İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKROMETEOROLOJİK YÖNTEMLERLE BİTKİLERİN ENERJİ AKILARININ BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yunus ÖZKOCA

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKROMETEOROLOJİK YÖNTEMLERLE BİTKİLERİN ENERJİ AKILARININ BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yunus ÖZKOCA
(511091013)

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Levent ŞAYLAN

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511091013 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Yunus ÖZKOCA**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"Mikrometeorolojik Yöntemlerle Bitkilerin Enerji Akılarının Belirlenmesi"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Levent ŞAYLAN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Yrd. Doç. Dr. Barış ÇALDAĞ** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Zafer ASLAN İstanbul Aydın Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **21 Nisan 2015**
Savunma Tarihi : **27 Mayıs 2015**

ÖNSÖZ

Canlı yaşamı ve ekolojik denge açısından son derece önemli olan su dengesinin tek kaynağı, atmosferden yeryüzüne ulaşan yağıştır. İklim değişikliği, kara – deniz etkileşimi, topografik farklılıklar gibi nedenlerden dolayı yağış yeryüzünde homojen olarak dağılmamaktadır. Bu da yağışın fazla olduğu yerlerde sel, yağışın az olduğu bölgelerde kuraklık olarak insanlığın karşısına çıkmakta ve canlı yaşamını olumsuz olarak etkilemektedir. Bu nedenle su dengesi ve su dengesi üzerinde direkt etkiye sahip olan enerji dengesi oldukça önemlidir. İki dengenin ortak bileşeni olan ve yüzeyden buharlaşma ve bitkilerin terleme ile kaybettikleri toplam su miktarını temsil eden evapotranspirasyonun belirlenmesi, hidrolojik döngünün daha anlaşılabilir hale gelmesini ve doğru su bütçelerinin hazırlanmasını sağlayacaktır. Çalışmaların mikro ölçekte yapılması ise öncelikle bölgesel, bir sonraki aşamada ise küresel olarak su bütçelerinin doğru yönetilmesini sağlayacaktır. Bu çalışma ile buğday bitkisi yetiştirilen tarımsal bir alanda enerji dengesi bileşenleri ve farklı yöntemler kullanılarak evapotranspirasyon belirlenmiştir.

Bu tez çalışması "Buğday bitkisinin karbondioksit, su buharı ve enerji akılarının belirlenmesi" başlıklı ve 109R006 numaralı proje kapsamında hazırlanmıştır. Projeye verdikleri destek nedeniyle TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bana yol gösteren, bilgi ve tecrübelerinden her daim yararlandığım, akademik ve insani olarak her zaman kendime örnek aldığım, odasının kapılarını öğrencilerine her zaman açık tutan ve proje kapsamında gerek arazi koşullarında gerekse ofis çalışmalarımızda kendisiyle çalışmaktan keyif aldığım ve onur duyduğum Sayın Prof. Dr. Levent ŞAYLAN ve ailesine müteşekkir olduğumu belirtmek isterim.

Ayrıca, çalışmalarımda katkılarını esirgemeyen Yard. Doç. Dr. Barış ÇALDAĞ'a, proje çalışmalarını yürüttüğümüz Kırklareli Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürü Dr. Fatih BAKANOĞULLARI'na ve istasyon çalışanlarına, proje ekibinde birlikte çalıştığım arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Eğitim ve öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi tüm imkanları ile her zaman destekçim olan aileme teşekkür ederim.

Mayıs 2015

Yunus ÖZKOCA
(Meteoroloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Literatür Araştırması 3
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 14
2. MATERYAL VE METOT **17**
2.1 Materyal 17
2.1.1 Deneme alanı ve bitki türü ile ilgili bilgiler 17
2.1.2 Kullanılan mikrometeorolojik ölçüm aletleri ve ölçümler 21
2.2 Metot 23
2.2.1 Bowen oranı enerji dengesi yöntemi (BREB) 24
2.2.1.1 Bowen oranı enerji dengesi bileşenlerinin hesaplanması 25
2.2.1.2 Yöntem gerekliliklerini karşılayan verilerin filtrelenmesi 27
2.2.2 Eddy Kovaryans yöntemi (EC) 29
2.2.3 Penman – Monteith ve FAO – 56 Penman – Monteith yöntemleri 31
2.2.4 Aerodinamik - yüzey iletkenliği ve ayrışma katsayısı hesabı 33
3. ÖLÇÜM VE HESAPLAMALARIN ANALİZİ **35**
3.1 Mikrometeorolojik Ölçümlerin Analizi 35
3.2 BREB Hesaplamalarının Analizi 43
3.3 EC Hesaplamalarının Analizi 55
3.4 PM ve FAO56 – PM Hesaplamalarının Analizi 57
3.5 BREB, EC ve PM Sonuçları Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi 58
3.6 Aerodinamik – Yüzey İletkenlik Değerlerinin Analizi 60
4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME **63**
KAYNAKLAR **69**
ÖZGEÇMİŞ **75**

KISALTMALAR

BREB **:** Bowen Oranı Enerji Dengesi
EC **:** Eddy Kovaryans Metodu
ET **:** Evapotranspirasyon
FAO **:** Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Kuruluşu
FAO–56 PM **:** FAO – 56 Penman – Monteith Metodu
IPCC **:** Uluslararası İklim Değişikliği Paneli
MGM **:** Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MODIS **:** Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi
MSU **:** Michigan Eyalet Üniversitesi
PM **:** Penman – Monteith Metodu
RMSE **:** Kök Ortalama Kare Hatası
TAGEM **:** Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Kırklareli iline ait meteorolojik verilerin uzun yıllık ortalamaları 18
Çizelge 2.2 : Toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri. 20
Çizelge 2.3 : Bitki türü ve yürütülen tarımsal faaliyetler 20
Çizelge 2.4 : Fenolojik gözlemler 21
Çizelge 2.5 : Kullanılan sensörler ve ölçüm yükseklikleri 22
Çizelge 2.6 : Verilerin seçim kriterleri 28
Çizelge 3.1 : Günlük verilere ait istatistiksel bilgiler 40
Çizelge 3.2 : Günlük ortalama BREB verilerine ait istatistiksel bilgiler 50
Çizelge 3.3 : Günlük ortalama EC verilerine ait istatistiksel bilgiler 57
Çizelge 4.1 : BREB Yöntemi ile elde edilen ET_a değerlerine ait aylık sonuçlar. 63
Çizelge 4.2 : EC Yöntemi ile elde edilen ET_a değerlerine ait aylık sonuçlar 64
Çizelge 4.3 : PM Denklemi ile elde edilen ET_a değerlerine ait aylık sonuçlar 65
Çizelge 4.4 : FAO56 – PM Denklemine ile elde edilen ET_0 değerlerine ait aylık sonuçlar 67

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Kırklareli'nin konumu 17
Şekil 2.2 : Kırklareli'ne ait iklim diyagramı 18
Şekil 2.3 : Deneme alanının uydu görüntüsü 19
Şekil 2.4 : Meteorolojik ölçüm istasyonuna ait görseller 22
Şekil 2.5 : EC ölçüm sistemine ait görseller 23
Şekil 2.6 : Ekosistemdeki hava hareketi 30
Şekil 2.7 : Tek bir noktada Eddy'lerin görünümü 30
Şekil 3.1 : 1 m Yükseklikte ölçülen hava sıcaklığının zamansal değişimi 35
Şekil 3.2 : 2 m Yükseklikte ölçülen hava sıcaklığının zamansal değişimi 36
Şekil 3.3 : 1 m Yükseklikte ölçülen bağıl nemin zamansal değişimi 36
Şekil 3.4 : 2 m Yükseklikte ölçülen bağıl nemin zamansal değişimi 37
Şekil 3.5 : 2 m Yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı verilerinin zamansal değişimi 37
Şekil 3.6 : Yağış miktarının zamansal değişimi 38
Şekil 3.7 : Global radyasyonun zamansal değişimi 38
Şekil 3.8 : Net radyasyonun zamansal değişimi 39
Şekil 3.9 : Toprak ısı akısının zamansal değişimi 39
Şekil 3.10 : 1 m Yükseklikte ölçülen hava sıcaklığının günlük değişimi 40
Şekil 3.11 : 2 m Yükseklikte ölçülen hava sıcaklığının günlük değişimi 41
Şekil 3.12 : 1 m Yükseklikte ölçülen bağıl nemin günlük değişimi 41
Şekil 3.13 : 2 m Yükseklikte ölçülen bağıl nemin günlük değişimi 41
Şekil 3.14 : 2 m Yükseklikte ölçülen bağıl nemin günlük değişimi 42
Şekil 3.15 : Günlük toplam yağış miktarının değişimi 42
Şekil 3.16 : Global radyasyonun günlük değişimi 42
Şekil 3.17 : Net radyasyonun günlük değişimi 43
Şekil 3.18 : Toprak ısı akısının günlük değişimi 43
Şekil 3.19 : Gerçek buhar basıncı farkının zamansal değişimi 44
Şekil 3.20 : Sıcaklık farkının zamansal değişimi 44
Şekil 3.21 : Bowen Oranı'nın zamansal değişimi 44
Şekil 3.22 : Buharlaşma gizli ısı akısının zamansal değişimi 45
Şekil 3.23 : Hissedilir ısı akısının zamansal değişimi 45
Şekil 3.24 : Gerçek buhar basıncı farkının günlük değişimi 46
Şekil 3.25 : Sıcaklık farkının günlük değişimi 46
Şekil 3.26 : Bowen Oranı'nın günlük değişimi 46
Şekil 3.27 : Buharlaşma gizli ısı akısının günlük değişimi 47
Şekil 3.28 : Hissedilir ısı akısının günlük değişimi 47
Şekil 3.29 : Gerçek buhar basıncı farkının zamansal değişimi 48
Şekil 3.30 : Sıcaklık farkının zamansal değişimi 48
Şekil 3.31 : Bowen Oranı'nın zamansal değişimi 49
Şekil 3.32 : Buharlaşma gizli ısı akısının zamansal değişimi 49
Şekil 3.33 : Hissedilir ısı akısının zamansal değişimi 49

Şekil 3.34 : Kullanılabilir enerji ile hissedilir ve buharlaşma gizli ısı akısı arasındaki ilişki 50
Şekil 3.35 : Gerçek buhar basıncı farkının günlük değişimi 51
Şekil 3.36 : Sıcaklık farkının günlük değişimi 51
Şekil 3.37 : Bowen Oranı'nın günlük değişimi 51
Şekil 3.38 : Net radyasyonun günlük değişimi 52
Şekil 3.39 : Toprak ısı akısının günlük değişimi 52
Şekil 3.40 : Buharlaşma gizli ısı akısının günlük değişimi 52
Şekil 3.41 : Hissedilir ısı akısının günlük değişimi 53
Şekil 3.42 : Doymuş ve gerçek buhar basıncının günlük değişimi 53
Şekil 3.43 : Doymuş ve gerçek buhar basıncı farkının günlük değişimi 53
Şekil 3.44 : Kullanılabilir enerji ile hissedilir ve buharlaşma gizli ısı akısı arasındaki ilişki 54
Şekil 3.45 : BREB yöntemi ile belirlenen ET_a değerlerinin günlük değişimi 54
Şekil 3.46 : EC Yöntemi ile belirlenen LE değerlerinin günlük değişimi 55
Şekil 3.47 : EC Yöntemi ile belirlenen H değerlerinin günlük değişimi 55
Şekil 3.48 : EC Yöntemi ile belirlenen ET_a değerlerinin günlük değişimi 56
Şekil 3.49 : Kullanılabilir enerji ile hissedilir ve buharlaşma gizli ısı akısı arasındaki ilişki 56
Şekil 3.50 : PM Denklemi ile hesaplanan ET_a değerlerinin günlük değişimi 57
Şekil 3.51 : FAO – 56 PM Denklemi ile hesaplanan ET_0 değerlerinin günlük değişimi 58
Şekil 3.52 : EC ve BREB arasındaki ilişki 59
Şekil 3.53 : PM ve BREB arasındaki ilişki 59
Şekil 3.54 : EC ve PM arasındaki ilişki 60
Şekil 3.55 : BREB, EC ve PM Yöntemleri ile elde edilen günlük değerlerin değişimi 60
Şekil 3.56 : Aerodinamik ve yüzey iletkenlik değerlerinin günlük değişimi 61
Şekil 3.57 : Ayrışma katsayısının günlük değişimi 61
Şekil 4.1 : BREB, EC ve PM Yöntemleri ile günlük toplam ET_a'nın değişimi 65

MİKROMETEOROLOJİK YÖNTEMLERLE BİTKİLERİN ENERJİ AKILARININ BELİRLENMESİ

ÖZET

Dünya nüfusundaki artış, biyolojik ve ekolojik yaşam ile tarımsal ve endüstriyel üretim aktivitelerinde ihtiyaç duyulan su miktarında artışa sebep olmaktadır. İklim değişikliği, tek su kaynağı olan yağışın küresel dağılımı üzerinde etkiler yaratmaktadır. Bu dağılım bölgeye bağlı olarak kuraklık veya sel gibi doğal afetlere sebep olabilmektedir. Bu nedenle insanlık için her bir su damlası daha da önemli hale gelmektedir.

Atmosfer bilimlerinin temelleri enerji ve su dengesi üzerine kuruludur. Enerji dengesi bileşenleri değiştirilebilir parametreler olmamasına karşın, su dengesi bileşenleri müdahaleye açık ve değiştirilebilir parametrelerdir. Bu noktada su kayıplarının belirlenmesi ve kontrolü önem arz etmektedir. Ekosistemde su kayıplarının ana bileşeni evapotranspirasyondur. Enerji ve su dengesinin en önemli ve ortak bileşeni olan evapotranspirasyon, kara ve su yüzeylerinden oluşan buharlaşma ve bitkilerden meydana gelen terleme ile atmosfere gönderilen toplam su miktarı olarak tanımlanır ve yüzey – atmosfer etkileşimi ile oluşur. Dünya genelinde kullanımda olan ve evapotranspirasyonun belirlenmesi amacıyla kullanılan birçok teknik bulunmaktadır.

Mikrometeorolojik bir yöntem olan Bowen Oranı Enerji Dengesi (BREB) yöntemi enerji akılarının dolaylı ölçümünde sıklıkla kullanılan; net radyasyon, toprak ısı akısı ile iki farklı seviyede sıcaklık ve nem ölçümü temeline dayanan, dayanıklı ve düşük maliyetli bir yöntemdir. Evapotranspirasyonun ölçümünde kullanılan bir diğer mikrometeorolojik yöntem ise Eddy Kovaryans (EC) yöntemidir. Yöntem, çok geniş alanlarda dahi birçok gazın atmosfer ile yeryüzü arasındaki taşınımını atmosferik sınır tabakada ölçebilen, üç boyutlu rüzgâr hızı ve gaz yoğunluğu ölçümüne dayalı bir sistemdir. Penman – Monteith (PM) ise evapotranspirasyonun hesaplanmasında kullanılan denklemlerden biridir. Penman – Monteith eşitliğinin FAO yaklaşımı ise, PM temeline dayanan ve referans evapotranspirasyonun belirlenmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan yöntemdir.

Bu çalışmada BREB, EC ve PM yöntemleri, ülkemizin kuzeybatısındaki Kırklareli ili sınırları içerisinde hizmet vermekte olan Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu'na ait deneme alanında kışlık buğday bitkisinin enerji akılarını ve gerçek evapotranspirasyon değerini belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca PM metodunun FAO yaklaşımı kullanılarak referans evapotranspirasyon belirlenmiştir. Ayrıca buğday bitkisi ekili alanda aerodinamik ve yüzey iletkenlik değeri ile ayrışma katsayısı hesapları yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, bölgede buğday bitkisinin ekim tarihi olan 9 Ekim 2009 tarihinden hasat tarihi 6 Temmuz 2010'a kadar oluşan gerçek evapotranspirasyon değeri BREB yöntemi ile 465.3 mm, EC yöntemi ile 344.1 mm ve PM eşitliği ile 392.6 mm olarak belirlenmiştir. Bölgede evapotranspirasyonun en fazla Mayıs

ayında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Aynı dönemde referans evapotranspirasyon 843.8 mm olarak hesaplanmıştır. Aerodinamik iletkenlik, yüzey iletkenliği ve ayrışma katsayısı değerleri sırasıyla 13.7 mm/sn, 38.9 mm/sn ve 0.84 olarak belirlenmiştir.

DETERMINATION OF ENERGY FLUXES OF CROPS BY USING MICROMETEOROLOGICAL METHODS

SUMMARY

The growth in world population increases the demand of water for biological and ecological life, agricultural and industrial production activities. The only source of water is precipitation and global climate change affects the distribution of precipitation in the world. Distribution of precipitation may result in natural disasters like droughts and floods depending on the region. Thus every water drop is getting more and more important for human being.

The fundamentals of atmospheric sciences rely on energy and water balance and every atmospheric system is controlled by the overall balance of energy and water. Energy balance is a natural and irreversible system and mostly cannot be affected by outside sources. On the other hand, water balance is composed of changeable components and exposed to intervention that makes it more crucial. At this point, determination and control of water loss are being much more significant.

Main component of water loss is evapotranspiration in terrestrial ecosystem. Evapotranspiration, the most important and common component of energy and water balance, is defined as the sum of evaporation and plant transpiration from the Earth's land and ocean surfaces to the atmosphere and composed of land – atmosphere interaction. In order to determine evapotranspiration rate, there are several measurement and calculation techniques in use around the world.

Accurate measurements of the vertical transfer of mass and energy on the land surface are necessary to understand the various components of hydrological cycle. The two most commonly used methods to measure evapotranspiration rates are the Bowen Ratio Energy Balance and Eddy Covariance methods. Both methods are suitable when a number of requirements, mostly with respect to terrain topography and homogeneous fetch extension, are fulfilled. Furthermore, meteorological variables can be used to calculate evapotranspiration rates. Penman – Monteith combination equation is the most frequently used method for this purpose. As a matter of fact that lysimeters are used to measure evapotranspiration directly on the ground, but this technique is very expensive and difficult to use in forest and cultivated area.

The Bowen Ratio Energy Balance (BREB) is a micrometeorological method often used to estimate energy fluxes (latent heat, sensible heat fluxes) cause of simplicity, robustness, and affordability. It is an indirect measurement method based on the measurements of net radiation, soil heat flux, temperature and humidity of air at two different levels. The partitioning of available energy between sensible and latent heat can usually obtained by BREB method. The errors associated with BREB method should be analyzed to determine analytically the reliable values of Bowen ratio, latent heat and sensible heat fluxes.

The Eddy Covariance (EC) method is one of the most accurate, direct and defensible approaches available to date for measurements of gas fluxes and monitoring of gas emissions from areas with sizes ranging from a few hundred to millions of square meters. It is a key atmospheric measurement technique to measure and calculate vertical turbulent fluxes within atmospheric boundary layers. This technique consists of direct and very fast measurements of actual gas transport by a three dimensional wind speed in real time in situ. The covariance is calculated between the fluctuating component of the vertical wind and the fluctuating component of gas concentration. The measured flux is proportional to the covariance. Main challenge of this method is the shear complexity of system design, implementation and processing the large volume of data. The method is mathematically complex and requires a lot of care for setting up and processing data.

Penman – Monteith (PM) combined equation is based on the measurements of net radiation, soil heat flux, wind speed, air temperature and humidity. FAO approach of the Penman – Monteith equation needs the same parameters of the Penman – Monteith equation to calculate reference evapotranspiration. The two methods are the most popular methods among the empirical formulas.

This study was carried out in the research area of Ataürk Soil, Water and Agricultural Meteorology Research Station in the Kirklareli city locates in the northwest part of Turkey. The Bowen Ratio Energy Balance and Eddy Covariance methods were employed to measure latent heat and sensible heat fluxes of winter wheat during the growing period of October 2009 – July 2010. In addition to these methods, Penman – Monteith equaiton was performed to estimate actual evapotranspiration. Also, reference evapotranspiration was calculated by using FAO approach of Penman – Monteith equation. Moreover, aerodynamic and surface conductances and decoupling coefficient values were calculated for the first time at this region as a part of this study.

Micrometeorological variables were measured continuously and 30 minutes time interval used for BREB calculation, 10 Hz time interval used for EC measurements. Then daily values were calculated for BREB and EC. PM calculation was made on daily basis, too. Furthermore, the relationships among BREB, EC and PM results were compared with correlation analysis.

BREB approach can be only used under appropriate atmospheric conditions to evaluate the fluxes; that means data should have compatibility with laws of atmospheric motion. In order to find out appropriate data, a data filtration method was applied to the output of calculation based on 30 minutes time interval.

Daily average micrometeorological measurements represented that the mean air temperature value was 11.5°C within the range of -13.2°C and 38.4°C with the standart deviation of 7.2°C, mean relative humidity value was 79% within the range of 26% and 100% with the standart deviation of 10.1%, mean wind speed value was 1.8 m/s with the maximum value of 9.7 m/s and standart deviation of 1.5 m/s, mean global solar radiation was 222 W/m^2 with the maximum value of 539 W/m^2 and standart deviation of 132.4 W/m^2, mean net radiation was 61.7 W/m^2 within the range of 263.1 W/m^2 and -31.9 W/m^2 with the standart deviation of 126.5 W/m^2, average soil heat flux was -1.5 within the range of -27.7 W/m^2 and 25.0 W/m^2 with the standart deviation of 8.8 W/m^2 during the experiment period.

The total precipitation was 560.8 mm over the growing season and winter wheat was not irrigated during the growing period. Daily maximum value of precipitation was

33.9 mm and it's average was 2.1 mm with the standart deviation of 5.1 mm. The wettest month was February with the total precipitation amount of 112.2 mm. The minimum monthly total precipitation was 11.9 mm in May.

Results showed that total evapotranspiration amounts estimated by BREB, PM and EC were 465.3 mm, 392.6 mm, 344.1 mm respectively. Daily average of actual evapotranspiration was calculated as 1.72 mm by BREB, 1.27 mm by EC, 1.45 mm by PM. Maximum values of actual evapotranspiration estimated by BREB, EC and PM were 5.89 mm, 4.34 mm, 5.97 mm respectively. Monthly evapotranspiration reached to the maximum value in May with the value of 141 mm for BREB, 79.5 mm for EC, 99 mm for PM. Monthly minimum evapotranspiration was calculated for December and January. Total water loss was 23 mm for BREB, 37.7 mm for EC, 18.8 mm for PM between December 1 to January 31.

The correlation analysis of BREB, EC and PM approaches demonstrated that good correlation was found between daily evapotranspiration data of BREB and EC (R^2 = 0.71). Also BREB and PM have a good relationship (R^2 = 0.71). A weak relationship was found between EC and PM (R^2 = 0.51).

By using BREB method, the daily average of latent heat was estimated as 137.7 W/m^2 within the range of 1.1 W/m^2 and 404.6 W/m^2 with the standart deviation of 97.1 W/m^2 and daily average sensible heat flux was 40.8 W/m^2, ranging from 0.1 W/m^2 to 280.2 W/m^2 with the standart deviation of 42.4 W/m^2.

Results also showed that daily average β value was 0.33 ranging from 0.01 to 2.89 with the standart deviation of 0.40 during the experiment period. This result indicated that approximately 75% of the available energy was used for latent heat of evaporation and 25% was used for sensible heat in the experimental area.

Reference evapotranspiration value was calculated as 844 mm by using FAO – 56 PM equation. Daily average reference evapotranspiration was 3.11 mm within the range of 0.2 mm and 11.7 mm (σ = 2.3 mm). The reference evapotranspiration calculation indicated that monthly maximum total reference evapotranspiration value was found in June as 185.2 mm, in May as 173.5 mm and minimum total reference evapotranspiration was estimated in December as 35.4 mm, in January as 44.6 mm.

The average aerodynamic conductance value was calculated as 13.7 mm/s within the range of 1.5 mm/s and 76.1 mm/s (σ = 10.4 mm/s). The aerodynamic conductance showed a positive trend during the experiment period. The average surface conductance of winter wheat was determined as 38.9 mm/s within the range of 7.1 mm/s and 300 mm/s (σ = 33.6 mm/s). Surface conductance values indicated that there was a positive trend during the experiment period.

Decoupling coefficient value determined as 0.84 with the highest value of 0.99, lowest value of 0.61 (σ = 0.08). The decoupling coefficient indicated that evapotranspiration was strongly controlled by surface conductance in the research area.

In conclusion, agrometeorological and EC station were set up and required parameters were collected over a cultivated area. Actual evapotranspiration was measured and calculated by using three different and mostly used methods for winter wheat in the Thrace Region. The relationships among three methods were determined as well. Additionally, reference evapotranspiration, aerodynamic and surface conductance and decoupling coefficient were estimated for first time for winter wheat in Turkey.

1. GİRİŞ

İnsanlığın var oluşu ile birlikte ortaya çıkan, evreni, evreni oluşturan her bir maddeyi ve sistemi anlama merakı bilim tarihinin başlangıcı olmuştur. Yaşadığı çevreyi anlama ve o çevre koşullarına uyum, her türlü canlının yaşamının devam edebilmesi ve daha iyi koşullarda yaşayabilmesi için bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu zorunluluk bilimin gelişmesine enerji sağlayan sürekli bir kaynak olmuştur.

İlk çağlarda, beslenme ihtiyacının karşılanabilmesi için yapılan tarım ve avcılık faaliyetleri, çevresel faktörlerde olan değişiklikler, zamanı anlama, hesap yapabilme ve sağlık sorunlarına çözüm bulabilme ihtiyacı ile bölgesel farklılıkların gözlenmesi, tarım ve hayvancılık, astronomi, matematik, tıp ve coğrafya gibi alanlarda gelişim sağlanmasına neden olmuştur. Birçok bilim dalının temelleri olan bu bilgi ve tecrübeler, kuşaktan kuşağa aktarılarak birçoğu günümüze kadar ulaşmıştır. Orta çağda ise edinilen bilgilerin sistematik olarak aktarım gerekliliği eğitim faaliyetlerinin başlangıcı olmuştur. Bu dönemde ilk çağda edinilen bilgilerin sistemli bir bilgi birikimi haline getirilmesi sağlanmış, matematik, tıp, astronomi, kimya ile sosyal bilimlerde de büyük gelişmeler sağlanmıştır. Ayrıca deniz yolunun kullanımı ile ulaşımın sağlanması yaşam ve kültürel farklılıkların bölgeler arasında aktarımını da sağlamıştır (Bynum ve diğ., 1981).

17. yüzyıl itibariyle başlayan modern bilim faaliyetleri sayesinde sosyal bilimler gelişmiş, fizik, kimya, jeoloji, astronomi, biyoloji, tıp, genetik ve ekoloji gibi doğa bilimlerinde de olağanüstü gelişmeler sağlanarak, günümüz bilim dallarının temel kanunları oluşturulmuştur (Bynum ve diğ., 1981).

16. yüzyılda dünya nüfusunun artmaya başlaması ve tarımsal üretimdeki gelişmeler nedeniyle kent nüfuslarının oldukça artması gibi sebeplerden dolayı tüm dünyada 18. ve 19. yüzyıllarda Endüstri Devrimi gerçekleşmiştir. Endüstri Devrimi sonrası dünyada sanayi üretimi arttığından atmosfere salınan sera gazı emisyonlarında 1850 yılı sonrasında artış eğilimi başlamış bu da atmosferin ısınmasına sebep olmuştur (IPCC, 2014). Dünya nüfusunun ve endüstriyel üretim tesislerinin artışı, besin, enerji

ve su ihtiyacının sürekli artmasına neden olmuştur. Aynı dönemde başlayan ve halen devam eden iklim değişikliği sürecinin de ortaya çıkması ile gıda, su ve enerji kaynakların tespitinin ve verimli kullanımının önemi ortaya çıkarılmıştır. Enerji ve su, canlı yaşamının sürekliliği için gerekli olan en önemli iki kaynaktır. Her türlü üretim faaliyeti için hem enerjiye hem de suya ihtiyaç duyulur. Bu nedenle günümüzde enerji ve su kaynakları büyük önem arz eder hale gelmiştir.

Yüzyıllar boyunca, olumlu ve olumsuz birçok etki ile insan hayatının sürekli içinde olan atmosferik olaylar, disiplinler arası bilgi birikiminin bu alana aktarımı ile yeni adı ile atmosfer bilimlerini doğurmuştur. Atmosferi idare eden matematik, fizik ve kimya kanunları ile 17. yüzyılda logaritmanın keşfi ve 1950'li yıllarında programlanabilen ve veri işlemede kullanılabilen bilgisayarların satışı ile başlayan ve halen gelişmeye devam eden süreç atmosfer bilimlerinde yeni bir dönem başlatmıştır (MSU, 2015). Bu süreç ile karmaşık bir yapı olan ve birçok farklı parametreye bağımlı olayların anlaşılabilmesi ve modellenebilmesi sağlanmıştır. Öte yandan ölçüm teknolojilerinde kat edilen mesafe ile elde edilen verilerin işlenebilmesi ve karmaşık hesapların yapılabilmesi ile atmosferik süreçler anlaşılabilir yapılar haline dönüşmeye başlamıştır. Süreçlerin anlaşılması da geleceğe dönük olayların önceden tahmin edilebilmesi ve gerekli tedbirlerin alınabilmesi anlamına gelmektedir.

Bilgisayar teknolojilerinde zamanla kat edilen aşamalar, atmosfer bilimleri çalışmalarında güncel olarak kullanılmış, meteorolojik olaylar ve süreçlerin meydana geliş şekillerinin anlaşılmasını sağlamıştır. Kısa ve uzun dönemlik tahminler, iklim değişikliği sürecinin anlaşılabilmesi ve izlenebilmesi, öngörülebilmesi ve her türlü küçük, orta ve büyük ölçekli çalışmalarda bilgisayar teknolojileri kullanılır hale gelmiştir.

Meteorolojik parametrelerin bölgesel dağılımının farklılık göstermesi, doğru bilgilerin edinilebilmesi ve doğru kararlar verilebilmesi için mikro ölçekte çalışmalar yapılması gerekliliğini doğurmuştur. Mikrometeorolojik çalışmalar, bölgesel verilerin elde edilebilmesi ile bölgesel ve küresel süreçlerin daha anlaşılabilir hale gelmesini sağlamaktadır. Bu nedenlerle mikro ölçekli çalışmalar meteoroloji için büyük önem taşımaktadır.

Küresel olarak var olan enerji ve su dengesinin bölgesel olarak belirlenmesi, var olan kaynakların doğru kullanımı ve enerji ve su parametrelerine bağımlı olan her türlü

sürecin doğru yönetilebilmesini sağlayacaktır. Enerji ve su dengesi kendi içerisinde birçok bileşenden oluşmaktadır. Bu iki önemli dengenin kesişim noktaları ise yüzeyden meydana gelen buharlaşma ve bitkilerin terleme ile kaybettikleri su (evapotranspirasyon) miktarlarıdır. Yüzeye gelen enerjinin, enerji dengesi bileşenleri arasında nasıl dağıldığını bilmek, enerji bütçesinin belirlenebilmesi için önemlidir. Enerji dengesi bileşenlerinin belirlenmesi ile de su dengesi içerisinde önemli olan bileşenler ortaya çıkarılabilmektedir. Bu iki denge bileşenlerinin belirlenmesi, mikrometeorolojik özelliklerin bölgesel olarak ortaya çıkarılması, tarımsal faaliyetlerin doğru yapılabilmesi ve bölgesel su bütçelerinin hazırlanmasında önemli bir kaynak olmaktadır.

1.1 Literatür Araştırması

Yapılan literatür araştırmasında enerji dengesi ve evapotranspirasyonun belirlenmesi amacıyla yapılmış birçok çalışmaya ulaşılmıştır. Bu çalışmalar içerisinde sıklıkla kullanılan mikrometeorolojik yöntemlerin Bowen Oranı Enerji Dengesi (BREB), Eddy Kovaryans (EC), Penman – Monteith (PM), FAO – 56 Penman – Monteith (FAO – 56 PM) ve lizimetre ile ölçüm yöntemlerinin olduğu görülmüştür. Konu ile ilgili literatürde bulunan çalışmalar, genellikle gerçek evapotranspirasyonun direkt ölçümü ile belirtilen yaklaşımlar ve geliştirilen hesaplama yöntemleri ile kıyaslandığı ve bölgesel olarak teste tabi tutulduğu çalışmalardır. Yapılan çalışmalar farklı iklim koşulları, farklı bitki çeşitleri için yapılarak hata oranlarının belirlenerek, bölgesel kullanımının yaygınlaştırılması hedeflenmiştir. Tarım ve orman alanlarında fiziksel olarak çalışmanın zor olması nedeniyle, bu bölgelerde evapotranspirasyonun belirlenebilmesi için lizimetre ile ölçüm yerine diğer yöntemlerin kullanılmasının büyük kolaylık sağlayacağı ve bu verilerin varlığının enerji ve su dengesi açısından oldukça önemli olduğu görülmüştür. Bu verilerin ayrıca bölgesel olarak sulama takvimlerinin belirlenebilmesi ve doğru sulamanın yapılarak doğru tarımın yapılabileceği sonucu çıkarılmıştır.

Son yıllarda dünyanın birçok farklı yerinde ve ülkemizde bu alanda yapılmış çalışmalardan örnekler ve içerikleri aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Brisson ve diğ. (1998) Fransa – Avignon'da yaptıkları çalışmada, bitki modelleri için bitkilerin terleme ile kaybettikleri su miktarının, su stresinin belirlenmesi açısından önemli olduğunu, bunun da bitkinin çevresel hava koşullarını belirleyen buharlaşma

ile ilişkisini ve bu ilişkinin modellerde göz önüne alınmadığı belirtilmiştir. Shuttleworth ve Wallace teorisinin bu etkiyi göz önünde bulundurduğu belirtilerek, bu teoriden yola çıkarak iki aşamalı bir model vasıtasıyla günlük maksimum evapotranspirasyonu belirlemişlerdir. Bölgede ekilmiş olan soya fasulyesi bitkisi için parametrizasyon yapılarak, lizimetre yöntemi ile sonuçlar kıyaslanmıştır. Ayrıca BREB ölçümleri kullanılarak bitki ve yüzey direnç değerleri hesaplanmıştır.

Şaylan (2000) tarafından yapılan bir diğer çalışma ile Avusturya - Viyana'da, Gross - Enzersdorf Bölgesinde soya fasulyesi ekili bir alanda BREB metodu kullanılarak enerji dengesi bileşenleri belirlenmiştir. Bölgede oldukça sıcak şartların hüküm sürdüğü 1992 yılında, bitkinin farklı büyüme aşamalarında meteorolojik veriler ve bitki gelişimi açısından önemli olan parametreler ölçülmüş ve takip edilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda BREB yöntemi uygulanarak soya fasulyesi bitkisi için gerçek evapotranspirasyon değeri hesaplanmıştır. Ayrıca ölçülen parametrelerin gerçek evapotranspirasyon üzerindeki etkileri de ortaya çıkarılmıştır.

