

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

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

**Hazırlayan
Pembe SABAN POLU**

**Danışman
Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA**

Yüksek Lisans Tezi

**Ocak 2021
KAYSERİ**

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

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

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Pembe SABAN POLU**

**Danışman
Prof. Ali ÜNLÜKARA**

**Ocak 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.

Pembe SABAN POLU

İmza:

YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI

“Doğu Anadolu 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.

Tezi Hazırlayan

Pembe SABAN POLU

Danışman

Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA

Biyosistem Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Zeki GÖKALP

Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA danışmanlığında **Pembe SABAN POLU** tarafından hazırlanan “**Doğu Anadolu 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.

... /... /2021

JÜRİ:

Danışman : Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA

Üye :Prof. Dr. Yasemin KUŞLU

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 danışmanlığımı yürütmekle kalmayıp her sorunumu sabırla dinleyen, bilgilerini benimle paylaşan, beni destekleyen ve cesaretlendiren, öğrenci olmaktan gurur duyduğum danışman hocam; Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında benden desteğini esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili eşim Selami POLU' ya teşekkürü borç bilirim.

Tez yazımı sırasında benden bilgilerini ve tecrübelerini esirgemeyen kıymetli arkadaşım İhsan GÖLGÜL'e en içten teşekkür ederim.

Yaşantım boyunca varlıklarını hep yanımda hissettiğim, benden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen anneme, babama ve kız kardeşime göstermiş oldukları anlayıştan ötürü teşekkür ederim.

Pembe SABAN POLU

Kayseri, Ocak 2021

DOĞU ANADOLU BÖLGESİ REFERANS EVAPOTRANSPIRASYON HESAPLAMALARINDA GÜNEŞ RADYASYON VERİLERİ VE REFERANS EVAPOTRANSPIRASYON FREKANS ANALİZİ

Pembe SABAN POLU

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

ÖZET

Bitki su tüketimi hesaplamalarında atmosferin bitki üzerindeki buharlaştırma talebi, referans evapotranspirasyonla (ET_0) ifade edilmektedir. Bitki ve bitki gelişme dönemine göre değişen bitki katsayıları (K_c) ile ET_0 'ın çarpımıyla bitki su tüketimi tahmin edilmektedir. FAO Sulama ve Drenaj Yayınları No.56 tarafından önerilen ET_0 tahmin yöntemi standart bir yöntem olarak kabul görmüştür. Bu standart yöntemde güneş radyasyonu hesaplamalarında bölgeye özgü Angstrom katsayılarının kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu çalışmada birincil amaç Doğu Anadolu Bölgesi için yerel Angstrom katsayılarının saptanmasıdır. Bu katsayılar ile Bölge illerinde meteorolojik kayıt süreleri boyunca aylık ET_0 değerlerinin belirlenmesi ve çeşitli olasılıklarda (%95, %75, %50, %25, %10 ve %5) frekans analizlerinin yapılması ise çalışmanın ikinci amacını oluşturmuştur. Bunun için gerekli uzun yıllar iklim verileri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Ardahan dışında Erzurum, Erzincan, Muş, Malatya, Van, Tunceli, Bitlis, Bingöl, Kars, Hakkâri, Iğdır, Ağrı ve Elâzığ illerinin Angstrom katsayıları 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.

Tüm illerde Ortalama yıllık toplam ET_0 en düşük Ağrı'da 738.3 mm ile en yüksek Elâzığ'da 1092.5 mm arasında değişim göstermiştir. Ardahan, Erzurum, Erzincan, Muş, Malatya, Van, Tunceli, Bitlis, Bingöl, Hakkâri, Iğdır ve Kars illerimde sırasıyla yıllık toplam ET_0 değerleri 784.1, 968.6, 992.9, 909.9, 1050.6, 1067.3, 1030.3, 908.8, 1066.5, 946.8, 875.3 ve 793.9 bulunmuştur. Bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak tahmin

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

Anahtar Kelimeler: Referans evapotranspirasyon, Doğu Anadolu Bölgesi, Angstrom katsayıları, frekans analizi

USING SOLAR RADIATION DATA IN CALCULATION OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION AND EASTERN ANATOLIA REGION REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION FREQUENCY ANALYSIS

Pembe SABAN POLU

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, January-2021

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA

ABSTRACT

In plant water consumption calculations, the evaporation demand of the atmosphere on the plant is expressed by reference evapotranspiration (ET_o). Plant water consumption is estimated by multiplying ET_o with the plant coefficients that vary according to crop variety and plant growth periods. The method advised by FAO Irrigation and Drainage Paper No.56 was widely accepted as a standard reference evapotranspiration method. It is recommended primarily by FAO 56 to use local Angstrom coefficients in solar radiation calculations for any region. The first purpose of this study was to determine the local Angstrom coefficients for the Eastern Anatolia Region. The second purpose of this study was calculation monthly reference evapotranspiration values using local Angstrom coefficients along the meteorological recording period for the provinces in this region and performing frequency analysis at some probabilities (95%, 75%, 50%, 25%, 10% and 5%). The long-term climate data required for this study have been obtained from the General Directorate of State Meteorology Affairs. Angstrom coefficients have been determined for Erzurum, Erzincan, Muş, Malatya, Van, Tunceli, Bitlis, Bingöl, Kars, Hakkâri, Iğdır, Ağrı and Elâzığ provinces located in the Eastern Anatolia Region, except Ardahan. Using advised Angstrom coefficients by FAO 56 monthly ET_{o1} series were obtained. Another series (ET_{o2} and ET_{o3}) were estimated by using measured solar radiation (R_s) and regional Angstrom coefficients, respectively. According to ET_{o2} series, ET_{o3} series gave lower mean absolute errors than ET_{o1} .

As minimum and maximum values, mean total annual ET_o varied between 738.3 and 1092.5 mm for Ağrı and Elâzığ, respectively. Respective mean total annual evapotranspiration values were found as 784.1, 968.6, 992.9, 909.9, 1050.6, 1067.3, 1030.3, 908.8, 1066.5, 946.8, 875.3 and 793.9 for Ardahan, Erzurum, Erzincan, Muş, Malatya, Van, Tunceli, Bitlis, Bingöl, Hakkâri, Iğdır, Ağrı. It was concluded that better

estimation of crop evapotranspiration would be made by ET_o values estimated using regional Angstrom coefficients.

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

İÇİNDEKİLER

DOĞU ANADOLU BÖLGESİ REFERANS EVAPOTRANSPIRASYON HESAPLAMALARINDA GÜNEŞ RADYASYON VERİLERİ VE REFERANS EVAPOTRANSPIRASYON FREKANS ANALİZİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	iii
ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER	x
KISALTMALAR	xii
TABLOLAR LİSTESİ	xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xviii
RESİMLER LİSTESİ	xxi
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

LİTERATÜR ÖZETİ

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal	13
2.2. Yöntem	14

3. BÖLÜM

BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Bulgular ve Tartışma	19
3.1.1. Ardahan	19
3.1.2. Erzincan	21
3.1.3. Erzurum	26
3.1.4. Kars	33
3.1.5. Ağrı	38
3.1.6. Iğdır	44
3.1.7. Tunceli	50
3.1.8. Van	56

3.1.9. Malatya	62
3.1.10. Elâzığ	68
3.1.11. Bingöl.....	74
3.1.12. Muş	80
3.1.13. Bitlis.....	86
3.1.14.Hakkâri	92

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler	98
KAYNAKLAR	101
ÖZGEÇMİŞ.....	105

KISALTMALAR

<u>SEMBOL</u>	<u>ANLAMI</u>
%	: Yüzde
$(e_s - e_a)$	: Doygun buhar basıncı açığı
$^{\circ}\text{C}$	: Derece celcius
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	: Metre
M	: İlgili aya ilişkin ET_o veri sayısı
n	: Güneşlenme süresi
N	: Gündüz 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	: Yüzey direnci

R_s	: Solar radyasyon
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	: Solar deklinasyon açısı
Δ	: Buhar basıncı eğrisinin eğimi
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 2.1.	Doğu Anadolu Bölgesi ETo hesaplamaları yapılan meteoroloji istasyonu numaraları, istasyon adı, ilçe, enlem ve boylam dereceleri ve rakımları	13
Tablo 3.1.	Aylara göre Ardahan ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları.....	199
Tablo 3.2.	Ardahan ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri.....	20
Tablo 3.3.	Erzincan ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (Rs/Ra) ilişkisi korelasyon katsayıları	22
Tablo 3.4.	Aylara göre Erzincan ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları.....	25
Tablo 3.5.	Erzincan ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri.....	25
Tablo 3.6.	Erzurum ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (Rs/Ra) ilişkisi korelasyon katsayıları	28
Tablo 3.7.	Aylara göre Erzurum ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları.....	31
Tablo 3.8.	Erzurum ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri.....	31
Tablo 3.9.	Kars ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (Rs/Ra) ilişkisi korelasyon katsayıları.....	34
Tablo 3.10.	Aylara göre Kars ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları.....	37
Tablo 3.11.	Kars ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri	37

Tablo 3.12. Ağrı ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları.....	40
Tablo 3.13. Aylara göre Ağrı ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları.....	43
Tablo 3.14. Ağrı ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri	43
Tablo 3.15. Iğdır ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları.....	46
Tablo 3.16. Aylara göre Iğdır ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları.....	48
Tablo 3.17. Iğdır ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri	49
Tablo 3.18. Tunceli ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları	51
Tablo 3.19. Aylara göre Tunceli ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları.....	54
Tablo 3.20. Tunceli ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri	54
Tablo 3.21. Van ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları.....	57
Tablo 3.22. Aylara göre Van ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları.....	60
Tablo 3.23. Van ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri	60
Tablo 3.24. Malatya ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları	63

Tablo 3.25. Aylara göre Malatya ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları.....	66
Tablo 3.26. Malatya ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri	66
Tablo 3.27. Elâzığ ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları.....	69
Tablo 3.28. Aylara göre Elâzığ ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları.....	72
Tablo 3.29. Elâzığ ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri	72
Tablo 3.30. Bingöl ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları	75
Tablo 3.31. Aylara göre Bingöl ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları.....	78
Tablo 3.32. Bingöl ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri	78
Tablo 3.33. Muş ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları.....	81
Tablo 3.34. Aylara göre Muş ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları.....	84
Tablo 3.35. Muş ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri	84
Tablo 3.36. Bitlis ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları.....	87
Tablo 3.37. Aylara göre Bitlis ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları.....	90

Tablo 3.38. Bitlis ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri	90
Tablo 3.39. Hakkâri ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları	93
Tablo 3.40. Aylara göre Hakkâri ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları.....	96
Tablo 3.41. Hakkâri ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri	96

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Ardahan ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri.....	20
Şekil 3.2. Erzincan ili 1968-2010 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları	21
Şekil 3.3. Erzincan ili 1968-2010 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları	23
Şekil 3.4. Erzincan ilinde %95, %50 ve %5 ihtimalleri için aylık referans evapotranspirasyon değerleri.....	26
Şekil 3.5. Erzurum ili 1968-2008 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları	27
Şekil 3.6. Erzurum ili 1968-2008 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları (devamı).....	29
Şekil 3.7. Erzurum ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri.....	32
Şekil 3.8. Kars ili 1968-2017 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları	33
Şekil 3.9. Kars ili 1968-2017 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları	35
Şekil 3.10. Kars ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri.....	38
Şekil 3.11. Ağrı ili 1985-2010 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları	39
Şekil 3.12. Ağrı ili 1985-2010 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları	41
Şekil 3.13. Ağrı ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri.....	44
Şekil 3.14. Iğdır ili 1968-2010 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları	45
Şekil 3.15. Iğdır ili 1968-2010 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları	47

Şekil 3.16. Iğdır ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon sonuçları	49
Şekil 3.17. Tunceli ili 1988-2010 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları	50
Şekil 3.18. Tunceli ili 1988-2010 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları	52
Şekil 3.19. Tunceli ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon sonuçları	55
Şekil 3.20. Van ili 1969-2013 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları	56
Şekil 3.21. Van ili 1969-2013 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları	58
Şekil 3.22. Van ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri.....	61
Şekil 3.23. Malatya ili 1968-2013 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları	62
Şekil 3.24. Malatya ili 1968-2013 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları	64
Şekil 3.25. Malatya ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri.....	67
Şekil 3.26. Elâzığ ili 1968-2007 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları	68
Şekil 3.27. Elâzığ ili 1968-2007 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları	70
Şekil 3.28. Elâzığ ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri.....	73
Şekil 3.29. Bingöl ili 1987-2010 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları	74
Şekil 3.30. Bingöl ili 1987-2010 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları	76
Şekil 3.31. Bingöl ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri.....	79

Şekil 3.32. Muş ili 1986-2010 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları	80
Şekil 3.33. Muş ili 1986-2010 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları	82
Şekil 3.34. Muş ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri.....	85
Şekil 3.35. Bitlis ili 1984-2009 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları	86
Şekil 3.36. Bitlis ili 1984-2009 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları	88
Şekil 3.37. Bitlis ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri.....	91
Şekil 3.38. Hakkâri ili 1968-2013 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları	92
Şekil 3.39. Hakkâri ili 1968-2013 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları	94
Şekil 3.40. Hakkâri ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri.....	97

RESİMLER LİSTESİ

Resim 1.1. Su buharı akışı için yüzey (hacim) direnci ve aerodinamik dirençlerin basitleştirilmiş gösterimi	6
Resim 1.2. Teorik referans bitkinin özellikleri	8

GİRİŞ

Tarımsal sulamalarda, sulama sistemlerinin projelendirilmesinde, sulamaların programlanmasında ve hidrolojik hesaplamalarda bitki su tüketimi verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bitkilerin yaşamları boyunca kullanmış oldukları suyun büyük bir bölümü %98-99 bitki su tüketiminde kullanılmaktadır. Bitki yüzeyinden terleme ve toprak yüzeyinden buharlaşmayla topraktan atmosfere suyun geçiş sürecine evapotranspirasyon denilmektedir. Bitki evapotranspirasyonu (ET_c) üzerinde iklimin etkisi yanında bitki gelişme dönemi, hastalıklar, zararlılar, su kısıntısı, toprak tuzluluğu ve toprak verimliliği gibi bir takım çevresel faktörler de etkili olmaktadır. Bitki evapotranspirasyonu doğrudan ölçülebilir ya da bitki ve iklim verilerinden yararlanılarak tahmin edilebilir.

Bitki su tüketiminin ikinci bileşeni bitki katsayısıdır. Bitki katsayısı gelişme dönemlerine göre değişim gösterir. Aynı bitki için bitki katsayıları farklı iklim koşullarında değişim göstermesine karşın bu değişim referans evapotranspirasyona göre daha düşük bir oranda gerçekleşir. Dolayısıyla bitki su tüketiminin doğru şekilde tahmin edilmesinde referans evapotranspirasyonun doğru tahmini son derece önemlidir.

Bitki su tüketimi için gerekli enerji çok büyük oranda güneşten sağlanmaktadır. Duyulur ısı ve toprak ısı akısı da evapotranspirasyon enerjisine katkı sağlayabilir ancak bunların katkısı son derece düşüktür. Referans evapotranspirasyon eşitliğinde net solar radyasyon ve toprak ısı akısı dikkate alınmaktadır. Net solar radyasyon referans çim yüzey tarafından absorbe edilen radyasyondan bu yüzey tarafından kaybedilen kızılötesi radyasyon farkı alınarak hesaplanır. Çim yüzeyin güneş radyasyonunu yansıtma oranı veya albedo oranı nedeniyle üzerine gelen kısa dalga radyasyon veya global radyasyon olarak bilinen güneş radyasyonunun tamamı absorbe edilmez. Global radyasyon ya meteoroloji istasyonlarında ölçülür veya dolaylı olarak güneşlenme süresinden Angstrom tipi eşitliklerle tahmin edilir. Türkiye’de uzun yıllar boyunca güneşlenme süreleri kaydedilmesine karşın global radyasyon şiddeti belirli tarihler arasında

kaydedilmiştir. Meteoroloji kayıt istasyonlarının bulunduğu bölgelerin Angstrom katsayılarının bilinmesi durumunda söz konusu güneşlenme süreleri kullanılarak uzun bir kayıt dönemi için global radyasyon ve buna bağlı olarak referans evapotranspirasyon tahmin edilebilir.

FAO 56 Penman-Monteith yöntemi, referans evapotranspirasyon hesaplamaları için standart bir yöntem olarak kabul edilmiştir. Bu yöntemde bölgesel Angstrom katsayıları (a_s ve b_s) kullanılarak kısa dalga radyasyon veya global radyasyon Angstrom eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bölgesel Angstrom katsayılarının bulunmaması durumunda ise FAO 56 tarafından önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları ile referans evapotranspirasyon tahminleri yapılmaktadır.

Doğu Bölgesi 164000 km² alanı ile Türkiye yüzölçümünün %21'ini kaplamaktadır. Bölgede 1 218 981 ha ekonomik olarak sulanabilir tarım alanı bulunmaktadır. Bölgede 6061837 kişi yaşamakta ve Türkiye'nin önemli tarım ve hayvancılık bölgesidir.

Bu çalışmada Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan illerin Angstrom katsayılarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bölgede hem FAO 56 tarafından önerilen Angstrom katsayılarıyla bulunan referans evapotranspirasyon değerleri ile Bölgesel Angstrom katsayılarıyla bulunan referans evapotranspirasyon değerlerinin karşılaştırılması ise bu çalışmanın bir diğer amacını oluşturmuştur. Bu amaçlar doğrultusunda Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan güneşlenme süreleri ve elde edilen Angstrom katsayılarıyla Doğu Anadolu Bölgesi için referans evapotranspirasyon değerleri tahmin edilmiştir. Bölge meteoroloji istasyonlarında güneşlenme süreleri kayıtlar boyunca aylık ET_0 serileri için frekans analizi yapılmış ve Doğu Anadolu Bölgesi illerinde %95, %50, %25, %10 ve %5 ihtimalle görülebilecek olası ET_0 değerleri saptanmıştır.

1. BÖLÜM

LİTERATÜR ÖZETİ

Toprak suyu, bitkilerden traspirasyonla ve topraktan evaporasyonla atmosfere gönderilmektedir. Bu her iki aşamanın evaporasyonu içermesi ve birbirlerinden kolay şekilde ayırt edilememelerinden dolayı birleştirilmiş ve her iki aşamaya birlikte evapotranspirasyon (ET) diye adlandırılmıştır. Bitki su tüketimi ise doğrudan bitki ve toprak yüzeyinden buharlaşmayı içine aldığı gibi bitki gelişiminde, bitki turgorunun sağlanmasında, besin maddelerinin gönderilmesinde, fotosentezde ve benzeri bitki faaliyetlerinde kullanılan suyu da bünyesine almaktadır. Bitki su tüketimi ve bitki evapotranspirasyonu arasındaki farkın genellikle %1'den daha küçük olmasından dolayı bitki su tüketimi ve bitki evapotranspirasyonu normal olarak birbirinden farklı olmadığı bundan dolayı eşit olduğu kabul edilmektedir (James, 1988).

Bitki evapotranspirasyonunun hesaplanması için çeşitli yaklaşımlar kullanılmıştır. Bitki evapotranspirasyonunu belirlemek için genellikle aşağıdaki eşitlik önerilmektedir.

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

Söz konusu bu eşitlikte ET_o referans evapotranspirasyonu ve K_c bitki katsayısını ifade etmektedir. Potansiyel evapotranspirasyon, elverişli suyun en yüksek oranda toprak ve bitki yüzeylerinden uzaklaştırılmasını ifade eder. Potansiyel evapotranspirasyon, buharlaşma için elverişli enerji miktarına bağlıdır ve günden güne değişir. Referans bitki evapotranspirasyonu ise özellikle çim veya yonca gibi özel bitkiler için potansiyel evapotranspirasyonu göstermektedir (James, 1988). Referans evapotranspirasyon bitki su tüketimi üzerinde atmosferik faktörlerin bileşke etkisini temsil etmekte ve atmosferin buharlaştırma talebi olarak ta nitelendirilmektedir.

Atmosferin buharlaştırma isteğinin doğru şekilde tahmin edilmesi, bitki su tüketiminin de daha doğru tahminini sağlamış olur. Çünkü bitki su tüketiminde referans

evapotranspirasyon (ET_o), iklimin bitki üzerindeki etkisini yansıtır. Tarımsal yönetim uygulamaları, bitki gelişme dönemleri, bitki tipi ve bitki yönetiminden bağımsız olarak atmosferin buharlaştırma isteğinin ölçülmesi için ET_o kavramı ortaya atılmıştır.

Referans evapotranspirasyonda dikkate alınan referans yüzeyinde su sıkıntısı olmadığından dolayı toprak faktörlerinin ET_o 'ı etkilemediği kabul edilir. Bitki evapotranspirasyonunun özel bir yüzeyden oluşan ET ile ilişkilendirilmesi çok önemli avantajlar sağlar. Böylece her bir bitki çeşidi ve gelişme dönemleri için ayrıca ET tanımlanması zorunluluğunu ortadan kaldırır.

Aynı referans yüzeyden oluşan ET'yi temsil etmelerinden dolayı farklı bölge veya farklı dönemler için hesaplanan ET_o değerlerinin karşılaştırmalarında kullanılabilir (Allen vd., 1998; Allen vd., 2005).

Bir referans olarak çeşitli çim ve yonca türlerinin evapotranspirasyonu, diğer bitkilerin su ihtiyaçlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Genel olarak çim için ET_o ve yonca için ET_r kullanımı tercih edilmektedir. ET_o her zaman ET_r 'den daha düşüktür. ET_r yarı kurak bölgelerde ve orta derecede rüzgârlı şartlarda ET_o 'ın 1.2 katı kadar varsayımda bulunmaktadır. Rüzgârlı ve nemli olmayan alanlarda tespit edilen oran 1.05 kadar düşük ve kurak rüzgârlı şartlarda 1.4 kadar yüksek olabilir. Bazı çimler daha düşük su tüketirken diğerleri daha yüksek su kullanabilmektedirler. Bu sebeple özel bir referans ET_o eşitliğini kalibre etmek için hangi tip çim kullanıldığı bilinmelidir (Hargreaves ve Merkle, 2004).

Referans ET, seçilen bitki için lizimetre değerleri kullanılarak kalibre edilen bir eşitliğe göre belirlenir. Bu eşitlik yalnızca bazı çevresel değişkenlerle deneysel olarak geliştirilebilir veya fizik, ısı transferi ve diğer çalışma alanlarına ait değerlerden çıkarılabilir. Bazı çok karmaşık referans ET eşitlikleri birden fazla değişken içerebilir ve çok hassas çıktılar verebilir. Buna karşın böyle karmaşık bir referans ET eşitliğinde uygulamada hassas klimatolojik veriler ve gerekli farklı veriler kullanılmalıdır.

Genellikle referans ET eşitlikleri sıcaklığa dayalı yöntemler, radyasyona dayalı yöntemler ve kombine yöntemler şeklinde sınıflandırılabilir. Araştırmacılar tarafından çok fazla sayıda referans ET eşitlikleri tavsiye edilmiş ve hesaplanmıştır. Fakat bunlardan yalnızca bazıları genel kullanımda kalmıştır.

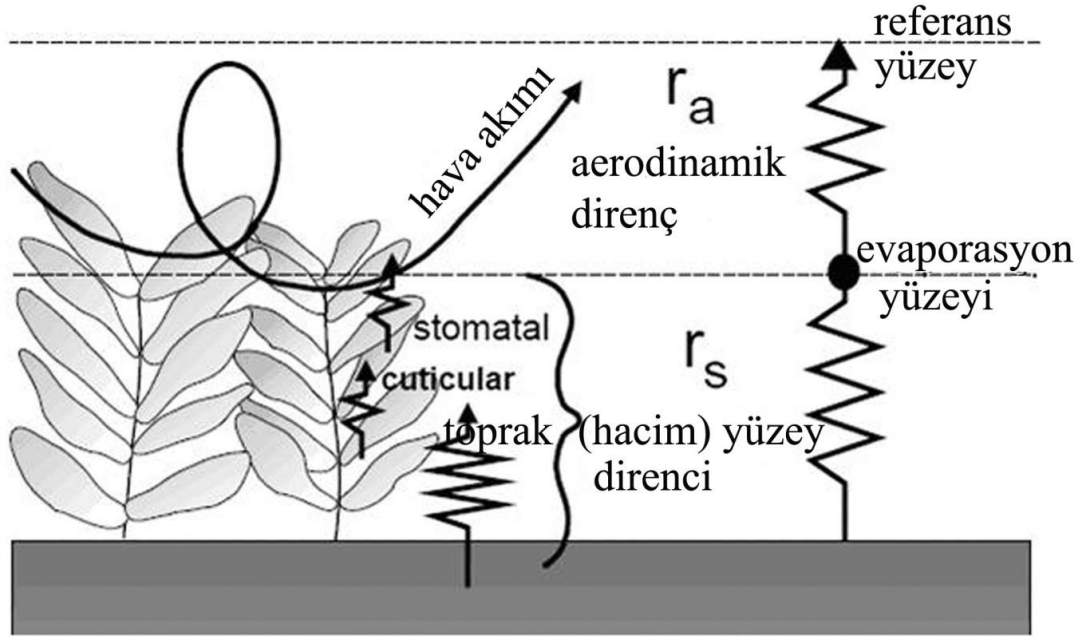
Sulama ve Drenaj Dairesi, Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği (ASCE) ve Uluslararası Sulama ve Drenaj Komisyonu (ICID) tarafından yapılan son görüşmelerde Penman-Monteith Eşitliği kullanımı önerilmiştir (Hargreaves ve Merkley, 2004).

Su eksikliğinin olmadığı referans bir yüzeyden olan evapotranspirasyon hızı, referans bitki evapotranspirasyonu veya referans evapotranspirasyon diye isimlendirilir ve ET_0 ile ifade edilir. Referans yüzey, özel karakterleri olan bir hipotetik çim referans bitkisidir. Tanımlarındaki tartışmalar nedeniyle potansiyel ET gibi diğer alternatiflerin gösterimleri ısrarla tavsiye edilmemektedir (Allen vd., 1998).

ET_0 tahminlerinde kap buharlaşması yöntemi de uygulanabilir. Buharlaşma kapları kendi pratik değerlerini kanıtlamışlardır. Kapta oluşan su kayıpları izlenerek ve kap buharlaşmasını ET_0 ile ilişkilendiren deneysel katsayılar kullanarak ET_0 'ı belirlemek amacıyla kap buharlaşması yöntemi başarılı şekilde kullanılmıştır. Bununla beraber, kap buharlaşması yönteminde özel yönetim ve ön uyarılara dikkat edilmelidir.

Penman 1948 yılında kütle transfer yöntemiyle enerji dengesi yöntemini tespit etmiş ve standart klimatolojik kayıtlardan elde edilen güneşlenme, sıcaklık, nem ve rüzgâr hızı değerlerini kullanarak açık su yüzeyinde oluşan buharlaşmayı tespit edebilen bir formül geliştirmiştir. Birleştirilmiş metot diye adlandırılan bu yöntem sonraları birden fazla araştırmacı tarafından geliştirilmiş ve direnç faktörleri eklenerek bitki ekili alanlarda kullanıma uygun hale getirilmiştir.

Aerodinamik direnç ve yüzey direnci faktörleri arasında ki fark ayrımı yapılmıştır (Resim 1.1). Yüzey direnci değerleri genelde bir tek parametre (hacim direnci) içerisinde dikkate alınmıştır. Hacimsel direnç aerodinamik dirençle bağlantılı olarak işlemektedir. Yüzey direnci (r_s) toprak yüzeyinden, stoma açıklıklarından, toplam yaprak alanından ve su buharı akış direncini tanımlamaktadır. Aerodinamik direnç (r_a) vejetasyon üstü dirençleri tanımlamaktayken vejetasyon yüzeyi üzeri hava akış sürtünmesini içine almaktadır. İki direnç faktörüyle vejetasyon tabakasındaki değişim sürecinin tamamen tanımlanması aşırı derecede karmaşıktır. Bu karmaşıklığa karşın, özellikle üniform çim referans yüzeyi için ölçülen ve hesaplanan evapotranspirasyon değerleri arasında korelasyonlar elde edilmiştir (Allen vd., 1998).



Resim 1.1. Su buharı akışı için yüzey (hacim) direnci ve aerodinamik dirençlerin basitleştirilmiş 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, R_n net radyasyonu, G toprak ısı akısını, $(e_s - e_a)$ havanın buhar basıncı açığını, ρ_a sabit basınçta ortalama hava yoğunluğu, c_p havanın özgül ısısını, Δ doymun buhar basıncı eğrisinin eğimini, γ psikrometrik sabiti, r_s ve r_a yüzey (hacim) ve aerodinamik dirençleri göstermektedir. Yukarıda formüle edildiği şekliyle Penman-Monteith yaklaşımı, enerji değişimini ve üniform vejetasyondan oluşan gizli ısı akısını (evapotranspirasyon) idare eden tüm parametreleri içine almaktadır. Bu parametrelerin çoğu tespit edilebilir veya hava verilerinden kolayca sonuçlanabilirler. Yüzey ve aerodinamik dirençler bitkiye has olduğu için bu eşitlik, sıradan bir bitki evapotranspirasyonunun doğrudan tespit edilmesinde kullanılabilir.

Bitkilerin ve her bir bitkinin gelişme dönemleri için kendilerine özgü evapotranspirasyon parametrelerini tanımlama ihtiyacından kurtulabilmek için, bir referans yüzey kavramı ortaya çıkmıştır. Bitki katsayıları (K_c) vasıtasıyla farklı bitkilerin evapotranspirasyon oranları, referans yüzeyde oluşan evapotranspirasyonla (ET_0) ilişkilendirilmiştir (Allen vd., 1998).

Eski çalışmalarda açık su yüzeyi, referans yüzey olarak ileri sürülmüştür. Buna karşılık, aerodinamik, vejetasyon kontrolü ve radyasyon karakteristiklerindeki farklılıklar, serbest su yüzeyi buharlaşmasıyla ET'in ilişkilendirilmesinde önemli bir dönüm noktasını oluşturmuştur. ET_o 'ın özel bir bitkiyle ilişkilendirilmesi, bu bitkinin ekili olduğu yüzeylerden meydana gelen ET içerisindeki biyolojik ve fiziksel süreçleri ilişkilendirme üstünlüğüne sahip olmuştur (Allen vd., 1998).

Aerodinamik ve yüzey dirençleri bakımından çim ve yonca bitkileri, iyi çalışılmış bitkilerdir ve genelde referans yüzey olarak kabul edilmişlerdir. Buhar difüzyonu direncinin güçlü şekilde bitki boyuna, yer örtüsüne, yaprak alan indeksi (LAI) ve toprak nem şartlarına bağlı olması nedeniyle referans bitki karakteristikleri iyi tanımlanmalı ve sabit hale getirilmelidir. Bitki boyunda meydana gelen gözlemlerdeki değişimler, yüzey pürüzlülüğü ve yaprak alan indeksinde (LAI) değişimlerle belirlenecektir. Bunun sonucunda, değerlendirilen kanopi ve aerodinamik dirençler gelecekte belirgin değişimler sergileyecektir. Bununla birlikte, su stresi ve bitkinin yeri örtme derecesi, bahsedilen dirençler üzerinde ve albedo üzerinde de bir farka sahiptir (Allen vd., 1998).

Referans evapotranspirasyonu yalnızca güneş enerjisi, sıcaklık, hava nemi ve rüzgâr hızı gibi parametreler etkiler. ET_o , özel bir yer ve yılın özel bir zamanında atmosferin buharlaştırma gücünü gösterir. Dolayısıyla bitki katsayısı ve toprak faktörlerinin etkisi, ET_o hesaplamalarında dikkate alınmaz. ET_o hesaplamak için birçok farklı yöntem olmasına karşılık FAO, Penman-Monteith yöntemi, ET_o tahmini için tek yöntem olarak önerilmektedir. Çim bitkisi üzerinde meydana gelen ET_o değerine oldukça yakın sonuçlar vermesi, fiziki olarak taban oluşturması, aerodinamik ve fizyolojik değişkenlerin net şekilde ilişkilendirilmesi için en uygun metottur. ET_o tahminlerinde çok sayıda iklim parametreleri kullanılmasına rağmen eksik iklim parametreleri için de ek metotlar geliştirilmiştir (Allen vd., 1998).

Referans yüzey bitki boyu 0.12 m, sabit yüzey direnci 70 s m^{-1} ve albedosu 0.23 olarak kabul edilen bir hipotetik çim referans yüzeyidir. Referans yüzey, boy uzunluğu eşit olan, iyi sulanan, aktif olarak büyüyüp gelişebilen ve ekildiği yerin tamamını örtebilen, yer kaplama oranı yüksek olan yeşil çim bitkisini temsil etmektedir. Sabit 70 s m^{-1} 'lik yüzey direnci ise, yaklaşık olarak 7 günlük sulama frekansı sonucu oluşan orta derecede kuru toprak yüzeyini vurgulamaktadır (Allen vd., 1998; Allen vd., 2005).

Yer yüzeyinde alınan solar radyasyon, hidrolojik, tarımsal, klimatolojik ve meteorolojik modellerde en çok rastlanılan parametrelerden birisidir. Farklı iklimlerde bu parametreyi tespit etmek için çok farklı deneysel eşitlikler tavsiye edilmiştir (Rahimi vd., 2012). Modifiye Angstrom tipi eşitliklerin kullanılmasıyla, bir yatay yüzey üzerine gelen solar radyasyon kolay bir şekilde tahmin edilebilir. Küresel solar irradyans ve güneşlenme süresi arasındaki ilk korelasyon, basit bir doğrusal modelle Angstrom (1924) tarafından tespit edilmiştir. Sonra Prescott tarafından bu eşitliğin daha geçerli olan şekli geliştirilmiştir (Suehrcke, 2000; Sen, 2001; Prescott, 1940).

FAO 56 Penman-Monteith yönteminde yer yüzeyinden 2 metre yüksekteki rüzgar hızı, en düşük ve en yüksek bağıl nem, yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon, en düşük ve en yüksek hava sıcaklıkları, rakım, psikometrik sabit, enlem ve boylam dereceleri, hava basıncı ET_o hesaplamalarında veri olarak kullanılmaktadır. ET_o eşitliğinde kullanılan kısa dalga solar radyasyonunun (R_s) hesaplanmasında Angstrom eşitliğinden yararlanılmıştır (Eşitlik 2).

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

Bu eşitlikte dikkate alınan bölge için orijinal Angstrom katsayıları (a_s ve b_s) kullanımı tavsiye edilmiştir. Hesaplama yapılacak bölge için a_s ve b_s katsayılarının mevcut olmaması durumlarda $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ alınarak hesaplamaya devam edilmektedir.

Küresel solar radyasyonun (R_s) tahmininde güneşlenme süresine dayalı Angstrom-Prescott eşitliği en doğru ve yaygın kullanılan eşitliklerden birisidir. Bu eşitliğin uygulanmasında anahtar etken, bölgesel kalibrasyon katsayılarıdır. Çin’de Sarı Nehir havzasında 31 yerde uzun dönemli verilerle günlük, aylık ortalamalar ve yıllık ortalamalar tespit edilip kullanılmıştır. Günlük verilere bakılarak belirlenen Angstrom-Prescott katsayılarına göre aylık ortalama günlük veriler dikkate alınarak belirlenen Angstrom-Prescott katsayılarından a_s daha yüksek ve b_s daha düşük bulunmuş ve daha büyük varyasyon gösterdiği belirlenmiştir (Liu vd., 2009).

Kuzeydoğu Nijerya’da güneşlenme süresine dayalı 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 ortaya koymuşlardır (Gana and Akpootu, 2013).

Çin Tibet'te yatay bir yüzeye gelen küresel güneş radyasyonunun hesaplanmasında yalnızca güneşlenme süresini kullanan 8 model test edilmiştir. Uygulamada basit doğrusal Angstrom-Prescott modeli makul derecede doğru değerler göstermiştir (Li vd., 2011).

Mashhad Sinoptik istasyonunun 1993-2007 arası günlük solar radyasyon ve güneşlenme süreleri değerleriyle Angstrom eşitliğindeki a_s katsayısı 0.2657 ve b_s katsayısı 0.4743 şeklinde tespit edilmiştir. Bunun için Meta-Heuristic Harmony Search algoritması kullanılmıştır (Rahimi vd., 2012).

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

Kaymaz (2020), Kırtan (2019) ve Şimşek (2019) ve tarafından Karadeniz, İç Anadolu ve Akdeniz Bölgeleri için aylar bazında illere göre Angstrom katsayıları belirlenmiş ve ET_o 'daki değişim frekans analizi yapılarak ortaya koyulmuştur.

Yin vd. (2008) tarafından Çin'de 81 meteoroloji istasyonunun solar radyasyon ölçümleri ve Tibet Platosundaki uzun dalga radyasyon ölçümleri kullanılarak FAO 56 Penman-Monteith radyasyon tahmin modeli (Angstrom modeli) kalibrasyonu yapılmıştır. Doğrusal regresyonla $a_s = 0.20$ ve $b_s = 0.79$ olarak belirlenen yıllık katsayılarla Angstrom eşitliği en az hatayı vermiştir. Kalibrasyondan sonra hesaplanan net radyasyonun, ET_o 'ın doğru şekilde tahmin edilmesinde esas teşkil ettiğinin vurgulandığı bu çalışmada bölgesel kalibrasyon yapılmaksızın FAO 56 Penman-Monteith modelinin Çin'de net radyasyonu yaklaşık %27 aşırı tahmin ettiği gösterilmiştir.

Jeong vd. (2018) tarafından Güney Kore’de 16 bölgede FAO-56 Penman-Monteith metodunda önerilen ($a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$) Angstrom-Prescott katsayıları ile bölgesel olarak belirlenen Angstrom-Prescott katsayıları kullanılarak sulama suyu ihtiyacı ve projelendirme su ihtiyacı tahminleri yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Önerilen Angstrom-Prescott katsayıları 16 bölge için belirlenen katsayılara göre ET_o ’ı %3.8-14 arasında değişen oranlarda 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.

Fernandes vd. (2019) tarafından İspanya’nın Andalusia Bölgesinde 56 meteoroloji istasyonundan 2001-2015 dönemi için ET_o verileri hesaplanmıştır. Günlük, 5 günlük, 10 günlük ve 30 günlük ET_o toplamaları 9 farklı olası dağılımına uyarlanmıştır. Toplanmış ET_o verilerinin büyük çoğunluğu en iyi Gumbel II ve Weibull dağılımına uyum göstermiştir. Söz konusu bölge için araştırmacılar Gumbel II dağılımını tavsiye etmişlerdir. Silva vd. (1998) tarafından Brezilya Cruz das Almas şehri için ET_o dağılımının normal, log-normal ve beta dağılımına uyum sağlamıştır. Yine Brezilya Telemaco Borba şehrinde %5 ihtimalde Kolmogorov-Smirnov testi uygulanmış ve 10 günlük ET_o değerlerinin %65’nin normal dağılıma uyum sağladığı gösterilmiştir (Jerszurki vd., 2015).

