

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MARMARA BÖLGESİ REFERANS
EVAPOTRANSPIRASYON HESAPLAMALARINDA
GÜNEŞ RADYASYON VERİLERİ VE REFERANS
EVAPOTRANSPIRASYON FREKANS ANALİZİ**

**Hazırlayan
Ayşenur BARAN**

**Danışman
Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA**

Yüksek Lisans Tezi

**Mart 2021
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MARMARA BÖLGESİ REFERANS
EVAPOTRANSPIRASYON HESAPLAMALARINDA
GÜNEŞ RADYASYON VERİLERİ VE REFERANS
EVAPOTRANSPIRASYON FREKANS ANALİZİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Ayşenur BARAN**

**Danışman
Prof. Ali ÜNLÜKARA**

**Mart 2021
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Ayşenur BARAN

İmza:

“Marmara Bölgesi Referans Evapotranspirasyon Hesaplamalarında Güneş Radyasyon Verileri ve Referans Evapotranspirasyon Frekans Analizi” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Ayşenur Baran

Danışman

Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA

Biyosistem Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Zeki GÖKALP

Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA danışmanlığında **Ayşenur BARAN** tarafından hazırlanan “**Marmara Bölgesi Referans Evapotranspirasyon Hesaplamalarında Güneş Radyasyon Verileri ve Referans Evapotranspirasyon Frekans Analizi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Biyosistem Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

12/03/2021

JÜRİ:

Danışman : Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA

Üye : Prof. Dr. Tekin ÖZTEKİN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hasan Ali İRİK

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... / /

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında benden desteğini, yardımlarını, bilgisini ve sabrını esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA'ya,

Hayatımın her alanında olduğu gibi tez yazım sürecinde de her zaman yanımda olup desteğini ve ilgisini hep gösteren sevgili eşim Oğuzhan BARAN'a,

Başta annem ve babam olmak üzere bana her zaman güvenen, arkamda duran, yaptığım her işte beni cesaretlendiren ve desteklerini hep hissettiren sevgili aileme,

Bilgilerini benimle paylaşan ve bana her zaman yardımcı olan kıymetli arkadaşlarım Nurbaki KOCAASLAN ve Süleyman Burak KARACA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayşenur BARAN

Kayseri, Mart 2021

MARMARA BÖLGESİ REFERANS EVAPOTRANSPIRASYON HESAPLAMALARINDA GÜNEŞ RADYASYON VERİLERİ VE REFERANS EVAPOTRANSPIRASYON FREKANS ANALİZİ

Ayşenur BARAN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Mart 2021
Danışman: Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA

ÖZET

Bitki su tüketimi tahminlerinde atmosferin etkisi, referans evapotranspirasyonla (ET_0) ve bitkinin etkisi ise bitki katsayılarıyla ifade edilmektedir. Son zamanlarda FAO Sulama ve Drenaj Yayınları No.56'da verilen referans evapotranspirasyon tahmin metodu, standart bir yöntem olarak kabul görmektedir. Bu yöntemde ET_0 tahminlerinde yerel Angstrom katsayıları önerilmekte ancak söz konusu katsayıların bulunmaması durumunda ise $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları ile hesaplamalara devam edilmektedir. Bu çalışmanın birincil amacı Marmara Bölgesi için yerel Angstrom katsayılarının saptanmasıdır. Bu katsayılar ile Marmara Bölgesi illerinin aylık ET_0 değerlerinin belirlenmesi ve çeşitli olasılıklarda (%5, %10, %25, %50, %75 ve %95) frekans analizleri ise çalışmanın ikinci amacını oluşturmuştur. Bunun için gerekli uzun yıllar iklim verileri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Bölgedeki tüm illerin aylık ve yıllık olarak yerel Angstrom katsayıları belirlenmesine karşın veri yetersizliği nedeni ile Balıkesir ve Kırklareli illerinde yıllık olarak belirlenmiştir. FAO 56 tarafından önerilen ($a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$) katsayılar kullanılarak ET_{01} , bölgede ölçülen güneş radyasyonu (R_s) verileri kullanılarak ET_{02} ve bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak ET_{03} aylık serileri hesaplanmıştır. ET_{02} serilerine göre ET_{03} serilerinin mutlak hatasının daha düşük olduğu saptanmıştır. Bu sonuç bölgesel Angstrom katsayıları ile ET_0 'ın daha hassas şekilde tahmin edilmesi anlamına gelmektedir. Tüm illerde ortalama yıllık toplam ET_0 en düşük Kocaeli'nde 808.5 mm ile en yüksek Balıkesir'de 1185.9 mm arasında değişim göstermiştir. Bilecik, Bursa, Çanakkale, Edirne, İstanbul, Kırklareli, Sakarya, Tekirdağ ve Yalova illerinde sırasıyla yıllık toplam ET_0 değerleri 965.1, 959.2, 1052.4, 840.5, 952.5, 957.8, 876.6, 858.7 ve 903 mm bulunmuştur. Bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak tahmin edilen

referans evapotranspirasyon ile bitki su tüketimi daha iyi tahmin edileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Referans evapotranspirasyon, Marmara Bölgesi, Angstrom katsayıları, frekans analizi

**USING SOLAR RADIATION DATA IN CALCULATION OF REFERENCE
EVAPOTRANSPIRATION AND MARMARA REGION REFERENCE
EVAPOTRANSPIRATION FREQUENCY ANALYSIS**

Ayşenur BARAN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, March-2021

Supervisor: Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA

ABSTRACT

In plant evapotranspiration predictions, the effect of the atmosphere is expressed by reference evapotranspiration (ET_o) while the effect of the plant by plant coefficients. Last few decades, the reference evapotranspiration estimation methodology in FAO Irrigation and Drainage Paper No.56 has been accepting as a standard method. In this method, using local Angstrom coefficients were advised but in the case of absence of these coefficients, the calculation procedures are continuing by taking the coefficients as 0.25 and as 0.50. The first purpose of this study was to determine the local Angstrom coefficients for Marmara Region of Turkey. The second purpose of this study was calculation of monthly reference evapotranspiration values using local Angstrom coefficients for the provinces in this region and performing of their frequency analysis at some probabilities (5%, 10%, 25%, 50%, 75% and 95%). The long-term climate data required for this study have been obtained from the General Directorate of Turkish State Meteorology Affairs. Although both monthly and annual Angstrom coefficients of the provinces in the Region were determined, only annual Angstrom coefficients of Kırklareli and Balıkesir provinces could be determined due to insufficient data. Monthly ET_{o1} series based on advised Angstrom coefficients, ET_{o2} (control) series based on measured solar radiation data (R_s) in the Region and ET_{o3} series based on local Angstrom coefficients were obtained and compared. According to ET_{o2} series, ET_{o3} series gave lower mean absolute errors than ET_{o1} . This result mean that more sensitive ET_o estimations could be made by local Angstrom coefficients. As minimum and maximum mean total annual ET_o values varied between 808.5 and 1185.9 mm for Kocaeli and Balıkesir, respectively. Respective mean total annual evapotranspiration values were found as 965.1, 959.2, 1052.4, 840.5, 952.5, 957.8, 876.6, 858.7 and 903 mm for Bilecik, Bursa, Çanakkale, Edirne, İstanbul, Kırklareli, Sakarya, Tekirdağ and

Yalova. It was concluded that better estimation of crop evapotranspiration would be made by ET_0 values calculated by using local Angstrom coefficients.

Key Words: Reference evapotranspiration, Marmara Region, Angstrom coefficients and frequency analysis

İÇİNDEKİLER

MARMARA BÖLGESİ REFERANS EVAPOTRANSPIRASYON HESAPLAMALARINDA GÜNEŞ RADYASYON VERİLERİ VE REFERANS EVAPOTRANSPIRASYON FREKANS ANALİZİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	iii
KABUL ONAY	iv
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER	x
KISALTMALAR VE SİMGELER	xii
TABLolar LİSTESİ	xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xvii
RESİMLER LİSTESİ	xx

GİRİŞ	1
-------------	---

1. BÖLÜM

LİTERATÜR ÖZETİ	5
-----------------------	---

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal	13
2.2.Yöntem	16

3. BÖLÜM

BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Bulgular ve Tartışma	21
3.1.1. Balıkesir	21
3.1.2. Bilecik	24
3.1.3. Bursa	30

3.1.4. Çanakkale.....	35
3.1.5. Edirne	41
3.1.6. İstanbul.....	46
3.1.7. Kırklareli	52
3.1.8. Kocaeli	55
3.1.9. Sakarya.....	60
3.1.10. Tekirdağ	66
3.1.11. Yalova	71

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler	77
-------------------------------------	-----------

KAYNAKLAR	79
------------------------	-----------

ÖZGEÇMİŞ.....	84
----------------------	-----------

KISALTMALAR VE SİMGELER

SEMBOL	ANLAMI
%	: Yüzde
$(e_s - e_a)$	: Doygun buhar basıncı açığı
$^{\circ}\text{C}$	: Derece celsius
a_s ve b_s	: Angstrom katsayıları
c_p	: Havanın özgül ısısı
d_r	: Yerküre güneş arası ters nispi uzaklık
DSİ	: Devlet su işleri
e_a	: Gerçek buhar basıncı
e_s	: Doygun buhar basıncı
ET_o	: Referans evapotranspirasyon
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
G	: Toprak ısı akısı
G_{sc}	: Solar sabit
J	: Yılın gün sayısı
K	: Kelvin
K_c	: Bitki katsayısı
M	: İlgili aya ilişkin ET_o veri sayısı
m	: Metre
N	: Gündüz süresi
n	: Güneşlenme süresi
P	: Referans evapotranspirasyonun dikkate alınan değerine eşit veya daha yüksek olma ihtimali
R	: Küçükten büyüğe doğru yapılan sıralamada dikkate alınan ET_o değerinin sırası
R_a	: Atmosfer dış yüzey radyasyonu
R_n	: Net radyasyon
R_{nl}	: Net uzun dalga radyasyon
R_{ns}	: Net kısa dalga radyasyon
RP	: Tekrarlama süresi
R_s	: Solar radyasyon

r_s	: Yüzey direnci
R_{so}	: Açık gökyüzü radyasyonu
T	: 2 m yükseklikte ortalama günlük hava sıcaklığı
TAGEM	: Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü
T_{mak}	: Maksimum sıcaklık
T_{min}	: Minimum sıcaklık
U_2	: 2 m yükseklikte rüzgâr hızı
α	: Albedo
γ	: Psikrometrik sabit
Δ	: Buhar basıncı eğrisinin eğimi
δ	: Solar deklinasyon açısı
λ_{ET}	: Eşdeğer buharlaşma
ρ_a	: Sabit basınçta ortalama hava yoğunluğu
σ	: Stefan-Boltzman sabiti
φ	: Enlem derecesi
ω_s	: Gün batımı saat açısı

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. 1998-2006 yılları arası aylara göre Balıkesir ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları.....	22
Tablo 3.2. Balıkesir ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri.....	23
Tablo 3.3. Bilecik ili için nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları ve Angstrom katsayıları	26
Tablo 3.4. 1983-2005 yılları arası aylara göre Bilecik ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları.....	28
Tablo 3.5. Bilecik ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri.....	28
Tablo 3.6. Bursa ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları	31
Tablo 3.7. 1989-2014 yılları arası aylara göre Bursa ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları.....	33
Tablo 3.8. Bursa ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri.....	34
Tablo 3.9. Çanakkale ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları	37
Tablo 3.10. 1967-2014 yılları arası aylara göre Çanakkale ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları.....	39
Tablo 3.11. Çanakkale ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri	39
Tablo 3.12. Edirne ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları	42
Tablo 3.13. 1968-2009 yılları arası aylara göre Edirne ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları.....	44

Tablo 3.14. Edirne ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri.....	45
Tablo 3.15. İstanbul ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları	48
Tablo 3.16. 1968-2006 yılları arası İstanbul ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları.....	50
Tablo 3.17. İstanbul ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri.....	50
Tablo 3.18. 2009-2017 yılları arası aylara göre Kırklareli ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları.....	53
Tablo 3.19. Kırklareli ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri.....	53
Tablo 3.20. Kocaeli ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları	56
Tablo 3.21. 1973-2005 yılları arası aylara göre Kocaeli ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları.....	58
Tablo 3.22. Kocaeli ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri.....	58
Tablo 3.23. Sakarya ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları	62
Tablo 3.24. 1983-2017 yılları arası aylara göre Sakarya ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları.....	64
Tablo 3.25. Sakarya ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri.....	64
Tablo 3.26. Tekirdağ ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları	67
Tablo 3.27. 1983-2017 yılları arası aylara göre Tekirdağ ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları.....	69

Tablo 3.28. Tekirdağ ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri.....	69
Tablo 3.29. Yalova ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları	73
Tablo 3.30. 1983-2006 yılları arası aylara göre Yalova ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları.....	75
Tablo 3.31. Yalova ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri.....	75

ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 3.1. Balıkesir ili 1998-2006 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi 22
- Şekil 3.2. Balıkesir ilinde %5, %50 ve %95 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri 23
- Şekil 3.3. Bilecik ili 1983-2005 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi 25
- Şekil 3.4. Bilecik ili 1983-2005 yılları arası aylık bazda Angstrom ilişkisi 27
- Şekil 3.5. Bilecik ilinde %5, %50 ve %95 ihtimalleri için aylık referans evapotranspirasyon değerleri 29
- Şekil 3.6. Bursa ili 1989-2014 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi 30
- Şekil 3.7. Bursa ili 1989-2014 yılları arası aylık bazda Angstrom ilişkisi 33
- Şekil 3.8. Bursa ilinde %5, %50 ve %95 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri 34
- Şekil 3.9. Çanakkale ili 1967-2014 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi 36
- Şekil 3.10. Çanakkale ili 1967-2014 yılları arası aylık bazda Angstrom ilişkisi 38
- Şekil 3.11. Çanakkale ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri 40
- Şekil 3.12. Edirne ili 1968-2009 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi 41
- Şekil 3.13. Edirne ili 1968-2009 yılları arası aylık bazda Angstrom ilişkisi 44
- Şekil 3.14. Edirne ilinde %5, %50 ve %95 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri 45

Şekil 3.15.	İstanbul ili 1968-2006 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi	47
Şekil 3.16.	İstanbul ili 1968-2006 yılları arası aylık bazda Angstrom ilişkisi.....	49
Şekil 3.17.	İstanbul ilinde %5, %50 ve %95 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon sonuçları.....	51
Şekil 3.18.	Kırklareli ili 2009-2017 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi	52
Şekil 3.19.	Kırklareli'nde %5, %50 ve %95 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon sonuçları.....	54
Şekil 3.20.	Kocaeli ili 1973-2005 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi	55
Şekil 3.21.	Kocaeli ili 1973-2005 yılları arası aylık bazda Angstrom ilişkisi	58
Şekil 3.22.	Kocaeli ilinde %5, %50 ve %95 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri	59
Şekil 3.23.	Sakarya ili 1983-2017 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi	61
Şekil 3.24.	Sakarya ili 1983-2017 yılları arası aylık bazda Angstrom ilişkisi.....	63
Şekil 3.25.	Sakarya ilinde %5, %50 ve %95 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri	65
Şekil 3.26.	Tekirdağ ili 1983-2017 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi	66
Şekil 3.27.	Tekirdağ ili 1983-2017 yılları arası aylık bazda Angstrom ilişkisi	69
Şekil 3.28.	Tekirdağ ilinde %5, %50 ve %95 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri	70
Şekil 3.29.	Yalova ili 1983-2006 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi	72
Şekil 3.30.	Yalova ili 1983-2006 yılları arası aylık bazda Angstrom ilişkisi	74

Şekil 3.31. Yalova ilinde %5, %50 ve %95 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri	76
--	----

RESİMLER LİSTESİ

Resim 1.1. Su buharı akışı için yüzey (hacim) direnci ve aerodinamik dirençlerin basit şekilde gösterimi	7
Resim 1.2. Teorik referans bitkinin özellikleri	9
Resim 2.2.1 Nispi güneşlenme oranı ve nispi solar radyasyon ilişkisi	19

GİRİŞ

Marmara Bölgesi ismini Marmara denizinden almaktadır. Balıkesir, Bilecik, Bursa, Çanakkale, Edirne, İstanbul, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya, Tekirdağ ve Yalova illerini kapsayan Marmara Bölgesi'nin yaklaşık yüzölçümü 67.306 km²'dir. Marmara Bölgesi'nde yaklaşık nüfus 24 milyon 465 bin 194'tür.

Birbirinden farklı iklimatik ve topografik özellikler gösteren bölge, bu özelliklerine paralel olarak ürün desenlerine sahip olmuştur. Trakya bölümünde yer alan Yıldız Dağları yer şekilleri sebebi ile tarıma elverişli değilken, Ergene Havzası ise tarım bakımından daha elverişli koşullar sağlamaktadır. Ergene bölümünde çok çeşitli tarımsal ürünler üretim imkânı bulunmaktadır ve bununla birlikte ayçiçeği ve bağcılık öne çıkmaktadır. Bölgenin Çatalca–Kocaeli Bölümünde ise, Adapazarı ovası sebze üretimi bakımından ön sıradadır.

Bölgenin diğer bir bölümü olan Güney Marmara bölümünde tarımsal alanlar ve tarımsal üretim daha çok yörede bulunan çeşitli göl kenarlarında ve akarsuların vadileri boyunca yer alan alüvyal düzlüklerden oluşmaktadır. Bu bölümde zeytin ve bağ alanları olmak üzere çeşitli meyve ve sebzelerin üretimi mümkündür (Bakırcı, 2021).

Bitki su tüketim verileri hidrolojik hesaplamalarda, tarımsal sulamalarda, sulama programlandırılmasında ve sulama sistemlerinin projelendirilmesinde kullanılmaktadır. Bitkiler tarafından terleme yoluyla kaybedilen ve çevresindeki topraktan buharlaşan suyun toplamının atmosfere geçişine evapotranspirasyon denilmektedir. ET_c (Bitki evapotranspirasyonu) üzerinde toprak verimi ve tuzluluğu, su kısıtı, hastalıklar, bitki zararlıları, bitkinin gelişim dönemleri ve iklim etkili olmaktadır. Evapotranspirasyon bitki su tüketimi ve iklim verilerinden tahmin edilebilirken doğrudan da ölçülebilir. Evapotranspirasyon hesaplamalarında birçok yöntem bulunmasına rağmen genellikle evapotranspirasyonu belirlemek aşağıdaki eşitlik önerilmektedir.

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (1)$$

Eşitlikte K_c bitki katsayısını, ET_o ise referans evapotranspirasyona karşılık gelmektedir. Elverişli suyun en yüksek oranda bitki ve toprak yüzeyinden uzaklaştırılması potansiyel evapotranspirasyon olarak adlandırılmaktadır. Gün gün değişen potansiyel evapotranspirasyon buharlaşma için elverişli enerji miktarına bağlıdır. Referans bitki evapotranspirasyonu ise özellikle çim veya yonca gibi özel bitkiler için potansiyel evapotranspirasyonu göstermektedir (James, 1988). Referans evapotranspirasyon atmosferin buharlaşma gücü ve bitki su tüketimi üzerinde atmosferik faktörlerin bileşke etkisi olarak nitelendirilmektedir.

Atmosferin buharlaştırma isteğinin doğru tahmini, bitki su tüketiminin de doğru olarak tahmin edilmesini sağlar. Aradaki bu doğrusal ilişki referans evapotranspirasyonun (ET_o), bitki üzerindeki iklim etkisini yansıtmamasından kaynaklanır. Atmosferin buharlaştırma gücünün ölçümü için ET_o kavramı tanımlanmıştır.

Toprak faktörlerinin ET_o 'ı etkilemediği kabul görmüştür. Bunun sebebi referans evapotranspirasyonda dikkate alınan referans yüzeyin su sıkıntısının olmamasıdır. Özel bir yüzeyden meydana gelen ET ve bitki evapotranspirasyonunun ilişkilendirilmesi bitki gelişim dönemleri ve bitki çeşitleri için ayrı olarak ET tanımlanması mecburiyetini yok eder. Farklı dönemlerde farklı bölgeler için hesaplanan ET_o değerleri aynı referans yüzeyden meydana gelen ET'yi temsil ettikleri için karşılaştırma yapmak için de kullanılabilir (Allen vd., 1998; Allen vd., 2005).

Referans evapotranspirasyon sadece sıcaklık, güneş enerjisi, rüzgâr hızı ve hava nemi gibi parametrelerden etkilenir. ET_o , herhangi bir yerde, yılın herhangi bir vaktinde atmosferin buharlaştırma gücüne karşılık gelir. Bu nedenle ET_o hesaplamalarında toprak faktörleri etkisi ve bitki katsayısı dikkate alınmaz. ET_o 'ın hesaplanmasında birçok farklı yaklaşım olmasına rağmen tek önerilen yöntem FAO, Penman-Monteith yöntemidir. Referans bitki olarak kabul edilen çim bitkisi üzerinde oluşan ET_o değerine en yakın sonuçları vermesi, aerodinamik ve fizyolojik değişkenlerin net olarak ilişkilendirilmesi ve fiziki olarak taban oluşturması, için en uygun yöntem olarak kabul edilir. ET_o tahminleri için birçok iklim parametresinin kullanılmasına rağmen eksik iklim parametreleri olduğu zamanda ek yöntemler geliştirilmiştir (Allen vd., 1998).

Referans yüzey sabit yüzey direnci 70 s m^{-1} ve albedosu 0.23, bitki boyu ise 0,12 m, olarak kabul edilen bir hipotetik çim referans yüzeyidir. Referans yüzey, ekildiğinde zeminin tamamını örten, zemini kaplama kabiliyeti yüksek, boy uzunluğu eşit, iyi sulanan ve aktif şekilde büyüyerek gelişme gösteren yeşil çim bitkisini temsil etmektedir. Yüzey direnci sabit 70 s m^{-1} ve yaklaşık 7 günlük sulama aralığı sonucunda meydana gelen orta dereceli kuru toprak yüzeyini tanımlamaktadır (Allen vd., 1998; Allen vd., 2005).

Evapotranspirasyona en fazla etki eden güç enerjidir. Enerjinin en fazla güneşten sağlanmaktadır. Yılın günlerine ve atmosferik koşullara bağlı olarak değişim gösteren güneş enerjisi miktarı doğrudan ölçülebildiği gibi güneşlenme süresi kullanılarak hesaplanabilmektedir. Meteoroloji istasyonlarında, Türkiye'nin il merkezlerinde bazı istasyonlarda her iki parametrede ölçülürken bazı istasyonlarda ise hiç ölçüm yapılmamıştır. Bu parametrelerin ölçümlerinin bulunmadığı dönemler veya ölçülmeye başlandığı tarihlerde farklılar bulunmaktadır. İstasyonlarda yapılan bakım, onarım ve cihaz yenileme gibi sebeplerden kaynaklı zaman zaman dönemlerde ölçüm verilerinde eksikliklerle karşılaşılabilir.

FAO 56 Penman-Monteith metodunda ET_0 hesaplanmasında yer yüzeyinden 2 metre yüksekteki rüzgâr hızı, en düşük ve en yüksek hava sıcaklıkları, en düşük ve en yüksek bağıl nem, yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon, rakım, psikometrik sabit, enlem ve boylam dereceleri, hava basıncı verileri kullanılmaktadır. ET_0 eşitliğinde kullanılan kısa dalga solar radyasyonunun (R_s) hesaplanmasında Angstrom eşitliğinden faydalanılmıştır (Eşitlik 2).

$$[R_s = (a_s + b_s \times (n/N)) \times R_a] \quad (2)$$

Bu eşitlikte öne sürülen bölge için orijinal Angstrom katsayıları (a_s ve b_s) kullanımı önerilmiştir. Hesaplama yapılan bölgede a_s ve b_s katsayılarının mevcut olmadığı durumlarda $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ alınarak hesaplamalara devam edilmektedir.

Bölgesel Angstrom katsayıları bilinmesi durumunda açık bir günde gelen solar radyasyon (R_{s0}) hesaplanmalarında da kullanılmaktadır. Aynı zamana R_{s0} , referans yüzeyin kaybetmiş olduğu net uzun dalga radyasyonun (R_{nl}) tahmininde yer almaktadır.

Referans yüzey üzerine ulaşan R_s , bu yüzey tarafından absorbe edilen net kısa dalga solar radyasyonun (R_{ns}) hesaplanmasında bulunmaktadır. R_{ns} değerinden R_{nl} 'nin çıkartılmasıyla referans yüzey tarafından kullanılacak olan net güneş enerjisi (R_n) hesaplanır. Ya doğrudan ya da dolaylı olarak Angstrom katsayıları, tüm radyasyon tahminlerinde yer almaktadır.

Bu çalışmada Marmara Bölgesi'nde yer alan illerin Angstrom katsayılarının hesaplanması hedeflenmiştir. Elde edilen Angstrom katsayılarıyla ve Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan güneşlenme süreleri ile Marmara Bölgesi için referans evapotranspirasyon değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Meteoroloji istasyonlarından alınan veri kayıtları boyunca aylık ET_o değerleri için frekans analizi yapılarak Marmara Bölgesi'nde bulunan illerde %5, %10, %25, %50, %75 ve %95 olasılıklarda görülebilecek ET_o değerleri saptanmıştır.

1. BÖLÜM

LİTERATÜR ÖZETİ

Topraktaki su atmosfere, topraktan evaporasyon, bitkilerden ise traspirasyon yolu ile gönderilmektedir. Bu iki aşamanın da evaporasyonu içermesi ve birbirlerinden kolay şekilde ayırt edilememelerinden kaynaklı birleştirilmiş ve evapotranspirasyon (ET) adını almıştır. Bitki su tüketimi ise direkt olarak toprak ve bitki yüzeyinden oluşan buharlaşmayı kapsadığı gibi aynı zamanda bitki turgorunun sağlanmasında, besin maddelerinin gönderilmesinde, bitki gelişiminde, fotosentezde ve benzeri bitki faaliyetlerinde kullanılan suyu da kapsamaktadır. Bitki su tüketimi ve bitki evapotranspirasyonun eşit olduğu kabul edilmektedir. Bunun sebebi aralarındaki farkın genellikle %1'den daha küçük olmasıdır (James, 1988).

Referans olarak kabul gören çeşitli çim ve yonca türlerinin evapotranspirasyonu diğer bitkilerdeki su ihtiyacının belirlenmesinde kullanılmıştır. Genellikle Çim için ET_0 ve yonca için ise ET_r kullanımı tercih edilmektedir. ET_r her zaman ET_0 'dan daha yüksektir. ET_r orta derecede rüzgârlı koşullarda ve yarı kurak bölgelerde ET_0 'ın 1.2 katı kadar varsayımda bulunmaktadır. Nem ve rüzgâr olmayan alanlarda belirlenen oran 1.05 kadar düşük ve kurak rüzgârlı şartlarda belirlenen oran ise 1.4 kadar yüksek olabilir. Çeşidine göre bazı çimler daha az miktarda su tüketirken bazı çeşitler ise daha fazla miktarda su tüketebilirler. Bundan kaynaklı özel bir referans ET_0 eşitliğini kalibre etmek için kullanılan çimin tipi bilinmelidir (Hargreaves ve Merkley, 2004).

Seçilen herhangi bir bitki için Referans ET, lizimetre değerleri kullanılarak kalibre edilen eşitlikten belirlenir. Bu eşitlik ısı transferi, fizik ve diğer çalışma alanlarına ait değerlerden bulunabilir ve sadece çevresel değişkenler ile deneysel olarak geliştirilebilir. Çok karmaşık olan referans ET eşitlikleri birden fazla parametre içerebilir ve çok hassas sonuçlar çıkarabilir. Bu şekilde karmaşık olan referans ET eşitliklerinde uygulamada farklı ve hassas klimatolojik veriler kullanılmalıdır.

Referans ET eşitlikleri genellikle kombine yöntemler, radyasyona ve sıcaklığa dayalı yöntemler, şeklinde bölümlendirilebilir. ET eşitlikleri ve hesaplamalarında birçok yaklaşım ve metot olmasına rağmen bunlardan sadece bazıları genel kullanıma uygun bulunmuştur.

Uluslararası Sulama ve Drenaj Komisyonu (ICID), Sulama ve Drenaj Dairesi ve Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği (ASCE) tarafından yapılan son görüşmelerde Penman-Monteith Eşitliği kullanımı önerilmiştir (Hargreaves ve Merkle, 2004).

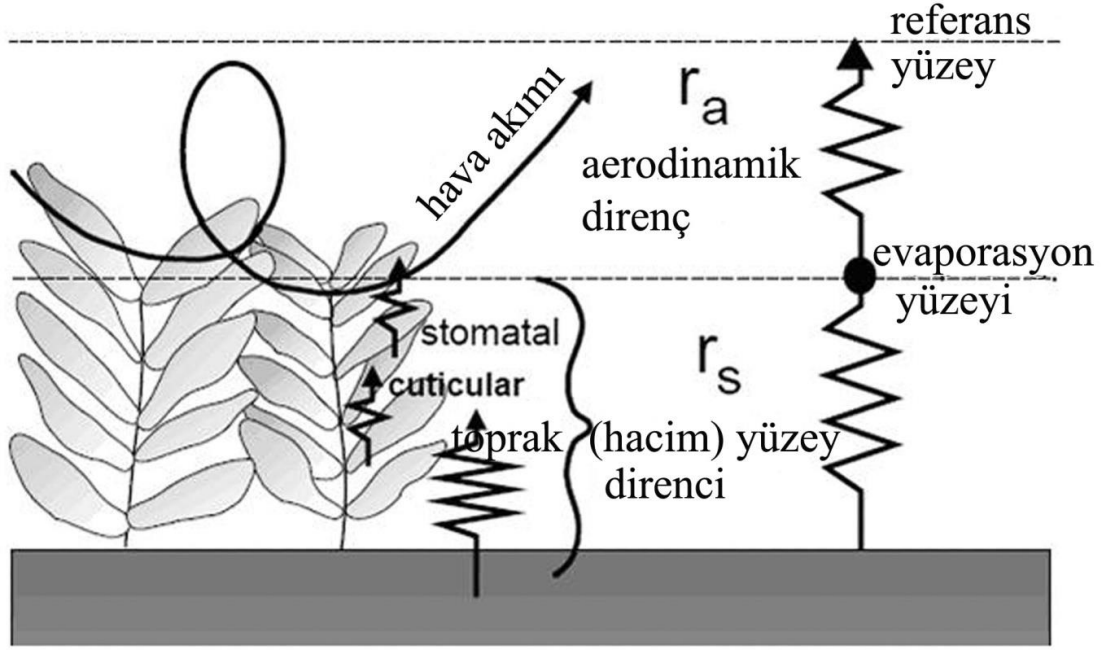
Su kısıtı olmayan referans bir yüzeyden meydana gelen evapotranspirasyon hızı, referans evapotranspirasyon veya referans bitki evapotranspirasyonu olarak adlandırılır ve ET_0 olarak ifade edilir. Referans yüzey olarak belirlenen bitki özel karakterleri olan bir hipotetik çim bitkisidir. Potansiyel ET gibi diğer seçeneklerin gösterimleri tanımlardaki tartışmalara neden olduğu için tavsiye edilmemektedir (Allen vd., 1998).

Kap buharlaşması yöntemi ET_0 tahminlerinde uygulanabilir. Buharlaşma kapları kullanışlı oldukları kanıtlanmıştır. ET_0 'ı belirlemek amacıyla kapta meydana gelen su kayıpları takip edilerek ve kap buharlaşmasını ET_0 ile ilişkilendiren deneysel katsayılar kullanılarak kap buharlaşması yöntemi başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Bunun yanı sıra özel yönetim ve ön uyarıların uygulanmasına kap buharlaşması yönteminde dikkat edilmelidir.

Penman 1948 yılında kütle transfer metoduyla enerji dengesi metodunu belirlemiş ve standart klimatolojik kayıtlarından elde edilen sıcaklık, nem, güneşlenme ve rüzgâr hızı verilerini kullanarak açık su yüzeyinde meydana gelen buharlaşmayı belirleyebilen bir formül geliştirmiştir. Birleştirilmiş metot olarak adlandırılan bu yöntem daha sonra birden fazla araştırmacı tarafından geliştirilmiş ve direnç faktörleri eklenerek bitki ekili alanlarda kullanıma uygun hale getirilmiştir.

