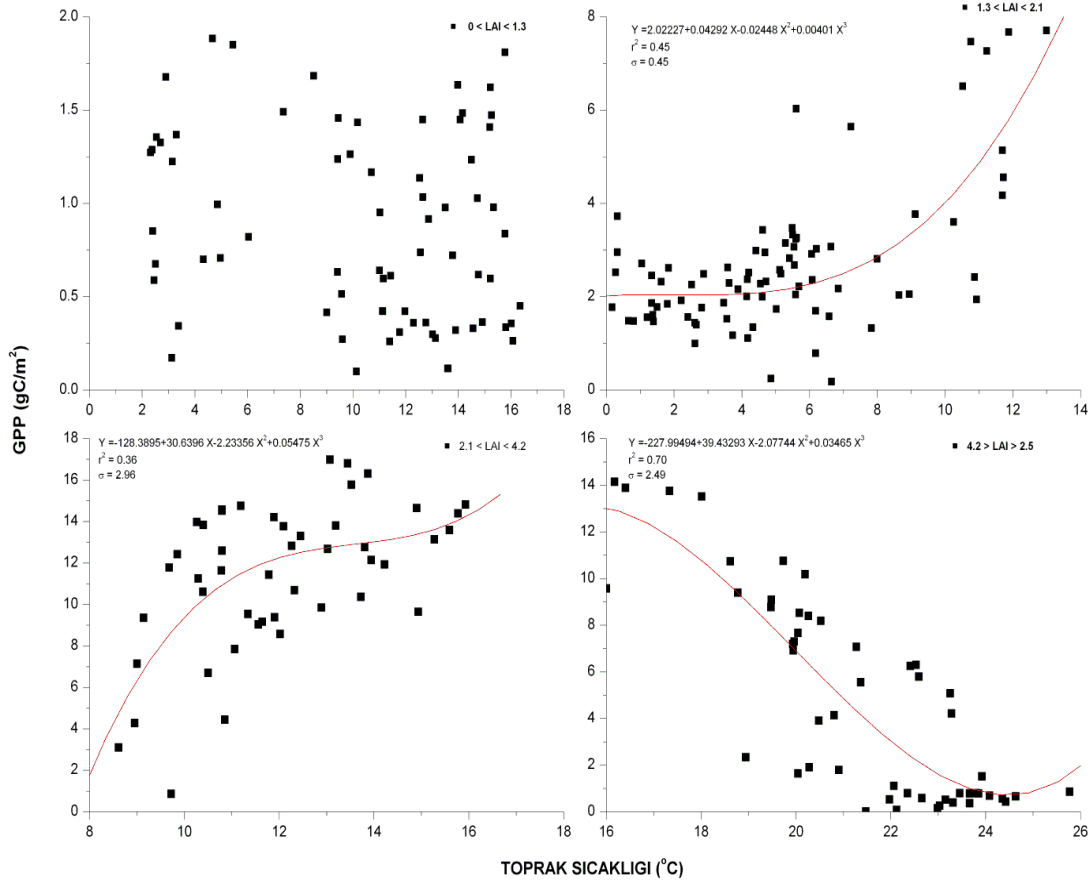
2010-2011 gelişme döneminde LAI 1. periyotta (ekim ile kardeşlenme fenolojik dönemleri arası) 0 ile 1.3, 2. periyotta (kardeşlenmeden sapa kalkmaya kadar) 1.3 ile 2.1, 3. periyotta (sapa kalkmadan çiçeklenmeye kadar) 2.1 ile 4.2 ve son olarak 4. periyotta (çiçeklenmeden hasata kadar) 4.2 ile 2.5 arasındadır. Şekil 5.17’de bu 4 farklı periyot için GPP ile hava sıcaklığı ilişkisi görülmektedir. Bu gelişme dönemi için GPP ile hava sıcaklığı arasında ilişki tespit edilememiştir. Ayrı ayrı periyotlar incelendiğinde 1. periyotta GPP ile hava sıcaklığı değerleri arasında herhangi bir korelasyon bulunamamıştır. En yüksek belirlilik katsayıları 0.3 ile 2. periyot ve 0.31 4. periyotta tespit edilmiştir. 2. periyot için elde edilen belirlilik katsayısı ise 0.19’dur (Şaylan ve diğ, 2012a).



Şekil 5.17: 4 periyot için GPP ile hava sıcaklığı arasındaki ilişki (2010-2011).

İkinci olarak GPP ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişkiler incelenmiştir (Şekil 5.18). GPP ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişkiler incelendiğinde, GPP’nin bu dönem için toprak sıcaklığı ile olan ilişkisinin hava sıcaklığıyla olana göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir. GPP ile toprak sıcaklığı arasında GPP-hava sıcaklığı ilişkisinde olduğu

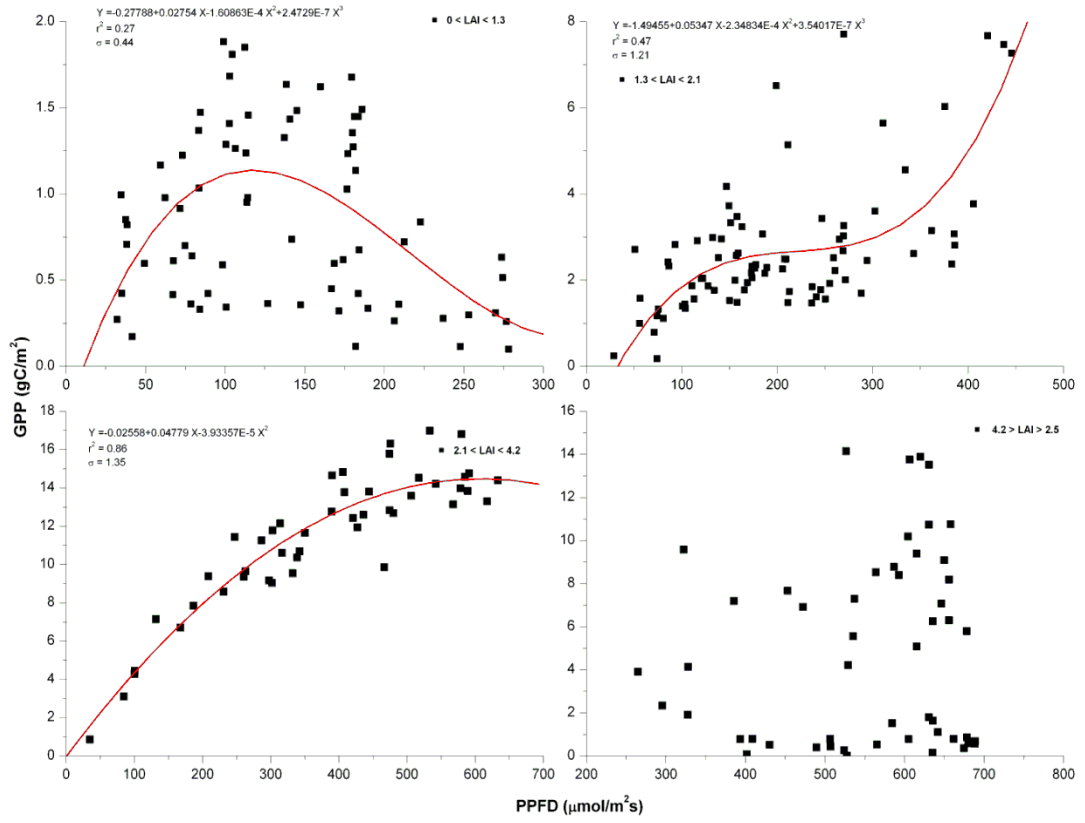
gibi yine 1. periyotta ilişki bulunamamıştır. 2. ve 3. periyotta iki parametre arasındaki belirlilik katsayıları sırasıyla 0.45 ve 0.36 olarak tespit edilmiştir. Fotosentez aktivitesinin düştüğü, çiçeklenmeden hasada kadar olan dönemi kapsayan 4. periyotta ise 0.7 belirlilik katsayısına sahip doğrusal olmayan iyi bir ilişki bulunmuştur (Şaylan ve diğ, 2012a).