Todd ve diğ. (2000) Amerika'nın Teksas Eyaletinde, yarı kurak ve advektif bir bölgede çim bitkisine ait evapotranspirasyonu belirlemek amacıyla BREB yöntemi ile lizimetre yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada tartılı lizimetre kullanılarak elde edilen gerçek evapotranspirasyon değerleri ile BREB yöntemi ile elde edilen veriler, farklı periyotlarda karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma için karekök ortalama farkları ve bağıl karekök ortalama farkları yöntemlerini de içeren birçok istatistiksel metot kullanılmıştır. Ayrıca aynı çalışma sahasında farklı noktalarda ve farklı yüksekliklerde BREB metodu test edilmiştir. BREB metodu ve lizimetre yöntemi ile elde edilen sonuçlar arasındaki farklar, saatlik ve bitkinin kesim dönemlerine göre ilişkilendirilmiş, gündüz ve ilk kesimlerde elde edilen sonuçlarda, metotlar arası farkların daha az olduğu tespit edilmiştir.

Konu ile ilgili yapılan bir diğer çalışma ise Dow ve DeWalle (2000) yılında yaptıkları, 1920 – 1990 yılları arasındaki veriler ile Güney Amerika'da bulunan 51 adet havzanın uzun yıllık buharlaşmalarını BREB yöntemi ile hesapladıkları çalışmadır. Açık yüzeylerden meydana gelen yıllık buharlaşma, havzaya düşen toplam yağış ile havzadan çıkan toplam su miktarı arasındaki fark olarak düşünülmüş, yükseklik ve ölçüm aleti düzeltmesi yapılmıştır. Havza için belirlenen Bowen Oranı için yersel ve zamansal ortalama dağılımı kullanılan net radyasyon ve yıllık toplam buharlaşma kullanılmıştır. Yapılan çalışma ile 1920 – 1990 yılları

arasında; Bowen Oranı'nda pozitif trendin varlığı ve buharlaşma da ise negatif trendin varlığı tespit edilmiştir. Bölgesel olarak elde edilen bu sonuçların hidroloji, enerji değişimi, karaların kullanımı gibi alanlarla ilgili olduğu, kırsal ve yerleşim merkezleri ayrımı olmaksızın açık havzalarda buharlaşmanın azaldığı ve atmosferde hissedilen ısı akısının arttığı sonucuna varmışlardır.

BREB Yönteminin ülkemiz koşullarında kullanıldığı ilk çalışmalardan biri Ünlü ve diğ. (2001) tarafından yapılmıştır. Yapılan çalışma ile tam ve eksik sulama koşullarında pamuk bitkisinin gerçek su tüketimi ile BREB metodu ile elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre eksik sulama koşullarında, su bütçesi ile elde edilen gerçek evapotranspirasyon değerleri enerji dengesi ile elde edilen değerler oldukça yakın çıkmıştır. Tam sulama koşullarında ise su bütçesi ile hesaplanan değer oldukça yüksek çıkmıştır. Bunun sebebinin ise tarla parsellerinde derine sızma kayıplarının ölçümünden kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

Wever ve diğ. (2002) Kanada – Alberta'da yaptıkları bir diğer araştırma ile çim bitkisi ekili bir alanda, 3 gelişme dönemi boyunca EC metodu ile sürekli olarak evapotranspirasyon ve hissedilen ısı akısı ölçümü yapmışlardır. Elde edilen veriler ile günlük evapotranspirasyon ve hissedilen ısı akıları belirlenerek, ayrışma katsayısı (decoupling) ortaya çıkarılmıştır. Ayrışma katsayısı değerleri, çim bitkisinde evapotranspirasyonun güçlü bir şekilde yüzey iletkenliği tarafından kontrol edildiğini göstermiştir. Bu nedenle yüzey iletkenliği ve aerodinamik iletkenlik verilerinin önemli olduğu, bunu modellemek için birçok farklı katsayıya ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Buna ek olarak, evapotranspirasyon ve onun fizyolojik kontrolünün, yıllık yağış toplamlarına göre tepki verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Inman – Bamber ve McGlinchey (2003) tarafından Swaziland'da yapılan çalışma ile Swaziland ve Avusturalya'da sulamaya dayalı şeker endüstrisi bulunduğu, sulamanın fazla yapılmasının yeraltı su kalitesini olumsuz etkilediği, su kullanımının güvenilir bir şekilde belirlenebilmesi için şeker pancarı ekili alanlarda oluşan yüzey akışların ve sızmaların doğru bir şekilde belirlenmesi ile optimum sulama koşullarının belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Sulama çalışmalarının modeller vasıtasıyla ya da farklı bölgelerde belirlenen bitki katsayısı değerleri vasıtasıyla yapıldığı ancak bu verilerin lokal olarak belirlenmesinin gerekliliği vurgulanarak, BREB sistemine duyulan ihtiyaç belirtilmiştir. Bölgede gerekli ölçümler yapılarak BREB metodu ile gerçek evapotranspirasyon, FAO – 56 PM Metodu ile de referans evapotranspirasyon

hesaplanmıştır. Şeker pancarının gelişme dönemleri için bitki katsayısı belirlenerek, farklı bölgelerde bulunan değerler ile kıyaslanmıştır.

Konu ile ilgili yapılan bir diğer araştırma da Rohli ve diğ. (2004) tarafından Kuzey Amerika'da bulunan Erie Gölünde açık yüzey buharlaşma hesabı için BREB metodunu kullanarak yapılmıştır. Göl üzerinde şamandıra ile yapılan ölçümler ile kurulan model vasıtasıyla, buharlaşma ısı akısı ve hissedilen ısı akısı belirlenmiştir. Yapılan çalışmada deniz sıcaklığı ve hava sıcaklığı, deniz ile hava arasında oluşan buhar basınç farkının belirlenmesi için kullanılmıştır. Yapılan çalışma ile Bowen Oranı'nın genellikle öğleden sonra maksimum değere ulaştığı, sıcaklığın yüksek olduğu dönemlerde artma eğiliminde olduğu görülmüştür. Çalışma sonuçlarına göre kararsız atmosferik koşullarda Bowen Oranı'nın pozitif, kararlı atmosferik koşullarda ise negatif değerler aldığı görülmüştür. Yapılan çalışma ile buzullar, buharlaşma oranı, kirletici taşınımı gibi konulara ve geniş su alanlarında oluşan çalkantılı enerji akılarını etkisi daha anlaşılabilir bir hal aldığı bildirilmiştir.

Kumagai ve diğ. (2004) ise Borneo Adası'nda yaptıkları çalışmada, tropik yağmur ormanlarının hidrolojik döngü açısından öneminin birçok çalışma ile incelenmesine rağmen Güneydoğu Asya ormanlarında daha az çalışma yapıldığından bu bölgenin incelenmesi gerekliliğinden bahsetmişlerdir. Bölgede yapılan çalışma ile yüzeyde meydana gelen enerji değişimi için önemli olan yüzey ve aerodinamik iletkenlik katsayıları ve ayrışma katsayısı (decoupling) belirlenmiştir. Bölgede solar radyasyon ve hava sıcaklığının mevsimsel değişiminin çok az olduğu, yıllık toplam yağışın yılın her dönemine eşit olarak dağıldığı, kısa süreli beklenmeyen kuru dönemlerin de olduğu belirtilmiştir. Günlük ortalama transpirasyon, ayrışma katsayısı, yüzey iletkenliği değerleri ve yüzey iletkenliğinin çevresel etkenlere hassasiyetinin yağışlı dönemlerde kuru dönemlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Abtew (2005) Amerika – Güney Florida'da yaptığı çalışmayı, açık su yüzey özelliklerinin hakim olduğu ve çoğunlukla ıslak bitkilerin bulunduğu Everglades bataklık bölgesinde yürütmüştür. Çalışmada, yağışın ve evapotranspirasyonun bölge hidrolojisinin temel parametreleri olduğunu, ıslak veya kuru hava koşullarında bu iki temel parametrenin hassas dengesinin hidroloji sisteminin sürekliliğini sağladığı belirtilmiştir. Bölgede dokuz farklı noktada BREB yöntemi ve solar radyasyona dayalı bir model kullanılarak evapotranspirasyon belirlenerek, kıyaslama yapılmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen değerler ışığında, BREB metodu ile elde edilen değerler referans alınarak model kalibre edilmiştir.

Ortega – Farias ve diğ. (2006) Şili'nin Maule Bölgesinde yürüttükleri bir diğer çalışmada farklı yüzey direnç değerleri ile birlikte PM eşitliğini kullanarak karık sulama yapılan domates bitkisi için, farklı toprak ve atmosfer koşulları altında evapotranspirasyonu belirlemişlerdir. Ayrıca çalışmada FAO – 56 PM denklemi ile referans evapotranspirasyon, bitki katsayısı ve su stres katsayısı hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen evapotranspirasyon sonuçlarını doğruluğunun test edilmesi amacıyla BREB metodu da kullanılmıştır. Farklı çevresel parametreler ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması neticesinde, PM denkleminin yüksek doğrulukta sonuçlar verdiği ve bölgede evapotranspirasyonun belirlenmesi için kullanılabileceği belirtilmiştir.

Pauwels ve Samson (2006) Belçika – Flanders Bölgesinde yaptıkları çalışmada, kara yüzeylerinde enerji ve kütle transferi ölçümünün, çeşitli hidrolojik döngü bileşenlerinin anlanabilmesi için gerekli olduğunu belirterek, evapotranspirasyon ölçümü için genellikle kullanılan iki yöntemin BREB ve EC olduğu belirtilmiştir. Diğer yandan evapotranspirasyon hesaplamaları için PM ve Priestley – Taylor yaklaşımları kullanılmıştır. Çalışma ile ideal olmayan ve otlak koşullarda farklı yöntemlerle elde edilen evapotranspirasyon değerlerini kıyaslama amaçlanmıştır. BREB ve EC metodu ile elde edilen ölçümler kendi aralarında kıyaslanmış ve oldukça iyi sonuçlar alınmıştır. PM ve Priestley – Taylor yöntemleri de kendi aralarında kıylaslanarak, elde edilen sonuçların BREB ve EC ile elde edilen değerler ile desteklendiği görülmüştür. Ayrıca hesaplanan yüzey direnci değerlerinde yıllık düzenli bir döngünün olduğu tespit edilmiştir. Çalışma neticesinde, teorik şartların sağlanmadığı yerlerde evapotranspirasyonun hesaplanabileceği ve modellenebileceği vurgulanmıştır.

Brezilya – Petrolina'da Soares ve diğ. (2007) yaptıkları çalışma ile damlama sulama yapılan asma üzüm bağlarında BREB yöntemi kaynaklı hataları değerlendirme amaçlı bir çalışma yürütmüşlerdir. Bağ içerisine kurulan BREB İstasyonu ile gerekli veriler toplanarak, bitki fenolojisi sekiz dönem olarak incelenmiştir. Elde edilen ölçümler ile hesaplamalar yapılarak, Beta değerinin kabulü/reddi için literatürde bulunan dört farklı yöntem uygulanarak, yöntemlerin birbirleri ile kıyaslaması yapılmış, avantaj ve dezavantajları belirlenmiştir.

Guo ve diğ. (2007) Çin'de yaptıkları çalışmayı ülkede çeltik üretimi için önemli olan Huaihe Irmak Havzası'nda yürütmüşlerdir. Çalışma ile kurulan BREB sisteminden elde edilecek verilerin kalitesi ve boşluk doldurma stratejilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma ile akının yönü, şüpheli verilerin reddi ve yoğuşma olmadığı kabulüne dayalı üç aşamalı kalite kontrol stratejisi geliştirilmiş, Priestley – Taylor yöntemi ile eksik veriler tamamlanmış ve BREB, EC ve üç farklı evapotranspirasyon modeli kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, enerji dengesi üzerinde toprak ısı akısı ve hissedilen ısı akısının aynı oranda etki yaptığı ve geliştirilen yöntem ile evapotranspirasyonun %3 daha fazla hesapladığı ve yöntemin kullanımında pratik kural olarak hesaplanan değerden %3 eksiltilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Takagi ve diğ. (2009) Japonya – Tottori'de yaptıkları iki gelişim dönemini kapsayan çalışma ile kenevir bitkisinin enerji paylaşımı ve mikrometeorolojik özelliklerini ortaya koymuşlardır. Ayrıca çalışma ile enerji dengesi bileşenleri ve bitki karakteristiği ile ilgili aerodinamik ve yüzey iletkenlikleri, bitki katsayısı, albedo, uzun ve kısa dalga boylu radyasyonlar belirlenmiştir. Enerji dengesi bileşenlerinin belirlenmesi için BREB yöntemi kullanılmış, ilk gelişim döneminde Bowen Oranı'nın daha yüksek olduğu, ikinci gelişim döneminde yağışın daha fazla olmasının buna sebep olduğu belirtilmiştir. Ayrıca tayfunlar nedeniyle toplam yağış miktarındaki artış, yüksek toprak su içeriği, düşük enerji, düşük VPD'nin gelişme dönemi boyunca enerji akısı trendinin düşmesine neden olduğu vurgulanmıştır.

Xing ve diğ. (2008) ise Kanada – New Burinswick koşullarında, evapotranspirasyon modellerini, BREB metodu ile valide etmek amaçlı bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada gerçek evapotranspirasyon için PM ve Priestley – Taylor denklemleri, referans evapotranspirasyon için FAO – 56 PM denklemi kullanılmıştır. 2004 – 2007 yılları arasında toplanan veriler ile yapılan çalışmada, hesaplanan evapotranspirasyon değerleri, BREB ile elde edilen değerler referans kabul edilerek, validasyonu yapılmıştır. Sonuçlar, kullanılan denklemler ile BREB arasında belirli bir dereceye kadar hata oluştuğunu göstermiştir. Çalışma neticesinde elde edilen veriler, denklemlerin evapotranspirasyonu BREB yaklaşımından yaklaşık %5 ile %14 oranında daha fazla miktarda temsil ettiğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda günlük evapotranspirasyon miktarları ve bitki katsayısı belirlenmiştir. Modellerin validasyonu neticesinde uygulanan testler ile tahmin edilen ve ölçülen

evapotranspirasyonlar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmadığı ve PM denkleminin bölge için daha uygun bir denklem olduğu da görülmüştür.

Shi ve diğ. (2008) Çin'in kuzeyinde Changbai Dağları'nda bulunan ve farklı tipte ağaçları içerisinde bulunduran ormanlık bir alanda 2003-2005 yılları Mayıs – Eylül gelişme sezonunda gerçekleşen evapotranspirasyonu, EC, BREB ve PM yöntemlerini kullanarak belirlemişlerdir. Kullanılan yöntemlerin yaklaşık olarak birbirine yakın evapotranspirayon değerleri ürettiği, PM metodunun genellikle en yüksek değerleri verdiği ve gelişme dönemi içerisinde evapotranspirasyonun en fazla Haziran ayında gerçekleştiği bulunmuştur.

Amerika'nın Arizona Eyaletinde Fritschen (2010) tarafından yürütülen araştırma ile mikrometeorolojik ölçümlerden elde edilen veriler ile BREB metodu uygulanmış ve eş zamanlı olarak yürütülen çalışma ile tartılı lizimetre kullanılarak gerçek evapotranspirasyon ölçülmüştür. Çalışma ile elde edilen sonuçlar, kısa periyotlarda buharlaşma ısı akısının belirlenmesinde BREB yönteminin oldukça doğru sonuçlar vermesinden dolayı başarılı bir şekilde kullanılabileceğini, kısa periyotlarda elde edilen doğru sonuçların toplamı ile daha uzun periyotlar için evapotranspirasyonun belirlenebileceğini ve günlük gerçek evapotranspirasyonun belirlenmesinde BREB yönteminin en fazla %5 bağıl hata oluşturduğunu göstermiştir.

Spittlehouse ve Black (2010) Kanada – Courtenay'da ormanlık bölgelerde meydana gelen evapotranspirasyonu belirlemek amacıyla BREB yöntemini kullanmış ve bu yöntemin doğruluğunu test etmişlerdir. Aynı çalışma ile BREB metodunun yapısal olarak barındırdığı hata payları, farklı Bowen Oranı değerleri için belirlenerek metodun doğruluğu değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, sıcaklık – buhar basıncı gradyanının yüksek olduğu anlarda BREB metodunun oldukça tatmin edici sonuçlar verdiğini, gradyanın düşük olduğu anlarda ise bağıl hatanın arttığını göstermiştir.

Ünlü ve diğ. (2010) tarafından yapılan araştırmada Adana'da soya fasulyesi için gerçek evapotranspirasyon değerinin belirlenmesi için BREB ve ağırlıklı lizimetre ile ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Bitkinin yetiştirildiği yarı kurak bölgede evapotranspirasyon, direkt olarak lizimetre ile ölçülmüş ve kurulan BREB ölçüm istasyonu ile elde edilen parametreler ile hesaplanarak kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre BREB metodu gerçek evapotranspirasyonun belirlenmesi için

oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Oluşan hatalar, karekök ortalama metodu ile belirlenmiştir.

Attarod ve diğ. (2011) ekolojik araştırmalar için oldukça önemli olan bitkisel yüzeyler ile atmosfer etkileşiminin belirlenmesi için mikro – meteorolojik verilerin toplanması ve yorumlanmasının oldukça önemli olduğunu belirterek, Japonya - Nagano'da Japon Kızıl Çam Ağaçlarından oluşan ormanlık bir bölgede BREB metodu ve PM ile gerçek evapotranspirasyonu belirlemişlerdir. Aynı bölgede yapılan meteorolojik ölçümler ile FAO – 56 PM yöntemi kullanarak referans evapotranspirasyon değerini hesaplayarak, bitki için kritik bir değer olan bitki katsayısı değerini belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, bitki su ihtiyacının bir göstergesi de olan bitki katsayısının kuru ve yağışlı günler arasında oldukça farklılık gösterdiği, yağışlı ve kuru günlerin enerji dengesi bileşenlerinin oranı üzerinde çok büyük etkisi olmadığı ve PM denkleminin Japon Kızıl Çam Ormanları için uygun olduğunu anlaşılmıştır.

Akpolat (2011) tarafından yapılan çalışma ile Adana'da tarımsal üretimi yaygın şekilde yapılan buğday bitkisi için gerçek evapotranspirasyon belirlenmiştir. Çalışmada BREB metodu kullanılmış ve lizimetre ölçümü ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlara göre BREB yöntemi ile hesaplanan gerçek evapotranspirasyon, ağırlıklı lizimetre ile ölçülen değer ile benzerlik göstermiştir. Bağıl hatalar belirlenerek BREB metodu buğday bitkisi için test edilmiştir.

Khoomsab ve Khummongkol (2011) tarafından yapılan çalışmada BREB metodu, Tayland - Ratchburi'de tropikal ormanlarda sülfat (SO_4^{-2}) ve nitrat (NO_3^-) aerosol akılarının belirlenmesinde kullanılmıştır. 2009 Ağustos ile 2010 Ocak döneminde bölgede yapılan mikro-meteorolojik ölçümlerle, yağışlı ve kuru dönemlerde ilgili aerosol akılarının değişimi ortaya çıkarılarak nitrat (NO_3^-) aerosollerinin kuru birikiminin tüm ölçüm periyodunda sülfat (SO_4^{-2}) aerosollerinden daha fazla olduğu ve birikim miktarının en fazla yağışlı dönem olan Ağustos ayında gerçekleştiği belirlenmiştir.

Bezerra ve diğ. (2012) Brezilya ekonomisi için oldukça önemli ve yarı kurak bölgelerde yaygın bir şekilde tarımsal üretimi yapılan pamuk bitkisinin bitki su tüketimi ile ilgili yeni teknolojilere ihtiyaç duyduğu ve bunun için gerçek evapotranpirasyon değerinin belirlenmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Çalışmada

BREB yöntemi ile elde ettikleri gerçek evapotranspirasyon değeri ile FAO – 56 PM denklemi ile elde edilen referans evapotranspirasyon değerleri ile bitki katsayısı değerlerini hesaplamışlardır. Ülke genelinde atmosferik koşulların homojen olmamasından dolayı, Apodi Bölgesi için elde edilen gerçek evapotranspirasyon değerlerinin bölgede yapılmış diğer çalışmalardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Lokal olarak yapılan bu çalışma neticesinde elde edilen gerçek evapotranspirasyon ve bitki katsayısı değerleri ile sulama takviminin daha doğru yapılacağını ve bu sayede üretim maliyetleri ve ürün kaybında azalmanın beklendiği belirtilerek, bitki katsayısının önemi vurgulanmıştır.

Poznikova ve diğ. (2012) yaptıkları çalışma ile Çek Cumhuriyeti - Domaninek'de çim bitkisi bulunan alanda temsil mesafesinin (fetch) BREB metodu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada bir tanesi sabit, diğeri hareketli BREB İstasyonları kullanılmıştır. Sabit istasyonun ölçüm mesafesi 180 m, hareketli istasyonun ölçüm mesafesi ise 10 – 100 m arasında değiştirilerek ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümler ve hesaplamalar neticesinde ölçüm mesafesinin, BREB metodu için önemli bir faktör olmadığı, veri kalitesi ve güvenilirliğini sistem kaynaklı hatalar dışında etkilemediği görülmüştür.

Tarımsal üretimin oldukça yaygın olduğu seralar içerisinde BREB metodu ilke defa Dicken ve diğ. (2013) tarafından İsrail – Bet Dagan'da uygulanmıştır. İsrail'in kuzey bölgesinde bulunan ve muz üretimi yapılan bir serada EC akı ölçümü ile birlikte yatay sıcaklık ve nem gradyanı kullanılarak BREB metodu kullanılmıştır. Ölçümler neticesinde yapılan değerlendirme ile metodun sera ortamında da doğru ve güvenilir sonuçlar ürettiği görülmüştür. BREB ve EC ile elde edilen sonuçlar, evapotranspirasyon değerlerinin iki metot arasında uyumlu olduğu ve Bowen Oranı değerinin gündüz saatlerinde değişken olmadığı ve sabit kaldığını ortaya çıkarmıştır.

Ülkemizde bu konudaki bir diğer çalışma ise Ünlü ve diğ. (2014) tarafından yapılmıştır. Akdeniz bölgesinde yaygın bir şekilde yetiştirilen greyfurtun sulama takvimini belirlemek amacıyla farklı sulama koşulları altında, bitki ve toprak su içeriği ile birlikte gerçek evapotranspirasyon dikkate alınmıştır. Gerçek evapotranspirasyonun belirlenmesinde EC, BREB ve su dengesi yöntemlerini kullanmışlardır. Kullanılan üç yöntemin de birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Funari ve Filho (2014), Brezilya – Sao Paulo'da bulunan Atlantik Ormanının bir parçası olan Sao Paulo Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Parkında, net radyasyon ve evapotranspirasyon arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla. 2011 – 2013 yılları arasında yürüttükleri çalışma neticesinde evapotranspirasyonun mevsimsel değişimini, günlük toplam buharlaşan su miktarını belirlemişler, ayrıca yüksek sıcaklık ve düşük nem koşullarının olduğu günlerde maksimum buharlaşmanın meydana geldiğinin altını çizmişlerdir.

Mallick ve diğ. (2014), Amerika'da MODIS Terra ve Aqua uyduları ile elde edilen yüzey sıcaklığı ve FLUXNET veri ağı ile elde edilen enerji dengesi bileşenlerini içeren yeni bir model geliştirmişlerdir. PM denkleminde hava sıcaklığı verisinin kullanımına bağlılığı ortadan kaldırmak amacıyla, uydu verilerinden elde edilen yüzey sıcaklığı verileri ile birçok farklı ülkeden toplanan FLUXNET verilerini kapsayan ve evapotranspirasyonu belirlemek amaçlı yeni hibrit bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan modelden elde edilen buharlaşma gizli ısı akısı ve hissedilen ısı akısı, 30 farklı istasyondan elde edilen EC verileri ile test edilerek modelin başarısı kanıtlanmıştır. Bu çalışma ile PM metodu içerisine ilk defa yüzey sıcaklığı entegre edilerek, uydu verilerinden geniş ölçekli evapotranspirasyon ve kuraklık çalışmalarının yapılabileceği belirtilmiştir.

Euser ve diğ. (2014) Güney Afrika – Pietermaritzburg'da yaptıkları çalışma ile yüksek hassasiyetli kuru ve ıslak hazne sıcaklığı ölçümü ile BREB metodunun kullanımı için yeni bir fikir ortaya atmışlardır. BREB metodunda kullanılan dikey hava sıcaklığı ve buhar basıncı gradyanı yerine kuru ve ıslak hazne sıcaklığını kullanarak BREB metodunu farklılaştırmışlardır. Yeni sistemde fiber optik kablolar kullanılarak dikey profilde 13 ölçüm seviyesinde kuru ve ıslak hazne sıcaklığı ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümlerle eş zamanlı olarak, aynı sahada kurulan sistem ile geleneksel BREB için gerekli olan hava sıcaklığı ve buhar basınç gradyanı da iki farklı seviyede ölçülmüştür. Bu ölçümlere EC sistemi ile sıcaklık, nem ve basınç değişim durumunda oluşan salınımlar vasıtasıyla hissedilen ısı akısını ölçen sistem (scintillometer) de dâhil edilerek, yeni sistemin test edilmesi için oldukça yeterli bir veri tabanı oluşturmuşlardır. Bu veriler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda ortaya atılan yeni hesaplama yönteminin oldukça başarılı sonuçlar verdiği, dikey profilde ölçüm sıklığının artırılması ile BREB yönteminin daha doğru sonuçlar verebildiğini ortaya çıkarmışlardır.

O'Dell ve diğ. (2014) Lesotho'nun güneyinde yürüttükleri çalışmada, küresel gıda talebinin tarımsal alanlarda toprağı doğru kullanmayı gerektirdiğini, CO_2 akılarının toprak üzerinde oldukça etkili olduğunu belirterek, toprak yönetimi uygulamalarının karbon depolama ya da yayma olarak atmosferik CO_2 yoğunluğuna belirsiz bir etki yarattığını, Afrika tarım alanlarında CO_2 akı verilerinin eksikliği nedeniyle bölge için bu durumun daha karmaşık olduğunu söylemişlerdir. Bu nedenle, bölgede sürülen ve sürülmeyen iki farklı bitki yönetim sisteminin enerji dengesi ve CO_2 akılarını ölçmek amacıyla BREB İstasyonu kurmuşlardır. İki bölgede de mısır ekimi yapılarak elde edilen veriler neticesinde BREB analizleri yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, BREB yaklaşımının CO_2 akılarının gerçek zamanlı belirlenmesinde oldukça faydalı olduğu, sürülmeyen alanda CO_2 depolamasının bitkinin gelişme dönemi ve diğer dönemlerinde sürülen alana göre daha fazla olduğu vurgulanmıştır.

Yan ve diğ. (2014) Çin – Fujian'da bulunan Mangrov Ormanlarında BREB metodunu kullanarak enerji akılarının mevsimsel ve gelgit dönemlerinde nasıl değiştiğini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma ile kış mevsiminde Bowen Oranı'nın yaz mevsimine göre daha yüksek değerlere ulaştığı, gelgit oluşumunun Bowen Oranı'nı kışın yükselttiği ve yazın düşürdüğünü görmüşlerdir. Ayrıca kış mevsiminde bölgede oluşan sellerin Bowen Oranı'nı düşürdüğü, yazın ise normal değerlerden daha yüksek değerler aldığı gözlenmiştir. Gelgit olayının, enerji dengesi ile olan ilişkisinin oldukça karmaşık olması nedeniyle bu konuda daha fazla çalışma yapılması gerekliliğini vurgulamışlardır.

Wang ve diğ. (2014) yürüttükleri çalışma ile BREB ve EC metotlarını kullanarak Çin – Anhui'da bulunan ve bir tatlı su gölü olan Lake Taihu'da buharlaşmayı belirlemişlerdir. Göl üzerinde kurulan 3 farklı EC istasyonu ile göl üzerinde buharlaşmanın yersel ve zamansal dağılımını belirlemişlerdir. Çalışma ile aylık ve yıllık dönemlerde, radyasyon ve enerji akılarının yersel değişiminin fazla olmadığını, bunun da göl üzerinde meydana gelen buharlaşma üzerinde rüzgâr hızı, su derinliği, su kalitesi ve su bitkilerinin etkisinin az olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca elde edilen sonuçlar farklı göl buharlaşma modelleri ile test edilerek değerlendirmeye tabi tutulmuştur.

Cheng ve diğ. (2014) Amerika – Florida'da yaptıkları çalışmada, evapotranspirasyon veya buharlaşma gizli ısı akısı dolayısıyla enerji dengesinin, hidrolojik döngü ile yakından ilişkili olduğunu belirterek, farklı yüzeylerde enerji bütçesinin

belirlenmesinin su bütçesinin belirlenmesi açısından karar vericiler için kritik olduğunu vurgulamışlardır. Bölgede ölçüm ve sadece model yaklaşımlarını içeren geleneksel yöntemlerin varlığına rağmen, veri eksikliği nedeniyle enerji bütçesinin farklı bölgelerde nasıl değiştiğinin tam olarak bilinmediğini belirtmişlerdir. Bu nedenle Florida'da bulunan, göl, sulak alan, tarımsal alan, orman ve kentsel alanları kapsayan farklı bölgelerden toplanan 1992 – 2002 yılları arasındaki verilerle enerji bütçesinin nasıl değiştiğini bu bölgeler için belirlemişlerdir. Sonuçlara göre, göller ve kentsel alanlarda enerji bütçesi, buharlaşma ve negatif Bowen Oranı'nın yüksek değerler aldığı, sulak alanların ise düşük buharlaşma nedeniyle farklı bir karakter sergilediği görülmüştür. Ayrıca kurak dönemlerde, Bowen Oranı'nın, yüzey sıcaklığının ve hissedilen ısı akısının normal yıllara göre daha yüksek değerler aldığı sonucuna varılmıştır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma ile ülkemizin ana besin kaynaklarından olan ve tarımsal üretimi yaygınlıkla yapılan buğday bitkisi ekilen bir alanda mikrometeorolojik ölçümler yapılması, elde edilen verileri kullanarak enerji dengesi bileşenlerini hesaplanması, topraktan buharlaşma ve bitkilerden terleme yoluyla kaybedilen su miktarını (gerçek evapotranspirasyonu) uluslararası literatürde son yıllarda yoğunlukla kullanılan doğrudan ve dolaylı ölçüm yöntemleri ile ölçerek ve hesaplayarak birbirleri arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılması hedeflenmektedir. Bir diğer amaç ise mikro ölçekte referans evapotranspirasyonun belirlenmesi, bölgede atmosfer ve bitki etkileşiminin sayısal olarak ortaya konulmasıdır.

Mikrometeorolojik çalışmalarda bölgesel özelliklerin ortaya çıkarılması için mikro ölçekli ölçümlerin yapılması oldukça önemlidir. Çalışma ile meteorolojik değişkenlere ek olarak tüm tarımsal ölçümler ve faaliyetler ölçüm sahasında gözlenecek ve kaydedilecektir. Meteorolojik değişkenlerin ve toprak – su özelliklerinin yersel dağılımının oldukça değişken olması, doğru verilere ulaşılabilmesi için bölgesel veya ülkesel verilerin kullanılması yerine mikro ölçekte çalışmalar yapılması gerekliliği nedeniyle her türlü ölçüm ve gözlem çalışma sahasında yapılarak, bölge için gerçek veriler ölçülecek ve gerçek sonuçlar ortaya çıkarılacaktır.

Çalışmada 2009 – 2010 gelişme döneminde buğday bitkisi ekilen bir alanda Bowen Oranı Enerji Dengesi Yöntemi, Eddy – Kovaryans Yöntemi ve Penman – Monteith Denklemi kullanılarak gerçek evapotranspirasyon hesaplanacak, FAO-56 Penman – Monteith Denklemi ile referans evapotranspirasyon belirlenerek, yüzey iletkenliği, aerodinamik iletkenlik ve ayrışma katsayısı bu bölge için ilk kez ortaya çıkarılmaktadır.

Ülkemizde ve Trakya Bölgesi'nde buğday bitkisi ekili bir alanda gerçek ve referans evapotranspirasyonu belirlemek amacıyla yapılan çalışma sayısının oldukça az olması, yüzey iletkenliği, aerodinamik iletkenlik ve ayrışma katsayısı gibi verilerin ülke ve bölge bazında daha önce belirlenmemiş olması nedeniyle elde edilecek sonuçlar tarımsal faaliyetler, meteorolojik çalışmalar ve karar vericiler, planlayıcılar ile uzmanlar için önemli bilgiler sağlayacaktır. Ayrıca ortaya çıkarılacak veriler doğrultusunda bitki gelişimi bölgesel olarak daha anlaşılabilir hale gelebilecek, sulama takvimleri ve miktarları bu verilere göre ayarlanabilecek ve üretimde verim artışı sağlanabilecektir.

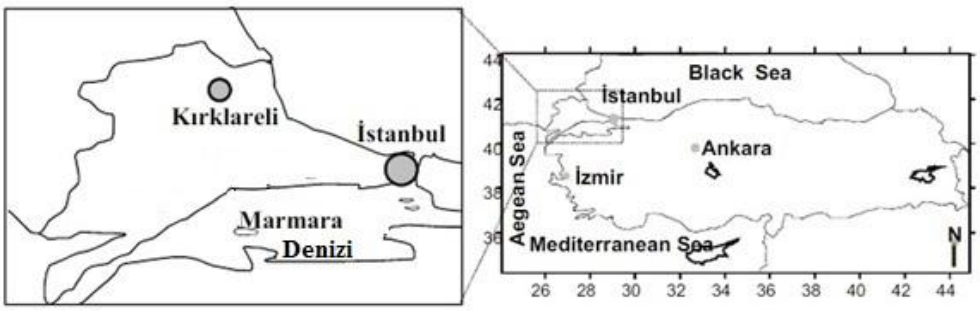
2. MATERYAL VE METOT

2.1 Materyal

Çalışmanın yürütüldüğü alana ait bilgiler, bölgede yapılan analizler, kurulan meteoroloji istasyonu ve ölçüm parametreleri ile ilgili detaylar aşağıdaki bölümlerde verilmektedir.

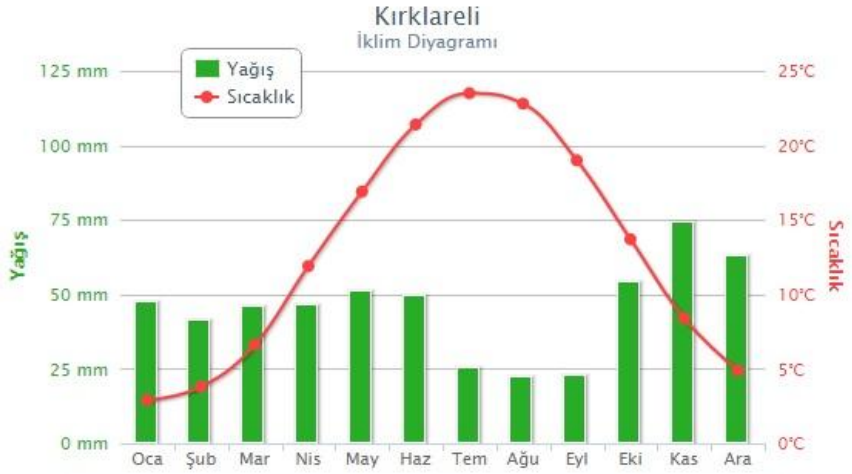
2.1.1 Deneme alanı ve bitki türü ile ilgili bilgiler

Çalışma, Ülkemizin kuzeybatısında, Marmara Bölgesinin Trakya kesiminde yer alan ve tarımsal çeşitlilik ve üretim faaliyetleri açısında zengin bir İl olan Kırklareli'nde yürütülmüştür. Kırklareli, Dünyadaki konumu itibariyle 41° 44' – 42° 00' kuzey enlemleri, 26° 53' – 41° 44' doğu boylamları arasında kalmaktadır. İlin konumu Şekil 2.1 ile gösterilmektedir. İl sınırları 6,555 km^2 bir alan kaplamakta, toplam nüfusu 340,559 kişiden oluşmaktadır. Kuzeyden 159 km sınır uzunluğu ile Bulgaristan, doğudan 58 km kıyı uzunluğu ile Karadeniz, batıdan Edirne, güneydoğudan İstanbul, güneyden ise Tekirdağ illeri ile çevrilidir. Toprakların %48'i dağlık, %35'i dalgalı arazi, %17'si ise ovalıktır. Kuzey ve kuzeydoğu doğrultusunda uzanan Yıldız Dağları (Istrancalar) ilin kuzeyinde bir nevi doğal duvar meydana getirir. Bölgenin bitki örtüsü nemli ormanlar, kuru ormanlar, stepler, maki ve kıyı bitkilerinden oluşur. Bitki örtüsüne göre toprakların %48'i tarım arazisi, %44'ü ormanlık arazi, %5'i çayır ve meradır (Kırklareli İl Özel İdaresi, 2015).