Yüzey direnci ve Aerodinamik direnç unsurları arasındaki fark ayrımı yapılmıştır (Resim 1.1). Yüzey direnci değerleri genellikle tek bir değişken (hacim direnci) içerisinde dikkate alınmıştır. Aerodinamik direnç ve hacimsel direnç birbirleri ile ilişkili olarak çalışmaktadır. Yüzey direnci (r_s) gözenek açıklıklarından, toplam yaprak alanından ve toprak yüzeyinden meydana gelen su buharı akış direncini tanımlamaktadır. Aerodinamik direnç (r_a) ise vejetasyon üstü dirençleri ve vejetasyon

yüzey üstü hava akış sürtünmesini kapsamaktadır. İki direnç unsuruyla vejetasyon tabakasındaki değişim aşamalarının kesin olarak tanımlanması son derece karmaşıktır. Bu karmaşıklığa çözüm olarak, özellikle üniform çim referans yüzeyi için ölçülerek hesaplanan evapotranspirasyon değerleri arasında korelasyonlar saptanmıştır (Allen vd., 1998).



Resim 1.1. Su buharı akışı için yüzey (hacim) direnci ve aerodinamik dirençlerin basit şekilde gösterimi

Penman-Monteith birleşik eşitliği:

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma(1 + \frac{r_s}{r_a})} \quad (3)$$

Eşitlikte yer alan Δ doymuş buhar basıncı eğrisinin eğimini, R_n net radyasyonu, G toprak ısı akısını, ρ_a sabit basınçta ortalama hava yoğunluğu, c_p havanın özgül ısısını, $(e_s - e_a)$ havanın buhar basıncı açığını, r_a aerodinamik dirençleri, γ psikrometrik sabiti, r_s ise yüzey (hacim) direncini tanımlamaktadır. Yukarıda formüle edilen hali ile Penman-Monteith yaklaşımı, enerji değişimini ve üniform vejetasyondan meydana gelen gizli ısı akısını (evapotranspirasyon) kontrol eden tüm parametreleri kapsamaktadır. Bu parametrelerin birçoğu tespit edilebilir veya hava verilerinden de kolayca saptanabilirler. Aerodinamik dirençler ve yüzey dirençleri bitkiye özgü olduğundan

kaynaklı sıradan bir bitki evapotranspirasyonunun doğrudan belirlenmesinde bu eşitlik kullanılabilir.

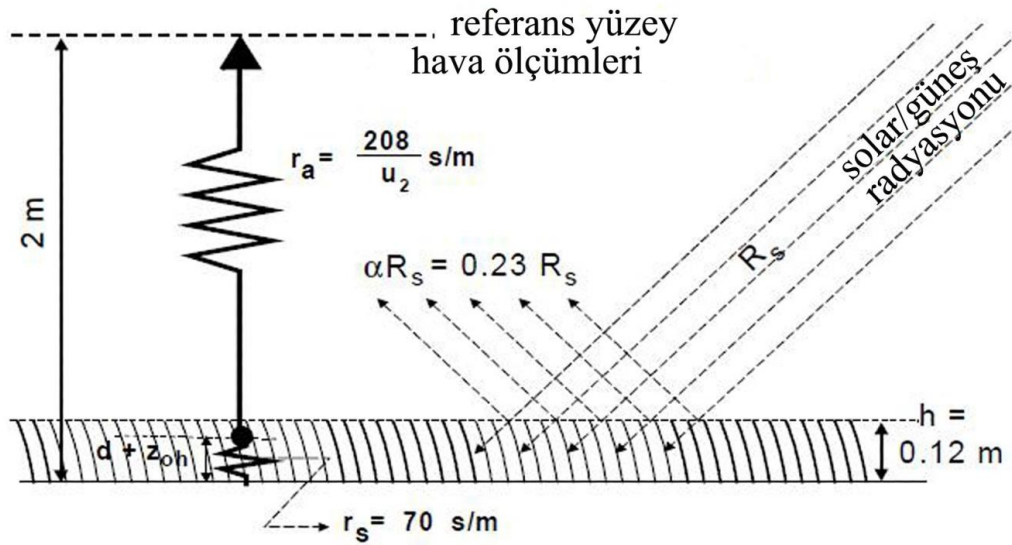
Her bir bitkinin gelişim döneminde kendine özgü evapotranspirasyon parametrelerinin tanımlanması gereklidir. Bunu gereklilikten kurtulmak için sabit bir referans yüzey kavramı tanımlanmıştır. Farklı bitkilerin evapotranspirasyon oranlarının referans yüzeyde meydana gelen evapotranspirasyon (ET_0) ile ilişkilendirilmesi bitki katsayıları (K_c) aracılığı ile gerçekleşmiştir (Allen vd., 1998).

Açık su yüzeyi daha önceki çalışmalarda referans yüzey olarak belirlenmiştir. Buna karşın vejetasyon kontrolü ve radyasyon karakteristiklerindeki farklılıklar, aerodinamik farklılıklar, serbest su yüzeyi buharlaşması ile ET 'nin ilişkilendirilmesinde önemli bir dönüm noktasını oluşturmuştur. ET_0 'ın özel bir bitkiyle ilişkilendirilmesi, bu bitkinin ekili olduğu yüzeylerden oluşan ET içerisindeki fiziksel ve biyolojik aşamaları ilişkilendirme üstünlüğüne sahip olmuştur (Allen vd., 1998).

Çim ile yonca bitkileri aerodinamik dirençleri ve yüzey dirençleri bakımından iyi çalışılmış bitkiler olduğu için genelde referans yüzey olarak kabul edilmişlerdir. Buhar difüzyonu direnci bitki boyuna, yaprak alan indeksi (LAI), yer örtüsüne ve toprak nem koşullarına güçlü şekilde bağlıdır. Bu sebeple bitki karakteristikleri iyi tanınıp sabit hale getirilmelidir. Bitki boyunda meydana gelen değişimler, yüzey pürüzlülüğü ve yaprak alan indeksinde (LAI) ki değişimlerle belirlenecektir. Buna bağlı olarak değerlendirilen aerodinamik dirençler ve kanopi gelecek zamanlarda belirgin şekilde değişimler gösterecektir. Bahsedilen dirençler üzerinde ve albedo üzerinde su stresi ile bitkinin yeri örtme derecesi belirli farklılıklara sahiptir (Allen vd., 1998).

Enerji, yoğun çalışma, iş gücü ve zaman gerektirecek olan bölgesel kalibrasyon sorunlarından kaçınabilmek amacıyla teorik referans çim bitkisi seçilmiştir. Çim morfolojisinin ve çeşidinin özellikle yüksek bitki su tüketimi sırasında evapotranspirasyon oranını etkilemesi bu bitkiyle birlikte gelen zorluklardandır. Belirleyici olarak kaydedilen çim bitkisinin soğuk mevsim veya sıcak mevsim çim bitkisi olarak seçilmesi önemli değişikliklere sebep olabilir. Soğuk mevsim çimleri daha az gözenek kontrolüne sahip olduğundan evapotranspirasyon değerleri daha fazladır. Ayrıca soğuk mevsim çimlerini tropik iklimlerde ve bazı kurak iklimlerde yetiştirmek mümkün olmayabilir (Allen vd., 1998).

Referans yüzey, gerekli olan sulamayla birlikte aktif şekilde büyüyen ve gelişen, yeri ve üniform yükseklikte geniş alanı tamamıyla kaplayan yeşil çim bitkisini çok yakın derecede temsil etmektedir. Çim yüzeyin üniform olması ve geniş alanları kaplaması gereksinimi, tüm akımların yukarı doğru tek yönlü olmadığı kabulünden sonuçlanır (Resim 1.2).



Resim 1.2. Teorik referans bitkinin özellikleri

Önceki FAO Penman yönteminin kısıtlamalarının üstesinden gelen FAO 56 Penman-Monteith Metodu dünya çapında gerçek bitki su tüketim verileriyle daha tutarlı değerler ortaya koymaktadır. Farklı bölgelerde ve yılın farklı zamanlarındaki evapotranspirasyon ile karşılaştırma yapılabileceği gibi diğer bitkilerin evapotranspirasyonu ile ilişki kurulabileceği bir standart gösterilmektedir (Allen vd., 1998; Allen vd., 2005).

Yeryüzünden alınan solar radyasyon, tarımsal, hidrolojik, klimatolojik ve meteorolojik modellerde en çok karşılaşılan parametrelerden birisidir. Farklı iklimlerde bu parametreyi belirlemek için birçok farklı deneysel eşitlikler tavsiye edilmiştir (Rahimi vd., 2012). Yatay bir yüzey üzerine gelen solar radyasyon modifiye Angstrom tipi eşitliklerinden yararlanılarak kolay bir şekilde tahmin edilebilir. Angstrom (1924) tarafından küresel solar irradyans ve güneşlenme süresi arasındaki ilk korelasyon basit bir doğrusal modelle belirlenmiştir. Zamanla Prescott tarafından geliştirilerek daha geçerli hale getirilmiştir (Suehrcke, 2000; Sen, 2001; Prescott, 1940).

Güneşlenme süresine dayalı olan Angstrom-Prescott eşitliği küresel solar radyasyonun (R_s) tahmin edilmesinde kullanılan en doğru ve yaygın olarak kullanılan eşitliklerden biridir. Bölgesel kalibrasyon katsayıları bu eşitliğin uygulanmasındaki en önemli faktördür. Çin'in Sarı Nehir havzasındaki 31 noktada uzun dönem verileri ile günlük, aylık ve yıllık olarak belirlenen ortalamalar kullanılmıştır.

Günlük verilere göre aylık ortalama günlük verilerde a_s katsayısı daha yüksek, b_s katsayısı ise daha düşük çıkmıştır ve daha büyük varyasyon göstermiştir (Liu vd., 2009).

Kuzeydoğu Nijerya'da güneşlenme süresine dayalı olan Angstrom-Prescott (1940) modeli, Ogelman vd. (1984) modeli ve Samuel (1991) modeli ile global solar radyasyon tahminleri yapılmış ve her üç model de sırasıyla $R^2=99,74$, $R^2=99,89$ ve $R^2=99,93$ determinasyon katsayılarıyla iyi performans göstermişlerdir (Gana and Akpootu, 2013).

Çin Tibet'te yatay bir yüzeye gelen küresel güneş radyasyonunun hesaplanmasında sadece güneşlenme süresini kullanan 8 model değerlendirilmiştir. Uygulamada basit doğrusal Angstrom-Prescott modeli makul derecede doğru sonuçlar ortaya koymuştur (Li vd., 2011).

Mashhad Sinoptik istasyonunun 1993-2007 arası günlük solar radyasyon ve güneşlenme süresi verileriyle Angstrom eşitliğindeki a_s katsayısı 0.2657 ve b_s katsayısı 0.4743 olarak belirlenmiştir. Bunun için Meta-Heuristic Harmony Search algoritması kullanılmıştır (Rahimi vd., 2012).

Ünlükara (2014) tarafından yapılan referans evapotranspirasyon hesaplamalarında solar radyasyon yoğunluğu ve nispi güneşlenme verilerinin kullanımı adlı çalışmada Kayseri için Angstrom katsayıları aylara göre belirlenmiştir. Kayseri'de ölçülen güneşlenme süreleri verileri kullanılarak hesaplanan ET_0 değerleri ve kısa dalga solar radyasyon verileri ile hesaplanan ET_0 değerleriyle belirlenen Angstrom katsayıları arasında önemli bir farkın olmadığı gözlemlenmiştir.

FAO 56 Penman-Monteith radyasyon tahmin modeli (Angstrom modeli) Yin vd. (2008) tarafından Çin'de 81 meteoroloji istasyonunun solar radyasyon ölçümleri ve Tibet

Platosundaki uzun dalga radyasyon ölçümleri kullanılarak kalibre edilmiştir. Yıllık bazda doğrusal regresyonla $a_s = 0.20$ ve $b_s = 0.79$ şeklinde tespit edilen katsayılarla tahmin edilen radyasyon en az hatayı vermiştir. Bölgesel kalibrasyon yapılmadan FAO 56 Penman-Monteith modeli kullanılarak bulunan net radyasyonun Çin’de yaklaşık %27 kadar daha yüksek tahmin edildiği saptanmıştır.

Saban Palu (2021), Kaymaz (2020), Kırtan (2019) ve Şimşek (2019) ve tarafından Doğu Anadolu, Karadeniz, İç Anadolu ve Akdeniz Bölgeleri için aylar bazında illere göre Angstrom katsayıları hesaplanmış ve ET_o ’daki değişim frekans analizi yapılarak ortaya konulmuştur.

FAO-56 Penman-Monteith metodunda önerilen ($a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$) Angstrom-Prescott katsayıları ve bölgesel olarak belirlenen Angstrom-Prescott katsayıları kullanılarak Güney Kore’de 16 bölgede sulama suyu ihtiyacı ve projelendirme su ihtiyacı tahminleri saptanmış ve karşılaştırılmıştır. (Jeong vd., 2018). Önerilen Angstrom-Prescott katsayıları 16 bölge için belirlenen katsayılara göre ET_o ’ı %3.8-14 arasında değişen oranlarda daha yüksek tahmin etmiştir. Bu aşırı tahmin, sulama suyu ihtiyacında ortalama olarak %5.1 ve projelendirme su ihtiyacında ise ortalama %4.8 aşırı tahmin olduğu gösterilmiştir.

İspanya’nın Andalusia Bölgesinde 56 meteoroloji istasyonundan 2001-2015 dönemi için ET_o verileri Fernandes vd. (2019) tarafından tespit edilmiştir. Günlük, 5 günlük, 10 günlük ve 30 günlük ET_o toplamaları 9 farklı ihtimal dağılımına uyarlanmıştır. ET_o verilerinin toplamının büyük çoğunluğunun Gumbel II ve Weibull dağılımına en iyi şekilde uyum sağladığı belirtilip söz konusu bölge için Gumbel II dağılımını tavsiye edilmiştir. Brezilya Cruz das Almas şehri için ET_o dağılımının normal, log-normal ve beta dağılımına uyum sağladığı Silva vd. (1998) tarafından belirtilmiştir. Brezilya Telemaco Borba şehrinde %5 olasılıkta Kolmogorov-Smirnov testi uygulanmış ve 10 günlük ET_o değerlerinin %65’nin normal dağılıma uyum gösterdiği saptanmıştır (Jerszurki vd., 2015).

Dört farklı meteoroloji istasyonunun on yıllık veri kayıtlarından yararlanılarak Blaney Cridlle Metodu, Hargreaves-Samani Metodu, Radyasyon Metodu, ASCE Penman-Monteith Metodu ve FAO 56 Penman-Monteith Metoduna göre Konya’da referans ET ve çeşitli bitkilerde bitki su tüketimleri tespit edilmiştir (Amarkai, 2019). Elde edilen

sonuçlara göre FAO 56 Penman–Monteith Metodu ile diğer yöntemler arasında istatistiksel olarak farklar olduğu görülmüştür.

Hidrolojik modellerde kullanmak için referans evapotranspirasyondan yararlanılmaktadır. Aynı zamanda ET_o değerlerinden yararlanılarak çeşitli illerin kuraklıkları değerlendirilmiş ve kuraklık indisi saptanmıştır (Yürekli vd. 2010; Yürekli ve Ünlükara, 2013a; Yürekli vd. 2013). Şimşek vd. (2014) tarafından Konya merkez ilçe referans bitki su tüketimi değişiminin belirlenmesi için bir çalışma yapılmıştır.

Kruskal Wallis, varyanslar analizinde Levene Testi ve değişim noktalarının saptanmasında Pettitt testi aylık ve mevsimsel ET_o serilerindeki değişimin çözümlenmesinde uygulanmıştır. Aylık ve mevsimsel ET_o serilerinde yapılan tüm testlerde değişim olduğu belirlenmiştir. Küresel ısınmanın etkisini araştırmak amacıyla Afyon, Ankara, Karaman, Kayseri ve Konya illerinde iklim parametrelerinin önemli bir kısmını içeren ET_o değerlerine trend analizi uygulamışlardır (Ünlükara ve Yürekli, 2014). ET_o serilerinin istatistik analizinde Mann-Kendal ve Theil-Sen Eğim testleri kullanılmıştır. Dikkate alınan istasyonlarda birçok sezonda %5, bazı sezonlarda ise %1 önem düzeyinde trend olduğu belirlenmiştir. Türkiye’de 77 istasyonda 32 yıllık bir dönem için Dadaser-Celik vd. (2015) tarafından Penman-Monteith yöntemiyle saptanan ET_o verilerine trend analizi uygulamışlardır. Yapılan çalışmada Türkiye’deki istasyonların büyük çoğunluğunda (%88) yıllık toplam ET_o ’ın güneyden kuzeye doğru azaldığını ve sonuçların 750-1200 mm aralığında olduğunu tespit etmişlerdir. İstasyonların %58’inde yıllık toplam ET_o değerlerinde yukarı doğru bir eğilimin olduğu ve bu eğilimin istasyonların %32’sinde 0.05 değerinde önemli olduğunu tespit edilmiştir.

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Marmara Bölgesinde bulunan 11 ilin meteoroloji istasyonundan alınan meteorolojik veriler bu çalışmanın materyalini oluşturmaktadır. Çalışmada kullanılan istasyonların numaraları, istasyon adları, bulundukları ilçeler, enlem ve boylam dereceleri ve rakımları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Marmara Bölgesi ET₀ hesaplamaları için dikkate alınan meteoroloji istasyonlarının numaraları, adları, bulundukları ilçeler, enlem ve boylam dereceleri ile rakımları

İstasyon No	Tam Veri Seti Aralığı	İstasyon Adı	İlçe	Enlem (°)	Boylam (°)	Rakım (m)
17150	1998-2006	Balıkesir	Altıeylül	39.6323	27.9201	102
17120	1983-2005	Bilecik	Merkez	40.1414	29.9772	539
17116	1989-2014	Bursa	Osmangazi	40.2308	29.0133	100
17112	1967-2014	Çanakkale	Merkez	40.141	26.3993	6
17050	1968-2009	Edirne	Merkez	41.6767	26.5508	51
17064	1968-2006	İstanbul	Kartal	40.9113	29.1558	18
17052	2009-2017	Kırklareli	Merkez	41.7382	27.2178	232
17066	1973-2005	Kocaeli	İzmit	40.7663	29.9173	74
17069	1983-2017	Sakarya	Adapazarı	40.7676	30.3934	30
17056	1983-2017	Tekirdağ	Süleymanpaşa	40.9585	27.4965	4
17119	1983-2006	Yalova	Merkez	40.6589	29.2796	4

Marmara geçiş iklimi Marmara Denizi çevresinden i Batı Anadolu'nun Kuzeyine kadar olan ve Karadeniz ile Akdeniz iklimleri arasında yer alan bir geçiş iklimidir. Akdeniz Bölgesi kadar kurak olmayan bu iklim genellikle Karadeniz kıyı kuşaağı kadar nemlidir. Topografya koşullarına göre yıllık ortalama yağış değişir. Alt kesimlerde ve dağların güney kesimlerinde 600 mm'nin altına kadar düşen yağış dağların kuzeye bakan yamaçlarında 1000 mm'nin üzerine kadar çıkar. Yazın düşen yağış Akdeniz bölgesine göre daha fazla, diğer mevsimlerde ise Karadeniz kıyı kesiminden daha azdır. Mevsimlere göre yağış en az yaz mevsiminde iken en fazla ise kış aylarında görülür. Bölgenin alt kesimlerinde 13-15°C olan yıllık ortalama sıcaklık, 2000 m civarında 4-5°C'ye kadar düşer. Alt kesimlerde 5-6°C olan ocak ayı ortalama sıcaklığı, yüksek kesimlerde 0°C'nin altına iner.

Bölgenin soğuk ve nemli olan yüksek yerlerinde asit reaksiyonlu olan topraklar, alt kesimlerde sıcaklığın artması ve yağışın azalmasıyla alkali reaksiyonlu topraklara dönüşür.

Özellikle yaz aylarında kuzey taraftan gelen nemli hava akımlarına bağlı olarak sis alan dağların kuzeye bakan Karadaę, Samanlı ve Kapıdağı yarımadasının yamaçlarında kayın, ıhlamur, kestane gibi ağaçlardan meydana gelen nemli ormanlar bulunur. Uludaę-Domaniç dağlarının kuzey yamaçlarındaki yüksek kesimlerde köknarlar, güneye bakan yüksek yamaçlarda karaçam, alt yamaçlarda ve alçak düzlüklerde Akdeniz bitkileri ve özellikle kızılçam ormanları görülür. İklim koşulları genellikle her türlü meyve ve sebze ile tahılların yetiştirilmesine elverişlidir (Atalay, 2010).

Türkiye genelinde sıcaklığın yıl içerisindeki değişimi, bölgelere göre farklılıklar gösterir. Bu durum; karasallık, coğrafi enlem, yükselti koşulları ve hava kütlelerinin yıl içerisindeki değişimi ile ilgilidir. Anadolu ve Trakya'yı çevreleyen kıyı kesiminde az olan yıllık sıcaklık değişimi, iç kesimlerde yüksek alanlara doğru artış gösterir. Bu sebeple Türkiye'de sıcaklığın yıl içerisindeki değişimine bağlı olarak 7 termik(sıcaklık) rejim tipi belirlenebilir (Koçman, 1993).

Marmara geçiş termik rejimi, Karadeniz ve Akdeniz termik rejim tipleri arasındaki geçiş rejimini niteler. Kuzey Ege ve Marmara Denizi çevresinde etkili olan bu termik rejimde yıllık ortalama sıcaklık 14-15 °C aralığında değişim gösterirken yaz aylarında 22-24

°C'ye çıkan sıcaklık kış aylarında 4-5 °C aralığındadır. Sıcaklık aralığı 18-19 °C aralığındadır (Atalay, 2010).

Türkiye'de yağış rejimleri cephelerin geliş yönleri, hava kütleleri, topoğrafya ve karasallık şartlarına bağlıdır. Batı rüzgarları kuşağı içerisinde yer alan Türkiye'de cepheler genellikle batı, kuzey batı ve güneydoğudan gelir. Bu cepheler, ekim ayı sonu ve kasım ayı başı ile nisan ayı arasındaki dönemde Türkiye'nin kuzey, batı ve güneydoğu bölgelerine yağış bırakır. Bu sebeple Anadolu'nun kenar bölgeleri, ilkbahar ve sonbahar arası dönemlerde yağışlı geçer. Kış yağışlarının hâkim olduğu Batı, Güney ve Güneydoğu Anadolu, Akdeniz yağış rejiminin etkisi altındadır. Fakat iç kısımlara doğru gidildikçe bu genel yağış rejiminde değişimler meydana gelir. Marmara yağış rejimi, Karadeniz ve Akdeniz yağış rejimleri arasında etkisini gösterir (Atalay, 2010).

Marmara geçiş rejimi yaz mevsiminde az olmak üzere genellikle her mevsimde yağış alan bir yağış rejimidir. Karadeniz ve Akdeniz yağış rejimi arasında bir geçiş oluşturan bu yağış rejimi, Marmara Denizi çevresinde Trakya'nın iç kesiminden İç Batı Anadolu'nun kuzeyine kadar olan alanda etkilidir. Kışın cephesel faaliyetlere bağlı olarak meydana gelen yağış miktarı, Akdeniz yağış rejimine göre daha azdır. Yazın Balkanlar'dan gelen cepheler, Trakya'da ve Kuzey Batı Anadolu bölgelerinde yağışlara neden olur. Fakat bu yağışlar, Akdeniz yağış rejimindeki kadar düşük değildir. Bu yağış rejiminin bir başka özelliği ise, Marmara Bölgesi'nde fazla olan yağışın güneydoğuya doğru azalmasıdır. Ayrıca kuzeyden gelen cepheleri engel olan dağların kuzey yamaçları, alçak olan ve güney yamaçlardan fazla yağış alır.

Marmara ve çevresinde Karadeniz kıyısına yakın olan kısımlarda az olan yağış değişimleri, iç kısımlara doğru artarak Simav'da en yüksek değere ulaşır. Trakya'da maksimum yağışlar 1000 mm'nin üzerine kadar çıkarken en düşük yağışlar ise 400 mm'nin altına kadar inebilir (Atalay, 2010).

2.2.Yöntem

Atmosferin buharlaşma gücünü gösteren referans bitki su tüketiminin (ET_o) tahmininde, Allen vd. (1998)'de belirtilen yöntemler takip edilmiştir:

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

Eşitlikte,

ET_o : Referans evapotranspirasyon (mm/gün),

Δ : Doygun buhar basıncı eğrisinin eğimi ($kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$),

R_n : Referans yüzeye gelen net kısa dalga güneş radyasyonu ($MJ \text{ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$),

G : Toprak ısı akısı ($MJ \text{ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$),

γ : Psikrometrik sabit ($kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$),

T : 2 m yükseklikte ölçülen ortalama günlük hava sıcaklığı ($^\circ C$),

u_2 : 2 m yükseklikte ölçülen günlük ortalama rüzgâr hızı ($m.s^{-1}$),

e_s : Doygun buhar basıncı (kPa),

e_a : Güncel buhar basıncı (kPa),

$e_s - e_a$: Doygun buhar basıncı açığı (kPa),

Bu eşitlik ile ölçüm yapılan yıllar arasında tam veri setinin bulunduğu dönemler için aylık olarak ET_o değerleri hesaplanmıştır. Bunun için günlük olarak kaydedilen minimum ve maksimum sıcaklıklar, minimum ve maksimum bağıl nem, ortalama sıcaklık, ortalama rüzgâr hızı, güneşlenme süresi ile güneşlenme şiddeti verilerinin aylık ortalaması alınmıştır. Sonuçlar mm/gün cinsinde bulunmuş, söz konusu ayın gün sayısı ile çarpılarak aylık toplam değerler elde edilmiştir.

Net radyasyon (R_n):

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (1)$$

Net kısa dalga radyasyon (R_{ns}):

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad (2)$$

α : albedo (0.23)

Solar radyasyon (R_s):

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a \quad (3)$$

a_s, b_s : Angstrom katsayıları

n : Güneşlenme süresi (saat)

Gündüz süresi (N):

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (4)$$

Gün batımı saat açısı (ω_s):

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \tan(\delta)] \quad (5)$$

φ : Enlem derecesi (rad)

Solar deklinasyon (δ):

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365}J - 1.39\right) \quad (6)$$

J : 1 Ocak ile 365 veya 366 (31 Aralık) arasında yıl içerisindeki gün sayısı

Atmosfer dış yüzeyine gelen radyasyonu (R_a):

$$R_a = \frac{24 \cdot (60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (7)$$

G_{sc} : Solar sabit (0.082 MJ/m².dak)

Yerküre-güneş ters nispi mesafesi (d_r):

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right) \quad (8)$$

Net uzun dalga radyasyon (R_{nl}):

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{mak,K}^4 + T_{min,K}^4}{2} \right] (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right) \quad (9)$$

σ : Stefan-Boltzman sabiti (4.903×10^{-9} MJ/K⁴ m²)

Açık gökyüzü radyasyonu (R_{so}):

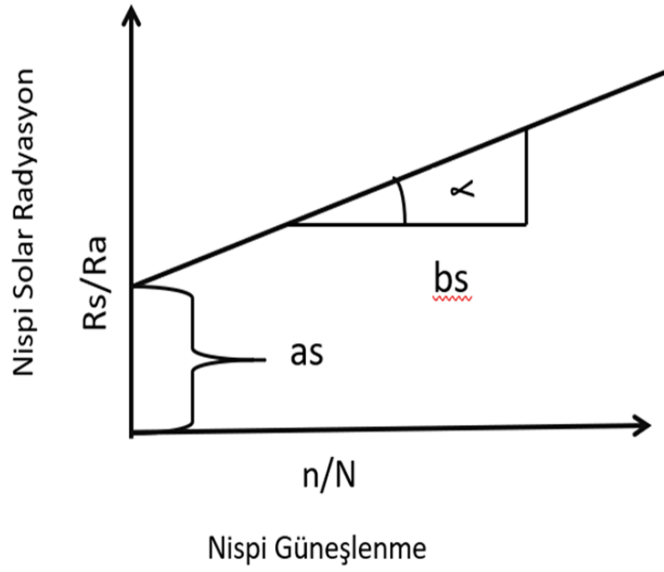
$$R_{so} = (a_s + b_s) R_a \quad (10)$$

T_{mak} ve T_{min} Kelvin cinsinden sırasıyla aylık ortalama maksimum ve minimum sıcaklıkları göstermektedir.

Eşitlik 'i aşağıdaki şekilde düzenlenirse:

$$\frac{R_s}{R_a} = a_s + b_s \frac{n}{N} \quad (11)$$

Eşitliğin sağ tarafında yer alan n/N nispi güneşlenme süresi apsis değerlerine karşılık sol tarafında yer alan R_s/R_a ordinat değerleri işaretlenmiş ve regresyonla her bir ilin her bir ayı için doğrusal eşitlikler elde edilmiştir (Ünlükara, 2014). Bu grafiklerde Marmara Bölgesi merkez illere ait güneş radyasyonu yoğunluğu (R_s) ve güneşlenme süresi verileri (n) Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilerek kullanılmıştır. Güneşlenme süresi kayıtlarında 2005 yılına kadar helyograf (von Negretti&Zambra) cihazı kullanılmış ve 2005 sonrasında güneşlenme süresi ve şiddeti Kipp Zonen marka cihazla ölçülmektedir. Güneşlenme şiddeti 2005 yılına kadar Dr. A Müller marka aktinometre cihazıyla ölçülmüştür. Doğrusal bir eşitlik olan Angstrom eşitliğinde regresyon doğrusundan belirgin şekilde sapma gösteren veriler çıkarılmıştır. Aylık grafiklerde regresyon doğrusunun Y eksenini kesmiş olduğu değer a_s ve söz konusu doğrunun eğimi ise b_s olarak dikkate alınmıştır. Cohen (1988)'e göre elde edilen ilişkinin gücü korelasyon katsayılarına göre $R=0.10-0.29$ ise düşük, $R= 0.30-0.49$ ise orta ve $R= 0.50-1.0$ ise yüksek şeklinde sınıflandırılmıştır.



Resim 2.2.1 Nispi güneşlenme oranı ve nispi solar radyasyon ilişkisi

Resim 2.2.1’de verilen nispi güneşlenme oranıyla solar radyasyon arasındaki doğrusal ilişki Angstrom ilişkisi olarak tanımlanmıştır. Doğrunun y eksenini (R_s/R_a) kestiği nokta a_s , doğrunun eğimi ise b_s katsayısını ifade etmektedir. Meteoroloji verilerinden ölçülmüş R_s ve n değerleri alınmıştır. R_a ve N değerleri ise hesaplanarak n/N ve R_s/R_a ’nın korelasyon ilişkisi bulunmuştur. Hesaplamalarda gün süresinin(n), gün uzunluğuna (N) eşit veya daha küçük olması gerektiği kuralına dikkat edildi. Veri seti içerisinde gün süresinin, gün uzunluğundan daha büyük olduğu veriler ayıklandı. Benzer şekilde $R_a > R_{s0} > R_s$ kuralına göre de problemliler temizlendi. Angstrom ilişkisi pozitif doğrusal bir ilişkidir. Artan n/N oranına karşılık R_s/R_a oranı da artmalıdır. Bu kuralı bozan verilerde ayıklanmıştır (Allen vd., 1998; Allen vd., 2005; Ünlükara, 2014).

FAO 56 tarafından önerilen ($a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$) katsayılar kullanılarak ET_{01} , bölgede ölçülen güneş radyasyonu (R_s) verileri kullanılarak ET_{02} ve bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak ET_{03} aylık serileri hesaplanmıştır. ET_{02} serilerine göre ET_{03} serilerinin ortalama mutlak hatası aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır:

$$OMH = \frac{|ET_{01} - ET_{02}|}{n} \quad (13)$$

$$OMH = \frac{|ET_{03} - ET_{02}|}{n} \quad (14)$$

Eşitlikte; OMH ortalama mutlak hata (mm), ET_{01} FAO 56 tarafından önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları kullanılarak hesaplanan referans evapotranspirasyon (mm), ET_{02} illerde ölçülen güneş radyasyonu (R_s) verileri kullanılarak hesaplanan referans evapotranspirasyon (mm), ET_{03} bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan referans evapotranspirasyon ve n ise aylık veri sayısıdır.

