

**AŞAĞI BÜYÜK MENDERES HAVZASINDA BUHARLAŞMA-TERLEME  
DAĞILIMININ UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİYLE BELİRLENMESİ**

**DETERMINATION OF EVAPOTRANSPIRATION DISTRIBUTION IN THE  
LOWER GREATER MEANDER BASIN BY MEANS OF REMOTE SENSING  
TECHNIQUES**

**HAKAN AKSU**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı için öngördüğü

**DOKTORA TEZİ**

olarak hazırlanmıştır.

2012 Ankara

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **JEOLJİ (HİDROJEOLJİ) MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan :.....  
Prof.Dr. Serdar BAYARI

Üye (Danışman) :.....  
Prof.Dr. Alparslan ARIKAN

Üye :.....  
Doç.Dr. M. Tekin YÜRÜR

Üye :.....  
Doç.Dr. Murat ERCANOĞLU

Üye :.....  
Yrd.Doç.Dr. Emrah PEKKAN

ONAY

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından 30/05/2012 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulunca ...../...../..... tarihinde kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Fatma SEVİN DÜZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

# **AŞAĞI BÜYÜK MENDERES HAVZASINDA BUHARLAŞMA-TERLEME DAĞILIMININ UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİYLE BELİRLENMESİ**

**Hakan AKSU**

## **ÖZ**

Buharlaşma-terleme (BT) hidrolojik çevrimin en önemli bileŐenlerinden biri olmasına rağmen, havza ölçeğinde belirlenmesi en güç olanıdır. Geleneksel yöntemlerle BT'nin belirlenmesi ölçüm istasyonlarında noktasal olarak yapılmaktadır. Noktasal ölçümler havza ölçeğinde değerlendirildiğinde hatalara neden olmaktadır. Uydu görüntülerinden elde edilen veriler ile yersel meteorolojik verilerin birlikte girdi olarak kullanıldığı METRIC modeli (İ Kalibrasyonla Yüksek özünürlükte Evapotranspirasyonun Haritalanması) havza ölçeğinde gerçek BT'nin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu alıŐmada MODIS sensöründen ve AŞağı Büyük Menderes havzasında mevcut meteoroloji gözlem istasyonlarından elde edilen veriler METRIC modelinde değerlendirilerek, 1 Nisan-30 Eylül 2010 dönemi için gerçek BT haritaları günlük ve aylık olarak üretilmiştir. Üretilen veriler havzada mevcut buharlaşma tavaşı verileri ve meteorolojik parametreler yardımıyla hesaplanan BT verileriyle karŐılaŐtırılmıŐtır. Sonuçların birbirleriyle uyumlu oldukları gözlenmiŐtir. Çalışma sonucunda üretilen haritalardan BT'nin zamana ve yere göre büyük değişim gösterdiği görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Buharlaşma-terleme, METRIC, MODIS, Büyük Menderes

Danışman: Prof.Dr. Alparslan ARIKAN, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hidrojeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

# **DETERMINATION OF EVAPOTRANSPIRATION DISTRIBUTION IN THE LOWER GREATER MEANDER BASIN BY MEANS OF REMOTE SENSING TECHNIQUES**

**Hakan AKSU**

## **ABSTRACT**

Evapotranspiration (ET), though one of the most important components of the hydrological cycle, is the most difficult one to determine at basin scale. Determining the ET by means of traditional methods are done at the measurement stations. These point measurements lead to errors in estimation of the ET at watershed scale. METRIC (Mapping evapotranspiration at high resolution with internalized calibration), in which data obtained from satellite images and meteorological observation stations are used as input, is used to determine the actual ET at the watershed scale. In this study, data obtained from existing meteorological observation stations located in the study area and from the MODIS sensor are used in METRIC to prepare the actual ET maps at daily and monthly scale for the period of April 1st to 30th September 2010. Produced data are compared with available pan evaporation and ET which was estimated with the help of meteorological parameters. The results were found to be consistent. It is observed from the ET maps produced in this study that ET varies considerably with time and space.

**Keywords:** Evapotranspiration, METRIC, MODIS, Greater Meander

Supervisor: Prof.Dr. Alparslan ARIKAN, Hacettepe University, Department of Geological Engineering, Hydrogeological Engineering Section

## TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmanın çeşitli aşamalarında destek ve katkılarından dolayı, aşağıda adı geçen kişi ve kuruluşlara içtenlikle teşekkür eder.

Prof.Dr. Alparslan ARIKAN (Tez Danışmanı), çalışmanın tüm aşamalarında bilgi ve tecrübeleri ile araştırma yöntemlerinin belirlenmesinde ve değerlendirme çalışmalarında yol gösterici olmuştur.

Prof.Dr. A. Ünal ŞORMAN (ODTÜ), Prof.Dr. Serdar BAYARI (H.Ü.) ve Doç.Dr. M. Tekin YÜRÜR (H.Ü.) tez izleme komitesi sunumlarındaki önerileri ve yorumları ile tez çalışmasına katkıda bulunmuşlardır.

Tezde kullanılan veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi'nden (National Aeronautics and Space Administration) sağlanmıştır.

Tezin çeşitli aşamalarında uzaktan algılama ve verilerin analizi süreçlerinde Hidrojeoloji Yük. Müh. Ahmet H. SARGIN (DSİ), Dr. Orhan GÖKDEMİR (Beray Mühendislik), Dr. İbrahim SÖNMEZ (OMU), Meteoroloji Mühendisi Ali DOĞAN (DSİ), Ziraat Yük. Müh. Melike KAVİŞ (DSİ), Ziraat Müh. Selda AYDOĞAN (DSİ), Şehir Bölge Planlama Mühendisi Kemal SEYREK (DSİ), Meteoroloji Mühendisi Mehmet SOYLU (DSİ) değerli katkılar sunmuşlardır.

Ziraat Yük. Müh. Zekerya ALŞAN (DSİ) ve Orman Mühendisi Murat Çavuşoğlu (DSİ) çalışma alanı bitki deseni üzerine ayrıntılı bilgiler vermişlerdir. Harita Yük. Müh. Derya KOÇYİĞİT (MGM) çalışma sahası hakkında bilgiler vermiştir.

Tezin yazım dili Türkçe Öğretmeni Özlem AKSU (MEB) tarafından kontrol edilmiştir.

<b>ÖZ .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....</b>	<b>iv</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....</b>	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>	<b>viii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ .....</b>	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Amaç.....	1
1.2. Çalışma Alanı.....	1
1.3. Meteoroloji Gözlemleri .....	4
1.4. Uydu Verileri.....	4
1.4.1. Uydu Verilerinin Temini .....	7
1.4.2. MODIS'in Özellikleri .....	9
1.5. Toprak Kullanımı Verileri .....	9
1.6. Önceki Çalışmalar .....	12
1.6.1. Buharlaştırma-Terleme Ölçüm Yöntemleri .....	14
1.6.2. Buharlaştırma-Terleme Hesaplama Yöntemleri .....	15
1.6.2.1. Birleştirilmiş Yöntem .....	15
1.6.2.2. Radyasyon Yöntemleri.....	15
1.6.2.3. Sıcaklık Yöntemleri .....	15
1.6.2.4. Buharlaştırma Tavası Yöntemleri.....	15
1.6.3. Uzaktan Algılama ile Buharlaştırma-Terleme Belirleme Yöntemleri .....	16
1.6.3.1. Basitleştirilmiş Deneysel Regresyon Yöntem.....	16
1.6.3.2. Enerji Dengesi Eşitliğinin Kalanı Yöntemleri .....	16
1.6.3.2.1. Tek Kaynaklı Yöntemler.....	16
1.6.3.2.2. İki Kaynaklı Modeller.....	18
<b>2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ.....</b>	<b>21</b>
2.1. Net Radyasyonun Hesaplanması .....	22
2.1.1. Gelen Kısa Dalga Boylu Radyasyon .....	25
2.1.2. Gelen Uzun Dalga Boylu Radyasyon .....	25
2.1.3. Yayımlanan Uzun Dalga Boylu Radyasyon.....	26

2.1.4. Yansıyan Uzun Dalga Boylu Radyasyon.....	26
2.2. Toprak Isı Akısının Hesaplanması .....	28
2.3. Hissedilir Isı Akısı .....	29
2.4. Sürtünme Hızı ( $u^*$ ) .....	31
2.5. Momentum Pürüzlülük Mesafesi ( $z_{om}$ ).....	31
2.6. Monin Obukhov Uzunluğu (L).....	32
2.7. Düzeltme Faktörleri .....	32
2.8. Buharlaşma-Terlemenin Hesaplanması .....	34
<b>3. UYDU VE YER GÖZLEMİ TABANLI BT DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI .....</b>	<b>46</b>
<b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>62</b>
<b>5. KAYNAKLAR.....</b>	<b>64</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ALEXI	Atmosfer-Kara Enerji Değişimi (Atmosphere-Land Exchange Energy)
BT	Buharlaştırma-terleme (mm)
$C_p$	Havanın özgül ısı (J/kg/°K)
CORINE	Çevre Bilgi Düzeni (Coordination of Information on the Environment)
$d_r$	Dünya-güneş arası mesafenin karesinin tersi
$e_s$	Doymuş buhar basıncı (mb)
$e_a$	Aktüel buhar basıncı (mb)
ET <sub>r</sub>	Kaba yonca potansiyel evapotranspirasyonu (mm/saat)
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
$F_r$	Bitki kaplı alanın toplam alana oranı (boyutsuz)
G	Toprak ısı akısı (W/m <sup>2</sup> )
GMT	Greenwich Ortalama Zamanı
$G_{sc}$	Güneş sabiti (W/m <sup>2</sup> )
hpbl	Atmosferik sınır tabakanın yüksekliği (m)
L	Gizli ısı akısı (W/m <sup>2</sup> )
LAI	Yaprak alan indeksi (Leaf Area Index)
K <sub>c</sub>	Potansiyel BT'den gerçek BT'ye dönüşüm kat sayısı (Boyutsuz)
METRIC	İç Kalibrasyonla Yüksek Çözünürlükte BT'nin Haritalanması (Mapping Evapotranspiration at high Resolution with Internalized Calibration)
MOD09	MODIS reflektans ürünü
MOD11	MODIS sıcaklık ve emissivite ürünü
MOD13	MODIS NDVI ürünü
MOD15	MODIS LAI ürünü
MODIS	Orta Çözünürlükte Görüntüleme Algılayıcısı (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer)
MRT	MODIS koordinatlandırma aracı
NDVI	Bitki indeksi normalize farkı (Normalized difference vegetation index)
P	Basınç (kPa)
R	Kuru hava için özgül gaz sabiti (J/°K*°K)
$r_{ah}$	Isı transferine karşı havanın aerodinamik direnci (s/m)
$R_{L\downarrow}$	Gelen uzun dalga boylu radyasyon (W/m <sup>2</sup> )
$R_{L\uparrow}$	Giden uzun dalga boylu radyasyon (W/m <sup>2</sup> )
$R_{S\downarrow}$	Gelen Kısa Dalga Boylu Radyasyon (W/m <sup>2</sup> )



$R_n$	Net radyasyon ( $W/m^2$ )
SEBAL	Yüzey Enerji Denge Algoritması (Yüzey Enerji Dengesi Algoritması)
SEBI	Yüzey Enerji Denge İndeksi (Surface Energy Balance Index)
S-SEBI	Basitleştirilmiş Yüzey Enerji Denge İndeksi (Simplified-Surface Energy Balance Index)
SEBS	Yüzey Enerji Denge Sistemi (Surface Energy Denge Sistemi)
$T$	Sıcaklık ( $^{\circ}K$ )
$T_a$	Referans yükseklikte ölçülen hava sıcaklığı ( $^{\circ}K$ )
$T_c$	Bitki sıcaklığı ( $^{\circ}K$ )
$T_{pbl}$	Atmosferik sınır tabakasının ortalama sıcaklığı ( $^{\circ}K$ )
$T_s$	Yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}K$ )
TSM	İki Kaynaklı Model (Two Source Model)
$T_{sw}$	Açık ve kuru atmosfer koşulları için atmosfer geçirimsizliği
$u$	Referans yüzeyde ölçülen rüzgâr hızı (m/s)
$u^*$	Sürtünme hızı (m/s)
VI	Bitki indeksi
VPD	Buhar basıncı açığı (kPa)
$Z_a$	Hava sıcaklığı ve rüzgâr hızının ölçüldüğü yükseklik (m)
$Z_{om}$	Momentum Pürüzlülük Mesafesi (m)
$\alpha$	Albedo (boyutsuz)
$\epsilon_0$	Yüzeyin emissivitesi (boyutsuz)
$\theta$	Güneş ışınının nadirle yaptığı açı (Radyan)
$\sigma$	Stefan- Boltzman sabiti
$\Lambda$	Buharlaşma için gerekli gizli ısı miktarı (J/Kg)
$\Delta$	Buhar basıncı-sıcaklık eğrisinin eğimi (kPa/ $^{\circ}C$ )
$\gamma$	Psikrometrik sabit. (kPa/ $^{\circ}C$ )

## ŞEKİLLER DİZİNİ

## Sayfa No

Şekil 1.1. Büyük Menderes Havzası ve çalışma alanı sayısal yükseklik haritası.....	3
Şekil 1.2. Çalışma alanı ve yakın çevresindeki meteoroloji istasyonları haritası .....	5
Şekil 1.3. Türkiye üzerinde bulut örtüsü. ....	7
Şekil 1.4. Uydu verilerinin sağlandığı NASA'ya ait web sayfası.....	8
Şekil 1.5. MODIS koordinatlandırma programı (MRT).....	8
Şekil 1.6. Corine toprak örtüsü haritası .....	10
Şekil 1.7. Küresel su döngüsü.....	13
Şekil 1.8. Basitleştirilmiş VI-Ts üçgeni.....	18
Şekil 1.9. Yüzey enerji akısının dağılımı.....	19
Şekil 2.1. İnceleme alanı 166. gün albedo haritası .....	23
Şekil 2.2. Net radyasyonun elde edilme şeması.....	24
Şekil 2.3. İnceleme alanı 166. gün net radyasyon haritası .....	24
Şekil 2.4. Güneş ışınlarının geliş açısı .....	25
Şekil 2.5. İnceleme alanı 166. gün yayımlanan uzun dalga radyasyon haritası.....	27
Şekil 2.6. İnceleme alanı 166. gün yansıyan uzun dalga radyasyon haritası .....	28
Şekil 2.7. İnceleme alanı 166. gün toprak ısı akısı haritası .....	30
Şekil 2.8. İnceleme alanı 166. gün hissedilir ısı akısı haritası .....	30
Şekil 2.9. dT hesaplaması için Excel tablosu.....	33
Şekil 2.10. Hissedilir ısı akısı hesaplama şeması.....	33
Şekil 2.11. Penman-Monteith buharlaşma-terleme hesaplama programı.....	35
Şekil 2.12. İnceleme alanı 166. günlük toplam BT haritası.....	37
Şekil 2.13.a. İnceleme alanı aylık BT haritası (Nisan) .....	39
Şekil 2.13.b. İnceleme alanı aylık BT haritası (Mayıs).....	40
Şekil 2.13.c. İnceleme alanı aylık BT haritası (Haziran) .....	41
Şekil 2.13.ç. İnceleme alanı aylık BT haritası (Temmuz).....	42
Şekil 2.13.d. İnceleme alanı aylık BT haritası (Ağustos) .....	43
Şekil 2.13.e. İnceleme alanı aylık BT haritası (Eylül).....	44
Şekil 3.1. Çalışma alanındaki zeytinlikler ve doğrulama noktaları .....	48
Şekil 3.2. Yersel BT ve METRIC değerleri (mm/ay) Haziran 2010 .....	53
Şekil 3.3. Yersel BT ve METRIC değerleri (mm/saat)15 Haziran 2010 .....	53
Şekil 3.4. Yersel BT ve METRIC değerleri (mm/gün)15 Haziran 2010.....	53
Şekil 3.5. Bafa Gölü METRIC gerçek BT ve Kuşadası A sınıfı günlük buharlaşma tavası değerlerinin karşılaştırılması .....	55

Şekil 3.6. Bafa Gölü ve Kuşadası A sınıfı aylık buharlaşma tavaşı değerleri grafiği .....	56
Şekil 3.7. Eğim-Baki-BT ilişkisi (2010 yılı 166. Gün) .....	57
Şekil 3.8. Aylık BT-eğim ilişkisi .....	57
Şekil 3.9. Günlük BT-eğim ilişkisi .....	58
Şekil 3.10. Eğim-albedo ilişkisi .....	58
Şekil 3.11. Çalışma alanı toprak kullanımı .....	59
Şekil 3.12. BT-Toprak kullanımı ilişkisi .....	59
Şekil 3.13. Aylık BT'nin bakıya göre dağılımı .....	60
Şekil 3.14. MGM Kuşadası meteoroloji istasyonu gözlem parkı görüntüsü .....	61

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Çalışma alanı ve yakınındaki meteoroloji istasyonlarına ait veriler .....	4
Çizelge 1.2. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri ve özellikleri .....	6
Çizelge 1.3. Çalışmada işlenen uydu görüntülerinin tarihleri .....	6
Çizelge 1.4. Corine arazi örtüsü sınıfları .....	11
Çizelge 1.5. Corine Türkiye projesi ek sınıfları .....	12
Çizelge 1.6. Uzaktan algılama ile BT tahmininde kullanılan çeşitli yöntemlerin karşılaştırılması .....	19
Çizelge 2.1. Örnek $z_{om}$ değerleri.....	31
Çizelge 2.2. Penman-Monteith Formülü ASCE standartları katsayıları .....	36
Çizelge 2.3. ETrF değerinin temsil aralığı .....	45
Çizelge 3.1. Zeytin ağacı için aylık Kc değerleri .....	46
Çizelge 3.2. Karşılaştırma noktalarının koordinatları .....	49
Çizelge 3.3. Karşılaştırma noktaları (1-10) için belirlenen METRIC tabanlı BT değerleri ve bunların yersel gözlem tabanlı BT değerine oranları (saatlik) .....	50
Çizelge 3.4. Karşılaştırma noktaları (1-10) için belirlenen METRIC tabanlı BT değerleri ve bunların yersel gözlem tabanlı BT değerine oranları (günlük) .....	51
Çizelge 3.5. Karşılaştırma noktaları (1-10) için belirlenen METRIC tabanlı BT değerleri ve bunların yersel gözlem tabanlı BT değerine oranları (aylık) .....	52
Çizelge 3.6. Bafa Gölü için METRIC ve buharlaşma tavaşı verileri karşılaştırması (günlük) .....	54
Çizelge 3.7. Bafa Gölü için METRIC gerçek BT ve A sınıfı tava gerçek BT değerleri karşılaştırması (aylık) .....	55
Çizelge 3.8. Toprak kullanımına göre BT değişimi .....	59

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Amaç

Buharlaşıma- terleme (BT) hidrolojik çevrimin en önemli parametrelerinden birisidir. BT yer ve zaman ölçeklerinde sıcaklık, rüzgar, toprak örtüsü, toprak nemi, bakı ve eğim gibi pek çok parametreye bağlı olarak değişim göstermektedir. Genel olarak BT belirlenmesi noktasal olarak hesaplanan BT değerinin, bitkilere göre deneysel olarak belirlenmiş katsayılar yardımıyla gerçek BT'ye dönüştürülmesi yoluyla yapılmaktadır. Günümüzde uzaktan algılama teknolojilerindeki gelişmeler neticesinde daha düşük zaman ve yer çözünürlüğünde elde edilen uzaktan algılama verilerinin kullanılmasıyla BT'nin havza ölçeğinde, tam dağılımlı olarak ve daha hassas belirlenebilmesi mümkün olmaktadır. Hidrolojinin en temel güncel problemi, hidrolojik çevrim parametrelerinin tam dağılımlı olarak ve yüksek zaman çözünürlüğünde belirlenmesidir.

Bu çalışmada Aşağı Büyük Menderes Havzası'nda meteoroloji gözlemleri ve uydu verileri kullanılarak gerçek BT dağılımının elde edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada METRIC (Mapping Evapotranspiration at High Resolution with Internalized Calibration-İç Kalibrasyonla Yüksek Çözünürlükte BT'nin Haritalanması) yöntemi kullanılmıştır. METRIC yöntemi enerji dengesi prensibine dayandığından, çalışma alanında ilgili periyoda ait enerjinin yüzey ve atmosfer ara yüzünde dağılımı da görülmüş olmaktadır. Gerçek BT belirlendikten sonra yer gözlemleriyle karşılaştırma yapılarak üretilen BT haritalarının geçerliliği yorumlanmıştır.

Giriş bölümünde çalışma alanı, geçmişte yapılmış çalışmalar, uzaktan algılama ile BT belirlenmesine ilişkin diğer yöntemler, BT'nin geleneksel belirleme yöntemleri konuları açıklanmıştır. 2. Bölümde çalışma yöntemi olarak belirlenen METRIC yöntemini ve mevcut verilerle çalışma alanına uygulanması konusu ayrıntılı olarak açıklanmıştır. 3. Bölümde üretilen BT haritalarının mevcut noktasal ölçümlerle karşılaştırmaları, eğim, albedo ve bakı ile BT arasındaki ilişkiler incelenmiş ve 4. Bölümde sonuç ve öneriler sunulmuştur.

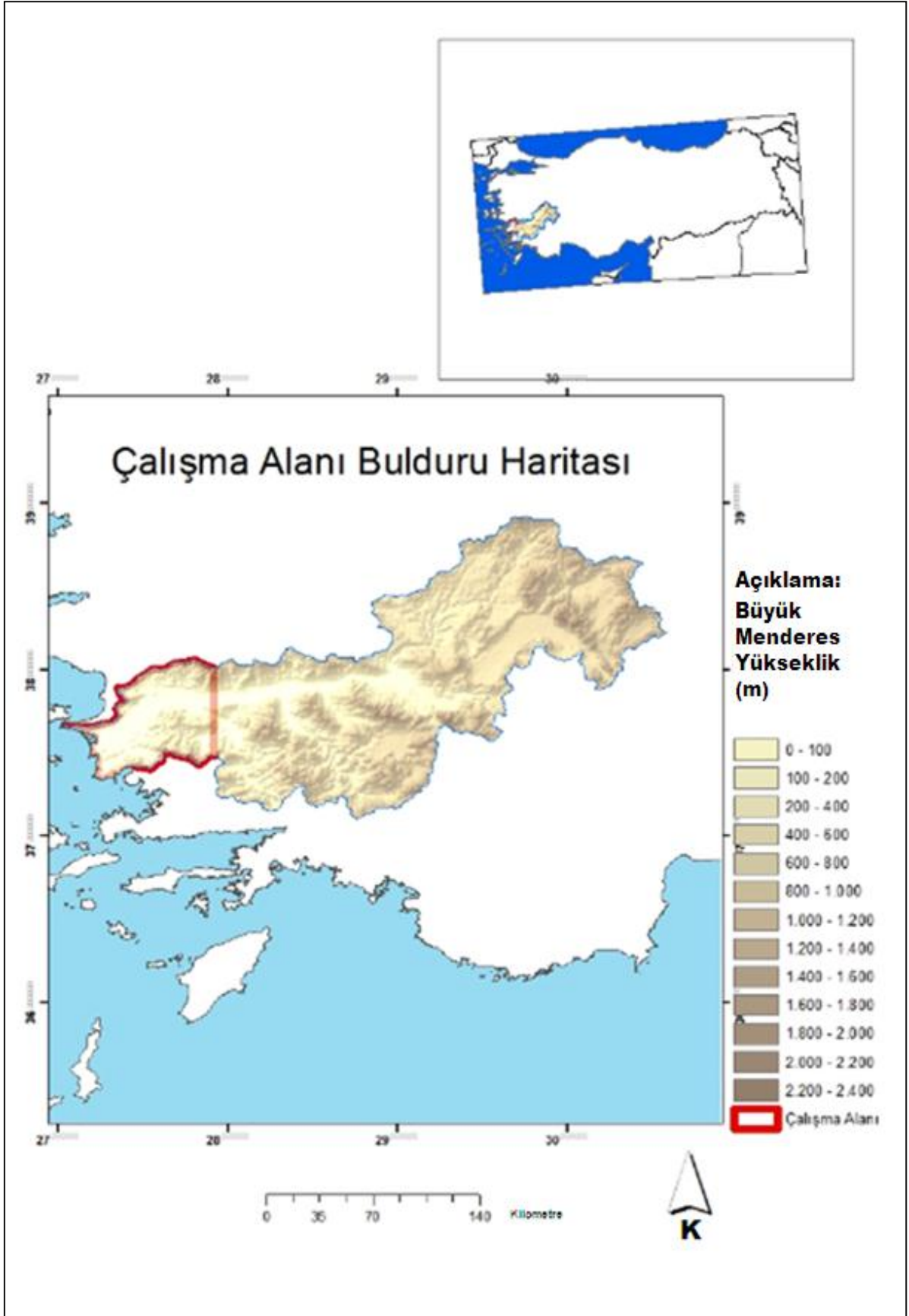
## 1.2. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, 37.36°-38.06° kuzey enlemleri ile 27.03°-27.93° doğu boylamları arasında yer almaktadır. Çalışma alanına ait sayısal yükseklik haritası ve çalışma alanı Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Çalışma alanı 3560 km<sup>2</sup>'dir. Havzada yoğun olarak

pamuk üretimi yapılmaktadır. Bu nedenle çalışma dönemi olarak pamuk ekiminden hasadına kadar uzanan süreyi kapsayacak biçimde 1 Nisan-30 Eylül tarihleri arası seçilmiştir.

Çalışma alanında bulunan Aydın meteoroloji istasyonu verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık 17.6°C, aylık ortalama en düşük sıcaklık 8.1°C ve aylık ortalama en yüksek sıcaklık 30.7°C olarak ölçülmüştür. Aydın'da yıllık ortalama yağış miktarı 627mm'dir. Açık su yüzeyinden olan yıllık toplam buharlaşmanın uzun yıllar ortalaması ise 1378mm'dir.

Büyük Menderes Havzası deniz seviyesinden başlayarak 2000 metre kotlarına kadar uzanan bir topoğrafyaya sahiptir. Büyük Menderes Havzasında Aydın ili Akdeniz iklimini, Uşak ili karasal iklimi, Denizli ili ise her iki iklimin geçiş bölgesi özelliklerini göstermektedir. Yüzey enerji dengesi eşitlikleri net radyasyonun hesaplanmasında eğim ve bakıdan büyük oranda etkilenmektedirler. Sayısal yükseklik haritaları kullanılarak eğim ve bakının hesaplanması ve hesaplamaların düzeltilmesi mümkündür. Bununla birlikte, sayısal yükseklik haritasının çözünürlüğü ve sahayı temsili önem kazanmaktadır. Düz alanlar için uzaktan algılama ile BT tahminine ilişkin pek çok çalışma yapılmıştır. Havzada çalışma sonuçlarının doğruluğunun değerlendirilmesi için ölçüm ağının yetersiz olması, lizimetre ölçümlerinin bulunmaması ve radyasyon ölçümlerinin yetersiz olması düz alanlarda çalışmayı zorunlu kılmıştır.