Konya’da dört farklı meteoroloji istasyonunun on yıllık verileri kullanılarak Radyasyon Metodu, ASCE Penman-Monteith Metodu, Blaney Cridlle Metodu, Hargreaves-Samani Metodu ve FAO 56 Penman-Monteith Metoduna göre referans ET ve çeşitli bitkiler için bitki su tüketimleri belirlenmiştir Amarkai (2019). Yapılan bu çalışmada FAO 56 Penman-Monteith Metodu ile diğer metotların her biri arasında istatistiksel olarak farklar olduğu ortaya koyulmuştur.

Referans evapotranspirasyondan hidrolojik modellerde kullanılmak için yararlanılmaktadır. ET_o değerlerinden yararlanılarak kuraklık indisi saptanmakta ve çeşitli illerin kuraklıkları değerlendirilmektedir (Yürekli vd. 2010; Yürekli ve Ünlükara, 2013a; Yürekli vd. 2013). Konya merkez ilçe referans bitki su tüketimi değişiminin belirlenmesi için bir çalışma uygulanmıştır Şimşek vd. (2014).

Kruskal Wallis, varyanslar analizinde Levene Testi ve değişim noktalarının saptanmasında Pettitt testi aylık ve mevsimsel ET_o serilerindeki değişimin analizinde

uygulanmıştır. Yapılan tüm testlere göre aylık ve mevsimsel ET_0 serilerinde varyasyon olduğu tespit edilmiştir. Ankara, Konya, Kayseri, Karaman ve Afyon illerinde küresel ısınmanın etkisini araştırmak amacıyla iklim parametrelerinin önemli bir kısmını içine alan ET_0 değerlerine trend analizi kullanmışlardır Ünlükara ve Yürekli (2014). ET_0 serilerinin istatistik analizinde Mann-Kendal ve Theil-Sen Eğim testleri kullanılmıştır. Dikkate alınan istasyonlarda birçok sezonda %5 önem düzeyinde ve bazı sezonlarda ise %1 önem düzeyinde trend olduğu sergilenmiştir. Dadaser-Celik vd. (2015) tarafından Türkiye’de 77 istasyonda 32 yıllık bir dönem için Penman-Monteith yöntemiyle saptadıkları ET_0 verilerine trend analizi uygulamışlardır. Bu çalışmada Türkiye’deki istasyonların büyük çoğunluğunda (%88) yıllık toplam ET_0 ’ın 750-1200 mm olduğunu ve güneyden kuzeye doğru azaldığını göstermişlerdir. İstasyonların %58’inde yıllık toplam ET_0 değerlerinde yukarı doğru bir trendin olduğunu ve bu yukarı doğru trendin istasyonların %32’sinde 0.05 düzeyinde önemli olduğunu göstermişlerdir.

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan 14 ilin meteoroloji istasyonundan alınan meteorolojik veriler bu çalışmanın materyalini oluşturmaktadır. Çalışmada kullanılan istasyon numarası, istasyon adı, ilçe, enlem ve boylam dereceleri ve rakımları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Doğu Anadolu Bölgesi ETo hesaplamaları yapılan meteoroloji istasyonu numaraları, istasyon adı, ilçe, enlem ve boylam dereceleri ve rakımları

İstasyon No	İstasyon Adı	İlçe	Enlem (°)	Boylam (°)	Rakım (m)
17046	Ardahan	Merkez	41.1061	42.7055	1827
17094	Erzincan	Merkez	39.7523	39.4868	1216
17095	Erzurum	Yakutiye	39.9058	41.2544	1860
17097	Kars	Merkez	40.6042	43.1073	1777
17099	Ağrı	Merkez	39.7253	43.0522	1646
17100	İğdır	Merkez	39.9227	44.0523	856
17165	Tunceli	Merkez	39.1058	39.5408	981
17172	Van	İpekyolu	38.4693	43.3460	1675
17199	Malatya	Yeşilyurt	38.3367	38.2173	950
17201	Elâzığ	Merkez	38.6443	39.2561	989
17203	Bingöl	Merkez	38.8847	40.5007	1139
17204	Muş	Merkez	38.7509	41.5023	1322
17208	Bitlis	Merkez	38.4750	42.1625	1785
17285	Hakkâri	Merkez	37.5745	43.7388	1727

Türkiye’nin doğu kısmında yer alan Doğu Anadolu Bölgesi 164000 kilometre alana sahiptir. Türkiye’nin yüz ölçümünün toplam % 21 ‘lik alanını kapsayan bölgenin yükseltisi 2000-2200 metre arasındadır. Hakkâri Yöre’sinin güneyi dışında, Doğu Anadolu’nun büyük bir bölümünde İç Anadolu’ya göre karasallığın ve kısmen yağışın arttığı, kış aylarında düşen yağışın azaldığı, kışların daha soğuk geçtiği iklim hakimdir. Bu iklimin en önemli özelliği, özellikle yüksek kesimlerde artan karasallık koşullarına

bağlı olarak yaz ile kış arasındaki sıcaklık farkının artması, kışların daha sürmesi ve soğuk geçmesidir.

Türkiye’ de yıllık ortalama sıcaklık, sıcaklığın aylara göre dağılışı, sıcaklık rejimi bölge, bölüm ve yörelere göre önemli değişme gösterir.

Meteoroloji istasyonlarının olduğu yerlerdeki verilere göre Türkiye’de yıllık ortalama sıcaklık 3.7 °C (Ardahan ve Sarıkamış) ile 19.9 °C (Cizre) arasında değişmektedir. Doğu Anadolu Bölgesi’nde ocak ayı ortalama sıcaklık -4.3 °C iken temmuz ayı ortalama sıcaklık 24 °C’dir. Yıllık sıcaklık ortalaması 10.2 °C’dir. Doğu Anadolu’nun yüksek platolarında 3-4 °C’ye kadar düşer. Yıllar arasında sıcaklık değişmesinde görülen farklar, karasallığın yüksek olduğu Doğu Anadolu’da en fazladır.

Türkiye’de yıllık ortalama yağış 250-2300 mm arasında değişir. Bölgeye yıllık 579 mm yağış düşer. Yağış çoğunlukla ilkbahar ve kış mevsimlerinde sık görülür. Bölgelere göre yıllık yağış değişmelerinde önemli farklar görülür. İç, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde özellikle minimum yağışların yıllara göre 200 mm’ye kadar düşmesi, kuraklığı aşırı derecede artırır. Özellikle Iğdır depresyonunda 100 mm’ye kadar düşen yağış, adeta bir çöl ortamı yaratır (Atalay, 2010).

2.2. Yöntem

Atmosferin buharlaşma talebini 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 °C⁻¹),

R_n : Referans yüzeye gelen net güneş radyasyonu (MJ m⁻² gün⁻¹),

G : Toprak ısı akısı (MJ m⁻² gün⁻¹),

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

T : 2 m yükseklikte ortalama günlük hava sıcaklık ($^\circ\text{C}$),

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

e_s : Doygun buhar basıncı (kPa),

e_a : Güncel buhar basıncını (kPa),

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

Bu eşitlik ile ölçüm yapılan tüm yıllar için aylık olarak ET_o değerleri hesaplanmıştır.

Atmosfer dış yüzeyine gelen radyasyonu (R_a):

$$R_a = \frac{24 \cdot (60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (2)$$

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (3)$$

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right) \quad (4)$$

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

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (6)$$

Solar radyasyon (R_s),

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N}\right) R_a \quad (7)$$

Açık gökyüzü radyasyonu (R_{so}),

$$R_{so} = (a_s + b_s) R_a \quad (8)$$

Net kısa dalga radyasyon (R_{ns}),

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad (9)$$

Net uzun dalga radyasyon (R_{nl})

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{mak,K}^4 + T_{min,K}^4}{2} \right] (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right) \quad (10)$$

Net radyasyon (Rn)

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (11)$$

Eşitliklerde;

Ra: Ekstraterrestrial radyasyon (MJ/m2.dak)

Gsc: Solar sabit (0.082 MJ/m2.dak),

dr: Ters yerküre- güneş arası nispi uzaklık,

ωs: Gün batımı saat açısı (rad),

φ: Enlem derecesi (rad),

δ: Solar deklinasyon açısı (rad),

n: Güneşlenme süresi (saat),

N: Gündüz süresi (saat)

as ve bs: Angstrom katsayıları,

α : albedo (0.23),

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

Tmak ve Tmin Kelvin cinsinden sırasıyla aylık ortalama maksimum ve minimum sıcaklıkları göstermektedir.

Eşitlik 'i aşağıdaki şekilde düzenlenirse:

$$\frac{R_s}{R_a} = a_s + b_s \frac{n}{N} \quad (12)$$

Eşitlik 'in sağ tarafında yer alan n/N nispi güneşlenme süresi apsis değerlerine karşılık sol tarafında yer alan Rs/Ra ordinat değerleri işaretlenmiş ve regresyonla her bir ilin her

bir ayı için doğrusal eşitlikler elde edilmiştir (Ünlükara, 2014). Bu grafiklerde Doğu Anadolu Bölgesi merkez illere ait güneş radyasyonu yoğunluğu (R_s) ve güneşlenme süresi verileri (n) Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilerek kullanılmıştır. 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.

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_o 'ın verilen bir değerine eşit veya bu değeri aşma ihtimalidir. Aylık ET_o değerleri küçükten büyüğe doğru sıralandıktan sonra her bir değer için meydana gelme ihtimali aşağıdaki eşitlik ile bulunmuştur:

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

Eşitlikte; P referans evapotranspirasyonun dikkate alınan değerine eşit veya bu değeri aşma ihtimali (%), R küçükten büyüğe doğru yapılan sıralamada dikkate alınan ET_o değerinin sırası ve M ise toplam ET_o değerleri sayısını ifade etmektedir. Eşitlik (15) ile P değerlerinin Weibull dönüşümü yapıldıktan sonra ET_o 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_o verileri ayıklanmıştır (Ünlükara, 2014). ET_o dağılımının uç değerleri yani %5-95 ihtimalle görülen değerlerden daha büyük ve daha küçük ET_o değerleri göz ardı edilerek dikkate alınan bölgedeki ET_o 'ın dalgalanması gösterilmek istenmiştir. ET_o değerlerinin uyduğu dağılıma göre değişmekle birlikte %50 ihtimalle görülen ET_o değeri yaklaşık olarak ortalamayı temsil etmektedir. %75-25 ihtimalle görülen ET_o değerleri ise projelendirme maksatlarıyla yaygın olarak kullanılan ihtimal değerleri olduğu için dikkate alınmıştır. Tüm bu nedenlerle elde edilen frekans eşitliğinden %95, %75, %50, %25, %10 ve %5 tekrarlanma olasılıklarına karşılık gelen ET_o değerleri bulunmuştur.

3. BÖLÜM

BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Bulgular ve Tartışma

Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan 14 ilden 13'ünün Angstrom katsayıları eşitlik 12 kullanılarak hesaplanmıştır. Ardahan ilinde yetersiz güneş radyasyonu verileri nedeniyle Angstrom katsayıları hesaplanamamıştır. Diğer illerde hem yıllık Angstrom katsayıları hem de aylık Angstrom katsayıları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar il bazında aşağıda verilmiştir.

3.1.1. Ardahan

Ardahan ilinde yetersiz güneş radyasyonu verileri nedeniyle Angstrom katsayıları hesaplanamamıştır. Yerel Angstrom katsayıları bilinmediği takdirde önerilen $a_s=0.25$ ve $b_s=0.50$ katsayıları kullanılarak ET_0 hesaplanmış ve elde edilen sonuçlarla her ay için frekans analizi sonuçları Tablo 3.1 'de ve frekans analizi eşitlikleri Tablo 3.2'de sunulmuştur. %95, %50 ve %5 ihtimalle aylık referans evapotranspirasyon değişimi Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Aylara göre Ardahan ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları

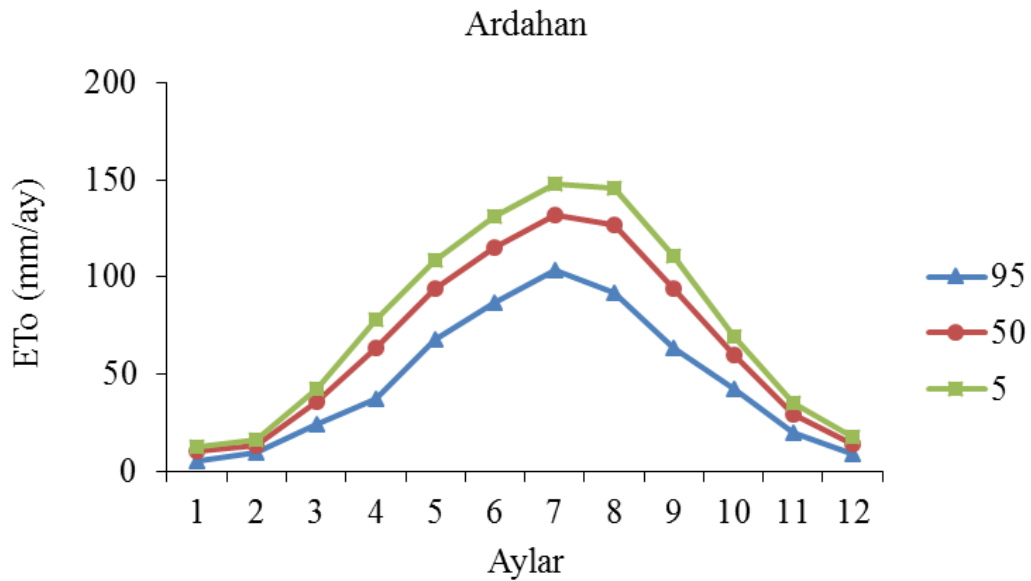
P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
95	0.17	0.33	0.78	1.23	2.20	2.88	3.33	2.97	2.13	1.36	0.67	0.28	1.53
75	0.27	0.43	1.03	1.82	2.75	3.52	3.94	3.71	2.79	1.74	0.88	0.40	1.94
50	0.33	0.48	1.16	2.11	3.03	3.84	4.26	4.08	3.12	1.93	0.98	0.46	2.15
25	0.37	0.52	1.26	2.35	3.25	4.09	4.51	4.38	3.39	2.08	1.07	0.50	2.31
10	0.40	0.55	1.33	2.52	3.41	4.28	4.69	4.60	3.58	2.19	1.13	0.54	2.43
5	0.41	0.57	1.37	2.61	3.49	4.37	4.78	4.71	3.68	2.24	1.16	0.56	2.50

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

Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_o = 0.1342 \times W + 0.3956$	7	$ET_o = 0.8222 \times W + 4.6867$
2	$ET_o = 0.1349 \times W + 0.554$	8	$ET_o = 0.9822 \times W + 4.5956$
3	$ET_o = 0.3294 \times W + 1.3287$	9	$ET_o = 0.8819 \times W + 3.5831$
4	$ET_o = 0.7807 \times W + 2.5218$	10	$ET_o = 0.4984 \times W + 2.1854$
5	$ET_o = 0.7354 \times W + 3.4102$	11	$ET_o = 0.2817 \times W + 1.1317$
6	$ET_o = 0.8443 \times W + 4.2783$	12	$ET_o = 0.1596 \times W + 0.5401$

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

Ardahan'da frekans analiz sonuçlarına göre %50 olasılıkla ocak ayı ET_o değeri 0.33 mm/gün olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık %95 ve %5 olasılıkla ET_o 0.17 ve 0.41 mm/gün arasında değişmektedir. En yüksek atmosferik buharlaştırma talebi (ET_o) temmuz ayında ortalama 4.26 mm/gün olmasına karşın %95 ve %5 olasılıklarda 3.33 ve 4.78 mm/gün değerleri arasında değişim göstermiştir. Ardahan'da toplam yıllık atmosferik buharlaştırma talebi ET_o 784.1 mm olarak hesaplanmıştır. TAGEM-DSİ (2017) tarafından Ardahan ili için yıllık toplam ET_o 775 mm verilmiştir. Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre 759.2 mm olarak tahmin edilmiştir. TAGEM-DSİ (2017) rehberine göre yıllık toplam ET_o 9.1 mm (%1.2) daha yüksek bulunmuştur. Cropwat 8.0 programına göre 24.9 mm (%3.3) daha yüksek bulunmuştur.

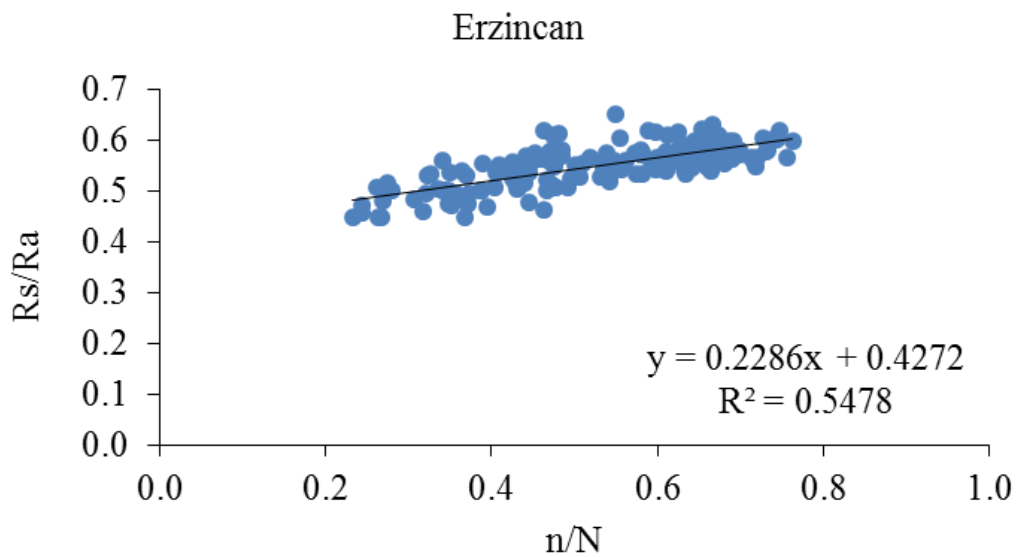


Şekil 3.1. Ardahan ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

Ardahan'da 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda %50 olasılıkla sırasıyla 10.1, 13.5, 35.9, 63.4, 93.8, 115.1, 132, 126.6, 93.7, 59.7, 29.5 ve 14.2 mm referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir. Ardahan'da en yüksek aylık toplam ET_0 temmuz ayında ortalama 132 mm olurken %95 ve %5 olasılıkla 103.2 ile 148.2 mm arasında değişmiştir. En düşük ocak ayında ortalama 10.1 mm olup %95 ve %5 olasılıkla 5.4 ile 12.7 mm arasında değişim göstermiştir (Şekil 3.1).

3.1.2. Erzincan

Erzincan'da 1928 yılından itibaren meteorolojik gözlemler yapılmaktadır. Fakat referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında kullanılacak tam veri seti, 1968-2010 yılları arasında yer almaktadır. Erzincan'da nispi güneşlenme (n/N) oranlarına karşılık yer yüzeyine ulaşan nispi güneş enerjisi oranları (R_s/R_a) 1968-2010 dönemi için Şekil 3.2'de ve aynı ilişkinin aylık bazda değişimleri ise Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Şekil 3.2'de regresyon doğrusunun Y eksenini kesim noktası $a_s = 0.4272$ ve doğrunun eğimi $b_s = 0.2286$ olarak saptanmıştır. Yıllık bazda n/N ve R_s/R_a arasında kuvvetli pozitif bir ilişki ($R = 0.74$) bulunmaktadır (Cohen, 1988). Erzincan iline açık bir günde ekstraterrestrial radyasyonun (R_a) 0.6558'i ulaşmaktadır. Kapalı günlerde R_a 'ın 0.4272'si ve bulutlu günlerde nispi güneşlenmeye bağlı olarak 0.2286'sı kadar daha buna ilaveten yer yüzeyine gelmektedir.

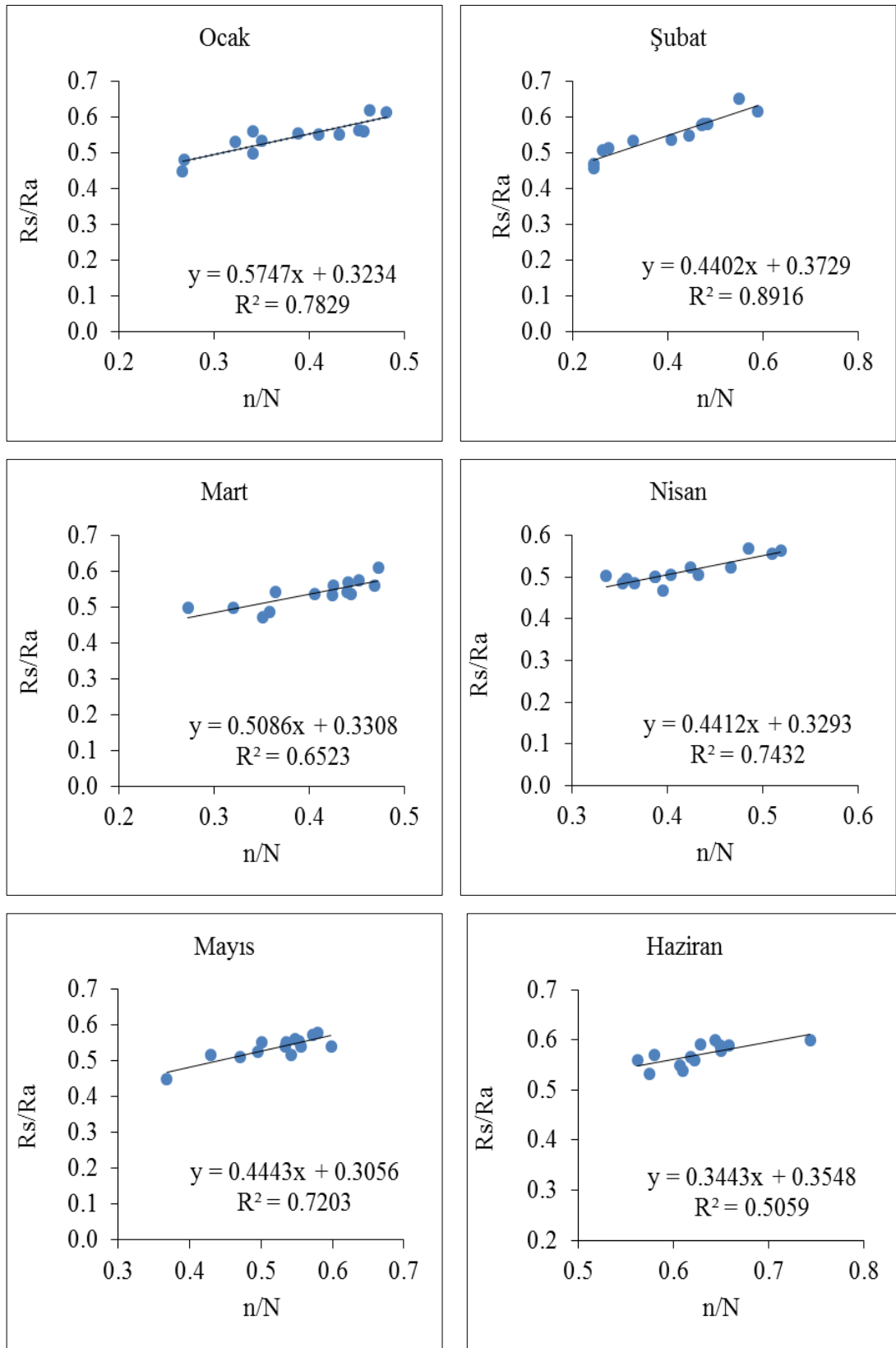


Şekil 3.2. Erzincan ili 1968-2010 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları

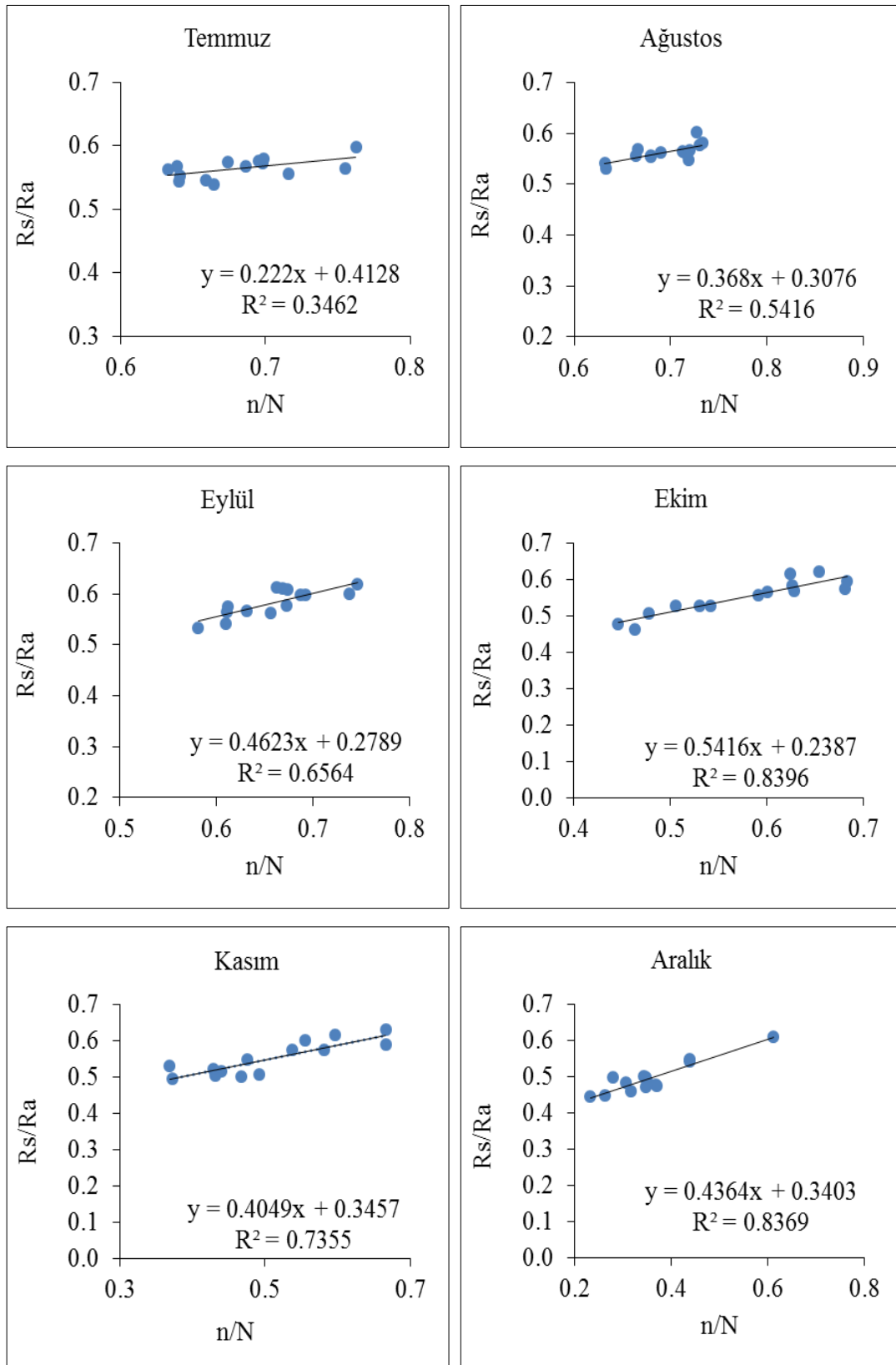
Tablo 3.1’de Erzincan ili için aylık bazda Angstrom katsayıları ve (n/N) ile (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları verilmiştir. Aylara göre n/N ve R_s/R_a ilişkisi tüm aylar için kuvvetli bulunmuştur. Erzincan’da açık bir günde R_a ’nın en fazla oranda ocak (0.8981) ve mart (0.8394) aylarında yer yüzeyine geldiği buna karşın en az oranda haziran (0.6991) ve temmuz (0.6348) aylarında geldiği görülmüştür. FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediği durumda önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı olan 0.75 oranına en yakın oranlar mayıs ayında (0.7499) ve en uzak ise temmuz ayında (0.6348) olduğu belirlenmiştir. Erzincan’da kapalı günlerde ise R_a ’nın en fazla oranda şubatta ($a_s = 0.3729$) ve temmuzda ($a_s = 0.4128$) ve en az oranda ise ekimde ($a_s = 0.2387$) ve eylülde ($a_s = 0.2789$) geldiği saptanmıştır. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına ekim ayında oldukça yakın sonuç saptanmıştır. (Şekil 3.3) Erzincan’da nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde en fazla oranda ocak ($b_s = 0.5747$) ve ekim ($b_s = 0.5416$) aylarında ve en az ise haziran ($b_s = 0.3443$) ve temmuz aylarında ($b_s = 0.222$) doğrudan solar radyasyon gelmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına mart ayında oldukça yakın katsayı saptanmıştır.

Tablo 3.3. Erzincan 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
as	0.3234	0.3729	0.3308	0.3293	0.3056	0.3548
bs	0.5747	0.4402	0.5086	0.4412	0.4443	0.3443
as+bs	0.8981	0.8131	0.8394	0.7705	0.7499	0.6991
R	0.88	0.94	0.81	0.86	0.85	0.71
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
as	0.4128	0.3076	0.2789	0.2387	0.3457	0.3403
bs	0.222	0.368	0.4623	0.5416	0.4049	0.4364
as+bs	0.6348	0.6756	0.7412	0.7803	0.7506	0.7767
R	0.59	0.74	0.81	0.91	0.86	0.91



Şekil 3.3. Erzurum ili 1968-2010 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları



Şekil 3.3. Erzurum ili 1968-2010 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları (devamı)

FAO 56 tarafından önerilen Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{01} ile Erzincan'da kaydedilmiş güneş radyasyonu (R_s) verileri kullanılarak hesaplanan ET_{02} verileri arası farkın ortalama mutlak hatası 1.16 mm olarak belirlenmesine karşılık bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{03} ile ET_{02} arası farkın ortalama mutlak hatası 0.14 mm saptanmıştır. Dolayısıyla ET_{03} verileri ET_{02} verilerine daha yakın sonuçlar vermiştir.

Erzincan'da 1968-2010 arasında evapotranspirasyon hesaplamaları için 43 yıllık tam veri seti yer almaktadır. Şekil 3.3'te gösterilen bölgesel Angstrom katsayıları ve 43 yıllık tam veri seti dikkate alınarak Erzincan için aylık referans evapotranspirasyon hesaplanmış, frekans analizi sonuçları Tablo 3.4'te ve frekans eşitlikleri Tablo 3.5'te gösterilmiştir. Tablo 3.5'te görülen W değerleri sırasıyla %95, %75, %50, %10 ve %5 ihtimalleri için Weibull dönüşüm değerleri olup ilgili tablo altında verilmiştir. %95, %50 ve %5 ihtimalle aylık toplam referans evapotranspirasyon değerleri Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

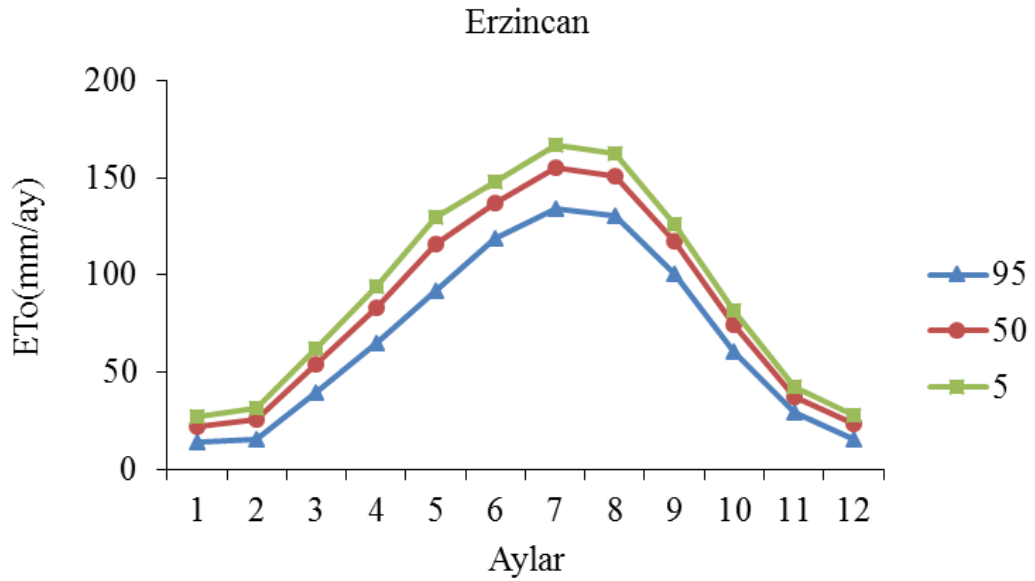
Tablo 3.4. Aylara göre Erzincan ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
95	0.44	0.54	1.26	2.16	2.96	3.97	4.32	4.22	3.36	1.96	0.97	0.49	2.22
75	0.62	0.79	1.58	2.57	3.48	4.37	4.77	4.65	3.72	2.25	1.16	0.66	2.55
50	0.71	0.91	1.74	2.78	3.74	4.58	5.00	4.87	3.91	2.39	1.25	0.75	2.72
25	0.78	1.01	1.87	2.95	3.95	4.74	5.19	5.05	4.05	2.50	1.33	0.83	2.85
10	0.83	1.08	1.96	3.07	4.10	4.86	5.32	5.18	4.16	2.58	1.38	0.88	2.95
5	0.86	1.11	2.01	3.13	4.18	4.92	5.39	5.24	4.21	2.63	1.41	0.90	3.00

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

Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_0 = 0.236 \times W + 0.8349$	7	$ET_0 = 0.6058 \times W + 5.319$
2	$ET_0 = 0.3224 \times W + 1.0772$	8	$ET_0 = 0.5813 \times W + 5.1771$
3	$ET_0 = 0.4212 \times W + 1.9588$	9	$ET_0 = 0.4815 \times W + 4.1596$
4	$ET_0 = 0.55 \times W + 3.0676$	10	$ET_0 = 0.3756 \times W + 2.5846$
5	$ET_0 = 0.6874 \times W + 4.0993$	11	$ET_0 = 0.2506 \times W + 1.3836$
6	$ET_0 = 0.5418 \times W + 4.8607$	12	$ET_0 = 0.2362 \times W + 0.8777$

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



Şekil 3.4. Erzincan ilinde %95, %50 ve %5 ihtimalleri için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

Erzincan'da 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda %50 olasılıkta ET_o toplamı 22.1, 25.5, 53.9, 83.4, 116.0, 137.3, 155.1, 151.1, 117.3, 69.6, 34.7 ve 23.4 mm bulunmuştur. En yüksek aylık toplam ET_o temmuz ayında ortalama 155.1 mm olup %95 ve %5 olasılıkla 133.9 ile 167 mm arasında değişim göstermiştir. En düşük aylık toplam ET_o ise 22.1 mm ile ocak ayında görülmekte olup %95 ve %5 olasılıkla 13.8 ile 26.7 mm arasında değişmiştir (Şekil 3.4).

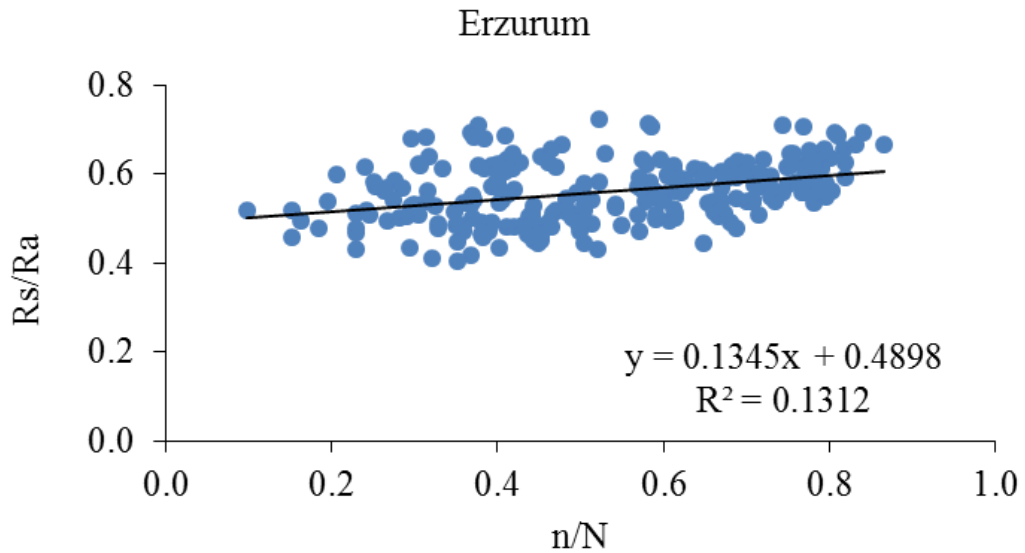
Erzincan'da ortalama olarak yıllık toplamda atmosferin buharlaştırma talebi (ET_o) 992.9 mm bulunmuştur. Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre ise 1040.2 mm olarak tahmin edilmiştir. TAGEM ve DSİ (2017) tarafından Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Su Tüketim Rehberi adlı çalışmada Erzincan için yıllık toplam ET_o 985 mm verilmiştir. Bundan dolayı TAGEM ve DSİ (2017) verilerine göre Erzincan için yıllık ET_o 7.9 mm (%0.8) daha yüksek ve Cropwat 8.0'a göre 47.3 mm (%4.5) daha düşük bulunmuştur.

3.1.3. Erzurum

Erzurum'da 1960 yılından itibaren meteorolojik gözlemler yapılmaktadır. Fakat referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında kullanılacak tam veri seti, 1968-2010 yılları arasında yer almaktadır. Erzurum'da nispi güneşlenme (n/N) oranlarına karşılık

yer yüzeyine ulaşan nispi güneş enerjisi oranları (R_s/R_a) 1968-2008 dönemi için Şekil 3.5'te ve aynı ilişkinin aylık bazda değişimleri ise Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Şekil 3.5'te regresyon doğrusunun Y eksenini kesim noktası $a_s = 0.4898$ ve doğrunun eğimi $b_s = 0.1345$ olarak saptanmıştır.

Yıllık bazda n/N ve R_s/R_a arasında orta pozitif bir ilişki ($R = 0.36$) bulunmaktadır (Cohen, 1988). Erzurum iline açık bir günde ekstraterrestrial radyasyonun (R_a , atmosfer dış yüzeyine gelen radyasyon) 0.6243'ü ulaşmaktadır. Kapalı günlerde R_a 'nın 0.4898'i ve bulutlu günlerde ise nispi güneşlenmeye bağlı olarak 0.1345'i kadar daha ek olarak yer yüzeyine gelmektedir.



