

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**VEJETASYON YÜZEYİNİN CO₂ VE H₂O AKILARININ EDDY KOVARYANS
YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Toprak ASLAN

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**VEJETASYON YÜZEYİNİN CO₂ VE H₂O AKILARININ EDDY KOVARYANS
YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Toprak ASLAN

(511121012)

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Levent ŞAYLAN

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511121012 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Toprak ASLAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**VEJETASYON YÜZEYİNİN CO₂ VE H₂O AKILARININ EDDY KOVARYANS YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Levent ŞAYLAN**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Engin YURTSEVEN**

Ankara Üniversitesi

Yard. Doç. Dr. Barış ÇALDAĞ

İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **15 Aralık 2014**

Savunma Tarihi : **22 Ocak 2015**

B'ye,

ÖNSÖZ

Son yıllarda etkisi daha da şiddetli görülen küresel iklim değişiminin nedeni doğal ya da insan kaynaklı sera gazı emisyonunun artmasıdır. Dünya sera gazı bütçesinin belirlenmesi bu sorun ile mücadele edebilmek için gereklidir ve önemlidir. Bu amaçla genellikle ormanlar üzerinde uzun yıllardır akı ölçüm çalışmaları yürütülmekte ve kurulan sabit ölçüm istasyonlarının entegrasyonu ile akı ölçüm ağları kurulmaktadır (Euroflux, Ameriflux, Fluxnet vb.). Son yıllarda ormanların yanı sıra tarım arazilerine verilen önem artmıştır. Tarım arazilerinden kaynaklanan sera gazı emisyon ve yutak miktarlarının belirlenmesi elzemdir. Ülkemizde ne yazık ki bu konular ile ilgili yapılan çalışmalar oldukça azdır. Bu konudaki eksiği kapatması umuduyla bu tezde Eddy Kovaryans yöntemi ile karpuz bitkisinin karbon dioksit ve su buharı akıları belirlenmiştir.

Yüksek Lisans öğrenimim boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Levent ŞAYLAN ve Yard. Doç. Dr. Barış ÇALDAĞ'a, başta Zana EREN, Serhan YEŞİLKÖY, Zeki ÇELİKBAŞ ve Kübra AĞAÇ olmak üzere burada isimlerini sayamadığım kıymetli arkadaşlarıma ve hayatımın her aşamasında moral ve motivasyon kaynağı olan aileme yardımları için teşekkür ederim.

Ocak 2015

Toprak Aslan
(Meteoroloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	23
1.1. Tezin Amacı	25
1.2. Literatür Araştırması	25
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	33
2.1. Çalışma Alanı ve Ölçüm Sistemleri.....	33
2.2. Eddy Kovaryans Yöntemi	35
2.2.1. Verilerin Filtrelenmesi ve Eksik Verilerin Tamamlanması	38
3. TARIMSAL FAALİYETLER VE FENOLOJİK GÖZLEMLER.....	41
4. METEOROLOJİK ÖLÇÜMLER.....	45
4.1. Toprak Özellikleri	50
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	53
5.1. Akı Ayak İzinin Tespiti.....	53
5.2. Karpuz Bitkisinin Karbon Değişimi	54
5.3. Karpuz Bitkisinin Buharlaşma Gizli Isı Akısı	63
5.4. Karbon Akıları ile Meteorolojik Değişkenler Arasındaki İlişkiler	66
5.5. Buharlaşma Gizli Isı Akısı ile Meteorolojik Değişkenler ve Karbon değişimi Arasındaki İlişkiler	68
5.6. Karbon Akıları ile Biyokütle Arasındaki İlişki.....	69
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ.....	81

KISALTMALAR

GPP	: Brüt Fotosentez
NEE	: Net Ekosistem Değişimi
R_{eco}	: Ekosistem Solunumu
RUE	: Radyasyon Kullanım Verimliliği
ET	: Evapotranspirasyon
ET_a	: Gerçek Evapotranspirasyon
EC	: Eddy Kovaryans
PPFD	: Fotosentetik Akı Yoğunluğu
KRK	: Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü
FAO	: Food and Agriculture Organization

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1: Karpuz bitkisinin gelişme dönemi boyunca yapılan tarımsal faaliyetler.	41
Çizelge 4.1: Toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri	50
Çizelge 5.1: Ölçülen akının ait olduğu kaynaktan ölçüm noktasına olan mesafesi ..	54
Çizelge 6.1: Yapılan ölçüm, hesaplama ve analizler sonucunda elde edilen meteorolojik veri ve akı değerleri	73

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Çalışma alanının lokasyonu (Kırklareli)	34
Şekil 2.2: Karpuz bitkisinin yetiştirildiği deneme alanı (Kırklareli)	34
Şekil 2.3: EC ölçüm istasyonu ve tarımsal meteoroloji istasyonu.....	35
Şekil 2.4: Bitkinin kuru biyokütlesinin elde edilmesinde kullanılan kurutma fırını (temsili).....	35
Şekil 2.5: EC yöntemine göre ekosistemdeki hava akışı (Burba, 2013).	36
Şekil 2.6: EC yöntemine göre çalkantılar vasıtasıyla hava parsellerinin düşey taşınımı (Burba, 2013).....	36
Şekil 3.1: Karpuz bitkisine ait biyokütle değerleri	42
Şekil 3.2: Deneme alanına ait bir görüntü	42
Şekil 3.3: Bir bitkiden alınan dal sayısı	43
Şekil 3.4: Bitki boyunun gelişme dönemi boyunca değişimi (cm).....	43
Şekil 4.1: Günlük ortalama, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları.....	46
Şekil 4.2: Yağış miktarının zamanla değişimi.....	46
Şekil 4.3: Günlük ortalama, maksimum ve minimum bağıl nem.....	47
Şekil 4.4: Global ve Net radyasyonun zamansal değişimi	48
Şekil 4.5: Rüzgar şiddetinin zamana bağlı değişimi.....	48
Şekil 4.6: a) Rüzgar vektörünün x,y ve z eksenine bileşenleri; b) Rüzgar vektörünün z bileşeni.....	49
Şekil 4.7: Günlük ortalama toprak su içeriği	51
Şekil 4.8: 2 cm ve 5cm derinlikteki günlük ortalama toprak sıcaklıkları (°C).....	51
Şekil 5.1: Ham NEE verisine ait 3 boyutlu zaman serisi ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	55
Şekil 5.2: Gelişme dönemi boyunca doldurulmuş NEE'nin günlük değişimi ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$).....	56
Şekil 5.3: Gelişme dönemi boyunca GPP'nin günlük değişimi ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	56
Şekil 5.4: Gelişme dönemi boyunca R_{eco} 'nun günlük değişimi ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	57
Şekil 5.5: Gelişme dönemi boyunca günlük karbon akıları ($\text{g C m}^{-2} \text{gün}^{-1}$).....	58
Şekil 5.6: Gelişme dönemi boyunca NEE'nin değişimi (30 dakikalık veri ile)	58
Şekil 5.7: Gelişme dönemi boyunca R_{eco} 'nun değişimi (30 dakikalık veri ile).....	59
Şekil 5.8: Gelişme dönemi boyunca GPP'nin değişimi (30 dakikalık veri ile).....	59
Şekil 5.9: Gelişme dönemi boyunca kümülatif karbon akıları (g C m^{-2}).....	60
Şekil 5.10: NEE/GPP 'nin gelişme dönemi boyunca değişimi.....	61
Şekil 5.11: R_{eco} /GPP 'nin gelişme dönemi boyunca değişimi	62
Şekil 5.12: NEE/ R_{eco} 'nun gelişme dönemi boyunca değişimi.....	62
Şekil 5.13: Gelişme dönemi boyunca LE'nin günlük değişimi	64
Şekil 5.14: ET_a 'nın günlük değişimi.....	64
Şekil 5.15: Enerji kapalılığı (yüzey enerji dengesi bileşenleri ilişkisi)	65
Şekil 5.16: Büyüme derece gün (GDD) ile GPP ilişkisi.....	66

Şekil 5.17: Büyüme derece gün (GDD) ile NEE ilişkisi	67
Şekil 5.18: Büyüme derece gün (GDD) ile R_{eco} ilişkisi.....	67
Şekil 5.19: GPP/LE' nin gelişme dönemi boyunca değişimi.....	68

VEJETASYON YÜZEYİNİN CO₂ VE H₂O AKILARININ EDDY KOVARYANS YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

ÖZET

2012 yılı verilerine göre küresel sera gazı bütçesinde tarımın payı %10'dur. Ancak dünyada tarım sektöründen kaynaklanan sera gazı akıları ile ilgili çalışmalar orman alanları ile karşılaştırıldığında yeterli düzeyde değildir. Bu sebeple özellikle gelişmekte olan ülkelerde tarımdan kaynaklanan sera gazı hesabında IPCC tarafından önerilen üç aşamadan birinci aşama yani diğer ülkelerde yapılan araştırmaların sonuçlarına dayanan emisyon ve yutak katsayıları ve ilişkiler kullanılmak durumundadır. Ancak ülkeler farklı iklim toprak ve bitki çeşitlerine sahiptirler bu sebeple bu şartlarda yapılacak çalışmalardan elde edilecek sonuçlar ve geliştirilecek modellerle IPCC'nin tavsiye ettiği ikinci ve üçüncü aşamadaki sera gazı hesaplama alternatifleri kullanılabilir. Dolayısıyla ülkeler kendi şartları ve bitki çeşitleri için atmosfere verdikleri ve aldıkları sera gazları miktarını belirlemek durumundadır. Ülkemizde ne yazık ki tarımsal bitkilerden kaynaklanan sera gazı emisyonları ile ilgili uluslararası kabul gören yöntem ve teknoloji ile yapılmış araştırmaların sayısı yok denecek kadar azdır. Bu sebeple atmosfer ve biyosfer arasındaki gaz ve enerji akı değişimlerinin uluslararası kabul gören yöntem ve standartlarda yapılacak ölçümlerle belirlenmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında Kırklareli'nde bulunan Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü deneme alanında 2012 yılında vejetasyon yüzeyi olarak karpuz bitkisi ile atmosfer arasındaki karbondioksit ve su buharı akılarının değişimi uluslararası kabul gören mikrometeorolojik yöntemlerden Eddy Kovaryans yöntemi ile bir gelişme dönemi boyunca ölçülmüş ve belirlenmiştir. Çalışmada ana amaç tarım alanlarından kaynaklanan sera gazı değişiminin ülkemizdeki şartlar ve bitkiler için belirlenmesidir. Bu kapsamda karpuz bitkisi üzerinde yapılan bu ölçümler ve analizler sonucunda bu bitkiden dikimden ölçümler sonlandırılıncaya kadar geçen sürede atmosfere solunum ile salınan (emisyon), atmosferden fotosentez ile alınan ve bitki bünyesinde biriktirilen karbon miktarı ilk kez Dünya'da ve ülkemizde bu yöntem ve teknoloji ile belirlenmiş bulunmaktadır.

İlgili vejetasyon yüzeyi ile atmosfer arasında yukarıda bahsedilen periyotta yapılan ölçümler ve analizler sonucunda brüt fotosentez faaliyeti toplam $1160.2 \text{ g C m}^{-2}$ ($4246.3 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$), toplam ekosistem solunumu $846.35 \text{ g C m}^{-2}$ ($3097.6 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$) ve toplam net ekosistem değişimi (yutak) $-299.03 \text{ g C m}^{-2}$ ($-1094.45 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$) olarak belirlenmiştir. Günlük ortalama GPP, NEE ve Reco değerleri ise 8.99, -2.31 ve 6.56 g C m^{-2} olarak belirlenmiştir. Gelişme dönemi içerisinde günlük maksimum ve minimum GPP sırasıyla 17.64 ve 1.27 g C m^{-2} olarak tespit edilmiştir. Karpuz

bitkisinden atmosfere solunum faaliyeti ile salınan maksimum karbon miktarı 10.08 g C m^{-2} ve minimum karbon miktarı ise 2.91 g C m^{-2} olarak elde edilmiştir. İlgili bitki tarafından atmosferden yutulan maksimum karbon miktarı ise -9.09 g C m^{-2} olarak ölçülmüştür.

Bitkinin gelişme dönemi boyunca CO_2 'nin yanı sıra ilgili yüzeyden atmosfere salınan su buharı miktarıda (transpirasyon ve evaporasyon ile) EC yöntemiyle belirlenmiş ve sonuçta ilgili ölçüm döneminde meydana gelen gerçek evapotranspirasyon (ET_a) değeri 422.01 mm olarak ölçülmüştür. Karpuz bitkisinden meydana gelen günlük toplam en düşük ET_a 1.01 mm ve en yüksek de 7.26 mm olarak belirlenmiştir. Gelişme dönemindeki günlük ortalama ET_a 3.27 mm olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmanın bir diğer amacında ilgili bitki yüzeyinden CO_2 ve H_2O akıları ile meteorolojik ve bitki ile ilgili değişkenler arasındaki ilişkilerin araştırılmasıdır. Bu kapsamda GPP, NEE ve R_{eco} ile büyüme derece gün ve biyokütle arasında ilişkiler araştırılmıştır.

DETERMINATION OF CO₂ AND H₂O FLUXES OF A VEGETATION SURFACE BY A MICROMETEOROLOGICAL METHOD

SUMMARY

It is a common fact that global climate change is caused by increasing greenhouse gases concentration in the atmosphere. There are lots of gas flux measurements over surfaces such as forest, soil, croplands etc. 10 % of global green house gas budget is caused by agricultural sector (FAO, 2012). In the world, however; studies about greenhouse gas fluxes resulting from agricultural sector are insufficient when compared with the forest lands. Each countries should calculate their national greenhouse gas budget by considering IPCC recommendations, which consist of three approaches. One of them (Tier 1) can be used by developing countries which do not have special emmision and storage factors for the calculation of GHG budget for agricultural activities until now.

However, countries have different climate, soil and plant varieties. For this reason, together with the results obtained from studies by defined circumstances and developed models, the second (Tier 2) and third (Tier 3) alternatives of greenhouse gas calculation, which are recommended by IPCC, should be used. Therefore, countries are responsible to determine the greenhouse gas amount given to the atmosphere and taken back from the atmosphere according to their conditions and plant varieties. In our country, the number of studies conducted by internationally accepted methods and technology about greenhouse gas emissions and sink caused by agricultural crops are unfortuanetly insufficient. That's why, gas and energy flux changes between atmosphere and biosphere must be determined by measurements, which represent internationally accepted methods, instruments and standards.

In this study, carbon dioxide and water vapor flux exchanges between the vegetative surface and atmosphere are measured by an internationally accepted micrometeorological method, namely the Eddy Covariance method (EC) during one growing period of watermelon in 2012 at Kırklareli Atatürk Soil, Water and Agricultural Meteorology Research Institue, in the Kırklareli city of Turkey. Main goal of the study is to determine greenhouse gas exchange arising from agricultural field for domestic crop conditions.

Turkey is the second major watermelon producer with 20% production rate in the world after China, which has a 23% production rate (FAO, 2011). This product ratio has a big economical role in Turkey, although no study exists in Turkey or in the rest

of the world about CO₂ and H₂O above watermelon vegetation, using the EC method. In this context, carbon and water vapor fluxes above watermelon canopy were measured using EC method between plantation and harvest periods in the world for the first time.

The EC method is widely used to measure gas fluxes within the atmospheric boundary layer. After technological developments in 1990s, this technique has become one of the most used flux measurement methods. Corresponding technological developments let the wind velocity and gas concentration to be measured in 10 Hz interval. Covariance between the vertical wind velocity and gas concentration is the main principle of the method.

Major assumptions of method can be expressed as the measurements are conducted inside the boundary layer, fetch/footprint is adequate, flux is fully turbulent, as well as the terrain is horizontal and uniform. Moreover, the instruments are able to detect very small variations.

The method requires two main instruments, namely the 3D sonic anemometer and infrared gas analyzer. These instruments need to be mounted according to the fetch length/footprint, which are indicators whether the measured fluxes belong to the interested field. Generally, the fetch length can be determined as at least 100 times of plant height with respect to the horizontal distance between measurement point and the edge of the field.

To analyze the flux data, additional meteorological variables such as precipitation, global solar radiation, photosynthetic photon flux density (PPFD), net radiation, soil water content, soil temperature etc. should be measured at the same experiment field.

The flux can be obtained after the covariance calculation between the measured vertical wind velocity and gas concentration. Time series of the flux can have defective measurements. This type of incorrect data measured by the open path infrared gas analyzer can be resulted from frequency responses, precipitation, wind direction and calm wind. Once these erroneous fluxes have been detected, they should be removed from the related time series. Then, corresponding corrections are to be applied to the flux data such as the tilt correction, rotation correction and Webb, Pearman, Leuning (WPL) correction. Finally; gaps in data should be filled. After this last process net ecosystem exchange (NEE) and latent heat flux (LE) data can be obtained definitely.

The above mentioned process is the same for the carbon and water vapour fluxes. For the carbon fluxes, however, an additional step is to be taken to obtain the ecosystem respiration (R_{eco}). The NEE should be divided into R_{eco} and gross primary production (GPP).

The method is mathematically complex, and requires a lot of caution for setting up and processing data. Also, the necessary instruments for the application of this method is costly. Although there are such disadvantages, the EC is one of the most directly and

widely used methods in order to measure gas fluxes in the world.

After the measurements and analysis of CO₂ fluxes above watermelon surface for given period, the accumulated gross primary production (GPP), cumulative total ecosystem respiration (R_{eco}) and cumulative net ecosystem exchange (NEE) were determined as 1160.2 g C m⁻² (4246.3 g CO₂ m⁻²), 846.35 g C m⁻² (3097.6 g CO₂ m⁻²) and 299.03 g C m⁻² (-1094.45 g CO₂ m⁻²); respectively. Daily mean GPP, NEE and R_{eco} values were calculated as 8.99, -2.31 and 6.56 g C m⁻², respectively. During the growing period, daily maximum GPP was determined as 17.64 g C m⁻² and daily minimum GPP was found as 1.27 g C m⁻². Maximum and minimum carbon amounts emitted to the atmosphere from watermelon surface by respiration activity were calculated as 10.08 and 2.91 g C m⁻². Maximum carbon amount sinked from the atmosphere by the crop was measured as -9.09 g C m⁻². Emission factor for watermelon was determined as 6.56 g C m⁻² d⁻¹ (24 g CO₂ m⁻²d⁻¹). Additionally, daily average carbon sink was estimated as 2.31 g C m⁻² (8.45 g CO₂ m⁻²).

In addition to the CO₂ flux measurements in the growing period of crop, the water vapor amount given to the atmosphere (by transpiration and evaporation), which was determined by EC method and the actual evapotranspiration value was measured as 422.01 mm. Concordantly; daily total minimum and maximum ET_a during the growing period were determined as 1.01 and 7.26 mm, respectively. Daily mean total ET_a was calculated as 3.27 mm in the developing period of the watermelon plant.

As a result, it is obvious that this type of measurements should be carried out for additional growing periods and the flux studies above all agricultural crops should be increased, especially in the developing countries.

1. GİRİŞ

Dünya küresel iklim değişikiminin yarattığı risklerin tehdidi altındadır. Bu küresel iklim değişikimine; insan kaynaklı sera gazı salınımlarının artması başlıca sebep olarak gösterilmektedir. Tarım, bitkisel ve hayvansal üretim faaliyetleri ile atmosfere sera gazı veren ve alan bir sektördür. Toprağın işlenmesi, atılan gübreler, hayvansal üretim, bitkisel üretim (çeltik vb.), anız yakılması vb. gibi faaliyetler bu sera gazı değişikimine neden olan etmenlerdir. FAO'ya (2014) göre, tarım ve hayvancılıktan kaynaklanan sera gazı emisyonu (CO₂ eşdeğeri) 2011 yılında, 5.3 milyar ton'a ulaşmıştır. 2011 yılı verilerine göre, Dünya'da hayvansal üretim tarım sektöründen kaynaklanam toplam salınımın yaklaşık % 40'ını oluşturmaktadır. Gübreler, çeltik, anız yakma ve topraktan kaynaklanan sera gazları ise, Dünya'da tarımdan kaynaklanan sera gazı emisyonunun sırasıyla, % 13, % 10, % 5 ve % 39'unu meydana getirmektedir. Tarımdan kaynaklanan sera gazı emisyonunu azaltmak için yeni stratejilerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Fakat, ilk aşamada tarımın küresel sera gazı bütçesindeki payının daha iyi belirlenebilmesi için daha sağlıklı ve ülkelerin kendi bitkileri için belirleyecekleri ulusal verilere gereksinim vardır (Şaylan, 2015).

2012 yılında hesaplanan, CO₂ eşdeğeri olarak ülkemizin sera gazı emisyonları toplamı, yaklaşık 440 milyon ton'dur. Arazi kullanımı, arazi kullanımındaki değişim ve ormancılık (AKAKDO), bu bütçede dikkate alındığında, ulusal sera gazı bütçemiz yaklaşık 60 milyon ton azalmakta ve 380 milyon ton'a kadar düşmektedir. TÜİK tarafından, 2012 yılında ülkemizde tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan CO₂ eşdeğeri olarak, sera gazı emisyonlarının toplamı, 32 milyon ton olarak belirlenmiştir. Bu bütçeler IPCC Rehberi'ne göre tespit edilmişlerdir (<http://www.csb.gov.tr>, 2014). Toplam sera gazı bütçemizde enerji sektörünün payı yaklaşık % 70.2; tarım sektörünün ise yaklaşık % 7.3 olarak hesaplanmıştır (<http://www.csb.gov.tr>, 2014) (Şaylan, 2015).

Atmosfere salınan sera gazları konsantrasyonundaki artışa farklı sektörler etkiye bulunmaktadır. Bunlardan en fazla sera gazı salınımı yapan enerji sektörüdür. Tarım sektörünün buradaki payı enerji sektörünün onda biri kadardır. Tarımsal faaliyetler içerisinde bilhassa hayvancılık sektörünün atmosfere verdiği metan gazı emisyonu sera

gazı bütçelerinde önemli bir paya sahiptir. Diğer yandan tarımsal ürünlerden bilhassa çeltikten atmosfere metan gazı salınımı da tarımdan kaynaklanan sera gazı bütçesi hesabında dikkate alınır. Ancak tarımsal ürünlerin sera gazı salınımındaki payı değerlendirilirken bazı kabuller ve sınırlamalar söz konusudur. Burada özellikle tarımsal ürünlerin gelişme dönemi boyunca aldıkları (yutak) sera gazının, gelişme dönemi sonrasındaki dönemde meydana gelen emisyonlar (anız yakma vb.) tarafından dengelendiği düşünülmektedir. Ancak gerçek durumun ne olduğu konusunda yapılan ve yapılması gereken araştırmalar sözü edilen kabullerin geçerliliğini gösterecektir.