Şekil 2.1 : Kırklareli'nin konumu (Toros ve diğ., 2004).

İlin iklimsel özellikleri incelendiğinde, Aydeniz İklim Sınıflandırması'na göre kuraklık katsayısı 0.58 ve iklim tipi yarı nemli, Erinç İklim Sınıflandırması'na göre yağış etkinlik indisi 29.75 ve iklim tipi yarı nemli, DeMartonne İklim Sınıflandırması'na göre kuraklık indisi 13.26 ve iklim tipi step-nemli arası, Trewartha İklim Sınıflandırmasına göre kışları serin ve yazları sıcak, Thornthwaite İklim Sınıflandırması'na göre ise C'1, B'2, s, b'3 (yarı kurak-az nemli, mezotermal, su fazlası kış mevsiminde ve orta derecede olan, yaz buharlaşma oranı %54) iklim sınıfına girdiği görülmektedir (MGM, 2015). İle ait iklim diyagramı Şekil 2.2'de verilmektedir.



Şekil 2.2 : Kırklareli'ne ait iklim diyagramı (MGM, 2015).

İl Merkezi'nde bulunan Meteoroloji İstasyonu'nda ölçülen verilerin uzun yıllık ortalamaları (1953 – 2013) Çizelge 2.1'de verilmektedir (MGM, 2015).

Çizelge 2.1 : Kırklareli iline ait meteorolojik verilerin uzun yıllık ortalamaları (MGM, 2015).

	Ocak	**Şubat**	**Mart**	**Nisan**	**Mayıs**	**Haziran**	**Temmuz**	**Ağustos**	**Eylül**	**Ekim**	**Kasım**	**Aralık**	**Ortalama / Toplam**
Ort. Sıcaklık (°C)	2.9	4	6.8	12	17.3	21.6	23.9	23.3	19.2	13.9	9	4.9	13.2
Ort. Maks. Sıcaklık (°C)	6.5	8.2	11.8	17.6	23.4	27.9	30.5	30.3	25.9	19.7	13.5	8.5	18.7
Ort. Min. Sıcaklık (°C)	-0.1	0.6	2.8	7.1	11.5	15.4	17.7	17.4	13.8	9.7	5.6	2.1	8.6
Ort. Güneşlenme Süresi (saat)	2.4	3.4	5.1	6.3	8.4	9.1	9.6	9.6	7.3	5.6	3.3	2.1	6
Ort. Yağışlı Gün Sayısı	11	9.2	9.1	10.3	9.9	8.4	4.8	3.7	4.7	7	8.7	11.5	98.3
Aylık Top. Yağış Miktarı	59.3	50.2	46.6	44	48.3	45.7	25.6	21.9	33	51.7	66.5	70.7	563.5

Araştırma Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü'ne (TAGEM) bağlı Kırklareli Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyon Müdürlüğü arazisinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılacak alanlar ve ölçüm istasyonlarının kurulacağı noktalar ön fizibilite çalışması neticesinde belirlenmiştir. Mikro – Meteorolojik Gözlem İstasyonları'nın kurulum noktalarının belirlenmesinde, çevresel şartlar göz önünde bulundurulmuş, ölçümlerin en doğru sonucu vermesi için en uygun noktalar belirlenmiştir. Arazide 80 da'lık bir alan çalışma için kullanılmış ve bu alanın tamamında buğday ekimi yapılmıştır. İstasyon Müdürlüğü'nün bulunduğu bölge, çalışmanın yürütüldüğü alan ve istasyonların bulunduğu noktalara ait uydu görüntüsü Şekil 2.3'de verilmektedir. Ölçüm istasyonlarının yaklaşık koordinatları 41° 41' 56 " K, 27° 12' 40 " D ve deniz seviyesinden yaklaşık yükseklik 171 m'dir.



Şekil 2.3 : Deneme alanının uydu görüntüsü.

Deneme alanlarının belirlenmesinin ardından, çalışma alanının iklim ve toprak özellikleri incelenerek ve ilgili uzman görüşleri alınarak bölgede yaygın olarak ekilen buğday çeşidinin kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışmada tüm tarımsal işlemler (toprağın hazırlanması, ekim, gübreleme vb.) için gerekli alet, ekipman ve personel İstasyon Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır.

Ekim öncesinde çalışma alanının toprak özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, topraktan çakma silindirler ile bozulmamış toprak örnekleri ve fiziksel – kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla bozulmuş toprak örnekleri alınmıştır. Alınan numuneler İstasyon Müdürlüğü'nde bulunan laboratuarda analiz edilmiştir. Analizler

ile toprak cinsinin kumlu – tın olduğu belirlenmiş ve toprak özellikleri detaylı olarak incelenmiştir. Çizelge 2.2 ile ekim yapılan alandaki toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri detaylı olarak verilmektedir.

Çizelge 2.2 : Toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri (Şaylan ve diğ., 2012a).

Fiziksel Özellikler	Derinlik (cm)	Su ile Doygun Yüzde (%)	Su ile Doygun pH	Tuz (%)	Kireç (%)	Organik Madde (%)	Bitkilere Yarayışlı		Bünye			Tarla Kapasitesi (Ağırlık) (%)	Solma Noktası (Ağırlık) (%)
							Fosfor (kg/da)	Potasyum (kg/da)	Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)		
	0-30	44	7.67	0.08	2.20	1.46	22.07	84.69	12.50	20.83	66.67	16.20	6.73
	30-60	59	7.63	0.07	1.50	1.58	32.06	60.69	18.75	27.08	54.17	16.85	10.32
	60-90	57	7.77	0.07	1.50	1.10	34.86	55.52	16.67	27.08	56.25	22.82	10.12
	90-150	49	7.71	0.06	9.00	0.84	30.31	64.21	16.67	25.00	58.33	22.56	9.56
Kimyasal Özellikler	**Derinlik (cm)**	**Toplam Azot (%)**	**Toplam Karbon (%)**	**P (ppm)**	**Ca (cmol/kg)**	**K (cmol/kg)**	**Mg (cmol/kg)**	**Na (cmol/kg)**	**Katyon Değişim (cmol/kg)**	**Fe (ppm)**	**Cu (ppm)**	**Zn (ppm)**	**Mn (ppm)**
	0-30	0.09	0.85	38.54	24.71	0.22	0.40	0.15	25.48	6.57	7.34	9.41	12.88
	30-60	0.11	0.92	55.98	24.10	0.23	0.51	0.23	25.07	8.49	13.35	2.60	9.48
	60-90	0.09	0.64	60.87	21.72	0.23	0.51	0.20	22.66	0.04	0.07	0.01	0.69
	90-150	0.10	0.49	52.92	19.40	0.31	0.52	0.15	20.38	6.11	6.67	1.18	8.30

Çalışma, bölgede yoğunlukla üretimi yapılan buğday bitkisi üzerinde yapılmıştır. Kullanılan bitki ve yürütülen tarımsal faaliyetler ile ilgili bilgiler Çizelge 2.3'de verilmektedir.

Çizelge 2.3 : Bitki türü ve yürütülen tarımsal faaliyetler (Şaylan ve diğ., 2012a).

Bitki Çeşidi	Gelibolu
Ekim Tarihi	9.10.2009
Ekim Tipi	Mibzerle Sıraya Ekim
Ekim Derinliği	5 – 6 cm
Çıkış Tarihi	17.10.2009
Hasat Tarihi	6.07.210
Ekilen tohum miktarı (kg/da)	18
1000 dane ağırlığı (g)	36.94
Çimlenme Kapasitesi (%)	72.6
Çimlenen tohum (adet/m^2)	354

Bitkinin gelişim aşamalarının takibi amacı ile yapılan fenolojik gözlemler ile ilgili detaylar Çizelge 2.4 ile verilmektedir.

Çizelge 2.4 : Fenolojik gözlemler (Şaylan ve diğ., 2012a).

Fenolojik Gözlemler	Tarih
Ekim Tarihi	9.10.2009
Çimlenme – Çıkış Tarihi	17.10.2009
2.Yaprak	21.10.2009
3.Yaprak	26.10.2009
Kardeşlenme	25.11.2009
Sapa Kalkma	31.3.2010
Başaklanma	26.4.2010
Çiçeklenmeye Başlama	10.5.2010
Dane Dolumu	24.5.2010
Olgunlaşma	4.6.2010
Hasat Tarihi	6.7.2010

2.1.2 Kullanılan mikrometeorolojik ölçüm aletleri ve ölçümler

Araştırma bölgesinde kurulacak olan Meteorolojik Ölçüm İstasyonlarının yerlerinin belirlenmesinde, ölçümler açısından kritik olan temsil mesafesi (fetch), ayak izi ve çevresel faktörler göz önünde bulundurulmuştur.

Eddy – Kovaryans sisteminin kurulum yerlerinin seçiminde, düz ve uniform bir alan ile yeterli temsil mesafesine (fetch) ve ayak izine (footprint) ihtiyaç duyulmaktadır (Şaylan ve diğ., 2012b). Bu amaçla bölgede daha önceki çalışmalarda ölçülen meteorolojik veriler ışığında, farklı atmosferik koşullar için temsil mesafesi ve ayak izi değerleri belirlenmiştir. EC sisteminde kritik olan bir diğer parametre ise sensörler arası mesafelerdir (Şaylan ve diğ., 2012b). Kurulum esnasında sensörler arası mesafeler de dikkate alınmıştır.

Çalışma sahasında kurulan Meteorolojik Ölçüm İstasyonu, şehir şebekesinde meydana gelebilecek kesintilere karşı 12 V'luk bir kuru pil ve solar panel ile enerji ihtiyacını sürekli karşılayacak şekilde tesis edilmiştir. EC Sistemi de hem şebekeye bağlı hem de akü ve solar panellerle desteklenmiştir. Bu sayede sensörlerin ve veri toplayıcıların herhangi bir kesinti olmadan efektif bir şekilde çalışmaları sağlanmıştır. Her iki sistemde de veri toplayıcılar su geçirmez özel kutular içerisinde muhafaza edilmiştir. Her iki sistemde de yüksek akım ve yıldırıma karşı önlem olarak paratoner kullanılmıştır (Şaylan ve diğ., 2012b).

Kurulumu yapılan Meteorolojik Ölçüm İstasyonu ile; farklı seviyelerde hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı ve yönü, toprak sıcaklığı, yağış, global radyasyon, net radyasyon, toprak ısı akısı, toprak su içeriği ve fotosentetik aktif radyasyon ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sürekli olarak yapılmış, veri toplayıcıda ise 10 dk, 30

dk ve günlük ortalamaları kaydedilmiştir. Meteorolojik Ölçüm İstasyonu'na ait fotoğraflar Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4 : Meteorolojik ölçüm istasyonuna ait görseller.

Meteoroloji Ölçüm İstasyonu 10 m'lik bir direk üzerine kurulmuştur. Ölçülen meteorolojik değişkenler, kullanılan sensörler ve ölçüm yükseklikleri Çizelge 2.5 ile verilmektedir.

Çizelge 2.5 : Kullanılan sensörler ve ölçüm yükseklikleri (Şaylan ve diğ., 2012b).

Sensör Adı	Marka-Model	Ölçüm Yüksekliği-Derinliği
Veri Toplayıcı	Campbell Scientific, CR1000	
Sıcaklık ve Bağıl Nem Sensörü	Vaisala, HMP Serisi	2 m
Sıcaklık ve Bağıl Nem Sensörü	Vaisala, HMP Serisi	3 m
Rüzgâr Hızı ve Yönü Ölçüm Sensörleri	NRG, RNRG Serisi	0,5 m, 1 m, 2 m, 5 m, 10 m
Yağış	Campbell Scientific, TE Serisi	1 m
Global Radyasyon Sensörü	Kipp&Zonen, CMP Serisi	2 m
Net Radyasyon Sensörü	Kipp&Zonen, NR Serisi	2 m
Toprak Isı Akısı Ölçüm Sensörü	Hukseflux, HFP Serisi	8 cm

EC Ölçüm Sistemi sayesinde de CO_2, H_2O akıları ve 3 boyutlu rüzgâr hızı ölçülmüştür. Bu sistemde de ölçümler sürekli olarak yapılmış, 10 Hz zaman aralığında veri toplayıcı da kaydedilmiştir. EC Ölçüm Sistemi'ne ait fotoğraflar Şekil 2.5'de verilmektedir.



Şekil 2.5 : EC ölçüm sistemine ait görseller.

Bu sistemde EC araştırmaları için özel üretilen, yüksek hassasiyetli Licor LI-7500A sistemi kullanılmıştır. Bu sistem ile 0 – 3000 ppm aralığında ve 0,11 ppm hassasiyette CO_2, 0 – 60 ppt aralığında ve 0,0047 ppt hassasiyetinde H_2O akıları ölçülebilmektedir.

2.2 Metot

Çalışmada kullanılan ölçüm ve hesaplamalara ait detaylar aşağıdaki bölümlerde verilmektedir.

2.2.1 Bowen oranı enerji dengesi yöntemi (BREB)

BREB Metodu buharlaşma gizli ısı akısı ve hissedilir ısı akısı arasında konvektif akıların dağılım oranına bağlı olarak gerçek evapotranspirasyonun belirlenmesi amacıyla kullanılır (Oke, 1987). Yöntem ilk kez, astrofizik alanında çalışmalar yapan bilim adamı Ira Sprague Bowen tarafından 1926 yılında, açık su yüzeylerinde meydana gelen akıları belirlemek amacıyla kullanılmıştır (Bowen, 1926). BREB metodu ile sıcaklık ve nem gradyanı, net radyasyon ve toprak ısı akısı ölçümü ile bir yüzeyden oluşan buharlaşma gizli ısı akısı belirlenebilir (Fritschen ve Simpson, 1989). Yöntem buharlaşmanın ölçümünde kullanılan endirekt yöntemlerdendir. Yöntem direkt ölçüm yöntemleri ile kıyaslandığında, anlaşılması ve uygulaması daha kolaydır. Ayrıca yüzey aerodinamik karakteristik özelliklerine ihtiyaç duymaması sayesinde geniş alanlarda kullanıma uygundur. Uygun zaman aralıkları (bir saatten daha kısa) kullanılarak herhangi bir müdahaleye gerek kalmaksızın sürekli ve güvenilir ölçümler sağlayabilmektedir. Yöntemin dezavantajları ise ölçüm aletlerinin hassasiyetine duyarlılık, temsil mesafesine (fetch) duyulan ihtiyaç ve Bowen Oranı'nın aldığı değerlere göre analiz edilmesi gerekliliğidir (Todd ve diğ., 2000).

BREB metodu birçok kabule dayanmaktadır. Taşınımın tek boyutta olduğu ve sensörlerin, akının yükseklikle değişiminin sabit olduğu denge alt katmanında yerleştirildiği ön kabulü yapılmaktadır. Yüzeyde, ısı, su buharı ve momentumun değişiminin homojen bir şekilde meydana geldiği düşünülür. Havada meydana gelen çalkantı alışverişini simgeleyen katsayı 1 olarak kabul edilir. Bu kabuller, yeterli temsil mesafesi olması durumunda sağlanabilmektedir (Todd ve diğ., 2000). Genellikle, temsil mesafesinin (fetch) 100:1 oranında olması bir kuraldır (Rosenberg ve diğ., 1983). Ancak Bowen Oranı'nın küçük ve pozitif olduğu bölgelerde temsil mesafesinin (fetch) 20:1 oranına kadar düşebileceği belirtilmektedir (Heilman ve diğ., 1989). Bu nedenle farklı yüksekliklerdeki sensörlerin yeterli temsil mesafesine (fetch) sahip olması gerektiği belirtilmektedir (Schmid, 1997).

Arazi koşullarında çalışmanın zorluğu ve tarım alanı, orman alanı, göl, sulak alan veya yerleşim merkezi gibi her türlü yüzeyde meydana gelen akıları belirlemede uygun bir yöntem olması nedeniyle kullanımı oldukça yaygındır.

BREB Yöntemi direkt ölçüm yöntemlerine göre uygulama açısından kolay olmasına rağmen hesaplama adımları ve uygun verilerin filtrelenmesi yöntemleri açısından

daha karmaşık bir yapıdır. Yöntemin hesaplama adımları ve filtreleme yöntemleri aşağıdaki başlıklar altında detaylı olarak anlatılmaktır.

2.2.1.1 Bowen oranı enerji dengesi bileşenlerinin hesaplanması

Yukarıda da bahsedildiği gibi yöntem, net radyasyon, toprak ısı akısı ve iki farklı seviyede sıcaklık ve nem gradyanının ölçülmesi ile kullanılabilmektedir. BREB metodu enerji dengesi eşitliği temeline dayanmaktadır (Bowen, 1926).

$$R_n - G = LE + H \tag{2.1}$$

Burada; R_n, net radyasyonu (W/m^2); G, toprak ısı akısı (W/m^2); LE, buharlaşma gizli ısı akısı (W/m^2) ve H, hissedilir ısı akısını (W/m^2) göstermektedir.

Yöntem, Bowen tarafından ortaya atılan ve gelen enerjinin LE ve H arasında dağılım oranını gösteren Bowen Oranı hesabı üzerine kurulmuştur (Bowen, 1926). Bowen Oranı'nın hesaplanması ile ilgili detaylar aşağıda verilmektedir.

$$\beta = \gamma \left[\frac{T_1 - T_2}{e_{a_1} - e_{a_2}}\right] = \frac{H}{LE} \tag{2.2}$$

Denklemde; β, Bowen Oranı'nı; γ, psikrometrik katsayıyı (kPa/°C); T_1, alt seviyede ölçülen hava sıcaklığını (°C); T_2, üst seviyede ölçülen hava sıcaklığını (°C); e_{a1}, alt seviyede bulunan havanın gerçek buhar basıncını (kPa); e_{a2}, ise üst seviyede bulunan havanın gerçek buhar basıncını (kPa) göstermektedir.

β Oranının belirlenmesi ile aşağıdaki formül kullanılarak LE (W/m^2) hesaplanabilmektedir.

$$LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \tag{2.3}$$

β Oranı kullanılarak, H (W/m^2) değeri aşağıdaki denklem kullanılarak kolaylıkla hesaplanabilir.

$$H = \beta \times LE \tag{2.4}$$

Denklem 2.2'de görüldüğü üzere, β oranının hesaplanabilmesi için gerçek buhar basıncı ve psikrometrik katsayı değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Gerçek buhar

basıncı değerleri, ölçümü yapılan sıcaklık ve bağıl nem verilerinden aşağıdaki adımlar izlenerek hesaplanabilir (Allen ve diğ., 1998).

$$e_s = 0.6108 \times \exp\left[\frac{17.27 \times \mathrm{T}}{\mathrm{T} + 237.3}\right] \quad \textbf{(2.5)}$$

Denklemde; e_s, doymuş buhar basıncı (kPa) ve T, sıcaklık (°C) değerleridir. Elde edilen e_s değeri ile e_a aşağıdaki denklem vasıtasıyla bulunur.

$$e_a = \frac{RH \times e_s}{100} \quad \textbf{(2.6)}$$

Burada RH, o seviyede ölçülen bağıl nem (%) değeridir.

Denklem 2.2 ile β oranı hesabının yapılabilmesi için belirlenmesi gereken bir diğer parametre ise psikrometrik katsayıdır. Psikrometrik katsayı hesabı için izlenmesi gereken adımlar aşağı verilmektedir.

$$\gamma = \frac{c_p \times e}{0.622 \times L} \quad \textbf{(2.7)}$$

Denklemde; γ, psikrometrik katsayı (kPa/°C); c_p, sabit basınçta özgül ısı (kJ/kg.°C); L, buharlaşma gizli ısısı (kJ/kg) ve e, hava basıncı (kPa) değerleridir. Bu değerler, sırasıyla aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$c_p = 1.013\ (1 + 0.84 \times q) \quad \textbf{(2.8)}$$

Burada; c_p, sabit basınçta özgül ısı (kJ/kg.°C); q, özgül nem (kg/kg) değerleridir.

$$q = 0.622\ \left[\frac{e_a}{e - 0.378 \times e_a}\right] \quad \textbf{(2.9)}$$

Denklemde; q, özgül nem (kg/kg); e, hava basıncı (kPa) değeridir. Hava basıncı yüksekliğe bağlı olarak aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$e = 101.3\left[\frac{293 - 0.0065 \times z}{293}\right]^{5,26} \quad \textbf{(2.10)}$$

Burada; e, hava basıncı (kPa) ve z, yükseklik (m) verileridir. β değerinin belirlenebilmesi için geriye kalan tek hesaplama buharlaşma gizli ısıdır ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak verilen denklem ile hesaplanır.

$$L = 2501 - 2.36 \times T + 0.016 \times T^2 - 0.0006 \times T^3 \quad \textbf{(2.11)}$$

Denklemde; L, buharlaşma gizli ısısını (kJ/kg); T, sıcaklığı (°C) simgelemektedir.

Yukarıda verilen denklemler ile gelen enerjinin, enerji dengesini oluşturan parametreler arasında nasıl paylaşıldığı rahatlıkla bulunabilir.

2.2.1.2 Yöntem gerekliliklerini karşılayan verilerin filtrelenmesi

Bowen 1926 yılında yaptığı ve akı oranlarının belirlenmesi ile ilgili çalışmada eddy yayılma gücü farklılıkları dışında herhangi bir problemden bahsetmemiştir. BREB Metodu ile hesaplanan akı hatalarının varlığı ve belirlenmesi ile ilgili yapılan ilk çalışmalar Fritschen (1965), Fuchs ve Tanner (1970) ve Blad ve Rosenberg (1974) tarafından yapılmıştır. Ohmura (1982) tarafından BREB metodu ile hesaplanan akı verilerinin hatalı olanlarının belirlenmesi amacıyla objektif kriterler ortaya koymuştur.

BREB yöntemi ile yapılan hesaplamalardan kaynaklı hatalar, üç ana başlık altında incelenmelidir (Ohmura, 1982).

Bu hatalardan ilki; enerji dengesinin özünde olan ve yöntemin kullanıldığı tüm yöntemler için geçerli olan ölçüm sensörlerinin hassasiyeti ile ilgilidir. Sensör hassasiyetleri kaynaklı net radyasyon, toprak ısı akısı, sıcaklık ve nem gradyanının yeterli çözünürlükte ölçülmemesi hesaplamalarda hatalara neden olmaktadır.

İkinci problem ise; gün doğumu, gün batımı saatlerinde ve yağışlı zamanlarda sıcaklık ve nem gradyanının ters işaretli veriler üretmesidir. Gün doğumu ve batımında sıcaklık – nem gradyanı ters işaretli veri üreterek yağış anında olduğu gibi su buharının yüzeye yoğuşması gibi bir durumla karşı karşıya kalınmaktadır. Bu da hatalı hesaplamalar yapılmasına neden olmaktadır.

Üçüncü ve son problem ise; β değerinin -1 civarında değer almasıdır. Denklem 2.3 ile belirtildiği gibi LE'nin belirlenmesi için yapılan hesaplamada, paydada (1+β) terimi bulunmaktadır. β değerinin -1'e yaklaşması LE'nin limitleri dışında veriler üretilmesine neden olmaktadır.

Perez ve diğ. (1999) yaptıkları çalışma ile yukarıda açıklanan mantıksal problemlere sayısal bir çözüm önerisi getirmişlerdir. Çalışma ile yukarıda ikinci problem olarak

verilen sıcaklık – nem gradyanının ters işaret üretmesi durumuna tek bir çözüm ve birinci ve üçüncü probleme ise ortak bir çözüm yolu bulmuştur.

Genellikle gün doğumu, gün batımı saatlerinde ve yağışlı zamanlarda üretilen ve BREB metodunun mantığı ile çelişen verilerin ayıklanabilmesi için, parametrelerin birbirleri ile olması gereken uyumu Çizelge 2.6'da detaylı bir şekilde verilmektedir.

Çizelge 2.6 : Verilerin seçim kriterleri (Perez ve diğ., 1999).

Kullanılabilir Enerji	Buhar Basınç Farkı	Bowen Oranı	Isı Akıları
$R_n - G > 0$	$\Delta e_a > 0$	$\beta > -1$	$LE > 0$ ve $-1 < \beta \leq 0$ için $H \leq 0$
	$\Delta e_a > 0$	$\beta > -1$	$LE > 0$ ve $\beta > 0$ için $H > 0$
	$\Delta e_a < 0$	$\beta < -1$	$LE < 0$ ve $H > 0$
$R_n - G < 0$	$\Delta e_a > 0$	$\beta < -1$	$LE > 0$ ve $H < 0$
	$\Delta e_a < 0$	$\beta < -1$	$LE < 0$ ve $-1 < \beta \leq 0$ için $H \geq 0$
	$\Delta e_a < 0$	$\beta > -1$	$LE < 0$ ve $\beta > 0$ için $H < 0$

Yukarıda belirtilen kriterler ile BREB Metodu'nun uygulanabilmesi için gerekli olan parametreler arası mantıksal uyum sayısallaştırılarak, uygun verilerin filtrelenmesi için bir yöntem literatüre kazandırılmıştır.

Yukarıda bahsedilen birinci ve üçüncü probleme ortak çözüm yine Perez ve diğ. (1999) tarafından getirilmiştir. Sensör hassasiyetleri nedeniyle β değerinin belirlenmesinde hatalar oluşabilmektedir. Bu hatalar, eğer β oranının -1 civarında değer alması durumunda LE değeri için hatalı veriler üretilmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, sensör hassasiyetlerine bağlı olarak β oranının hangi aralıkta hatalı veriler üreteceği aşağıdaki formüller ile belirlenebilmektedir. $\varepsilon = \delta\beta$ olmak üzere;

$$\varepsilon = \frac{\delta\Delta e_a - \gamma\delta\Delta T}{\Delta e_a} \qquad \textbf{(2.12)}$$

Burada; ε, β'da oluşacak hata payını; $\delta\Delta e_a$, nem sensörünün hata payını (kPa); $\delta\Delta T$, sıcaklık sensörünün hata payını (°C) göstermektedir. Bu sayede β'da oluşacak hata oranı belirlenerek, hatalı üretilen β için alt ve üst limitler aşağıdaki denklem sayesinde belirlenebilir.

$$-1 - |\varepsilon| < \beta < -1 + |\varepsilon| \qquad \textbf{(2.13)}$$

Denklem 2.13 ile belirlenen alt ve üst limitler sayesinde hatalı β değerleri ayıklanarak, doğru hesaplamalar yapılabilmesi sağlanmaktadır.

Ohmura (1982) yaptığı çalışma ile BREB metodunda hataya neden olabilecek noktaları ortaya çıkarmıştır. Perez (1999) tarafından yapılan çalışma ise uygun olmayan verilerin filtrelenmesi ve yanlış verilerin düzeltilmesi için sistematik çözümler üretmiştir.

2.2.2 Eddy Kovaryans yöntemi (EC)

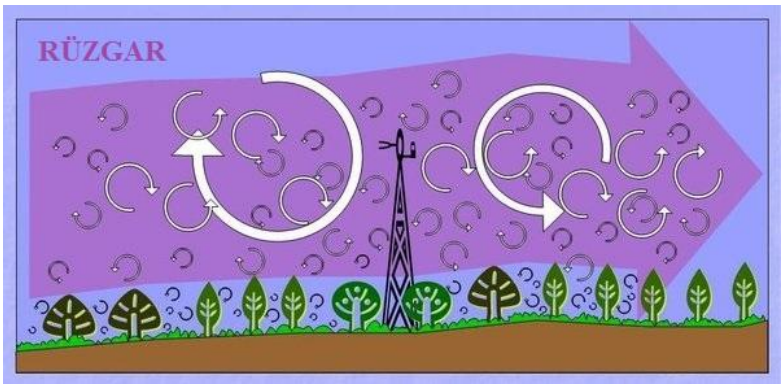
Eddy Korelasyonu ya da Eddy Akıları olarak da adlandırılan Eddy – Kovaryans (EC) tekniği, atmosferik sınır tabaka içerisinde meydana gelen çalkantı akılarını ölçmek ve hesaplamak üzere kurulu önemli bir atmosferik ölçüm tekniğidir. Bu yöntem, yüksek frekanslı rüzgâr hızı, büyüklüğü olan atmosferik veri setleri ve akı değerlerinin özelliklerini analiz eder. Mikrometeoroloji, oşinografi, hidroloji, tarım bilimleri ve endüstri vb. alanlarda, eser gazların değişiminin belirlenmesinde kullanılan matematiksel olarak karmaşık istatistiksel bir yöntemdir. Özellikle momentum, ısı, H_2O, CO_2 ve CH_4 gaz akılarının ölçümünde sıklıkla kullanılmaktadır (Aubinet ve diğ., 2012).

EC metodu, küresel iklim modellerinin, kısa ve orta vadeli hava tahmin modellerin, karmaşık biyo – jeokimyasal modellerin, uydu ve uçaklar vasıtasıyla elde edilen uzaktan algılama verilerinin doğrulamasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yöntemin doğruluğunun kanıtlandığı bir başka alan ise su altında, deniz tabanı ile su yüzeyi arasındaki oksijen akılarının belirlenmesi çalışmalarıdır (Burga ve Anderson, 2013).

Yöntem atmosfer ile biyosfer arasındaki gaz akılarının hesaplanmasında küresel ve bölgesel olarak geliştirilen FluxNet, Ameriflux, ICOS, CarboEurope, Fluxnet Canada, OzFlux, NEON ve iLeaps Akı Ağlarında kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem atmosfer ile bitki örtüsü arasındaki CO2, sıcaklık ve rüzgâr hızının düşey değişiminin ortalamadan sapması temeline dayanmaktadır. Yöntemin bileşenleri, üç boyutlu rüzgâr hızı, CO_2, H_2O ve sıcaklık parametreleridir. Havada meydana gelen çalkantılardan ve ortalamadan sapmalardan CO_2 ve H_2O akıları hesaplanmaktadır. Yöntemin avantajı sistemde kullanılan kızılötesi gaz analiz (IRGA) sensörlerinin uzun süre kalibrasyona gerek duymaksızın ölçüm yapabilmesidir. Dezavantajı ise

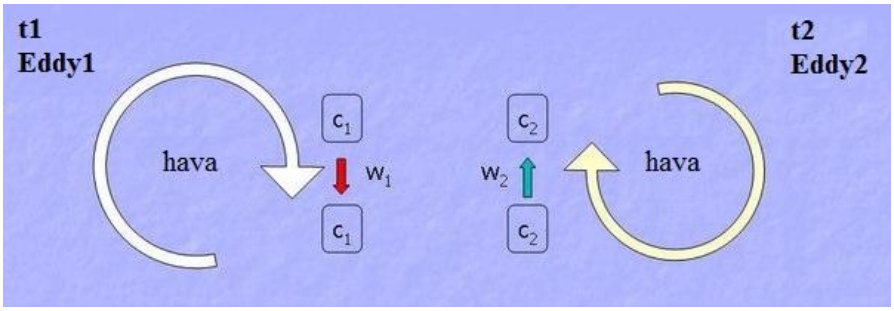
açık sistemlerde yağış meydana geldiğinde sistemin efektif bir şekilde çalışmamasıdır (Şaylan ve diğ., 2012b).

Yöntemin çalışma prensibinin anlaşılması için; hava akımının yatayda hareket eden ve dönen, farklı büyüklüklerde ve her birinin yatay ve dikey bileşenleri bulunan birçok eddy ile oluştuğu düşünülmelidir (Şekil 2.6). Bu sayede bileşenlerin dikey hareketleri, yüksek bir noktadan ölçülebilmektedir.



Şekil 2.6 : Ekosistemdeki hava hareketi (Burga ve Anderson, 2013).

Şekil 2.6'da belirtildiği gibi yüksek bir noktada bulunan ölçüm yapabilmeyi sağlayan kulede durum, fiziksel olarak şu şekilde açıklanabilir. Şekil 2.7'de de görülebileceği gibi t_1 anında ve $Eddy_1$'de c_1 hava parseli w_1 hızıyla aşağı doğru hareket eder ve daha sonra t_2 anında ve $Eddy_2$'de c_2 hava parseli w_2 hızıyla yukarı doğru hareket eder. Buradaki her bir hava parseli belirli bir hava yoğunluğu, basınç, sıcaklık ve nem değerine sahiptir. Bu faktörlerle birlikte havanın hızı bilinirse, akı belirlenebilir (Burba ve Anderson, 2013).



Şekil 2.7 : Tek bir noktada Eddy'lerin görünümü (Burba ve Anderson, 2013).

Matematiksel olarak "eddy akıları" dikey rüzgâr hızının, gaz yoğunluğunun ve karışma oranının ortalamadan ani sapması ile elde edilen değerin ortalama hava yoğunluğu ile çarpılması şeklinde ifade edilebilir. Eddy akılarının fiziksel olarak

hesaplanması için gerekli olan çalkantılı akımın tam ifadesi birçok matematiksel yaklaşım ve uygulama içerir. Bu yaklaşım ve ifadeler aşağıdaki genel ifadelerle açıklanabilir (Burga ve Anderson, 2013).

$$F = \overline{\rho_a w s} \tag{2.14}$$

$$F = \overline{(\overline{\rho_a} + \rho_a')(\overline{w} + w')(\overline{s} + s')} \tag{2.15}$$

$$F = \overline{(\overline{\rho_a}\overline{w}\overline{s} + \overline{\rho_a}\overline{w}s' + \overline{\rho_a}w'\overline{s} + \overline{\rho_a}w's' + \rho_a'\overline{w}\overline{s} + \rho_a'\overline{w}s' + \rho_a'w'\overline{s} + \rho_a'w's')} \tag{2.16}$$

$$F = \left(\overline{\rho_a}\overline{w}\overline{s} + \overline{\rho_a}\,\overline{w's'} + \cancel{\overline{w}\,\overline{\rho_a's'}} + \cancel{\overline{s}\,\overline{\rho_a'w'}} + \cancel{\overline{\rho_a'w's'}}\right) = \cancel{\overline{\rho_a}\overline{w}\overline{s}} + \overline{\rho_a}\,\overline{w's'} \tag{2.17}$$

$$F \approx \overline{\rho_a}\,\overline{w's'} \tag{2.18}$$

Bu genel hesaplama yöntemi özele indirgendiğinde, hissedilir ısı akısı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$H = \overline{\rho_a} c_p \overline{w'T_s'} \tag{2.19}$$

Burada; H, hissedilir ısı akısı (W/m^2); ρ_a, hava yoğunluğu (kg/m^3); c_p, sabit basınçta özgül ısı (J/kg.°C); w, rüzgâr hızı (m/sn) ve T_s, sonik sıcaklık (°C) terimleridir.