Şekil 3.5. Erzurum ili 1968-2008 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları

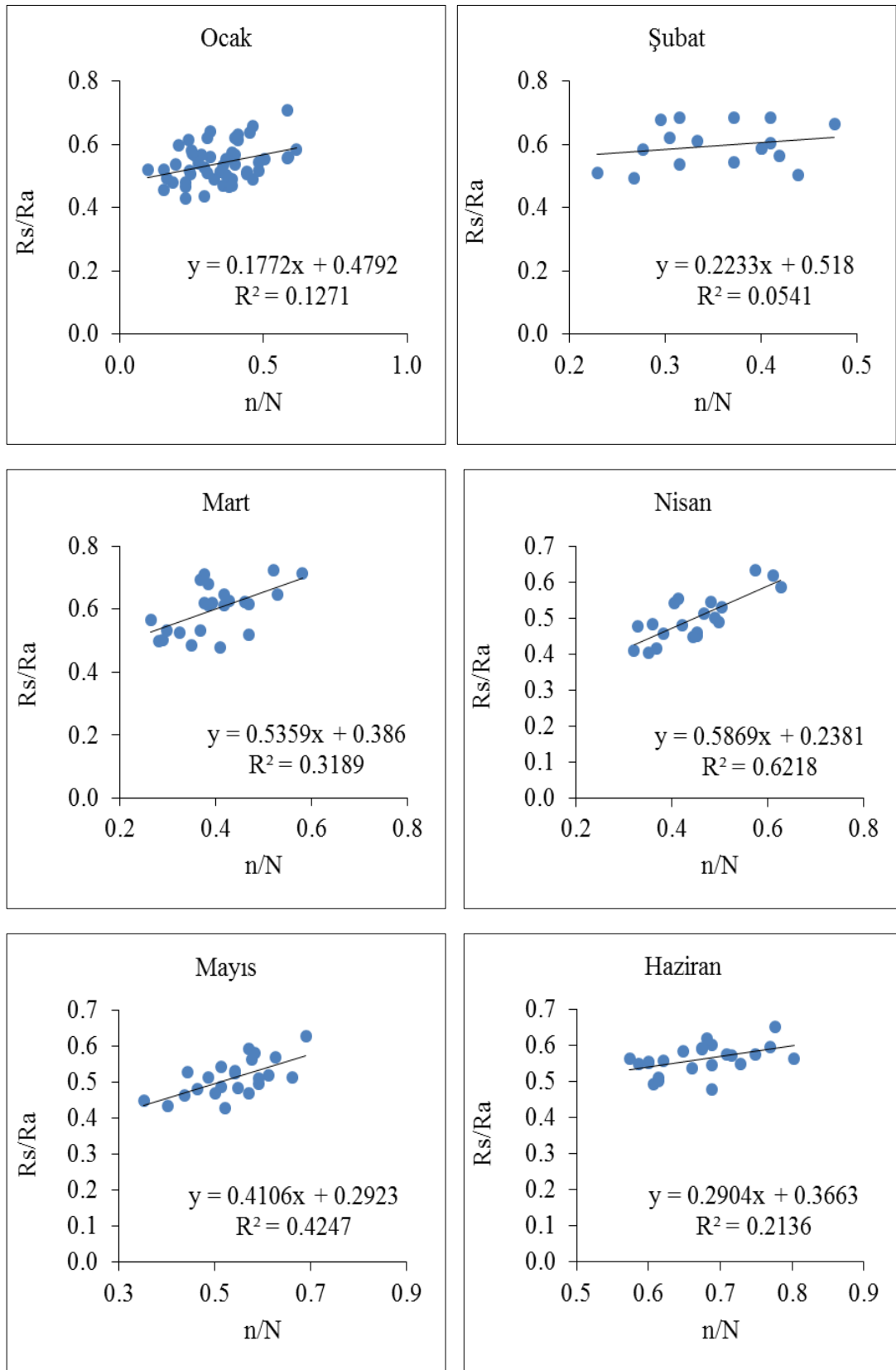
Tablo 3.6'da Erzurum ili için aylık bazda Angstrom katsayıları ve (n/N) ile (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları verilmiştir. Aylara göre n/N ve R_s/R_a ilişkisi şubat ayı için düşük, ocak, kasım ve aralık ayları için orta ve diğer aylar için kuvvetli bulunmuştur. Erzurum'da açık bir günde R_a 'nın en fazla oranda mart (0.9219) ve nisan (0.825) aylarında yer yüzeyine geldiği buna karşın en az oranda ocak, kasım ve aralık aylarında (0.6564) ve haziran ayında (0.6567) geldiği görülmüştür. FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediği durumda önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı olan 0.75 oranına en yakın oranlar şubat ayında (0.7413) ve en uzak ise ocak, kasım ve aralık aylarında (0.6564) olduğu belirlenmiştir.

Erzurum’da kapalı günlerde ise R_a ’nın en fazla oranda şubat ($a_s = 0.518$) ve ocak aylarında ($a_s = 0.4792$) ve en az oranda ise ağustos ($a_s = 0.1206$) ve temmuz ayında ($a_s = 0.0799$) geldiği saptanmıştır. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına nisan ve ekim aylarında oldukça yakın sonuçlar saptanmıştır.

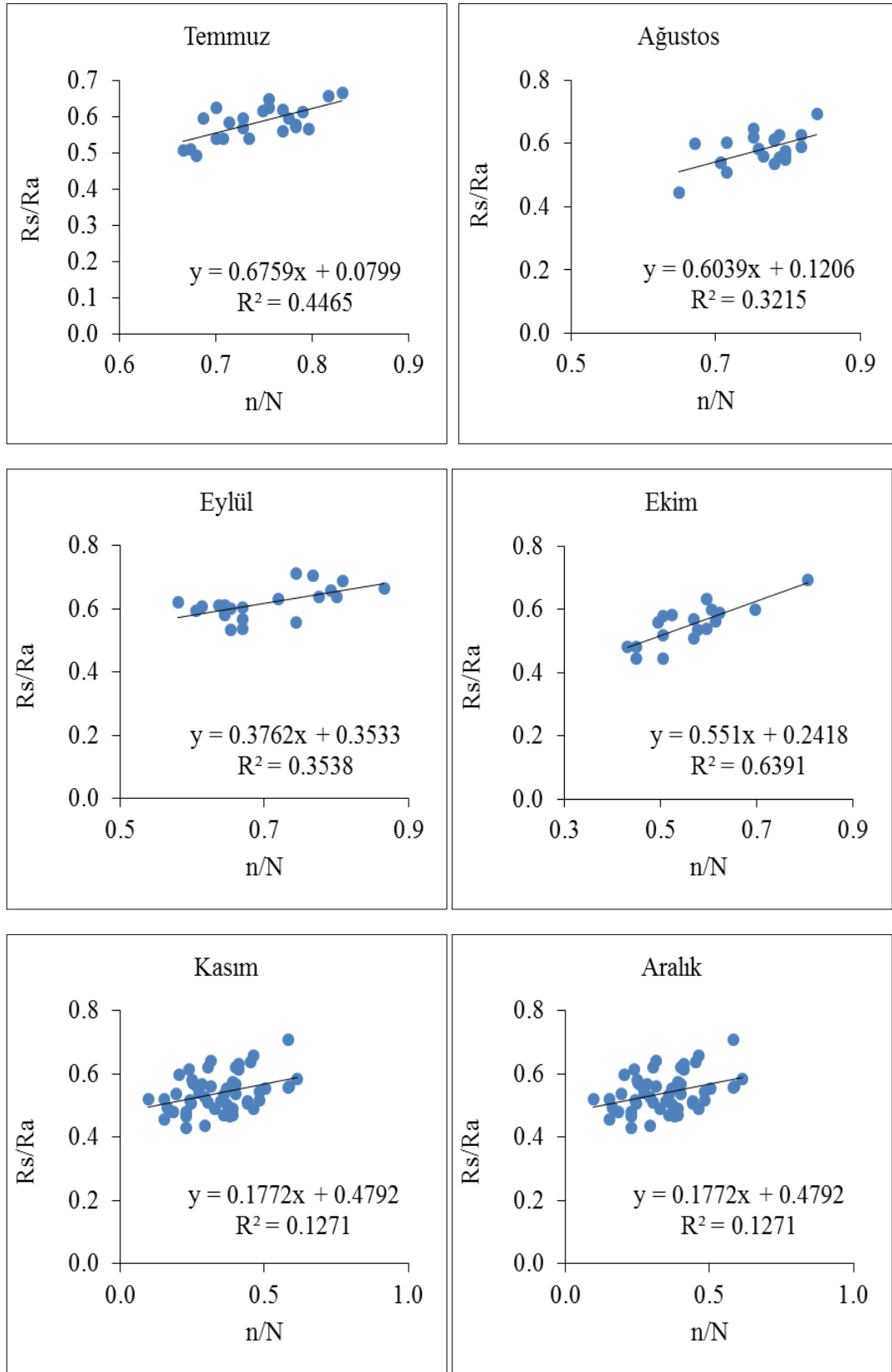
Erzurum’da nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde en fazla oranda ağustos ($b_s = 0.6039$) ve temmuz ($b_s = 0.6759$) aylarında ve en az ise şubat ($b_s = 0.2233$) ve ocak, kasım ve aralık aylarında ($b_s = 0.1772$) doğrudan solar radyasyon gelmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına mart ayında oldukça yakın katsayı saptanmıştır.

Tablo 3.6. Erzurum 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
as	0.4792	0.518	0.386	0.2381	0.2923	0.3663
bs	0.1772	0.2233	0.5359	0.5869	0.4106	0.2904
as+bs	0.6564	0.7413	0.9219	0.825	0.7029	0.6567
R	0.36	0.23	0.56	0.79	0.65	0.46
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
as	0.0799	0.1206	0.3533	0.2418	0.4792	0.4792
bs	0.6759	0.6039	0.3762	0.551	0.1772	0.1772
as+bs	0.7558	0.7245	0.7295	0.7928	0.6564	0.6564
R	0.67	0.57	0.59	0.80	0.36	0.36



Şekil 3.6. Erzurum ili 1968-2008 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları (devamı)



Şekil 3.6. Erzurum ili 1968-2008 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları (devamı)

FAO 56 tarafından önerilen Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{01} ile Erzurum'da kaydedilmiş güneş radyasyonu (R_s) verileri kullanılarak hesaplanan ET_{02} verileri arası farkın ortalama mutlak hatası 0.45 mm olarak belirlenmesine karşılık bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{03} ile ET_{02} arası farkın ortalama mutlak hatası 0.25 mm saptanmıştır. Dolayısıyla ET_{03} verileri ET_{02} verilerine daha yakın sonuçlar vermiştir.

Erzurum'da 1968-2008 arasında evapotranspirasyon hesaplamaları için 41 yıllık tam veri seti yer almaktadır. Şekil 3.6'da gösterilen bölgesel Angstrom katsayıları ve 41 yıllık tam veri seti kullanılarak aylık ET_0 hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarla her ay için frekans analizi sonuçları Tablo 3.7'de ve frekans analizi eşitlikleri Tablo 3.8'de sunulmuştur. %95, %50 ve %5 ihtimalle aylık referans evapotranspirasyon değişimi Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Aylara göre Erzurum ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
95	0.20	0.40	0.99	1.78	2.47	3.16	4.16	3.88	3.06	1.78	0.64	0.26
75	0.32	0.56	1.29	2.30	3.01	3.85	5.09	4.90	3.87	2.25	0.93	0.41
50	0.38	0.64	1.45	2.57	3.29	4.20	5.56	5.42	4.28	2.49	1.08	0.49
25	0.42	0.70	1.57	2.78	3.51	4.48	5.94	5.83	4.60	2.68	1.20	0.55
10	0.46	0.74	1.66	2.94	3.67	4.68	6.21	6.12	4.84	2.82	1.29	0.60
5	0.47	0.77	1.71	3.02	3.76	4.78	6.35	6.28	4.96	2.89	1.33	0.62

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

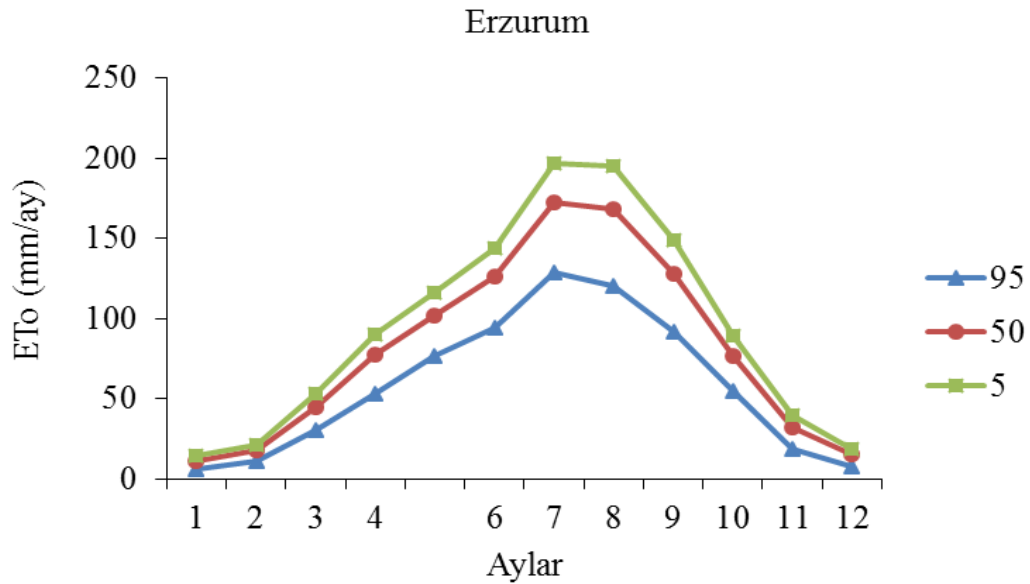
Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_0 = 0.1566 \times W + 0.4571$	7	$ET_0 = 1.242 \times W + 6.2116$
2	$ET_0 = 0.2063 \times W + 0.743$	8	$ET_0 = 1.3557 \times W + 6.1238$
3	$ET_0 = 0.4063 \times W + 1.6614$	9	$ET_0 = 1.0778 \times W + 4.8396$
4	$ET_0 = 0.7028 \times W + 2.9395$	10	$ET_0 = 0.6291 \times W + 2.8151$
5	$ET_0 = 0.7314 \times W + 3.6742$	11	$ET_0 = 0.3926 \times W + 1.2881$
6	$ET_0 = 0.92 \times W + 4.6789$	12	$ET_0 = 0.2027 \times W + 0.5951$

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

Erzurum'da frekans analiz sonuçlarına göre %50 olasılıkla ocak ayı ET_0 değeri 0.38 mm/gün olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık %95 ve %5 olasılıkla ET_0 0.20 ve 0.47

mm/gün arasında değişmektedir. En yüksek atmosferik buharlaştırma talebi (ET_o) temmuz ayında ortalama 5.56 mm/gün olmasına karşın %95 ve %5 olasılıklarda 4.16 ve 6.35 mm/gün değerleri arasında değişim göstermiştir.

Erzurum’da toplam yıllık atmosferik buharlaştırma talebi ET_o 968.6 mm olarak hesaplanmıştır. TAGEM-DSİ (2017) tarafından Erzurum ili için yıllık toplam ET_o 916 mm verilmiştir. Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre 952.7 mm olarak tahmin edilmiştir. TAGEM-DSİ (2017) rehberine göre yıllık toplam ET_o 52.6 mm (%5.7) daha yüksek bulunmuştur. Cropwat 8.0 programına göre 16.1 mm (%1.7) daha yüksek bulunmuştur. Hesaplamalarda dikkate alınan veri seti periyodu ve hesaplama farklılıklarının böyle bir sonuç doğurduğu söylenebilir.

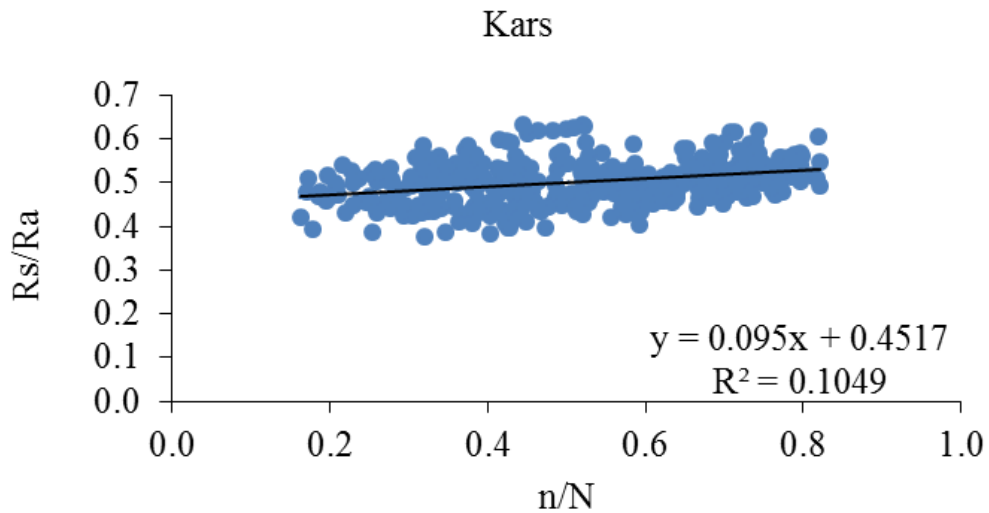


Şekil 3.7. Erzurum ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

Erzurum’da 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda %50 olasılıkla sırasıyla 11.6, 17.8, 44.9, 77.2, 102.1, 126.0, 172.5, 167.9, 128.3, 77.1, 32.5 ve 15.2 mm referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir. Erzurum’da en yüksek aylık toplam ET_o temmuz ayında ortalama 172.5 mm olurken %95 ve %5 olasılıkla 128.9 ile 197 mm arasında değişmiştir. En düşük ocak ayında ortalama 11.6 mm olup %95 ve %5 olasılıkla 6.1 ile 14.7 mm arasında değişim göstermiştir (Şekil 3.7).

3.1.4. Kars

Kars'ta 1930 yılından itibaren meteorolojik gözlemler yapılmaktadır. Fakat referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında kullanılacak tam veri seti, 1968-2017 yılları arasında yer almaktadır. Kars'ta nispi güneşlenme (n/N) oranlarına karşılık yer yüzeyine ulaşan nispi güneş enerjisi oranları (R_s/R_a) 1968-2017 dönemi için Şekil 3.8'de ve aynı ilişkinin aylık bazda değişimleri ise Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Şekil 3.8'de regresyon doğrusunun Y eksenini kesim noktası $a_s = 0.4517$ ve doğrunun eğimi $b_s = 0.095$ olarak saptanmıştır. Yıllık bazda n/N ve R_s/R_a arasında orta pozitif bir ilişki ($R = 0.32$) bulunmaktadır (Cohen, 1988). Kars iline açık bir günde ekstrasferrestrial radyasyonun (R_a) 0.5467'si ulaşmaktadır. Kapalı günlerde R_a 'nın 0.4517'si ve bulutlu günlerde nispi güneşlenmeye bağlı olarak 0.095'i kadar daha yer yüzeyine güneş enerjisi gelmektedir.



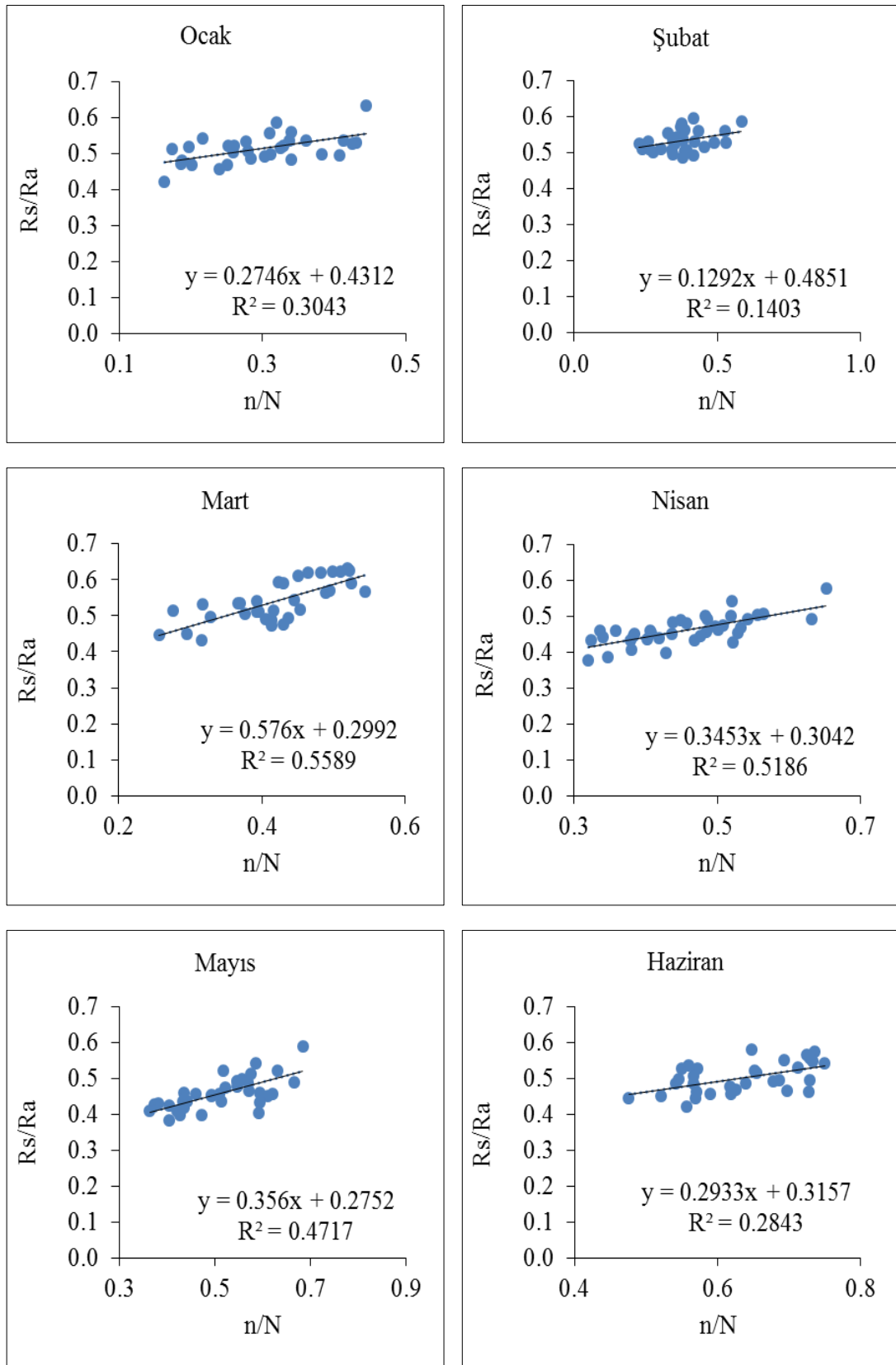
Şekil 3.8. Kars ili 1968-2017 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları

Tablo 3.9'da Kars ili için aylık bazda Angstrom katsayıları ve (n/N) ile (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları verilmiştir. Aylara göre n/N ve R_s/R_a ilişkisi şubat ve temmuz ayları için orta ve diğer aylar için kuvvetli bulunmuştur. Kars'ta açık bir günde R_a 'nın en fazla oranda ocak (0.7058) ve mart (0.8752) aylarında yer yüzeyine geldiği buna karşın en az oranda ekim (0.6077) ve aralık (0.608) aylarında geldiği görülmüştür. FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediği durumda önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı olan 0.75 oranına en yakın oranlar ocak ayında (0.7058) ve en uzak ise ekim ayında (0.6077) olduğu belirlenmiştir. Kars'ta

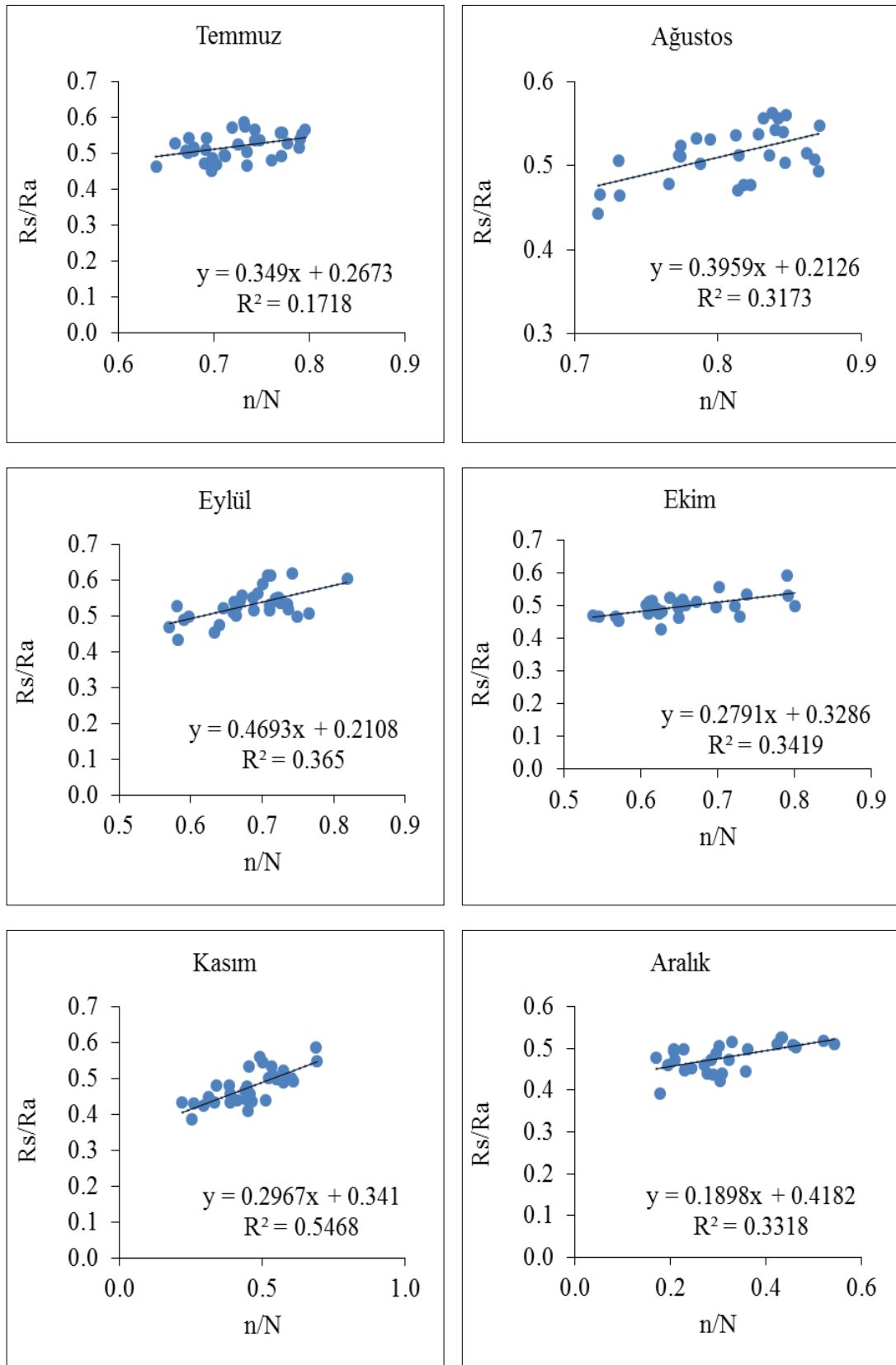
kapalı günlerde ise R_a 'nın en fazla oranda şubatta ($a_s = 0.4851$) ve ocakta ($a_s = 0.4312$) ve en az oranda ise ağustosta ($a_s = 0.2126$) ve eylülde ($a_s = 0.2108$) geldiği saptanmıştır. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına temmuz, ağustos ve eylül aylarında oldukça yakın sonuçlar saptanmıştır. Kars'ta nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde en fazla oranda mayıs ($b_s = 0.356$) ve ağustos ($b_s = 0.3959$) aylarında ve en az ise şubat ($b_s = 0.1292$) ve aralık aylarında ($b_s = 0.1898$) doğrudan solar radyasyon gelmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına eylül ayında oldukça yakın katsayı saptanmıştır.

Tablo 3.9. Kars 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
as	0.4312	0.4851	0.2992	0.3042	0.2752	0.3157
bs	0.2746	0.1292	0.576	0.3453	0.356	0.2933
as+bs	0.7058	0.6143	0.8752	0.6495	0.6312	0.609
R	0.55	0.37	0.75	0.72	0.69	0.53
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
as	0.2673	0.2126	0.2108	0.3286	0.341	0.4182
bs	0.349	0.3959	0.4693	0.2791	0.2967	0.1898
as+bs	0.6163	0.6085	0.6798	0.6077	0.6377	0.608
R	0.41	0.56	0.60	0.58	0.74	0.58



Şekil 3.9. Kars ili 1968-2017 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları



Şekil 3.9. Kars ili 1968-2017 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları (Devamı)

FAO 56 tarafından önerilen Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{01} ile Kars'ta kaydedilmiş güneş radyasyonu (R_s) verileri kullanılarak hesaplanan ET_{02} verileri arası farkın ortalama mutlak hatası 0.39 mm olarak belirlenmesine karşılık bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{03} ile ET_{02} arası farkın ortalama mutlak hatası 0.11 mm saptanmıştır. Dolayısıyla ET_{03} verileri ET_{02} verilerine daha yakın sonuçlar vermiştir.

Referans evapotranspirasyon hesaplamaları için 57 yıllık tam veri seti bulunmaktadır. Frekans analizinde Kars ili için belirlenen Angstrom katsayıları dikkate alınarak aylık ET_0 değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan veriler dikkate alınarak her ay için frekans analizi sonuçları Tablo 3.10'da ve frekans analizi eşitlikleri Tablo 3.11'de sunulmuştur. %95, %50 ve %5 ihtimalle aylık referans evapotranspirasyon değişimi Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

Tablo 3.10. Aylara göre Kars ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
95	0.23	0.23	0.66	1.22	1.97	2.77	3.28	3.16	2.59	1.43	0.64	0.24
75	0.34	0.37	1.06	1.78	2.53	3.29	3.95	3.92	3.23	1.75	0.90	0.38
50	0.40	0.43	1.27	2.06	2.82	3.56	4.29	4.30	3.56	1.92	1.03	0.46
25	0.44	0.49	1.43	2.29	3.05	3.77	4.56	4.61	3.81	2.04	1.14	0.52
10	0.47	0.53	1.55	2.45	3.21	3.93	4.76	4.83	4.00	2.14	1.21	0.56
5	0.49	0.55	1.61	2.54	3.30	4.01	4.86	4.95	4.10	2.19	1.25	0.58

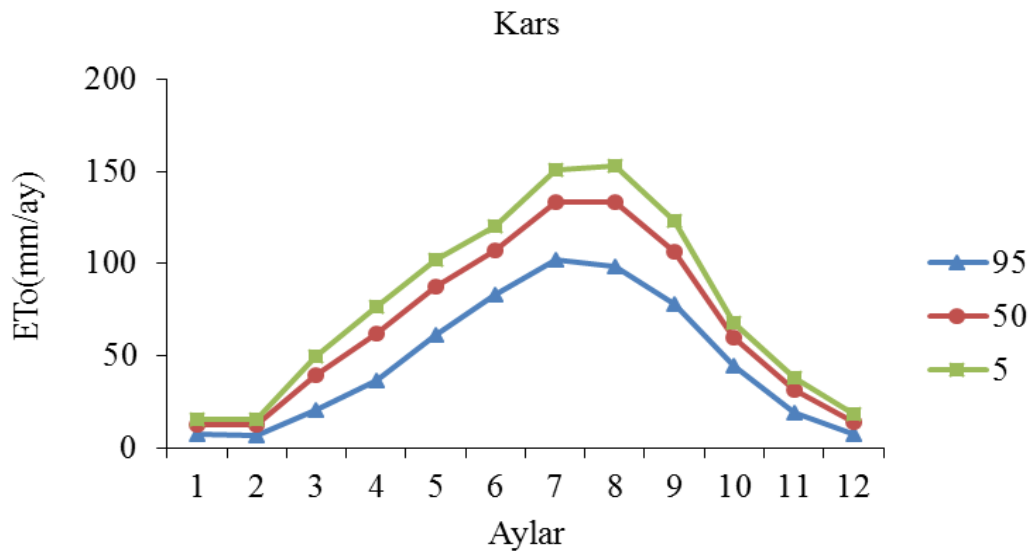
Frekans analizi sonuçlarına göre %50 olasılıkla ocak ayı ET_0 değeri 0.40 mm/gün olmasına karşılık %95 ve %5 olasılıkla ET_0 0.23 ve 0.49 mm/gün arasında değişim göstermiştir. En yüksek ağustos ayında ortalama 4.30 mm/gün olan ET_0 değeri %95 ve %5 olasılıkla 3.16 ve 4.95 mm/gün arasında değişmiştir.

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

Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_0 = 0.1461 \times W + 0.4724$	7	$ET_0 = 0.8929 \times W + 4.7566$
2	$ET_0 = 0.1796 \times W + 0.5286$	8	$ET_0 = 1.0092 \times W + 4.83$
3	$ET_0 = 0.533 \times W + 1.5454$	9	$ET_0 = 0.8509 \times W + 3.9987$
4	$ET_0 = 0.7462 \times W + 2.4534$	10	$ET_0 = 0.4296 \times W + 2.1394$
5	$ET_0 = 0.7563 \times W + 3.2147$	11	$ET_0 = 0.3467 \times W + 1.214$
6	$ET_0 = 0.7015 \times W + 3.9269$	12	$ET_0 = 0.1923 \times W + 0.5584$

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

Ortalama olarak yıllık toplamda atmosferin buharlaştırma talebi (ET_o) 793.9 mm olarak bulunmuştur. TAGEM-DSİ (2017) tarafından Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Su Tüketim Rehberi ‘nden Kars için yıllık toplam ET_o 813 mm verilirken, Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre ise 799.3 mm olarak tahmin edilmiştir. TAGEM-DSİ (2017) verilerine göre yıllık ET_o 19.4 mm (%2.4) ve Cropwat 8.0’a göre 5.4 mm (%0.7) daha düşük bulunmuştur.



Şekil 3.10. Kars ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

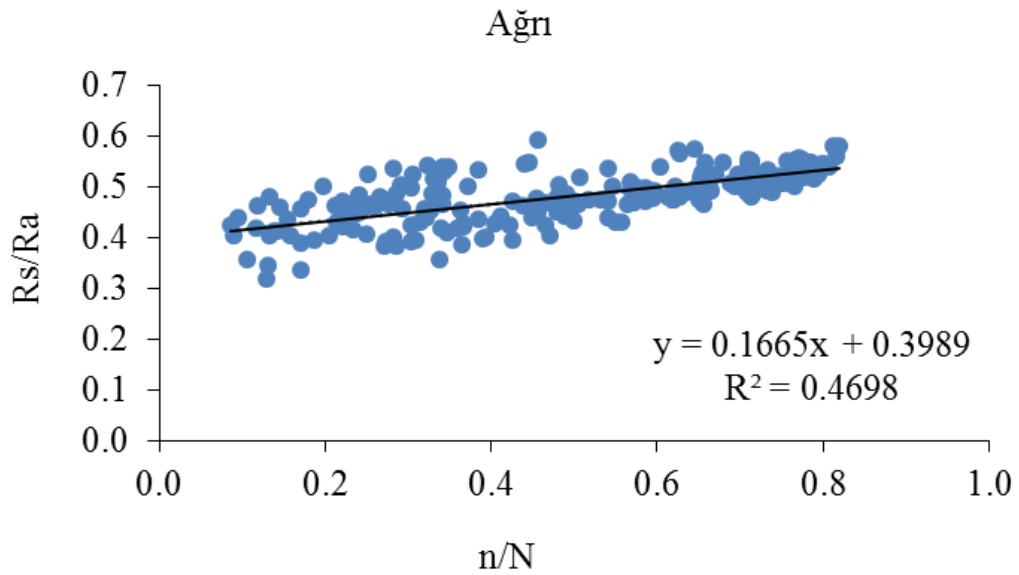
Kars'ta referans evapotranspirasyon 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda %50 olasılıkta sırasıyla 12.3, 12.2, 39.3, 61.9, 87.4, 106.8, 133.0, 133.4, 106.7, 59.4, 31.0 ve 14.2 mm meydana gelmektedir (Şekil 3.10).

%50 olasılıkta en yüksek aylık toplam ET_o ağustos ayında ortalama 133.4 mm bulunmuş ve %95-5 olasılıkla 98 ile 153.3 mm arasında değişim sergilemiştir. En düşük şubat ayında ortalama 12.2 mm olan ET_o %95 ve %5 olasılıkla 6.5 ile 15.4 mm arasında varyasyon göstermiştir (Şekil 3.10).

3.1.5. Ağrı

Ağrı'da 1940 yılından itibaren meteorolojik gözlemler yapılmaktadır. Fakat referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında kullanılacak tam veri seti, 1985-2010 yılları arasında yer almaktadır. Ağrı'da nispi güneşlenme (n/N) oranlarına karşılık yer

yüzeyine ulaşan nispi güneş enerjisi oranları (R_s/R_a) Şekil 3.11’de ve aynı ilişkinin aylık bazda değişimleri ise Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Şekil 3.11’de regresyon doğrusunun Y eksenini kesim noktası $a_s = 0.3989$ ve doğrunun eğimi $b_s = 0.1665$ olarak saptanmıştır. Yıllık bazda n/N ve R_s/R_a arasında kuvvetli pozitif bir ilişki ($R = 0.69$) bulunmaktadır (Cohen, 1988). Ağrı iline açık bir günde ekstraterrestrial radyasyonun (R_a , atmosfer dış yüzeyine gelen radyasyon) 0.5654’ü ulaşmaktadır. Kapalı günlerde R_a ’nın 0.3989’u ve bulutlu günlerde nispi güneşlenmeye bağlı olarak 0.1665’i kadar daha ek olarak yer yüzeyine gelmektedir.