Dünya’da biyosfer atmosfer arasındaki sera gazı alışverişi üzerine yapılan sürekli ölçümlerin büyük bir kısmı ormanlarda yürütülmektedir. Tarım alanlarında da araştırmalar gün geçtikçe artmaktadır. Bu sebeple, geniş alanlarda ekilen veya dikilen bitkilerin ilk aşamada atmosfere verdikleri ve aldıkları sera gazı değerlerinin uluslararası kabul gören yöntem ve teknolojilerle belirlenmesi gereklidir. Ülkemizde ana besin kaynağı buğdaydır. Ülkemiz tarım alanlarının çok büyük bir kısmında tahıllar yetiştirilmektedir. Fakat üreticiler, genellikle ikincil ürün olarak ekonomik değeri de olması sebebiyle karpuz bitkisini de yetiştirmektedir. Ülkemiz sözü edilen meyvenin yetiştirilmesinde Çin’den sonra, dünyanın ikinci en büyük üreticisidir. Dünyadaki karpuz üretiminin yaklaşık % 20’si sadece ülkemiz tarafından karşılanmaktadır. Bu nedenle, bu meyvenin yetiştirilmesi sırasında CO₂ ve H₂O akılarının bitkinin yetiştirildiği ortamda nasıl değiştiğinin belirlenmesi son derece önemlidir. CO₂ akıları, brüt fotosentez (GPP), toplam ekosistem solunumu (R_{eco}) ve net karbon değişimi (NEE) bileşenlerinden meydana gelir. Karbon bütçesinin bileşenlerinin, bitki yüzeyinde belirlenmesi bu araştırmanın ana hedeflerinden biridir. Sonuçları karşılaştırılamayan modeller veya eşitlikler yerine, ülkemiz şartlarında yetiştirilen bir bitkinin, atmosfer ile arasındaki gaz değişiminin ölçülmesi ve gerçek verilerin ülkemiz şartlarında belirlenmesi bu araştırmada amaçlanmıştır.

Karpuz bitkisi sulamaya ihtiyaç duyar. Bu sebeple ülkemizde tarım alanında su kullanımını da etkiler. Karpuz bitkisinin su tüketiminin bilinmesi, sulama ve bu sistemlerin planlanması için son derece yararlı bir bilgidir. Ancak ilgili konuda yapılan araştırmaların çok büyük bir kısmı dış ülkelerde geliştirilen eşitliklere, noktasal, uzun zaman aralıklarında yapılan ölçümlere ve bazı kabullere dayanmaktadır. Bu araştırmada bir diğer hedefte, vejetasyon yüzeyinden meydana gelen gerçek evapotranspirasyonu (ET) su buharı (H₂O) gaz akısı olarak ölçmek ve hesaplamaktır.

Noktasal yani birkaç metrekairelik bir alan yerine, temsiliyeti daha yüksek olan binlerce metrekaire alandan meydana gelen buharlaşma gizli ısı akılarının ölçülmesi bu tez de hedeflenmiştir. Karpuz bitkisinin yetişme dönemi itibariyle ülkemizde yağışın az olduğu zamanda yetişmesi sebebiyle de gelişme dönemi içerisinde bitki su tüketimini karşılamak amacıyla sulamaya ihtiyaç duyan bitkilerdendir. Bu nedenle, ülkemizde çoğunlukla sulama yapılarak yetiştirilmektedir. Dolayısıyla bu bitkinin ET ile atmosfere verdiği su buharının gerçek değerinin bilinmesi sulamayla verilecek su miktarının belirlenmesinde kritik önem arz eder.

1.1. Tezin Amacı

Atmosfer ile biyosfer arasında meydana gelen su buharı ve karbondioksit değişiminin karpuz bitkisi için Kırklareli Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü arazisinde bir gelişme dönemi boyunca mikrometeorolojik yöntemlerden Eddy Kovaryans (EC) yöntemi ile ölçülmesi, belirlenmesi bu tezin ilk amacıdır. Bunlara ilave olarak, karbon bütçesinin bileşenlerinin (GPP, NEE, R_{eco}); dolayısıyla bu vejetasyon yüzeyi için bütçe hesaplamalarında kullanılacak emisyon ve yutak katsayılarının tespiti, bu tezin bir diğer amacıdır. Bunlara ilave olarak, su ihtiyacı sebebiyle sulanan bu bitkinin, gelişme dönemi boyunca atmosfere, transpirasyon ve evaporasyon (evapotranspirasyon) ile verdiği su buharı miktarının (Gerçek ET), hassas yöntem ve yüksek teknolojilerle ilk kez ülkemizde ölçülmesi ve belirlenmesi amaçlarından birdir. Ayrıca, CO_2 ve H_2O akıları ile meteorolojik ve bitki değişkenleri arasında ilişkilerde araştırılacaktır.

1.2. Literatür Araştırması

Dünyada tarımdan kaynaklanan sera gazı emisyonlarıyla ilgili çalışmalar bilhassa 1990'lı yıllardan sonra teknolojiye paralel olarak mikrometeorolojik yöntemlerin kullanılmasıyla artmaya başlamıştır. Dünyada bu tezin konusu ile ilgili yapılan çok sayıda çalışmanın bir kısmı aşağıda özetlenmiştir.

Mısır bitkisinin ET_a değerini ve bitki katsayılarını belirlemek amacıyla Li ve diğ. (2008) tarafından EC yöntemi kullanılarak yapılan bir çalışma Çin'de yürütülmüştür. Kuraklık sebebiyle sulama planlamasının önem kazandığı bölgede bir gelişme dönemi boyunca yürütülen çalışmada mısır bitkisinin toplam ve günlük ET_a değerleri sırasıyla

476.03 mm ve 2.96 mm olarak tespit edilmiştir. Gelişme ve hasat dönemindeki bitki katsayıları (k_c) ise FAO'nun belirlediği katsayılardan yüksek çıkmıştır. Yüzeyde bulunan kuru otların bitki gelişimini geciktirmesi nedeniyle hasat döneminde halen yeşil yapraklı bitkilerin olması katsayıların beklenenden yüksek çıkmasına sebep olmuştur.

Facchi ve diğ. (2013) tarafından İtalya'da Po ovasında yapılan bir çalışmada mısır bitkisinin buharlaşma gizli ısı akısı (ET_a) değeri 3 gelişme dönemi boyunca 2 farklı arazide nemli iklim koşullarında EC yöntemiyle belirlenmiştir. Gelişme dönemleri 136-146 gün aralığında değişen sezonların ortalama gerçek ET değeri dane mısır için 430 mm, silajlık mısır için 400 mm olarak ölçülmüştür. Bu değerler vasıtasıyla bitki katsayıları da başlangıç, olgunluk dönemi ve hasat dönemi için 0.33, 0.99 ve 0.89-0.35 olarak hesaplanmıştır. Olgunluk dönemi haricinde genel olarak bitki katsayıları FAO'nun geliştirdiği katsayıları teyit etmektedir. Fakat olgunluk dönemi bitki katsayısı FAO'nun tespit ettiği katsayıdan düşük çıkmıştır. Bunun sebebinin de düşük rüzgar şiddeti olduğu belirtilmiştir.

Çin'in kuzeybatısında mısır bitkisi üzerinde yürütülen başka bir çalışmada EC yönteminin kurak bölgeler için ET_a 'nın belirlenmesinde uygun bir yöntem olup olmadığı araştırılmıştır. Geniş ölçekli lizimetre kullanılarak elde edilen sonuçlar EC yöntemiyle karşılaştırılmıştır. EC yöntemi ve lizimetre ile bir gelişme dönemi boyunca ölçülen ET_a 'lar sırasıyla 562.4 mm ve 599.5 mm olmuştur. EC sonuçları lizimetre sonuçlarına göre % 6.2 oranında daha düşük çıkmıştır. Şiddetli yağış ve sulama günlerinin hariç tutulduğu zamanlarda ise bu oran % 3.2'ye düşmüştür. Elde edilen sonuçlar EC yönteminin bu bölge için kullanılabilir olduğunu göstermektedir (Ding ve diğ. 2010). Bu çalışmalara ek olarak mısır bitkisi üzerinde, su buharı ve karbon akılarının belirlenmesi amacıyla çeşitli bölge ve periyotlarda birçok çalışma yapılmıştır (Gharsallah ve diğ. 2013; Jiang ve diğ. 2014; Nana ve diğ. 2014; Alberto ve diğ. 2014; Bao ve diğ. 2014).

Suyker ve ark. tarafından Nebraska/ABD'de 2009 yılında yapılan çalışmada mısır ve soya fasulyesinin ET değeri EC yöntemiyle belirlenmiştir. Uzun dönem yapılan ölçümlerin 5 yıllık dönemini kapsayan çalışmada sulama yapılan ve yapılmayan arazilerde ET değerleri belirlenmiş ve buradan hareketle bitki katsayıları tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda sulama yapılan arazilerde her iki bitkinin ET değerleri

daha yüksek ölçülmüş ve mısır bitkisinin ET değerlerinin her iki durumda da soya fasulyesinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Japonya’da yapılan bir çalışmada soya fasulyesinin CO₂ akıları EC yöntemiyle tespit edilmiştir. İklimsel koşulların nemli ve ılıman olmasına rağmen toprak türü (kum) yüzünden sık sulama yapılan soya fasulyesinin NEE, GPP ve R_{eco} değerleri sırasıyla -93, 319 ve 226 gCm⁻² olarak ölçülmüştür. Bulunan bu değerler daha önce soya fasüyesi üzerinde yapılan çalışmalar sonucu elde edilen değerlerden düşüktür. İklim koşullarındaki farklılığın bu duruma neden olma ihtimalinin yanında farklı tarım uygulamalarının da CO₂ akılarında değişikliğe neden olacağı düşünülmektedir (Şaylan ve diğ. 2011).

Soya fasüyesi üzerinde ABD’de yapılan başka bir çalışmada ET_a değeri ve bitki katsayıları tespit edilmiştir. Yonca ve çim bitkisine ait referans ET değerlerinin meteorolojik değişkenlerle olan ilişkiside yine aynı çalışmada araştırılmıştır. Yonca bitkisine ait referans ET’nin, çim bitkisinin referans ET değerinden % 32 daha fazla olduğu görülmüştür. Buhar basınç farkının çim ve yonca ET değerlerinin sırasıyla % 90 ve % 92’ sini açıkladığı belirlenmiştir (Payero ve Irmak, 2013). Çeşitli iklim koşullarında ve farklı zirai uygulamalarla yürütülen birçok çalışmada soya fasulyesinin enerji ve gaz akıları tespit edilmiştir (Baker ve Griffis, 2005; Posse ve diğ. 2010; Chu ve diğ. 2014; Posse ve diğ. 2014).

Schmidt ve ark. tarafından 2012 yılında Almanya’da yapılan çalışmada kışlık buğdayın 2 gelişme dönemi boyunca CO₂ akıları EC yöntemiyle ölçülmüştür. Bu çalışmada bitkinin karbon biriktirmesinin mevsimsel ve yıllık değişiminin meteorolojik parametrelerden ve arazi yönetiminden nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Buna göre farklı uygulama tarihleri ve meteorolojik koşullara rağmen her iki dönem için belirlenen toplam NEE değerleri arasında büyük farklılıklar gözlenmemiştir, GPP ise ilk yıl için daha yüksek tespit edilmiştir. Önceki sezonda ekilen şeker pancarının ilk yılın karbon bütçesine etki ettiği düşünülmekle beraber uzun yıllar yapılacak ölçümlerle bu etkinin azaltılacağı öngörülmüştür.

Çin’de yürütülen diğer bir çalışmada buğday bitkisinin karbon akısı EC yöntemiyle ölçülmüştür. Bir gelişme dönemi boyunca sürdürülen çalışmada NEE değeri -218.9 ± 11.5 g C m⁻² olarak belirlenmiştir. Günlük yağışın 5 mm’yi geçtiği yağışlı günlerin ardından Reco değerindeki düşmenin NEE değerinde belirgin artışlara neden olduğu

gözlenmiştir. Benzer değişimin ani sıcaklık değişimlerinde ve arazi işleme faaliyetlerinden sonra da meydana geldiği tespit edilmiştir (Wang ve diğ. 2013). Buğday bitkisinin karbon ve su buharı akılarının araştırıldığı çeşitli çalışmalar EC yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir (Anthoni ve diğ. 2004; Moureaux ve diğ. 2008; Aubinet ve diğ. 2009; Dufranne ve diğ. 2011).

Çeltik bitkisinin CO₂ ve ısı akıları üzerine yapılan bir çalışma Alberto ve diğ. (2009) tarafından Filipinler’de yürütülmüştür. Bir gelişme dönemi boyunca süren çalışmada sulu ve susuz yöntemlerle üretilen çeltik bitkisinin CO₂ akılarının nasıl değiştiğini gözlemek amacıyla ölçülmüş, hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Sulu çeltik üretiminde NEE, GPP ve R_{eco} değerleri sırasıyla -258, 778 ve 521 g C m⁻², susuz çeltik üretiminde ise NEE, GPP ve R_{eco} değerleri sırasıyla -85, 515 ve 430 g C m⁻² olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada ayrıca H ve LE akıları da incelenmiş ve bowen oranları hesaplanmıştır. Dönemsel ortalamalar incelendiğinde susuz çeltik deneme alanının H değerinin diğerinden daha yüksek, LE değerinin ise daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun sonucu olarak susuz tarım alanının bowen oranı değeri 0.25 olurken sulu tarım alanının ise 0.14 olmuştur.

Hindistan’da çeltik bitkisi üzerinde yürütülen bir çalışmada mevsimsel ve yıllık karbon akıları tespit edilmiştir. Gerek büyüme gelişme gerekse toprakta bitkinin olmadığı hasat harici zamanlar dahil olmak üzere 1 yıl boyunca yapılan ölçümler sonucunda NEE değeri bitkinin ekili olduğu kuru ve yağışlı dönemler için sırasıyla -355 ve -341 g C m⁻² olarak ölçülmüştür. Yıllık toplam NEE ise 457 g C m⁻² olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak çeltik bitkisinin yıllık periyotta da karbon yutağı olduğu tespit edilmiştir (Bhattacharyya ve diğ. 2014).

Şeker pancarının yıllık karbon yutak miktarının belirlenmesi için yapılan bir çalışma Belçika’da yürütülmüştür. Karbon ölçümlerinin yanı sıra yürütülen meteorolojik ölçümlerle karbon değişimi arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Toprak su içeriğinin arttığı dönemlerde topraktaki solunumun azaldığı ve bitki NEE değerinin arttığı gözlenmiştir. Topraktaki su içeriğinin artması nedeniyle boşluklardaki oksijen miktarını azaltmasının bu sonuca neden olduğu belirlenmiştir. İlgili dönemde toplam NEE değeri - 610 ± 110 g C m⁻² olarak ölçülmüştür (Moureaux ve ark. 2006).Brezilya’da şeker kamışı üzerinde yapılan başka bir araştırmada ise bitkinin CO₂ akıları EC yöntemiyle ölçülmüştür. İki gelişme dönemi boyunca yapılan

ölçümlerde bitkinin NEE ve GEP değerleri $1964 \pm 44 \text{ g C m}^{-2}$ ve $3612 \pm 46 \text{ g C m}^{-2}$ olarak belirlenmiştir (Cabral ve ark., 2013).

Portekiz’de Paco tarafından 2006’da yapılan bir çalışmada şeftali ağaçlarından oluşan bahçede H₂O ölçümleri EC yöntemi ile yapılmıştır. Tespit edilen ET değeri FAO-56 yöntemiyle hesaplanan sonuç ile karşılaştırılıp bitki katsayılarını şeftali bitkisi için belirlemiştir.

Kanada’nın güneydoğusunda yürütülen başka bir çalışmada ise EC yöntemiyle patates bitkisinin ET değeri ölçülmüştür. Gelişme dönemini kapsayan yılın yağış ortalamasının genel yağış ortalamasının yaklaşık yarısı kadar olduğu bir dönemde ET değeri toplam 331.5 mm olarak ölçülmüştür. Sulamanın yapılmadığı, kuru tarımın yürütüldüğü aynı dönemde bitki gelişiminin maksimum olduğu zamanda tespit edilen günlük maksimum ET ise 6.5 mm olmuştur (Parent ve ark. 2012).

Dünyada tarım alanlarında yapılan akı çalışmalarının özetlendiği yukarıdaki literatür araştırmasında görüldüğü gibi bu araştırmalar daha çok ticari bitkiler üzerinde yoğunlaşmıştır. Fakat mısır, çeltik, buğday gibi bitkilere kıyasla daha küçük ekim ve dikim alanına sahip bitkiler üzerinde de çalışmalar son yıllarda artmıştır. Ancak dünyada karpuz bitkisine ait EC yöntemiyle yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Gerek Dünya’da gerekse ülkemizde karpuz bitkisinin su tüketimini ya da karbon akısını belirlemek amacıyla EC yönteminin uygulandığı herhangi bir çalışmaya rastlanmadığından farklı yöntemlerle yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Kırnak ve Doğan (2009) tarafından Harran/Şanlıurfa’da karpuz üzerine yapılan bir çalışmada bu bitkinin ET’ si i toprak su bütçesi denklemi kullanılarak hesaplanmış ve maksimum ET değeri iki farklı gelişme döneminde 660 mm ve 677 mm olarak tespit edilmiştir.

Orta ve ark. (2000) tarafından yapılan çalışmada topraktaki bitki kök bölgesindeki yarayırlı suyun %50’si ne indiğinde durumda yaptıkları 187 mm, sulamada mevsimsel ET yi 400 mm, toplam yağış miktarı 60 mm. 2000 de toplam yağış 52 mm, bu yılda 294 mm sulama toplam ET 408 mm olarak hesaplamışlardır. Bitkinin farklı sulama uygulamalarında toprak su içeriğinin (yarayırlı suyun) % 50 nin altına düştüğü

durumlarda farklı sulama senaryoları uygulanmış ve bun dönemlerde 163 mm ve 355 mm arasında ET değeri hesap edilmiştir.

Karpuz bitkisinin ET'si ile ilgili ülkemizde yapılan diğer çalışmalar incelendiğinde Sezgin ve ark. (2000) in karpuz bitkisinin ET'sini 343.3-544.6 mm arasında, Şimşek ve ark. (2004) 417-720 mm arasında olduğunu hesaplamışlardır. Ancak bu araştırmacılar çalışmalarında mikrometeorolojik yöntemleri kullanmamışlardır. Daha çok kısa zaman aralıklarında değil daha geniş zaman aralıklarındaki ölçmelerle toprak su dengesi denkleminde dayanarak bu değerleri belirlemişlerdir. Ancak günümüzde bilindiği üzere tarımda kullanılan su miktarı oldukça fazladır ve bu nedenle özellikle sulanan bitkilerin daha hassas ölçüm yapan teknolojilerle ve daha kısa zaman aralıklarında (saniye) yapılan ölçümlerle belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmalar incelendiğinde günümüze kadar EC yöntemiyle bu bitki üzerinde CO₂ ve H₂O akılarıyla ilgili bir çalışma tespit edilememiştir. Bu nedenle elde ettiğimiz sonuçlar bu alanda yenidir ve uluslararası kabul gören yöntem ve teknolojilere dayanmaktadır. Yukarıda sözü edilen yerli çalışmalarda elde edilen sonuçların farklı olması noktasal ölçümlere dayanan yöntemlerin bir sonucudur. Bizim yaptığımız çalışma alansaldır. Noktasal veri yerine daha fazla bitki ve yüzey dikkate alan yöntemler kullanılarak kısa zaman aralığında tarım alanlarından kaynaklanan sera gazı bütçelerinin belirlenmesi, sulama verilerinin bunlara göre planlanması, bitki katsayılarının ülkemizi temsile edecek şekilde belirlenmesi önemlidir. Bu teknolojinin ülkemizde yaygınlaşması kaçınılmazdır.

Bitki yüzeylerinde yapılan bu tür akı çalışmalarında bir yıl yerine birkaç yıl araştırma çalışmasının yapılması sonuçları daha iyi değerlendirmemize olanak sağlayacaktır. Bu tez ile bunun ilk adımları atılmıştır. Daha sonra farklı bitkiler üzerinde bunun gibi çalışmalar yapılacaktır.

Dünyada EC yöntemiyle CO₂ H₂O akılarının belirlenmesi ile ilgili çalışmaların büyük bir kısmı ormanlık alanlarda yapılmaktadır. Ancak tarım alanında yapılan çalışmalarda da ülkelerin ve ya dünyanın ana besin kaynakları olan bitkilerin üzerine çalışmaların yoğunlaştığı görülmektedir. Birçok tarımsal bitkinin gelişmesi sırasında atmosfere verdiği ve aldığı CO₂'ten kalan miktarının bu arazilerin ekili olmadığı zamanlarda atmosfere geri verildiği yaklaşımı birçok bitki için hatalı sonuçlara neden olabilir. Bu nedenle bu çalışma ülkemizin ana besin kaynaklarından olan bir bitki üzerinde değil

ancak ÷lkemizde geniş alanlarda ekimi veya dikimi yapılan bir karpuz bitkisi üzerinde y÷r÷t÷lmüştür. Bu bitki ile ilgili d÷nyada projemizde bahsi geçen konularda araştırmaların bulunmaması da bu tezin özgünlüğünü arttırmaktadır. Bu araştırma hem ÷lkemizde hem de d÷nyada karpuz bitkisiyle ilgili karbon bütçesinin belirlenmesi ve su tüketimi ile ilgili çalışmalara katkı sağlaması bakımından son derece önemlidir. Tez, bu alandaki bir bilgi ve araştırma eksikliğini tamamlayacaktır.

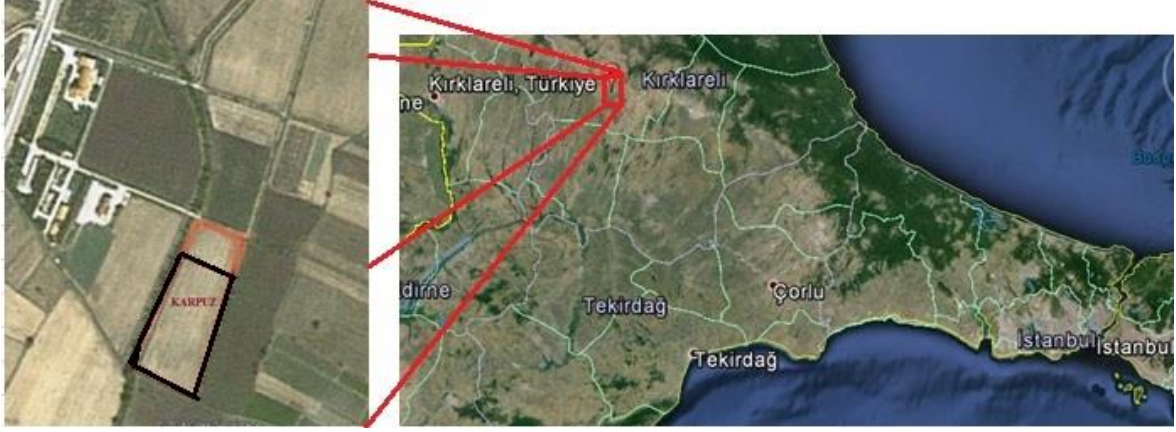
2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı ve Ölçüm Sistemleri

14 Mayıs – 9 Ekim 2012 tarihleri arasında KRK’de yetiştirilen karpuz bitkisinin deneme alanı aşağıdaki Şekil 2.1’de solda siyah çizgilerle gösterilen alandır. Deneme alanı yaklaşık olarak 20 dekadır. Çalışma alanında bir adet EC sistemi (3 boyutlu sonik anemometre, açık tip gaz analizörü) ve bir adet tarımsal meteoroloji araştırma istasyonu kurulmuştur. LI-7500 açık tip gaz analizörü (LI-COR Biosciences) ve 3 boyutlu sonik anemometreyi (CSAT3, Campbell Scientific) içeren EC sistemi Şekil 2.2’de görülmektedir. Şekil 2.3, KRK’de ki deneme alanında kurulan EC ve tarımsal Meteoroloji ölçüm istasyonlarını göstermektedir. Bu istasyonda hava sıcaklığı ve bağıl nem 2 ve 3 m seviyelerinde (Hygrometer MP100A, Rotronic Instrument Crop), rüzgar şiddeti 0.5, 1, 2, 5 ve 10 m seviyelerinde ve rüzgar yönü 2 m seviyede (NRG #40C Anemometre ve NRG #200P Wind Direction Wane, NRG Systems), toprak sıcaklıkları 2, 5, 10 ve 20 cm derinliklerde (FW05 Campbell Scientific), toplam güneş radyasyonu (CMP3, Kipp&Zonen) ve fotosentetik aktif radyasyon (LI190SB Quantum Sensor, LI-COR) ve net radyasyon (NR LITE, Kipp&Zonen) ölçülmüştür.