Şekil 1.1. Büyük Menderes Havzası ve çalışma alanı sayısal yükseklik haritası

### 1.3. Meteoroloji Gözlemleri

METRIC yönteminin uygulanması için çalışma dönemi içerisinde belirli aralıklarla işlenmesi planlanan bulutsuz günlere ait saatlik veriler ve buna ilave olarak tüm periyoda ait günlük meteorolojik verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Çizelge 1.1’de çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonları verilerinin dökümü sunulmuştur. Şekil 1.2’de çalışmada kullanılan çalışma alanı içindeki ve civarındaki meteoroloji istasyonları sunulmuştur.

Çizelge 1.1. Çalışma alanı ve yakınındaki meteoroloji istasyonlarına ait veriler

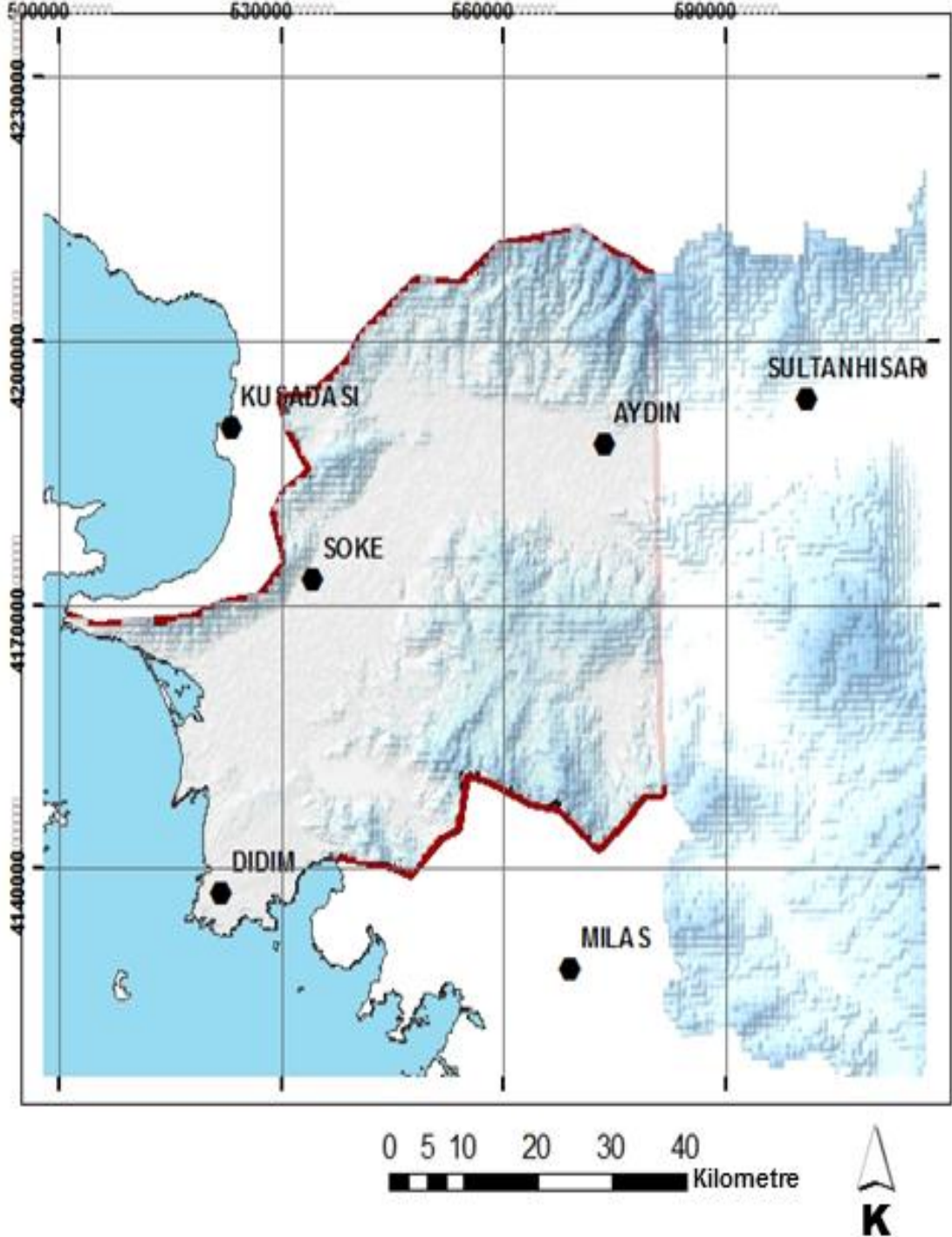
Parametreler	Kuşadası	Söke	Didim	Aydın	Milas	Sultanhisar
Kot (m, deniz seviyesi)	22	75	33	56	52	73
Enlem	37° 51' 38"	37° 42' 16"	37° 23' 00"	37° 50' 27"	37° 18' 10"	37° 53' 05"
Boylam	27° 15' 55"	27° 23' 21"	27° 15' 00"	27° 50' 15"	27° 46' 51"	28° 09' 02"
Yağış Değeri	Günlük	Günlük	Günlük	Günlük	Günlük	Günlük
Bulutluluk Değerleri	Saatlik	Saatlik	Saatlik	Saatlik	Saatlik	Saatlik
Ortalama Sıcaklık	Günlük	Saatlik	Günlük	Saatlik	Günlük	Günlük
Maksimum Sıcaklık	Günlük	Günlük	Günlük	Günlük	Günlük	Günlük
Minimum Sıcaklıklar	Günlük	Günlük	Günlük	Günlük	Günlük	Günlük
Ortalama Aktüel Buhar Basıncı	Günlük	Saatlik	Günlük	Günlük	Günlük	Günlük
Ortalama Rüzgâr Hızı Değerleri	Günlük	Saatlik	Günlük	Günlük	Günlük	Günlük
Açık Su Yüzü Buharlaştırması Değerleri	Günlük	Günlük	Günlük	Günlük	Günlük	Günlük
Ortalama Basınç	Günlük	Günlük	Günlük	Günlük	Günlük	Günlük

### 1.4. Uydu Verileri

MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer-Orta çözünürlükte görüntüleme aygıtı) Amerika Birleşik Devletleri'nin NASA (Ulusal Havacılık ve Uzay Ajansı) kuruluşuna ait Aqua ve Terra uydularında bulunan yer gözlem sensörüdür. Terra uydusu ekvator çizgisini kuzeyden güneye doğru öğlen saatlerinde ve Aqua uydusu ise ekvatoru güneyden kuzeye öğleden sonra geçmektedir. Bu çalışmada çalışma alanı üzerinden 09 GMT civarında geçen



Terra uydusu görüntüleri kullanılmıştır. MODIS sensörü 36 farklı banda sahiptir. Hem ham veriler hem de ürüne dönüştürülmüş biçimde kullanıma hazır ikincil ürünler mevcuttur. Çalışmada kullanılan uydu görüntülerinin zaman ve alan çözünürlükleri Çizelge 1.2'de sunulmuştur.



Şekil 1.2. Çalışma alanı ve yakın çevresindeki meteoroloji istasyonları konum haritası

Çizelge 1.2. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri ve özellikleri

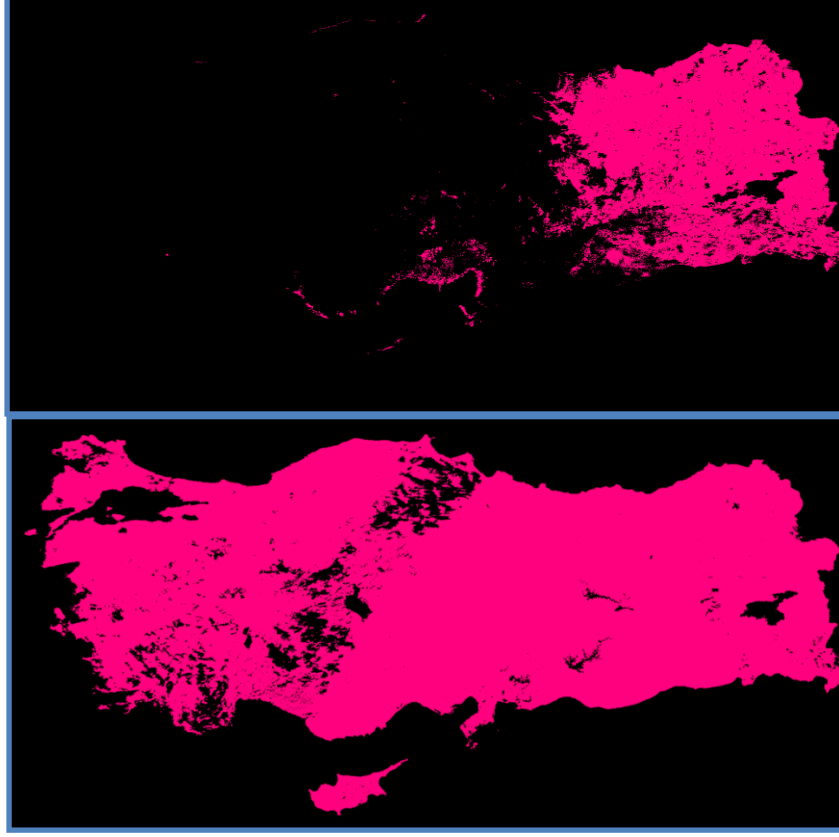
Kısaltma	Adı	Alansal çözünürlüğü	Zamansal çözünürlüğü
MOD13	NDVI (Bitki İndeksi Normalize Farkı)	1 km	16 günlük
MOD15	LAI (yaprak alan indeksi)	1 km	8 günlük
MOD11	Sıcaklık ve emissivite	1 km	Günlük
MOD09	Reflektans	1 km	Günlük
MOD35	Bulut maskesi	1 km	Günlük

İşlenecek uydu görüntülerinin belirlenmesinde en önemli etken bulutluluktur. Bulutluluk, termal bantların algılamalarında büyük hatalara neden olmaktadır. Bu nedenle, çalışmada çalışma alanı üzerinde tamamen bulut olmayan günlere ait uydu verileri kullanılmıştır (Çizelge 1.3).

Çizelge 1.3. Çalışmada işlenen uydu görüntülerinin tarihleri

Tarih	Yılın Günü	Tarih	Yılın Günü
23.04.2010	113	14.07.2010	195
03.05.2010	123	02.08.2010	214
14.05.2010	134	17.08.2010	229
30.05.2010	150	29.08.2010	241
15.06.2010	166	11.09.2010	254
02.07.2010	183		

Günlerin seçilmesinde çalışma alanı ve civarında işletilmekte olan meteoroloji gözlem istasyonlarına ait saatlik bulutluluk verileri ve MOD35 bulut örtüsü ürünü birlikte değerlendirilmiştir. Şekil 1.3'te 123. ve 64. günlere ait Türkiye üzerindeki bulut durumu sunulmaktadır. 123. günde batı bölgelerde hiç bulut örtüsü bulunmamaktadır. Çalışma periyodunda görüntüsü işlenmek üzere belirlenen bulutsuz günler, yüzeyde meydana gelecek biyofiziksel değişimleri temsil edebilmesi açısından yakın aralıklarla seçilmiştir. Bitkilerin büyüme evrelerine göre albedoları ve buna bağlı olarak üzerlerine düşen radyasyona karşı gösterecekleri tepki farklı olmaktadır.

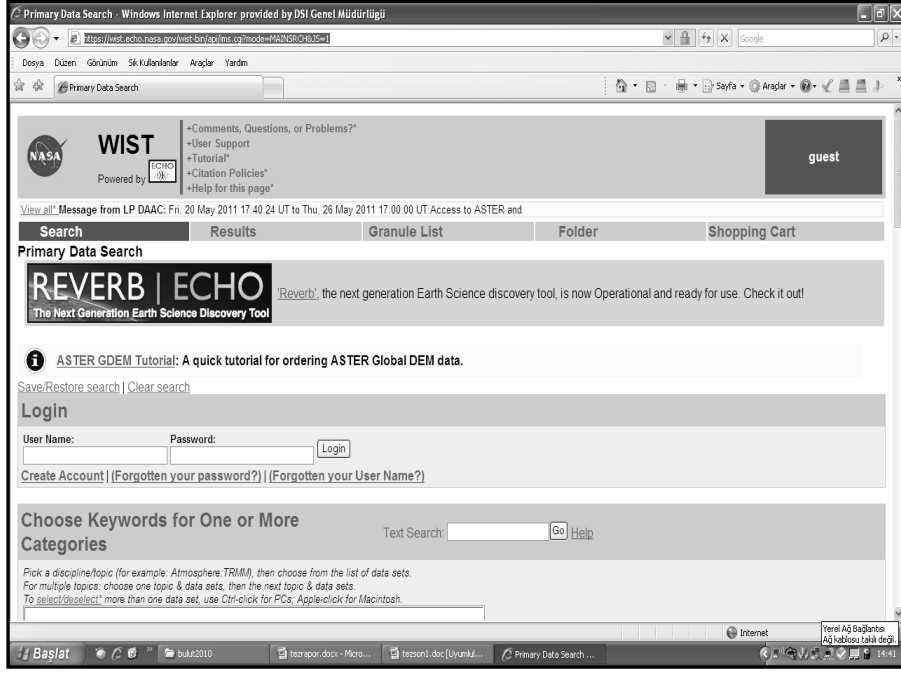


Şekil 1.3. Türkiye üzerinde bulut örtüsü (123. gün üstte, 64. gün altta; kırmızı renk bulutu ifade etmektedir.)

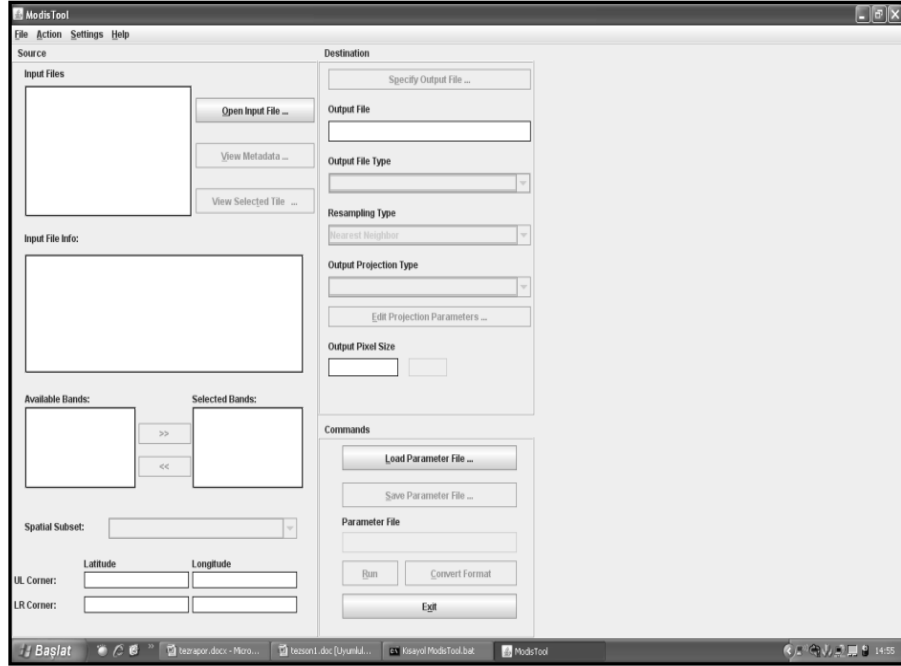
#### 1.4.1. Uydu Verilerinin Temini

MODIS sensöründen üretilen uydu verileri NASA'ya ait <https://wist.echo.nasa.gov/> web adresinden temin edilmiştir. Şekil 1.4'te web sayfasının bilgisayar ekran görüntüsü sunulmuştur.

Kullanılan uydu görüntüleri MODIS Koordinatlandırma Aracı (MODIS Reprojection Tool-MRT) yardımıyla, UTM projeksiyon sistemi ve WGS 84 Datumu kullanılarak koordinatlandırılmıştır. MRT ara yüzüne ait görüntü Şekil 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.4. Uydu verilerinin sağlandığı NASA'ya ait web sayfası (18 Mayıs 2011)



Şekil 1.5. MODIS koordinatlandırma programı (MRT)

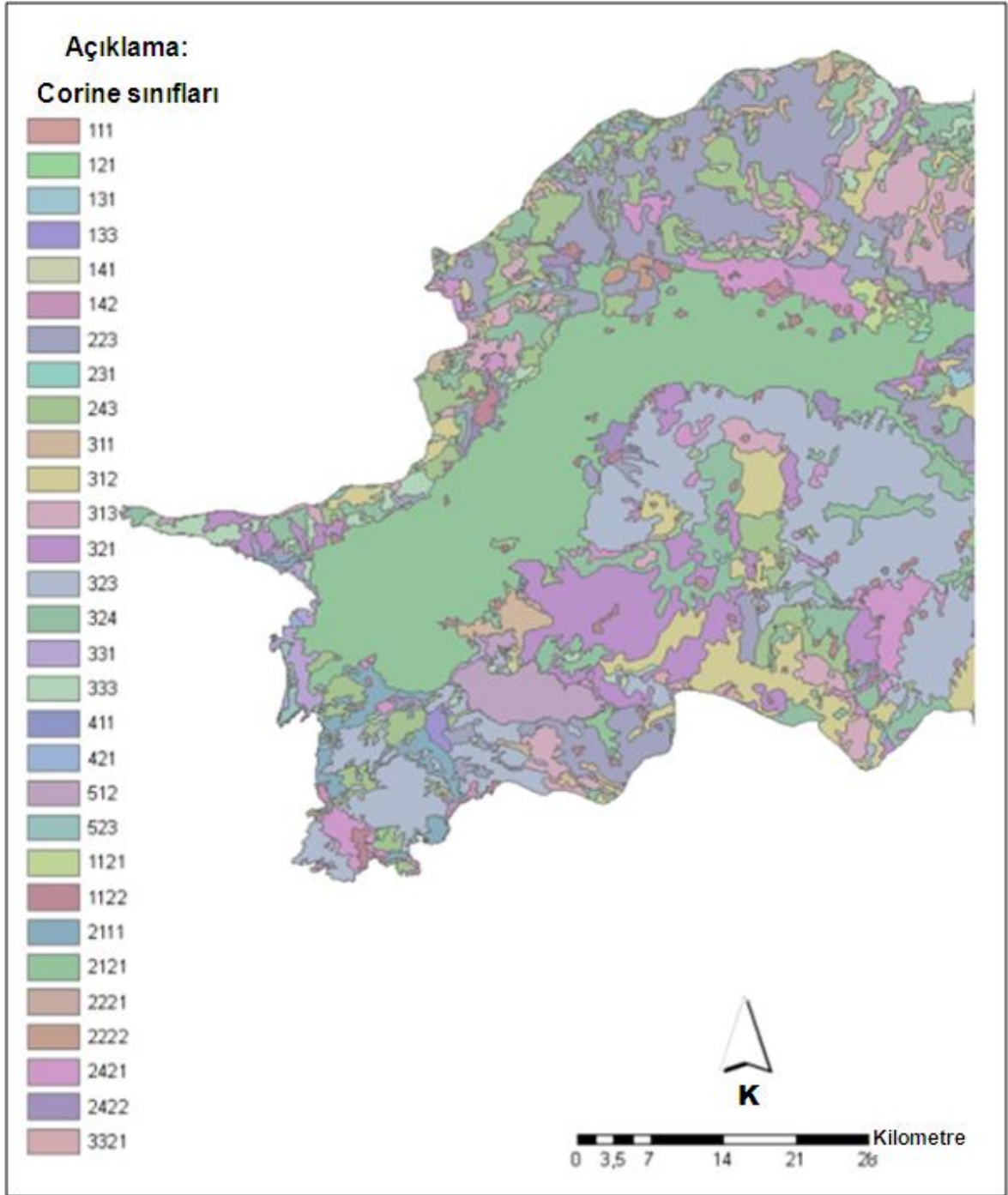
Uydu verilerine ilişkin offset ve ölçek bilgilerine erişim için HDF View (Hierarcial Data Format-Hiyerarşik Veri Yapısı) görüntüleme programı (2.6) versiyonu kullanılmıştır.

#### **1.4.2. MODIS'in Özellikleri**

MODIS, NASA'ya ait dünya gözlem uydularından Terra ve Aqua uydularına takılı olan yer gözlemlerine dönük görüntüleme bant aralıklarına sahip sensördür. Terra uydusunun yörüngesi dünya etrafında kuzeyden güneye doğrudur. Ekvatoru sabah vakitlerinde geçmektedir. Aqua uydusu ise güneyden kuzeye bir yörüngeye sahip olup, ekvatoru öğleden sonra geçmektedir. MODIS sensörü, elektromanyetik spektrumun görünür ve termal bölgelerinde 36 farklı bant aralığında görüntüleme yapmaktadır.

#### **1.5. Toprak Kullanımı Verileri**

CORINE (Coordination of Information on The Environment-Çevre Bilgi Düzeni) Avrupa Çevre Ajansı tarafından üye ülkelerin Çevre Bakanlıklarının yardımıyla toprak örtüsü haritaları üretilmektedir. Çalışma alanına ait toprak örtüsü haritası hakkında ayrıntılar Çizelge 1.4 ve Çizelge 1.5'te sunulmuştur. Çalışmada kullanılan veriler Orman ve Su İşleri Bakanlığı Corine projesi 2006 yılı ürünleridir. Şekil 1.6'da çalışma alanı toprak kullanım haritası sunulmuştur.



Şekil 1.6. Corine toprak kullanımı haritası

Çizelge 1.4. Corine arazi kullanımı sınıfları

1	Yapay bölgeler	2	Tarımsal alanlar	3	Orman ve yarı doğal alanlar	4	Islak alanlar	5	Su yapıları
1.1	Şehir yapısı	2.1	Ekilebilir alanlar	3.1	Orman	4.1	Karasal bataklık	5.1	Karasal sular
111	Sürekli şehir yapısı	211	Sulanmayan ekilebilen alan	311	Geniş yapraklı ormanlar	411	Bataklıklar	511	Suyolları
112	Dağınık şehir yapısı	212	Sürekli sulanan alanlar	312	İğne yapraklı ormanlar	412	Turbalıklar	512	Su kütleleri
1.2	End.tic.ve ulaşım birimleri	213	Pirinç tarlaları	313	Karışık ormanlar	4.2	Denize yakın ıslak alanlar	5.2	Deniz suları
121	Endüstriyel veya ticari alanlar	2.2	Sürekli ürünler	3.2	Maki veya otsu bitki	421	Tuz bataklığı	521	Kıyı lagünleri
122	Karayolları, demiryolları ve ilgili alanlar	221	Üzüm bağları	321	Doğal çayırliklar	422	Tuzlalar	522	Nehir ağzları
123	Limanlar	222	Meyve bahçeleri	322	Fundalıklar	423	Gel-git ile oluşan düzlükler	523	Nehir ve okyanus
124	Havaalanları	223	Zeytinlikler	323	Sklerofil bitki örtüsü				
1.3	Maden, boşaltım, inşaat sahaları	2.3	Meralar	324	Bitki değişim alanları				
131	Maden çıkarım sahaları	231	Meralar	3.3	Bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar				
132	Boşaltım sahaları	2.4	Karışık tarım alanları	331	Sahil, kumsal, kumluk				
133	İnşaat sahaları	242	Karışık tarım alanları	332	Çıplak kayalıklar				
1.4	Yapay tarımsal olmayan yeşil alan	243	Doğal bitki örtüsü ile bulunan tarım alanları	333	Seyrek bitki alanları				
141	Yeşil şehir alanları			334	Yanmış alanlar				
142	Spor ve eğlence alanları								

Çizelge 1.5. Corine Türkiye projesi ek sınıfları

Kod	Sınıf Adı
1121	Kesikli Şehir Yapısı
1122	Kesikli Kırsal Yapı
2111	Sulanmayan Ekilebilir Alan
2112	Sulanmayan Sera
2121	Sulanan Alan
2122	Sürekli Sulanan Ekilebilir Alan, Sera
2221	Sulanmayan Meyve Bahçesi
2222	Sürekli Sulanan Meyve Bahçesi
2421	Sulanmayan Karışık Tarım Alanı
2422	Sürekli Sulanan Karışık Tarım Alanı
3321	Çıplak Kaya
3322	Çok Yukarılarda Çıplak Kaya

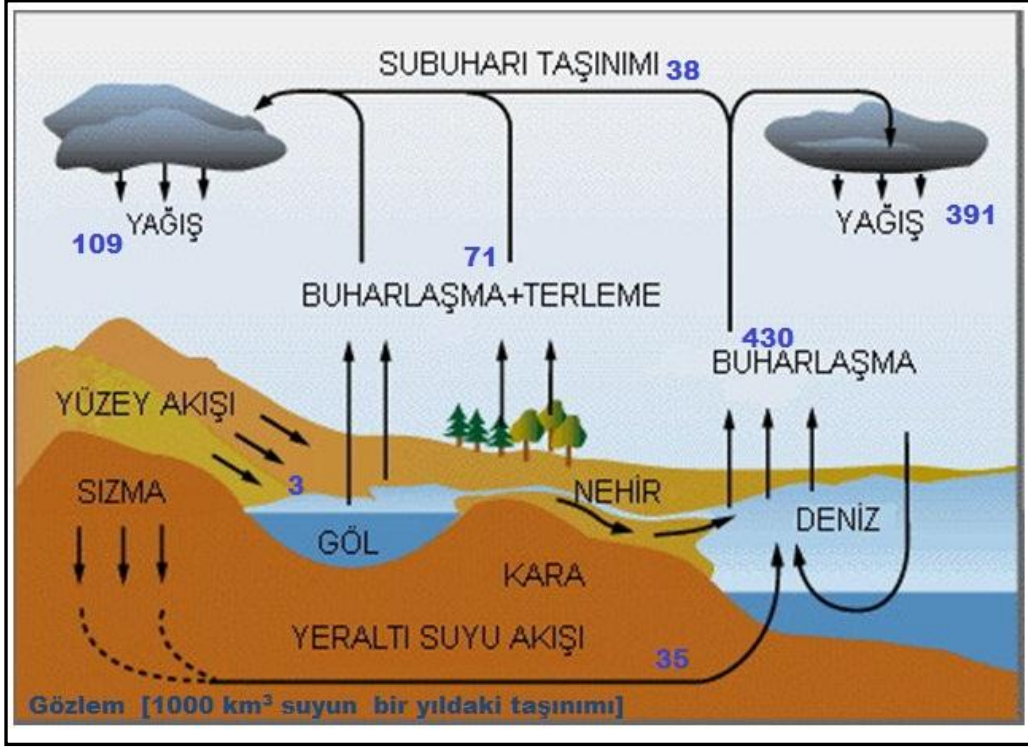
### 1.6. Önceki Çalışmalar

BT; açık su yüzeyleri ile topraktan buharlaşma ve bitki yüzeyinden terleme sonucu atmosfere su transferini ifade eden hidrolojik çevrime ait bir süreçtir. BT yağıştan sonra hidrolojik döngünün en önemli bileşenidir. Global ölçekte karasal yüzeylerden olan BT yağışın %60'ı kadardır (Zhaou-Liang et al.,2009). BT'nin geleneksel ölçüm yöntemleri buharlaşma tavaları, Bowen oranı, Eddy difüzyon yöntemi ve lizimetrelerdir. Geleneksel yöntemlerle yapılan ölçümler havza ölçeğine enterpole edildiğinde hatalara neden olmaktadır. BT iklim, bitki örtüsü, toprak nemi, güneş radyasyonu, rüzgâr ve hava sıcaklığı başta olmak üzere, diğer pek çok değişkenden büyük oranda etkilenmektedir. Konum ve zamanla büyük değişim gösteren BT'nin belirlenmesi için uzaktan algılama yöntemlerinin kullanılması, alan ölçeğinde daha doğru sonuçlar vermektedir (Zhaou-Liang et al.,2009). Uzaktan algılamanın geleneksel yöntemlere göre başlıca avantajları aynı anda geniş alanları kapsayabilmesi, düşük maliyetli oluşu ve ölçüm yapılması mümkün olmayan alanlarda kullanılabilmesidir.