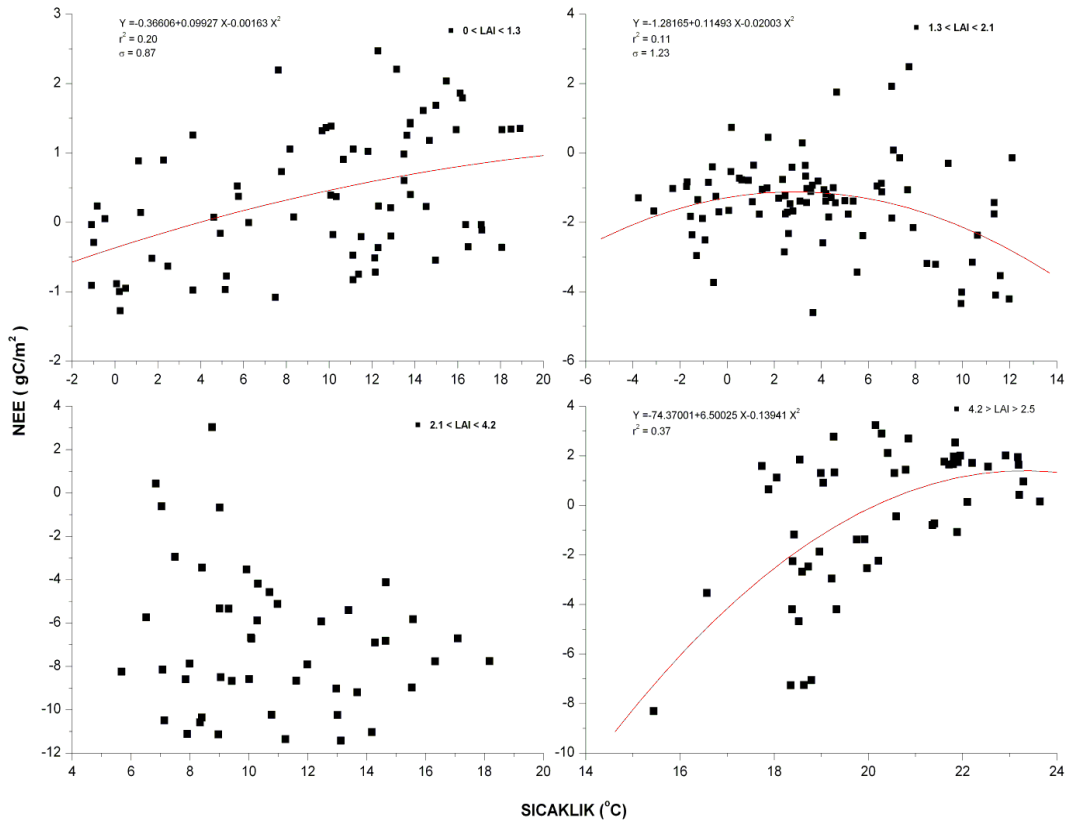
Şekil 5.18: 4 periyot için GPP ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişki (2010-2011).

GPP ile PPFD arasındaki ilişkiler Şekil 5.19’da görülmektedir. Bitkinin maksimum gelişme gösterdiği, fotosentez aktivitesinin arttığı 3. periyot için GPP ile PPFD arasında oldukça iyi bir doğrusal olmayan ilişki ($r^2=0.86$) bulunmuştur. Bitkinin gelişiminin durduğu, su kaybetmeye başladığı ve fotosentez aktivitesinin düşüşe geçtiği 4. periyot için ise ilişki tespit edilememiştir (Şaylan ve diğ, 2012a).

NEE ile hava sıcaklığı arasındaki ilişki Şekil 5.20’de verilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı üzere bu gelişme döneminde NEE ile hava sıcaklığı arasında iyi ilişkiler tespit edilememiştir. En yüksek belirlilik katsayısı 0.37 ile 4. periyoda aittir (Şaylan ve diğ, 2012a).

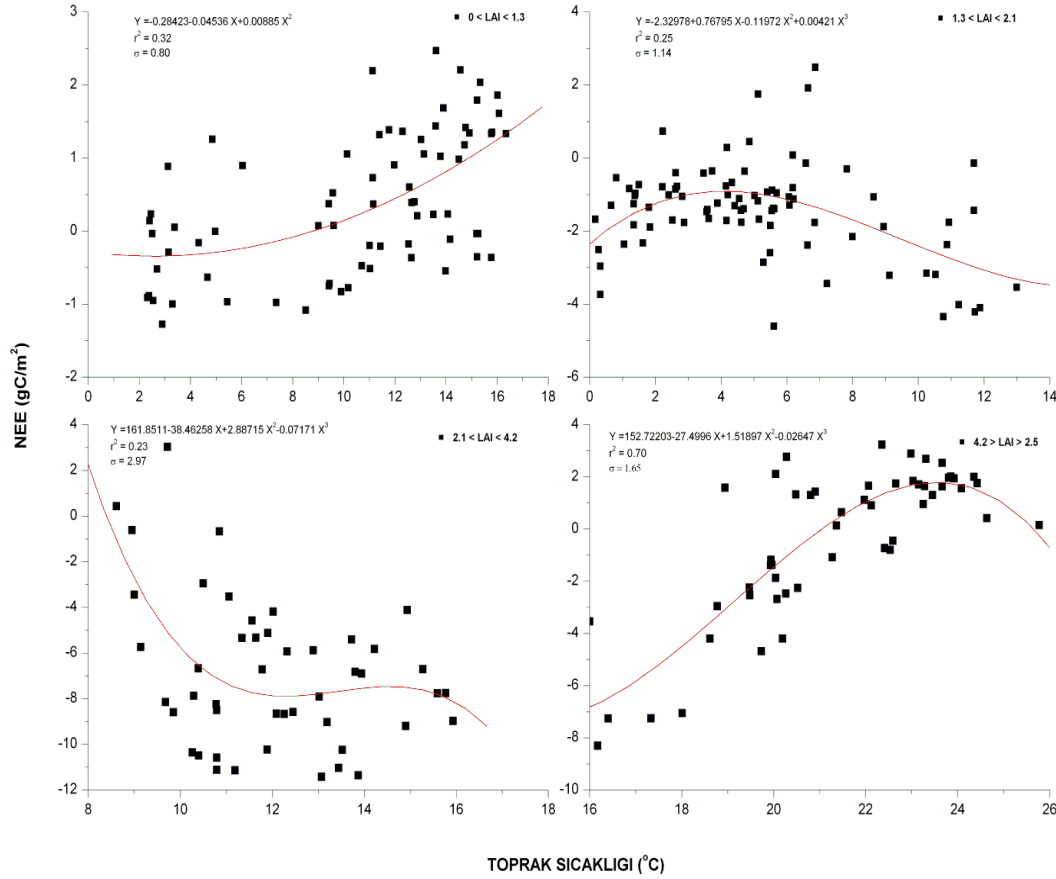


Şekil 5.19: 4 dönem için GPP ile PPFD arasındaki ilişki (2010-2011).



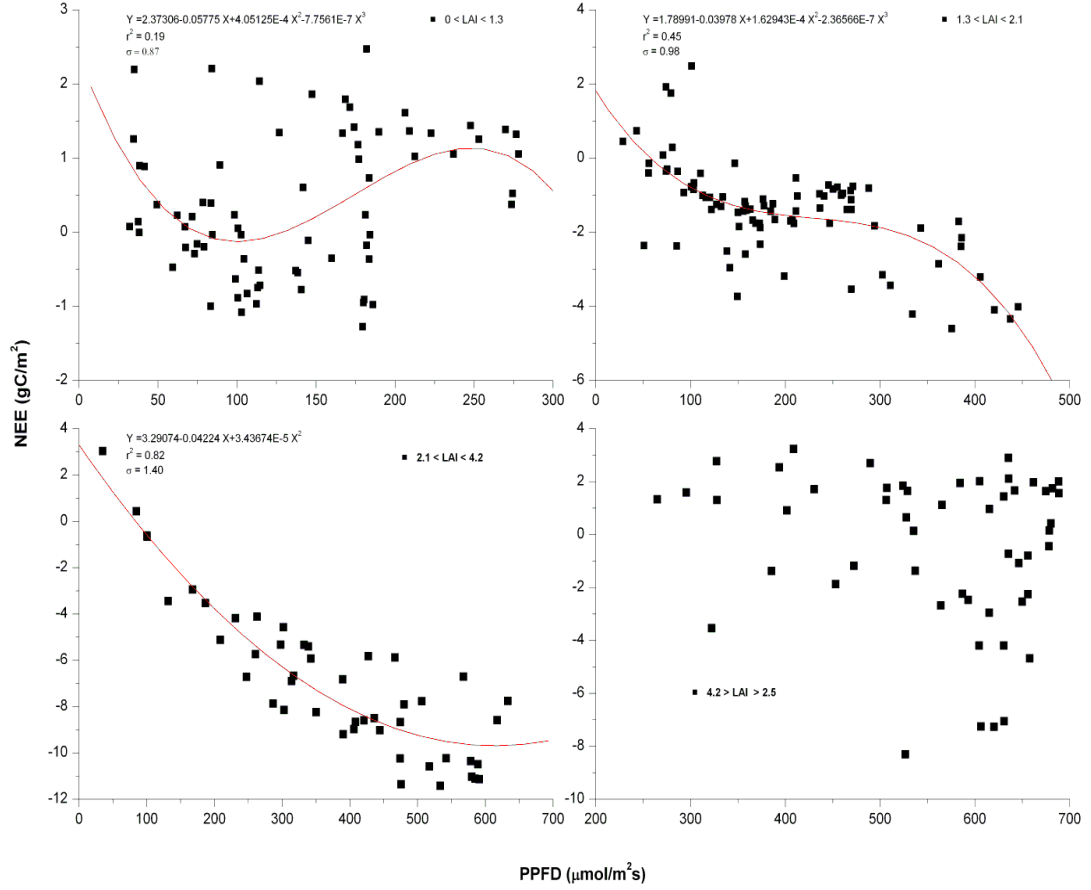
Şekil 5.20: 4 periyot için NEE ile hava sıcaklığı arasındaki ilişki (2010-2011).