Aynı yaklaşımla buharlaşma gizli ısı akısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$LE = \rho_a L \overline{w'q'} \tag{2.20}$$

Denklemde; LE, buharlaşma gizli ısı akısını (W/m^2); L, buharlaşma gizli ısısını (J/kg); q, su buharının düşey değişimini (kg/m^2) temsil etmektedir.

Yukarıda genelleştirilmiş matematiksel ve fiziksel mantığı anlatılan EC yöntemi LE'nin belirlenmesinde kullanılan mikrometeorolojik ölçüm yöntemidir. Matematiksel olarak karmaşık olan bu yöntem için sistemin kurulmasının ardından toplanan verinin ancak belirli bir aşamadan geçtikten sonra kullanılabileceği belirtilmektedir (Şaylan ve diğ., 2012b).

2.2.3 Penman – Monteith ve FAO – 56 Penman – Monteith yöntemleri

Penman – Monteith Yöntemi günlük gerçek evapotranspirasyonun hesaplanabilmesi için geliştirilmiş bir denklemden oluşmaktadır. Yöntem, Penman (1948) tarafından açık su yüzeylerinden meydana gelen buharlaşmayı hesaplamak amacıyla geliştirdiği

denklemin, Monteith (1965) tarafından enerji dengesi bileşenlerinin ve aerodinamik formülün entegre edilmesi ile revize edilmiş halidir (Zotarelli ve diğ., 2010). Monteith (1965) tarafından geliştirilen ve önerilen, termodinamik temeli psikrometrik diyagram vasıtasıyla da açıklanan bu denklem aşağıda verilmektedir.

$$LE = \frac{s(R_n - G) + \rho c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{s + \gamma\left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \quad \textbf{(2.21)}$$

Burada; LE, buharlaşma gizli ısı akısını (MJ/m^{2}gün); r_a aerodinamik direnci (sn/m); r_s, yüzey direncini (sn/m) simgelemektedir.

Referans evapotranspirasyon; 0.12 m yüksekliğinde ve 70 sn/m sabit yüzey direnç değerine sahip ve albedosu 0.23 olan farazi bir çim bitkisinden oluşan evapotranspirasyon miktarı olarak tanımlanmaktadır. Referans yüzey; oldukça geniş bir alanda sabit yükseklikte, aktif olarak büyüyen ve yüzeyi tamamen kaplayan, sulama sıklığının haftada bir olduğu çim yüzeyidir (Allen ve diğ., 1998). Bu yaklaşımla geliştirilen denklem aşağıdaki verilmektedir.

$$ET_0 = \frac{0.408\, s(R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} u_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma(1 + 0.34\, u_2)} \quad \textbf{(2.22)}$$

Denklemde; ET_0, referans evapotranspirasyon (mm/gün); s, doymuş buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa/°C); R_n, net radyasyon (W/m^2); G, toprak ısı akısı (W/m^2); γ, psikrometrik katsayı (kPa/°C); T, sıcaklık (°C); u_2, 2 m'de ölçülen rüzgâr hızı (m/sn); e_s, doymuş buhar basıncı (kPa); e_a, gerçek buhar basıncı (kPa) değerlerini simgelemektedir.

Yukarıda da görüldüğü gibi denklemde bazı katsayılar bulunmaktadır. Bu katsayılar referans bitki olan çim bitkisi için belirlenen değerlerdir.

1999 yılında ASCE (Amerika İnşaat Mühendisleri Odası) altında faaliyet gösteren Çevre ve Su Kaynakları Enstitüsü (EWRI) – Sulama ve Hidroloji Komitesi tarafından başlatılan bir çalışma ile Allen ve diğ. (1998) tarafından çim bitkisi için geliştirilen yöntem farklı bitkiler için de kullanılabilecek standart bir yapı haline dönüştürülmek istenmiştir. Walter ve diğ. (2002) tarafından yapılan çalışma ile yürütülen proje neticelendirilerek, FAO – 56 Penman – Monteith Referans

Evapotranspirasyon Yöntemi temelini kullanan ancak farklı bitkiler için de kullanılabilir hale getirilmiş bir denklem geliştirilmiştir.

$$ET_0 = \frac{0.408\, s(R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{(T + 273)} u_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma(1 + C_d\, u_2)} \quad \textbf{(2.23)}$$

Denklemde; ET_0, referans evapotranspirasyon (mm/gün), C_n, referans bitki tipi ve veri zaman aralığı için pay sabiti; C_d, referans bitki tipi ve veri zaman aralığı için payda sabiti; u_2, 2 m'de ölçülen rüzgâr hızı (m/sn) değerleridir.

2.2.4 Aerodinamik - yüzey iletkenliği ve ayrışma katsayısı hesabı

Aerodinamik iletkenlik, atmosfer ile yüzey arasındaki ısı ve nem transferiyle oluşan, yüzey yakınındaki dikey çalkantının şiddetini gösterir. Atmosfer içerisinde bitki kaplı bir alan yüzeyinden meydana gelen buharlaşma nedeniyle oluşan su buharı ve ısı taşınımı hakkında bilgi verir. Ayrıca enerji ve kütle taşınımında önem arz ederek, LE ve CO_2 asimilasyonunun belirlenmesinde önemlidir. Yüzey iletkenliği ise buharlaşan toprak yüzeyi ve terleme yapan bitkiler vasıtasıyla oluşan buhar akışına yüzeyin etkisini gösterir (Allen ve diğ., 1998). Aerodinamik iletkenlik katsayısı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır (Jensen ve diğ., 1990).

$$g_a = \frac{k^2 u_z}{\ln\left(\frac{(z_m - d)}{z_0}\right) \ln\left(\frac{(z_m - d)}{z_{0h}}\right)} \quad \textbf{(2.24)}$$

$$d = 0.67 \times h_c \quad \textbf{(2.25)}$$

Denklemde; g_a, aerodinamik iletkenlik (m/sn); k, von Karman sabiti (0.41); u_z, rüzgâr hızı (m/sn); z_m, rüzgâr hızı ölçüm yüksekliği (m); d, Denklem 2.25'de hesaplanan sıfır rüzgâr yüksekliği (m); h_c, bitki yüksekliği (m); z_0, momentum pürüzlülük parametresi (m); z_{0h}, ısı – su pürüzlülük parametresi (m) değerleridir.

Yüzey iletkenlik katsayısı hesabında ise Penman – Monteith Denkleminin yeniden düzenlenen hali olan ve aşağıda verilen denklem kullanılır (Monteith ve Unsworth, 1990).

$$g_s = \frac{\gamma LE}{\rho c_p VPD} + \frac{g_a}{\left(\frac{\beta s}{\gamma} - 1\right)} \quad \textbf{(2.26)}$$

Denklemde; g_s, yüzey iletkenliğini (m/sn); γ, psikrometrik katsayıyı (kPa/°C); LE, buharlaşma gizli ısı akısını (W/m^2); ρ, hava yoğunluğunu (kg/m^3); c_p, sabit basınçta özgül ısı değerini (kJ/kg.°C); VPD, doymuş buhar basıncı ile gerçek buhar basıncı arasındaki farkı gösteren buhar basınç eksiğini (kPa); β Bowen oranını; s, ise doymuş buhar basıncı eğrisinin eğimini (kPa/°C) göstermektedir.

Bitki ile atmosfer arasındaki etkileşimin derecesini gösteren ve 0 (tam izolasyon) ila 1 (tam etkileşim) arasında değerler alan ayrışma katsayısı (decoupling) hesabı, aşağıdaki denklem kullanılarak yapılır (McNaughton ve Jarvis, 1986).

$$\Omega = \frac{(s + \gamma)}{\left(s + \gamma\left(1 + \frac{g_a}{g_s}\right)\right)} \quad \textbf{(2.27)}$$

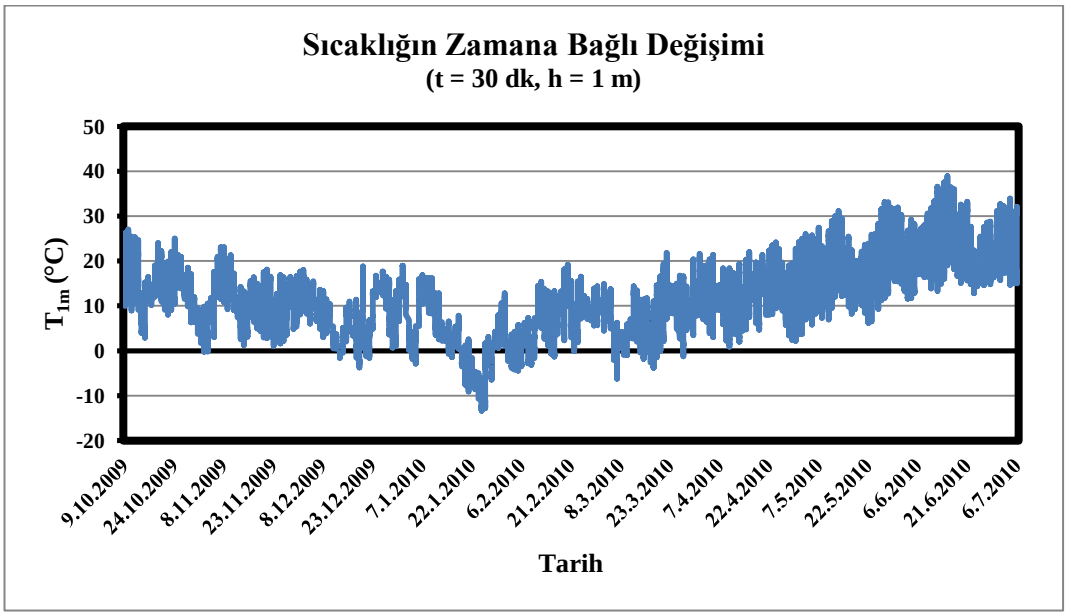
Denklemde; Ω ayrışma katsayısı değeridir.

3. ÖLÇÜM VE HESAPLAMALARIN ANALİZİ

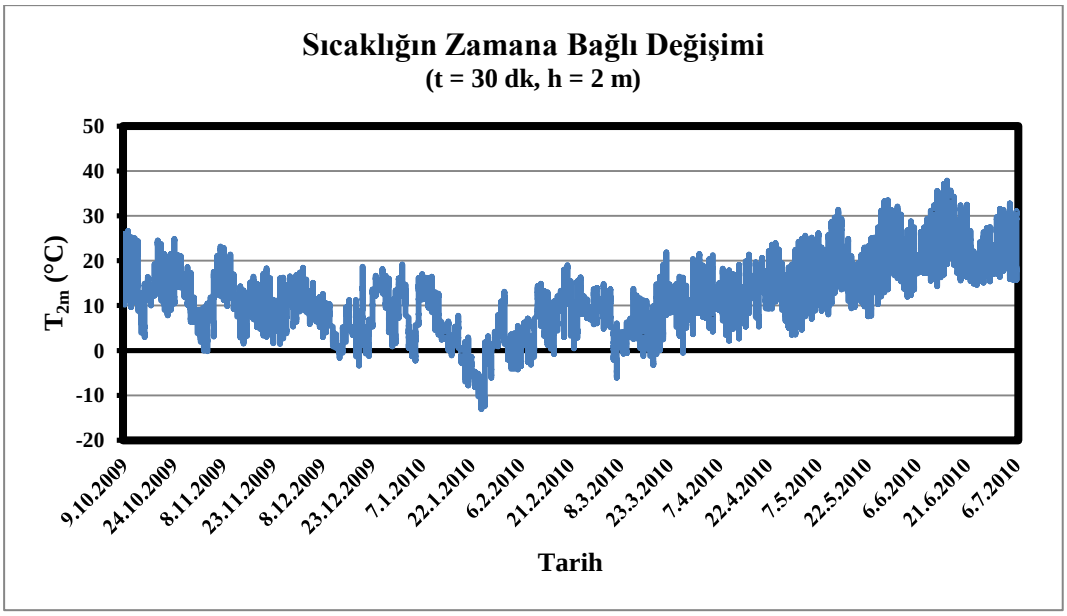
3.1 Mikrometeorolojik Ölçümlerin Analizi

Araştırma alanında kurulan sistem vasıtasıyla yapılan mikrometeorolojik ölçümlerden elde edilen sonuçlar 30 dk'lık ve günlük olmak üzere detaylı olarak analiz edilerek zaman serileri ve istatistiksel verileri aşağıda detaylı olarak incelenecektir. Sahada yapılan, farklı iki seviyede sıcaklık (T_{1m} ve T_{2m}) ve bağıl nem (RH_{1m} ve RH_{2m}), rüzgâr hızı (u_{2m}), yağış miktarı (P), global (R_g) ve net radyasyon (R_n) ölçümlerinin 30 dk'lık ortalamalarından elde edilen grafikler aşağıda verilmektedir.

Sezon boyunca, 1 m yükseklikte ölçülen hava sıcaklığı verilerinin ortalaması 11.5°C, maksimumu 38.9°C, minimumu -13.3°C ve standart sapması 8.2°C'dir. 2 m yükseklikte yapılan ölçümlerde ise ortalama sıcaklığın 11.6°C, maksimum sıcaklığın 37.9°C, minimum sıcaklığın -13.1°C ve verilere ait standart sapma değerinin 8.1°C olduğu görülmüştür. Sırasıyla 1 m ve 2 m'de ölçülen hava sıcaklığı verileri Şekil 3.1 ve 3.2'de verilmektedir.

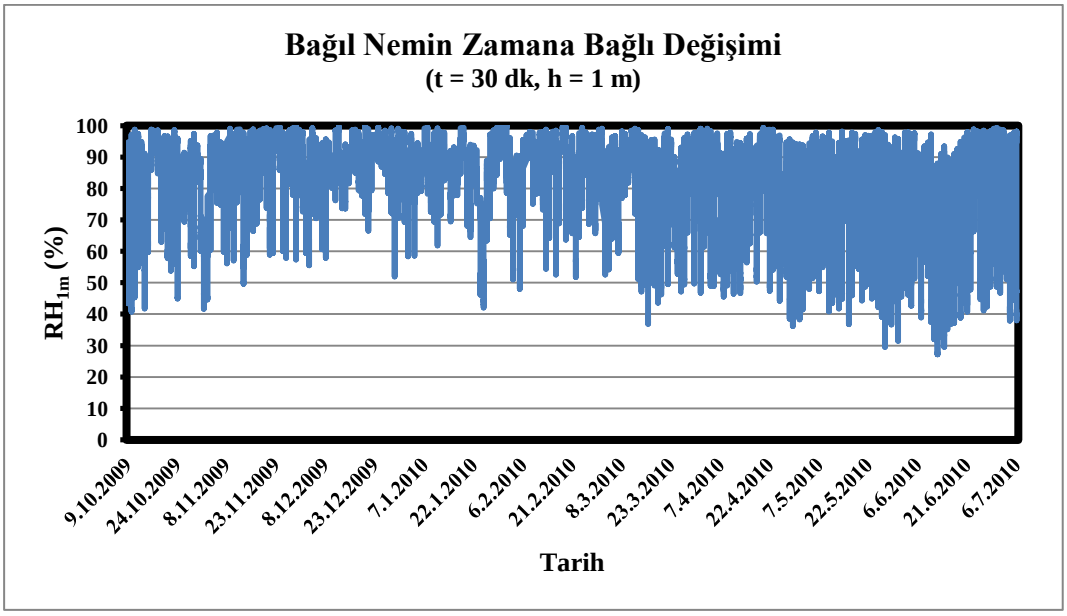


Şekil 3.1 : 1 m Yükseklikte ölçülen hava sıcaklığının zamansal değişimi.

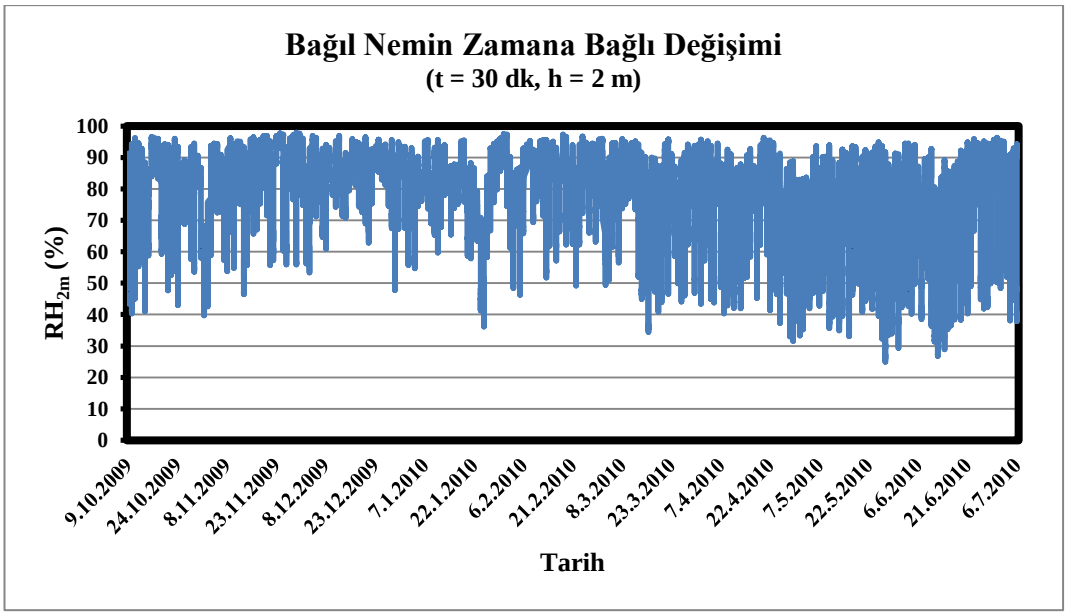


Şekil 3.2 : 2 m Yükseklikte ölçülen hava sıcaklığının zamansal değişimi.

İki farklı seviyede ölçülen bağıl nem değerlerine ait grafikler Şekil 3.3 ve 3.4'de verilmektedir.



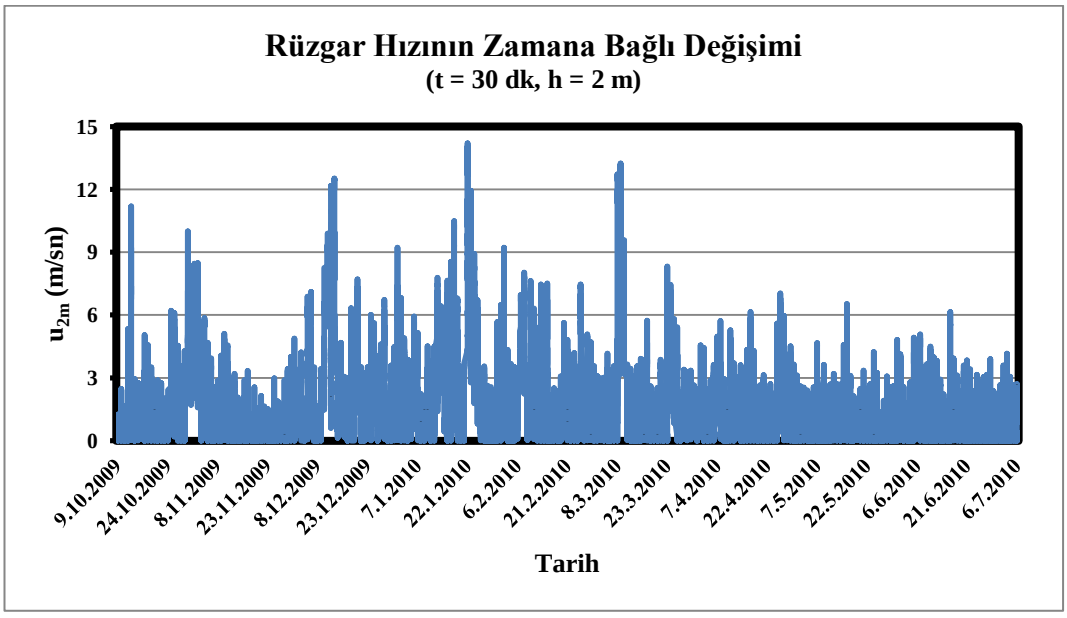
Şekil 3.3 : 1 m Yükseklikte ölçülen bağıl nemin zamansal değişimi.



Şekil 3.4 : 2 m Yükseklikte ölçülen bağıl nemin zamansal değişimi.

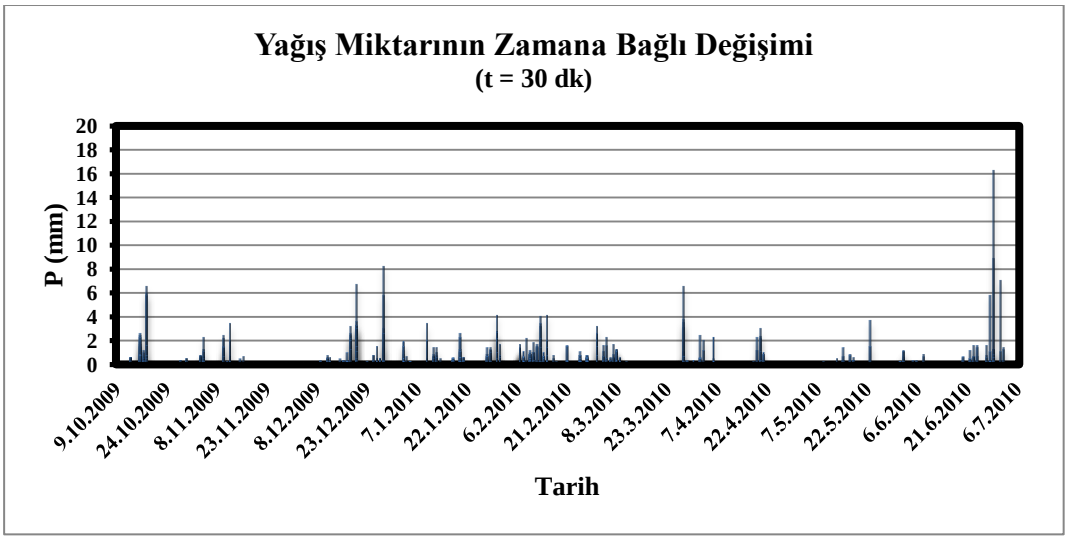
Ölçüm periyodu boyunca 1 m yükseklikte bağıl nemin ortalama, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri sırasıyla; %81, %100, %28 ve %16 ve 2 m yükseklikte ise bu değerler; %77, %98, %25 ve %16'dır.

Belirtilen dönemde yapılan rüzgâr hızı ölçümünde en yüksek değer 14.2 m/sn, ortalama değer 1.85 m/sn ve standart sapma 2 m/sn olarak belirlenmiştir. Ölçülen rüzgâr hızı değerlerinin zamansal değişimi Şekil 3.5'de verilmektedir.



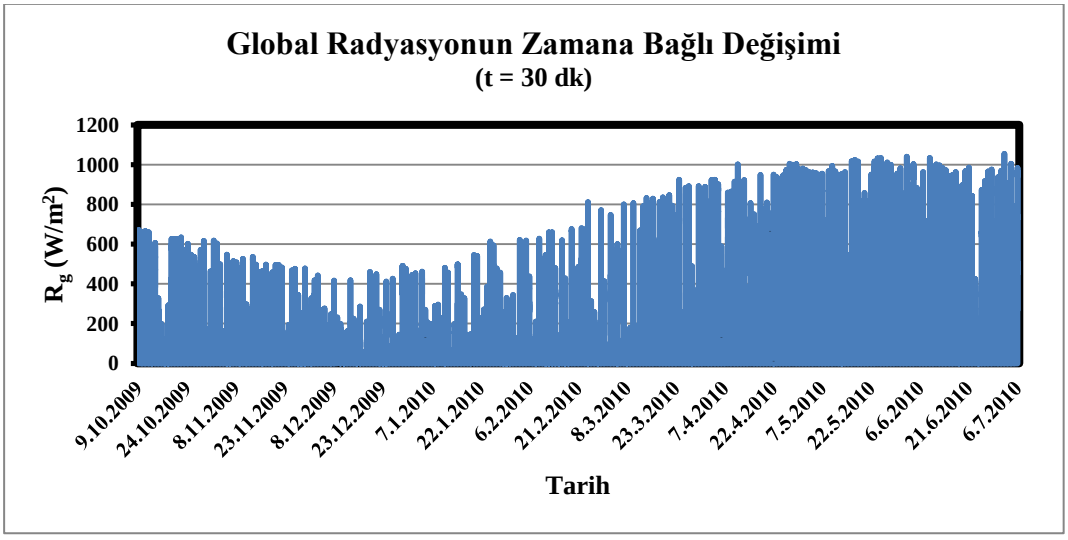
Şekil 3.5 : 2 m Yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı verilerinin zamansal değişimi.

271 günlük gelişme dönemi boyunca ölçülen toplam yağış miktarı 560 mm'dir. 30 dk'lık veriler incelendiğinde maksimum yağış miktarı 16.2 mm ve standart sapma değeri ise 0.32 mm'dir. Yağış verilerinin zamana bağlı değişimi Şekil 3.6'da verilmektedir.

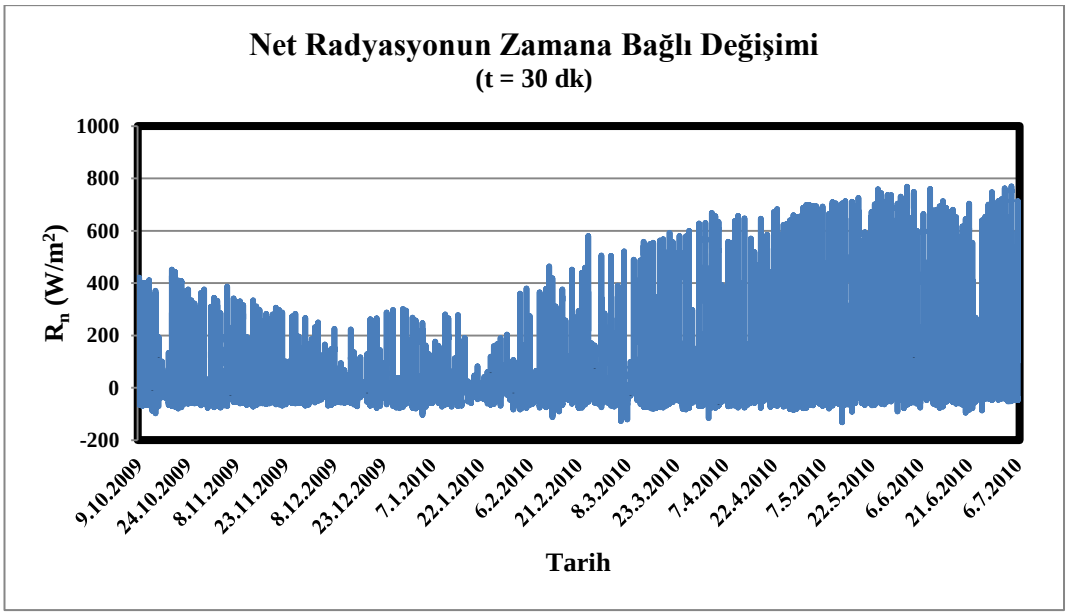


Şekil 3.6 : Yağış miktarının zamansal değişimi.

Ekim'den hasada kadar geçen sürede yapılan global radyasyon ölçümlerinde ortalama R_g değerinin 148 W/m^2, maksimum değerin 1054 W/m^2 ve standart sapmanın 245 W/m^2 olduğu görülmüştür. Aynı dönemde R_n'ye ait ortalama değer 64 W/m^2, maksimum değer 769 W/m^2, minimum değer -132 W/m^2 ve standart sapma 174 W/m^2 olarak ölçülmüştür. R_g ve R_n'nin zamana bağlı değişimi Şekil 3.7 ve 3.8'de verilmektedir.

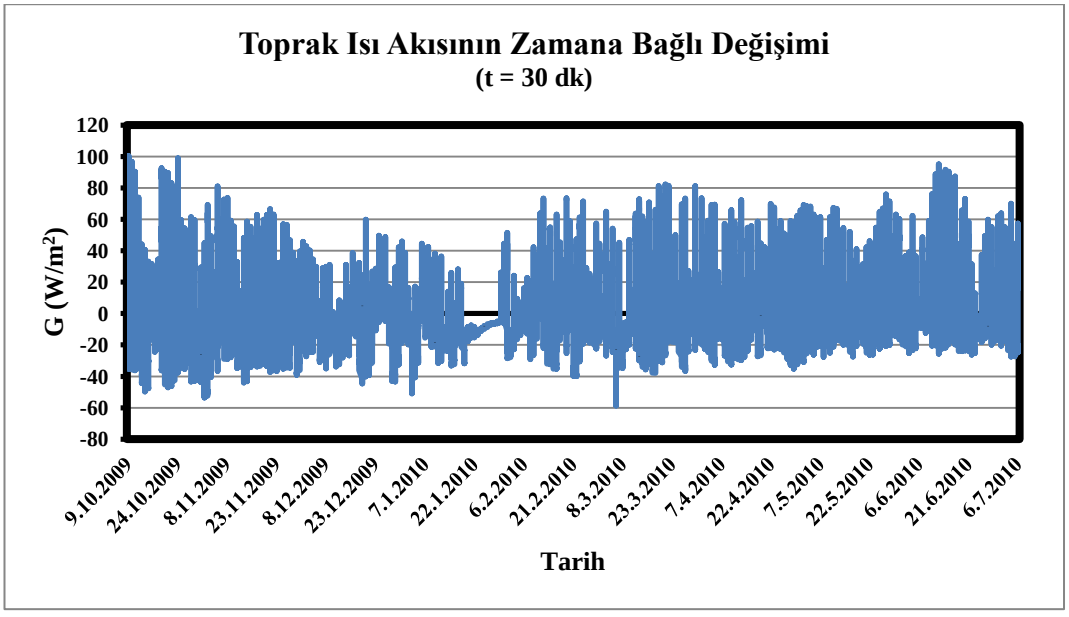


Şekil 3.7 : Global radyasyonun zamansal değişimi.



Şekil 3.8 : Net radyasyonun zamansal değişimi.

Bitki gelişme dönemi boyunca ölçülen toprak ısı akısı değerleri Şekil 3.9 ile verilmektedir. Değerler analiz edildiğinde ortalama G değerinin -1.5 W/m^2, maksimum değerin 100.4 W/m^2, minimum değerin -58.7 W/m^2 ve verilere ait standart sapma değerinin 24.9 W/m^2 olduğu tespit edilmiştir.



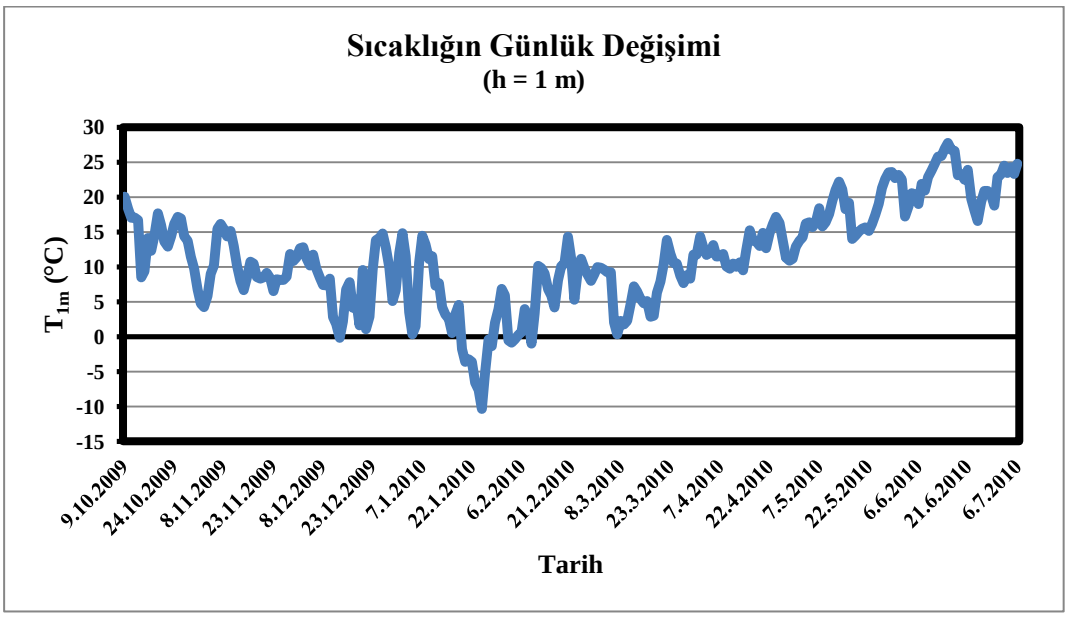
Şekil 3.9 : Toprak ısı akısının zamansal değişimi.

Sürekli ölçülen mikrometeorolojik değişkenlerin günlük ortalama, maksimum, minimum değerleri ile günlük veri setlerine ait standart sapma değerleri Çizelge 3.4 ile verilmektedir.

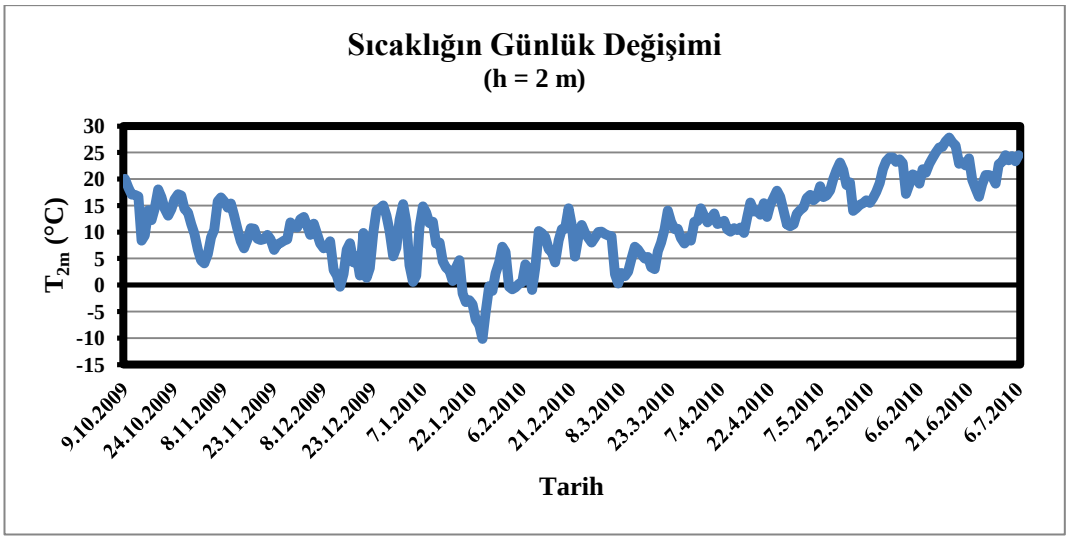
Çizelge 3.1 : Günlük verilere ait istatistiksel bilgiler.