Baumgartner ve Reichel (1975) tarafından ortaya konulan global su döngüsü bütçesi, BT'nin karalar üzerinde oluşan yağışın yaklaşık %65'ine denk geldiğini göstermektedir (Şekil 1.7). Hidrosfer, biyosfer ve atmosfer boyunca su çevrimi ve enerji transferini yönlendiren BT hidroloji, meteoroloji ve tarımda bölgesel ölçekli akım tahmini, yeraltısu beslenimi, büyük ölçekli atmosfer sirkülasyonları, küresel



iklim değişimi ve tarla ölçeğinde sulama planlaması gibi konularda büyük önem taşımaktadır (Idso et al., 1975; Su, 2002). Uzaktan algılama yöntemleri ile BT'nin öngörülmesi son zamanlarda sınır aşan su kullanıcıları ve su kaynakları yöneticileri için sıcak bir gündem maddesidir. (Bastiaansen et al., 2005). Uzaktan algılama ile BT belirleme yöntemleri son 30 yıl içerisinde termal kızıl ötesi verilerin kullanımı ile büyük gelişme göstermiştir (Seguin and Itier, 1983).



Şekil 1.7. Küresel su döngüsü (Değerler  $10^3 \text{ km}^3/\text{yıl}$ , Türkçeye çevrilmiştir, Baumgartner and Reichel,1975)

Penman potansiyel BT eşitliği enerji dengesi eşitliği ile buhar transferi için aerodinamik eşitliğin birleştirilmesi sonucunda türetilmiştir (Penman, 1947; 1956). Daha sonra bu eşitliğe Monteith (1981) tarafından bitki sağak direnci eklenmiştir. Bu yöntemin haricinde meteoroloji gözlemlerinden faydalanılarak 20 farklı yöntem ile BT hesaplamaları yapılabilmektedir. Jensen ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda en sağlıklı sonucun Penman-Monteith yöntemi ile elde edildiği belirtilmiştir (Jensen et al., 1990). Bu yöntemlerde BT çim veya kaba yonca için, su stresi yaşanmayan durumlara göre hesaplanmakta ve deneysel yöntemler sonucunda çeşitli bitkiler için belirlenen katsayılar ile çarpılarak gerçek BT değerleri elde edilmeye çalışılmaktadır.

Suyun buharlaşması için enerji gerekmektedir. Suyun buharlaşması için kullanılan enerji büyüklüğünün belirlenmesi BT büyüklüğünün belirlenmesini sağlar. Enerjinin korunumu kanunu, yüzey üzerine uygulandığında gizli ısı akısı bir kalan olarak BT miktarını verir. Uydu görüntüleri ve buna ek olarak yersel meteorolojik (sıcaklık, buhar basıncı, rüzgar vb) ve yere ait fiziksel özellikler (toprak kullanımı, NDVI) kullanarak enerji dengesi eşitliğini çözmek mümkündür.

### 1.6.1. Buharlaşma-Terleme Ölçüm Yöntemleri

BT'nin belirlenmesinde en yaygın yaklaşımlar lizimetreler, su dengesi yöntemi, enerji dengesi yöntemi ve Eddy korelasyon yöntemidir.

**a) Lizimetreler:** Üzerinde doğal koşullarda bitki yetişen içi toprak dolu bir kap olup, BT yolu ile kaybolan suyun ölçümüne yarar. Ölçüm sistemleri kullanılacak yerin özelliklerine göre değişebilmektedir. Sabit su tablasının olduğu bölgelerde içerisindeki su seviyesinin aynı tutulduğu lizimetreler, değişken su tablası halinde fazla suyun alınması yöntemiyle çalışan lizimetreler, toprak nemi ve yağışın hesaplanmasıyla BT ölçümü yapan lizimetreler ve son olarak terazili lizimetreler mevcuttur.

**b) Su Dengesi Yöntemi:** Büyük alanlar için kullanılan bir yöntemdir. Havzanın yağış, akış verileri ve havzada tutulan su miktarı bilindiğinde, BT değeri belirlenir.

$$P = Q + E + S \quad (1.1)$$

P: Yağış      Q: Akış      E: Buharlaşma-Terleme      S: Tutulma

**c) Enerji Dengesi Yöntemi:** Yüzey enerji dengesi bileşenlerinin hesaplanması prensibine dayanır. En çok uygulanan yöntem Bowen oranı yöntemidir. Bowen oranı; hissedilir ısı ile gizli ısı arasındaki enerji akılarının bir ölçüsünü ifade eder.

$$B = H / LE \quad (1.2)$$

B: Bowen oranı      H: Hissedilir ısı akısı      LE: Gizli ısı akısı

Bowen oranı ile Evaporatif fraksiyon arasında da;

$EF = 1 / (1 + B)$  ilişkisi mevcuttur.

**d) Eddy Korelasyonu Yöntemi:** Bu yöntemde su buharının ortalama düşey akısı;

$$E^*=0.622/ P_xq_x\overline{w'_xe'} \quad (1.3)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Eşitlikte P hava basıncını q havanın yoğunluğunu, w belirli bir yükseklikte düşey yönde ortalama rüzgâr hızından olan sapmayı ve e ise aynı yükseklikteki suyun ortalama kısmi buhar basıncından olan sapmayı ifade etmektedir. Ölçümler saniyenin onda biri aralığında yapılmaktadır.

### **1.6.2. Buharlaştırma-Terleme Hesaplama Yöntemleri**

BT hesaplama yöntemleri temelde 4 ana grupta değerlendirilebilir. Genelde hesaplanan potansiyel BT olup çeşitli bitkiler için hesaplanan katsayılar ile hesaplanan BT değerinin çarpılması sonucunda gerçek BT değerine ulaşılmaktadır. Dönüşüm katsayıları deneysel çalışmalar sonucunda çeşitli ürünler için yıllık olarak, mevsimlik olarak veya aylık olarak üretilmektedir.

#### **1.6.2.1. Birleştirilmiş Yöntem**

Penman (1948) tarafından önerilen birleştirilmiş yöntem, daha sonra bu yönteme Monteith (1981) tarafından aerodinamik ve yüzey direncini dikkate alan bileşenlerin katılmasıyla Penman-Monteith eşitliği olarak adlandırılmıştır. Nemli koşullar için birleştirilmiş yöntemde bir diğer eşitlik Priestley ve Taylor (1972) tarafından önerilmiştir.

#### **1.6.2.2. Radyasyon Yöntemleri**

Yüzeğe gelen radyasyon ile BT arasında kurulan deneysel ilişkiden elde edilen eşitliklerdir. Jensen ve Haise (1963), Hargreaves ve Samani (1982,1985), Doorenbos ve Pruitt (1977) ve Turc(1961) tarafından çeşitli eşitlikler önerilmiştir.

#### **1.6.2.3. Sıcaklık Yöntemleri**

Thornthwaite (1948) ABD'nin orta-doğu kesimleri vadilerinin su dengesi çalışmalarından belirlediği BT ile aylık ortalama hava sıcaklığını ilişkilendirmiştir. Blaney ve Cridle (1950) tarafından da bir eşitlik önerilmiştir.

#### **1.6.2.4. Buharlaştırma Tavası Yöntemleri**

Buharlaştırma tavası verileri BT hesaplanmasında basit bir oransal ilişki yardımıyla kullanılabilir. Doorenbos ve Pruitt (1977) buharlaştırma tavası verilerinden BT'ye geçiş için ayrıntılı bir rehber hazırlamışlardır. Christiansen ve Hagreavates (1969) tarafından BT ve buharlaştırma tavası arasındaki ilişki üzerine bir çalışma

yapılmıştır. FAO (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü) tarafından dönüşüm katsayılarına ilişkin yayınlanmış tablolar bulunmaktadır (Savva and Franken, 2002).

### **1.6.3. Uzaktan Algılama ile Buharlaştırma-Terleme Belirleme Yöntemleri**

Uzaktan algılama verilerinden faydalanılarak BT'nin öngörülmesi amacıyla kullanılan modeller temelde deneysel yöntemler ve analitik yöntemler olarak 2 ana grupta değerlendirilebilir. Çizelge 1.6'da çeşitli uzaktan algılama yöntemlerinin girdileri, dayandığı prensipler, avantaj ve dezavantajları sunulmuştur.

#### **1.6.3.1. Basitleştirilmiş Deneysel Regresyon Yöntem**

Jackson ve arkadaşları (1977) tarafından Arizona'da sulanan buğdayın BT'si, öğlen saatlerinde ölçülen hava ve yüzey sıcaklığı arasındaki farkla ilişkilendirilmiştir. Bu yöntem daha sonra Casalles ve arkadaşları (1992), Seguin ve Itier 1983, Carlson ve arkadaşları (1995,1989) Nieuwenhuis ve arkadaşları (1985) ile Thunnissen ve arkadaşları (1990) tarafından çeşitli geliştirmeler yapılarak uygulanmıştır. Yöntem günlük toprak ısı akısını ihmal edilebilir kabul etmektedir. Bu konuda yapılan tüm çalışmalar BT değerinin 1 mm civarında bir hata ile hesaplandığını ve bu değer bölgesel ölçekli su temini çalışmalarını için yeterli düzeyde güvenilir bilgi verdiğini göstermiştir (Seguin et al., 1994). Modelin girdileri günün öğlen saatlerine ait yüzey ve hava sıcaklıkları ile net radyasyondur.

#### **1.6.3.2. Enerji Dengesi Eşitliğinin Kalanı Yöntemleri**

##### **1.6.3.2.1. Tek Kaynaklı Yöntemler**

Yüzey enerji dengesi toprak-bitki ve atmosfer arasındaki gizli ısı (LE), hissedilir ısı (H), toprak ısı akısı (G) ile net radyasyon (Rn) arasındaki ilişkiyi belirler.

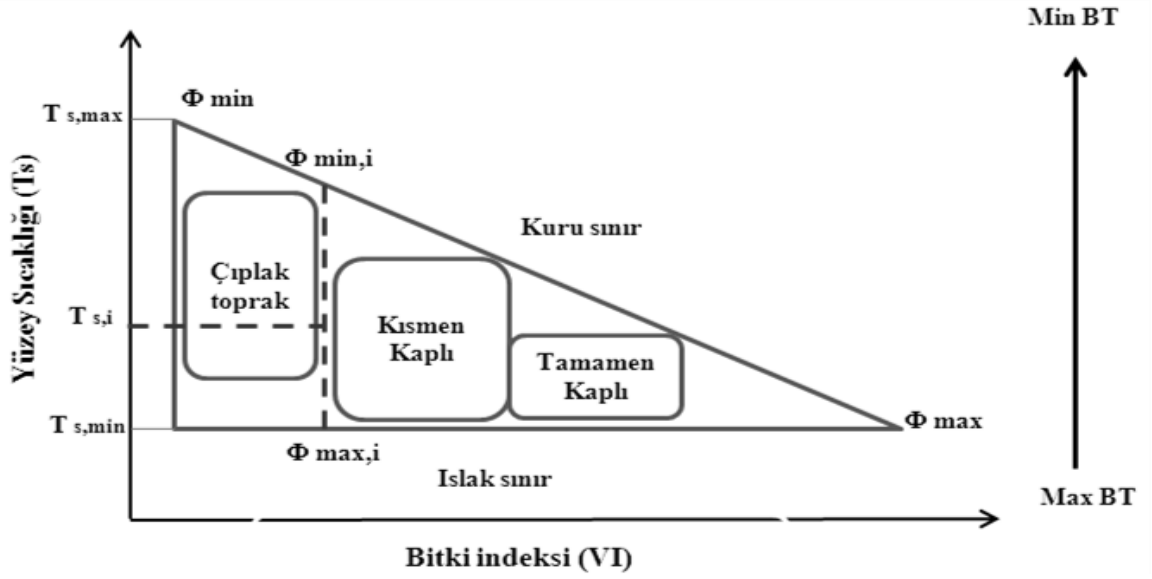
$$LE = Rn - G - H \quad (1.4)$$

Eşitliğin her bir parametresi Rn, G ve H uzaktan algılama ile elde edilebilen yüzey sıcaklığı, albedo, NDVI ve LAI gibi parametreler ile meteoroloji istasyonlarından elde edilen rüzgar hızı, nem, basınç gibi değişkenler yardımıyla hesaplanabilmektedir. Son yirmi yılda tek kaynaklı yöntem esasına dayalı pek çok model önerilmiştir. Bunlardan SEBI (Surface Energy Balance Index-Yüzey Enerji Denge İndeksi) Menenti ve Choudhury (1993) tarafından önerilmiştir. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm-Yüzey Enerji Denge Algoritması)

(Bastiaansen et al., 1998), S-SEBI (Simplified-Surface Energy Balance Index-Basitleştirilmiş Yüzey Enerji Denge İndeksi) (Roerink et al., 2000), SEBS (Surface Energy Denge Sistemi-Yüzey Enerji Denge Sistemi) (Su, 2002), METRIC (Allen et al., 2007) yöntemleri yine tek kaynaklı yöntemlerdir. Tek kaynaklı yöntemler BT'nin belirlenmesinde sıcak ve soğuk hücreler arasındaki sıcaklık farkına dayanmaktadırlar. Tek kaynaklı yöntemlerde genellikle sıcak hücrede BT sıfır olarak değerlendirilmektedir. Soğuk hücre çevresinden ısı alarak buharlaşmanın gerçekleştiği, sıcak hücre ise buharlaşmanın gerçekleşmediği alandır. Bunlardan SEBAL yöntemi minimum yere dayalı ölçümlerle saha ve havza ölçeklerinde, değişik iklim koşulları altında dünya çapında 30'dan fazla ülkede denenmiş, günlük çözünürlükte %85 ve mevsimlik çözünürlükte %95 doğrulukta sonuçlar vermiştir. (Bastiaansen et al., 1998; 2000; 2005; Allen et al., 2001). SEBAL yönteminde hissedilir ısı akısı hesaplaması yapılırken yüzey ve yüzeye yakın hava sıcaklığı arasındaki fark ( $dT$ ) doğrusal kabul edilmekte, sıcak ve soğuk hücreler arasında kurulan doğrusal regresyon denklemi yüzey ve yüzeye yakın hava sıcaklığı arasındaki değişimi ifade etmektedir. SEBAL İspanya, Sri Lanka, Çin ve ABD'nin olduğu pek çok ülkede bitki katsayılarının belirlenmesi ve havza ölçeğinde sulama performansının değerlendirilmesi çalışmalarında kullanılmıştır (Bastiaansen et al., 2005; Singh et al., 2008).

Teixeira ve arkadaşları (2009) Brezilya'da yarı kurak olan Aşağı-orta San Francisco Nehir havzasında SEBAL yöntemi ile BT ve su bütçesini değerlendirmişlerdir. SEBAL yönteminin en önemli avantajı az miktarda yer gözlemine ihtiyaç duymasıdır. Dezavantajı ise genellikle az eğimli sahalarda doğru sonuçlar vermesidir (Zhou-Liang et al., 2009). Yüksek eğim, uzaktan algılama verilerinden özellikle albedonun belirlenmesini güçleştirmektedir.

BT belirlenmesi için önerilen bir diğer yöntem ise Goward ve arkadaşları tarafından (1985) önerilen bitki indeksi ve yüzey sıcaklığı arasında kurulan üçgensel ilişki yöntemidir. Bu yöntemin diğer yöntemlere göre en önemli avantajı yer gözlemleri kullanmamasıdır. Lambin (1996) tarafından yapılan bir çalışmada kullanılan üçgensel ilişki Şekil 1.8'de sunulmuştur.



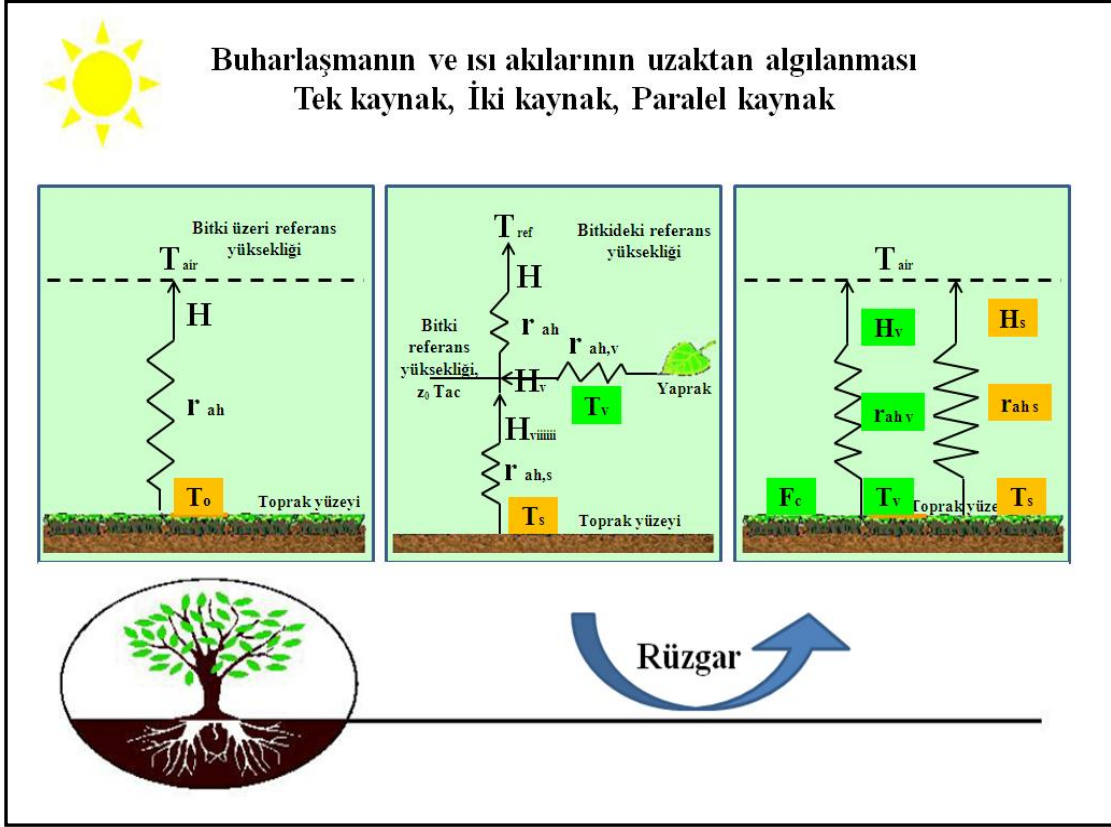
Şekil 1.8. Basitleştirilmiş VI-Ts üçgeni (Lambin, 1996)

Gökdemir ve Arıkan (2003) tarafından enerji dengesi eşitliği kullanılarak Türkiye’de Afyon Akarçay havzasında 1999 su yılı için BT tahminleri üretilmiştir. Sonuçlar uzaktan algılama verileri kullanılarak üretilen veriler ile yer gözlemlerinin ve Penman-Monteith yöntemi kullanılarak belirlenen BT değerlerinin uyumlu olduklarını göstermiştir ( $r^2 = 0.798$ ).

#### 1.6.3.2.2. İki Kaynaklı Modeller

Tek kaynaklı modellerde yer yüzeyi tek ve düzenli olarak değerlendirilmekte iken, iki kaynaklı modellerde yüzey, yeryüzü ve bitki yüzeyi olarak değerlendirilmektedir (Şekil 1.9). Anderson ve arkadaşları (1997) iki kaynaklı modellerin temsil kabiliyetlerinin tek kaynaklı modellere göre daha başarılı olduğunu belirtmişlerdir.

İki kaynaklı modellere örnek olarak Norman ve arkadaşları (1995) tarafından geliştirilmiş olan TSM (Two Source Model-İki Kaynaklı Model) modeli, Anderson ve arkadaşları (1997) tarafından geliştirilen ALEXI (Atmosphere-Land Exchange Energy-Atmosfer-Kara Enerji Takası) modelleri önerilmiştir. Diğer uzaktan algılama BT öngörü modelleriyle karşılaştırıldığında iki kaynaklı modeller değişik arazi yapıları ve hidrometeorolojik koşullar için uygun bulunmaktadır (Kustas, 1999). İki kaynaklı modellerin yüzey koşullarını temsil etme yeteneği daha yüksektir.



Şekil 1.9. Yüzey enerji akısının dağılımı (Türkçeye çevrilmiştir, Su, 2006)

Çizelge 1.6. Uzaktan algılama ile BT tahmininde kullanılan çeşitli yöntemlerin karşılaştırılması (Zhou-Liang et al. 2009)

Yöntem	Ana Girdi	Temel Kabul	Avantaj	Dezavantaj
Basitleştirilmiş Eşitlik	$T_a, T_s, R_n$	1)Günlük toprak ısı akısı ihmal edilebilir. 2)Gün ortasındaki hissedilir ısı akısı günlük mevcut enerjinin türbülans ısı akısına paylaşılmasına etkisini açıklayabilir.	Basitlik	Yere özgü
VI-Ts Üçgeni	$R_n, G, T_s, VI$	1)Toprak nemi ve bitki örtüsünün tüm aralığı çalışma alanında piksel ölçeğinde mevcut kabul edilir. 2) Bulut örtüsü ve atmosferik etkiler yok edilmiştir. 3) Belirli bir bitki için BT Ts ile doğrusal değişim gösterir.	Yersel ölçüm gerekmemektedir	1)Islak ve kuru sınırını belirlemek güçtür. 2)VI-Ts üçgeninin yersel çözünürlüğü büyük verilerde fark edilmesi güçtür.
VI-Ts Yamuğu	$T_a, VPD, u, T_s, V, I, R_n, G$	1)Kuru ve ıslak sınırlar doğrusal çizgilerdir ve VI ile doğrusal değişim gösterirler.	VI ve toprak neminin tüm dağılımının görüntüde bulunması gerekli değildir.	1)Islak ve kuru sınırları belirsizdir. 2)Pek çok yer ölçümüne gerek duyulur.

Yöntem	Ana Girdi	Temel Kabul	Avantaj	Dezavantaj
SEBI	Tpbl, hpbl, u, Ts, Rn, G	1) Kuru sınırı BT'nin sıfır olduğu durumdur. 2) Islak sınır potansiyel olarak buharlaşır.	Ts ve ra'nın LE üzerindeki etkisini doğrudan ilişkilendirir.	Yersel ölçümlere ihtiyaç duyar.
SEBAL	U, za, Ts, VI, Rn, G	1) Ts ve dT arasında doğrusal ilişki 2) En kuru hücrede Bt = 0 3) BT yüzeyden alınabilecek enerjiye göre hesaplanır.	1) En az yer ölçümü 2) Otomatik içsel kalibrasyon 3) Hassas atmosfer düzeltmeleri gerektirmez.	1) Düz alanlara uygulanır. 2) Islak ve kuru hücrelerin belirlenmesinde subjektif değerlendirmeler söz konusudur.
S-SEBI	Ts, α, Rn, G	1) BT verilen bir yüzey albedosu için Ts ile doğrusal değişir. 2) Ts max en az gizli ısıya karşılık gelir. 3) Ts min en çok gizli ısıya karşılık gelir.	Yersel ölçüme gerek duymaz.	Aşırı sıcaklar yere özel olmalıdır.
SEBS	Ta, za, u, Ts, Rn, G	1) Kuru sınırında BT sıfıra eşittir. 2) Islak sınırında BT potansiyel orandadır.	1) Ts ve meteorolojik değişkenlerin belirsizliğinden az etkilenir. 2) Pürüzlülük yüksekliğini değer atamak yerine hesaplar.	1) Pek çok parametre gerektirir. 2) Türbülans ısı akısının hesaplanması karmaşıktır.
METRIC	U, za, Ts, VI, Rn, G	1) Sıcak hücre için BT sıfır alınır. 2) Islak hücre için LE=1.05ETr alınır.	Aynı SEBAL gibi ancak yüzeyin eğimi ve bakışı göz önünde bulundurulabilir.	Sıcak ve soğuk hücrelerin tespitinde belirsizlikler vardır.
TSM	U, za, Ta, Ts, Tc, Fr veya LAI, Rn, G	1) Toprak yüzeyinden olan akılar bitki yapraklarından olan akılara paraleldir. 2) Priestley-Taylor eşitliği bitkinin terlemesi için ilk tahmini verir.	1) Görünümün geometrik etkileri dikkate alınır. 2) Artık rezistans için ampirik düzeltmeler gerekmez.	1) Pek çok yer gözlemi gerekir. 2) Toprak ve bitkinin sıcaklıkları gereklidir.
TSTIM /ALEXI	U, za, dTs, Fr veya LAI, Rn, G	Yüzey sıcaklığı sabah saatlerindeki hissedilir ısınma esnasında zamanla doğrusal değişir.	Atmosferik düzeltmeler ve yüzey emissivitesinin tanımlanması belirgin oranda azalır.	Hissedilir ısıdaki doğrusal artış için termal gözlem zamanlarının optimal eşleşmesi gerekmektedir.



## 2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Çalışmada mevcut meteorolojik veriler, arazi kullanım verileri ve uzaktan algılama verilerinin beraberce değerlendirilebileceği tek kaynaklı yöntemlerden METRIC modeli uygulanmıştır. İki kaynaklı modellerde çok ayrıntılı toprak kullanımı verilerine gerek duyulmaktadır. Mevcut veriler tek kaynaklı bir modelin uygulanmasına uygundur. METRIC modeli Bastiaansen ve arkadaşları (1998) tarafından ortaya konulan SEBAL modelini temel almaktadır. METRIC Allen ve arkadaşları (2007) tarafından önerilmiştir. SEBAL modelinden temel farklılığı, soğuk hücrelerin hissedilir ısı akısı hesaplanması konusu ile uydu görüntülerinden itibaren elde edilen anlık BT değerinin günlük BT değerine dönüştürülmesi işlemlerinde görülmektedir.

Soğuk hücrelerde hissedilir ısı akısı hesaplamasında SEBAL yöntemi kaba yonca BT değerini hesaplandığı gibi alırken, METRIC 1.05 ile çarpılmış değeri kullanmaktadır. Günlük BT'ye geçişte METRIC modeli detayları ileriki bölümlerde sunulacak olan ETrF oranını kullanmaktadır.

METRIC, su kaynakları planlamasında bir araç olarak, akifer boşalımı ve su haklarının izlenmesi gibi amaçlarla kullanılmaktadır (Morse et al., 2004). New Meksico'nun Rio Grande Vadisinde ve Kaliforniya'nın Imperial Vadisinde sulama ve tuzluluk yönetimi amacıyla kullanılmaktadır (Allen et al., 2007).

METRIC modelinin başlıca kullanım alanları;

- a) Su haklarının izlenmesi,
- b) Su kaynakları modellemesi,
- c) Yeraltı suyu işletmesi ve akifer boşalımının tespiti,
- d) Sulanan tarımsal arazilerinin su tüketimlerinin tespiti ve
- e) Kc (potansiyel BT'den gerçek BT'ye dönüşüm kat sayısı) eğrilerinin geliştirilmesi olarak verilebilir.