Şekil 5.21’de NEE ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişki görülmektedir. Sadece 4. periyot için belirlilik katsayısı 0.7 ile doğrusal olmayan bir ilişki tespit edilmiştir. 1. 2. ve 3. periyotlar için belirlilik katsayıları sırasıyla 0.32, 0.25 ve 0.23 olarak bulunmuştur. Bu dönemlerde NEE ile toprak sıcaklığı arasında herhangi bir ilişki yoktur. 2010-2011 gelişme döneminde NEE ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişkinin, 4. periyot için NEE ile hava sıcaklığı arasındaki ilişkiye göre daha iyi olduğu görülmektedir (Şaylan ve diğ, 2012a).



Şekil 5.21: 4 periyot için NEE ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişki (2010-2011).

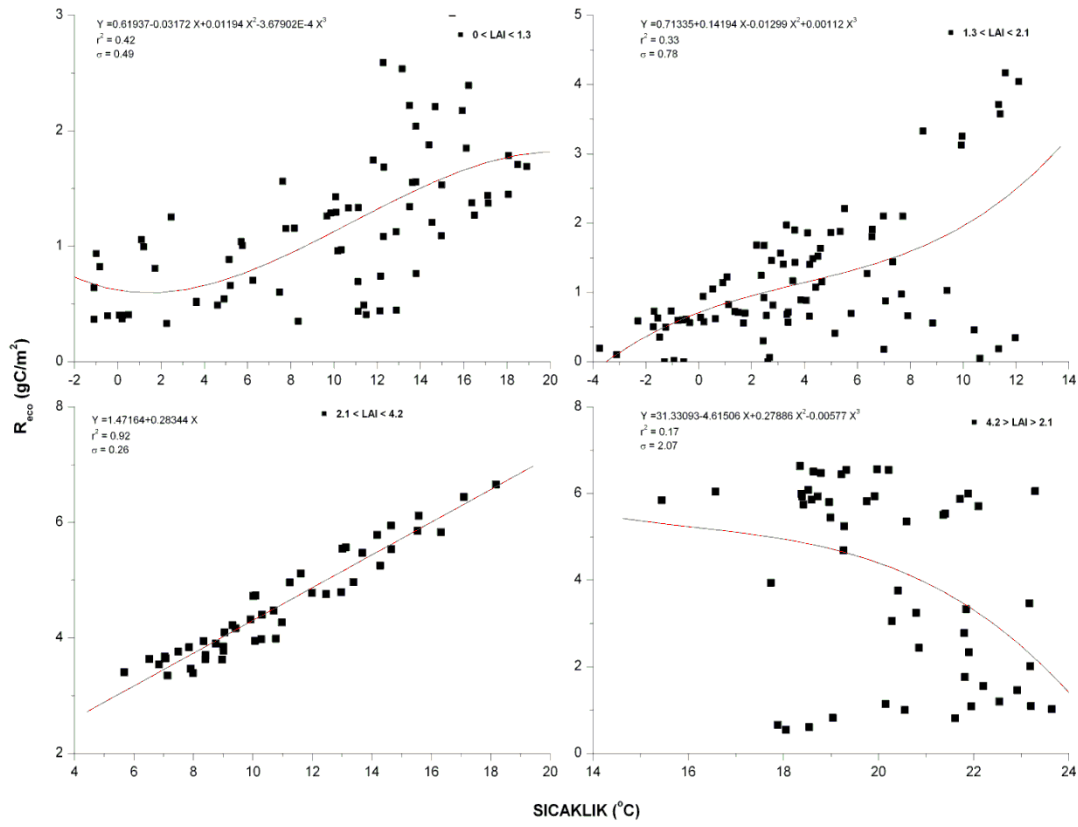
Şekil 5.22’de 4 farklı periyot için NEE ile PPFD arasındaki ilişkiler görülmektedir. GPP – PPFD ilişkisine paralel olarak burada da 3. periyotta daha iyi bir doğrusal olmayan ilişki tespit edilmiştir ($r^2=0.82$). Yine bitki gelişiminin iyice yavaşladığı çiçeklenmeden hasada kadar olan dönemi kapsayan 4. periyotta net ekosistem karbon değişimi ile PPFD arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır. Yine ilişki bulunamayan 1. ve 2. periyotlar için belirlilik katsayıları sırasıyla 0.19 ve 0.45 olarak tespit edilmiştir.



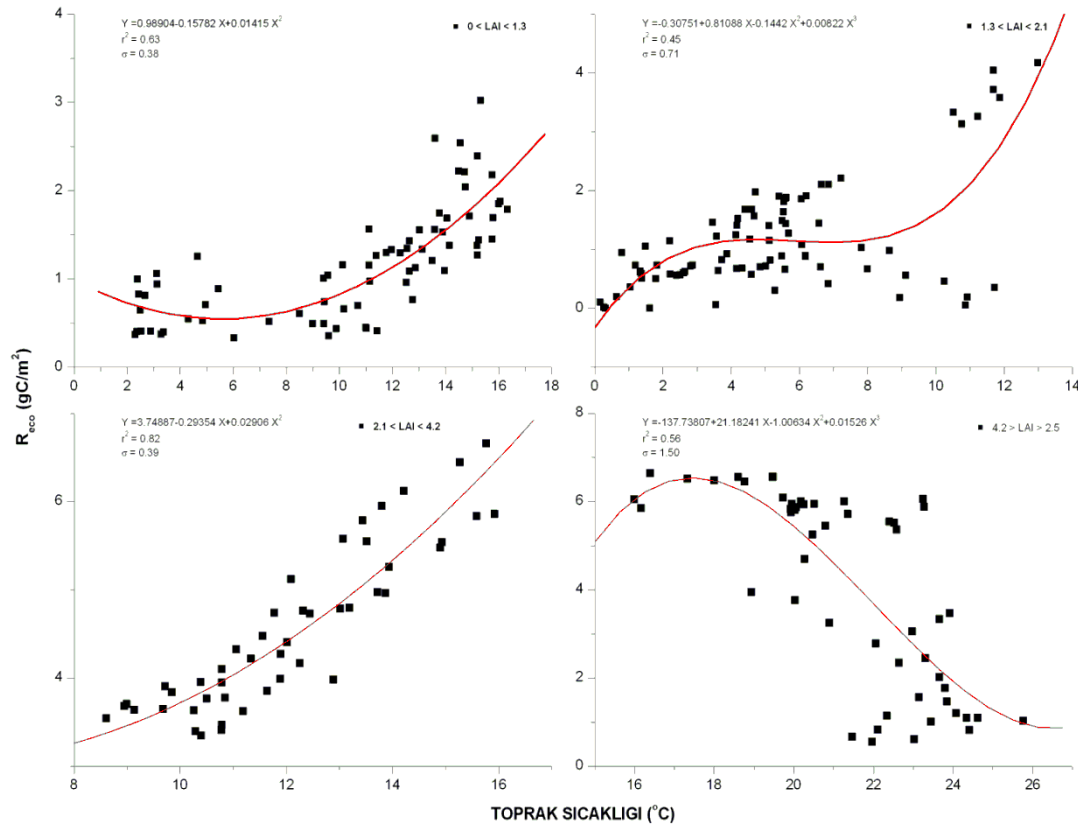
Şekil 5.22: 4 periyot için NEE ile PPFD arasındaki ilişki (2010-2011).

Şekil 5.23'te R_{eco} ile hava sıcaklığı arasındaki ilişkiler 4 periyot için de verilmiştir. 3. periyotta oldukça iyi bir doğrusal ilişki ($r^2=0.92$) tespit edilmiştir. Diğer dönemlere ait belirlilik katsayıları ise oldukça düşük çıkmıştır. Sırasıyla birinci, ikinci ve dördüncü periyotlar için belirlilik katsayıları 0.42, 0.33 ve 0.17'dir (Şaylan ve diğ., 2012a).

