İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE GENELİNDE BAHEL MODELİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE GÜNEŞ RADYASYONU TAHMİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elvan Burcu KOŞMA

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

HAZİRAN 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE GENELİNDE BAHEL MODELİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE GÜNEŞ RADYASYONU TAHMİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elvan Burcu KOŞMA
(301151006)

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Burak BARUTÇU

HAZİRAN 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 301151006 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Elvan Burcu KOŞMA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "TÜRKİYE GENELİNDE BAHEL MODELİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE GÜNEŞ RADYASYONU TAHMİNİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Dr. Öğr. Üyesi Burak BARUTÇU** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. H. Sema TOPÇU** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. METE TAYANÇ Marmara Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 04 Mayıs 2018
Savunma Tarihi : 06 Haziran 2018

Aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca yardım ve desteklerini esirgemeyen, bilgi ve tecrübesini benimle cömertçe paylaşan Tez danışmanım sayın Yrd. Doç. Burak Barutçu'ya teşekkürü bir borç bilirim. Kendisinin sürekli desteği olmadan tez çalışmamı beklenen seviyeye taşımam mümkün olmayacaktı.

Çalışmama esas teşkil eden verileri sağladıkları için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ve Meteoroloji 1. Bölge Müdürlüğü çalışanı sayın Hasret Kitapçıoğlu'na teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca arkadaşlarım Melih Uğur Güngör ve Rumeysa Özdemir'e tezimin başlangıcından itibaren bana karşı duydukları sonsuz inançları ve sağlamış oldukları manevi destekleri için teşekkür ederim.

Son olarak ailemin her bir üyesine en yorulduğum zamanlarda bile bana sağlamış oldukları bitmek bilmeyen sabır, anlayış, inanç ve hayatımın her aşamasındaki maddi ve manevi destekleri için teşekkür ediyorum. Özellikle annemin ve ablamın destekleri olmadan bu tez çalışmasını bitirmem imkânsız olacaktı.

Mayıs 2017

Elvan Burcu KOŞMA
(Çevre ve Meteoroloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xiii**
SEMBOLLER ..... **xv**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xvii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xix**
ÖZET ..... **xxv**
SUMMARY ..... **xxvii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Dünyada ve Türkiyede Güneş Enerjisi 2
1.2 Tezin Amacı 4
2. GÜNEŞ RADYASYONU MODELLERİ LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **7**
2.1 Amprik Modeller 7
2.2 Yapay Sinir Ağları Kullanan Modeller 12
3. GÜNEŞ RADYASYONU **15**
3.1 Güneş Radyasyonu İle İlgili Temel Tanımlar 15
3.1.1 Dünya-güneş mesafesi ve eksantrisite düzeltme faktörü 15
3.1.2 Güneş sabiti 16
3.1.3 Deklinasyon açısı 16
3.1.4 Zaman eşitliği 17
3.1.5 Gerçek güneş zamanı 18
3.1.6 Saat açısı ve güneş doğuş saat açısı 19
3.1.7 Gün uzunluğu ve astronomik güneşlenme süresi 20
3.1.8 Dünya dışına gelen güneş radyasyonu 21
3.1.9 Direkt güneş radyasyonu 23
3.1.10 Difüz (yaygın, yayılı) güneş radyasyonu 23
3.1.11 Toplam güneş radyasyonu 23
3.1.12 Açıklık ve güneşlenme indeksleri 24
3.2 Enerji Amaçlı Güneş Radyasyonu Ölçümleri 24
3.2.1 Toplam güneş radyasyonu ölçümü 25
3.2.2 Toplam güneş radyasyonu ölçüm hataları 27
3.2.3 Güneşlenme süresi ölçümü 27
4. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA) **31**
4.1 YSA'ların Gelişimi 31
4.1.1 Biyolojik sinir ağları 32
4.2 YSA'ların Bileşenleri 33
4.2.1 Yapay nöronlar 34
4.2.2 Hata fonksiyonu 38
4.2.3 Giriş tabakası 38
4.2.4 Gizli tabaka 38

4.2.5 Çıkış tabakası 39
4.3 YSA Yapıları 39
4.3.1 İleri beslemeli YSA yapısı 39
4.3.2 Geri beslemeli YSA yapısı 40
4.4 Ağların Öğrenimi 41
4.4.1 Öğrenim yapıları 41
4.4.1.1 Eğiticili (supervised) öğrenim 41
4.4.1.2 Eğiticisiz (unsupervised) öğrenim 42
4.4.1.3 Pekiştirmeli (reinforced) öğrenim 42
4.4.2 Öğrenim kuralları 43
4.4.2.1 Hebb kuralı 44
4.4.2.2 Delta kuralı 44
4.4.2.3 Hopfield kuralı 45
4.4.2.4 Kohonen kuralı 45
4.4.3 Öğrenim algoritmaları 45
4.4.3.1 Levenberg-marquardt algoritması 47
4.4.3.2 Jacobian matrisi hesabı 47
4.4.3.3 Eğitim planı 50
5. MATERYAL VE METOT 51
5.1 Materyal 51
5.1.1 Çalışma alanının özellikleri 53
5.1.1.1 Ağrı istasyonu 55
5.1.1.2 Ankara istasyonu 56
5.1.1.3 Artvin istasyonu 57
5.1.1.4 Kastamonu istasyonu 58
5.1.1.5 Isparta istasyonu 59
5.1.1.6 Kırklareli istasyonu 60
5.1.1.7 Mardin istasyonu 61
5.1.1.8 Muğla istasyonu 62
5.1.2 Veriler 63
5.2 Metot 63
5.2.1 Kullanılan amprik model 65
5.2.2 Kullanılan yapay sinir ağı 66
5.3 İstatistiksel Metotlar 68
5.4 Özet 69
6. BULGULAR 71
6.1 Bahel Modelleri Sonuçları 71
6.1.1 Ağrı istasyonu 71
6.1.2 Ankara istasyonu 73
6.1.3 Artvin istasyonu 74
6.1.4 Kastamonu istasyonu 76
6.1.5 Isparta istasyonu 77
6.1.6 Kırklareli istasyonu 79
6.1.7 Mardin istasyonu 80
6.1.8 Muğla istasyonu 82
6.2 Bahel Modelleri Sonuçlarının Kıyaslanması 83
6.3 Yapay Sinir Ağı Uygulaması Sonuçları 84
6.4 Bahel Modeli ve YSA Çıktılarının Kıyaslanması 86

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 89
KAYNAKLAR 91
EKLER 97
ÖZGEÇMİŞ..... 195

KISALTMALAR

AU	: Astronomik Birim
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
ET	: Zaman Eşitliği
EUAŞ	: Elektrik Üretim Anonim Şirketi
HM	: Hessian Matrisi
ISO	: Uluslararası standartlar teşkilatı (International Organization for Standardization)
MATLAB	: Matris Laboratuvarı (MATrix LABoratory) Bilgisayar Programı
MBE	: Ortalama Sapma Hatası (Mean Bias Error)
MEVBİS	: Meteorolojik Veri Bilgi Satış ve Sunum Sistemi
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MOS	: Model Çıktı İstatistikleri (Model Output Statistics)
MSE	: Ortalama Karesel Hata (Mean Square Error)
MW	: Megawatt
MZ	: Memleket Zamanı
NRMSE	: Normalize Edilmiş Ortalama Karesel Hata Karekökü
OMGİ	: Otomatik Gözlem İstasyonu
RMSE	: Ortalama Karesel Hata Karekökü (Root Mean Square Error)
SB	: Standart Boylam
SSE	: Karesel Hataların Toplamı (Sum of Square Error)
TST	: Gerçek güneş zamanı
W	: Watt
WMO	: Dünya Meteoroloji Örgütü (World Meteorological Organization)
YSA	: Yapay Sinir Ağı

SEMBOLLER

∂	: Türev operatörü
°	: Derece sembolü
μ	: Kombinasyon katsayısı
a, b, c, d	: Angström-Prescott modeli katsayıları
b	: Sapma (bias) değeri
$\mathbf{B_1}$, $\mathbf{B_2}$	: Sapma (bias) vektörleri
Bsh	: Yarı kurak step iklimi (sıcak)
Bsk	: Yarı kurak step iklimi (soğuk)
Cfa	: Kışı, ılık yazı sıcak ve her mevsim yağışlı iklim
Cfb	: Kışı ve yazı ılık, her mevsim yağışlı iklim
Csa	: Kışı ılık, yazı sıcak ve kurak iklim (akdeniz iklimi)
Csb	: Kışı ılık, yazı ılık ve kurak iklim
D	: Doğu
Dfa	: Kışı şiddetli, her mevsim yağışlı, yazı sıcak iklim
Dfb	: Kışı şiddetli, her mevsim yağışlı, yazı serin iklim
$\mathbf{d_n}$	: Jülyen günü
$\mathbf{d_{p,m}}$	: Elde edilmek istenen çıktı vektörü
Dsa	: Kışı şiddetli, yazı kurak ve sıcak iklim
Dsb	: Kışı şiddetli, yazı kurak ve serin iklim
$\mathbf{e_v}$	: Eğitim verileri
e	: Hata değeri
$\mathbf{E_0}$	: Eksantrisite düzeltme faktörü
$\mathbf{e_{p,m}}$	: m çıktı numarası, p tasarım numarasına ait hata değeri
F	: Aktivasyon fonksiyonu
$\mathbf{f_j}$	: j nöronuna ait aktivasyon fonksiyonu
$\mathbf{F_{m,j}}$	: Çıktı ile çıktı nodu arasındaki nonlineer ilişki
$\mathbf{G_{ei}}$	: İlgili nörondaki gerçek hesap değeri
H	: Aylık ortalama küresel güneş radyasyonu (W/m^2)
$\mathbf{H_0}$	: Atmosfer dışına gelen aylık ortalama küresel güneş radyasyonu (W/m^2)
$\mathbf{H_{ei}}$	: İlgili nörondaki hedeflenen eğitim verileri
$\mathbf{H_{gi}}$	: i zamanındaki gerçek güneş radyasyonu değeri
$\mathbf{H_{hi}}$	: i zamanındaki hesaplanan güneş radyasyonu değeri
I	: Saatlik küresel güneş radyasyonu ($Watt/m^2$)
$\mathbf{I_0}$	: Atmosfer dışına gelen saatlik güneş radyasyonu ($Watt/m^2$)
$\mathbf{I_1}$	: Birim matris
$\mathbf{I_{sc}}$	: Güneş sabiti (1367 W/m^2)
i	: Çıktı nöronu
J	: Jacobian matrisi
j	: Topolojideki nöron sayısı
k	: İterasyon sayısı
K	: Kuzey
$\mathbf{K_k}$	: Sabit katsayı
$\mathbf{K_T}$	: Açıklık İndeksi

m^2 : metrekare
N : Veri sayısı
N_d : Gün uzunluğu (saat)
net_j : j nöronuna ait net çıkış değeri
$o_{p,m}$: gerçekte elde edilen çıktı vektörü
r : Gerçek dünya-güneş mesafesi
r_0 : Ortalama dünya-güneş mesafesi
R^2 : Belirlilik katsayısı
S : Aylık ortalama gerçek güneşlenme süresi (saat)
Σ : Toplam sembolü
S_0 : Aylık ortalama astronomik güneşlenme süresi (saat)
S_{0d} : Günlük astronomik güneşlenme süresi (saat)
S_{0h} : Saatlik astronomik güneşlenme süresi (saat)
S_h : Saatlik güneşlenme süresi (saat)
S_j : j nöronunun i nolu giriş nodundaki çıktı vektörünün türevi
v_k : Toplam fonksiyonu çıktısı
w : Ağırlıklar matrisi
w_1, w_2 : Ağırlıklar
$W_{i,j}$: j nöronunun i nolu giriş nodundaki ağırlık değeri
w_k : k iterasyonuna ait ağırlıklar matrisi
w_{ki} : i nöronuna ve k iterasyonuna ait ağırlıklar matrisi
X : Girdi matrisi
x_i : Girdi vektörü
Y : Çıktı değeri
$Y_{i,j}$: j nöronunun i nolu giriş nodundaki çıktı değeri
y_{ki} : Nöronun çıktı değeri
Z : İstasyon yüksekliği (m)
δ : Deklinasyon açısı
λ : Boylam derecesi
π : Çemberin çevresinin çapına oranı (pi)
φ : Enlem derecesi
ω_i : Saat açısı
ω_s : Güneş doğuş saat açısı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Dünyada güneş enerjisi santrali kurulu gücü sıralaması (Url-3). 3
Çizelge 4.1 : Öğrenim algoritmalarının karşılaştırması (Yu ve Willamowski, 2011). 47
Çizelge 5.1 : Güneş enerjisinin bölgelere göre dağılımı (Şen, 2009). 51
Çizelge 5.2 : Seçilen istasyonlara ait bilgiler (Url-8). 54
Çizelge 5.3 : Seçilen istasyondan alınan veriler. 63
Çizelge 5.4 : Filtreye ait alt ve üst limitler. 64
Çizelge 6.1 : 8 istasyona ait 2016 yılı R^2, RMSE ve MBE değerleri. 83
Çizelge 6.2 : 8 istasyona ait 2016 yılı YSA ve mevsimlik Bahel modelleri R^2 değerleri. 86
Çizelge 6.3 : 8 istasyona ait 2016 yılı YSA ve mevsimlik Bahel modelleri RMSE değerleri (W/m^2). 87
Çizelge 6.4 : 8 istasyona ait 2016 yılı YSA ve mevsimlik Bahel modelleri RMSE değerleri (%). 87
Çizelge 6.5 : 8 istasyona ait 2016 yılı YSA ve mevsimlik Bahel modelleri MBE değerleri (W/m^2). 88
Çizelge A.1 : Güneş radyasyonu ölçümü yapılan istasyonlar. 99
Çizelge A.1 (devam) : Güneş radyasyonu ölçümü yapılan istasyonlar. 100
Çizelge B.1 : Ağrı istasyonuna ait Bahel modeli katsayıları. 101
Çizelge B.2 : Ankara istasyonuna ait Bahel modeli katsayıları. 101
Çizelge B.3 : Artvin istasyonuna ait Bahel modeli katsayıları. 102
Çizelge B.4 : Kastamonu istasyonuna ait Bahel modeli katsayıları. 102
Çizelge B.5 : Isparta istasyonuna ait Bahel modeli katsayıları. 103
Çizelge B.6 : Kırklareli istasyonuna ait Bahel modeli katsayıları. 103
Çizelge B.7 : Mardin istasyonuna ait Bahel modeli katsayıları. 104
Çizelge B.8 : Muğla istasyonuna ait Bahel modeli katsayıları. 104
Çizelge C.1 : Yapay sinir ağları yapılarına ait bilgiler. 121
Çizelge F.1 : Ağrı istasyonu Bahel modellerine ait R^2 değerleri. 187
Çizelge F.2 : Ağrı istasyonu Bahel modellerine ait RMSE değerleri (W/m^2). 187
Çizelge F.3 : Ağrı istasyonu Bahel modellerine ait MBE değerleri (W/m^2). 187
Çizelge F.4 : Ankara istasyonu Bahel modellerine ait R^2 değerleri. 187
Çizelge F.5 : Ankara istasyonu Bahel modellerine ait RMSE değerleri (W/m^2). 188
Çizelge F.6 : Ankara istasyonu Bahel modellerine ait MBE değerleri (W/m^2). 188
Çizelge F.7 : Artvin istasyonu Bahel modellerine ait R^2 değerleri. 188
Çizelge F.8 : Artvin istasyonu Bahel modellerine ait RMSE değerleri (W/m^2). 188
Çizelge F.9 : Artvin istasyonu Bahel modellerine ait MBE değerleri (W/m^2). 189
Çizelge F.10 : Kastamonu istasyonu Bahel modellerine ait R^2 değerleri. 189
Çizelge F.11 : Kastamonu istasyonu Bahel modellerine ait RMSE değerleri (W/m^2). 189
Çizelge F.12 : Kastamonu istasyonu Bahel modellerine ait MBE değerleri (W/m^2). 189

Çizelge F.13 : Isparta istasyonu Bahel modellerine ait R^2 değerleri. 190
Çizelge F.14 : Isparta istasyonu Bahel modellerine ait RMSE değerleri (W/m^2). .. 190
Çizelge F.15 : Isparta istasyonu Bahel modellerine ait MBE değerleri (W/m^2). 190
Çizelge F.16 : Kırklareli istasyonu Bahel modellerine ait R^2 değerleri. 190
Çizelge F.17 : Kırklareli istasyonu Bahel modellerine ait RMSE değerleri (W/m^2). 191
Çizelge F.18 : Kırklareli istasyonu Bahel modellerine ait MBE değerleri (W/m^2). 191
Çizelge F.19 : Mardin istasyonu Bahel modellerine ait R^2 değerleri. 191
Çizelge F.20 : Mardin istasyonu Bahel modellerine ait RMSE değerleri (W/m^2). . 191
Çizelge F.21 : Mardin istasyonu Bahel modellerine ait MBE değerleri (W/m^2). ... 192
Çizelge F.22 : Muğla istasyonu Bahel modellerine ait R^2 değerleri. 192
Çizelge F.23 : Muğla istasyonu Bahel modellerine ait RMSE değerleri (W/m^2).... 192
Çizelge F.24 : Muğla istasyonu Bahel modellerine ait MBE değerleri (W/m^2)..... 192
Çizelge G.1 : Ağrı istasyonuna ait Mevsimlik Bahel modelleri ve YSA karşılaştırması. 193
Çizelge G.2 : Ankara istasyonuna ait Mevsimlik Bahel modelleri ve YSA karşılaştırması. 193
Çizelge G.3 : Artvin istasyonuna ait Mevsimlik Bahel modelleri ve YSA karşılaştırması. 193
Çizelge G.4 : Kastamonu istasyonuna ait Mevsimlik Bahel modelleri ve YSA karşılaştırması. 193
Çizelge G.5 : Isparta istasyonuna ait Mevsimlik Bahel modelleri ve YSA karşılaştırması. 194
Çizelge G.6 : Kırklareli istasyonuna ait Mevsimlik Bahel modelleri ve YSA karşılaştırması. 194
Çizelge G.7 : Mardin istasyonuna ait Mevsimlik Bahel modelleri ve YSA karşılaştırması. 194
Çizelge G.8 : Muğla istasyonuna ait Mevsimlik Bahel modelleri ve YSA karşılaştırması. 194

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Dünyanın güneş enerjisi potansiyeli (Url-1). 2
Şekil 1.2 : Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli (Url-2). 2
Şekil 3.1 : Dünyanın güneş etrafındaki yıllık dönüşü (Iqbal, 1983). 15
Şekil 3.2 : 1979-2009 yılları arasında çeşitli uyduların radyometreleri tarafından ölçülmüş olan güneş sabiti değerleri, Watt/m^2 (Fröhlich, 2009). 16
Şekil 3.3 : Deklinasyon açısı (Iqbal, 1983). 17
Şekil 3.4 : Zaman eşitliği değerlerinin saatlik değişimi. 18
Şekil 3.5 : Saat açısı ω_i ve güneş doğuş saat açısı ω_s. 19
Şekil 3.6 : Dünyadaki enerji dengesi (DMİ, 2008). 22
Şekil 3.7 : Atmosfer dışına gelen güneş radyasyonunun yıl içindeki değişimi (Duffie ve Beckman, 1980). 22
Şekil 3.8 : Direkt ve difüz güneş radyasyonunun atmosferik gösterimi. 24
Şekil 3.9 : Güneş ölçüm istasyonu ve gerekli meteorolojik rasat cihazlarının konumlandırılması (Rüzgâr ve Güneş Enerjisine Dayalı Önlisans Başvuruları için Yapılacak Rüzgâr ve Güneş Ölçümleri Uygulamalarına Dair Tebliğ, 2014). 25
Şekil 3.10 : Örnek piranometre (DMİ, 2008). 26
Şekil 3.11 : MGM 1.Bölge Müdürlüğü'nde kulanılan helyograf. 28
Şekil 3.12 : Yaz ayına ait dışbükey ölçüm kâğıdı (DMİ, 2008). 28
Şekil 3.13 : Örnek pirheliyometre cihazı (DMİ, 2008). 29
Şekil 4.1 : Biyolojik sinir hücresinin yapısı. 33
Şekil 4.2 : Yapay sinir ağlarının genel görünümü (Barutçu, 2016). 33
Şekil 4.3 : McCulloch ve Pitts nöron modeli (Barutçu, 2016). 34
Şekil 4.4 : Doğrusal olmayan bir nöron modeli (Barutçu, 2016). 34
Şekil 4.5 : Altı farklı aktivasyon fonksiyonu örneği. 36
Şekil 4.6 : YSA'ların kara kutu gösterimi. 37
Şekil 4.7 : İleri ve geri beslemeli YSA yapıları (Krenker ve diğ, 2011). 39
Şekil 4.8 : İleri beslemeli YSA yapısı (Krenker ve diğ, 2011). 40
Şekil 4.9 : Geri beslemeli YSA yapısı (Krenker ve diğ, 2011). 40
Şekil 4.10 : Elman, Jordan ve Hopfield YSA yapıları (Url-5). 41
Şekil 4.11 : YSA'larda eğiticili öğrenim yapısı (Şengör ve Erçelik, 2014). 42
Şekil 4.12 : YSA'larda eğiticisiz öğrenim yapısı (Şengör ve Erçelik, 2014). 42
Şekil 4.13 : YSA'larda pekiştirmeli öğrenim yapısı (Şengör ve Erçelik, 2014). 43
Şekil 4.14 : Öğrenim grafiği (Öztemel, 2012). 43
Şekil 4.15 : Hata fonksiyonu grafiği (Url-6). 46
Şekil 4.16 : Nöron şematiği (Yu ve Willamowski, 2011). 48
Şekil 4.17 : Levenberg-Marquardt algoritması akış şeması (Yu ve Willamowski, 2011) 50
Şekil 5.1 : Köppen İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye'de İklimsel Dağılım (Url-7) 52
Şekil 5.2 : Türkiye'de güneş radyasyonu ölçümü yapan istasyonların dağılımı (Url-8 verileri ile oluşturulmuştur). 53
Şekil 5.3 : Türkiye'de güneş radyasyonu ölçümü yapan istasyonların dağılımı. 54
Şekil 5.4 : Ağrı meteoroloji gözlem istasyonunun konumu. 55
Şekil 5.5 : Ağrı iklim diyagramı (Url-9 verileri ile oluşturulmuştur). 55
Şekil 5.6 : Ankara meteoroloji gözlem istasyonunun konumu. 56

Şekil 5.7 : Ankara iklim diyagramı (Url-9 verileri ile oluşturulmuştur). 56
Şekil 5.8 : Artvin meteoroloji gözlem istasyonunun konumu. 57
Şekil 5.9 : Artvin iklim diyagramı (Url-9 verileri ile oluşturulmuştur). 57
Şekil 5.10 : Kastamonu meteoroloji gözlem istasyonunun konumu. 58
Şekil 5.11 : Kastamonu iklim diyagramı (Url-9 verileri ile oluşturulmuştur). 58
Şekil 5.12 : Isparta meteoroloji gözlem istasyonunun konumu. 59
Şekil 5.13 : Isparta iklim diyagramı (Url-9 verileri ile oluşturulmuştur). 59
Şekil 5.14 : Kırklareli meteoroloji gözlem istasyonunun konumu. 60
Şekil 5.15 : Kırklareli iklim diyagramı (Url-9 verileri ile oluşturulmuştur). 60
Şekil 5.16 : Mardin meteoroloji gözlem istasyonunun konumu. 61
Şekil 5.17 : Mardin iklim diyagramı (Url-9 verileri ile oluşturulmuştur). 61
Şekil 5.18 : Muğla meteoroloji gözlem istasyonunun konumu. 62
Şekil 5.19 : Muğla iklim diyagramı (Url-9 verileri ile oluşturulmuştur). 62
Şekil 5.20 : Temsili yapay sinir ağı mimarisi. 66
Şekil 5.21 : Tez çalışması akış şeması. 69
Şekil 6.1 : Ağrı istasyonu 2016 yılına ait yıllık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 71
Şekil 6.2 : Ağrı istasyonu 2016 yılına ait mevsimlik kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 72
Şekil 6.3 : Ağrı istasyonu 2016 yılına ait aylık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 72
Şekil 6.4 : Ankara istasyonu 2016 yılına ait yıllık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 73
Şekil 6.5 : Ankara istasyonu 2016 yılına ait mevsimlik kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 73
Şekil 6.6 : Ankara istasyonu 2016 yılına ait aylık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 74
Şekil 6.7 : Artvin istasyonu 2016 yılına ait yıllık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 74
Şekil 6.8 : Artvin istasyonu 2016 yılına ait mevsimlik kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 75
Şekil 6.9 : Artvin istasyonu 2016 yılına ait aylık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 75
Şekil 6.10 : Kastamonu istasyonu 2016 yılına ait yıllık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 76
Şekil 6.11 : Kastamonu istasyonu 2016 yılına ait mevsimlik kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 76
Şekil 6.12 : Kastamonu istasyonu 2016 yılına ait aylık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 77
Şekil 6.13 : Isparta istasyonu 2016 yılına ait yıllık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 77
Şekil 6.14 : Isparta istasyonu 2016 yılına ait mevsimlik kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 78
Şekil 6.15 : Isparta istasyonu 2016 yılına ait aylık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 78
Şekil 6.16 : Kırklareli istasyonu 2016 yılına ait yıllık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 79
Şekil 6.17 : Kırklareli istasyonu 2016 yılına ait mevsimlik kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 79

Şekil 6.18 : Kırklareli istasyonu 2016 yılına ait aylık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 80
Şekil 6.19 : Mardin istasyonu 2016 yılına ait yıllık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 80
Şekil 6.20 : Mardin istasyonu 2016 yılına ait mevsimlik kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 81
Şekil 6.21 : Mardin istasyonu 2016 yılına ait aylık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 81
Şekil 6.22 : Muğla istasyonu 2016 yılına ait yıllık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 82
Şekil 6.23 : Muğla istasyonu 2016 yılına ait mevsimlik kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 82
Şekil 6.24 : Muğla istasyonu 2016 yılına ait aylık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği. 83
Şekil 6.25 : Ağrı istasyonu kış aylarına ait YSA'nın hesap değerlerini gözlem değerlerine yaklaştırmasını gösteren örnek. 85
Şekil 6.26 : Muğla istasyonu yaz aylarına ait Bahel tahminleri ile gözlem değerleri kıyaslaması. 85
Şekil 6.27 : Muğla istasyonu yaz aylarına ait YSA tahminleri ile gözlem değerleri kıyaslaması. 86
Şekil C.1 : Ağrı istasyonu kış aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 105
Şekil C.2 : Ağrı istasyonu bahar aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 105
Şekil C.3 : Ağrı istasyonu yaz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 106
Şekil C.4 : Ağrı istasyonu güz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 106
Şekil C.5 : Ankara istasyonu kış aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 107
Şekil C.6 : Ankara istasyonu bahar aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 107
Şekil C.7 : Ankara istasyonu yaz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 108
Şekil C.8 : Ankara istasyonu güz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 108
Şekil C.9 : Artvin istasyonu kış aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 109
Şekil C.10 : Artvin istasyonu bahar aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 109
Şekil C.11 : Artvin istasyonu yaz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 110
Şekil C.12 : Artvin istasyonu güz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 110
Şekil C.13 : Kastamonu istasyonu kış aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 111
Şekil C.14 : Kastamonu istasyonu bahar aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 111
Şekil C.15 : Kastamonu istasyonu yaz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 112

Şekil C.16 : Kastamonu istasyonu güz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 112
Şekil C.17 : Isparta istasyonu kış aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 113
Şekil C.18 : Isparta istasyonu bahar aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 113
Şekil C.19 : Isparta istasyonu yaz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 114
Şekil C.20 : Isparta istasyonu güz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 114
Şekil C.21 : Kırklareli istasyonu kış aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 115
Şekil C.22 : Kırklareli istasyonu bahar aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 115
Şekil C.23 : Kırklareli istasyonu yaz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 116
Şekil C.24 : Kırklareli istasyonu güz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 116
Şekil C.25 : Mardin istasyonu kış aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 117
Şekil C.26 : Mardin istasyonu bahar aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 117
Şekil C.27 : Mardin istasyonu yaz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 118
Şekil C.28 : Mardin istasyonu güz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 118
Şekil C.29 : Muğla istasyonu kış aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 119
Şekil C.30 : Muğla istasyonu bahar aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 119
Şekil C.31 : Muğla istasyonu yaz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 120
Şekil C.32 : Muğla istasyonu güz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi. 120
Şekil D.1 : Ağrı istasyonu kış aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 123
Şekil D.2 : Ağrı istasyonu kış aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 123
Şekil D.3 : Ağrı istasyonu bahar aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 124
Şekil D.4 : Ağrı istasyonu bahar aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 124
Şekil D.5 : Ağrı istasyonu yaz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 125
Şekil D.6 : Ağrı istasyonu yaz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 125
Şekil D.7 : Ağrı istasyonu güz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 126
Şekil D.8 : Ağrı istasyonu güz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 126
Şekil D.9 : Ankara istasyonu kış aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 127
Şekil D.10 : Ankara istasyonu kış aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 127
Şekil D.11 : Ankara istasyonu bahar aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 128
Şekil D.12 : Ankara istasyonu bahar aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 128
Şekil D.13 : Ankara istasyonu yaz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 129
Şekil D.14 : Ankara istasyonu yaz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 129
Şekil D.15 : Ankara istasyonu güz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 130
Şekil D.16 : Ankara istasyonu güz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 130

Şekil D.17 : Artvin istasyonu kış aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 131
Şekil D.18 : Artvin istasyonu kış aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 131
Şekil D.19 : Artvin istasyonu bahar aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 132
Şekil D.20 : Artvin istasyonu bahar aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 132
Şekil D.21 : Artvin istasyonu yaz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması..... 133
Şekil D.22 : Artvin istasyonu yaz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 133
Şekil D.23 : Artvin istasyonu güz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 134
Şekil D.24 : Artvin istasyonu güz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 134
Şekil D.25 : Kastamonu istasyonu kış aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.... 135
Şekil D.26 : Kastamonu istasyonu kış aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. . 135
Şekil D.27 : Kastamonu istasyonu bahar aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 136
Şekil D.28 : Kastamonu istasyonu bahar aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 136
Şekil D.29 : Kastamonu istasyonu yaz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması... 137
Şekil D.30 : Kastamonu istasyonu yaz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.. 137
Şekil D.31 : Kastamonu istasyonu güz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması... 138
Şekil D.32 : Kastamonu istasyonu güz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 138
Şekil D.33 : Isparta istasyonu kış aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 139
Şekil D.34 : Isparta istasyonu kış aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması..... 139
Şekil D.35 : Isparta istasyonu bahar aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 140
Şekil D.36 : Isparta istasyonu bahar aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması..... 140
Şekil D.37 : Isparta istasyonu yaz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 141
Şekil D.38 : Isparta istasyonu yaz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 141
Şekil D.39 : Isparta istasyonu güz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 142
Şekil D.40 : Isparta istasyonu güz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması..... 142
Şekil D.41 : Kırklareli istasyonu kış aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 143
Şekil D.42 : Kırklareli istasyonu kış aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 143
Şekil D.43 : Kırklareli istasyonu bahar aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. . 144
Şekil D.44 : Kırklareli istasyonu bahar aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 144
Şekil D.45 : Kırklareli istasyonu yaz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması..... 145
Şekil D.46 : Kırklareli istasyonu yaz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. ... 145
Şekil D.47 : Kırklareli istasyonu güz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 146
Şekil D.48 : Kırklareli istasyonu güz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.... 146
Şekil D.49 : Mardin istasyonu kış aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 147
Şekil D.50 : Mardin istasyonu kış aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 147
Şekil D.51 : Mardin istasyonu bahar aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 148
Şekil D.52 : Mardin istasyonu bahar aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması..... 148
Şekil D.53 : Mardin istasyonu yaz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 149
Şekil D.54 : Mardin istasyonu yaz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 149
Şekil D.55 : Mardin istasyonu güz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 150
Şekil D.56 : Mardin istasyonu güz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması..... 150
Şekil D.57 : Muğla istasyonu kış aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 151
Şekil D.58 : Muğla istasyonu kış aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 151
Şekil D.59 : Muğla istasyonu bahar aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 152
Şekil D.60 : Muğla istasyonu bahar aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 152
Şekil D.61 : Muğla istasyonu yaz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması..... 153
Şekil D.62 : Muğla istasyonu yaz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 153
Şekil D.63 : Muğla istasyonu güz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması. 154
Şekil D.64 : Muğla istasyonu güz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması. 154

Şekil E.1 : Ağrı istasyonu kış aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 155
Şekil E.2 : Ağrı istasyonu bahar aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 156
Şekil E.3 : Ağrı istasyonu yaz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 157
Şekil E.4 : Ağrı istasyonu güz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 158
Şekil E.5 : Ankara istasyonu kış aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 159
Şekil E.6 : Ankara istasyonu bahar aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.. 160
Şekil E.7 : Ankara istasyonu yaz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 161
Şekil E.8 : Ankara istasyonu güz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 162
Şekil E.9 : Artvin istasyonu kış aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 163
Şekil E.10 : Artvin istasyonu bahar aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 164
Şekil E.11 : Artvin istasyonu yaz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. ... 165
Şekil E.12 : Artvin istasyonu güz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. ... 166
Şekil E.13 : Kastamonu istasyonu kış aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 167
Şekil E.14 : Kastamonu istasyonu bahar aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 168
Şekil E.15 : Kastamonu istasyonu yaz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 169
Şekil E.16 : Kastamonu istasyonu güz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 170
Şekil E.17 : Isparta istasyonu kış aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 171
Şekil E.18 : Isparta istasyonu bahar aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 172
Şekil E.19 : Isparta istasyonu yaz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. ... 173
Şekil E.20 : Isparta istasyonu güz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 174
Şekil E.21 : Kırklareli istasyonu kış aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 175
Şekil E.22 : Kırklareli istasyonu bahar aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 176
Şekil E.23 : Kırklareli istasyonu yaz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 177
Şekil E.24 : Kırklareli istasyonu güz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 178
Şekil E.25 : Mardin istasyonu kış aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. ... 179
Şekil E.26 : Mardin istasyonu bahar aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 180
Şekil E.27 : Mardin istasyonu yaz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. .. 181
Şekil E.28 : Mardin istasyonu güz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. .. 182
Şekil E.29 : Muğla istasyonu kış aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 183
Şekil E.30 : Muğla istasyonu bahar aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. 184
Şekil E.31 : Muğla istasyonu yaz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. ... 185
Şekil E.32 : Muğla istasyonu güz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri. ... 186

TÜRKİYE GENELİNDE BAHEL MODELİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE GÜNEŞ RADYASYONU TAHMİNİ

ÖZET

Bulunduğu coğrafi konum dolayısıyla, dünyada güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan ülkeler arasında bulunan Türkiye'de güneş enerjisinden mümkün olduğunca etkin bir biçimde faydalanılması gereklidir.

Güneş enerjisi üretiminde gelecekteki saatlik küresel güneş radyasyonunun doğru tahmin edilmesi büyük önem taşır. Bu tür tahminlere mevcut ölçüm verilerinin eksiksiz ve doğru olarak girilmesi, tahminin başarımını doğrudan etkileyen parametrelerin başında gelmektedir.

Ancak saatlik küresel güneş radyasyonu ölçümleri ülke genelinde sınırlı sayıda meteoroloji istasyonunda gerçekleştirilmekte olup, ölçüm verilerinde sıklıkla veri kayıpları ve ölçüm hatalarına rastlanılmaktadır Bu durum saatlik bazda güneş radyasyonu modellerinin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır.

Bu sebeple saatlik küresel güneş radyasyonu verilerindeki eksik ve hataları giderebilmek adına Bahel (kübik Angstrom-Prescott) modeli Türkiye'deki her iklim bölgesini temsil edecek şekilde 8 istasyon için uygulanmıştır. Öncelikle yıllık kalibrasyon yöntemi denenmiş, ancak Angström-Prescott temelli modellerin genel sıkıntısı olan katsayıların sabitliği problemi nedeniyle farklı ölçekteki kalibrasyon yöntemlerinin de denenmesine karar verilmiştir. Buna göre tezin son halinde model uygulamasında aylık, mevsimlik ve yılık olacak şekilde 3 ayrı uygulama tekniği denenerek bunlar kendi içlerinde kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre mevsimlik kalibrasyon yöntemi uygulanan Bahel modeli en yüksek başarım değerine sahiptir. Bahel modellerinin başarımı doğrudan istasyonların bulunduğu bölgedeki iklimsel özelliklere de bağlıdır. Mevsimlik Bahel modeli için 2016 yılında tüm istasyon ortalamasında R^2 değeri 0,9430, RMSE değeri 59,283 ve MBE değeri -3,661 olarak bulunmuştur.