Angstrom katsayıları belirlendikten sonra güneşlenme süresinin kaydedildiği yıllar boyunca ET_{03} değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen referans evapotranspirasyon değerlerinin tekrarlama ihtimallerinin belirlenmesi için James (1988)'e göre frekans analizi uygulanmıştır.

$$RP=100/P \quad (15)$$

Eşitlikte RP tekrarlama süresi ve P ise ET_0 'ın verilen bir değerine eşit veya bu değeri aşma ihtimalidir. Aylık ET_0 değerleri küçükten büyüğe doğru sıralandıktan sonra her bir değer için meydana gelme ihtimali aşağıdaki eşitlik ile bulunmuştur:

$$P=(1-R/(M+1)) \times 100 \quad (16)$$

Eşitlikte; P referans evapotranspirasyonun dikkate alınan değerine eşit veya bu değeri aşma ihtimali (%), R küçükten büyüğe doğru yapılan sıralamada dikkate alınan ET_0 değerinin sırası ve M ise toplam ET_0 değerleri sayısını ifade etmektedir. Eşitlik (15) ile P değerlerinin Weibull dönüşümü yapıldıktan sonra ET_0 değerlerine karşılık gelen grafiği çizilmiş ve regresyon analizi ile frekans eşitliği elde edilmiştir:

$$W=\log[-\log(P/100)] \quad (17)$$

Frekans analizi esnasında yarı logaritmik frekans doğrusundan belirgin şekilde sapma gösteren ET_0 verileri ayıklanmıştır (Ünlükara, 2014). ET_0 dağılımının uç değerleri yani %5-95 ihtimalle görülen değerlerden daha büyük ve daha küçük ET_0 değerleri göz ardı edilerek dikkate alınan bölgedeki ET_0 'ın dalgalanması gösterilmek istenmiştir. ET_0 değerlerinin uyduğu dağılıma göre değişmekle birlikte %50 ihtimalle görülen ET_0 değeri yaklaşık olarak ortalamayı temsil etmektedir. %75-25 ihtimalle görülen ET_0 değerleri ise projelendirme maksatlarıyla yaygın olarak kullanılan ihtimal değerleri olduğu için dikkate alınmıştır. Elde edilen frekans eşitliğinden %5, %10, %25, %50, %75 ve %95 tekrarlanma olasılıklarına karşılık gelen ET_0 değerleri bulunmuştur.

3. BÖLÜM

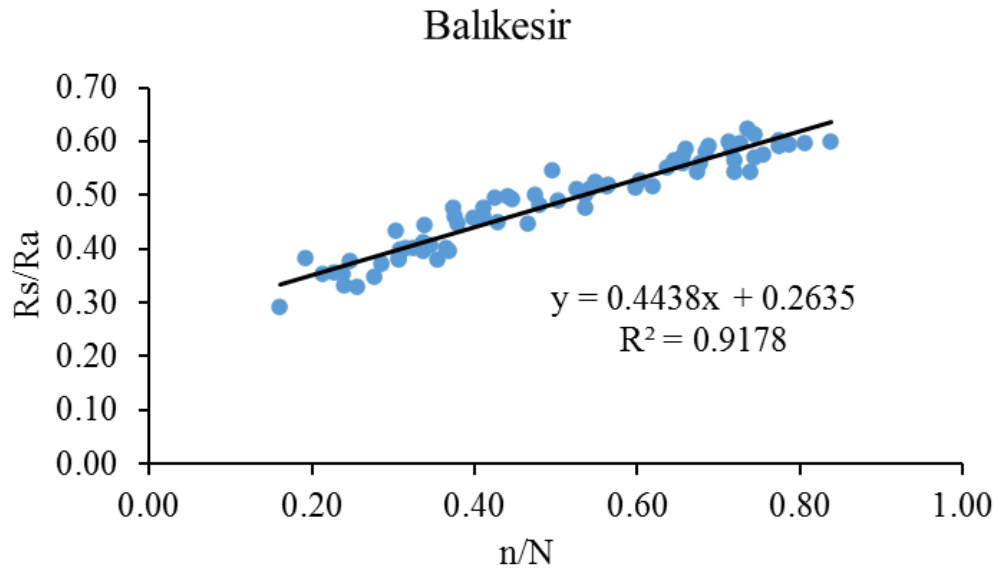
BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Bulgular ve Tartışma

Marmara Bölgesi'nde yer alan 11 ilden 9'unun aylık bazda Angstrom katsayıları eşitlik 12 kullanılarak hesaplanmıştır. Balıkesir ve Kırklareli illerinde yeterli güneş radyasyonu ölçüm verileri olmadığı için aylık olarak Angstrom katsayıları belirlenememiş, bu illerde yıllık bazda verilmiştir. Sonuçlar il bazında aşağıda detaylı şekilde sunulmuştur.

3.1.1. Balıkesir

Balıkesir ilinde 1998-2018 yılları arasında 21 yıllık meteorolojik veri kaydı içerisinde zaman zaman veri olmayan dönemler dışında büyük oranda güneşlenme süresi verileri bulunmaktadır. Buna karşın 2007 yılından sonra güneşlenme şiddeti veya global radyasyon verilerinde bulunan eksiklikler yanında bu tarihe kadar da yer yer eksiklikler söz konusudur. Verilerdeki bu sorunlar nedeniyle Angstrom katsayıları aylık bazda değil tam veri setinin bulunduğu 1998-2006 arası dönemde yıllık bazda saptanmıştır (Şekil 3.1). Şekil 3.1'den de görülebileceği gibi Balıkesir'de nispi güneşlenme süresi (n/N) ile nispi solar radyasyon arasında son derece kuvvetli ($R= 0.96$) pozitif doğrusal bir ilişki söz konusudur. Balıkesir'de yıllık bazda $a_s= 0.2635$, $b_s= 0.4438$ ve $a_s+b_s= 0.7073$ şeklinde bulunmuştur. Bölgesel Angstrom katsayılarının bulunmaması durumunda FAO 56 tarafından önerilen $a_s= 0.25$ ve $b_s= 0.50$ katsayılarına göre Balıkesir'de a_s biraz yüksek, b_s ise daha düşük çıkmıştır. Toplamları ise 0.75 katsayısına göre 0.0427 kadar daha düşüktür. Balıkesir'de atmosfer dış yüzeyine ulaşan 1 birim radyasyonun (R_a veya extraterrestrial radyasyon) 0.7073'ü açık bir günde yer yüzeyine ulaşmaktadır. Kapalı bir günde R_a 'nın 0.2635'i yer yüzeyine ulaşırken bulutlu günlerse ise güneşlenme oranına bağlı olarak 0.4438'i ulaşmaktadır.



Şekil 3.1. Balıkesir ili 1998-2006 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi

Yıllık Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri dikkate alınarak Balıkesir için tahmin edilen ET_0 frekans analizi sonuçları Tablo 3.1 'de ve frekans analizi eşitlikleri Tablo 3.2'de sunulmuştur. ET_0 'ın %5, %50 ve %95 ihtimalle ortalama aylık bazda değişimleri Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. 1998-2006 yılları arası aylara göre Balıkesir ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
5	1.06	1.56	2.42	3.30	4.66	6.21	7.51	7.18	4.75	2.96	1.65	1.11	3.70
10	1.03	1.51	2.35	3.23	4.58	6.09	7.38	7.05	4.64	2.88	1.60	1.07	3.62
25	0.95	1.41	2.22	3.09	4.41	5.85	7.13	6.80	4.41	2.72	1.48	0.98	3.45
50	0.86	1.28	2.04	2.90	4.17	5.54	6.78	6.47	4.10	2.51	1.33	0.87	3.24
75	0.73	1.11	1.81	2.65	3.88	5.14	6.33	6.04	3.71	2.24	1.13	0.72	2.96
95	0.48	0.78	1.37	2.18	3.30	4.35	5.46	5.19	2.94	1.71	0.74	0.43	2.41

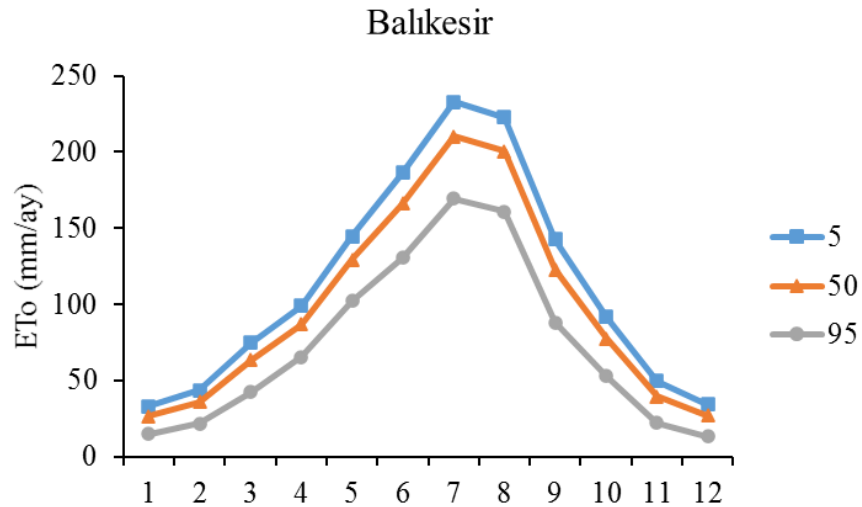
Tablo 3.2. Balıkesir ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_o = 0.3288 \times W + 1.0265$	7	$ET_o = 1.1623 \times W + 7.382$
2	$ET_o = 0.4462 \times W + 1.5124$	8	$ET_o = 1.124 \times W + 7.0512$
3	$ET_o = 0.5917 \times W + 2.3491$	9	$ET_o = 1.0268 \times W + 4.6359$
4	$ET_o = 0.6347 \times W + 3.2772$	10	$ET_o = 0.7063 \times W + 2.8751$
5	$ET_o = 0.7725 \times W + 4.576$	11	$ET_o = 0.5149 \times W + 1.595$
6	$ET_o = 1.0512 \times W + 6.0864$	12	$ET_o = 0.3857 \times W + 1.0688$

Tekrarlanma olasılığı %5 için $W=0.114$, %10 için $W=0.000$, %25 için $W=-0.220$, %50 için $W=-0.521$, %75 için $W=-0.903$ ve %95 için $W=-1.652$

Balıkesir ilinde en düşük evapotranspirasyonun görüldüğü ocak ayında frekans analiz sonuçlarına göre %5 ve %95 olasılıkla 1.06-0.48 mm/gün arasında değişen ET_o %50 olasılıkla 0.86 mm/gün olarak hesaplanmıştır. En yüksek atmosferik buharlaştırma gücünün (ET_o) görüldüğü temmuz ayında %5 ve %95 olasılıkla 7.51-5.46 mm/gün arasında değişen ET_o %50 olasılıkla 6.78 mm/gün bulunmuştur.

Balıkesir ilinde 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda %50 olasılıkla sırasıyla 26.5, 35.8, 63.3, 86.9, 129.4, 166.1, 210.1, 200.4, 123.0, 77.7, 39.8 ve 26.9 mm referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir (Şekil 3.2). Balıkesir’de en yüksek aylık toplam ET_o temmuz ayında ortalama 210.1 mm ve en düşük ocak ayında ortalama 26.5 mm olarak saptanmıştır.



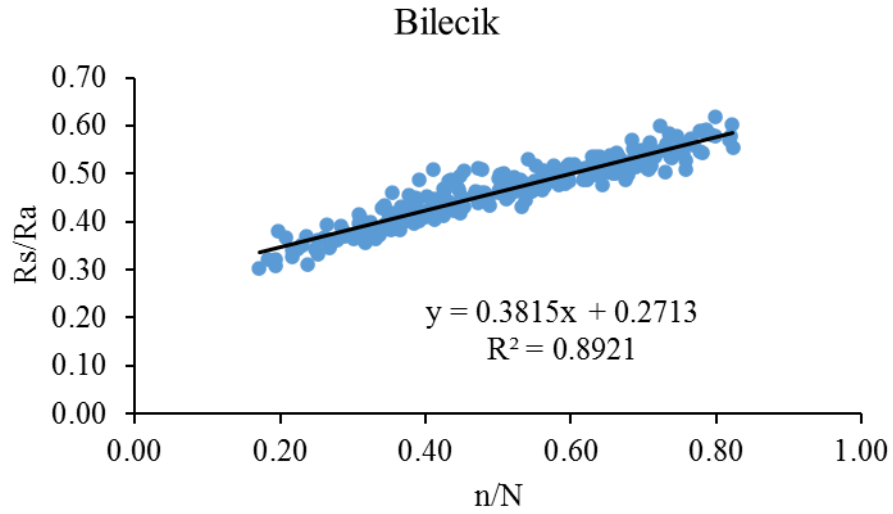
Şekil 3.2. Balıkesir ilinde %5, %50 ve %95 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

FAO 56 tarafından önerilen $a_s = 0.25$, $b_s = 0.50$ ve güneşlenme süreleri (n) ile hesaplanan ortalama olarak günlük ET_{01} sonuçları ile Balıkesir’de ölçülmüş R_s ve bölgesel Angstrom katsayılarıyla hesaplanan günlük ET_{02} sonuçları arası mutlak hata 0.14 mm/gün bulunmuştur. ET_{02} sonuçları ile bölgesel Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri (n) ile hesaplanan ET_{03} sonuçları arası mutlak hata ise 0.04 mm/gün saptanmıştır. Bu sonuçlara göre bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak Balıkesir için daha hassas şekilde ET_0 tahmin edilmektedir.

Balıkesir ilinde elde edilen verilere göre yıllık toplam atmosferik buharlaştırma gücü (ET_0) 1185.9 mm, TAGEM-DSİ (2017)’ye göre 1055 mm, Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre ise 1177.7 mm olarak tahmin edilmiştir. Yıllık toplam ET_0 TAGEM-DSİ (2017) rehberine göre %11 (130.9 mm), Cropwat 8.0 programına göre ise %0.7 (8.23 mm) daha yüksek bulunmuştur. Bu fark, bölgesel Angstrom katsayılarının ve veri setinde farklı dönemlerin dikkate alınmasından kaynaklanıyor olabilir. Cropwat 8.0 programı ET_0 hesaplamalarında Doorenbos ve Pruitt (1977) tarafından FAO-24’te verilmiş olan Penman-Monteith yöntemini kullanmaktadır.

3.1.2. Bilecik

Bilecik ilinde 1939-2018 yılları arasında 80 yıllık meteorolojik veri kaydı olmasına rağmen Angstrom katsayılarının belirlenmesi için 1983-2005 arasında 23 yıllık tam veri seti bulunmaktadır. Yıllık bazda Angstrom ilişkisi Şekil 3.3’te ve aylık bazda ise Şekil 3.4’te gösterilmiştir. Şekil 3.3’ten de görülebileceği gibi Bilecik’te yıllık bazda nispi güneşlenme süresi (n/N) ile nispi solar radyasyon arasında son derece kuvvetli ($R = 0.94$) pozitif doğrusal bir ilişki söz konusudur. Bilecik’te yıllık bazda $a_s = 0.2713$, $b_s = 0.3815$ ve $a_s + b_s = 0.6528$ şeklinde bulunmuştur. Bilecik’te atmosfer dış yüzeyine ulaşan radyasyonun (R_a) 0.6528’i açık bir günde yer yüzeyine ulaşmaktadır. Kapalı bir günde R_a ’nın 0.2713’ü yer yüzeyine ulaşırken bulutlu günlerse ise güneşlenme oranına bağlı olarak 0.3815’i ulaşmaktadır.



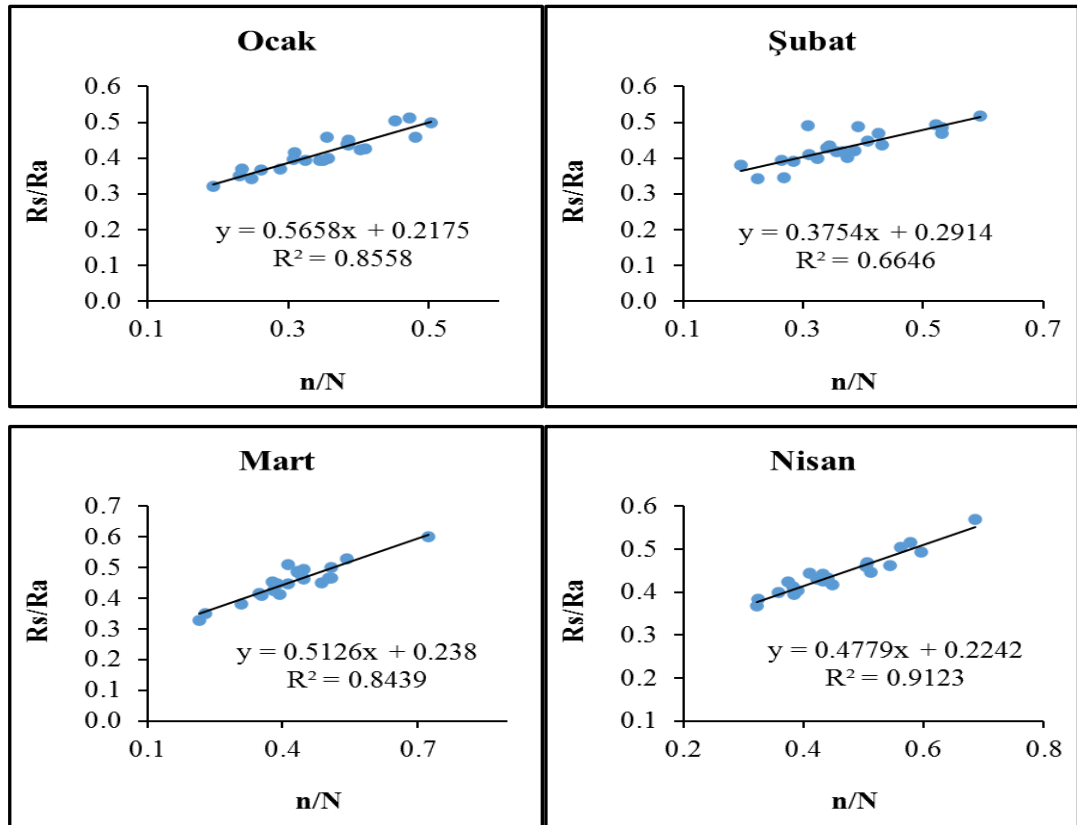
Şekil 3.3. Bilecik ili 1983-2005 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi

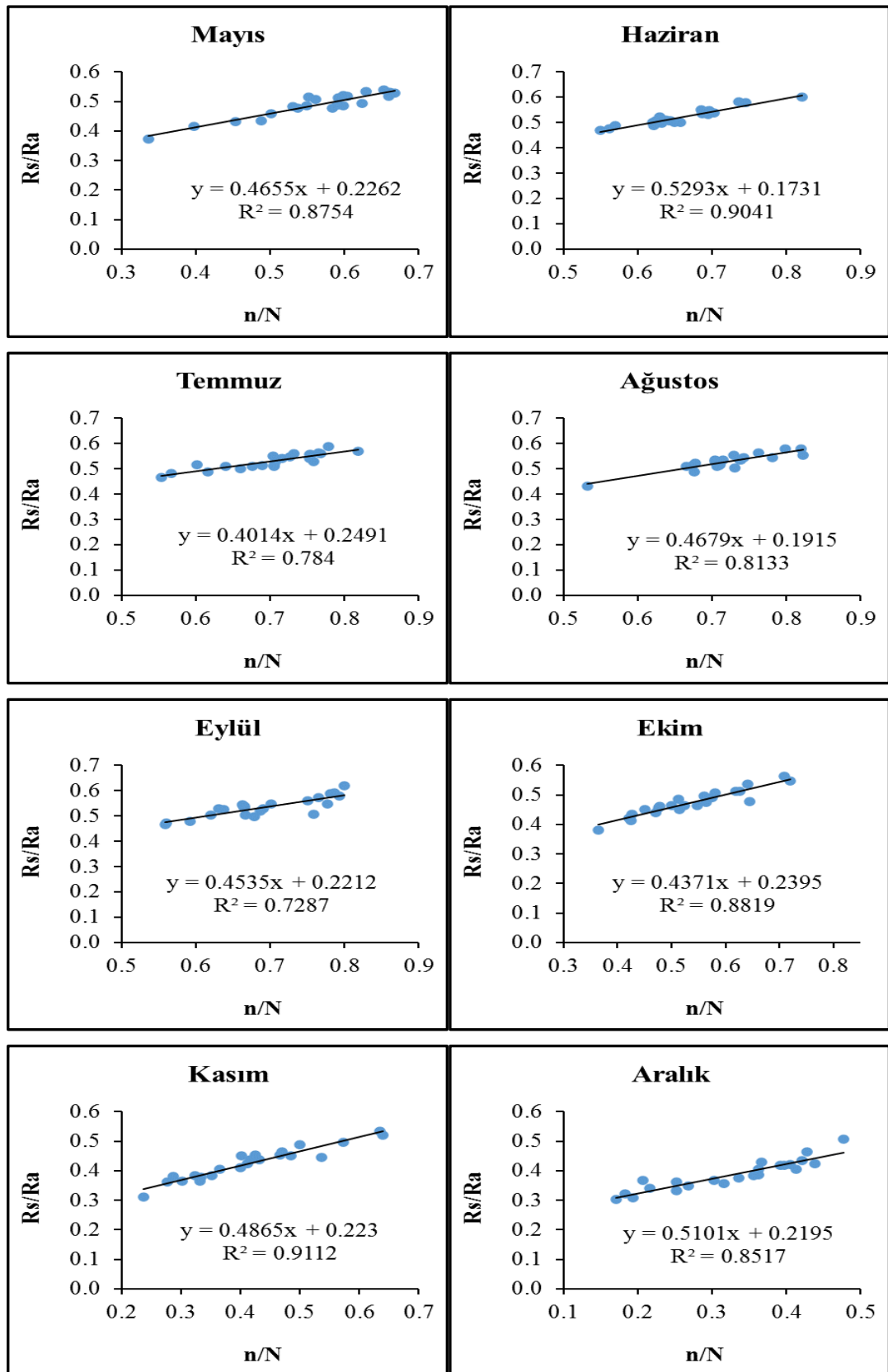
Bilecik ilinde aylık bazda Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları Tablo 3.3'te yer almaktadır. Açık bir günde Bilecik ilinde R_a 'nın yeryüzüne ulaştığı en fazla oranın ocak (0.7833) ve mart (0.7506) aylarında en az oranın ise temmuz (0.6505) ve ağustos (0.6594) aylarında olduğu görülmektedir. FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediğinde önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı 0.75 oranına en yakın oran mart ayında (0.7506) ve en uzak oran ise temmuz ayında (0.6505) saptanmıştır. Kapalı günlerde Bilecik ilinde R_a 'nın yeryüzüne ulaştığı en fazla oranın şubat ($a_s = 0.2914$) ve temmuz ($a_s = 0.2491$) aylarında en az oranın ise ocak ($a_s = 0.2175$) ve ağustos ($a_s = 0.1915$) aylarında olduğu görülmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına en yakın oran temmuz ayında (0.2491) saptanmıştır.

Bilecik'te nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde solar radyasyonun yeryüzüne geldiği en fazla oran ocak ($b_s = 0.5658$) ve haziran ($b_s = 0.5293$) aylarında iken en az oranın şubat ($b_s = 0.3754$) ve temmuz aylarında ($b_s = 0.4014$) olduğu görülmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına en yakın oran aralık ayında (0.5101) saptanmıştır (Şekil 3.4 ve Tablo 3.3).

Tablo 3.3. Bilecik ili için nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları ve Angstrom katsayıları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
a_s	0.2175	0.2914	0.2380	0.2242	0.2262	0.1731
b_s	0.5658	0.3754	0.5126	0.4779	0.4655	0.5293
a_s+b_s	0.7833	0.6668	0.7506	0.7021	0.6917	0.7024
R	0.93	0.82	0.92	0.96	0.94	0.95
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
a_s	0.2491	0.1915	0.2212	0.2395	0.2230	0.2195
b_s	0.4014	0.4679	0.4535	0.4371	0.4865	0.5101
a_s+b_s	0.6505	0.6594	0.6747	0.6766	0.7095	0.7296
R	0.89	0.90	0.85	0.94	0.95	0.92





Şekil 3.4. Bilecik ili 1983-2005 yılları arası aylık bazda Angstrom ilişkisi

Aylık bazda Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri dikkate alınarak Bilecik için tahmin edilen ET_o frekans analizi sonuçları Tablo 3.4 'te, frekans analizi eşitlikleri ise Tablo 3.5'te sunulmuştur. ET_o 'ın %5, %50 ve %95 ihtimalle ortalama aylık bazda değişimleri Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4. 1983-2005 yılları arası aylara göre Bilecik ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
5	0.92	1.23	2.11	3.28	4.08	5.14	5.35	5.07	3.89	2.32	1.33	0.90	2.97
10	0.89	1.19	2.05	3.18	4.00	5.02	5.27	4.97	3.81	2.26	1.30	0.88	2.90
25	0.85	1.13	1.93	2.97	3.83	4.80	5.12	4.78	3.66	2.15	1.24	0.83	2.77
50	0.79	1.04	1.77	2.69	3.61	4.49	4.92	4.52	3.45	1.99	1.16	0.77	2.60
75	0.71	0.92	1.56	2.34	3.32	4.11	4.66	4.18	3.19	1.79	1.06	0.70	2.38
95	0.57	0.69	1.15	1.64	2.76	3.35	4.15	3.53	2.67	1.39	0.86	0.55	1.94

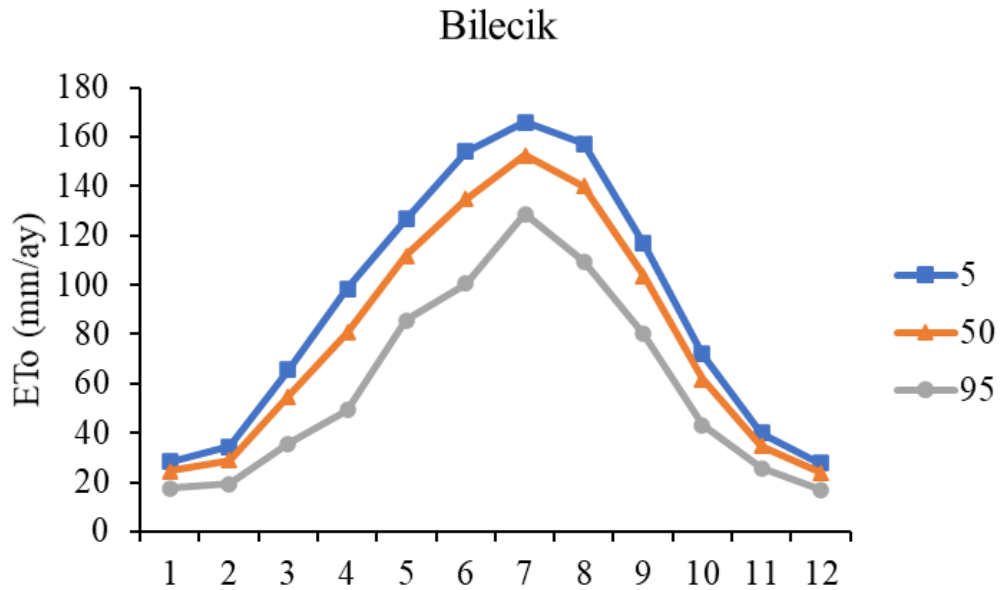
Tablo 3.5. Bilecik ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_o = 0.1979 \times W + 0.8925$	7	$ET_o = 0.6772 \times W + 5.2706$
2	$ET_o = 0.3055 \times W + 1.1949$	8	$ET_o = 0.8736 \times W + 4.9738$
3	$ET_o = 0.5479 \times W + 2.0518$	9	$ET_o = 0.6896 \times W + 3.8132$
4	$ET_o = 0.9288 \times W + 3.1750$	10	$ET_o = 0.5277 \times W + 2.2635$
5	$ET_o = 0.7505 \times W + 3.9992$	11	$ET_o = 0.2649 \times W + 1.2972$
6	$ET_o = 1.0111 \times W + 5.0200$	12	$ET_o = 0.1962 \times W + 0.8754$

Tekrarlanma olasılığı %5 için $W=0.114$, %10 için $W= 0.000$, %25 için $W=-0.220$, %50 için $W=-0.521$, %75 için $W=-0.903$ ve %95 için $W=-1.652$

Bilecik ilinde en düşük evapotranspirasyonun görüldüğü aralık ayında frekans analiz sonuçlarına göre %5 ve %95 olasılıkla 0.90-0.55 mm/gün arasında değişen ET_o , %50 olasılıkla 0.77 mm/gün olarak hesaplanmıştır. En yüksek atmosferik buharlaştırma gücünün (ET_o) görüldüğü temmuz ayında %5 ve %95 olasılıkla 5.35-4.15 mm/gün arasında değişen ET_o , %50 olasılıkla 4.92 mm/gün bulunmuştur.

Bilecik ilinde 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda %50 olasılıkla sırasıyla 24.5, 29.0, 54.8, 80.7, 111.8, 134.8, 152.4, 140.1, 103.6, 61.6, 34.8 ve 24.0 mm referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir (Şekil 3.5). Bilecik'te en yüksek aylık toplam ET_o temmuz ayında ortalama 152.4 mm ve en düşük aralık ayında ortalama 24 mm olarak saptanmıştır.



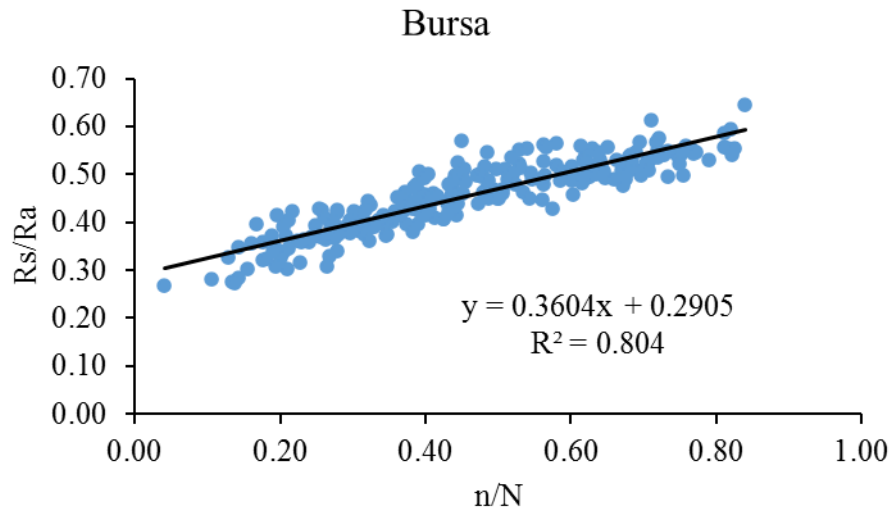
Şekil 3.5. Bilecik ilinde %5, %50 ve %95 ihtimalleri için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

FAO 56 tarafından önerilen $a_s = 0.25$, $b_s = 0.50$ ve güneşlenme süreleri (n) ile hesaplanan ET_{o1} sonuçları ile Bilecik'te ölçülmüş R_s ve bölgesel Angstrom katsayılarıyla hesaplanan ET_{o2} sonuçları arası mutlak hata 0.23 mm/gün bulunmuştur. ET_{o2} sonuçları ile bölgesel Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri (n) ile hesaplanan ET_{o3} sonuçları arası mutlak hata ise 0.04 mm/gün saptanmıştır. Bu sonuçlara göre bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak Bilecik için daha hassas şekilde ET_o tahmin edilmektedir.

Bilecik ilinde elde edilen verilere göre yıllık toplam atmosferik buharlaştırma gücü (ET_o) 952.1 mm, TAGEM-DSİ (2017)'ye göre 979 mm, Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre ise 1120 mm olarak tahmin edilmiştir. TAGEM-DSİ (2017) rehberine göre yıllık toplam ET_o %2.74 (26.9 mm) ve Cropwat 8.0 programına göre ise %15 (167.9 mm) daha düşük bulunmuştur.

3.1.3. Bursa

Bursa ilinde 1929-2014 arası meteorolojik kayıtlar bulunmasına karşın ETo hesaplamaları için 1989-2014 yılları arasında zaman zaman veri olmayan dönemler dışında büyük oranda tam veri seti bulunmaktadır. 1989-2014 yılları aralığında yıllık bazda Angstrom ilişkisi Şekil 3.6'da ve aylık bazda ise Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Şekil 3.6'dan da görülebileceği gibi Bursa'da yıllık bazda nispi güneşlenme süresi (n/N) ile nispi solar radyasyon arasında son derece kuvvetli ($R = 0.89$) pozitif doğrusal bir ilişki söz konusudur. Bursa'da yıllık bazda $a_s = 0.2905$, $b_s = 0.3604$ ve $a_s + b_s = 0.6509$ şeklinde bulunmuştur. Bursa'da atmosfer dış yüzeyine ulaşan radyasyonun (R_a) 0.6509'u açık bir günde yer yüzeyine ulaşmaktadır. Kapalı bir günde R_a 'nın 0.2905'i yer yüzeyine ulaşırken bulutlu günlerse ise güneşlenme oranına bağlı olarak 0.3604'ü daha gelmektedir.