Şekil 5.24'te R_{eco} ile toprak sıcaklığı ilişkisi verilmiştir. Genel olarak bakıldığında ekosistem solunumu ile hava sıcaklığı arasındaki ilişkilere göre daha iyi ilişkiler tespit edilmiştir. R_{eco} ile toprak sıcaklığı arasındaki en düşük belirlilik katsayısı 0.45 ile 2. periyoda aittir. 4. periyot için belirlilik katsayısı 0.56 olan 3. dereceden doğrusal olmayan bir ilişki bulunmuştur. 1. periyot için ise belirlilik katsayısı 0.63 ile 2. dereceden doğrusal olmayan bir ilişki tespit edilmiştir. En iyi ilişki 0.82 belirlilik katsayısı ile sapa kalkma ile çiçeklenme fenolojik aşamaları arasını kapsayan 3. periyoda aittir (Şaylan ve diğ., 2012a).



Şekil 5.23: 4 periyot için Reco ile hava sıcaklığı arasındaki ilişki (2010-2011).



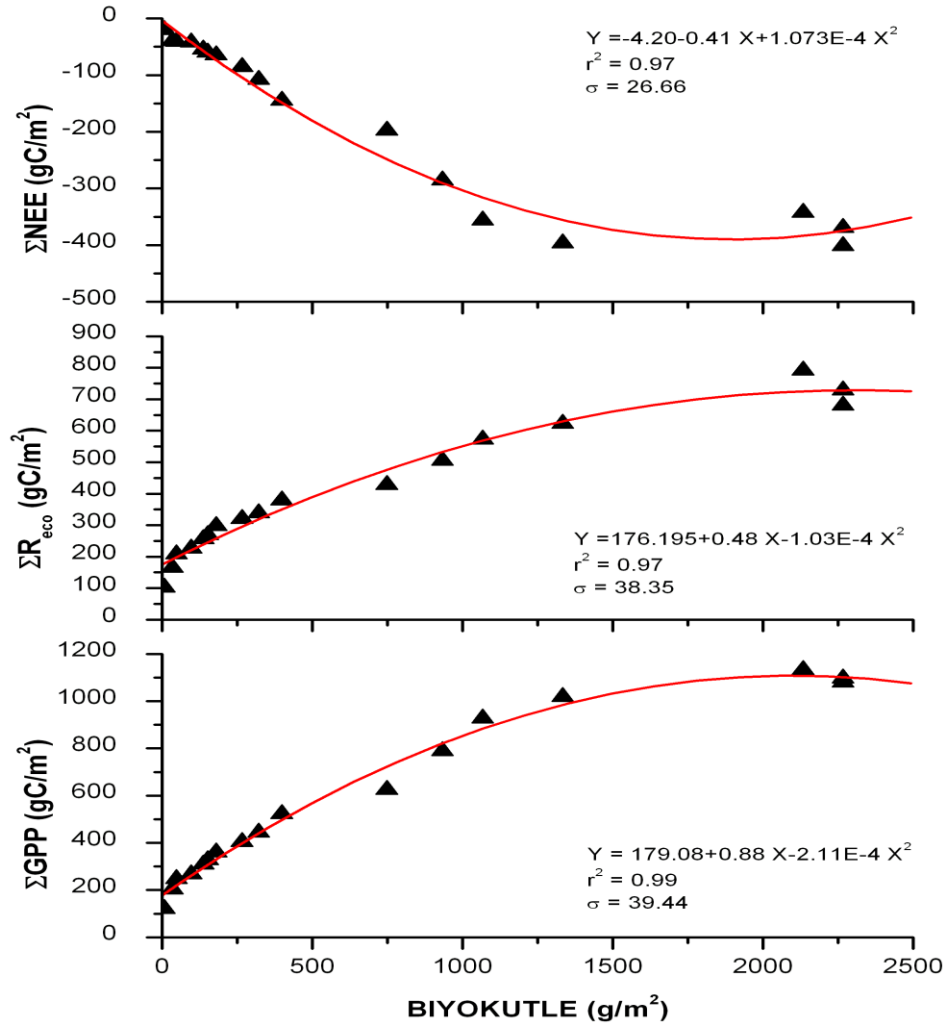
Şekil 5.24: 4 dönem için Reco ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişki (2010-2011).

5.3 Karbon Akıları ile Vegetasyon Dinamikleri Arasındaki İlişkiler

Her iki dönemde ölçülen karbon akıları ile bitkilerin gelişme durumlarının göstergesi olan LAI, NDVI ve sPRI (vegetasyon dinamikleri) arasındaki ilişkiler bu çalışmada incelenmiştir. Burada amaç ölçümü zor olan karbon akıları ile bu değişkenler arasında ilişki bulunması halinde, gelecekte ölçümü daha kolay olan bu faktörlerden yararlanarak karbon akılarının belirlenebilmesi için bir adım atmaktır. Aşağıda her iki gelişme dönemi için bu ilişkiler verilmiştir.

5.3.1 2009-2010 gelişme döneminde karbon akıları ve vegetasyon dinamikleri

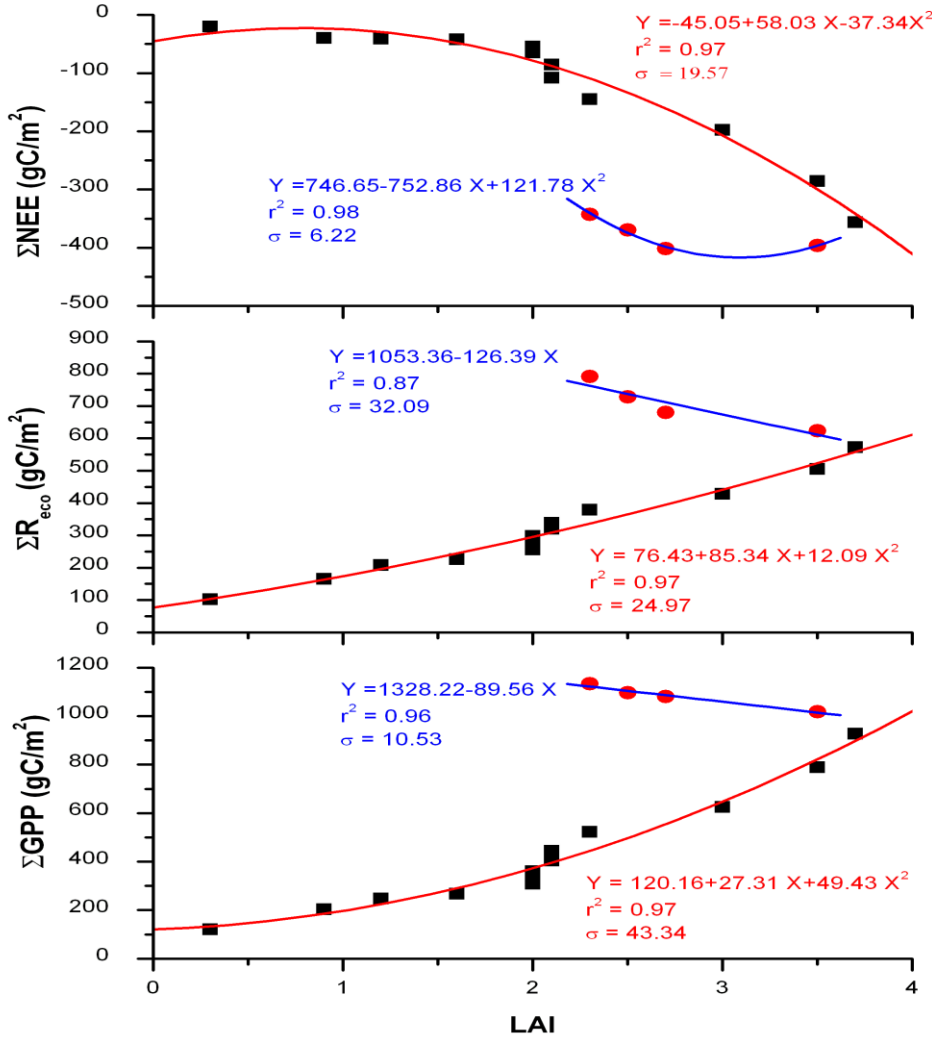
2009-2010 gelişme döneminde kışlık buğday bitkisinin ölçülen biyokütle değerleri ile yine ölçülen ΣGPP , ΣR_{eco} ve ΣNEE değerleri arasındaki ilişkiler Şekil 5.25'te gösterilmiştir.



Şekil 5.25: ΣGPP , $\Sigma Reco$, ΣNEE ile Biyokütle arasındaki ilişkiler (2009-2010).