Denemenin yapıldığı alanda uzun yıllık toplam yağışların ortalaması yaklaşık 562 mm’dir. Yine aynı yerin uzun yıllık ortalama, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları sırasıyla 13.69, 19.04 ve 9.02 °C’dir. Bağıl nem ortalaması % 68.28 ‘dir.

Gelişme dönemi boyunca 20 günlük periyotlarla büyüköle örnekleri araziden toplanmış ve laboratuarda yaş ağırlıkları tartıldıktan sonra (kök ve gövde kısmı ayrılarak), 65-70 C sıcaklıktaki kurutma fırınlarında (Şekil 2.4) 24 ile 48 saat (kuru ağırlığı sabit kalıncaya kadar) kurutulmuş ve kuru biyoköle değerleri tartılarak belirlenmiştir. Ayrıca yine aynı zaman aralıklarında bitkinin boyu (yatayda) ve bitkideki dal sayısı düzenli olarak ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır.



Şekil 2.1 : Çalışma alanının lokasyonu (Kırklareli)



Şekil 2.2 : Karpuz bitkisinin yetiştirildiği deneme alanı (Kırklareli)



Şekil 2.3 : EC ölçüm istasyonu ve tarımsal meteoroloji istasyonu



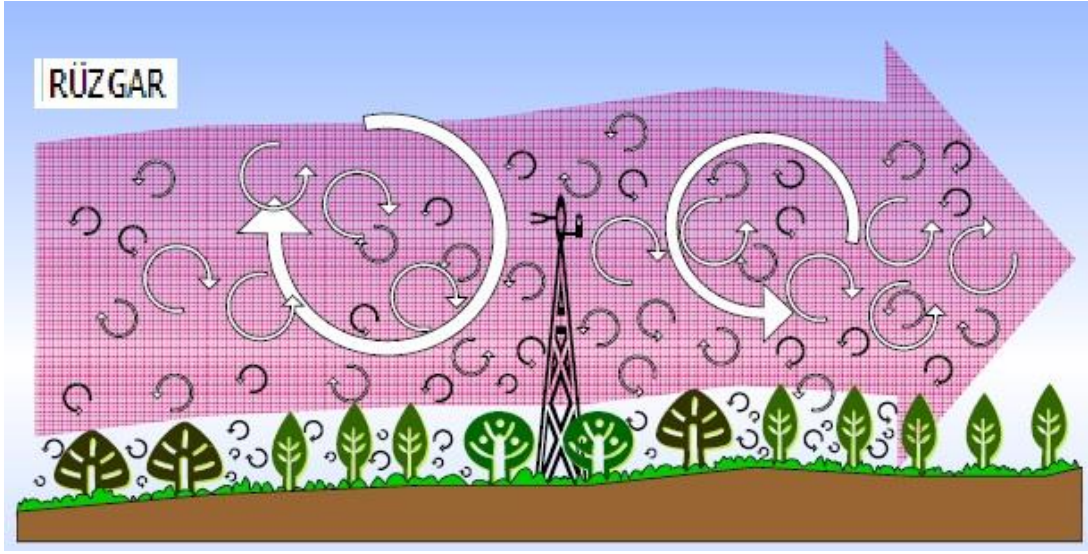
Şekil 2.4 : Bitkinin kuru biyokütlesinin elde edilmesinde kullanılan kurutma fırını (temsili).

2.2. Eddy Kovaryans Yöntemi

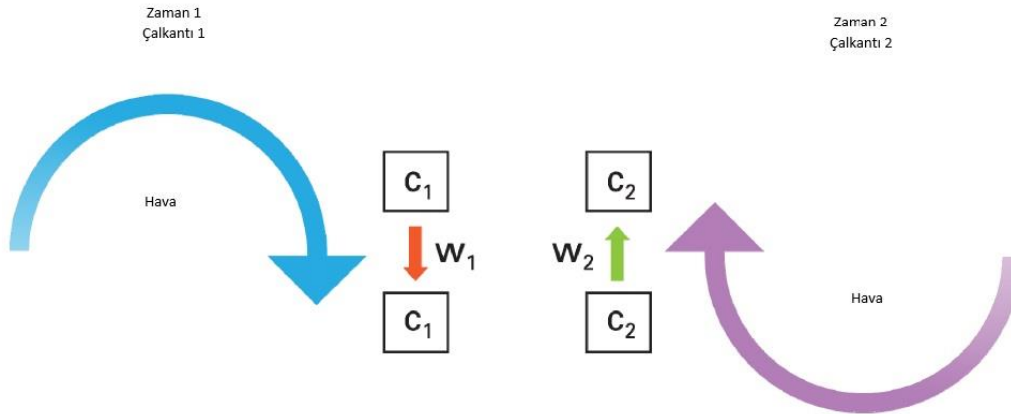
Eddy kovaryans (EC) yöntemi, ekosistem çalışmalarında gaz akılarını ölçmek amacıyla tüm dünyada yaygın kullanılan bir yöntemdir. Akı, kapalı bir yüzeyden birim zamanda birim alandan geçen madde miktarını ifade etmektedir. Tarım ve orman

meteorolojisinde başta CO_2 olmak üzere H_2O , CH_4 gibi gazların akı ölçümleri yapılmaktadır. EC yöntemine göre atmosferdeki hava akışı düşey hareketler yapan çalkantılardan oluşmaktadır ve madde taşınımı bu çalkantılar sayesinde olmaktadır (Burba, 2013). Şekil 2.5'te ekosistemdeki hava akışı gösterilmektedir.

Şekil 2.6'de mavi okla gösterilen (solda) 1. çalkantının c_1 hava parselini w_1 düşey hızıyla aşağı yönde taşınımını, mor okla gösterilen (sağda) 2. çalkantının c_2 hava parselini w_2 düşey hızıyla yukarı yönlü taşınımını göstermektedir.



Şekil 2.5 : EC yöntemine göre ekosistemdeki hava akışı (Burba, 2013).



Şekil 2.6 : EC yöntemine göre çalkantılar vasıtasıyla hava parsellerinin düşey taşınımı (Burba, 2013)

Herhangi bir anda yukarı yönlü taşınan gaz molekülleri miktarı ile aşağı yönlü taşınan gaz molekülleri miktarı arasındaki fark net taşınımı vermektedir. Akı ölçümü yapılacak gazın konsantrasyonu ve düşey rüzgâr hızının kovaryansı EC yönteminin temel prensibidir (Burba, 2013).

Bu prensibe göre buharlaşma gizli ısı akısının (λLE) nasıl hesaplandığı Eşitlik 2.1'de görülmektedir.

$$\lambda LE = \lambda \rho_a \overline{w'q'} \quad (2.1)$$

Burada λLE buharlaşma gizli ısı akısını ($W m^{-2}$), ρ_a hava yoğunluğunu ($kg m^{-3}$), λ suyun buharlaşma gizli ısını ($J kg^{-1}$), w' düşey rüzgar hızının ortalamadan sapmasını ($m s^{-1}$), q' su buharı konsantrasyonunun ortalamadan sapmasını ($kg m^{-3}$), $\overline{w'q'}$ ise bu sapmaların kovaryansını temsil etmektedir (Jiang ve diğ., 2014).

CO₂ akısının EC yöntemine göre nasıl hesaplandığı Eşitlik 2.2'de görülmektedir. Formülde F_c CO₂ akısını ($\mu mol m^{-2} s^{-1}$), c' CO₂ konsantrasyonunun ortalamadan sapmasını ($kg m^{-3}$), w' düşey rüzgar hızının ortalamadan sapmasını ($m s^{-1}$), $\overline{w'c'}$ ise bu sapmaların kovaryansını temsil etmektedir (Foken, 2008).

$$F_c = \rho \overline{w'c'} \quad (2.2)$$

Bu yöntemde rüzgar hızı 3 boyutlu sonik anemometre ile gaz konsantrasyonu (CO₂, H₂O) ise açık ya da kapalı tip kızılötesi gaz analizörü ile yapılmaktadır. Genelde saniyenin altında bir sıklıkta ölçüm yapma kapasitesine sahip bu aletlerin gelişmesi EC yönteminin günümüzde yaygın kullanılmasını mümkün kılmıştır. Gaz ve enerji akılarının yüksek tutarlılıkta ölçülebildiği EC yönteminin en önemli dezavantajı ölçüm sonrası yapılması gereken veri analizleridir. Bu analiz çeşitli sebeplerden veri setinde oluşan boşlukların doldurulması ve ölçülen ama temsili olmayan verilerin tespiti ve yine bu verilerinde uygun yöntemlerle doldurulmasını gerektirmektedir. Bu dezavantajın yanı sıra ölçüm sistemlerinin diğer yöntemlere göre pahalı olması, kurulum ve ölçüm sürecinde uzmanlık gerektirmesi yöntemin diğer olumsuzluklarıdır. Bu tür ölçümlerin yapılabilmesi için tarım orman meteorolojisi, uygulamalı mikrometeoroloji ve meteorolojik ölçüm aletleri konusunda tecrübe sahibi olmak

gerekmektedir. Ayrıca matematiksel olarak karmaşık bir yapısının olması ve verilerde düzeltme yapılmaya ihtiyaç duyulması sebebiyle uygulaması zor ve karmaşık bir yöntemdir (Foken, 2008; Semizoğlu ve diğ., 2011a; Şaylan ve diğ., 2012). Bununla birlikte yukarıda da belirtildiği gibi veri analizi konusunda tecrübe sahibi olmak gerekli şartlardan biridir. Bu yöntemin en önemli avantajı doğada meydana gelen bu atmosfer ve biyosfer arasındaki gaz ve enerji akısı değişimini çok kısa zaman aralıklarında ve özellikle alansal olarak belirlemesidir. Günümüzde geleneksel yöntemler ile yapılan gaz akıları ile ilgili çalışmalarda daha çok noktasal (sınırlı alan), kısa süreli (gün içerisinde birkaç saat) ve uzun periyotlu (genellikle haftada bir) ölçümler yapılmaktadır. Ancak bu yöntem yukarıda da belirtildiği gibi bu dezavantajları avantaja çeviren bir yapıya sahiptir. EC yönteminin bir diğer avantajıda sabitlere bağlı olmayan ve akı ölçümlerinin doğrudan yapılmasına dayanmasıdır. Bu özellikleri EC yönteminin diğer akı ölçüm yöntemlerine göre daha avantajlı hale getirmektedir (Businger, 1986; Kaimal ve Finnigan, 1994; Semizoğlu ve diğ., 2011a; Şaylan ve diğ., 2012). Yöntemi sınırlandıran faktörler kullanılan ölçüm cihazlarına bağlı olarak yağış, düşük rüzgar hızı, yetersiz feç mesafesi ve teknik sebeplerdir.

2.2.1. Verilerin Filtrelenmesi ve Eksik Verilerin Tamamlanması

EC ölçümleri sonrasında 10 Hz zaman aralığı ile toplanan verilerin içerisinde teknik vb. sebeplerle ani ve ekstrem değişiklikler meydana gelmektedir. Bu tür verilerin ham verilerin içerisinden uzaklaştırılması gerekmektedir. EC yöntemiyle toplanacak olan verilerin kalitesini etkileyen bir diğer faktörde ölçüm sisteminin kurulum tasarımına bağlıdır. Bu aşamada arazi şartları boyutları, hakim rüzgar yönü, feç mesafesi ayakizi gibi faktörleri dikkate alınması gerekmektedir. Aksi durumda yapılan ölçümler hatalı olacaktır (Burba ve Anderson; 2007; Şaylan ve diğ., 2012). EC yöntemiyle yapılan ölçümlerde atmosferik olayların karmaşıklığı ölçüm yapılan arazinin karakteristikleri, yapılan bazı kabuller ve ölçüm sisteminden kaynaklanan problemler nedeniyle hatalar oluşabilmektedir. Bu kapsamda genel olarak frekans tepki, ani yükselişler, yoğunlukta dalgalanmalar veya sonik anemometrenin düzgün kurulamaması gibi sebeplerden önemli miktarda hata meydana gelebilmektedir. Bu sebeple bu hataların frekans tepki düzeltmeleri, filtreleme, koordinat düzeltmesi, WPL düzeltmesi gibi düzeltme işlemlerinden geçirilmesi bir gerekliliktir.

EC ölçümleri sırasında havadaki yoğunluktaki değişimlerin akı ölçümlerine yapabileceği etkilerin dikkate alınması gerekmektedir. Bu sebeple sıcaklık ve su buharı ölçümlerindeki sapmaların CO₂ ve H₂O ölçümlerine yapabileceği etkileri düzeltmek amacıyla **Webb-Pearman-Leuning (WPL) düzeltmesi** (yoğunluk düzeltmesi) yapılması oldukça önemlidir. Aşağıda WPL düzeltmesi için kullanılan eşitlik Eşitlik 2.3'te verilmiştir (Webb ve diğ. 1980; Fuehrer ve Friehe,2002).

$$F_c = F_{c0} + \frac{E}{\rho_d} \frac{q_c}{1 + \mu \frac{\rho_v}{\rho_d}} + \frac{H}{\rho C_p T_a} q_c \quad (2.3)$$

Eşitlikte; F_c, düzeltme uygulanmış CO₂ akısını; F_{c0} ham CO₂ akısını; H, hissedilebilir ısı akısını; E, evapotranspirasyonu; ρ_v, su buharı konsantrasyonunu; ρ_d, kuru havanın konsantrasyonunu ; ρ, hava konsantrasyonunu; T_a, hava sıcaklığını; C_p, havanın özgül ısısını; μ ise havanın moleküler ağırlığının suyun moleküler ağırlığına oranını göstermektedir.

Yapılan ölçümler 10 Hz gibi çok yüksek bir sıklıkta ve birden fazla ölçüm cihazıyla yapılmaktadır. Bu sebeple sensör tepki uyumsuzluğu ve veri toplayıcıya kayıt sırasında meydana gelen uyumsuzluklar sebebiyle **frekans tepki hataları** oluşabilmektedir. Burba ve Anderson (2007) tarafından uygulanan frekans tepki düzeltmeleri, karpuz bitkisine ait akı ölçüm verilerine uygulanmıştır.

EC yönteminde kullanılan 3 boyutlu rüzgar bileşenlerinin u ve v bileşenlerinin yer düzlemine paralel, w bileşeninin ise yer düzlemine dik olduğu kabul edilmektedir. Ancak EC ölçüm sistemi araziye kurulurken hatalar yapılabilmektedir. Bu hatanın düzeltilmesi için rüzgarın 3 boyutlu bileşenlerine **koordinat düzeltmesi** işlemi uygulanır. Rüzgar bileşenleri, kartezyen rotasyon katsayıları hesaplanarak akı hızında bir koordinat sistemine ötelenir. Yapılan öteleme ile düşey rüzgar hızı sıfıra eşitlenir (Kaimal ve Finnigan, 1994).

Yağışın düştüğü zamanlar, veri kaybına neden olan önemli faktörlerdendir. Bu zamanlarda ölçüm aletinden gelen veriler hatalı olabilir. Gereğinden yüksek veya düşük gaz akısı değeri verebilmektedir. Bu sebeple hatalı veriler tespit edilip veri setinden uzaklaştırmak durumundadır. Bunlara ilave olarak, rüzgar hızının düştüğü ve dolayısıyla sürtünme hızının (u*) azaldığı (genellikle u* < 0.1 ms⁻¹) zamanlarda yeterli türbülans olmayacağından türbülansa dayalı olan EC yöntemi ile hesaplanan verilerde

hatalar söz konusu olabilir. Bu tür hatalı veriler de veri setinden uzaklaştırılmak durumundadır. İlk aşamada veri setinde yapılan bu filtreleme işleminden sonra doğal olarak bazı zamanlarda veri boşlukları meydana gelir. Bu veri boşluklarının uluslararası kabul gören yöntemlerle doldurulması gereklidir.

Karpuz bitkisine ait akı verisine yukarıdaki düzeltme, filtreleme ve ayıklama işlemleri uygulandıktan sonra elde edilen boşluklara sahip akı verisine Reichstein ve diğ. (2005) ve Falge ve diğ. (2001), Loyd ve Taylor (1995) tarafından geliştirilen yöntemlerle veri tamamlama işlemleri uygulanmıştır (Eşitlik 2.4).

$$R_{eco} = R_{eco,ref} e^{E_0 \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_0} \right) \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (2.4)$$

Bitki karbon değişimini gösteren değişkenlerden GPP bitkinin brüt fotosentezini, yani atmosferden fotosentez faaliyeti ile indirilen karbon miktarını, R_{eco} solunum sırasında toprak ve bitki yüzeyinden atmosfere verilen karbon emisyonunu, EC tarafından doğrudan ölçülen bir büyüklük olan NEE ise bitki tarafından biriktirilen (yutulan) net karbon miktarını göstermektedir. Gece, bitkinin fotosentez faaliyetinde bulunamaması nedeniyle gece ölçülen karbon akısı R_{eco} olarak kabul edilmektedir. Bu bileşenler arasındaki ilişki Eşitlik 2.5'de verilmiştir.

$$GPP = Reco - NEE \quad (2.5)$$

Karpuz bitkisinin CO_2 ve H_2O akılarının ve yüzey enerji dengesi bileşenlerinin incelendiği bu tez çalışmasında yukarıda sözü edilen hesaplama, düzeltme, eksik verilerin tamamlanması ve akıların hesaplanması için Burba ve diğ. (2013) ve Reichstein ve diğ. (2005) tarafından geliştirilen yöntemler ve yazılımlar kullanılmıştır.

3. TARIMSAL FAALİYETLER VE FENOLOJİK GÖZLEMLER

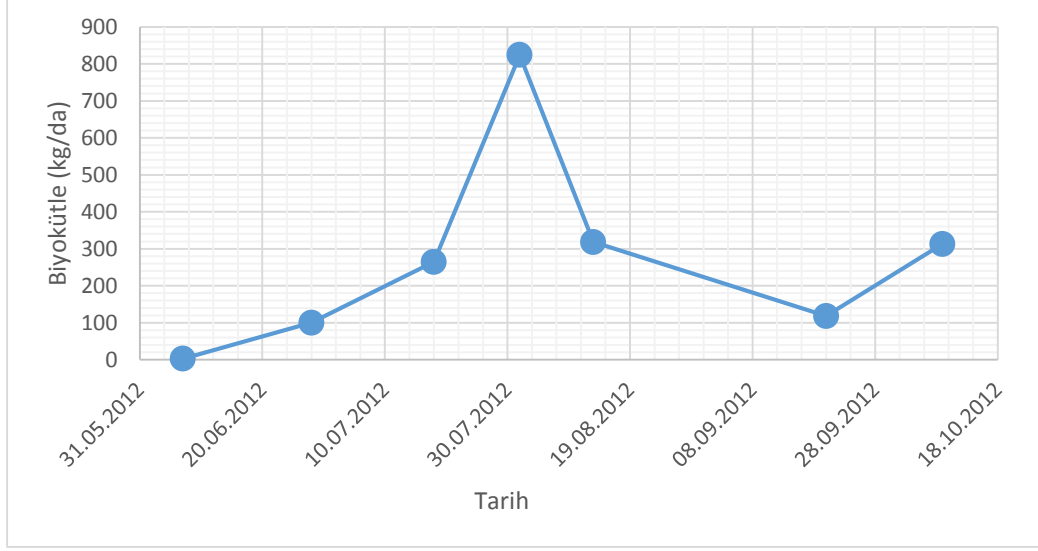
Karpuz bitkisinin ilgili gelişme dönemi boyunca yapılan dikim, sulama, hasat, biyokütle gibi tarımsal faaliyetleri kayıt altına alınmıştır. Çizelge 3.1’de bu faaliyetlerin kayıtları görülmektedir. 14 Mayıs 2012 tarihinde dikilen bitkinin ilk hasadı 31 Temmuz 2012 tarihinde yapılmıştır. Bu tarihte olgunlaşan karpuzlar toplanmış ve yeni dikim yapılmamıştır. Daha sonra olgunlaşan karpuzların ikinci hasadı 30 Ağustos’ta, ölçümlerin sonlandırılma tarihi ise 19 Eylül 2012 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Bitkinin dikimi, sıra arası yaklaşık 2 m ve sıra üzeri ise yaklaşık 1 m olacak biçimde yapılmıştır.

Çizelge 3.1 : Karpuz bitkisinin gelişme dönemi boyunca yapılan tarımsal faaliyetler.

Zirai faaliyet	Tarih
Gübreleme	14 Mayıs 2012
Dikim Tarihi (elle)	14 – 17 Mayıs 2012
Dikim Derinliği	3-5 cm
Sulama (karık)	24 Mayıs 2012
Ara Çapalama	10-12 Haziran 2012
Sulama (karık)	13-17 Haziran 2012
Sulama (karık)	3 Temmuz 2012
İlk Hasat	31 Temmuz 2012
İkinci Hasat	30 Ağustos 2012
Ölçümlerin	19 Eylül 2012
Sonlandırılması	
Verim (kg/da)	2851

Biyokütle ölçümleri yaklaşık 20 günlük aralıklarla toplam 7 kez yapılmıştır. 1 m²’lik alandan alınan bitkinin kök ve gövdesinin yaş ve kuru ağırlıkları ayrı ayrı ölçülmüştür. Şekil 3.1’de elde edilen biyokütle değerleri gösterilmiştir. Dikim tarihinden 31

Temmuz 2012 tarihine kadar biyokütle sürekli artmıştır ve bu tarihte 824.04 kg da⁻¹ biyokütle ile maksimum değerine ulaşmıştır. Bu tarihte yapılan ilk hasattan sonra biyokütle azalma göstermiş ve ikinci hasattan sonra tekrar artmaya başlamıştır. Toplam kuru biyokütlenin çok büyük bir kısmını toprak üstü biyokütle meydana getirmektedir. Köklerin buradaki payı % 2 den azdır.