Şekil 3.11. Ağrı ili 1985-2010 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları

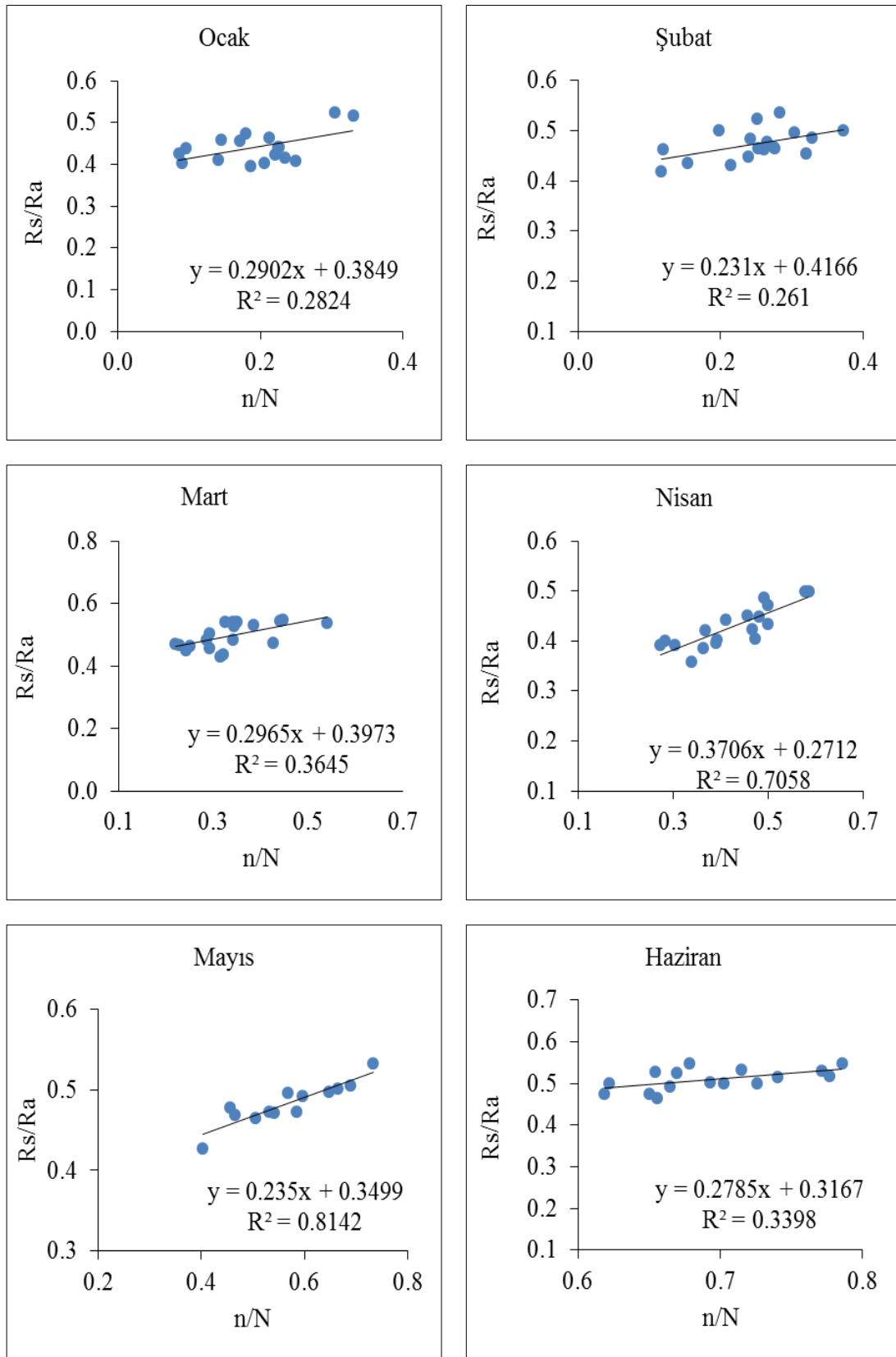
Tablo 3.12’de Ağrı ili için aylık bazda Angstrom katsayıları ve (n/N) ile (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları verilmiştir. Aylara göre n/N ve R_s/R_a ilişkisi tüm aylar için kuvvetli bulunmuştur. Ağrı’da açık bir günde R_a ’nın en fazla oranda aralık (0.7885) ve mart (0.6938) aylarında yer yüzeyine geldiği buna karşın en az oranda temmuz (0.5806) ve mayıs (0.5849) aylarında geldiği görülmüştür. FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediği durumda önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı olan 0.75 oranına en yakın oranlar mart ayında (0.6938) ve en uzak ise temmuz ayında (0.5806) olduğu belirlenmiştir. Ağrı’da kapalı günlerde ise R_a ’nın en fazla oranda şubat ($a_s = 0.4199$) ve mart aylarında ($a_s = 0.3973$) ve en az oranda ise ağustos ($a_s = 0.011$) ve eylül ayında ($a_s = 0.2363$) geldiği saptanmıştır. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına nisan, eylül, ekim aylarında oldukça yakın

sonuçlar saptanmıştır. Ağrı’da nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde en fazla oranda ağustos ($b_s = 0.667$) ve aralık ($b_s = 0.4836$) aylarında ve en az ise şubat ($b_s = 0.2305$) ve kasım aylarında ($b_s = 0.2765$) doğrudan solar radyasyon gelmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına aralık ayında oldukça yakın katsayı saptanmıştır.

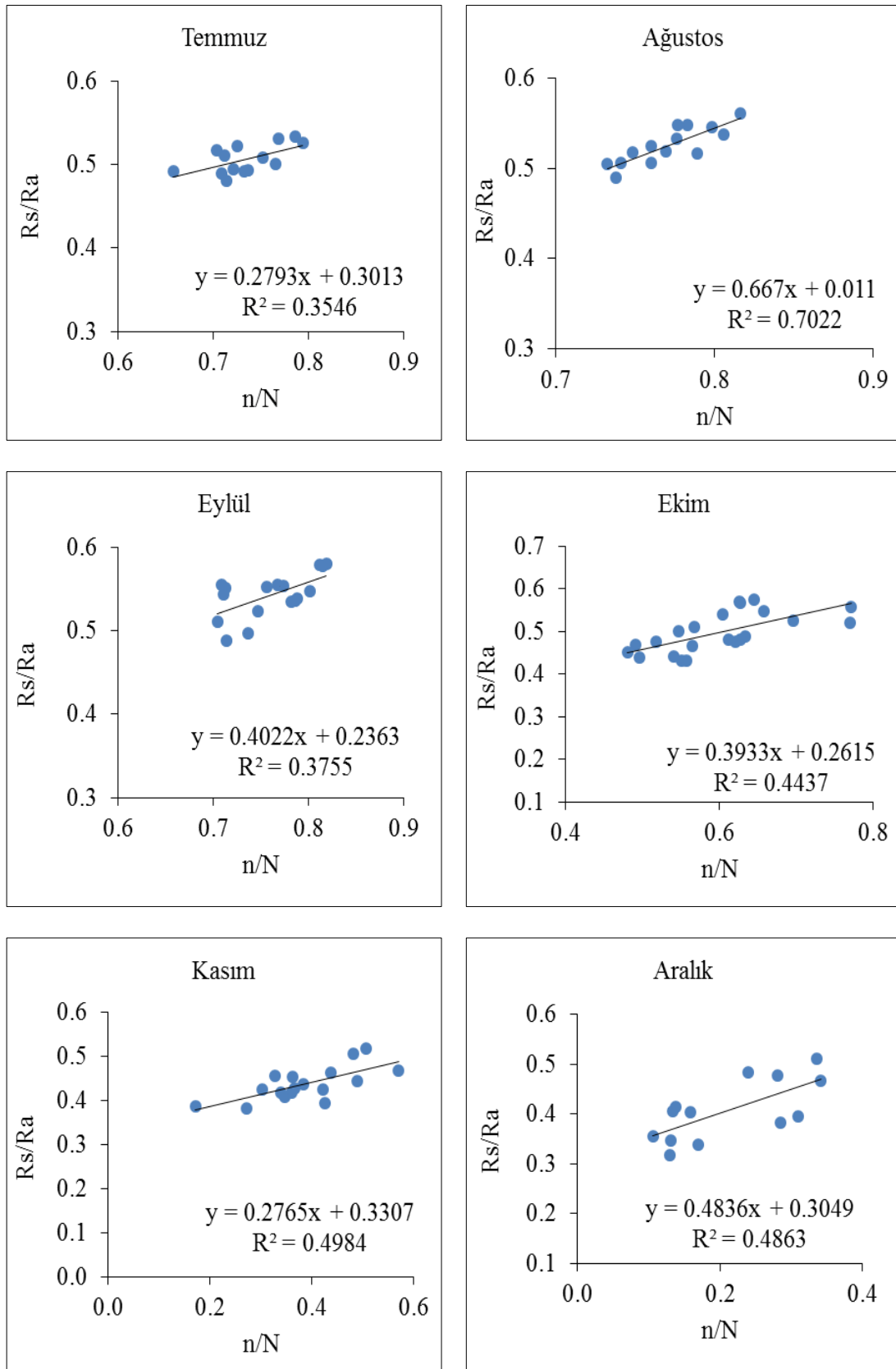
Tablo 3.12. Ağrı ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
as	0.3849	0.4199	0.3973	0.2708	0.3499	0.3167
bs	0.2902	0.2305	0.2965	0.3721	0.285	0.2785
as+bs	0.6751	0.6504	0.6938	0.6429	0.5849	0.5952
R	0.53	0.51	0.60	0.84	0.90	0.58
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
as	0.3013	0.011	0.2363	0.2615	0.3307	0.3049
bs	0.2793	0.667	0.4022	0.3933	0.2765	0.4836
as+bs	0.5806	0.678	0.6385	0.6548	0.6072	0.7885
R	0.60	0.84	0.61	0.67	0.71	0.70

Referans evapotranspirasyon için 1983-2018 yılları arasında 35 yıllık veri seti frekans analizinde kullanılmıştır. 1983-2018 yılları arasındaki 35 yıllık veri seti ve Ağrı ili için bulunan Angstrom katsayıları da dikkate alınarak ET_o hesaplanmıştır. Elde edilen veriler dikkate alınarak her ay için frekans analizi sonuçları Tablo 3.13’te ve frekans analizi eşitlikleri Tablo 3.14’te sunulmuştur. %95, %50 ve %5 ihtimalle aylık referans evapotranspirasyon varyasyonu Şekil 3.13’te gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Ağrı ili 1985-2010 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları



Şekil 3.12. Ağrı ili 1985-2010 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları (devamı)

FAO 56 tarafından önerilen Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{01} ile Ağrı'da kaydedilmiş güneş radyasyonu (Rs) verileri kullanılarak hesaplanan ET_{02} verileri arası farkın ortalama mutlak hatası 0.38 mm olarak belirlenmesine karşılık bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{03} ile ET_{02} arası farkın ortalama mutlak hatası 0.08 mm saptanmıştır. Dolayısıyla ET_{03} verileri ET_{02} verilerine daha yakın sonuçlar vermiştir.

Tablo 3.13. Aylara göre Ağrı ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
95	0.16	0.24	0.33	0.90	1.37	1.96	2.24	2.84	2.15	1.32	0.42	0.27	1.18
75	0.28	0.37	0.76	1.53	2.25	3.01	3.46	3.78	2.76	1.59	0.66	0.43	1.74
50	0.33	0.44	0.97	1.85	2.69	3.54	4.07	4.26	3.07	1.73	0.79	0.52	2.02
25	0.38	0.49	1.14	2.10	3.05	3.96	4.56	4.64	3.32	1.84	0.88	0.59	2.25
10	0.41	0.53	1.26	2.29	3.31	4.27	4.92	4.92	3.50	1.92	0.96	0.64	2.41
5	0.43	0.55	1.33	2.39	3.44	4.43	5.10	5.06	3.59	1.97	0.99	0.66	2.49

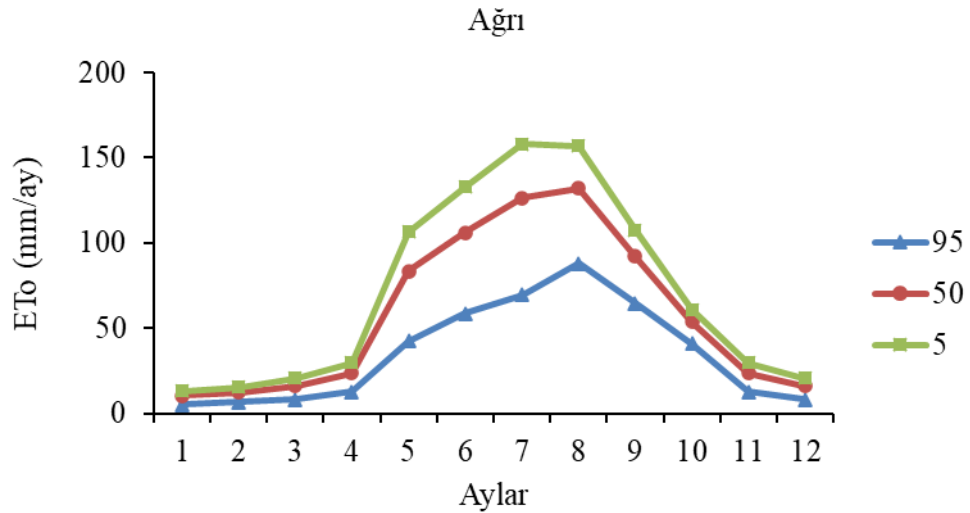
Tablo 3.14. Ağrı ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_0 = 0.1468 \times W + 0.4088$	7	$ET_0 = 1.6175 \times W + 4.9168$
2	$ET_0 = 0.1753 \times W + 0.5294$	8	$ET_0 = 1.2602 \times W + 4.9173$
3	$ET_0 = 0.5635 \times W + 1.2642$	9	$ET_0 = 0.8144 \times W + 3.4976$
4	$ET_0 = 0.8404 \times W + 2.289$	10	$ET_0 = 0.3682 \times W + 1.924$
5	$ET_0 = 1.1735 \times W + 3.3066$	11	$ET_0 = 0.3237 \times W + 0.965$
6	$ET_0 = 1.402 \times W + 4.2737$	12	$ET_0 = 0.2232 \times W + 0.6359$

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

Frekans analiz sonuçlarına göre %50 olasılıkla ocak ayı ET_0 değeri 0.33 mm/gün olup %95 ve %5 olasılıkta ET_0 0.16 ve 0.43 mm/gün arasında varyasyon göstermiştir. En yüksek ET_0 ağustos ayında ortalama olarak 4.26 mm/gün saptanmıştır. Ağustos ayında %95 ve %5 olasılıklarda ET_0 2.84 ve 5.06 mm/gün arasında varyasyon göstermiştir. Yıllık toplamda Ağrı'da atmosferin buharlaştırma talebi ET_0 738.3 mm olarak hesaplanmıştır. TAGEM-DSİ (2017) tarafından Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Su Tüketim Rehberi 'nde Ağrı için yıllık toplam ET_0 875 mm verilmiştir. Climwat 2.0 veri seti ve Cropwat 8.0 programına göre ise 879.7 mm olarak tahmin edilmektedir. TAGEM-DSİ (2017) rehberinden 136.7 mm (%15.) ve Cropwat 8.0 tahmininden 141.4

mm (%16.1) daha düşük bulunmuştur. Bu önemli farkın nedeni olarak yıllık ortalama a_s+b_s toplamının (0.5654) FAO 56 tarafından önerilen 0.75 oranından çok daha düşük olmasıyla açıklanabilir.



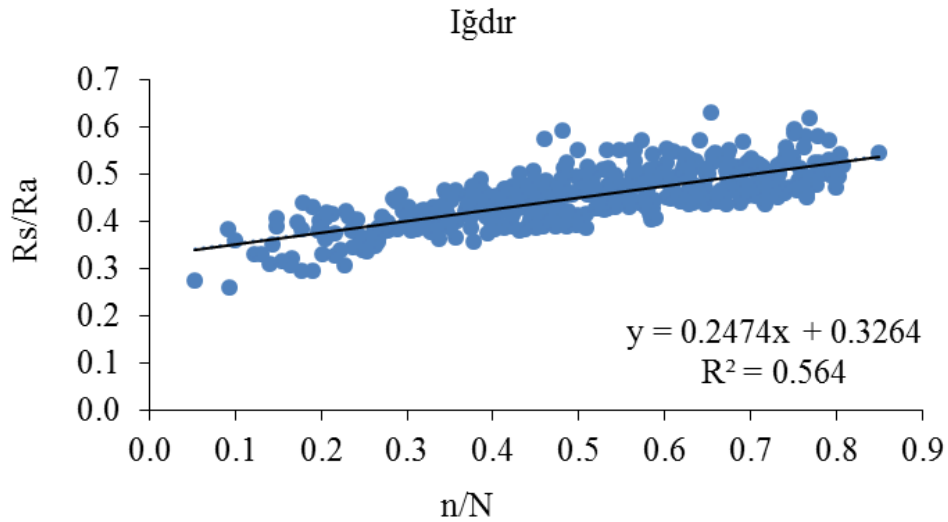
Şekil 3.13. Ağrı ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

Ağrı’da 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda %50 olasılıkla sırasıyla 10.3, 12.3, 16.1, 23.6, 83.5, 127.7, 106.3, 126.3, 132.1, 92.2, 53.7, 23.6 ve 16.1 mm referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir (Şekil 3.13). Ağrı’ da en yüksek aylık toplam ET_o ağustos ayında ortalama 132.1 mm referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir. %95 ve %5 olasılıkla 87.9 ile 156.9 mm arasında varyasyon gösterirken en düşük ocak ayında ortalama 10.3 mm olup %95 ve %5 olasılıkla 5.1 ile 13.2 mm arasında varyasyon göstermiştir (Şekil 3.13).

3.1.6. Iğdır

Iğdır’da 1940 yılından itibaren meteorolojik gözlemler yapılmaktadır. Fakat referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında kullanılacak tam veri seti, 1968-2010 yılları arasında yer almaktadır. Iğdır’da nispi güneşlenme (n/N) oranlarına karşılık yer yüzeyine ulaşan nispi güneş enerjisi oranları (R_s/R_a) Şekil 3.14’te ve aynı ilişkinin aylık bazda değişimleri ise Şekil 3.15’te gösterilmiştir. Şekil 3.14’te regresyon doğrusunun Y eksenini kesim noktası $a_s = 0.3264$ ve doğrunun eğimi $b_s = 0.2474$ olarak saptanmıştır. Yıllık bazda n/N ve R_s/R_a arasında kuvvetli pozitif bir ilişki ($R = 0.75$) bulunmaktadır

(Cohen, 1988). Iğdır iline açık bir günde ekstraterrestrial radyasyonun (R_a , atmosfer dış yüzeyine gelen radyasyon) 0.5738'i ulaşmaktadır. Kapalı günlerde R_a 'ın 0.3264'ü ve bulutlu günlerde nispi güneşlenmeye bağlı olarak 0.2474'ü kadar daha ilaveten yer yüzeyine gelmektedir.



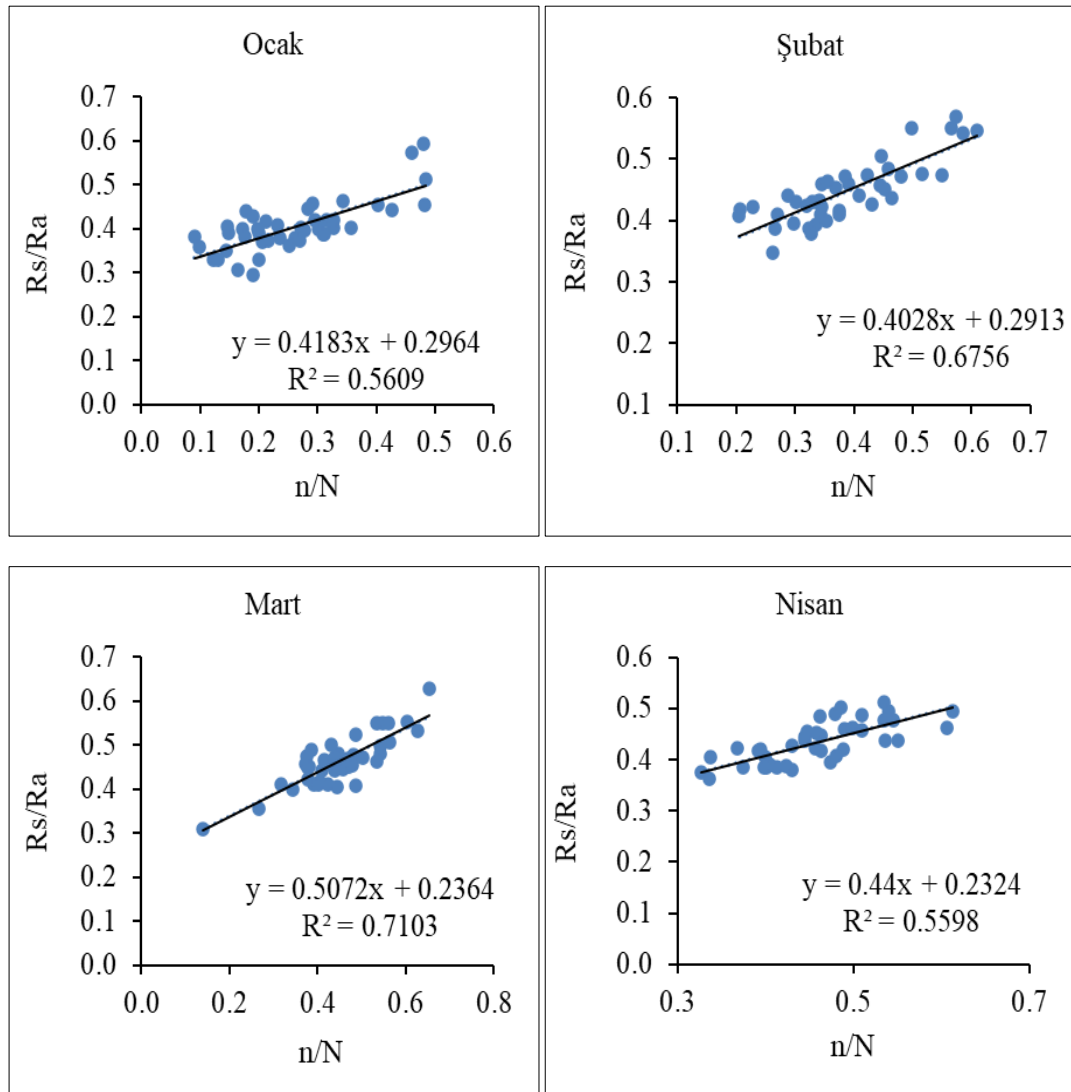
Şekil 3.14. Iğdır ili 1968-2010 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları

Tablo 3.15'te Iğdır ili için aylık bazda Angstrom katsayıları ve (n/N) ile (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları verilmiştir. Aylara göre n/N ve R_s/R_a ilişkisi haziran ve eylül ayları için orta ve diğer aylar için kuvvetli bulunmuştur. Iğdır'da açık bir günde R_a 'nın en fazla oranda mart (0.7436) ve kasım (0.6525) aylarında yer yüzeyine geldiği buna karşın en az oranda temmuz (0.5832) ve eylül (0.5609) aylarında geldiği görülmüştür. FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediği durumda önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı olan 0.75 oranına en yakın oranlar mart ayında (0.7436) ve en uzak ise eylül ayında (0.5609) olduğu belirlenmiştir. Iğdır'da kapalı günlerde ise R_a 'nın en fazla oranda eylülde ($a_s = 0.3597$) ve ocakta ($a_s = 0.2964$) ve en az oranda ise ağustosta ($a_s = 0.0797$) ve mayısta ($a_s = 0.2079$) geldiği saptanmıştır. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına mart, nisan, haziran, temmuz, ekim, kasım ve aralık aylarında oldukça yakın sonuçlar saptanmıştır. Şekil 3.15'te Iğdır'da nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde en fazla oranda mart ($b_s = 0.5072$) ve ağustos ($b_s = 0.5495$) aylarında ve en az ise eylül ($b_s = 0.2012$) ve temmuz aylarında ($b_s = 0.3384$) doğrudan solar radyasyon gelmektedir. Allen

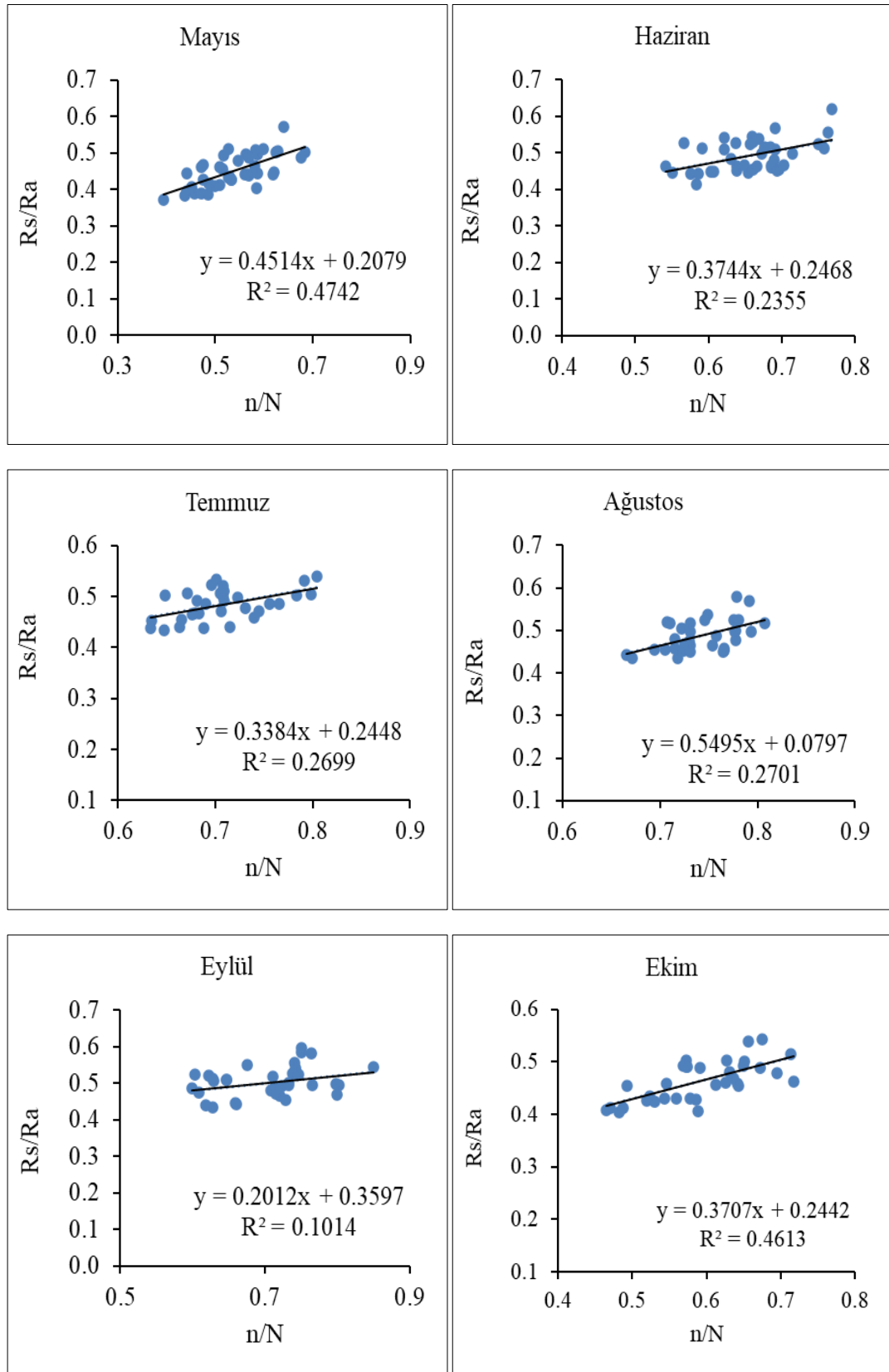
ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına mart ayında oldukça yakın bir katsayı saptanmıştır.

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

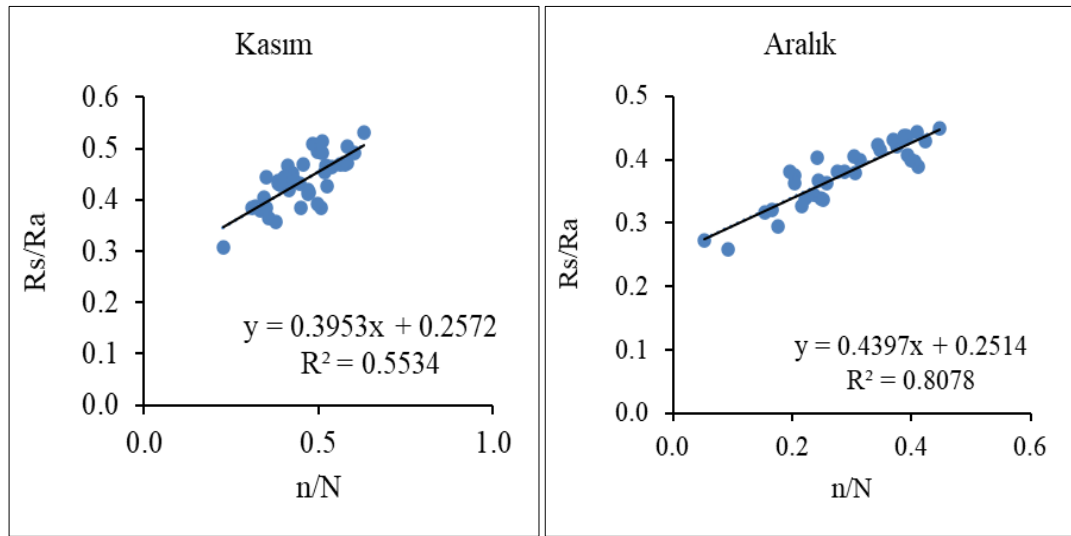
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
as	0.2964	0.2913	0.2364	0.2354	0.2079	0.2468
bs	0.4183	0.4028	0.5072	0.4400	0.4514	0.3744
as+bs	0.7147	0.6941	0.7436	0.6724	0.6593	0.6212
R	0.75	0.82	0.84	0.75	0.69	0.49
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
as	0.2448	0.0797	0.3597	0.2442	0.2572	0.2514
bs	0.3384	0.5495	0.2012	0.3707	0.3953	0.4397
as+bs	0.5832	0.6292	0.5609	0.6149	0.6525	0.6911
R	0.52	0.52	0.32	0.68	0.74	0.90



Şekil 3.15. Iğdır ili 1968-2010 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları



Şekil 3.15. Iğdır ili 1968-2010 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları (devamı)



Şekil 3.15. Iğdır ili 1968-2010 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları (devamı)

FAO 56 tarafından önerilen Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{o1} ile Iğdır’da kaydedilmiş güneş radyasyonu (R_s) verileri kullanılarak hesaplanan ET_{o2} verileri arası farkın ortalama mutlak hatası 0.47 mm olarak belirlenmesine karşılık bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{o3} ile ET_{o2} arası farkın ortalama mutlak hatası 0.17 mm saptanmıştır. Dolayısıyla ET_{o3} verileri ET_{o2} verilerine daha yakın sonuçlar vermiştir.

Frekans analizinde Iğdır için belirlenen Angstrom katsayıları ve 43 yıllık tam veri seti dikkate alınarak aylık ET_o değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen veriler dikkate alınarak her ay için frekans analizi sonuçları Tablo 3.16’da ve frekans analizi eşitlikleri Tablo 3.17’de sunulmuştur. %95, %50 ve %5 olasılıkla aylık referans evapotranspirasyon değişimi Şekil 3.16’da gösterilmiştir.

Tablo 3.16. Aylara göre Iğdır ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları

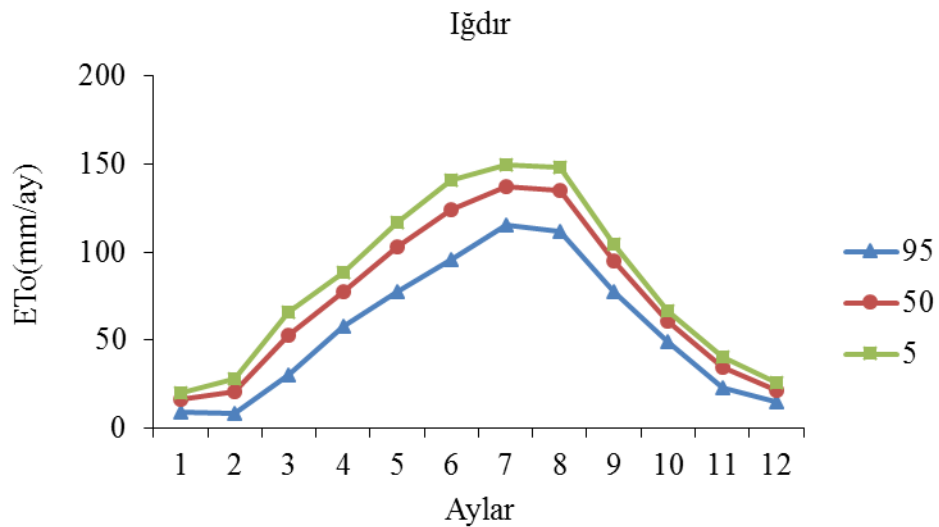
P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
95	0.30	0.31	0.98	1.94	2.50	3.19	3.73	3.61	2.58	1.59	0.77	0.47	1.83
75	0.45	0.60	1.47	2.36	3.04	3.82	4.19	4.10	2.97	1.83	1.02	0.62	2.21
50	0.53	0.75	1.71	2.58	3.31	4.15	4.43	4.36	3.17	1.95	1.14	0.70	2.40
25	0.59	0.87	1.91	2.75	3.53	4.40	4.61	4.56	3.32	2.05	1.24	0.76	2.55
10	0.63	0.95	2.05	2.88	3.69	4.59	4.75	4.70	3.44	2.12	1.31	0.80	2.66
5	0.66	1.00	2.12	2.94	3.77	4.69	4.82	4.78	3.49	2.16	1.35	0.83	2.72

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

Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_o = 0.2031 \times W + 0.6328$	7	$ET_o = 0.6148 \times W + 4.7492$
2	$ET_o = 0.3894 \times W + 0.9522$	8	$ET_o = 0.6601 \times W + 4.7001$
3	$ET_o = 0.6442 \times W + 2.0479$	9	$ET_o = 0.516 \times W + 3.4352$
4	$ET_o = 0.5701 \times W + 2.8798$	10	$ET_o = 0.3229 \times W + 2.1223$
5	$ET_o = 0.7204 \times W + 3.6905$	11	$ET_o = 0.3274 \times W + 1.3118$
6	$ET_o = 0.8466 \times W + 4.5895$	12	$ET_o = 0.2013 \times W + 0.8029$

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

Frekans analizi sonuçlarına göre %50 olasılıkla ocak ayı ET_o değeri 0.53 mm/gün olup %95 ve %5 olasılıkla ET_o 0.30 ve 0.66 mm/gün arasında varyasyon göstermiştir. En yüksek ET_o temmuz ayında ortalama 4.43 mm/gün bulunmuştur. Temmuz ayında ET_o değeri %95 ve %5 olasılıkla 3.73 ve 4.82 mm/gün arasında varyasyon sergilemiştir. Iğdır’ da ortalama olarak yıllık toplamda ET_o 875.3 mm bulunmuştur. TAGEM-DSİ (2017) tarafından Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Su Tüketim Rehberi adlı çalışmada yıllık toplam ET_o 1017 mm verilmiştir. Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre ise 989.2 mm olarak tahmin edilmiştir. Bundan dolayı TAGEM-DSİ (2017) verilerine göre yıllık ET_o 141.7 mm (%13.9) ve Cropwat 8.0’a göre 113.9 mm (%11.5) daha düşük bulunmuştur. Böyle önemli bir fark, Angstrom katsayıları $a_s + b_s$ toplamının (0.5738) FAO 56 tarafından önerilen 0.75 oranından çok daha düşük olmasıyla açıklanabilir.

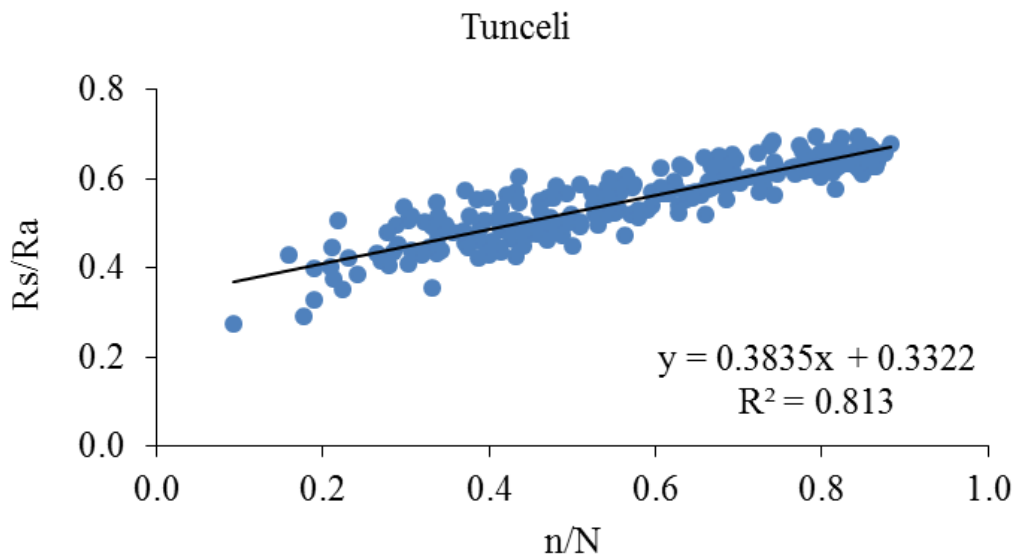


Şekil 3.16. Iğdır ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon sonuçları

%50 olasılıkta 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda %50 sırasıyla 16.3, 21.0, 53.1, 77.5, 102.8, 124.4, 137.3, 135.1, 95, 60.6, 34.2 ve 21.6 mm referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir. %50 olasılıkta en yüksek aylık toplam ET_0 temmuz ayında ortalama 137.3 mm olup %95 ve %5 olasılıkla 115.7 ile 149.4 mm arasında varyasyon sergilemiştir. %50 olasılıkta en düşük ocak ayında ortalama 16.3 mm olup %95 ve %5 olasılıkla 9.2 ile 20.3 mm arasında varyasyon göstermiştir (Şekil 3.16).

3.1.7. Tunceli

Tunceli' de 1960 yılından itibaren meteorolojik gözlemler yapılmaktadır. Fakat referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında kullanılacak tam veri seti, 1988-2010 yılları arasında yer almaktadır. Tunceli'de nispi güneşlenme (n/N) oranlarına karşılık yer yüzeyine ulaşan nispi güneş enerjisi oranları (R_s/R_a) 1988-2010 dönemi için Şekil 3.17'de ve aynı ilişkinin aylık bazda değişimleri ise Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Şekil 3.17'de regresyon doğrusunun Y eksenini kesim noktası $a_s = 0.3322$ ve doğrunun eğimi $b_s = 0.3835$ olarak saptanmıştır. Yıllık bazda n/N ve R_s/R_a arasında kuvvetli pozitif bir ilişki ($R = 0.90$) bulunmaktadır (Cohen, 1988). Tunceli iline açık bir günde ekstrasferrestrial radyasyonun (R_a , atmosfer dış yüzeyine gelen radyasyon) 0.7157'si ulaşmaktadır. Kapalı günlerde R_a 'ın 0.3322'si ve bulutlu günlerde nispi güneşlenmeye bağlı olarak 0.3835'i yer yüzeyine gelmektedir.