METRIC ile hesaplanan BT'nin avantajları ise aşağıda sıralanmıştır (Allen et al., 2007):

- 1) Potansiyel BT yerine gerçek BT'yi hesaplamaktadır. Bitki türüne ihtiyaç duymamaktadır.

2) Ağırlıklı olarak teorik ve fiziksel prensiplere dayanmaktadır. Uygulanabilir ve hassas olması için deneysel ilişki ve katsayılardan faydalanmaktadır.

3) METRIC modelinde her bir uydu görüntüsü için kullanılan ETr (kaba yonca potansiyel evapotranspirasyonu) değeri nedeniyle iç kalibrasyonu yapılmış olur.

METRIC modelinde BT, uydu verileri ve meteoroloji verileri birlikte kullanılarak, enerji dengesi eşitliğinin hesaplanmasıyla bulunur. Uydu görüntüsü yalnızca uydu geçişi sırasındaki bilgiyi verdiği için METRIC uydu geçişi anındaki BT değerini hesaplar. BT akısı her bir hücre için enerji dengesi eşitliğinin kalanı olarak hesaplanır. Karalar için enerji dengesi 2.1 nolu eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$LE = R_n - G - H \quad (2.1)$$

LE : Gizli ısı enerjisi ( $W/m^2$ )

$R_n$  : Net radyasyon ( $W/m^2$ )

G : Toprak ısı akısı ( $W/m^2$ )

H : Hissedilir ısı akısı ( $W/m^2$ )

## 2.1. Net Radyasyonun Hesaplanması

Net radyasyon, yüzeye gelen ve yüzeyden giden kısa ve uzun dalga boylu radyasyonların toplamı olup, atmosferin ve yüzeyin ısı dengesinde anahtar rol oynamaktadır.

$$R_n = R_{S\downarrow} - \alpha R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_o) R_{L\downarrow} \quad (2.2)$$

$R_{S\downarrow}$  : Gelen kısa dalga boylu radyasyon ( $W/m^2$ )

$\alpha$  : Albedo (boyutsuz)

$R_{L\downarrow}$  : Gelen uzun dalga boylu radyasyon ( $W/m^2$ )

$R_{L\uparrow}$  : Giden uzun dalga boylu radyasyon ( $W/m^2$ )

$\epsilon_o$  : Yüzeyin emissivitesi yüzey tarafından yayımlanan radyasyonun, aynı sıcaklıktaki başka bir siyah cismin yayımlayacağı radyasyona oranı (boyutsuz)

Albedo yansıyan güneş radyasyonunun gelen güneş radyasyonuna oranını ifade eder. Üzerine gelen radyasyonun çoğunluğunu yansıtan cisimler aydınlık görünürler ve yüksek albedoya sahiptirler. Bunun tersi biçimde karanlık cisimlerin albedoları düşüktür. Liang (2001) tarafından MODIS sensörü kısa dalga boylu

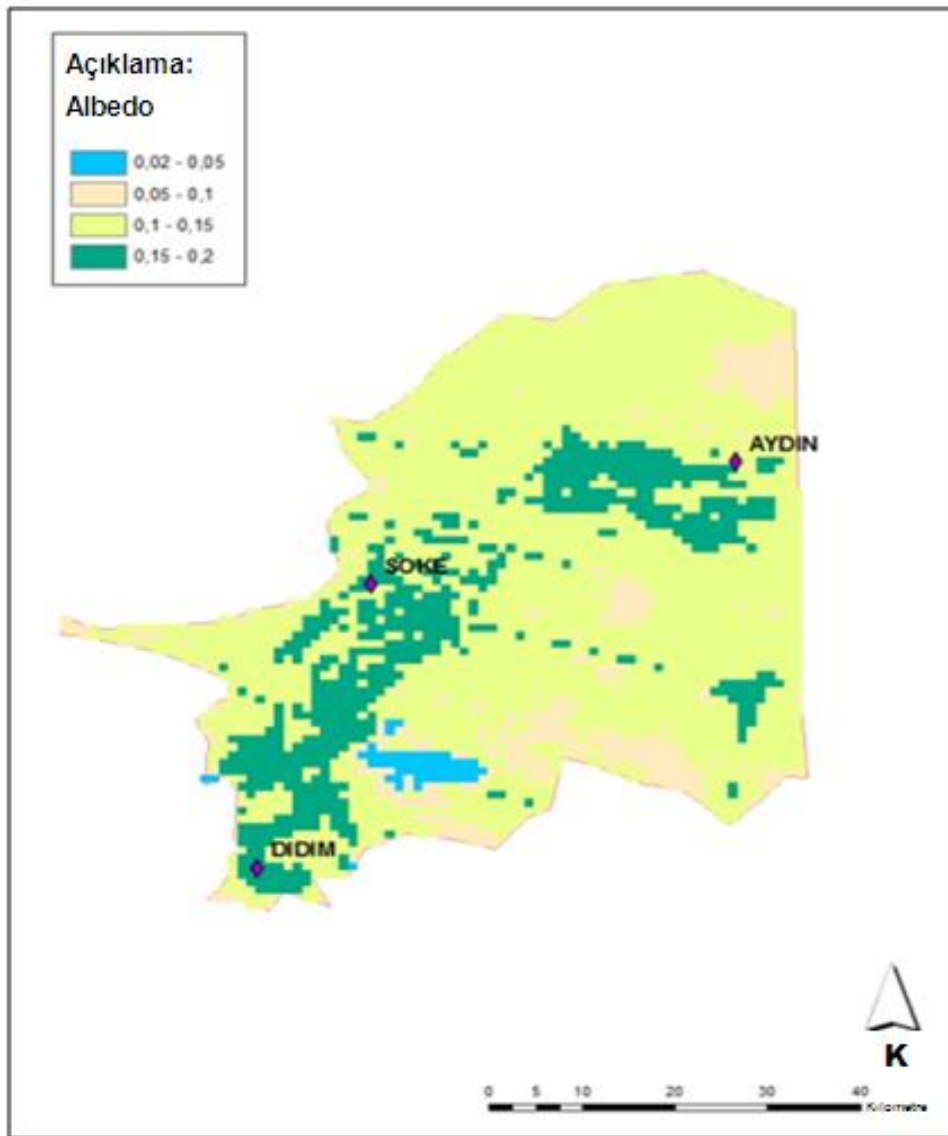
bantlarına ait reflektanslardan kısa dalga için yaygın band albedosuna dönüşüm algoritması önerilmiştir.

$$\alpha = 0.160r_1+0.291r_2+0.243r_3+0.116r_4+0.112r_5+0.081r_7-0.0015 \quad (2.3)$$

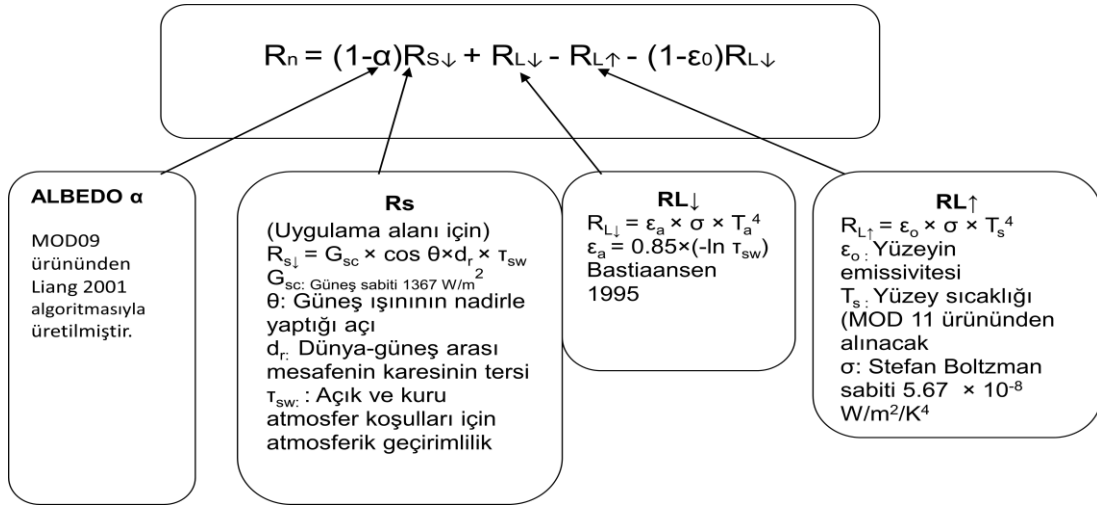
$r_1$  : MODIS 1.kanal reflektansı

Albedonun hesaplanması için MOD09 ürünü kullanılmıştır. Şekil 2.1’de çalışma alanına ait 166 gün albedo haritası verilmiştir.

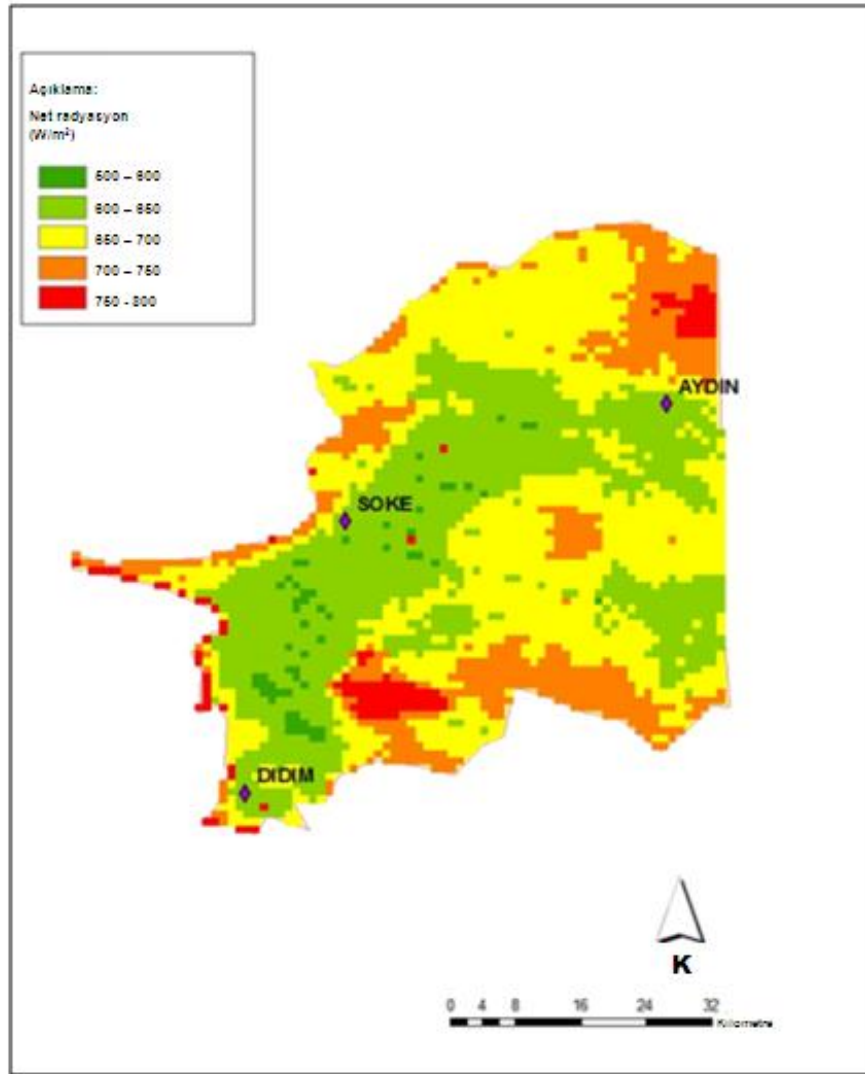
Şekil 2.2’de net radyasyonun üretimi şeması sunulmuştur. Şekil 2.3 te 166. güne ait net radyasyon haritası verilmiştir.



Şekil 2.1. İnceleme alanı 166. gün albedo haritası



Şekil 2.2. Net radyasyonun elde edilme şeması



Şekil 2.3. İnceleme alanı 166. gün net radyasyon haritası

### 2.1.1. Gelen Kısa Dalga Boylu Radyasyon

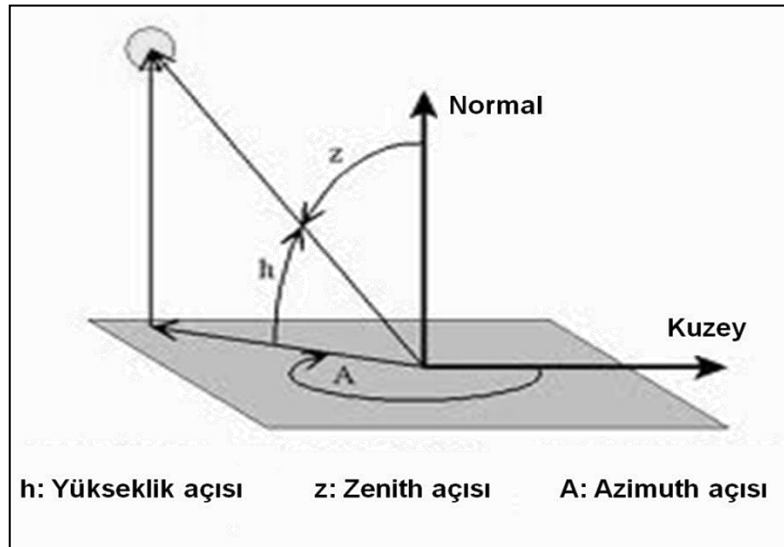
Güneşten gelen kısa dalga boylu radyasyonu ifade eder.

$$R_{s\downarrow} = G_{sc} \times \cos \theta \times d_r \times \tau_{sw} \quad (2.4)$$

$G_{sc}$ : Güneş sabiti ortalama güneş-dünya mesafesinde dünya üzerinde güneş ışınlarının dik olarak geldiği yerdeki tüm elektromanyetik spektrumdaki toplam güneş radyasyonu akısıdır. Çalışmada  $1367 \text{ W/m}^2$  olarak alınmıştır.

$\theta$ : Zenith açısı yatay yüzeyin normali ile güneş ışınları arasındaki açıdır.

Atmosferin tepesindeki enerjinin toplamı belirli bir enlem, zaman ve güneş-dünya arası mesafede güneşin geliş açısının bir fonksiyonudur. Güneşin zenit açısı ( $\theta$ ) Şekil 2.4.'te sunulmuştur.



Şekil 2.4. Güneş ışınlarının geliş açısı

$d_r$ : Dünya-güneş arası mesafenin karesinin tersi

$$d_r = 1 + 0.033 \cos(\text{DOY} \cdot 2\pi / 365)$$

$\tau_{sw}$ : Açık ve su buharı içermeyen atmosfer koşulları için atmosfer geçirimsizliği

$$\tau_{sw} = 0.75 + (2 \cdot 10^{-5} \cdot z) \quad (\text{Allen et al., 1998})$$

DOY: Yılın günü

### 2.1.2. Gelen Uzun Dalga Boylu Radyasyon

Gelen uzun dalga boylu radyasyon Stefan-Boltzman eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \times \sigma \times T_a^4 \quad (2.5)$$

$$\varepsilon_a = 0.85 \times (-\ln \tau_{sw}) \quad (2.6)$$

$\sigma$ : Stefan Boltzman sabiti  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$

Eşitlikte bulunan atmosfer sıcaklığı ( $T_a$ ) yerine uygulamada soğuk hücre sıcaklığı kullanılabilir (Waters et al., 2002).

Çalışma alanında soğuk hücre sıcaklığının belirlenmesi için alanın sıcaklık dağılımı, albedo değerleri, NDVI ve LAI değerlerini analiz edilmiştir. Bir hücrenin soğuk hücre olarak kabul edilebilmesi için aranan ideal koşullar sıcaklığının düşük, albedosunun 0.22-0.24 aralığında, LAI değerinin 4 ve 6 arasında olması ve NDVI değerinin bitki varlığını ifade edecek şekilde mevsimine göre çevresinden yüksek olmasıdır.

### 2.1.3. Yayımlanan Uzun Dalga Boylu Radyasyon

Yayımlanan uzun dalga boylu radyasyon yüzeyin emissivite ve sıcaklık değerleri kullanılarak Stefan-Boltzman eşitliğine göre hesaplanmıştır.

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_o \times \sigma \times T_s^4 \quad (2.7)$$

$\varepsilon_o$  Yüzeyin emissivitesi, bir yüzeyden yayımlanan radyasyonun aynı sıcaklıktaki siyah cisim tarafından yayımlanan radyasyona oranıdır. Siyah bir cismin emissivitesi bütün dalga boylarında 1'e eşittir.

$T_s$ : Yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}\text{K}$ )

MOD11 ürününden elde edilen emissivite ve yüzey sıcaklık değerleri kullanılmıştır.

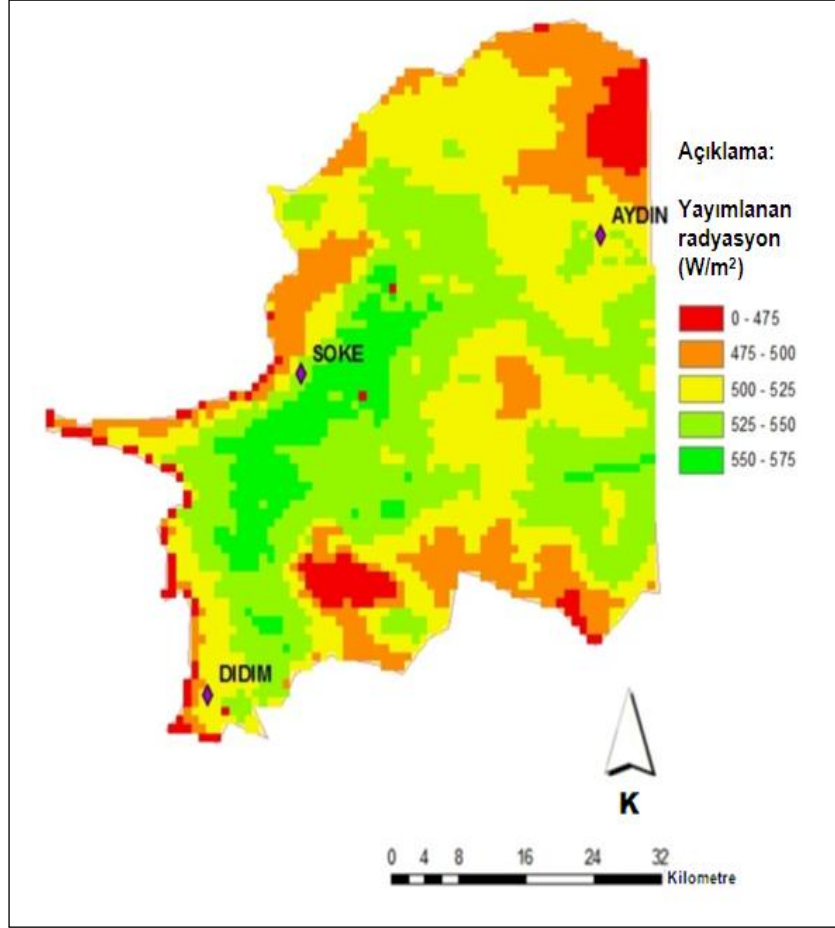
Şekil 2.5'te 166. güne ait yayımlanan uzun dalga boylu radyasyon haritası sunulmuştur.

### 2.1.4. Yansıyan Uzun Dalga Boylu Radyasyon

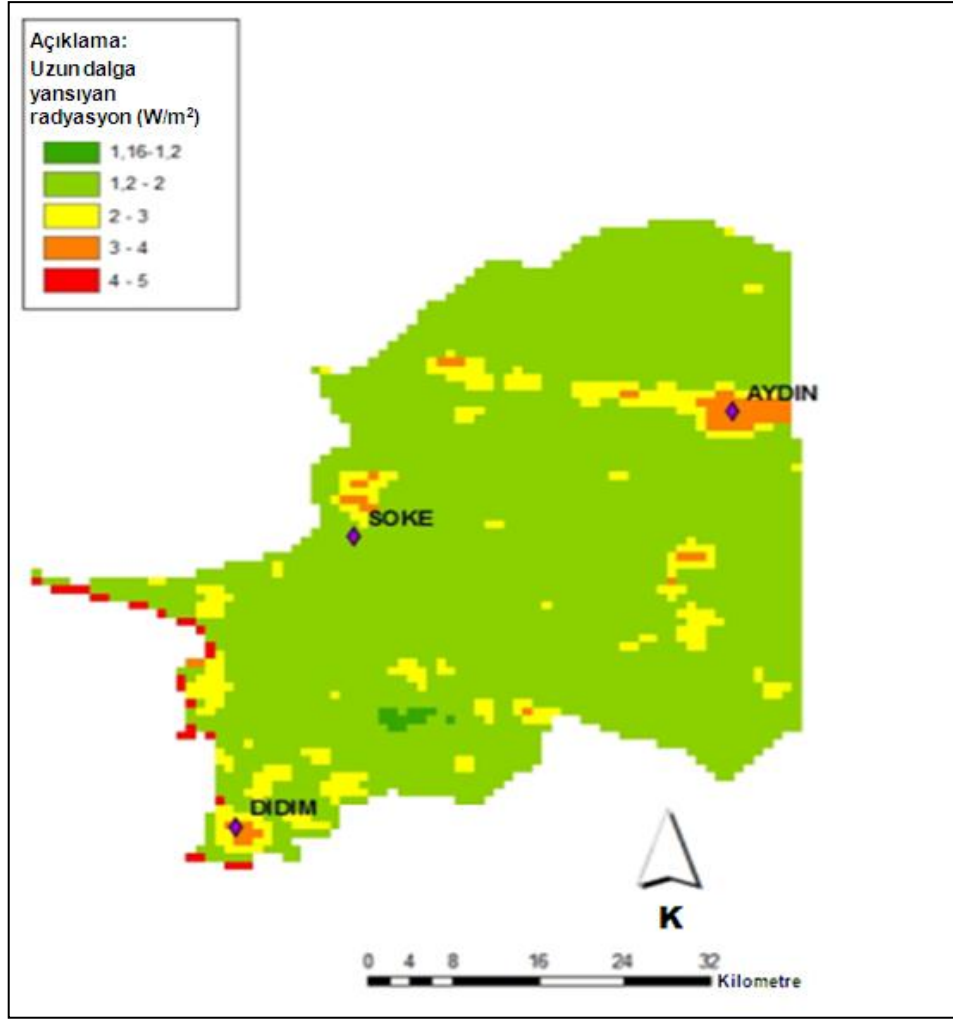
Gelen uzun dalga boylu radyasyonun yüzeyden yansıma nedeniyle kaybını ifade eden terimdir. Her bir hücre için mevcut emissivite ve gelen uzun dalga boylu radyasyon değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Ref_L = (1 - \varepsilon_o) \times R_{L\downarrow} \quad (2.8)$$

166 güne ait yansıyan uzun dalga boylu radyasyon haritası Şekil 2.6'da sunulmuştur. Tüm bu bilgiler ile 2.1 eşitliği kullanılarak net radyasyon hesaplanmıştır.



Şekil 2.5. İnceleme alanı 166. gün yayımlanan uzun dalga radyasyon haritası



Şekil 2.6. İnceleme alanı 166. gün yansıyan uzun dalga radyasyon haritası

## 2.2. Toprak Isı Akısının Hesaplanması

Kondüksiyonla toprakta ve bitkide depolanan ısıyı ifade eden toprak ısı akısı (Bastiaansen, 2000) tarafından aşağıdaki eşitlikle ifade edilmiştir.

$$G/R_n = Ts/\alpha (0.0038 \alpha + 0.0074 \alpha^2) * (1-0.98NDVI^4) \quad (2.9)$$

NDVI yeryüzünde mevcut bitkinin canlılığının bir ölçüsüdür. Yeşil bitkiler elektromanyetik spektrumun 0.5-0.7  $\mu\text{m}$  aralığında (yeşil-kırmızı) %20 daha az yansıtma özelliğine sahipken, 0.7-1.3  $\mu\text{m}$  aralığında (yakın kızıl ötesi) %60'a yakın bir yansıtma özelliğine sahiptirler.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

NDVI -1 ve 1 değerleri aralığında değişmektedir.