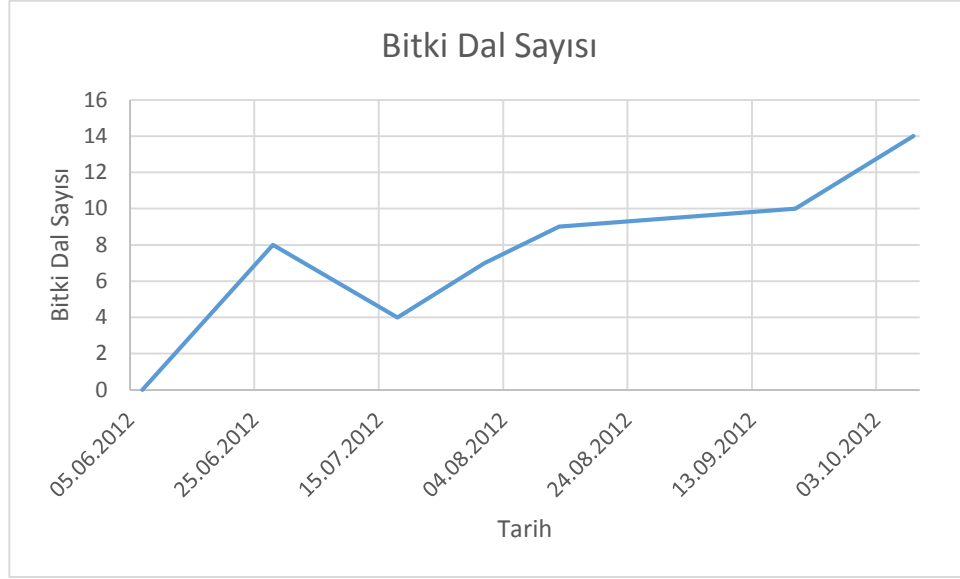
Şekil 3.1 : Karpuz bitkisine ait biyokütle değerleri

Aşağıdaki Şekil 3.2 21 Haziran 2012 tarihinde yapılan sulama sırasında karpuz bitkisinin ekili olduğu KRK'daki alanı göstermektedir.



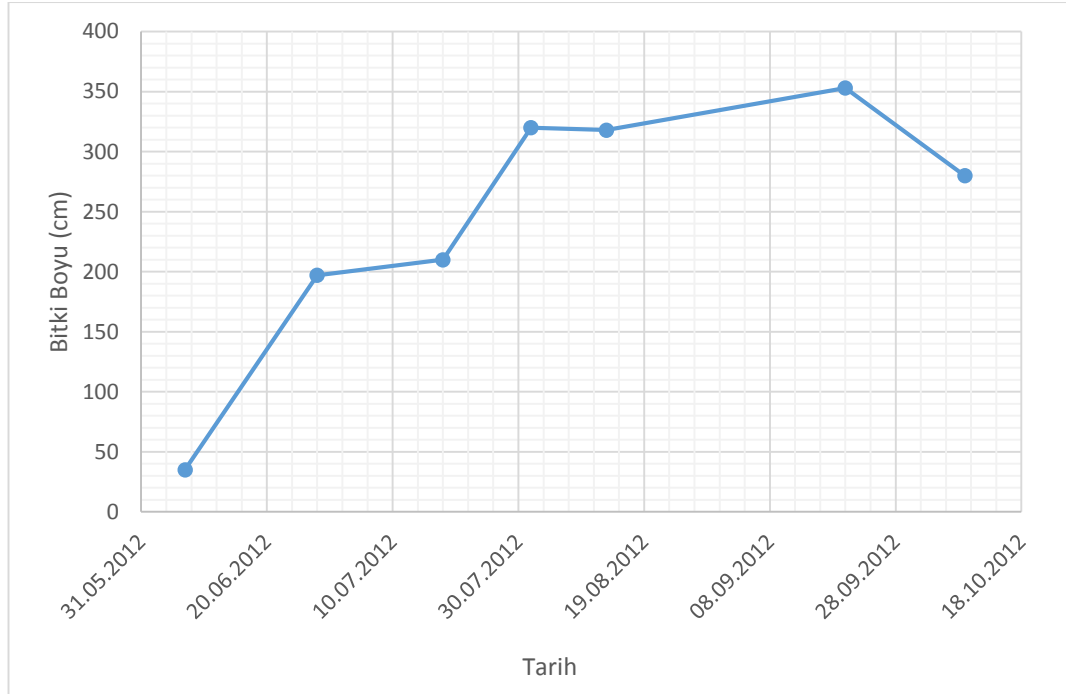
Şekil 3.2 : Deneme alanına ait bir görüntü

Biyokütle çalışmalarının yapıldığı günlerde araziden toplanan bitki örneklerine ait dal sayıları değişimi Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : Bir bitkiden alınan dal sayısı

Gelişme dönemi boyunca bitkinin yataydaki uzunluğu, dikildiği tarihten itibaren artarak 20 Eylül 2012 tarihinde 353 cm'ye ulaşmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : Bitki boyunun gelişme dönemi boyunca değişimi (cm)

4. METEOROLOJİK ÖLÇÜMLER

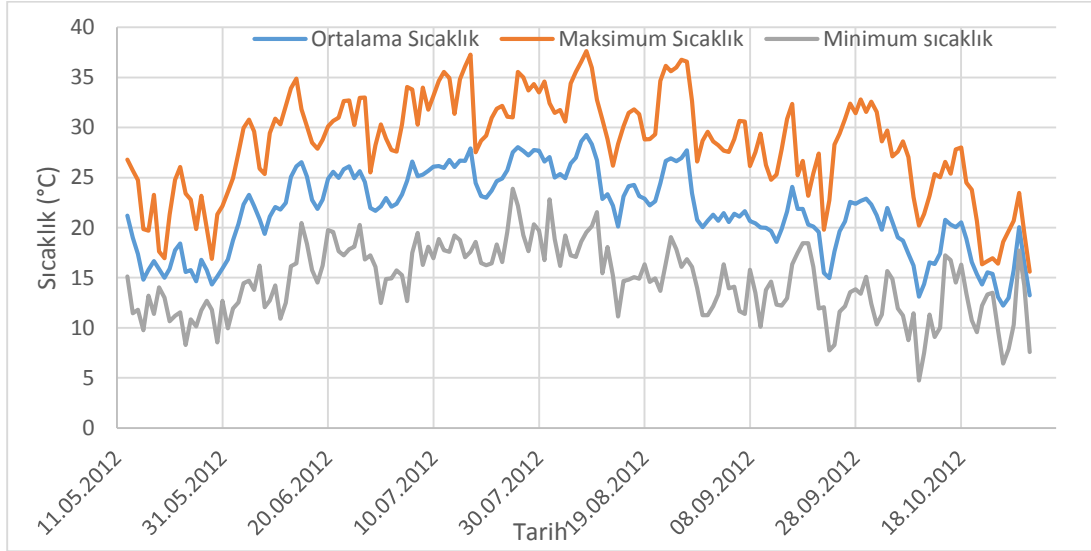
Vejetasyon yüzeyinin CO₂ ve H₂O akıları, sonik anemometre ve kızıl ötesi gaz analiz aleti ile yapılan ölçümler ile belirlenmiştir. Fakat elde edilen akı verisinin analizi ve tamamlanması için çeşitli meteorolojik değişkenlerin (rüzgar hızı, hava sıcaklığı, yağış, bağıl nem, fotosentetik foton akı yoğunluğu, net radyasyon, global radyasyon vb.) bilinmesi gerekmektedir. Bu sebeple karpuz bitkisi üzerinde yapılan akı ölçümleri ile eş zamanlı olarak yukarıda sözü edilen meteorolojik değişkenlerde ölçülmüştür.

Tarımsal meteorolojik değişkenler dikimden nihai hasata kadar düzenli olarak kaydedilmiştir. Dikimden 19 Eylül 2012 tarihine kadar EC sisteminden eksiksiz veri toplanmıştır. Son iki haftada teknik sebeplerden sistemden veri alınamamıştır. Bu veriler meteorolojik verilerden yararlanarak doldurulmuştur. Ancak görülmüştür ki karpuz bitkisi ikinci hasat tarihinden (30 Ağustos 2012) sonra 17 Eylül 2012 tarihinden itibaren aslında gelişmesini tamamlamış ve nihai hasat aşamasına ulaşmıştır. Bu durum ölçümlerimizde fotosentez değerlerinin solunum değerlerinden daha düşük çıkmasından ve NEE değerlerinin de atmosfere yerden değil yere doğru (pozitif) olmasından rahatlıkla görülebilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada dikimden 19 Eylül 2012 tarihine kadar ki dönemde meydana gelen CO₂ ve H₂O akıları dikkate alınmıştır.

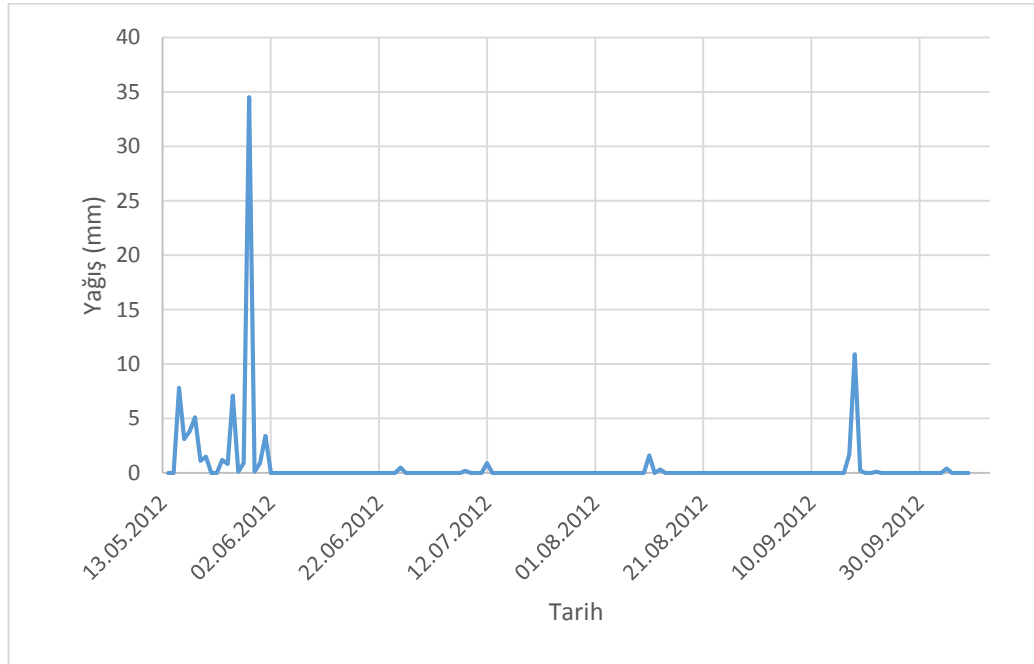
Şekil 4.1’de gelişme dönemi boyunca 2 m yükseklikte sıcaklık sensörleri ile ölçülen günlük ortalama, maksimum ve minimum hava sıcaklıklarına ait zaman serisi verilmiştir. Bu dönemde günlük ortalama hava sıcaklığı 22.7°C olarak belirlenmiş, ortalama maksimum hava sıcaklığı 37.6 °C ile 8 Ağustos 2012 tarihinde, minimum hava sıcaklığı ise 8.28 °C ile 24 Mayıs 2012 tarihinde ölçülmüştür. Hava sıcaklığı, genel olarak gelişme dönemi boyunca MGM’ ye ait 50 yıllık sıcaklık ortalamalarının yaklaşık 2 °C altında seyretmiştir.

Yağışın bitki gelişme dönemindeki değişimi Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Bitki gelişme döneminin ilk ayı oldukça yağışlı geçmiştir. Tüm dönem boyunca meydana gelen

toplam 88.2 mm yağışın, 71.4 mm'lik kısmı 14 Mayıs 2012 – 2 Haziran 2012 tarihleri arasında düşmüştür. Bitkinin dikiminden, biyokütlesinin maksimum olduğu 31 Temmuz 2012 tarihine kadar 18 gün yağışlı geçmiş ve 73 mm yağış gerçekleşmiştir (0.1 mm üzerindeki yağışlar dikkate alınmıştır). Biyokütlenin maksimum olduğu tarihten, nihai hasat tarihine kadar olan süreçte toplam 15.2 mm yağış 7 günde gerçekleşmiştir.

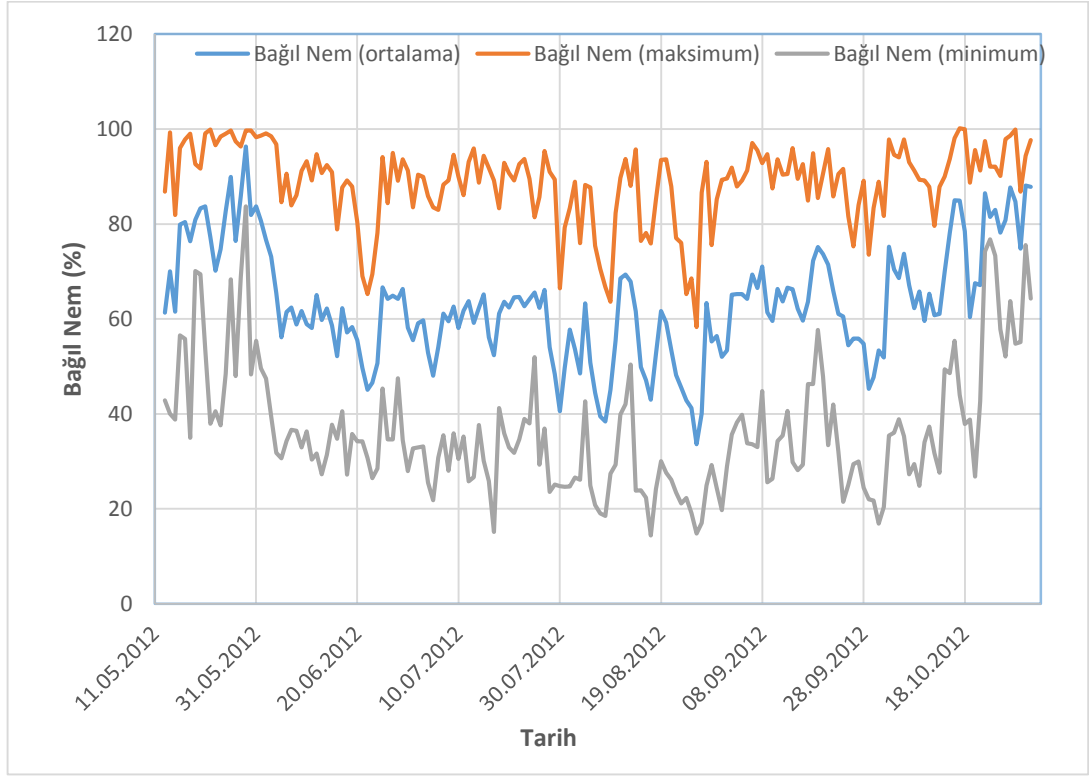


Şekil 4.1 : Günlük ortalama, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları.



Şekil 4.2 : Yağış miktarının zamanla değişimi

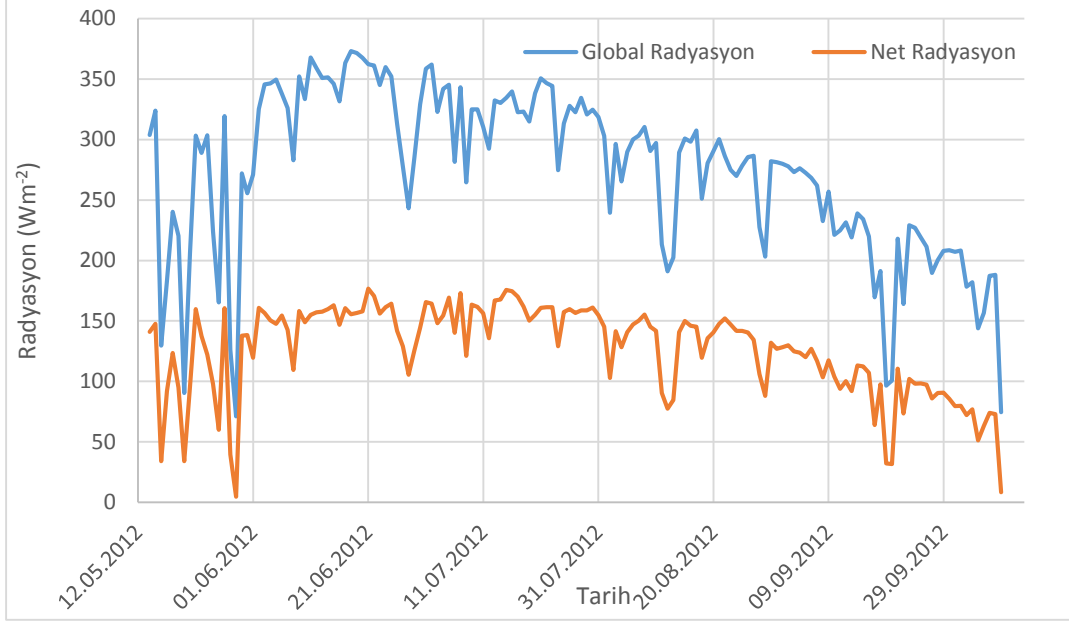
Bağıl nem, 2 metre seviyesinde nem sensörü ile ölçülmüştür. Günlük ortalama, maksimum ve minimum bağıl nem değerlerinin değişimi Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Mayıs ayının yağışlı olması bu ay içerisinde bağıl nemin genel olarak yüksek olmasına neden olmuştur. Gelişme dönemi boyunca günlük bağıl nem ortalama % 61.41 olmuştur. Maksimum ve minimum bağıl nem değerleri sırasıyla % 96.3 ile 29 Mayıs 2012’de, % 33.62 ile 28 Ağustos 2012 tarihinde ölçülmüştür.



Şekil 4.3 : Günlük ortalama, maksimum ve minimum bağıl nem.

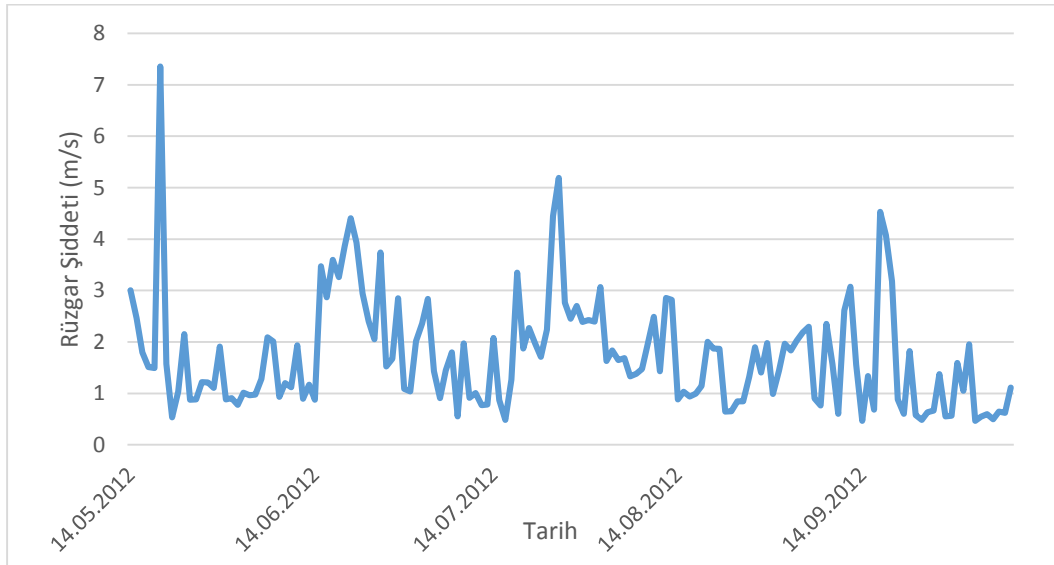
Aşağıdaki Şekil 4.4’te, global ve net radyasyonun gelişme dönemi boyunca değişimi verilmiştir. Global ve net radyasyon aynı dönemlerde benzer değişiklikler göstermiştir. Mayıs ayı boyunca havanın yağışlı olması ve bulutluluk etkisiyle her iki değişken için oldukça düşük değerler gözlenmiştir. Haziran ayı boyunca global ve net radyasyon artış göstermiş ve Temmuz ayından itibaren azalmaya başlamıştır. Bu dönem boyunca en düşük günlük ortalama global ve net radyasyon değerleri sırasıyla 71.09 W m^{-2} , 4.61 W m^{-2} olarak 29 Mayıs 2012’de ölçülmüştür. Maksimum global radyasyon ve net radyasyon değerleri ise sırasıyla 373.2 W m^{-2} ile 18 Haziran 2012’de, 176.7 W m^{-2} ile 21 Haziran 2012 tarihinde ölçülmüştür. Ortalama global radyasyon ve net radyasyon

değerleri sırasıyla 274.11 Wm^{-2} , 126.5 Wm^{-2} olarak belirlenmiştir. Global ve net radyasyon arasındaki gelişme dönemi boyunca oran % 46 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.4 : Global ve Net radyasyonun zamansal değişimi

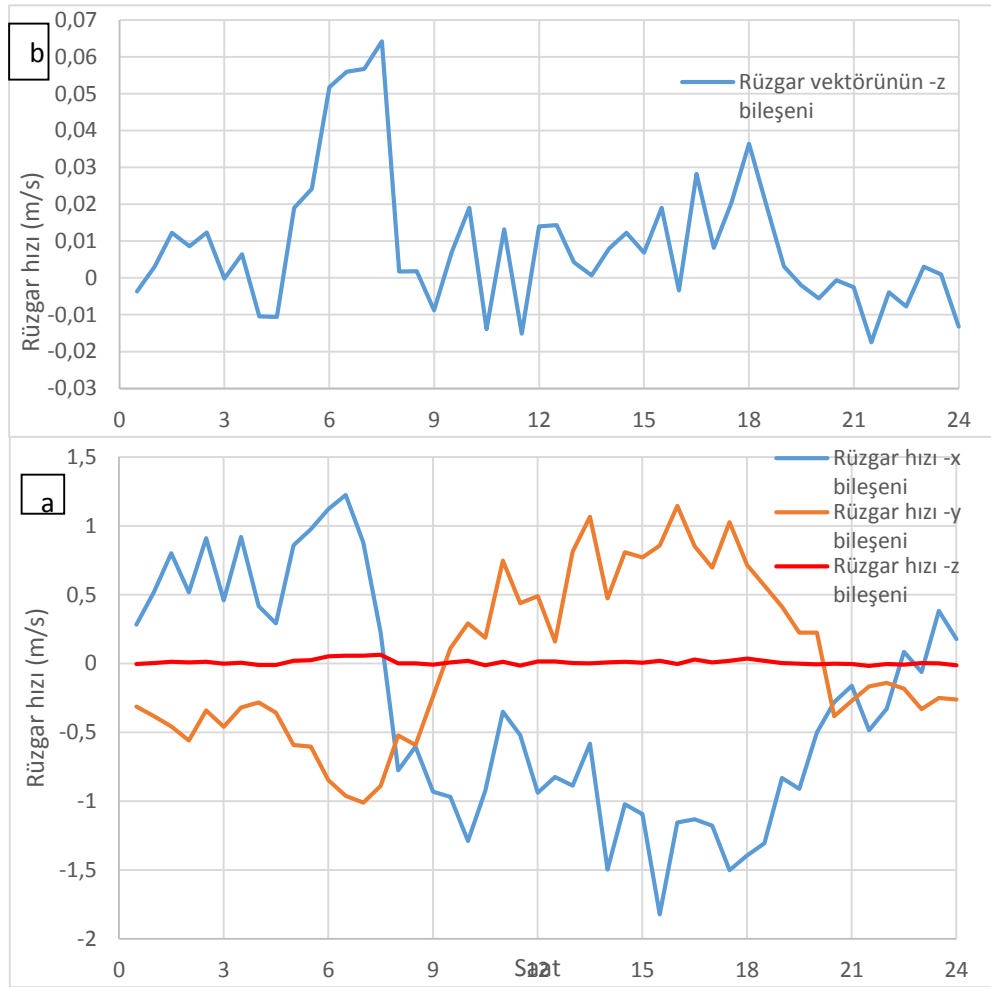
Bitkinin gelişme döneminde günlük ortalama, maksimum ve minimum rüzgar şiddetleri sırasıyla 1.74 , 7.36 ve 0.46 m s^{-1} olarak belirlenmiştir (Şekil 4.5). Maksimum ve minimum rüzgar hızları sırasıyla 19 Mayıs 2012’de ve 14 Eylül 2012 tarihinde ölçülmüştür. Ortalama rüzgar hızı ise 1.74 m s^{-1} olmuştur.