Ardından, seçilen mevsimlik Bahel modeli üzerinde yapay sinir ağı ile model çıktılarını iyileştirme işlemi uygulanmış ve iyileştirilmiş Bahel modeli ile başlangıç Bahel modeli sonuçları kıyaslanmıştır. Yaklaşık 500 yapay sinir ağı denemek ve eğitim seti olarak 2011-2015 yılları arası verileri yerleştirmek suretiyle yapay sinir ağının eğitimi gerçekleştirilmiştir. Yapay sinir ağlarıyla iyileştirilmiş 2016 yılı Bahel modelinin 0,9587 R^2, 52,4117 RMSE ve -0,796 MBE değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde yapay sinir ağları uygulanarak iyileştirilmiş kübik Angström-Prescott modelinin, sadece kübik Angström-Prescott uygulamasına nazaran daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

2011-2016 yılları datası kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından sağlanan veriler kullanılmıştır.

SOLAR RADIATION ESTIMATION FOR TURKEY USING BAHEL MODEL AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

SUMMARY

Energy has been among the most basic requirements of humankind for many years. Energy has many indispensable qualities in many fields such as heating, production and transportation. Moreover, energy has been generated from fossil and unsustainable energy resources such as coal, oil and natural gas in the past. However, after the industrial revolution, the rising uncontrolled use of fossil resources has led to the reduction of these resources and increase in environmental pollution.

Today, with the increase of robotic technologies, the use of energy in production systems has reached its peak. Every activity to reduce environmental pollution, which is a direct result of industrial production, also has affected the rising of energy consumption. For example, electronic billing, which has become popular to reduce paper consumption, increased the computer use and the electricity consumption. Furthermore, energy is becoming indispensable for environmental pollution control because of the continuous process of garbage in solid waste storage areas throughout the world.

Due to its geographical location, Turkey is among the countries with the highest solar energy potential in the world. Therefore it is important to utilize solar energy in Turkey as effectively as possible.

In the production of solar energy, accurate forecasting of the hourly global solar radiation is of great importance. Complete and accurate entry of the current measurement data into such estimates is among the parameters directly affecting the estimation performance.

However, hourly global solar radiation measurements are carried out in a limited number of meteorological stations nationwide, and data loss and measurement errors are frequently encountered in data measurement. This necessitates the development and improvement of solar radiation models on an hourly basis.

Although Angstrom-Prescott-based solar radiation models have been implemented for many years, the models on the hourly scale are still limited. The relationship between the duration of sunshine and global solar radiation allowed the diversification of Angström-Prescott models and the formation of square, cubic, logarithmic versions. The greatest advantage of the Angström-Prescott model is that it only allows calculating using a single observation data (sunrise time). Models that use more than one measurement data (including temperature, humidity, etc. parameters) can affect the calculations because of the aggregation of unwanted measurement errors. With the use of models with single observation values, the errors caused by the measurements will be minimized as much as possible.

In this study, a 6-year data period from January 2011 to December 2016 was selected and the data was obtained from T.C. Ministry of Forestry and Water Affairs,

Meteorology General Directorate (MGM) Meteorological Data Information Sales and Presentation System (MEVBİS). It was acquired free of charge for scientific study purposes through Istanbul Technical University.

Within the scope of the thesis study, the stations that have solar radiation data between the years 2011-2016 were examined and the stations with the minimum missing data and the representative features in terms of spatial characteristics were determined.

Accordingly, a total of 8 stations were selected, two stations from the Black Sea region and the rest of the stations are from every other region, and the studies were carried out with data from these stations. These stations are Ağrı, Ankara, Artvin, Kastamonu, Isparta, Kırklareli, Mardin and Muğla stations.

Consequently, it was decided to apply the Bahel model, also known as the cubic Angström-Prescott model, for the hourly global solar radiation calculations carried out within the scope of the thesis. Firstly, the annual calibration method was tried but it was decided to try calibration methods of different dimensions because of the problem of the invariability of the coefficients which is the general problem of Angström-Prescott based models. According to this, 3 different application techniques have been tried in the final application of the thesis as monthly, seasonal and yearly model application.

The 2011 – 2016 data period for empirical calculations was initially divided into two groups, training and test set. Empirical calculations between 2011 and 2012 were selected as the training set, while between the years 2013 – 2016 were the test set.

During the study, it was observed that the night hours with S / S0 sunshine index was equal to 0/0 constituted approximately one third of the total amount of data, and these values were not included in the training set because they caused deviation in the empirical formula.

The Bahel model calculations for the selected time periods were carried out with the MATLAB® program and there were 17 coefficient groups (1 yearly, 4 seasonal and 12 monthly) for each station.

At all stations, the annual Bahel model shows about 3 times higher results than actual measurements. This is caused by the stability of the model coefficients throughout the year. The seasonal and monthly models, where the coefficients are more variable during the year, give similar results and give slightly lower results than the actual observations.

R^2, RMSE and MBE values were used in error assessment of global radiation estimates. When the R^2 values of the Bahel models are compared, it is seen that the annual R^2 values are very low compared to the monthly and seasonal calibrations for each station and the average R^2 value is 0.7958. R^2 values of monthly and seasonal calibrations are close to each other, and the seasonal R^2 value is slightly higher than monthly value. While the monthly average of all stations R^2 value is 0.9363, seasonal average R^2 value is as found 0.9430. When the RMSE values are examined, the annual calibration values give an average value of 365,218. In the monthly calibration, the RMSE value is 63,218, while the seasonal RMSE is 59,283, giving the lowest value among all calibrations. When the MBE values were examined, the annual calibration values were positive at all stations and the average value was 495,953. For monthly and seasonally calibrations, the mean values of MBE were calculated as -2,5574 and -3,661, respectively.

According to the results obtained, the annual model is the worst model among the 3 models. Among the seasonal and monthly models, the seasonal Bahel model with an average value of 0.9430 R2, 59.283 RMSE and -3.661 MBE was the best model selected. It has been decided to implement Model Output Statistics (MOS) to this model.

Model Output Statistics is essentially a compilation of statistical modeling techniques and has been used as a post - processing method in the 70's to improve the results of numerical weather prediction models. Linear, polynomial, logarithmic regression techniques can be used for a statistical method for creating Model Output Statistics, as well as various artificial intelligence approaches such as artificial neural networks, support vector machines can be used.

In this thesis, it has been decided to improve the Angström-Prescott model outputs with artificial neural networks. Artificial Neural Networks (ANN) constructed similar to biological neural networks can be defined as systems that allow many simple processors to generate complex interconnection and perform concurrent processing. Learning occurs in artificial neural networks by the connections between neurons just like the biological neural networks.

In order to improve the model outputs, artificial neural network application has been performed on the seasonal model which gives the best result among the Bahel models applied at different time scales within the thesis study. The codes for ANN are written in MATLAB® program and related calculations are done.

Artificial neural networks applied within the scope of the thesis study are aimed to approximate the outputs of the seasonal Bahel model to the real solar radiation measurement values. For ANN application, 5 years period between 2011-2015 is selected as the training set and 2016 year test set is selected as the test set. For the purpose of training, Bahel model results and seasonal global solar radiation measurements obtained from the MGM are given to the artificial neural network for a 5-year period. Pure-linear function and Logarithmic Sigmoid function are used together as activation functions.

Using the Levenberg Marquardt algorithm, the ANN tries to approximate the Bahel model results to real observations results. The Levenberg-Marquardt algorithm, one of the Quasi-Newtonian methods, is known to bring a different approach to the Hessian matrix and to offer rapid training to ANNs.

The trainings were created by testing 500 ANN in the training of each ANN application, so it was ensured that ANN was tested in a sufficiently wide range and that the error was at minimum in the ANN detection. At the end of the training, the ANN structure with the best results was selected and thus the training was finalized. During the training, the parameters such as the number of nods in the input layer and the number of hidden layer neurons in ANN are changed. In the whole of the stations, the number of nodes is found as 2 in the input layer. This indicates that the internal dependency of the system is dependent on 2 input values, meaning 1 hour time period.

Since ANN is operated on a seasonal basis for each station, a total of 4 ANN are operated in each station. Thus, a total of 32 ANNs were created for 8 stations.

The artificial neural network giving the highest R^2 value among the applied ANNs was selected and the results of the estimation of the selected ANN and the initial Bahel model results were compared.

When R^2 values are examined, it is seen that ANN application improves all seasonal data of all stations. ANN made the biggest improvements on the Kırklareli values in winter and increased the R^2 value of 0.7968 to 0.8978. The least improvement was at the Mardin station in springtime and the R^2 value of 0.9546 rose to 0.9828. R^2 values are between 0.7743 and 0.9851 for the Bahel model and between 0.859 and 0.9937 for ANN. When the RMSE values are examined, ANN has made the biggest improvements on the Isparta station in summer and decreased the RMSE value of 86,0752 to 59,2318. The least improvement was in the Mardin station during the winter months and the RMSE value of 59.33 decreased to 59.0241. RMSE values are between 43,0597 and 94,6689 for Bahel model and between 32,247 and 75,879 for ANN. When the MBE values are examined, it is seen that the values for the seasonal Bahel model change between -24,8372 and 17,3405, while for ANN these values change between -14,9072 and 11,964.

As a result of the ANN application, the mean values of all stations were 0.9587 R^2, 52.4117 RMSE and -0.796 MBE. If all the results are evaluated, it can be said that ANN application gives better results than Bahel model. Hereby, the hybrid model which is the application of ANN post-processing for the cubic Angström-Prescott model outputs, provides much better results than just the Cubic Angström-Prescott model application.

1. GİRİŞ

Enerji uzun yıllardan beri insanlığın en temel gereksinimlerinden biri arasında yer almıştır. Isınma, üretim, taşıma gibi birçok alanda vazgeçilmez bir öneme sahip olan enerji, geçmişte kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil ve sürdürülemez nitelikte kaynaklardan elde edilmekteydi. Ancak endüstriyel devrim sonrası kontrolsüzce artan fosil kaynak kullanımı bu kaynakların azalmasına ve buna bağlı olarak oluşan çevre kirliliğinde artışa sebep olmuştur.

1750-1825 arası yıllarda kömür enerji kaynağı olarak kullanılınırken, 1825-1860 arasında bunun yerini elektrik enerjisi almış, bunu takip eden 1860-1910 yılları arasındaki dönemde petrolün enerji amaçlı kullanımı yaygınlaşmış, 1910-1970 arasında nükleer enerjinin kaynak olarak kullanımı popüler bir konu haline gelmiş ve son olarak 1970 yılından günümüze gelen süreçte yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gündeme oturmuştur (21.yy'ın eşiğinde güneş enerjisi, 1999).

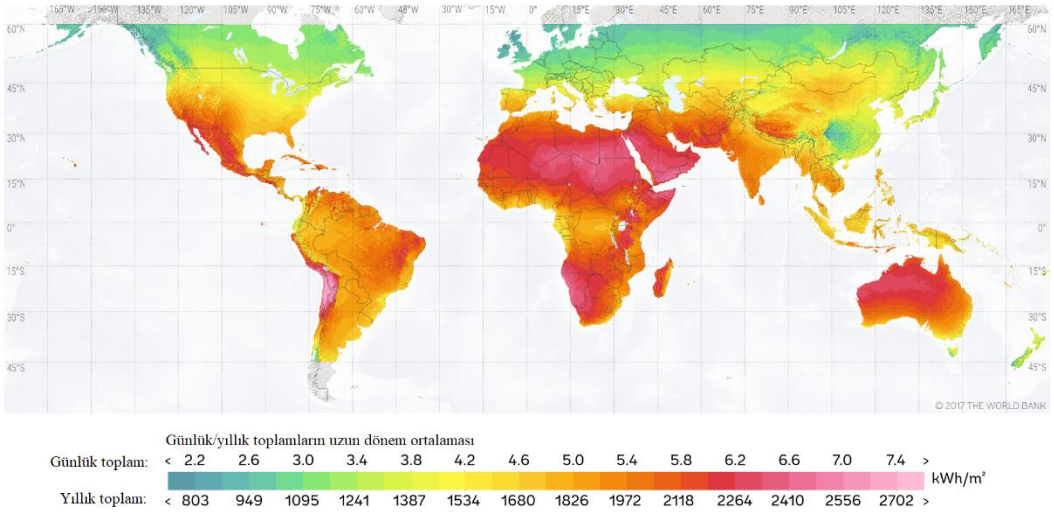
Günümüzde robotik teknolojilerin artışı ile üretimde enerji kullanımı doruklara ulaşmıştır. Endüstriyel üretimin doğrudan bir sonucu olan çevre kirliliğini azaltmak üzere yapılan her faaliyet de enerji tüketimini artırıcı yönde etki göstermektedir. Buna örnek olarak, kâğıt tüketimini azaltmak üzere yaygınlaşan elektronik fatura uygulamasının, bilgisayar, dolayısı ile de elektrik tüketimini artırıcı etkisi gösterilebilir. Ayrıca dünyanın dört bir yanında katı atık depolama alanlarında çöpler durmadan işlemden geçirilmekte ve bu aşamada enerji, çevre kirliliğini kontrol alma açısından vazgeçilmez bir konuma yerleşmektedir.

Türkiye'nin enerji alanındaki dışa bağımlılığının adım adım yok edilebilmesi ve ekonominin duraksamadan büyüyebilmesi adına mevcut enerji kaynaklarından tam ve etkin biçimde yararlanılması gereklidir (Kalkınma Bakanlığı, 2014).

Bulunduğu coğrafi konum dolayısıyla, dünyada güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan ülkeler arasında bulunan Türkiye'de, güneş enerjisinden daha etkin bir şekilde yararlanılabilmesi adına güneş enerjisi modellerinin geliştirilmesine ve iyileştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

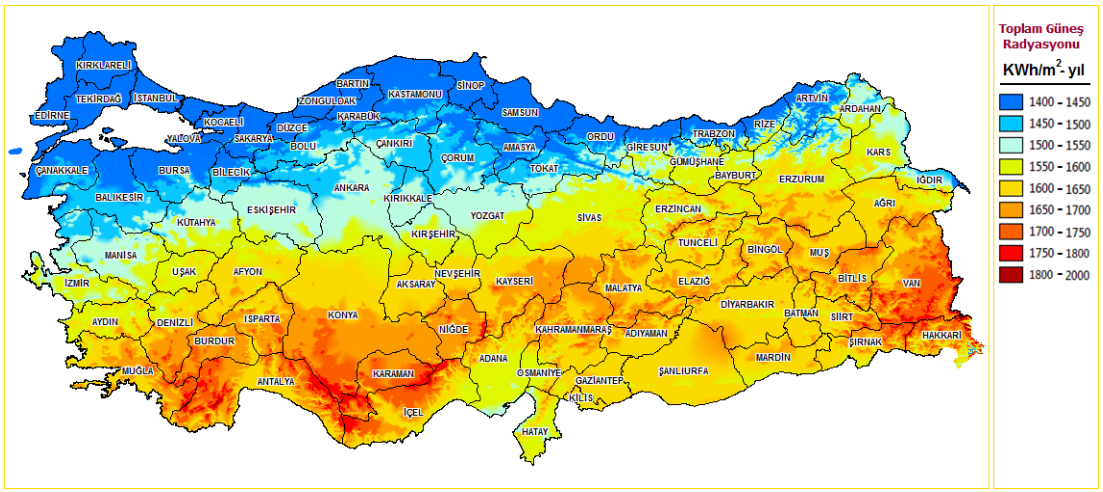
1.1 Dünyada ve Türkiyede Güneş Enerjisi

Avrupa ülkelerine kıyasla, ülkemizde güneş enerjisi potansiyeli üst seviyelerde olup bu konuda yapılacak olan yatırımların artırılmasına ihtiyaç vardır. Dünya'da güneş enerjisi potansiyeli'nin dağılımı Şekil 1.1'de görülebilir.



Şekil 1.1 : Dünyanın güneş enerjisi potansiyeli (Url-1).

Türkiye'deki güneş enerjisi potansiyelinin dağılımı ise Şekil 1.2'de mevcuttur. Buna göre özellikle ülkemizin güneyinde güneş enerjsi potansiyeli daha yüksektir. Ülkemizin kuzey bölgeleri ise Avrupa ülkeleri ile yakın güneş enerjisi potansiyeli değerlerine sahiptir. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli bakımından metrekare başına yılda 1400 ila 2000 kilowatt saat enerji üretebilecek konumdadır.



Şekil 1.2 : Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli (Url-2).

Ülkemiz dünyadaki en fazla güneş enerjisi santrali bulunduran 49 ülke içerisinde kurulu güç bakımından 15. sırada yer almaktadır. Çizelge 1.1'de görülebileceği üzere

Çin, kurulu güç bakımından dünyada başı çekmekte ve onu sırasıyla Japonya, Almanya ve Amerika Birleşik Devletleri takip etmektedir. Kişi başına düşen kurulu güç bakımından ise Almanya, 516 MW ile en yüksek kişi başına düşen kurulu güç sahibi ülkedir. Türkiye ise kişi başına düşen kurulu güç olarak 35. sırada yer almaktadır (Url-3).

Çizelge 1.1 : Dünyada güneş enerjisi santrali kurulu gücü sıralaması (Url-3).

Sıra	Ülke	Veri Tarihi	Kurulu Güç (MW)	Kişi Başına Kurulu Güç (MW)
1	Çin	Haziran 2017	102470	74
2	Japonya	Aralık 2016	42750	337
3	Almanya	Ekim 2017	42710	516
4	ABD	Aralık 2016	40300	124
5	İtalya	Aralık 2016	19279	318
6	Birleşik Krallık	Aralık 2016	11630	177
7	Hindistan	Aralık 2016	9010	7
8	Fransa	Aralık 2016	7130	106
9	İspanya	Temmuz 2017	6730	145
10	Avustralya	Aralık 2016	5900	240
11	Güney Kore	Aralık 2016	4350	85
12	Belçika	Aralık 2016	3422	301
13	Kanada	Aralık 2016	2715	74
14	Yunanistan	Aralık 2016	2610	242
15	Türkiye	Kasım 2017	2246	28

Türkiye 2014 yılında lisanssız enerji üreticileri ile fotovoltaik piyasasına resmi bir giriş yapmış olup, 2014 yılındaki mevcut kurulu güç 40,2 MW'tır. 2015 yılında bu değer 248,8 MW'a, 2016 yılında ise 832,5 MW'a ulaşmıştır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017). 2017 Aralık ayında ise bu değer 2246 MW'a ulaşmıştır (Url-3).

Türkiye'de 2019 yılı sonunda güneş enerjisi kurulu gücünün 3000 MW değerine ulaştırılması planlanmaktadır (EUAŞ, 2016).

Her ne kadar ülkemizdeki güneş enerjisi kurulu gücü 2014'ten bu yana katlanarak artmış olsa da, kişi başına kurulu güç incelendiğinde mevcut durumun dünyadaki diğer ülkelere kıyasla aşağı seviyelerde olduğu söylenebilir. Ülkemizin yüzölçümü ve güneş enerjisi potansiyeli incelendiğinde mevcut yatırımların artırılmasına ihtiyaç olduğu apaçık ortadadır.

Ulusararası Enerji Ajansı 2016 yılı tahminlerine göre, 20-25 yıl içerisinde dünyadaki enerji ihtiyacı %30 artacak ve dünya nüfusunun önemli bir çoğunluğu kendi enerji

ihtiyacını karşılayamayacak duruma gelecektir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017).

Bu durum göz önüne alındığında en kısa zamanda ülkemizdeki mevcut güneş enerjisi potansiyelinden daha etkin bir biçimde yararlanmaya başlanılması elzemdir.

1.2 Tezin Amacı

Yenilenebilir enerji sistemlerinin tasarım ve planlanmasında enerjinin doğru tahmin edilmesi oldukça önemlidir. Özellikle güneş enerjisi sistemlerinin planlama ve işletim aşamalarında, üretilecek enerjinin doğru tahmin edilip raporlanması maliyet açısından da önem taşır. Elde edilecek güneş enerjisinin doğru tahmini, güneş enerjisinden elektrik üretilen sistemlerde verimi artıracağı gibi, güneş enerjisi sistemlerine yapılan ülke çapındaki yatırımları da olumlu yönde etkileyecektir.

Güneş enerjisinin tahmini için öncelikle giriş parametresi olarak geçmiş yıllara ait güneş radyasyonu ölçüm değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de insanlı veya otomatik meteoroloji gözlem istasyonlarından elde edilen güneş radyasyonu ölçüm verilerinde sıklıkla kayıplara rastlanmaktadır. Bu kayıplar aletin bozulması, kalibrasyon hatası, ani elektrik kesintileri, ölçüm yapan aletin üzerinin kapanması ve benzeri çok çeşitli nedenlerden kaynaklanabilmektedir. Tüm bu veri kayıplarının güneş enerjisi tahminlerindeki olumsuz etkileri azımsanamayacak derecededir.

Literatürde ölçüm verilerindeki eksiklikleri tamamlamaya yönelik kullanılabilecek modeller mevcut olmasına rağmen, bu modellerin büyük bir çoğunluğu saatlik modeller olmayıp, günlük ve aylık bazdadır.

Günlük ve saatlik radyasyon verileri mühendislik alanlarında en çok ihtiyaç duyulan verilerden olup bu konular üzerinde yapılan çalışmaların artırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Zhang ve diğ., 2016).

Mevcut çalışmalardaki bu eksiklikler güneş enerjisi amaçlı kullanılabilecek saatlik bazda güneş radyasyonu modellerinin geliştirilmesine olan ihtiyaca dikkat çekmektedir.

Bu çalışmanın amacı Türkiye'deki farklı iklim bölgelerine uygun saatlik güneş radyasyonu hesap modelleri ortaya koyarak mevcut literatüre katkı sağlamaktır.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Küresel güneş radyasyonu modelleri üzerine geçmişte yapılan çalışmalar araştırılıp, incelenmiş ve tezin literatür araştırması bölümünde sunulmuştur.
- Küresel güneş radyasyonu türleri ve dünyanın güneş ile yaptığı açılar hakkında bilgi alınarak güneş radyasyonu hesaplamalarında bu bilgilerden faydalanılmıştır.
- Güneş radyasyonu ölçüm teknikleri ve bu ölçümleri etkileyen parametreler incelenmiş ve istasyon seçiminde bu ölçütler göz önünde tutulmuştur.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) alınan veriler detaylı bir şekilde incelenmiş ve aranılan kriterlere uygun olmayan istasyonlar hesaplamalara dâhil edilmemiştir.
- Angström-Prescott modelleri için gerekli olan bulutsuz hava koşullarındaki saatlik güneşlenme süresi değerlerinin hesabı için günlük toplam güneşlenme süresi hesaplama tekniği saatlik ölçeğe uyacak şekilde modifiye edilmiştir.
- Literatürdeki güneşlenme süresini kullanan Angström-Prescott temelli modeller gözden geçirilmiş ve saatlik ölçekte uygulaması yapılacak modele karar verilmiştir.
- Karar verilen model, aylık, mevsimlik ve yıllık kalibrasyon yöntemleri ile istasyon verilerine uygulanmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanarak aralarında en iyi sonuç veren model üzerinde yapay sinir ağı uygulaması yapılmıştır.
- Seçilen model üzerinde uygulanan yapay sinir ağı sonucunda elde edilen değerler incelenmiş ve tüm model sonuçları tablo halinde sunulmuştur. İstatistiksel yöntemler kullanılarak model performansları incelenmiştir.

2. GÜNEŞ RADYASYONU MODELLERİ LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Amprik Modeller

Güneş radyasyonu hesapları yıllarca üzerinde çalışılmış ve hâlâ çalışılmaya devam edilen bir konudur. Önce aylık güneş radyasyonu modeli hesaplamalarıyla başlayan bu çalışmaları, daha sonrasında günlük güneş radyasyonu hesaplamaları takip etmiştir. Lineer ve non-lineer yapıda olan bu modeller giriş parametreleri olarak güneşlenme süresi, maksimum-minimum-ölçülen hava sıcaklıkları, yağış ve bağıl nem değerlerini kullanabilmektedir (Yıldırım, 2016). Literatürde küresel güneş radyasyonunu hesaplayan çok fazla model olmasına karşılık, saatlik güneş radyasyonu üzerine yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır (Yang ve Koike, 2005).

Literatürde konu ile ilgili yapılan çalışmalar aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

Angström, Stockholm şehrine ait güneşlenme süresi ve bulutsuz gökyüzü koşullarındaki küresel güneş radyasyon ölçüm verilerini kullanarak, bu veriler ile aylık ortalama küresel güneş radyasyonu arasındaki ilişkiyi ifade eden ilk ve en basit ampirik bağıntıyı ortaya koymuştur (Angström, 1924).

Prescott, Angström modelinde bir düzeltmeye gitmiş ve bulutsuz gökyüzüne ait küresel güneş radyasyonu verisi yerine, dünya dışına gelen güneş radyasyonu değerini kullanarak daha uygun model sonuçları hesaplanabileceğini göstermiştir. Angström-Prescott modelinin en önemli avantajı sadece tek bir ölçüm parametresi kulanılarak güneş radyasyonunun tahmin edilebilmesidir (Prescott, 1940).

Angström-Prescott modelinde (formül 2.1), H aylık ortalama günlük küresel güneş radyasyonunu, H_0 dünya dışına gelen aylık ortalama küresel güneş radyasyonunu, S aylık ortalama gerçek güneşlenme süresini ve S_0 ise aylık ortalama astronomik güneşlenme süresini ifade etmektedir. Bahsi geçen bu ifadelerin anlamlarından Bölüm 3'te detaylı olarak bahsedilecektir.

$$\frac{H}{H_0} = a + b\,\frac{S}{S_0} \tag{2.1}$$

Page, benzer bir çalışmayı 1961 yılında gerçekleştirmiş ve Angström modeli için dünya dışına gelen küresel radyasyonu verisini kullanmıştır (Page, 1961). Bazı kaynaklar bulutsuz güne ait güneş radyasyonu yerine dünya dışına gelen güneş radyasyonu kullanan ilk modelin Page olduğunu iddia etmekte ve oluşturulan yeni modeli (formül 2.1) Angström-Page modeli olarak adlandırmaktadır (Zhang ve diğ, 2016).

Modelin adlandırılmasındaki bu karmaşaya Gordon (2001), şöyle bir açıklama getirmiştir; "Angström modelinde Prescott (1940) ve Page (1961) tarafından gerçekleştirilen modifikasyonlar, araştırmacılar tarafından en çok kullanılan Angström eşitliğinin oluşmasını sağlamıştır". Böylece Gordon, Prescott ve Page'in ortak katkılarının Angström-Prescott veya Angström-Page adıyla anılan modeli oluşturduğunu ortaya koymuştur (Gordon, 2001'de atıfta bulunulduğu gibi). Bu tez kapsamında bahsi geçen modelden (denklem 2.1) Angstöm-Prescott modeli olarak bahsedilecektir.

Rietvald, dünya çapında 42 istasyona ait verileri kullanmış ve güneş ışınımı hesabı için kullanılabilecek bir model ortaya koymuştur. Bu modelin dünyanın herhangi bir yerindeki istasyonda da uygulanabilir nitelikte olduğunu savunmaktadır (Rietvald, 1978).

Dogniaux ve Lemoine, birinci dereceden Angström-Prescott modelini modifiye ederek a ve b katsayılarının hesabı için enlem derecesini (φ) içerisine alan lineer denklemler (denklem 2.2 ve denklem 2.3) oluşturmuşlardır. Bu katsayıları Angström-Prescott lineer denklemine yerleştirerek oluşturdukları yeni denklemi (denklem 2.4) kullanılmış ve her ay için ayrı k, l, m, n katsayıları bulmuşlardır (Dogniaux ve Lemoine, 1983).

$$a = k + l\,(\varphi) \tag{2.2}$$

$$b = m + n\,(\varphi) \tag{2.3}$$

$$\frac{H}{H_0} = \big(k + l\,(\varphi)\big) + \big(m + n\,(\varphi)\big)\,\frac{S}{S_0} \tag{2.4}$$

Zabara, Yunanistan için yaptığı çalışmada a ve b katsayıları için üçüncü dereceden polinomlar (denklem 2.5 ve denklem 2.6) önermiştir. Buna göre a ve b'nin

hesaplanabilmesi için k, l, m, n, p, r, s ve t katsayılarının hesaplanmasına ihtiyaç vardır (Zabara, 1986).

$$a = k + l\left(\frac{S}{S_0}\right) + m\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + n\left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \tag{2.5}$$

$$b = p + r\left(\frac{S}{S_0}\right) + s\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + t\left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \tag{2.6}$$

Bahel ve diğ, 48 adet istasyonun verisini kullanarak güneşlenme süresi ile aylık ortalama günlük güneş radyasyonu arasında Angström tipi korelasyon tekniği geliştirmişlerdir (denklem 2.7). Bu korelasyon daha sonra dünyanın her yerinde uygulanabilir olduğu iddia edilen Rietvald denklemi sonuçları ile kıyaslanmış ve 48 istasyonun büyük çoğunluğunda Bahel modelinin Rietvald'dan daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Bahel modeli üçüncü dereceden Angström denklemi olup 4 adet hesap katsayısı içermektedir (Bahel ve diğ, 1987).

$$\frac{H}{H_0} = a + b\,\frac{S}{S_0} + c\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + d\left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \tag{2.7}$$

Newland, Çin'in güney bölgesi için yaptığı çalışmasında logaritmik terim içeren Angström-Prescott denklemini (denklem 2.8) oluşturmuş ve bu denklem yardımıyla hesaplarını gerçekleştirmiştir (Newland, 1988).

$$\frac{H}{H_0} = a + b\,\frac{S}{S_0} + c\log\left(\frac{S}{S_0}\right) \tag{2.8}$$

Gopinathan, Angström-Prescott modeli hesaplarına istasyonun deniz seviyesinden yüksekliği (Z) verisini de ekleyerek, Angström-Prescott modelinin yüksek arazilerdeki hatasını azaltmaya çalışmıştır. Oluşturduğu denklem (denklem 2.9) aynı zamanda logaritmik terim de içermektedir (Gopinathan, 1988).

$$\frac{H}{H_0} = a + b\,Z + c\log\left(\frac{S}{S_0}\right) \tag{2.9}$$

Akinoğlu ve Ecevit, Angström Prescott temelli karesel denklemi (denklem 2.10) ortaya koymuşlardır. Bu denklemde klasik Angström-Prescott'ta bulunan a ve b

katsayılarının yerini, a, b ve c olmak üzere 3 adet katsayı almaktadır (Akinoglu ve Ecevit, 1990).

$$\frac{H}{H_0} = a + b\,\frac{S}{S_0} + c\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \tag{2.10}$$

Miguel ve diğ, İspanya'da 1981 yılından başlayan ve 1986 yılına kadar devam eden veri periyodu için günlük güneş radyasyonu değerlerini kullanarak eğik yüzeye düşen günlük ve saatlik radyasyon modelleri geliştirmişlerdir (Miguel ve diğ, 1995).

Aksoy, 1993-1995 yılları arasında alınmış güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi verilerini kullanarak ikinci dereceden Angström-Prescott modeli oluşturmuştur. Oluşturulan bu model İzmir, Konya, Antalya, Urfa, Samsun ve Ankara için aylık ortalama güneş radyasyonunu tahmin etmektedir (Aksoy, 1997).

Şahin ve Şen, "ardışık yerine koyma yöntemi" adıyla bilinen tekniği geliştirmişlerdir. Bu yöntemde Angström denklemi kullanılmış, ancak sadece birbirini takip eden 2 ay ya da 2 gün için a ve b katsayıları sabit tutulmuştur. Bu yöntemle klasik Angström denklemi tüm yıl için katsayıların sabitliğinden kurtarılmakta ve dinamik bir yapı kazanmaktadır. Formül 2.11 ve formül 2.12'de görüleceği gibi a ve b katsayılarında i (zaman) parametresi de yer almakta ve böylece birbirini takip eden zamanlar için birer a ve b katsayısı bulunabilmektedir (Şahin ve Şen, 1998).

$$a_i = \left(\frac{\bar{H}}{H_0}\right)_i - b_i\left(\frac{\bar{S}}{S_0}\right)_{\text{İ}} \tag{2.11}$$

$$b_i = \frac{\left(\frac{\bar{H}}{H_0}\right)_{i-1} - \left(\frac{\bar{H}}{H_0}\right)_i}{\left(\frac{\bar{S}}{S_0}\right)_{i-1} - \left(\frac{\bar{S}}{S_0}\right)_i} \tag{2.12}$$

Wong ve Chow, günlük ve saatlik toplam, difüz ve direkt radyasyon değerlerinin literatürdeki diğer modellere ait hesaplama sonuçları ile karşılaştırarak yorumlamıştır (Wong ve Chow, 2001).

Togrul ve Togrul, Türkiye'nin Aydın, Adana, Elazığ, Antalya, Ankara ve İzmir ili verilerini kullanarak birinci, ikinci ve üçüncü dereceden Angström-Prescott modellerinin yanısıra eksponansiyel ve logaritmik Angström-Prescott eşitlikleri

oluşturarak aylık ortalama güneş radyasyonu tahmini yapmışlardır (Togrul ve Togrul, 2002).

Oliveira ve diğ, 1994-1999 yılları arasında Brezilya Sao Paulo'da ölçülen difüz ve küresel güneş radyasyonu değerlerini kullanarak aylık, günlük ve saatlik difüz güneş radyasyonu hesap modelleri oluşturmuşlardır (Oliveira ve diğ, 2002).

Güngör ve diğ, Mersin'de farklı eğime sahip yüzeylerde saatlik ve aylık ortalama güneş radyasyonu hesabı gerçekleştirmişlerdir (Güngör ve diğ, 2005).

Yang ve Koike, Angström-Prescott modelini baz alarak saatlik ve günlük güneş radyasyonu değerlerini hesaplamışlardır. Orjinal Angström-Prescott modeli günlük güneş radyasyonu hesabı için yaratılmış olduğundan, Yang ve Koike bu çalışmalarında saatlik küresel güneş radyasyonu hesabı için Angström bazlı farklı yaklaşımlara gitmişlerdir. Buna göre güneşlenme süresi oranının sıfır olduğu değerleri ana formülde katsayı hesabına katmamış, böylece verilerin yaklaşık üçte birini oluşturan gece değerlerinin getireceği hatasal sapmadan kurtulmuşlardır. Elde edilen sonuçlara göre Angström modeli ile tek formülle geniş bir alandaki birçok istasyon temsil edilmek istendiğinde hata artışı görülebilmektedir. İstasyondan istasyona olan konumsal ve iklimsel değişimleri minimize edebilmek adına bazı düzeltmelere ihtiyaç duyulmaktadır (Yang ve Koike, 2005).

Almorox ve diğ, İspanya'nın Toledo şehri için birinci dereceden Angström-Prescott modelleri oluşturmuştur. Oluşturulan bu modeller ile aylık ortalama güneş radyasyonu hesaplanmakta olup her ay için farklı formül elde edilmiştir, böylece klasik Angström-Prescott modelinin temel sorunu olan yıl boyunca katsayıların sabitliği problemi aşılmaya çalışılmıştır (Almorox ve diğ, 2005).

Rensheng ve diğ, Çin'deki 86 istasyon verilerini kullanarak 15 farklı çeşit Angström-Prescott temelli modeller oluşturmuşlardır. Ancak bu modellerde sadece güneşlenme süresi kullanılmamış, bunların dışında enlem derecesi (φ), boylam derecesi (λ) ve bölgenin rakımı (Z) bilgileri de hesaba katılarak formülasyon yapılmıştır. Bu denklemlerden bir tanesi formül 2.13'te görülebilir (Rensheng ve diğ, 2006).

$$\frac{H}{H_0} = a + b(\lambda) + c(\cos\varphi) + d(Z) + e\left(\frac{S}{S_0}\right) \qquad (2.13)$$

Bakırcı, aylık ortalama güneş radyasyonu hesaplaması yapan amprik güneş radyasyonu modellerini derlemiş ve literatürde mevcut 60 model tespit etmiştir. Elde ettiği bilgilere göre güneş radyasyonu yapan modellerin büyük bir çoğunluğu Angström-Prescott temelli modellerdir. Ayrıca Bakırcı çalışmasında bu modellerin lineer, polinomik, açısal ve diğer modeller olmak üzere dört sınıfta kategorize edilebileceğini ifade etmiştir (Bakırcı, 2009).