Şekil 3.6. Bursa ili 1989-2014 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi

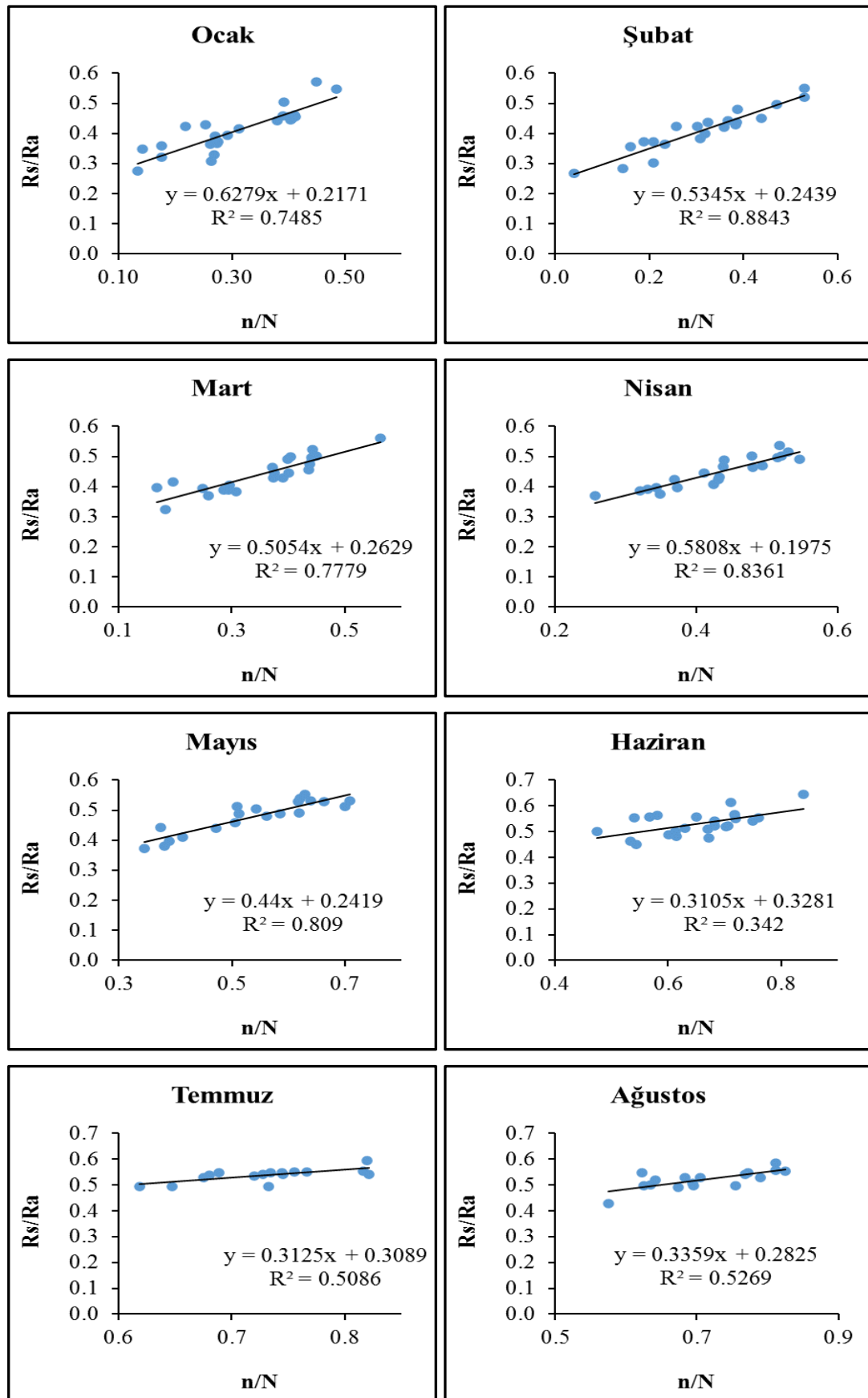
Bursa ilinde aylık bazda Angstrom katsayıları ve n/N - R_s/R_a ilişkisi korelasyon katsayıları Tablo 3.6'da yer almaktadır. Açık bir günde Bursa ilinde R_a , en fazla oranda yeryüzüne ocak (0.8450) ve şubat (0.7784) aylarında ve en az oranda ise eylül (0.5962) ve ağustos (0.6184) aylarında gelmektedir.

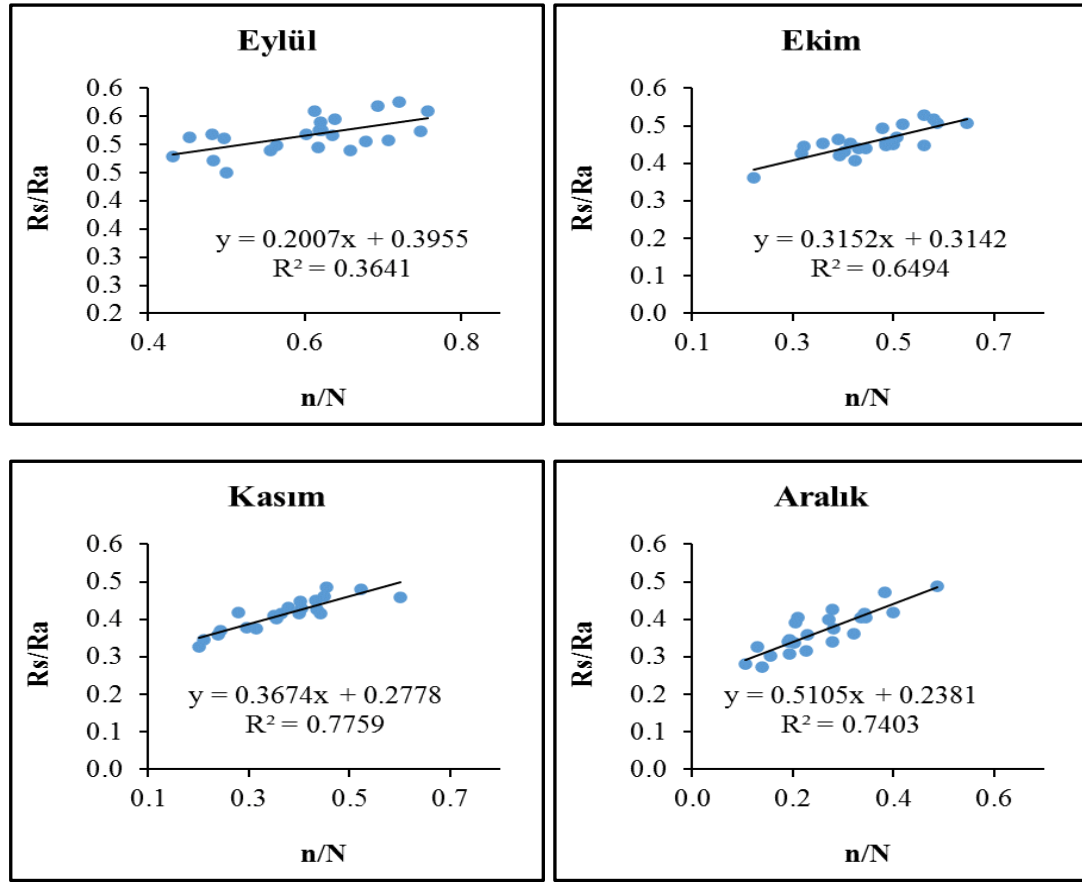
FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediğinde önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı 0.75 oranına en yakın oran aralık ayında (0.7486) ve en uzak oran ise ocak ayında (0.8450) saptanmıştır. Kapalı günlerde Bursa ilinde R_a 'nın yeryüzüne ulaştığı en fazla oranın eylül ($a_s = 0.3955$) ve haziran aylarında ($a_s = 0.3281$), en az oran ise nisan ($a_s = 0.1975$) ve ocak ($a_s = 0.2171$) aylarında olduğu görülmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına en yakın oran ise ekim ayında (0.2395) saptanmıştır.

Bursa'da nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde solar radyasyonun yeryüzüne geldiği en fazla oran ocak ($b_s = 0.6279$) ve nisan ($b_s = 0.5808$) aylarında iken en az oranın eylül ($b_s = 0.2007$) ve haziran aylarında ($b_s = 0.3105$) olduğu görülmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına mart ayında (0.5054) oldukça yakın bir katsayı saptanmıştır (Şekil 3.7).

Tablo 3.6. Bursa ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
a_s	0.2171	0.2439	0.2629	0.1975	0.2419	0.3281
b_s	0.6279	0.5345	0.5054	0.5808	0.4400	0.3105
$a_s + b_s$	0.8450	0.7784	0.7683	0.7783	0.6819	0.6386
R	0.8651	0.9403	0.8819	0.9143	0.8994	0.5848
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
a_s	0.3089	0.2825	0.3955	0.3142	0.2778	0.2381
b_s	0.3125	0.3359	0.2007	0.3152	0.3674	0.5105
$a_s + b_s$	0.6214	0.6184	0.5962	0.6294	0.6452	0.7486
R	0.7131	0.7258	0.6034	0.8058	0.8808	0.8604





Şekil 3.7. Bursa ili 1989-2014 yılları arası aylık bazda Angstrom ilişkisi

Yıllık Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri dikkate alınarak Bursa için tahmin edilen ET_o frekans analizi sonuçları Tablo 3.7’de, frekans analizi eşitlikleri ise Tablo 3.8’de sunulmuştur. ET_o ’ın %5, %50 ve %95 ihtimalle ortalama aylık bazda değişimleri Şekil 3.8’de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. 1989-2014 yılları arası aylara göre Bursa ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
5	1.23	1.59	2.36	3.32	4.08	4.89	5.22	4.95	3.31	2.10	1.35	1.19	2.97
10	1.20	1.54	2.29	3.22	3.99	4.81	5.16	4.87	3.26	2.05	1.31	1.15	2.90
25	1.13	1.46	2.14	3.02	3.81	4.68	5.04	4.70	3.16	1.96	1.23	1.08	2.78
50	1.04	1.33	1.95	2.75	3.57	4.49	4.87	4.47	3.02	1.84	1.13	0.98	2.62
75	0.92	1.18	1.71	2.40	3.27	4.26	4.65	4.19	2.84	1.68	0.99	0.85	2.41
95	0.70	0.88	1.23	1.72	2.68	3.79	4.23	3.62	2.50	1.37	0.73	0.60	2.00

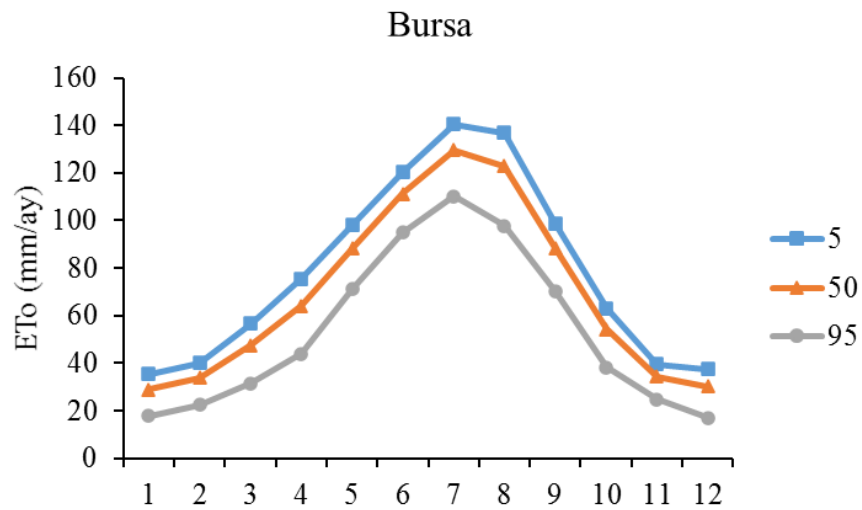
Tablo 3.8. Bursa ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_o = 0.3001 \times W + 1.1951$	7	$ET_o = 0.5626 \times W + 5.1603$
2	$ET_o = 0.4038 \times W + 1.5449$	8	$ET_o = 0.7536 \times W + 4.8662$
3	$ET_o = 0.6397 \times W + 2.2856$	9	$ET_o = 0.4601 \times W + 3.2606$
4	$ET_o = 0.9039 \times W + 3.2181$	10	$ET_o = 0.4152 \times W + 2.0523$
5	$ET_o = 0.7922 \times W + 3.9859$	11	$ET_o = 0.3458 \times W + 1.3056$
6	$ET_o = 0.6191 \times W + 4.8144$	12	$ET_o = 0.3323 \times W + 1.1538$

Tekrarlanma olasılığı %5 için $W=0.114$, %10 için $W=0.000$, %25 için $W=-0.220$, %50 için $W=-0.521$, %75 için $W=-0.903$ ve %95 için $W=-1.652$

Bursa ilinde en düşük evapotranspirasyonun görüldüğü aralık ayında frekans analiz sonuçlarına göre %5 ve %95 olasılıkla 1.19-0.60 mm/gün arasında değişen ET_o , %50 olasılıkla 0.98 mm/gün olarak hesaplanmıştır. En yüksek atmosferik buharlaştırma gücünün (ET_o) görüldüğü temmuz ayında %5 ve %95 olasılıkla 5.22-4.23 mm/gün arasında değişen ET_o , %50 olasılıkla 4.87 mm/gün bulunmuştur. Dolayısıyla Bursa'da yıl boyu ortalama ET_o 0.98-4.87 mm/gün arasında değişim göstermektedir.

Bursa ilinde 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda %50 olasılıkta sırasıyla 32.2, 37.4, 60.5, 82.4, 110.8, 134.7, 150.9, 138.7, 90.6, 56.9, 33.8 ve 30.4 mm referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir (Şekil 3.8). Bursa'da en yüksek aylık toplam ET_o temmuz ayında ortalama 150.9 mm ve en düşük aralık ayında ortalama 30.4 mm olarak saptanmıştır.



Şekil 3.8. Bursa ilinde %5, %50 ve %95 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

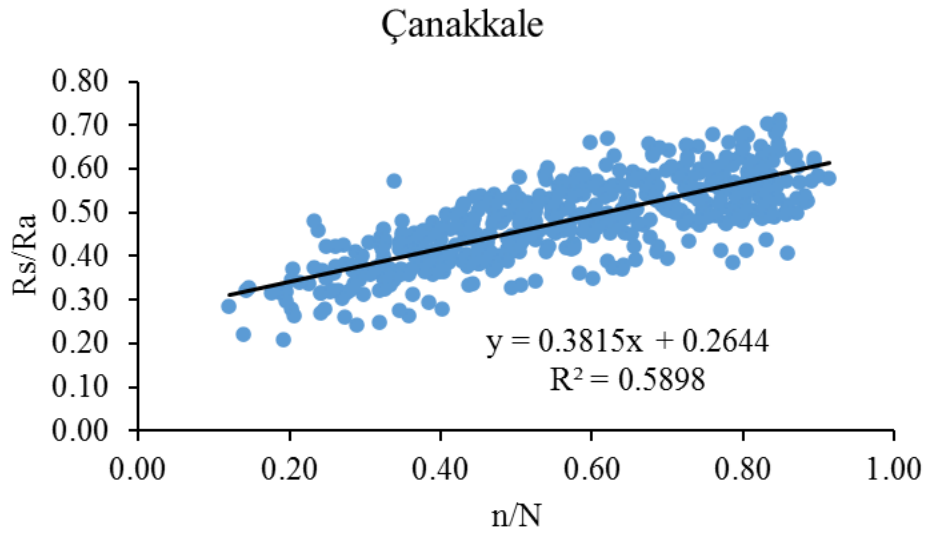
FAO 56 tarafından önerilen $a_s = 0.25$, $b_s = 0.50$ ve güneşlenme süreleri (n) ile hesaplanan ET_{01} sonuçları ile Bursa’da ölçülmüş R_s ve bölgesel Angstrom katsayılarıyla hesaplanan ET_{02} sonuçları arası mutlak hata 0.30 mm/gün bulunmuştur. ET_{02} sonuçları ile bölgesel Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri (n) ile hesaplanan ET_{03} sonuçları arası mutlak hata ise 0.12 mm/gün saptanmıştır. Bu sonuçlara göre bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak Bursa için daha hassas şekilde ET_o tahmin edilebilir.

Bursa ilinde elde edilen verilere göre yıllık toplam atmosferik buharlaştırma gücü (ET_o) 959.2 mm, TAGEM-DSİ (2017)’ye göre 978 mm, Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre ise 1029.2 mm olarak tahmin edilmiştir. Yıllık toplam ET_o TAGEM-DSİ (2017) rehberine göre %1.92 (18.8 mm) ve Cropwat 8.0 programına göre ise %6.8 (70 mm) daha düşük bulunmuştur.

3.1.4. Çanakkale

Çanakkale ilinde meteorolojik kayıtlar 1929 yılında başlamıştır. 1967-2014 yılları arasında 48 yıllık meteorolojik veri kaydı içerisinde zaman zaman veri olmayan dönemler dışında ET_o hesaplamaları için tam veri seti bulunmaktadır. 1967-2014 yılları aralığında yıllık bazda Angstrom ilişkisi Şekil 3.9’da aylık bazda ise Şekil 3.10’da gösterilmiştir. Şekil 3.9’dan da görülebileceği gibi Çanakkale’de yıllık bazda nispi güneşlenme süresi (n/N) ile nispi solar radyasyon arasında son derece kuvvetli ($R = 0.76$) pozitif doğrusal bir ilişki söz konusudur (Cohen, 1988). Çanakkale’de yıllık bazda $a_s = 0.2644$, $b_s = 0.3815$ ve $a_s + b_s = 0.6459$ şeklinde bulunmuştur.

Çanakkale’de atmosfer dış yüzeyine ulaşan radyasyonun (R_a) 0.6459’u açık bir günde yer yüzeyine ulaşmaktadır. Kapalı bir günde R_a ’nın 0.2644’ü ve bulutlu günlerse ise buna ilaveten güneşlenme oranına bağlı olarak 0.3815’i ulaşmaktadır.



Şekil 3.9. Çanakkale ili 1967-2014 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi

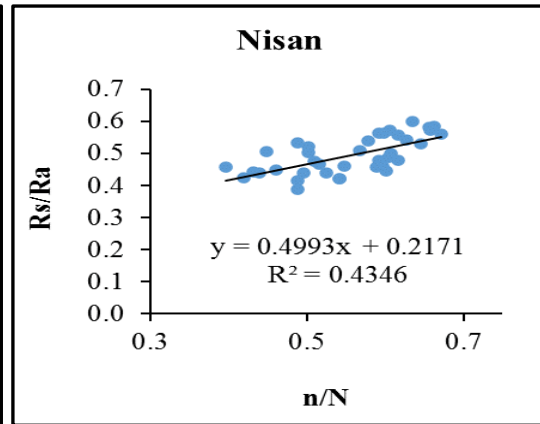
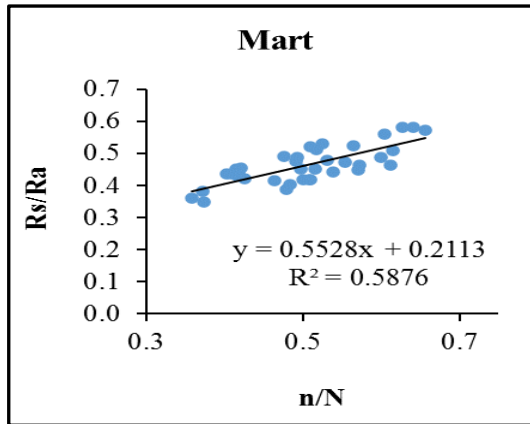
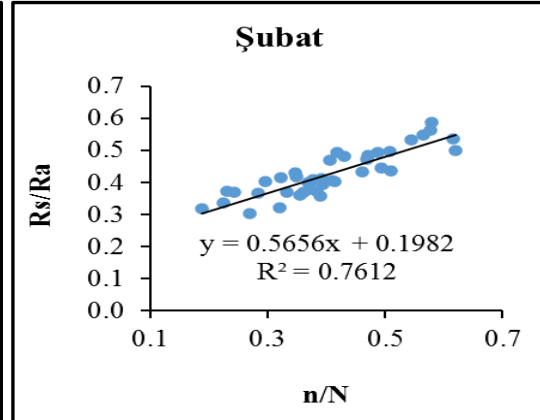
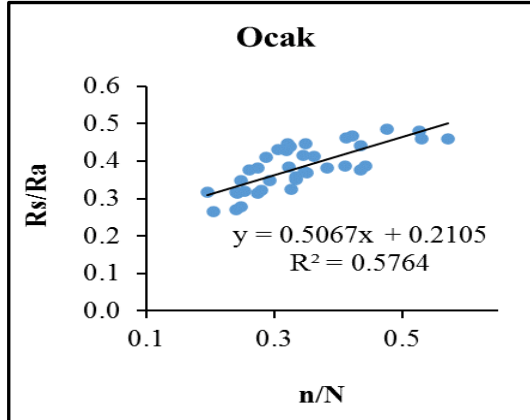
Çanakkale ilinde aylık bazda Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları Tablo 3.9'da sunulmuştur. Açık bir günde Bursa ilinde en fazla oranda R_a şubat (0.7638) ve mart (0.7641) aylarında ve en az oranın ise temmuz (0.5521) ve aralık (0.5143) aylarında yeryüzüne ulaştığı görülmektedir.

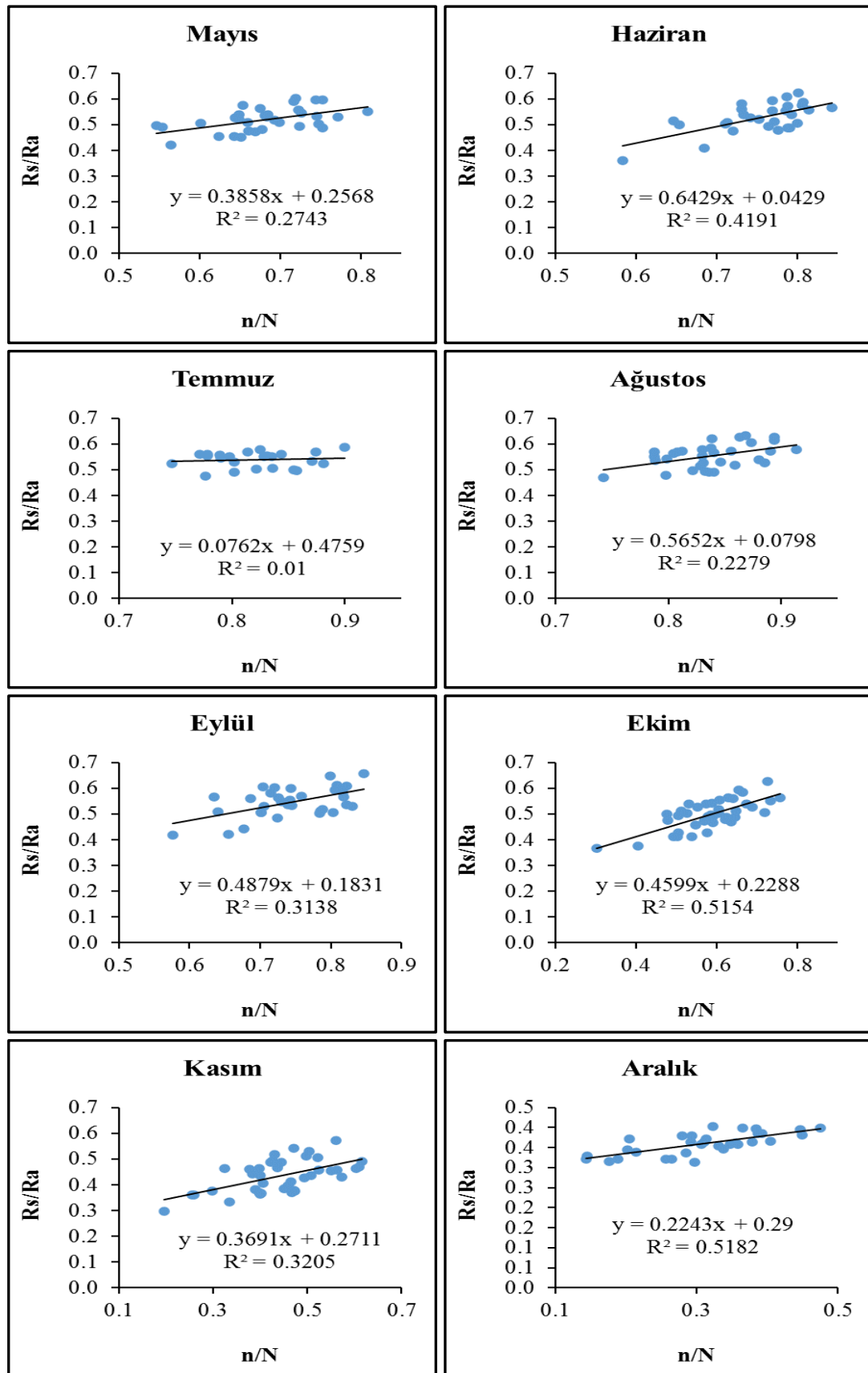
FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediğinde önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı 0.75 oranına en yakın oran şubat ayında (0.7638) ve en uzak oran ise aralık ayında (0.5143) saptanmıştır. Kapalı günlerde Çanakkale ilinde R_a 'nın yeryüzüne ulaştığı en fazla oranın temmuz ($a_s = 0.4756$) ve aralık aylarında ($a_s = 0.29$) en az ise haziran ($a_s = 0.0429$) ve ağustos ($a_s = 0.0798$) aylarında olduğu görülmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına en yakın oran mayıs ayında (0.2568) saptanmıştır.

Çanakkale'de nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde solar radyasyon (R_a), en fazla oranda haziran ($b_s = 0.6429$) ve şubat ($b_s = 0.5656$) aylarında ve en az temmuz ($b_s = 0.0762$) ve aralık aylarında ($b_s = 0.2243$) gelmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına ocak ayında (0.5067) oldukça yakın bir katsayı saptanmıştır (Şekil 3.10).

Tablo 3.9. Çanakkale ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
a_s	0.2105	0.1982	0.2113	0.2171	0.2568	0.0429
b_s	0.5067	0.5656	0.5528	0.4993	0.3858	0.6429
a_s+b_s	0.7172	0.7638	0.7641	0.7164	0.6426	0.6858
R	0.7592	0.8724	0.7665	0.6592	0.5237	0.6473
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
a_s	0.4756	0.0798	0.1831	0.2288	0.2711	0.29
b_s	0.0762	0.5652	0.4879	0.4599	0.3691	0.2243
a_s+b_s	0.5521	0.645	0.671	0.6887	0.6402	0.5143
R	0.1	0.4773	0.5601	0.7179	0.5661	0.7198





Şekil 3.10. Çanakkale ili 1967-2014 yılları arası aylık bazda Angstrom ilişkisi

Yıllık Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri dikkate alınarak Çanakkale için tahmin edilen ET_0 frekans analizi sonuçları Tablo 3.10'da, frekans analizi eşitlikleri ise Tablo 3.11'de sunulmuştur. ET_0 'ın %5, %50 ve %95 ihtimalle ortalama aylık bazda değişimleri Şekil 3.11'de gösterilmiştir.

Tablo 3.10. 1967-2014 yılları arası aylara göre Çanakkale ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
5	1.23	1.70	2.22	3.17	4.23	4.84	5.99	6.20	4.55	2.83	1.74	1.17	3.32
10	1.20	1.65	2.16	3.09	4.13	4.72	5.88	6.05	4.45	2.77	1.69	1.12	3.24
25	1.13	1.54	2.05	2.95	3.94	4.51	5.67	5.76	4.25	2.64	1.58	1.02	3.09
50	1.03	1.40	1.89	2.75	3.69	4.21	5.39	5.38	3.97	2.46	1.43	0.88	2.87
75	0.91	1.22	1.69	2.50	3.36	3.83	5.03	4.89	3.62	2.23	1.24	0.71	2.60
95	0.67	0.86	1.31	2.01	2.73	3.10	4.33	3.92	2.94	1.79	0.88	0.38	2.08

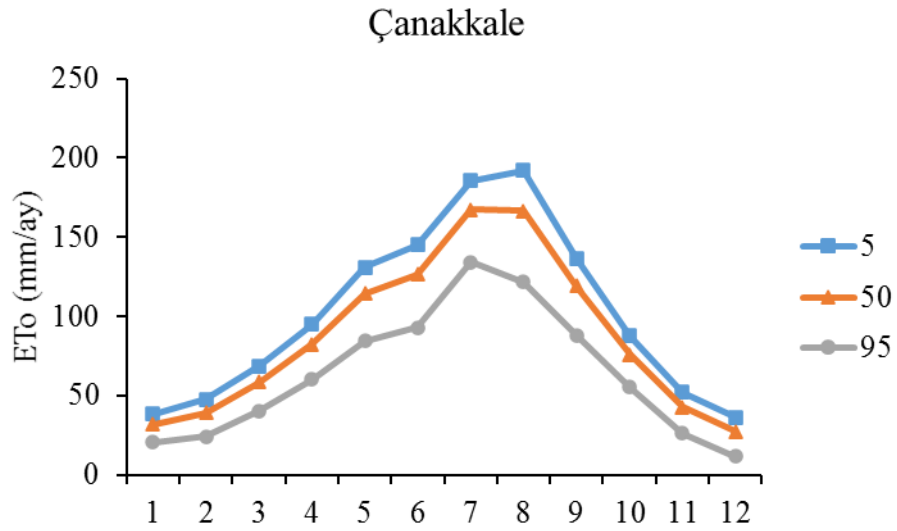
Tablo 3.11. Çanakkale ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_0 = 0.321 \times W + 1.196$	7	$ET_0 = 0.941 \times W + 5.8821$
2	$ET_0 = 0.4759 \times W + 1.6469$	8	$ET_0 = 1.288 \times W + 6.0488$
3	$ET_0 = 0.5175 \times W + 2.1621$	9	$ET_0 = 0.9094 \times W + 4.4456$
4	$ET_0 = 0.656 \times W + 3.0942$	10	$ET_0 = 0.5918 \times W + 2.7655$
5	$ET_0 = 0.8488 \times W + 4.1285$	11	$ET_0 = 0.4877 \times W + 1.6854$
6	$ET_0 = 0.9851 \times W + 4.7248$	12	$ET_0 = 0.4473 \times W + 1.1178$

Tekrarlanma olasılığı %5 için $W=0.114$, %10 için $W= 0.000$, %25 için $W=-0.220$, %50 için $W=-0.521$, %75 için $W=-0.903$ ve %95 için $W=-1.652$

Çanakkale ilinde en düşük evapotranspirasyonun görüldüğü aralık ayında frekans analiz sonuçlarına göre %5 ve %95 olasılıkla 1.17-0.38 mm/gün arasında değişen ET_0 , %50 olasılıkla 0.88 mm/gün olarak hesaplanmıştır. En yüksek atmosferik buharlaştırma gücünün (ET_0) görüldüğü temmuz ayında %5 ve %95 olasılıkla 5.99-4.33 mm/gün arasında değişen ET_0 , %50 olasılıkla 5.39 mm/gün bulunmuştur. Dolayısıyla Çanakkale'de ET_0 yıl boyu ortalama olarak 0.88-5.39 mm/gün arasında değişmektedir.

Çanakkale ilinde 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda %50 olasılıkla toplam ET_o sırasıyla 31.9, 39.2, 58.7, 82.6, 114.3, 126.3, 167.1, 166.7, 119.1, 76.2, 42.9 ve 27.4 mm gelmektedir (Şekil 3.11). Çanakkale’de en yüksek aylık toplam ET_o temmuz ayında ortalama 167.1 mm ve en düşük aralık ayında ortalama 27.4 mm olarak saptanmıştır.



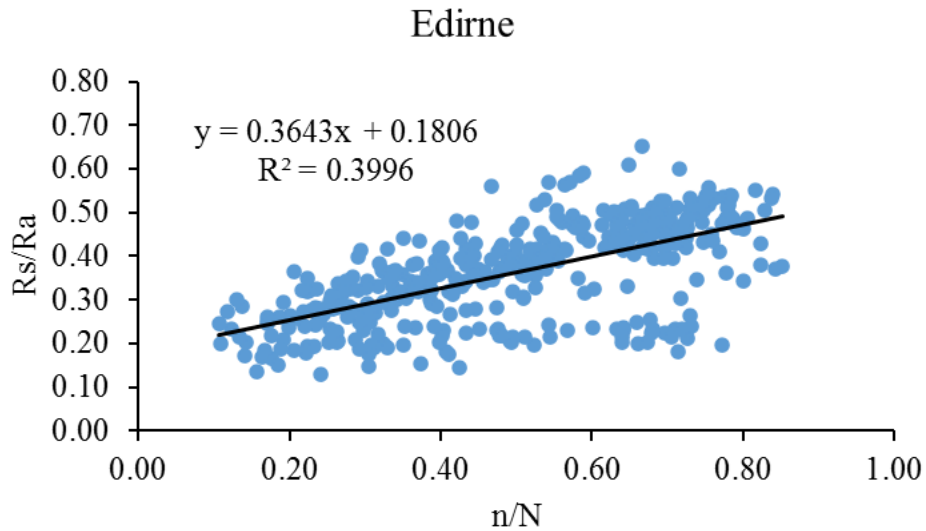
Şekil 3.11. Çanakkale ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

FAO 56 tarafından önerilen $a_s = 0.25$, $b_s = 0.50$ ve güneşlenme süreleri (n) ile hesaplanan ET_{o1} sonuçları ile Çanakkale’de ölçülmüş R_s ve bölgesel Angstrom katsayılarıyla hesaplanan ET_{o2} sonuçları arası mutlak hata 0.35 mm/gün bulunmuştur. ET_{o2} sonuçları ile bölgesel Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri (n) ile hesaplanan ET_{o3} sonuçları arası mutlak hata ise 0.13 mm/gün saptanmıştır. Bu sonuçlar, bölgesel Angstrom katsayıları ile Çanakkale için ET_o ’ın daha hassas şekilde tahmin edilebileceğini göstermektedir.