Şekil 4.5 : Rüzgar şiddetinin zamana bağlı değişimi

Sonik anemometre vasıtasıyla, 10 Hz zaman aralığında rüzgar hızının üç boyuttaki bileşenleri ölçülmüş ve yarım saatlik ortalamalar şeklinde kaydedilmiştir. Şekil 4.6

(a)'da rüzgar hızının x, y ve z eksenleri yönündeki bileşenlerinin 24 saatlik zaman aralığında yarım saatlik ortalamalarının zamana göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.6 (b)'de ise düşey hız bileşeninin daha açık görülmesi için aynı veri seti z bileşeni için ayrı olarak gösterilmiştir. Büyüklük olarak incelendiğinde yatay bileşenlerin (x ve y bileşenleri) yanında düşey bileşen (z bileşeni) ihmal edilebilecek düzeyde küçüktür. Fakat EC yönteminde düşey rüzgar hızı (w) önemli yere sahiptir. Rüzgârın düşey bileşeni çalkantı oluşumu için oldukça önemlidir. Çalkantı sayesinde düşeyde gaz taşınımı mümkün olabilmektedir (Aslan ve ark., 2014). Akı çalışmalarındaki temel parametrelerden olan düşey rüzgar hızının ne yazık ki ülkemizde henüz düzenli ölçümü yapılmamaktadır.



Şekil 4.6 : a) Rüzgar vektörünün x,y ve z ekseni bileşenleri; b) Rüzgar vektörünün z bileşeni

4.1 Toprak Özellikleri

Karpuz ile ilgili araştırma çalışmasının yapıldığı deneme alanında toprak yapısı kumlu tınılıdır. Bu alanda 0-90 cm derinlikte ortalama doyma noktası, tarla kapasitesi ve solma noktası değeri sırasıyla % 53.3, % 33.2 ve % 16'dır. İlgili toprakta bu profil için ortalama toprağın birim hacim ağırlığı değeri 1.8 g cm^{-3} tür. Aşağıdaki Çizelge 4.1'de deneme alanındaki toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ilgili bazı bilgiler farklı toprak derinlikleri için verilmiştir.

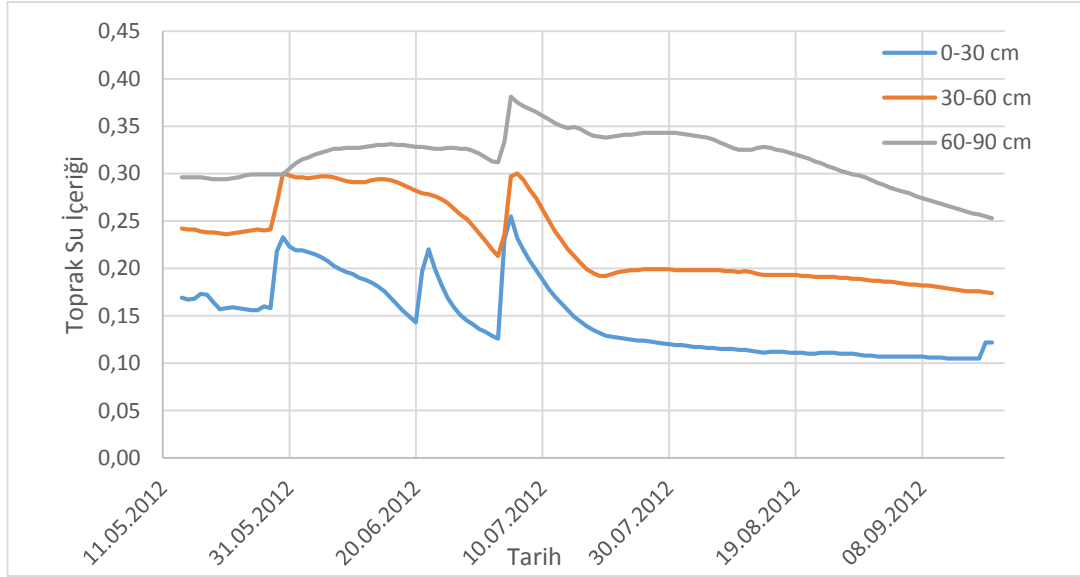
Çizelge 4.1: Toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Seviyeler	Toprağın birim hacim ağırlığı (g cm^{-3})	Toplam karbon (C %)	Doyma derecesi	Tarla kapasitesi (%)	Solma noktası (%)	Organik madde (%)	Toprağın bünyesi		
							Kil	Silt	Kum
0-30	1,85	0,846	44	30,0	12,5	1,46	12.5	20,83	66,67
30-60	1,66	0,916	59	28,0	17,1	1,58	18.75	27,08	54,17
60-90	1,83	0,638	57	41,8	18,5	1,1	16.77	27,08	56,25

Toprak su içerikleri 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm seviyelerinde ölçülmüştür. Günlük ortalama değerler Şekil 4.7'de gösterilmektedir.

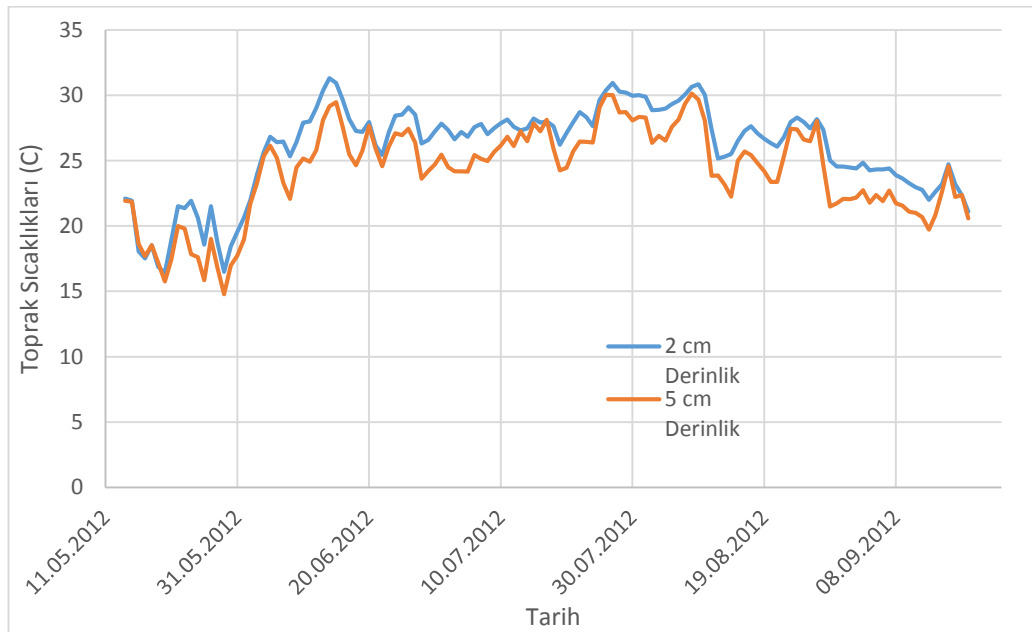
0-30 cm derinliğindeki toprak su içeriği gelişme döneminin başlangıcında yarıyıllı suyun % 50'sinin altında iken, 30-60 cm derinliğindeki toprakta su içeriği yarıyıllı suyun % 50'sinden fazla ve tarla kapasitesine yakındır. 60-90 cm derinliğindeki toprak su içeriği hemen hemen tarla kapasitesindedir. 0-30 cm derinlikteki toprak su içeriği gelişme dönemi içerisinde yağış ve bilhassa sulamaların etkisi ile ani yükselişler göstermiş ve en yüksek % 26 değerine kadar çıkmıştır. Ancak bu tarihten sonra toprak su içeriği devamlı olarak azalma eğilimine girmiş ve sonuçta solma noktasına kadar düşmüştür. Buna karşın, 30-60 cm derinliğindeki toprak su içeriği solma noktasına kadar azalmamıştır. 60-90 cm derinlikteki su içeriği de en düşük % 25 olarak ölçülmüştür. Bu toprakta sulamaların dışında bilhassa çevredeki bir derenin etkisi ile toprağın alt katmanları gelişme dönemi boyunca yüzeye göre daha fazla su içeriğine sahip olmuşlardır. Bu dönemde 28 Mayıs 2012 tarihinde yaklaşık 34.5 mm düşen

yağıştan sonra 0-30 cm derinlikte ölçülen ortalama toprak su içeriği % 6'lık bir ani artış göstermiştir. Daha sonraki gelişme döneminde toprak su içeriğinde meydana gelen ani artışlar yağışlardan değil, sulamalardan kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.7 : Günlük ortalama toprak su içeriği

Çeşitli derinliklerde (2 ve 5 cm) gelişme dönemi boyunca ölçülmüş olan günlük ortalama toprak sıcaklıkları Şekil 4.8'de görülmektedir. 2 ve 5 cm seviyelerindeki ortalama sıcaklıklar sırasıyla 25.8 ve 24.9 °C olmuştur.



Şekil 4.8 : 2 cm ve 5cm derinlikteki günlük ortalama toprak sıcaklıkları (°C)

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Akı Ayak İzinin Tespiti

Akı ölçümlerinde kullanılan EC yönteminde yapılan ölçümlerin ilgilenilen alana (bitki, toprak vb.) ait olup olmadığı tespiti son derece önemlidir. EC sisteminin ölçüm yüksekliği ve bitki yüksekliği dikkate alınarak kararlı, kararsız ve nötr atmosfer koşulları için ölçüm sisteminin ayak izi (footprint) tespit edilmelidir. Yapılan ölçüme, kaynak ya da yutak olarak etkin katkıda bulunan bölgenin ölçüm noktasına olan mesafesi (akı ayak izi) ayak izi modelleri ile tahmin edilebilir (Kljun ve diğ., 2004). Bu çalışmada akı ayak izinin tespiti için Kljun ve diğ. tarafından 2004 yılında geliştirilen model kullanılmıştır.

Modelin ön şartlarının sağlanmadığı zamanlarda ayak izi hesaplanamamıştır. Diğer taraftan yağışlı dönemlerde ölçülen veri de sağlıklı olmadığı kabulü ile ayak izi hesaplanmış olsa bile veri setinden uzaklaştırılmıştır. Elde mevcut kalan verinin her seviye için ayrı ayrı aritmetik ortalaması alınarak ayak izi sonuçları elde edilmiştir. Çizelge 5.1'de çeşitli yüzdeler altında hesaplanan ayak izi mesafeleri gösterilmiştir. Bu değerlere göre ölçüm cihazlarından itibaren ilk 2 metrelik mesafe içinden hemen hiç akı katkısı olmamıştır. %10 luk, %30 luk, %50 lik, % 70 lik ve % 90 luk akı katkıları sırasıyla 3.86 m, 7.47 m, 13.22 m, 26.07 m, 92.08 m mesafe içerisinde gerçekleşmiştir. Genel olarak % 70 lik katkının feç mesafesi içinde kalması ölçümün sağlıklı olduğunu göstermektedir. Karpuz bitkisinin ekili olduğu çalışma alanında hakim rüzgar yönündeki mesafenin 140 m olduğu ve % 70 lik katkının yaklaşık 26 m den gerçekleştiği göz önüne alındığında elde edilen akı ölçümleri karpuz bitkisini temsil etmektedir.

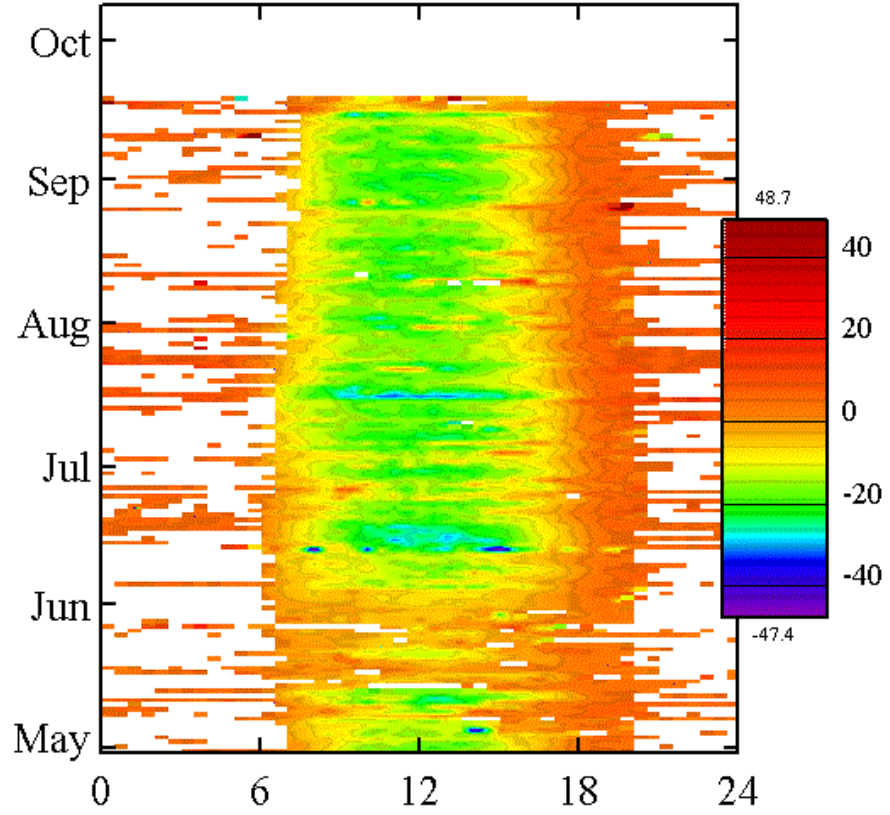
Çizelge 5.1: Ölçülen akının ait olduğu kaynaktan ölçüm noktasına olan mesafesi

Verinin akıya katkı yüzdesi (%)	Ölçüm noktasına olan mesafe (m)
Serbest bölge (katkı yok)	2
% 10	3.86
% 30	7.47
% 50	13.22
% 70	26.07
% 90	92.08

5.2. Karpuz Bitkisinin Karbon Değişimi

Gelişme dönemi boyunca yapılan 3 boyutlu rüzgar hızı ve CO₂/H₂O ölçümlerinden elde edilen verilerden düşey rüzgar hızı ve CO₂ gazının 30 dakikadaki değişimi (18000 veri) yukarıda bahsedilen EC eşitliği kullanılarak ilgili yüzey üzerindeki karbon değişimi (NEE) değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu veriler ham verilerdir. Bu ham verilerin özellikle yağış, düşük rüzgar hızı ($u^* < 0,1$ m/s) ve teknik sebeplerden dolayı hatalı olanları tespit edilmiş ve bu hatalı veriler yukarıda veri doldurma kısmında belirtilen eşitliklerle tamamlanmıştır (Burba ve diğ., 2013; Reichstein ve diğ., 2005). Aşağıdaki Şekil 5.1, ölçümler sonucu belirlenen NEE'nin gelişme dönemi boyunca ham, hatalı veya eksik değerlerindeki (şekilde beyaz renkte gösterilmiştir) içeren 3 boyutlu zaman serisini göstermektedir.

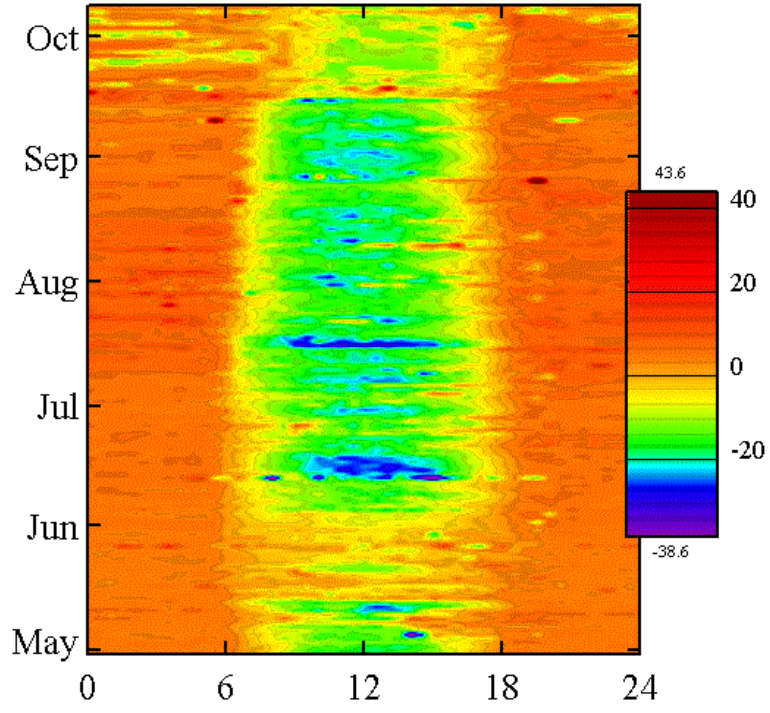
Eksik ve hatalı verilerin tamamlanmasından sonra elde edilen nihai NEE değerlerinin bitkinin gelişme dönemi boyunca değişimi Şekil 5.2' de verilmiştir. Bitkinin ekiminden ilk hasat tarihine (31 Temmuz 2012) kadar olan dönemde toplam fotosentez (GPP) yaklaşık 697 g C m⁻², aynı dönemde toplam ekosistem solunumu (R_{eco}) yaklaşık 503 g C m⁻² olarak ölçülmüştür. Aynı dönem için toplam NEE değeri yaklaşık -186 g C m⁻² olarak tespit edilmiştir. Bu zaman aralığında R_{eco} ve NEE, GPP nin sırasıyla % 72 si ve % 28 ' ini oluşturmaktadır. İlgili dönemde günlük ortalama GPP, NEE ve R_{eco} yaklaşık olarak sırasıyla 8.8, -2.4 ve 6.4 g C m⁻² olarak hesaplanmıştır. GPP, NEE ve R_{eco}'nun maksimum değerleri yaklaşık olarak 17.7, -2.4 ve 10.1 g C m⁻² olarak ölçülmüştür. Bu dönemde bahsi geçen karbon akıları ortalama global, net radyasyon ve PPFD'nin sırasıyla 287.89 W m⁻², 134.15 W m⁻², 532.67 μmol m⁻²s⁻¹ değerlerinde gerçekleşmiştir.



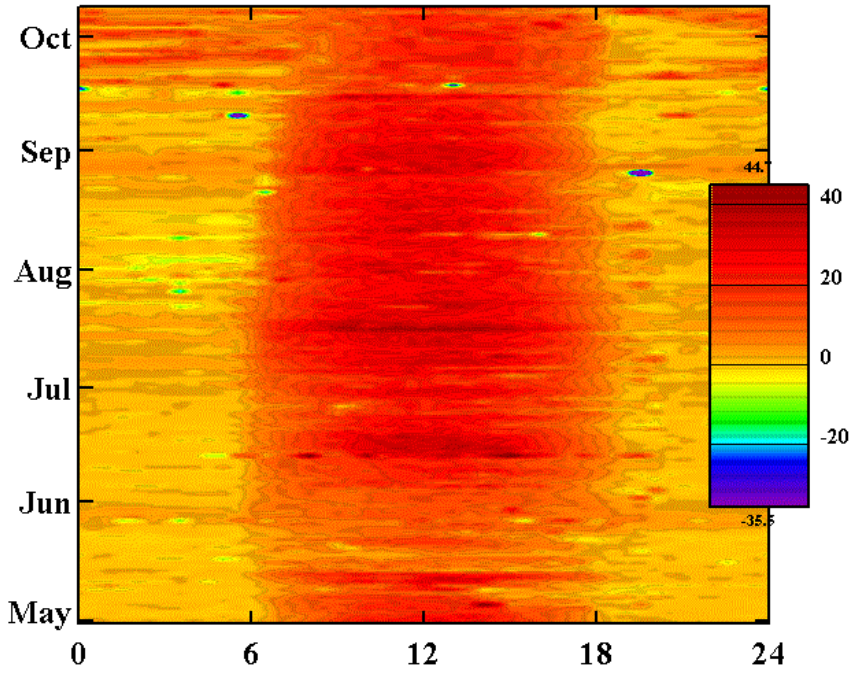
Şekil 5.1 : Ham NEE verisine ait 3 boyutlu zaman serisi ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

Dikimden ölçümlerin sonlandırıldığı 19 Eylül 2012 tarihine kadar olan günlük ortalama GPP, NEE ve R_{eco} değerleri ise 8.99, -2.32 ve 6.56 g C m^{-2} olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 5.3’de eksik ve hatalı verileri tamamlanmış GPP’nin günlük değişimi gelişme dönemi boyunca görülmektedir. Karpuz bitkisinin dikiminden itibaren sıcaklığın ve özellikle güneş radyasyonunun da etkisiyle Mayıs ayının ikinci yarısında fotosentezdeki artış dikkat çekicidir. Bu dönemde meydana gelen şiddetli yağışlar ve bulutluluk nedeniyle düşen radyasyon fotosentez aktivitesini yavaşlatmış ve GPP değerlerinin azalmasına neden olmuştur.