Zhang ve diğ, mevcut güneş radyasyonu modellerini sistematik olarak derleyerek karşılaştırmışlardır. Buna göre literatürdeki modelleri aylık ortalama günlük küresel güneş radyasyonu hesaplayan modeller, günlük global güneş radyasyonu hesaplayan modeller ve saatlik global güneş radyasyonu hesaplayan modeller olmak üzere üçe ayrılmıştır. Buna göre güneşlenme süresi parametresi model performanslarını etkileyen en temel etmendir. Ayrıca modellerin "estimation" (mevcut veriden mevcut başka bir veriyi elde eden) ve "prediction" (mevcut veriden gelecek verisi elde eden) modeller olarak iki kategoride incelenmesi gerektiğinin önemini vurgulamışlardır. Zira literatürde bunun ayrımı konusunda bir belirsizlik mevcuttur (Zhang ve diğ, 2017).

2.2 Yapay Sinir Ağları Kullanan Modeller

Sfetsos ve Coonick, sıcaklık, basınç, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü gibi değişkenleri kullanarak yapay sinir ağı oluşturmuş ve saatlik güneş radyasyonu tahmini yapmıştır. Ardından Angström modeliyle güneş radyasyonu hesaplanmış ve yapay sinir ağı sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Buna göre yapay sinir ağları Angström güneş radyasyonu modeline göre daha iyi sonuçlar vermiştir (Sfetsos ve Coonick, 2000).

Atsu ve diğ, enlem, boylam, yükseklik, güneşlenme süresi oranı ve ay değerlerini kullanarak yapay sinir ağı oluşturmuş ve güneş radyasyonu hesaplaması yapmışlardır (Atsu ve diğ, 2002).

Sözen ve diğ, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelini yapay sinir ağı kullanarak hesaplamışlardır. Giriş parametreleri olarak ay, rakım, güneşlenme süresi, enlem, boylam ve ortalama sıcaklık değerleri kullanılmıştır (Sözen ve diğ, 2004).

Mubiru ve Banda, ortalama günlük küresel güneş radyasyonu hesaplayan sinir ağı modeli oluşturarak, veri girişinde enlem, boylam, yükseklik gibi konum bilgileri ile

bulutluluk oranı, güneşlenme süresi, en yüksek sıcaklık değerleri kullanılmıştır (Mubiru ve Banda, 2008).

Benghanem ve diğ, jülyen günü, güneşlenme süresi, hava sıcaklığı ve bağıl nem değerlerini kullanarak yapay sinir ağları vasıtasıyla günlük küresel güneş radyasyonu hesaplaması yapmışlardır (Benghanem ve diğ, 2009).

Fadare, güneş radyasyonu şiddetini, bölgenin enlem, boylam, yükseklik gibi bilgilerinin yanısıra ortalama sıcaklık, zaman ve bağıl nem değerlerini de işin içine katmak suretiyle yapay sinir ağı oluşturmuştur (Fadare, 2009).

Senkal ve diğ, enlem, boylam, ortalama radyasyon, yıldaki ayın numarası, ortalama difüz radyasyon gibi değerleri kullanarak yapay sinir ağı oluşturmuş ve aylık ortalama günlük güneş radyasyonunu hesaplamışlardır (Senkal, 2009).

Rahimikhoob, günlük küresel güneş radyasyonunu, dünya dışına gelen güneş radyasyonu ve minimum-maksimum sıcaklık değerlerini yapay sinir ağına girerek hesaplarını gerçekleştirmiştir (Rahimikhoob, 2010).

Qin ve diğ, yerel basınç, deniz seviyesi basıncı, gün, yağış vb. 8 farklı parametreyi yapay sinir ağına girerek aylık ortalama günlük küresel güneş radyasyonu modeli oluşturmuşlardır (Qin ve diğ, 2011).

Koca ve diğ, yapay sinir ağı oluşturarak güneş radyasyonu hesaplamışlar ve giriş değerleri olarak bulutluluk oranı, enlem, boylam, rakım ve zaman değerlerini kullanmışlardır (Koca ve diğ, 2011).

Ozgoren ve diğ, aylık ortalama küresel güneş radyasyonunun atmosfer basıncı, uzun dalga emisyonları, toprak sıcaklığı, küresel güneş radyasyonu ve benzeri 10 değişken vasıtasıyla yapay sinir ağlarıyla modellemesini gerçekleştirmişlerdir (Ozgoren ve diğ, 2012).

Mohandes, gerçek güneşlenme süresi, ay numarası, enlem, boylam ve yükseklik değerlerini kullanarak uzun dönem aylık ortalama günlük küresel güneş radyasyonunu yapay sinir ağlarına hesaplatmıştır (Mohandes, 2012).

Notton ve diğ, yüzeye gelen 10 dakikalık küresel güneş radyasyonunu hesaplamışlardır. Normal amprik modeller yardımıyla 10 dakika ölçeğinde hesap yapılması mümkün olmayan bu çalışmayı deklinasyon açısı, yatay yüzeye gelen

dünya dışı radyasyon, zenit açısı, dakikalık yatay küresel güneş radyasyonu gibi verileri kullanarak yapay sinir ağları ile başarmışlardır (Notton, 2013).

Amrouche ve Le Pivert, yüzeye düşen küresel güneş radyasyonunu mevcut meteorolojik tahmin değerlerinden faydalanarak yapay sinir ağı oluşturmak suretiyle hesaplamışlardır (Amrouche ve Le Pivert, 2014).

Yadav ve diğ, ortalama, maksimum ve minimum sıcaklıklar ile yükseklik ve gerçek güneşlenme sürelerini yapay sinir ağına girerek uzun dönem aylık ortalama günlük güneş radyasyonu hesaplaması yapmışlardır (Yadav ve diğ, 2014).

Ramedani ve diğ, yıldaki gün numarası, atmosfer dışına gelen günlük güneş radyasyonu, günlük gerçek güneşlenme süresi, günlük astronomik güneşlenme süresi, maksimum ve minimum sıcaklık değerlerinin yapay sinir ağına girdi olarak verilmesi ile günlük küresel güneş radyasyonu değerlerini modellemişlerdir (Ramedani, 2014).

Olatomiwa ve diğ, yapay sinir ağlarına en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri ile gerçek güneşlenme süresini girmiş ve aylık ortalama günlük güneşlenme süresini hesaplamışlardır (Olatomiwa ve diğ, 2015).

Yıldırım ve diğ, doğu akdeniz bölgesi için yapay sinir ağları ile günlük güneş radyasyonu hesaplaması yaparak elde ettikleri sonuçları lineer, kare, kübik, polinomik, eksponansiyel, logaritmik, Gauss, sinüsodiyel, ve Weibull tipi Angström-Prescott modellerine ait sonuçlar ile kıyaslamışlardır. Buna göre en iyi sonucu yapay sinir ağları vermektedir (Yıldırım ve diğ, 2018).

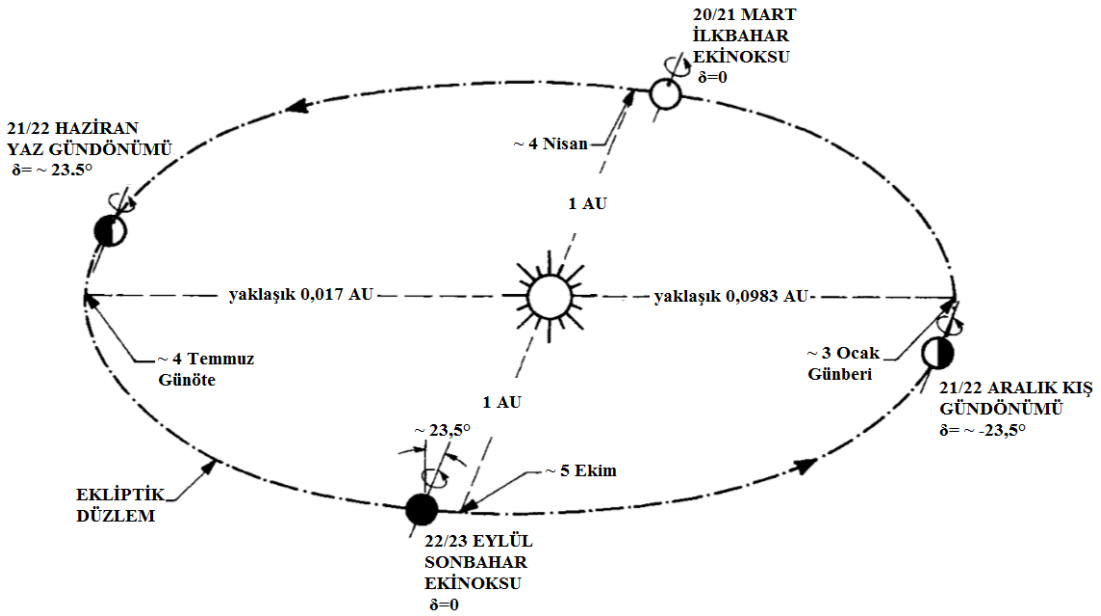
3. GÜNEŞ RADYASYONU

3.1 Güneş Radyasyonu İle İlgili Temel Tanımlar

Güneş radyasyonu hesaplamalarına başlamadan önce bilinmesi gereken bazı temel tanımlar mevcuttur. Bunlardan tezi doğrudan ilgilendirenler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

3.1.1 Dünya-güneş mesafesi ve eksantrisite düzeltme faktörü

Dünya'nın güneş etrafında eliptik bir eksende dönüşü sebebiyle Dünya ile güneş arasındaki mesafe sürekli bir değişim halindedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Dünyanın güneş etrafındaki yıllık dönüşü (Iqbal, 1983).

Ortalama dünya-güneş mesafesi (ro) aynı zamanda 1 astronomik birim (1 AU) olarak da bilinmektedir (Iqbal, 1983). 1 astronomik birimin yaklaşık değeri 150 milyon kilometredir.

Dünya dışına gelen güneş radyasyonunun hesabında $(r/r_0)^2$ değerine yani asıl adıyla "eksantrisite düzeltme faktörü"ne ihtiyaç duyulmaktadır. Eksantrisite düzeltme

faktörü (E_0) hesaplamalarında en basit haliyle Duffie-Beckman eşitliği olarak bilinen denklem 3.1 kullanılabilir (Duffie ve Beckman, 1980).

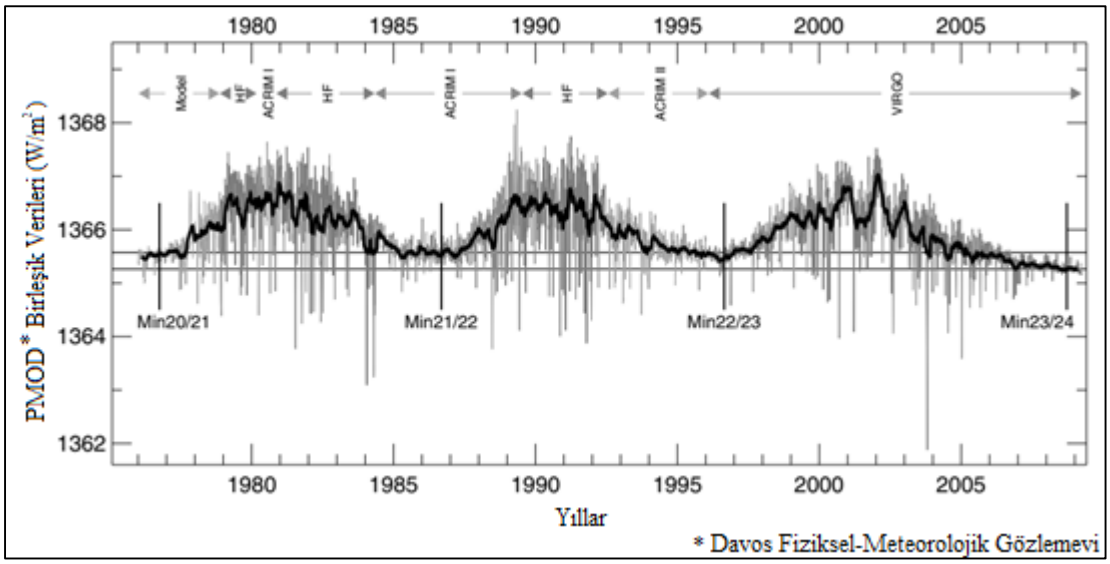
$$E_0 = \left(r/r_0\right)^2 = 1 + 0{,}033 \cos\left[\left(2\pi d_n/365\right)\right] \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de d_n değeri Jülyen günü olarak da bilinen, yıldaki gün numarasıdır. Örneklendirme yapmak gerekirse, 28 Ocak Jülyen günü cinsinden 28'e tekabül ederken, 3 Şubat günü Jülyen günü olarak 34'e denk gelmekte ve 31 Aralık artık gün içermeyen bir yıl için 365. Jülyen günü olmaktadır. Artık yıla sahip bir yıl için ise 31 Aralık 366. Jülyen gününe karşılık gelir.

3.1.2 Güneş sabiti

Ortalama dünya-güneş mesafesinde atmosfer dışındaki birim alana tüm dalgaboylarında gelen güneş enerjisine güneş sabiti adı verilir (Iqbal, 1983).

Güneş sabitinin yaklaşık değeri 1367 W/m^2 olarak alınmaktadır ve bu değer güneşte gerçekleşen termonükleer reaksiyonlar sebebiyle gerçekte sürekli bir değişim durumundadır. Şekil 3.2'de güneş sabitinin 1979 ile 2009 arasındaki değişimi görülebilir.

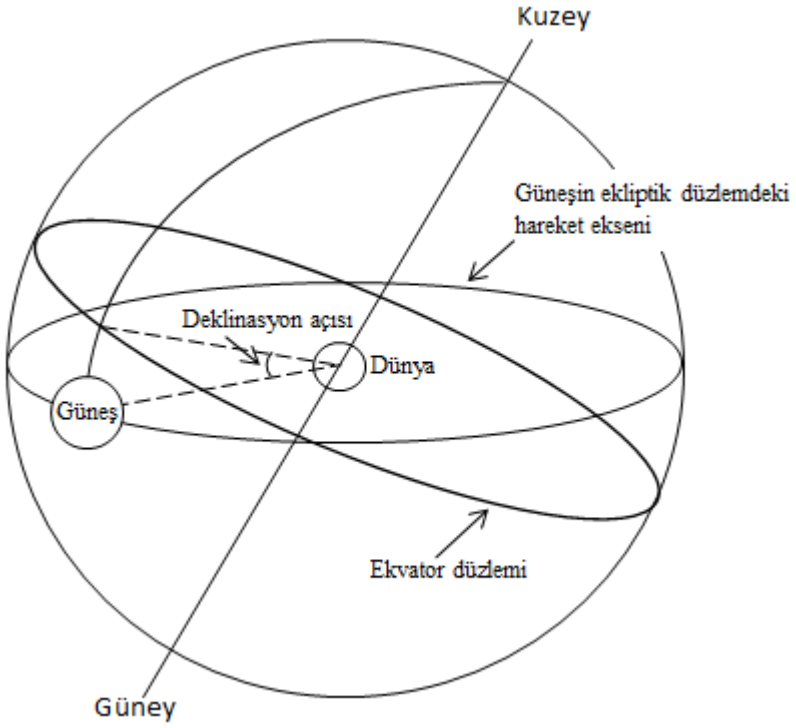


Şekil 3.2 : 1979-2009 yılları arasında çeşitli uyduların radyometreleri tarafından ölçülmüş olan güneş sabiti değerleri, Watt/m^2 (Fröhlich, 2009).

3.1.3 Deklinasyon açısı

Ekvator düzlemi ile dünya-güneş arasında çizilecek doğru arasındaki açıya (Şekil 3.3) deklinasyon açısı adı verilir (Iqbal, 1983). Deklinasyon açısı zamana bağlı

olarak sürekli değişim göstermektedir. 21 Haziran yaz gündönümünde deklinasyon açısı 23,45° iken 21 Mart ve 23 Eylül ekinoks zamanında 0°, ve 21 Aralık kış gündönümünde -23,45° değerini alır.



Şekil 3.3 : Deklinasyon açısı (Iqbal, 1983).

Deklinasyon açısını hesaplamak için aşağıdaki denklem 3.2 kullanılabilir (Cooper, 1969).

$$\delta = \sin^{-1}\left\{\sin(23{,}45) \times \sin\left(\frac{365}{365{,}25} \times (d_n - 81)\right)\right\} \tag{3.2}$$

3.1.4 Zaman eşitliği

Zaman eşitliği gerçek güneş zamanının ortalama güneş zamanına göre sapmasına verilen isimdir. Diğer bir deyişle belirli bir tarihte bir bölgedeki yerel saatin gösterdiği saat değeri ile o bölgede güneş alan bir alana yerleştirilmiş güneş saatinin gösterdiği saat değeri arasındaki farktır. Bu fark yıl içinde sürekli değişim göstermekte olup, yaklaşık -15 ile +16 dakika arasında değişen zamansal farklılıklara neden olabilmektedir.

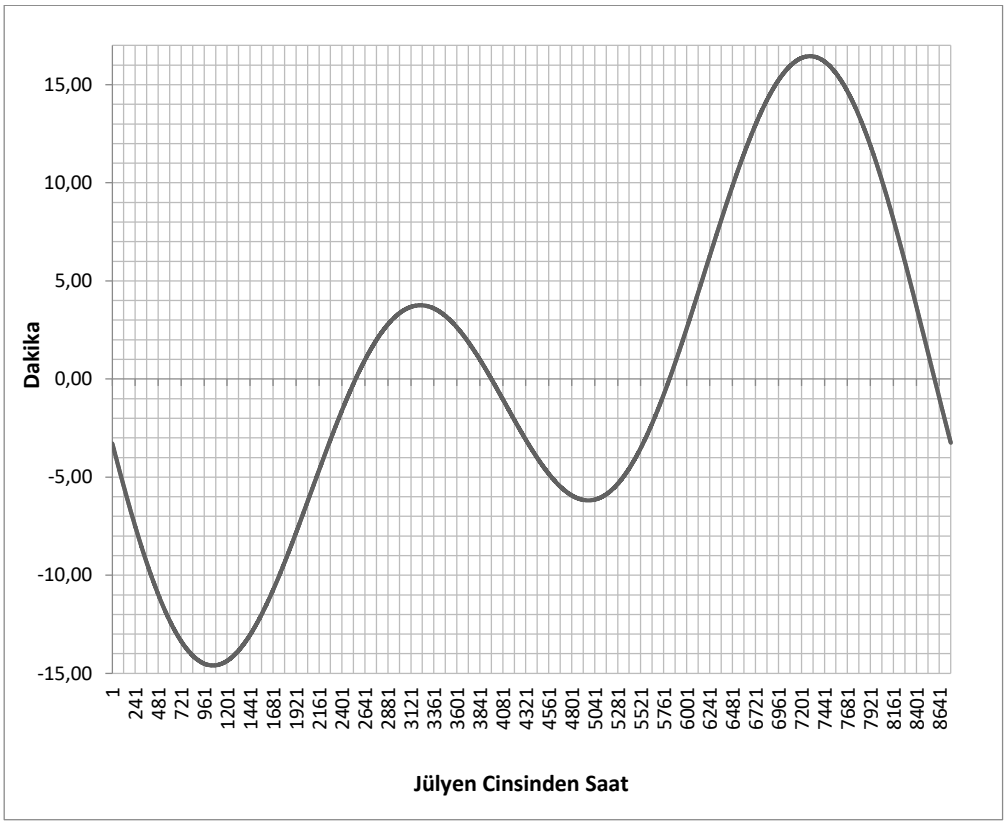
Zaman eşitliği (ET) değerini denklem 3.3 ile hesaplamak mümkündür (Kalogirou, 2009).

$$ET = 9{,}87 \times \sin(2B) - 7{,}53 \times \cos(B) - 1{,}5 \times \sin B \tag{3.3}$$

Denklem 3.3'teki B değeri ise aşağıdaki denklem (3.4) yardımıyla bulunabilir (Kalogirou, 2009).

$$B = (d_n - 81)\frac{360}{365} \tag{3.4}$$

Denklem 3.4 yardımıyla tez kapsamında hesaplanan zaman eşitliği değerlerinin saatlik değişimi Şekil 3.4'te görülebilir.



Şekil 3.4 : Zaman eşitliği değerlerinin saatlik değişimi.

3.1.5 Gerçek güneş zamanı

Gerçek güneş zamanı (TST) bir güneş saati tarafından ölçülebilen ve güneşin gökyüzündeki gerçek konumuna bağlı olan saat değeridir. Gerçek güneş saatinin hesaplanmasında yerel boylam değeri, standart boylam değeri, zaman eşitliği,

memleket zamanı (MZ) gibi değerlere ihtiyaç duyulmaktadır. TST hesabı için denklem 3.5 kullanılabilir (Kalogirou, 2009).

$$TST = MZ - \frac{4 \times (SB - \text{İstasyon Boylamı})}{60} + \frac{ET}{60} \tag{3.5}$$

Denklem 3.5'teki kısaltmaların açıklamaları şu şekildedir;

- MZ: memleket zamanı (ulusal saat değeri),
- SB: standart boylam (Türkiye için 7 Ekim 2016'dan itibaren Iğdır 45° boylamı olarak sabit kabul edilmiştir),
- ET: zaman eşitliği

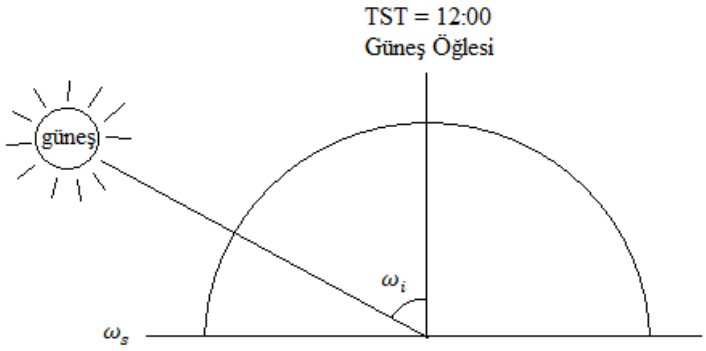
Bu çalışmada tüm hesaplamalar UTC (Universal Coordinated Time: Koordine edilmiş evrensel zaman) cinsinden yapıldığından formül 3.5'i daha sade bir hale dönüştürmek işlem kolaylığı sağlayacaktır. İlgili formül denklem 3.6'da verilmiştir.

$$TST = UTC_{ist} + \frac{ET}{60} \tag{3.6}$$

Denklem 3.6'da verilen UTC_{ist} istasyona ait UTC cinsinden saati ifade etmektedir. ET ise dakika cinsinden zaman eşitliği değeridir.

3.1.6 Saat açısı ve güneş doğuş saat açısı

Saat açısı (ω_i), dünyanın günlük dönüş hareketine bağlı olarak gün içerisinde sürekli değişen ve güneşin mevcut konumu ile güneş öğlesinde bulunacağı konum arasındaki açıya verilen isimdir. Saat açısı güneş öğlesinde, yani gerçek güneş zamanı 12:00 olduğunda 0° değerini alır. Güneş doğuş saat açısı (ω_s) ise güneşin doğduğu zamandaki saat açısı değeridir. Şekil 3.5'te saat açısı ve güneş doğuş saat açısının geometrik açıklaması görülebilir.



Şekil 3.5 : Saat açısı ω_i ve güneş doğuş saat açısı ω_s.

Saat açısı değeri formül 3.7 yardımıyla hesaplanabilir (Kalogirou, 2009).

$$\omega_i = (TST - 12) \times 15 \tag{3.7}$$

Formül 3.7 sonucunda bulunan değer derece değeridir ve formüldeki 15 sayısı güneşin 1 saatte gökyüzünde izlediği yolun 15°'ye tekabül etmesinden gelir. Güneş doğuş saat açısını ise formül 3.8 yardımıyla hesaplamak mümkündür (Kalogirou, 2009).

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\varphi \times \tan\delta) \tag{3.8}$$

Formül 3.8'deki φ değeri istasyonun enlem derecesidir.

3.1.7 Gün uzunluğu ve astronomik güneşlenme süresi

Gün uzunluğu (N_d) belirli bir bölgenin belirli bir tarihte teorik olarak kaç saat güneş göreceğidir. Bu değere aynı zamanda günlük astronomik güneşlenme süresi (S_{0d}) adı da verilebilir. Gün uzunluğu formül 3.9 yardımıyla bulunabilir.

$$N_d = S_{0d} = \frac{2}{15} \times \omega_s \tag{3.9}$$

Günlük radyasyon hesaplarında günlük astronomik güneşlenme süresi kullanılarak Angström-Prescott metodu uygulanırken, saatlik güneş radyasyonu hesaplamaları üzerine yapılmış çalışmalarda saatlik astronomik güneşlenme süresi yerine yine günlük astronomik güneşlenme süresi kullanılmıştır (Yang ve Koike, 2005; Lee ve diğ, 2013).

Oysa saatlik hesaplarda günlük astronomik güneşlenme süresi kullanımı Angström-Prescott Metodu'ndaki diğer verilerin saatlik bazda olması sebebiyle ölçeklerde tutarsızlığa neden olmaktadır. Tam bu nedenle ölçekte tutarlılık sağlanabilmesi açısından saatlik astronomik güneşlenme süresi (S_{0h}) değerinin hesaplanmasına ihtiyaç vardır.

Buradan hareketle S_{0h} hesabı için tez kapsamında formül 3.10 oluşturulmuş ve saatlik güneş radyasyonu modeli hesaplarında bu yöntem kullanılmıştır.

$$S_{0h} = \begin{cases} 0, & \begin{bmatrix} \omega_i > 0 \ \ ve \ \omega_s - |\omega_i| \leq 0 \\ veya \\ \omega_i < 0 \ \ ve \ \omega_s - |\omega_i| \leq -15 \end{bmatrix} \\ 1, & \begin{bmatrix} \omega_i > 0 \ \ ve \ \omega_s - |\omega_i| \geq 15 \\ veya \\ \omega_i < 0 \ \ ve \ \omega_s - |\omega_i| \geq 0 \\ veya \\ \omega_i = 0 \end{bmatrix} \\ \dfrac{\omega_s - |\omega_i|}{15}, & \omega_i > 0 \ \ ve \ 15 > \omega_s - |\omega_i| > 0 \\ \dfrac{\omega_s - |\omega_i|}{15} + 1, & \omega_i < 0 \ \ ve \ \ -15 \leq \omega_s - |\omega_i| \leq 0 \end{cases} \quad (3.10)$$

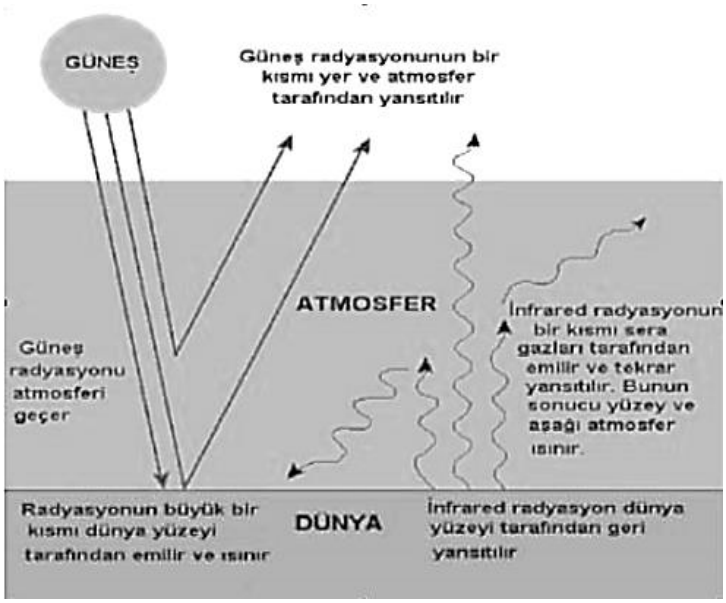
Oluşturulan formül 3.10, güneşin doğuş saat açısını göz önünde tutmaktadır. Örnek vermek gerekirse, güneşin 6:50'de doğduğu bir gün için, 6:00 ile 7:00 saatleri arasında $(\omega_s-|\omega_i|)/15$ yardımıyla hesap yapılmakta ve 0,167 saat değeri elde edilmektedir, zira bu saat aralığında sadece 10 dakika boyunca güneşlenme olmaktadır. Aynı gün için 7:00-8:00 saatleri arasında formül 3.10 1 saat değerini vermektedir. Gerçekte de güneş doğduktan sonraki 1 saatlik zaman dilimlerinde saatlik astronomik güneşlenme süresi değerlerinin 1 saat değerini vermesi gerekmektedir. Aynı formül gün doğumunun henüz gerçekleşmediği 5:00 ile 6:00 saatleri arasında 0 saat değerini verir. Bir gün için formül 3.10 ile hesaplanan tüm S_{0h} değerleri toplanmış ve elde edilen değerin, o gün için formül 3.9 ile hesaplanan S_{0d} değerine eşit olduğu görülmüştür. Bu durum formül 3.10'nin hesap doğruluğunu kanıtlar niteliktedir.

Angström-Prescott metodunun S/S_0 oranının $0 < S/S_0 < 1$ koşulunu sağladığı durumlar için oluşturulduğu bilinmektedir (Şen, 2009). Buna göre gerçek saatlik güneşlenme süreleri verileri ile formül 3.10 yardımıyla hesaplanan saatlik astronomik güneşlenme süreleri oranlanmış ve tüm zaman aralığı için $0 < S/S_0 < 1$ koşulunun sağlandığı görülmüştür. Bu durumda hesap yönteminin geçerliliğini desteklemektedir.

3.1.8 Dünya dışına gelen güneş radyasyonu

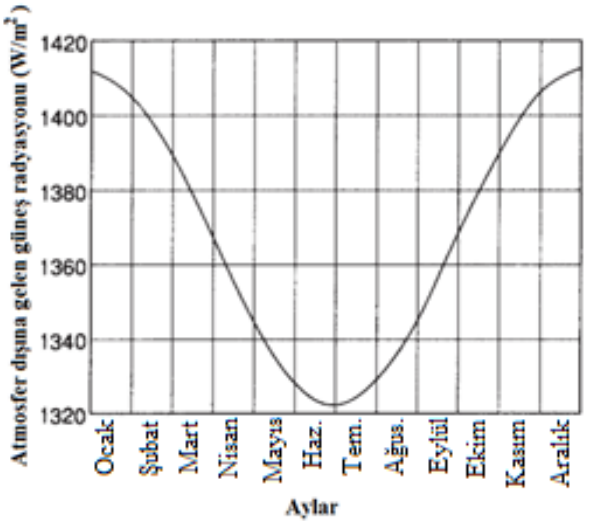
Güneşten gelen radyasyon dünya atmosferine girdikten sonra çok çeşitli saçılma ve yansımalara maruz kalmaktadır (Şekil 3.6). Atmosferdeki su buharı, bulutlar, partiküler maddeler yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonunu ciddi ölçüde azaltmaktadır. Dünyaya gelen radyasyonun yaklaşık %23'ü bulutlar tarafından yer

yüzeyine ulaşamadan geri yansıtılırken, %6'sı havadaki tozlar ve gazlar tarafından saçılmaya uğrar ve %17'si ise atmosferde absorbe edilir (DMİ, 2008).



Şekil 3.6 : Dünyadaki enerji dengesi (DMİ, 2008).

Henüz atmosfere girmemiş ve atmosferin saçılma, yansıma gibi etkilerine uğramamış olan güneş radyasyonuna dünya dışına gelen güneş radyasyonu veya diğer adıyla atmosfer dışına gelen güneş radyasyonu adı verilmektedir. Atmosfer dışına gelen güneş radyasyonu güneşin dünyaya olan uzaklığına bağlı olarak sürekli bir değişim halindedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : Atmosfer dışına gelen güneş radyasyonunun yıl içindeki değişimi (Duffie ve Beckman, 1980).

Atmosfer dışına gelen saatlik güneş radyasyonu (I_0) aşağıdaki formül 3.11 ile hesaplanabilir.

$$I_0 = I_{SC} E_0 (\sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos\omega_i) \quad (3.11)$$

Denklem 3.11'de I_{sc} güneş sabiti, E_0 eksantrisite düzeltme faktörü, δ deklinasyon açısı, φ enlem derecesi ve ω_i saat açısı değerleridir.

3.1.9 Direkt güneş radyasyonu

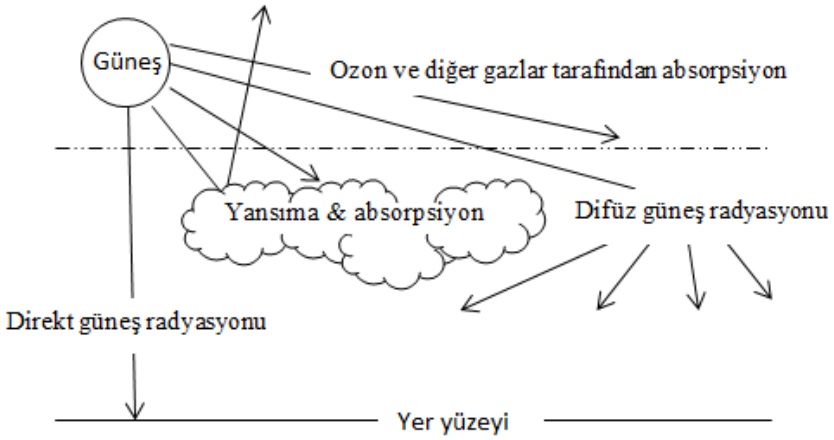
Direkt güneş radyasyonu, atmosferde saçılma vb. etkilere uğramadan doğrudan cisim üzerine düşen güneş radyasyonu olarak tanımlanmaktadır (Ceylan ve Gürel, 2017). Havanın açık olduğu bir gün için direkt güneş radyasyonu, toplam güneş radyasyonu değerinin yaklaşık %75-85'i olacaktır (Öztürk, 2013).

3.1.10 Difüz (yaygın, yayılı) güneş radyasyonu

Difüz güneş radyasyonu, güneşten gelen güneş ışınlarının saçılma, yansıma vb. etkiler sebebiyle yön değiştirmesi ile oluşan ve cisim üzerine tüm yönlerden düşen güneş radyasyonuna verilen isimdir (Öztürk, 2013). Gökyüzü kapalılığının 0/8 olduğu bir durumda difüz güneş radyasyonu, toplam güneş radyasyonunun %15~20'si iken, kapalılığın 8/8 olduğu bir günde difüz güneş radyasyonu toplam güneş radyasyonunun %100'ünden oluşur (Ceylan ve Gürel, 2017; Öztürk, 2013).

3.1.11 Toplam güneş radyasyonu

Güneş radyasyonunun atmosferden geçerek yer seviyesine ulaşabilen bölümüne toplam güneş radyasyonu adı verilmektedir. Toplam güneş radyasyonu, difüz, direkt ve yansıyan güneş radyasyonlarının toplamından oluşur. Ancak yansıyan bileşen ihmal edilebileceğinden, difüz ve diirekt güneş radyasyonlarının toplam güneş radyasyonunun ana bileşenleri olduğu söylenebilir (DMİ, 2008). Şekil 3.8'de difüz ve direkt güneş radyasyonları ile atmosferdeki çeşitli absorpsiyon ve yansıma olayları görülebilir.



Şekil 3.8 : Direkt ve difüz güneş radyasyonunun atmosferik gösterimi.

3.1.12 Açıklık ve güneşlenme indeksleri

Angström-Prescott temelli güneş radyasyonu modellerinde açıklık indeksi ve güneşlenme indeksi değerleri kullanılmaktadır. Bu sebeple bunların bilinmesinde fayda vardır. Açıklık indeksi (K_T) toplam güneş radyasyonunun, atmosfer dışına gelen güneş radyasyonuna oranına verilen isimdir (formül 3.12).