	T_{1m} (°C)	T_{2m} (°C)	RH_{1m} (%)	RH_{2m} (%)	u_{2m} (m/sn)	P (mm)	R_g (W/m^2)	R_n (W/m^2)	R_n ($R_n>0$) (W/m^2)	G (W/m^2)
Ortalama	11.5	11.6	81.2	77.2	1.8	2.1	221.7	61.7	188.9	-1.5
Maksimum	27.8	27.9	98.2	96.2	9.7	33.9	538.8	263.1	455.7	24.9
Minimum	-10.4	-10.1	51.8	46.5	0.3	0.0	16.2	-31.9	0.0	-27.6
Std. Sapma	7.2	7.2	9.7	10.4	1.5	5.1	132.4	66.3	126.5	8.8

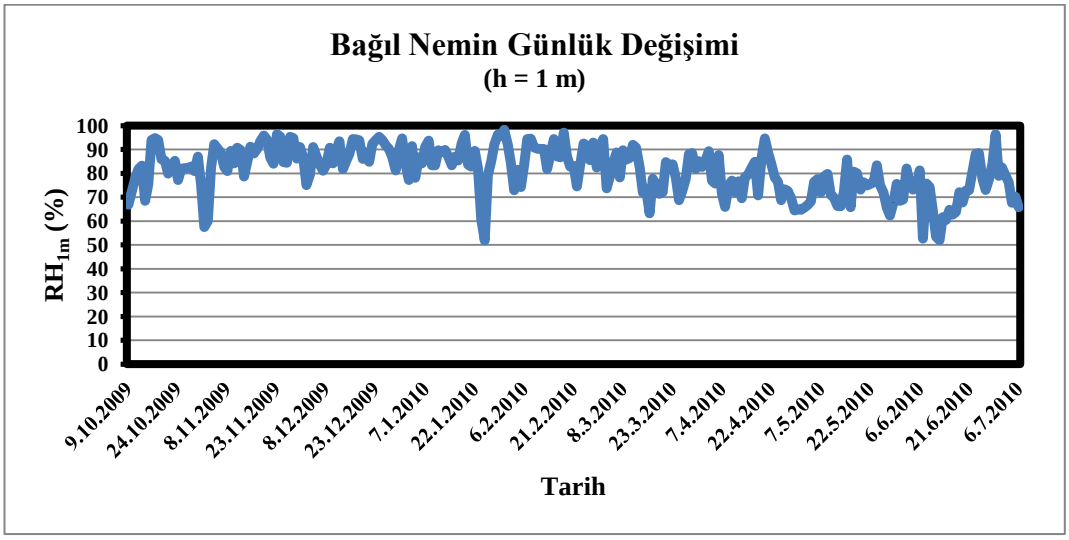
Günlük verilerin analizi neticesinde belirlenen istatistiksel verilere ek olarak, verilerin günlük değişimleri de aşağıdaki grafiklerde verilmektedir. Şekil 3.10 ve 3.11 ile 1 m ve 2 m yükseklikte hava sıcaklığının, Şekil 3.12 ve 3.13 ile 1 ve 2 m yükseklikte bağıl nemin, Şekil 3.14 ile rüzgâr hızının, Şekil 3.15 ile toplam yağışın, Şekil 3.16 ile global radyasyonun, Şekil 3.17 ile net radyasyonun ve Şekil 3.18 ile toprak ısı akısının günlük değişimleri verilmektedir.



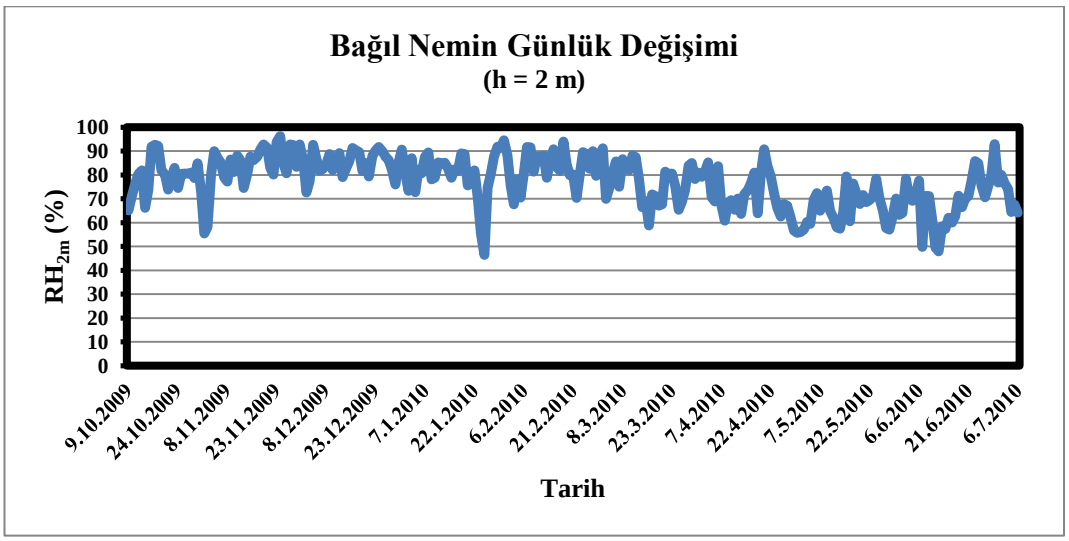
Şekil 3.10 : 1 m Yükseklikte ölçülen hava sıcaklığının günlük değişimi.



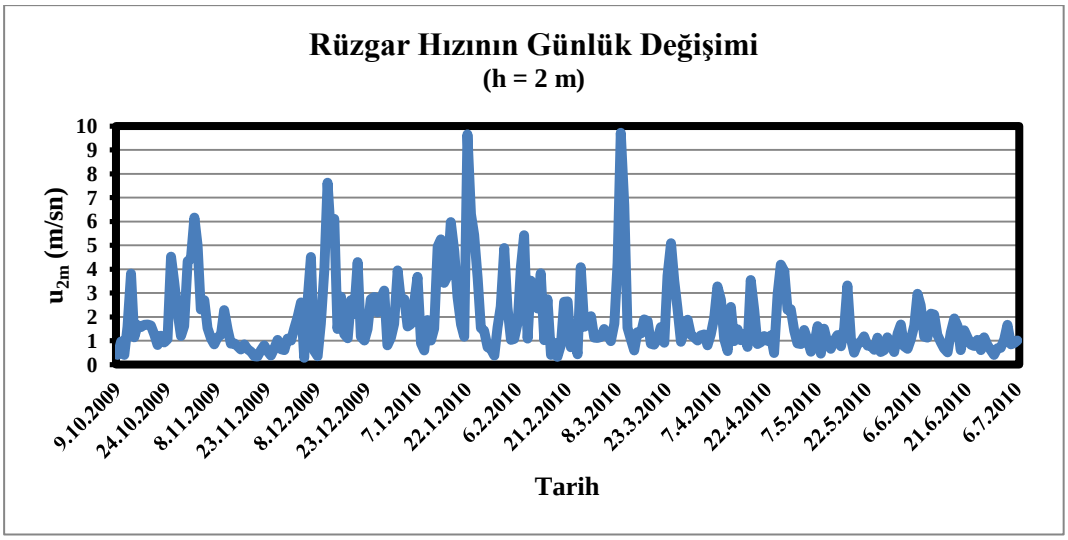
Şekil 3.11 : 2 m Yükseklikte ölçülen hava sıcaklığının günlük değişimi.



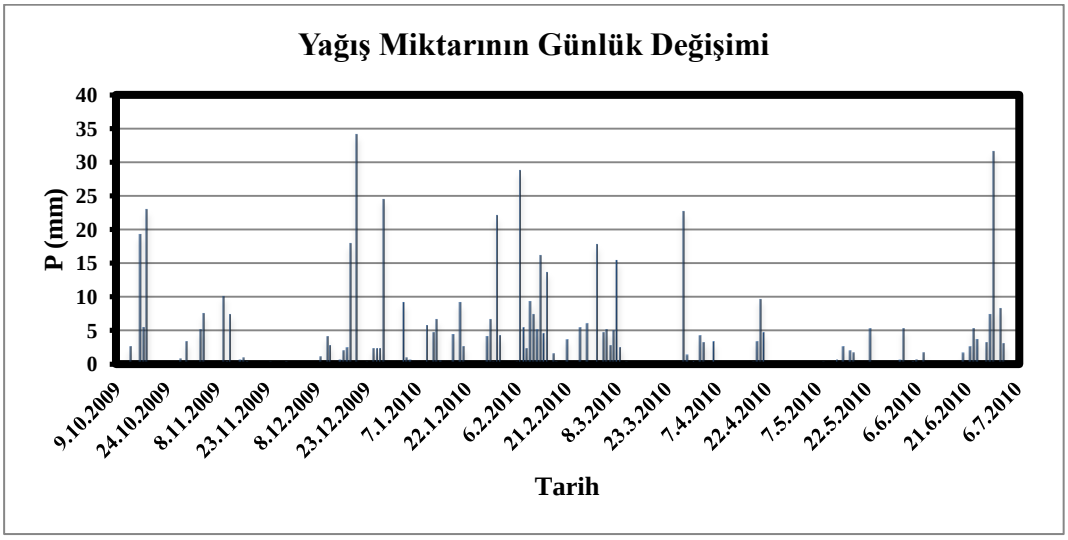
Şekil 3.12 : 1 m Yükseklikte ölçülen bağıl nemin günlük değişimi.



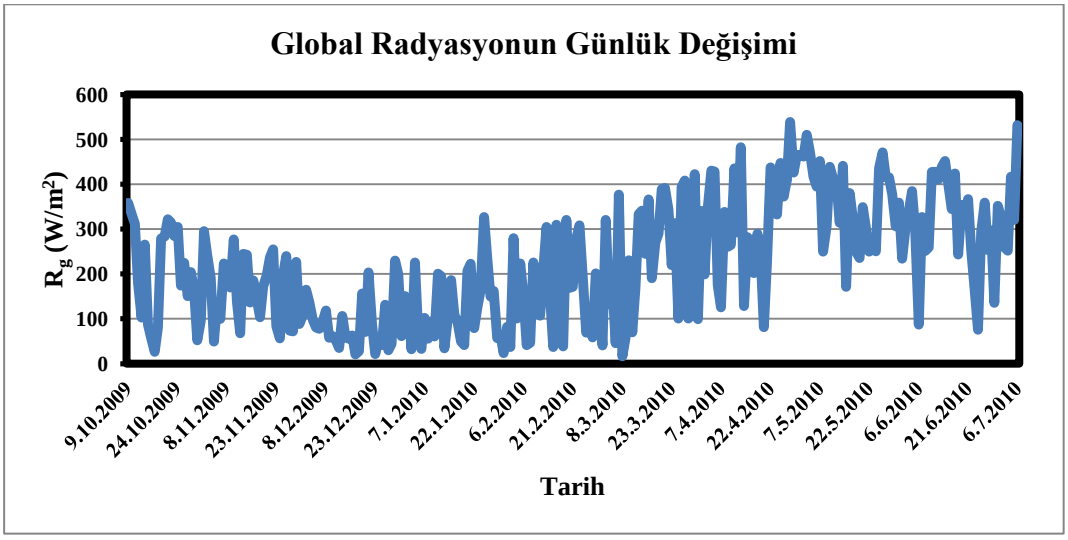
Şekil 3.13 : 2 m Yükseklikte ölçülen bağıl nemin günlük değişimi.



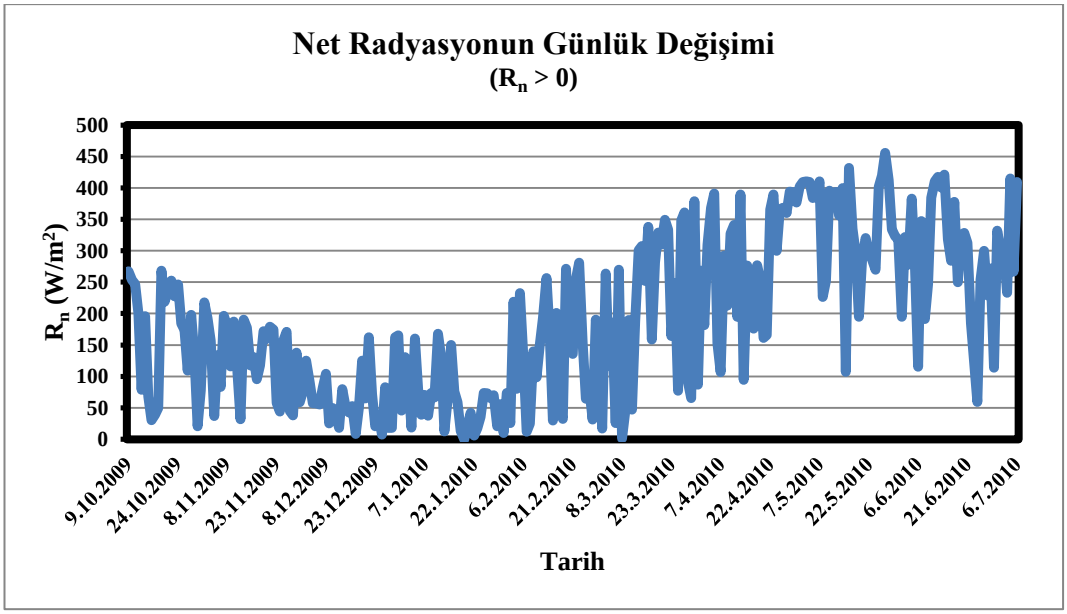
Şekil 3.14 : 2 m Yükseklikte ölçülen rüzgâr hızının günlük değişimi.



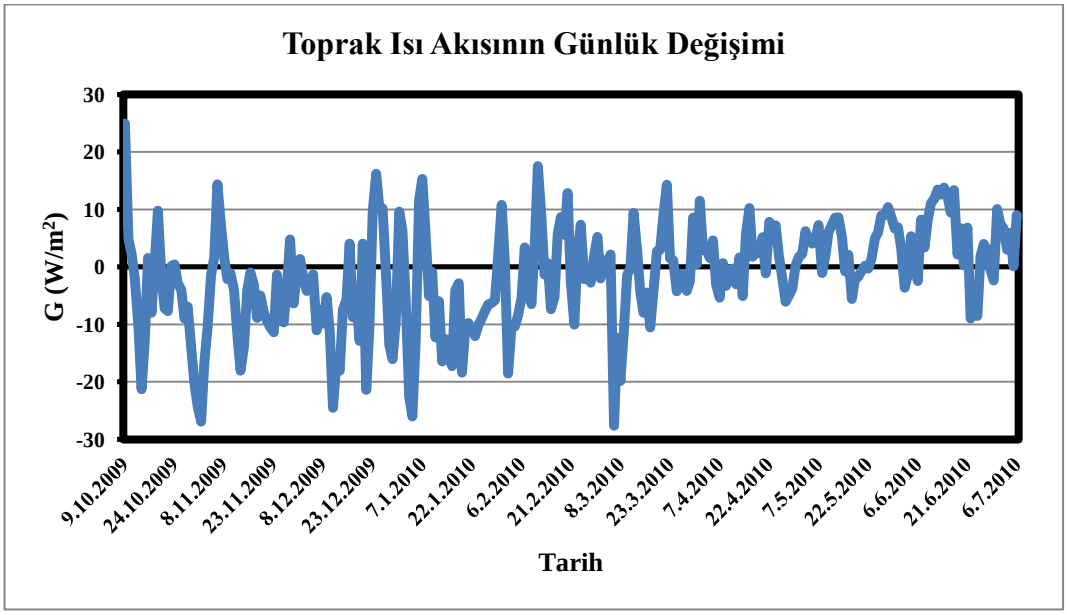
Şekil 3.15 : Günlük toplam yağış miktarının değişimi.



Şekil 3.16 : Global radyasyonun günlük değişimi.



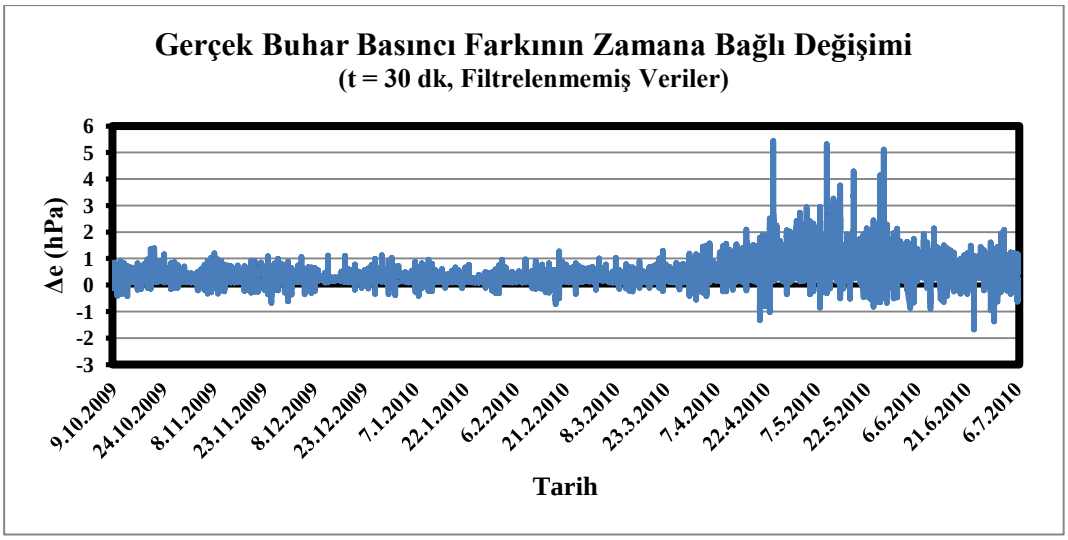
Şekil 3.17 : Net radyasyonun günlük değişimi.



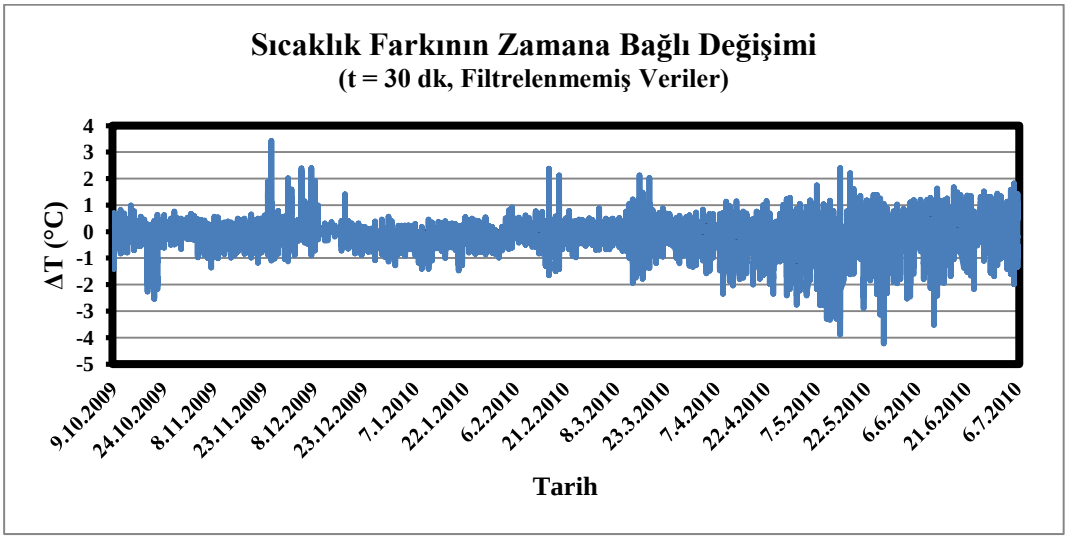
Şekil 3.18 : Toprak ısı akısının günlük değişimi.

3.2 BREB Hesaplamalarının Analizi

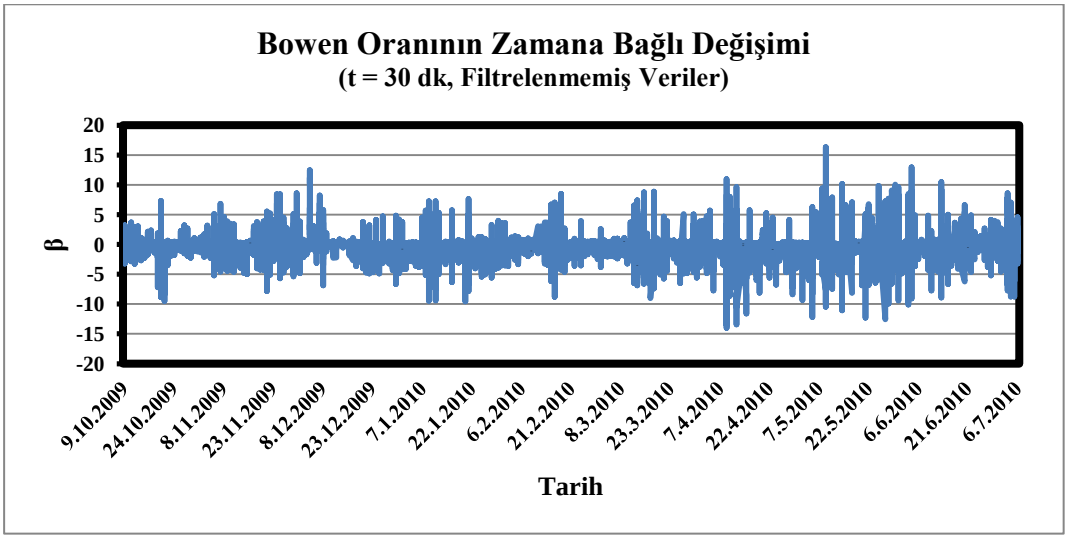
BREB metodu kullanılarak yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilen ham veriler gerekli filtreleme yöntemleri uygulanarak kullanılabilir hale getirilmiştir. Hesaplamalar 30 dk'lık periyotlar için yapılmış ve ardından günlük ortalamalara geçilmiştir. 30 dk'lık hesaplamalar neticesinde elde edilen ham verilere ait grafikler Şekil 3.19, Şekil 3.20, Şekil 3.21, Şekil 3.22 ve Şekil 3.23 ile verilmektedir.



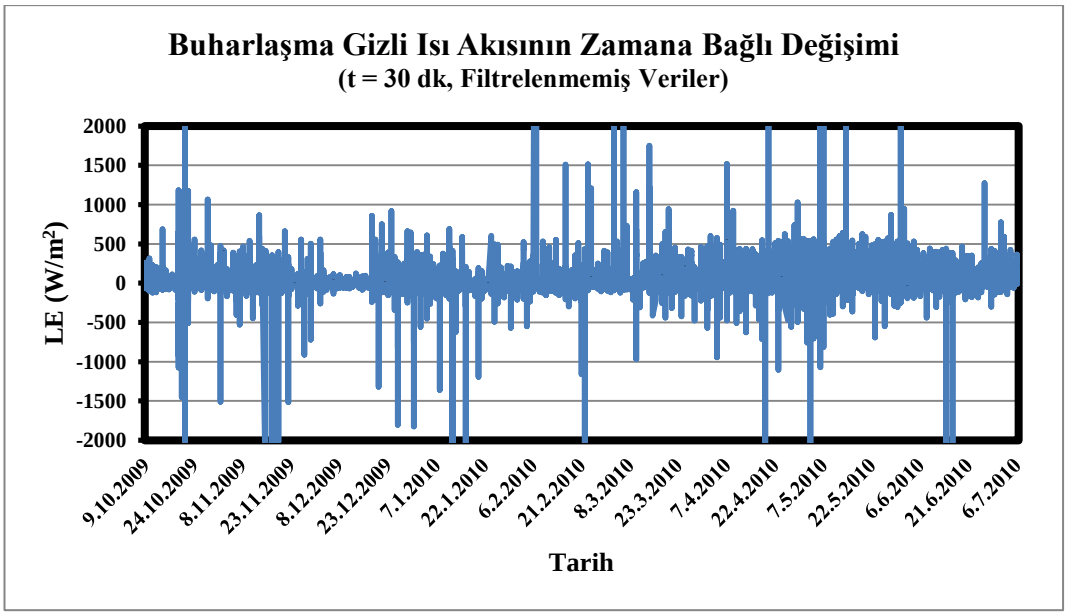
Şekil 3.19 : Gerçek buhar basıncı farkının zamansal değişimi.



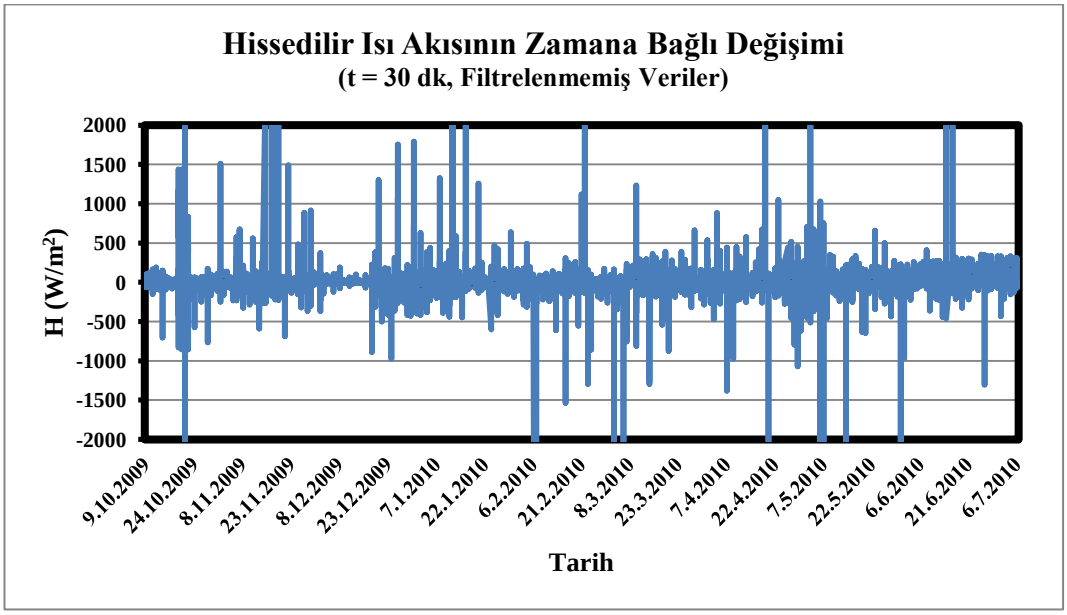
Şekil 3.20 : Sıcaklık farkının zamansal değişimi.



Şekil 3.21 : Bowen Oranı'nın zamansal değişimi.

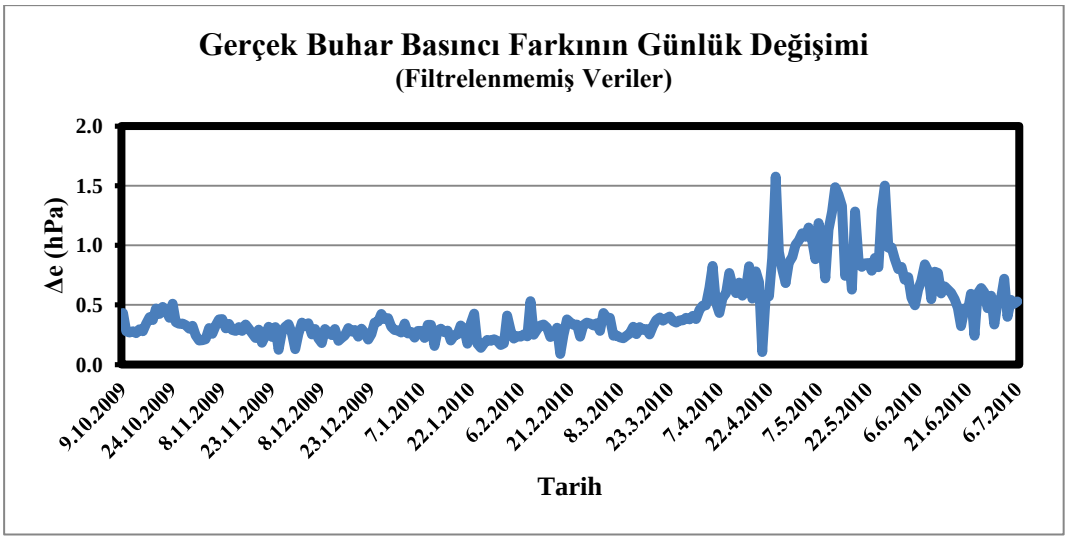


Şekil 3.22 : Buharlaşma gizli ısı akısının zamansal değişimi.

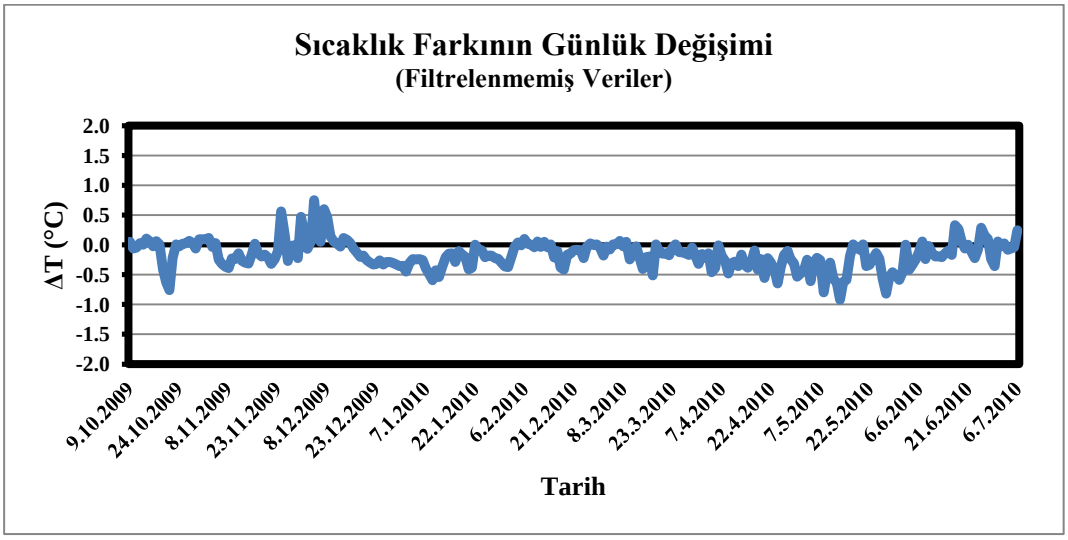


Şekil 3.23 : Hissedilir ısı akısının zamansal değişimi.

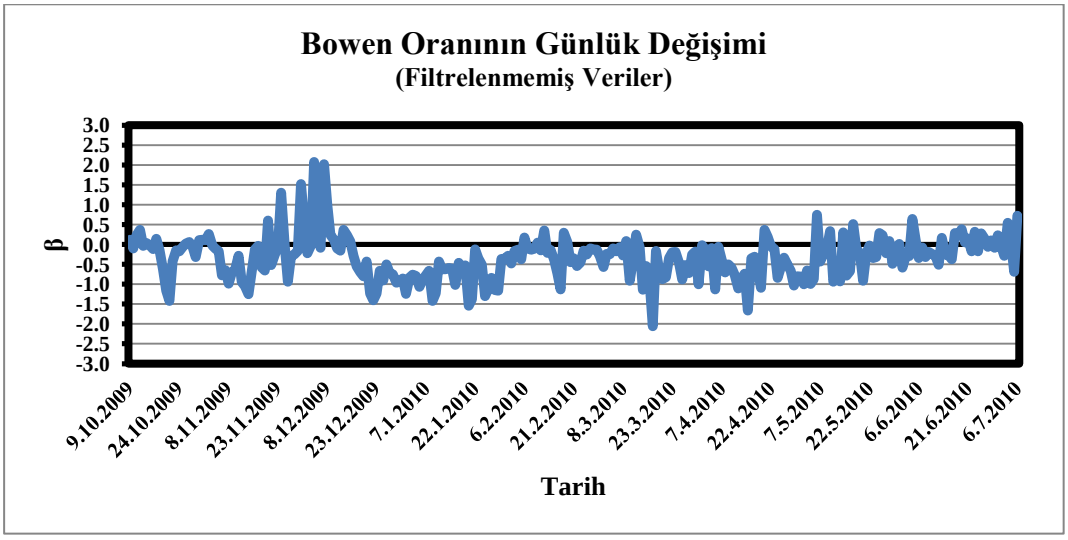
Yukarıdaki grafiklerde de görüleceği gibi 30 dk'lık hesaplamalar sonucunda BREB bileşenlerinde uç değerler oluşabilmektedir. Yapılan 30 dk'lık hesaplamalar neticesinde elde edilen ham verilerin günlük ortalamaları Şekil 3.24, Şekil 3.25, Şekil 3.26, Şekil 3.27 ve Şekil 3.28 ile verilmektedir.



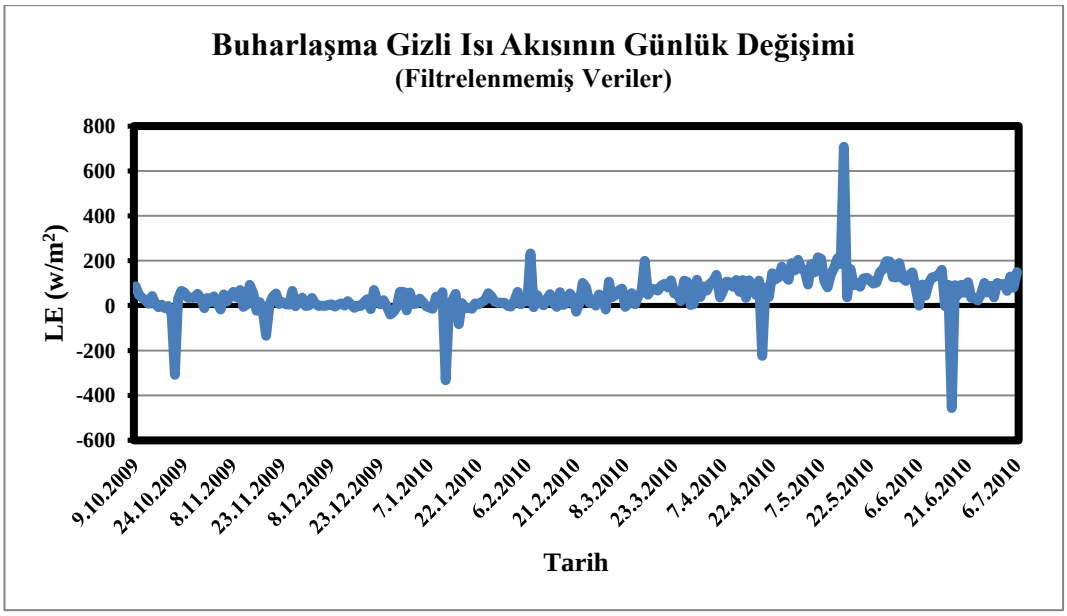
Şekil 3.24 : Gerçek buhar basıncı farkının günlük değişimi.