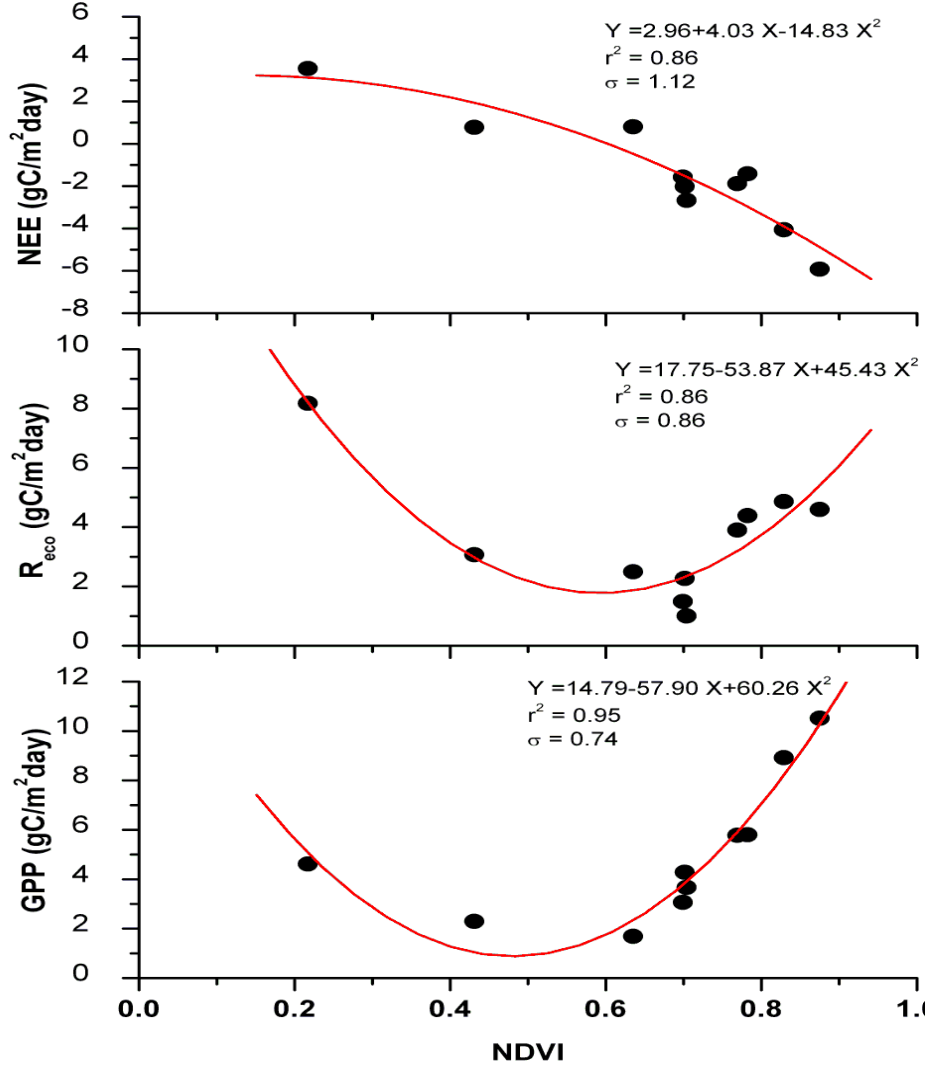
Şekilde de görüleceği üzere, tüm gelişme dönemi için incelenen bu ilişkiler sonucunda biyokütle ile ΣGPP arasında oldukça yüksek belirlilik katsayısı ile ($r^2=0.99$) doğrusal olmayan 2. dereceden bir ilişki bulunmuştur. Biyokütle ile ΣR_{eco} ve ΣNEE değerlerinin her ikisinde de $r^2=0.97$ belirlilik katsayısında doğrusal olmayan 2. dereceden ilişkiler bulunmuştur (Semizoğlu ve diğ., 2011b).

Bunlara ilave olarak ilk gelişme döneminde ΣGPP , ΣR_{eco} , ΣNEE ve LAI arasındaki ilişkiler incelenmiştir (Şekil 5.26). 2009-2010 yılında, gelişme dönemi LAI'nin sürekli arttığı (siyah kare noktalar) ve LAI'nin sürekli azaldığı (kırmızı yuvarlak noktalar) olarak iki periyoda ayrılmıştır. 1. periyot LAI'nin arttığı dönem, 2. periyot ise azaldığı dönemdir. Buna göre 1. ve 2. dönemlerde belirlilik katsayıları ΣGPP için 0.97 ve 0.96, ΣNEE için 0.97 ve 0.98 iken ΣR_{eco} için ise 0.97 ve 0.87'dir (Semizoğlu ve diğ., 2011b).



Şekil 5.26: ΣGPP , $\Sigma Reco$, ΣNEE ile LAI arasındaki ilişkiler (2009-2010).

ΣGPP , ΣR_{eco} , ΣNEE 'nin NDVI ile olan ilişkileri Şekil 5.27'de gösterilmiştir. 2009-2010 gelişme döneminde NDVI ilişkileri gelişme dönemi bölünmeden incelenmiştir. ΣGPP için belirlilik katsayısı 0.95, ΣR_{eco} ve ΣNEE için 0.86 bulunmuştur. Bulunan bu yüksek ilişkiler NDVI değerlerinden yararlanarak kümülatif karbon değişimin belirlenmesi bakımından son derece önemlidir (Semizoğlu ve diğ., 2011b).

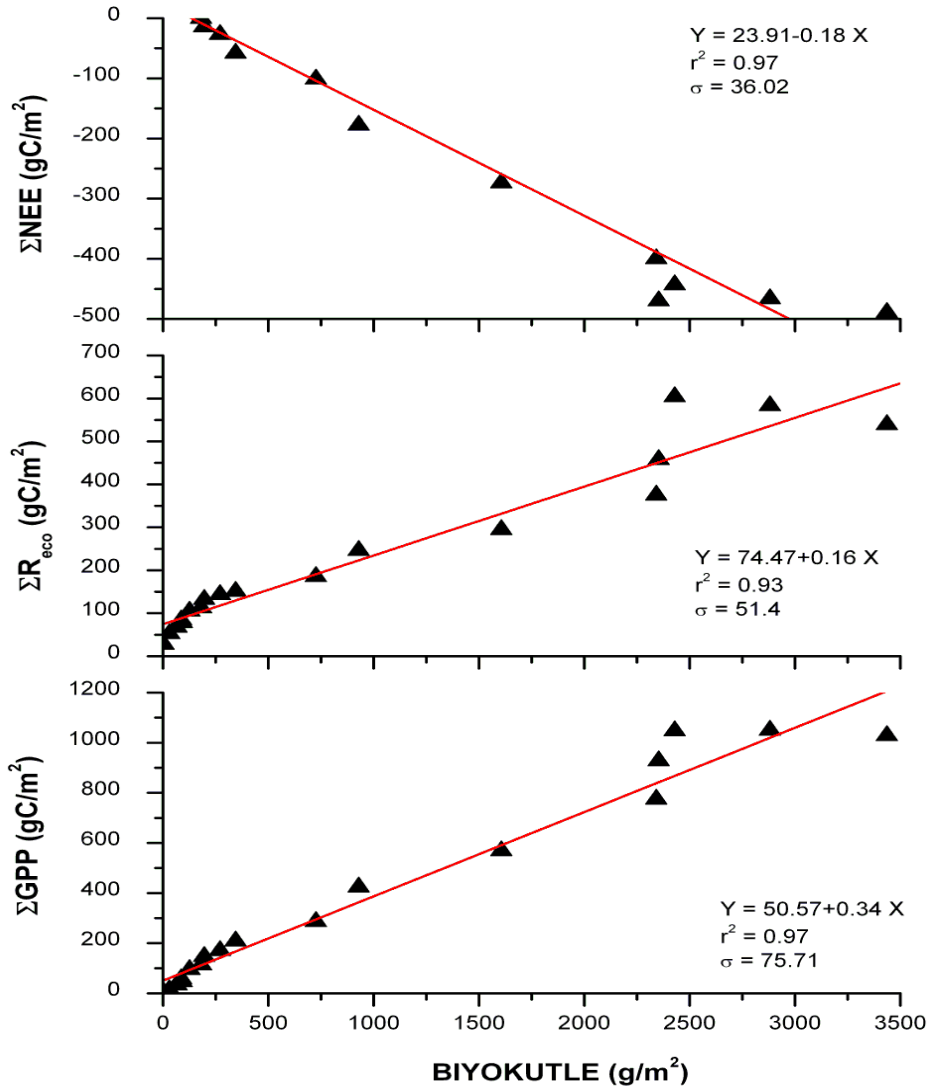


Şekil 5.27: ΣGPP , ΣR_{eco} , ΣNEE ile NDVI arasındaki ilişkiler (2009-2010).