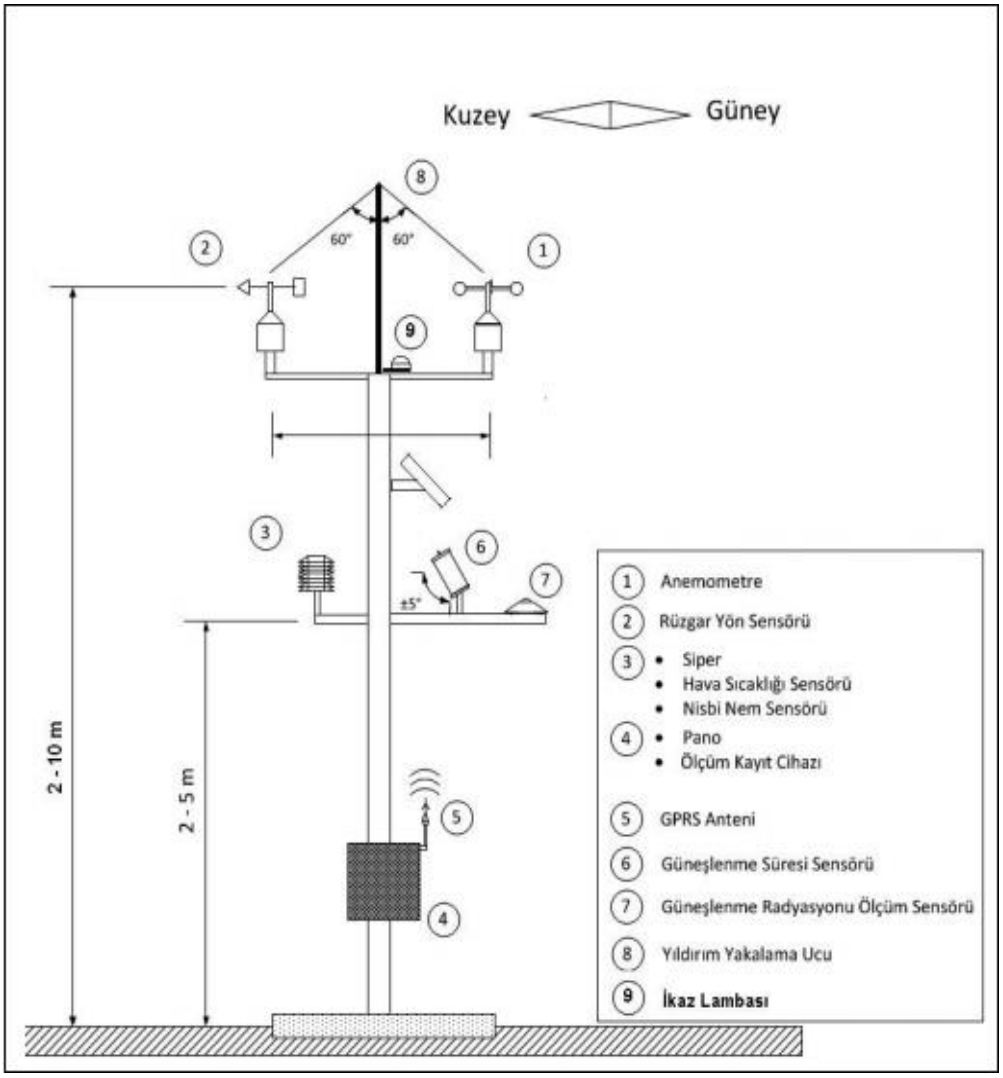
$$Açıklık\ indeksi = K_T = {}^{H}/_{H_0} \tag{3.12}$$

Güneşlenme indeksi ise gerçek güneşlenme süresinin, astronomik güneşlenme süresine oranı ile bulunur (formül 3.13).

$$Güneşlenme\ indeksi = {}^{S}/_{S_0} \tag{3.13}$$

3.2 Enerji Amaçlı Güneş Radyasyonu Ölçümleri

17 Haziran 2014 tarihli ve 29033 sayılı "Rüzgâr Ve Güneş Enerjisine Dayalı Önlisans Başvuruları İçin Yapılacak Rüzgâr Ve Güneş Ölçümleri Uygulamalarına Dair Tebliğ"in Ek-D'sine göre güneş enerjisi önlisans başvurusu için üretim tesisinin kurulacağı alan üzerinde bir ölçüm istasyonu kurularak en az 1 yıllık ölçüm verisi sağlanması istenilmektedir. Şekil 3.9'da örnek bir güneş ölçüm istasyonunun şematik gösterimi görülebilir.



Şekil 3.9 : Güneş ölçüm istasyonu ve gerekli meteorolojik rasat cihazlarının konumlandırılması (Rüzgâr ve Güneş Enerjisine Dayalı Önlisans Başvuruları için Yapılacak Rüzgâr ve Güneş Ölçümleri Uygulamalarına Dair Tebliğ, 2014).

Şekil 3.9'dan da anlaşılabileceği üzere tez kapsamında ölçüm tekniklerinin bilinmesi zaruri olan iki farklı güneş rasadı vardır. Bunlardan aşağıda bahsedilecektir.

3.2.1 Toplam güneş radyasyonu ölçümü

Yatay yüzeye gelen toplam güneş radyasyonunun ölçümünde piranometre adı verilen alet kullanılmaktadır (Ceylan ve Gürel, 2017). Şekil 3.10'da piranometre aleti verilmiştir. Piranometre'ler 0,3 µm ile 3µm arasındaki dalgaboylarını ölçebilme yeteneğine sahiptir.



Şekil 3.10 : Örnek piranometre (DMİ, 2008).

Güneş radyasyonu ölçümü için üç farklı yöntem mevcuttur. Bunlar sırasıyla; termal rezistans, fotoelektrik ve termoelektrik ölçüm yöntemleridir. Termal rezistansta siyaha boyalı bir yüzeyin güneş ışınlarını soğurması sebebiyle ısınması ve direnç değerinin değişmesi sonucunda dirençteki değişimin tayini ile güneş radyasyonunun bulunması gerçekleşir. Fotoelektrik yöntemde, fotoelektrik bir cihaz kullanılarak üretilen voltaj değeri okunur. Termoelektrik yöntemde ise siyah ve beyaz yüzeyler üzerine odaklanan güneş radyasyonunun, bu yüzeyler altındaki termopillerde sıcaklık değişimi sebebiyle oluşturduğu voltaj farkı ile güneş radyasyonu hesaplanmaktadır. (Url-4).

Güneş radyasyonu ölçüm verilerinin güvenilirliği tamamen cihazın kalibrasyon durumuna, sensörün hata oranına, ölçüm aralığına ve güvenilirliğine bağlıdır (Akinoglu, 2008).

MGM'de birçok istasyonda otomatik gözlemlere geçilmiş olup, genellikle ISO 9060 Secondary Class'a sahip yerden 2 m yüksekliğe yerleştirilmiş piranometreler kullanılmaktadır.

Güneş enerjisi lisansı amaçlı ölçüm istasyonlarında ise Rüzgâr ve Güneş Enerjisine Dayalı Önlisans Başvuruları için Yapılacak Rüzgâr ve Güneş Ölçümleri Uygulamalarına Dair Tebliğ'in D ekinin C maddesine göre "ISO 9060 ve WMO Guide-8'de tanımlı First Class -Good Quality veya daha iyi özelliklere sahip bir sensör"ün varlığı istenilmektedir. Yine bu tebliğe göre cihazların kuzey-güney

istikametinde güneye konuşlandırılması istenilmekte ve ölçüm yapan cihazın güncel kalibrasyon sertifikasına sahip olması gerekmektedir. Yine aynı tebliğin 7.maddesinin 9.fıkrasının a ve b bentleri uyarınca 1 yıllık ölçüm verilerinde veri kaybının %20'den fazla olmaması gerekmektedir. 1 yıldan uzun süreli yapılan ölçümlerde ise %20'den az veri kaybına sahip 1 yılın verisi raporlanır (2014).

3.2.2 Toplam güneş radyasyonu ölçüm hataları

Piranometreler maliyetli, sürekli kalibrasyon ve bakım gerektiren aletlerdir, bu sebeple ölçümlerde gerekli hassasiyetin gösterilmediği durumlarda veri kayıpları artmaktadır. Ölçüm hatalarını iki sınıfa ayırmak mümkündür. Bunlardan ilki cihaz kaynaklı, ikincisi ise işletim kaynaklı hatalardır.

Younes ve diğ (2005) güneş radyasyonu ölçümleri ile ilgili yaptıkları çalışmalarında piranometrelerde ölçüm hatalarına neden olan cihaz kaynaklı etmenleri kosinüs etkisi, sıcaklık etkisi, spektral seçicilik ve azimut etkisi olarak listelemişlerdir.

Bunlardan kosinüs etkisi, güneş doğuş ve batış sürelerinin hatalı hesabına bağlı olarak cihazın ölçüm yapmaya geç başlaması ve erken bitirmesi sebebiyle gerçekleşir. Azimut hatası ise piranometlerin cam kubbesindeki malzeme kusuru nedeniyle oluşmaktadır. Aynı zamanda cihazlardaki fazla ısınma da hatalara neden olmaktadır. Piranometrelerde kullanılan siyah boya da cihazın spektral seçiciliğini etkileyen bir parametredir (Younes ve diğ, 2005).

Sürekli çalışan piranometrelerde işletim hatalarını minimize edebilmek adına cihazların rasat saatlerinde kontrol edilmesi tavsiye edilmektedir. Zira ölçüm yapan alet toz, çiy, kırağı, kar veya buz tabakası ile kaplanabilmekte ve sensörün üzeri kapanabilmektedir (DMİ, 2008).

Bunların haricinde, cihazın yanlış konumlandırılması, cihazın üzerine gölge düşmesi, düzgün sabitlenmemesi, kablolar etrafında oluşan elektrik alan etkileri, kabloların fazla yüklenmesi, kablolardaki bağlantı hataları, istasyondaki ani güç kesintileri oluşabilecek diğer işletim kaynaklı hatalardır (Younes ve diğ, 2005).

3.2.3 Güneşlenme süresi ölçümü

Saatlik güneşlenme süresini ölçen alet helyograf olarak adlandırılmakta ve Güneşlenme süresi ölçümleri dört tür elektronik olmayan rasad aleti ile yapılabilmektedir. Bunlar sırasıyla: Jordan tipi, Pers tipi, Marvin tipi ve Campbell –

Stokes tipi güneşlenme kaydedicileridir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü insanlı meteoroloji gözlem istastonlarında bu Campbell-Stokes tipi güneşlenme kaydedicisi kullanır (Şekil 3.11).

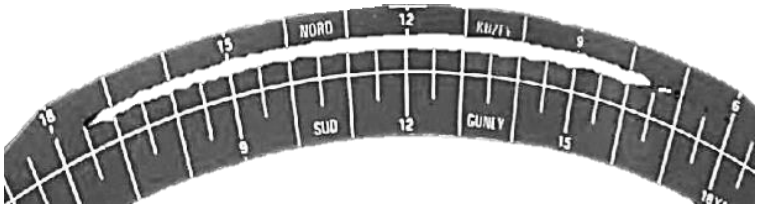


Şekil 3.11 : MGM 1.Bölge Müdürlüğü'nde kulanılan helyograf.

Campbell-Stokes tipi helyograflar kullanım kolaylığı sayesinde dünyadaki birçok meteoroloji istasyonunda en az 100 yıl boyunca kullanılmış ve hâlâ kullanılmaya devam etmektedir (Akinoglu, 2008).

Campbell-Stokes helyografı cam bir küre vasıtasıyla ışığı bir noktaya odaklama ve odaklanan noktanın altında bulunan kâğıt bir şeridin yanarak işaretlenmesi prensibiyle çalışmaktadır. Bu cihazlarda 100 ile 200 W/m^2 değerleri aralığındaki eşik değerinden sonra kayıt yapılabilmekte ve bu eşik değeri genellikle kullanılan kâğıdın cinsine, iklime ve cihazın bulunduğu enlem-boylam değerlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Tiba ve diğ, 2014).

Campbell-Stokes tipi helyograflar hareketli parça içermeyip, saat işlevi güneşin gökyüzündeki kendi hareketi sayesinde gerçekleştirilmektedir. Helyografın içerisine yerleştirilecek kâğıdın düz (ilkbahar ve sonbahar), içbükey (kış) ve dışbükey (yaz) olmak üzere 3 farklı türü vardır (DMİ, 2008). Şekil 3.12'de dışbükey bir helyograf ölçüm kâğıdı görülebilir.



Şekil 3.12 : Yaz ayına ait dışbükey ölçüm kâğıdı (DMİ, 2008).

Genellikle Otomatik Gözlem İstasyonlarında (OMGİ), pirheliyometre (Şekil 3.13) ile güneşlenme süresi ölçüm yöntemi kullanılmaktadır. Pirheliyometre cihazı güneşlenme süresi ölçümünün otomatik olarak yapılabilmesini ve verilerin doğrudan elektronik ortama aktarılmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.13 : Örnek pirheliyometre cihazı (DMİ, 2008).

Pirheliyometre türü güneşlenme süresi kaydediciler alan başına düşen direkt güneş radyasyonunun 120 W/m^2 değerine ulaştığı zamanda çalışmaya başlaması ve bu değer 120 W/m^2'nin altına indiği anda veri sağlamayı bırakması tavsiye edilmektedir (WMO, 1990). Diğer bir deyişle ölçüm cihazının 120 W/m^2'nin üzerinde değer gösterdiği süre cihaz tarafından güneşlenme süresi olarak raporlanır.

Pirheliyometre haricinde otomatik güneş radyasyonu ölçümleri için CSD3 olarak adlandırılan güneşlenme süresi ölçerler de kullanılabilmektedir. CSD3 tipi güneşlenme ölçerlerde her biri gökyüzünün başka bölümünü ölçecek şekilde konumlandırılmış 3 sensör bulunur. Bu cihazlar sabit cihazlardır ve ±5 derece eğimle kuzeye bakacak şekilde yerleştirilir. İçerisindeki fotodiyotlar yardımıyla güneş radyasyonu değeri ölçülür ve güneş radyasyonunun 120 W/m^2'yi aştığı zaman değeri bulunarak raporlanır. Bu cihazların en büyük avantajı Pirheliyometreler gibi hareketli ve kompleks parçalara sahip olmamaları nedeniyle düşük enerji tüketmeleri ve bakımlarının kolay olmasıdır. Bu cihaz ile dünyanın her yerinde mevsimsel etkilerden bağımsız ölçüm yapılabilmektedir.

4. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

Model çıktısı işleme yöntemlerinden biri olarak işlev görebilen yapay sinir ağları (YSA) çoğu zaman diğer model çıktı istatistikleri (MOS) ile birlikte anılmaktadır.

Model çıktı istatistikleri (MOS: Model Output Statistics) aslen istatistiksel modelleme tekniklerinin bir derlemesinden oluşmakta olup, 70'li yıllarda sayısal hava tahmin modellerine ait sonuçların iyileştirilmesi amacıyla bir son işlem (rötüş) yöntemi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Model çıktı istatistiklerinde, istatistiksel yöntem olarak doğrusal, polinomik, logaritmik regresyon teknikleri kullanılabildiği gibi yapay sinir ağları, destek vektör makineleri gibi çeşitli yapay zekâ yaklaşımlarından da yararlanılabilmektedir.

Tezde Angström-Prescott model çıktılarının yapay sinir ağları ile iyileştirilmesine karar verilmiştir. Bu sebeple bu bölümde YSA'lar hakkında detaylı bilgi verilecektir.

4.1 YSA'ların Gelişimi

Yapay sinir ağlarının tarihçesini en basit haliyle 3 döneme bölmek mümkündür. Bunlar sırasıyla; 1943-1969 yılları arası gelişme dönemi, 1969-1982 yılları arası karanlık dönem ve 1982 yılı sonrası karanlıktan çıkış dönemleri olarak kategorize edilebilir.

McCulloch ve Pitts 1943 yılında yayınladıkları çalışmalarında sinir ağlarının matematiksel ve nörolojik analizini yaparak bir nöron modeli oluşturmuş, ardından yeterince fazla sayıda ve uygun içsel bağlantılara sahip nöron ağının herhangi bir fonksiyonu hesaplayabileceğini ispatlamışlardır. Psikiyatrist ve nöroanotomist McCulloch ile matematik dehası Pitts'in bu çalışması yapay sinir ağları konusunda bir devrim niteliği taşımış ve sinir ağları ile yapay zekâ teknolojilerinin doğuşuna yol açmıştır (Haykin, 2005).

Yapay sinir ağları hakkındaki ilk gelişmeden sonra, ikinci önemli gelişme Rosenblatt tarafından 1958 yılında perceptron yakınsama teoremi adıyla bilinen, eğiticili öğrenme ve görüntü tanıma yeteneğine sahip teoremin geliştirilmesi ile olmuş, ancak Minsky ve Papert'in 1969 yılında perceptronun mantık fonksiyonlarının

hesaplanmasındaki yetersizliğini tespit etmesiyle yapay sinir ağlarının başarımı konusunda bilimadamlarının kafasında soru işaretleri oluşmuş ve aynı durum birçoklarında büyük bir hayal kırıklığına yol açmıştır (Jain ve diğ, 1996; Şengör ve Erçelik, 2014).

Bu başarısızlık yapay sinir ağları konusunda 1969'dan 1982'ye kadar süren 14 yıllık bir duraklama dönemine girilmesine sebep olmuştur.

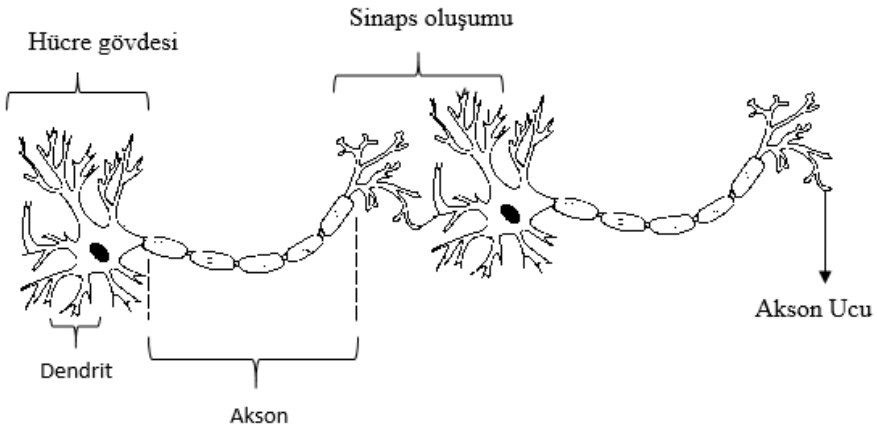
Bilim dünyasını bu duraklamadan çıkaracak atılımlar ise Hopfield'in 1982 yılında oluşturduğu enerji yaklaşımı ve Werbos tarafından 1974 yılında öne sürülerek, 1985 yılında Parker, yine 1985 yılında LeCun tarafından düzeltmelere uğrayıp, Rumelhart tarafından 1986 yılında son halini alan geri beslemeli öğrenme yapısı olmuştur (Jain ve diğ, 1996'da atıfta bulunulduğu gibi).

Biyolojik sinir ağlarına benzetilerek oluşturulan yapay sinir ağları çok sayıda basit işlemcinin karmaşık ara bağlantılar oluşturularak eş zamanlı işlem görebilmesini sağlayan sistemler olarak tanımlanabilir. Yapay sinir ağlarında aynı biyolojik sinir ağlarında olduğu gibi nöronlar ve nöronlar arası bağlantılar sayesinde öğrenme gerçekleşir. Yapay sinir ağlarının daha iyi anlaşılabilmesi için biyolojik sinir ağlarının yapısının incelenmesi gereklidir.

4.1.1 Biyolojik sinir ağları

Biyolojik sinir ağları en temel yapı olarak sinir hücresi yani nörondan meydana gelir. Nöronlarda akson ucu denilen uyartının diğer sinir hücresine iletildiği ayak bölümü, dendrit denilen uyartının dışarıdan sinir hücresine alındığı bölüm ve son olarak akson denilen uyartının sinir hücresi içerisinde dendritten aksona taşınımının gerçekleştiği yapı bulunur. Dendritler hücre gövdesinin uzantısı olup, sinir hücresine gelen uyartı çekirdekte işlenerek aksona iletilir. Sinir hücrelerinin türlerine göre aksonun boyunda değişiklik olabildiği gibi etrafı zarla kaplı olabilmekte, böylece iletim daha hızlı gerçekleşebilmektedir.

Nöron'ların temel yapısı Şekil 4.1'de görülebilir. İki nöron arasındaki sinirsel uyartı iletiminin gerçekleştiği bölgeye sinaps adı verilmektedir.

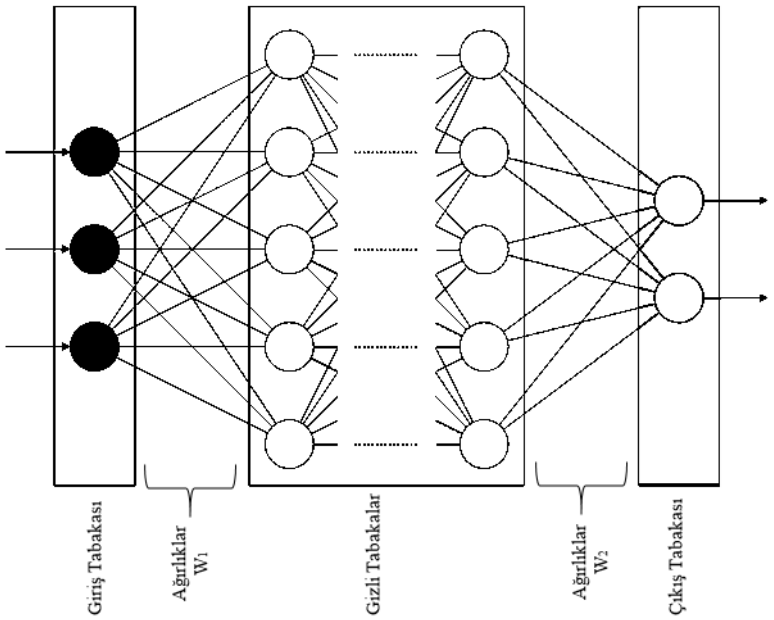


Şekil 4.1 : Biyolojik sinir hücresinin yapısı.

Sinapslar arasında iletim gerçekleştirilirken gelen uyartının kuvvetlenmesi ya da zayıflaması mümkündür. Bazı durumlarda eşik değerinin altında kalan uyartılar iletilmeyebilir. Yapay sinir ağları oluşturulurken biyolojik sinir ağlarının bu özellikleri göz önünde bulundurulur.

4.2 YSA'ların Bileşenleri

Yapay sinir ağları nöronlardan oluşmakla birlikte, basit bir yapay sinir ağında giriş tabakası, bir veya birden fazla gizli tabaka ve çıkış tabakası yer alır (Das ve diğ, 2017). Yapay sinir ağlarının şematik gösterimi Şekil 4.2 ile verilmiştir.

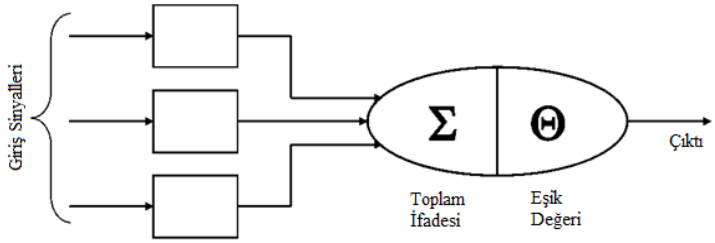


Şekil 4.2 : Yapay sinir ağlarının genel görünümü (Barutçu, 2016).

Yapay sinir ağlarının doğru şekilde çalışabilmesi, yapısındaki her bir bileşenin tek tek ayarlanmasını gerektirir. Bu bölümde sinir ağlarının temel yapıtaşı olan nöron, giriş tabakası, gizli tabaka ve çıkış tabakası detaylandırılacaktır.

4.2.1 Yapay nöronlar

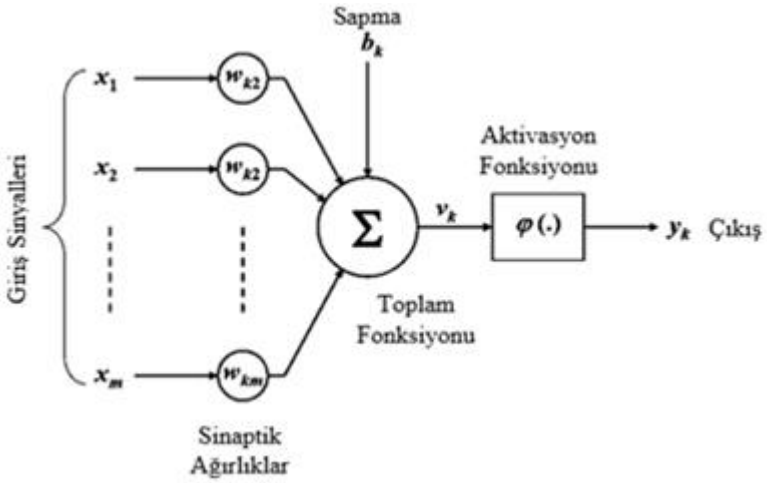
McCulloch ve Pitts'in 1983 yılında geliştirdikleri ilk nöron modeli Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 : McCulloch ve Pitts nöron modeli (Barutçu, 2016).

McCulloch ve Pitts nöron modelini geliştirirken biyolojik bir nöronun çalışma prensibini göz önünde tutmuşlardır. Buna göre yapay nöronda da giriş sinyalleri öncelikle toplanmaktadır. Modelde, toplanan sinyal eşik değerinden büyük olduğu takdirde çıktı yaratır.

Şekil 4.4'te ise doğrusal olmayan bir nöron modeli görülmektedir. Bu modelde giriş sinyallerinden her biri ağırlık değerleri ile çarpılır, zira biyolojik sinir hücresi sinapslarında da çeşitli kimyasallar ve hücresel geçirgenlikler vasıtasıyla benzer bir durum gerçekleşmektedir.



Şekil 4.4 : Doğrusal olmayan bir nöron modeli (Barutçu, 2016).

Ağırlıkların doğruluğu sonuçların doğruluğuna etkiyen en önemli parametredir. Ağın eğitilmesi sırasında başlangıçta tahmini olarak atanan ağırlık değerleri girdi ile çıktı değerlerinin yakınlığına bağlı olarak değiştirilir ve böylece ağırlıklar son halini alır. Tüm ağırlıkların son halini alması ile ağ eğitimi tamamlanmış olacaktır (Öztemel, 2012).

Toplam fonksiyonu sinaptik ağırlıklardan gelen verileri toplayarak aktivasyon fonksiyonuna iletilecek hesaplamayı gerçekleştirir. Bazı nöron modellerinde toplam fonksiyonuna gelen verilerin içerisine sapma değeri de dahil edilebilmektedir. Özetle girdi verileri bu toplam fonksiyonu içerisinde sinaptik ağırlık değerleri ile çarpılmakta duruma göre sapma değeri ile toplanmakta ve böylece bir sonraki aşamaya iletilmektedir. Toplama fonksiyonu formül 4.1 ile ifade edilebilir.

$$v_k = \sum_{i=1}^{m} w_{ki} \times x_i \tag{4.1}$$

Formül 4.1'deki ifadeler açıklanırsa;

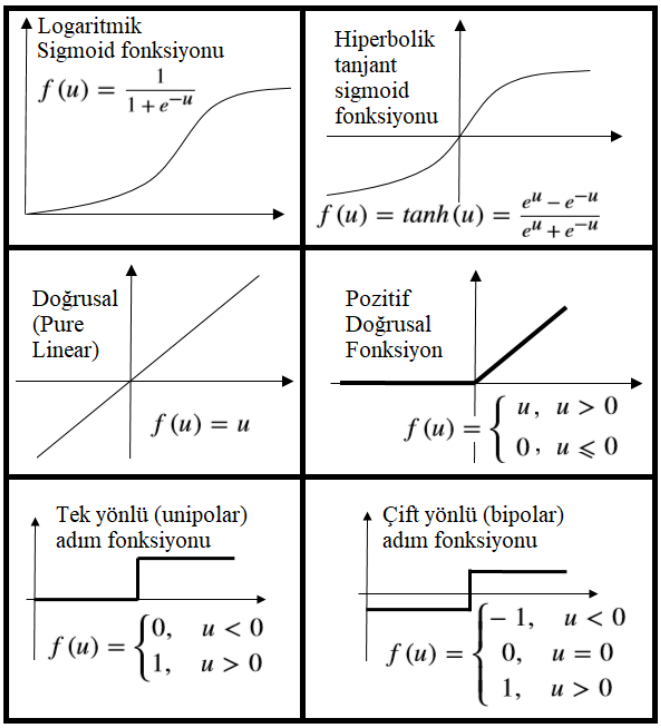
v_k: toplam fonksiyonu çıktısı,

x_i: girdi vektörü,

$w_{ki:}$: ağırlıklar matrisi, değerlerini ifade etmektedir.

Aktivasyon fonksiyonu temelde giriş verilerini istenilen genliğe getirecek şekilde işler ve çıkış verilerine dönüştürülmesini sağlar (Das ve diğ, 2017). Yapay sinir ağlarında istenilen genlik -1 ile 1 arasında olabileceği gibi 0 ile 1 arasında da olabilir. Yapay sinir ağlarında aktivasyon fonksiyonunun sürekli yapıda olması ve türevlenebilir olması beklenmektedir (Sezer, 2007). Uygulamalarda kullanılan birçok farklı çeşitte aktivasyon fonksiyonu bulunmaktadır.

Aktivasyon fonksiyonları; doğrusal, pozitif doğrusal, logaritmik sigmoid, tanjant hiperbolik, adım (basamak), tek yönlü (unipolar) basamak, çift yönlü (bipolar) basamak ve benzer yapıda fonksiyonlar olabilmektedir. YSA çalışmalarında kullanılan birkaç aktivasyon fonksiyonunun gösterimi Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 : Altı farklı aktivasyon fonksiyonu örneği.

Aktivasyon fonksiyonlarından bazılarını açıklamak gerekirse;

- Doğrusal (pure linear) fonksiyon hücre girişini çıktı olarak veren fonksiyondur. Formülasyon olarak denklem 4.2'deki gibi tanımlanabileceği gibi aynı zamanda bu denklem 4.3'tekine benzer şekilde sabit bir katsayı (K_k) da içerebilir.

$$f(u) = u \tag{4.2}$$

$$f(u) = K_k \times u \tag{4.3}$$

- Logaritmik sigmoid fonksiyonu doğrusal olmayan problemlerde kullanılabilecek bir fonksiyon olduğundan yapay sinir ağı uygulamalarında sıklıkla bu fonksiyona rastlanmaktadır. Logaritmik sigmoid fonksiyonu denklem 4.4'te verildiği gibi ifade edilir. Fonksiyon çıktı değerleri (0,1) aralığında yer alır.

$$f(u) = \frac{1}{1+e^{-u}} \tag{4.4}$$

Bir yapay sinir ağında tüm nöronların aynı aktivasyon fonksiyonunu kullanma gibi bir zorunluluğu bulunmamaktadır. Her nörona farklı aktivasyon fonksiyonları da atanabilir. Aktivasyon fonksiyonları benzer çalışmalara bakılarak seçilebileceği gibi eldeki veri için en uygun olanını deneme yanılmalar yardımıyla da belirlemek mümkündür.

Aktivasyon fonksiyonu verileri işledikten sonra elde edilen değere çıktı adı verilmektedir. Elde edilen çıkış değeri bir yapay sinir ağında doğrudan dışarıya gönderilebileceği gibi başka bir nörona girdi değeri olarak da verilebilmektedir (Öztemel, 2012). Bu sebeple nöronların birbirine bağlanabilir yapıda olduklarından bahsedilebilir. Bu durum çok karmaşık yapıda yapay sinir ağlarının oluşturulmasına olanak sağlar. Her nöronun bir ya da birden fazla girdisi olabilir ancak nöron işlemler sonucunda sadece tek bir çıktı üretebilmektedir (Çelik, 2008).

Yapay nöronların yapısını formül 4.5 ile özetlemek mümkündür (Krenker ve diğ, 2011).

$$y_{ki} = F\left(\left(\sum_{i=1}^{m} w_{ki} \times x_i\right) + b\right) \tag{4.5}$$

Denklem 4.5'te toplam işareti içeren kısım denklem 4.1'de toplam fonksiyonu olarak açıklanmıştı. Denklem 4.5'teki diğer değerler ise;

y_{ki} : nöronun çıktı değeri,

F: aktivasyon fonksiyonu,

b: sapma (bias) değeri, olarak adlandırılmaktadır.

Her ne kadar tek bir yapay nöronu formülize etmek mümkün olsa da birden çok yapay nöronun birbirine kompleks bir halde bağlı olduğu yapay sinir ağı yapısını fiziksel bir denklem haline dökmek o kadar da kolay değildir. Bu sebeple yapay sinir ağlarına "kara kutu" adı da verilmektedir. Buna göre veriler kara kutuya girer ve kara kutudaki karmaşık bir dizi işlemden sonra çıktı olarak sistemden alınır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : YSA'ların kara kutu gösterimi.

4.2.2 Hata fonksiyonu

Hata fonksiyonu hesaplanan değerin gerçek değerden olan sapmasına verilen isimdir. Hata fonksiyonu olarak kullanılan formül genellikle karesel hataların toplamı (SSE: Sum of Square Error) fonksiyonudur. Bu fonksiyonun formülü denklem 4.6'da verilmiştir.

$$SSE = \sum_{e} \sum_{i} (H_{ei} - G_{ei})^2 \tag{4.6}$$

Denklem 4.5'te verilen değerler açıklanırsa; i çıktı nöronu, e eğitim verileri, H_{ei}, ilgili nörondaki hedeflenen eğitim verileri, G_{ei} ilgili nörondaki gerçek hesap değeri.

Bazı durumlarda ortalama karesel hata (MSE: Mean Square Error) değerinin de kullanımına rastlanılmaktadır (formül 4.7).

$$MSE = SSE/N \tag{4.7}$$

Formül 4.7'de verilen N değeri veri sayısını ifade etmektedir.

4.2.3 Giriş tabakası

Yapay sinir ağı yapılarının ilk elemanını giriş tabakası oluşturmaktadır. Giriş tabakasında dış ortamdan bilgiler alınarak gizli tabakaya iletim gerçekleşir ve gerçek bir yapay sinir ağının işleyebilmesi için minimum 1 girdi verisinin bulunması zorunludur.

4.2.4 Gizli tabaka

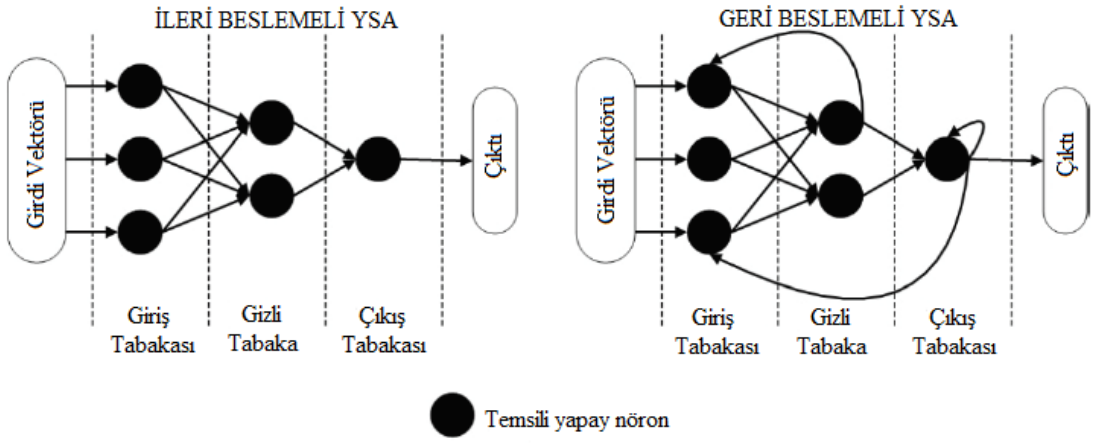
Gizli tabaka giriş tabakasından gelen verileri işleyerek çıkış tabakasına ileten yapılardır. Gizli tabaka içerisinde gelen verilere bağlı olarak nöronlardaki ağırlıkların değiştirilmesi, aktivasyon fonksiyonlarının çeşitliliği ve nöronlar arası ileri veya geri besleme yapılarının mevcudiyeti gibi yapay nöronların işleyişine bağlı karmaşık süreçler bulunur ve tüm bunlar ağların eğitimi sırasında ayarlanır. Gizli tabakada bir veya daha fazla tabakanın bulunması tamamen tasarımcının tercihine bağlıdır.

4.2.5 Çıkış tabakası

Çıkış tabakası gizli tabakadan alınan verinin toplanarak işlendiği ve son çıktının yaratıldığı bölümdür. YSA'ların öğreniminin sonunda bu çıkış tabakası ile en baştaki giriş tabakası arasındaki verisel yakınlığın maksimum olması istenir.