Su ile kaplı alanlar, NDVI değerinin 0'dan küçük olduğu yerler olarak belirlenmiş ve bu bölgeler için  $G / R_n$  oranı 0.5 olarak atanmıştır. Çalışmada NDVI verisi MOD13 ürünü kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 2.7'de 166 güne ait toprak ısı akısının haritası sunulmuştur

### 2.3. Hissedilir Isı Akısı

Hissedilir Isı Akısı yüzey ve yüzeye yakın atmosfer arasında sıcaklık farkından kaynaklanan konveksiyon veya kondüksiyon yoluyla yüzeyden olan ısı akısını ifade etmektedir. Şekil 2.8'de 166. güne ait hissedilir ısı akısı haritası verilmiştir.

$$H = (\alpha \times C_p \times dT) / r_{ah} \quad (2.10)$$

$C_p$  : Havanın özgül ısı (1004 J/kg/°K)

$\alpha$  : Havanın Yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

Yoğunluk =  $P / (R_s \times T)$

P: Basınç (kPa)

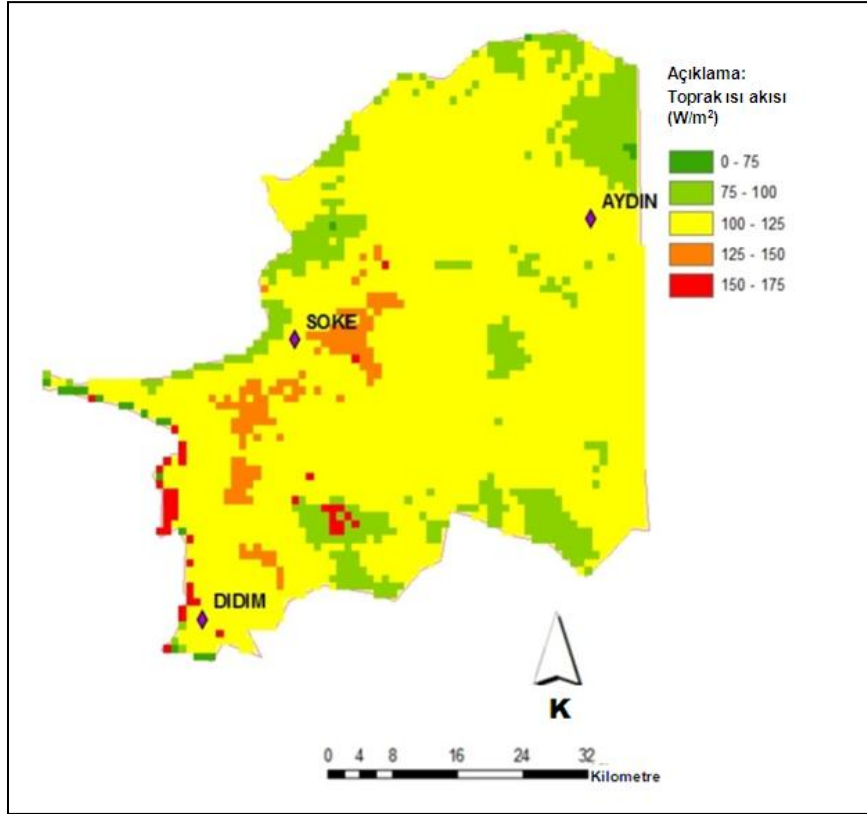
T: Sıcaklık (°K)

k: Von Karman sabiti

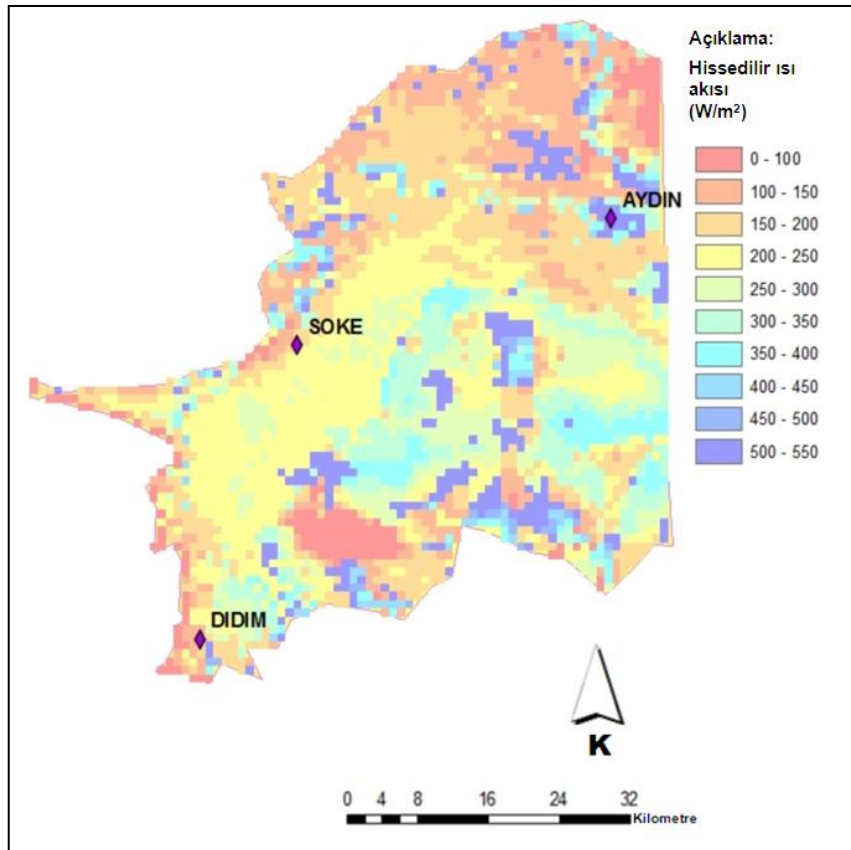
R: Kuru hava için özgül gaz sabiti (287.058 (J/°K\*°K))

$r_{ah}$ : Isı transferine karşı havanın aerodinamik direnci (s/m)

$$r_{ah} = \frac{\ln(z_2/z_1)}{u^* \times k} \quad (2.11)$$



Şekil 2.7. İnceleme alanı 166. gün toprak ısı akısı haritası



Şekil 2.8. İnceleme alanı 166. gün hissedilir ısı akısı haritası

## 2.4. Sürtünme Hızı ( $u^*$ )

Isı transferinin tanımlanabilmesi için yüzeye yakın rüzgar türbülans profilinin belirlenmesi gerekmektedir. Akımın içindeki lateral momentum transferi moleküler ve türbülanslı eddy aktiviteleri ile sağlanmaktadır. Bu hareket eddy'lerin hızıyla doğru orantılı bir kesinti oluşturmakta ve sürtünme hızı veya eddy hızı olarak ifade edilmektedir.

$u^*$ : Sürtünme hızı (m/s)

$$u^* = \frac{k^* u_x}{\ln(z_x/z_{om})} \quad (2.12)$$

## 2.5. Momentum Pürüzlülük Mesafesi ( $z_{om}$ )

Momentum pürüzlülük mesafesi ( $z_{om}$ ) rüzgar hızının teorik olarak sıfıra eşdeğer olduğu yükseklik olarak tanımlanır.  $z_{om}$  değeri yüzeyin yatay ve düşey eksenindeki yüzey geometrisiyle ilişkilidir.

Bu çalışmada Brutsaert (1982) tarafından deneysel olarak elde edilen  $z_{om} = 0.12 h$  eşitliği ile hesaplanmıştır.  $h$  ölçüm istasyonu civarındaki bitkilerin ortalama yüksekliğini ifade etmektedir.

Her bir hücre için hesaplanacak olan  $u^*$  için gerekli  $z_{om}$  değeri tarım alanları için  $z_{om} = 0.018 LAI$  eşitliği ile, tarım alanları dışında ise Corine toprak kullanım haritasına göre atanan veriler ile belirlenmiştir.

Yaprak Alan İndeksi (LAI), bitkinin tüm yapraklarının alanının, bitkinin kapladığı alana oranıdır. Çizelge 2.1'de çalışmada kullanılan momentum pürüzlülük mesafeleri sunulmuştur.

Çizelge 2.1. Örnek  $z_{om}$  değerleri (Waters et al., 2002)

Yüzey çeşidi	$z_{om}$ değeri (m)
Su	0.0005
Şehir	0.2
Orman	0.5
Otlak	0.02
Çöl	0.1
Kar	0.0005

Hissedilir ısı akısının hesabında atmosferin kararlılık durumunun dikkate alınması ve yüzey ile yüzeye yakın atmosfer arasındaki sıcaklık farkının ( $\Delta T$ ) belirlenebilmesi için ise bir dizi tekrarlamalı işlem gerekmektedir. Bu işlem sıcak hücrelerin hissedilir ısı akısındaki değişiklik %5'in altına düşene kadar sürdürülmektedir. Sonuca ulaşılan adımda bulunan  $\Delta T = aT_s + b$  denkleminin katsayıları böylece belirlenmektedir. Şekil 2.9'da  $\Delta T$  hesaplaması için geliştirilen Excel tablosundan bir görüntü sunulmuştur. Şekil 2.10'da hissedilir ısı akısı hesaplama şeması sunulmuştur.

## 2.6. Monin Obukhov Uzunluğu (L)

Monin-Obukov uzunluğu mekanik konveksiyonla üretilen enerji ve termal konveksiyonla üretilen enerji arasındaki orandır. Bu parametre kararlı koşullarda negatif değer alır. Gözlemler L uzunluğunun hissedilir ısı akısına bağımlı olduğunu göstermiştir.

$$L = \frac{\rho_a \cdot c_p \cdot u_*^3 \cdot T_s}{k \cdot g \cdot H} \quad (2.13)$$

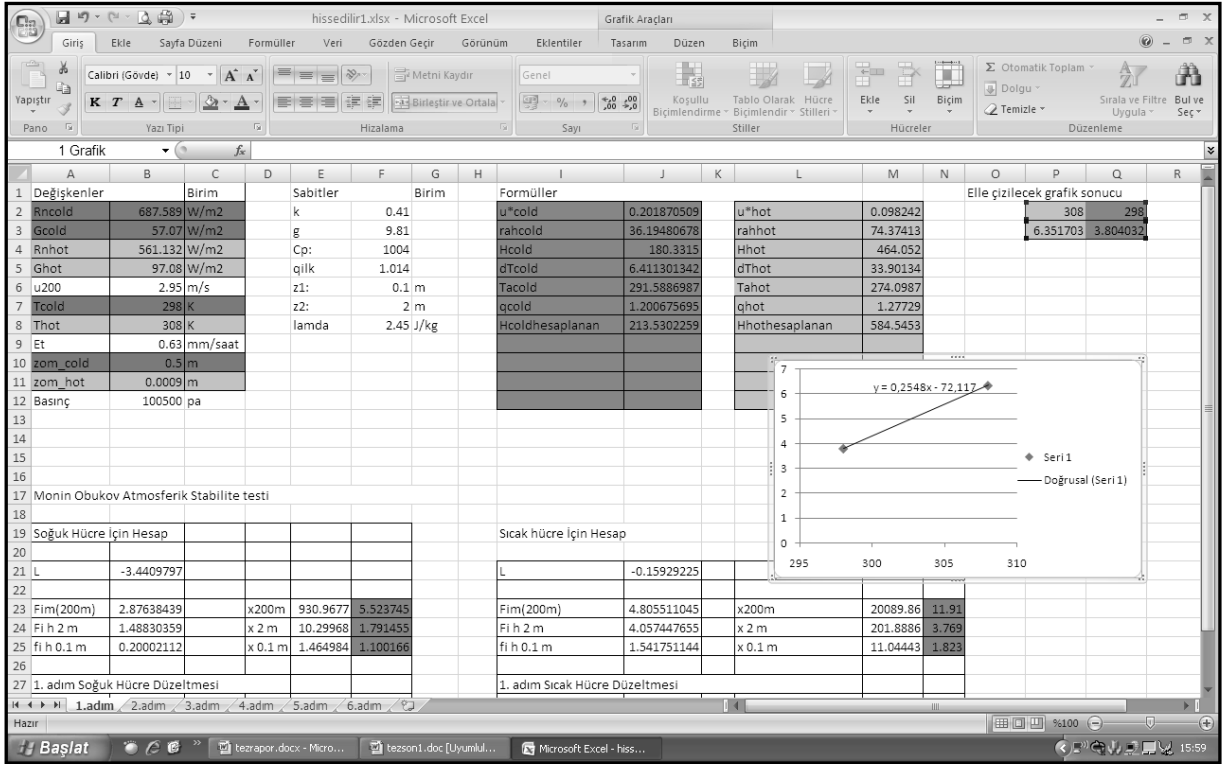
## 2.7. Düzeltme Faktörleri

Monin-Obukov benzerlik teorisine göre boyutsuz sıcaklık ve rüzgar hız gradyanları boyutsuz yüksekliğin bir fonksiyonudur. Düşey gradyanı hassas olarak ölçmek çok zor olduğu için, düzeltme faktörlerini sıcaklığın ve rüzgarın ölçüldüğü iki seviye arasında entegre etmek uygun olur. Bunlar aşağıdaki denklemlerde sunulduğu gibi momentum ve ısı transferine ayrı ayrı uygulanırlar.

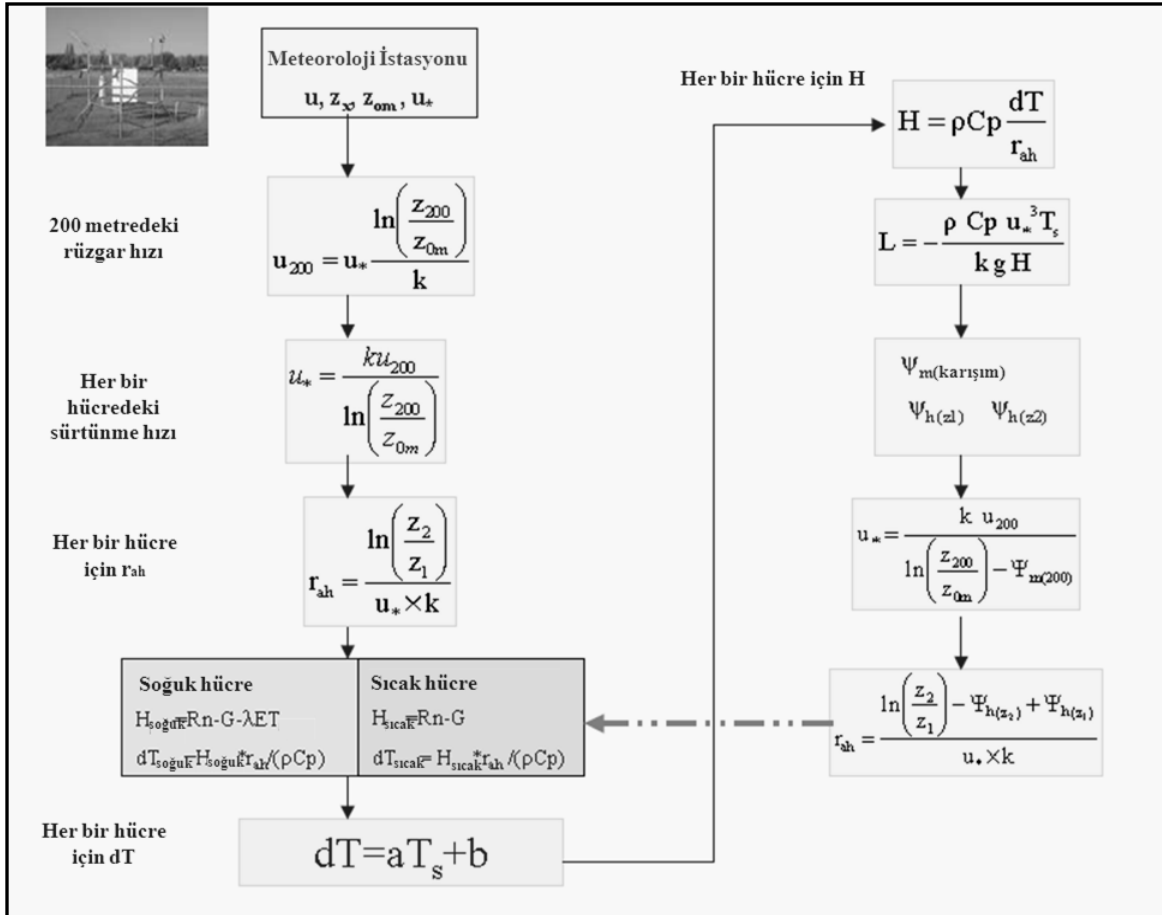
$$x_m = \left( 1 - 16 \frac{Z_B - d}{L} \right)^{0.25} \quad (2.14)$$

$$\psi_m = 2 \ln \left[ \frac{(1 + x_m)}{2} \right] + \ln \left[ \frac{(1 + x_m^2)}{2} \right] - 2 \arctan(x_m) + \frac{\pi}{2} \quad (2.15)$$

$$x_h = \left( 1 - 16 \frac{Z_{ref} - d}{L} \right)^{0.25} \quad (2.16)$$



Şekil 2.9. ΔT hesaplaması için Excel tablosu



Şekil 2.10. Hissedilir ısı akısı hesaplama şeması

## 2.8. Buharlaşma-Terlemenin Hesaplanması

Bu aşamada enerji dengesi eşitliğinin gizli ısı akısı hariç tüm bileşenleri hesaplanmış durumdadır. Eşitliğin kalanı olarak gizli ısı akısı hesaplanır.

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (2.1)$$

Buradan;  $ET_{inst} = 3600 \times \frac{\lambda ET}{\lambda}$  formülüyle saatlik ET değerine ulaşılır.

$ET_{inst}$ : Saatlik BT (mm/saat)

$\lambda$ : Buharlaşma için gerekli gizli ısı miktarı (J/Kg)  $2.45 \cdot 10^6$

$$ETrF = \frac{ET_{inst}}{ET_r} \quad (2.17)$$

Saatlik gerçek BT ile saatlik potansiyel BT arasındaki bu oranın gün içinde değişmediği kabul edilir. Allen ve arkadaşları (2007) 1989 tarihinde şeker pancarı ve çim üzerinde yaptıkları çalışmalarda ETrF oranının gün içerisinde sabit olduğunu belirlemişlerdir. ETrF oranının 0 ile 1 değerleri arasında değişmesi beklenir (Wright 1982 ve Jensen et al. 1990). Tamamen kuru bir hücrede 0, kaba yonca ile kaplı yağış veya sulama ile suya doygun bir hücrede 1.1 değerinin görölmesi mümkün olabilmektedir.

$$ET_{24} = ETrF \times ET_{r24} \quad (2.18)$$

Aynı oran ile (ETrF) meteorolojik verilerle hesaplanan günlük kaba yonca potansiyel BT değeri çarpılarak günlük gerçek BT değerine ulaşılır. 166. güne ait BT haritası şekil 2.12'de verilmiştir.

The image shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "hakan formulleri a.xl[s] [Uyumluluk Modu] - Microsoft Excel". The spreadsheet is used for Penman-Monteith BT calculations. The columns are labeled with letters from F to AJ. The rows contain numerical data and formulas. A warning message is visible in the bottom right corner: "Kablosuz Ağ Bağlantısı, şu anda bağlı. Bağlanılan yer: bilkent-library(güvenli olmayan) Sinyal Gücü: Mükemmel".

Şekil 2.11. Penman-Monteith BT hesaplama programı

Çalışmada inceleme alanında uydu geçiş zamanları için saatlik ve tüm çalışma periyodu için günlük BT değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu amaçla kaba yonca için FAO Penman-Monteith eşitliğine ASCE (Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği) tarafından önerilen parametrelerin uygulanması yoluyla hesaplamalar yapılmıştır.

$$ET_{ref} = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + C_d u_2)} \quad (2.18)$$

ET<sub>ref</sub>: Referans BT mm/ gün veya mm/saat

R<sub>n</sub>: Bitki yüzeyindeki net radyasyon (MJ/ (m<sup>2</sup>\* gün) veya MJ/(m<sup>2</sup> \*saat)

G: Yüzeydeki toprak ısı akısı (MJ/m<sup>2</sup>\* gün veya MJ/m<sup>2</sup> \*saat)

T: Günlük ortalama veya saatlik hava sıcaklığı (Yüzeyden 1.5-2.5 m mesafede °C)

U<sub>2</sub>: Günlük ortalama veya saatlik rüzgâr hızı 2 metrede ölçülen (m/s)

e<sub>s</sub>: Doymuş buhar basıncı (kPa) (1.5-2.5 metrede ölçülen)

e<sub>a</sub>: Aktüel buhar basıncı (kPa) (1.5-2.5 metrede ölçülen)

Δ: Buhar basıncı-sıcaklık eğrisinin eğimi kPa/°C

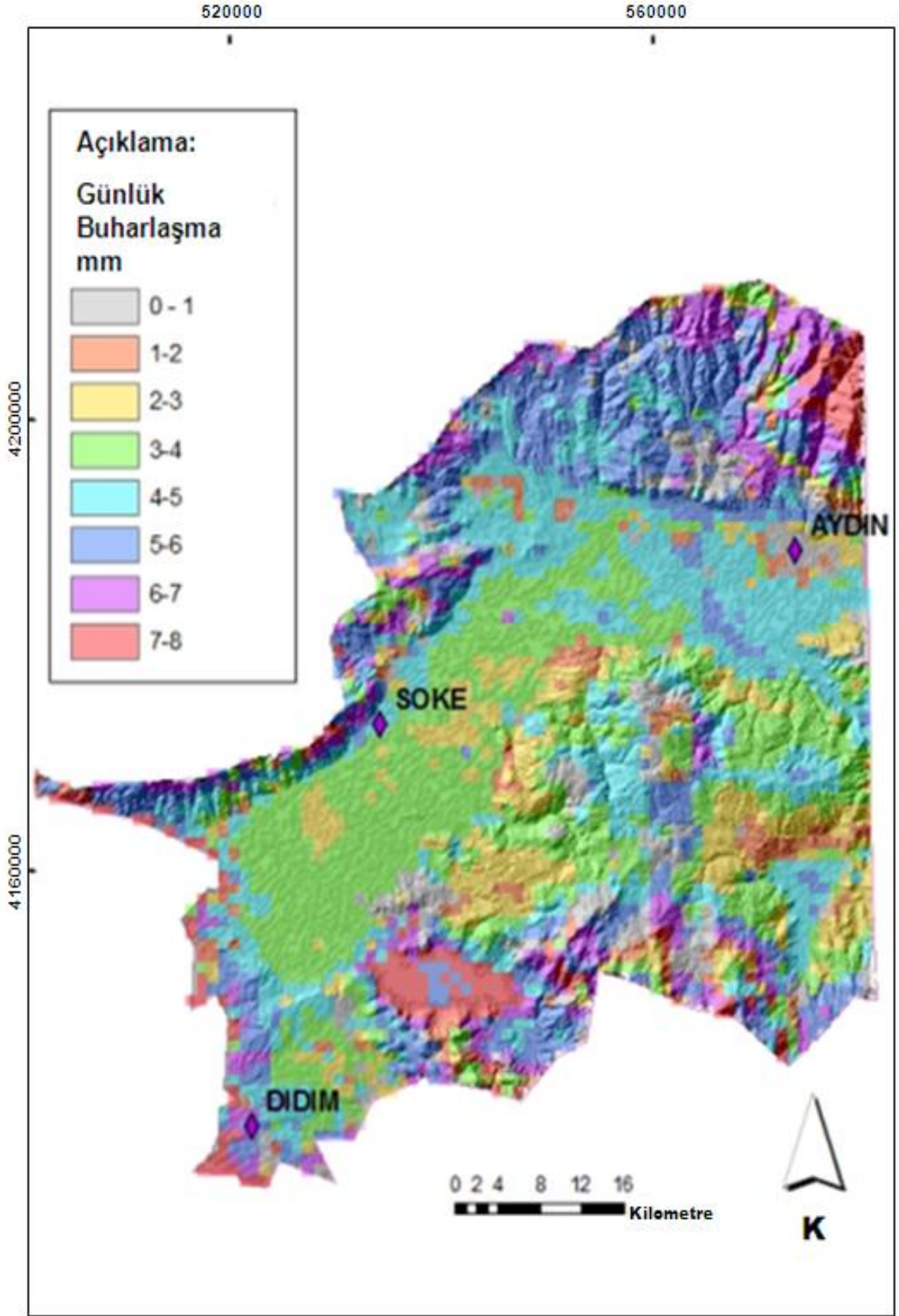
$\gamma$ : Psikrometrik sabit. kPa/°C

C<sub>n</sub> ve C<sub>d</sub> bitki türü ve zaman aralığına bağlı olarak değişen sabitler olup, Çizelge 2.2'de sunulmuştur.

Çizelge 2.2. Penman-Monteith eşitliği ASCE standardı katsayıları

Hesaplama zaman adımı	E <sub>To</sub> (Çim)		E <sub>tr</sub> (Kaba Yonca)		Birim E <sub>To</sub> / E <sub>tr</sub>	Birim R <sub>n.G</sub>
	C <sub>n</sub>	C <sub>d</sub>	C <sub>n</sub>	C <sub>d</sub>		
Günlük veya Aylık	900	0.34	1600	0.38	mm/gün	MJ/(m <sup>2</sup> *gün)
Gün içinde saatlik	37	0.24	66	0.25	mm/saat	MJ/(m <sup>2</sup> *saat)
Gece vakti saatlik	37	0.96	66	1.7	mm/saat	MJ/(m <sup>2</sup> *saat)



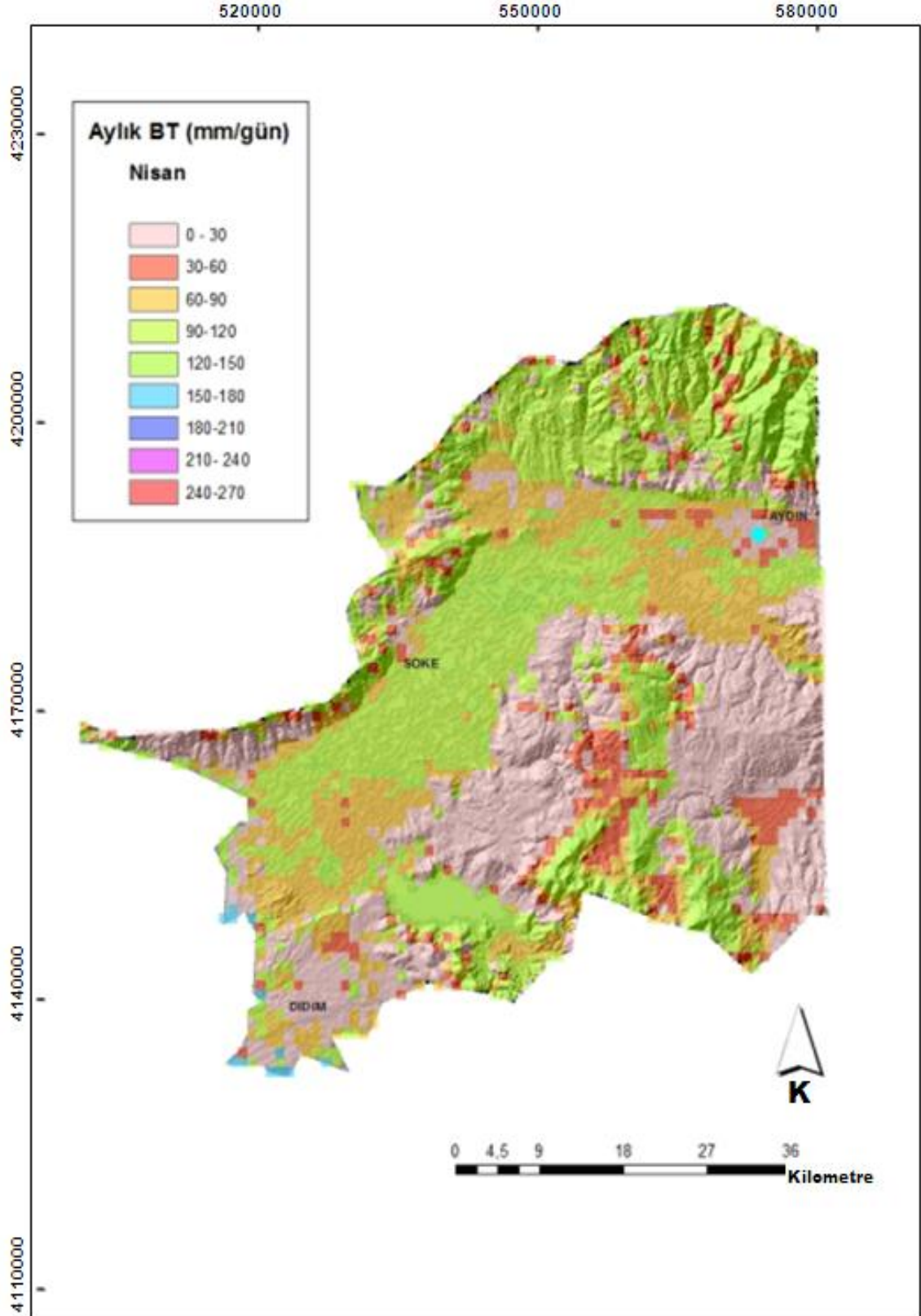


Şekil 2.12. İnceleme 166. günlük toplam BT haritası

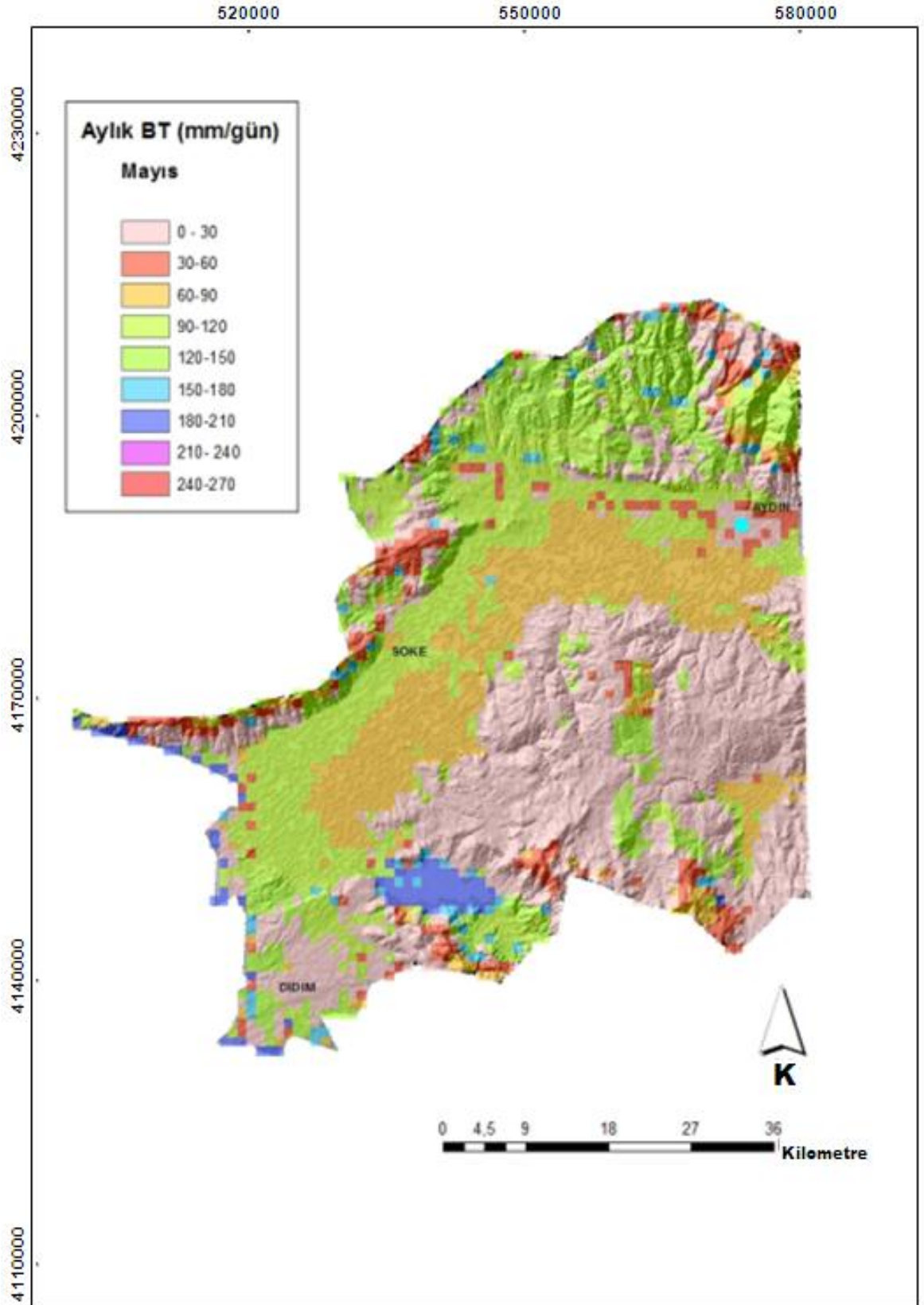
ETrF değerinin 1'den büyük olan değerleri 1 değerine atanmıştır. İşlenen 11 görüntü için ortalama atanan değer %4'tür. Çalışma alanında bulunan Aydın meteoroloji istasyonu için Penman-Monteith yöntemi ile saatlik potansiyel BT değerleri hesaplanmış, uydu verilerinden itibaren hesaplanan saatlik BT ile oranlanmıştır. Böylece görüntüsü işlenen günlerde her bir hücre için ETrF değerine ulaşılmıştır.