Çanakkale ilinde elde edilen verilere göre yıllık toplam atmosferik buharlaştırma gücü (ET_o) 1052.4 mm, TAGEM-DSİ (2017)’ye göre 1045 mm, Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre ise 1189.2 mm olarak tahmin edilmiştir. Yıllık toplam ET_o TAGEM-DSİ (2017) rehberine göre %0.71 (7.4 mm) daha yüksek ve Cropwat 8.0 programına göre ise %11.5 (136.8 mm) daha düşük bulunmuştur.

3.1.5. Edirne

Edirne ilinde 1930 yılından itibaren meteorolojik kayıtlar bulunmaktadır. Ancak 1968-2009 yılları arasında ET_0 hesaplamaları için 42 yıllık tam veri seti vardır. 1968-2009 yılları aralığında yıllık bazda Angstrom ilişkisi Şekil 3.12’de ve aylık bazda ise Şekil 3.13’te gösterilmiştir. Şekil 3.12’den de görülebileceği gibi Edirne’de yıllık bazda nispi güneşlenme (n/N) ile nispi solar radyasyon arasında kuvvetli ($R = 0.63$) pozitif doğrusal bir ilişki söz konusudur (Cohen, 1988). Edirne’de yıllık bazda $a_s = 0.1806$, $b_s = 0.3643$ ve $a_s + b_s = 0.5449$ şeklinde bulunmuştur. Edirne’de atmosfer dış yüzeyine ulaşan radyasyonun (R_a) 0.5449’u açık bir günde yer yüzeyine ulaşmaktadır. Kapalı bir günde R_a ’nın 0.1806’sı yer yüzeyine ulaşırken bulutlu günlerse ise buna ilaveten güneşlenme oranına bağlı olarak 0.3643’ü ulaşmaktadır.



Şekil 3.12. Edirne ili 1968-2009 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi

Edirne ilinde aylık bazda Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları Tablo 3.12’de yer almaktadır. Açık bir günde Edirne ilinde en fazla oranda R_a , ocak (0.6982) ve aralık (0.6772) aylarında ve en az oranda ise şubat (0.5054) ve kasım (0.5346) aylarında olduğu görülmektedir. FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediğinde önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı

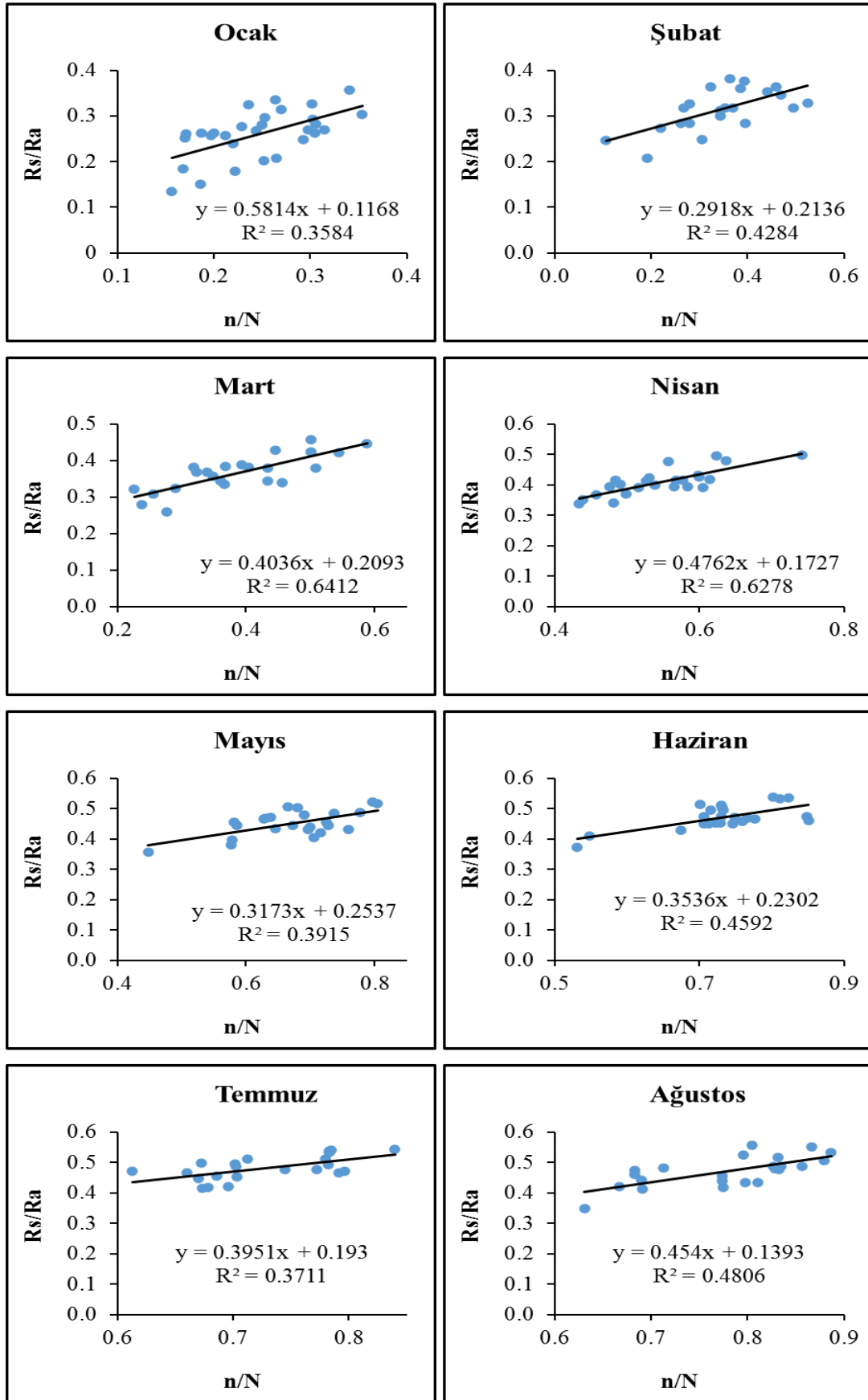
0.75 oranına en yakın oran ocak ayında (0.6982) en uzak oran ise şubat ayında (0.5054) saptanmıştır.

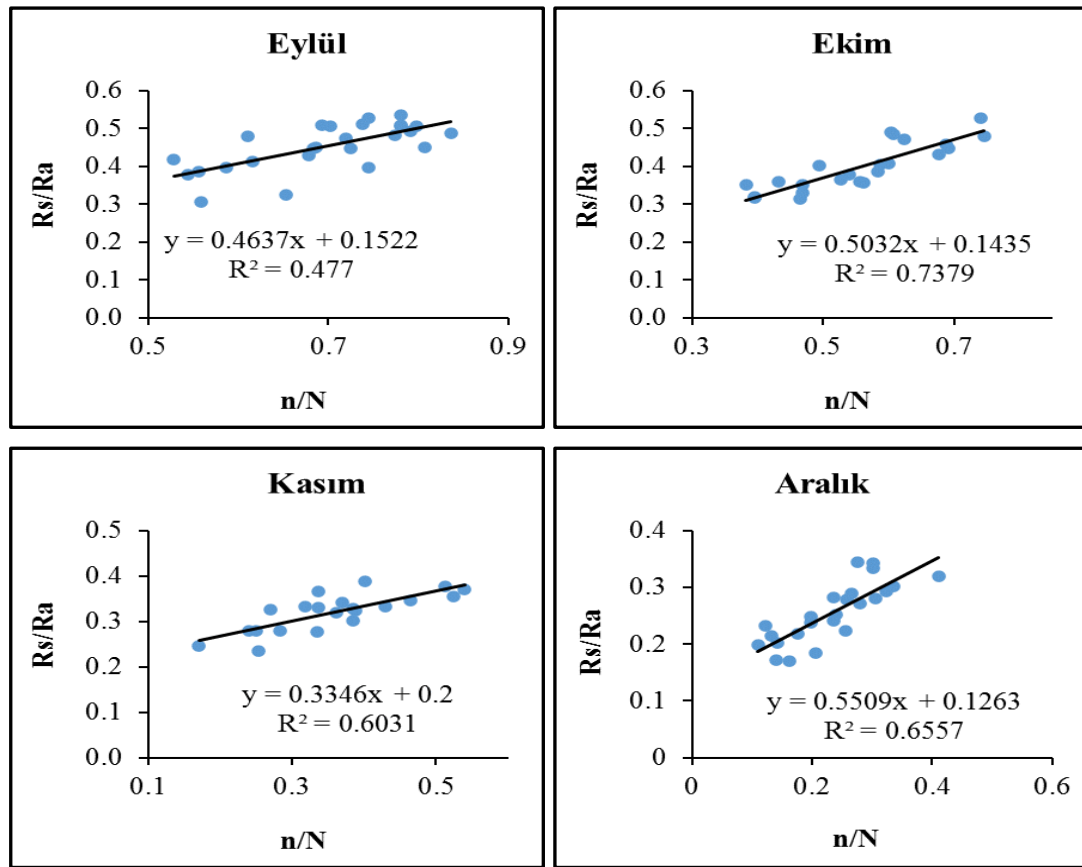
Kapalı günlerde Edirne ilinde R_a 'nın yeryüzüne ulaştığı en fazla oranın mayıs ($a_s=0.2537$) ve haziran aylarında ($a_s=0.2302$) en az oranın ise ocak ($a_s=0.1168$) ve aralık aylarında ($a_s=0.1263$) olduğu görülmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s=0.25$ oranına en yakın oran mayıs ayında (0.2537) saptanmıştır.

Edirne'de nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde solar radyasyonun yeryüzüne geldiği en fazla oran ocak ($b_s=0.5814$) ve aralık ($b_s=0.5509$) aylarında iken en az oranın şubat ($b_s=0.2918$) ve mayıs aylarında ($b_s=0.3173$) olduğu görülmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s=0.50$ oranına ekim ayında (0.5032) oldukça yakın katsayı saptanmıştır. (Şekil 3.13).

Tablo 3.12. Edirne ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
a_s	0.1168	0.2136	0.2093	0.1727	0.2537	0.2302
b_s	0.5814	0.2918	0.4036	0.4762	0.3173	0.3536
a_s+b_s	0.6982	0.5054	0.6129	0.6489	0.5710	0.5838
R	0.5986	0.6545	0.8007	0.7923	0.6256	0.6776
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
a_s	0.1930	0.1393	0.1522	0.1435	0.2000	0.1263
b_s	0.3951	0.4540	0.4637	0.5032	0.3346	0.5509
a_s+b_s	0.5881	0.5933	0.6159	0.6467	0.5346	0.6772
R	0.6091	0.6932	0.6906	0.8590	0.7765	0.8097





Şekil 3.13. Edirne ili 1968-2009 yılları arası aylık bazda Angstrom ilişkisi

Yıllık Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri dikkate alınarak Edirne için tahmin edilen ET_o frekans analizi sonuçları Tablo 3.13'te, frekans analizi eşitlikleri ise Tablo 3.14'te sunulmuştur. Toplam aylık ET_o 'ın %5, %50 ve %95 ihtimalle değişimleri Şekil 3.14'te gösterilmiştir.

Tablo 3.13. 1968-2009 yılları arası aylara göre Edirne ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
5	0.79	0.92	1.77	2.88	3.54	4.45	4.89	4.68	3.39	2.06	1.00	0.84	2.60
10	0.77	0.90	1.72	2.80	3.47	4.37	4.81	4.58	3.32	2.02	0.97	0.82	2.55
25	0.73	0.85	1.62	2.67	3.33	4.21	4.65	4.40	3.19	1.94	0.92	0.77	2.44
50	0.67	0.78	1.48	2.48	3.15	4.00	4.44	4.14	3.01	1.83	0.85	0.71	2.29
75	0.60	0.69	1.30	2.24	2.91	3.72	4.17	3.82	2.78	1.69	0.76	0.63	2.11
95	0.45	0.51	0.96	1.77	2.44	3.18	3.64	3.19	2.34	1.42	0.58	0.47	1.75

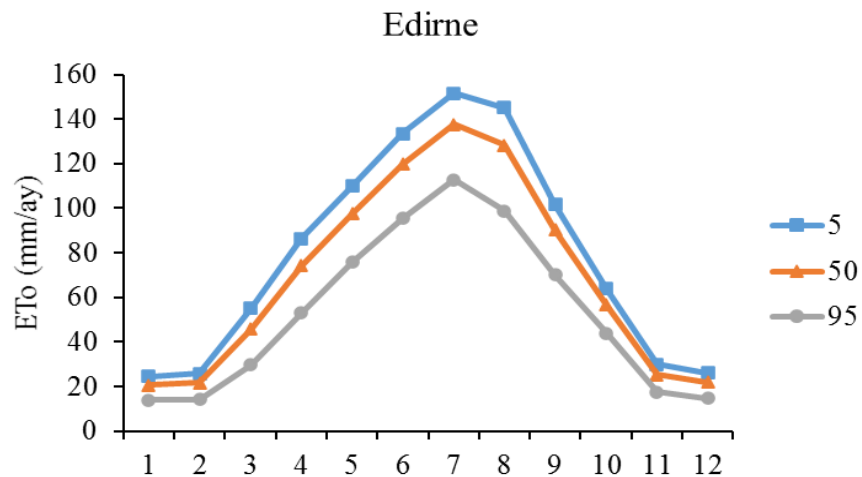
Tablo 3.14. Edirne ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_o = 0.1919 \times W + 0.7686$	7	$ET_o = 0.7051 \times W + 4.8068$
2	$ET_o = 0.2342 \times W + 0.8978$	8	$ET_o = 0.8438 \times W + 4.5822$
3	$ET_o = 0.4601 \times W + 1.1705$	9	$ET_o = 0.5953 \times W + 3.321$
4	$ET_o = 0.6263 \times W + 2.8042$	10	$ET_o = 0.3613 \times W + 2.0182$
5	$ET_o = 0.6232 \times W + 3.4711$	11	$ET_o = 0.233 \times W + 0.9696$
6	$ET_o = 0.7173 \times W + 4.3693$	12	$ET_o = 0.2079 \times W + 0.817$

Tekrarlanma olasılığı %5 için $W=0.114$, %10 için $W=0.000$, %25 için $W=-0.220$, %50 için $W=-0.521$, %75 için $W=-0.903$ ve %95 için $W=-1.652$

Edirne ilinde en düşük evapotranspirasyonun görüldüğü ocak ayında frekans analiz sonuçlarına göre %5 ve %95 olasılıkla 0.79-0.45 mm/gün arasında değişen ET_o , %50 olasılıkla 0.67 mm/gün olarak hesaplanmıştır. En yüksek atmosferik buharlaştırma gücünün (ET_o) görüldüğü temmuz ayında %5 ve %95 olasılıkla 4.89-3.64 mm/gün arasında değişen ET_o , %50 olasılıkla 4.44 mm/gün bulunmuştur. Dolayısıyla Edirne’de yıl boyu ET_o ortalama olarak 0.67-4.44 mm/gün arasında değişim göstermektedir.

Edirne ilinde 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda %50 olasılıkta sırasıyla 20.7, 21.7, 45.9, 74.3, 97.5, 119.9, 137.6, 128.4, 90.3, 56.7, 25.4 ve 22.0 mm referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir (Şekil 3.14). Edirne’de en yüksek aylık toplam ET_o temmuz ayında ortalama 137.6 mm ve en düşük ocak ayında ortalama 20.7 mm olarak saptanmıştır.



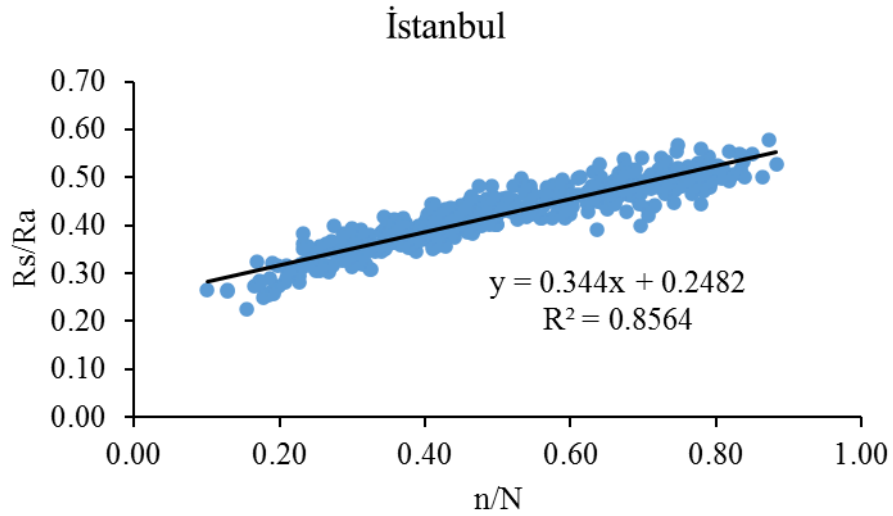
Şekil 3.14. Edirne ilinde %5, %50 ve %95 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

FAO 56 tarafından önerilen $a_s = 0.25$, $b_s = 0.50$ ve güneşlenme süreleri (n) ile hesaplanan ET_{o1} sonuçları ile Edirne’de ölçülmüş R_s ve bölgesel Angstrom katsayılarıyla hesaplanan ET_{o2} sonuçları arası mutlak hata 0.63 mm/gün bulunmuştur. ET_{o2} sonuçları ile bölgesel Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri (n) ile hesaplanan ET_{o3} sonuçları arası mutlak hata ise 0.17 mm/gün saptanmıştır. Bu sonuçlar, bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak Edirne için daha hassas şekilde ET_o ’ın tahmin edilebileceğini göstermektedir.

Edirne ilinde elde edilen verilere göre yıllık toplam atmosferik buharlaştırma gücü (ET_o) 840.5 mm, TAGEM-DSİ (2017)’ye göre 902 mm, Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre ise 952.9 mm olarak tahmin edilmiştir. Yıllık toplam ET_o TAGEM-DSİ (2017) rehberine göre %6.82 (61.5 mm) ve Cropwat 8.0 programına göre ise %11.8 (112.4 mm) daha düşük bulunmuştur.

3.1.6. İstanbul

İstanbul ilinde 1937 yılından itibaren meteorolojik kayıtlar bulunmaktadır. Ancak 1968-2006 yılları arasında ET_o hesaplamaları için 39 yıllık tam veri seti vardır. 1968-2006 yılları aralığında yıllık bazda Angstrom ilişkisi Şekil 3.15’te ve aylık bazda ise Şekil 3.16’da gösterilmiştir. Şekil 3.15’ten de görülebileceği gibi İstanbul’da yıllık bazda nispi güneşlenme (n/N) ile nispi solar radyasyon arasında kuvvetli ($R = 0.92$) pozitif doğrusal bir ilişki söz konusudur (Cohen, 1988). İstanbul’da yıllık bazda $a_s = 0.2482$, $b_s = 0.3440$ ve $a_s + b_s = 0.5922$ şeklinde bulunmuştur. İstanbul’da atmosfer dış yüzeyine ulaşan radyasyonun (R_a) 0.5922’si açık bir günde yer yüzeyine ulaşmaktadır. Kapalı bir günde R_a ’nın 0.2482’si yer yüzeyine ulaşırken bulutlu günlerse ise buna ilaveten güneşlenme oranına bağlı olarak 0.3440’ı ulaşmaktadır.



Şekil 3.15. İstanbul ili 1968-2006 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi

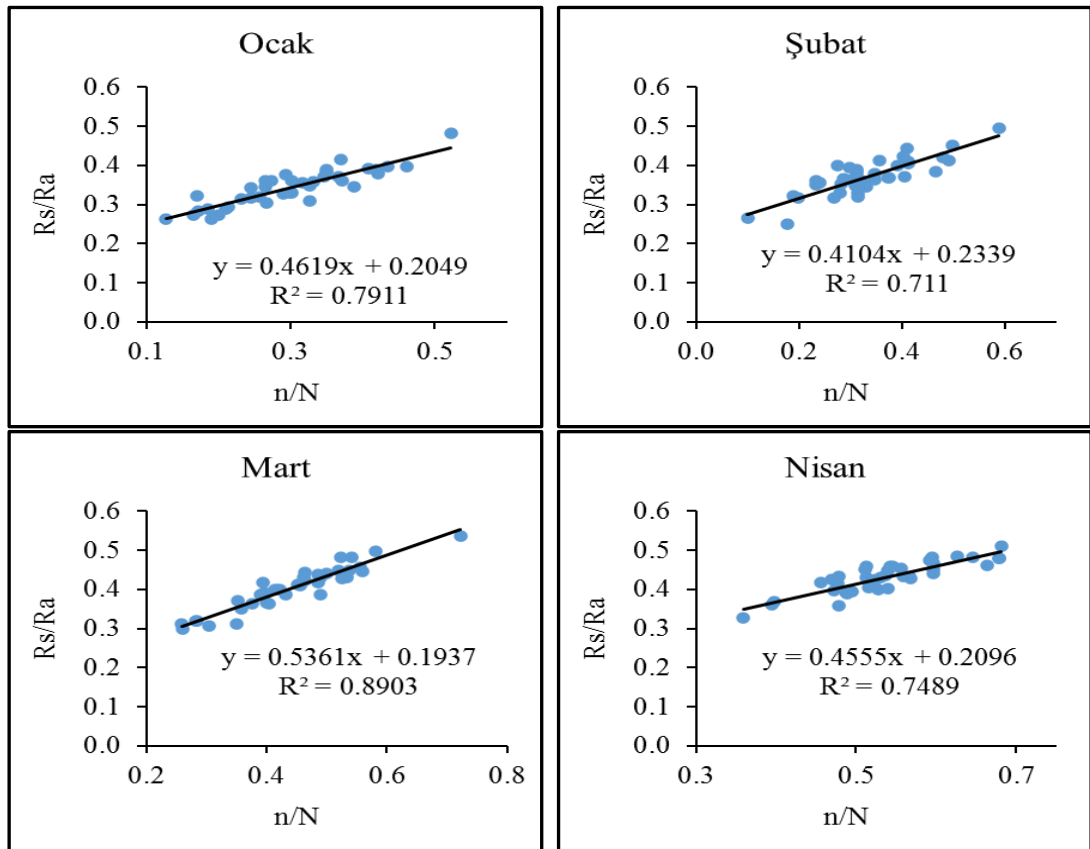
İstanbul ilinde aylık bazda Angstrom katsayıları, nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları Tablo 3.15'te yer almaktadır. Açık bir günde İstanbul ilinde en fazla oranda R_a , mart (0.7298), ekim (0.6707) ve aralık (0.6703) aylarında ve en az oranda ise eylül (0.5638) ve ağustos (0.5779) aylarında yer yüzeyine ulaşmaktadır. FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediğinde önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı 0.75 oranına en yakın oran mart ayında (0.7298) en uzak oran ise eylül ayında (0.5638) saptanmıştır.

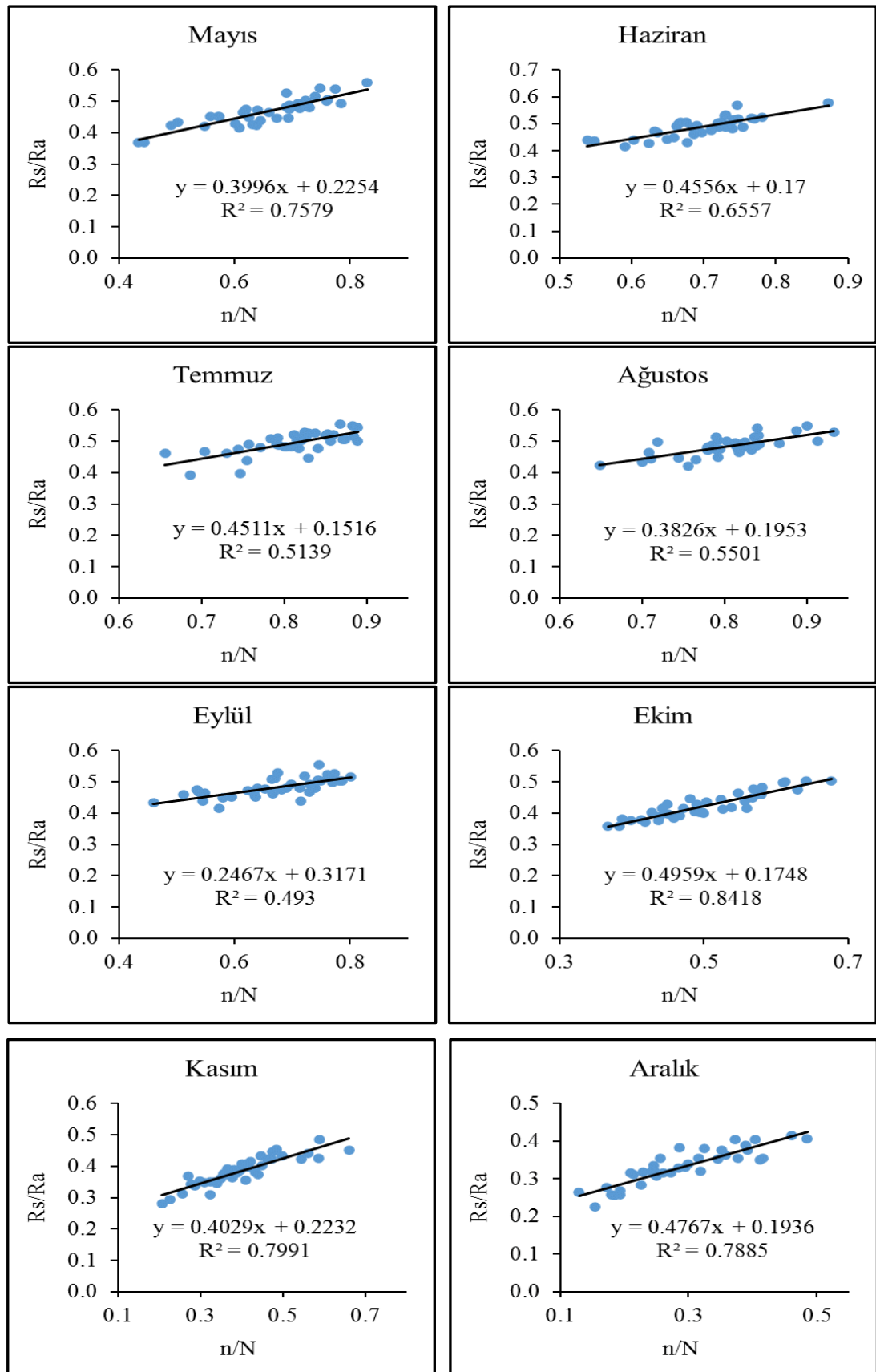
Kapalı günlerde İstanbul ilinde R_a en fazla oranda eylül ($a_s = 0.3171$) ve şubat aylarında ($a_s = 0.2339$) ve en az oranda ise temmuz ($a_s = 0.1516$) ve haziran aylarında ($a_s = 0.1700$) geldiği görülmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına en yakın oran şubat ayında (0.2339) saptanmıştır.

İstanbul'da nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde solar radyasyonun yeryüzüne geldiği en fazla oran mart ($b_s = 0.5361$) ve ekim ($b_s = 0.4959$) aylarında iken en az oranın eylül ($b_s = 0.2467$) ve ağustos aylarında ($b_s = 0.3826$) olduğu görülmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına ekim ayında (0.4959) oldukça yakın katsayı saptanmıştır. (Şekil 3.16).

Tablo 3.15. İstanbul ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
a_s	0.2049	0.2339	0.1937	0.2096	0.2254	0.1700
b_s	0.4619	0.4104	0.5361	0.4555	0.3996	0.4556
a_s+b_s	0.6668	0.6443	0.7298	0.6651	0.6250	0.6256
R	0.89	0.84	0.94	0.86	0.87	0.81
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
a_s	0.1516	0.1953	0.3171	0.1748	0.2232	0.1936
b_s	0.4511	0.3826	0.2467	0.4959	0.4029	0.4767
a_s+b_s	0.6027	0.5779	0.5638	0.6707	0.6261	0.6703
R	0.72	0.74	0.70	0.92	0.89	0.89





Şekil 3.16. İstanbul ili 1968-2006 yılları arası aylık bazda Angstrom ilişkisi

Yıllık Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri dikkate alınarak İstanbul için tahmin edilen ET_o frekans analizi sonuçları Tablo 3.16’da, frekans analizi eşitlikleri ise Tablo 3.17’de sunulmuştur. Toplam aylık ET_o ’ın %5, %50 ve %95 ihtimalle değişimleri Şekil 3.17’de gösterilmiştir

Tablo 3.16. 1968-2006 yılları arası İstanbul ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
5	1.01	1.23	1.85	2.82	4.15	5.08	5.87	5.40	3.64	2.28	1.36	1.12	2.98
10	0.98	1.20	1.81	2.75	4.05	4.97	5.74	5.27	3.55	2.24	1.33	1.09	2.91
25	0.93	1.14	1.73	2.62	3.86	4.77	5.48	5.02	3.39	2.16	1.26	1.02	2.78
50	0.85	1.06	1.63	2.45	3.59	4.49	5.13	4.67	3.17	2.05	1.17	0.93	2.60
75	0.76	0.96	1.49	2.22	3.26	4.14	4.69	4.23	2.88	1.91	1.06	0.82	2.37
95	0.57	0.77	1.23	1.79	2.60	3.45	3.82	3.37	2.32	1.63	0.84	0.60	1.92

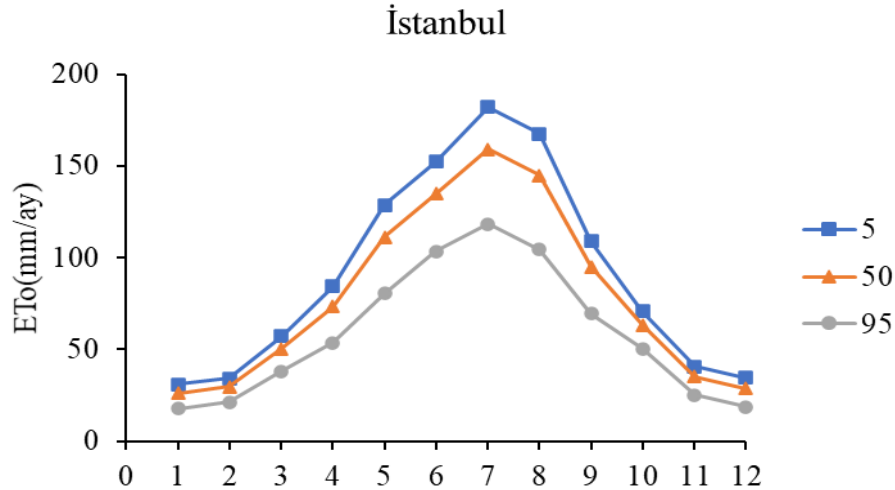
Tablo 3.17. İstanbul ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_o = 0.2464 \times W + 0.9793$	7	$ET_o = 1.1640 \times W + 5.7402$
2	$ET_o = 0.2589 \times W + 1.1972$	8	$ET_o = 1.1504 \times W + 5.2694$
3	$ET_o = 0.3511 \times W + 1.8081$	9	$ET_o = 0.7443 \times W + 3.5532$
4	$ET_o = 0.5846 \times W + 2.7513$	10	$ET_o = 0.3705 \times W + 2.2412$
5	$ET_o = 0.8813 \times W + 4.0529$	11	$ET_o = 0.2946 \times W + 1.3267$
6	$ET_o = 0.9222 \times W + 4.9709$	12	$ET_o = 0.2925 \times W + 1.0864$

Tekrarlanma olasılığı %5 için $W=0.114$, %10 için $W= 0.000$, %25 için $W=-0.220$, %50 için $W=-0.521$, %75 için $W=-0.903$ ve %95 için $W=-1.652$

İstanbul ilinde en düşük evapotranspirasyonun görüldüğü ocak ayında frekans analiz sonuçlarına göre %5 ve %95 olasılıkla 1.01-0.57 mm/gün arasında değişen ET_o , %50 olasılıkla 0.85 mm/gün olarak hesaplanmıştır. En yüksek atmosferik buharlaştırma gücünün (ET_o) görüldüğü temmuz ayında %5 ve %95 olasılıkla 5.87-3.82 mm/gün arasında değişen ET_o , %50 olasılıkla 5.13 mm/gün bulunmuştur. Dolayısıyla İstanbul’da yıl boyu ET_o ortalama olarak 0.85-5.87 mm/gün arasında değişim göstermektedir.