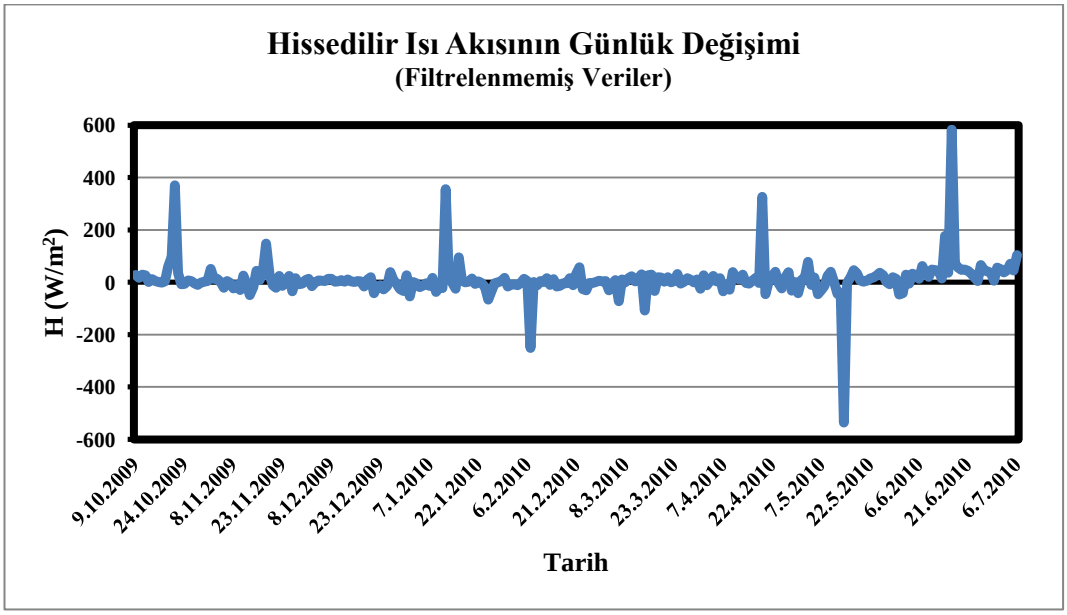
Şekil 3.25 : Sıcaklık farkının günlük değişimi.



Şekil 3.26 : Bowen Oranı'nın günlük değişimi.



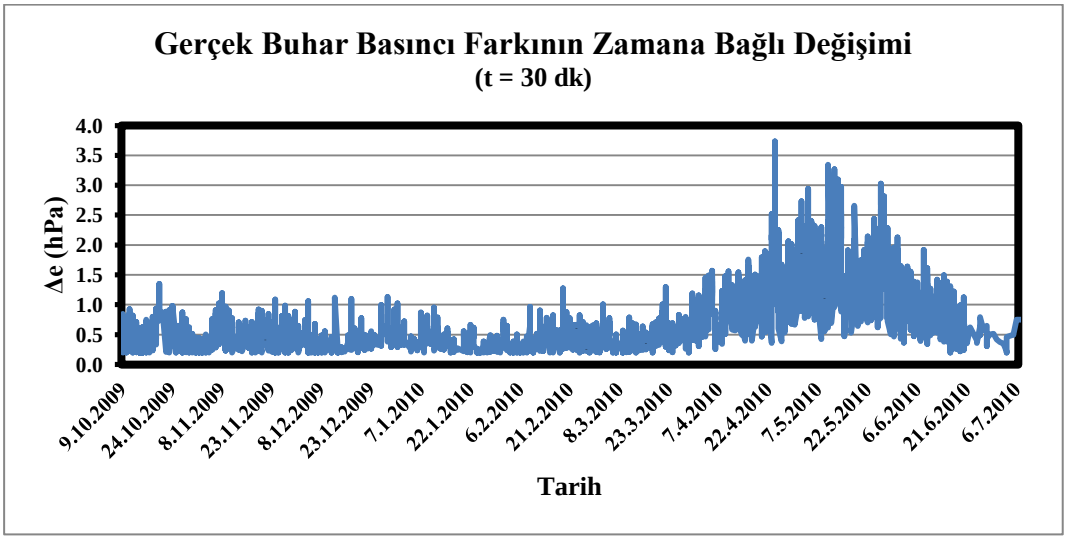
Şekil 3.27 : Buharlaşma gizli ısı akısının günlük değişimi.



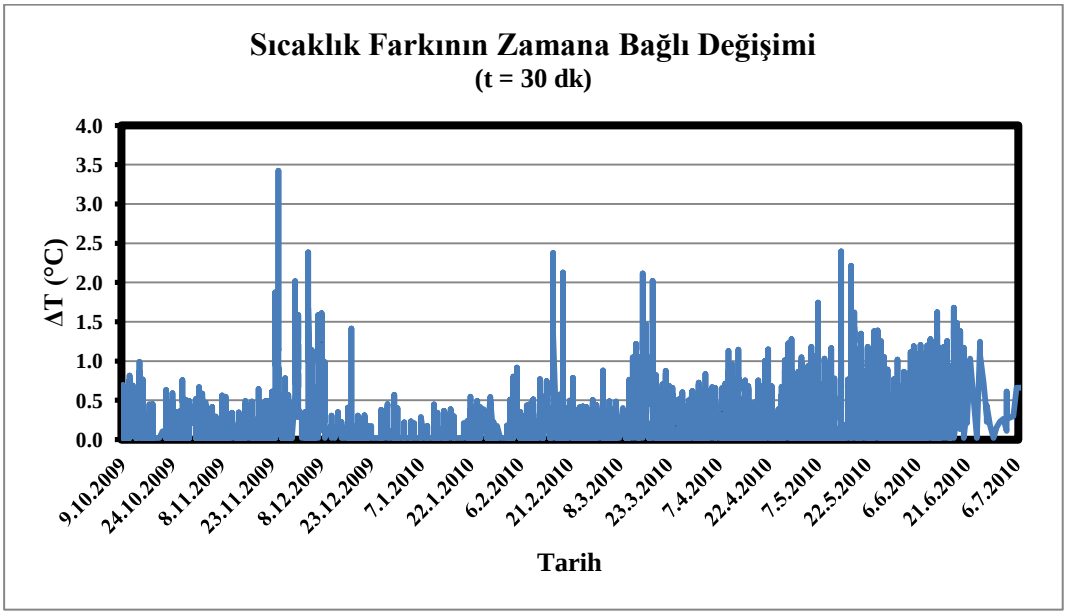
Şekil 3.28 : Hissedilir ısı akısının günlük değişimi.

Metot kısmında detaylı olarak verilen hata sebepleri nedeniyle oluşabilecek hatalı sonuçların önüne geçilebilmesi ve yöntem gereksinimlerini karşılayan verilerin ayıklanabilmesi için yukarıda verilen ham verilere ilgili filtreleme yöntemleri uygulanmıştır. Ham verilerden de görülebileceği gibi yöntemin salt kullanımı neticesinde hatalı sonuçlar üretilmekte, elde edilen verilerin bir filtrelemeye tabi tutulması gerekmektedir. Aksi halde yöntem, doğal koşullarda meydana gelmesi mümkün olmayan uç veriler üretmektedir. Perez ve diğ. (1999) tarafından geliştirilen filtreleme metodunun ham verilere uygulanması neticesinde elde edilen ve yöntem

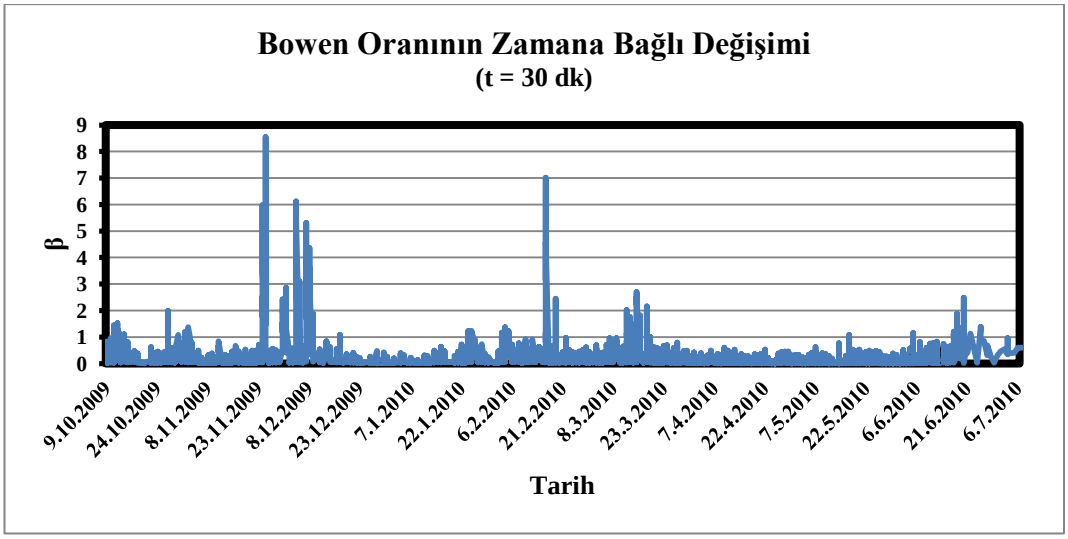
gerekliliklerini karşılayan BREB bileşenlerine ait gerçek değerler aşağıdaki grafiklerde verilmektedir (Şekil 3.29 – Şekil 3.34).



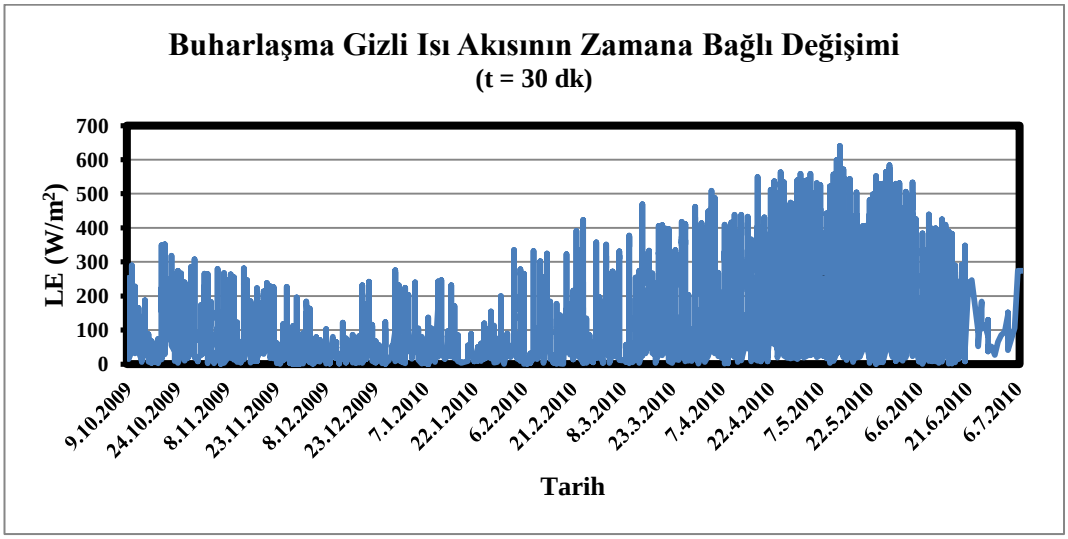
Şekil 3.29 : Gerçek buhar basıncı farkının zamansal değişimi.



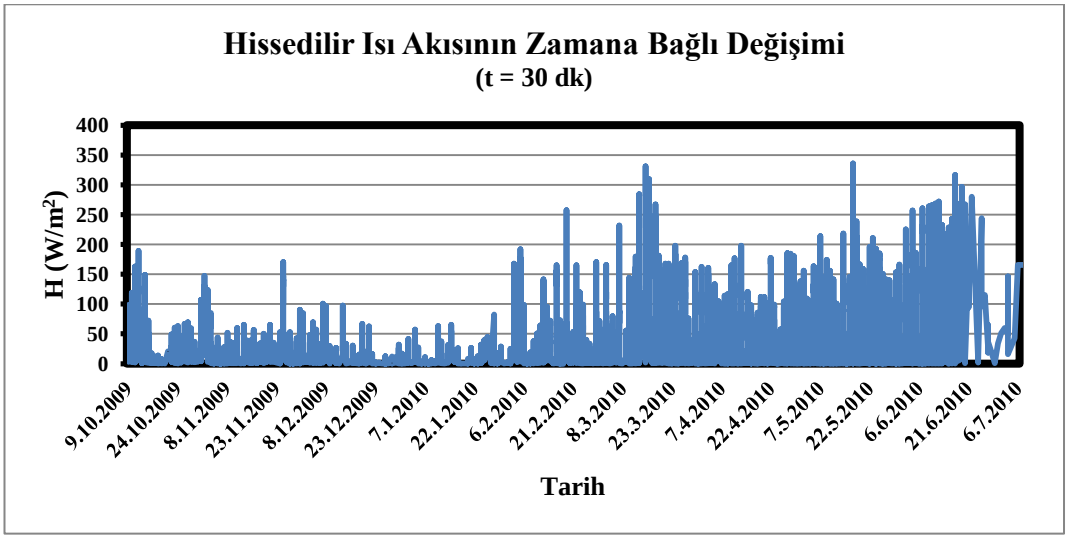
Şekil 3.30 : Sıcaklık farkının zamansal değişimi.



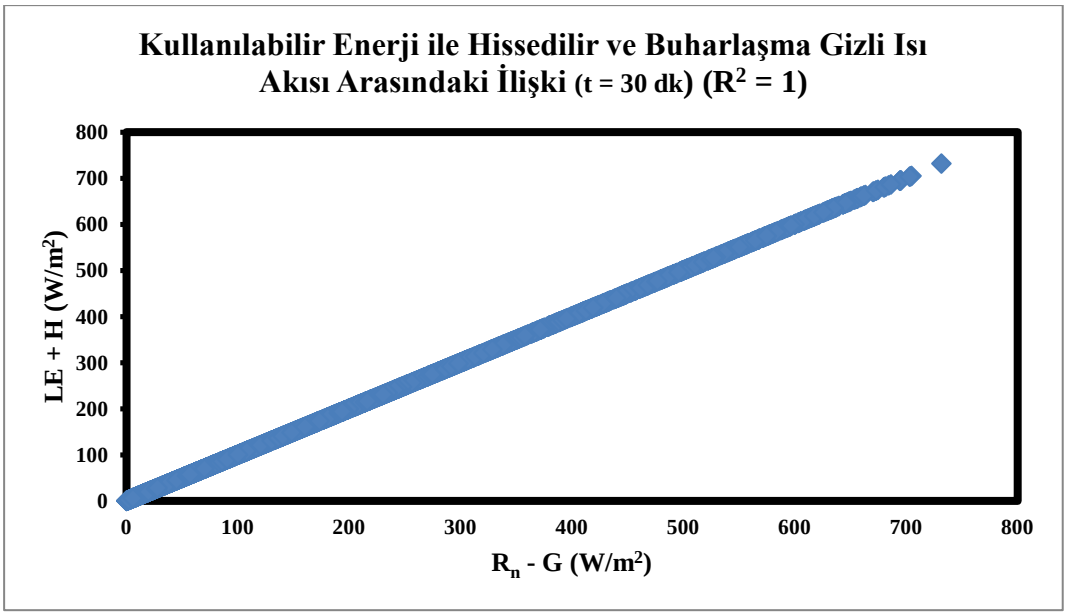
Şekil 3.31 : Bowen Oranı'nın zamansal değişimi.



Şekil 3.32 : Buharlaşma gizli ısı akısının zamansal değişimi.



Şekil 3.33 : Hissedilir ısı akısının zamansal değişimi.



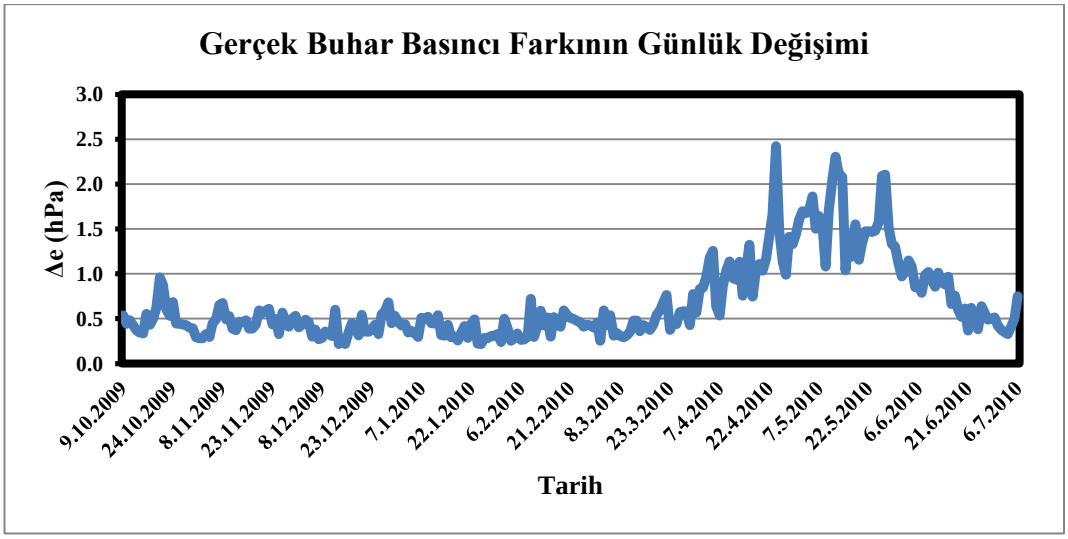
Şekil 3.34 : Kullanılabilir enerji ile hissedilir ve buharlaşma gizli ısı akısı arasındaki ilişki.

Yukarıda verilen 30 dk'lık verilerden elde edilen BREB bileşenlerine ait günlük verilerin ortalama, maksimum, minimum ve standart sapmaları aşağıda verilmektedir.

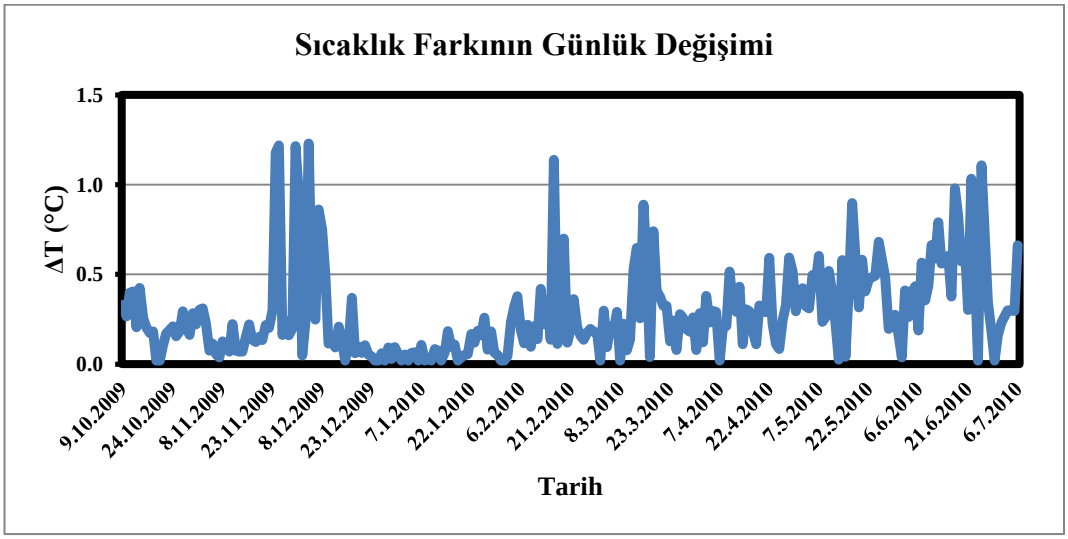
Çizelge 3.2 : Günlük ortalama BREB verilerine ait istatistiksel bilgiler.

	Δe (hPa)	ΔT (°C)	β	R_n (W/m^2)	G (W/m^2)	LE (W/m^2)	H (W/m^2)	e_s (hPa)	e_a (hPa)	VPD (hPa)
Ortalama	0.7	0.3	0.3	197.8	19.3	137.7	40.8	18.7	11.7	7.0
Maksimum	2.4	1.2	2.9	554.2	62.3	404.6	280.2	50.1	22.1	31.5
Minimum	0.2	0.0	0.0	1.7	-18.9	1.1	0.1	3.5	1.3	0.3
Std. Sapma	0.4	0.2	0.4	133.3	15.4	97.1	42.4	10.2	4.5	6.7

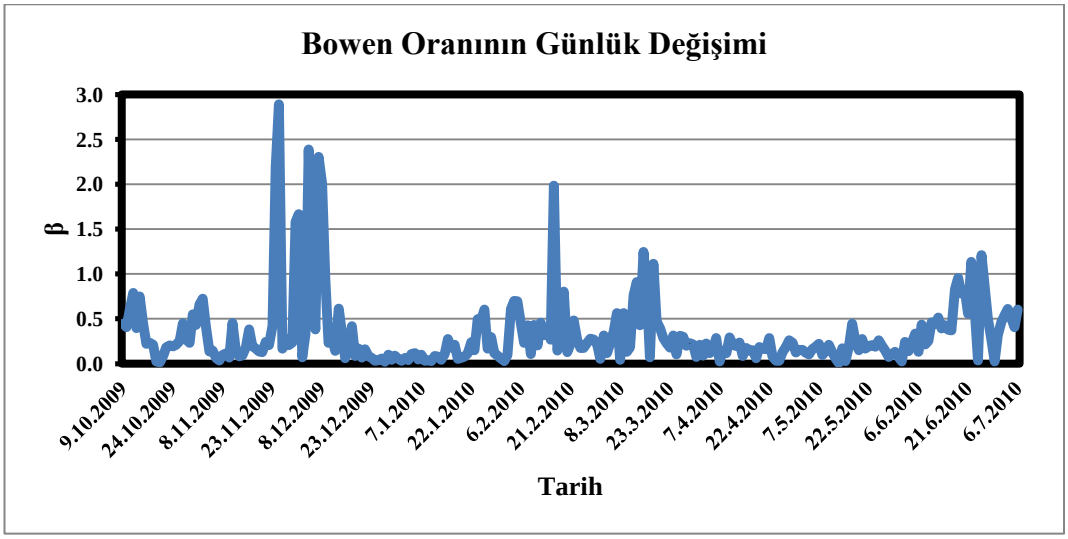
BREB Yöntemi ile yapılan hesaplamalar ve filtrelemeler neticesinde elde edilen verilerin zamana bağlı değişimlerini gösteren grafikler Şekil 3.35, Şekil 3.36, Şekil 3.37, Şekil 3.38, Şekil 3.39, Şekil 3.40, Şekil 3.41, Şekil 3.42, Şekil 3.43 ve Şekil 3.44 ile verilmektedir.



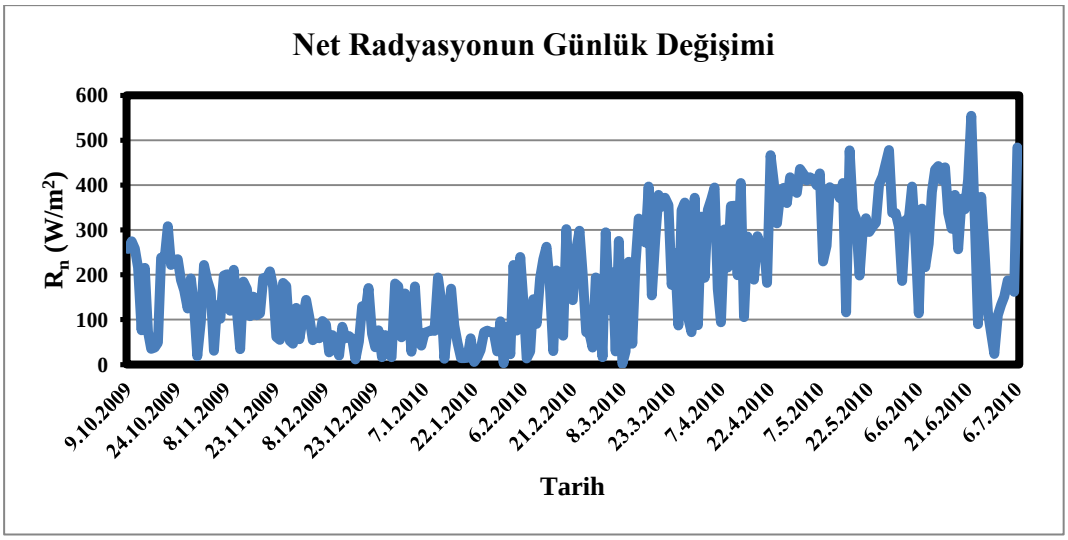
Şekil 3.35 : Gerçek buhar basıncı farkının günlük değişimi.



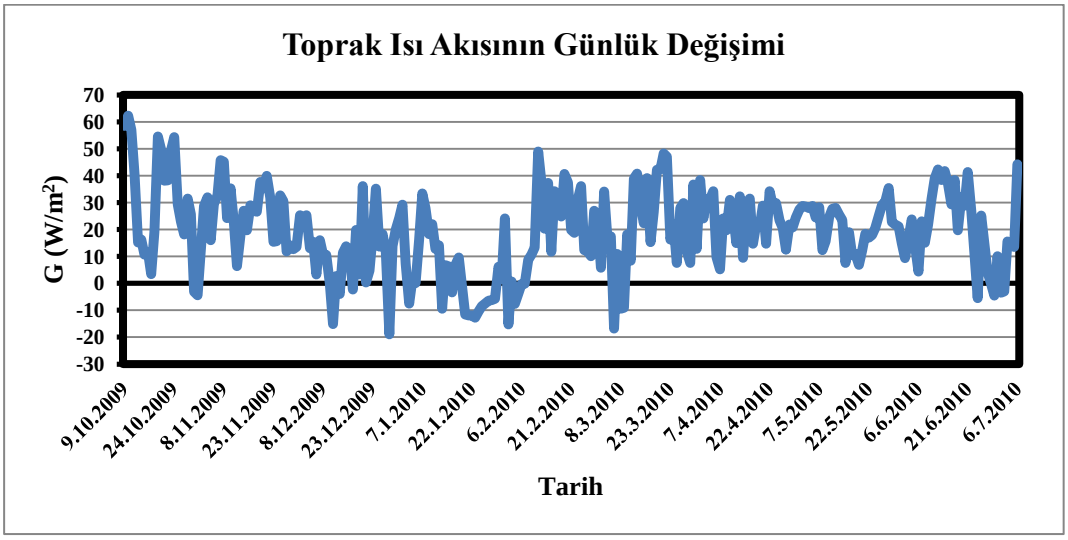
Şekil 3.36 : Sıcaklık farkının günlük değişimi.



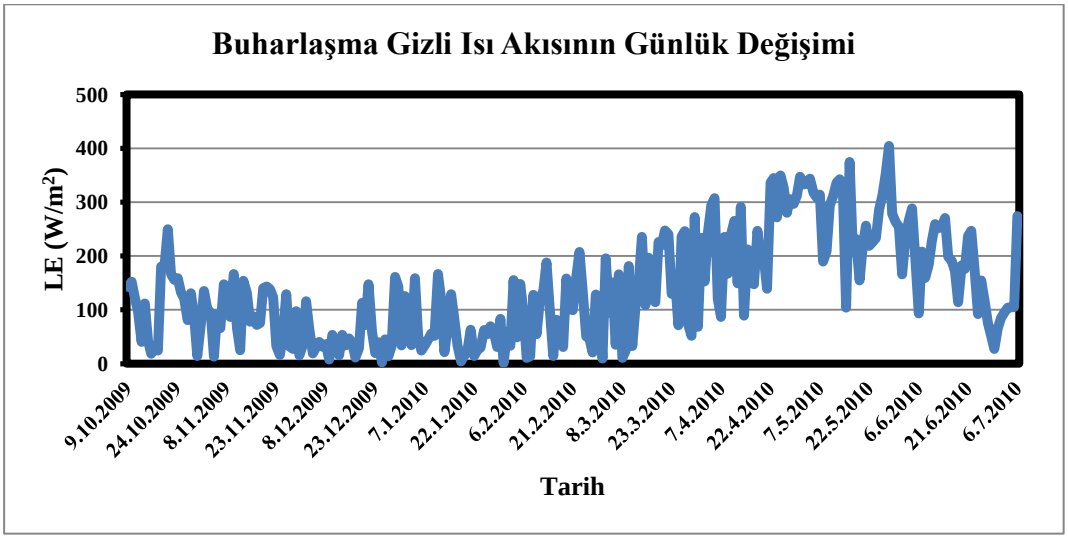
Şekil 3.37 : Bowen Oranı'nın günlük değişimi.



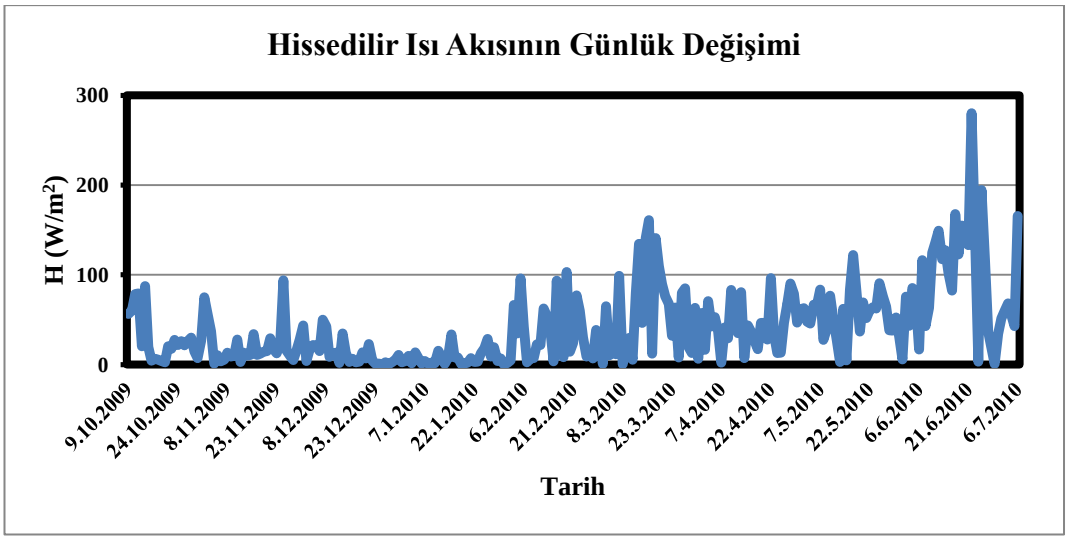
Şekil 3.38 : Net radyasyonun günlük değişimi.



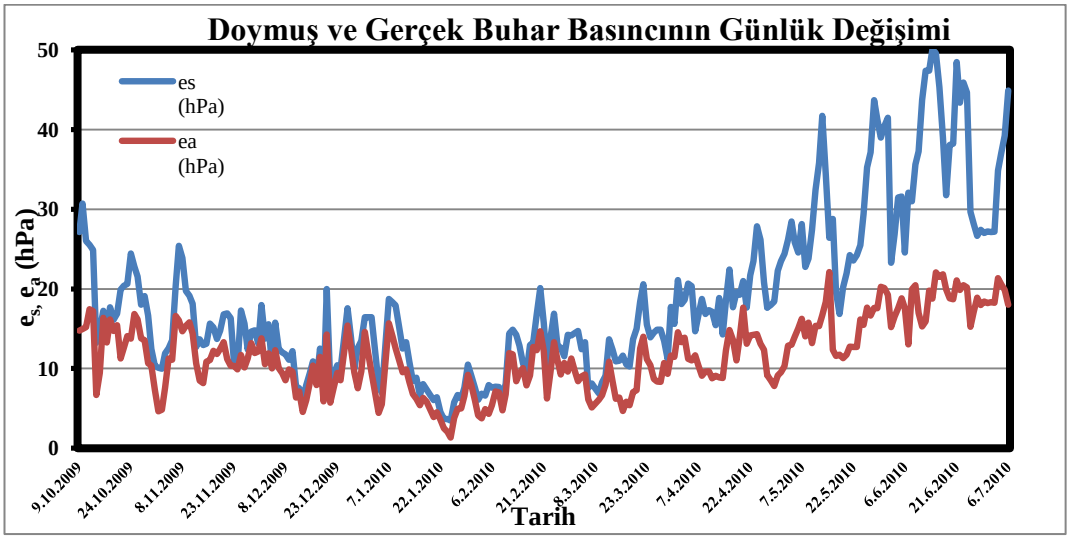
Şekil 3.39 : Toprak ısı akısının günlük değişimi.



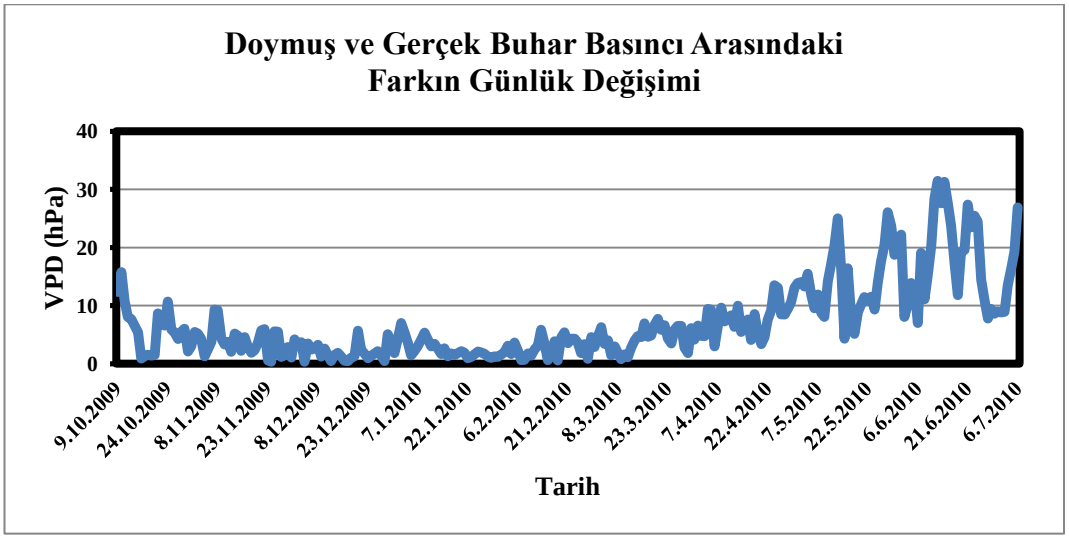
Şekil 3.40 : Buharlaşma gizli ısı akısının günlük değişimi.