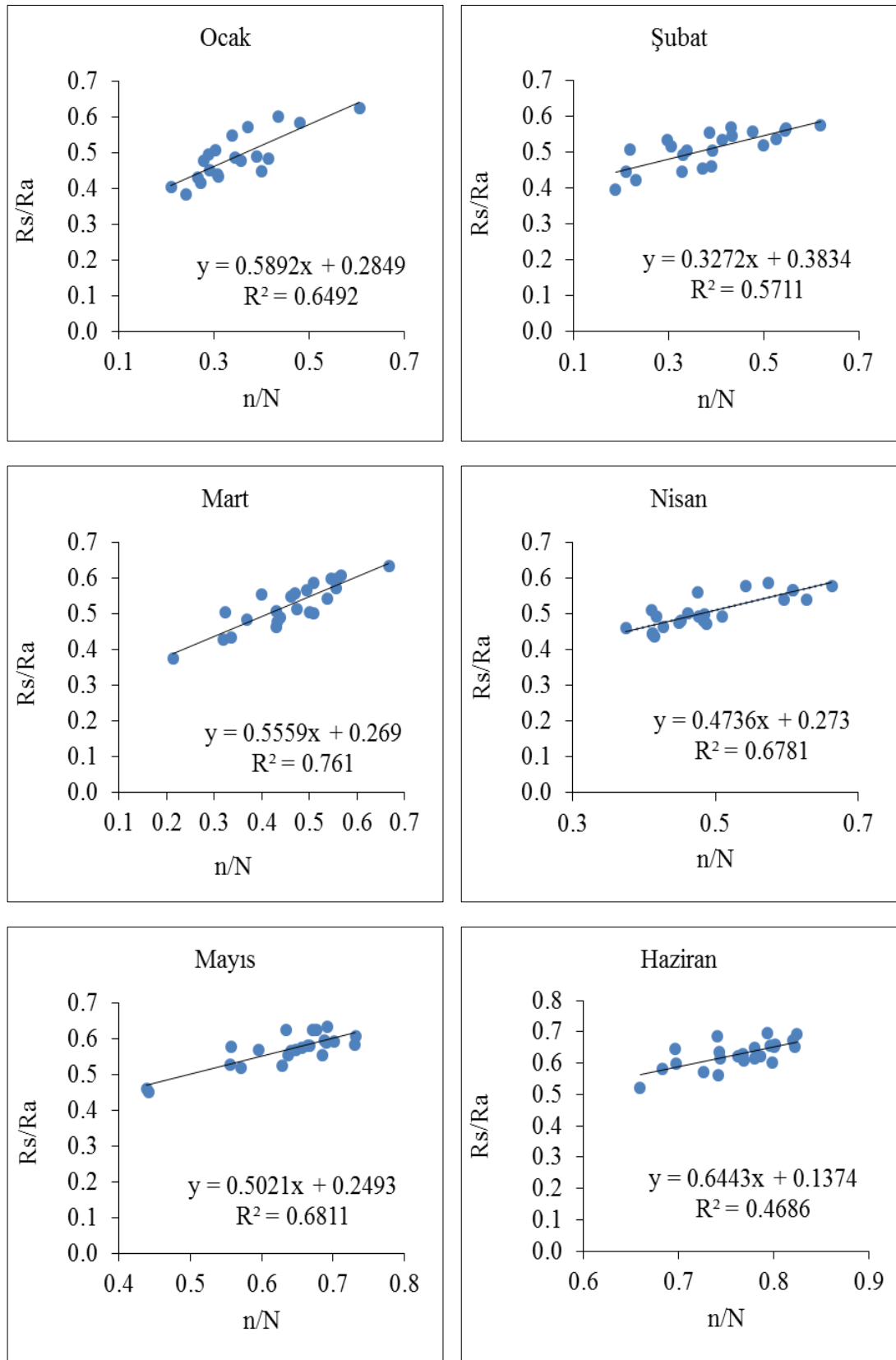
Şekil 3.17. Tunceli ili 1988-2010 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları

Tablo 3.18’de Tunceli ili için aylık bazda Angstrom katsayıları ve (n/N) ile (Rs/Ra) ilişkisi korelasyon katsayıları verilmiştir. Aylara göre n/N ve Rs/Ra ilişkisi temmuz ve eylül ayı için orta ve diğer aylar için kuvvetli bulunmuştur. Tunceli’de açık bir günde Ra’nın en fazla oranda ocak (0.8741) ve aralık (0.8321) aylarında yer yüzeyine geldiği buna karşın en az oranda eylül (0.6688) ve ağustos (0.6855) aylarında geldiği görülmüştür.

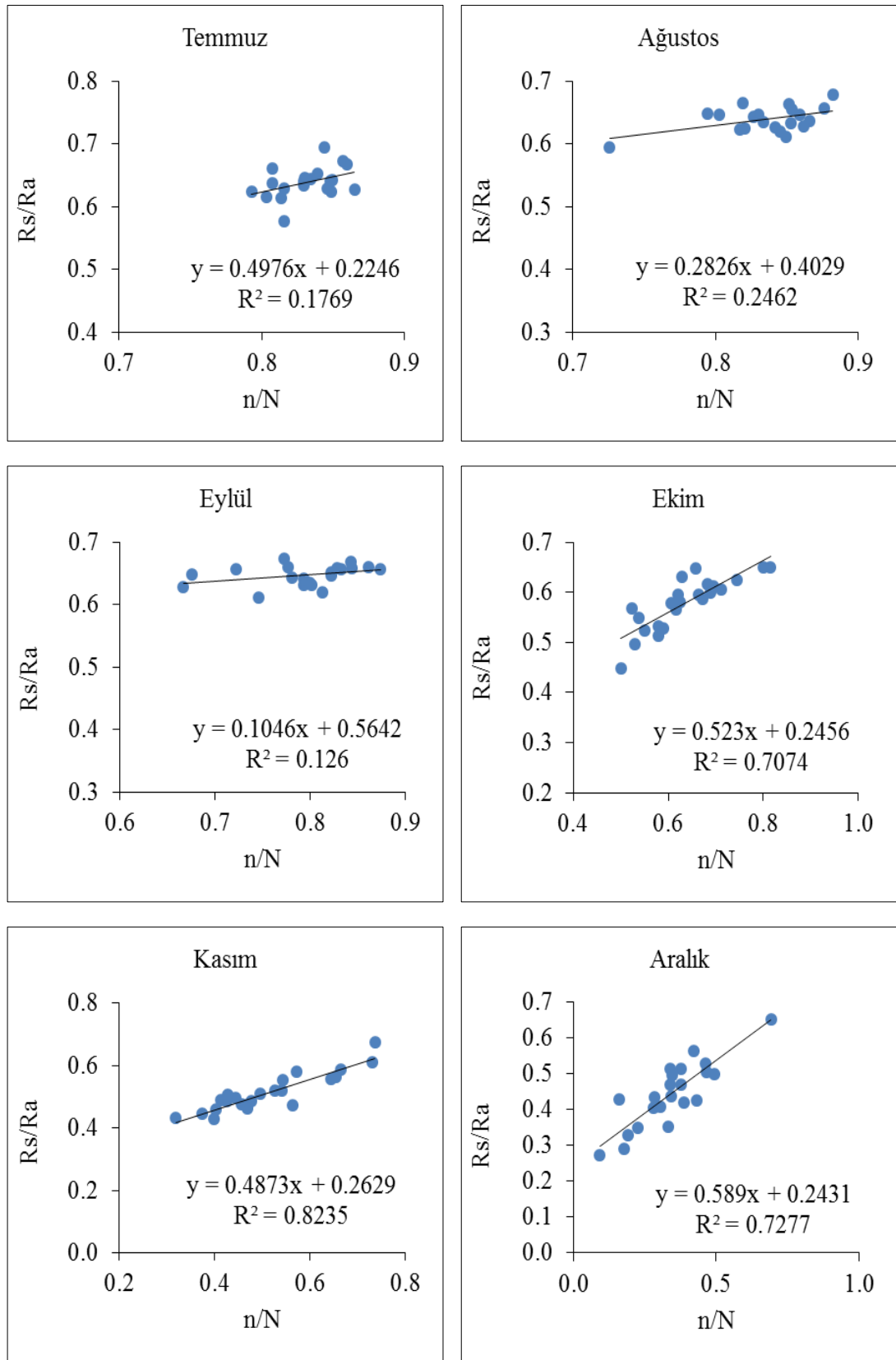
FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediği durumda önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı olan 0.75 oranına en yakın oranlar nisan ayında (0.7466) ve en uzak ise eylül ayında (0.6688) olduğu belirlenmiştir. Tunceli’de kapalı günlerde ise Ra’nın en fazla oranda ağustosta ($a_s = 0.4029$) ve şubatta ($a_s = 0.3834$) ve en az oranda ise haziranda ($a_s = 0.1374$) ve aralıkta ($a_s = 0.2431$) geldiği saptanmıştır. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına mart, mayıs, ekim, kasım ve aralık aylarında oldukça yakın sonuçlar saptanmıştır. Şekil 3.18’de Tunceli’de nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde en fazla oranda ocak ($b_s = 0.5892$) ve haziran ($b_s = 0.6443$) aylarında ve en az ise ağustos ($b_s = 0.2826$) ve eylül aylarında ($b_s = 0.1046$) doğrudan solar radyasyon gelmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına nisan, mayıs, temmuz ve ekim aylarında oldukça yakın katsayılar saptanmıştır.

Tablo 3.18. Tunceli ili için Angstrom katsayıları ve nispi güneşlenme (n/N) ile yer yüzeyine ulaşan nispi güneş radyasyonu (Rs/Ra) ilişkisi korelasyon katsayıları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
as	0.2849	0.3834	0.269	0.273	0.2493	0.1374
bs	0.5892	0.3272	0.559	0.4736	0.5021	0.6443
as+bs	0.8741	0.7106	0.828	0.7466	0.7514	0.7817
R	0.81	0.76	0.87	0.82	0.83	0.68
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
as	0.2246	0.4029	0.5642	0.2456	0.2629	0.2431
bs	0.4976	0.2826	0.1046	0.523	0.4873	0.589
as+bs	0.7222	0.6855	0.6688	0.7686	0.7502	0.8321
R	0.42	0.50	0.35	0.84	0.91	0.85



Şekil 3.18. Tunceli ili 1988-2010 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları



Şekil 3.18. Tunceli ili 1988-2010 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları (devamı)

FAO 56 tarafından önerilen Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{01} ile Tunceli’de kaydedilmiş güneş radyasyonu (R_s) verileri kullanılarak hesaplanan ET_{02} verileri arası farkın ortalama mutlak hatası 0.15 mm olarak belirlenmesine karşılık bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{03} ile ET_{02} arası farkın ortalama mutlak hatası 0.05 mm saptanmıştır. Dolayısıyla ET_{03} verileri ET_{02} verilerine daha yakın sonuçlar vermiştir.

Tunceli’ de referans evapotranspirasyon için Angstrom katsayıları ve 23 yıllık tam veri seti dikkate alınarak ET_0 değerleri hesaplanmış ve frekans analizi sonuçları hesaplanmış, Tablo 3.19’da ve frekans analizi eşitlikleri Tablo 3.20’de verilmiştir. %95, %50 ve %5 ihtimalle aylık referans evapotranspirasyon değişimi Şekil 3.19’da sunulmuştur.

Tablo 3.19.Aylara göre Tunceli ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
95	0.42	0.40	1.04	1.95	2.95	4.30	5.13	4.71	3.33	2.04	0.98	0.55	2.32
75	0.62	0.65	1.55	2.41	3.49	4.77	5.38	5.01	3.65	2.36	1.19	0.75	2.65
50	0.73	0.78	1.80	2.65	3.76	5.01	5.51	5.16	3.81	2.52	1.30	0.85	2.82
25	0.81	0.88	2.01	2.83	3.97	5.19	5.61	5.27	3.94	2.65	1.39	0.93	2.96
10	0.87	0.95	2.15	2.97	4.13	5.33	5.68	5.36	4.03	2.75	1.45	0.99	3.06
5	0.91	0.99	2.23	3.04	4.21	5.40	5.72	5.41	4.08	2.80	1.49	1.02	3.11

Tablo 3.20. Tunceli ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

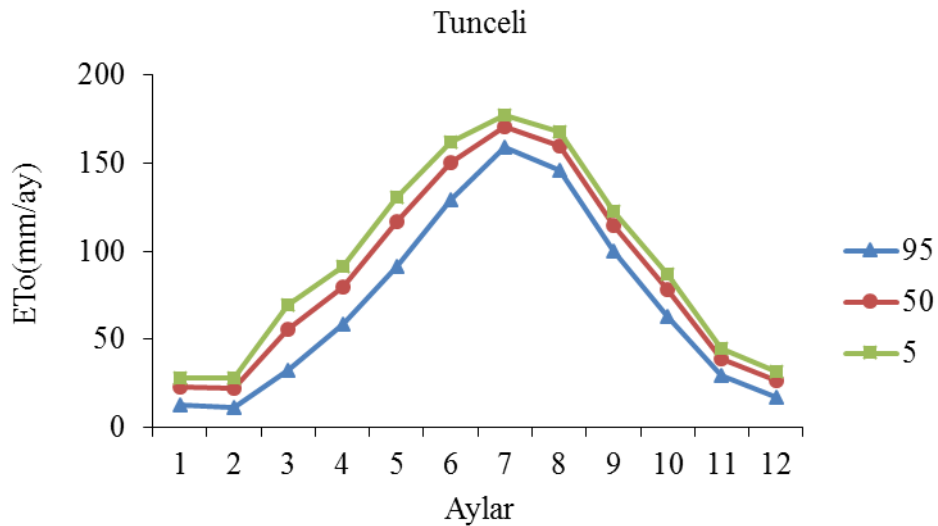
Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_0 = 0.2773 \times W + 0.8737$	7	$ET_0 = 0.3327 \times W + 5.6832$
2	$ET_0 = 0.3381 \times W + 0.9549$	8	$ET_0 = 0.3915 \times W + 5.361$
3	$ET_0 = 0.6721 \times W + 2.1543$	9	$ET_0 = 0.4256 \times W + 4.0318$
4	$ET_0 = 0.6186 \times W + 2.9683$	10	$ET_0 = 0.4277 \times W + 2.7462$
5	$ET_0 = 0.7115 \times W + 4.1283$	11	$ET_0 = 0.2876 \times W + 1.4534$
6	$ET_0 = 0.6242 \times W + 5.3313$	12	$ET_0 = 0.2659 \times W + 0.9877$

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

Tunceli’ de frekans analiz sonuçlarına göre %50 olasılıkta ocak ayı ET_0 değeri 0.73 mm/gün olarak meydana gelmektedir. Ocak ayında %95 ve %5 olasılıklarda ET_0 0.42 ve 0.91 mm/gün arasında varyasyon göstermiştir. Atmosferik buharlaştırma talebi (ET_0)

en yüksek temmuz ayında ortalama olarak 5.51 mm/gün olmasına karşılık %95 ve %5 olasılıklarda 5.13 ve 5.72 mm/gün arasında varyasyon göstermiştir.

Tunceli’de toplam yıllık atmosferik buharlaştırma talebi ET_o 1030.3 mm olarak hesaplanmıştır. TAGEM-DSİ (2017) tarafından Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Su Tüketim Rehberi’nden Tunceli için yıllık toplam ET_o 1046 mm ve Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre 1186.3 mm olarak tahmin edilmiştir. Bundan dolayı TAGEM-DSİ (2017) rehberine göre Tunceli için yıllık toplam ET_o 15.7 mm (%1.5) daha düşük bulunmuştur. Cropwat 8.0 programına göre ise 156 mm (%13.2) daha yüksek bulunmuştur.

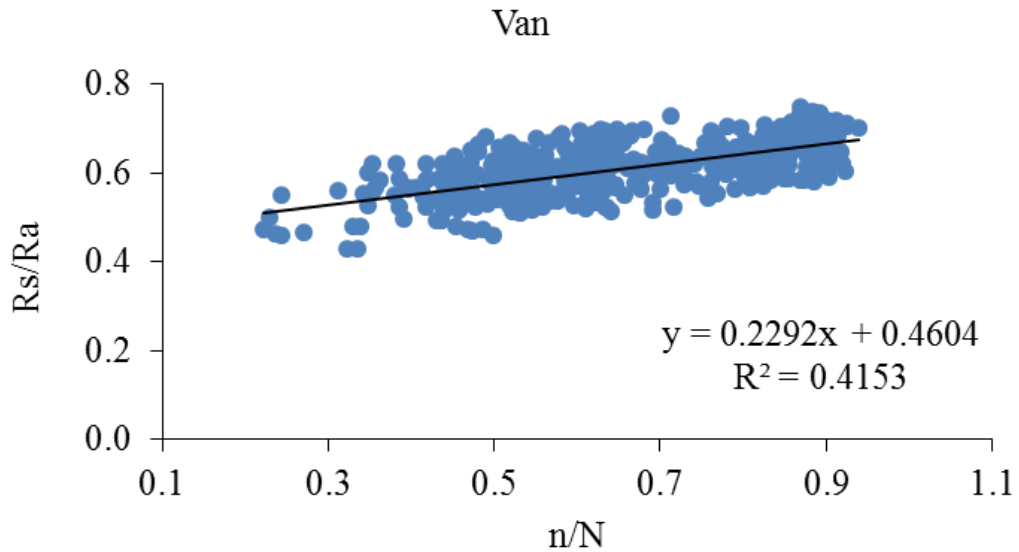


Şekil 3.19. Tunceli ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon sonuçları

%50 olasılıkta 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11 ve 12. aylarda sırasıyla 22.6, 21.8, 55.9, 79.4, 116.5, 150.2, 170.8, 159.9, 114.3, 78.2, 39.1 ve 26.3 mm referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir (Şekil 3.19). %50 olasılıkta en yüksek aylık toplam ET_o temmuz ayında ortalama 170.8 mm olup %95 ve %5 olasılıkla 159.1 ile 177.4 mm arasında varyasyon sergilerken en düşük şubat ayında ortalama 21.8 mm olup %95 ve %5 olasılıkla 11.1 ile 27.8 mm arasında varyasyon göstermiştir (Şekil 3.19).

3.1.8. Van

Van'da 1939 yılından itibaren meteorolojik gözlemler yapılmaktadır. Fakat referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında kullanılacak tam veri seti, 1969-2013 yılları arasında yer almaktadır. Van'da nispi güneşlenme (n/N) oranlarına karşılık yer yüzeyine ulaşan nispi güneş enerjisi oranları (R_s/R_a) 1969-2013 dönemi için Şekil 3.20'de ve aynı ilişkinin aylık bazda değişimleri ise Şekil 3.21'de gösterilmiştir. Şekil 3.20'de regresyon doğrusunun Y eksenini kesim noktası $a_s = 0.4604$ ve doğrunun eğimi $b_s = 0.2292$ olarak saptanmıştır. Yıllık bazda n/N ve R_s/R_a arasında kuvvetli pozitif bir ilişki ($R = 0.64$) bulunmaktadır (Cohen, 1988). Van iline açık bir günde ekstraterrestrial radyasyonun (R_a , atmosfer dış yüzeyine gelen radyasyon) 0.6896 'sı ulaşmaktadır. Kapalı günlerde R_a 'nın 0.4604 'ü ve bulutlu günlerde nispi güneşlenmeye bağlı olarak 0.2292 'si yer yüzeyine gelmektedir.



Şekil 3.20. Van ili 1969-2013 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları

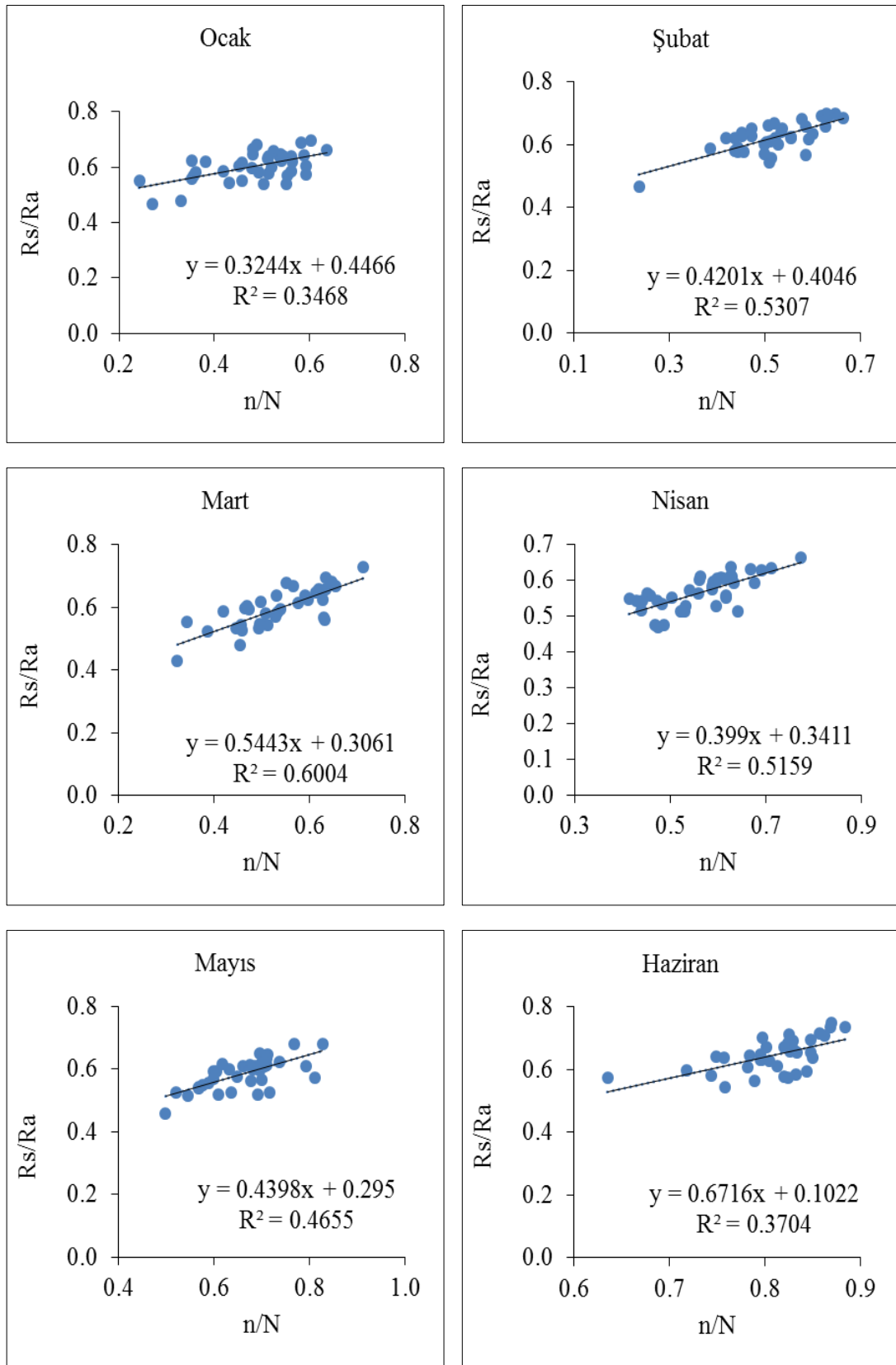
Tablo 3.21'de Van ili için aylık bazda Angstrom katsayıları ve (n/N) ile (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları verilmiştir. Aylara göre n/N ve R_s/R_a ilişkisi temmuz ayı için orta ve diğer aylar için kuvvetli bulunmuştur. Van'da açık bir günde R_a 'nın en fazla oranda şubat (0.8247) ve mart (0.8504) aylarında yer yüzeyine geldiği buna karşın en az oranda temmuz (0.6764) ve ağustos (0.6928) aylarında geldiği görülmüştür. FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediği durumda

önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı olan 0.75 oranına en yakın oranlar nisan ayında (0.7401) ve en uzak ise temmuz ayında (0.6764) olduğu belirlenmiştir.

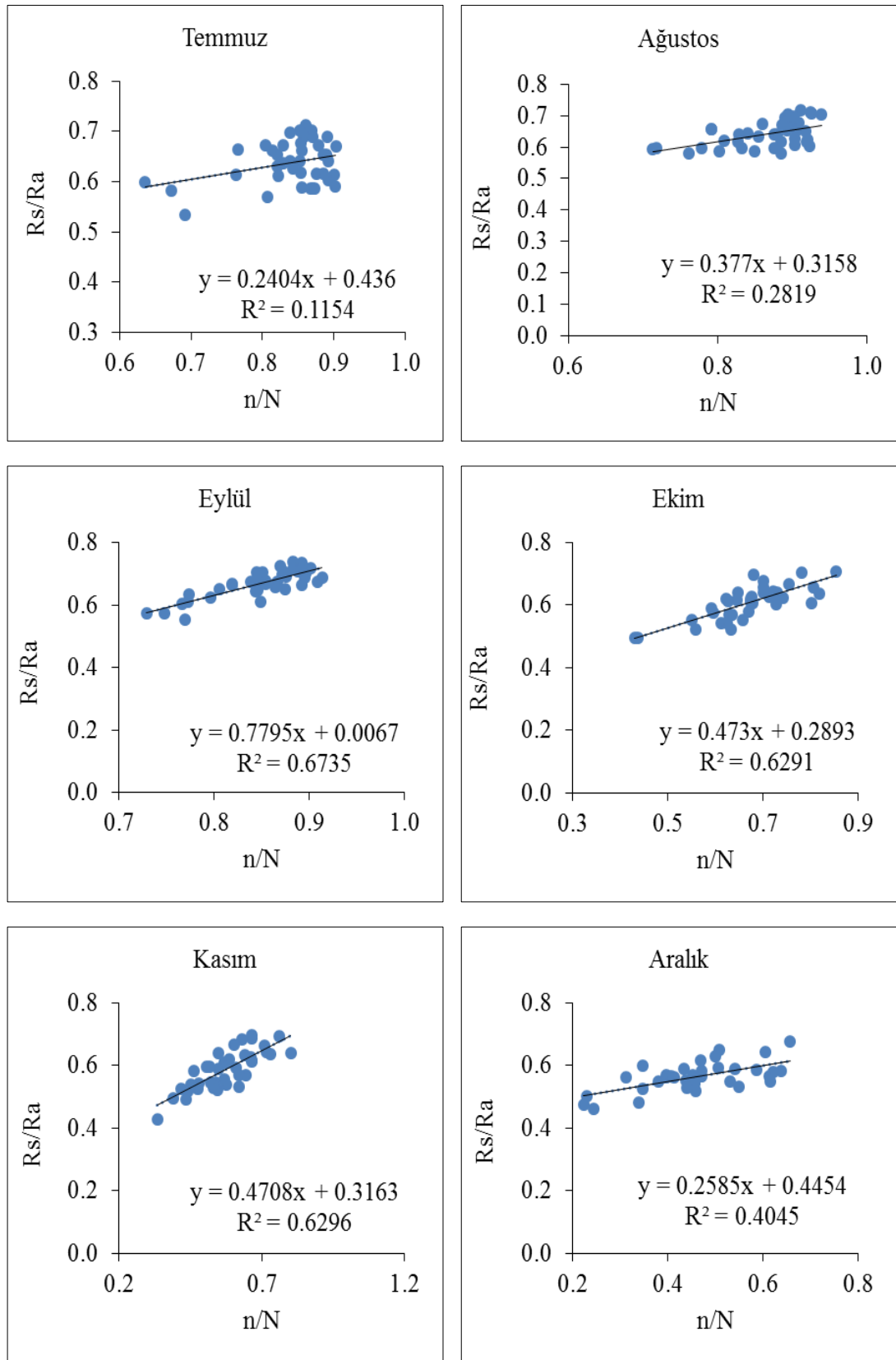
Van'da kapalı günlerde ise R_a 'nın en fazla oranda ocakta ($a_s = 0.4466$) ve aralıkta ($a_s = 0.4454$) ve en az oranda ise haziranda ($a_s = 0.1022$) ve eylülde ($a_s = 0.0067$) geldiği saptanmıştır. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına tüm aylar oldukça uzak sonuçlar saptanmıştır. Van'da nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde en fazla oranda haziran ($b_s = 0.6716$) ve eylül ($b_s = 0.7795$) aylarında ve en az ise aralık ($b_s = 0.2585$) ve temmuz aylarında ($b_s = 0.2404$) doğrudan solar radyasyon gelmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına ekim ve kasım aylarında oldukça yakın katsayılar saptanmıştır.

Tablo 3.21. Van 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
as	0.4466	0.4046	0.3061	0.3411	0.295	0.1022
bs	0.3244	0.4201	0.5443	0.399	0.4398	0.6716
as+bs	0.771	0.8247	0.8504	0.7401	0.7348	0.7738
R	0.59	0.73	0.77	0.72	0.68	0.61
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
as	0.436	0.3158	0.0067	0.2893	0.3163	0.4454
bs	0.2404	0.377	0.7795	0.473	0.4708	0.2585
as+bs	0.6764	0.6928	0.7862	0.7623	0.7871	0.7039
R	0.34	0.53	0.82	0.79	0.79	0.64



Şekil 3.21. Van ili 1969-2013 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları



Şekil 3.21. Van ili 1969-2013 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları (devamı)

FAO 56 tarafından önerilen Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{01} ile Van'da kaydedilmiş güneş radyasyonu (R_s) verileri kullanılarak hesaplanan ET_{02} verileri arası farkın ortalama mutlak hatası 0.16 mm olarak belirlenmesine karşılık bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{03} ile ET_{02} arası farkın ortalama mutlak hatası 0.08 mm saptanmıştır. Dolayısıyla ET_{03} verileri ET_{02} verilerine daha yakın sonuçlar vermiştir.

Frekans analizinde Van ili için belirlenen Angstrom katsayıları ve 1968-2014 yılları arasında 47 yıllık tam veri seti dikkate alınarak aylık ET_0 değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan veriler dikkate alınarak her ay için frekans analizi sonuçları Tablo 3.22'de ve frekans analizi eşitlikleri Tablo 3.23'te sunulmuştur. %95, %50 ve %5 ihtimalle aylık referans evapotranspirasyon değişimi Şekil 3.22'de gösterilmiştir

Tablo 3.22. Aylara göre Van ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
95	0.59	0.86	1.28	2.07	2.99	4.16	4.76	4.53	3.71	2.24	1.20	0.62	2.42
75	0.75	1.03	1.60	2.48	3.50	4.71	5.09	4.93	4.17	2.54	1.44	0.79	2.75
50	0.83	1.12	1.77	2.68	3.76	4.99	5.26	5.13	4.40	2.70	1.57	0.87	2.92
25	0.89	1.19	1.90	2.85	3.96	5.21	5.39	5.30	4.58	2.82	1.67	0.94	3.06
10	0.94	1.25	2.00	2.97	4.11	5.37	5.49	5.41	4.71	2.91	1.74	0.99	3.16
5	0.96	1.27	2.05	3.03	4.19	5.45	5.54	5.48	4.78	2.96	1.77	1.01	3.21

Tablo 3.23. Van ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

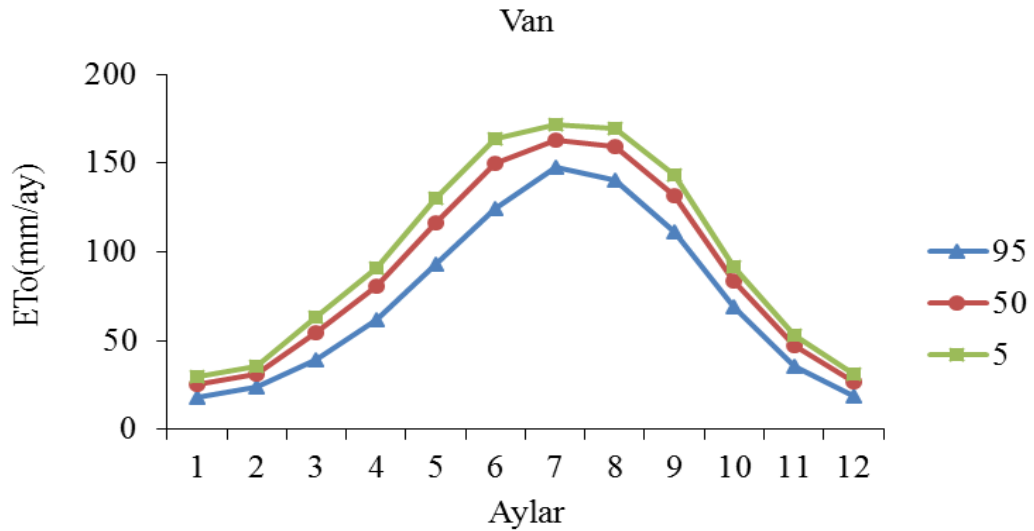
Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_0 = 0.2138 \times W + 0.9387$	7	$ET_0 = 0.4397 \times W + 5.49$
2	$ET_0 = 0.2336 \times W + 1.246$	8	$ET_0 = 0.5364 \times W + 5.4137$
3	$ET_0 = 0.4368 \times W + 1.9976$	9	$ET_0 = 0.6066 \times W + 4.7134$
4	$ET_0 = 0.5433 \times W + 2.9678$	10	$ET_0 = 0.4065 \times W + 2.91$
5	$ET_0 = 0.6778 \times W + 4.1143$	11	$ET_0 = 0.3278 \times W + 1.7374$
6	$ET_0 = 0.7329 \times W + 5.3694$	12	$ET_0 = 0.2237 \times W + 0.9891$

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

Frekans analizi sonuçlarına göre %50 olasılıkla ocak ayı ET_0 değeri 0.83 mm/gün olarak meydana gelmektedir. Ocak ayında %95 ve %5 olasılıkla ET_0 0.59 ve 0.96 mm/gün arasında varyasyon göstermiştir. Van' da en yüksek temmuz ayında ortalama

5.26 mm/gün olmasına karşın ET_o değeri %95 ve %5 olasılıkla 4.76 ve 5.54 mm/gün arasında varyasyon göstermiştir.

Van’ da ortalama olarak yıllık toplamda ET_o 1067.1 mm olarak bulunmuştur. TAGEM-DSİ (2017) tarafından Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Su Tüketim Rehberi adlı çalışmada Van için yıllık toplam ET_o 1091 mm verilirken, Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre ise 967.4 mm olarak tahmin edilmiştir. Dolayısıyla TAGEM-DSİ (2017) verilerine göre yıllık ET_o 23.7 mm (%2.2) daha düşük bulunmuştur. Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0’a göre 99.7 mm (%10.3) daha yüksek bulunmuştur. Bu fark, Angstrom katsayıları kısmında da gösterildiği gibi a_s+b_s toplamının (0.6896) FAO 56 tarafından önerilen 0.75 oranından düşük olmasıyla açıklanabilir. Bu farka veri seti aralığında ve hesaplama işlemlerindeki farklılık da bu sonuca etki etmiş olabilir.

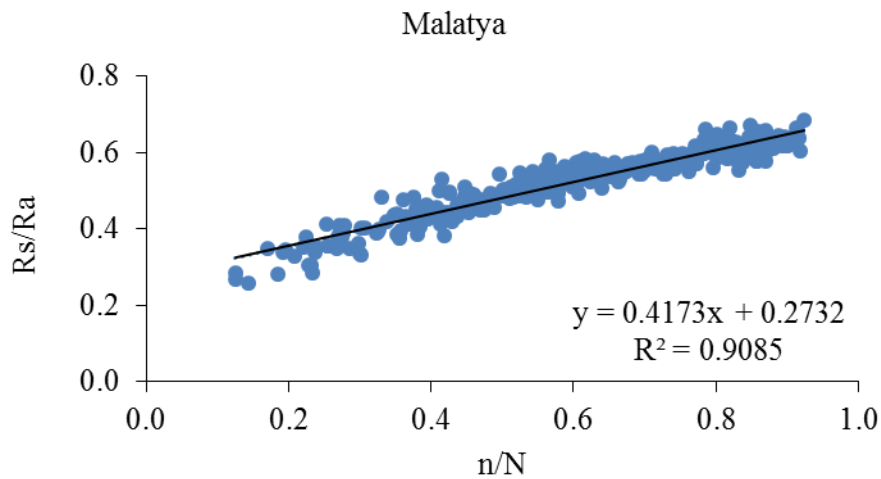


Şekil 3.22. Van ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

Referans evapotranspirasyon 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12 aylarda %50 olasılıkta sırasıyla 25.6, 31.5, 54.9, 80.5, 116.6, 149.6, 163.1, 159.2, 131.9, 83.6, 47 ve 27.1 mm gelmektedir (Şekil 3.22). %50 olasılıkta en yüksek aylık toplam ET_o temmuz ayında ortalama 163.1 mm olurken %95 ve %5 olasılıkla 147.7 ile 171.8 mm arasında değişim sergilerken en düşük ocak ayında ortalama 25.6 mm olup %95 ve %5 olasılıkla 18.2 ile 29.9 mm arasında varyasyon göstermiştir (Şekil 3.22).

3.1.9. Malatya

Malatya’da 1929 yılından itibaren meteorolojik gözlemler yapılmaktadır. Fakat referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında kullanılacak tam veri seti, 1968-2013 yılları arasında yer almaktadır. Malatya’da nispi güneşlenme (n/N) oranlarına karşılık yer yüzeyine ulaşan nispi güneş enerjisi oranları (R_s/R_a) 1968-2013 dönemi için Şekil 3.23’te ve aynı ilişkinin aylık bazda değişimleri ise Şekil 3.24’te gösterilmiştir. Şekil 3.23’te regresyon doğrusunun Y eksenini kesim noktası $a_s = 0.2732$ ve doğrunun eğimi $b_s = 0.4173$ olarak saptanmıştır. Yıllık bazda n/N ve R_s/R_a arasında kuvvetli pozitif bir ilişki ($R = 0.95$) bulunmaktadır (Cohen, 1988). Malatya iline açık bir günde eksterrestrial radyasyonun (R_a , atmosfer dış yüzeyine gelen radyasyon) 0.6905 ’i ulaşmaktadır. Kapalı günlerde R_a ’nın 0.2732 ’si ve bulutlu günlerde nispi güneşlenmeye bağlı olarak 0.4173 ’ü yer yüzeyine gelmektedir.