İstanbul ilinde 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda %50 olasılıkta sırasıyla 26.4, 29.7, 50.4, 73.4, 111.4, 134.7, 159.1, 144.8, 95.0, 63.5, 35.2 ve 29.0 mm referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir (Şekil 3.17). İstanbul'da en yüksek aylık toplam ET_0 temmuz ayında ortalama 159.1 mm ve en düşük ocak ayında ortalama 26.4 mm olarak saptanmıştır.



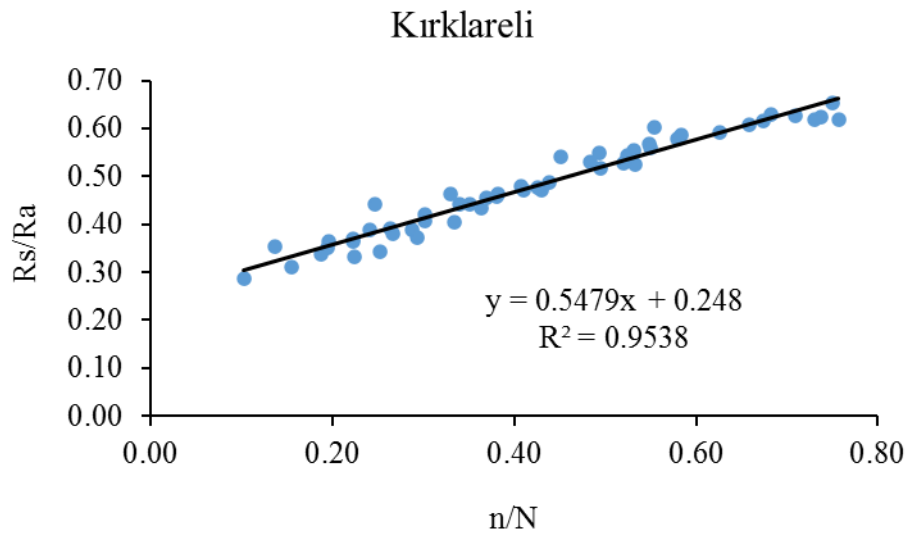
Şekil 3.17. İstanbul ilinde %5, %50 ve %95 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon sonuçları

FAO 56 tarafından önerilen $a_s = 0.25$, $b_s = 0.50$ katsayıları ve güneşlenme süreleri (n) dikkate alınarak hesaplanan ET_{01} sonuçları ile İstanbul'da ölçülmüş R_s ve bölgesel Angstrom katsayıları dikkate alınarak hesaplanan ET_{02} sonuçları arası mutlak hata 0.42 mm/gün bulunmuştur. ET_{02} sonuçları ile bölgesel Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri (n) ile hesaplanan ET_{03} sonuçları arası mutlak hata ise 0.22 mm/gün saptanmıştır. Bu sonuçlar, bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak İstanbul için daha hassas şekilde ET_0 'ın tahmin edilebileceğini göstermektedir.

İstanbul ilinde elde edilen verilere göre yıllık toplam atmosferik buharlaştırma gücü (ET_0) 952.5 mm, TAGEM-DSİ (2017)'ye göre 955 mm, Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre ise 983.8 mm olarak tahmin edilmiştir. Yıllık toplam ET_0 TAGEM-DSİ (2017) rehberine göre %0.26 (2.5 mm) ve Cropwat 8.0 programına göre ise %3.18 (31.3 mm) daha düşük bulunmuştur.

3.1.7. Kırklareli

Kırklareli ilinde 1959 yılından bu yana meteorolojik veriler bulunmaktadır. Ancak güneşlenme süresi verileri 1999-2018 arasında ve güneşlenme şiddeti verileri (R_s) ise 2009-2018 yılları arasında yer yer veri kayıpları mevcuttur. R_s verilerinin yeteri düzeyde bulunmaması nedeniyle Kırklareli’nde Angstrom katsayıları aylık bazda değil yıllık bazda saptanabilmiştir (Şekil 3.18). Şekil 3.18’den de görülebileceği gibi Kırklareli’nde nispi güneşlenme süresi (n/N) ile nispi solar radyasyon arasında son derece kuvvetli ($R = 0.98$) pozitif doğrusal bir ilişki söz konusudur. Kırklareli’nde yıllık bazda $a_s = 0.2480$, $b_s = 0.5479$ ve $a_s + b_s = 0.7959$ şeklinde bulunmuştur. Bölgesel Angstrom katsayılarının bulunmaması durumunda FAO 56 tarafından önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayılarına göre Kırklareli’nde a_s neredeyse aynı, b_s daha yüksek ve toplamaları da daha yüksek çıkmıştır. Kırklareli’nde atmosfer dış yüzeyine ulaşan radyasyonun (R_a) 0.7959’u açık bir günde yer yüzeyine ulaşmaktadır. Kapalı bir günde R_a ’nın 0.248’i yer yüzeyine ulaşırken bulutlu günlerse ise buna ilaveten güneşlenme oranına bağlı olarak 0.5479’u ulaşmaktadır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Kırklareli ili 2009-2017 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi

Yıllık Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri dikkate alınarak Kırklareli için tahmin edilen ET_0 frekans analizi sonuçları Tablo 3.18 'de ve frekans analizi eşitlikleri Tablo 3.19'da sunulmuştur. ET_0 'ın %5, %50 ve %95 ihtimalle ortalama aylık bazda değişimleri Şekil 3.19'da gösterilmiştir.

Tablo 3.18. 2009-2017 yılları arası aylara göre Kırklareli ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
5	0.79	1.17	1.94	3.09	4.22	5.16	5.69	5.47	3.84	2.11	1.33	0.87	2.97
10	0.76	1.14	1.89	3.02	4.15	5.06	5.59	5.34	3.75	2.07	1.28	0.84	2.91
25	0.72	1.09	1.80	2.87	4.02	4.87	5.40	5.08	3.57	1.99	1.20	0.80	2.78
50	0.65	1.02	1.68	2.68	3.83	4.61	5.14	4.73	3.33	1.87	1.09	0.74	2.61
75	0.57	0.92	1.52	2.43	3.60	4.27	4.81	4.29	3.02	1.73	0.95	0.66	2.40
95	0.42	0.74	1.21	1.95	3.15	3.62	4.17	3.42	2.42	1.45	0.67	0.50	1.98

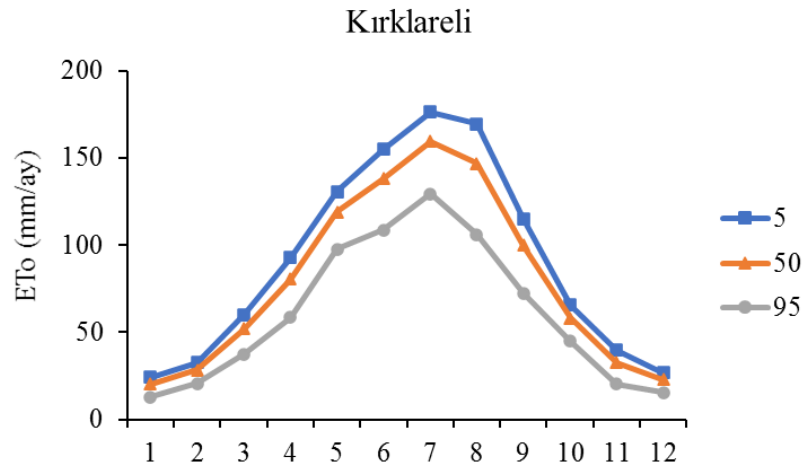
Tablo 3.19. Kırklareli ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_0 = 0.2086 \times W + 0.7613$	7	$ET_0 = 0.8613 \times W + 5.5905$
2	$ET_0 = 0.2428 \times W + 1.1439$	8	$ET_0 = 1.159 \times W + 5.3371$
3	$ET_0 = 0.4128 \times W + 1.8939$	9	$ET_0 = 0.8051 \times W + 3.7482$
4	$ET_0 = 0.6451 \times W + 3.0154$	10	$ET_0 = 0.3744 \times W + 2.07$
5	$ET_0 = 0.6052 \times W + 4.1494$	11	$ET_0 = 0.3695 \times W + 1.2841$
6	$ET_0 = 0.871 \times W + 5.0608$	12	$ET_0 = 0.2056 \times W + 0.8425$

Tekrarlanma olasılığı %5 için $W=0.114$, %10 için $W= 0.000$, %25 için $W=-0.220$, %50 için $W=-0.521$, %75 için $W=-0.903$ ve %95 için $W=-1.652$

Kırklareli ilinde en düşük evapotranspirasyonun görüldüğü ocak ayında frekans analiz sonuçlarına göre %5 ve %95 olasılıkla 0.79-0.42 mm/gün arasında değişen ET_0 , %50 olasılıkla 0.65 mm/gün olarak hesaplanmıştır. En yüksek atmosferik buharlaştırma gücünün (ET_0) görüldüğü temmuz ayında %5 ve %95 olasılıkla 5.59-4.17 mm/gün arasında değişen ET_0 , %50 olasılıkla 5.14 mm/gün bulunmuştur. Dolayısıyla Kırklareli'nde ortalama olarak ET_0 yıl boyu 0.65-5.14 mm/gün arasında değişim sergilemektedir.

Kırklareli ilinde 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda %50 olasılıkla 20.2, 28.5, 52.0, 80.4, 118.8, 138.2, 159.4, 146.7, 99.9, 58.1, 32.7 ve 22.8 mm sırasıyla referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir (Şekil 3.19). Kırklareli’nde en yüksek aylık toplam ET_o temmuz ayında ortalama 159.4 mm ve en düşük ocak ayında ortalama 20.2 mm olarak saptanmıştır.



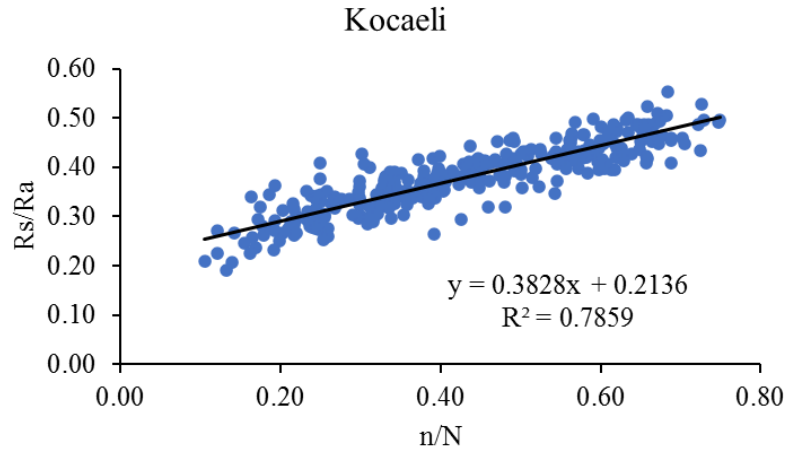
Şekil 3.19. Kırklareli’nde %5, %50 ve %95 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon sonuçları

FAO 56 tarafından önerilen $a_s = 0.25$, $b_s = 0.50$ ve güneşlenme süreleri (n) dikkate alınarak hesaplanan ET_{o1} sonuçları ile Kırklareli’nde ölçülmüş R_s ve bölgesel Angstrom katsayıları dikkate alınarak hesaplanan ET_{o2} sonuçları arası mutlak hata 0.18 mm/gün bulunmuştur. ET_{o2} sonuçları ile bölgesel Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri (n) ile hesaplanan ET_{o3} sonuçları arası mutlak hata ise 0.11 mm/gün saptanmıştır. Bu sonuçlara göre bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak Kırklareli için daha hassas şekilde ET_o tahmin edilmektedir.

Kırklareli ilinde elde edilen verilere göre yıllık toplam atmosferik buharlaştırma gücü (ET_o) 957.8 mm, TAGEM-DSİ (2017)’ye göre 949 mm, Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre ise 995.2 mm olarak tahmin edilmiştir. Yıllık toplam ET_o TAGEM-DSİ (2017) rehberine göre %0.93 (8.8 mm) daha yüksek ve Cropwat 8.0 programına göre ise %3.76 (37.4 mm) daha düşük bulunmuştur.

3.1.8. Kocaeli

Kocaeli’nde 1929 yılından bu yana meteorolojik kayıtlar bulunmaktadır. Ancak güneşlenme süresi verileri 1945 ve solar radyasyon şiddeti verileri ise 1973 yılından beri ara ara veri kaydı olmayan dönemlerle birlikte mevcuttur. 1973-2005 arası dönem için yıllık bazda Angstrom ilişkisi Şekil 3.20’de aylık bazda ise Şekil 3.21’de gösterilmiştir. Şekil 3.20’den de görülebileceği gibi Kocaeli’nde yıllık bazda nispi güneşlenme süresi (n/N) ile nispi solar radyasyon arasında son derece kuvvetli ($R=0.88$) pozitif doğrusal bir ilişki söz konusudur. Kocaeli’nde yıllık bazda $a_s=0.2136$, $b_s=0.3828$ ve $a_s+b_s=0.5964$ şeklinde bulunmuştur. Kocaeli’nde atmosfer dış yüzeyine ulaşan radyasyonun (R_a) 0.5964’ü açık bir günde yer yüzeyine ulaşmaktadır. Kapalı bir günde R_a ’nın 0.2136’sı ve bulutlu günlerse ise buna ilaveten güneşlenme oranına bağlı olarak 0.3828’i yer yüzeyine ulaşmaktadır.



Şekil 3.20. Kocaeli ili 1973-2005 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi

Kocaeli ilinde aylık bazda Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları Tablo 3.20’de yer almaktadır. Açık bir günde Kocaeli ilinde en fazla oranda R_a aralık (0.7872) ve mart (0.7189) aylarında ve en az oranda ise şubat (0.563) ve haziran (0.5681) aylarında yeryüzüne ulaştığı görülmektedir. FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediğinde önerilen $a_s=0.25$ ve $b_s=0.50$ katsayıları

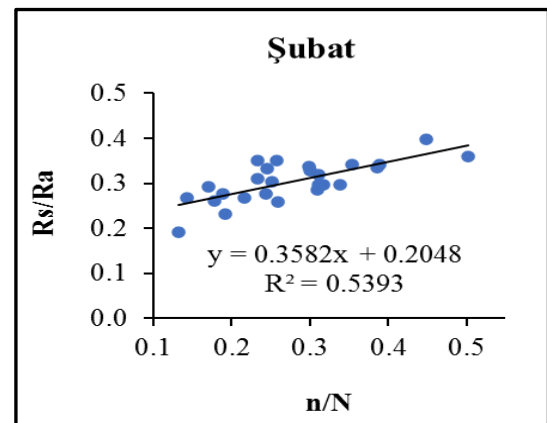
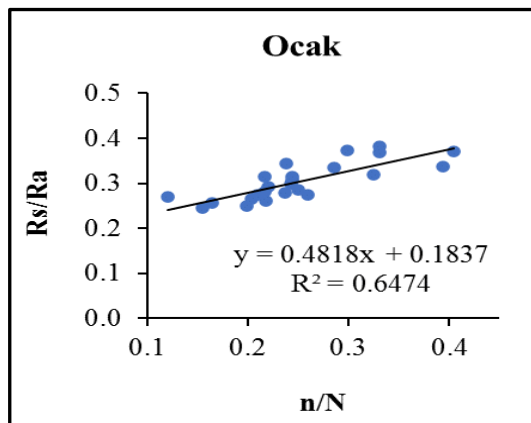
toplamı 0.75 oranına en yakın oran mart ayında (0.7189) en uzak oran ise şubat ayında (0.563) saptanmıştır.

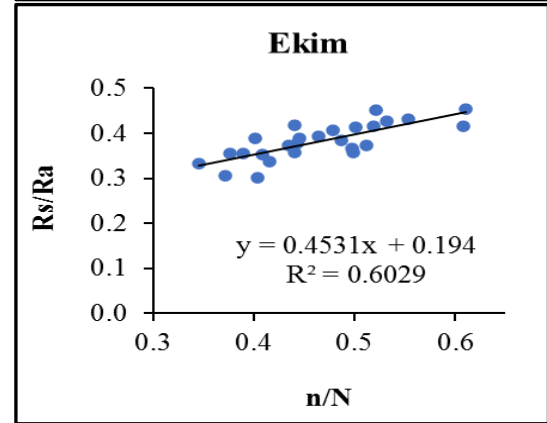
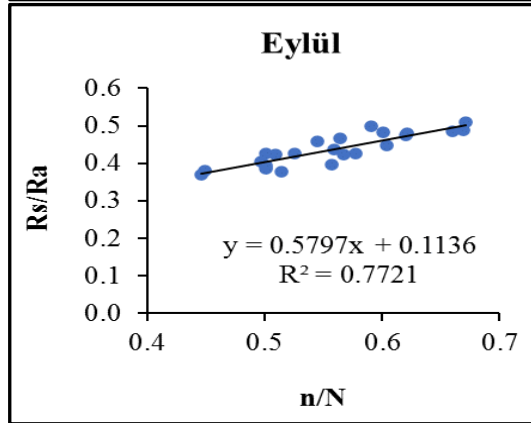
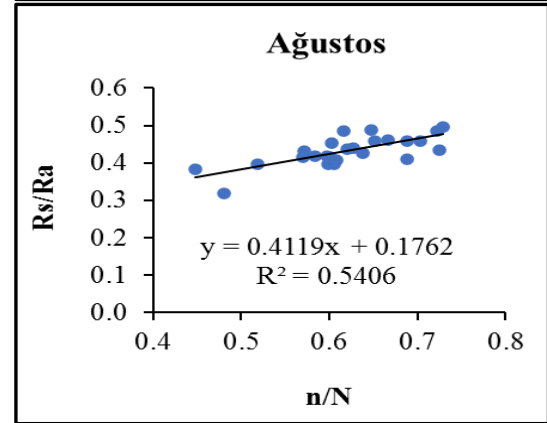
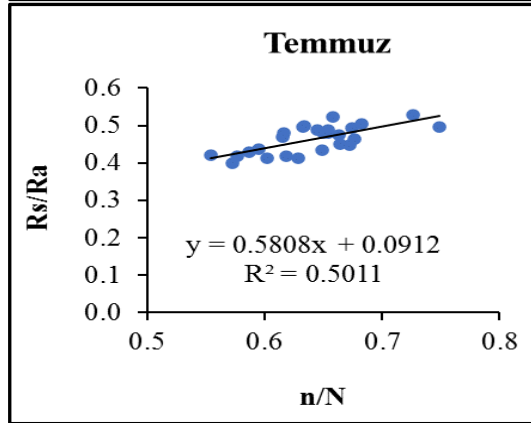
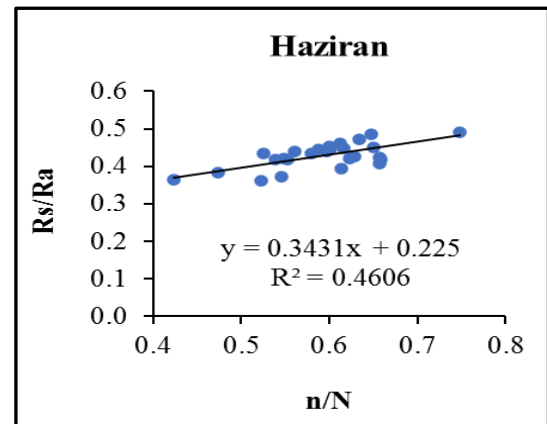
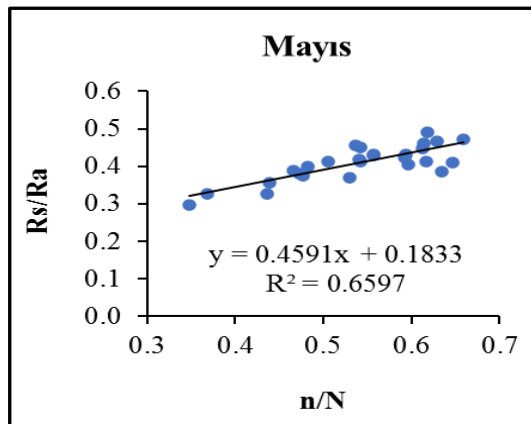
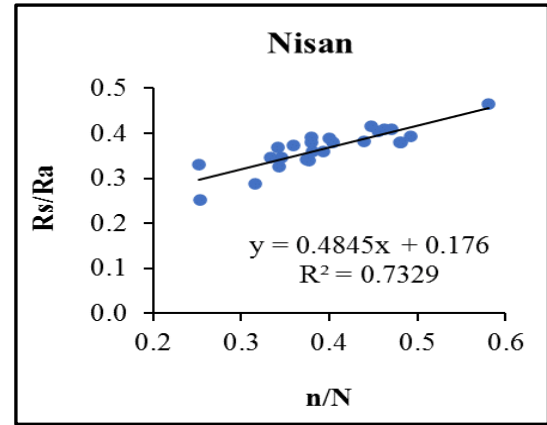
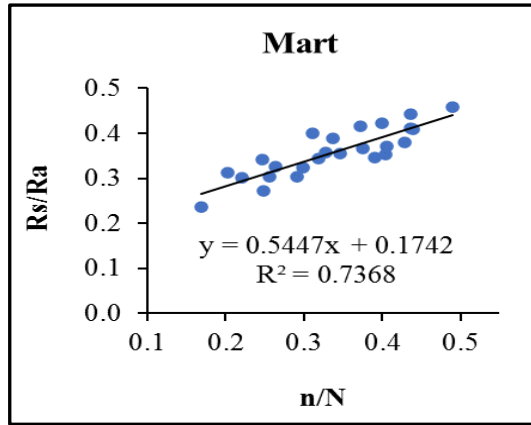
Kapalı günlerde Kocaeli ilinde en fazla oranda R_a haziran ($a_s = 0.225$) ve şubat aylarında ($a_s = 0.2048$) ve en az oranda ise temmuz ($a_s = 0.0912$) ve eylül aylarında ($a_s = 0.1136$) yeryüzüne ulaştığı görülmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına en yakın oran haziran ayında (0.225) saptanmıştır.

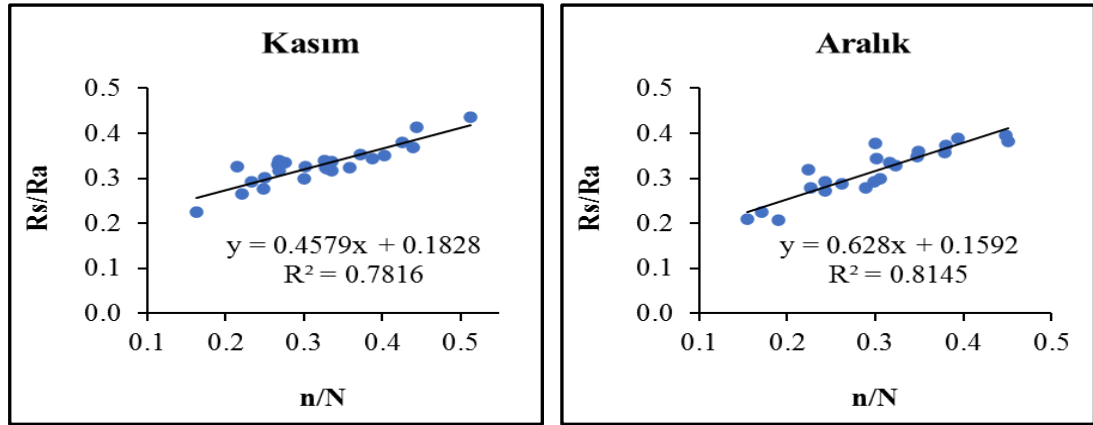
Kocaeli’nde nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde solar radyasyonun yeryüzüne en fazla oranda aralık ($b_s = 0.628$) ve temmuz ($b_s = 0.5808$) aylarında ve en az oranda haziran ($b_s = 0.3431$) ve şubat aylarında ($b_s = 0.3582$) gelmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına nisan ayında (0.4845) oldukça yakın katsayı saptanmıştır (Şekil 3.21).

Tablo 3.20. Kocaeli ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
a_s	0.1837	0.2048	0.1742	0.1760	0.1833	0.2250
b_s	0.4818	0.3582	0.5447	0.4845	0.4591	0.3431
a_s+b_s	0.6655	0.5630	0.7189	0.6605	0.6424	0.5681
R	0.80	0.73	0.86	0.86	0.81	0.68
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
a_s	0.0912	0.1762	0.1136	0.194	0.1828	0.1592
b_s	0.5808	0.4119	0.5797	0.4531	0.4579	0.6280
a_s+b_s	0.6720	0.5881	0.6933	0.6471	0.6407	0.7872
R	0.71	0.74	0.88	0.78	0.88	0.90







Şekil 3.21. Kocaeli ili 1973-2005 yılları arası aylık bazda Angstrom ilişkisi

Yıllık Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri dikkate alınarak Kocaeli için tahmin edilen ET_0 frekans analizi sonuçları Tablo 3.21’de, frekans analizi eşitlikleri ise Tablo 3.22’de sunulmuştur. ET_0 ’ın %5, %50 ve %95 ihtimalle ortalama aylık bazda değişimleri Şekil 3.22’de gösterilmiştir.

Tablo 3.21. 1973-2005 yılları arası aylara göre Kocaeli ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
5	0.92	1.09	1.83	2.75	3.54	3.99	4.75	4.07	3.35	1.92	1.26	1.15	2.55
10	0.89	1.05	1.77	2.67	3.46	3.91	4.66	3.97	3.27	1.88	1.23	1.12	2.49
25	0.83	0.98	1.67	2.52	3.30	3.77	4.48	3.80	3.11	1.78	1.15	1.05	2.37
50	0.75	0.89	1.54	2.32	3.09	3.57	4.23	3.56	2.89	1.65	1.05	0.95	2.21
75	0.65	0.78	1.37	2.06	2.82	3.32	3.92	3.26	2.61	1.49	0.92	0.82	2.00
95	0.46	0.55	1.03	1.56	2.28	2.83	3.30	2.66	2.07	1.18	0.67	0.58	1.60

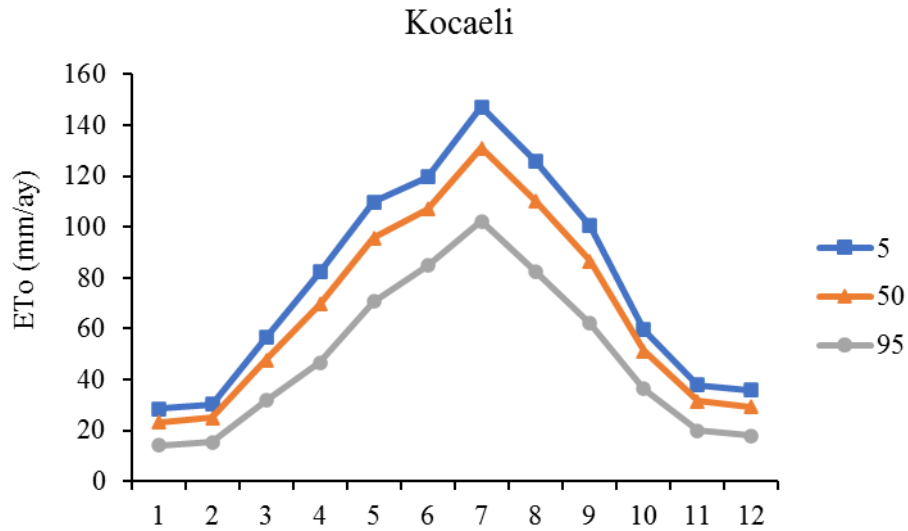
Tablo 3.22. Kocaeli ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_0 = 0.2606 \times W + 0.8877$	7	$ET_0 = 0.8206 \times W + 4.6591$
2	$ET_0 = 0.3048 \times W + 1.0504$	8	$ET_0 = 0.7949 \times W + 3.9742$
3	$ET_0 = 0.4533 \times W + 1.7745$	9	$ET_0 = 0.726 \times W + 3.2701$
4	$ET_0 = 0.6735 \times W + 2.6713$	10	$ET_0 = 0.4243 \times W + 1.875$
5	$ET_0 = 0.7147 \times W + 3.462$	11	$ET_0 = 0.3375 \times W + 1.2251$
6	$ET_0 = 0.6569 \times W + 3.9135$	12	$ET_0 = 0.3243 \times W + 1.1169$

Tekrarlanma olasılığı %5 için $W=0.114$, %10 için $W=0.000$, %25 için $W=-0.220$, %50 için $W=-0.521$, %75 için $W=-0.903$ ve %95 için $W=-1.652$

Kocaeli ilinde en düşük evapotranspirasyonun görüldüğü ocak ayında frekans analiz sonuçlarına göre %5 ve %95 olasılıkla 0.92-0.46 mm/gün arasında değişen ET_0 %50 olasılıkla 0.75 mm/gün olarak hesaplanmıştır. En yüksek atmosferik buharlaştırma gücünün (ET_0) görüldüğü temmuz ayında %5 ve %95 olasılıkla 4.75-3.30 mm/gün arasında değişen ET_0 %50 olasılıkla 4.23 mm/gün bulunmuştur. Dolayısıyla Kocaeli’nde ortalama olarak ET_0 yıl boyu 0.75-4.23 mm/gün arasında değişim göstermektedir.

Kocaeli ilinde 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12 aylarda %50 olasılıkla sırasıyla 23.3, 25.0, 47.7, 69.6, 95.8, 107.1, 131.2, 110.4, 86.7, 51.3, 31.5 ve 29.4 mm referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir (Şekil 3.22). Kocaeli’nde en yüksek aylık toplam ET_0 temmuz ayında ortalama 131.2 mm ve en düşük ocak ayında ortalama 23.3 mm olarak saptanmıştır.



Şekil 3.22. Kocaeli ilinde %5, %50 ve %95 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

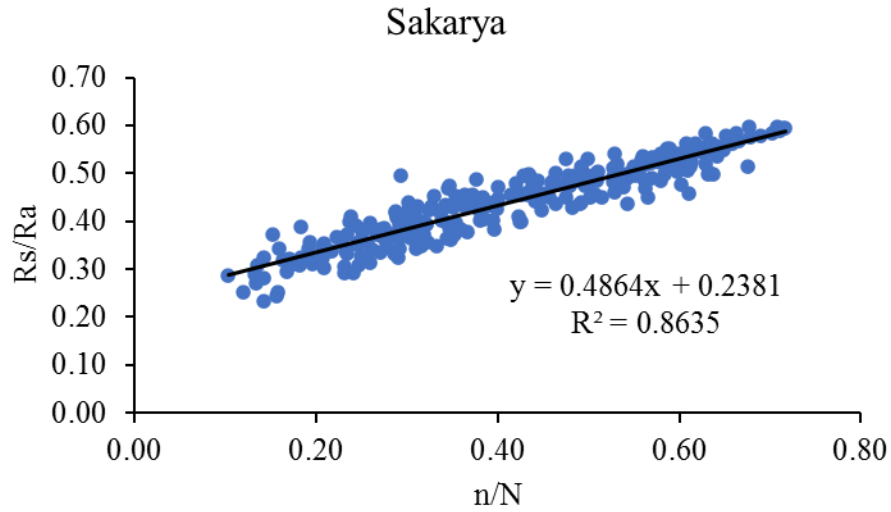
FAO 56 tarafından önerilen $a_s = 0.25$, $b_s = 0.50$ ve güneşlenme süreleri (n) dikkate alınarak hesaplanan ET_{01} sonuçları ile Kocaeli’nde ölçülmüş R_s ve bölgesel Angstrom katsayıları dikkate alınarak hesaplanan ET_{02} sonuçları arası mutlak hata 0.42 mm/gün bulunmuştur. ET_{02} sonuçları ile bölgesel Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri (n) ile hesaplanan ET_{03} sonuçları arası mutlak hata ise 0.06 mm/gün saptanmıştır.

Bu sonuçlara göre bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak Kocaeli için daha hassas şekilde ET_0 tahmin edilmektedir.

Kocaeli ilinde elde edilen verilere göre yıllık toplam atmosferik buharlaştırma gücü (ET_0) 808.9 mm, TAGEM-DSİ (2017)'ye göre 886 mm, Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre ise 949.2 mm olarak tahmin edilmiştir. Yıllık toplam ET_0 TAGEM-DSİ (2017) rehberine göre %8.70 (77.1 mm) ve Cropwat 8.0 programına göre ise %14.80 (140.5 mm) daha düşük bulunmuştur.