5.3.2 2010-2011 gelişme döneminde karbon akıları ve vejetasyon dinamikleri

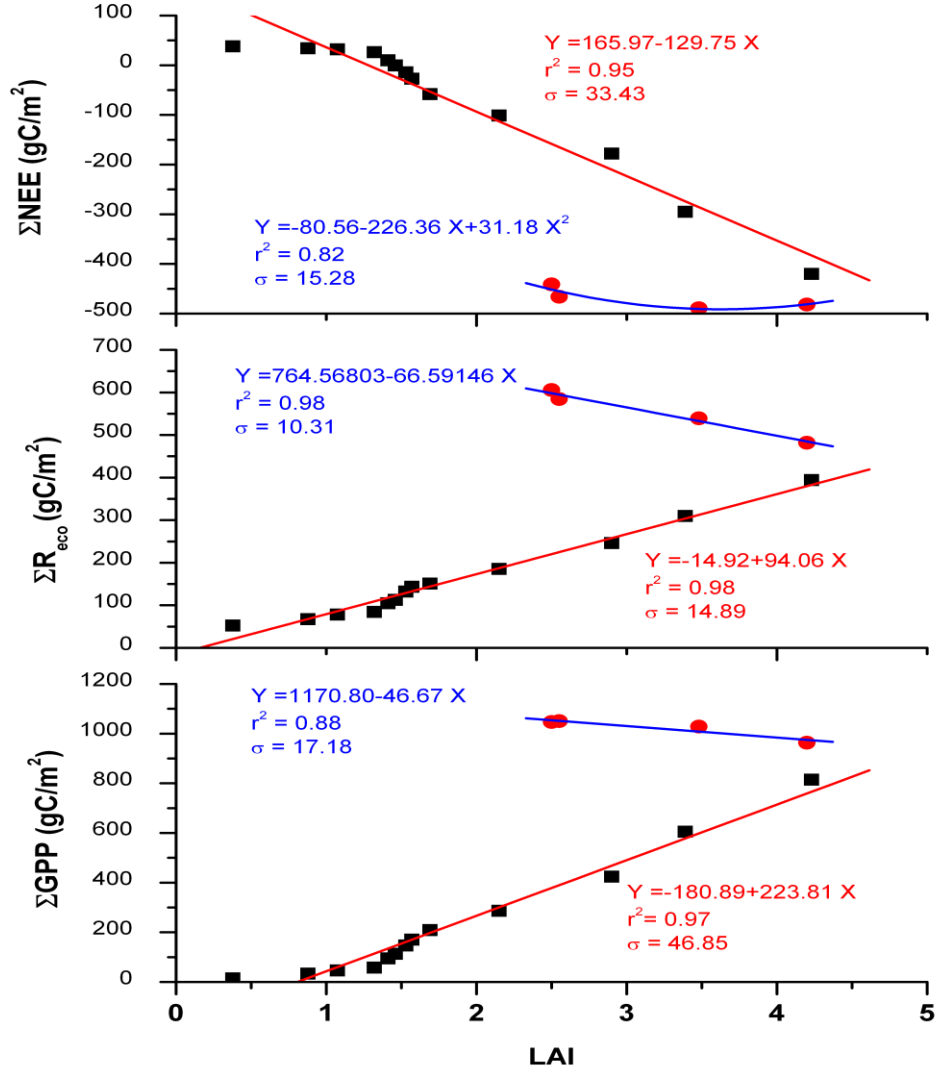
Kümülatif GPP, R_{eco} ve NEE ile biyokütle arasındaki ilişkiler Şekil 5.28'de verilmiştir. Tüm gelişme dönemi için incelenen bu ilişkiler sonucunda biyokütle ile karbon değişimi arasında yüksek korelasyon katsayısına sahip doğrusal ilişkiler tespit edilmiştir. Her üç karbon değişimi parametresi için belirlilik katsayıları 0.93 ile 0.97 arasında değişmektedir. Biyokütle ile karbon birikimi arasındaki ilişkiler, ölçüm

olmayan geniş alanlarda net karbon değişiminin belirlenmesinde ampirik bağıntıların kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Şaylan ve diğ, 2012a; Şaylan ve diğ, 2012c).



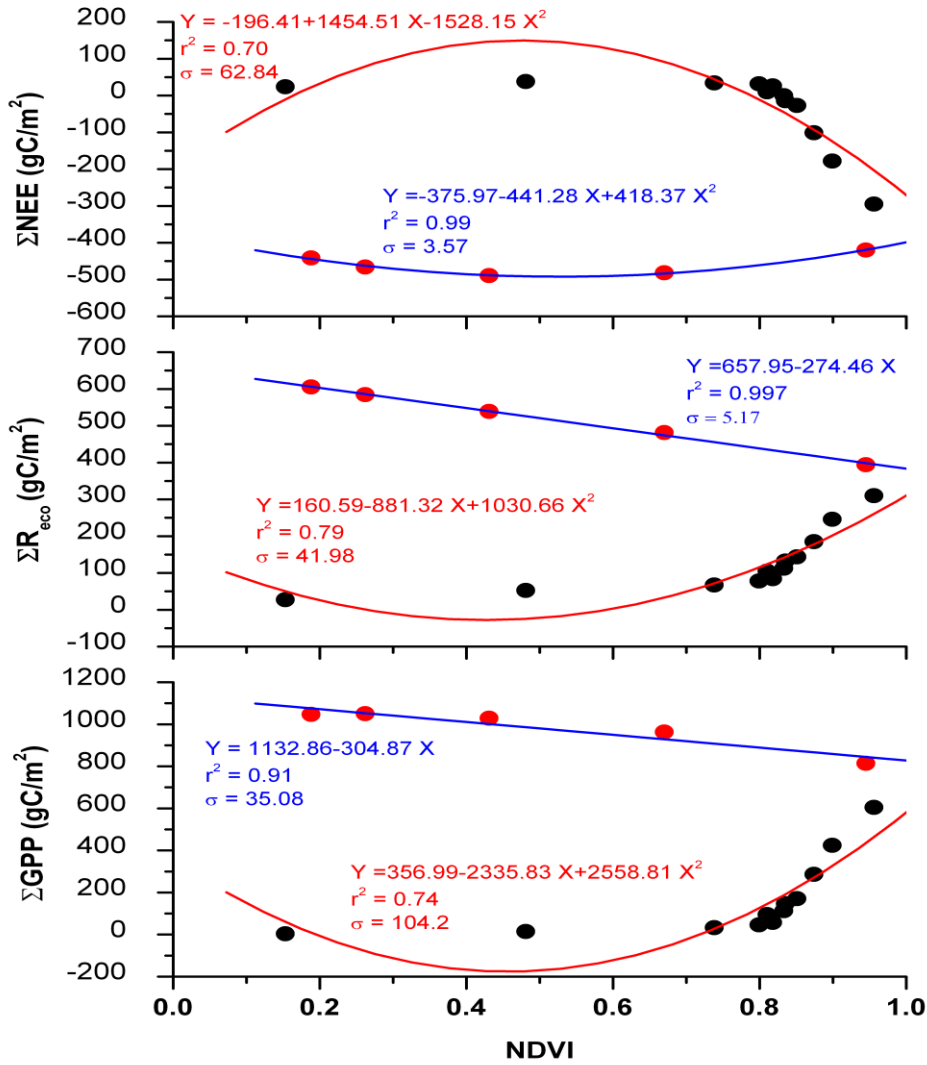
Şekil 5.28: ΣGPP , $\Sigma Reco$, ΣNEE ile biyokütle arasındaki ilişkiler (2010-2011).

Şekil 5.29’da karbon akılarının LAI ile olan ilişkileri verilmiştir. Bu ilişkiler incelenirken 2010-2011 kışlık buğday gelişme dönemi LAI’nin sürekli arttığı (siyah kare noktalar) ve LAI’nin sürekli azaldığı (kırmızı yuvarlak noktalar) olarak iki periyoda ayrılmıştır. 1. periyot LAI’nin arttığı dönem, 2. periyot ise azaldığı dönemdir. Buna göre 1. ve 2. dönemlerde belirlilik katsayıları ΣGPP için 0.97 ve 0.88, ΣNEE için 0.95 ve 0.82 iken, $\Sigma Reco$ için her iki dönemde de 0.98 olarak bulunmuştur (Şaylan ve diğ, 2012a; Şaylan ve diğ, 2012c).