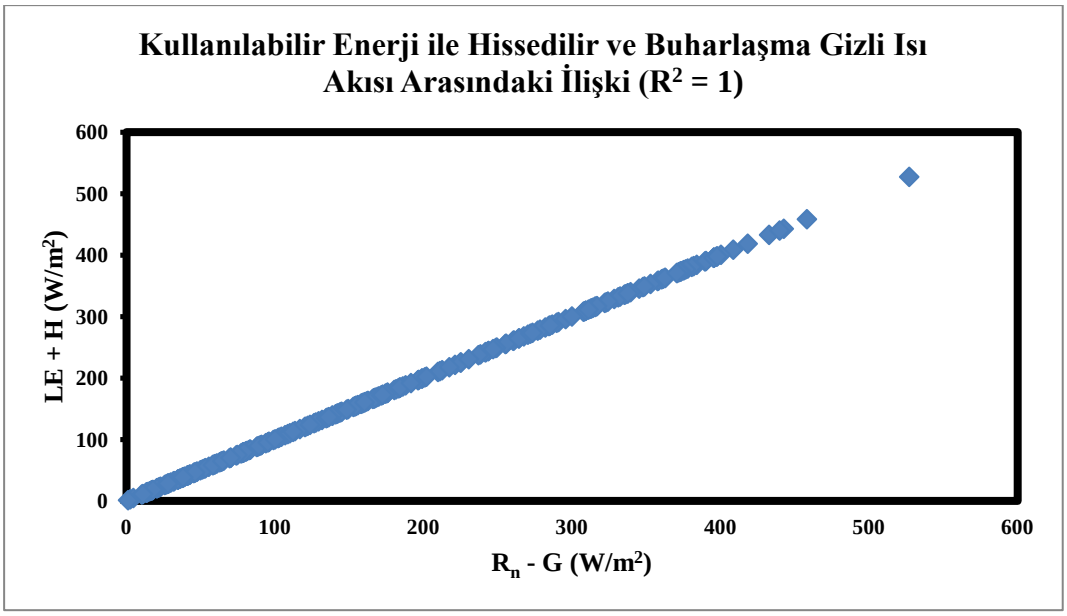
Şekil 3.41 : Hissedilir ısı akısının günlük değişimi.



Şekil 3.42 : Doymuş ve gerçek buhar basıncının günlük değişimi.

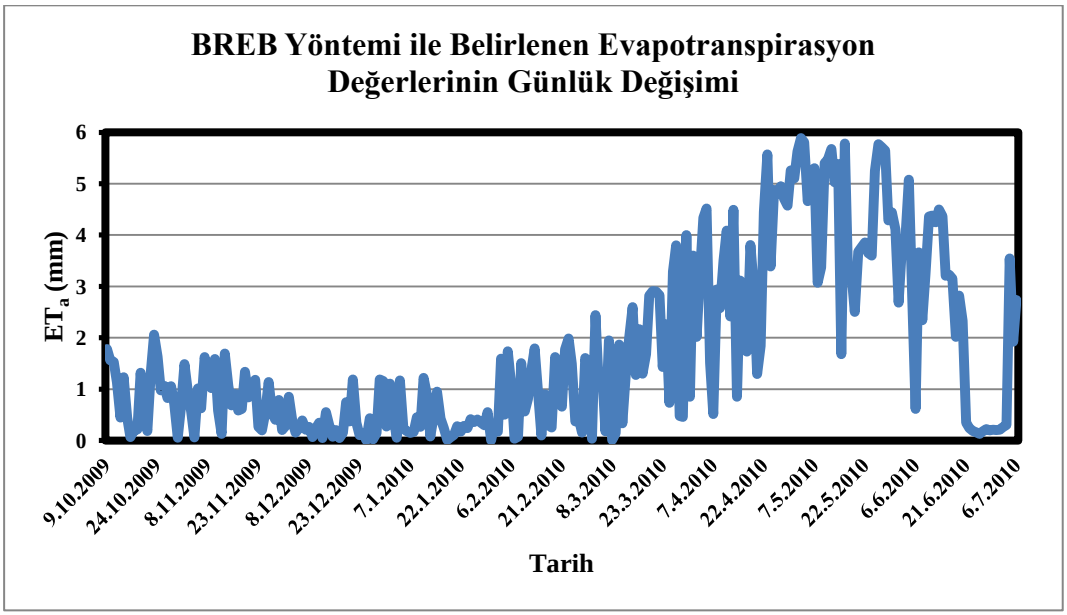


Şekil 3.43 : Doymuş ve gerçek buhar basıncı farkının günlük değişimi.



Şekil 3.44 : Kullanılabilir enerji ile hissedilir ve buharlaşma gizli ısı akısı arasındaki ilişki.

Yapılan tüm hesaplamalar ile enerji dengesi bileşenleri belirlenerek, yüzeye gelen enerjinin diğer bileşenler arasında nasıl dağıldığı ortaya çıkarılmıştır. Hesaplanan LE (W/m^2) değerleri ile BREB yaklaşımı kullanılarak 2009 – 2010 ekim döneminde buğday bitkisi ekili bir bölgede meydana gelen günlük ET_a (mm) değerleri belirlenerek, Şekil 3.45'de verilmektedir.



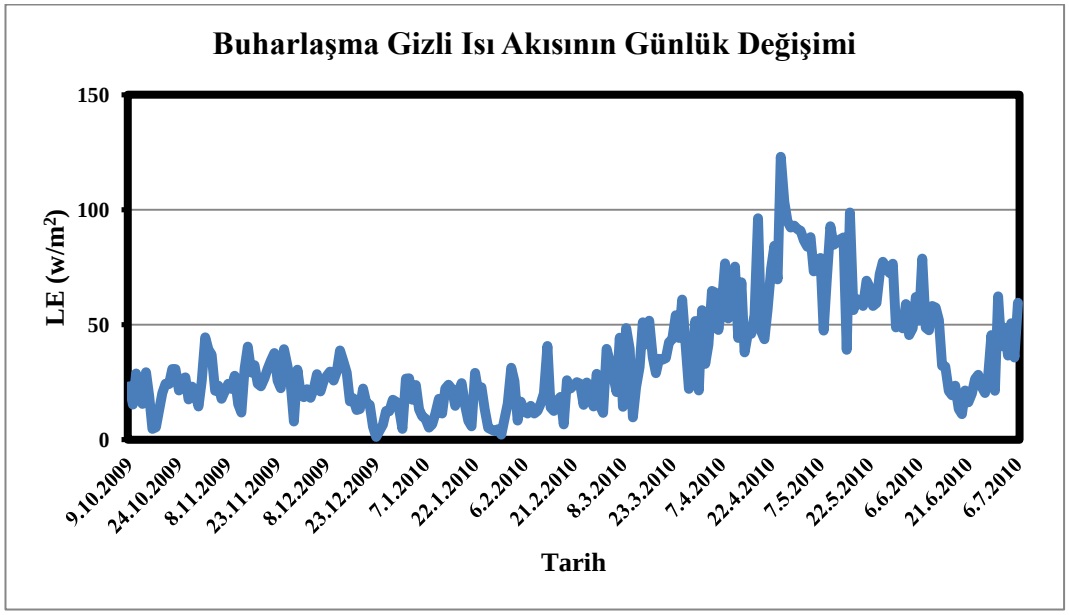
Şekil 3.45 : BREB yöntemi ile belirlenen ET_a değerlerinin günlük değişimi.

BREB Yöntemi ile Ekim tarihi olan 9 Ekim 2009 tarihinden hasat tarihi olan 6 Temmuz 2010 tarihine kadar gerçekleşen ET_a toplamı 465,33 mm olarak

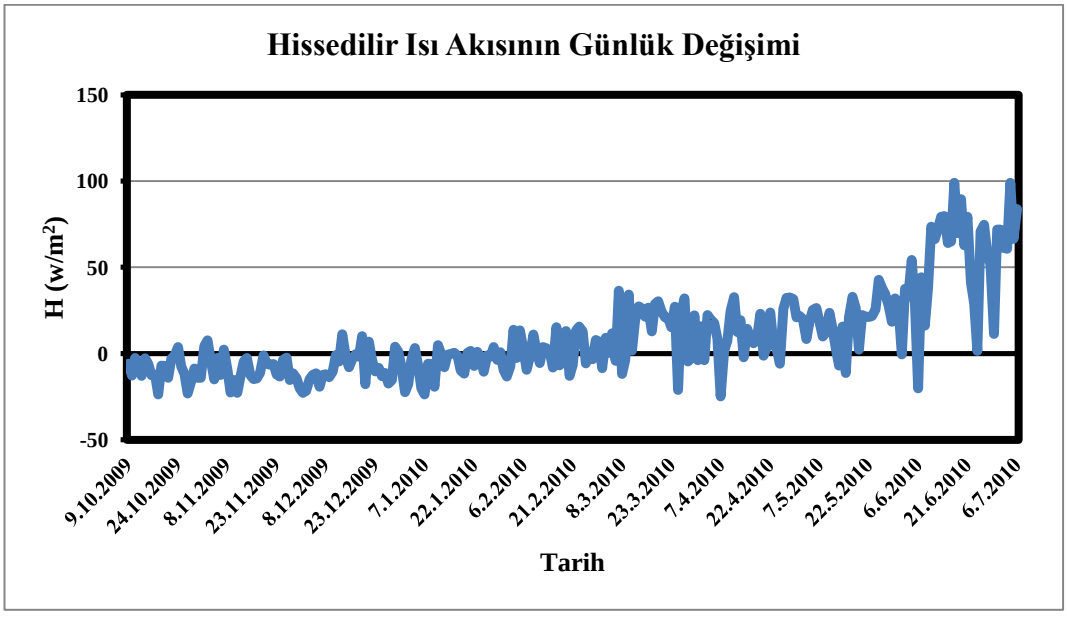
hesaplanmıştır. Bu dönemde günlük ortalama ET_a 1,72 mm, günlük ET_a verilerinin standart sapması da 1,69 mm olarak belirlenmiştir.

3.3 EC Hesaplamalarının Analizi

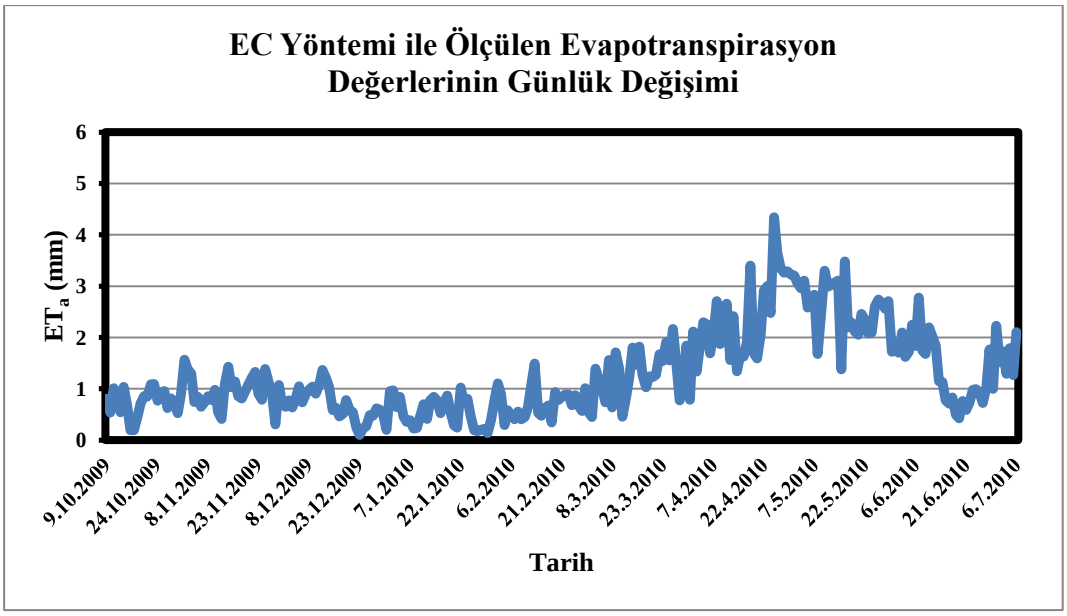
Eddy - Kovaryans Yaklaşımı ile arazide ölçülen LE (W/m^2), H (W/m^2) değerleri ile ölçülen değerlerden hesaplanan ET_a (mm) değerlerinin günlük değişimi sırasıyla Şekil 3.46, Şekil 3.47 ve Şekil 3.48'de verilmektedir.



Şekil 3.46 : EC Yöntemi ile belirlenen LE değerlerinin günlük değişimi.



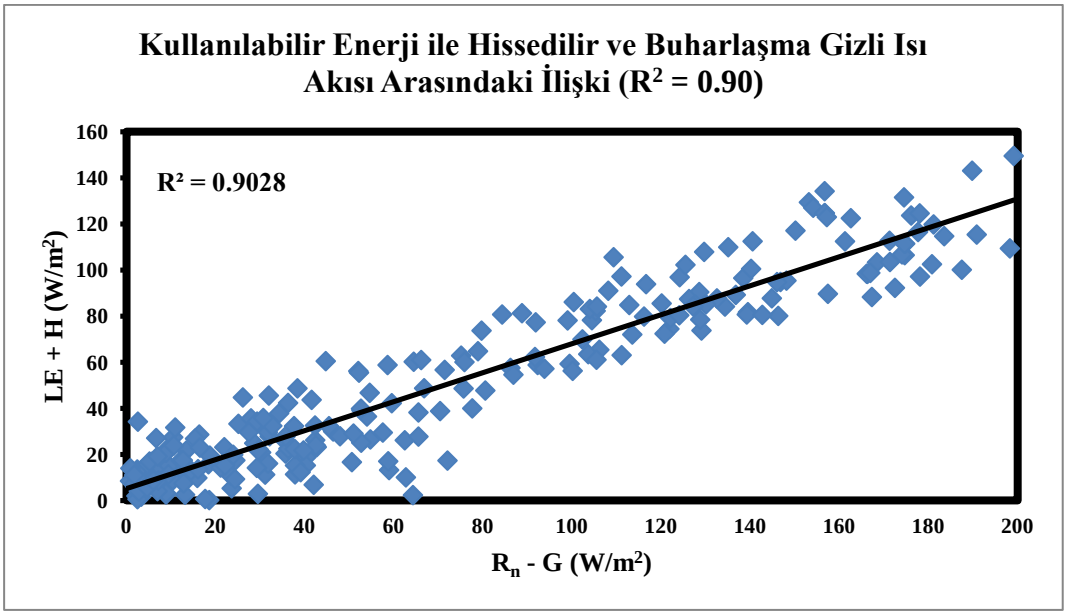
Şekil 3.47 : EC Yöntemi ile belirlenen H değerlerinin günlük değişimi.



Şekil 3.48 : EC Yöntemi ile belirlenen ET_a değerlerinin günlük değişimi.

EC yöntemi ile ekim tarihi olan 9 Ekim 2009 tarihinden hasat tarihi olan 6 Temmuz 2010 tarihine kadar gerçekleşen ET_a toplamı 344.07 mm olarak ölçülmüştür. Bu dönemde günlük ortalama ET_a 1.27 mm, günlük ET_a verilerinin standart sapması da 0,84 mm olarak belirlenmiştir.

EC yöntemi ile yapılan ölçümler neticesinde elde edilen günlük değerlerden hesaplanan kullanılabilir enerji ile hissedilir ve buharlaşma gizli ısı akısı arasındaki ilişki Şekil 3.49 ile verilmektedir.



Şekil 3.49 : Kullanılabilir enerji ile hissedilir ve buharlaşma gizli ısı akısı arasındaki ilişki.

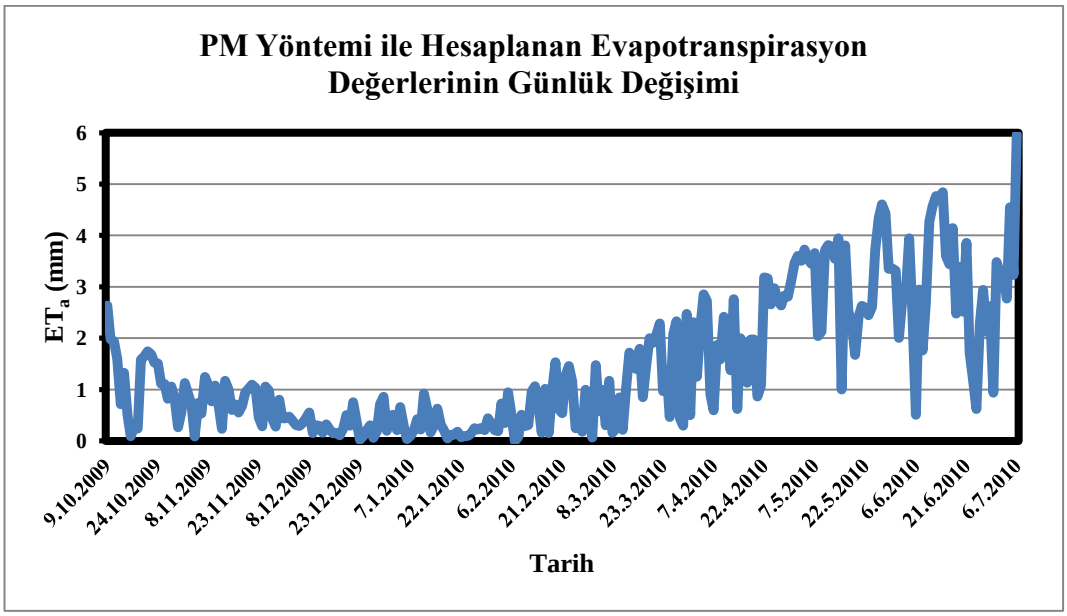
EC hesaplamaları neticesinde elde edilen verilere ait istatistiki veriler Çizelge 3.3 ile verilmektedir.

Çizelge 3.3 : Günlük ortalama EC verilerine ait istatistiki bilgiler.

	R_n (w/m^2)	G (w/m^2)	LE (w/m^2)	H (w/m^2)
Ortalama	61.7	-1.5	35.3	9.3
Maksimum	263.1	24.9	123.1	99.1
Minimum	-31.9	-27.6	1.2	-24.9
Std. Sapma	66.3	8.8	23.9	25.1

3.4 PM ve FAO56 – PM Hesaplamalarının Analizi

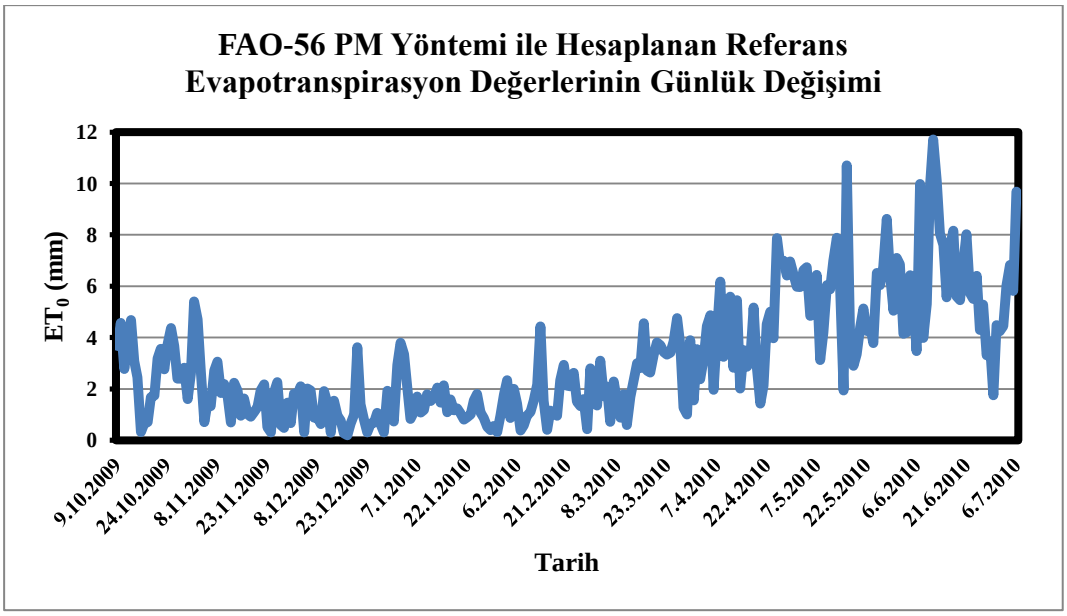
Penman – Monteith Denklemi kullanılarak hesaplanan gerçek ET_a değerlerinin (MJ/m^2gün), mm cinsinden karşılıkları aşağıdaki grafikte verilmektedir (Şekil 3.50).



Şekil 3.50 : PM Denklemi ile hesaplanan ET_a değerlerinin günlük değişimi.

Penman – Monteith Denklemi ile Ekim tarihi olan 9 Ekim 2009 tarihinden hasat tarihi olan 6 Temmuz 2010 tarihine kadar gerçekleşen ET_a toplamı 392.56 mm olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde günlük ortalama ET_a 1.45 mm, günlük ET verilerinin standart sapması da 1.29 mm olarak belirlenmiştir.

FAO – 56 Penman – Monteith Denklemi kullanılarak hesaplanan ET_0 değerlerinin (mm) günlük değişimi aşağıda verilmektedir (Şekil 3.51).



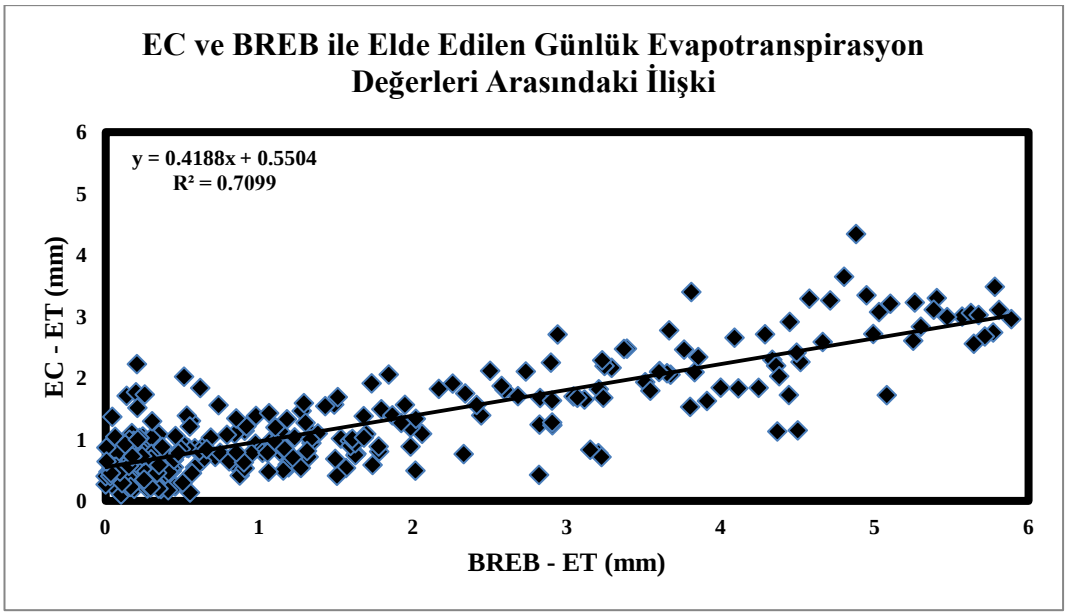
Şekil 3.51 : FAO – 56 PM Denklemi ile hesaplanan ET_0 değerlerinin günlük değişimi.

FAO – 56 PM denklemi ile ekim tarihi olan 9 Ekim 2009 tarihinden hasat tarihi olan 6 Temmuz 2010 tarihine kadar gerçekleşen ET_0 toplamı 843.78 mm olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde günlük ortalama ET_0 3.11 mm, günlük ET_0 verilerinin standart sapması da 2.31 mm olarak belirlenmiştir.

3.5 BREB, EC ve PM Sonuçları Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi

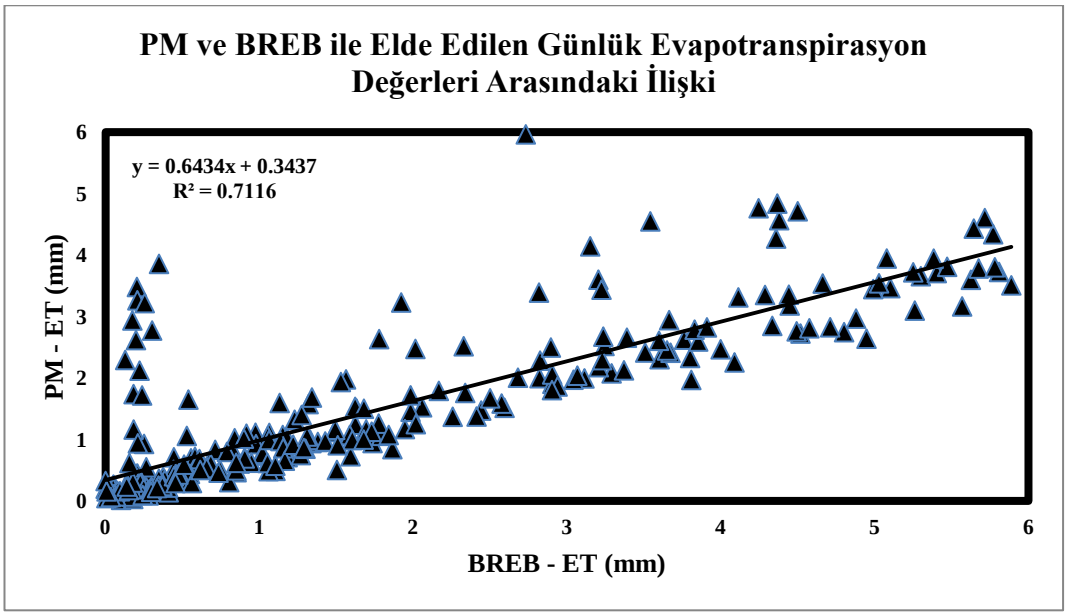
BREB, EC ve PM Yöntemleri ile yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilen günlük ET_a değerlerinin, yöntemler arasında var olan ilişkisinin ortaya çıkarılması amacıyla korelasyon katsayısı ortaya çıkarılmıştır.

İlk olarak BREB ve EC yöntemleri ile elde edilen günlük ET_a verileri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu ikili ilişki neticesinde iki yöntem arasındaki korelasyon katsayısının R = 0.84 olduğu belirlenmiştir. BREB ve EC Yöntemleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik aşağıda verilmektedir (Şekil 3.52).



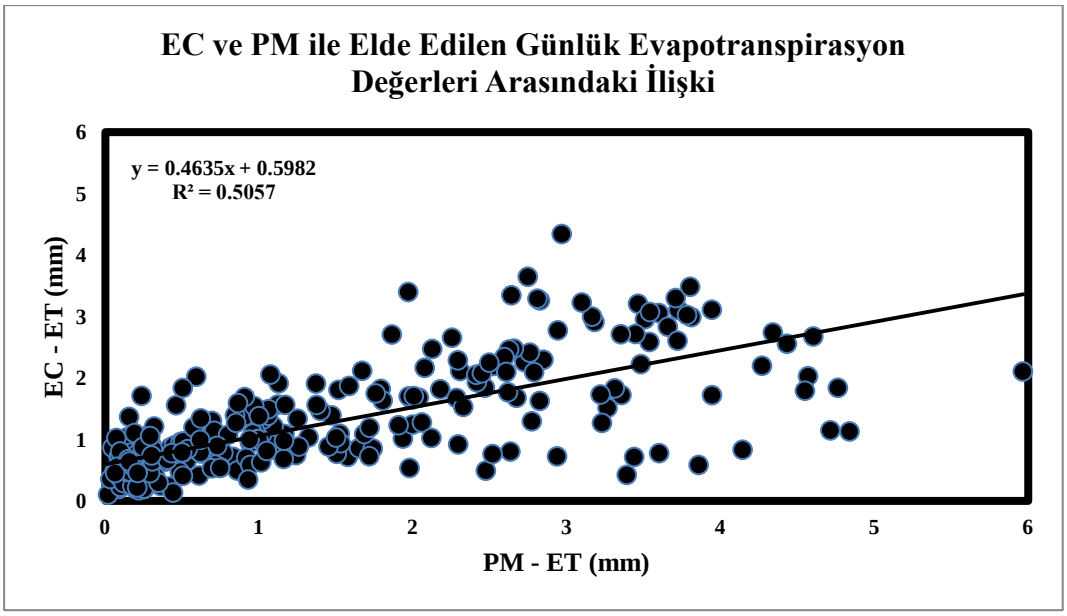
Şekil 3.52 : EC ve BREB arasındaki ilişki.

İkinci olarak ise BREB ve PM ile elde edilen günlük ET_a verileri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu ikili ilişki neticesinde iki yöntem arasındaki korelasyon katsayısının R = 0.84 olduğu belirlenmiştir. BREB ve PM Yöntemleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik aşağıda verilmektedir (Şekil 3.53).



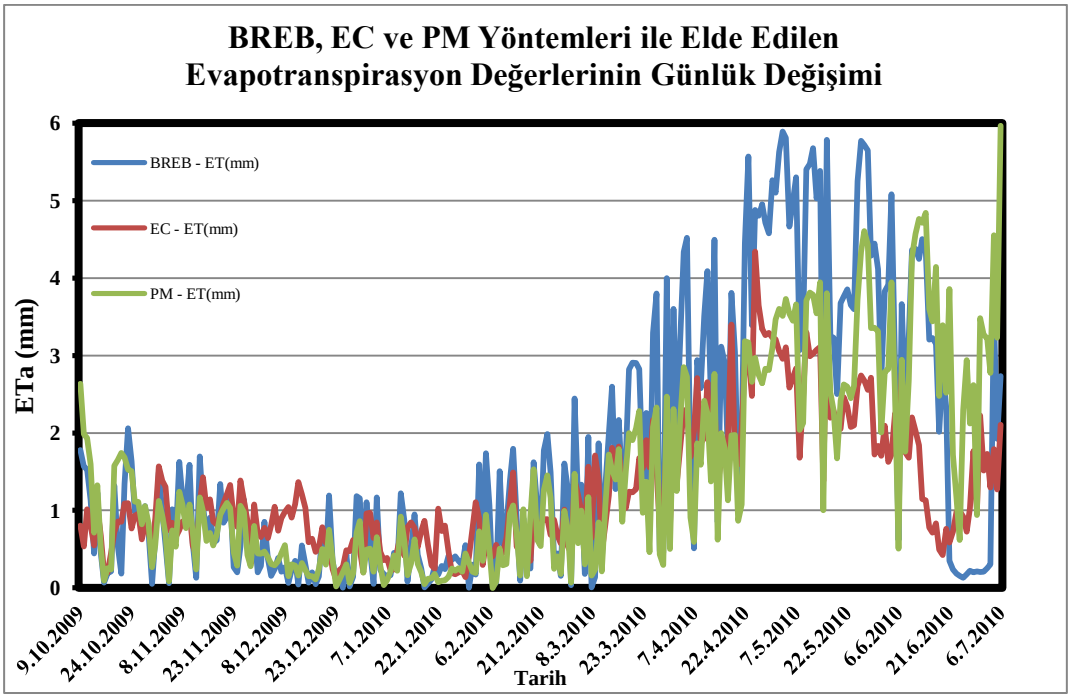
Şekil 3.53 : PM ve BREB arasındaki ilişki.

Son olarak ise EC ve PM ile elde edilen günlük ET_a verileri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu ikili ilişki neticesinde iki yöntem arasındaki korelasyon katsayısının R = 0.71 olduğu belirlenmiştir. EC ve PM Yöntemleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik aşağıda verilmektedir (Şekil 3.54).



Şekil 3.54 : EC ve PM arasındaki ilişki.

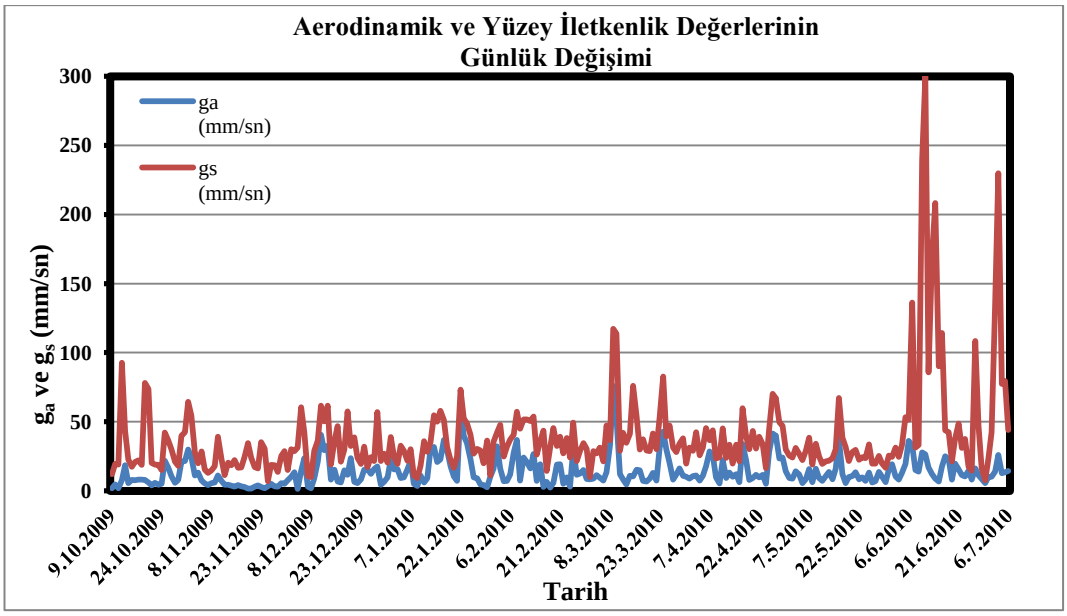
Kullanılan üç yaklaşım ile elde edilen ET_a değerlerinin günlük değişimleri ise Şekil 3.55'de verilmektedir .



Şekil 3.55 : BREB, EC ve PM Yöntemleri ile elde edilen günlük değerlerin değişimi.

3.6 Aerodinamik – Yüzey İletkenlik Değerlerinin Analizi

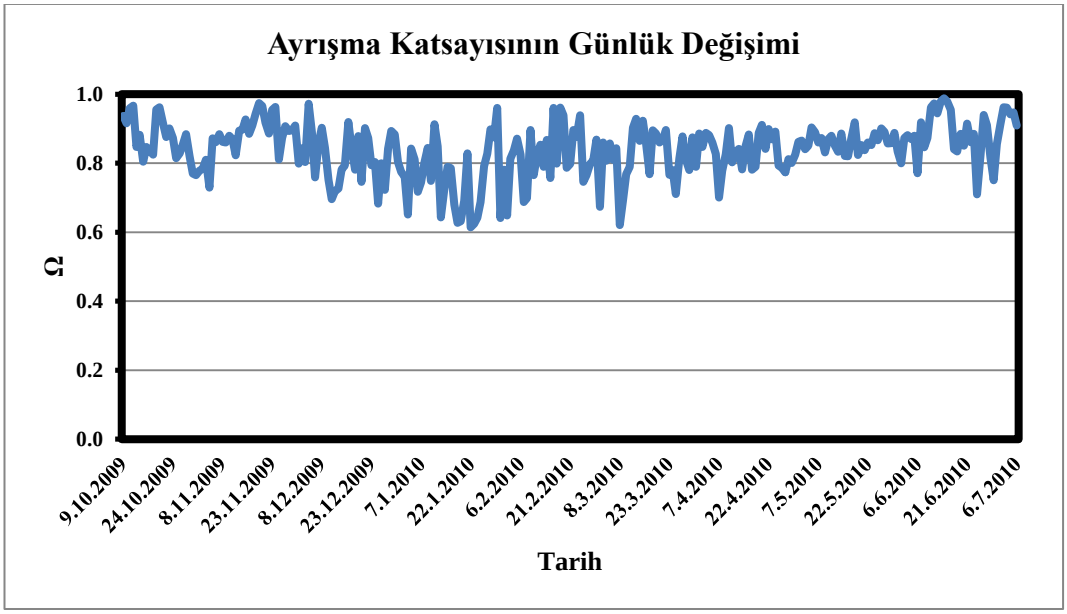
Yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilen g_a ve g_s değerlerinin günlük değişimleri Şekil 3.56 ile verilmektedir.