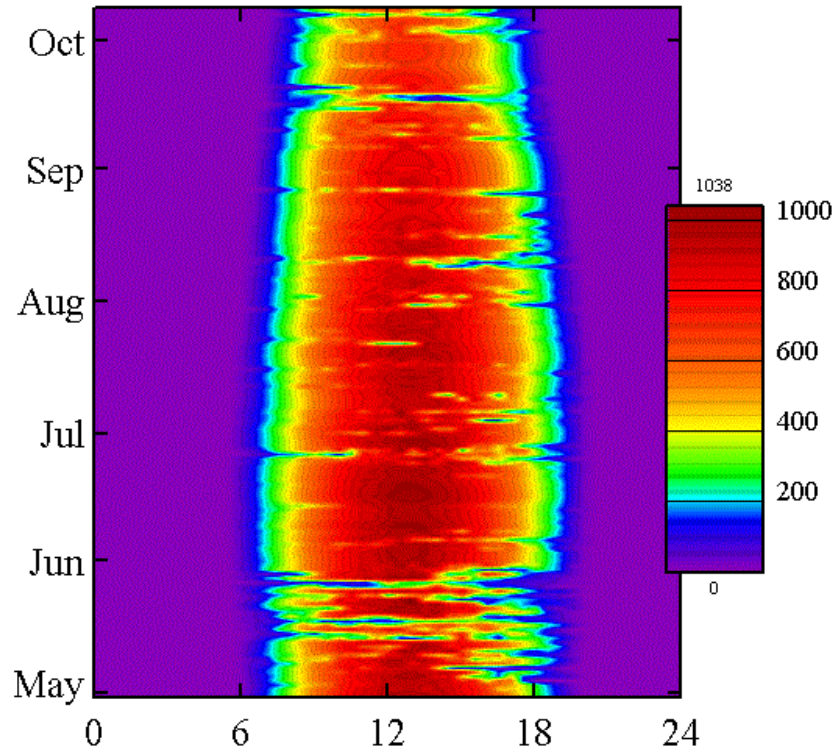
Şekil 5.2 : Gelişme dönemi boyunca doldurulmuş NEE'nin günlük değişimi ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)



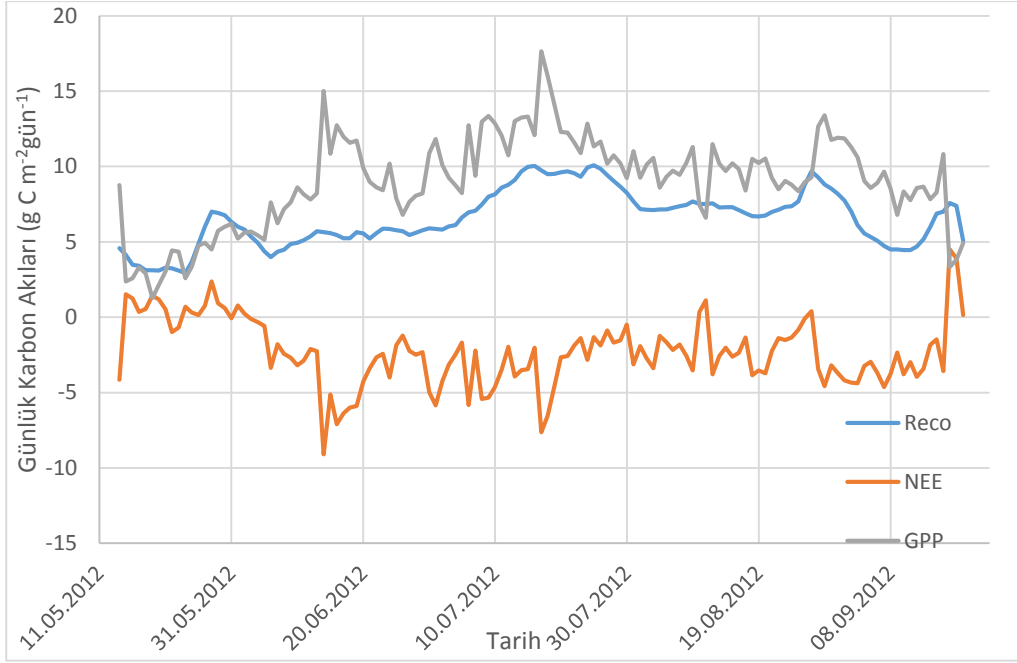
Şekil 5.3 : Gelişme dönemi boyunca GPP'nin günlük değişimi ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

Gelişme dönemi boyunca R_{eco} 'nun günlük değişimi Şekil 5.4'te görülmektedir. Toprak ve bitkiden toplam ekosistem solunumunun zamansal değişimi incelendiğinde yine yağışın etkisiyle düşen hava ve toprak sıcaklığı Mayıs ayının ikinci yarısında solunum faaliyetiyle yerden atmosfere doğru olan karbon emisyonunun azalmasına neden olmuştur. Yağışlı dönemin tamamlanmasından sonra artan hava ve toprak sıcaklıkları, R_g ve R_n değerleri R_{eco} 'yu arttırmıştır. Karpuz bitkisinin gelişme döneminde yüzeyi olgunluk aşamasında dahi tam olarak kaplamaması sebebiyle Temmuz ayında artan sıcaklık ve radyasyonun etkisiyle R_{eco} değerleri maksimum seviyelere çıkmıştır.

Şekil 5.5'te, karbon akılarının gelişme dönemi boyunca günlük değişimleri görülmektedir. Buna göre bitkinin ilk ekildiği dönemde, NEE değerleri pozitif iken, fotosentezin artması ile birlikte GPP, NEE değerleri de yükselmeye başlamıştır. İlk dönemde yağışlı günlerin olması tüm karbondioksit akı değerlerini etkilemiştir.

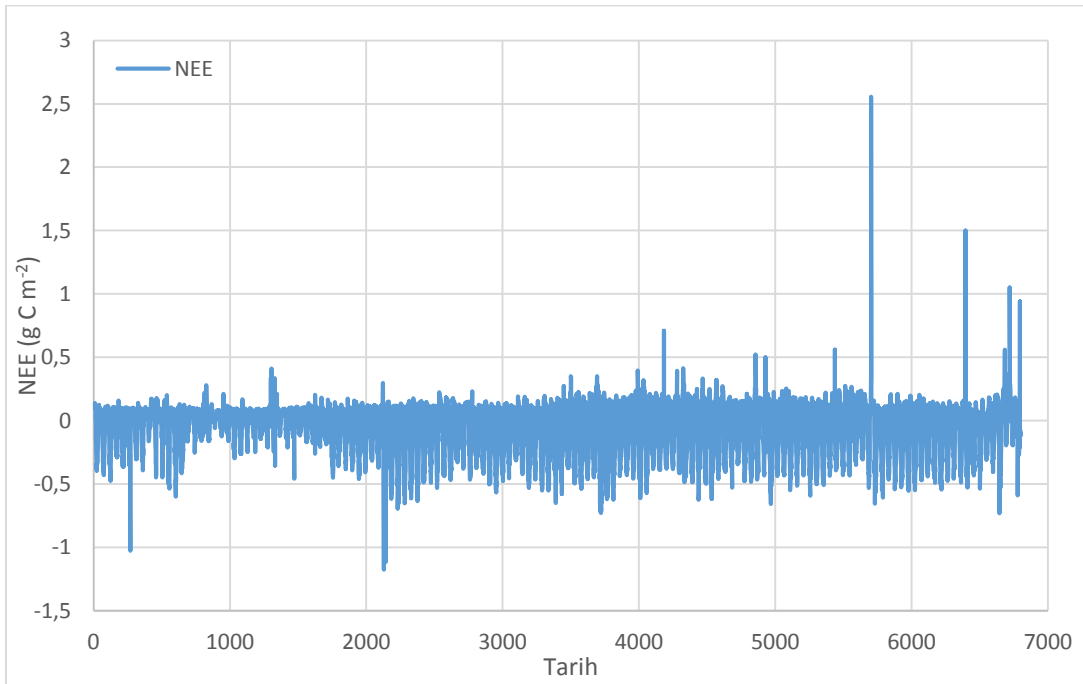


Şekil 5.4 : Gelişme dönemi boyunca R_{eco} 'nun günlük değişimi ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

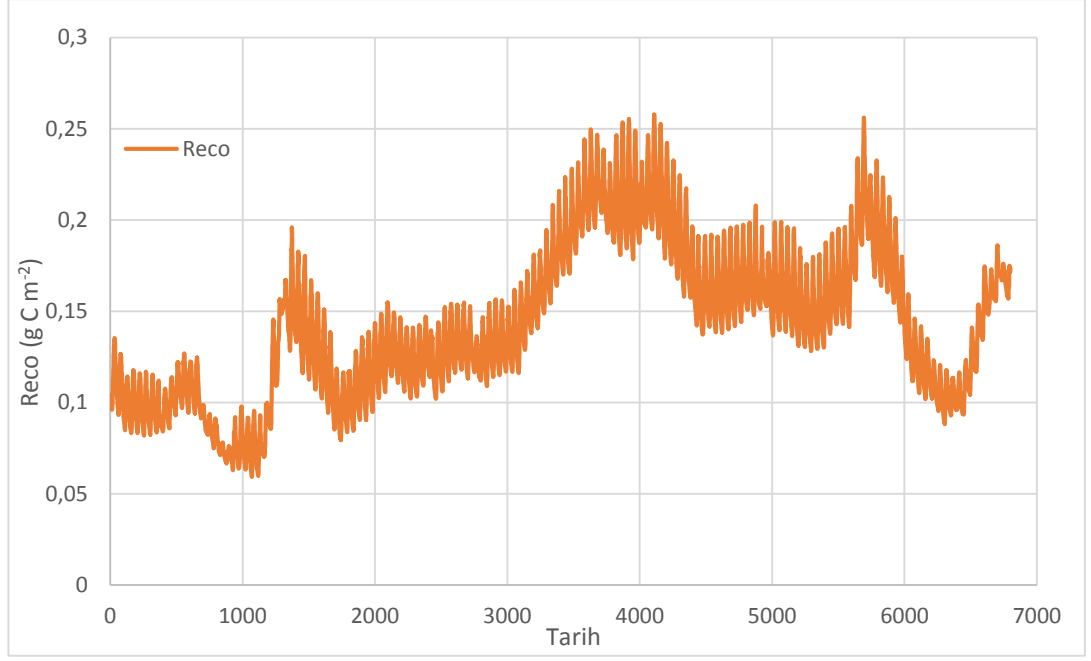


Şekil 5.5 : Gelişme dönemi boyunca günlük karbon akıları (g C m⁻² gün⁻¹)

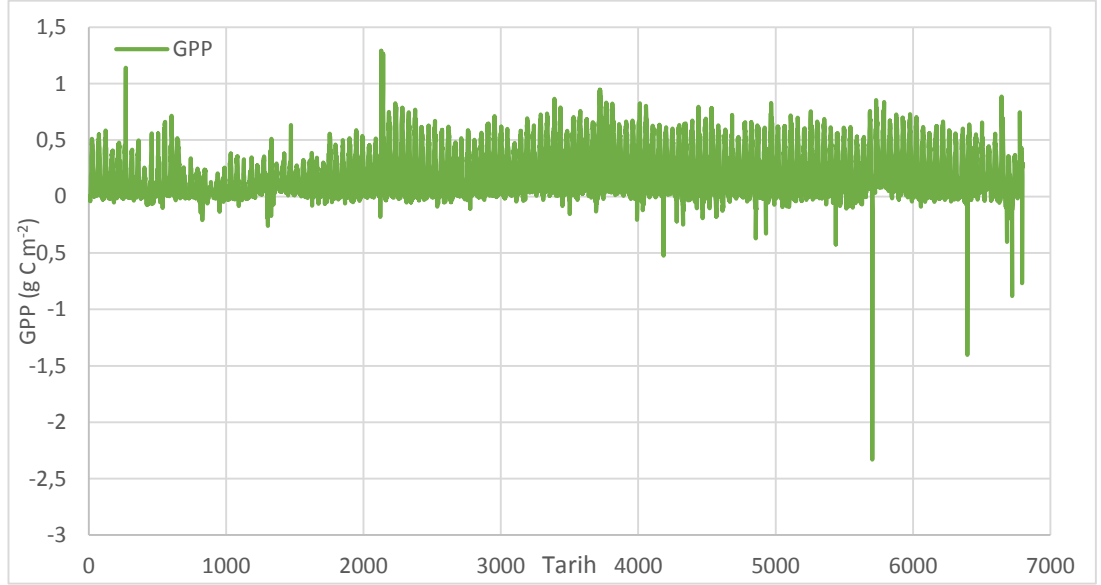
Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 sırasıyla NEE, R_{eco} ve GPP'nin 30 dakikalık zaman aralıklarındaki değişimlerini göstermektedir.



Şekil 5.6 : Gelişme dönemi boyunca NEE'nin değişimi (30 dakikalık veri ile)



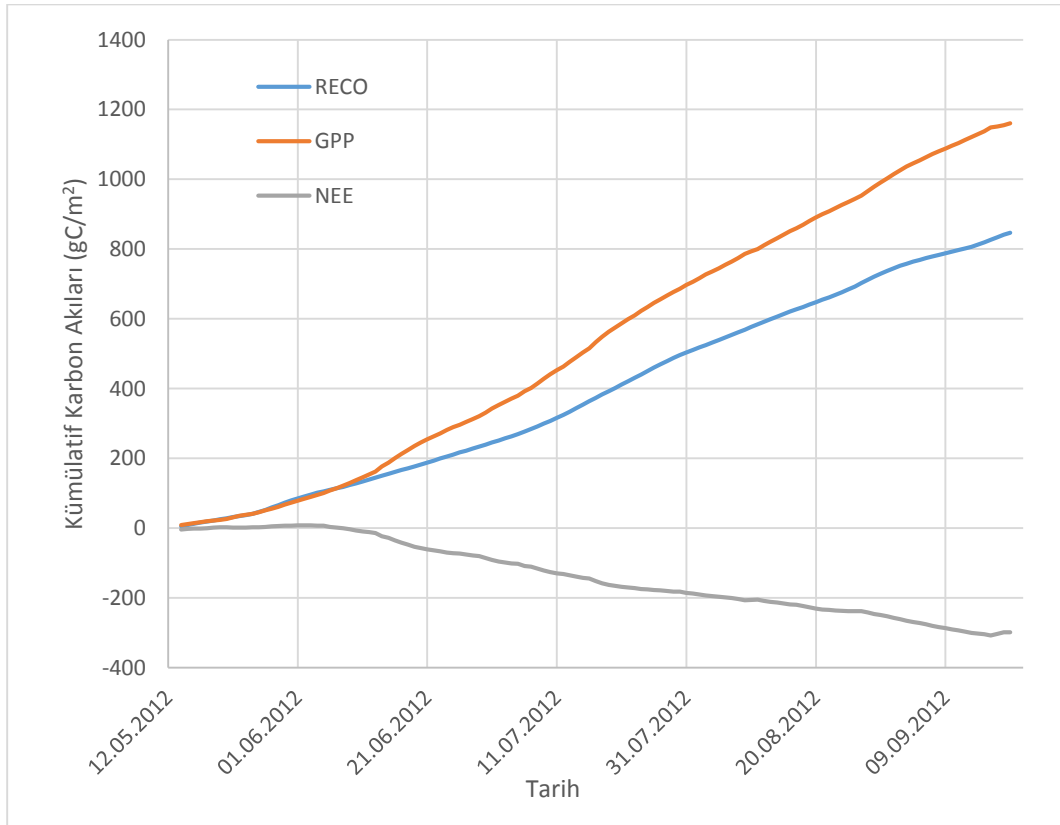
Şekil 5.7 : Gelişme dönemi boyunca R_{eco} 'nun değişimi (30 dakikalık veri ile)



Şekil 5.8 : Gelişme dönemi boyunca GPP'nin değişimi (30 dakikalık veri ile)

Şekil 5.9 'da günlük toplam GPP, NEE ve R_{eco} değerleri kümülatif olarak gösterilmiştir. Gelişme dönemi sonunda toplam GPP, NEE ve R_{eco} değerleri sırasıyla $1160.2 \text{ g C m}^{-2}$, $-299.03 \text{ g C m}^{-2}$ ve 846.3 g C m^{-2} olarak hesaplanmıştır. 8 Haziran 2012 tarihinden itibaren karpuz bitkisi atmosferden karbondioksit indirmeye (yutak) başlamıştır. Bu tarihe kadar solunum kontrolünde akıllar gerçekleşmiştir. Bitkilerin

fotosentez ile indirdiği CO₂'den daha fazla toprak ve bitkiden solunum gerçekleşmiştir. Ancak Haziran ayının ilk haftasından sonra fotosentez, solunumundan daha yüksek değerler almaya başlamıştır. Ülkemizde ilk kez karpuz bitkisinin atmosferden fotosentez ile aldığı, solunum ile atmosfere verdiği (emisyon) ve bünyesinde biriktirdiği (yuttuğu) karbon miktarları ölçülmüştür. Buna göre net karbon birikimi (NEE) toplam brüt fotosentezin (GPP) yaklaşık % 26'sına, toplam solunumun da yaklaşık % 35'ine karşılık gelmektedir. Atmosferden fotosentez ile indirilen karbonun yaklaşık % 73'ü solunum ile atmosfere geri verilmektedir. Bu değerler Dünya'da bu konuda başka araştırma yapılmadığı için karşılaştırılamamaktadır. Ancak solunumun payının azaltılmasının nasıl sağlanabileceği üzerinde çalışılmalıdır. Bu konuda toprak işleme, ekim veya dikim ile ilgili işlemler üzerinde araştırmalar yürütülmeye ihtiyaç olduğu açıktır.

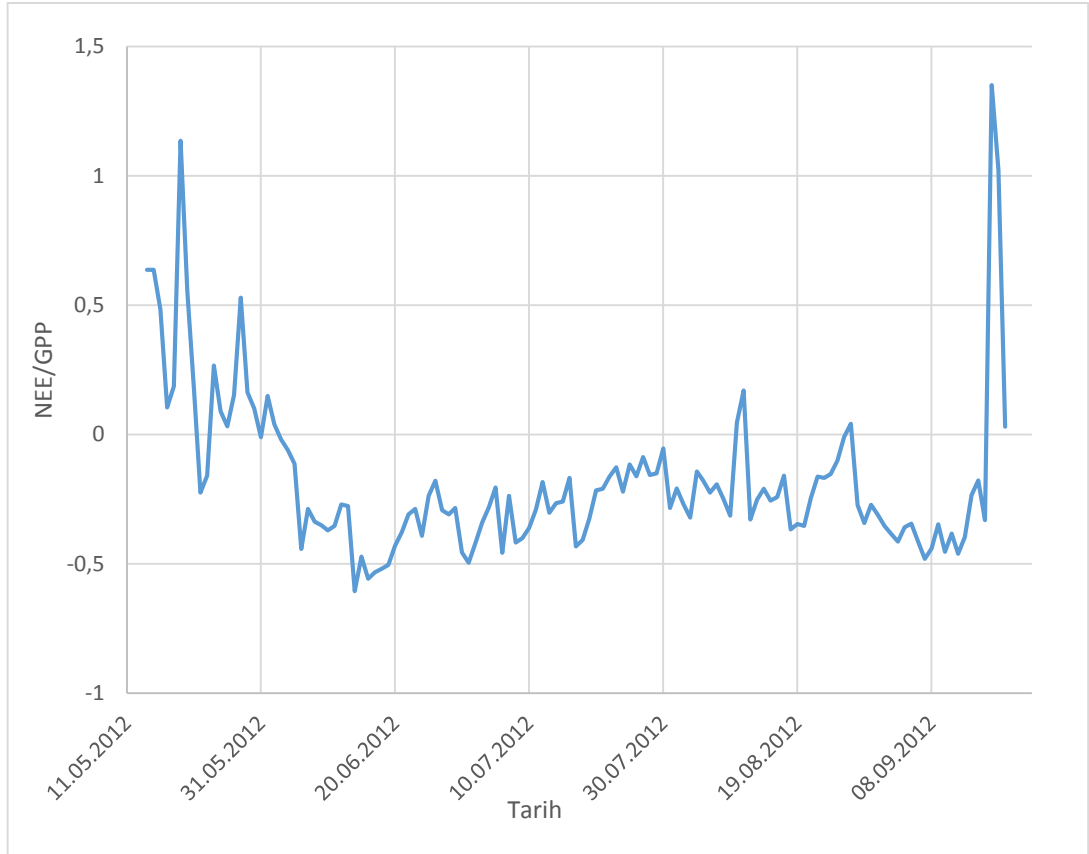


Şekil 5.9 : Gelişme dönemi boyunca kümülatif karbon akıları (g C m⁻²)

Bitkinin gelişme döneminde NEE/GPP ilişkisi incelendiğinde ortalama oranın 0.19 olduğu hesaplanmıştır (Şekil 5.10). Gelişme döneminin başlangıcında yağışlı ve

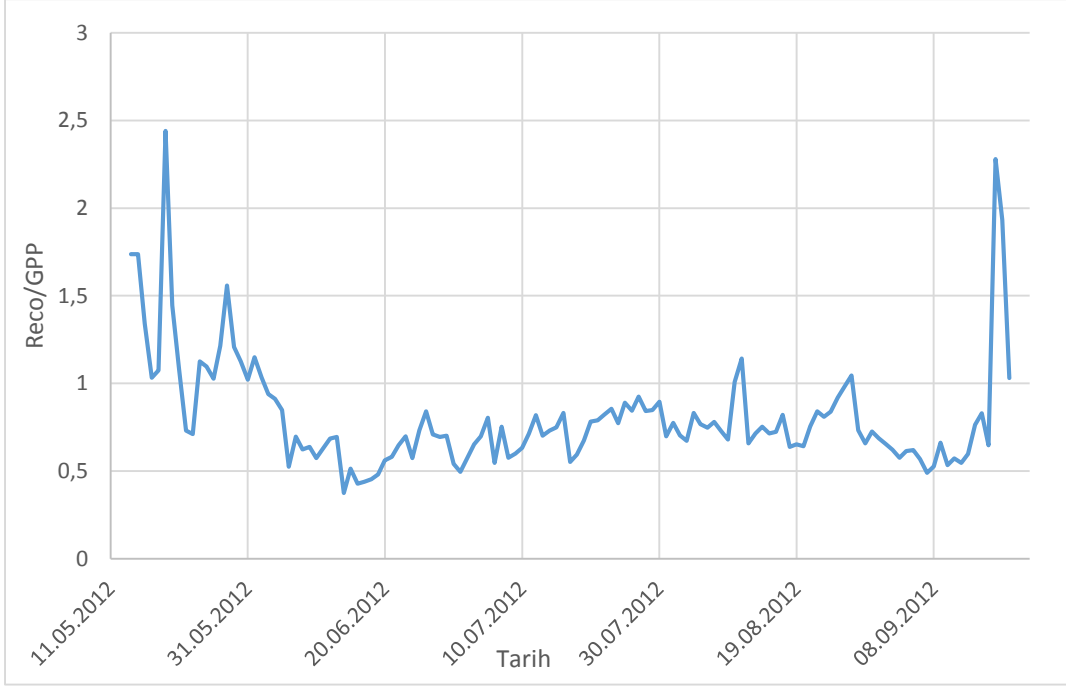
bulutlu dönemde NEE/GPP oranı çoğunlukla pozitif değerler almıştır. Ancak 3 Haziran 2012 tarihinden itibaren dikimden sonra son kez pozitif oran tespit edilmiştir. Bu bize ilgili tarihten itibaren bitkinin GPP'sinin R_{eco} 'dan büyük olduğunu ve bitkinin gelişmeye başladığını göstermektedir. Gelişmenin sona erdiğini ve artık son hasata yaklaşıldığının bir göstergesi de NEE/GPP oranının son kez negatif olduğu 17 Eylül 2012 tarihidir.

Gelişme döneminde R_{eco}/GPP değişiminin zaman serisi aşağıdaki Şekil 5.11'de verilmiştir. Ortalama R_{eco}/GPP değeri 0.81 olarak tespit edilmiştir. Gelişme döneminin başlangıcında ve sonunda R_{eco} değerleri GPP değerinden belirgin olarak yüksektir. Gelişmenin başlaması ile birlikte bu oran yaklaşık olarak 0.7 civarına düşmüştür.