4.3 YSA Yapıları

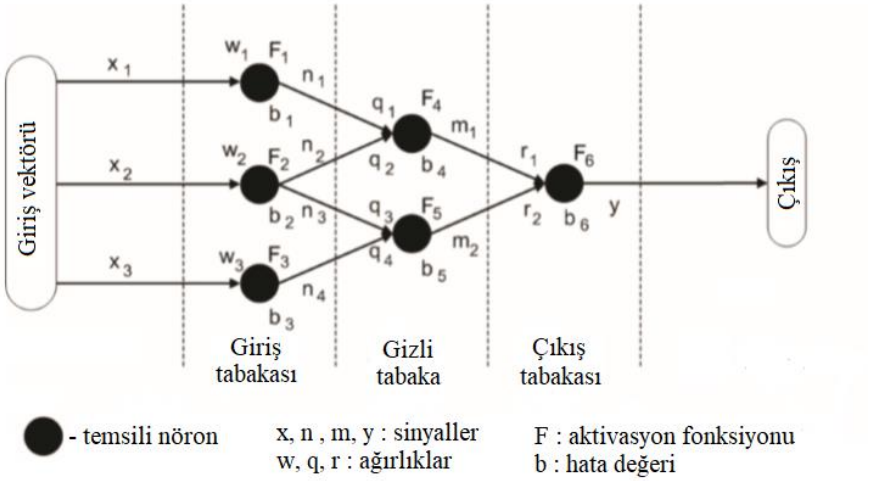
Yapay nöronların biraraya gelerek oluşturdukları yapıya yapay sinir ağları adı verilmektedir. Yapay sinir ağlarını en basit haliyle ileri beslemeli ve geri beslemeli yapay sinir ağları olarak kategorize etmek mümkündür (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 : İleri ve geri beslemeli YSA yapıları (Krenker ve diğ, 2011).

4.3.1 İleri beslemeli YSA yapısı

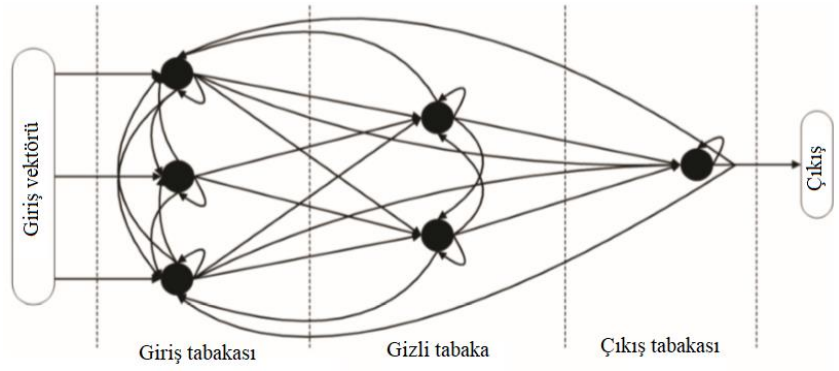
Veri akışının sadece ve sadece ileri yönde olduğu YSA yapısına ileri beslemeli YSA adı verilmektedir. İleri beslemeli YSA'larda gizli tabaka sayısı, gizli tabakadaki nöron sayısı, giriş tabakasındaki nod sayısı, kullanılan aktivasyon fonksiyonları tamamıyla tasarımcının tercihine kalmıştır. İleri beslemeli nöron sayısı sınırsız olabileceğinden bu tarz YSA yapılarının özel geliştirilmiş bilgisayar programlarına hesaplatılması tercih edilmektedir ancak az nörona sahip yapılarda el ile hesaplama yapmak da mümkündür. İleri beslemeli YSA yapısı ve ilgili parametreler Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8 : İleri beslemeli YSA yapısı (Krenker ve diğ, 2011).

4.3.2 Geri beslemeli YSA yapısı

Geri beslemeli YSA'lar verilerin nöronlar arasında sonsuz geri dönüşler gerçekleştirebildikleri yapay sinir ağı yapılarıdır (Şekil 4.9). Veri akışının geri yönlü de gerçekleşiyor olması YSA'ların içsel hafızaya sahip olmalarına neden olur (Krenker ve diğ, 2011).



Şekil 4.9 : Geri beslemeli YSA yapısı (Krenker ve diğ, 2011).

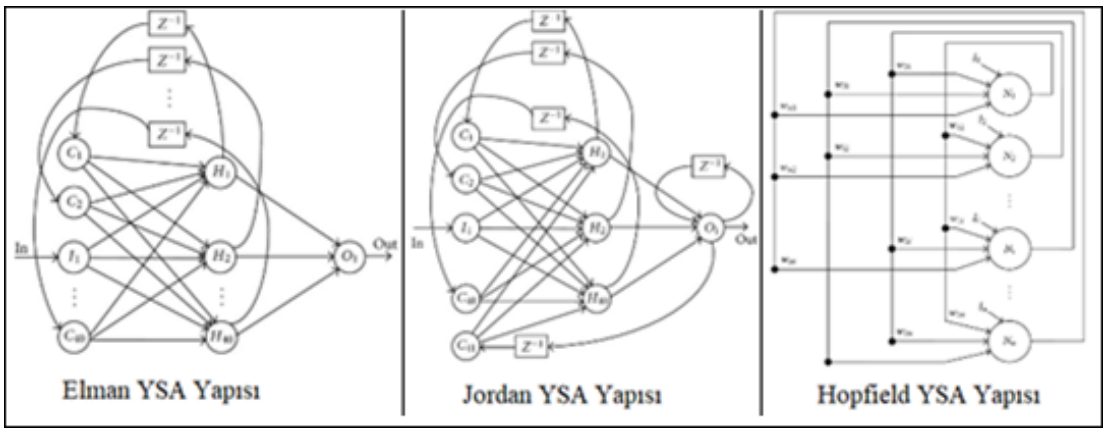
Şekil 4.9'da da görülebileceği gibi veri akışı bir önceki ve bir sonraki tabakada bulunan nöronlara doğru olabileceği gibi, aynı tabaka içindeki başka bir nörona veya nöronun kendi içine doğru da olabilir.

Diğer geri beslemeli yapay sinir ağları ise aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Krenker ve diğ, 2011).

- Elman YSA yapısı,
- Jordan YSA yapısı,
- Hopfield YSA yapısı,

- Çift yönlü YSA yapısı,
- Uzun dönem kısa hafıza YSA yapısı,
- Kendini düzenleyebilen YSA yapısı

Şekil 4.10'da birkaç geri beslemeli YSA'nın yapı şeması verilmiştir.



Şekil 4.10 : Elman, Jordan ve Hopfield YSA yapıları (Url-5).

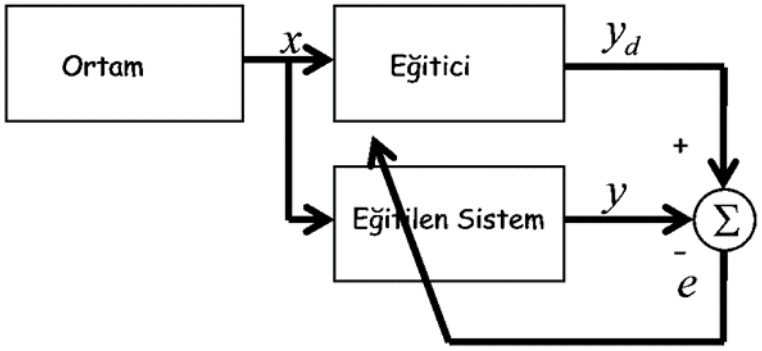
4.4 Ağların Öğrenimi

4.4.1 Öğrenim yapıları

Ağların öğrenimi için eğitilici öğrenme, eğiticisiz öğrenme ve pekiştirmeli öğrenme olmak üzere üç farklı öğrenme yöntemi bulunmaktadır.

4.4.1.1 Eğiticili (supervised) öğrenim

Eğiticili öğrenim bir eğitim seti verisinden faydalanılarak gerçekleştirilen öğrenim tekniğidir. Bu teknikte giriş değerlerine ve istenilen çıkış değerlerine ait vektörler çiftler halinde YSA'ya verilir. Ancak öğrenimin başarılı olabilmesi için eğitim setinin iyi seçilmesi gereklidir. Eğitim setinin fazla uzun seçilmesi eğitimi uzatabileceği gibi, çok kısa seçilmesi de çıktı performansını düşürecektir. Eğitim aşamasından sonra test seti ile YSA denenir ve sinir ağının tahmin başarımı kontrol edilir. Şekil 4.11'de eğiticili öğrenim yapısının şematik gösterimi verilmiştir. Buradaki "e" değeri hatayı ifade etmektedir. Hata durumuna göre eğitici veri seti yeniden düzenlenir.

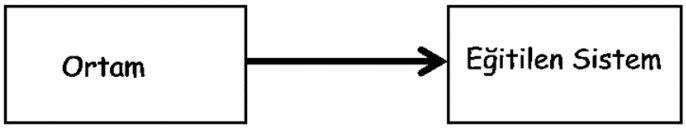


Şekil 4.11 : YSA'larda eğiticili öğrenim yapısı (Şengör ve Erçelik, 2014).

Eğiticili öğrenim yapısında YSA eğitimi sırasında ağırlık değerleri çıktı hatasına bağlı olarak değiştirilir ve en az hataya sahip ağırlık değerleri bulunmaya çalışılır. En az hatanın olduğu durumda sistem öğrenmiş sayılır. Veriler hakkındaki ön sınıflandırmayı, test ve eğitim setlerinin belirlenmesini çalışmayı gerçekleştiren kişi yaptığından bu öğrenim türünde sistem insan hatalarına açıktır.

4.4.1.2 Eğiticisiz (unsupervised) öğrenim

Eğiticisiz öğretimde veri setlerinin birbirleri arasındaki ilişkiler sisteme verilmez ve YSA'nın bu değerler arasındaki sınıflandırmayı tespit etmesi beklenir. Bu tarz öğrenimlerde verilerin dağılımının nasıl olduğu bulunmaya çalışılır. Bu durum istatistiksel analiz yöntemleriyle benzerlik göstermektedir. Şekil 4.12'de eğiticisiz öğrenim yapısının şematik gösterimi verilmiştir.



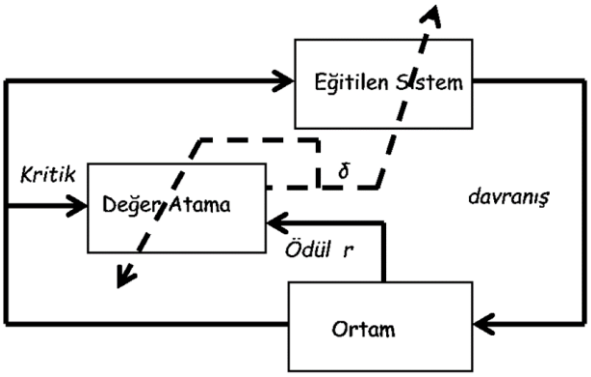
Şekil 4.12 : YSA'larda eğiticisiz öğrenim yapısı (Şengör ve Erçelik, 2014).

Eğiticisiz öğrenimde sistemin öğrenim sonrası verdiği çıktılar doğrudan bir sonuç ifade etmez, sadece veriler arasındaki ilişkinin türünü gösterir. Veriler arasındaki sınıflandırmanın tespitinin zor olduğu durumlarda tercih edilebilecek bir yöntemdir.

4.4.1.3 Pekiştirmeli (reinforced) öğrenim

Pekiştirmeli öğrenimde sisteme verilerin doğrudan verilmez, ancak sistemin dış ortamla etkileşimi sayesinde verileri edinmesi mümkün olur. Pekiştirmeli öğrenimde

sistemin kendini kontrolünü sağlayacak bir eğitim verisi bulunmaz. Bunun yerine sistemin gerekli sonuca ulaşabilmek için en uygun yöntemi bulması beklenir. Şekil 4.13'te pekiştirmeli öğrenimin şematik gösterimi verilmiştir.



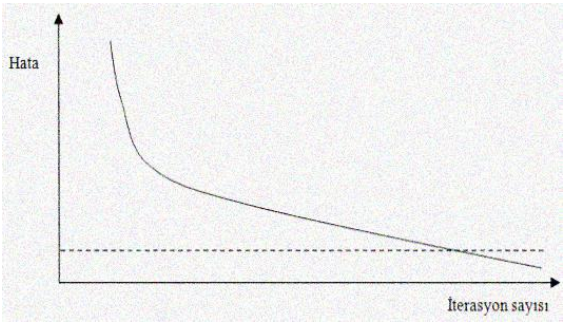
Şekil 4.13 : YSA'larda pekiştirmeli öğrenim yapısı (Şengör ve Erçelik, 2014).

Pekiştirmeli öğrenim tekniği birçok farklı durum için uygulanabilir niteliktedir. Bunlardan bazıları; iletişim teknolojileri, satranç oyunu tasarımı ve robot tasarımıdır (Kranker ve diğ, 2011).

4.4.2 Öğrenim kuralları

Yapay sinir ağlarının öğrenimi her bir yapay nöronun ağırlık değerlerinin değişmesi ile gerçekleşir. Bu ağırlık değerleri genellikle başlangıçta rastgele atanır, öğrenme sürecinde girdi verilerini istenilen çıktı değerine en çok yaklaştıracak ağırlıklar değiştirilir ve her farklı ağırlıklar kombinasyonu için YSA yeniden çalıştırılır.

Ancak YSA'ların tekrar tekrar çalıştırılması bir yere kadar hızlı gerçekleşmekte, tekrar sayısı arttıkça öğrenme durumunda da yavaşlama olmaktadır (Karahan, 2011). Öğrenimdeki yavaşlama bir noktadan sonra iterasyonlara devam edilmesini anlamsız hale getireceğinden, optimum YSA tekrarına ulaşıldıktan sonra durulması gerekir. Şekil 4.14'te tekrar sayısının, öğrenim ile olan ilişkisine ait grafik verilmiştir.



Şekil 4.14 : Öğrenim grafiği (Öztemel, 2012).

Öğrenme gerçekleştiğinde ağırlıklar YSA hafızasına alınır ve YSA'nın test seti verileri ile başarımını kontrol etmek mümkün olur.

Her ne kadar tasarlanan YSA modelleri öğrenme işlevini gerçekleştirebilse de öğrenme yöntemleri birbirlerinden farklı olabilmektedir. Öğrenme olayı öğrenme kuralı adı verilen denklem veya deklemler takımı vasıtasıyla gerçekleştirilir.

Yapay sinir ağlarının gerçek ölçüm verileri ile eğitilebilir olması, onu bölge bazlı problemlerin çözümünde etkili kılar. Amprik formüllerin veya istatistiksel bağıntıların yetersiz kaldığı durumlarda yapay sinir ağlarının eğitilebilir olması onu işlevsel kılar.

YSA'ların eğitiminde 4 temel öğrenme kuralının varlığından bahsedilebilir. Bunlar sırasıyla; Hebb kuralı, Hopfield kuralı, Kohonen kuralı ve Delta kuralıdır (Öztemel, 2012).

4.4.2.1 Hebb kuralı

Hebb'in 1949 yılında yazdığı "The Organization of Behavior" adlı kitabında sinaptik bağlantılar için fizyolojik öğrenme kurallarını ortaya koymuştur. Hebb kitabında insan beyninin durmaksızın öğrenen ve öğrendikçe değişen bir yapıda olduğundan bahsetmekte ve nöronlar arası bağlantıların yeni görevleri yerine getirirken yeniden düzenlendiğini söylemektedir. Hebb'in teorisinden yola çıkarak çalışmalar yapan Rochester, Dula, Haibt ve Holland 1956 yılında çıkardıkları yayında teorinin çalışabilmesi için inhibisyon durumunun da teoriye eklenmesi gerektiğini tespit etmişlerdir (Haykin, 2005). Hebb'in teoremi temelde aynı işarette sinyal alan nöronların arasındaki bağlantıların kuvvetlendirilmesi, zıt işaretteki nöronlar arası bağlantıların ise zayıflatılması gerektiğini savunur (Çelik, 2008). Ayrıca Hebb aktif olmayan bir nörona bağlı diğer nöronların da aktif olmayacağını ifade etmektedir. Bu durum tam tersi durum için de geçerlidir (Adıyaman, 2007).

4.4.2.2 Delta kuralı

Hata düzeltimli öğrenme kuralı olarak da bilinen Delta kuralı, Widrow ve Hoff tarafında 1960 yılında geliştirilmiştir. Delta kuralı ağırlıkların sürekli değişimi ile hatayı minimize etmeye çalışan kural olarak özetlenebilir. Bu kural Hebb kuralının modifiye ile ortaya çıkmış bir kuraldır.

Nöron çıktısını istenen çıktı değerine ulaştırabilmek için ağırlıkların durmadan değiştirilmesini ve bu sayede hataların kareler ortalamasının minimum olduğu ağırlıklar kombinasyonunun bulunmasını temel alır. Günümüzde de en çok tercih edilen öğrenim kuralı delta kuralıdır (Karahan, 2011).

4.4.2.3 Hopfield kuralı

Hopfield 1982'de yaptığı çalışmasında istatistiksel yöntemler ile öğrenme arasındaki ilişkiyi kurmuş ve enerji fonksiyonları fikrini temel alarak simetrik ağ bağlantılarına sahip geri beslemeli YSA'larda gerçekleşen hesaplamalara yeni bir bakış açısı getirmiştir. Bu çalışması sayesinde geri beslemeli ağlar 80'li yıllarda popüler hale gelerek "Hopfield ağları" adıyla anılmaya başlamıştır (Haykin, 2005).

Hopfield kuralı yapay sinir ağları arasındaki ağırlıkların öğrenme katsayısı ile belirleneceğini ifade eder. Öğrenme katsayısı uygulan kişi tarafından seçilmekte olup, (0,1) aralığında değer almaktadır. Bağ kuvvetleri girdi ve çıktıların aktif olması durumunda artırılıp, pasif olduklarında azaltılmalıdır (Efendigil, 2008).

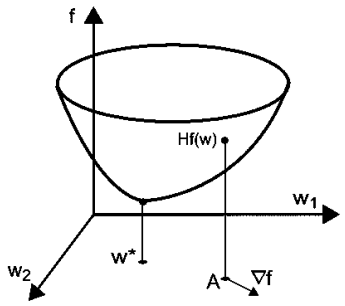
4.4.2.4 Kohonen kuralı

Kohonen 1982 yılında kendini düzenleyen haritalar ağı (self-organizing maps) konusundaki yayınında tek ve iki boyutlu latis yapılarını kullanmış ve öğrenim kuralları hakkında önemli bir gelişmeye imza atmıştır (Haykin, 2005).

Kohonen öğrenme kuralı olarak da bilinen bu yöntemde hücrelerin ağırlıklar için birbirleri ile yarış halinde bulunduğundan ve genellikle girdi vektörüne en yakın nöronun kazandığından bahsetmiştir. Yarışı kazanan bu nöronun ağırlığı sabit tutulurken, bu nörona komşu olanların ağırlıkları da güncellenecektir (Öztemel, 2012).

4.4.3 Öğrenim algoritmaları

Hata fonksiyonundan Bölüm 4.2.2'de bahsedilmişti. Öğrenim algoritamaları işte bu bahsi geçen hata fonksiyonunu minimize edecek şekilde işlev görür. Hata fonksiyonunun 3 boyutlu grafik gösterimi Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15 : Hata fonksiyonu grafiği (Url-6).

Şekil 4.15'ten de anlaşılabileceği üzere hata fonksiyonu lineer olmayan bir yapıya sahip olduğundan, bu fonksiyonu minimum yapan değeri bulmak oldukça güçtür. Bu sebeple geliştirilmiş birçok öğrenim algoritması bulunmaktadır.

Yapay sinir ağlarında kullanılan en yaygın algoritmalar şu şekilde sayılabilir; dereceli alçalma (gradiend descent), Newton yöntemi, Eşlenik düşüm (conjugate gradient), yarı Newton (Quasi Newton) ve Levenberg Marquardt algoritması.

Bu öğrenim algoritmalarının genel özelliklerinden kısaca bahsetmek gerekirse;

- Dereceli alçalma algoritması n^2 boyutlu Hessian matrisini depolamak yerine n boyutlu gradyan vektörünü depoladığından büyük yapay sinir ağlarının bulunması durumunda iyi işlev görür.
- Newton algoritmasının kullanılması ise dereceli alçalma algoritmasına kıyasla daha az işlemle sonuca ulaşılmasını sağlar.
- Eşlenik düşüm algoritması Hessian matrisi hesabını gerektirmediğinden dereceli alçalma ile benzer bir şekilde büyük yapay sinir ağlarında iyi sonuç verir.
- Yarı Newton algoritması, gradyan alçalma ve eşlenik düşüme kıyasla daha hızlı cevap verme yeteneğine sahip olmakla birlikte aynı eşlenik düşüm yöntemi gibi Hessian matrisi hesabına gerek duymaz.
- Levenberg-Marquardt algoritması ise eğitim hızı bakımından diğer algoritmalardan iyi olmasına rağmen büyük veri setlerinde veya geniş yapay sinir ağlarında Jacobian matrisinin fazla yer kaplamaya başlamasına neden olabilir.

Yapay sinir ağı öğrenim algoritmalarından birkaçının kıyaslaması Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Öğrenim algoritmalarının karşılaştırması (Yu ve Willamowski, 2011).

Öğrenim Algoritması	Yakınsama	Hesaplama Zorluğu
Dereceli Alçalma	Stabil, yavaş	Gradyan
Newton	Stabil değil, hızlı	Gradyan ve Hessian
Gauss-Newton	Stabil değil, hızlı	Jacobian
Levenberg-Marquardt	Stabil, yavaş	Jacobian

Veri setlerinin boyutu ve seçilen yapay sinir ağı göz önünde tutularak tezde kullanılacak yapay sinir ağı eğitim yöntemi Levenberg-Marquardt algoritması olarak belirlenmiştir. Levenberg-Marquard algoritmasından aşağıda bahsedilecektir.

4.4.3.1 Levenberg-marquardt algoritması

Levenberg-Marquardt algoritması temelde Jacobian matrisinin hesabına ve buna bağlı olarak Hessian matrisine yeni bir yaklaşım getirilmesine dayanmaktadır. Hessian matrisine getirilen bu yeni yaklaşım denklem 4.8 ile ifade edilebilir.

$$HM = J^T J + \mu I \tag{4.8}$$

Bu denklemde μ kombinasyon katsayısı, J Jacobian matrisi, I ise birim matristir. Levenberg-Marquard algoritması bu yeni Hessian matrisini de içine katarak formül 4.9 ile hesaplanabilir.

$$w_{k+1} = w_k (J^T J + \mu I)^{-1} J_k e_k \tag{4.9}$$

Denklem x'te w ağırlık değerini k iterasyon sayısını, e ise istenen çıktı değerinin gerçek çıktı değerinden farkı olan hata değerini ifade etmektedir.

Levenberg-Marquardt algoritması ile ağ eğitimini iki ana başlığa bölmek mümkündür. Bu temelde Jacobian Matrisinin hesaplanması ve eğitimin tasarımıdır.

4.4.3.2 Jacobian matrisi hesabı

Jacobian matrisinin hesabı için hata değerinin tanımlanmasına ihtiyaç vardır. Hata değeri olan $e_{P,M}$'i formül 4.10 yardımıyla ifade etmek mümkündür.

$$e_{P,M} = d_{P,M} - o_{P,M} \tag{4.10}$$

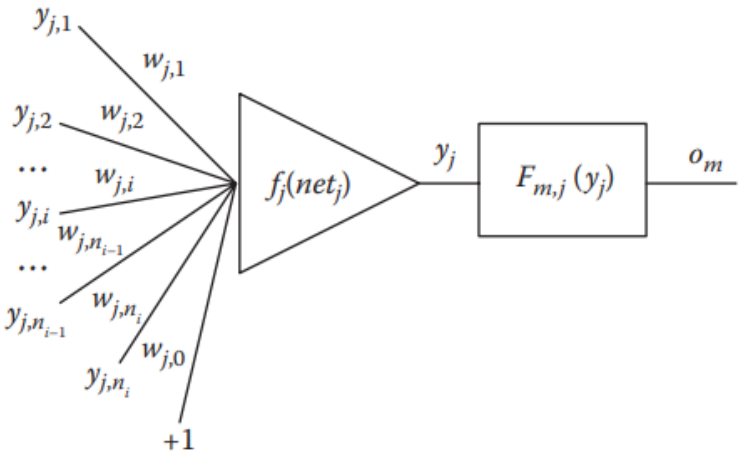
Formül 4.10'da; P tasarım numarası, M çıktı numarası, $d_{P,M}$ elde edilmek istenen çıktı vektörü, $o_{P,M}$ gerçekte elde edilen çıktı vektörü değerini ifade eder.

Jacobian Matrisi, hataların birinci türevlerinden oluşan bir matristir ve bu matris formül 4.11'de verilmiştir (Yu ve Willamowski, 2011).

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_{1,1}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{1,1}}{\partial w_2} & \cdots & \frac{\partial e_{1,1}}{\partial w_N} \\ \frac{\partial e_{1,2}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{1,2}}{\partial w_2} & \cdots & \frac{\partial e_{1,2}}{\partial w_N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \frac{\partial e_{1,M}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{1,M}}{\partial w_2} & \cdots & \frac{\partial e_{1,M}}{\partial w_N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \frac{\partial e_{P,1}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{P,1}}{\partial w_2} & \cdots & \frac{\partial e_{P,1}}{\partial w_N} \\ \frac{\partial e_{P,2}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{P,2}}{\partial w_2} & \cdots & \frac{\partial e_{P,2}}{\partial w_N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \frac{\partial e_{P,M}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{P,M}}{\partial w_2} & \cdots & \frac{\partial e_{P,M}}{\partial w_N} \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

Formül 4.11'de verilen matristeki parametreler açıklanırsa, w ilgili nörona ait ağırlık vektörü, $e_{P,M}$ P tasarımı uygulanırken elde edilen M çıktısına ait eğitim hatası değeridir.

Jacobian matrisinin her bir elemanını hesaplamak için öncelikle örnek bir nöron tanımlamak gerekir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 : Nöron şematiği (Yu ve Willamowski, 2011).

Şekil 4.16'da i giriş nodu sayısı, j ise topolojideki nöron sayısıdır. $y_{j,i}$ j nöronunun i nolu giriş nodundaki değer, $w_{j,i}$ ise aynı değere ait ağırlıktır. f_j aktivasyon fonksiyonunu ifade eder. $F_{m,j}$ çıktı ile çıktı nodu arasındaki nonlineer ilişkidir (Yu ve Willamowski, 2011).

Nöron çıktısı y_j denklem 4.12 ile ifade edilip, türevi alındığında S_j olarak adlandırılır (denklem 4.13).

$$y_j = f_j(net_j) \tag{4.12}$$

$$S_j = \frac{\partial y_j}{\partial net_j} \tag{4.13}$$

Denklem 4.12'de verilen net_j değerini ise denklem 4.14 ile ifade etmek mümkündür.

$$net_j = \sum_{i=1}^{n_i} w_{j,i}\, y_{j,i} \tag{4.14}$$

Denklem 4.14'ün de türevi alınırsa $y_{j,i}$ değeri elde edilmiş olur (denklem 4.13).

$$y_{j,i} = \frac{\partial net_j}{\partial w_{j,i}} \tag{4.15}$$

Son olarak da çıktı değeri o_m'nin formülü yazılıp (denklem 4.16), bu denklemin türevi alınır (denklem 4.17).

$$o_m = F_{m,j}(y_j) \tag{4.16}$$

$$F'_{m,j} = \frac{\partial o_m}{\partial y_j} \tag{4.17}$$

Denklem 4.13, denklem 4.15 ve denklem 4.17 ile verilen değerler denklem 4.11'deki Jacobian matrisi elemanı ile birleştirildiğinde denklem 4.18 elde edilir.

$$\frac{\partial e_{p,m}}{\partial w_{j,i}} = \frac{\partial\left(d_{p,m-}o_{p,m}\right)}{\partial w_{j,i}} = -\frac{\partial o_m}{\partial y_j} = -F'_{m,j} S_j y_{j,i} \tag{4.18}$$

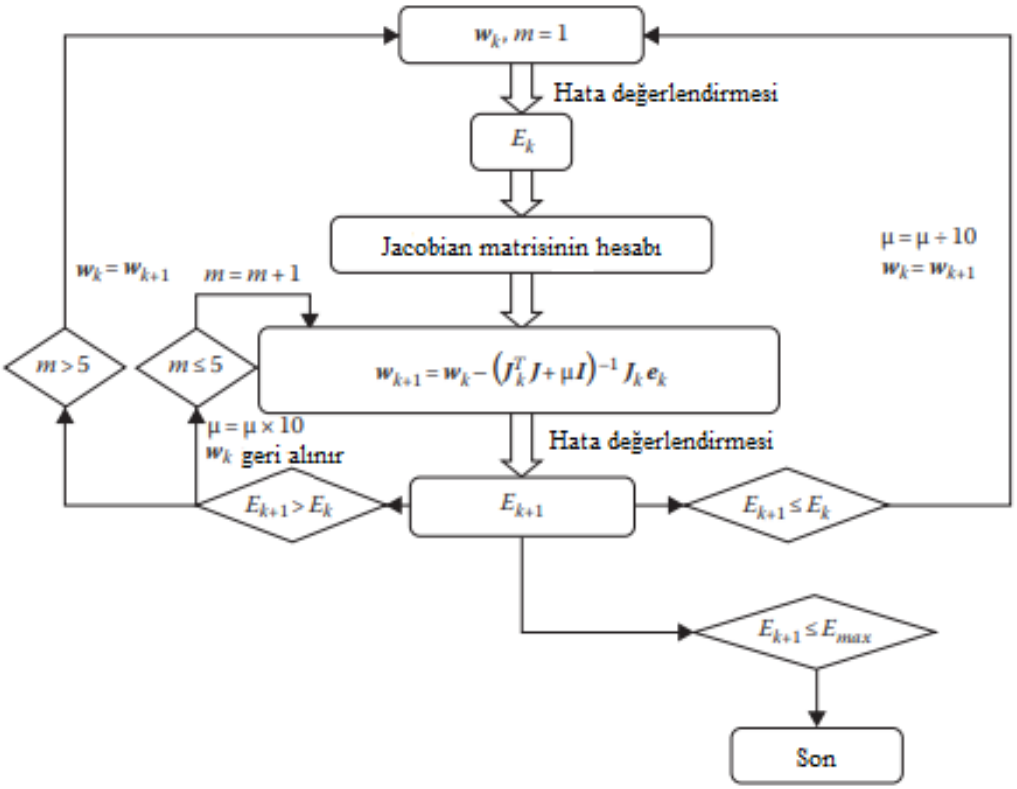
Denklem 4.18 yardımıyla Jacobian matrisini oluşturan her bir eleman hesaplanarak, Jacobian matrisi elde edilir, ardından Jacobian matrisi denklem 4.8'e yerleştirilir ve yeni Hessian yaklaşımı bulunur. Son olarak da denklem 4.9'un kullanımı ile Levenberg-Marquard algoritması bulunmuş olur.

Bu bahsedilen işlem basamaklarından da anlaşılabileceği üzere Levenberg-Marquardt algoritması ile eğitim sırasında büyük matrislerin hafızada saklanma

gerekliliği vardır. Bu sebeple yüksek giriş nodu ya da yüksek nöron sayısına sahip olunduğu durumlarda saklanan matrisin boyutu çok büyüyeceğinden hafıza gereksiniminin aşırı artışına neden olur.

4.4.3.3 Eğitim planı

Levenberg-Marquardt algoritmasının eğitimi için akış şeması Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.17 : Levenberg-Marquardt algoritması akış şeması (Yu ve Willamowski, 2011).

Şekil 4.17'de verilen şemadaki kısaltmaların açıklamaları yapılırsa; w_k mevcut ağırlık, w_{k+1} bir sonraki ağırlık, E_{k+1} mevcut toplam hata ve E_k son toplam hatadır. E değerleri SSE (denklem 4.6) hesaplanarak elde edilen hata değerlerini ifade etmektedir.

5. MATERYAL VE METOT

5.1 Materyal

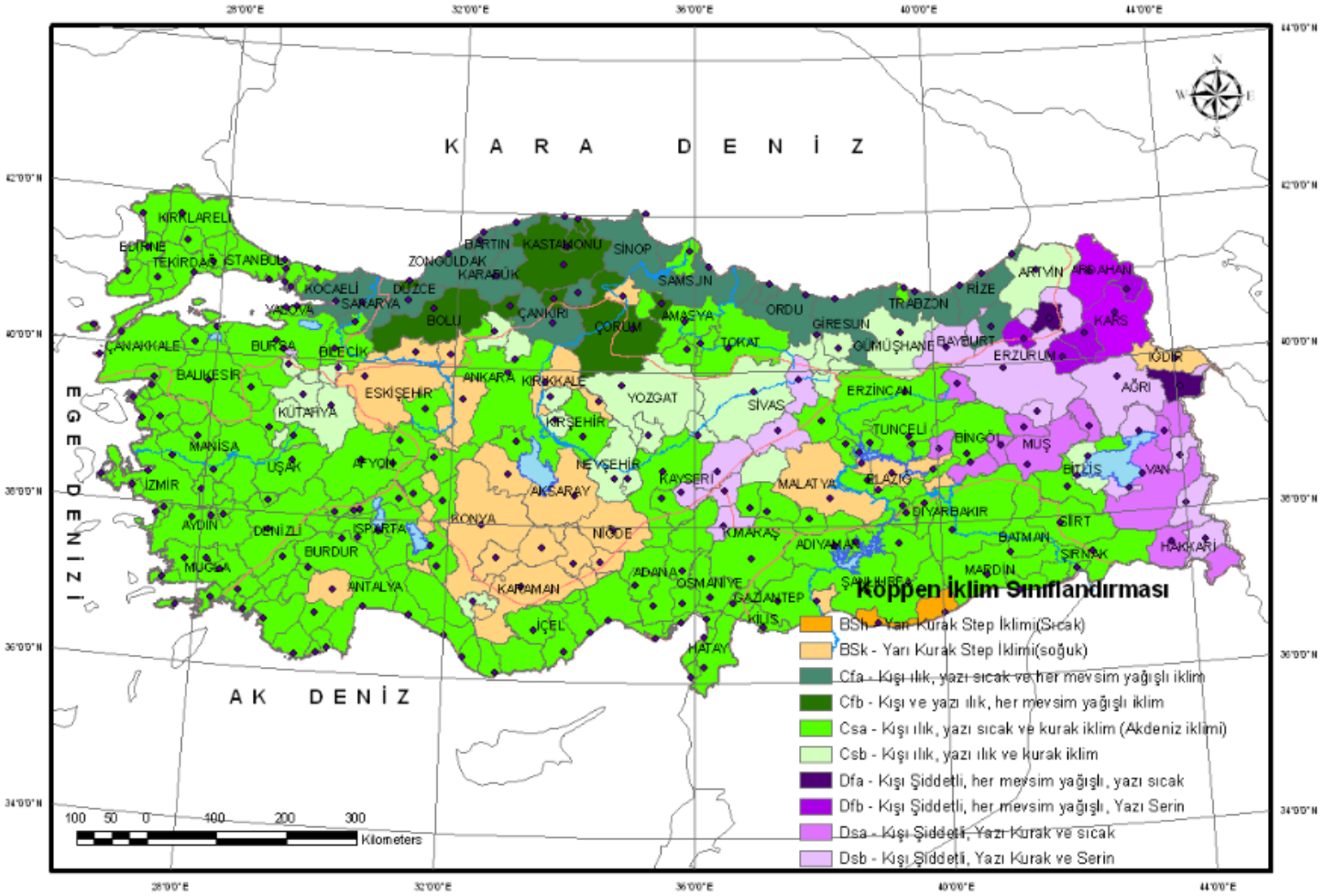
Türkiye'deki güneş enerjisi potansiyelinin dağılımı daha önce Bölüm 1 Şekil 1.2'de verilmişti. Mevcut güneş enerjisi potansiyelinin ve güneşlenme sürelerinin maksimum ve minimum değerlerinin bölgelere göre dağılımı ise Çizelge 5.1'de görülebilir. Buna göre en büyük değerler Haziran ayında görülmekte olup, en küçük değerler Aralık ayında görülmektedir.

Çizelge 5.1 : Güneş enerjisinin bölgelere göre dağılımı (Şen, 2009).

Bölgeler	Toplam Güneş enerjisi (KWsaat/m^2)		Güneşlenme süresi (Saat)	
	En yüksek	En düşük	En yüksek	En düşük
Güneydoğu Anadolu	1980	729	407	126
Akdeniz	1864	476	360	101
Ege	1863	431	371	96
İç Anadolu	1855	412	381	98
Doğu Anadolu	1723	420	373	165
Marmara	1592	345	351	87
Karadeniz	1315	409	273	82

Ülkemizde en yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip bölge Güneydoğu Anadolu bölgesidir. Bunu sırasıyla Akdeniz, Ege, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Marmara ve Karadeniz bölgeleri takip etmektedir.