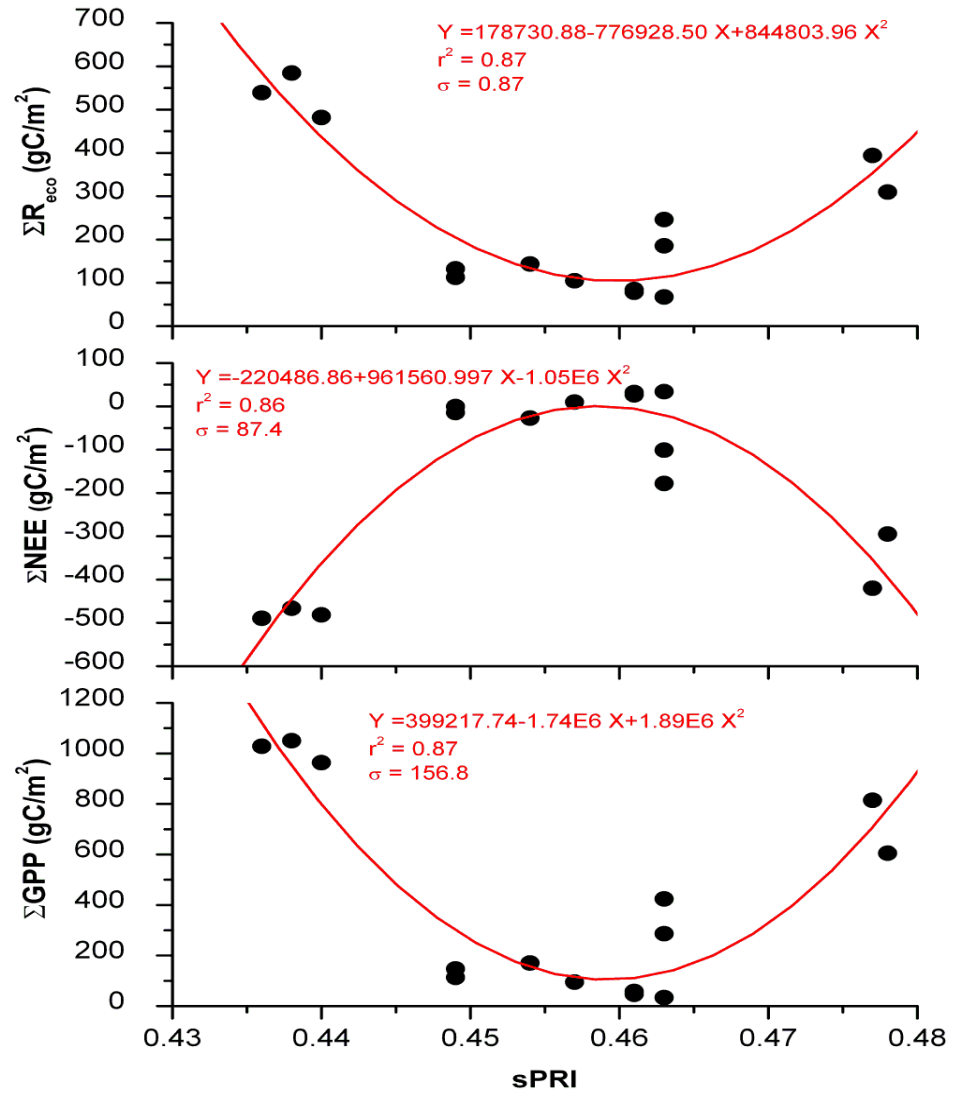
Şekil 5.29: Σ GPP, Σ Reco, Σ NEE ile LAI arasındaki ilişkiler (2010-2011).

NDVI ile olan ilişkiler Şekil 5.30'da gösterilmiştir. Burada da 2010-2011 gelişme dönemi içinde NDVI'nın sürekli arttığı dönem 1. periyot (siyah yuvarlak), sürekli azaldığı dönem ise 2. periyot (kırmızı yuvarlak) olarak kabul edilmiştir. Buna göre Σ GPP için belirlilik katsayıları sırasıyla 0.74 ve 0.91 olarak bulunmuştur. Σ Reco için belirlilik katsayıları 0.79 ve 0.997 ve Σ NEE için belirlilik katsayıları 0.70 ve 0.99 olarak hesaplanmıştır. NDVI ile karbon akıları arasındaki ilişkiler, özellikle eddy kovaryans ölçümlerinin yapılmadığı geniş arazilerin karbon birikimini belirlemek amacıyla, uydu verilerinin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bunun için öncelikle yersel spektrometrik ölçümlerle uydu ölçümlerinin karşılaştırılma çalışmalarının yapılmış ve ölçümlerinin uyumluluğunun tespit edilmiş olması gerekmektedir (Şaylan ve diğ., 2012a; Şaylan ve diğ., 2012c).



Şekil 5.30: ΣGPP , $\Sigma Reco$, ΣNEE ile NDVI arasındaki ilişkiler (2010-2011).

ΣGPP , ΣR_{eco} ve ΣNEE ile sPRI arasındaki ilişkiler incelenirken tüm gelişme dönemi birlikte ele alınmıştır. Bu ilişkiler Şekil 5.31’de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı üzere 3 karbon değişimi parametresi için de 2. dereceden doğrusal olmayan iyi ilişkiler tespit edilmiştir. Belirlilik katsayıları ΣGPP için 0.87, ΣR_{eco} için 0.86 ve ΣNEE için 0.87 olarak hesaplanmıştır. Tüm karbon akıları için iyi ilişkiler tespit edilmişse de sPRI değerleri bitkinin fotosentez aktivitesiyle daha çok ilişkili olduğundan, ölçüm yapılmayan bölgelerde solunum yerine daha çok brüt fotosentez ve net ekosistem karbon değişimi değerlerinin tahmininde kullanılabilir (Şaylan ve diğ, 2012a; Şaylan ve diğ, 2012c).



Şekil 5.31: ΣGPP , $\Sigma Reco$, ΣNEE ile sPRI arasındaki ilişkiler.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kırklareli’nde yürütülen bu çalışmada, kışlık buğday bitkisinin net karbon değişimi eddy kovaryans yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu amaçla 9 Ekim 2009-6 Temmuz 2010 ile 25 Ekim 2010-8 Temmuz 2011 tarihleri arasında CO₂ akıları ölçülmüştür. Gerekli düzeltmeler ve veri tamamlama işlemleri yapıldıktan sonra, NEE 2009-2010 gelişme dönemi için -354.9 g C m⁻² ve 2010-2011 gelişme dönemi için -441.3 g C m⁻² olarak bulunmuştur.

Karbon akıları ile meteorolojik faktörler arasındaki ilişkiler incelendiğinde, özellikle bitkinin fotosentez aktivitesinin arttığı zaman aralığında PPFD ile GPP arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. R_{eco} daha çok toprak sıcaklığıyla ilişkili çıkmıştır. Bitkinin gelişmişliğinin bir göstergesi olan vejetasyon dinamikleri ile (NDVI, LAI, sPRI, biyokütle) karbon akıları arasında da oldukça iyi ilişkiler tespit edilmiştir.

Toplam yağış miktarının ve yağışlı gün sayısının daha az olduğu 2010-2011 gelişme döneminde toplam NEE değeri daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi yağışlı günler sebebiyle kaybedilen verinin 2009-2010 gelişme döneminde daha çok olması ve tamamlama işlemlerinden dolayı net karbon değişiminin bu dönemde daha az tahmin edilmesi olabilir. İlk gelişme döneminde olgunlaşma döneminden sonra düşen yağış sebebiyle hasat için bitkinin kuruması beklenmiş ve bu süre içinde bitki karbon kaybetmiştir. 2. gelişme döneminde ise böyle bir sorunla karşılaşılmamış ve buğday planlandığı tarihte hasat edilmiştir.

Elde edilen sonuçların güvenilirliğini sağlamak için ölçümlerin daha uzun süreler devam ettirilmesi gerekmektedir. Uzun dönem ölçümler elde edildikten sonra sonuçlar, uzaktan algılama yöntemleriyle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabilir ve aralarında ilişki bulunması halinde daha geniş alanlar için net karbon değişimi hesaplanabilir.

Ülkemizin karbon bütçesinde karasal ekosistemlerin, özellikle de ormanların etkisini anlayabilmek amacıyla eddy kovaryans ölçümlerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir. Öncelikle ormanlar ve ülkemizde ekimi geniş alanlarda

gerçekleştirilen ticari bitkilerin net karbon ekosistem değişimleri hesaplanmalıdır. Bu amaçla ülkemizde küçük çaplı bir karbon akı ağı kurulabilir ve bu ağ belirli standartları yakalamak adına FLUXNET'e dahil edilebilir.