Şekil 3.56 : Aerodinamik ve yüzey iletkenlik değerlerinin günlük değişimi.

Grafikte de görüleceği gibi g_a; 1.5 mm/sn ile 76.1 mm/sn arasında değerler almakta, ortalaması 13.7 mm/sn, standart sapması ise 10.4 mm/sn olarak hesaplanmıştır. g_s değerleri ise 7.1 mm/sn ile 300 mm/sn arasında değişmekte, genel ortalaması 38.9 mm/sn ve standart sapması 33.6 mm/sn olarak belirlenmiştir.

Ω değerlerinin genel ortalamasının 0.84, maksimum değerinin 0.99, minimum değerinin 0.61 olduğu ve veri setine ait standart sapmanın 0.08 olduğu belirlenmiştir. Ω değerlerinin günlük değişimi aşağıdaki grafikte verilmektedir (Şekil 3.55).



Şekil 3.57 : Ayrışma katsayısının günlük değişimi.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan ölçümler neticesinden kullanılan BREB, EC, PM ve FAO56 – PM yöntemleri ile Kırklareli ilimizde buğday bitkisi ekili bir alanda 271 günlük gelişme dönemi boyunca ET_a ve ET_0 belirlenmiştir.

BREB yöntemi ile gelişme dönemi boyunca yüzeyden meydana gelen toplam ET_a'nın 465.33 mm olduğu belirlenmiştir. Toplam ET_a ve gün sayısına bağlı olarak hesaplanan günlük ortalama ET_a 1.72 mm'dir. Günlük verilerden oluşan veri setine ait standart sapma değeri 1.69 mm olarak bulunmuştur. Aylık toplam maksimum ET_a, 141 mm ile Mayıs ayında gerçekleşmiştir. Mayıs ayında oluşan günlük ortalama ET_a 4.55 mm'dir. Aylık toplam ET_a'nın en düşük olduğu aylar ise Aralık ve Ocak aylarıdır. Bu iki ayda gerçekleşen günlük ortalama ET_a 0.35 mm civarındadır. BREB Yöntemi ile elde edilen aylık toplam ve günlük ortalama değerleri aşağıdaki çizelge ile verilmektedir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 : BREB yöntemi ile elde edilen ET_a değerlerine ait aylık sonuçlar.

ETa (mm)	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz
Toplam	21.01	24.70	10.89	12.06	25.14	51.74	100.90	141.00	68.93	8.97
Günlük Ort.	0.91	0.82	0.35	0.39	0.90	1.67	3.36	4.55	2.30	1.49

Veriler incelendiğinde günlük ET_a değerlerinin hava sıcaklığının artması ile birlikte, bitkinin sapa kalkma döneminde artmaya başladığı ve 3 Mayıs günü 5.89 mm ile maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Hava sıcaklığı göz önüne alındığında, bu artışın hasat tarihine kadar devam etmesi beklenirken, Haziran ayının son on gününde gerçekleşen yağışlar ve net radyasyonun azalması nedeniyle aynı dönemde ET_a değerlerinin azaldığı görülmektedir. Günlük minimum ET_a değerlerinin ise düşük sıcaklık nedeniyle, kardeşlenme döneminden sapa kalkma dönemine kadar geçen sürede gerçekleştiği ve 25 Aralık günü yüzeyden buharlaşma veya terleme ile herhangi bir su kaybı olmadığı belirlenmiştir. β değeri ise ET_a'nın azalması ve H değerinin artması nedeniyle yağışlı günlerde maksimum değerlerine ulaşmıştır. Buğdayın sapa kalkma döneminden sonra β değerinde başlayan negatif trend, aynı dönemde ET_a'nın maksimum değerlere ulaşması nedeniyle β'nın en düşük değerleri

almasını sağlamıştır. Haziran ayının son on gününde gerçekleşen yağışlar ile birlikte β tekrar yükselmiştir.

EC Metodu ile ekimden hasada kadar geçen sürede oluşan toplam ET_a 344.07 mm olarak ölçülmüştür. Bu metotla meydana gelen günlük ortalama ET_a 1.27 mm ve günlük toplam ET_a'lara ait standart sapma 1.27 mm'dir. Aylık bazda bakıldığında maksimum aylık toplam ET_a 79.45 mm ile BREB metodu ile uyumlu olarak Mayıs ayında gerçekleşmiştir. Mayıs ayı günlük ortalama ET_a değeri 2.56 mm'dir. EC Metodu ile yapılan ölçümlerin aylık toplam ve günlük ortalama verileri Çizelge 4.2'de detaylı olarak verilmektedir.

Çizelge 4.2 : EC yöntemi ile elde edilen ET_a değerlerine ait aylık sonuçlar.

ETa (mm)	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz
Toplam	17.10	28.91	21.00	16.65	19.98	39.07	71.46	79.45	40.73	9.71
Günlük Ort.	0.74	0.96	0.68	0.54	0.71	1.26	2.38	2.56	1.36	1.62

Çizelgede de belirtildiği gibi aylık toplam minimum ET_a Aralık ve Ocak aylarında gerçekleşmiş, minimum değerini kardeşlenme döneminin hemen öncesinde, 23 Aralık günü 0.1 mm'lik değeri ile almıştır. Aralık ayında günlük ortalama ET_a 0.68 mm, Ocak ayında ise 0.54 mm'dir. Bu dönem buğdayın 3. yaprak çıkışı ile kardeşlenme dönemini kapsamaktadır. BREB yöntemi ile benzer şekilde bu yöntemde de ET_a buğdayın sapa kalkma döneminin başlaması ile yükselmeye başlamıştır. Bu artış başaklanma döneminin başladığı 25 Nisan günü 4.34 mm ile maksimum değerini almıştır.

BREB ve EC yöntemleri ile elde edilen ET_a değerleri birbiri ile uyumlu bir şekilde, buğday bitkisinin sapa kalkma dönemine kadar genellikle 2 mm'den daha düşük oluşmuş, sapa kalkma tarihi olan 31 Mart tarihinden sonra artış trendine girmiş, başaklanma ve çiçeklenmeye başlama tarihleri arasında maksimum değerlerine ulaşmıştır. Çiçeklenmeye başlama sonrası ET_a değerleri 20 Haziran'a kadar aşamalı olarak azalmış, bu tarih sonrası oluşan yağışlar nedeniyle ani düşüşler meydana geldiği gözlenmiştir.

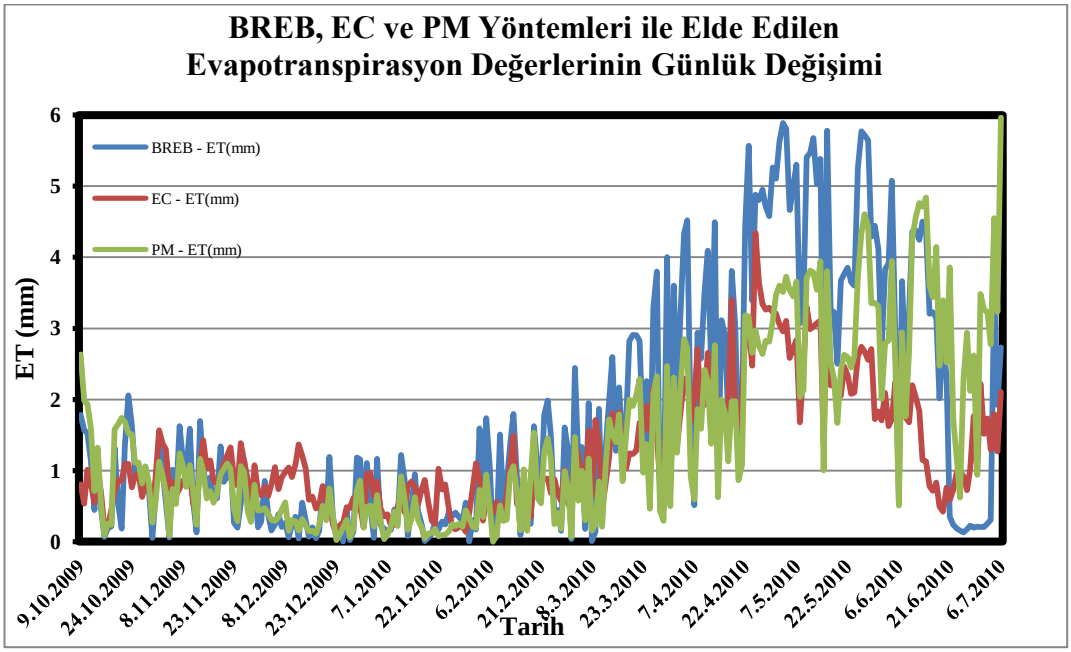
PM denklemine göre ise bitkinin gelişme dönemi boyunca oluşan toplam ET_a 382.56 mm'dir. Günlük ortalama ET_a 1.45 mm, standart sapması 1.29 mm'dir. Aylık verilerin detayı Çizelge 4.3'de verilmektedir.

Çizelge 4.3 : PM denklemi ile elde edilen ET_a değerlerine ait aylık sonuçlar.

ETa (mm)	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz
Toplam	26.71	22.75	9.91	8.85	17.46	35.78	62.62	99.02	86.44	23.01
Günlük Ort.	1.16	0.76	0.32	0.29	0.62	1.15	2.09	3.19	2.88	3.83

PM metodu ile aylık maksimum ET_a, çiçeklenme ve dane dolumu aşamalarını kapsayan Mayıs ayında gerçekleşmiştir. Bu ayda oluşan toplam ET_a 99.02 mm, günlük ortalaması 3.19 mm'dir. Haziran ayında da toplam 86.44 mm ET_a meydana gelmiştir. Gelişme döneminin son altı günlük dönemini kapsayan Temmuz ayı günlük ortalama ET_a değeri 3.83 mm'dir. Hasat öncesi günlük ET_a değerinin en yüksek değerleri alması, yağış sonrası ıslak dönem etkisinin bu yöntem için daha kısa sürdüğünü ve bu yöntemin bu bölgede yağıştan daha az etkilendiğini göstermiştir. ET_a'nın en düşük meydana geldiği aylar ise yapraklanma döneminin sonunu ve kardeşlenme döneminin başlangıç dönemini kapsayan Aralık ve Ocak aylarıdır. Bu dönemin neredeyse tamamında günlük toplam ET_a 0.5 mm'nin altında gerçekleştiği görülmüştür.

BREB, EC ve PM yöntemleri ile belirlenen günlük toplam ET_a'ların değişimi Şekil 4.1 ile verilmektedir.



Şekil 4.1 : BREB, EC ve PM Yöntemleri ile günlük toplam ET_a'nın değişimi.

BREB, EC ve PM Yöntemleri birlikte ele alındığında gelişme dönemi boyunca topraktan ve bitkilerden kaybedilen toplam su miktarı büyüklük sıralamasına göre; BREB yöntemi ile 465.33 mm, PM denklemi ile 392.56 mm, EC yöntemi ile 344.07

mm olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler, EC'nin BREB'den %26, PM'in BREB'den %16 daha düşük ET_a değerleri ürettiğini göstermiştir. BREB metodu referans kabul edilerek yapılan RMSE (Root Mean Square Error) analizi ile EC'nin 1.17 mm/gün, PM'in ise 0.95 mm/gün'lük hataya neden olabileceği hesaplanmıştır.

EC yöntemi ile ölçülen değerlerin diğer yöntemlere göre daha düşük olmasının temel sebebi yağışlı günler ve rüzgâr hızının düşük olduğu sakin günler ile rüzgâr yönünün hakim doğrultudan gelmediği sistemin doğru ölçüm yapamamasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. BREB Metodu ise gündoğumu – batımı saatlerinde ve yağışlı zamanlarda hatalı veriler üretebilmektedir ve uygun verilerin ayıklanma aşamasında kullanılan filtreleme yöntemine direkt bağlıdır. Çalışmada uluslararası literatürde yaygın olarak kullanılan ve detayları daha önceki bölümlerde anlatılan bir filtreleme yöntemi kullanılmıştır.

Yöntemler arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla yapılan regresyon analizleri neticesinde BREB – EC ve BREB – PM yöntemleri arasındaki belirleme katsayısının $R^2 = 0.71$ olduğu belirlenmiştir. EC – PM arasında yapılan regresyonda ise $R^2 = 0.51$ olarak bulunmuştur. Değerlerden de görüleceği gibi BREB – EC ve BREB – PM arasında kabul edilebilir seviyede bir ilişki bulunmuştur. Ancak EC – PM arasındaki ilişkinin yeterli seviyede olmadığı düşünülmektedir. BREB'in diğer yöntemlerle olan uyumunun temel sebebi; EC ile hata kaynaklarının benzer olması ve PM denklemi ile enerji dengesi bileşenlerini ortak kullanması olduğu düşünülmektedir. Çalışma bölgesinde yapılan ölçümlerde, 271 günlük gelişme döneminin 117 gününde yağış meydana geldiği görülmüştür. Bu yağışlı dönemler BREB ve EC ölçümlerinde hatalara sebep olabilmektedir. Bölgede Haziran ayı oldukça yağışlı geçmiş, özellikle Haziran ayının ikinci yarısında kuvvetli yağışlar oluşmuş, bu yağışların hesaplamalar üzerinde etkisi tüm grafiklerde görülmüştür.

FAO56 – PM Metodu ile gelişme dönemi boyunca toplam ET_0 değeri 743.78 mm, günlük ortalaması 3.11 mm ve standart sapması 2.31 mm olarak bulunmuştur. Günlük toplam ET_0 değerinin sırasıyla Temmuz, Haziran ve Mayıs aylarında yüksek olduğu görülmüştür. Bu yöntem ile hesaplanan aylık ve günlük değerlerin detayları Çizelge 4.4'de verilmektedir.

Çizelge 4.4 : FAO56 – PM Denklemine ile elde edilen ET_0 değerlerine ait aylık sonuçlar.

ET_0 (mm)	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz
Toplam	63.11	51.92	35.34	44.64	45.45	78.32	129.28	173.46	185.21	37.06
Günlük Ort.	2.74	1.73	1.14	1.44	1.62	2.53	4.31	5.60	6.17	6.18

Aylık toplam ET_0 değerleri Haziran ve Mayıs aylarında en yüksek değere ulaşmıştır. Mayıs, Haziran ve Temmuz ayları, günlük toplam ET_0'ın 5 mm'den daha yüksek olduğu ve başaklanmadan hasata kadar geçen süreyi kapsayan aylardır. En düşük ET_0 değerleri ise Aralık ve Ocak aylarında sırasıyla 1.14 mm ve 1.44 mm olarak hesaplanmıştır. Ekimden sapa kalkma dönemine kadar günlük toplam ET_0 4 mm'in altında seyretmiştir. Günlük toplam ET_0 sapa kalkma dönemi öncesi artış trendine girmiş ve bu trend olgunlaşma dönemi sonrasına kadar sürmüştür. Haziran ayı öncesi oluşan yağışlar, ET_0 değerlerinin de hasat öncesi düşüş göstermesine neden olmuştur.

Gelişme dönemi süresince ortalama g_a 13.74 mm/sn, g_s 38.94 mm/sn ve Ω 0.84 olarak bulunmuştur. Ω değeri, buğdayın kardeşlenme ve başaklanma dönemleri arasında 0.8'in altında değerler almıştır. Bu dönem haricinde genellikde hep 0.8 üzerinde değerler aldığı görülmüştür. Ω değerinin yüksek olması bitki ile atmosfer arasındaki etkileşimin oldukça iyi olduğunu ve ET'nin bu bölgede yüzey iletkenliği tarafından kontrol edildiğini göstermektedir.

Ülkemizde yapılmış benzer çalışmalara bakıldığında; Oylukan (1972) Eskişehir koşullarında buğdayın sezonluk ET_a değerini 460 mm ve maksimum ET_a'nın Haziran ayında oluştuğunu, Günbatılı (1980) Tokat İlinde buğdayın mevsimlik su tüketimini 616 mm ve maksimum ET_a'nın Mayıs ayında meydana geldiğini, Ertaş (1980) lizimetre yöntemi ile Konya'da buğday bitkisinin ET_a değerinin 460 mm olduğunu, Moteva ve diğ. (2008) Bulgaristan Svilengrad'da ET_0'ın 830 mm olduğunu, Akpolat (2010) 2009 – 2010 bitki gelişim sezonunda Adana'da kışlık buğday bitkisinin ekimden hasada kadar geçen 187 günlük periyotta lizimetre ile 376 mm, BREB ile 321 mm ET_a oluştuğunu ve FAO yaklaşımı ile hesaplanan ET_0 değerinin 426 mm olduğunu ortaya çıkarmışlar ve BREB ile lizimetrik yöntem arasında R^2 = 0.86 ilişkisini bulmuşlardır. Elde edilen sonuçların daha önce yapılmış çalışmalar ile kıyaslanması ile sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Ülkemizin farklı bölgelerinde mikrometeorolojik yöntemlerin kullanılarak, yüzeyden buharlaşma ve terleme ile oluşan su kayıplarının ortaya çıkarılması, su bütçesinin doğru yönetilebilmesi açısından oldukça önemlidir. Mikrometeorolojik yöntemlerin

doğrudan ölçüm yöntemi olan lizimetre ile karşılaştırılma imkanının gelecekte bulunması da oldukça yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

Abtew, W. (2005). Evapotranspiration in the everglades; comparison of Bowen ratio measurements and model esimations. ASAE Meeting in Tampa, Florida, USA, 17 – 21 July.

Akpolat, A. (2011). Mikrometeorolojik ve lizimetre yöntemleriyle belirlenen buğday bitki su tüketimlerinin karşılaştırılması (yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi, Adana.

Allen, G. R., Pereira, L. S., Raes, D. ve Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy, sf. 300.

Attarod, P., Aoki, M., Bayramzadeh, V. ve Ahmadi, M. T. (2011). Micrometeorological observations above a Japanese red pine forest within the growing season. Turkish Journal of Agriculture, 35, 597 – 609.

Aubinet, M., Vesala, T. ve Papale, D. (2012). Eddy Covariance – A practical guide to measurement and data analysis. NY, sf. 1, Springer, New York.

Bezerra, B. G. (2012). Crop evapotranspiration and water use efficiency. Irrigation Systems and practices in Challenging Environments, 9, 57 – 76.

Blad, B.L. ve Rosenberg, N. J. (1974). Lysimetric calibration of the Bowen ratio – energy balance method for evapotranspiration estimation in the central Great Plains. Journal of Applied Meteorology, 13, 227 – 236.

Bowen, I. S. (1926). The ratio of heat lossesby conduction and by evaporation from any water surface. Physical Review, 27, 779 -787.

Brisson, N., Itier, B., L'Hotel, J. C. ve Lorendeau, J. Y. (1998). Parameterisation of the Shuttleworth – Wallace model to estimate daily maximum transpiration for use in crop models. Ecological Modelling, 107, 159 – 169.

Burba, G. ve Anderson, D. (2013). A brief practical guide to Eddy Covariance flux measurements. Lincoln, sf. 6 – 28, LI – COR Biosciences, Nebraska.

Bynum, W. F., Browne, E. J. ve Porter, R. (1981). Dictionary of history of science. New Jersey, sf. 13 – 50, Princeton University Press, New Jersey.

Cheng, C., Nnadi, F. ve Liou, Y. (2014). Energy budget on various land use areas using reanalysis data in Florida. Advances in Meteorology, 2014, 1 – 13.

Dicken, U., Cohen, S. ve Tanny, J. (2013). Examination of the Bowen ratio energy balance technique for evapotranspiration estimates in screenhouses. Biosystems Engineering, 114, 397 – 405.

Dow, C. L. ve DeWalle, D. R. (2000). Trends in evaporation and Bowen ratio on urbanizing watersheds in eastern United States. Water Resources Research, 36, 1835 – 1843.

Euser, T., Luxemburg, W. M. J., Everson, C. S., Mengistu, M. G., Clulow, A. D. ve Bastinaanssen, W. G. M. (2014). A new method to measure Bowen ratios using high – resolution vertical dry and wet bulb temperature profiles. Hydrology and Earth System Sciences, 18, 2021 – 2032.

Fritschen, L. J. (1965). Accuracy of evapotranspiration determination by the Bowen ratio method. Bulletin – International Association of Hydrological Sciences, 10, 38 – 48.

Fritschen, L. J. ve Simpson, J. R. (1989). Surface energy balance and radiation systems: general description and improvements. Journal of Applied Meteorology, 28, 680 – 689.

Fritschen, L. J. (2010). Accuracy of evapotranspiration determinations by the Bowen ratio method. Hydrological Science Journal, 2, 38 – 48.

Fuchs, M. ve Tanner, C. B. (1970). Error analysis of Bowen ratios measured by differential psychrometry. Agricultural Meteorology, 7, 329 – 334.

Funari, F. L. ve Filho, A. J. P. (2014). Energy balance in a patch of the Atlantic Forest in Sao Paulo, Brazil. Journal of Water Resource and Protection, 6, 805 – 812.

Guo, X., Zhang, H., Kang, L., Du, J., Li, W. ve Zhu, Y. (2007). Quality control and flux gap filling strategy for Bowen ratio method: revisiting the Priestley – Taylor evaporation model. Environmental Fluid Mechanics, 7, 421 – 437.

Heilman, J. L., Brittin, C. L. ve Neale, C. M. U. (1989). Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes. Agricultural Meteorology, 44, 261 – 273.

Inman – Bamber, N. G. ve McGlinchey, M. G. (2003). Crop coefficient and water – use estimates for sugarcane based on long – term Bowen ratio energy balance measurements. Field Crops Researh, 83, 125 – 138.

IPCC, (2014). Climate change 2014: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assesment report of the Intergovermental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, sf. 5.

Jensen, M. E., Burman, R. D. ve Allen, R. G. (1990). Evapotranspiration and irrigation water requirements. Manuals and Reports on Engineering Practic, ASCE, Washington, sf. 332.

Khoomsab, K. ve Khummongkol, P. (2011). Application of Bowen ratio method for estimating fluxes of sulfate and nitrate aerosols. International Conference on Biology, Environment and Chemistry, Singapore, 2 – 4 November.

Kumagai, T., Saitoh, T. M., Sato, Y., Morooka, T., Manfroi, O. J. ve diğ. (2004). Transpiration, canopy conductance and the decoupling coefficient of a lowland mixed dipterocarp forest in Sarawak, Borneo: dry spell effects. Journal of Hydrology, 287, 237 – 251.

Mallick, K., Jarvis, A. J., Boegh, E., Fisher J. B., Drewry, D. T. ve diğ. (2014). A surface temperature initiated closure (STIC) for surface energy balance fluxes. Remote Sensing of Enironment, 141, 243 – 261.

McNaughton, K. G. ve Jarvis, P. G. (1986) Predicting effects of vegetation changes on transpiration and evaporation. NY, sf. 1 – 47, Kozlowski TT Water Deficit and Plant Growth, New York.

Monteith, J. L. (1965). Evaporation and environment. Symposium of the Society for Eexperimental Biology, New York, 19, 205 – 234.

Monteith J. L. ve Unsworth, M. H. (1990). Principles of environmental physics. London, sf. 291, Arnold, London.

Ohmura, A. (1982). Objective criteria for rejecting data for Bowen ratio flux calculations. Journal of Applied Meteorology, 21, 595 -598.

Oke, T. R. (1987). Boundary layer climates. NY, 2, sf. 435, John Wiley and Sons, New York.

Ortega – Farias, S. O., Olioso, A., Fuentes, S. ve Valdes, H. (2006). Latent heat flux over a furrow – irrigated tomato srop using Penman – Monteith equation with a variable surface canopy resistance. Agricultural Water Management, 82, 421 – 432.

O'Dell, D., Sauer, T. J., Hicks, B. B., Lambert, D. M., Smith, D. R. ve diğ. (2014). Bowen ratio energy balance measurement of carbon dioxide (CO_2) fluxes of no – till and conventional tillage agriculture in Lesotho. Journal of Soil Sciences, 4, 87 – 97.

Pauwels, V. R. N. ve Samson, R. (2006). Comparison of different methods to measure and model actual evapotranspiration rates for a wet sloping grassland. Agricultural Water Management, 82, 1 – 24.

Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. Proceeding Royal Society London, 193, 120 – 146.

Perez, P. J., Castellvi, F., Ibanez, M. ve Rosell, J. I. (1999). Assesment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. Agricultural and Forest Meteorology, 97, 141 – 150.

Poznikova, G., Trnka, M., Fischer, M., Orsag, M. ve Zalud, Z. (2012). Applicability of Bowen ratio energy balance method in fetch limited conditions. Mendelnet, Czech Republic, 21 – 22 November.

Rohli, R. V., Hsu, S. A., Lofgren, B. M. ve Binkley, M. R. (2004). Bowen ratio estimates over Lake Erie. Journal Great Lakes Research, 30, 241 – 251.

Rosenberg, N. J., Blad, B. L. ve Verma, S. B. (1983). Microclimate: the biological environment. NY, sf. 495, Wiley, New York.

Schmid, H. P. (1997). Experimental design for flux measurements: matching scales of observations and fluxes. Agricultural Meteorology, 87, 179 – 200.

Shi, T., Guan, D., Wu, J., Wang, A., Jin, C. ve Han, S. (2008). Comparison of methods for estimating evapotranspiration rate of dry forest canopy: Eddy covariance, Bowen ratio energy balance, and Penman – Monteith equation. Journal of Geophysical Research, 113, 1 – 15.

Soares, J. M., De Azevedo, P. V. ve Da Silva, B. B. (2007). Bowen ratio – energy balance associated errors in vineyards under dripping irrigation. Revista Brasileira de Meteorologia, 22, 233 – 240.

Spittlehouse, D. L. ve Black, T. A. (2010). Evaluation of the Bowen ratio energy balance method for determining forest evapotranspiration. Atmosphere – Ocean, 2, 98 – 116.

Şaylan, L. (2000). The Effects of the environmental factors on the evapotranspiration in different growth phases of soybean. Journal for Land Management, Food and Environment, Die Bodenkultur, 51, 127 – 134.

Şaylan, L., Bakanoğulları, F. ve Çaldağ, B. (2012a). İklim değişiminin bitki gelişimine olası etkilerinin bitki gelişimi modelleri ile incelenmesi (TÜBİTAK 108O567 numaralı proje sonuç raporu). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Şaylan, L., Çaldağ, B., Bakanoğulları, F. ve Kaymaz, Z. (2012b). Buğday bitkisinin karbondioksit, su buharı ve enerji akılarının belirlenmesi (TÜBİTAK 109R006 numaralı proje sonuç raporu). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Takagi, K., Kimura, R. ve Şaylan, L. (2009). Variability of surface characteristics and energy flux patterns of sunn hemp under well – watered conditions. Theorotical Applied Meteorology, 96, 261 – 273.

Todd, R. W., Evett, S. R. ve Howell, T. A. (2000). The Bowen ratio – energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfalfa evaluated in a semi – arid, advective environment. Agricultural and Forest Meteorology, 103, 335 – 348.

Toros, H., Şaylan, L., Çaldağ, B., Bakanoğulları, F., Şen, O. ve Gürbüz, M. A. (2004). Variations of the rainwater pH and EC in northwest Turkey. Agroenviron, Udine, Italy, 20 – 24 October.

Ünlü, M., Kanber, R., Diker, K. ve Steduto, P. (2001). Comparing cotton evapotranspiration estimated by micrometeorological and water budget methods. Turkish Journal of Agriculture, 25, 329 – 335.

Ünlü, M., Kanber, R. ve Kapur, B. (2010). Comparison of soybean evapotranspirations measured by weighing lysimeter and Bowen ratio energy balance method. African Journal of Biotechnology, 9, 4700 – 4713.

Ünlü, M., Kanber, R., Koç, D. L., Özekici, B., Kekeç, U. ve diğ. (2014). Irrigation scheduling of grapefruit trees in a Mediterranean environment throughout evaluation of plant water status and evapotranspiration. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 38, 908 – 915.

Wang, W., Xiao, W., Cao, C., Gao, Z., Hu, Z. ve diğ. (2014). Temporal and spatial variations in radiation and energy balance across a large freshwater lake in China. Journal of Hydrology, 511, 811 – 824.

Wever, L. A., Flanagan, L. B. ve Carlson, P. J. (2002). Seasonal and interannual variation in evapotranspiration, energy balance and surface conductance in northern temperate grassland. Agricultural and Forest Meteorology, 112, 31 – 49.

Xing, Z., Chow, L., Meng, F., Rees, H. W., Stevens, L. ve Monteith, J. (2008). Validating evapotranspiration equation using Bowen ratio in New Brunswick, Maritime, Canada. Sensors, 8, 412 – 428.

Yan, G., Lin, G., Chen, H. ve Yang, S. (2014). Seasonal changes of energy fluxes of a subtropical mangrove forest in Zhangjiang Estuary, China. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 6, 363 – 368.

Zotarelli, L., Dukes, M. D., Romero, C. C., Migliaccio, K. W. ve Morgan, K. T. (2010). Step by step calculation of the Penman – Monteith ecapotranspiration (FAO – 56 Method). University of Florida IFAS Extension, Florida, 459, 1 – 12.

History of Computers. (2015). Michigan State University. Alındığı tarih: 25.02.2015, adres: http://www.msu.edu/

İlimizin Coğrafi Konumu. (2015). Kırklareli İl Özel İdaresi. Alındığı tarih: 10.02.2015, adres: http://www.kirklareliilözelidaresi.gov.tr/

İllere Ait İstatistiki Bilgiler. (2015). Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Alındığı tarih: 10.02.2015, adres: http://www.mgm.gov.tr/

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad **:** Yunus ÖZKOCA

Doğum Yeri ve Tarihi **:** Konya, 1985

E-Posta **:** yunus.ozkoca@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2009, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği

AKADEMİK YAYINLAR

Uluslararası Dergilerde Yayınlanan Makaleler

- Şaylan, L., Çaldağ, B., Bakanoğulları, F., Toros, H., Yazgan, M., Şen, O., **Özkoca, Y.**, 2011. Spatial Variation of the Precipitation Chemistry in the Thrace Region of Turkey, *Clean – Soil, Air, Water*, 2011, 39 (5):491–501.

Ulusal ve Uluslararası Sempozyumlarda Yayınlanan Bildiriler

- Çaldağ, B., Şaylan, L., Özgür, E., Semizoğlu, E., Çaylak, O., **Özkoca, Y.**, 2012. Comparison of two Crop Simulation Models for the Estimation of Winter Wheat Growth and Yield in Northwest Turkey, *BALWOIS Conference on Water, Climate and Environment*, May 2012, Ohrid, Republic of Macedonia, Online Paper.
- Şaylan, L., Çaldağ, B., Özgür, E., Koç, E.M., Çaylak, O., **Özkoca, Y.**, Semizoğlu, E., Karayusufoğlu, S., Bakanoğulları, F., 2011. Bitki Gelişimi Simulasyon Modellerinin Toprak-Su İçeriğini Belirleme Performanslarının Karşılaştırılması, *2. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Konferansı*, Kasım 2011, Ankara, 619-625.
- Karayusufoğlu, S., Şaylan, L., Semizoğlu, E., **Özkoca, Y.**, Çaylak, O., Çaldağ, B., Bakanoğulları, F., 2011. Buğday Bitkisinin Spektral Yansıtma Özellikleri ile Gelişimi Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi, *2. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Konferansı*, Kasım 2011, Ankara, 445-451.
- Karayusufoğlu, S., Şaylan, L., Çaldağ, B., Semizoğlu, E., **Özkoca, Y.**, Çaylak, O., Bakanoğulları, F., 2011. Estimation of Biophysical Parameters for Winter Wheat Using Remote Sensing Data, *EMS Annual Meeting*, September 2011, Berlin, Germany, (8) 688-694.

- Semizoğlu, E., Şaylan, L., Çaldağ, B., Bakanoğulları, F., **Özkoca, Y.**, Çaylak, O., 2011. Karbon Değişiminin Buğday Bitkisi için Belirlenmesi, *GAP 6. Tarım Kongresi*, Mayıs 2011, Şanlıurfa, 280-285.
- Karayusufoğlu, S., Şaylan, L., Semizoğlu, E., **Özkoca, Y.**, Çaylak, O., Çaldağ, B., Bakanoğulları, F., 2011. Bitkilerin Gelişimleri ile Spektral Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Analizi: Ayçiçeği ve Mısır Örneği, *GAP 6. Tarım Kongresi*, Mayıs 2011, Şanlıurfa, 274-279.
- Koç, E.M., Çaylak, O., Çaldağ, B., Özgür, E., **Özkoca, Y.**, Şaylan, L., Semizoğlu, E., 2011. Bitki Gelişimi Simulasyon Modellerinin Buğdayın Gelişimini Tahmin Performanslarının Karşılaştırılması, *GAP 6. Tarım Kongresi*, Mayıs 2011, Şanlıurfa, 268-273.
- Şaylan, L., Kaymaz, Z., Bakanoğulları, F., Çaldağ, B., **Özkoca, Y.**, Semizoğlu, E., Çaylak, Yurtseven, E., Karayusufoğlu, S., 2011. Buğday Bitkisinin CO2, H2O ve Enerji Akılarının Belirlenmesi Projesi, *5. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*, Nisan 2011, İstanbul, 379-386.
- Semizoğlu, E., Şaylan, L., Çaldağ, B., Bakanoğulları, F., **Özkoca, Y.**, Çaylak, O., 2011. Mikrometeorolojik Bir Yöntemle Buğday Bitkisinin CO2 Akılarının Ölçülmesi, *5. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*, Nisan 2011, İstanbul, 387-394.
- Karayusufoğlu, S., Şaylan, L., Çaldağ, B., Çaylak, O., Semizoğlu, E., **Özkoca, Y.**, Bakanoğulları, F., 2011. Uzaktan Algılamanın Tarımsal Meteoroloji'de Kullanılması: Kırklareli Örneği, *5. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*, Nisan 2011, İstanbul, 415-422.
- Şaylan, L., Özgür, E., Semizoğlu, E., Çaylak, O., **Özkoca, Y.**, Karayusufoğlu, S., Çaldağ, B., 2011. Evapotranspirasyonun Farklı Yöntemlerle Hesaplanması ve Karşılaştırılması, *5. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*, Nisan 2011, İstanbul, 369-377.
- Şaylan, L., Bakanoğulları, F., Çaldağ, B., Çaylak, O., **Özkoca, Y.**, Semizoğlu, E., Karayusufoğlu, S., 2010. İklim Değişiminin Bitki Gelişimine Olası Etkilerinin Bitki Gelişimi Modelleri ile İncelenmesi, *1. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Konferansı*, Haziran 2010, Eskişehir, 238-241.
- **Özkoca, Y.**, Şaylan, L., Çaldağ, B., 2008. Edirne'de Kuraklık Durumunun ve Hidrolojik Döngü Bileşenlerinin İncelenmesi, *5. Dünya Su Forumu - Taşkın Konferansı*, Haziran 2008, Edirne, 152-161.
- **Özkoca, Y.**, Şaylan, L., Çaldağ, B., 2008. Tarımsal Kuraklığın Bitki Nem İndeksi İle Analizi, *IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*, Mart 2008, İstanbul, 391-398.
- **Özkoca, Y.**, Çaldağ, B., Şaylan, L., 2008. Trakya'da Kuraklık Durumunun Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi ile Analizi, *IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*, Mart 2008, İstanbul, 492-499.