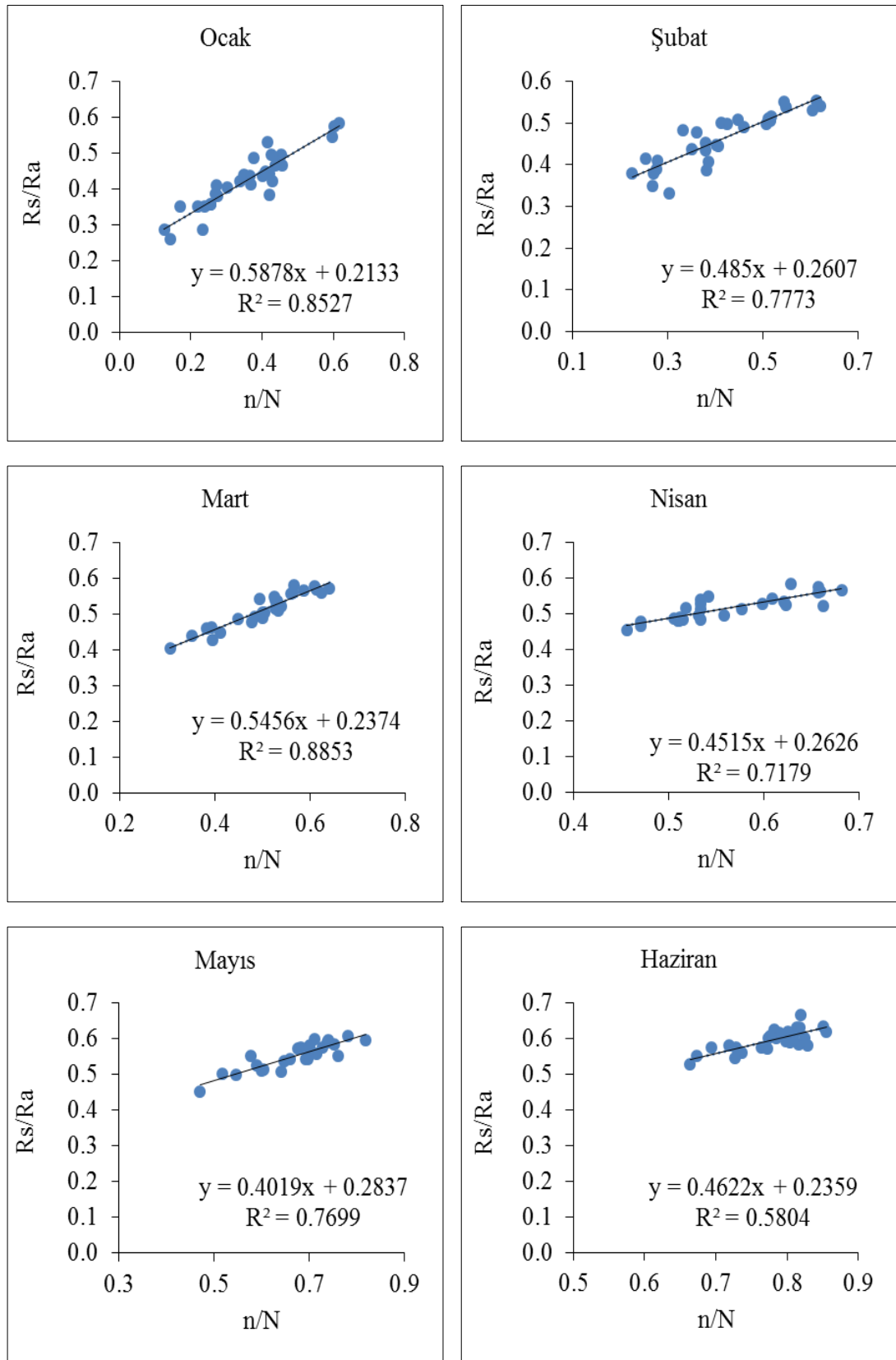
Şekil 3.23. Malatya ili 1968-2013 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları

Tablo 3.24’te Malatya ili için aylık bazda Angstrom katsayıları ve (n/N) ile (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları verilmiştir. Aylara göre n/N ve R_s/R_a ilişkisi temmuz ayı için orta ve diğer aylar için kuvvetli bulunmuştur. Malatya’da açık bir günde R_a ’nın en fazla oranda ocak (0.8011) ve mart (0.783) aylarında yer yüzeyine geldiği buna karşın en az oranda temmuz (0.6666) ve ağustos (0.6836) aylarında geldiği görülmüştür. FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediği durumda önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı olan 0.75 oranına en yakın oranlar şubat ayında (0.7457) ve en uzak ise temmuz ayında (0.6666) olduğu belirlenmiştir.

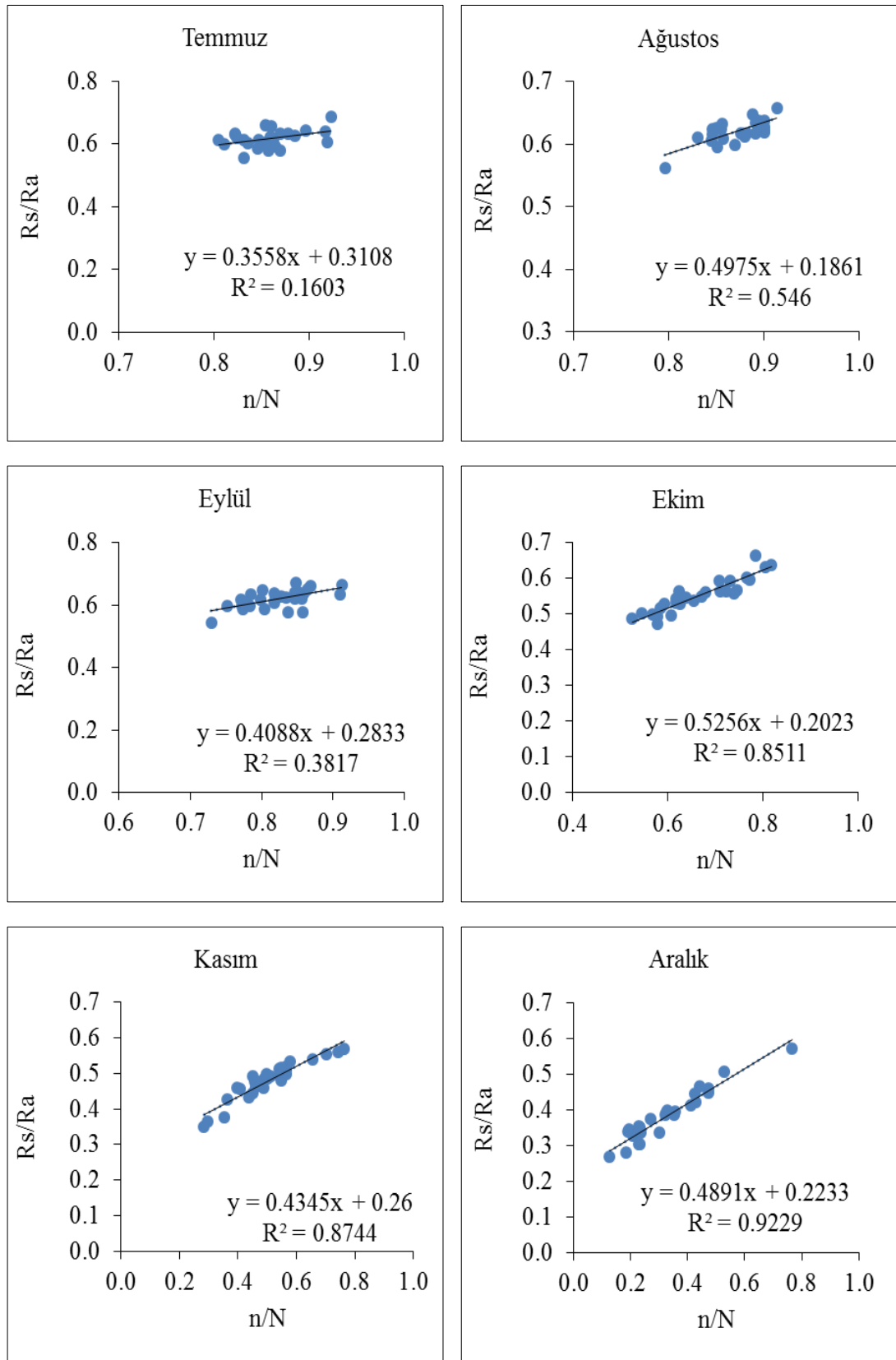
Malatya’da kapalı günlerde ise R_a ’nın en fazla oranda temmuzda ($a_s = 0.3108$) ve eylülde ($a_s = 0.2833$) ve en az oranda ise ağustosta ($a_s = 0.1861$) ve ekimde ($a_s = 0.2023$) geldiği saptanmıştır. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına şubat, mart nisan, haziran ve kasım aylarında oldukça yakın sonuçlar saptanmıştır. Şekil 3.24’te Malatya’da nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde en fazla oranda ocak ($b_s = 0.5878$) ve mart ($b_s = 0.5456$) aylarında ve en az ise mayıs ($b_s = 0.4019$) ve temmuz aylarında ($b_s = 0.3558$) doğrudan solar radyasyon gelmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına şubat, ağustos, ekim ve aralık aylarında oldukça yakın katsayılar saptanmıştır.

Tablo 3.24. Malatya 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
as	0.2133	0.2607	0.2374	0.2626	0.2837	0.2359
bs	0.5878	0.485	0.5456	0.4515	0.4019	0.4622
as+bs	0.8011	0.7457	0.783	0.7141	0.6856	0.6981
R	0.92	0.88	0.94	0.85	0.88	0.76
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
as	0.3108	0.1861	0.2833	0.2023	0.26	0.2233
bs	0.3558	0.4975	0.4088	0.5256	0.4345	0.4891
as+bs	0.6666	0.6836	0.6921	0.7279	0.6945	0.7124
R	0.40	0.74	0.62	0.92	0.94	0.96



Şekil 3.24. Malatya ili 1968-2013 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları



Şekil 3.25. Malatya ili 1968-2013 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları (devamı)

FAO 56 tarafından önerilen Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{01} ile Malatya’da kaydedilmiş güneş radyasyonu (R_s) verileri kullanılarak hesaplanan ET_{02} verileri arası farkın ortalama mutlak hatası 0.14 mm olarak belirlenmesine karşılık bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{03} ile ET_{02} arası farkın ortalama mutlak hatası 0.10 mm saptanmıştır. Dolayısıyla ET_{03} verileri ET_{02} verilerine daha yakın sonuçlar vermiştir.

Malatya’da evapotranspirasyon hesaplamaları için 47 yıllık tam veri seti yer almaktadır. Şekil 3.24’te gösterilen bölgesel Angstrom katsayıları ve 47 yıllık tam veri seti kullanılarak aylık ET_0 hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplanan veriler dikkate alınarak her ay için frekans analizi sonuçları Tablo 3.25’te ve frekans analizi eşitlikleri Tablo 3.26’da sunulmuştur. %95, %50 ve %5 ihtimalle aylık referans evapotranspirasyon değişimi Şekil 3.25’te gösterilmiştir.

Tablo 3.25. Aylara göre Malatya ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
95	0.39	0.45	1.04	1.87	2.82	3.94	4.35	4.03	3.00	1.80	0.80	0.48	2.08
75	0.58	0.73	1.52	2.50	3.47	4.70	5.18	4.86	3.75	2.30	1.09	0.63	2.61
50	0.68	0.88	1.76	2.82	3.80	5.09	5.61	5.29	4.12	2.55	1.23	0.70	2.88
25	0.75	1.00	1.95	3.07	4.07	5.40	5.94	5.62	4.42	2.75	1.34	0.76	3.09
10	0.81	1.08	2.09	3.26	4.26	5.62	6.19	5.87	4.64	2.90	1.43	0.81	3.25
5	0.84	1.12	2.17	3.35	4.36	5.74	6.31	5.99	4.75	2.98	1.47	0.83	3.33

Tablo 3.26. Malatya ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

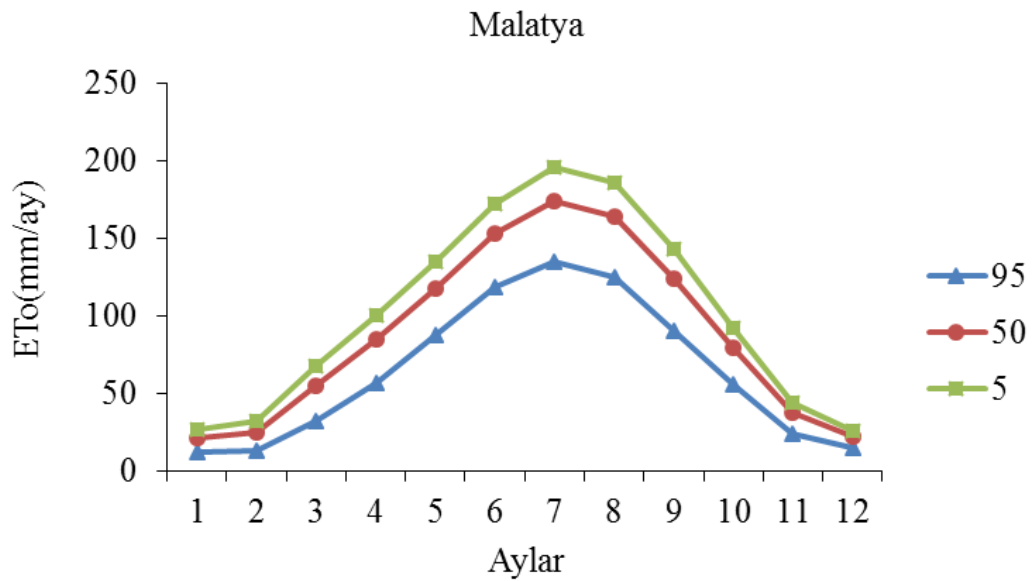
Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_0 = 0.2553 \times W + 0.8099$	7	$ET_0 = 1.1127 \times W + 6.1866$
2	$ET_0 = 0.3817 \times W + 1.0796$	8	$ET_0 = 1.112 \times W + 5.867$
3	$ET_0 = 0.6363 \times W + 2.094$	9	$ET_0 = 0.9898 \times W + 4.6399$
4	$ET_0 = 0.8391 \times W + 3.2567$	10	$ET_0 = 0.6662 \times W + 2.9015$
5	$ET_0 = 0.8727 \times W + 4.2579$	11	$ET_0 = 0.3765 \times W + 1.4268$
6	$ET_0 = 1.0192 \times W + 5.6239$	12	$ET_0 = 0.1962 \times W + 0.8051$

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

Malatya’da frekans analiz sonuçlarına göre %50 olasılıkla ocak ayı ET_o değeri 0.68 mm/gün olarak hesaplanmıştır. Ocak ayında %95 ve %5 olasılıkla ET_o 0.39 ve 0.84 mm/gün arasında varyasyon göstermiştir. En yüksek atmosferik buharlaştırma talebi (ET_o) temmuz ayında ortalama 5.61 mm/gün olmasına karşın %95 ve %5 olasılıklarda 4.35 ve 6.31 mm/gün değerleri arasında değişim göstermiştir.

Malatya’da toplam yıllık ET_o 1050.6 mm olarak hesaplanmıştır. TAGEM-DSİ (2017) tarafından Türkiye’de sulanan Bitkilerin Su Tüketim Rehberi adlı çalışmadan Malatya ili için yıllık toplam ET_o 1183 mm verilirken, Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre 1098.7 mm olarak tahmin edilmiştir.

Bundan dolayı TAGEM-DSİ (2017) rehberine göre yıllık toplam ET_o 132.4 mm (%11.2) ve Cropwat 8.0 programına göre 48.1 mm (%4.4) daha düşük bulunmuştur.

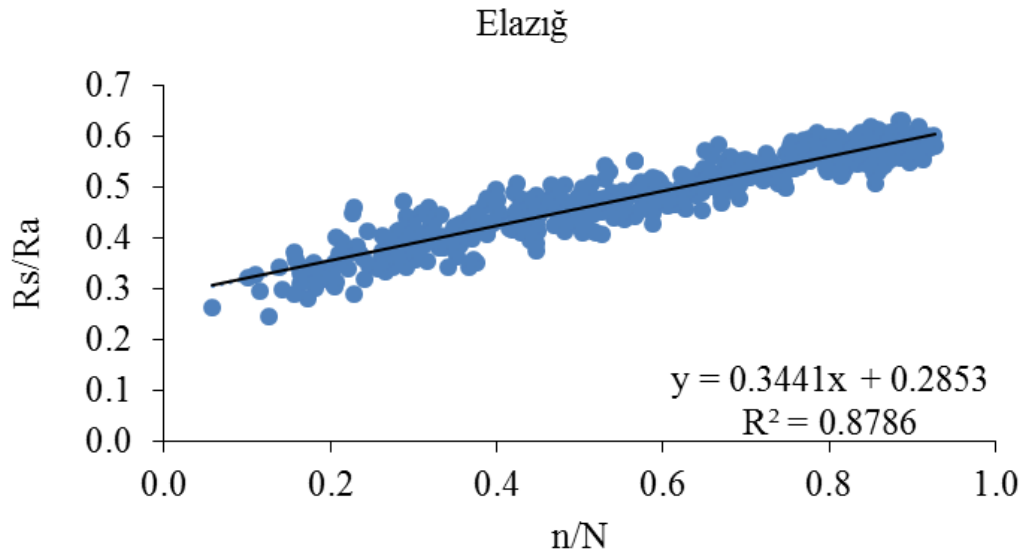


Şekil 3.25. Malatya ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

%50 olasılıkla 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda sırasıyla 21, 24.7, 54.6, 84.6, 117.9, 152.8, 173.8, 163.9, 123.7, 79.2, 36.9 ve 21.8 mm referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir. Malatya’da en yüksek aylık toplam ET_o temmuz ayında ortalama 173.8 mm olurken %95 ve %5 olasılıkla 134.8 ile 195.7 mm arasında değişim göstermektedir. Buna karşılık en düşük ocak ayında ortalama 21 mm olup %95 ve %5 olasılıkla 12 ile 26 mm arasında değişim göstermiştir (Şekil 3.25).

3.1.10. Elâzığ

Elâzığ'da 1938 yılından itibaren meteorolojik gözlemler yapılmaktadır. Fakat referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında kullanılacak tam veri seti, 1968-2007 yılları arasında yer almaktadır. Elâzığ'da nispi güneşlenme (n/N) oranlarına karşılık yer yüzeyine ulaşan nispi güneş enerjisi oranları (R_s/R_a) 1968-2007 dönemi için Şekil 3.26'da ve aynı ilişkinin aylık bazda değişimleri ise Şekil 3.27'de gösterilmiştir. Şekil 3.26'da regresyon doğrusunun Y eksenini kesim noktası $a_s = 0.2853$ ve doğrunun eğimi $b_s = 0.3441$ olarak saptanmıştır. Yıllık bazda n/N ve R_s/R_a arasında kuvvetli pozitif bir ilişki ($R = 0.94$) bulunmaktadır (Cohen, 1988). Elâzığ iline açık bir günde ekstrasferrestrial radyasyonun (R_a , atmosfer dış yüzeyine gelen radyasyon) 0.6294 'ü ulaşmaktadır. Kapalı günlerde R_a 'ın 0.2853 'ü ve bulutlu günlerde nispi güneşlenmeye bağlı olarak 0.3441 'i yer yüzeyine gelmektedir.



Şekil 3.26. Elâzığ ili 1968-2007 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları

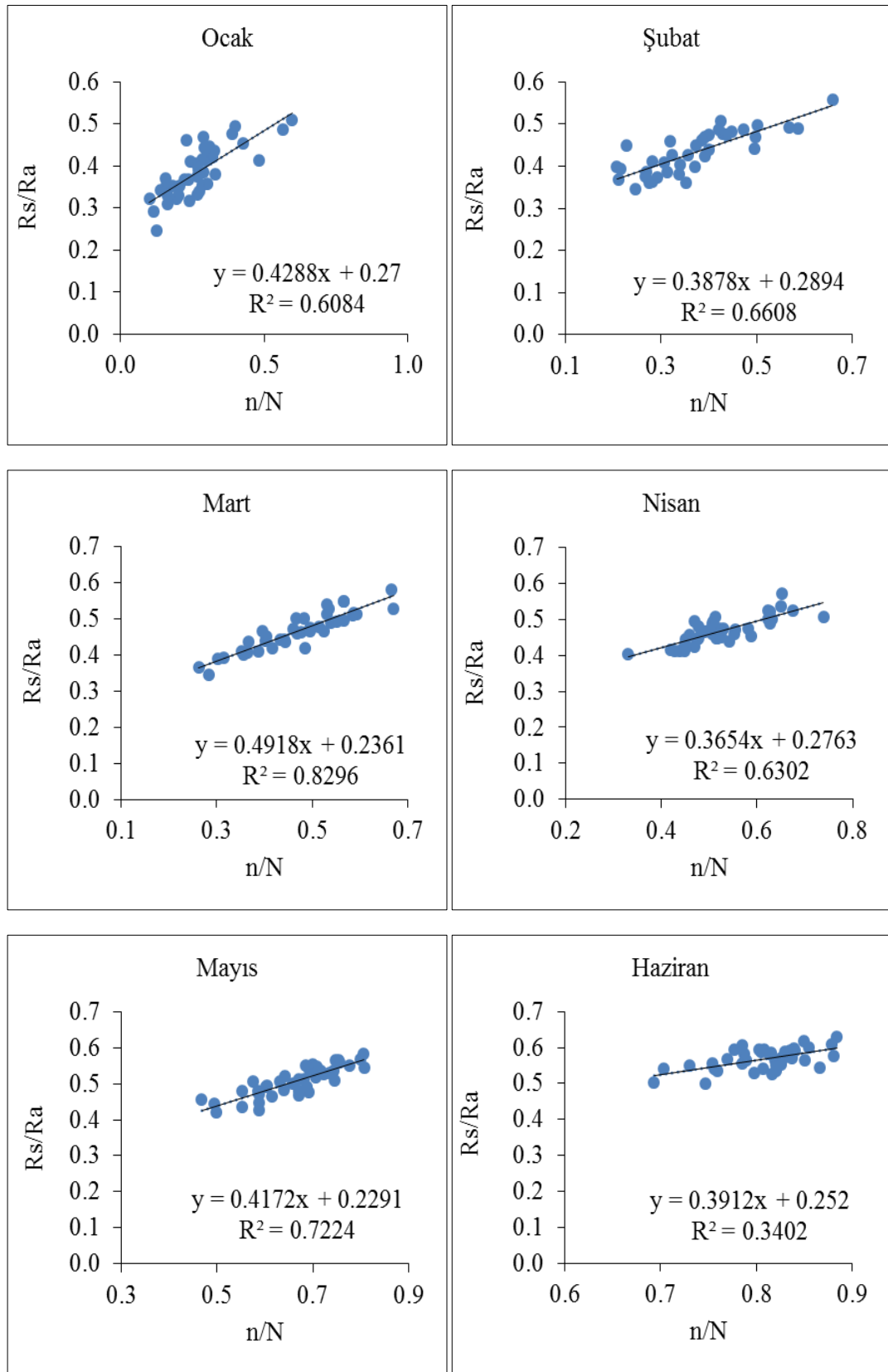
Tablo 3.27'de Elâzığ ili için aylık bazda Angstrom katsayıları ve (n/N) ile (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları verilmiştir. Aylara göre n/N ve R_s/R_a ilişkisi temmuz ayı için orta ve diğer aylar için kuvvetli bulunmuştur. Elâzığ'da açık bir günde R_a 'nın en fazla oranda mart (0.7279) ve ocak (0.6988) aylarında yer yüzeyine geldiği buna karşın en az oranda temmuz (0.6202) ve ağustos (0.6124) aylarında geldiği görülmüştür. FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediği durumda

önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı olan 0.75 oranına en yakın oranlar mart ayında (0.7279) ve en uzak ise ağustos ayında (0.6124) olduğu belirlenmiştir.

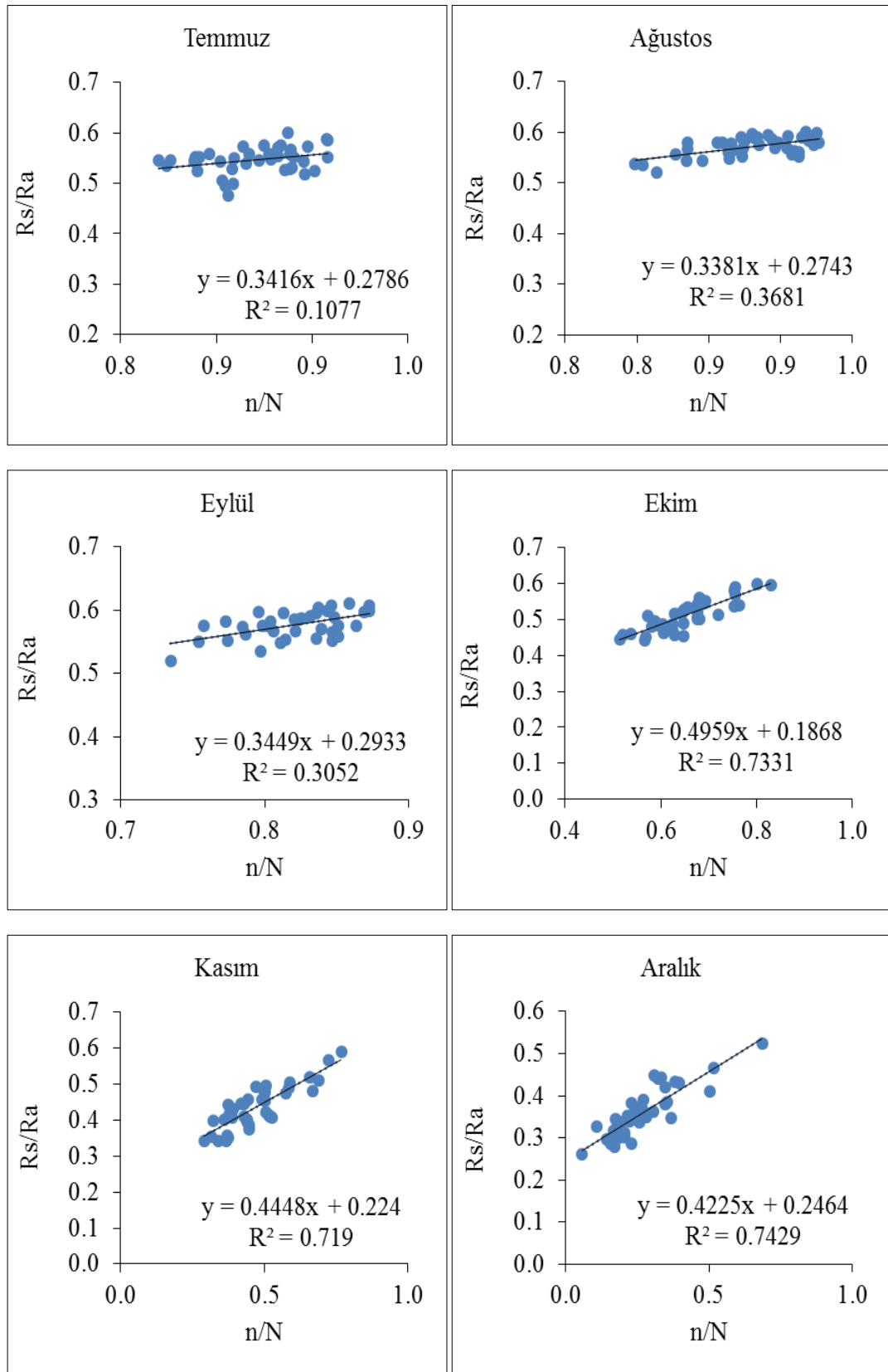
Elâzığ'da kapalı günlerde ise R_a 'nın en fazla oranda eylülde ($a_s = 0.2933$) ve şubatta ($a_s = 0.2894$) ve en az oranda ise ekimde ($a_s = 0.1868$) ve kasımda ($a_s = 0.224$) geldiği saptanmıştır. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına ocak, mart, haziran ve aralık aylarında oldukça yakın sonuçlar saptanmıştır. Elâzığ'da nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde en fazla oranda mart ($b_s = 0.4918$) ve ekim ($b_s = 0.4959$) aylarında ve en az ise ağustos ($b_s = 0.3381$) ve temmuz aylarında ($b_s = 0.3416$) doğrudan solar radyasyon gelmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına ekim ayında oldukça yakın katsayı saptanmıştır.

Tablo 3.27. Elâzığ 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
as	0.27	0.2894	0.2361	0.2763	0.2291	0.252
bs	0.4288	0.3878	0.4918	0.3654	0.4172	0.3912
as+bs	0.6988	0.6772	0.7279	0.6417	0.6463	0.6432
R	0.78	0.81	0.91	0.79	0.85	0.58
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
as	0.2786	0.2743	0.2933	0.1868	0.224	0.2464
bs	0.3416	0.3381	0.3449	0.4959	0.4448	0.4225
as+bs	0.6202	0.6124	0.6382	0.6827	0.6688	0.6689
R	0.33	0.61	0.55	0.86	0.85	0.86



Şekil 3.27. Elâzığ ili 1968-2007 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları



Şekil 3.27. Elâzığ ili 1968-2007 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları (devamı)

FAO 56 tarafından önerilen Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{01} ile Elâzığ'da kaydedilmiş güneş radyasyonu (R_s) verileri kullanılarak hesaplanan ET_{02} verileri arası farkın ortalama mutlak hatası 0.58 mm olarak belirlenmesine karşılık bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{03} ile ET_{02} arası farkın ortalama mutlak hatası 0.03 mm saptanmıştır. Dolayısıyla ET_{03} verileri ET_{02} verilerine daha yakın sonuçlar vermiştir.

Referans evapotranspirasyon için 1968-2007 yılları arasında 43 yıllık veri seti frekans analizinde kullanılmıştır. 1968-2007 yılları arasındaki 43 yıllık veri seti ve Elâzığ ili için bulunan Angstrom katsayıları da dikkate alınarak ET_0 hesaplanmıştır. Elde edilen veriler dikkate alınarak her ay için frekans analizi sonuçları Tablo 3.28'de ve frekans analizi eşitlikleri Tablo 3.29'da sunulmuştur. %95, %50 ve %5 ihtimalle aylık referans evapotranspirasyon varyasyonu Şekil 3.28'de gösterilmiştir.

Tablo 3.28. Aylara göre Elâzığ ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları

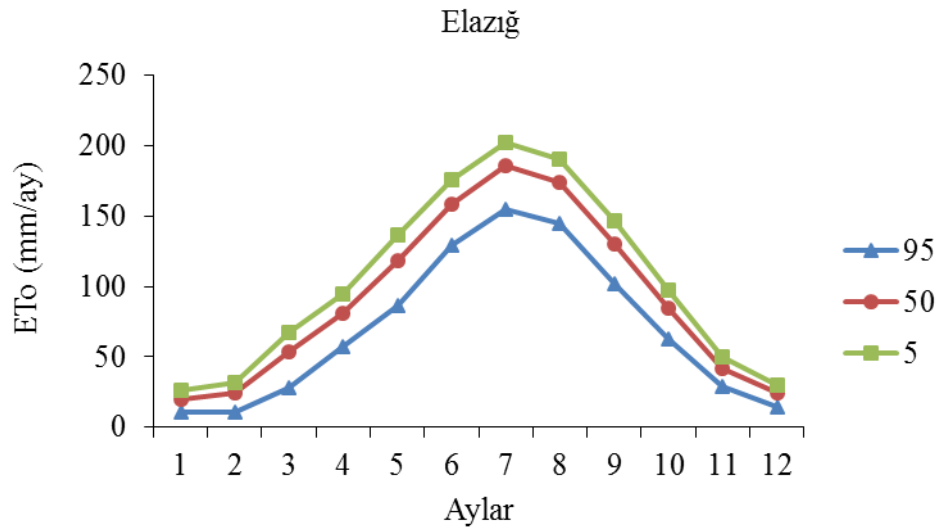
P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
95	0.34	0.38	0.92	1.89	2.77	4.30	5.00	4.67	3.39	2.03	0.95	0.46	2.26
75	0.55	0.70	1.45	2.42	3.47	4.95	5.65	5.29	4.02	2.50	1.25	0.68	2.75
50	0.66	0.87	1.73	2.69	3.82	5.29	5.98	5.61	4.34	2.74	1.41	0.79	2.99
25	0.74	1.00	1.94	2.91	4.10	5.55	6.24	5.85	4.60	2.92	1.53	0.88	3.19
10	0.80	1.10	2.10	3.06	4.31	5.74	6.43	6.04	4.78	3.06	1.61	0.95	3.33
5	0.84	1.15	2.18	3.14	4.41	5.84	6.53	6.13	4.88	3.13	1.66	0.98	3.41

Tablo 3.29. Elâzığ ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_0 = 0.2821 \times W + 0.8037$	7	$ET_0 = 0.8646 \times W + 6.4304$
2	$ET_0 = 0.4373 \times W + 1.0976$	8	$ET_0 = 0.8278 \times W + 6.0372$
3	$ET_0 = 0.7116 \times W + 2.0975$	9	$ET_0 = 0.8429 \times W + 4.7842$
4	$ET_0 = 0.7064 \times W + 3.0617$	10	$ET_0 = 0.6254 \times W + 3.0616$
5	$ET_0 = 0.927 \times W + 4.3065$	11	$ET_0 = 0.3992 \times W + 1.6132$
6	$ET_0 = 0.8744 \times W + 5.742$	12	$ET_0 = 0.2933 \times W + 0.9451$

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

Frekans analiz sonuçlarına göre %50 olasılıkla ocak ayı ET_0 değeri 0.66 mm/gün olup %95 ve %5 olasılıkta ET_0 0.34 ve 0.85 mm/gün arasında varyasyon göstermiştir. En yüksek ET_0 temmuz ayında ortalama olarak 5.98 mm/gün saptanmıştır. Haziran ayında %95 ve %5 olasılıklarda ET_0 5 ve 6.53 mm/gün arasında varyasyon göstermiştir. Yıllık toplamda Elâzığ'da atmosferin buharlaştırma talebi ET_0 1092.5 mm olarak hesaplanmıştır. TAGEM-DSİ (2017) tarafından Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Su Tüketim Rehberi 'nde Elâzığ için yıllık toplam ET_0 1216 mm verilmiştir. Climwat 2.0 veri seti ve Cropwat 8.0 programına göre ise 1186.3 mm olarak tahmin edilmektedir. Bundan dolayı TAGEM-DSİ (2017) rehberinden 123.5 mm (%10.2) ve Cropwat 8.0 tahmininden 93.8 mm (%7.9) daha düşük bulunmuştur.

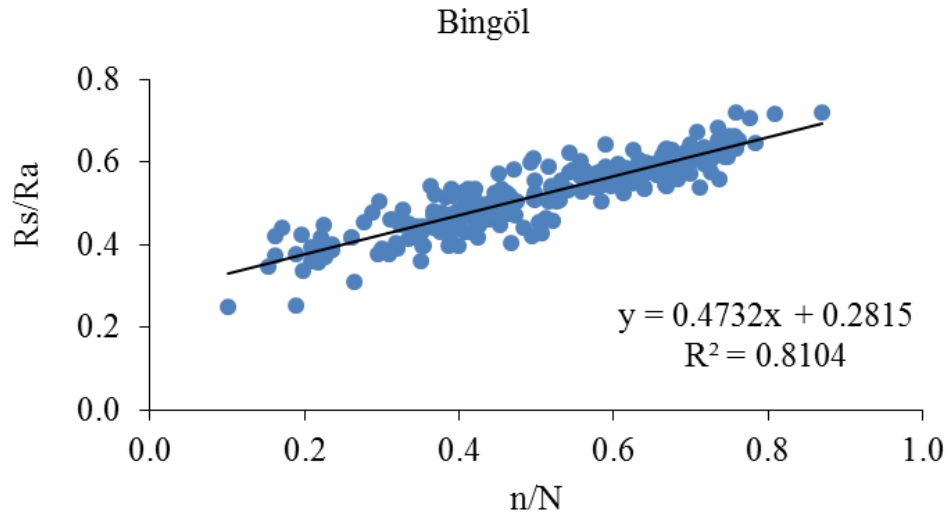


Şekil 3.28. Elâzığ ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

Elâzığ'da 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda %50 olasılıkta sırasıyla 20.4, 24.3, 53.5, 80.8, 118.5, 158.6, 185.4, 173.8, 130.3, 84.8, 42.2 ve 24.6 mm referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir (Şekil 3.28). Elâzığ' da en yüksek aylık toplam ET_0 temmuz ayında ortalama 185.4 mm referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir. %95 ve %5 olasılıkla 155.1 ile 202.4 mm arasında varyasyon gösterirken en düşük ocak ayında ortalama 20.4 mm olurken %95 ve %5 olasılıkla 10.5 ile 25.9 mm arasında varyasyon göstermiştir (Şekil 3.28).

3.1.11. Bingöl

Bingöl’de 1961 yılından itibaren meteorolojik gözlemler yapılmaktadır. Fakat referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında kullanılacak tam veri seti, 1987-2010 yılları arasında yer almaktadır. Bingöl’de nispi güneşlenme (n/N) oranlarına karşılık yer yüzeyine ulaşan nispi güneş enerjisi oranları (R_s/R_a) 1987-2010 dönemi için Şekil 3.29’da ve aynı ilişkinin aylık bazda değişimleri ise Şekil 3.30’da gösterilmiştir. Şekil 3.29’da regresyon doğrusunun Y eksenini kesim noktası $a_s = 0.2815$ ve doğrunun eğimi $b_s = 0.4732$ olarak saptanmıştır. Yıllık bazda n/N ve R_s/R_a arasında kuvvetli pozitif bir ilişki ($R = 0.90$) bulunmaktadır (Cohen, 1988). Bingöl iline açık bir günde ekstraterrestrial radyasyonun (R_a , atmosfer dış yüzeyine gelen radyasyon) 0.7547 ’si ulaşmaktadır. Kapalı günlerde R_a ’nın 0.2815 ’i ve bulutlu günlerde nispi güneşlenmeye bağlı olarak 0.4732 ’si yer yüzeyine gelmektedir.