Uzun dönem karbon akı verisinin elde edilmesiyle farklı tarımsal faaliyetlerin bitkilerin karbon döngüsüne nasıl etki ettikleri, yapılan deneysel çalışmalarla ortaya konabilir ve bu bilgiler çiftçilerle paylaşılarak ekimi yapılan bitkilerin karbon alımının arttırılması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- Alberti, G., Vedove, G. D., Zuliani, M., Peressotti, A., Castaldi, S., Zerbi G.** (2010). Changes in CO₂ emissions after crop conversion from continuous maize to alfalfa, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 136, 139-147.
- Anthoni, P. M., Freibauer, A., Kolle, O., Schulze, D.** (2004). Winter wheat carbon exchange in Thuringia, Germany, *Agricultural and Forest Meteorology*, 121, 55-67.
- Aubinet, M., Moureaux, C., Bodson, B., Dufranne, D., Heinesch, B., Suleau, M., Vancutsem, F. ve Villet, A.** (2009). Carbon sequestration by a crop over a 4-year sugar beet/winter wheat/seed potato/winter wheat rotation cycle, *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, 407-418.
- Beziat, P., Ceschia, E. ve Dedieu, G.** (2009). Carbon balance of a three crop succession over two cropland sites in South West France, *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, 1628-1645.
- Burba, G. G. ve Anderson, D.** (2007). Introduction to the Eddy Covariance Method: General Guidelines and Conventional Workflow, Licor Biosciences.
- Burba, G. G., McDermitt, D. K., Grelle, A., Anderson, D. J. ve Xu, L.** (2008). Addressing the influence of instrument surface heat exchange on the measurements of CO₂ flux from open-path gas analyzers, *Global Change Biology*, 14, 1854-1876.
- Businger, J. A.** (1986). Evaluation of the accuracy with which dry deposition can be measured with current micrometeorological techniques, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 25, 1100-1124.
- Cabral, O. M. R., Gash, J. H. C., Rocha, H. R., Marsden, C., Ligo, M. A. V., Freitas, H. C., Tatsch, J. D. ve Gomes, E.** (2011). Fluxes of CO₂ above a plantation of Eucalyptus in southeast Brazil, *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, 49-59.
- Falge, E., Baldocchi, D., Olson, R., Anthoni, P., Aubinet, M., Bernhofer, C., Burba, G., Ceulemas, 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. E., Meyers, T., Moncrieff, J., Moors, E., Munger, J. W., Pilegaard, K., Rannik, Ü., Rebmann, C., Suyker, A., Tehnunen, J., Tu, K., Verma, S.,**

- Vesala, T., Wilson, K. ve Wofsy, S.** (2001). Gap filling strategies for long term energy flux data sets, *Agricultural and Forest Meteorology*, 107, 71-77.
- Foken, T.** (2008). *Micrometeorology*, Springer, Heidelberg, Berlin.
- Fuehrer, P. L., ve Friehe, C. A.** (2002). Flux corrections revisited, *Boundary-Layer Meteorology*, 102, 415-457.
- Glenn, A. J., Amiro, B. D., Tenuta, M., Stewart, S. E. ve Wagner-Riddle, C.** (2010). Carbon dioxide exchange in a northern Prairie cropping system over three years, *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 908-918.
- Grelle, A. ve Burba, G.** (2007). Fine-wire thermometer to correct CO₂ fluxes by open-path gas analyzers for artificial density fluctuations, *Agricultural and Forest Meteorology*, 147, 48-57.
- Hatala, J. A., Detto, M., Sonnentag, O., Deverel, S.J., Verfaillie, J. ve Baldocchi, D. D.** (2012). Greenhouse gas (CO₂, CH₄, H₂O) fluxes from drained and flooded agricultural peatlands in the Sacramento-San Joaquin Delta, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 150, 1-18.
- Jun, L., Yu, Q., Sun, X., Tong, X., Ren, C., Wang, J., Liu, E., Zhu, Z. ve Yu, G.** (2006). Carbon dioxide exchange and the mechanism of environmental control in a farmland ecosystem in North China Plain, *Science in China Series D* 49, Suppl. II, 226-240.
- Kaimal, J.C. ve Finnigan, J. J.** (1994). *Atmospheric Boundary Layer Flows, Their Structure and Measurement*, Oxford University Press, Newyork.
- Karayusufoglu, S., Şaylan, L., Çaldağ, B., Semizoğlu, E., Özkoca, Y., Çaylak, O. ve Bakanoğulları, F.** (2011). Estimation of biophysical parameters for winter wheat using remote sensing data, *The 10th European Conference on Applications of Meteorology*, Berlin, Almanya, 12-16 Eylül.
- Lloyd, J. ve Taylor, J. A.** (1994). On the temperature dependence of soil respiration, *Functional Ecology*, 8, 315-323.
- Moffat, A. M., Papale, D., Reichstein M, Hollinger, D. Y., Richardson, A. D., Barr, A. G., Beckstein, C., Braswell, B. H., Churkina, G., Desai, A. R., Falge, E., Gove, J. H., Heimann, M., Hui, D., Jarvis, A. J., Kattge, J., Noormets, A., ve Stauch, V. J.** (2007). Comprehensive comparison of gap-filling techniques for eddy covariance net carbon fluxes, *Agricultural and Forest Meteorology*, 147, 209-232.
- Moureaux, C., Debacq, A., Bodson, B., Heinesch, B. ve Aubinet, M.** (2006). Annual net ecosystem carbon exchange by a sugar beet crop, *Agricultural and Forest Meteorology*, 139, 25-39.

- 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., Knohl, A., Laurila, T., Lohila, A., Loustau, 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.
- Semizoğlu, E., Şaylan, L., Çaldağ, B., Bakanoğulları, F., Özkoca, Y. ve Çaylak, O. (2011a).** Mikrometeorolojik bir yöntemle buğday bitkisinin karbondioksit akılarının ölçülmesi, *V. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 27-29 Nisan.
- Semizoğlu, E., Şaylan, L., Çaldağ, B. ve Karayusufoglu, S. (2011b).** Assessment of relationship between winter wheat carbon exchange and vegetation dynamics, *The 10th European Conference on Applications of Meteorology*, Berlin, Almanya, 12-16 Eylül.
- Smith, P., Andren, O., Karlsson, T., Perala, P., Regina, K., Rounsevell, M. ve Wesemael, B. V. (2005).** Carbon sequestration potential in European croplands has been overestimated, *Global Change Biology*, 11, 2153-2163.
- Suyker, A. E., Verma, S. B., Burba, G. G. ve Arkebauer T. J. (2005).** Gross primary production and net ecosystem respiration of irrigated maize and irrigated soybean during a growing season, *Agricultural and Forest Meteorology*, 131, 180-190.
- Şaylan, L., Kimura, R., Munkhtsetseg, R., Kamichika, E. M. (2011a)** Variation of eddy fluxes of CO₂ over irrigated soybean (*Glycine max. L.*), *Theor. Appl. Climatol*, 105, 1-2, 277-286.
- Şaylan, L., Kaymaz Z. ve Bakanoğulları, F. (2011b)** TÜBİTAK 109R006 nolu proje 3. dönem araştırma geliştirme raporu.
- Şaylan, L., Kaymaz Z. ve Bakanoğulları, F. (2011c)** TÜBİTAK 109R006 nolu proje 4. dönem araştırma geliştirme raporu.
- Şaylan, L., Semizoğlu, E. ve Çaldağ, B. (2011d).** Karbondioksit akıları ile meteorolojik değişkenler arasındaki ilişkiler. *II. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi*, Ankara, Türkiye, 22-25 Kasım.
- Şaylan, L., Kaymaz Z. ve Bakanoğulları, F. (2012a)** TÜBİTAK 109R006 nolu proje 5. dönem araştırma geliştirme raporu.
- Şaylan, L., Çaldağ, B. ve Bakanoğulları, F. (2012b)** TÜBİTAK 108O567 nolu proje sonuç raporu.

- Şaylan, L., Semizoğlu, E., Karayusufoğlu, S., Çaldağ, B. ve Bakanoğulları, B.** (2012c). Evaluation of carbon, energy fluxes and spectral vegetation indices over winter wheat, *The 5th Conference on Water, Climate and Environment*, Ohrid, Makedonya, 28 Mayıs-2 Haziran.
- Tseng, K., Tsai, J., Alagesan, A., Tsuang, B., Yao, M. ve Kuo, P.** (2010). Determination of methane and carbon dioxide fluxes during rice maturity period in Taiwan by combining profile and eddy covariance measurements, *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 852-859.
- Webb, E. K., Pearman, G. I., ve Leuning, R.** (1980). Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapour transfer, *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, 106, 85–100.
- Xiao, J., Zhuang, Q., Law, B. E., Baldocchi, D. D., Chen, J., Richardson, A. D., Melillo, J. M., Davis, K. J., Hollinger, D. Y., Wharton, S., Oren, R., Noormets, A., Fischer, M. L., Verma, S. B., Cook, D. R., Sun, G., McNulty, S., Wofsy, S. C., Bolstad, P.V., Burns, S. P., Curtis, P.S., Drake, B. G., Falk, M., Foster, D. R., Gu, L., Hadley, J. L., Katul, G. G., Litvak, M., Ma, S., Martin, T. A., Matamala, R., Meyers, T. P., Monson, R. K., Munger, J. W., Oechel, W. C., Tha Paw, U. K., Schmid, H. P., Scott, R. L., Starr, G., Suyker, A. E. and Torn, M. S.** (2011). Assessing net ecosystem carbon exchange of U.S. terrestrial ecosystems by integrating eddy covariance flux measurements and satellite observations, *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, 60-69.
- <<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>>, alındığı tarih: 20.04.2012.
- <http://fluxnet.ornl.gov/sites/default/files/2011.05.06_growth_of_flux_net_continently.png>, alındığı tarih: 20.04.2012.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Elif Semizoğlu

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul/10 Ocak 1987

Adres: Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Daire Başkanlığı, Çubuklu/İstanbul

E-Posta: semizoglue@itu.edu.tr

Lisans: Meteoroloji Mühendisliği