Köppen iklim sınıflandırmasına göre ülkemizde 10 farklı çeşit iklim gözlenmektedir. Marmara, Ege Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu'nun büyük bölümünde kışı ılık, yazı sıcak ve kurak Csa türü Akdeniz iklimi görülürken, İç Anadolu'nun büyük bir kesiminde yarı kurak step iklimi hâkimdir. Karadeniz bölgesinde ise her mevsim yağışlı, kışı ılık ve yazı ılık veya sıcak olabilen Cfa ve Cfb türü iklimler görülebilmektedir. Doğu Anadolu'da ise Dfa, Dfb, Dsa ve Dsb türü kışı şiddetli, yazı ise serin, sıcak, yağışlı ve kurak arasında değişim gösteren iklim tipleri görülmektedir (Url-7). Türkiye'deki iklim dağılımı Şekil 5.1'de görülebilir.

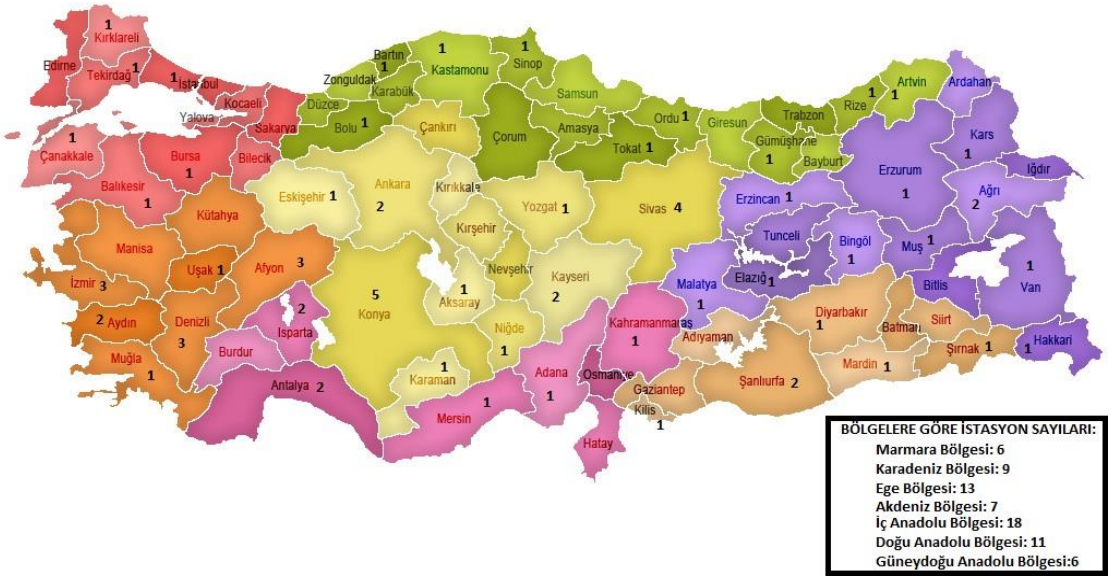


Şekil 5.1 : Köppen İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye'de İklimsel Dağılım (Url-7).

Türkiye'deki iklimsel farklılıkların güneş radyasyonu üzerindeki etkileri yadsınamaz. Özellikle kışı şiddetli geçiren Doğu Anadolu bölgesinde kar, don ve kırağı sebebiyle otomatik gözlem istasyonlarında güneş radyasyonu ölçüm cihazlarının üzerleri kapanabilmekte ve ölçüm verilerinde eksiklikler yaşanmaktadır. Ayrıca yağışın çok olduğu zamanlarda bulut kapalılığı da yüksek olacağından bu durum doğrudan güneş radyasyonu değerlerini de etkiler. Bu tez çalışmasında güneş radyasyonu tahminleri yapılarak yapay sinir ağları ile tahmin sonuçları iyileştirilmeye çalışılacaktır.

5.1.1 Çalışma alanının özellikleri

Türkiye'de bulunan 1003 meteoroloji istasyonundan sadece 68'inde güneş radyasyonu ölçümü yapılmaktadır (Url-8). Güneş radyasyonu ölçümü yapılan istasyonların listesi Ek A'da verilmiştir. Türkiye'de güneş radyasyonu yapan istasyonların illere ve bölgelere göre dağılımı Şekil 5.2'de görülebilir. Mevcut istasyonların birçoğunda ölçüm verileri 3 ya da 4 yıldan geriye gitmemektedir. 5 yılın üzerinde ölçüm yapan istasyonlarda ise yer yer bir aydan beş ya da altı aya kadar çıkabilen veri kayıplarına rastlanabilmektedir.



Şekil 5.2 : Türkiye'de güneş radyasyonu ölçümü yapan istasyonların dağılımı (Url-8 verileri ile oluşturulmuştur).

Tez çalışması kapsamında 2011-2016 yılları arasında güneş radyasyonu yapan istasyonlar incelenerek gözlem aralığında eksik verisi minimum olan ve bulunduğu bölgeyi konumsal özellikler bakımından temsil edici özelliği en yüksek istasyonlar belirlenmiştir.

Buna göre Karadeniz bölgesinden 2 tane ve diğer bölgelerden 1'er tane olmak üzere toplamda 8 istasyon seçilmiş ve çalışmalar bu istasyonlara ait veriler ile sürdürülmüştür. Bahsi geçen istasyonların bilgileri Çizelge 5.2'de görülebilir.

Çizelge 5.2 : Seçilen istasyonlara ait bilgiler (Url-8).

İst.No	İstasyon Adı	İlçe	Şehir	Bölge	Yükseklik (m)	Enlem (K)	Boylam (D)
17099	Ağrı	Merkez	Ağrı	Doğu Anadolu	1646	39.7253	43.0522
17130	Ankara Bölge	Keçiören	Ankara	İç Anadolu	891	39.9727	32.8637
17045	Artvin	Merkez	Artvin	Karadeniz	613	41.1752	41.8187
17074	Kastamonu	Merkez	Kastamonu	Karadeniz	800	41.3710	33.7756
17240	Isparta	Merkez	Isparta	Akdeniz	997	37.7848	30.5679
17052	Kırklareli	Merkez	Kırklareli	Marmara	232	41.7382	27.2178
17275	Mardin	Merkez	Mardin	Güneydoğu Anadolu	1040	37.3103	40.7284
17292	Muğla	Merkez	Muğla	Ege	646	37.2095	28.3668

Seçilen istasyonların Google Earth yardımıyla işaretlenmiş konumları Şekil 5.3'te mevcuttur.



Şekil 5.3 : Türkiye'de güneş radyasyonu ölçümü yapan istasyonların dağılımı.

Bu bölümde istasyonların konumları ve istasyonların bulunduğu bölgelerin iklimsel ve meteorolojik özellikleri hakkında bilgi verilecektir.

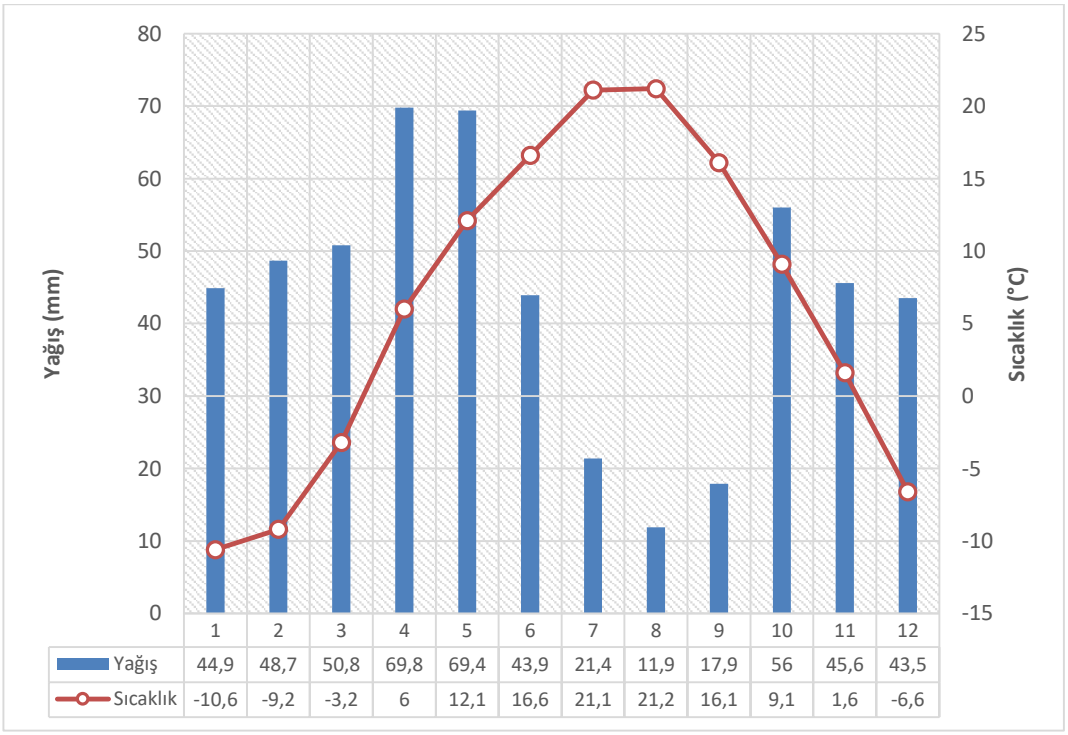
5.1.1.1 Ağrı istasyonu

Ağrı İstasyonu konum bakımından Ağrı şehir merkezinde yerleşim yeri bölgesi içinde yer almaktadır. İstasyon konumu Şekil 5.4'te görülebilir.



Şekil 5.4 : Ağrı meteoroloji gözlem istasyonunun konumu.

1981-2010 yılları arasındaki iklim periyodu verileri ile oluşturulmuş Ağrı ili iklim diyagramı Şekil 5.5'te görülebilir. Bu diyagram incelendiğinde Ağrı ilinde kışların soğuk, yazların ise ılık olduğu görülmektedir. Bölge her mevsim az yağış almakta, bu yağışlar özellikle temmuz, ağustos ve eylül aylarında minumum değerlere ulaşmaktadır.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Yağış	44,9	48,7	50,8	69,8	69,4	43,9	21,4	11,9	17,9	56	45,6	43,5
Sıcaklık	-10,6	-9,2	-3,2	6	12,1	16,6	21,1	21,2	16,1	9,1	1,6	-6,6

Şekil 5.5 : Ağrı iklim diyagramı (Url-9 verileri ile oluşturulmuştur).

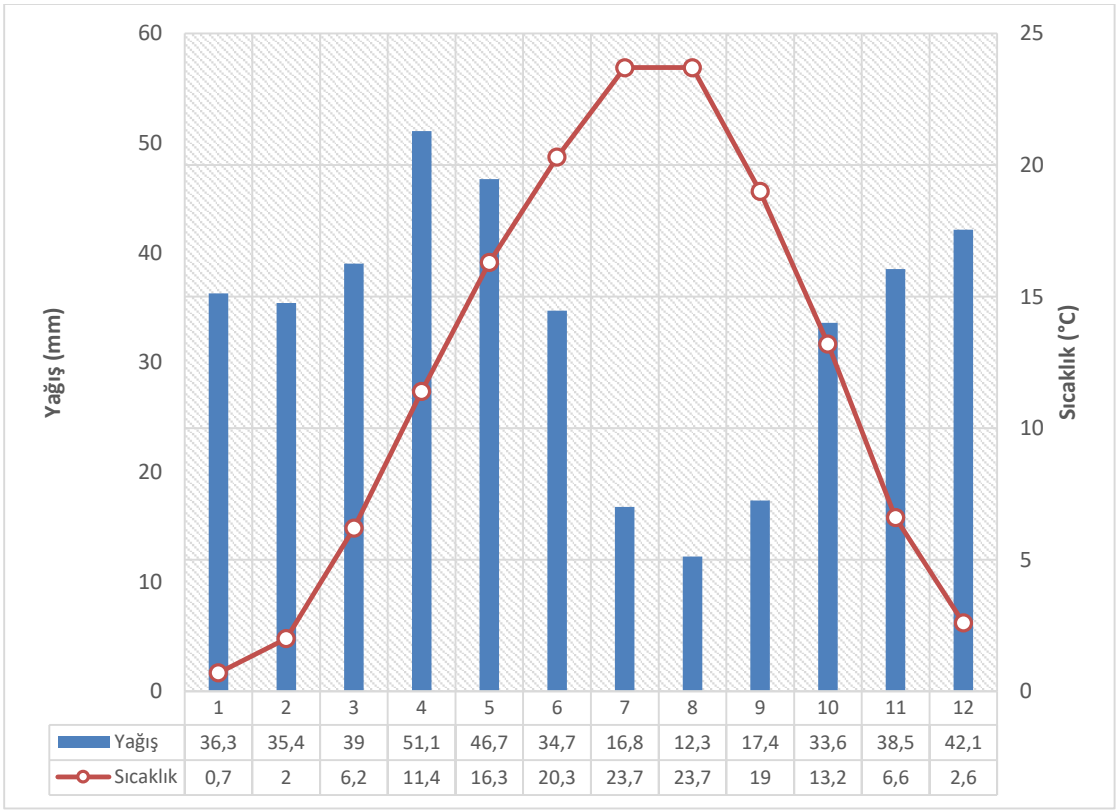
5.1.1.2 Ankara istasyonu

Ankara istasyonu Keçiören yerleşim yerinde bulunmakta olup, Altınpak Göleti'ne yaklaşık 1 kilometre uzaklıkta yer almaktadır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 : Ankara meteoroloji gözlem istasyonunun konumu.

1981-2010 yılları arasındaki iklim periyodu verileri ile oluşturulmuş Ankara ili iklim diyagramı Şekil 5.7'te görülebilir. Bu diyagram incelendiğinde yağışların yaz aylarında azaldığı, kış aylarında ise yoğunlaştığı görülmektedir. Bölge her mevsimde yağış almaktadır. Ankara'da yazlar ılık, kışlar ise soğuk karakterlidir.



Şekil 5.7 : Ankara iklim diyagramı (Url-9 verileri ile oluşturulmuştur).

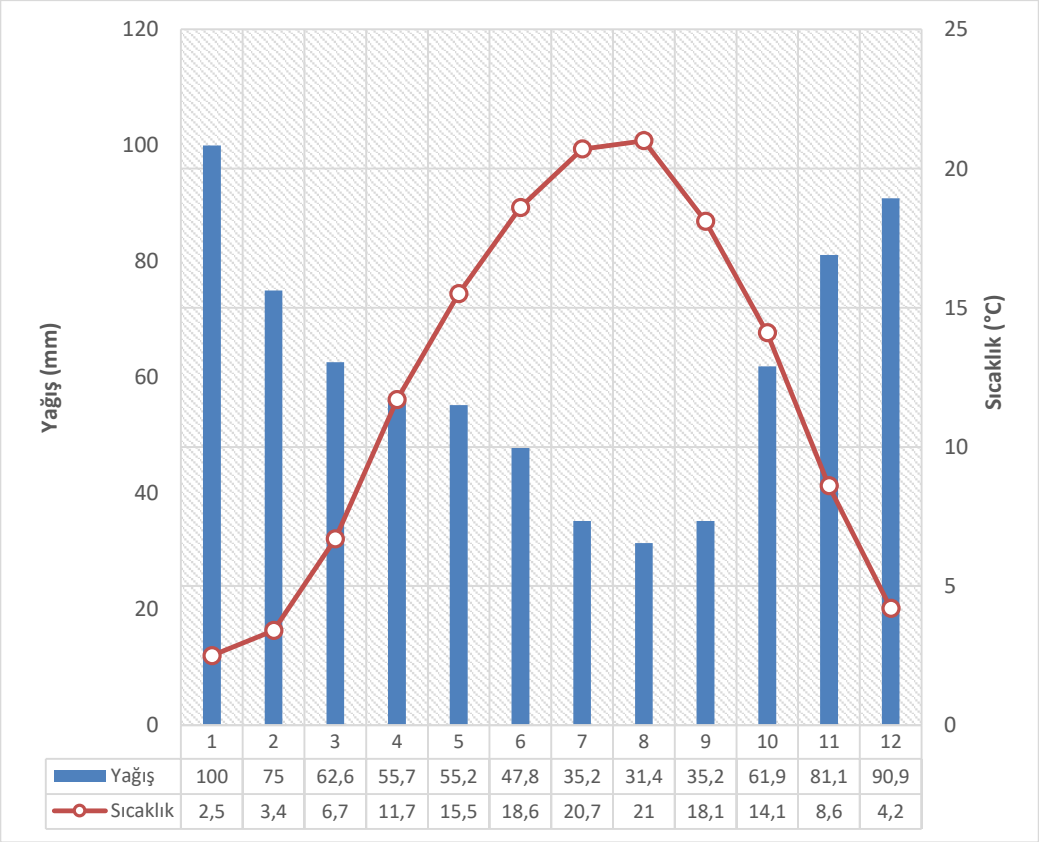
5.1.1.3 Artvin istasyonu

Artvin istasyonu Artvin şehir merkezine 300 metre mesafede yer almaktadır. Artvin meteoroloji istasyonunun uydu görüntüsüne göre konumu Şekil 5.8'de görülebilir.



Şekil 5.8 : Artvin meteoroloji gözlem istasyonunun konumu.

1981-2010 yılları arasındaki iklim periyodu verileri ile oluşturulmuş Artvin ili iklim diyagramı Şekil 5.9'da görülebilir. Artvin ili iklimi incelendiğinde ilin her mevsim yağış aldığı ve bu yağışların Kasım, Aralık, Ocak aylarında şiddetlendiği görülmüştür. Bölgede kışlar ve yazlar ılık geçmektedir. Tipik bir Karadeniz iklimidir.



Şekil 5.9 : Artvin iklim diyagramı (Url-9 verileri ile oluşturulmuştur).

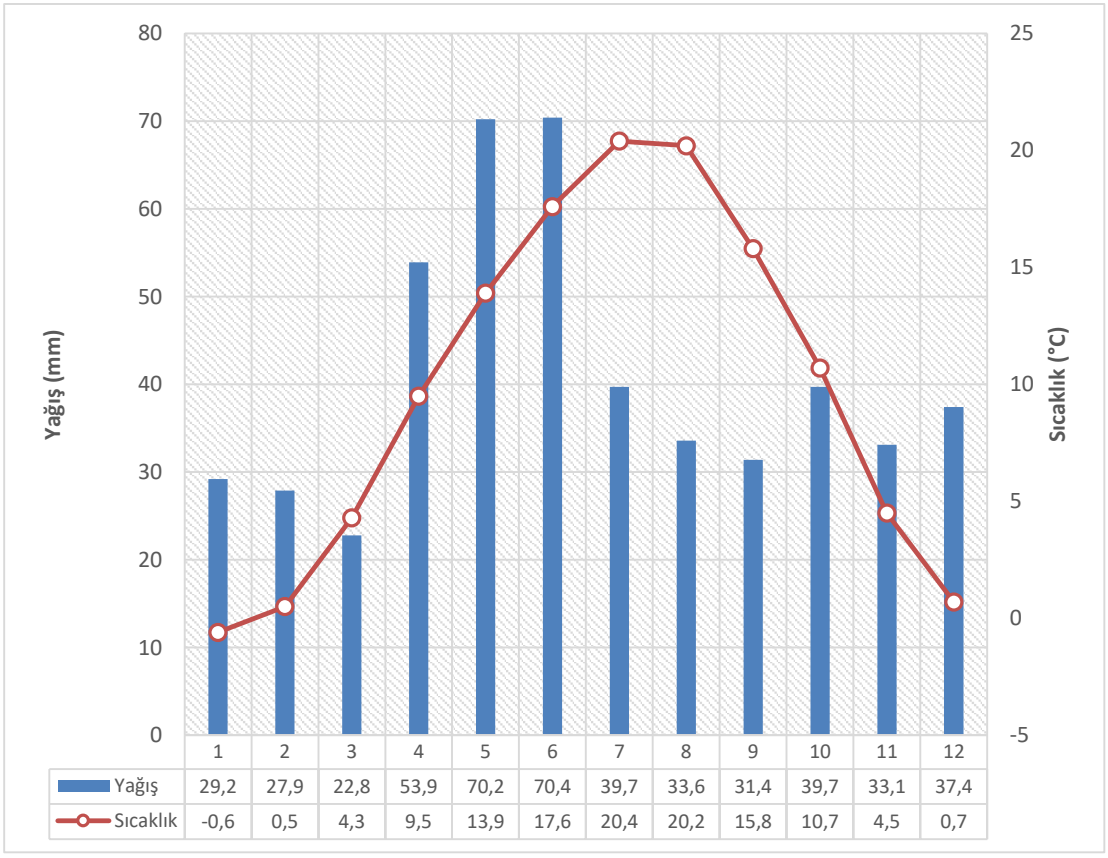
5.1.1.4 Kastamonu istasyonu

Kastamonu istasyonu Kastamonu merkez yerleşim yerinin sınırında yer almaktadır. Şekil 5.10'da istasyonun uydu görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.10 : Kastamonu meteoroloji gözlem istasyonunun konumu.

1981-2010 yılları arasındaki iklim periyodu verileri ile oluşturulmuş Kastamonu ili iklim diyagramı Şekil 5.11'de görülebilir. Kastamonu iklimi incelendiğinde her mevsim yağış alan, ılık karadeniz iklimine sahip olduğu görülmektedir. Yağışların önemli bir çoğunluğunu Nisan, Mayıs, Haziran aylarında almaktadır.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Yağış	29,2	27,9	22,8	53,9	70,2	70,4	39,7	33,6	31,4	39,7	33,1	37,4
Sıcaklık	-0,6	0,5	4,3	9,5	13,9	17,6	20,4	20,2	15,8	10,7	4,5	0,7

Şekil 5.11 : Kastamonu iklim diyagramı (Url-9 verileri ile oluşturulmuştur).

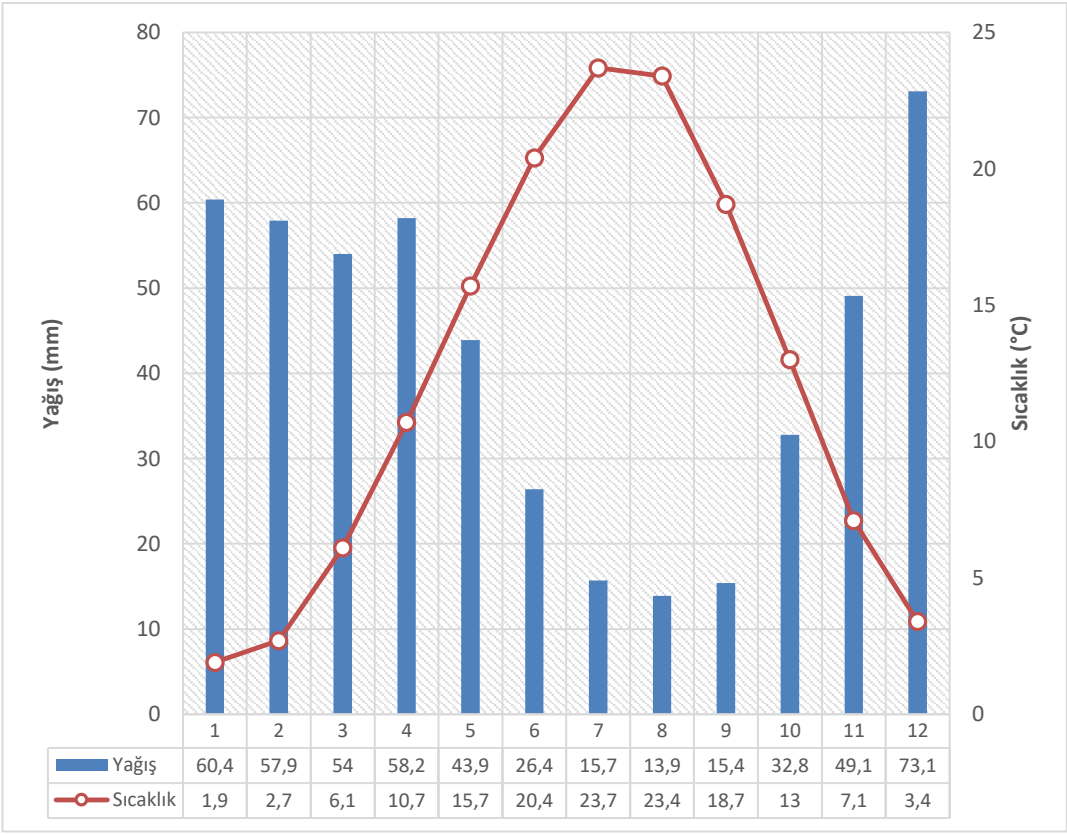
5.1.1.5 Isparta istasyonu

Isparta istasyonu Isparta yerleşim yeri sınırında Isparta sanayiinin ve d350 karayolunun yakınında yer almaktadır (Şekil 5.12).



Şekil 5.12 : Isparta meteoroloji gözlem istasyonunun konumu.

1981-2010 yılları arasındaki iklim periyodu verileri ile oluşturulmuş Isparta ili iklim diyagramı Şekil 5.13'te görülebilir. Isparta iklimi incelendiğinde yazları sıcak ve kurak, kışları ılık özelliğe sahip olduğu görülmektedir. Yağışların çoğunu kış ve ilkbahar aylarında almaktadır.



Şekil 5.13 : Isparta iklim diyagramı (Url-9 verileri ile oluşturulmuştur).

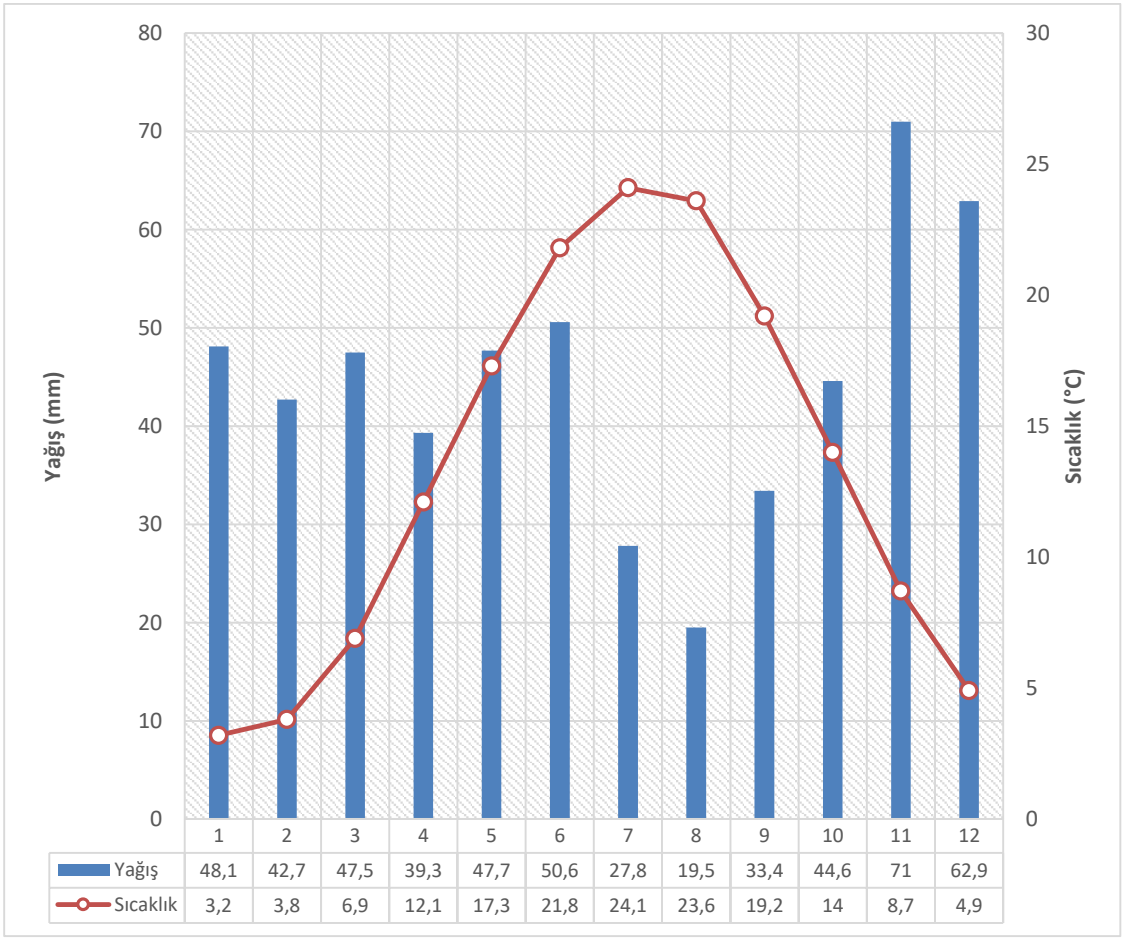
5.1.1.6 Kırklareli istasyonu

Kırklareli meteoroloji gözlem istasyonu Kırklareli şehir merkezinin içerisinde yerleşim yeri yakınında konumlanmıştır (Şekil 5.14).



Şekil 5.14 : Kırklareli meteoroloji gözlem istasyonunun konumu.

1981-2010 yılları arasındaki iklim periyodu verileri ile oluşturulmuş Kırklareli ili iklim diyagramı Şekil 5.15'te görülebilir. Kırklareli iklimi incelendiğinde her ay yağış alan, kışları ve yazları ılıman özelliğe sahip olduğu görülmektedir.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Yağış	48,1	42,7	47,5	39,3	47,7	50,6	27,8	19,5	33,4	44,6	71	62,9
Sıcaklık	3,2	3,8	6,9	12,1	17,3	21,8	24,1	23,6	19,2	14	8,7	4,9

Şekil 5.15 : Kırklareli iklim diyagramı (Url-9 verileri ile oluşturulmuştur).

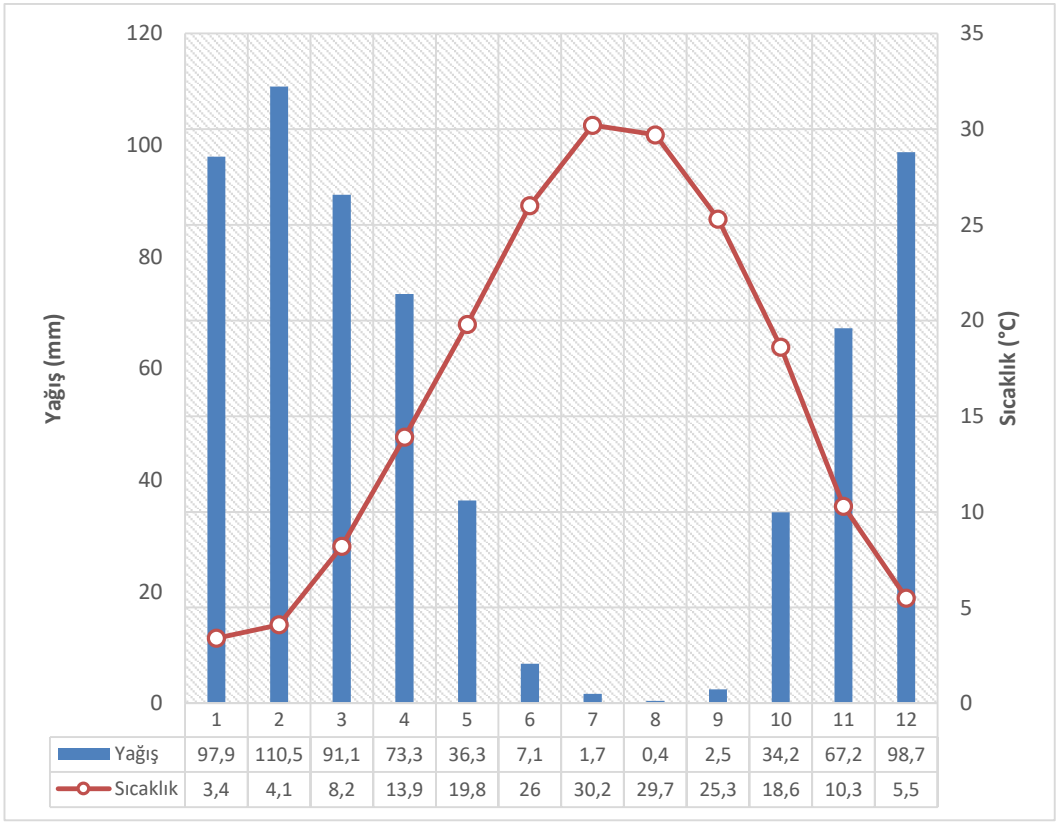
5.1.1.7 Mardin istasyonu

Mardin istasyonu Mardin ili merkezi yerleşim yeri sınırında bulunmakta ve yakınından bir karayolu geçmektedir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16 : Mardin meteoroloji gözlem istasyonunun konumu.

1981-2010 yılları arasındaki iklim periyodu verileri ile oluşturulmuş Mardin ili iklim diyagramı Şekil 5.17'de görülebilir. Mardin ilklimi incelendiğinde yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlı bir iklime sahip olduğu görülmektedir. Bu sebeple Mardin ili çevresinde Akdeniz ikliminin hâkim olduğundan bahsedilebilir.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Yağış	97,9	110,5	91,1	73,3	36,3	7,1	1,7	0,4	2,5	34,2	67,2	98,7
Sıcaklık	3,4	4,1	8,2	13,9	19,8	26	30,2	29,7	25,3	18,6	10,3	5,5

Şekil 5.17 : Mardin iklim diyagramı (Url-9 verileri ile oluşturulmuştur).

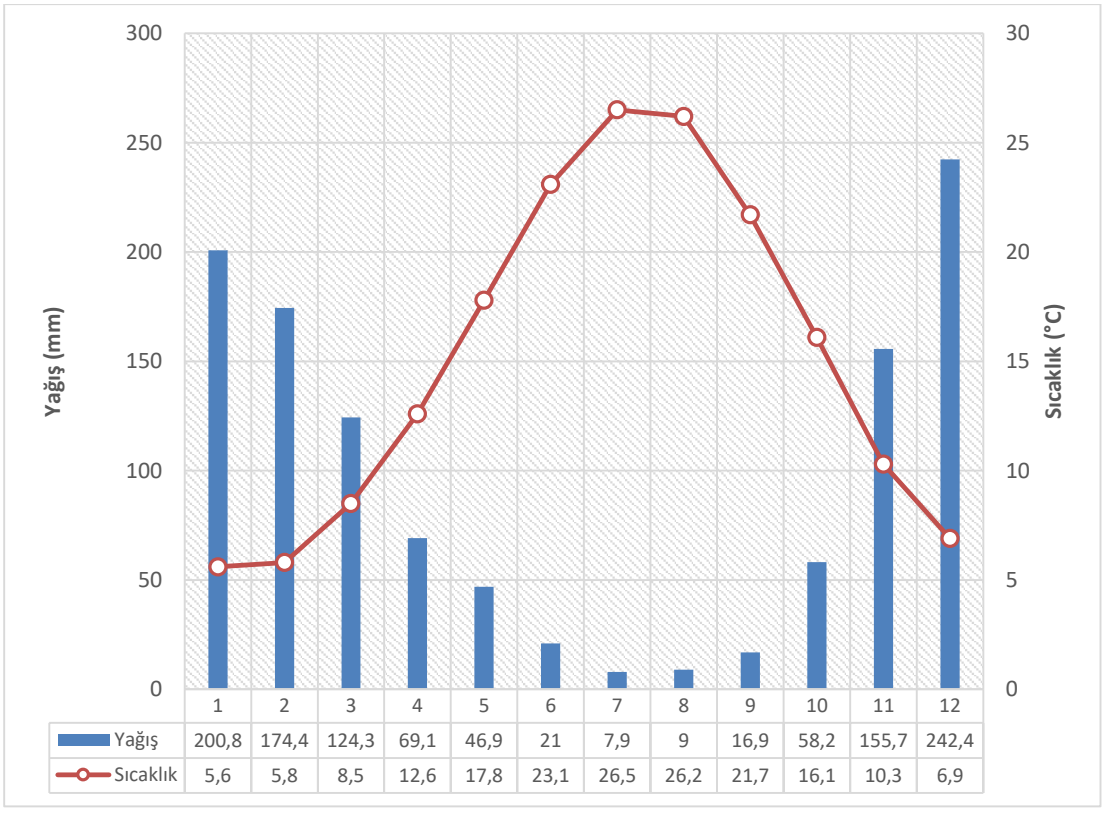
5.1.1.8 Muğla istasyonu

Muğla meteoroloji gözlem istasyonu Muğla şehir merkezi içerisinde yer almaktadır (Şekil 5.18).



Şekil 5.18 : Muğla meteoroloji gözlem istasyonunun konumu.