3.1.9. Sakarya

Sakarya'da 1951 yılından bu yana meteorolojik veri kayıtları bulunmaktadır. Ancak güneşlenme süresi ve solar radyasyon şiddeti verileri 1983 yılından sonra mevcuttur. 1983-2018 yılları aralığında yıllık bazda Angstrom ilişkisi Şekil 3.23'te aylık bazda ise Şekil 3.24'te gösterilmiştir. Şekil 3.23'ten de görülebileceği gibi Sakarya'da yıllık bazda nispi güneşlenme süresi (n/N) ile nispi solar radyasyon arasında son derece kuvvetli ($R=0.93$) pozitif doğrusal bir ilişki söz konusudur. Sakarya'da yıllık bazda $a_s=0.2381$, $b_s=0.4864$ ve $a_s+b_s=0.7245$ şeklinde bulunmuştur. Sakarya'da atmosfer dış yüzeyine ulaşan radyasyonun (R_a) 0.7245'i açık bir günde yer yüzeyine ulaşmaktadır. Kapalı bir günde yer yüzeyine R_a 'nın 0.2381'i ve bulutlu günlerse ise buna ilaveten güneşlenme oranına bağlı olarak 0.4864'ü ulaşmaktadır.



Şekil 3.23. Sakarya ili 1983-2017 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi

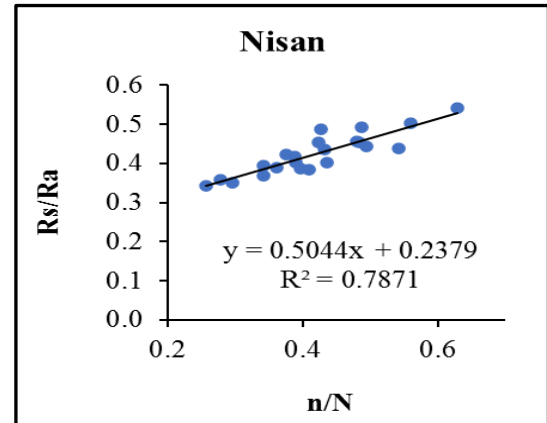
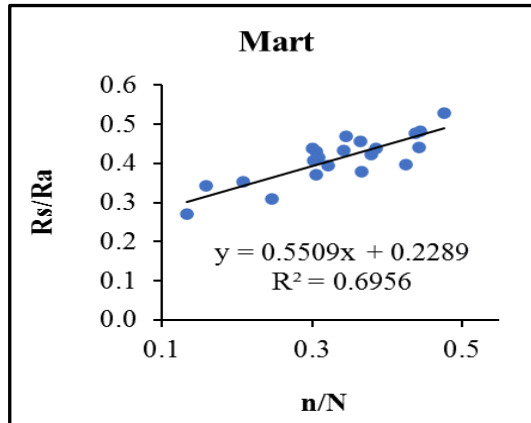
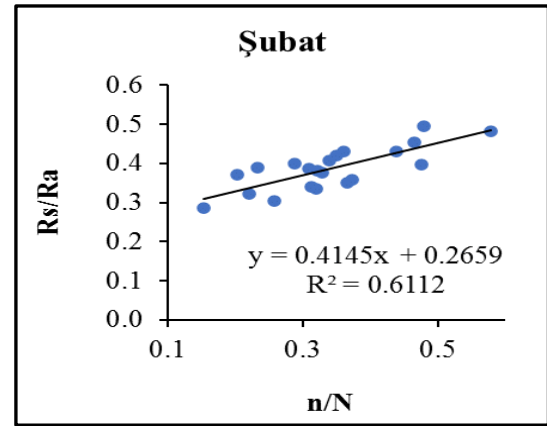
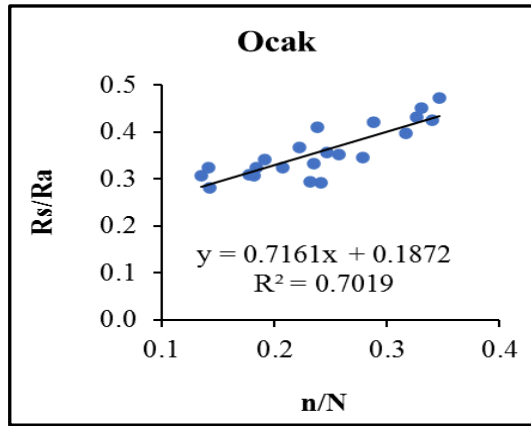
Sakarya ilinde aylık bazda Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları Tablo 3.23'te yer almaktadır. Açık bir günde Sakarya ilinde en fazla oranda R_a ocak (0.9033) ve aralık (0.8046) aylarında ve en az ise şubat (0.6804) ve temmuz (0.6929) aylarında yeryüzüne ulaştığı görülmektedir.

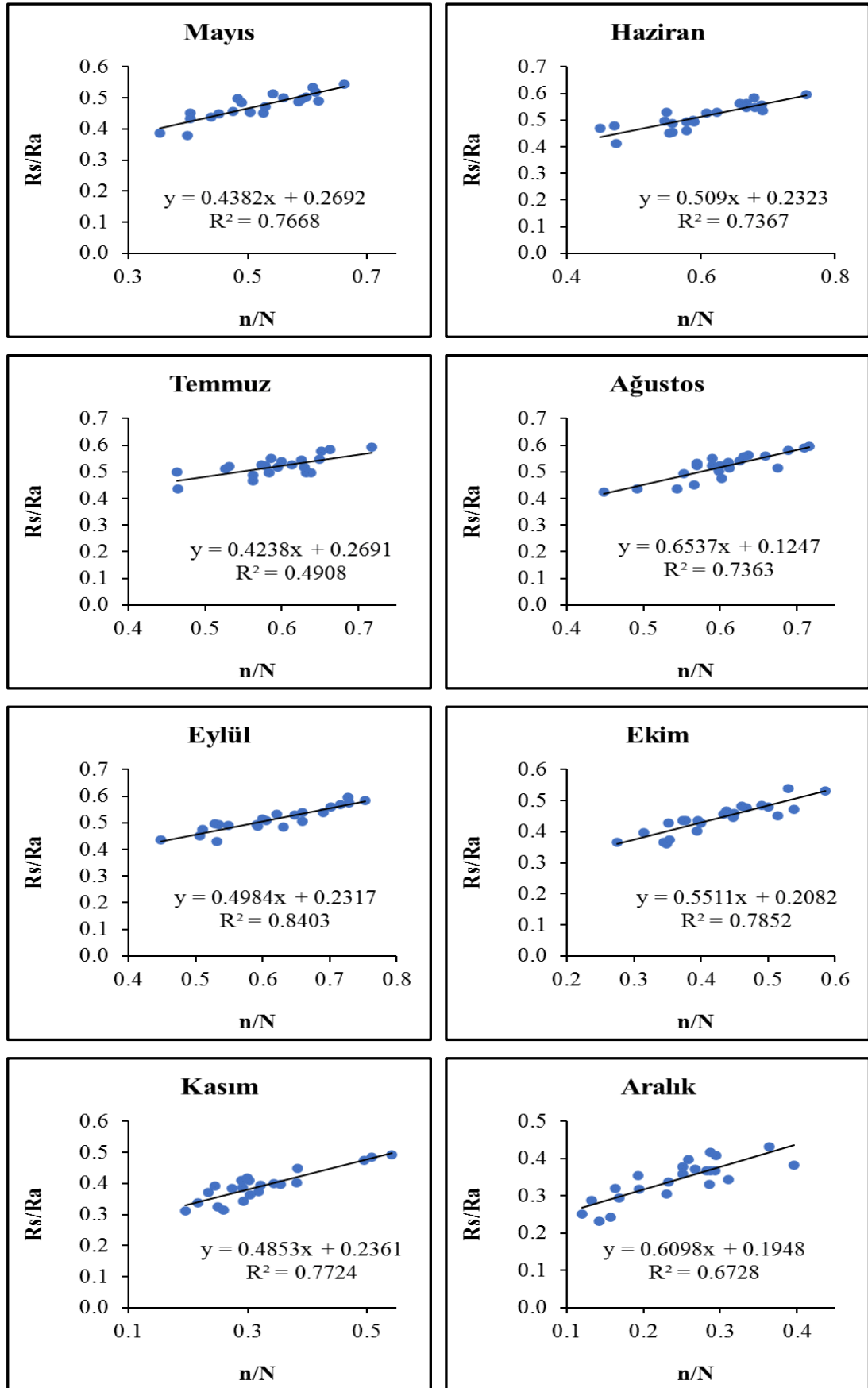
FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediğinde önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı 0.75 oranına en yakın oran mayıs ayında (0.7074) ve en uzak ise ocak ayında (0.9033) saptanmıştır. Kapalı günlerde Kocaeli ilinde en fazla oranda R_a mayıs ($a_s = 0.2692$) ve temmuz aylarında ($a_s = 0.2691$) ve en az ise ağustos ($a_s = 0.1247$) ve ocak aylarında ($a_s = 0.1872$) yeryüzüne ulaştığı görülmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına en yakın oran nisan ayında (0.2379) saptanmıştır.

Sakarya'da nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde solar radyasyonun yeryüzüne geldiği en fazla oran ocak ($b_s = 0.7161$) ve ağustos ($b_s = 0.6537$) aylarında iken en az oranın ise şubat ($b_s = 0.4145$) ve temmuz aylarında ($b_s = 0.4238$) olduğu görülmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına nisan ayında (0.50.44) oldukça yakın katsayı saptanmıştır. (Şekil 3.24).

Tablo 3.23. Sakarya ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
a_s	0.1872	0.2659	0.2289	0.2379	0.2692	0.2323
b_s	0.7161	0.4145	0.5509	0.5044	0.4382	0.509
a_s+b_s	0.9033	0.6804	0.7798	0.7423	0.7074	0.7413
R	0.8378	0.7818	0.8340	0.8872	0.8757	0.8583
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
a_s	0.2691	0.1247	0.2317	0.2082	0.2361	0.1948
b_s	0.4238	0.6537	0.4984	0.5511	0.4853	0.6098
a_s+b_s	0.6929	0.7784	0.7301	0.7593	0.7214	0.8046
R	0.7006	0.8581	0.9167	0.8861	0.8788	0.8202





Şekil 3.24. Sakarya ili 1983-2017 yılları arası aylık bazda Angstrom ilişkisi

Aylık Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri dikkate alınarak Sakarya için tahmin edilen ET_o frekans analizi Sonuçları Tablo 3.24'te ve frekans analizi eşitlikleri ise Tablo 3.25'te sunulmuştur. ET_o 'ın %5, %50 ve %95 ihtimalle ortalama aylık bazda değişimleri Şekil 3.25'te gösterilmiştir.

Tablo 3.24. 1983-2017 yılları arası aylara göre Sakarya ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
5	1.23	1.28	2.04	3.06	3.82	4.89	4.95	4.94	3.47	2.08	1.35	1.23	2.80
10	1.19	1.24	1.98	2.96	3.73	4.77	4.85	4.80	3.39	2.03	1.31	1.19	2.73
25	1.12	1.17	1.86	2.76	3.54	4.54	4.65	4.52	3.22	1.93	1.23	1.10	2.59
50	1.02	1.08	1.70	2.49	3.29	4.22	4.39	4.14	3.00	1.79	1.12	0.99	2.39
75	0.89	0.95	1.49	2.15	2.98	3.82	4.05	3.66	2.72	1.62	0.99	0.85	2.14
95	0.64	0.72	1.09	1.48	2.36	3.03	3.40	2.72	2.17	1.28	0.72	0.57	1.65

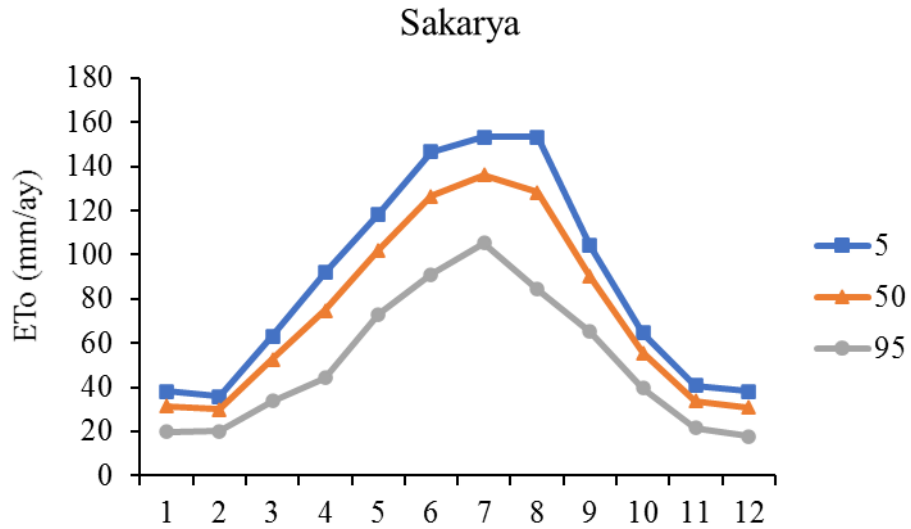
Tablo 3.25. Sakarya ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_o = 0.3331 \times W + 1.1895$	7	$ET_o = 0.8762 \times W + 4.8453$
2	$ET_o = 0.318 \times W + 1.2413$	8	$ET_o = 1.2593 \times W + 4.8005$
3	$ET_o = 0.5358 \times W + 1.9751$	9	$ET_o = 0.7349 \times W + 3.3854$
4	$ET_o = 0.8954 \times W + 2.9606$	10	$ET_o = 0.4555 \times W + 2.0284$
5	$ET_o = 0.8274 \times W + 3.7251$	11	$ET_o = 0.3609 \times W + 1.3129$
6	$ET_o = 1.0521 \times W + 4.7695$	12	$ET_o = 0.3726 \times W + 1.1857$

Tekrarlanma olasılığı %5 için $W=0.114$, %10 için $W= 0.000$, %25 için $W=-0.220$, %50 için $W=-0.521$, %75 için $W=-0.903$ ve %95 için $W=-1.652$

Sakarya ilinde en düşük evapotranspirasyonun görüldüğü aralık ayında frekans analiz sonuçlarına göre %5 ve %95 olasılıkla 1.23-0.57 mm/gün arasında değişen ET_o %50 olasılıkla 0.99 mm/gün olarak hesaplanmıştır. En yüksek atmosferik buharlaştırma gücünün (ET_o) görüldüğü temmuz ayında %5 ve %95 olasılıkla 4.95-3.40 mm/gün arasında değişen ET_o %50 olasılıkla 4.39 mm/gün bulunmuştur. Dolayısıyla Sakarya'da yıl boyu ortalama olarak ET_o 0.99-4.39 mm/gün arasında değişim göstermektedir.

Sakarya ilinde 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda %50 olasılıkla sırasıyla 31.5, 30.1, 52.6, 74.8, 102.1, 126.6, 136.0, 128.5, 90.1, 55.5, 33.7 ve 30.7 mm referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir (Şekil 3.25). Sakarya’da en yüksek aylık toplam ET_0 temmuz ayında ortalama 136.0 mm ve en düşük aralık ayında ortalama 30.7 mm olarak saptanmıştır.



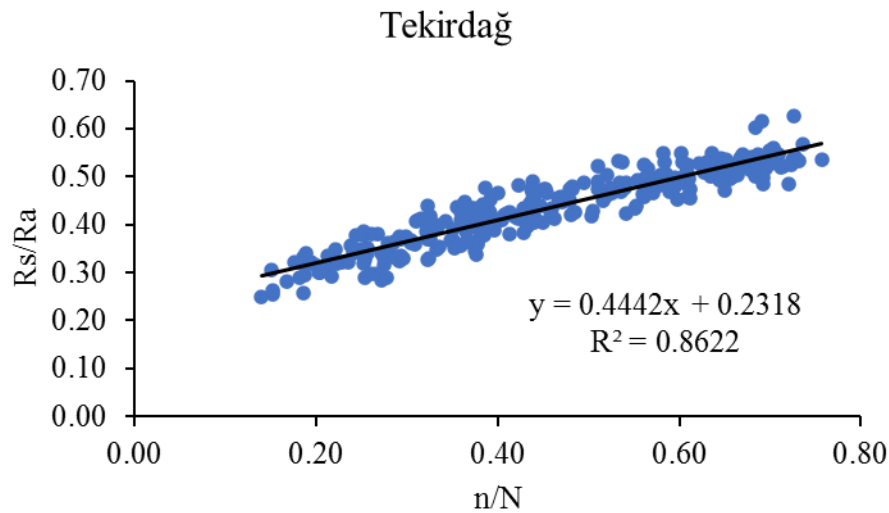
Şekil 3.25. Sakarya ilinde %5, %50 ve %95 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

FAO 56 tarafından önerilen $a_s = 0.25$, $b_s = 0.50$ ve güneşlenme süreleri (n) dikkate alınarak hesaplanan ET_{01} sonuçları ile Sakarya’da ölçülmüş R_s ve bölgesel Angstrom katsayıları dikkate alınarak hesaplanan ET_{02} sonuçları arası mutlak hata 0.53 mm/gün bulunmuştur. ET_{02} sonuçları ile bölgesel Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri (n) ile hesaplanan ET_{03} sonuçları arası mutlak hata ise 0.06 mm/gün saptanmıştır. Bu sonuçlara göre bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak Sakarya için daha hassas şekilde ET_0 tahmin edilmektedir.

Sakarya ilinde elde edilen verilere göre yıllık toplam atmosferik buharlaştırma gücü (ET_0) 892.3 mm, TAGEM-DSİ (2017)’ye göre 899 mm, Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre ise 896.6 mm olarak tahmin edilmiştir. Yıllık toplam ET_0 TAGEM-DSİ (2017) rehberine göre %0.75 (6.7 mm) ve Cropwat 8.0 programına göre ise %0.47 (4.25 mm) daha düşük bulunmuştur.

3.1.10. Tekirdağ

Tekirdağ ilinde 1940 yılından itibaren meteorolojik kayıtlar bulunmaktadır. Ancak 1983-2017 yılları arasında ET_0 hesaplamaları için 35 yıllık tam veri seti vardır. 1983-2017 yılları aralığında yıllık bazda Angstrom ilişkisi Şekil 3.26'da ve aylık bazda ise Şekil 3.17'de gösterilmiştir. Şekil 3.26'dan da görülebileceği gibi Tekirdağ'da yıllık bazda nispi güneşlenme (n/N) ile nispi solar radyasyon arasında kuvvetli ($R = 0.93$) pozitif doğrusal bir ilişki söz konusudur (Cohen, 1988). Tekirdağ'da yıllık bazda $a_s = 0.2318$, $b_s = 0.4442$ ve $a_s + b_s = 0.676$ şeklinde bulunmuştur. Tekirdağ'da atmosfer dış yüzeyine ulaşan radyasyonun (R_a) 0.6760'u açık bir günde yer yüzeyine gelmektedir. Kapalı bir günde R_a 'nın 0.2318'i yer yüzeyine ulaşırken bulutlu günlerse ise buna ilaveten güneşlenme oranına bağlı olarak 0.4442'si ulaşmaktadır.



Şekil 3.26. Tekirdağ ili 1983-2017 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi

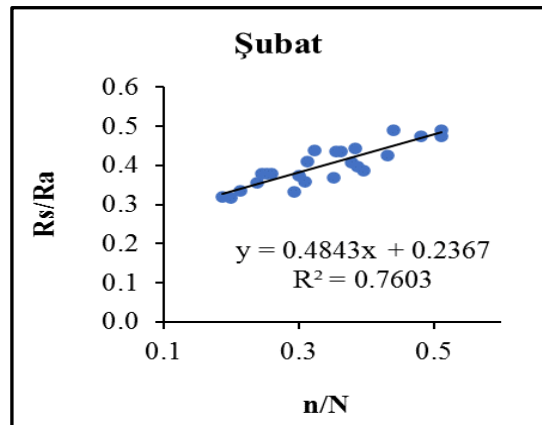
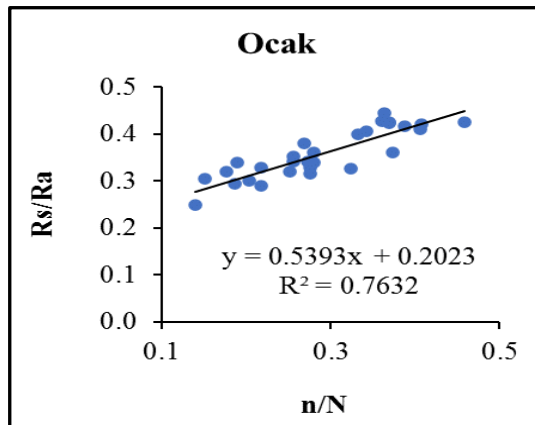
Tekirdağ ilinde aylık bazda Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları Tablo 3.26'da yer almaktadır. Açık bir günde Tekirdağ ilinde en fazla oranda R_a , mart (0.7532) ve ocak (0.7416) aylarında ve en az oranda ise ağustos (0.6209) ve temmuz (0.6485) aylarında yer yüzeyine gelmektedir. FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediğinde önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı 0.75 oranına en yakın oran mart ayında (0.7532) ve en uzak oran ise ağustos ayında (0.6209) saptanmıştır.

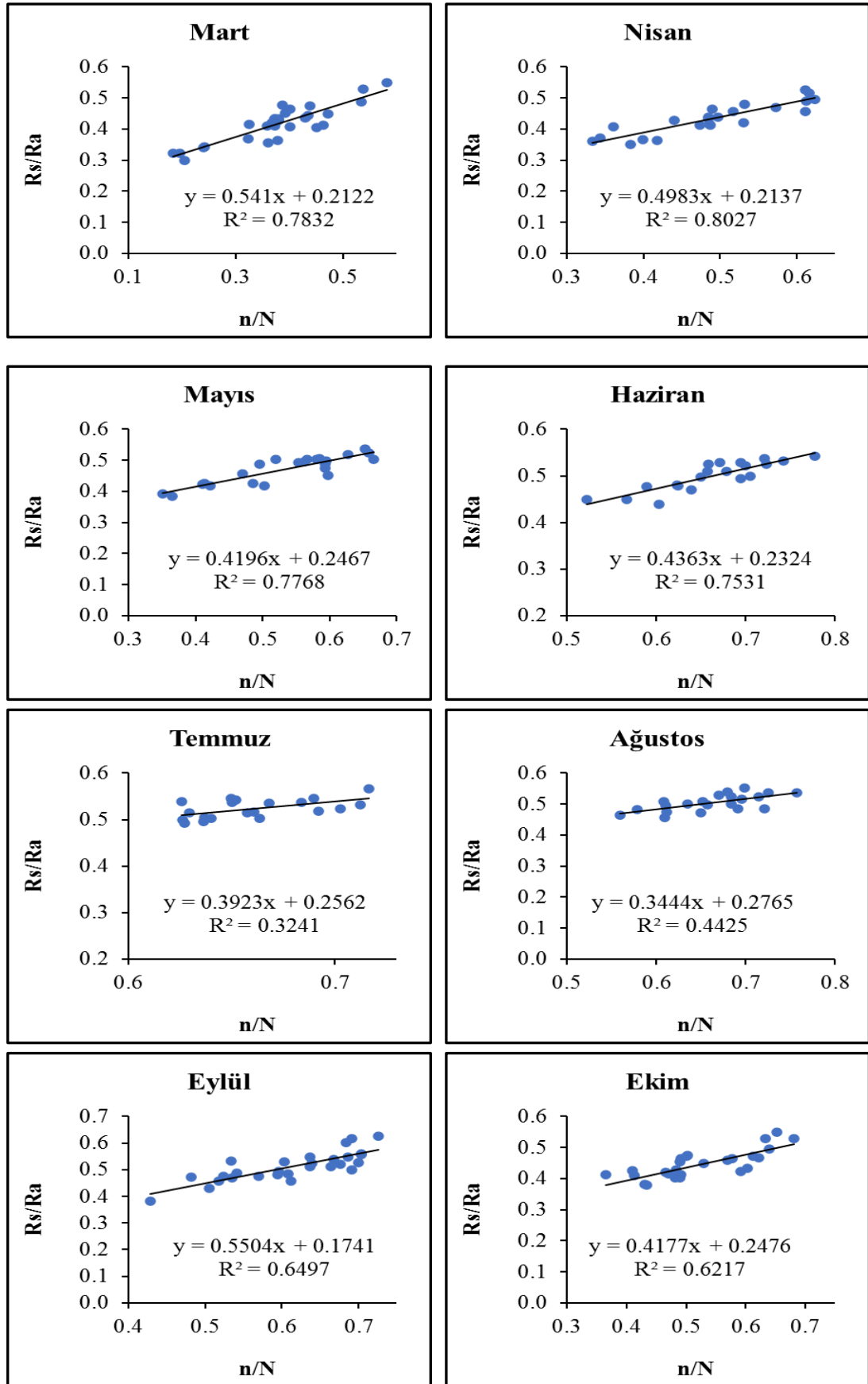
Kapalı günlerde Tekirdağ ilinde en fazla oranda R_a ağustos ($a_s = 0.2762$) ve temmuz aylarında ($a_s = 0.2562$) ve en az ise eylül ($a_s = 0.1741$) ve aralık aylarında ($a_s = 0.1898$) yeryüzüne ulaştığı görülmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına en yakın oran temmuz ayında (0.2562) saptanmıştır.

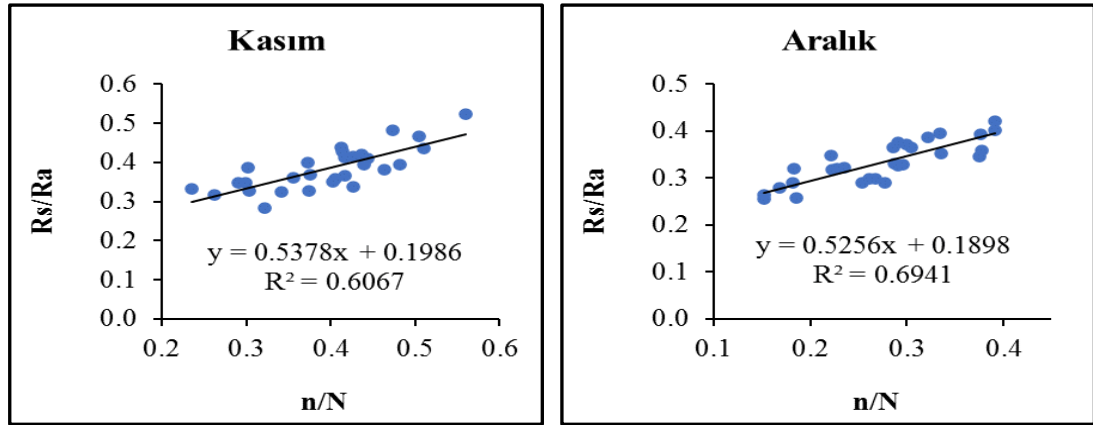
Tekirdağ'da nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde solar radyasyonun yeryüzüne en fazla oranda eylül ($b_s = 0.5504$) ve mart ($b_s = 0.541$) aylarında ve en az oranda ağustos ($b_s = 0.3444$) ve temmuz aylarında ($b_s = 0.3923$) geldiği görülmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına nisan ayında (0.4983) oldukça yakın katsayı saptanmıştır (Şekil 3.27).

Tablo 3.26. Tekirdağ ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
a_s	0.2023	0.2367	0.2122	0.2137	0.2467	0.2324
b_s	0.5393	0.4843	0.541	0.4983	0.4196	0.4363
a_s+b_s	0.7416	0.7210	0.7532	0.7120	0.6663	0.6687
R	0.8736	0.8719	0.8849	0.8959	0.8813	0.8678
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
a_s	0.2562	0.2765	0.1741	0.2476	0.1986	0.1898
b_s	0.3923	0.3444	0.5504	0.4177	0.5378	0.5256
a_s+b_s	0.6485	0.6209	0.7245	0.6653	0.7364	0.7154
R	0.5692	0.6652	0.8060	0.7884	0.7789	0.8331







Şekil 3.27. Tekirdağ ili 1983-2017 yılları arası aylık bazda Angstrom ilişkisi

Aylık Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri dikkate alınarak Tekirdağ için tahmin edilen ET_0 frekans analizi sonuçları Tablo 3.27’de, frekans analizi eşitlikleri ise Tablo 3.28’de sunulmuştur. Toplam aylık ET_0 ’ın %5, %50 ve %95 ihtimalle değişimleri Şekil 3.28’de gösterilmiştir

Tablo 3.27. 1983-2017 yılları arası aylara göre Tekirdağ ili referans evapotranspirasyon(mm/gün) frekans analizi sonuçları

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
5	0.89	1.20	1.84	2.65	3.48	4.37	4.97	4.74	3.67	2.06	1.34	1.03	2.69
10	0.86	1.16	1.78	2.57	3.41	4.29	4.89	4.63	3.58	2.01	1.30	0.99	2.62
25	0.81	1.09	1.66	2.43	3.27	4.15	4.74	4.44	3.42	1.92	1.22	0.91	2.51
50	0.74	1.00	1.50	2.23	3.08	3.96	4.53	4.17	3.20	1.80	1.12	0.80	2.34
75	0.66	0.88	1.31	1.99	2.84	3.71	4.27	3.82	2.92	1.65	0.98	0.66	2.14
95	0.49	0.64	0.91	1.50	2.36	3.23	3.76	3.15	2.37	1.35	0.72	0.39	1.74

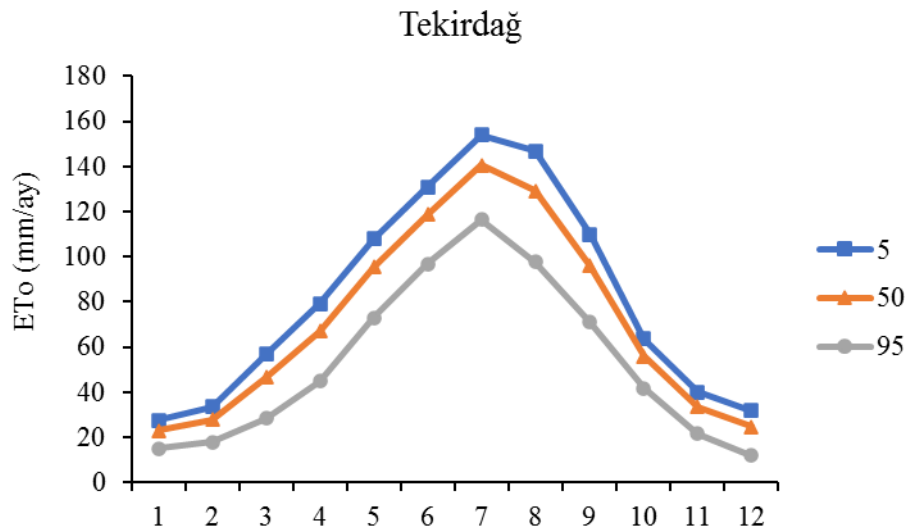
Tablo 3.28. Tekirdağ ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_0 = 0.2261 \times W + 0.8617$	7	$ET_0 = 0.6824 \times W + 4.8932$
2	$ET_0 = 0.3179 \times W + 1.1646$	8	$ET_0 = 0.8971 \times W + 4.6349$
3	$ET_0 = 0.5223 \times W + 1.7770$	9	$ET_0 = 0.7361 \times W + 3.5833$
4	$ET_0 = 0.6485 \times W + 2.5725$	10	$ET_0 = 0.3984 \times W + 2.0101$
5	$ET_0 = 0.6374 \times W + 3.4119$	11	$ET_0 = 0.3486 \times W + 1.2983$
6	$ET_0 = 0.6452 \times W + 4.2922$	12	$ET_0 = 0.3610 \times W + 0.9863$

Tekrarlanma olasılığı %5 için $W=0.114$, %10 için $W=0.000$, %25 için $W=-0.220$, %50 için $W=-0.521$, %75 için $W=-0.903$ ve %95 için $W=-1.652$

Tekirdağ ilinde en düşük evapotranspirasyonun görüldüğü ocak ayında frekans analiz sonuçlarına göre %5 ve %95 olasılıkla 0.89-0.49 mm/gün arasında değişen ET_o , %50 olasılıkla 0.74 mm/gün olarak hesaplanmıştır. En yüksek atmosferik buharlaştırma gücünün (ET_o) görüldüğü temmuz ayında %5 ve %95 olasılıkla 4.97-3.76 mm/gün arasında değişen ET_o , %50 olasılıkla 4.53 mm/gün bulunmuştur. Dolayısıyla Tekirdağ'da yıl boyu ET_o ortalama olarak 0.74-4.53 mm/gün arasında değişim göstermektedir.

Tekirdağ ilinde 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda %50 olasılıkla sırasıyla 23.1, 28.0, 46.6, 67.0, 95.5, 118.7, 140.6, 129.2, 96.0, 55.9, 33.5 ve 14.7 mm referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir (Şekil 3.28). Tekirdağ'da en yüksek aylık toplam ET_o temmuz ayında ortalama 140.6 mm ve en düşük aralık ayında ortalama 14.7 mm olarak saptanmıştır.