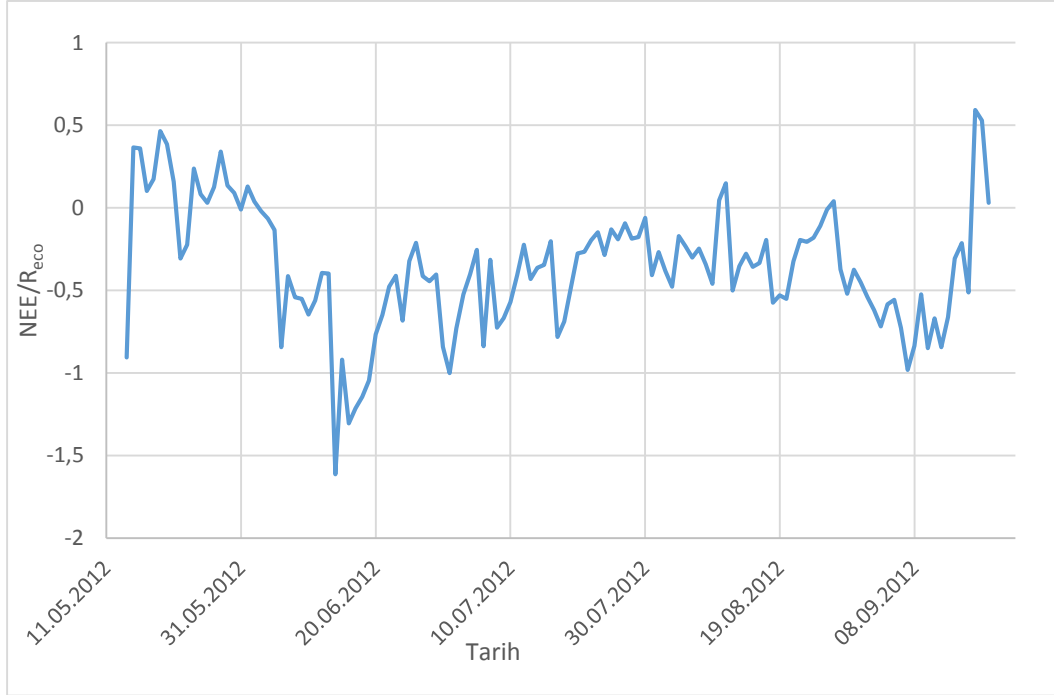


Şekil 5.10 : NEE/GPP 'nin gelişme dönemi boyunca değişimi

Şekil 5.12'de NEE'nin Reco'ya oranının gelişme dönemi boyunca değişimi görülmektedir.



Şekil 5.11 : R_{eco}/GPP 'nin gelişme dönemi boyunca değişimi



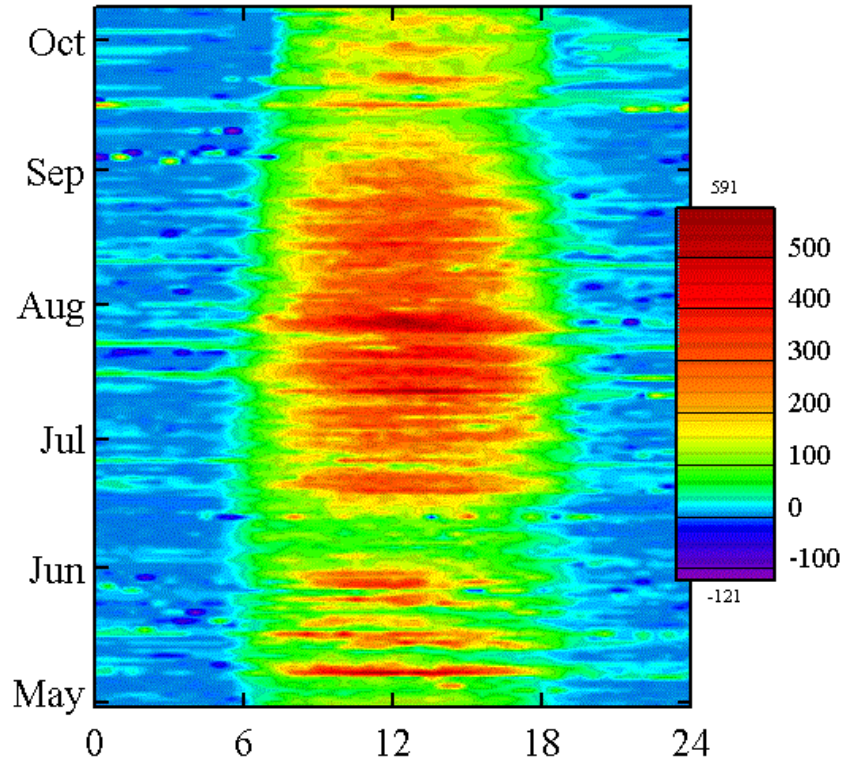
Şekil 5.12 : NEE/R_{eco} 'nun gelişme dönemi boyunca değişimi

5.3 Karpuz Bitkisinin Buharlaşma Gizli Isı Akısı

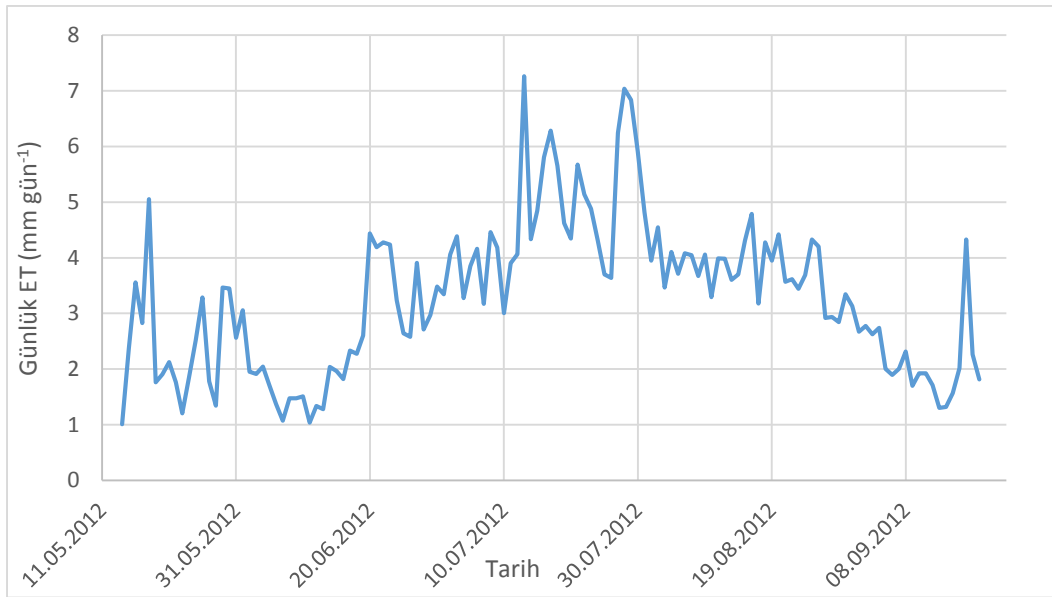
Karpuz bitkisinin buharlaşma gizli ısı akısı ilk kez ülkemizde ve Dünya'da bu derece hassas bir biçimde ve yüksek teknoloji ile ölçülmüştür. Aşağıdaki şekilde görülen

LE'nin değişimi 10 Hz (0.1 saniye) zaman aralığında ölçölen verilere dayanmaktadır. Şekil 5.13'de LE'nin gñnlük değişimi gelişme dñnemi boyunca görölmektedir. Karpuz bitkisinin ekildiği tarihten itibaren yağışlara ve sulamaya bağlı olarak LE (gerçek evapotranspirasyon - ET_a) değerlerinde artışlar söz konusudur. Bilhassa bu LE değerlerinin sıcaklığın arttığı ve aynı zamanda sulamaların yapıldığı zamanlardan sonra meydana gelmesi beklenen bir durumdur. Bitki gelişiminin yavaşlaması, karpuz bitkisinin hasat edilmesi, yağışların azalması LE değerlerinde Ağustos ayının ikinci yarısından sonra dñřüřü açıklamaktadır. Eylöl ayında LE akılarının dñřmesi hem bitkinin hasat olgunluğunda olmasından hem de yağışların dñřmesi, toprak su içeriğinin azalmasından (0-30 cm) kaynaklanabilir. Su buharı akılarının en yüksek olduğu dñnem Temmuz ayının son haftadır. Bu zaman aralığında LE maksimum değerlerine çıkmıştır. Bitkinin toplam biyokütlesinin maksimumuna ulaştığı 1 Ağustos 2012 tarihinin hemen öncesinde toprak (evaporasyon) ve karpuz bitkisi (transpirasyon) yüzeylelerinden atmosfere maksimum H_2O akısı gerçekteşmiştir. Aynı dñnemde ortalama LE değeri de 93.4 W m^{-2} olarak bulunmuştur. Bitki gelişme dñnemi boyunca dñřen 87.7 mm yağışa karşılık meydana gelen bu buharlaşmanın, artmasının sebeplerinden biride sulama ile toprağa verilen su ve toprağın derinliklerindeki su içeriğinin tarla kapasitesine yakın olması olabilir. Ancak Ağustos ayının ikinci haftasından sonra bulutluluk nedeniyle meydana gelen azalmalar etkisini LE değerlerinde (net radyasyonunda dñřmesi) ile hissettirmiştir.

LE biriminin W m^{-2} 'den ET (mm) değerine dñnüřtürölmesi sonucunda, karpuz bitkisinin gelişme dñnemi boyunca meydana gelen ET'nin değişimi belirlenmiştir. Şekil 5.14 ET_a değerinin zaman serisini göstermektedir. Gñnlük ortalama ET değeri 3.27 mm gün^{-1} olarak belirlenmiştir (gelişme dñnemi boyunca). Maksimum ET değeri 7.26 mm gün^{-1} olarak 13 Temmuz 2012 tarihinde ve 1.01 mm gün^{-1} olarak 14 Mayıs 2012 tarihinde ölçölmüştür. Bu dñnemde gerçek evapotranspirasyon değeri toplam 422 mm olarak hesaplanmıştır.

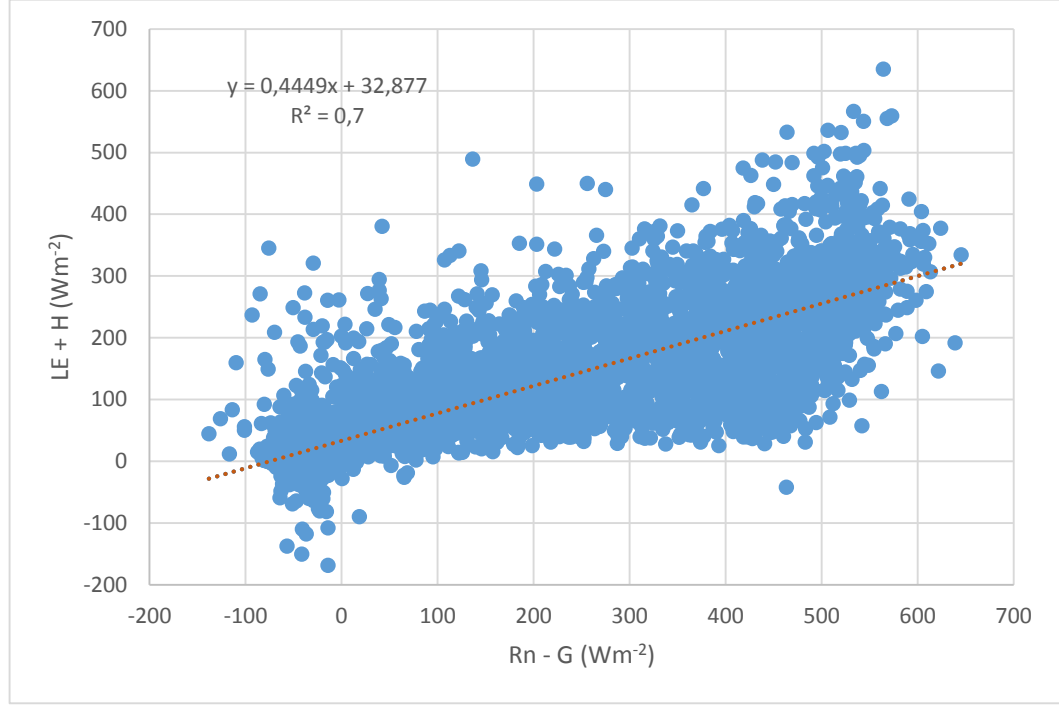


Şekil 5.13 : Gelişme dönemi boyunca LE'nin günlük değişimi



Şekil 5.14 : ET_a'nın günlük değişimi

Karpuzun gelişme dönemindeki enerji kapalılığına baktığımızda (LE+H) ile yarıyıslı enerji (Rn-G) arasında belirlilik katsayısı 0.7 olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.15). Elde edilen ilişki 30 dakikalık enerji akıları için belirlenmiştir.



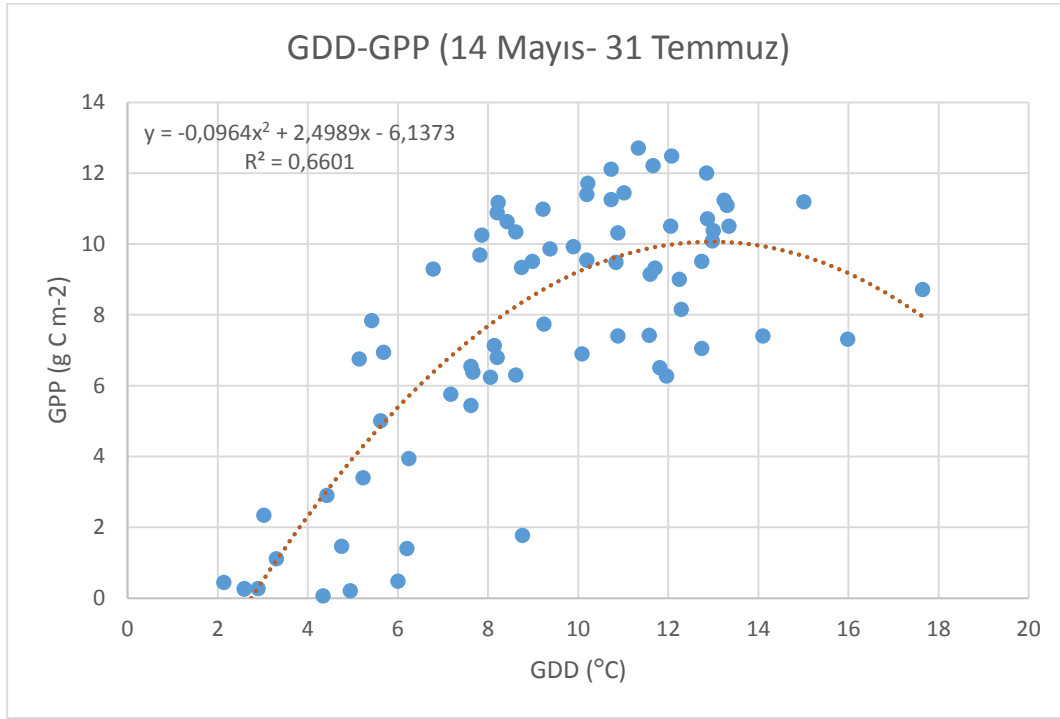
Şekil 5.15 : Enerji kapalılığı (yüzey enerji dengesi bileşenleri ilişkisi)

5.4 Karbon Akıları ile Meteorolojik Değişkenler Arasındaki İlişkiler

Vejetasyon yüzeyinin karbon akılarını ölçmek ve değerlendirmek oldukça masraflı ve meşakatlidir. Karbon akıları az ya da çok hemen hemen bütün meteorolojik parametreden etkilenmektedir. Karbon akıları ve çeşitli meteorolojik parametreler arasında anlamlı lineer ya da lineer olmayan ilişkilerin tespit edilmesi oldukça önemlidir. Bu ilişkilerden yola çıkarak elde edilecek matematiksel modellerle sadece meteorolojik parametrelerin ölçümü ile karbon akılarını tespit etmek mümkün olabilir. Bu sebeple meteorolojik parametrelerin karbon akıları ile olan ilişkileri bitki gelişme evresini çeşitli dönemlere ayırarak incelenmiştir.

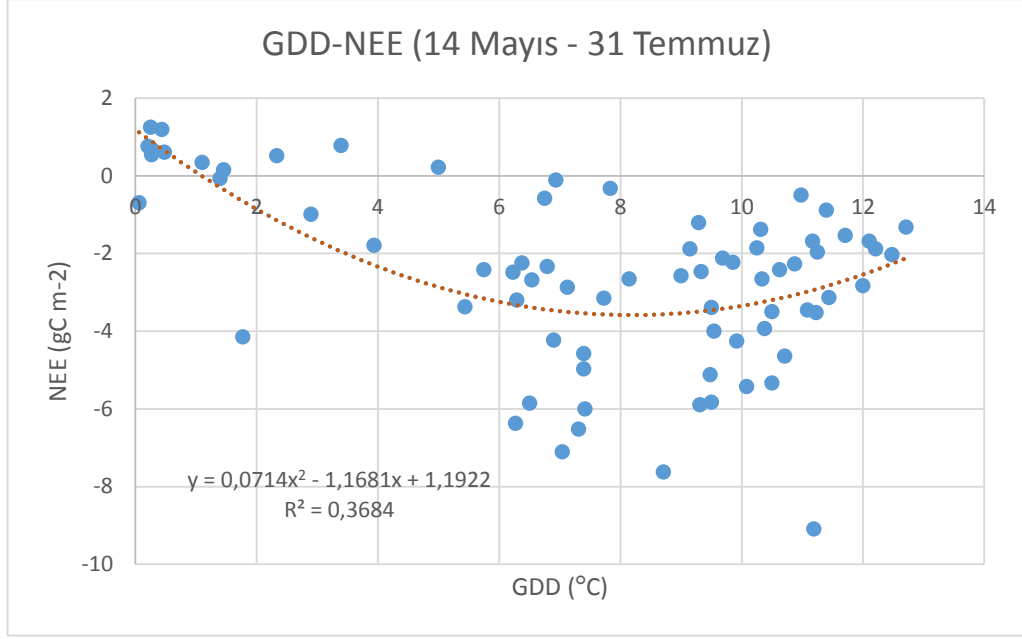
Tüm bitkilerin gelişmesini kontrol eden önemli faktörlerden biri hava sıcaklığıdır ve bu hava sıcaklığı bitkinin gelişme aşamalarının belirlenmesinde ve bir bölgede yetişip

yetişmeyeceğinin öngörülmesinde kullanılabilir. Bu araştırmada karpuz bitkisini büyüme derece gün (GDD) değeri gelişmesi için gerekli taban sıcaklık 15 ve maksimum 40 °C alınarak hesaplanmıştır. Bitkinin biyokütlesinin ve maksimum olduğu ve ilk hasatın yapıldığı tarihte toplam GDD 559 °C gün ve bu döneme kadar meydana gelen toplam GPP yaklaşık 680 g C m⁻² olarak hesaplanmıştır. Hava sıcaklığının 15 °C altında olduğu dönemde meydana gelen GPP değerleri bu değerlendirmede dikkate alınmamıştır. Bu dönemde günlük toplam GDD ve GPP arasında doğrusal olmayan ve GDD nin GPP nin % 66'sını tanımladığı bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 5.16). GPP'nin GDD tarafından açıklanamayan % 34'lük kısmı diğer meteorolojik bileşenlerin etkisi olarak değerlendirilebilir.



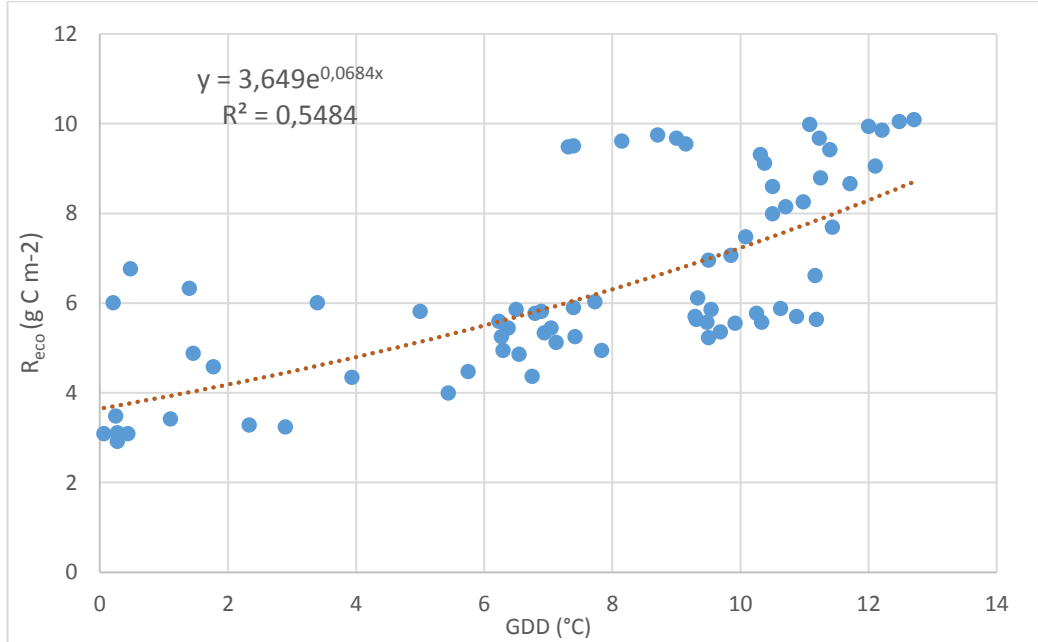
Şekil 5.16 : Büyüme derece gün (GDD) ile GPP ilişkisi

Aynı şekilde NEE ve GDD arasında ilişki incelendiğinde GDD nin NEE nin yaklaşık olarak % 37'sinin açıkladığı görülmektedir (Şekil 5.17).



Şekil 5.17 : Büyüme derece gün (GDD) ile NEE ilişkisi

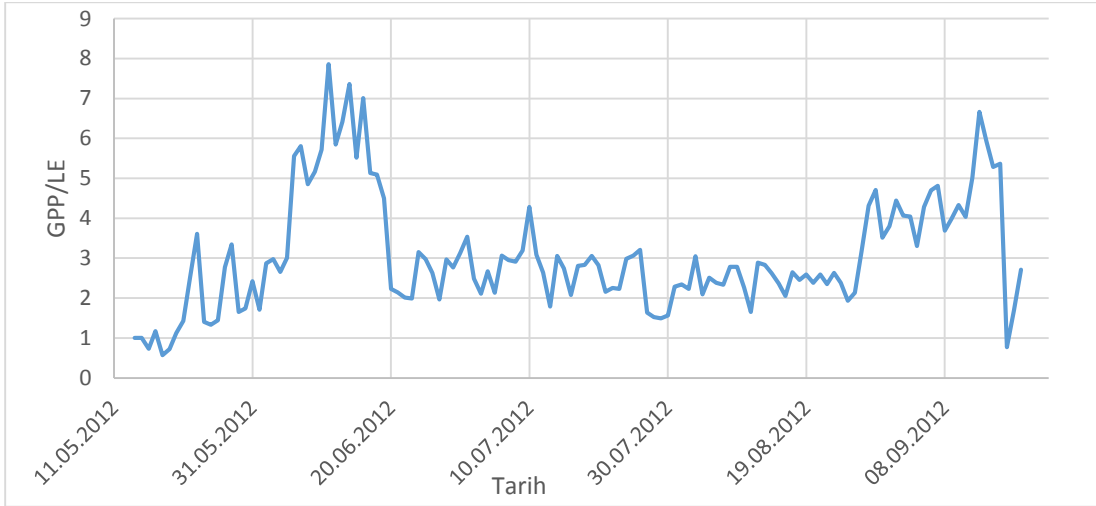
Toprakтан ve bitkiden meydana gelen toplam ekosistem solunumu çoğunlukla hava ve/veya toprak sıcaklığının üstel bir fonksiyonudur. Bu çalışmada da sıcaklığın bir fonksiyonu olan GDD ile R_{eco} arasında üstel bir ilişki bulunmuştur ve bu ilişkinin belirlilik katsayısı 0.55'tir (Şekil 5.18).