1981-2010 yılları arasındaki iklim periyodu verileri ile oluşturulmuş Muğla ili iklim diyagramı Şekil 5.19'da görülebilir. İklim diyagramı Muğla ilinin Akdeniz iklimine sahip olduğunu doğrulamaktadır. Muğla'da kışları ılık ve bol yağışlı, yazları ise sıcak ve görece kurak geçer.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Yağış	200,8	174,4	124,3	69,1	46,9	21	7,9	9	16,9	58,2	155,7	242,4
Sıcaklık	5,6	5,8	8,5	12,6	17,8	23,1	26,5	26,2	21,7	16,1	10,3	6,9

Şekil 5.19 : Muğla iklim diyagramı (Url-9 verileri ile oluşturulmuştur).

5.1.2 Veriler

Bu çalışmada 2011 yılı Ocak ayından 2016 yılı Aralık ayına kadar olan 6 yıllık veri periyodu seçilmiş ve veriler bu periyot aralığı için Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) Meteorolojik Veri Bilgi Satış ve Sunum Sistemi'nden (MEVBİS), İstanbul Teknik Üniversitesi aracılığıyla bilimsel çalışma amaçlı kullanılmak üzere ücretsiz olarak edinilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan verilerin listesi Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Seçilen istasyondan alınan veriler.

İstasyonlardan Edinilen Veri Türleri	Birimi
Saatlik Güneşlenme Süresi	Saat
Saatlik Güneşlenme Şiddeti	Cal/cm^2
Saatlik Küresel Güneş Radyasyonu	$WattSaat/m^2$
Saatlik Toplam Difüzyon Güneş Radyasyonu	$Watt/m^2$
Saatlik Toplam Direkt Güneş Radyasyonu	$Watt/m^2$
Saatlik Toplam Küresel Güneş Radyasyonu	$Watt/m^2$

MGM'den alınan verilerde "toplam" ifadesi geçen güneş radyasyonu türleri bir önceki saat ile bir sonraki saatin toplamı şeklinde artarak giden değerleri ifade etmektedir. Bu sebeple Angström-Prescott türü amprik modellerde bu değerler kullanılamamaktadır. Tez kapsamında eldeki veriler incelenmiş ve saatlik güneşlenme süresi (S_h) ile saatlik küresel güneş radyasyonu (I) değerleri kullanılmıştır.

5.2 Metot

2011-2016 yılları arasındaki veri periyodu ilk aşamada amprik hesaplamalar için eğitim ve test seti olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Amprik hesaplamalarda eğitim seti olarak 2011 ve 2012 yılları seçilmiş, test seti olarak ise 2013-2016 yılları arasındaki veriler kullanılmıştır.

Verilerin hesaplamalara geçilmeden önce bir ön işlemden geçirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Yang ve diğ, karesel Angström-Prescott modeli kullanarak yaptıkları benzer bir saatlik radyasyon hesaplaması çalışmasında S/S_0'ın sıfıra eşit olduğu olduğu saatlerin hesaba katılmasının regresyon hatasına neden olabileceğinden bahsetmiş ve bu değerleri amprik formül hesabına dahil etmemişlerdir (Yang ve diğ, 2005).

Veriler detaylı olarak incelendiğinde verilerde gece saatlerinde zaman zaman hatalı ölçüm değerlerine rastlanılmaktadır. Gece güneş battıktan sonra veya gün doğmadan önce birkaç istasyon pozitif güneş radyasyonu değerleri ölçmekte, bazı istasyonlarda ise negatif ölçüm değerleri görülmektedir.

Gece saatlerinde pozitif değer okunmasını gece aydınlatmalarına bağlamak mümkündür. Gece saatlerinde istasyon yakınlarında havai fişek atılması, istasyonun otobana yakınlığı sebebiyle araçların uzun farlarının cihaz üzerine düşmesi veya istasyon yakınlarında reklam panosu, inşaat vinci gibi gece aydınlatılan cisimlerin varlığı güneş radyasyonu ölçen istasyonlarda gece saatlerinde pozitif ölçüm değerleri görülmesine neden olabilir.

Gece saatlerinde görülen negatif değerler ise otomatik gözlem istasyonundaki ani voltaj değişiklikleri veya cihazın kalibrasyonundaki sapmalar sebebiyle gerçekleşebilir. Bu nedenle ölçüm yapılan istasyonun verilerinin belirli aralıklarla kontrol edilmesi ve hataların değerlendirilerek buna bağlı önlem alınması ölçüm yapmakla görevli kişilerin dikkat etmesi gereken en önemli hususdur.

Bu çalışmadan MGM tarafından yapılmış ölçümler kullanıldığından model hesaplamasına başlamadan önce ölçüm hatalarından kurtulmak adına verilere filtreleme uygulanması gerekmektedir. Filtrelemede kullanılan değerler Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4 : Filtreye ait alt ve üst limitler.

Parametre	Üst sınır	Alt sınır
S/S_0	1	>0
H/H_0	0,9	0,1

Güneşlenme süresi ölçüm verileri değerlendirilirken akılda tutulması gereken en önemli husus, ölçüm yapan cihazın güneş radyasyonu değeri 120 W/m^2 değerinin üzerine çıktığı andan itibaren süreyi ölçmesidir. Bu sebeple güneşlenme süresinin sıfır değerini aldığı zamanlarda güneş radyasyonu değerinin sıfırdan büyük olması cihaz ölçüm sınırlarına bağlı olarak gerçekleşen normal bir durumdur. Bu değerlerin etkisini yok etmek adına sadece S/S_0'ın 0'dan büyük değer aldığı durumlardaki H/H_0 değerlerini formül hesabına katmak gereklidir. Bu filtreleme aynı zamanda bulut kapalılığının 8 okta olduğu durumlarda ölçülen güneş radyasyonunun formül hesabında neden olabileceği sapmayı da yok eder.

5.2.1 Kullanılan amprik model

Bennett 1995 yılında yaptığı güneş radyasyonu haritalaması ile ilgili çalışmasında Angström-Prescott modelinin içerisine güneşlenme süresi dışında eklenecek diğer parametrelerin (enlem, boylam, sıcaklık vs.) model çıktılarını önemli bir ölçüde etkilemediğinden bahsederek, bunların modele eklenmesinin önemli olmadığından bahsetmiştir (Yıldırım ve diğ, 2018'de atıfta bulunulduğu gibi).

Bu sebeple tez çalışmasında kullanılacak model sadece güneşlenme süresi kullanan Angström-Prescott bazlı modeller arasından seçilmiştir.

Yıldırım (2016), Türkiye'nin Doğu Akdeniz Bölgesi için yapmış olduğu çalışmasında 18 adet günlük küresel güneş ışınım modelinin sonuçlarını kıyaslayarak Angström-Prescott temelli modeller arasından en iyi değeri Bahel modelinin verdiğini tespit etmiştir.

Yıldırım'ın çalışmasından yola çıkmak suretiyle tez kapsamındaki hesaplamalarda Bahel modeli kullanılmıştır. Bahel modeli Angström-Prescott kübik modeli olarak da bilinmektedir. Modelde bulunan güneşlenme süresi ve atmosfer dışına gelen güneş radyasyonunun hesaplanabilmesi için o bölgenin koordinatlarından yola çıkılarak öncelikle güneş açılarının hesaplanmasına ihtiyaç duyulur. Her ne kadar orijinal Bahel modeli günlük radyasyon hesabı için oluşturulmuş olsa da, saatlik bazda hesaplamalar için birkaç modifikasyon yapılarak kullanılabilir. Saatlik ölçeğe uyarlanmış formül denklem 5.1'de verilmiştir.

$$\frac{I}{I_0} = a\left(\frac{S_h}{S_{0h}}\right)^3 + b\left(\frac{S_h}{S_{0h}}\right)^2 + c\frac{S_h}{S_{0h}} + d \qquad (5.1)$$

Denklem 5.1'deki kısaltmaların açıklamaları yapılacak olunursa;

I: Saatlik küresel güneş radyasyonu (MGM verisi),
I_0: Atmosfer dışına gelen saatlik küresel güneş radyasyonu (formül 3.11),
S_h: Saatlik güneşlenme süresi (MGM verisi),
S_{0h}: Saatlik astronomik güneşlenme süresi (formül 3.9) 'dir.

Amprik modelin uygulanmasında eğitim seti olarak 2011 ve 2012 yılları seçilmiştir. Bu seçim yapılırken 2011, 2011-2012, 2011-2013, 2011-2014, 2011-2015 yılları arasında kalan veri periyotları ile Ankara istasyonu için mevsimlik hesaplama yapılımış ve sırasıyla 0,8971, 0,9053, 0,9017, 0,8988, 0,9023 R^2 korelasyon değerine

ulaşılmıştır. Bu denemeler arasında en iyi sonuç veren 2011-2012 yılları arasındaki veri periyodudur. Bu sebeple korelasyonlar bu veri periyodu üzerinden yapılmıştır.

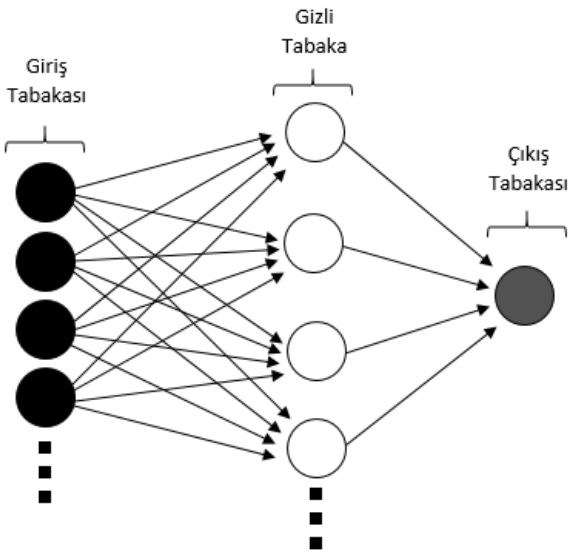
Literatürde tüm yılı bir bütün olarak kabul eden modellerin yanısıra modelleri aylık (Dogniaux ve Lemoine, 1983; Soler, 1990; Almorox, 2005) ve dönemsel (Benson, 1984) bazda oluşturan modeller de bulunmaktadır. Ancak bu modeller hesaplamalarını aylık ortalama günlük güneş radyasyonu için gerçekleştirmişlerdir.

Bu çalışmada da Bahel modelinin 3 farklı zamansal aralık için oluşturulmasına karar verilmiştir. Seçilen zaman periyotlarına ait model hesapları MATLAB® programı ile gerçekleştirilmiştir. Buna göre yıllık, mevsimlik ve aylık olarak gerçekleştirilen saatlik güneş radyasyonu hesaplamaları arasından en iyi sonuç veren model seçilerek, bu modele YSA uygulaması yapılmıştır.

5.2.2 Kullanılan yapay sinir ağı

Model çıktılarının iyileştirilmesi amacıyla tez çalışması kapsamında farklı zaman ölçeklerinde uygulanmış Bahel modelleri arasından en iyi sonuç veren model üzerinde yapay sinir ağı uygulaması gerçekleştirilmiştir. YSA için gerekli kodlar MATLAB® programına yazılmış ve ilgili hesaplamalar yapılmıştır.

Yapay sinir ağları temel yapı olarak giriş, ağırlık değerleri, aktivasyon fonksiyonu ve çıkıştan oluşur (Carlos, 2003). Tez kapsamında kullanılan yapay sinir ağının temsili şeması Şekil 5.20'de verilmiştir. Giriş tabakası nod sayısı ve gizli tabaka nöron sayısı YSA uygulaması sırasında denemeler yapılarak belirlenmektedir.



Şekil 5.20 : Temsili yapay sinir ağı mimarisi.

YSA oluşturulurken birden çok gizli tabaka yerine tek gizli tabaka kullanılması tercih edilmiştir.

Verilerden 2011-2015 yılları arasındaki 5 yıllık periyot eğitim seti, 2016 yılı ise test seti olarak belirlenmiştir. Eğitim amacıyla yapay sinir ağına 5 yıllık periyotta mevsimlik hesaplanan Bahel modeli sonuçları ve MGM'den alınan saatlik küresel güneş radyasyonu ölçüm değerleri verilmiştir. Aktivasyon fonksiyonları olarak ise Pure-linear fonksiyonu ile Logaritmik Sigmoid fonksiyonu birlikte kullanılmıştır (denklem 5.2).

$$Y = purelinear\big(w_2 \times (logsigmoid(w_1 \times X + B_1) + B_2)\big) \tag{5.2}$$

Denklem 5.2'de w_1 ve w_2 ağırlık matrislerini, B_1 ve B_2 sapma (bias) vektörlerini, X girdi matrisini, Y ise çıktı değerini ifade etmektedir.

Yapay sinir ağlarının eğitimi için ise Quasi-Newtonien türü metotlardan biri olan Levenberg-Marquardt algoritması (Levenberg, 1944; Marquardt, 1963) kullanılmıştır. Levenberg-Marquardt algoritması Hessian matrisine farklı bir yaklaşım getirmesi ve YSA'lara hızlı eğitim olanağı sunması ile bilinmektedir.

Tez çalışması kapsamında kullanılan YSA, Levenberg Marquardt algoritması yardımıyla Bahel modeli sonuçlarını gerçek rasat sonuçlarına yaklaştırmaya çalışmaktadır.

Eğitimler her bir YSA uygulamasının eğitiminde 500 YSA test edilerek oluşturulmuş, böylece hatanın minimum olduğu YSA tespitinde yeterince geniş bir aralıkta YSA denendiğinden emin olunmuştur.

Uygulanan YSA'lar arasından en yüksek R^2 değerini veren yapay sinir ağı seçilmiş ve seçilen YSA'ya ait tahmin sonuçları ile başlangıçtaki Bahel modeli sonuçları kıyaslanmıştır.

YSA'lar her istasyon için mevsimlik bazda çalıştırıldığından, her istasyonda toplamda 4 YSA çalıştırılmıştır. Böylece 8 istasyon için toplamda 32 YSA oluşturulmuştur.

5.3 İstatistiksel Metotlar

Küresel radyasyon tahminlerinin hata değerlendirilmesinde R^2, RMSE ve MBE değerleri kullanılacaktır. İlgili formülller denklem 5.3, 5.4 ve 5.5'te verilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(H_{gi} - H_{hi}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(H_{gi}\right)^2} \tag{5.3}$$

Formül 5.3'te verilen parametreleri açıklamak gerekirse; i zaman, H_{gi} ilgili zamandaki gerçek güneş radyayonu değeri, H_{hi} ilgili zamandaki hesaplanan güneş radyasyonu değeridir. R^2 değeri (formül 5.3) denklem sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerin başında gelir ve hesaplanan değerler ile gerçek ölçüm değerleri arasındaki istatistiksel ilişkiyi ifade eder.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(H_{hi} - H_{gi}\right)^2}{N}} \tag{5.4}$$

RMSE (denklem 5.4) hesapların doğruluğu hakkında bilgi veren bir parametredir. Değerin küçük olması hesapların o kadar doğru olduğunu gösterir. Ancak kendi başına değerlendirilmesi doğru olmayabilir. Çünkü hesaplanan RMSE değeri, çalışılan veri değerlerinin büyük olması durumunda büyük çıkacaktır. Bu sebeple aynı birimdeki RMSE değerlerini kendi içinde kıyaslamak daha doğru sonuç verir.

$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(H_{hi} - H_{gi}\right) \tag{5.5}$$

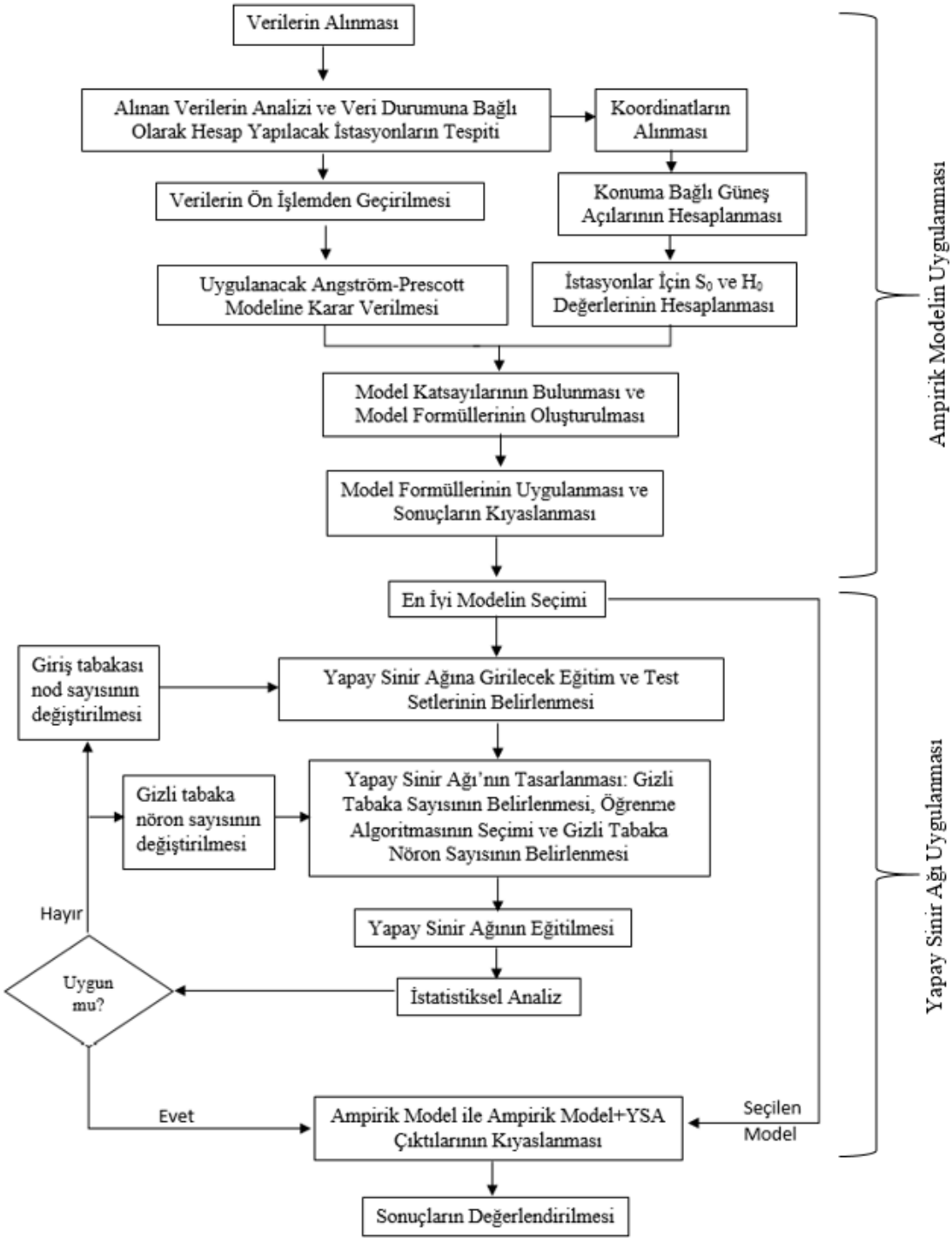
MBE (denklem 5.5) parametresi ise hesaplanan değerlerin gerçek değerden sapmasını ve korelasyonun doğruluğunu ifade eder.

$$NRMSE = \frac{RMSE}{H_{hMAX} - H_{hMİN}} \tag{5.6}$$

NRMSE (denklem 5.6), yani diğer adıyla "Normalize Edilmiş RMSE" gerçek ve tahmin verilerinin kıyaslanmasında kullanılan ve veri noktalarının dağılımının regresyon eğrisine olan yakınlığını ifade eden bir parametredir.

5.4 Özet

Tez kapsamında yapılan çalışmayı özetleyen akış şeması Şekil 5.21'te verilmiştir.



Şekil 5.21 : Tez çalışması akış şeması.

6. BULGULAR

6.1 Bahel Modelleri Sonuçları

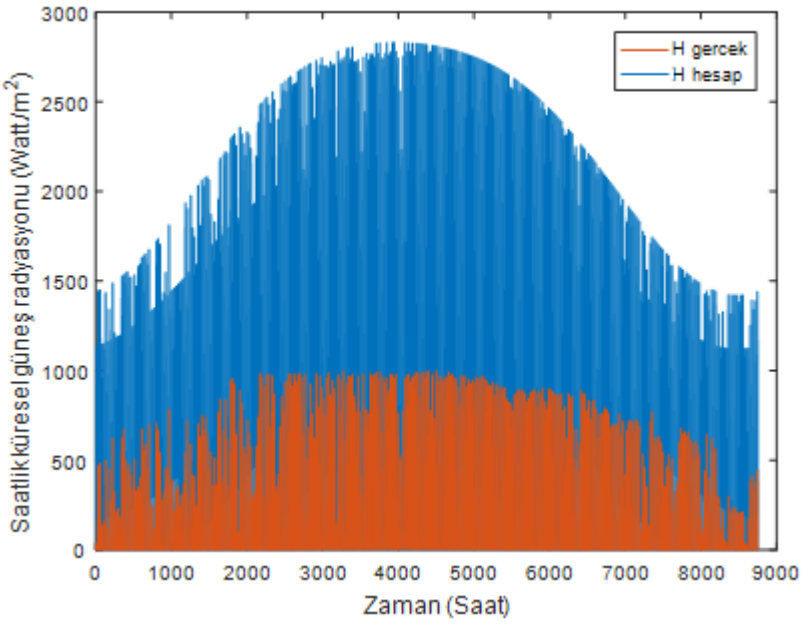
Bahel modeli formülü denklem 6.1'de verilmiştir. Bu modele ait katsayılar yıllık, mevsimlik ve aylık kalibrasyon yöntemleri denenerek hesaplanmış ve her istasyon için 17 adet (1+4+12 olmak üzere) katsayı grubu bulunmuştur.

$$I/I_0 = a(S/S_0)^3 + b(S/S_0)^2 + c(S/S_0) + d \tag{6.1}$$

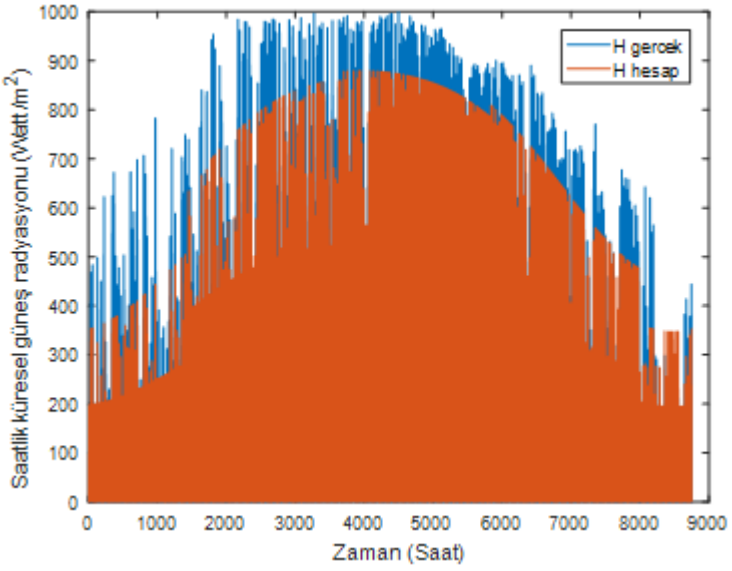
Bahel modeli için bulunan katsayılar Ek B'de verilmiştir. Her istasyon için hesaplaması yapılan 3 farklı kalibrasyona ait sonuç grafiklerine bu bölümde yer verilecektir.

6.1.1 Ağrı istasyonu

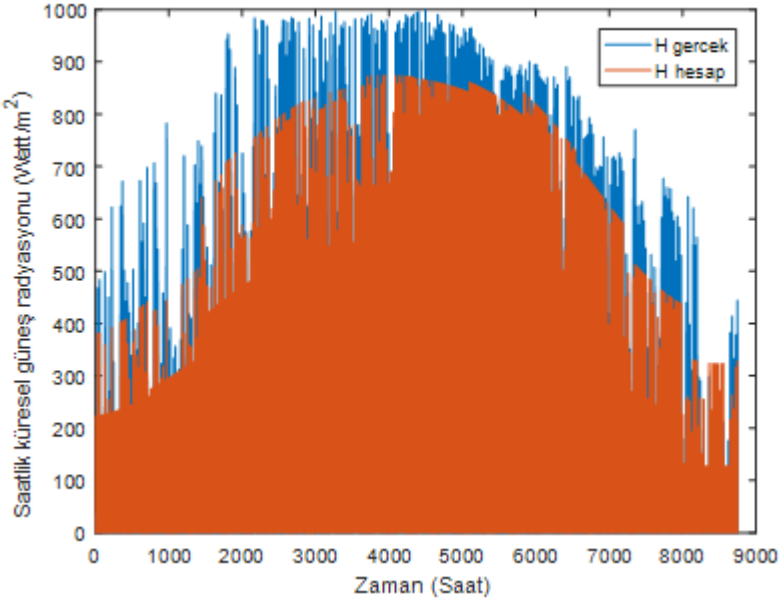
Ağrı istasyonuna ait 2016 yılı yıllık, aylık ve mevsimlik Bahel modeli hesap sonuçları sırasıyla Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.1 : Ağrı istasyonu 2016 yılına ait yıllık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.



Şekil 6.2 : Ağrı istasyonu 2016 yılına ait mevsimlik kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.

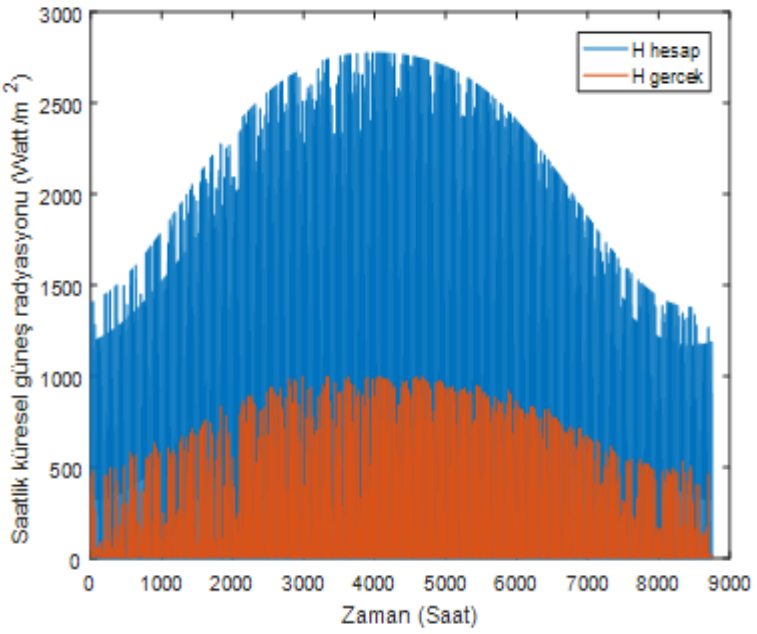


Şekil 6.3 : Ağrı istasyonu 2016 yılına ait aylık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.

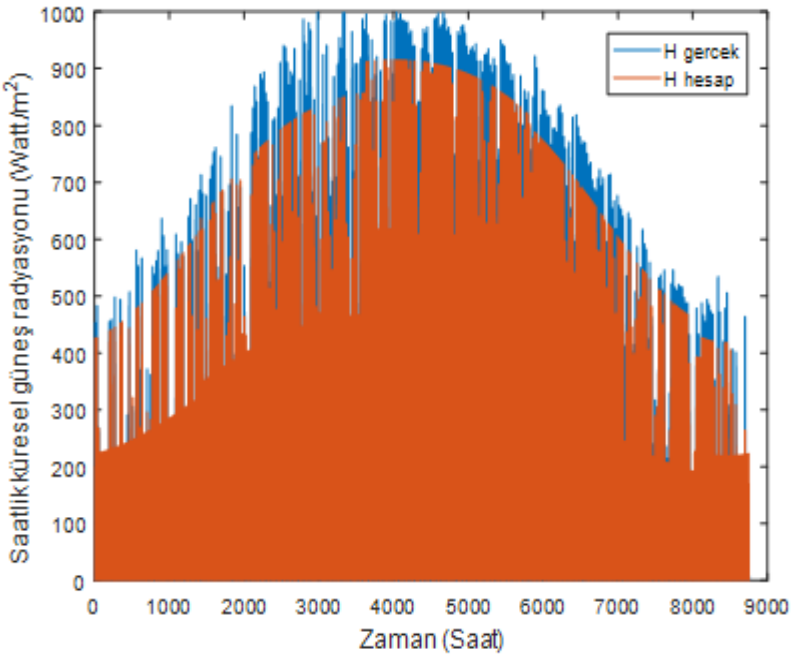
Şekil 6.1'de görülebileceği üzere, yıllık Bahel modeli sonuçları gerçek ölçüm sonuçlarından büyük değerler vermektedir. Aylık ve mevsimlik modeller ise yıllığa kıyasla daha düşük değerler vermekte ve gözlem değerlerinin düştüğü saatlerde düşüş, yükseldiği saatlerde ise yükseliş göstermektedir. Aylık ve mevsimlik modeller genel olarak gerçek gözlem değerlerinden daha düşük tahminler yapmaktadır (Şekil 6.2, Şekil 6,3).

6.1.2 Ankara istasyonu

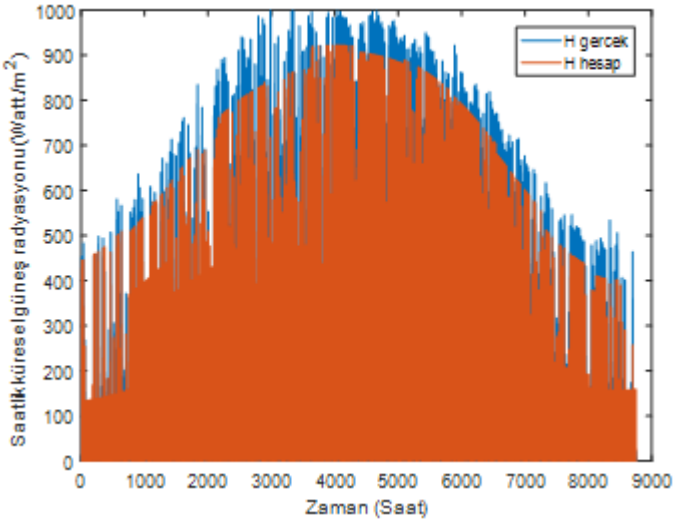
Ankara istasyonuna ait 2016 yılı yıllık, aylık ve mevsimlik Bahel modeli hesap sonuçları sırasıyla Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.4 : Ankara istasyonu 2016 yılına ait yıllık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.



Şekil 6.5 : Ankara istasyonu 2016 yılına ait mevsimlik kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.

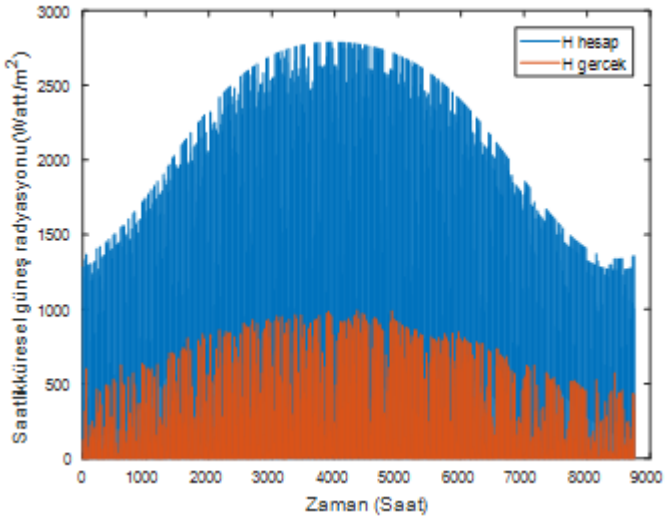


Şekil 6.6 : Ankara istasyonu 2016 yılına ait aylık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.

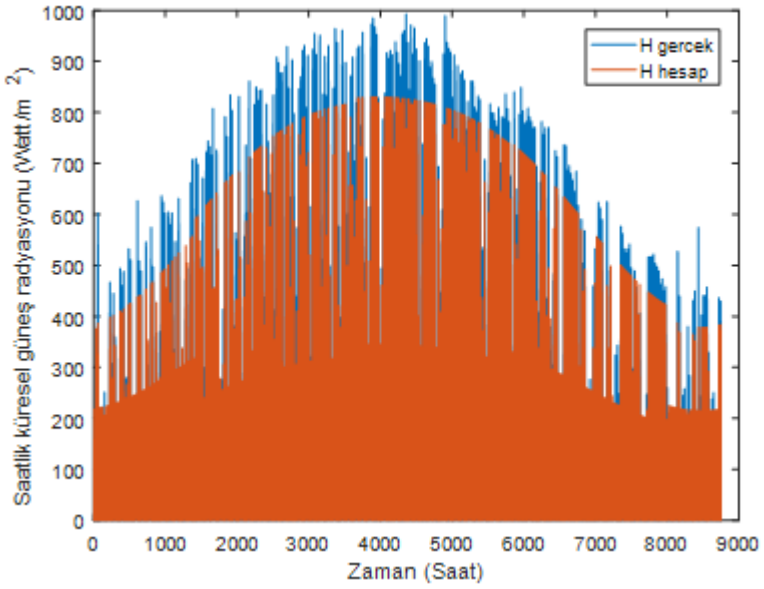
Şekil 6.4'te de görülebileceği üzere, aynı Ağrı istasyonunda olduğu gibi Ankara istasyonunda da yıllık Bahel modeli sonuçları gerçek ölçüm sonuçlarından büyük değerler vermektedir. Aylık ve mevsimlik modeller ise yıllığa kıyasla daha düşük değerler vermesine rağmen, kendi aralarında büyük bir farklılık taşımamaktadır (Şekil 6.5, Şekil 6.6).

6.1.3 Artvin istasyonu

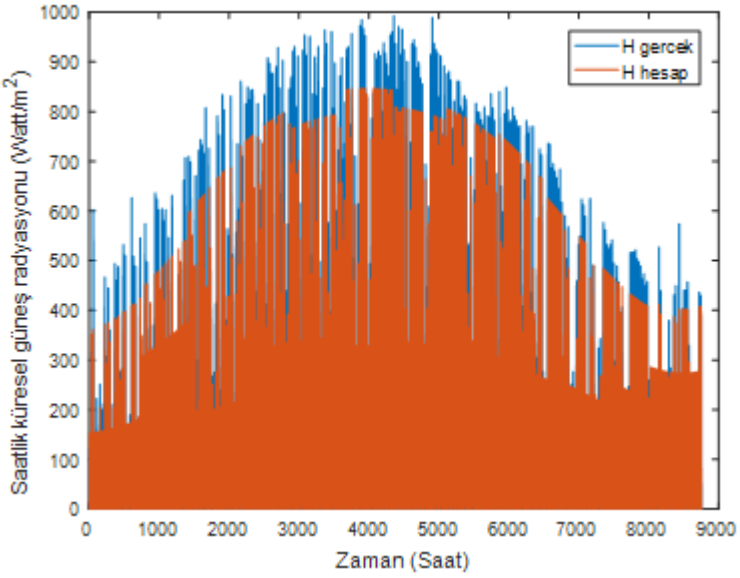
Artvin istasyonuna ait 2016 yılı yıllık, aylık ve mevsimlik Bahel modeli hesap sonuçları sırasıyla Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da verilmiştir.



Şekil 6.7 : Artvin istasyonu 2016 yılına ait yıllık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.



Şekil 6.8 : Artvin istasyonu 2016 yılına ait mevsimlik kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.



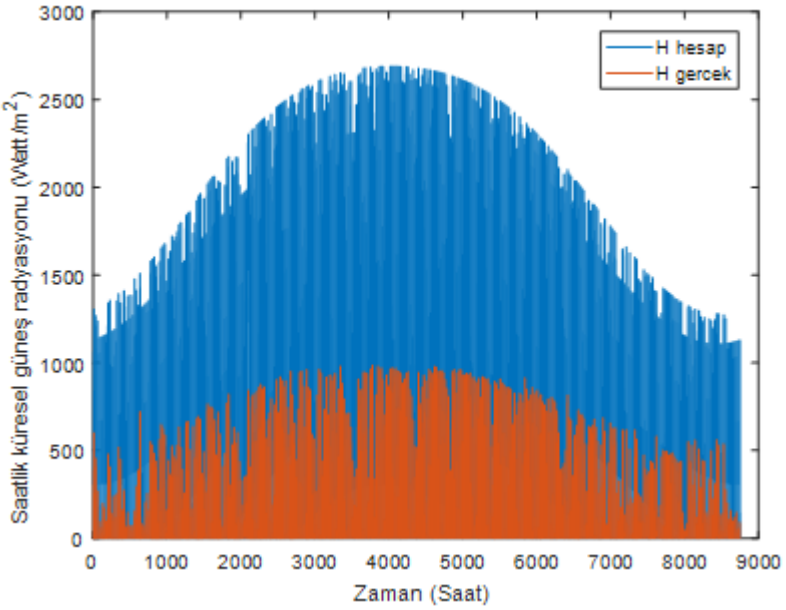
Şekil 6.9 : Artvin istasyonu 2016 yılına ait aylık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.