Şekil 3.28. Tekirdağ ilinde %5, %50 ve %95 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

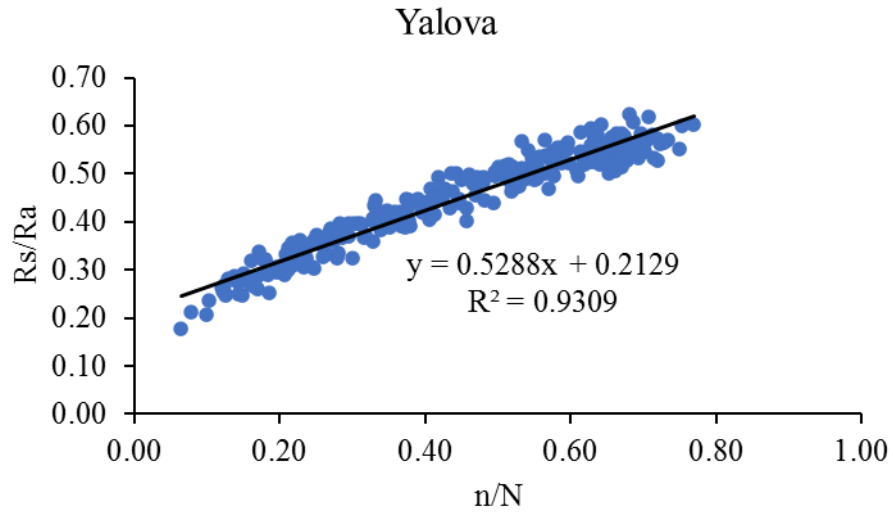
FAO 56 tarafından önerilen $a_s=0.25$, $b_s=0.50$ ve güneşlenme süreleri (n) dikkate alınarak hesaplanan ET_{o1} sonuçları ile Tekirdağ'da ölçülmüş R_s ve bölgesel Angstrom katsayıları dikkate alınarak hesaplanan ET_{o2} sonuçları arası mutlak hata 0.20 mm/gün bulunmuştur. ET_{o2} sonuçları ile bölgesel Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri

(n) ile hesaplanan ET_{03} sonuçları arası mutlak hata ise 0.10 mm/gün saptanmıştır. Bu sonuçlar, bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak Tekirdağ için daha hassas şekilde ET_0 'ın tahmin edilebileceğini göstermektedir.

Tekirdağ ilinde elde edilen verilere göre yıllık toplam atmosferik buharlaştırma gücü (ET_0) 858.7 mm, TAGEM-DSİ (2017)'ye göre 900 mm, Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre ise 950.2 mm olarak tahmin edilmiştir. Yıllık toplam ET_0 TAGEM-DSİ (2017) rehberine göre %4.60 (41.3 mm) ve Cropwat 8.0 programına göre ise %9.63 (91.5 mm) daha düşük bulunmuştur.

3.1.11. Yalova

Yalova ilinde 1931 yılından itibaren meteorolojik kayıtlar bulunmaktadır. Ancak 1983-2006 yılları arasında ET_0 hesaplamaları için 24 yıllık tam veri seti vardır. 1983-2006 yılları aralığında yıllık bazda Angstrom ilişkisi Şekil 3.29'da ve aylık bazda ise Şekil 3.30'da gösterilmiştir. Şekil 3.29'dan da görülebileceği gibi Yalova'da yıllık bazda nispi güneşlenme (n/N) ile nispi solar radyasyon arasında kuvvetli ($R= 0.96$) pozitif doğrusal bir ilişki söz konusudur (Cohen, 1988). Yalova'da yıllık bazda $a_s= 0.2129$, $b_s= 0.5288$ ve $a_s+b_s= 0.7417$ şeklinde bulunmuştur. Yalova'da atmosfer dış yüzeyine ulaşan radyasyonun (R_a) 0.7417'si açık bir günde yer yüzeyine ulaşmaktadır. Kapalı bir günde R_a 'nın 0.2129'u yer yüzeyine ulaşırken bulutlu günlerse ise buna ilaveten güneşlenme oranına bağlı olarak 0.5288'i ulaşmaktadır.



Şekil 3.29. Yalova ili 1983-2006 yılları arası nispi güneşlenmeye (n/N) karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyonun atmosfer dış yüzey radyasyonuna oranı (R_s/R_a) ve yıllık bazda Angstrom ilişkisi

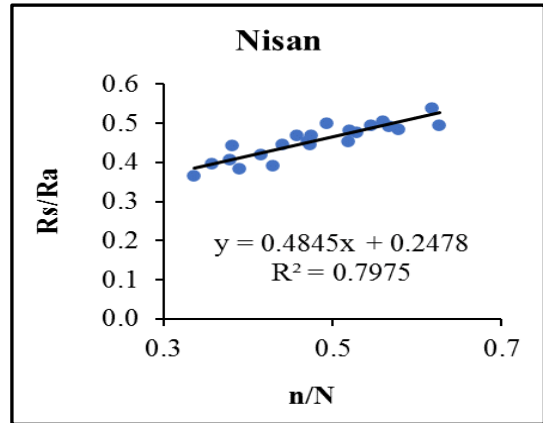
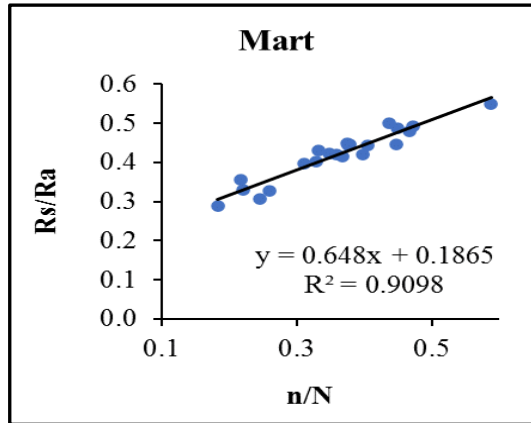
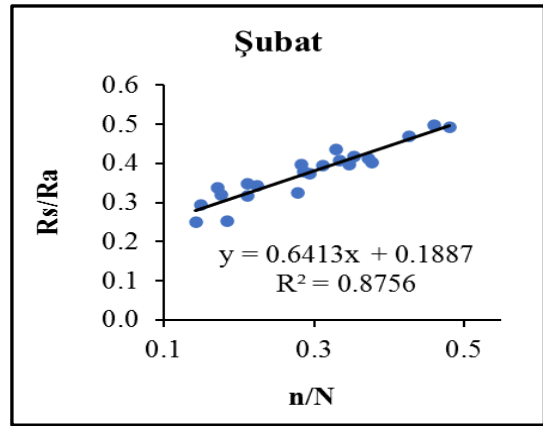
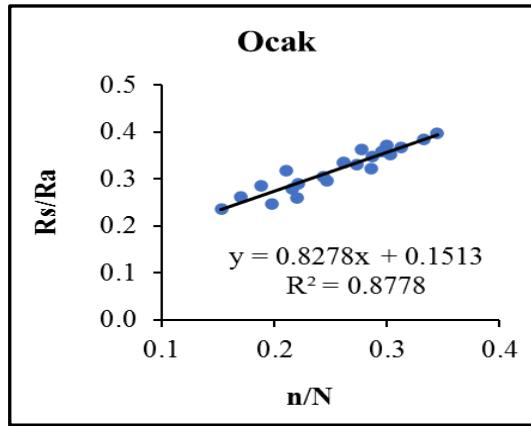
Yalova ilinde aylık bazda Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları Tablo 3.29'da yer almaktadır. Açık bir günde Yalova ilinde en fazla oranda R_a , ocak (0.9791) ve aralık (0.9665) aylarında ve en az oranda ise ağustos (0.6641) ve eylül (0.6652) aylarında geldiği görülmektedir. FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediğinde önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı 0.75 oranına en yakın oran nisan ayında (0.7323) ve en uzak oran ise ocak ayında (0.9791) saptanmıştır.

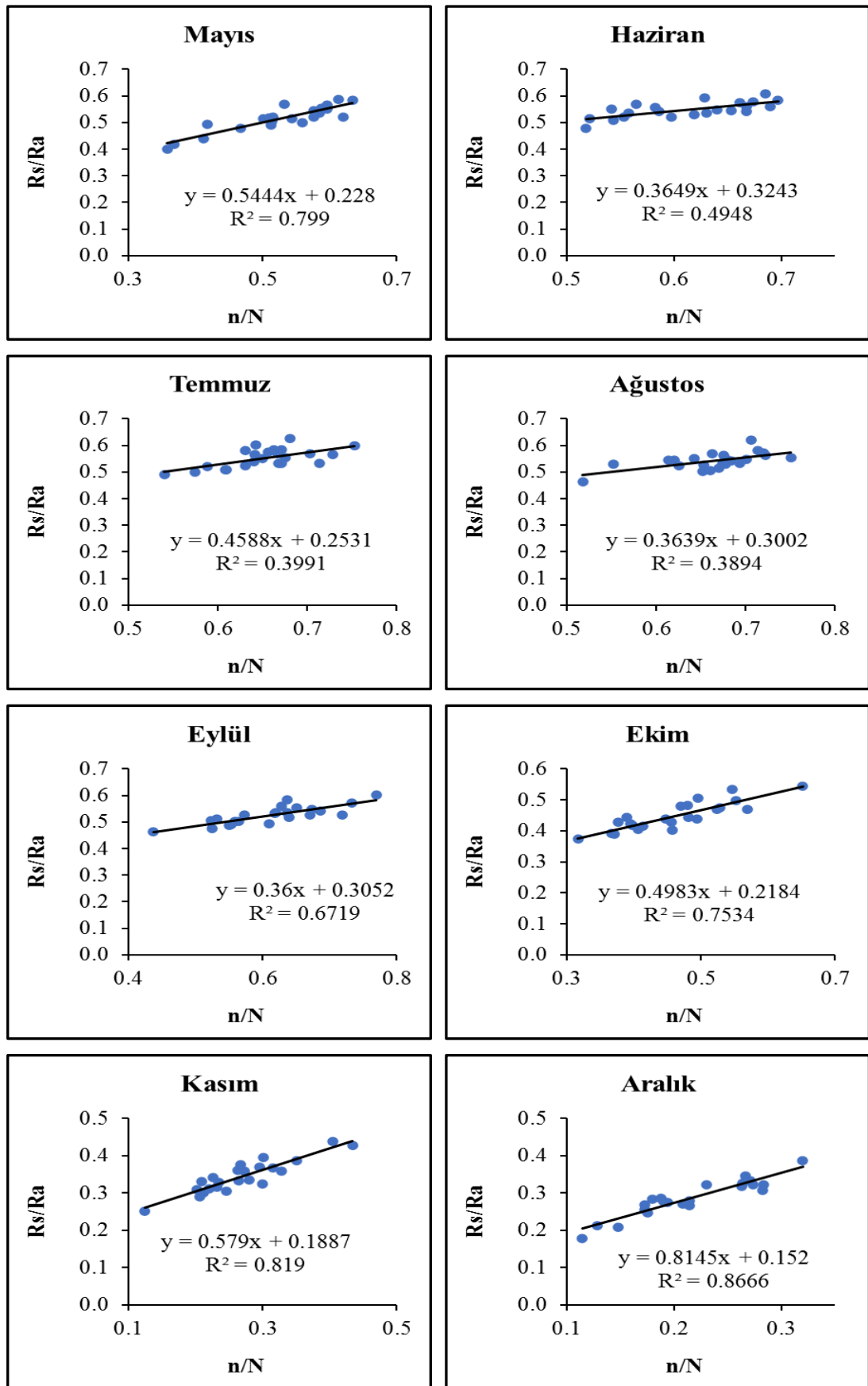
Kapalı günlerde Yalova ilinde en fazla oranda R_a haziran ($a_s = 0.3243$) ve eylül aylarında ($a_s = 0.3052$) ve en az oranda ise ocak ($a_s = 0.1513$) ve aralık aylarında ($a_s = 0.1520$) yeryüzüne ulaştığı görülmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına en yakın oran nisan ayında (0.2478) saptanmıştır.

Yalova'da nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde solar radyasyonun yeryüzüne en fazla oranda ocak ($b_s = 0.8278$) ve aralık ($b_s = 0.8145$) aylarında ve en az oranda eylül ($b_s = 0.3600$) ve ağustos aylarında ($b_s = 0.3639$) geldiği görülmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına nisan ayında (0.4983) oldukça yakın katsayı saptanmıştır (Şekil 3.30).

Tablo 3.29. Yalova ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
a_s	0.1513	0.1887	0.1865	0.2478	0.2280	0.3243
b_s	0.8278	0.6413	0.6480	0.4845	0.5444	0.3649
a_s+b_s	0.9791	0.8300	0.8345	0.7323	0.7724	0.6890
R	0.94	0.93	0.95	0.89	0.89	0.70
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
a_s	0.2531	0.3002	0.3052	0.2184	0.1887	0.1520
b_s	0.4588	0.3639	0.3600	0.4983	0.5790	0.8145
a_s+b_s	0.7119	0.6641	0.6652	0.7167	0.7677	0.9665
R	0.63	0.62	0.82	0.87	0.90	0.93





Şekil 3.30. Yalova ili 1983-2006 yılları arası aylık bazda Angstrom ilişkisi

Aylık Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri dikkate alınarak Yalova için tahmin edilen ET_o frekans analizi sonuçları Tablo 3.30'da, frekans analizi eşitlikleri ise Tablo 3.31'de sunulmuştur. Toplam aylık ET_o 'ın %5, %50 ve %95 ihtimalle değişimleri Şekil 3.31'de gösterilmiştir

Tablo 3.30. 1983-2006 yılları arası aylara göre Yalova ili referans evapotranspirasyon (mm/gün) frekans analizi sonuçları

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
5	1.25	1.44	2.07	2.78	3.81	4.39	4.79	4.20	3.13	2.02	1.40	1.30	2.72
10	1.23	1.42	2.01	2.71	3.74	4.34	4.73	4.15	3.09	1.98	1.37	1.27	2.67
25	1.18	1.36	1.89	2.57	3.61	4.25	4.62	4.06	3.01	1.91	1.31	1.23	2.58
50	1.12	1.29	1.73	2.38	3.42	4.13	4.48	3.94	2.89	1.82	1.23	1.16	2.47
75	1.04	1.20	1.52	2.14	3.19	3.98	4.29	3.78	2.75	1.70	1.13	1.08	2.32
95	0.89	1.02	1.12	1.67	2.73	3.68	3.93	3.48	2.47	1.47	0.92	0.92	2.02

Tablo 3.31. Yalova ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

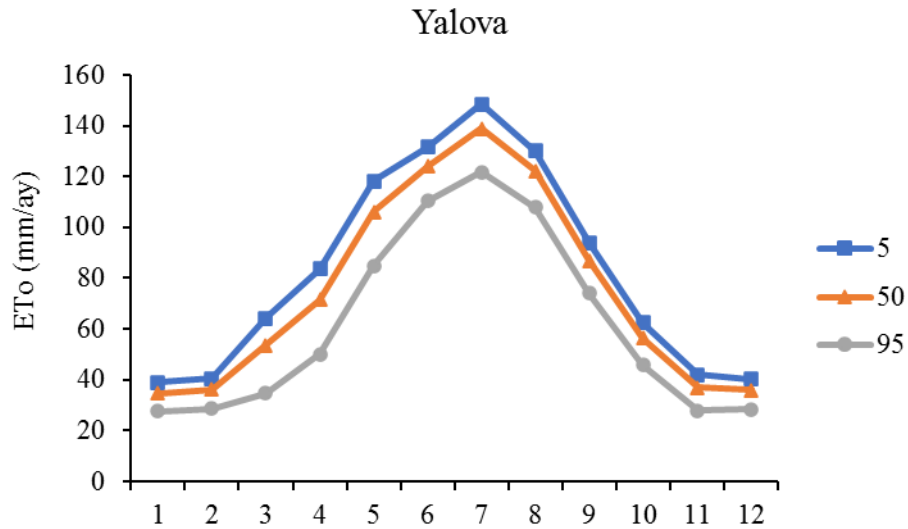
Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_o = 0.2062 \times W + 1.2279$	7	$ET_o = 0.4867 \times W + 4.7311$
2	$ET_o = 0.2408 \times W + 1.4169$	8	$ET_o = 0.4087 \times W + 4.1517$
3	$ET_o = 0.5374 \times W + 1.7852$	9	$ET_o = 0.3738 \times W + 3.0882$
4	$ET_o = 0.6315 \times W + 2.7120$	10	$ET_o = 0.3077 \times W + 1.9801$
5	$ET_o = 0.6090 \times W + 3.7411$	11	$ET_o = 0.2703 \times W + 1.3707$
6	$ET_o = 0.4033 \times W + 4.3429$	12	$ET_o = 0.2166 \times W + 1.2737$

Tekrarlanma olasılığı %5 için $W=0.114$, %10 için $W=0.000$, %25 için $W=-0.220$, %50 için $W=-0.521$, %75 için $W=-0.903$ ve %95 için $W=-1.652$

Yalova ilinde en düşük evapotranspirasyonun görüldüğü ocak ayında frekans analiz sonuçlarına göre %5 ve %95 olasılıkla 1.25-0.89 mm/gün arasında değişen ET_o , %50 olasılıkla 1.12 mm/gün olarak hesaplanmıştır. En yüksek atmosferik buharlaştırma gücünün (ET_o) görüldüğü temmuz ayında %5 ve %95 olasılıkla 4.79-3.93 mm/gün arasında değişen ET_o , %50 olasılıkla 4.48 mm/gün bulunmuştur. Dolayısıyla Yalova'da yıl boyu ET_o ortalama olarak 1.12-4.48 mm/gün arasında değişim göstermektedir.

Yalova ilinde 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12 aylarda %50 olasılıkla sırasıyla 34.7, 36.2, 53.6, 71.5, 106.1, 124.0, 138.8, 122.1, 86.8, 56.4, 36.9 ve 36.0 mm referans

evapotranspirasyon meydana gelmektedir (Şekil 3.31). Yalova’da en yüksek aylık toplam ET_o temmuz ayında ortalama 138.8 mm ve en düşük ocak ayında ortalama 34.7 mm olarak saptanmıştır.



Şekil 3.31. Yalova ilinde %5, %50 ve %95 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

FAO 56 tarafından önerilen $a_s = 0.25$, $b_s = 0.50$ ve güneşlenme süreleri (n) dikkate alınarak hesaplanan ET_{o1} sonuçları ile Yalova’da ölçülmüş R_s ve bölgesel Angstrom katsayıları dikkate alınarak hesaplanan ET_{o2} sonuçları arası mutlak hata 0.16 mm/gün bulunmuştur. ET_{o2} sonuçları ile bölgesel Angstrom katsayıları ve güneşlenme süreleri (n) ile hesaplanan ET_{o3} sonuçları arası mutlak hata ise 0.05 mm/gün saptanmıştır. Bu sonuçlar, bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak Yalova için daha hassas şekilde ET_o ’ın tahmin edilebileceğini göstermektedir.

Yalova ilinde elde edilen verilere göre yıllık toplam atmosferik buharlaştırma gücü (ET_o) 903 mm, TAGEM-DSİ (2017)’ye göre 902 mm ve Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre ise 905 mm olarak tahmin edilmiştir. Yıllık toplam ET_o TAGEM-DSİ (2017) rehberi ve Cropwat 8.0 programına göre birbirlerine eşit bulunmuştur.

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada FAO 56 Penman-Monteith yöntemine göre Marmara Bölgesinin Referans Evapotranspirasyon (ET_o) değerlerinin hesaplanabilmesi için gerekli bölgesel Angstrom katsayılarının saptanması amaçlanmıştır. Belirlenen Angstrom katsayıları kullanılarak tahmin edilen referans evapotranspirasyon değerleri, Marmara Bölgesi'nde ölçülen solar radyasyon verileri kullanılarak hesaplanan referans evapotranspirasyon değerleri ile karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda FAO 56 tarafından önerilen Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan referans evapotranspirasyon değerleri de karşılaştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Meteorolojik kayıt sürecinde mümkün olan yıllar boyunca hesaplanan referans evapotranspirasyon değerlerinin aylık bazda değişim aralıklarını bulabilmek için de frekans analizi yapılmıştır.

Marmara Bölgesi'nde yer alan Bilecik, Bursa, Çanakkale, Edirne, İstanbul, Kocaeli, Sakarya, Tekirdağ ve Yalova illerinde aylık ve yıllık olarak Angstrom katsayıları belirlenmiştir. Balıkesir ve Kırklareli illerinde güneşlenme şiddeti ve global radyasyon verilerinde bulunan eksiklikler sebebiyle Angstrom katsayıları aylık bazda değil yıllık bazda saptanabilmektedir.

İllere göre yıllık bazda ortalama a_s+b_s katsayıları toplamı Balıkesir'de 0.7073, Bilecik'te 0.6528, Bursa'da 0.6509, Çanakkale'de 0.6459, Edirne'de 0.5449, İstanbul'da 0.5922, Kırklareli'nde 0.7959, Kocaeli'nde 0.5964, Sakarya'da 0.7245, Tekirdağ'da 0.8622 ve Yalova'da 0.7417 olarak bulunmuştur. Tekirdağ ili haricindeki diğer illerde a_s+b_s katsayıların toplamı FAO 56 tarafından önerilen katsayılar toplamı olan 0.75 katsayısından düşük çıkmıştır.

FAO 56 tarafından önerilen $a_s = 0.25$, $b_s = 0.50$ ve güneşlenme süreleri (n) ile aylık ET_{01} seri oluşturulmuştur. Benzer şekilde Marmara Bölgesi illeri meteoroloji istasyonlarında ölçülmüş R_s ve bölgesel Angstrom katsayılarıyla ET_{02} hesaplanırken bölgesel Angstrom katsayıları ve güneşlenme süresi (n) verileri kullanılarak da ET_{03} hesaplanmıştır. Angstrom katsayılarıyla global radyasyon şiddeti tahmin edildiği için yerinde ölçülmüş global radyasyon verileriyle hesaplanan ET_{02} değerleri kontrol olarak dikkate alınmıştır. ET_{01} - ET_{02} ve ET_{03} - ET_{02} arası mutlak hatalar; Balıkesir’de 0.14 ve 0.04, Bilecik’te 0.23 ve 0.04, Bursa’da 0.30 ve 0.12, Çanakkale’de 0.35 ve 0.13, Edirne’de 0.63 ve 0.17, İstanbul’da 0.42 ve 0.22, Kırklareli’nde 0.18 ve 0.11, Kocaeli’nde 0.42 ve 0.06, Sakarya’da 0.53 ve 0.06, Tekirdağ’da 0.20 ve 0.10 ve Yalova’da 0.16 ve 0.05 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak iller için daha hassas şekilde ET_0 ’ın tahmin edilebileceğini göstermektedir.

Elde edilen verilere göre yıllık toplam atmosferik buharlaştırma gücü (ET_0), Balıkesir’de 1185.9 mm, Bilecik’te 952.1 mm, Bursa’da 959.2 mm, Çanakkale’de 1052.4 mm, Edirne’de 840.5 mm, İstanbul’da 952.5 mm, Kırklareli’nde 957.8 mm, Kocaeli’nde 808.9 mm, Sakarya’da 892.3 mm, Tekirdağ’da 858.7 mm ve Yalova’da 903 mm olarak bulunmuştur. Bu verilere göre en yüksek yıllık toplam ET_0 Balıkesir’de (1185.9 mm) ve en düşük Kocaeli’nde (808.9 mm) saptanmıştır.

İllerde hesaplanan ET_0 değerleri, TAGEM-DSİ (2017) tarafından verilen ET_0 değerlerine göre Balıkesir ve Çanakkale illerinde sırasıyla %11 ve %0.71 daha yüksek bulunmuştur. Bilecik, Bursa, Edirne, İstanbul, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya ve Tekirdağ illerinde sırasıyla %2.74, %1.92, %6.82, %0.26, %0.93, %8.70, %0.75 ve %4.60 daha düşük bulunmuştur. Yalova ilinde ise birbirlerine eşit bulunmuştur.

İllerde hesaplanan ET_0 değerleri, Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programı değerlerine göre ise Balıkesir ilinde %0.7 daha yüksek bulunmuştur. Bilecik, Bursa, Çanakkale, Edirne, İstanbul, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya ve Tekirdağ illerinde sırasıyla %15, %6.8, %11.5, %11.8, %3.18, %3.76, %14.80, %0.47 ve %9.63 daha düşük bulunurken Yalova ilinde ise birbirine eşit çıkmıştır.

Frekans analizlerine göre %50 olasılıkta ET_0 tüm illerde en yüksek temmuz ayında meydana gelmiştir. En düşük ET_0 ise Bilecik, Bursa, Çanakkale ve Sakarya aylarında aralık ayında meydana gelirken diğer illerde ocak ayında meydana gelmiştir.

KAYNAKLAR

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration. guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome.
- Allen, R.G., Walter, I.A., Elliott, R.L., Howell, T.A., Itenfisu, D., Jensen, M.E., Snyder, R.L., 2005. Reference Evapotranspiration Equation. The American Society of Civil Engineers. USA.
- Amarkai, P.A., 2019. İklim parametrelerindeki değişimin bitki su tüketimine etkisi. Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 81 s.
- Angstrom, A., 1924. Solar and terrestrial radiation. **Quarterly Journal of Royal Meteorological Society**, **50**, 121-126.
- Atalay, İ., 2010. Uygulamalı klimatoloji. Dokuz Eylül Üniversitesi, Meta Basın Matbaacılık Hizmetleri, Bornova- İzmir, 600 s.
- Bakırcı, M., 2021. http://auzefkitap.istanbul.edu.tr/kitap/cografya_lisans_ao/turkiye_tarim_cografyasi.pdf (Erişim Tarihi: 13/12/2020)
- Bhagat, A.D., Patil, M.A., 2014. Probability distribution function of weekly reference crop evapotranspiration for Solapur district of Maharashtra. **International Journal of Agricultural Engineering**, **7** (2), 399-401.
- Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.) Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Dadaser Celik, F., Cengiz, E., Guzel, O., 2015. Trends in reference evapotranspiration in Turkey: 1975-2006. **International Journal of Climatology**, **36**, 1733-1743.
- Doorenbos, J., Pruitt W.O., 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No.24, Rome.

- Fernandes, R.D.M., Jose, J.V., Wolff, W., Oliveira Costa, J., Folegatti, M.V., 2019. Probability Distribution Functions Applied in The Water Requirement Estimates in Irrigation Projects. *Rev. Caatinga*, **Mossoro**, **32** (1), 189-199.
- Gana, N.N., Akpootu, D.O., 2013. Angstrom Type Empirical Correlation for Estimation Global Solar Radiation in North-Eastern Nigeris. **The International Journal of Engineering and Science**, **2** (11), 58-78.
- Hargreaves, G.H., Merkley, G.P., 2004. Irrigation Fundamentals. Water Resources Publications, LLC. Utah, USA, 182 pp.
- James, L.G., 1988. Principles of Farm Irrigation System Design. John Wiley & Sons Inc., Singapore, 512 pp.
- Jeong, H., Bhattarai, R., Hwang, S., Son, J-G., Jang, T., 2018. How Angstrom-Prescott Coefficients Alter the Estimation of Agricultural Water Demand in South Korea. **Water**, **10**: 1-16.
- Jerszurki, D., Souza, J.L.M., Evangelista, A.W.P., 2015. Probabilidade e variação temporal da evapotranspiração de referencia na regioao de Telemaco Borba-PR. *Rev.Bras.Biom.*, **Sao Paulo**, **33** (2), 118-129.
- Kaymaz, E., 2020. Akdeniz Bölgesi Referans Evapotranspirasyon Hesaplamalarında Güneş Radyasyon Verileri ve Referans Evapotranspirasyon Frekans Analizi. Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 52 s.
- Kırtan, E., 2020. Karadeniz Bölgesi Referans Evapotranspirasyon Hesaplamalarında Güneş Radyasyon Verileri ve Referans Evapotranspirasyon Frekans Analizi. Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 84 s.
- Li, H., Ma, W., Lian, Y., Wang, X., Zhao, L., 2011. Global solar radiation estimation with sunshine duration in Tibet, China. **Renewable Energy**, **36**, 3141-3145.
- Liu, X., Mei, X., Li, Y., Zhang, Y., Wang, Q., Jensen, J.R., Porter, J.R., 2009. Calibration of the Angström-Prescott coefficients (a, b) under different time scales and their impacts in estimating global solar radiation in the Yellow River basin. **Agricultural and Forest Meteorology**, **149**, 697-710.

- Polu, P.S., 2021. Doğu Anadolu Bölgesi Referans Evapotranspirasyon Hesaplamalarında Güneş Radyasyon Verileri ve Referans Evapotranspirasyon Frekans Analizi. Erciyes Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 105 s.
- Prescott, J.A., 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. **Trans Roy Soc Sci, Aust**, **64**, 25-114.
- Rahimi, I., Bakhtiari, B., Qaderi, K., Aghababaie, M., 2012. Calibration of Angstrom equation for estimating Solar Radiation using Meta-Heuristic Harmony Search Algorithm (Case study: Mashhad-East of Iran). **Energy Procedia**, **18**, 644-651.
- Sen Z., 2001. Angstrom equation parameter estimation by unrestricted method. **Solar Energy**, **71**: 95-107.
- Şen, Z., Tan, E., 2001. Simple models of solar radiation data for Northwestern part of Turkey. **Energy Conversion and Management**, **42**, 587-598.
- Silva, F.C., Fietz, C.R., Folegatti, M.V., Carvalho Pereira, F.A., 1998. Distribution and Frequency of Reference Evapotranspiration of Cruz Das Almas, BA. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, **2** (3), 284-286.
- Şimşek, E., 2020. İç Anadolu Bölgesi Referans Evapotranspirasyon Frekans Analizi ve Evapotranspirasyon Hesaplamalarında Solar Radyasyon Parametreleri. Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 74 s.
- Şimşek, H., Yürekli, K., Ünlükara, A., 2014. Konya-Merkez’de Referans Bitki Su Tüketimindeki Değişimin Belirlenmesi. *Uluslararası Katılımlı Kuraklık ve Çölleşme Sempozyumu*, 16-18 Eylül, Konya, 90-95.
- Suehrcke, H., 2000. On the relationship between duration of sunshine and solar radiation on the earth’s surface: angstrom’s equation revisited. **Solar Energy**, **68**, 417-425.
- Tadros, M.T.Y., 2000. Uses of sunshine duration to estimate the global solar radiation over eight meteorological stations in Egypt. **Renewable Energy**, **21**, 231-246.

- TAGEM-DSİ, 2017. Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Ankara.
- TAGEM-DSİ, 2017. Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Ankara.
- Ünlükara, A., 2014. Referans evapotranspirasyon hesaplamalarında solar radyasyon yoğunluğu ve nispi güneşlenme verilerinin kullanımı. *12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu*, 21-23 Mayıs Tekirdağ, 84-89.
- Ünlükara, A., 2014. Referans evapotranspirasyon hesaplamalarında solar radyasyon yoğunluğu ve nispi güneşlenme verilerinin kullanımı. *12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu*, 21-23 Mayıs Tekirdağ, 84-89.
- Ünlükara, A., Yürekli K., 2014. Orta Anadolu Bölgesinde referans bitki su tüketimi trend analizi. *Uluslararası katılımlı kuraklık ve çölleşme sempozyumu*, 16-18 Eylül, Konya, 96-102.
- Yin, Y., Wu, S., Zheng, D., Yang, Q., 2008. Radiation calibration of FAO56 Penman-Monteith model to estimate reference crop evaptranspiration in China. ***Agricultural Water Management*, 95, 77-84.**
- Yürekli, K., Ünlükara, A., 2013a. Küresel Isınmanın Kuraklığa Etkilerinin Değerlendirilmesinde SPI ve SPEI İndislerinin Karşılaştırılması. *3. Uluslararası Bursa Su Kongresi*. 22-24 Mart. Bursa-Türkiye. 225-233.
- Yürekli, K., Ünlükara, A., 2013b. Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ile Tokat İlinin Kuraklık Analizi. *III. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi*. 22- 24 Ekim Tokat. 511-515.
- Yürekli, K., Ünlükara, A., Öztürk, Ö., Cebeci, İ., Sarısamur, F., 2013. Küresel Isınmanın Kuraklığa Etkilerinin Belirlenmesinde RDI (Reconnaissance) İndisi Kullanımı. *III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi (TİKDEK)*, 3-5 Haziran, İstanbul.

Yürekli, K., Ünlükara, A., Safı, S., 2010. Kayseri İlinde Mevsimsel Bitki Su Tüketimindeki (ET_o) Değişimin Saptanması. **Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi**, 3 (2), 21-25.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı ve Soyadı: Ayşenur BARAN

Doğum Tarihi:

Doğum Yeri:

Cep Telefonu:

E-postası:

EĞİTİM

Derece	Bölüm	Üniversite	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Biyosistem Müh.	Erciyes	2018
Yüksek Lisans	Biyosistem Müh.	Erciyes	2021

YABANCI DİL

İngilizce