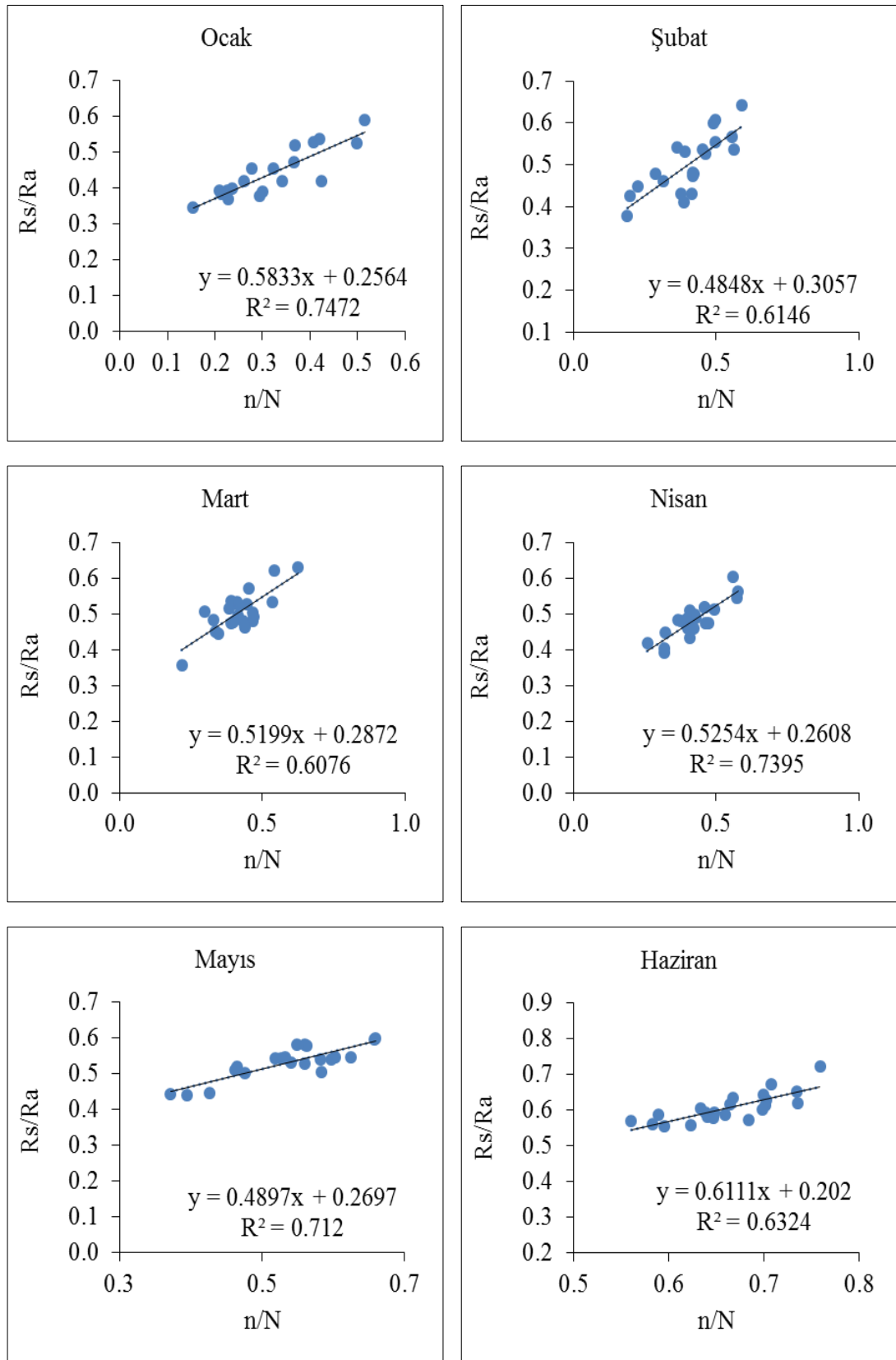
Şekil 3.29. Bingöl ili 1987-2010 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları

Tablo 3.30’da Bingöl ili için aylık bazda Angstrom katsayıları ve (n/N) ile (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları verilmiştir. Aylara göre n/N ve R_s/R_a ilişkisi tüm aylar için kuvvetli bulunmuştur. Bingöl’de açık bir günde R_a ’nın en fazla oranda ekim (0.8424) ve ocak (0.8397) aylarında yer yüzeyine geldiği buna karşın en az oranda kasım (0.7505) ve eylül (0.7581) aylarında geldiği görülmüştür. FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediği durumda önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı olan 0.75 oranına en yakın oran kasım ayında (0.7505)

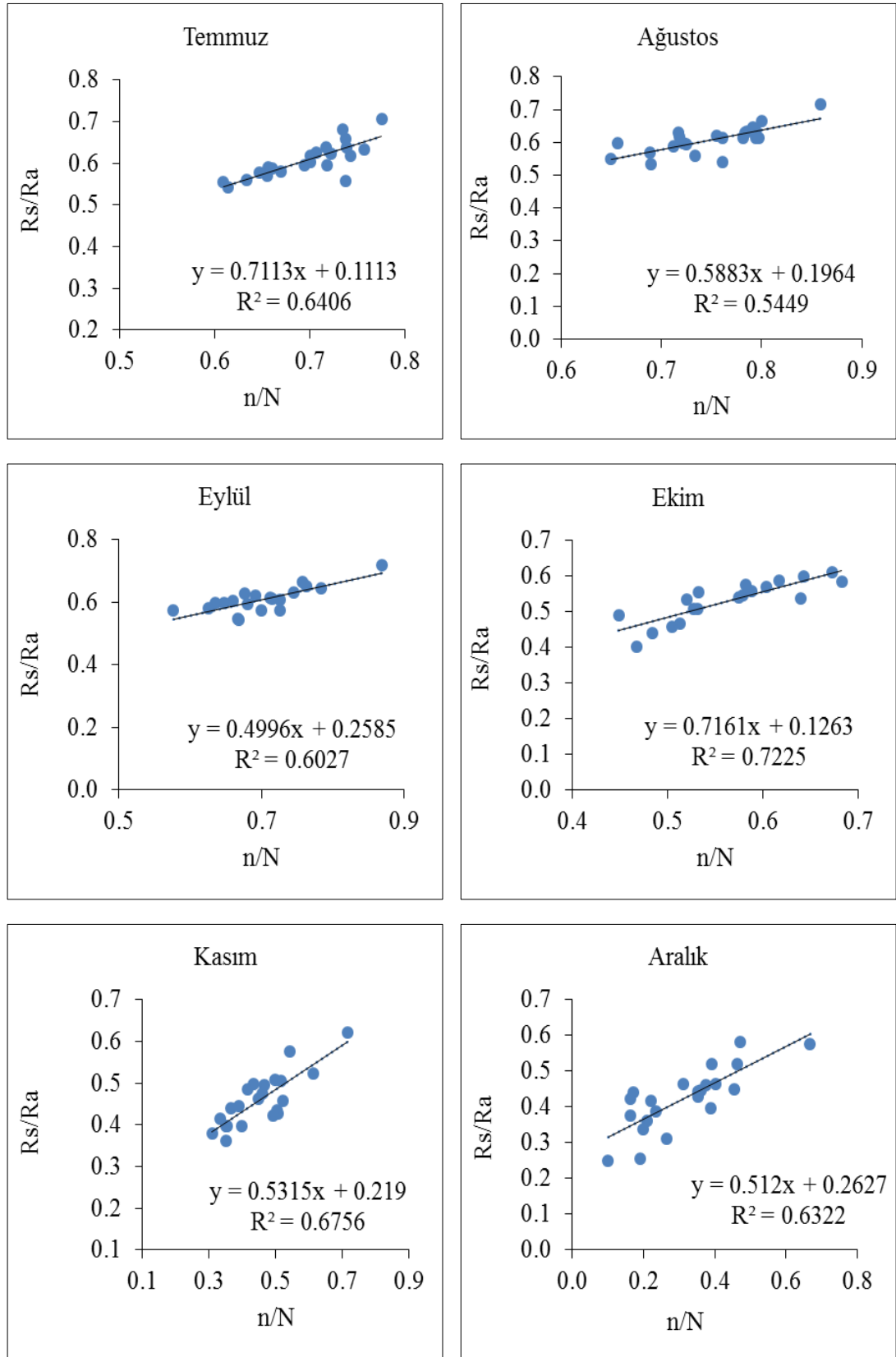
olduğu belirlenmiştir. Bingöl’de kapalı günlerde ise R_a ’nın en fazla oranda şubat ($a_s = 0.3057$) ve martta ($a_s = 0.2872$) ve en az oranda ise temmuzda ($a_s = 0.1113$) ve ekimde ($a_s = 0.1263$) geldiği saptanmıştır. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına ocak, nisan, mayıs, eylül ve aralık aylarında oldukça yakın sonuçlar saptanmıştır. Şekil 3.30’da Bingöl’de nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde en fazla oranda ekim ($b_s = 0.7161$) ve temmuz ($b_s = 0.7113$) aylarında ve en az ise şubat ($b_s = 0.4848$) ve mayıs aylarında ($b_s = 0.4897$) doğrudan solar radyasyon gelmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına şubat, mart, nisan, mayıs, eylül, kasım ve aralık aylarında oldukça yakın katsayılar saptanmıştır.

Tablo 3.30. Bingöl 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
as	0.2564	0.3057	0.2872	0.2608	0.2697	0.2020
bs	0.5833	0.4848	0.5199	0.5254	0.4897	0.6111
as+bs	0.8397	0.7905	0.8071	0.7862	0.7594	0.8131
R	0.86	0.78	0.78	0.86	0.84	0.80
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
as	0.1113	0.1964	0.2585	0.1263	0.2190	0.2627
bs	0.7113	0.5883	0.4996	0.7161	0.5315	0.5120
as+bs	0.8226	0.7847	0.7581	0.8424	0.7505	0.7747
R	0.80	0.74	0.78	0.85	0.82	0.80



Şekil 3.30. Bingöl ili 1987-2010 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları



Şekil 3.30. Bingöl ili 1987-2010 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları (devamı)

FAO 56 tarafından önerilen Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{01} ile Bingöl'de kaydedilmiş güneş radyasyonu (R_s) verileri kullanılarak hesaplanan ET_{02} verileri arası farkın ortalama mutlak hatası 0.10 mm olarak belirlenmesine karşılık bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{03} ile ET_{02} arası farkın ortalama mutlak hatası 0.06 mm saptanmıştır. Dolayısıyla ET_{03} verileri ET_{02} verilerine daha yakın sonuçlar vermiştir.

Frekans analizinde 1986-2017 yılları arasında 31 yıllık tam veri seti ve Bingöl ili için belirlenen Angstrom katsayıları dikkate alınarak aylık ET_0 değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan veriler dikkate alınarak her ay için frekans analizi sonuçları Tablo 3.31'de ve frekans analizi eşitlikleri Tablo 3.32'de sunulmuştur. %95, %50 ve %5 olasılıkla aylık referans evapotranspirasyon değişimi Şekil 3.31'de gösterilmiştir.

Tablo 3.31. Aylara göre Bingöl ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
95	0.41	0.48	0.81	1.36	2.26	3.46	4.16	4.35	3.46	1.88	0.83	0.46	1.99
75	0.59	0.70	1.25	2.08	3.15	4.56	5.30	5.18	4.06	2.48	1.26	0.71	2.61
50	0.68	0.80	1.48	2.45	3.60	5.12	5.88	5.60	4.37	2.79	1.47	0.84	2.92
25	0.75	0.89	1.65	2.74	3.95	5.56	6.34	5.93	4.61	3.03	1.64	0.93	3.17
10	0.80	0.95	1.79	2.95	4.21	5.88	6.68	6.18	4.79	3.21	1.77	1.01	3.35
5	0.83	0.99	1.85	3.06	4.34	6.05	6.86	6.30	4.88	3.30	1.83	1.05	3.44

Tablo 3.32. Bingöl ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

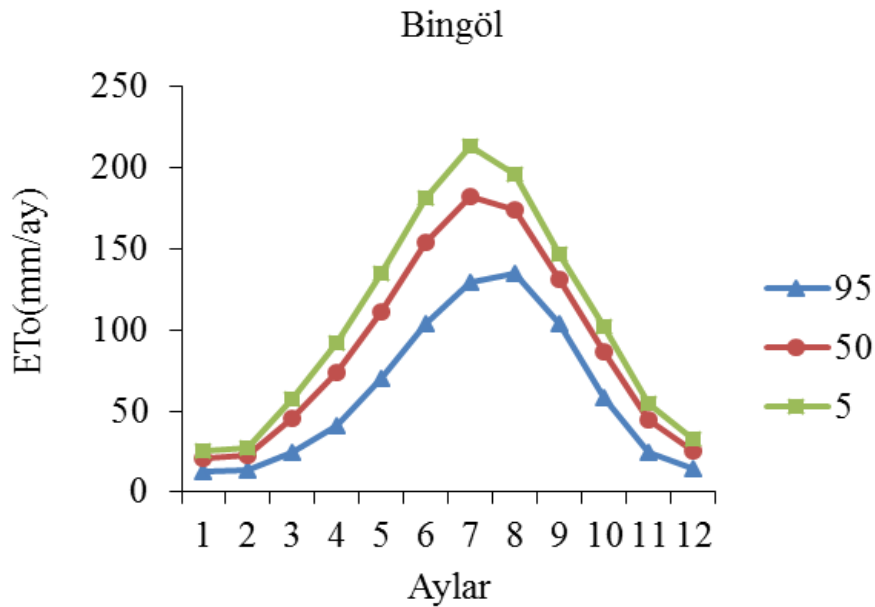
Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_0 = 0.2355 \times W + 0.7986$	7	$ET_0 = 1.5285 \times W + 6.6813$
2	$ET_0 = 0.2836 \times W + 0.9526$	8	$ET_0 = 1.1059 \times W + 6.1775$
3	$ET_0 = 0.5925 \times W + 1.7852$	9	$ET_0 = 0.8047 \times W + 4.7856$
4	$ET_0 = 0.963 \times W + 2.9506$	10	$ET_0 = 0.8081 \times W + 3.2102$
5	$ET_0 = 1.1784 \times W + 4.2096$	11	$ET_0 = 0.5666 \times W + 1.7674$
6	$ET_0 = 1.466 \times W + 5.8807$	12	$ET_0 = 0.3313 \times W + 1.008$

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

Frekans analizi sonuçlarına göre %50 olasılıkla ocak ayı ET_0 değeri 0.68 mm/gün olarak meydana gelmektedir. Ocak ayında %95 ve %5 olasılıkla ET_0 0.41 ve 0.83 mm/gün arasında varyasyon göstermiştir. En yüksek temmuz ayında ortalama 5.88

mm/gün olmasına karşın ET_o değeri %95 ve %5 olasılıkla 4.16 ve 6.86 mm/gün arasında varyasyon göstermiştir.

Bingöl’ de ortalama olarak yıllık toplamda atmosfer buharlaştırma talebi (ET_o) 1066.5 mm olarak hesaplanmıştır. TAGEM-DSİ (2017) tarafından Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Su Tüketim Rehberi adlı çalışmada Bingöl için yıllık toplam ET_o 1097 mm verilirken, Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre ise 1241 mm olarak tahmin edilmiştir. Dolayısıyla TAGEM-DSİ (2017) verilerine göre yıllık ET_o 30.5 mm (%2.8) daha düşük bulunmuştur. Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0’a göre 174.5 mm (%14.1) daha düşük bulunmuştur.

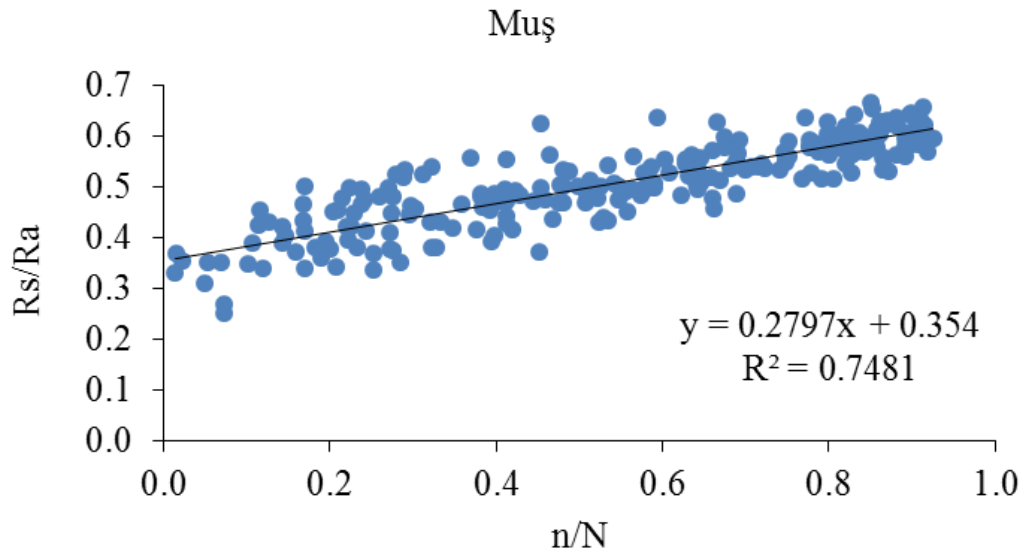


Şekil 3.31. Bingöl ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

Bingöl’ de %50 olasılıkta 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda sırasıyla 21.0, 22.5, 45.8, 73.5, 111.5, 153.5, 182.4, 173.6, 131.0, 86.5, 44.2 ve 25.9 mm referans evapotranspirasyon gelmektedir (Şekil 3.31). %50 olasılıkta en yüksek aylık toplam ET_o temmuz ayında ortalama 182.4 mm olurken %95 ve %5 olasılıkla 128.8 ile 212.5 mm arasında değişim göstermektedir. En düşük ocak ayında ortalama 21 mm olup %95 ve %5 olasılıkla 12.7 ile 25.6 mm arasında varyasyon göstermiştir (Şekil 3.31).

3.1.12. Muş

Muş'ta 1964 yılından itibaren meteorolojik gözlemler yapılmaktadır. Fakat referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında kullanılacak tam veri seti, 1986-2010 yılları arasında yer almaktadır. Muş'ta nispi güneşlenme (n/N) oranlarına karşılık yer yüzeyine ulaşan nispi güneş enerjisi oranları (R_s/R_a) 1986-2010 dönemi için Şekil 3.32'de ve aynı ilişkinin aylık bazda değişimleri ise Şekil 3.33'te gösterilmiştir. Şekil 3.32'de regresyon doğrusunun Y eksenini kesim noktası $a_s = 0.354$ ve doğrunun eğimi $b_s = 0.2797$ olarak saptanmıştır. Yıllık bazda n/N ve R_s/R_a arasında kuvvetli pozitif bir ilişki ($R = 0.86$) bulunmaktadır (Cohen, 1988). Muş iline açık bir günde ekstraterrestrial radyasyonun (R_a , atmosfer dış yüzeyine gelen radyasyon) 0.6337 'si ulaşmaktadır. Kapalı günlerde R_a 'ın 0.354 'ü ve bulutlu günlerde nispi güneşlenmeye bağlı olarak 0.2797 'si yer yüzeyine gelmektedir.



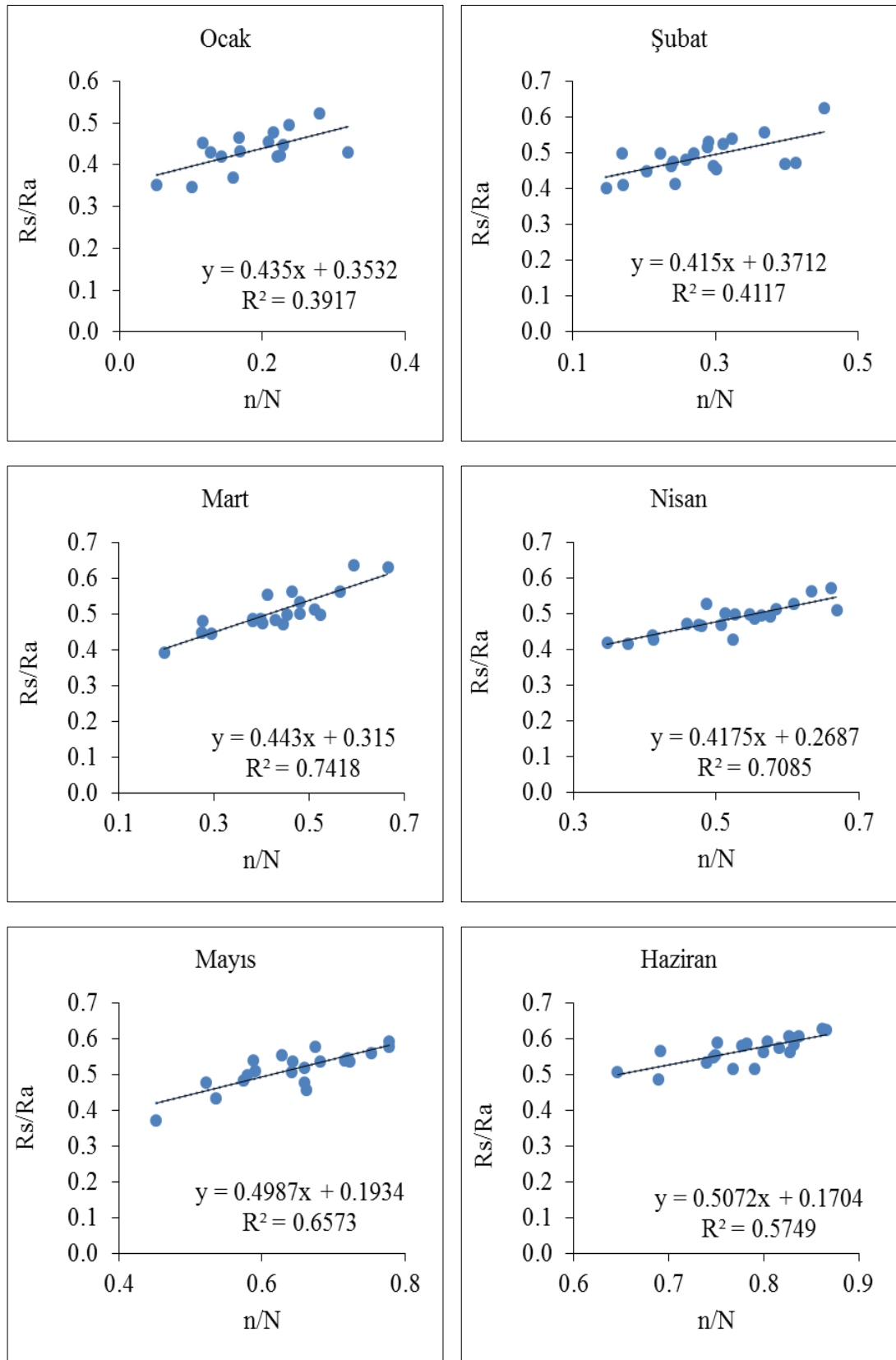
Şekil 3.32. Muş ili 1986-2010 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları

Tablo 3.33'te Muş ili için aylık bazda Angstrom katsayıları ve (n/N) ile (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları verilmiştir. Aylara göre n/N ve R_s/R_a ilişkisi ağustos ve eylül ayı için orta diğer aylar için kuvvetli bulunmuştur. Muş'ta açık bir günde R_a 'nın en fazla oranda ocak (0.7882) ve şubat (0.7862) aylarında yer yüzeyine geldiği buna karşın en az oranda ağustos (0.6317) ve aralık (0.6209) aylarında geldiği görülmüştür. FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediği durumda önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı olan 0.75 oranına en yakın oran ekim

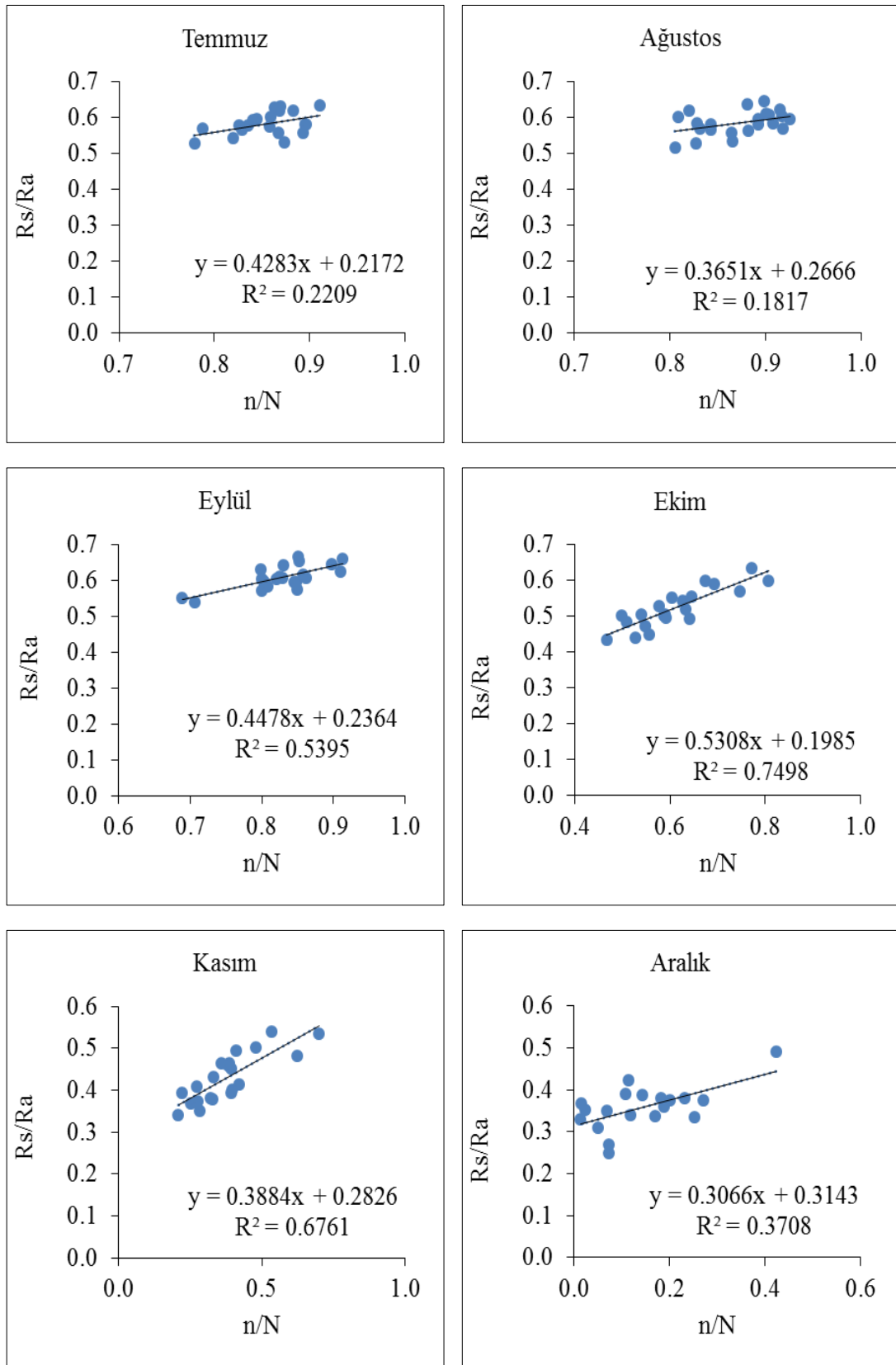
ayında (0.7293) olduğu belirlenmiştir. Muş'ta kapalı günlerde ise R_a 'nın en fazla oranda şubat ($a_s = 0.3752$) ve ocakta ($a_s = 0.3535$) ve en az oranda ise mayısta ($a_s = 0.1934$) ve haziranda ($a_s = 0.1704$) geldiği saptanmıştır. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına nisan, ağustos ve eylül aylarında oldukça yakın sonuçlar saptanmıştır. Şekil 3.33'te Muş'ta nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde en fazla oranda haziran ($b_s = 0.5072$) ve kasım ($b_s = 0.5308$) aylarında ve en az ise ağustos ($b_s = 0.3651$) ve aralık aylarında ($b_s = 0.3066$) doğrudan solar radyasyon gelmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına mayıs, haziran, ve ekim aylarında oldukça yakın katsayılar saptanmıştır.

Tablo 3.33. Muş 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
as	0.3535	0.3712	0.315	0.2687	0.1934	0.1704
bs	0.435	0.415	0.443	0.4175	0.4987	0.5072
as+bs	0.7882	0.7862	0.758	0.6862	0.6921	0.6776
R	0.63	0.64	0.86	0.84	0.81	0.76
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
as	0.2172	0.2666	0.2364	0.1985	0.2826	0.3143
bs	0.4283	0.3651	0.4478	0.5308	0.3884	0.3066
as+bs	0.6455	0.6317	0.6842	0.7293	0.671	0.6209
R	0.47	0.43	0.73	0.81	0.82	0.61



Şekil 3.33. Muş ili 1986-2010 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları



Şekil 3.33. Muş ili 1986-2010 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları (devamı)

FAO 56 tarafından önerilen Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{01} ile Elâzığ'da kaydedilmiş güneş radyasyonu (R_s) verileri kullanılarak hesaplanan ET_{02} verileri arası farkın ortalama mutlak hatası 0.58 mm olarak belirlenmesine karşılık bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{03} ile ET_{02} arası farkın ortalama mutlak hatası 0.03 mm saptanmıştır. Dolayısıyla ET_{03} verileri ET_{02} verilerine daha yakın sonuçlar vermiştir.

Referans evapotranspirasyon hesaplamaları için 57 yıllık tam veri seti bulunmaktadır. Frekans analizinde Kars ili için belirlenen Angstrom katsayıları dikkate alınarak aylık ET_0 değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan veriler dikkate alınarak her ay için frekans analizi sonuçları Tablo 3.34'te ve frekans analizi eşitlikleri Tablo 3.35'te sunulmuştur. %95, %50 ve %5 ihtimalle aylık referans evapotranspirasyon değişimi Şekil 3.34'te gösterilmiştir.

Tablo 3.34. Aylara göre Muş ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
95	0.61	0.29	0.59	1.46	2.41	3.47	4.04	4.12	4.14	2.02	0.32	0.62	2.01
75	0.69	0.49	0.93	1.90	3.03	4.07	4.65	4.60	3.90	2.37	0.54	0.79	2.33
50	0.74	0.59	1.10	2.12	3.34	4.37	4.96	4.85	3.78	2.55	0.65	0.87	2.49
25	0.77	0.67	1.24	2.29	3.58	4.61	5.20	5.04	3.68	2.69	0.74	0.94	2.62
10	0.79	0.73	1.34	2.42	3.76	4.79	5.38	5.18	3.61	2.79	0.81	0.99	2.72
5	0.81	0.76	1.40	2.48	3.86	4.88	5.48	5.25	3.57	2.85	0.84	1.01	2.77

Tablo 3.35. Muş ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

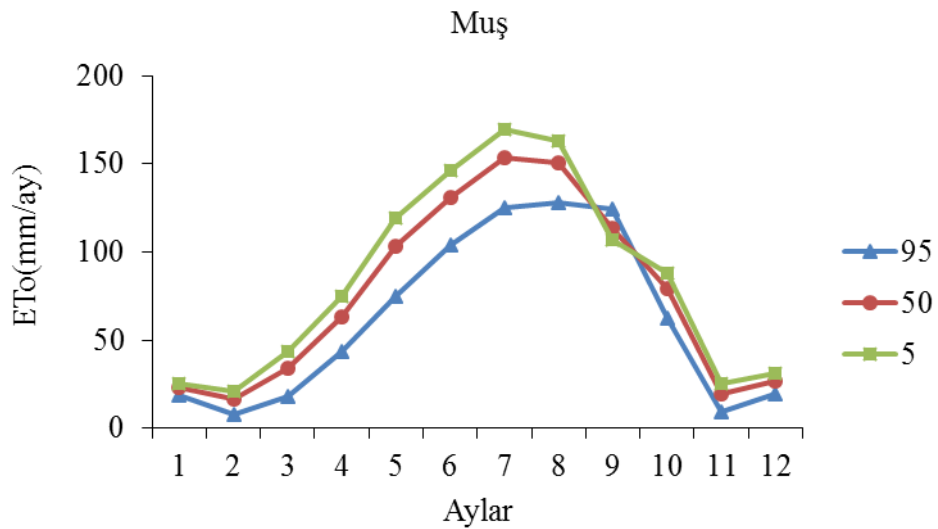
Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_0 = 0.1132 \times W + 0.7942$	7	$ET_0 = 0.8125 \times W + 5.3837$
2	$ET_0 = 0.2654 \times W + 0.7292$	8	$ET_0 = 0.6418 \times W + 5.1805$
3	$ET_0 = 0.457 \times W + 1.3429$	9	$ET_0 = -0.325 \times W + 3.6067$
4	$ET_0 = 0.5776 \times W + 2.4173$	10	$ET_0 = 0.4665 \times W + 2.7939$
5	$ET_0 = 0.8171 \times W + 3.7641$	11	$ET_0 = 0.3199 \times W + 1.4138$
6	$ET_0 = 0.797 \times W + 4.7897$	12	$ET_0 = 0.2951 \times W + 0.8058$

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

Frekans analizi sonuçlarına göre %50 olasılıkla ocak ayı ET_0 değeri 0.74 mm/gün olmasına karşılık %95 ve %5 olasılıkla ET_0 0.61 ve 0.81 mm/gün arasında varyasyon

göstermiştir. En yüksek temmuz ayında ortalama 4.96 mm/gün olmasına karşın ET_o değeri %95 ve %5 olasılıkla 4.04 ve 5.48 mm/gün arasında varyasyon göstermiştir.

Ortalama olarak yıllık toplamda atmosferin buharlaştırma talebi (ET_o) 909.9 mm olarak bulunmuştur. TAGEM-DSİ (2017) tarafından Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Su Tüketim Rehberi ‘nden Muş için yıllık toplam ET_o 980 mm verilirken, Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre ise 799.3 mm olarak tahmin edilmiştir. TAGEM-DSİ (2017) verilerine göre yıllık ET_o 70.1 mm (%7.2) daha düşük bulunmuştur. Cropwat 8.0’a göre 50.3 mm (%6.3) daha düşük bulunmuştur.



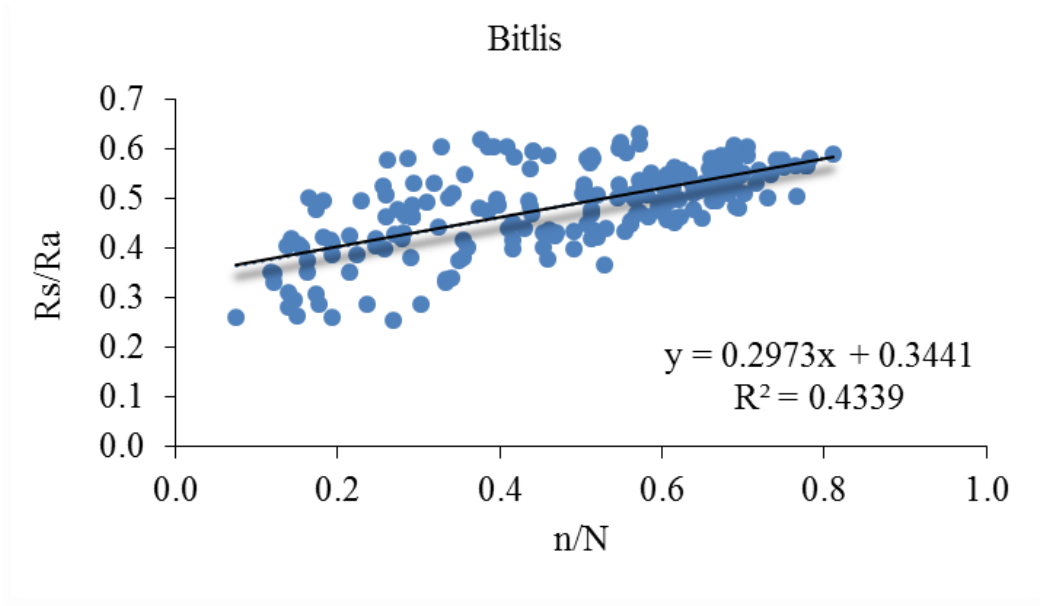
Şekil 3.34. Muş ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

Muş’ta 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda %50 olasılıkla sırasıyla 22.8, 16.5, 34.2, 63.5, 103.5, 131.2, 153.8, 150.2, 113.3, 79.1, 19.6 ve 27 mm referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir (Şekil 3.34).

%50 olasılıkla en yüksek aylık toplam ET_o temmuz ayında ortalama 153.8 mm olurken %95 ve %5 olasılıkla 125.3 ile 169.8 mm arasında değişim sergilerken en düşük şubat ayında ortalama 16.5 mm olup %95 ve %5 olasılıkla 8.1 ile 21.3 mm arasında varyasyon göstermiştir (Şekil 3.34).

3.1.13. Bitlis

Bitlis'te 1984 yılından itibaren meteorolojik gözlemler yapılmaktadır. Fakat referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında kullanılacak tam veri seti, 1984-2009 yılları arasında yer almaktadır. Bitlis'te nispi güneşlenme (n/N) oranlarına karşılık yer yüzeyine ulaşan nispi güneş enerjisi oranları (R_s/R_a) 1984-2009 dönemi için Şekil 3.35'te ve aynı ilişkinin aylık bazda değişimleri ise Şekil 3.36'da gösterilmiştir. Şekil 3.35'te regresyon doğrusunun Y eksenini kesim noktası $a_s = 0.3441$ ve doğrunun eğimi $b_s = 0.2973$ olarak saptanmıştır. Yıllık bazda n/N ve R_s/R_a arasında kuvvetli pozitif bir ilişki ($R = 0.66$) bulunmaktadır (Cohen, 1988). Bitlis iline açık bir günde ekstrasferrestrial radyasyonun (R_a , atmosfer dış yüzeyine gelen radyasyon) 0.6414 'ü ulaşmaktadır. Kapalı günlerde R_a 'nın 0.3441 'i ve bulutlu günlerde nispi güneşlenmeye bağlı olarak 0.2973 'ü yer yüzeyine gelmektedir.



Şekil 3.35. Bitlis ili 1984-2009 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları

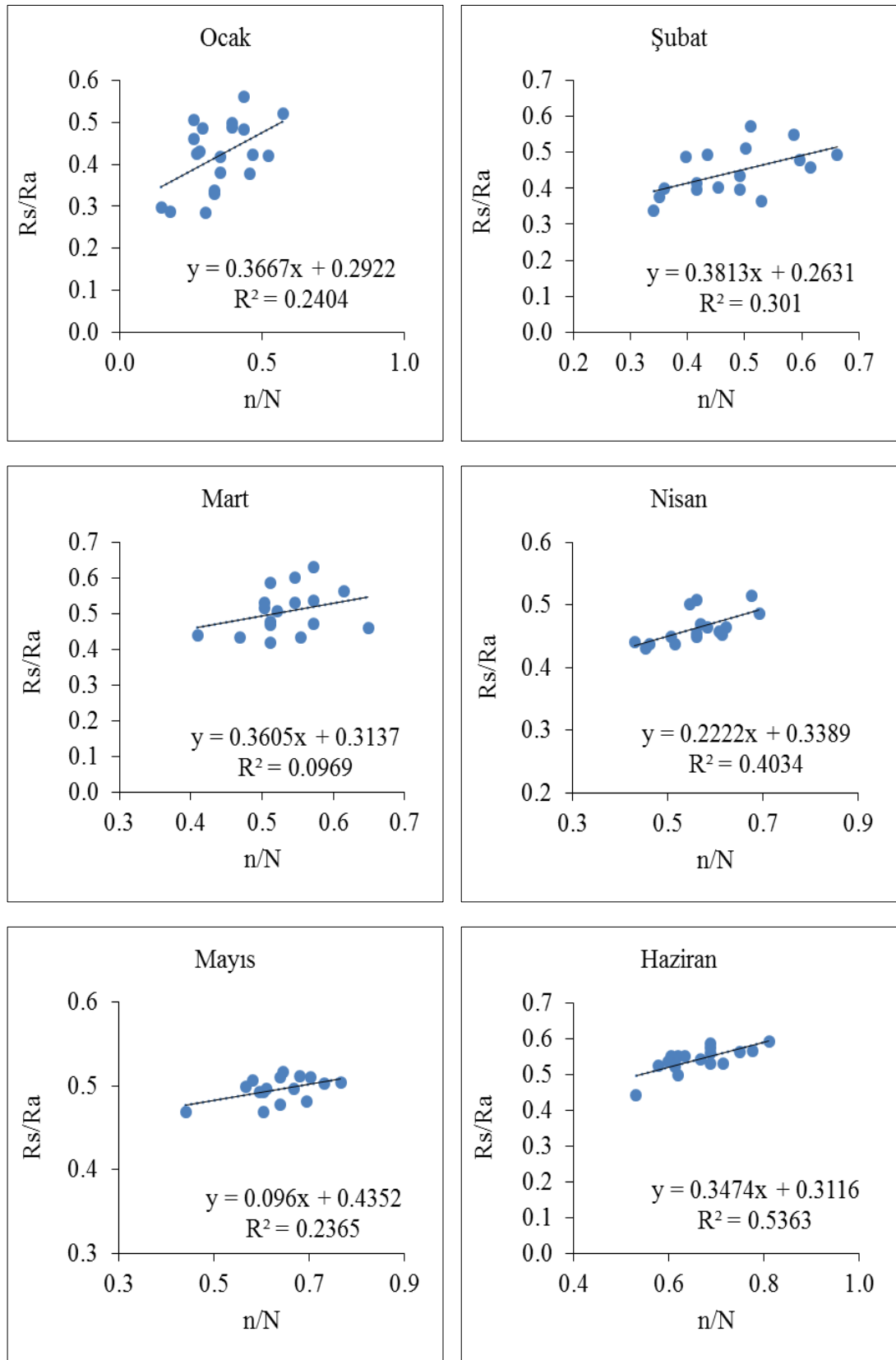
Tablo 3.36'da Bitlis ili için aylık bazda Angstrom katsayıları ve (n/N) ile (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları verilmiştir. Aylara göre n/N ve R_s/R_a ilişkisi ocak, mart, mayıs, eylül ayları için orta diğer aylar için kuvvetli bulunmuştur.