Şekil 5.18 : Büyüme derece gün (GDD) ile R_{eco} ilişkisi

5.5 Buharlaşma Gizli Isı Akısı ile Meteorolojik Değişkenler ve Karbon değişimi Arasındaki İlişkiler

Buharlaşma ile verim arasında bir ilişki bulunmaktadır. Doğal olarak ET nin artabilmesi için yeteri miktarda su toprakta bulunmalı ve bilhassa fotosentez faaliyetinin artması gerekmektedir. Bu çalışmada ölçülen GPP değeri ile yine ölçülen LE değerleri arasındaki oran analiz edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 5.19 bu iki değişken arasındaki oranın zamansal değişimini göstermektedir. Bu oranın dönemsel ortalaması 3 olarak belirlenmiştir. 31 Mayıs 2012 tarihine kadar meydana gelen yağışların ve sulamanın etkisiyle GPP/LE değeri yaklaşık 3.6'nın altında seyrederken 31 Mayıs 2012 tarihinden sonra başlayan toprak su içeriğindeki azalmanın etkisiyle LE değerleri düşmüş ve oran bu sebeple 8'lere kadar çıkmıştır. Daha sonra bitki gelişiminin artması, sulamalar ve bitki kök derinliğinin artarak toprağın alt katmanlarındaki suyu kullanmasında etkisi ile transpirasyon artmış ve LE değerleri yükselmiştir. Bitki yüzeyinden meydana gelen buharlaşma gizli ısı akısı 27 Ağustos 2012'den sonra tekrar su seviyesinde azalma ve bitki gelişiminin tamamlanması sebebiyle LE değerleri küçülmüştür.



Şekil 5.19 : GPP/LE 'nin gelişme dönemi boyunca değişimi

5.6 Karbon Akıları ile Biyokütle Arasındaki İlişki

Bitkinin biyokütlesindeki artış ile maruz kaldığı radyasyon miktarı arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur. Radyasyon kullanma verimliliği (RUE), bitkinin biyokütle

üretimi ile absorbe ettiği PAR arasındaki orandır (Mariscal ve diğ. 2000). Karpuz bitkisinin dikim tarihinden ilk hasat tarihi olan 31 Temmuz 2012 tarihine kadar olan dönemdeki RUE değeri $2.17 \text{ g C } \mu\text{mol}^{-1} \text{ s}$ olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen toplam GPP, R_{eco} ve NEE değerlerini ülkemizde ve Dünyay'da karpuz bitkisi üzerinde CO_2 akıları ile ilgili bir ölçüm çalışması yapılmadığı için karşılaştırma imkanı bulunmamaktadır. Ancak ülkemizde yine Kırklareli'nde bu araştırmanın yapıldığı deneme alanında Şaylan ve ark. (2012) ve Semizoğlu (2012) tarafından Buğday bitkisi üzerinde yapılan bir çalışmada buğday bitkisinin yaklaşık 270 günde toplam NEE değeri (iki gelişme dönemi ortalaması) yaklaşık 400 g C m^{-2} olarak Eddy Kovaryans Yöntemiye belirlenmiştir. Genellikle ülkemizde Trakya'da ikinci ürün olarak ekilen karpuz bitkisi ile ilgili bir gelişme döneminde yapılan bu araştırma çalışması göstermiştir ki karpuz bitkisi kısa gelişme döneminde buğday bitkisine göre oldukça önemli miktarda karbonu atmosferden almaktadır (yutmaktadır). Günlük ortalama 2.31 g C m^{-2} karpuz bitkisi tarafından atmosferden indirilmektedir. Aynı şekilde karpuz bitkisi ile ilgili enerji akısı alanında yapılan araştırmalarda ülkemizde bulunan sonuçlar genelde klasik ve bazı kabullere dayanan ve geniş zaman aralığı için hesaplanan ET değerleri ile mikrometeorolojik yöntemler ve her saniye ölçümü yapılan ve noktasal değil alansal ölçüm sonuçlarına dayanan ET sonuçlarımız ile karşılaştırıldığında ise 442 mm değerinin daha önce yine Trakya'da yapılan Orta ve ark. (2003) tarafından belirlenen değerlerden yüksek olduğu görülmektedir. Her ne kadar Orta ve ark. topraktaki yarayışlı suyun % 50 ye düştüğü zamanda uyguladıkları sulamaların yapıldığı zamanlarda ET değerinin yaklaşık olarak 404 mm olarak buldularsa da bu bitkinin su stresinde bulunmadığı dönemi göstermektedir. Ancak bizim araştırmamızda karpuz bitkisi toprak su içeriği verilerinden görülmektedirki 0 - 30 cm derinliğinde su stresinin etkisinde kalmıştır. Bu sebeple bu çalışmada elde edilen sonuçlar bitkinin su kısıtı altında ET_a değerlerini göstermektedir. Ayrıca bu araştırmada elde edilen veriler denemenin yapıldığı alan içerisinde kurulan meteoroloji istasyonlarından 0.1 sn veya 1 sn aralığında yapılan ölçümlerden elde edilmesi bu veriler arasındaki farklılıkları açıklamaktadır. Aynı zamanda Orta ve diğer araştırmacılar tarafından ET hesaplamalarında kullanılan denklem bazı kabuller içermektedir ki bu kabuller bu araştırmaların sonuçlarında etkileyebilir. Diğer yandan Kırnak ve ark. (2009) tarafından bulunan değerlerden daha aşağıda bir ET değeri bu çalışmada tespit edilmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ülkemizde yaygın tüketilen meyvelerden olan karpuz bitkisinin CO₂ ve H₂O akıları EC yöntemiyle ölçülmüştür. 14 Mayıs – 9 Ekim 2012 tarihleri arasında KRK'daki arazide yürütülen çalışma sonucunda ilgili dönemde karpuz bitkisinin toplam NEE değeri - 299.03 g C m⁻², toplam ET_a ise 422 mm olarak tespit edilmiştir.

Ölçülen ve hesaplanan hemen hemen tüm değişkenler çeşitli zaman aralıkları için Çizelge 6.1'de özetlenmiştir. Tüm gelişme dönemi boyunca meydana gelen toplam yağışın yaklaşık % 80'i Mayıs ayında gerçekleşmiştir. Bu sebeple Mayıs ayında yağıştan kaynaklanan hatalı veri sayısı diğer aylara göre daha fazladır. Ancak bu dönemde bitki gelişiminin düşük olması sebebiyle karbon akılarına etkisi minimum olmuştur. Mayıs ayında meydana gelen emisyon toplam emisyonun yaklaşık %9'u kadardır. Aynı zaman aralığında net karbon birikiminde sadece %2 si meydana gelmiştir. Karpuz bitkisi için yapılan ölçüm ve analizlere göre karpuz bitkisiyle atmosfer arasındaki CO₂ ve H₂O değişiminin en yüksek olduğu ay Temmuz ayıdır. Bu ayda meydana gelen net karbon birikimi toplam yutak miktarının yaklaşık % 33'ünü ve toplam ekosistem solunumunda (emisyon) % 31'ini oluşturmaktadır. Aynı şekilde toplam ET_a'nın yaklaşık %35'i Temmuz ayı içerisinde gerçekleşmektedir. Karpuz bitkisinin CO₂ ve H₂O akıları açısından kritik olan bir diğer aylar ise Haziran ve Ağustos aylarıdır. Bitkinin toplam yutak miktarının yaklaşık % 31'i Haziran, yaklaşık %23'ü Ağustos ayında meydana gelmektedir. Atmosfere solunum ile salınan karbon miktarında % 19'u Haziran, %28'i de Ağustos ayında belirlenmiştir. Toplam ET_a'nın % 17'si %28'i de Ağustos ayı içerisinde gerçekleşmiştir. İlgili bitki 15 °C taban sıcaklığına göre ölçüm döneminde toplam 930 °C güne maruz kalmıştır. Gelişme döneminde ortalama hava sıcaklığı 22.17, ortalama toplam güneş radyasyonu 287.89 W m⁻², ppfd 533 mmol m⁻² s⁻², rüzgar hızı 1.57 ms⁻¹ olarak gerçekleşmiştir. Bitkinin dikiminden ilk hasat tarihine kadar karpuz bitkisi tarafından atmopsferden yutulan karbon miktarı yaklaşık 186 g C m⁻² dir. Aynı periyotta solunumla atmosfere verilen

karbon miktarında yaklaşık 533 g C m^{-2} dir. Birinci ve ikinci hasat arasında yaklaşık 64 g C atmosferden bitki tarafından indirilmiştir. Aynı zaman aralığında toplam ekosistem solunumu ile yaklaşık 226 g C m^{-2} atmosfere salınmıştır.

ET_a değeri ülkemizde ölçümü yaygın yapılmayan bir parametredir. Bitki su tüketimini göstermesi sebebiyle tarımdaki sulama ihtiyacının belirlenmesi ve programlanması aşamasında en önemli girdidir. Bu çalışmada karpuz bitkisinin bir gelişme dönemi boyunca yapılan çalışmada elde edilen değerlerin uzun yıllar sürdürülmesinde yarar vardır. Her ne kadar ET_a ölçümünün EC yöntemiyle tutarlı yapıldığına dair validasyon çalışmaları olsa da elde edilen sonuçların lizimetre gibi doğrudan ölçme yöntemleriyle karşılaştırılması gerekir. Diğer taraftan elde edilen sonuçlar karık sulama yönteminin uygulandığı deneme alanından elde edilmiştir. Sulama yönteminin su tüketimi üzerindeki etkisi göz önünde bulundurularak aynı çalışmanın farklı sulama yöntemleri ile tekrarlanması önem taşımaktadır.

Sonuç olarak ilgili bitki yüzeyi için günlük ortalama emisyon değeri 6.56 g C m^{-2} ($24 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$) ve yutak değeri ise 2.31 g C m^{-2} ($8.45 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$) olarak belirlenmiştir. Karpuz bitkisinin 129 gün süren ölçüm periyodunda metrekare'den meydana gelen toplam CO_2 salınımı 0.846 kg ve net karbon değişimi (yutak) ise -0.299 kg olarak belirlenmiştir.

Tarım alanında ülkemizdeki bu karbon emisyon ve yutak miktarlarının belirlenmesi karbon ticareti açısından önemli bir girdi niteliği taşıyacaktır.

Çizelge 6.1: Yapılan ölçüm, hesaplama ve analizler sonucunda elde edilen meteorolojik veri ve akı değerleri.

Zaman Aralıkları	GPP (top.)	GPP (ort.)	Reco (top.)	Reco (ort.)	NEE (top.)	NEE (ort.)	ET _a (top.)	ET _a (ort.)	GDD (top.)	T _{hava} (ort.)	T _{toprak} (ort.)	R _g (ort.)	R _n (ort.)	PPFD (ort.)	u (ort.)	RH (ort.)	Yağış (top.)
	g C m ⁻²	g C m ⁻²	g C m ⁻²	g C m ⁻²	g C m ⁻²	g C m ⁻²	mm	mm	°C	°C	°C	W m ⁻²	W m ⁻²	μmol m ⁻² s ⁻¹	m s ⁻¹	%	mm
Mayıs (14 - 31)	73.2	4.06	78.99	4.38	-6.71	-0.37	43.82	2.43	12.93	15.49	18.82	223.69	101.15	417.75	1.77	79.71	68
Haziran	257.96	8.59	160.29	5.34	-92.14	-3.07	72.93	2.43	232.52	22.75	26.88	336.07	149.80	622	2.06	60.68	3.9
Temmuz	365.86	11.80	264.06	8.51	-100.22	-3.23	147.20	4.74	313.74	25.12	27.73	325.39	157.93	599.75	1.98	58.74	1.1
Ağustos	305.53	9.85	233.79	7.54	-67.32	-2.17	117.14	3.77	271.56	23.76	26.95	274.05	131.83	504.97	1.56	51.91	1.9
Eylül (1 - 19)	157.63	8.29	109.20	5.74	-46.05	-2.42	40.90	2.15	99.35	20.22	22.77	234.05	105.67	436.28	1.99	65.08	12.8
A	697.03	8.82	503.34	6.37	-185.65	-2.35	263.96	3.34	559.20	22.02	25.38	306.28	141.90	566.73	1.96	64.25	73
B	293.63	9.78	225.61	7.52	-63.63	-2.12	114.01	3.80	265.99	23.86	27.05	273.81	131.99	504.57	1.56	51.91	1.9
C	463.16	9.26	343.00	6.86	-113.37	-2.26	158.04	3.16	370.92	22.41	25.36	258.85	121.89	478.87	1.72	56.91	14.7
D	1160.20	8.99	846.35	6.56	-299.03	-2.31	422.010	3.27	930.12	22.17	25.37	287.89	134.15	532.67	1.87	61.41	87.7

A: Dikim tarihinden biyokütlenin maksimumuna ulaştığı (aynı zamanda ilk hasat tarihi) ana kadar olan zaman aralığı (14 Mayıs 2012- 31 Temmuz 2012).

B: Biyokütlenin maksimum olduğu tarihten ikinci hasat tarihine kadar olan zaman aralığı (1 Ağustos 2012– 30 Ağustos 2012).

C: Biyokütlenin maksimum olduğu tarihten ölçümlerin sonlandırıldığı tarihe kadar olan zaman aralığı (1 Ağustos 2012– 19 Eylül 2012).

D: Dikim tarihinden ölçümlerin sonlandırıldığı tarihe kadar olan zaman aralığı (14 Mayıs 2012 – 19 Eylül 2012)

KAYNAKLAR

- Alberto, M.C.R., Quilty, J.R., Buresh, R.J., Wassmann, R., Haidar, S., Correa, T.Q., Sandro, J.M.** (2014). “Actual evapotranspiration and dual crop coefficients for dry-seeded rice and hybrid maize grown with overhead sprinkler irrigation”, *Agricultural Water Management*, 136, 1-12.
- Amiro, B.D., Barr, A.G., Black, T.A., Iwashita, H., Kljun, N., McCaughey, J.H., Morgenstern, K., Murayama, S., Nesic, Z., Orchansky, A.L., Saigusa, N.** (2006). Carbon, energy and water fluxes at mature and disturbed forest sites, Saskatchewan, Canada, *Agricultural and Forest Meteorology*, 136, 237–251.
- Anthoni, P.M., Freibauer, A., Kolle, O., Schulze, E.D.** (2004). Winter wheat carbon exchange in Thuringia, Germany. *Agric. Forest Meteorol.* 121, 55–67.
- Aslan, T., Şaylan, L., Çaldağ, B., Bakanoğulları, F., Yeşilköy, S.** (2014). Mikrometeorolojik yaklaşımla karpuz bitkisinin gerçek evapotranspirasyon değerinin belirlenmesi, 12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu, Tekirdağ, Türkiye, 21-23 Mayıs.
- Aubinet, M., Moureaux, C., Bodson, B., Dufranne, D., Heinesch, B., Suleau, M., Vancutsem, F., Vilret, A.** (2009). Carbon sequestration by a crop over a 4-year sugar beet/winter wheat/seed potato/winter wheat rotation cycle. *Agric. Forest Meteorol.* 149, 407–418.

- Baker, J.M., & Griffis, T. J.** (2005). Examining strategies to improve the carbon balance of corn/soybean Agriculture using eddy covariance and mass balance techniques. *Agricultural and Forest Meteorology*, 128, 163–177.
- Bao, X., Wen, X., Sun, X., Zhao, F., Wang, Y.** (2014). “Interannual Variation in Carbon Sequestration Depends Mainly on the Carbon Uptake Period in Two Croplands on the North China Plain”, *PLoS ONE*, 9 (10).
- Burba G.** (2013). *Eddy Covariance Method for Scientific, Industrial, Agricultural and Regulatory Applications*. LI-COR Biosciences.
- Citakoglu, H., Cobaner, M., Haktanir, T., Kisi, O.** (2013). Estimation of Monthly Mean Reference Evapotranspiration in Turkey, *Water Resource Management*, 28, 99 – 113.
- Cho, J., Kim, W., Miyazaki, S., Komori, D., Kim, H., Han, H. S., Kanae, S., Oki, T.** (2013). Difference in the Priestley–Taylor coefficients at two different heights of a tall micrometeorological tower, *Agricultural and Forest Meteorology*, 180, 97 – 101.
- Chu, H., Chen, J., Gottgens, J., Ouyang, Z., John, R., Czajkowski, K., Becker, R.** (2014). “Net ecosystem methane and carbon dioxide exchanges in a Lake Erie coastal marsh and a nearby cropland”, *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, 119, 722-740.
- Dinga, R., Kanga, S., Li, F., Zhanga, Y., Tonga, L., Suna, Q.** (2010). “Evaluating eddy covariance method by large-scale weighing lysimeter in a maize field of northwest China, 98, 87-95.
- Dufranne, D., Moureaux, C., Vancutsem, F., Bodson, B., Aubinet, M.** (2011). Comparison of carbon fluxes, growth and productivity of a winter wheat crop in three contrasting growing seasons. *Agric. Ecosyst. Environ.* 141, 133–142.

- Facchi, A., Gharsallah, O., Corbari, C., Masseroni, D., Mancini, M., Gandolfi, C.** (2013). Determination of maize crop coefficients in humid climate regime using the eddy covariance technique, *Agricultural Water Management*, 131-141.
- Foken, T.** (2008). *Micrometeorology*, Springer, Heidelberg, Berlin.
- Gharsallah, O., Facchi, A., Gandolfi, C.** (2013). “Comparison of six evapotranspiration models for a surface irrigated maize agro-ecosystem in Northern Italy”, *Agricultural Water Management*, 130, 119-130.
- Jiang, X., Kang, S. Tong, L., Li, F., Li, D., Ding, R., Qiu, R.** (2014). “Crop coefficient and evapotranspiration of grain maize modified by planting density in an arid region of northwest China”, *Agricultural Water Management*, 142, 135-143.
- Kljun, N., Calanca, P., Rotach, M.W., Schmid, H.P.** (2004). A simple parameterisation for flux footprint predictions. *Boundary-Layer Meteorology*, 112: 503-523.
- Li, S., Kang, S., Li, F., Zhang, L.** (2008). “Evapotranspiration and crop coefficient of spring maize with plastic mulch using eddy covariance in northwest China”, *Agricultural Water Management*, 95, 1214-1222.
- Launiainen, S., Rinne, J., Pumpanen, J., Kulmala, L., Kolari, P.** (2005). Eddy covariance measurements of CO₂ and sensible and latent heat fluxes during a full year in a boreal pine forest trunk-space. *Boreal Environment Resource* 10, 569–588.
- Mariscal, M. J., Orgaz, F., Villalobos, F., J.** (2000). Radiation-use efficiency and dry matter partitioning of a young olive (*Olea europaea*) orchard, *Tree Physiology* 20, 65–72.

- Moeletsi, M. E., Walker, S., Hamandawana, H.** (2013). Comparison of the Hargreaves and Samani equation and the Thornthwaite equation for estimating dekadal evapotranspiration in the Free State Province, South Africa, *Physics and Chemistry of the Earth*, 66, 4 – 15.
- Moureaux, C., Debacq, A., Bodson, B., Heinesch, B., Aubinet, M.** (2006). Annual net ecosystem carbon exchange by a sugar beet crop, *Agricultural and Forest Meteorology*, 139, 25–39.
- Moureaux, C., Debacq, A., Hoyaux, J., Suleau, M., Tourneur, D., Vancutsem, F., Bodson, B., Aubinet, M.** (2008). Carbon balance assessment of a Belgian winter wheat crop (*Triticum aestivum* L.). *Glob. Change Biol.* 14, 1353–1366.
- Nana, E., Corbari, C., Bocchiola, D.** (2014). “A model for crop yield and water footprint assessment: Study of maize in the Po valley”, *Agricultural Systems*, 127, 139-149.
- Paco, T.A., Ferreira, M.I., Conceicao, N.** (2006). Peach orchard evapotranspiration in a sandy soil: Comparison between eddy covariance measurements and estimates by the FAO 56 approach, *Agricultural Water Management*, 85, 305–313.
- Parent, A.C., Anctil, F.** (2012). Quantifying evapotranspiration of a rainfed potato crop in South-eastern Canada using eddy covariance techniques, *Agricultural Water Management*, 113, 45–56.
- Payero, J.O., Irmak, S.** (2013). “Daily energy fluxes, evapotranspiration and crop coefficient of soybean”, *Agricultural Water Management*, 129, 31-43.
- Pereira, A. R.** (2004). The Priestley–Taylor parameter and the decoupling factor for estimating reference evapotranspiration, *Agricultural and Forest Meteorology*, 125, 305 – 313.

- Raziei, T., Pereira, L. S.** (2013). Estimation of ETo with Hargreaves–Samani and FAO-PM temperature methods for a wide range of climates in Iran, *Agricultural Water Management*, 121, 1 – 18.
- Posse, G., Richter, K., Corin, J. M., Lewczuk, N. A., Achkar, A., & Rebella, C.** (2010). Carbon dioxide fluxes on a soybean field in Argentina: influence of crop growth stages. *The Open Agricultural Journal*, 4, 58–63.
- Posse, G., Richter, K., Lewczuk, N., Cristiano, P., Gattinoni, N., Rebella, C., Achkar, A.** (2014). “Attribution of Carbon Dioxide Fluxes to Crop Types in a Heterogeneous Agricultural Landscape of Argentina”, *Environmental Modeling Assessment*, 19, 361-372.
- Şaylan, L., Kimura, R., Munkhtsetseg, E., Kamichika, M.** (2011). Seasonal variation of carbon dioxide fluxes over irrigated soybean (*Glycine max L.*), *Theoretical and Applied Climatology*, 277-286.
- Wang, W., Liao, Y., Wen, X., Guo, Q.** (2013). “Dynamics of CO₂ fluxes and environmental responses in the rain-fed winter wheat ecosystem of the Loess Plateau, China”, *Science of the Total Environment*, 461, 10–18.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Toprak ASLAN

Doğum Yeri ve Tarihi: SİVAS – 27.07.1983

Adres: İstanbul/Türkiye

E-Posta: aslanntoprak@gmail.com

Lisans: Meteoroloji Mühendisliği

Yazar ilk ve orta öğrenimini İstanbul’da tamamlamıştır. 2001 yılında girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi Matematik Mühendisliği Bölümü’nü 2. sınıfta terk ettikten sonra İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü’nde lisans öğrenimine başlamıştır. Mezuniyetin ardından kabul edildiği Atmosfer Bilimleri Yüksek Lisans Programı’nda halen yüksek lisans öğrencisidir. İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Prof. Dr. Levent Şaylan’ın danışmanlığında mikrometeoroloji, tarım ve orman meteorolojisi alanlarında çalışmalar yürütmektedir.