Günlük BT hesaplanması için çalışma alanında bulunan istasyonların (Aydın, Kuşadası, Sultanhisar, Milas, Söke, Didim) günlük potansiyel BT değerleri hesaplanmış, mesafenin tersi yöntemi kullanılarak tüm çalışma sahasında her bir hücre için günlük BT değeri belirlenmiştir. Mesafenin tersi yöntemiyle enterpolasyonda bilinen noktanın değeri mesafeyle ters orantılı olarak bilinmeyen noktanın değerine doğru ağırlıklı olarak taşınmaktadır. Ağırlık oranı bilinen noktada 1 olmaktadır. Çizelge 2.3'te sunulan zaman aralıklarında geçerli olan dağılımlı ETrF değerleri ile çarpılarak günlük toplam gerçek BT belirlenmiştir.

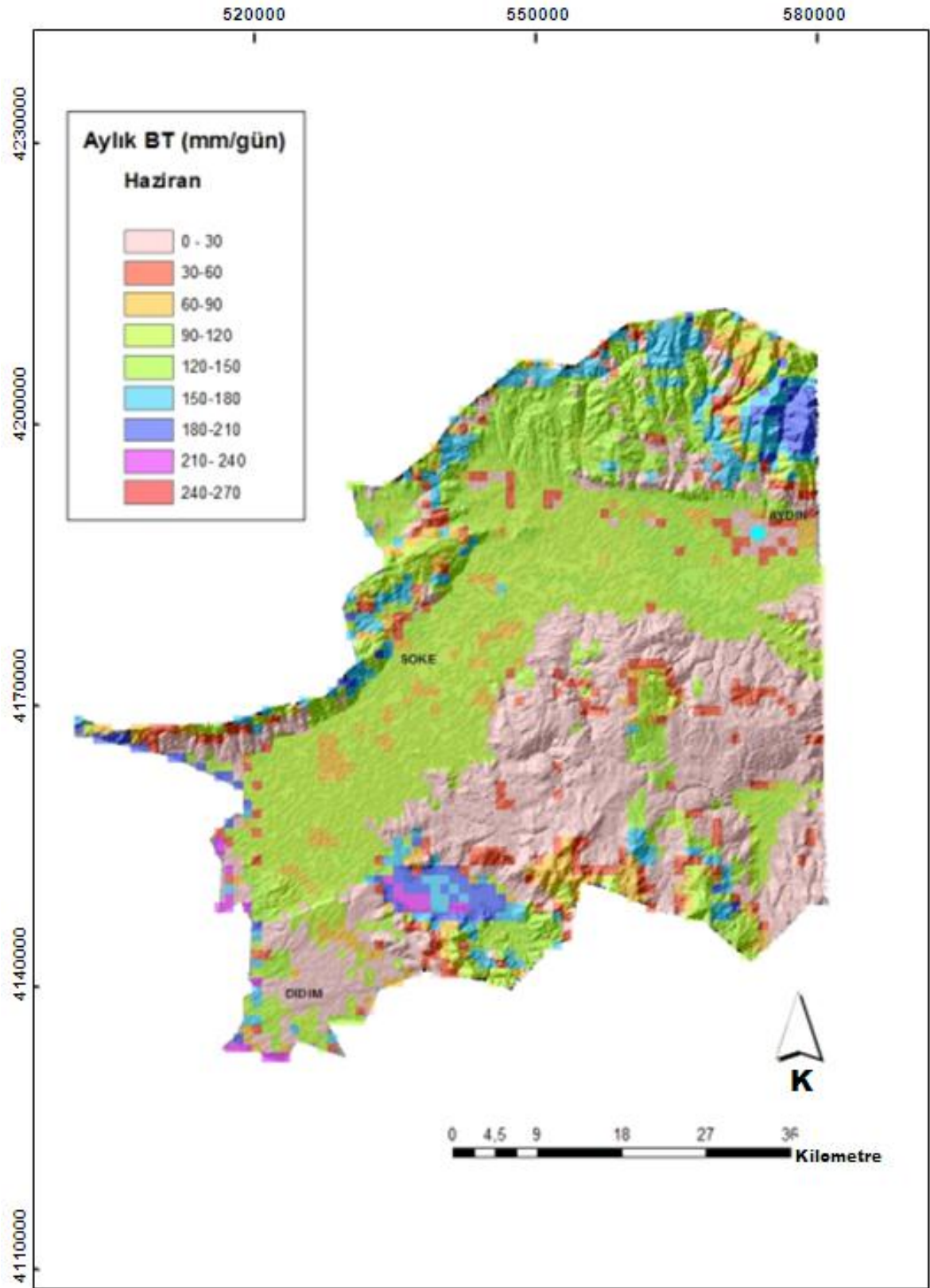
Aylık değerler günlük değerlerin toplanması şeklinde hesaplanmıştır. şekil 2.13'te aylık toplam BT haritaları sunulmuştur.



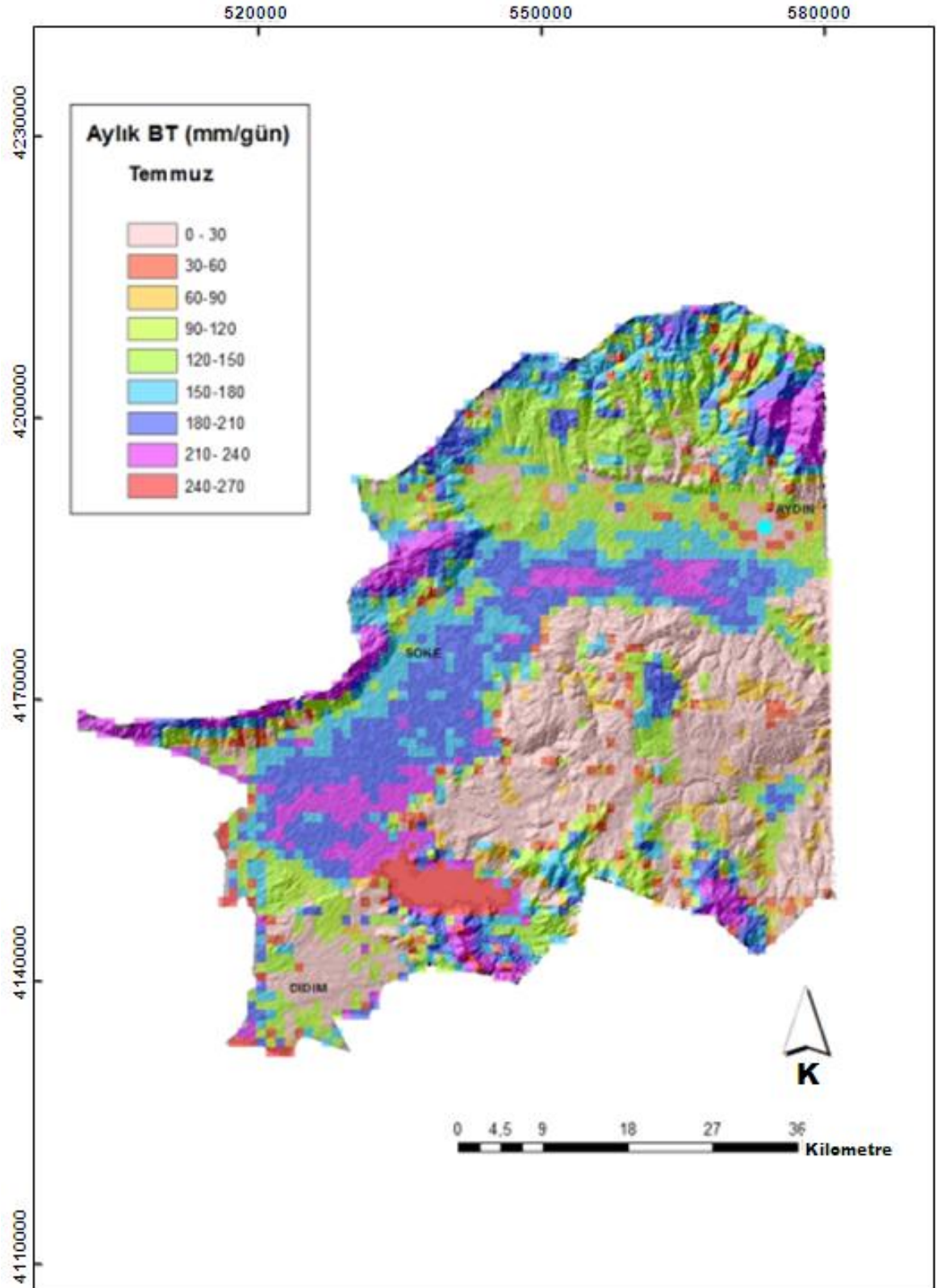
Şekil 2.13.a. İnceleme alanı aylık BT haritası (Nisan)



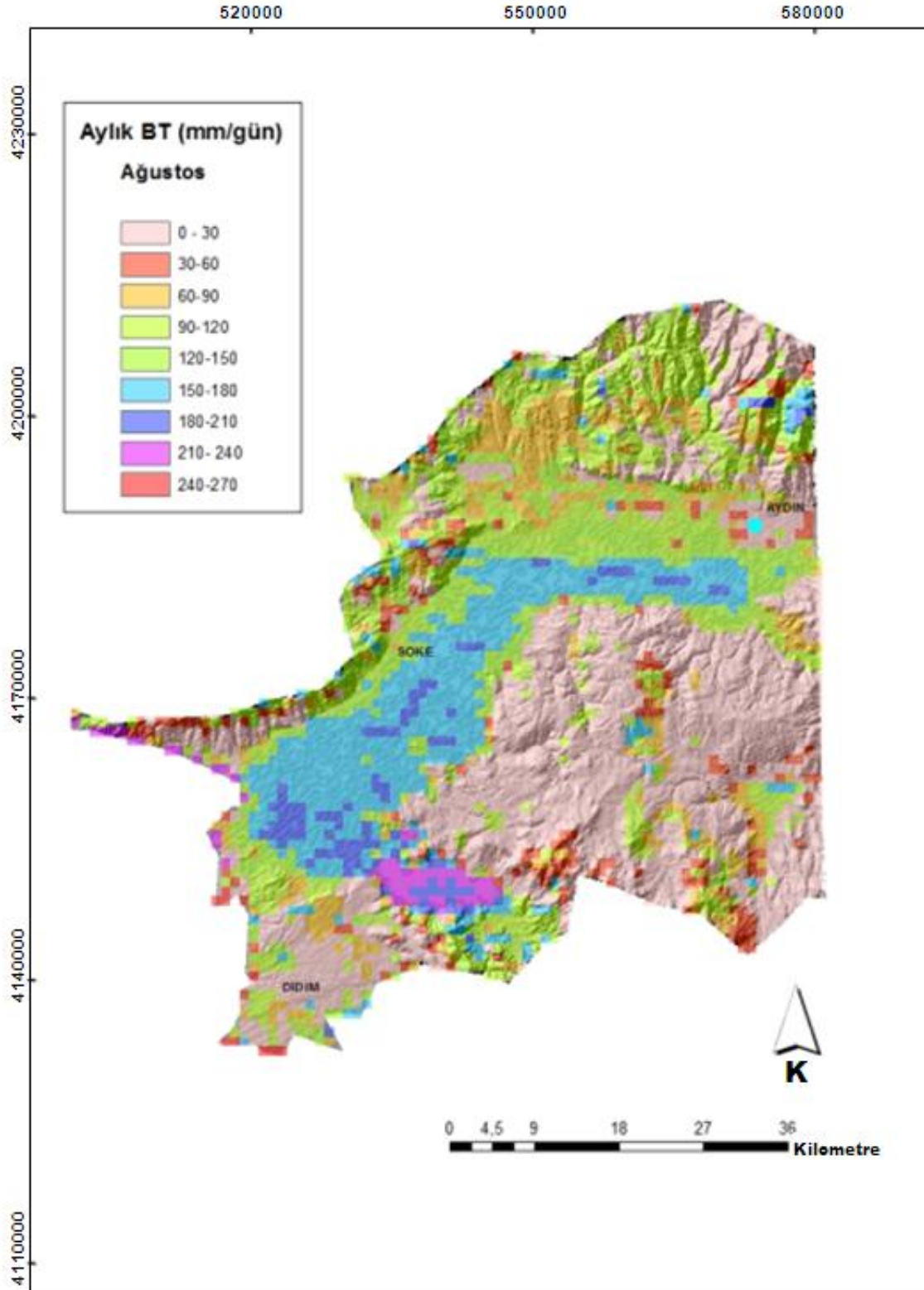
Şekil 2.13.b. İnceleme alanı aylık BT haritası (Mayıs)



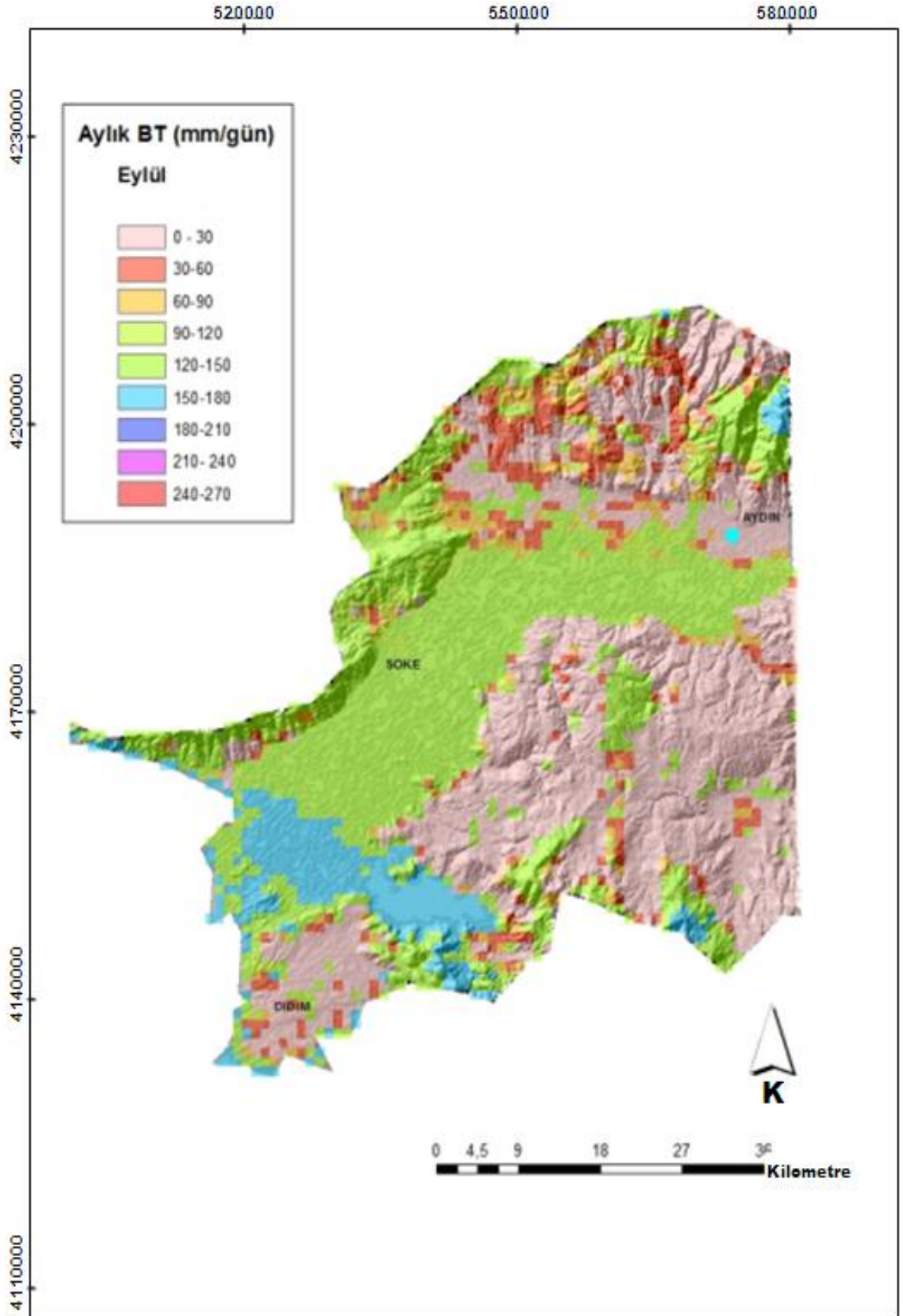
Şekil 2.13.c. İnceleme alanı aylık BT haritası (Haziran)



Şekil 2.13.ç. İnceleme alanı aylık BT haritası (Temmuz)



Şekil 2.13.d. İnceleme alanı aylık BT haritası (Ağustos)



Şekil 2.13.e. İnceleme alanı aylık BT haritası (Eylül)



Çizelge 2.3. ETrF değerinin temsil aralığı

İşlenen Görüntü Tarihi	Temsil Aralığı
23.04.2010	1 Nisan-28 Nisan
03.05.2010	29 Nisan-7 Mayıs
14.05.2010	8 Mayıs-22 Mayıs
30.05.2010	23 Mayıs-7 Haziran
15.06.2010	8 Haziran-24 Haziran
02.07.2010	25 Haziran-9 Temmuz
14.07.2010	10 Temmuz-22 Temmuz
02.08.2010	23 Temmuz-7 Ağustos
17.08.2010	8 Ağustos-22 Ağustos
29.08.2010	23 Ağustos-5 Eylül
11.09.2010	5 Eylül-30 Eylül

### 3. UYDU VE YER GÖZLEMİ TABANLI BT DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Çalışma alanında BT'nin doğrudan ölçümü yapılmamaktadır. Herhangi bir kurum tarafından işletilmekte olan lizimetre de mevcut değildir. Bu nedenle görüntüsü işlenen günde uydunun geçtiği saate ait uydu görüntülerinden elde edilen gerçek BT değeri ile çalışma alanı içerisinde yersel meteorolojik verilerle gerçek BT değeri öngörülebilecek alanların karşılaştırılması yoluna gidilmiştir. Çalışma alanı içerisinde yersel veriler kullanılarak gerçek BT hesaplanabilmesi için, ilgili döneme ait bitki deseninin bilinmesi gerekmektedir. Yersel meteoroloji verileri kullanılarak Penman-Monteith yöntemiyle hesaplanacak potansiyel BT değeri, bilinen bitki türüne ait Kc katsayısı kullanılarak gerçek BT'nin hesaplanmasını sağlayacaktır. Çalışma alanındaki zeytinlikler çalışma dönemindeki bitki desenini yansıtmaları açısından ve Kc katsayıları konusunda çeşitli ayrıntılı çalışmaların yapılmış olmasından dolayı tercih edilmiştir. Pastor ve Orgaz(1994) tarafından İspanya'da % 60 zeytin ile kaplı alanların Ocak ayından Aralık ayına kadar tüm bir yıllık süreyi kapsayan Kc değerleri üretilmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen aylık Kc değerleri Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

Çalışma alanında yaygın olarak zeytinlikler bulunmaktadır. Çalışma alanı içerisinde belirlenen 10 zeytinlik (Şekil 3.1) için potansiyel BT değerleri Kc katsayıları ile çarpılarak gerçek BT değerleri tespit edilmiştir.

Çizelge 3.1. Zeytin ağacı için aylık Kc değerleri (Pastor ve Orgaz, 1994)

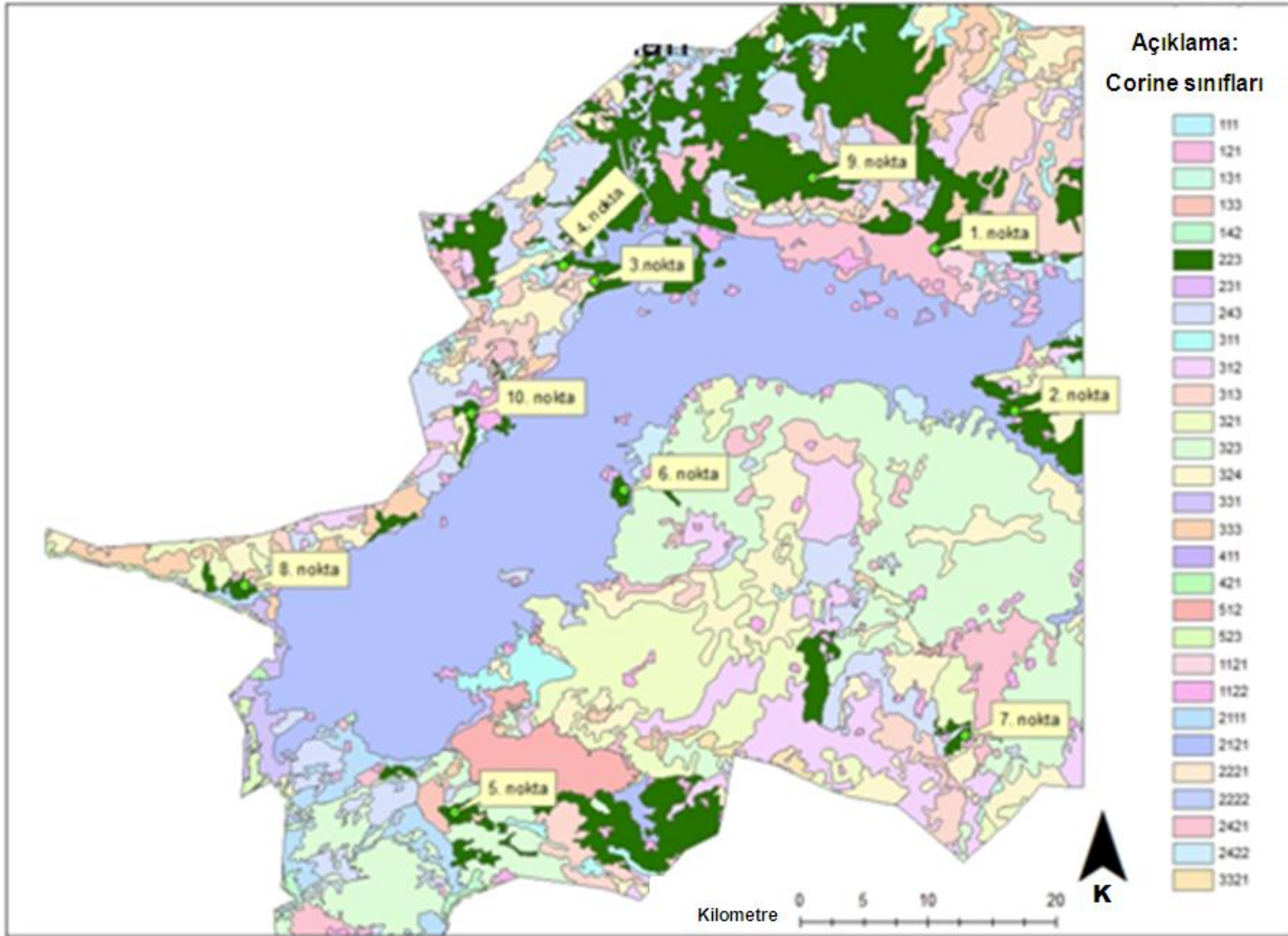
Aylar	Kc Değerleri
Ocak	0.50
Şubat	0.50
Mart	0.65
Nisan	0.60
Mayıs	0.55
Haziran	0.50
Temmuz	0.45
Ağustos	0.45
Eylül	0.55
Ekim	0.60
Kasım	0.65
Aralık	0.50

Uydu geçiş saatinde Aydın ili için yer gözlem verileriyle hesaplanan ETr değerleri, o ayın Kc düzeltme faktörü ile çarpılarak gerçek BT bulunmuş, bulunan bu değer o gün için METRIC yöntemiyle hesaplanan gerçek BT değeriyle karşılaştırılmıştır. Çalışma alanında bulunan zeytinlikler ve bu zeytinlik alanları üzerinde seçilen doğrulama noktaları Şekil 3.1 de sunulmuştur. Doğrulama noktalarının BT'ye etkileyen kot, eğim ve bakı bilgileri izelge 3.2'de verilmiştir.