Bitlis'de açık bir günde R_a 'nın en fazla oranda ekim (0.7654) ve kasım (0.7252) aylarında yer yüzeyine geldiği buna karşın en az oranda mayıs (0.5312) ve nisan

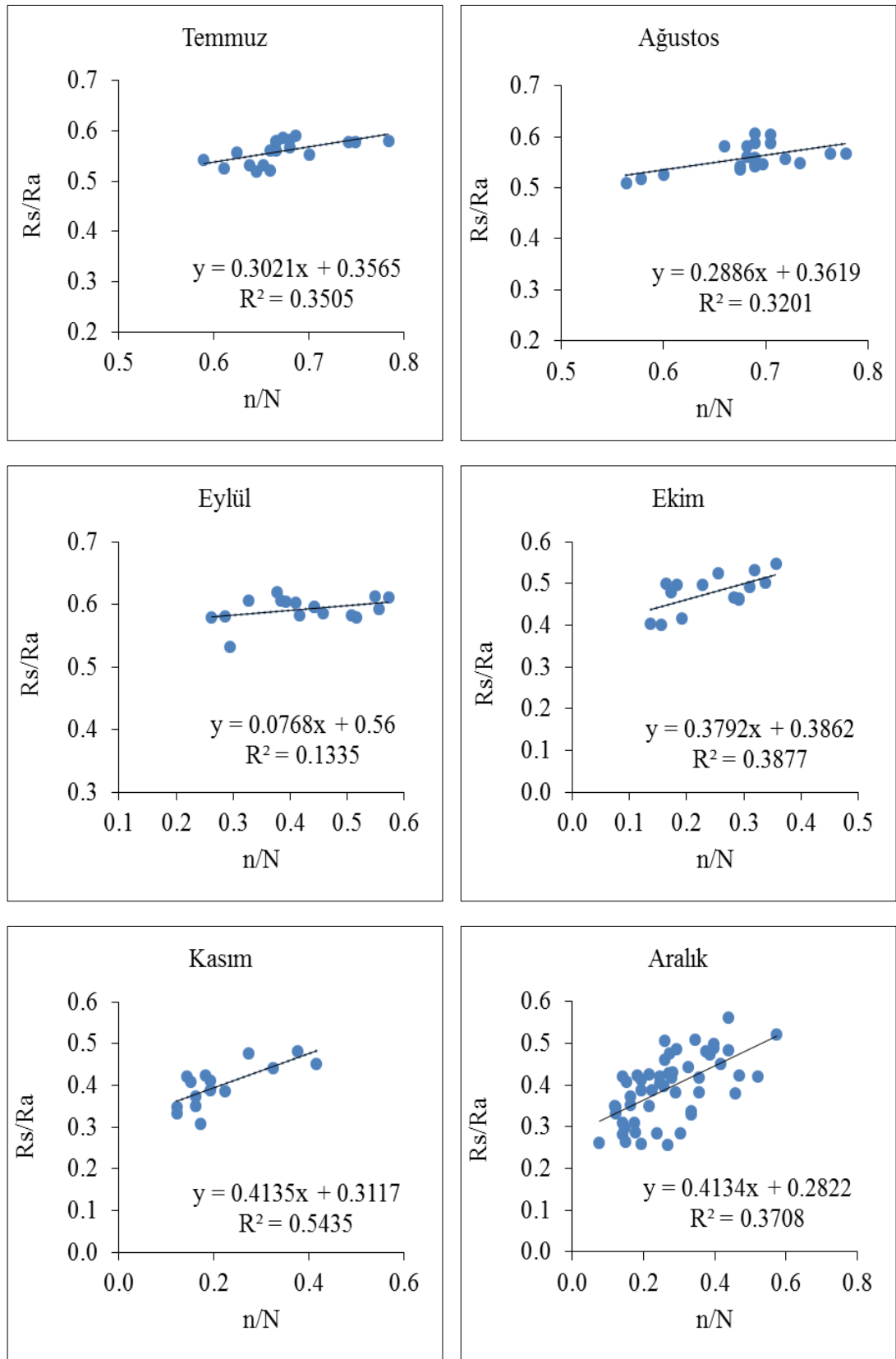
(0.5611) aylarında geldiği görülmüştür. FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediği durumda önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı olan 0.75 oranına en yakın oranlar kasım ayında (0.7252) ve en uzak ise mayıs ayında (0.5312) olduğu belirlenmiştir. Bitlis'te kapalı günlerde ise R_a 'nın en fazla oranda eylülde ($a_s = 0.56$) ve mayısta ($a_s = 0.4352$) ve en az oranda ise şubatta ($a_s = 0.2631$) ve aralıkta ($a_s = 0.2822$) geldiği saptanmıştır. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına tüm ayların uzak olduğu belirlenmiştir. Şekil 3.36'da Bitlis'te nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde en fazla oranda aralık ($b_s = 0.4134$) ve kasım ($b_s = 0.4135$) aylarında ve en az ise eylül ($b_s = 0.0768$) ve mayıs aylarında ($b_s = 0.096$) doğrudan solar radyasyon gelmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına tüm ayların uzak olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.36. Bitlis 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
as	0.2922	0.2631	0.3137	0.3389	0.4352	0.3116
bs	0.3667	0.3813	0.3605	0.2222	0.096	0.3474
as+bs	0.6589	0.6444	0.6742	0.5611	0.5312	0.659
R	0.49	0.55	0.31	0.64	0.49	0.73
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
as	0.3565	0.3619	0.56	0.3862	0.3117	0.2822
bs	0.3021	0.2886	0.0768	0.3792	0.4135	0.4134
as+bs	0.6586	0.6505	0.6368	0.7654	0.7252	0.6956
R	0.59	0.57	0.37	0.62	0.74	0.61



Şekil 3.36. Bitlis ili 1984-2009 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları



Şekil 3.36. Bitlis ili 1984-2009 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları (devamı)

FAO 56 tarafından önerilen Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{01} ile Bitlis'te kaydedilmiş güneş radyasyonu (R_s) verileri kullanılarak hesaplanan ET_{02} verileri arası farkın ortalama mutlak hatası 0.42 mm olarak belirlenmesine karşılık bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{03} ile ET_{02} arası farkın ortalama mutlak hatası 0.16 mm saptanmıştır. Dolayısıyla ET_{03} verileri ET_{02} verilerine daha yakın sonuçlar vermiştir.

Bitlis ili için bulunan Angstrom katsayıları ve 1984-2010 yılları arasındaki 27 yıllık veri seti dikkate alınarak ET_0 hesaplanmıştır. Elde edilen veriler dikkate alınarak her ay için frekans analizi sonuçları Tablo 3.37'de ve frekans analizi eşitlikleri Tablo 3.38'te sunulmuştur. %95, %50 ve %5 ihtimalle aylık referans evapotranspirasyon varyasyonu Şekil 3.37'de gösterilmiştir.

Tablo 3.37. Aylara göre Bitlis ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort
95	0.37	0.51	1.08	1.35	2.35	3.69	4.10	3.78	2.53	1.95	0.83	0.49	1.92
75	0.53	0.69	1.30	1.75	2.72	4.16	4.76	4.43	3.29	2.25	1.07	0.61	2.30
50	0.60	0.78	1.41	1.96	2.91	4.40	5.10	4.77	3.68	2.40	1.19	0.66	2.49
25	0.66	0.85	1.50	2.13	3.06	4.59	5.36	5.03	3.98	2.52	1.29	0.71	2.64
10	0.71	0.91	1.57	2.25	3.17	4.73	5.56	5.23	4.21	2.61	1.36	0.74	2.75
5	0.73	0.93	1.60	2.31	3.23	4.80	5.66	5.33	4.32	2.66	1.40	0.76	2.81

Tablo 3.38. Bitlis ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

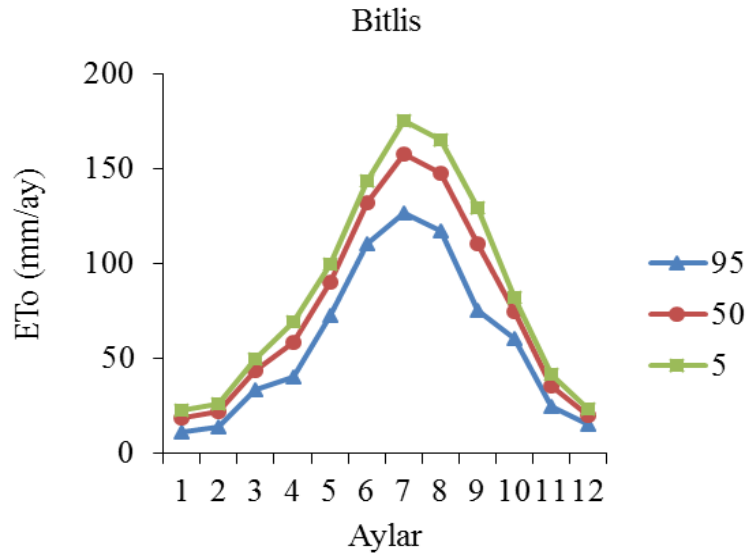
Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_0 = 0.2027 \times W + 0.7092$	7	$ET_0 = 0.8831 \times W + 5.5579$
2	$ET_0 = 0.2372 \times W + 0.9063$	8	$ET_0 = 0.8768 \times W + 5.2263$
3	$ET_0 = 0.2962 \times W + 1.5678$	9	$ET_0 = 1.0175 \times W + 4.2075$
4	$ET_0 = 0.547 \times W + 2.2491$	10	$ET_0 = 0.3938 \times W + 2.6121$
5	$ET_0 = 0.4975 \times W + 3.1706$	11	$ET_0 = 0.3232 \times W + 1.3635$
6	$ET_0 = 0.6258 \times W + 4.7262$	12	$ET_0 = 0.1479 \times W + 0.7386$

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

Frekans analiz sonuçlarına göre %50 olasılıkla ocak ayı ET_0 değeri 0.60 mm/gün olup %95 ve %5 olasılıkta ET_0 0.37 ve 0.73 mm/gün arasında varyasyon göstermiştir.

Bitlis'te en yüksek ET_o temmuz ayında ortalama olarak 5.10 mm/gün saptanmıştır. Temmuz ayında %95 ve %5 olasılıklarda ET_o 4.10 ve 5.76 mm/gün arasında varyasyon göstermiştir. Bitlis'te yıllık toplam atmosferin buharlaştırma talebi (ET_o) 908.8 mm olarak hesaplanmıştır. TAGEM-DSİ (2017) tarafından Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Su Tüketim Rehberi adlı çalışmada Bitlis için yıllık toplam ET_o 990 mm verilirken, Climwat 2.0 veri seti ve Cropwat 8.0 programına göre ise 1054.9 mm olarak tahmin edilmektedir.

Bundan dolayı TAGEM-DSİ (2017) rehberinden 81.2 mm (%8.2) ve Cropwat 8.0 tahmininden 146.1 mm (%13.8) daha düşük bulunmuştur.

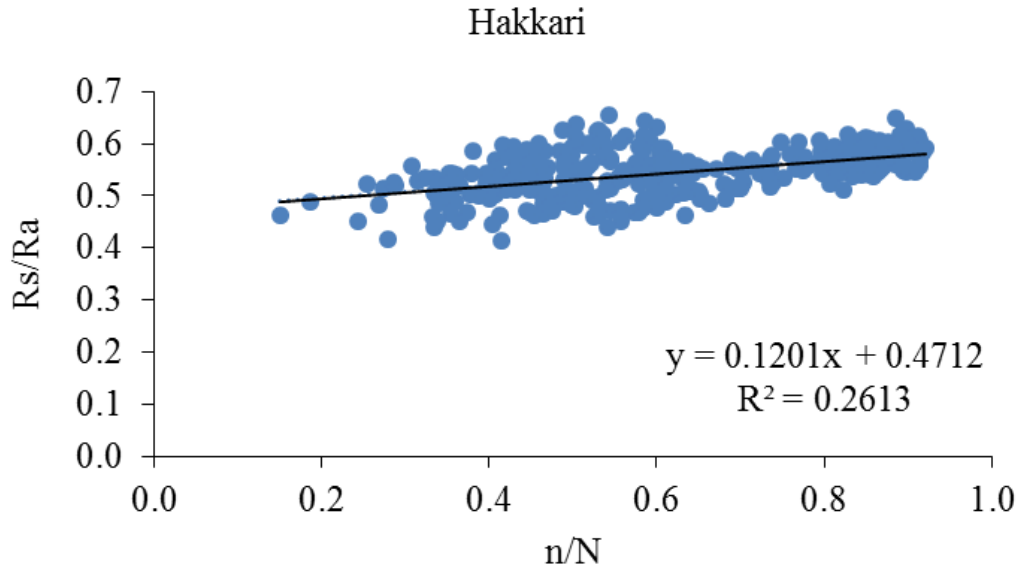


Şekil 3.37. Bitlis ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

Bitlis'te referans evapotranspirasyon 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda %50 olasılıkta sırasıyla 18.7, 21.9, 43.8, 58.9, 90.3, 132, 158, 147.8, 110.3, 74.5, 35.9 ve 20.5 mm meydana gelmektedir (Şekil 3.37). En yüksek aylık toplam ET_o temmuz ayında ortalama 158 mm referans evapotranspirasyon meydana gelmektedir. %95 ve %5 olasılıkla 127 ile 175 mm arasında varyasyon gösterirken en düşük ocak ayında ortalama 18.7 mm olurken %95 ve %5 olasılıkla 11.6 ile 22.7 mm arasında varyasyon göstermiştir (Şekil 3.37).

3.1.14.Hakkâri

Hakkâri’de 1961 yılından itibaren meteorolojik gözlemler yapılmaktadır. Fakat referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında kullanılacak tam veri seti, 1968-2013 yılları arasında yer almaktadır. Hakkâri’de nispi güneşlenme (n/N) oranlarına karşılık yer yüzeyine ulaşan nispi güneş enerjisi oranları (R_s/R_a) 1968-2013 dönemi için Şekil 3.38’de ve aynı ilişkinin aylık bazda değişimleri ise Şekil 3.39’da gösterilmiştir. Şekil 3.38’de regresyon doğrusunun Y eksenini kesim noktası $a_s = 0.4712$ ve doğrunun eğimi $b_s = 0.1201$ olarak saptanmıştır. Yıllık bazda n/N ve R_s/R_a arasında kuvvetli pozitif bir ilişki ($R = 0.51$) bulunmaktadır (Cohen, 1988). Hakkâri iline açık bir günde ekstraterrestrial radyasyonun (R_a , atmosfer dış yüzeyine gelen radyasyon) 0.5913 ’ü ulaşmaktadır. Kapalı günlerde R_a ’nın 0.4712 ’i ve bulutlu günlerde nispi güneşlenmeye bağlı olarak 0.1201 ’i yer yüzeyine gelmektedir.



Şekil 3.38. Hakkâri ili 1968-2013 arası dönemde nispi güneşlenmeye karşılık yer yüzeyine ulaşan solar radyasyon ve yıllık Angstrom katsayıları

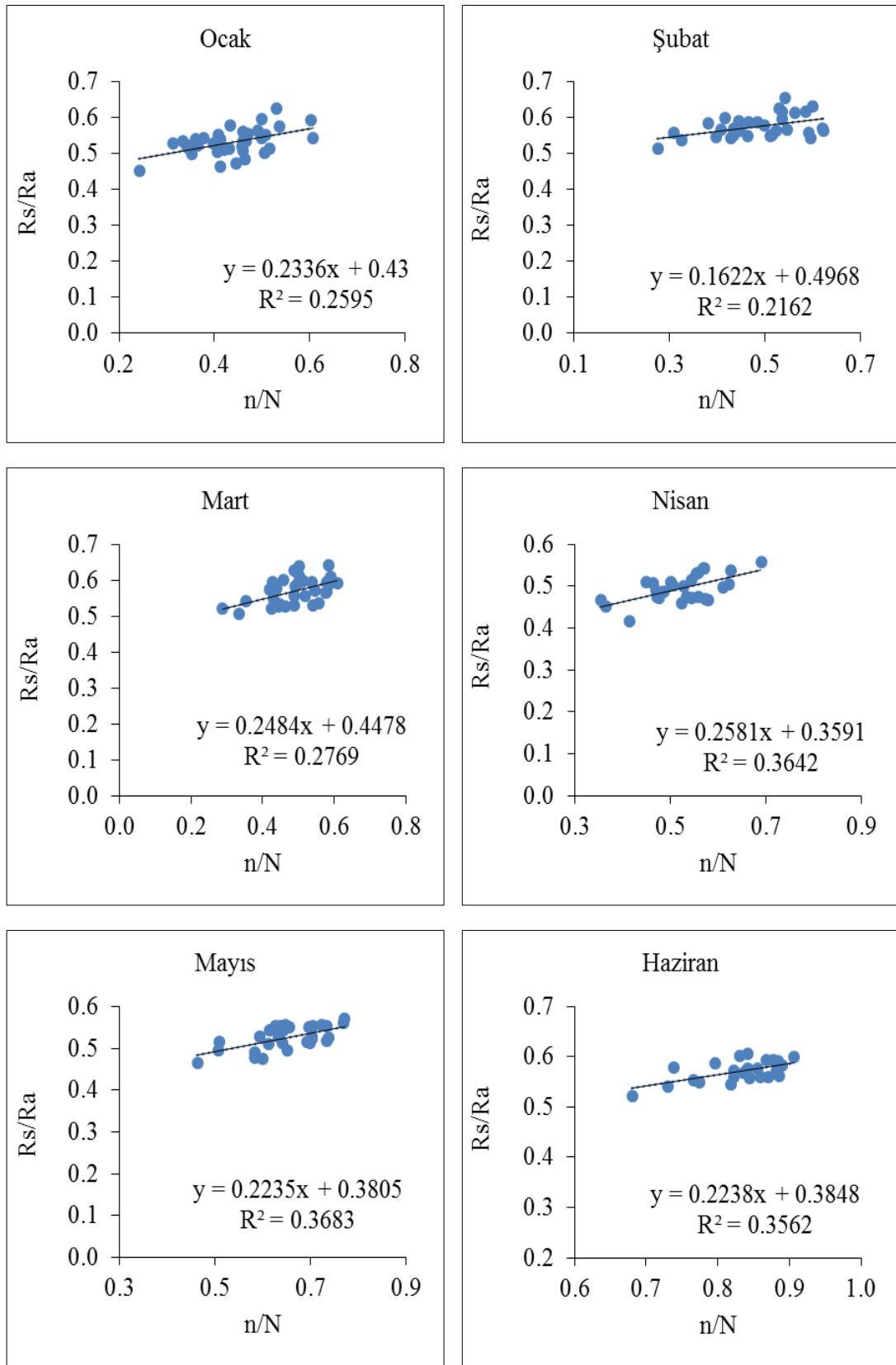
Tablo 3.39’da Hakkâri ili için aylık bazda Angstrom katsayıları ve (n/N) ile (R_s/R_a) ilişkisi korelasyon katsayıları verilmiştir. Aylara göre n/N ve R_s/R_a ilişkisi şubat, mart, ağustos, aralık ayları için orta diğer aylar için kuvvetli bulunmuştur. Hakkâri’de açık bir günde R_a ’nın en fazla oranda mart (0.6962) ve ocak (0.6636) aylarında yer yüzeyine

geldiği buna karşın en az oranda mayıs (0.604) ve haziran (0.6086) aylarında geldiği görülmüştür.

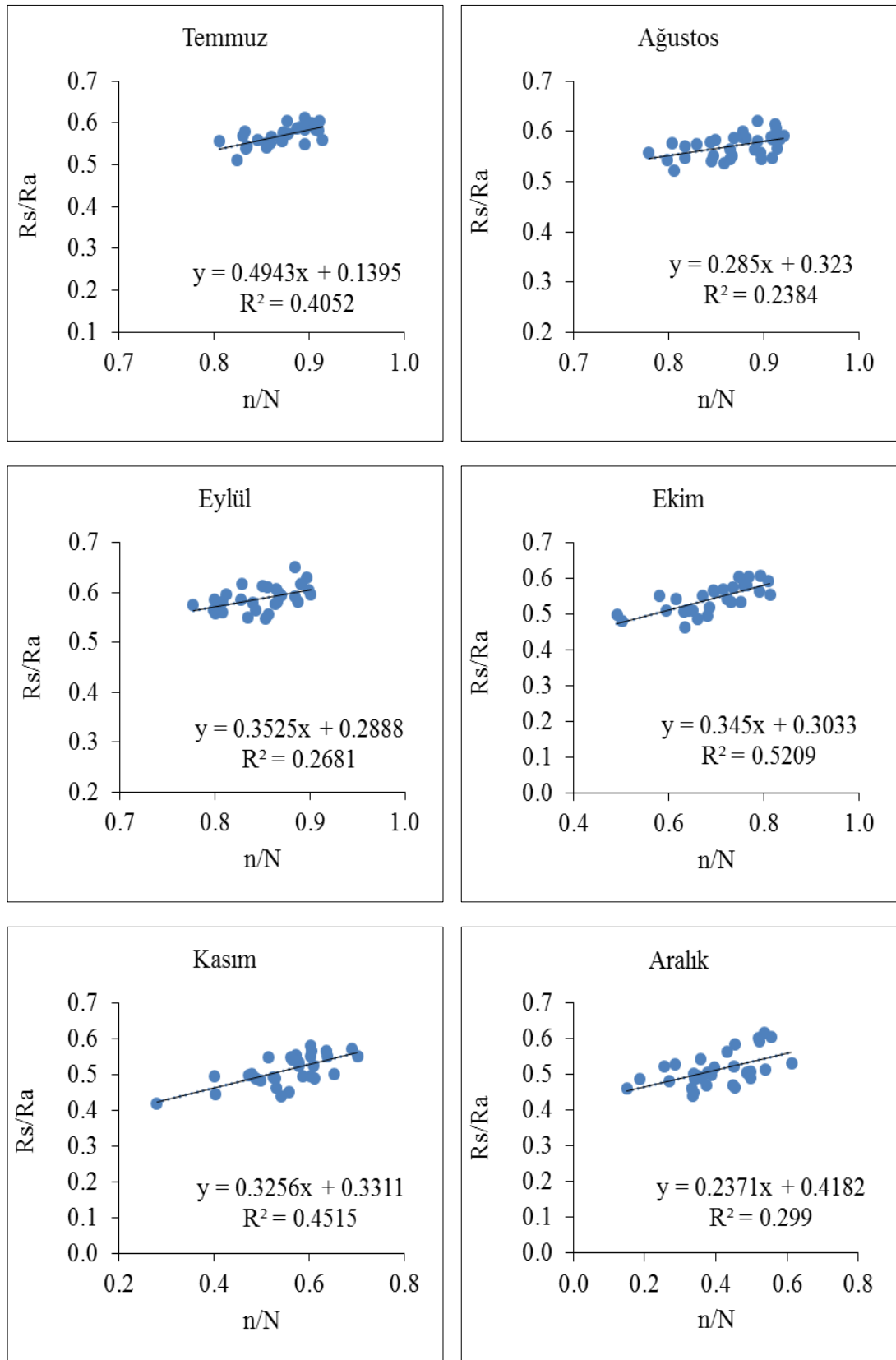
FAO 56 tarafından (Allen ve ark. 1998) yerel Angstrom katsayıları bilinmediği durumda önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları toplamı olan 0.75 oranına en yakın oranlar mart ayında (0.6962) ve en uzak ise mayıs ayında (0.604) olduğu belirlenmiştir. Hakkâri’de kapalı günlerde ise R_a ’nın en fazla oranda şubatta ($a_s = 0.4968$) ve martta ($a_s = 0.4478$) ve en az oranda ise temmuzda ($a_s = 0.1395$) ve eylülde ($a_s = 0.2888$) geldiği saptanmıştır. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $a_s = 0.25$ oranına tüm ayların uzak olduğu belirlenmiştir. Şekil 3.29’da Hakkâri’ de nispi güneşlenmeye bağlı olarak kısmen bulutlu günlerde en fazla oranda temmuz ($b_s = 0.4943$) ve eylül ($b_s = 0.3525$) aylarında ve en az ise şubat ($b_s = 0.1622$) ve mayıs aylarında ($b_s = 0.2235$) doğrudan solar radyasyon gelmektedir. Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen $b_s = 0.50$ oranına temmuz ayında oldukça yakın katsayı saptanmıştır.

Tablo 3.39. Hakkâri 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
as	0.43	0.4968	0.4478	0.3591	0.3805	0.3848
bs	0.2336	0.1622	0.2484	0.2581	0.2235	0.2238
as+bs	0.6636	0.659	0.6962	0.6172	0.604	0.6086
R	0.51	0.46	0.53	0.60	0.61	0.60
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
as	0.1395	0.323	0.2888	0.3033	0.3311	0.4182
bs	0.4943	0.285	0.3525	0.345	0.3256	0.2371
as+bs	0.6338	0.608	0.6413	0.6483	0.6567	0.6553
R	0.64	0.49	0.52	0.72	0.67	0.17



Şekil 3.39. Hakkâri ili 1968-2013 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları



Şekil 3.39. Hakkâri ili 1968-2013 yılı aylık ortalama verilerine göre Angstrom katsayıları (devamı)

FAO 56 tarafından önerilen Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{01} ile Hakkâri’de kaydedilmiş güneş radyasyonu (R_s) verileri kullanılarak hesaplanan ET_{02} verileri arası farkın ortalama mutlak hatası 0.50 mm olarak belirlenmesine karşılık bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{03} ile ET_{02} arası farkın ortalama mutlak hatası 0.06 mm saptanmıştır. Dolayısıyla ET_{03} verileri ET_{02} verilerine daha yakın sonuçlar vermiştir.

Frekans analizinde 1967-2014 yılları arasında 48 yıllık tam veri seti ve Hakkâri ili için belirlenen Angstrom katsayıları dikkate alınarak aylık ET_0 değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan veriler dikkate alınarak her ay için frekans analizi sonuçları Tablo 3.40’ta ve frekans analizi eşitlikleri Tablo 3.41’de sunulmuştur. %95, %50 ve %5 olasılıkla aylık referans evapotranspirasyon değişimi Şekil 3.40’da gösterilmiştir.

Tablo 3.40. Aylara göre Hakkâri ili referans evapotranspirasyon frekans analizi sonuçları

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
95	0.30	0.49	1.00	1.55	2.54	3.28	4.21	4.19	3.41	1.87	0.91	0.42
75	0.43	0.64	1.31	1.99	3.00	3.97	4.76	4.61	3.85	2.28	1.17	0.57
50	0.49	0.71	1.47	2.22	3.24	4.32	5.05	4.83	4.07	2.49	1.30	0.65
25	0.54	0.77	1.60	2.40	3.43	4.59	5.27	5.00	4.25	2.65	1.40	0.71
10	0.58	0.81	1.69	2.53	3.57	4.79	5.43	5.12	4.38	2.77	1.48	0.76
5	0.60	0.84	1.74	2.59	3.64	4.90	5.52	5.18	4.45	2.83	1.52	0.78

Tablo 3.41. Hakkâri ili referans evapotranspirasyonun aylara göre frekans analizi eşitlikleri

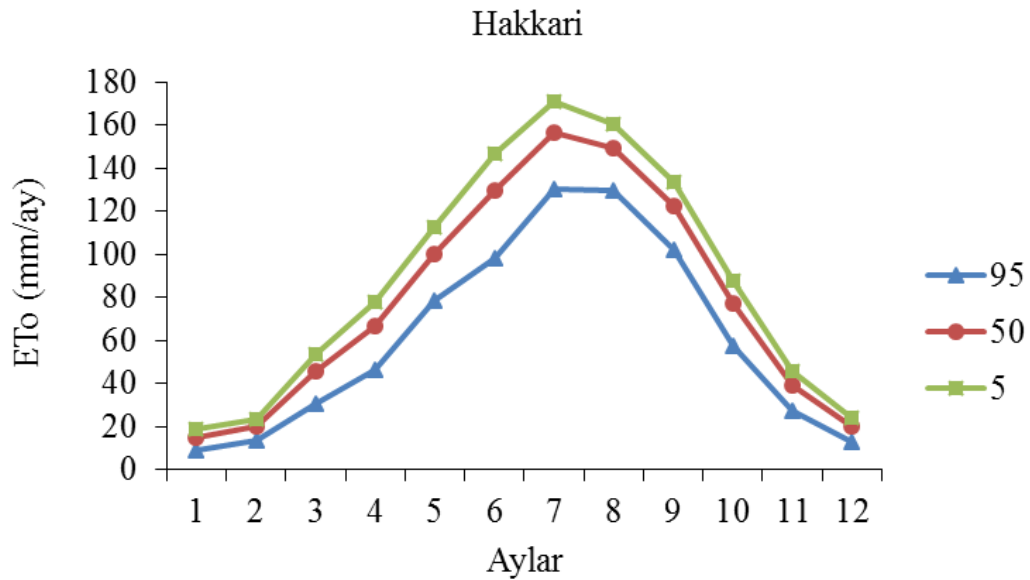
Aylar	Frekans eşitliği	Aylar	Frekans eşitliği
1	$ET_0 = 0.1698 \times W + 0.5814$	7	$ET_0 = 0.7386 \times W + 5.4308$
2	$ET_0 = 0.1938 \times W + 0.8141$	8	$ET_0 = 0.5628 \times W + 5.1194$
3	$ET_0 = 0.4221 \times W + 1.6935$	9	$ET_0 = 0.5904 \times W + 4.3815$
4	$ET_0 = 0.5914 \times W + 2.527$	10	$ET_0 = 0.5475 \times W + 2.7717$
5	$ET_0 = 0.6227 \times W + 3.5656$	11	$ET_0 = 0.3419 \times W + 1.4777$
6	$ET_0 = 0.913 \times W + 4.7914$	12	$ET_0 = 0.208 \times W + 0.7603$

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

Frekans analizi sonuçlarına göre %50 olasılıkla ocak ayı ET_0 değeri 0.49 mm/gün olarak meydana gelmektedir. Ocak ayında %95 ve %5 olasılıkla ET_0 0.30 ve 0.60 mm/gün arasında varyasyon göstermiştir. En yüksek temmuz ayında ortalama 5.05

mm/gün olmasına karşın ET_o değeri %95 ve %5 olasılıkla 4.21 ve 5.52 mm/gün arasında varyasyon göstermiştir.

Hakkâri’ de ortalama olarak yıllık toplamda atmosfer buharlaştırma talebi (ET_o) 938 mm olarak hesaplanmıştır. TAGEM-DSİ (2017) tarafından Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Su Tüketim Rehberi adlı çalışmada Hakkâri için yıllık toplam ET_o 1057 mm verilirken, Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre ise 1116.9 mm olarak tahmin edilmiştir. TAGEM-DSİ (2017) verilerine göre yıllık ET_o 119 mm (%11.3) ve Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0’a göre 178.9 mm (%16) daha düşük bulunmuştur.



Şekil 3.40. Hakkâri ilinde %95, %50 ve %5 olasılıkları için aylık referans evapotranspirasyon değerleri

Hakkâri’ de %50 olasılıkta 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. aylarda sırasıyla 15.3, 20.0, 45.7, 66.6, 100.5, 129.5, 156.4, 149.6, 122.2, 77.1, 39.0 ve 20.2 mm referans evapotranspirasyon gelmektedir (Şekil 3.40). %50 olasılıkta en yüksek aylık toplam ET_o temmuz ayında ortalama 156.4 mm olurken %95 ve %5 olasılıkla 130.5 ile 171 mm arasında değişim göstermektedir. En düşük ocak ayında ortalama 15.3 mm olup %95 ve %5 olasılıkla 9.3 ile 18.6 mm arasında varyasyon göstermiştir (Şekil 3.40).

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler

Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Erzincan, Erzurum, Ağrı, Iğdır, Bitlis, Bingöl, Van, Hakkâri, Tunceli, Elâzığ, Kars, Muş ve Malatya illerinin tamamı için aylara ve yıllara göre Angstrom katsayıları belirlenmiştir. Ardahan ilinde eksik solar radyasyon verileri nedeniyle Angstrom katsayıları hesaplanamamıştır. Ardahan ilinde bölgesel Angstrom katsayısı bulunmadığından FAO 56 tarafından önerilen $a_s = 0.25$ ve $b_s = 0.50$ katsayıları kullanılarak ET_o hesaplanmıştır.

İllere göre yıllık bazda ortalama $a_s + b_s$ katsayıları toplamı Erzincan için 0.6558, Erzurum için 0.6243, Kars için 0.5467, Ağrı için 0.5654, Iğdır için 0.5738, Van için 0.6896, Malatya için 0.6905, Elâzığ için 0.6294, Muş için 0.6337, Bitlis için 0.6414, Hakkâri için 0.5913, Bingöl için 0.7547 ve Tunceli için 0.7157 belirlenmiştir. Bu $a_s + b_s$ toplamı Bingöl ili dışında FAO 56 tarafından önerilen katsayıların toplamı 0.75 oranından düşük bulunmuştur.

FAO 56 tarafından önerilen Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{o1} ile Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki illerde kaydedilmiş güneş radyasyonu (R_s) verileri kullanılarak hesaplanan ET_{o2} verileri arası farkın ortalama mutlak hatası ve bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_{o3} ile ET_{o2} arası farkın ortalama mutlak hatası Erzincan'da 1.16 ve 0.14 mm, Ağrı'da 0.38 ve 0.08 mm, Bingöl'de 0.10 ve 0.06 mm, Bitlis'te 0.42 ve 0.16 mm, Elazığ'da 0.58 ve 0.03 mm, Erzurum'da 0.45 ve 0.25 mm, Kars'ta 0.39 ve 0.11 mm, Van'da 0.16 ve 0.08 mm, Tunceli'de 0.15 ve 0.05 mm, Iğdır'da 0.47 ve 0.17 mm, Malatya'da 0.14 ve 0.10 mm, Hakkari'de 0.50 ve 0.06 mm ve Muş' ta 0.37 ve 0.07 mm bulunmuştur. Dolayısıyla bölgesel Angstrom katsayılarıyla

hesaplanan ET_{03} verileri bölgede ölçülen güneş radyasyonu verileri kullanılarak hesaplanan ET_{02} verilerine daha yakın sonuçlar vermiştir.

Yıllık toplamlar bakımından ortalama atmosferin buharlaştırma talebi (ET_0), Erzincan'da 992.9 mm, Erzurum'da 968.6 mm, Van'da 1067.3 mm, Bingöl'de 1066.5 mm, Kars'ta 793.9 mm, Hakkâri'de 938 mm, Iğdır'da 875.3 mm, Muş'ta 909.9 mm, Ağrı'da 738.3 mm, Bitlis'te 908.8 mm, Elâzığ'da 1092.5 mm, Tunceli'de 1030.3 mm, Ardahan'da 784.1 mm ve Malatya'da 1050.6 mm olarak bulunmuştur. Bu toplamlar bakımından en yüksek ET_0 Elâzığ ilinde (1092.5 mm) ve en düşük ET_0 (738.3 mm) Ağrı ilinde meydana gelmiştir.

Yapılan bu çalışmada yıllık toplam ortalama ET_0 değerleri, TAGEM-DSİ (2017) tarafından Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketim Rehberi adlı çalışmada verilen ET_0 değerlerinden Ardahan, Erzincan ve Erzurum'da sırasıyla %1.2, %0.8 ve %5.7 daha yüksek bulunmuştur. Kars'ta %2.3, Ağrı'da %15.6, Iğdır'da %13.9, Tunceli'de %1.5, Van'da %2.2, Malatya'da %11.2, Elâzığ'da %10.2, Bingöl'de %2.8, Muş'ta %7.2, Bitlis'te %8.2 ve Hakkâri'de %11.3 daha düşük olduğu saptanmıştır.

Climwat 2.0 verileri ve Cropwat 8.0 programına göre yıllık toplam ET_0 değerlerinden Erzincan'da %4.5, Kars'ta %0.7, Ağrı'da %16.1, Iğdır'da %11.5, Elâzığ'da %7.9, Tunceli'de %13.2, Malatya'da %4.4, Bingöl'de %14.1, Bitlis'te %13.8 Muş'ta %6.3 ve Hakkâri'de %16 daha düşük saptanırken Ardahan'da %3.3, Erzurum'da %14.4 ve Van'da %10.3 daha yüksek bulunmuştur.

Frekans analizlerine göre %50 olasılıkta ET_0 en yüksek temmuz ayında meydana gelirken, Kars ve Ağrı'da ağustos ayında gözlemlenmiştir. En düşük ET_0 ise tüm illerde ocak ayında meydana gelirken Kars, Tunceli ve Muş'ta şubat ayında meydana gelmiştir.

Referans evapotranspirasyon hesaplamalarındaki bu farkın en önemli nedeni FAO 56 tarafından önerilen Angstrom katsayıları ile bölgesel Angstrom katsayıları arasında farklılıktan ileri geldiği söylenebilir. Hesaplamalar yapılırken kullanılan veri setlerindeki ve tahmin yöntemlerindeki farklılıklar da buna katkı sağlamış olabilir.

Solar radyasyonun ölçülmüş olduğu dönemler için hesaplanan ET_o verilerine göre FAO 56 tarafından önerilen Angstrom katsayıları ($a_s= 0.25$ ve $b_s= 0.50$) kullanılarak hesaplanan ET verileri ve bölgesel Angstrom katsayıları kullanılarak hesaplanan ET_o verileri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarla yerinde hesaplanan güneş radyasyonu ile tekrardan hesaplama yapılarak karşılaştırma yapılabilir.

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.
- 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.
- 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., Merkle, 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 variaçao 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.
- 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 Agricola e Ambiental**, **2** (3): 284-286.

- 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.
- Şimşek, E., 2020. İç Anadolu Bölgesi Referans Evapotranspirasyon Frekans Analizi ve Evapotranspirasyon Hesaplamalarında Solar Radyasyon Parametreleri. Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 74 s.
- 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., 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 : Pembe SABAN POLU
Doğum Tarihi : 26.091993
Doğum Yeri : Gülnar
Cep Telefonu : 0 545 441 87 06
E-postası : pmbe-sbn-33@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Bölüm	Üniversite	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Biyosistem Müh.	Erciyes	2017
Yüksek Lisans	Biyosistem Müh.	Erciyes	2021

YABANCI DİL

İngilizce