Hesaplanan yersel gerçek BT değerlerinin METRIC yöntemi ile hesaplanan gerçek BT değerleri ile karşılaştırması saatlik zaman ölçeğinde izelge 3.3'de, günlük olarak izelge 3.4'te ve aylık olarak izelge 3.5'te sunulmuştur. METRIC ve yer gözlemleri tabanlı BT ngrleri arasındaki fark aşağıda sunulan eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$\%Fark = ((METRIC\ BT - Yer\ Gzlemi\ BT) / Yer\ Gzlemi\ BT) \times 100 \quad (3.1)$$

Karşılaştırma noktaları için belirlenen METRIC tabanlı BT ve bunların yer gözlemleriyle hesaplanan BT değerinden farkı saatlik öngörüler için ortalama %23.4 ve standart sapması %26.8, günlük öngörülerde ortalama %16.1 ve standart sapma 27.1 ve aylık öngörülerde ise ortalama %3.7 ve standart sapma ise %37.8 olarak belirlenmiştir. Farklar eğimin en yüksek olduğu 3. ve 4. doğrulama noktalarında ortalamanın çok üzerindedir. Bir diğer dikkat çeken konu ise standart sapmaların yüksek olmasıdır. Bu durum noktasal ölçümlerle BT'nin hesaplandığı istasyonun bakı, eğim, rakım ve benzeri diğer yere bağlı fiziksel özelliklerinin doğrulama noktalarının fiziksel özellikleriyle farkından da kaynaklanabilmektedir.



Şekil 3.1. Çalışma alanındaki zeytinlikler ve doğrulama noktaları

Çizelge 3.2. Karşılaştırma noktalarının koordinatları

Nokta	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Kot (m)	76	42	295	316	121	174	221	31	153	145
Bakı	Güney	Güneybatı	Güneydoğu	Kuzey	Batı	Güney	Kuzeydoğu	Güney	Güneybatı	Doğu
Eğim (%)	1	7	15	17	1	3	7	1	2	3
Y (UTM,Doğu)	570629.4	576990.1	544019.9	541630.5	532879.4	546303.9	573066.8	516587.5	561083.8	534349.4
X (UTM,Kuzey)	4190762.2	4178029.9	4188288.4	4189538.6	4148512.1	4171929.7	4152616.1	4164347.5	4196318.2	4177872.7

Çizelge 3.3. Karşılaştırma noktaları (1-10) için belirlenen METRIC tabanlı BT değerleri ve bunların yersel gözlem tabanlı BT değerine oranları (%Fark) (mm/saat)

Tarih	1	Fark%	2	Fark%	3	Fark%	4	Fark%	5	Fark%	6	Fark%	7	Fark%	8	Fark%	9	Fark%	10	Fark%
23 Nisan 2010	0.6	27.9	0.4	-16.1	0.5	-2.5	0.6	26.5	0.4	-21.2	0.6	28.6	0.4	-18.1	0.5	-4.6	0.6	27.9	0.6	20.3
03 Mayıs 2010	0.5	15.2	0.2	-47.8	0.6	52.2	0.6	57.2	0.5	26.8	0.4	11.6	0.5	2.2	0.6	42.0	0.6	32.6	0.6	62.3
14 Mayıs 2010	0.6	20.1	0.3	-42.1	0.5	17.7	0.6	24.4	0.4	-2.3	0.5	4.4	0.2	-50.7	0.7	59.9	0.6	28.7	0.6	24.4
30 Mayıs 2010	0.7	34.8	0.4	-22.4	0.6	40.0	0.7	48.8	0.4	-6.7	0.5	17.7	0.5	6.2	0.6	42.2	0.7	36.9	0.6	28.8
15 Haziran 2010	0.7	62.3	0.3	-25.6	0.5	21.8	0.6	43.7	0.4	-14.8	0.5	14.5	0.3	-32.4	0.5	29.1	0.6	39.8	0.7	58.3
02 Temmuz 2010	0.6	52.2	0.5	28.1	0.5	49.0	0.6	71.1	0.4	10.4	0.6	60.1	0.4	-3.3	0.5	46.3	0.5	30.5	0.7	87.7
14 Temmuz 2010	0.6	33.7	0.4	-0.3	0.7	64.4	0.6	44.2	0.7	64.4	0.8	92.2	0.3	-25.2	0.8	89.7	0.5	22.3	0.6	56.8
02 Ağustos 2010	0.5	30.3	0.3	-37.3	0.5	36.6	0.6	61.1	0.4	17.4	0.7	91.2	0.2	-59.0	0.5	42.0	0.5	25.5	0.4	20.2
17 Ağustos 2010	0.5	10.3	0.8	87.8	0.4	7.9	0.4	7.9	0.4	18.9	0.5	49.4	0.2	-46.0	0.4	-3.2	0.4	-10.8	0.5	35.5
29 Ağustos 2010	0.4	-6.2	0.4	-11.0	0.4	-1.6	0.5	34.0	0.5	23.0	0.6	55.8	0.3	-35.1	0.4	17.6	0.4	-3.8	0.4	6.6
11 Eylül 2010	0.4	-17.9	0.1	-77.2	0.4	1.8	0.5	27.2	0.4	10.2	0.6	66.8	0.1	-68.1	0.3	-12.4	0.3	-31.6	0.4	13.1
Ortalama		23.9		-14.9		26.1		40.6		11.5		44.7		-29.9		31.7		18.0		37.6
Standart sapma		23.4		43.6		23.6		18.6		23.5		31.5		25.0		30.6		22.9		25.2
Genel ortalama: 18.9											Genel standart sapma: 26.8									

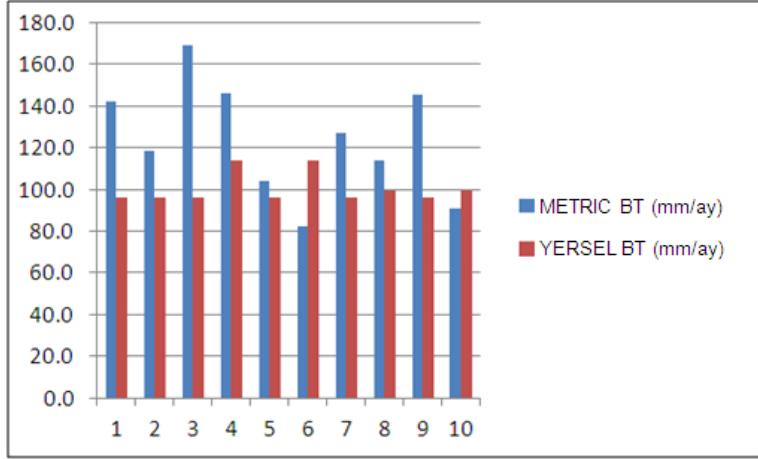
Çizelge 3.4. Karşılaştırma noktaları (1-10) için belirlenen METRIC tabanlı BT değerleri ve bunların yersel gözlem tabanlı BT değerine oranları (%Fark) (mm/gün)

Tarih	1	Fark%	2	Fark%	3	Fark%	4	Fark%	5	Fark%	6	Fark%	7	Fark%	8	Fark%	9	Fark%	10	Fark%
23 Nisan 2010	2.8	-3.1	2.4	-17.7	4.3	49.0	3.3	13.2	2.7	-15.6	2.9	1.0	3.6	24.7	1.8	-33.5	4.1	41.3	0.8	-70.0
03 Mayıs 2010	4.0	35.5	3.6	20.9	4.7	61.4	4.8	62.4	3.7	15.0	2.0	-30.5	4.4	48.8	4.0	39.3	4.4	48.1	1.1	-61.3
14 Mayıs 2010	3.5	-0.8	2.7	-23.3	5.0	42.2	4.2	20.0	3.7	-4.2	1.7	-50.4	3.9	12.3	3.9	16.9	4.5	29.4	0.3	-91.0
30 Mayıs 2010	4.1	17.2	3.8	9.7	6.1	76.0	5.7	64.5	4.3	-12.2	3.6	3.9	4.8	38.5	5.1	47.2	5.2	50.1	3.6	3.9
15 Haziran 2010	4.6	35.5	4.2	23.6	5.7	70.3	4.7	39.7	3.5	-19.2	2.5	-26.9	5.0	49.2	4.0	17.0	5.2	54.5	1.7	-51.2
02 Temmuz 2010	4.8	47.3	4.7	43.9	5.7	76.4	5.6	72.7	4.7	23.4	3.5	8.6	2.7	-15.5	3.8	19.8	4.8	47.0	4.7	49.5
14 Temmuz 2010	3.7	8.6	4.0	17.7	6.8	100.2	5.6	64.7	5.1	21.6	4.1	21.5	2.4	-29.3	4.9	44.5	4.3	26.5	3.5	3.6
02 Ağustos 2010	3.3	7.5	3.6	17.3	4.7	53.7	4.4	42.6	3.8	32.1	3.5	15.4	3.0	-0.7	3.5	22.6	3.9	27.8	3.2	11.5
17 Ağustos 2010	2.6	-13.7	3.3	8.9	4.3	42.6	3.3	10.6	2.5	-6.7	2.6	-13.7	2.1	-30.0	2.1	-25.2	3.1	4.3	0.7	-74.8
29 Ağustos 2010	2.1	-15.6	2.6	2.3	4.0	57.7	3.2	28.6	3.6	55.3	3.9	54.1	1.6	-38.3	3.0	17.3	3.1	22.7	0.9	-66.3
11 Eylül 2010	3.2	15.2	3.5	24.2	4.5	60.9	3.8	36.1	3.2	8.9	4.4	58.4	1.4	-48.2	3.3	33.9	2.0	-28.0	3.2	30.7
Ortalama		12.1		11.6		62.8		41.4		9.0		3.8		1.0		18.2		29.4		-28.7
Standart sapma		20.6		19.2		17.2		22.1		23.1		33.7		35.8		26.1		24.2		49.0
Genel ortalama: 16.1											Genel standart sapma: 27.1									

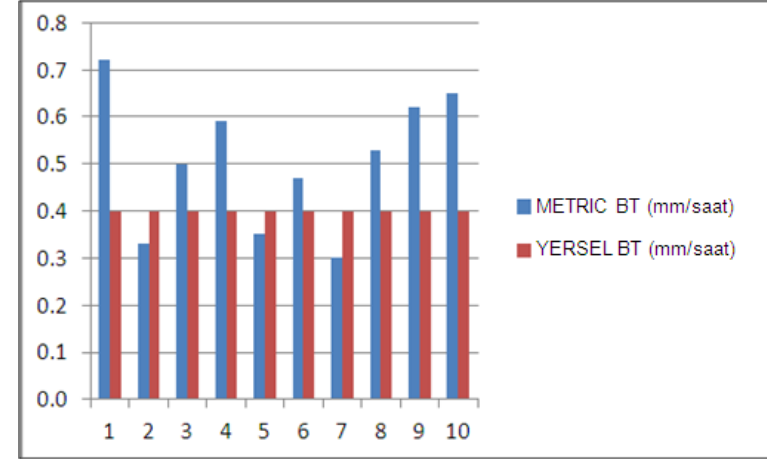
Çizelge 3.5. Karşılaştırma noktaları (1-10) için belirlenen METRIC tabanlı BT değerleri ve bunların yersel gözlem tabanlı BT değerine oranları (%Fark) (mm/ay)

Tarih	1	Fark%	2	Fark%	3	Fark%	4	Fark%	5	Fark%	6	Fark%	7	Fark%	8	Fark%	9	Fark%	10	Fark%
Nisan	76.6	-1.0	65.1	-16.0	117.1	51.3	93.6	20.9	76.8	-20.5	98.2	26.9	96.4	24.5	53.9	-36.5	109.3	49.5	23.1	-72.8
Mayıs	110.1	12.8	93.4	-4.3	156.9	60.8	138.8	42.3	111.5	-3.6	68.3	-30.0	127.3	30.5	121.7	20.7	137.0	40.4	41.5	-58.9
Haziran	142.4	48.3	118.2	23.1	169.1	76.1	145.7	51.7	103.8	-8.9	82.3	-14.3	127.1	32.3	113.9	14.9	145.5	51.5	91.1	-13.5
Temmuz	139.1	37.6	123.5	22.1	189.3	87.2	163.7	61.9	143.7	12.3	116.2	14.9	82.1	-18.8	132.6	24.9	131.7	30.2	139.4	31.3
Agustos	61.2	-32.4	73.7	-18.6	98.8	9.1	83.5	-7.8	137.4	15.4	121.2	33.9	52.7	-41.8	118.0	35.1	74.0	-18.3	86.5	-1.0
Eylül	26.0	-66.9	9.5	-87.9	69.8	-11.1	98.6	25.5	29.8	-69.1	83.3	6.1	29.8	-62.1	22.5	-71.6	27.0	-65.7	39.7	-49.8
Ortalama		-0.3		-13.6		45.6		32.4		-12.4		6.2		-5.9		-2.1		14.6		-27.5
Standart sapma		43.4		40.6		38.7		25.0		30.8		24.5		40.8		42.3		46.9		39.7
Genel ortalama: 3.7										Genel standart sapma: 37.3										

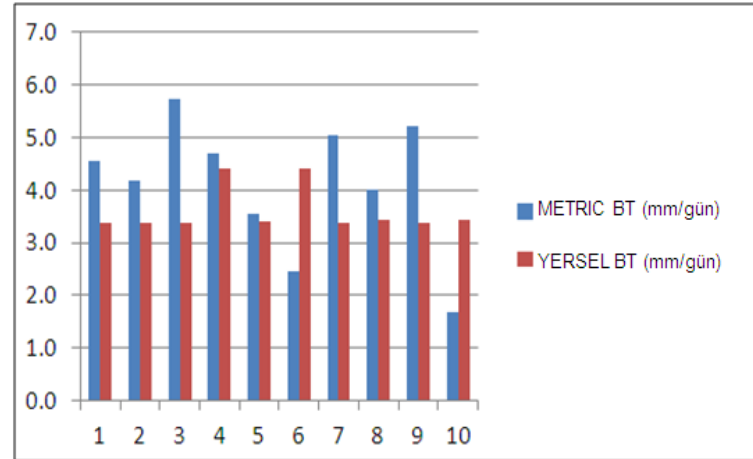




Şekil 3.2. Yersel BT ve METRIC değerleri (mm/ay)  
Haziran 2010



Şekil 3.3. Yersel BT ve METRIC değerleri (mm/saat)  
15 Haziran 2010

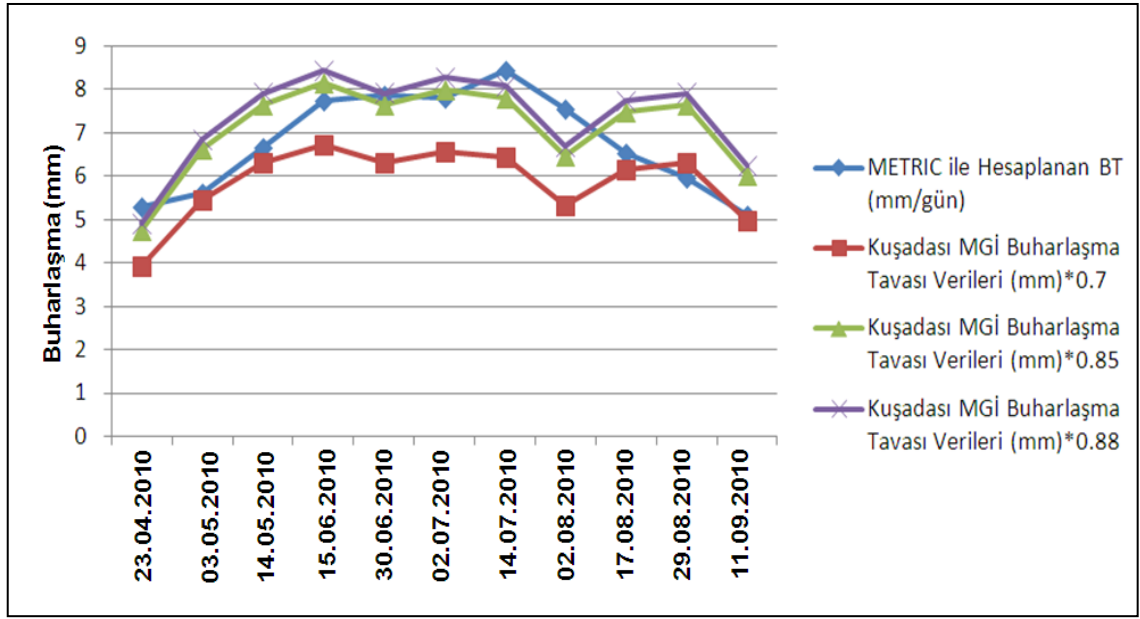


Şekil 3.4. Yersel BT ve METRIC değerleri (mm/gün)15 Haziran 2010

Su yüzeyi için hesaplanan METRIC BT değerlerinin, meteorolojik gözlemlere dayalı yersel gerçek BT değerleri ile karşılaştırılması amacıyla Bafa Gölü buharlaşma değerleri ile Kuşadası Meteoroloji Gözlem İstasyonu buharlaşma tavaşı verileri kullanılmıştır. Buharlaşma tavaşı verileri 0.7 tava katsayısı ile çarpılarak değerlendirme yapılmıştır. Kuşadası Meteoroloji Gözlem İstasyonunda saatlik açık yüzey buharlaşma ölçüm değerleri olmadığından karşılaştırmalar günlük ve aylık olarak yapılmıştır. Günlük karşılaştırmalar Çizelge 3.6'da ve aylık toplam değerlerin karşılaştırmaları Çizelge 3.7'de sunulmuştur. Karşılaştırma değerlerinin aylık, saatlik ve günlük histogram tabloları sırasıyla Şekil 3.2'de, Şekil 3.3'te ve Şekil 3.4'te verilmiştir. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'te sırasıyla Bafa Gölü günlük ve aylık değerlerin karşılaştırma değerleri grafik olarak sunulmuştur. METRIC yöntemi ile hesaplanan gerçek su yüzü buharlaşma değerleri ve Kuşadası Meteoroloji Gözlem İstasyonu açık yüzey buharlaşma verileri karşılaştırıldığında aylık olarak 0.88 tava katsayısının uyumlu olduğu görülmektedir. Bununla birlikte Kuşadası Meteoroloji Gözlem İstasyonunun Bafa Gölü ile arasındaki mesafe ve gözlem istasyonunun şehrin içerisinde bulunması nedeniyle ölçümlerde karşılaşılan sorunlar tava katsayısı belirlenmesi konusunda daha ayrıntılı çalışmaları gerektirmektedir.

Çizelge 3.6. Bafa Gölü için METRIC ve buharlaşma tavaşı verileri karşılaştırması (günlük)

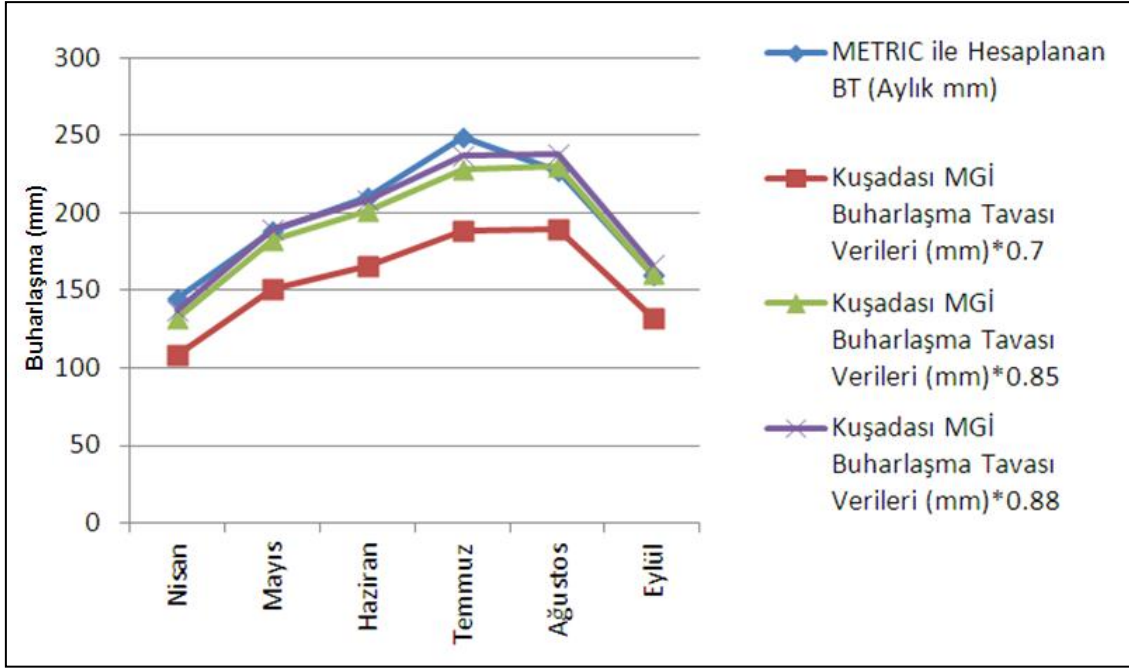
Günler	METRIC ile hesaplanan BT (mm/gün)	Kuşadası MGİ buharlaşma tavaşı verileri (mm/gün)*0.7	%Fark
23.04.2010	5.3	3.9	35.5
03.05.2010	5.6	5.5	2.9
14.05.2010	6.7	6.3	5.7
15.06.2010	7.8	6.7	15.3
30.06.2010	7.9	6.3	24.8
02.07.2010	7.8	6.6	18.5
14.07.2010	8.5	6.4	31.2
02.08.2010	7.5	5.3	41.7
17.08.2010	6.5	6.2	6.2
29.08.2010	6.0	6.3	-5.2
11.09.2010	5.1	5.0	2.8
Ortalama			17.7
Standart Sapma			15.3



Şekil 3.5. Bafa Gölü METRIC gerçek BT ve Kuşadası A sınıfı günlük buharlaşma tavaşı değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 3.7. Bafa Gölü için METRIC gerçek BT ve A sınıfı tava gerçek BT değerleri karşılaştırması (aylık)

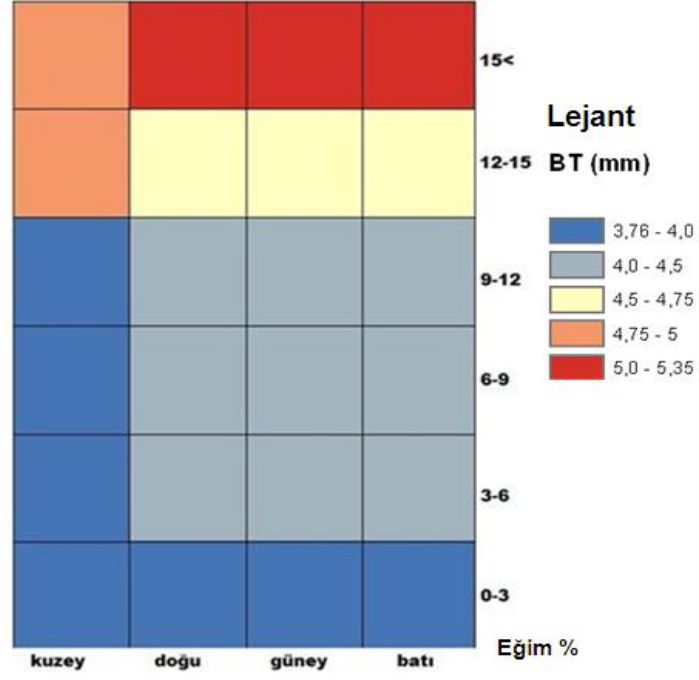
Aylar	(A) METRIC ile Hesaplanan BT (mm/ay)	(B) Kuşadası MGİ Buharlaşma Tavası Verileri (mm/ay)*0.7	$\frac{(A-B)}{B} \times 100$ %Fark
Nisan	145.4	108.9	33.5
Mayıs	188.9	150.7	25.4
Haziran	210.3	165.6	27.0
Temmuz	248.7	188.2	32.1
Ağustos	226.8	189.3	19.8
Eylül	160.4	132.7	20.9
		Ortalama	26.5
		Standart Sapma	5.6



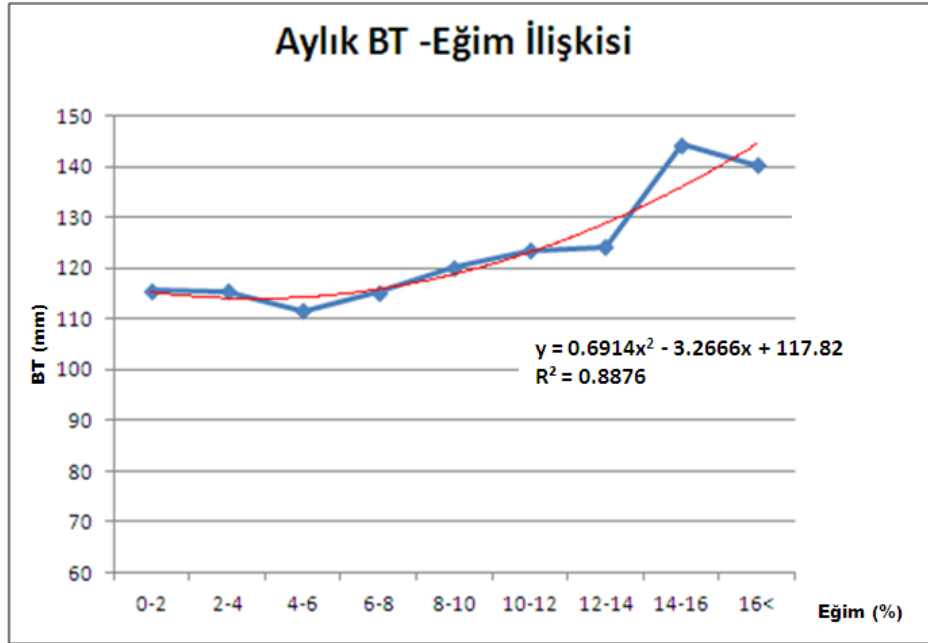
Şekil 3.6. Bafa Gölü ve Kuşadası A sınıfı aylık buharlaşma tavası değerleri grafiği

Bakı ve eğim ile gerçek BT arasındaki ilişkiyi incelemek üzere Şekil 3.7’de verilen BT-bakı ve arazi eğimi grafiği üretilmiştir. Düşük eğim değerlerinde bakının etkisi belirgin değildir. En düşük buharlaşma değeri kuzey yönde gözlenmektedir. Doğu, güney ve batı yönlü bakıların birbirlerine göre belirgin bir farkı tespit edilmemiştir. Eğim arttıkça BT değeri tüm bakılarda artmaktadır.

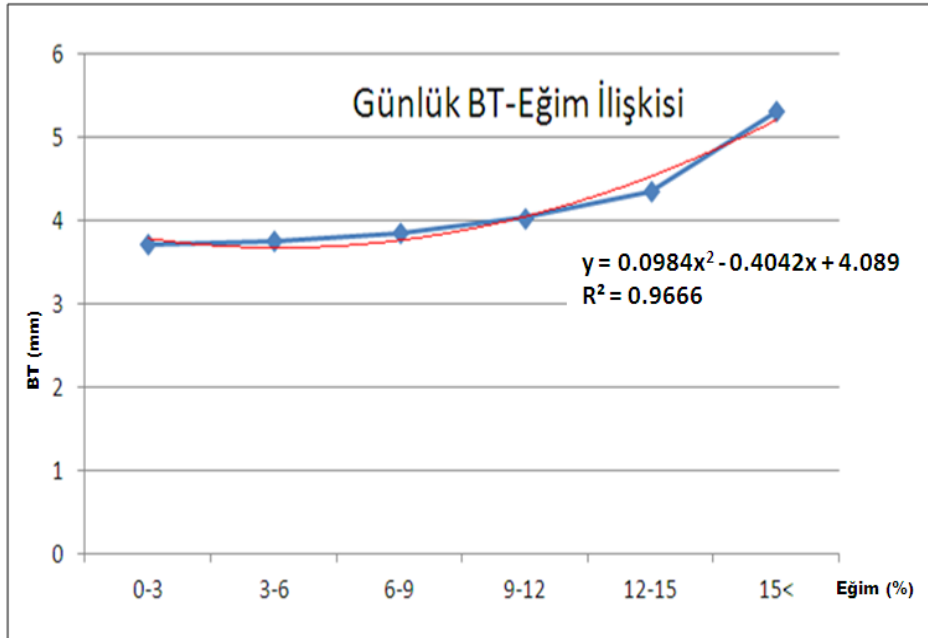
Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da sırasıyla aylık ve günlük BT değerlerinin eğim ile değişimi görülmektedir. Eğim ile BT arasında yüksek bir ilişki mevcuttur. Bu durumun sebebi Şekil 3.10 de sunulmuş olan albedo-eğim ilişkisinde görülmektedir. Albedo ile eğim ters orantılı bir ilişki göstermektedir. Eğim azaldıkça albedo artmaktadır. Eğimin artması ile elektromanyetik dalganın güzergahı uzamakta ve absorpsiyon artmaktadır. METRIC modelinde albedo gelen kısa dalga boyuna sahip radyasyonun hesaplanmasında kullanılmakta olup net radyasyon değeri üzerinde albedonun etkisi büyüktür. Bu nedenle eğim ile albedo arasında görülen ilişki, ters orantılı olarak BT ile eğim arasında da net olarak görülmektedir.



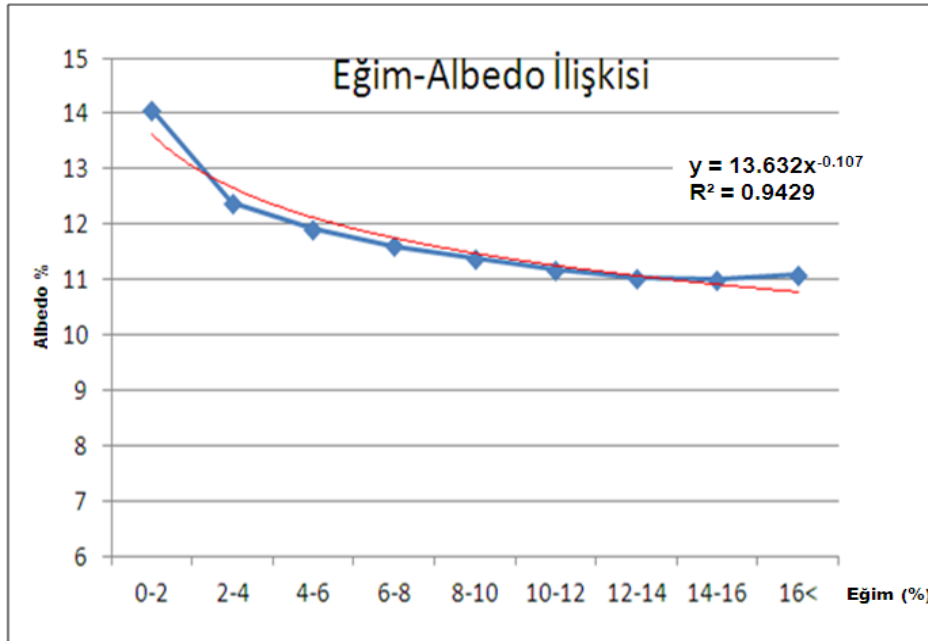
Şekil 3.7. Eğim-bakı-BT ilişkisi (15 Haziran 2010)



Şekil 3.8. Aylık BT-eğim ilişkisi (Haziran 2010)



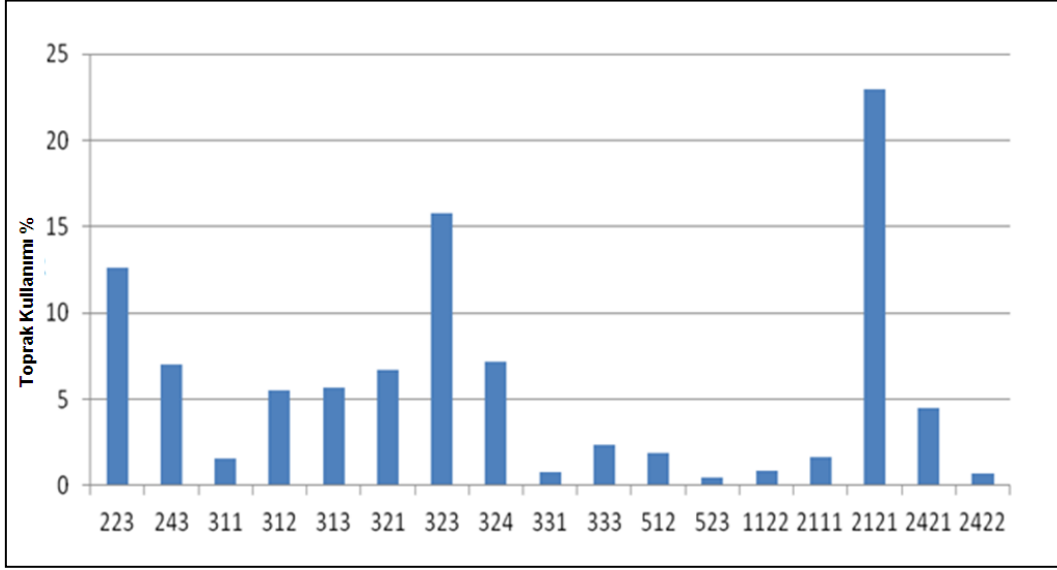
Şekil 3.9. Günlük BT-eğim ilişkisi (166.gün)



Şekil 3.10. Eğim-albedo ilişkisi (166.gün)

Toprak kullanımının gerçek BT'ye doğrudan etkisi vardır. Bu nedenle çalışma alanı toprak kullanımları incelenmiş, çalışma alanının %50'si tarımsal alan, %46'i orman ve yarı doğal alanlar, %3'ü su kaplı alanlar ve %1'i ise yapay bölgelerden oluştuğu belirlenmiştir. Şekil 3.11'de çalışma alanı toprak kullanımı alanları yüzde olarak sunulmuştur. Corine toprak kullanım sınıfı kodları Çizelge 1.4 ve Çizelge 1.5'te sunulmuştur. Çalışma alanında tarım alanları ve orman alanları büyük öneme sahiptir. Toprak kullanım alanlarına göre BT değişimi Çizelge 3.8 ve Şekil

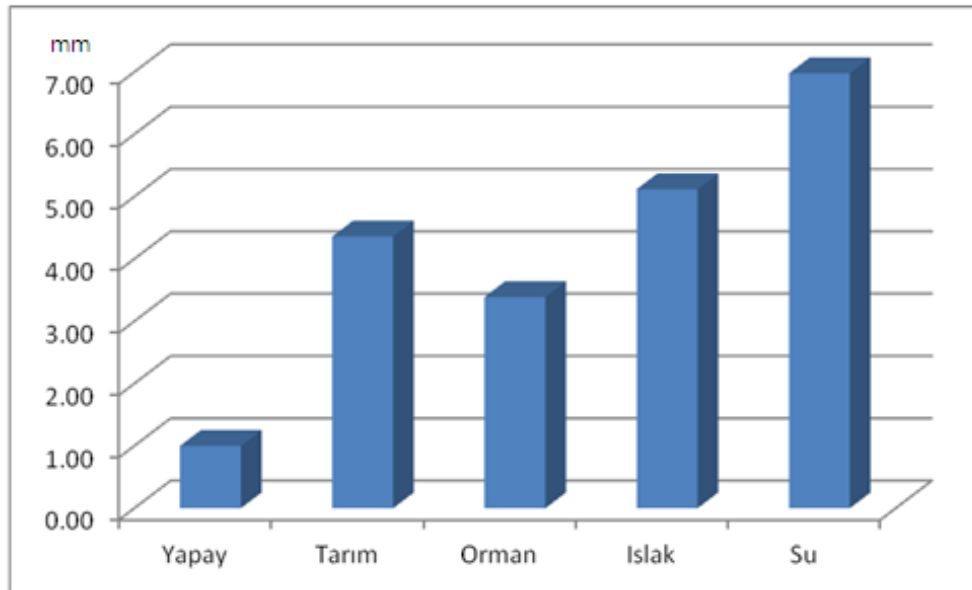
3.12'da sunulmuştur. Yapay alanlardan en az, su alanlarından en fazla BT gerçekleşmektedir.



Şekil 3.11. Çalışma alanı toprak kullanımı (%)

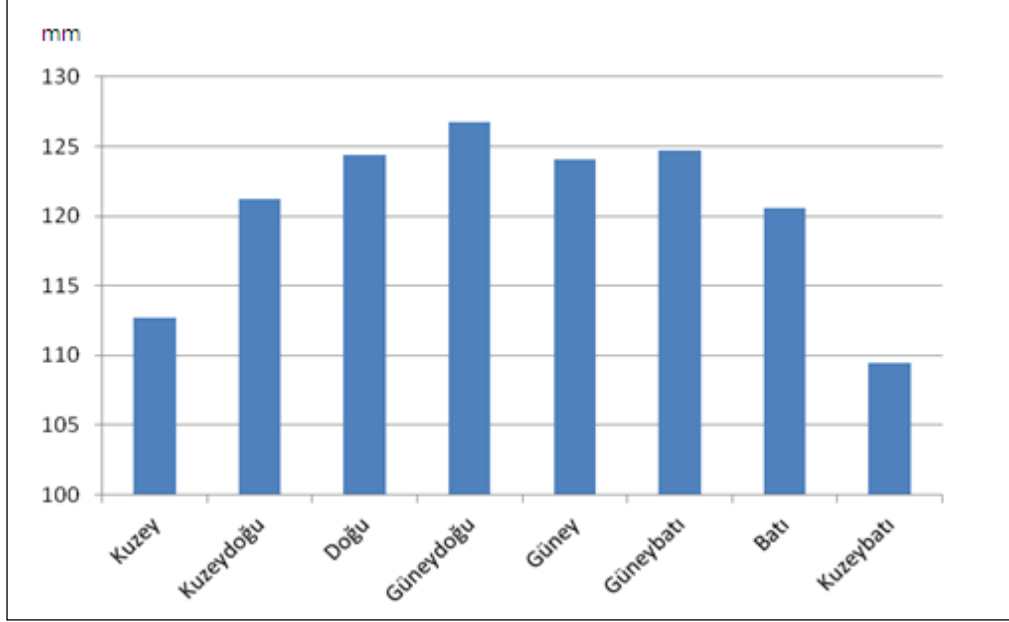
Çizelge 3.8. Toprak kullanımına göre BT değişimi (166. Gün)

Alan	Ortalama BT	Alan %
Corine Yapay	1.00	1
Tarım	4.36	50
Orman	3.39	45
Islak	5.12	1
Su	6.98	3



Şekil 3.12. BT-Toprak kullanımı ilişkisi (166.gün)

Çalışma alanında bakının BT'ye etkisini incelemek üzere çalışma periyoduna ait haziran ayı toplam BT değerlerinin 8 yöne göre dağılımı Şekil 3.13'da sunulmuştur. Güneyli yönlerde en yüksek BT değerleri gözlenmekte ve kuzeyli yönlerde düşük BT değerleri görülmektedir.



Şekil 3.13. Aylık BT'nin bakıya göre dağılımı (Haziran 2010)

Şekil 3.14'te sunulan Kuşadası Meteoroloji istasyonu resminden de görüldüğü gibi, gözlem istasyonunun etrafında yüksek binalar ve ağaçlar bulunmaktadır. Bu durum ölçümlerin doğruluğunu etkilemektedir. Dolayısıyla uydu temelli gözlemlerden elde edilen sonuçların yersel gözlemlere dayalı sonuçlarla karşılaştırılmasından her zaman güvenilir çıkarsamalar elde edilmesi mümkün olmayabilmektedir.





Şekil 3.14. MGM Kuşadası Meteoroloji İstasyonu gözlem parkı görüntüsü

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada MODIS uydu görüntüleri ve sınırlı miktarda bölgesel meteoroloji verileri kullanılarak, Aşağı Büyük Menderes Havzasında günlük bazda gerçek BT öngörüsü yapılmıştır. Havza geneli için yapılan hesaplamalar ile 1 Nisan-30 Eylül 2010 tarihleri arasında günlük bazdaki BT büyüklükleri belirlenmiştir. Ayrıca görüntüleri işlenen 11 gün için enerji dengesi bileşenleri de hesaplanmıştır.

Bafa Gölü açık su yüzeyi için uydu görüntülerinden belirlenen BT değerleri Kuşadası meteoroloji istasyonunda gözlenen A sınıf tava BT değerlerinden günlük bazda %17.7 ( $\pm 15.3$ , 1 standart sapma), aylık bazda ise %26.5 ( $\pm 5.6$ ) düzeyinde daha büyük bulunmuştur. Bu farklılığın meteoroloji istasyonu gözlemlerinin Bafa Gölü için temsil edici olmamasından kaynaklanması olasıdır.

Karasal alanda seçilen kıyaslama noktaları için yer gözlemler kullanılarak hesaplanan gerçek BT ile uydu verisi temelli gerçek METRIC BT öngörülere arasında sapmalar olduğu belirlenmiştir. Gerçek METRIC BT değerleri meteorolojik verilere dayalı gerçek BT değerlerinden ortalama olarak saatlik bazda %18.9 ( $\pm 26.8$ ), günlük bazda % 16.1 ( $\pm 27.1$ ) ve aylık bazda % 3.7 ( $\pm 37.3$ ) daha büyüktür. Yer ve uydu verilerine dayalı gerçek BT değerlerinin genel olarak uyumlu oldukları belirlenmiştir.

Günlük ve aylık bazdaki uydu ve yer verisi temelli BT değerlerinin incelenmesi sonucunda en büyük farklılığın yüzey eğiminin en yüksek olduğu 3 ve 4 numaralı kıyaslama noktalarında olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanı için üretilen BT haritalarının değerlendirilmesi sonucunda albedo ile eğimin ise ters orantılı, eğim ile BT'nin ise doğru orantılı olduğu belirlenmiştir. BT ile bakı arasındaki ilişki incelendiğinde, BT'nin güney bakıya sahip yerlerde daha çok, kuzey bakıya sahip yerlerde ise daha az saptanmıştır.

Çalışma alanında, belirtilen çalışma periyodu için toprak kullanım sınıfları ile BT arasındaki ilişki incelendiğinde BT'nin su alanlarında en yüksek, yapay alanlarda (şehir, endüstri vs.) ise en düşük düzeyde olduğu; tarım alanlarında oluşan BT'nin orman alanlarında oluşan BT'den daha büyük olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma ulaşılan sonuçlara göre, çalışma alanında havzada hidrolojik çevrimin en önemli bileşenlerinden BT'nin yersel olarak büyük değişkenlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu değişkenliğin başlıca nedenleri yüzey sıcaklıklarının dağılımı, toprak kullanımı, bakı, rzgrdır. Noktasal BT lmleri buldukları noktayı temsil edebilmekle birlikte, farklı eğim, bakı ve toprak kullanımı özelliklerine sahip diğer bölgelerdeki BT'nin doğru biçimde belirlenmesinde yeterli olamamaktadırlar. Bu nedenle BT'nin uydu verileri ile havza ölçeğinde, yüksek alansal ve zamansal çözünürlükle belirlenmesi anılan sorunun aşılması açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Su kaynaklarının rasyonel kullanımı ancak su kaynakları bütçesi bileşenlerinin yeterli sıklıkta ölçülmesi ve elde edilen verilerin sistemli biçimde değerlendirilmesi ile mümkündür. Bu kapsamda gereksinilen meteorolojik BT verilerinin yaygın biçimde üretilmesi g ve pahalı bir uygulamadır. Bununla birlikte önemli havzalar öncelikli olmak üzere ülke genelinde BT'nin yüksek alansal ve zamansal çözünürlükle belirlenmesi pek çok alanda faydalı olacaktır. Bu çalışmada da gösterildiği gibi BT'nin uydu verileri kullanılarak, havza bazında yüksek alansal ve zamansal çözünürlükle, tatmin edici doğrulukta hesaplanması mümkündür. Benzeri alışmaların Türkiye'deki diğer havzalarda da gerçekleştirilmesi söz konusu alanlardaki su kaynakları planlaması açısından önemli faydalar sağlayacaktır.

Gelecekte gerçekleştirilecek benzeri amaçlı çalışmalarda incelenen alanda çalışma periyodu içerisinde bitki desenine ilişkin saha verilerinin de üretilmesi uydu verisi temelli gerçek BT'nin belirlenmesine yönelik algoritmaların geliştirilmesi açısından önemli faydalar sağlayacaktır.

## 5. KAYNAKLAR

- Allen, R.G., Morse A., Tasumi, M.; Bastiaanssen, W., Kramber, W. and Anderson, H., 2001, Evapotranspiration from Landsat (SEBAL) for water rights management and compliance with multi-state water compacts. IGARSS., 2, pp. 830-833.
- Allen R.G., Tasumi, M. and Trezza R., 2007, Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration, METRIC (Model), J. Irrig. Drain. E., 133, pp 380-394.
- Allen, R., Tasumi, M., Morse, A., Trezza, R., Wright, J.L., Bastiaanssen, W., Kramber W, Lorite, L, and Robison, C.W., 2007, Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration, METRIC (Applications), J. Irrig. Drain. E. 133, pp 395-406.
- Allen, R., Pereira, L, Raes, D. and Smith, M., 1998, Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy.
- Anderson, M.C., Norman, J.M., Diak, G.R., Kustas, W.P. and Mecikalski, J.R., 1997, A two-source time integrated model for estimating surface fluxes using thermal infrared remote sensing. Remote Sens. Environ., 60, pp. 195-216.
- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., Holtslag, 1998, A.A.M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. J. Hydrol., pp. 198-212.
- Bastiaanssen, W.G.M., Pelgrum, H., Wang, J., Ma, Y.; Moreno, J.F. Roerink, G.J. and Van der, W.T., 1998, A Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL): Part 2 validation. J. Hydrol., pp. 213-229.
- Bastiaanssen, W.G.M., 2000, SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. J. Hydrol., 229, pp. 87-100.
- Bastiaanssen, W.G.M., Noordman, E.J.M., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B.P. and Allen, R.G., 2005, SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. ASCE J. Irrig. Drain. E., 131, pp. 85-93.
- Baumgartner, A. and E. Reichel., 1975, The World Water Balance., Elsevier, Amsterdam, 179 pp.
- Blaney, H.F. and Criddle, W.D., 1950, Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. USDA Soil Conserv. Serv. SCS-TP96, 44 p.
- Brutsaert, W.H., 1982, Evaporation into the Atmosphere, London, UK.
- Carlson, T.N., Capehart, W.J. and Gillies, R.R., 1995, A new look at the simplified method for remote sensing of daily evapotranspiration. Remote Sens. Environ. 54, pp. 161-167.
- Carlson, T.N. and Buffum, M.J., 1989, On estimating daily evapotranspiration from remote surface temperature measurements. Remote Sens. Environ., 29, 197-207.

- Caselles, V., Delegido, J., Hurtado, E. and Sobrino, J.A., 1992, Evaluation of the maximum evapotranspiration over La Mancha region, Spain using NOAA AVHRR data, *J Remote Sensing*, 13.
- Christiansen, J.E., and G.H. Hargreaves., 1969, Irrigation requirements from evaporation. *Trans. Int. Comm. On Irrig. and Drain.*, Vol. III, pp 569-596.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W.O., 1975, Guidelines for predicting crop water requirements, *Irrigation and Drainage Paper 24*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 179 p.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W. O., 1977, Crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper No. 24*, (rev.) FAO, Rome, Italy. 144 p.
- Gökdemir O, Arıkan A., 2003, Evapotranspiration from NOAA-AVHRR Images, *IEEE*, 2003, pp. 1169-1171
- Goward, S., Cruickshanks, G.D. and Hope, A., 1985, Observed relation between thermal emission and reflected spectral radiance of a complex vegetated landscape. *Remote Sens. Environ.*, 18, 137-146.
- Hargreaves, G. H. and Z. A. Samani, 1982, Estimating of potential Evapotranspiration. *J. Irrig. Drainage, E-ASCE* 108, pp. 223-230.
- Hargreaves, G. H. and Z. A. Samani, 1985 Reference crop evapotranspiration from temperature. *Appl. Eng. Agric.* 1, pp. 96-99.
- Idso, S.B., Jackson, R.D., Pinter, P.J.Jr., Reginato, R.J., Hatfield, J.L., 1981 Normalizing the stress-degree-day parameter or environmental variability, *Agric. Meteorol.*, 24, 24-45.
- Jackson, R.D., Reginato, R.J. and Idso, S.B., 1977, Wheat canopy temperature: A Practical tool for evaluating water requirements, *Water Resour. Res.* 13, 651-656.
- Jensen, M.E. and Haise, H.R., 1963, Estimating evapotranspiration from solar radiation. *J. Irrig. and Drain. Div.*, ASCE, 89, pp. 15-41.
- Jensen, M.E., Burman, R.D., and Allen, R.G., 1990, Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements, *ASCE Manual and Reports on Engineering Practices*, New York, American Society of Civil Engineers, 70, 332 p.
- Kustas, W.P. and Norman, J.M., 1999, Evaluation of soil and vegetation heat flux predictions using a simple two-source model with radiometric temperatures for a partial canopy cover. *Agric. For. Meteorol.*, 94, pp. 13-29.
- Lambin, E.F. and Ehrlich, D., 1996, The surface temperature-vegetation index space for land cover and land-cover change analysis. *Int. J. Remote Sens.*, 17, pp. 463-487.
- Liang, S. (2001), Narrowband to broadband conversion of land surface albedo. I. Formula, Algorithms, *Remote Sens. Environ.*, 76, pp. 213– 238.
- Liang, S., Shuey, C.J., Russ, A.L., Fang, H., Chen, M., Walthall, C.L., Daughtry, C.S.T and Hunt Jr. R., 2002, Narrowband to broadband conversions of land surface albedo: II. Validation, *Remote Sens. Environ.*, 84, pp. 25– 41.

- Menenti, M. and Choudhury, B., 1993, Parameterization of land surface evaporation by means of location dependent potential evaporation and surface temperature range. Proceedings of IAHS conference on Land Surface Processes. IAHS Publ. 212, pp. 561-568.
- Monteith, J.L., 1981. Evaporation and surface temperature. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, pp. 107:1-27.
- Morse, A., W.J. Kramber, R.G. Allen, and M. Tasumi, 2004, Use of the METRIC Evapotranspiration Model to Compute Water Use by Irrigated Agriculture in Idaho; Proceedings of the 2004 International Geoscience and Remote Sensing Symposium; Anchorage, AK.
- Nieuwenhuis, G.J.A., Schmidt, E.A. and Tunnissen, H.A.M., 1985, Estimation of regional evapotranspiration of arable crops from thermal infrared images. *Int. J. Remote Sens.*, 6, pp.1319-1334.
- Norman, J.M.; Kustas, W.P. and Humes, K.S., 1995, A two-source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes in observations of directional radiometric surface temperature. *Agric. For. Meteorol.*, 77, pp. 263-293.
- Pastor, M., Orgaz, F., 1994, Riego deficitario del olivar: los programas de recorte de riego en olivar. *Agricultura*, 746, pp.768–776 (in spanish).
- Penman, H.L., 1947, Natural evaporation from open water, bare soil and grass., *Proceedings Royal Society of London, Series of A. Mathematical and Physical Sciences*, London.
- Penman, H.L., 1948, Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc. London*, A193, pp. 120-146
- Penman, H.L., 1956, Estimating Evaporation, *Transactions of the American Geophysical Union* 37, pp. 43-50.
- Priestley, C.H.B. and Taylor, R.J., 1972, On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Mon. Weath. Rev.*, 100, pp. 81-92.
- Roerink, G.J., Su, Z. and Menenti, M., 2000, S-SEBI: A Simple Remote Sensing Algorithm to Estimate the Surface Energy Balance, *Phys. Chem. Earth (B)*., 25, pp. 147-157.
- Savva, P.A. and Franken, K., 2002, Crop Water Requirements and Irrigation Scheduling, Food and Agriculture Organization, 122 p.
- Seguin and B. Itier, B., 1983, Using midday surface temperature to estimate daily evaporation from satellite thermal IR data. *Int. J. Remote Sens.*, 4, 371-383.
- Seguin, B. Courault, D. and Guérif, M., 1994, Surface temperature and evapotranspiration: Application of local scale methods to regional scales using satellite data. *Remote Sens. Environ.*, 49, 287-295.
- Singh, R.K., Irmak, A., Irmak, S. And Martin, D.L., 2008, Application of SEBAL Model for Mapping Evapotranspiration and Estimating Surface Energy Fluxes in South-Central Nebraska. *J. Irrig. Drain. E.* 134, pp. 273-285.
- Su, Z., 2002, The surface energy balance system (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 6, pp. 85-99.

- Su, Z, 2006, An Introduction to the surface energy balance system (SEBS), Lecture Notes, Department of Water Resources (ITC), 43 p.
- Teixeira, A.H, Bastiaanssen, W.G.M.; Ahmadd, M.D., Bos, M.G., 2009, Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco river basin, Brazil Part B: Application to the regional scale. *Agric. For. Meteorol.*, 149, pp. 477-490.
- Thornthwaite, C.W., 1948, An approach toward a rational classification of climate. *Geograph. Rev.*, pp. 38,55.
- Thunnissen, H.A.M.and Nieuwenhuis, G.J.A., 1990, A simplified method to estimate regional 24-h evapotranspiration from thermal infrared data. *Remote Sens. Environ.*, 31, pp. 211-225.
- Turc, L., 1961, Evaluation des besoins en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle, formule climatique simplifice et mise a jour. (in French), *Ann. Agron.* 12, pp 13-49.
- Waters, R., Allen R., Tasumi, M., Trezza, R. and Bastiaanssen, W., 2002, SEBALAdvanced Training Manual, The Idaho Department of Water Resources,98 p.
- Zhao-Liang, L., Ronglin, T., Zhengming, W., Yuyun, B., Chenghu, Z., Bohui,T., Guangjian, Y. and Xiaoyu Z., 2009, A Review of Current Methodologies for Regional Evapotranspiration Estimation from Remotely Sensed Data, *Sensors* 2009, 9, pp. 3801-3853

Internet:

MODIS veri temini sayfası <https://wist.echo.nasa.gov> (18 Mayıs 2011)

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hakan AKSU

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Yılı : 1975

Medeni Hali : Evli-2 çocuk babası

Eğitim Durumu:

Lise :1989-1993 Anadolu Meteoroloji Meslek Lisesi

Lisans :1993-1997 İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Müh. Böl.

Yüksek Lisans: 2001-2005 Hacettepe Üniversitesi Jeoloji (Hidrojeoloji) ABD

Yabancı Dil: İngilizce ( iyi )

İş Tecrübesi:

1993-1997	Rasatçı	Sarıyer Meteoroloji İstasyonu, İstanbul
1997-1999	Mühendis	Devlet Meteoroloji İşleri, Ankara
1999-	Mühendis	Devlet Su İşleri, Ankara