Şekil 6.7'de görüldüğü üzere, ilk iki istasyonda olduğu gibi bu istasyonda da yıllık Bahel modeli sonuçları gerçek ölçüm sonuçlarından büyük değerler vermektedir. Aylık ve mevsimlik modeller ise yine benzer bir şekilde birbirine yakın bir değer vermektedir. Ancak mevsimlik model yıl içerisinde daha pürüzsüz bir yapıya sahipken (Şekil 6.8), aylık model (Şekil 6.9) her ay için ayrı katsayı hesaplanması

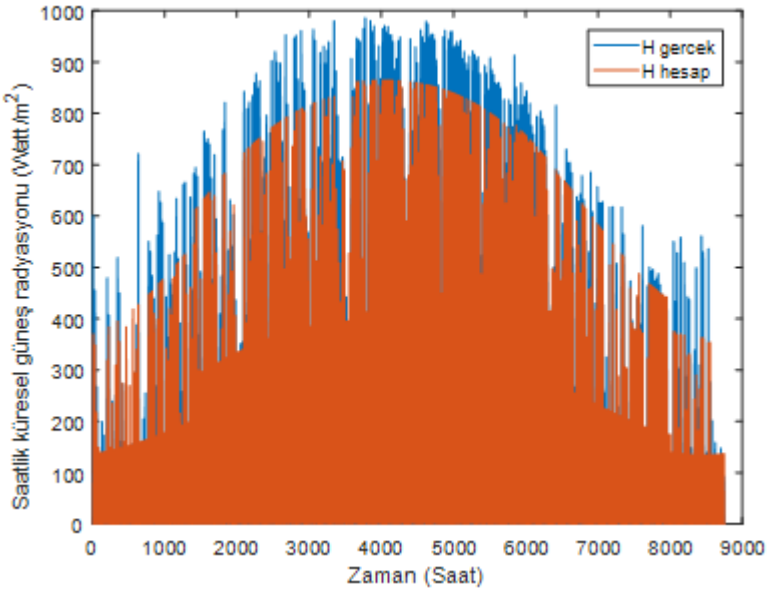
sebebiyle bazı aylarda mevsimlik modele kıyasla daha yüksek değerler vermiş, bazı aylarda ise daha düşük değerler vererek kesikli bir yapı göstermiştir.

6.1.4 Kastamonu istasyonu

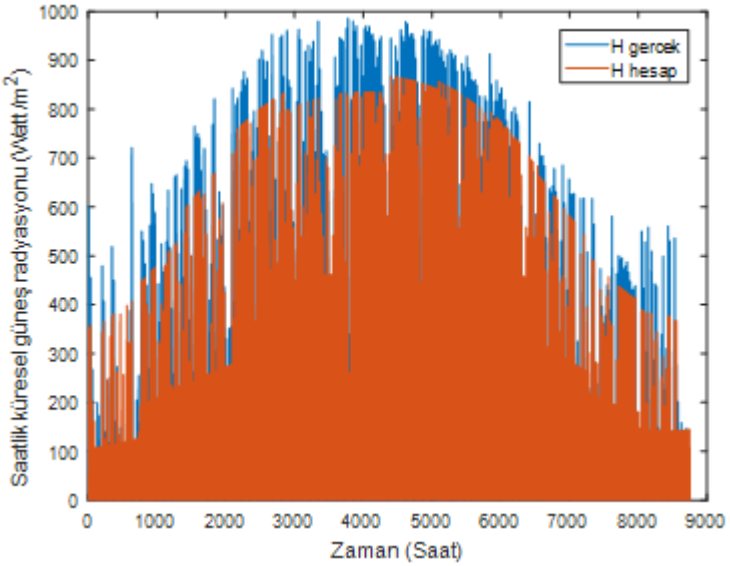
Kastamonu istasyonuna ait 2016 yılı yıllık, aylık ve mevsimlik Bahel modeli hesap sonuçları sırasıyla Şekil 6.10, Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de verilmiştir.



Şekil 6.10 : Kastamonu istasyonu 2016 yılına ait yıllık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.



Şekil 6.11 : Kastamonu istasyonu 2016 yılına ait mevsimlik kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.

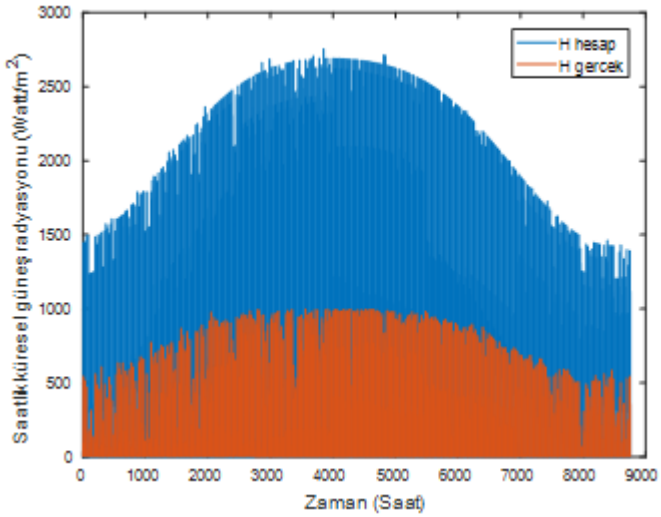


Şekil 6.12 : Kastamonu istasyonu 2016 yılına ait aylık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.

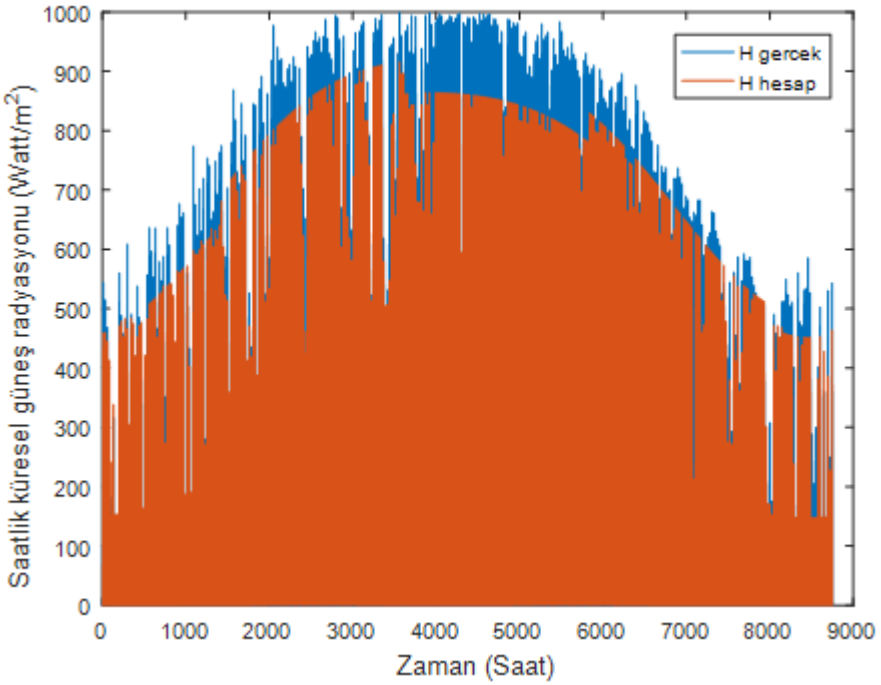
Şekil 6.10'da görülebileceği üzere, Kastamonu istasyonunda yıllık Bahel modeli sonuçları gerçek ölçüm sonuçlarının çok üzerindedir. Aylık ve mevsimlik model sonuçları benzer olup, bunların ikisi de ani pikleri yakalamaktan ziyade birkaç saat devam eden yüksek değerdeki güneş radyasyonunu daha iyi tahmin etmektedir.

6.1.5 Isparta istasyonu

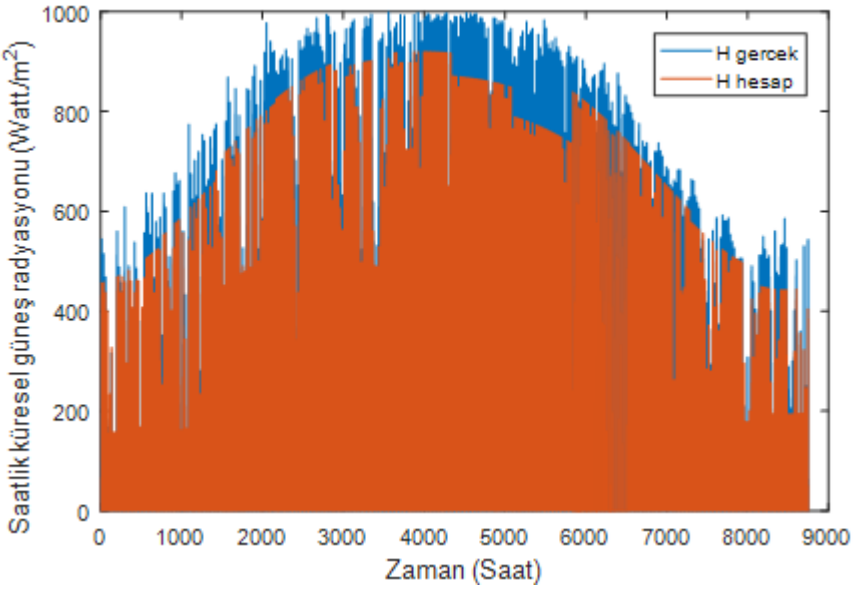
Isparta istasyonuna ait 2016 yılı yıllık, aylık ve mevsimlik Bahel modeli hesap sonuçları sırasıyla Şekil 6.13, Şekil 6.14 ve Şekil 6.15'te verilmiştir.



Şekil 6.13 : Isparta istasyonu 2016 yılına ait yıllık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.



Şekil 6.14 : Isparta istasyonu 2016 yılına ait mevsimlik kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.

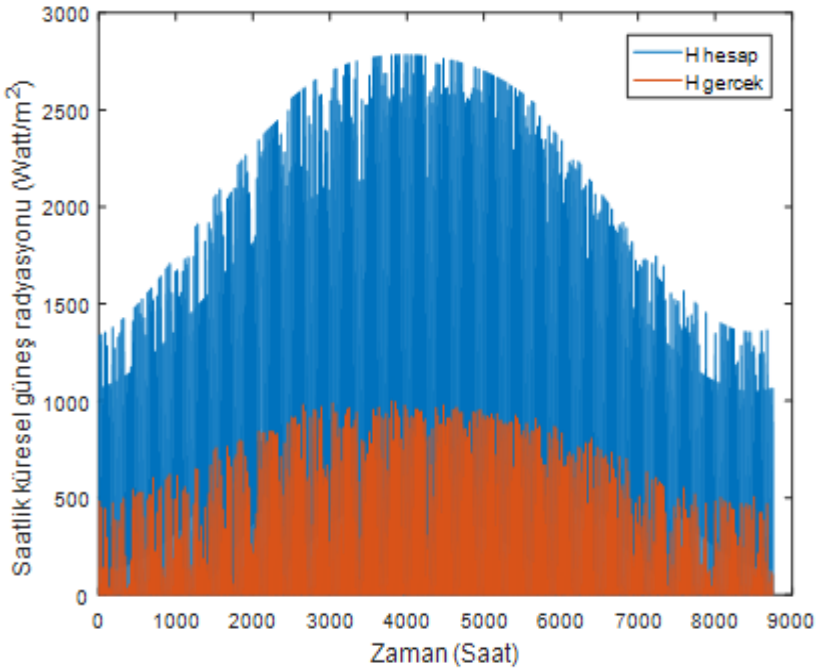


Şekil 6.15 : Isparta istasyonu 2016 yılına ait aylık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.

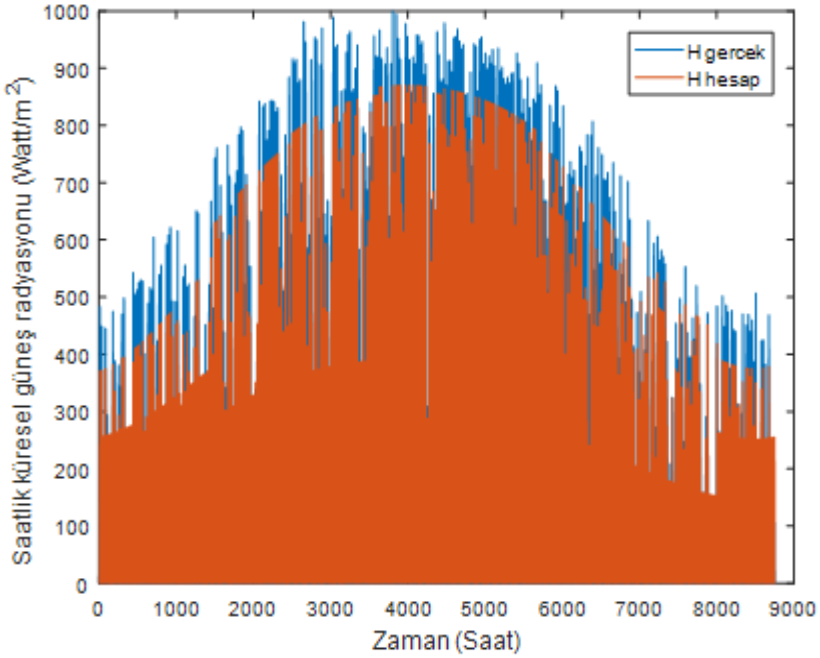
Isparta istasyonunda da ilk 4 istasyona benzer şekilde yıllık modelde fazla tahmin etme problemi yaşanmaktadır. Yine diğer istasyonlarda olduğu gibi aylık ve mevsimlik modeller de gerçek ölçüm değerlerinden düşük değerler göstermekte olup, kendi aralarında benzer sonuçlar vermektedir.

6.1.6 Kırklareli istasyonu

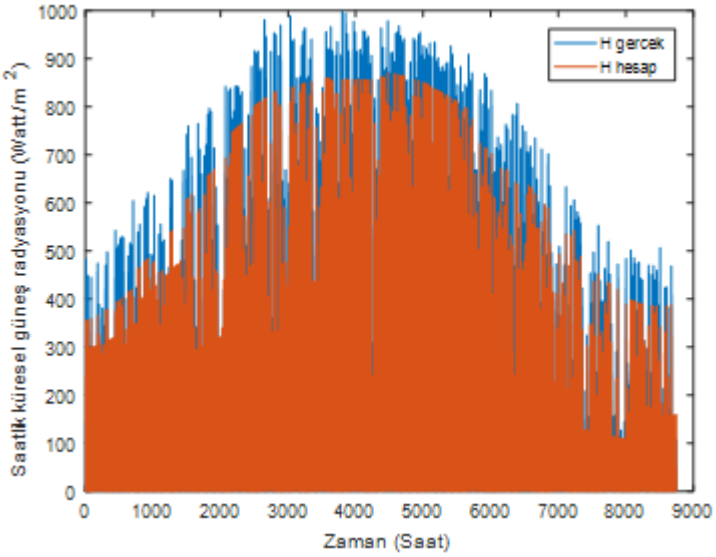
Kırklareli istasyonuna ait 2016 yılı yıllık, aylık ve mevsimlik Bahel modeli hesap sonuçları sırasıyla Şekil 6.16, Şekil 6.17 ve Şekil 6.18'de verilmiştir.



Şekil 6.16 : Kırklareli istasyonu 2016 yılına ait yıllık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.



Şekil 6.17 : Kırklareli istasyonu 2016 yılına ait mevsimlik kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.

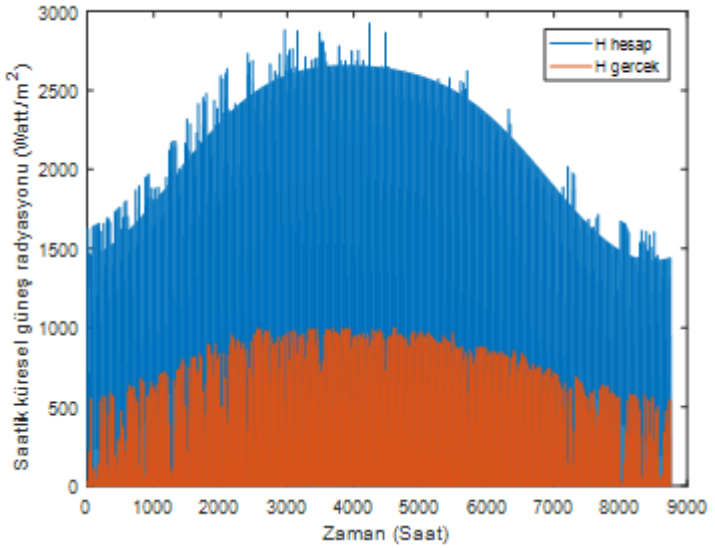


Şekil 6.18 : Kırklareli istasyonu 2016 yılına ait aylık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.

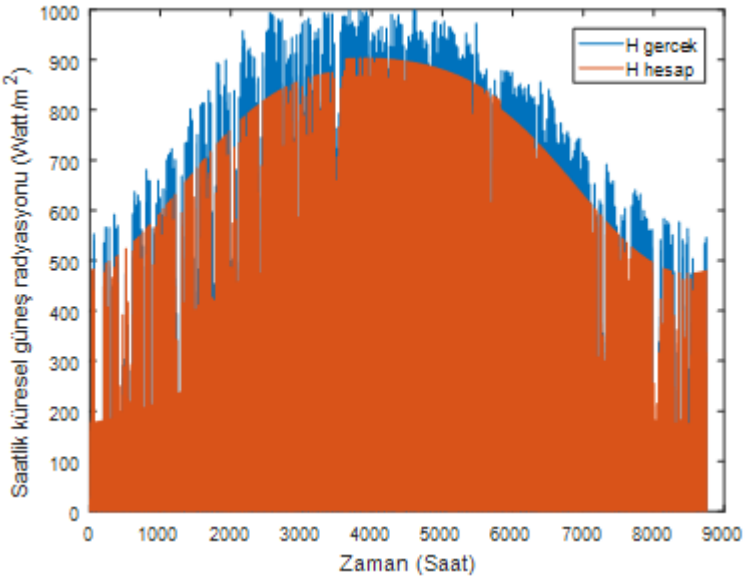
Diğer istasyonlara benzer şekilde Kırklareli istasyonunda yıllık model ölçüm değerinden daha yüksek tahmin sonuçları vermektedir. Aylık ve mevsimlik modeller ise güneş radyasyonunda ani düşüş yaşanan saatleri kolayca yakalamakta ancak yine de ölçüm sonuçlarından dah düşük değerler göstermektedir.

6.1.7 Mardin istasyonu

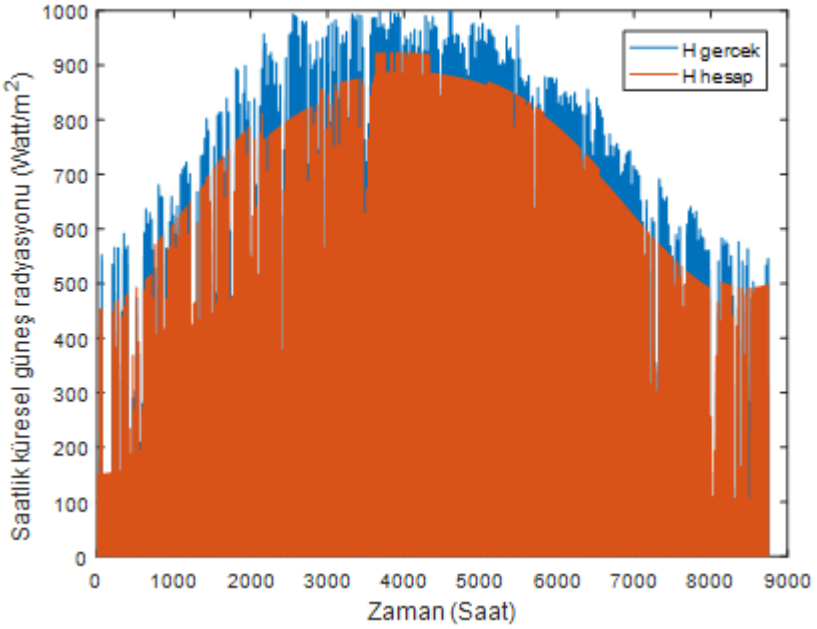
Mardin istasyonuna ait 2016 yılı yıllık, aylık ve mevsimlik Bahel modeli hesap sonuçları sırasıyla Şekil 6.19, Şekil 6.20 ve Şekil 6.21'de verilmiştir.



Şekil 6.19 : Mardin istasyonu 2016 yılına ait yıllık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.



Şekil 6.20 : Mardin istasyonu 2016 yılına ait mevsimlik kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.

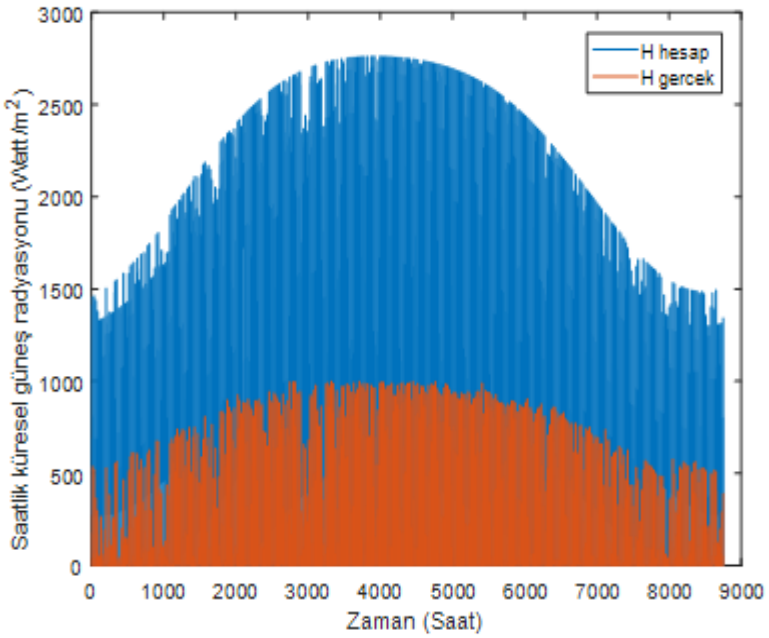


Şekil 6.21 : Mardin istasyonu 2016 yılına ait aylık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.

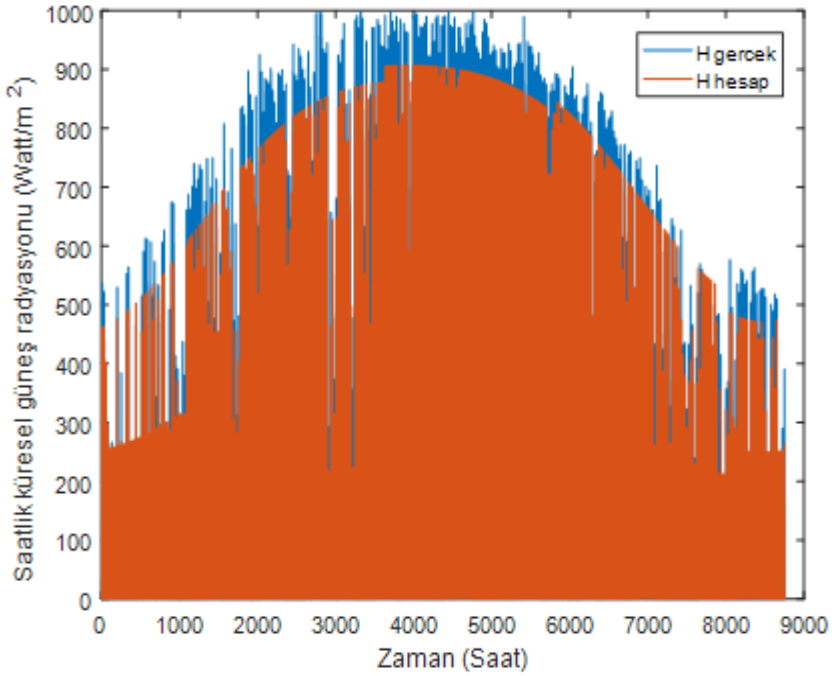
Mardin istasyonu yıllık modelde, diğer istasyonlarla aynı şekilde yüksek güneş radyasyonu değerleri vermektedir. Aylık model ise mayıs ayında mevsimlik modelden daha yüksek değerler gösterirken, mart ayında ise tam tersi daha küçük değerler göstermektedir.

6.1.8 Muğla istasyonu

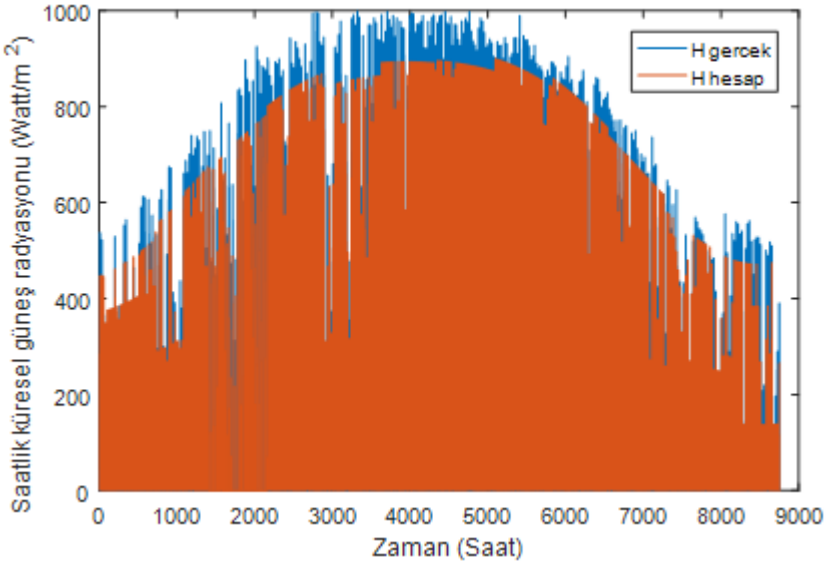
Muğla istasyonuna ait 2016 yılı yıllık, aylık ve mevsimlik Bahel modeli hesap sonuçları sırasıyla Şekil 6.22, Şekil 6.23 ve Şekil 6.24'te verilmiştir.



Şekil 6.22 : Muğla istasyonu 2016 yılına ait yıllık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.



Şekil 6.23 : Muğla istasyonu 2016 yılına ait mevsimlik kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.



Şekil 6.24 : Muğla istasyonu 2016 yılına ait aylık kalibrasyonlu Bahel ve gerçek ölçüm değerleri grafiği.

Tüm istasyonlarda olduğu gibi Muğla istasyonunda da yıllık Bahel modeli gerçek ölçümlerin yaklaşık 3 katı daha yüksek sonuçlar göstermektedir. Bu durum model katsayılarının yıl içinde sabit kalmasından kaynaklanmaktadır. Katsayıların yıl içinde daha değişken yapıda olduğu mevsimlik ve aylık modeller ise birbirlerine benzer sonuçlar vermekte olup, gerçek gözlem değerlerinden daha düşük sonuçlar vermekedir.

6.2 Bahel Modelleri Sonuçlarının Kıyaslanması

Her istasyon için oluşturulan 3 modelin sonuçlarının istatistiksel olarak kıyaslanması Çizelge 6.1'de verilmiştir. Tüm yıllara ait Bahel modelleri istatistiksel katsayıları ise Ek F'de ayrıca verilmiştir.

Çizelge 6.1 : 8 istasyona ait 2016 yılı R^2, RMSE ve MBE değerleri.

	R^2			RMSE (W/m^2)			NRMSE (%)			MBE (W/m^2)		
	Aylık	Mevs.	Yıllık	Aylık	Mevs.	Yıllık	Aylık	Mevs.	Yıllık	Aylık	Mevs.	Yıllık
Ağrı	0,92	0,93	0,81	73,85	67,83	366,03	9,12	8,37	45,19	1,77	-0,86	502,50
Ankara	0,90	0,91	0,83	82,44	80,33	341,81	10,18	9,92	42,20	-8,04	-6,36	483,49
Artvin	0,95	0,95	0,70	50,72	48,35	445,30	6,26	5,97	54,97	2,23	2,07	531,81
Kastamonu	0,93	0,93	0,75	64,85	61,91	396,53	8,01	7,64	48,95	-0,62	-1,64	487,73
Isparta	0,95	0,95	0,83	59,11	56,79	331,74	7,30	7,01	40,96	-11,29	-10,83	477,27
Kırklareli	0,94	0,95	0,84	57,24	53,34	318,96	7,07	6,58	39,38	-0,62	-7,35	479,22
Mardin	0,96	0,97	0,78	53,67	49,03	383,22	6,63	6,05	47,31	-2,44	-2,83	498,31
Muğla	0,94	0,96	0,84	63,86	56,70	338,16	7,88	7,00	41,75	-1,46	-1,48	507,30

Bahel modelleri R^2 değerleri kıyaslandığında yıllık R^2 değerlerinin her istasyon için aylık ve mevsimlik kalibrasyona nazaran çok düşük olduğu ve ortalamada 0,7958 R^2 değerini aldığı görülmüştür. Aylık ve mevsimlik kalibrasyonlar ise her istasyonda birbirine yakın R^2 değerleri vermekte ve mevsimlik R^2 değeri aylıktan biraz daha büyük bir değer almaktadır. Aylıkta istasyonların tümünün ortalamasında 0,9363 R^2 değeri görülürken, mevsimlikte 0,9430 R^2 değeri tespit edilmiştir.

RMSE değerleri incelendiğinde yıllık kalibrasyon değerleri ortalama 365,218 değerini vermektedir. Aylık kalibrasyonda ise RMSE değeri ortalama 63,218 olarak görülürken, mevsimlik RMSE ise 59,283 değerini alarak tüm kalibrasyonlar arasındaki en düşük değeri vermiştir.

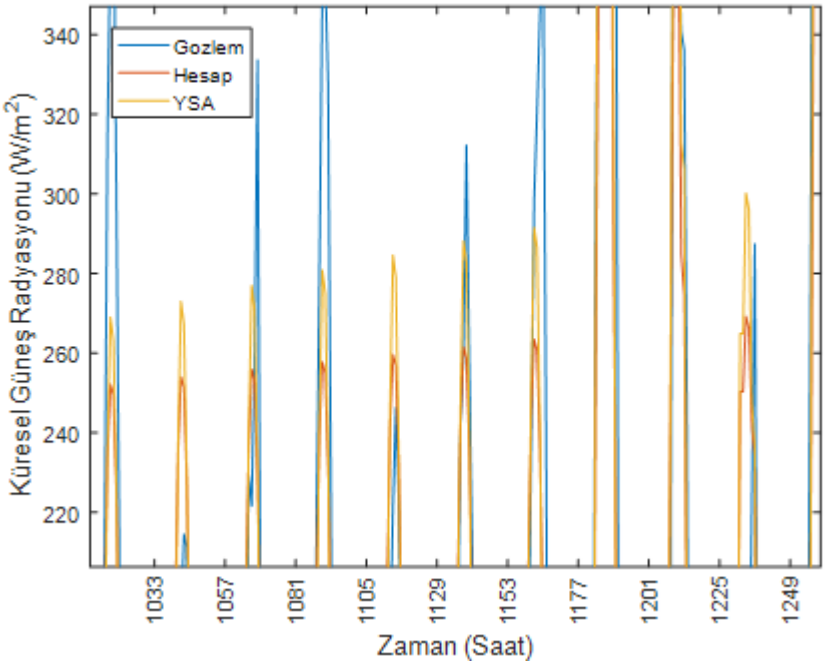
MBE değerleri incelendiğinde ise yıllık kalibrasyon değerleri tüm istasyonlarda pozitif değer almıştır ve ortalama değeri 495,953'tür. Aylık ve mevsimlikte ise MBE ortalama değerleri sırasıyla -2,5574 ve -3,661 olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre yıllık model 3 model arasında en kötü sonuç veren modeldir. Mevsimlik ve aylık model arasından ise, ortalama 0,9430 R^2, 59,283 RMSE ve -3,661 MBE değerine sahip mevsimlik Bahel modeli seçilmiştir. Seçilen bu model üzerine YSA uygulaması yapılmasına karar verilmiştir.

6.3 Yapay Sinir Ağı Uygulaması Sonuçları

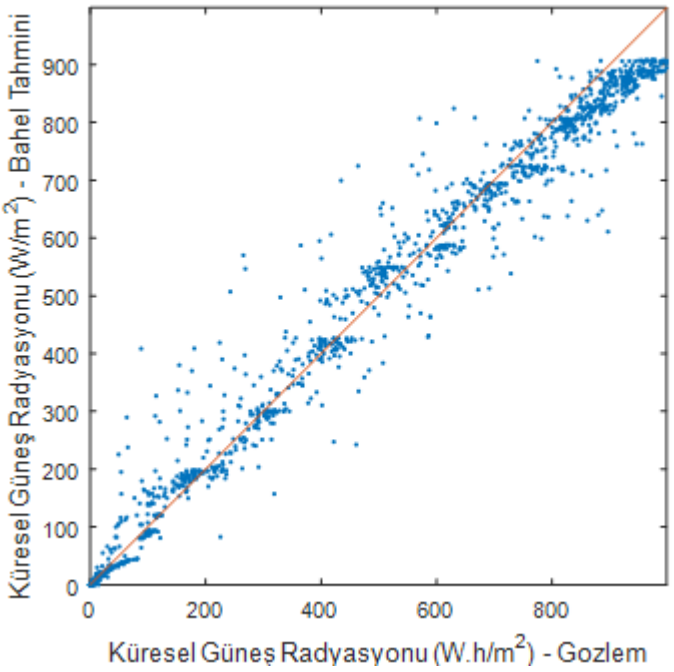
Tez çalışması kapsamında uygulanan yapay sinir ağları mevsimlik Bahel modeli çıktılarını, gerçek güneş radyasyonu ölçüm değerlerine yaklaştırma amacı taşımaktadır. Bu sebeple 2011-2015 yılı arasındaki ölçüm değerleri ile mevsimlik Bahel modeli çıktıları YSA'ya eğitim seti olarak verilmiştir. Eğitim esnasında her istasyona ait mevsimlik veriler üzerinde 500 farklı YSA yapısı denenerek aralarından en iyi sonuç veren YSA yapısı seçilmiştir. Bu YSA yapılarına ait gizli tabaka nöron sayısı ve giriş tabakası nod sayıları ile YSA iterasyon numaraları Ek C'de verilmiştir.

Yapay sinir ağı her yıl için gerçek değerler ile tahmin değerleri arasında bir ilişki bulmaya çalışmakta ve tahmin değerlerini gerçeğe yaklaştırmayı denemektedir. Şekil 6.25'te Ağrı istasyonu için kış ayları için uygulanan YSA'ya ait belirli bir zaman diliminden kesit görülmektedir. Buna göre YSA'nın bazı günlerde Bahel çıktılarını gerçek değerlere yaklaştırdığı görülürken, bazı saatlerde ise tam tersine uzaklaştırdığı gözlemlenmiştir.

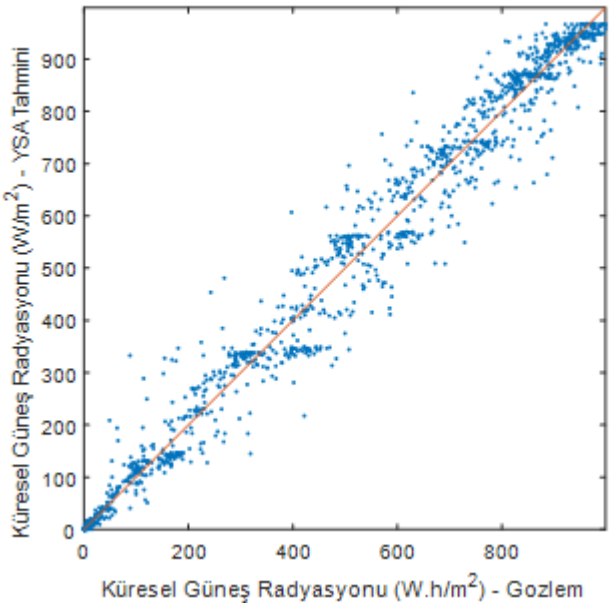


Şekil 6.25 : Ağrı istasyonu kış aylarına ait YSA'nın hesap değerlerini gözlem değerlerine yaklaştırmasını gösteren örnek.

YSA'nın Bahel sonuçlarını iyileştirmesi üzerine bir örnek teşkil etmesi açısından Muğla istasyonuna ait bazı karşılaştırma grafikleri verilmiştir (Şekil 6.26 ve Şekil 6.27).



Şekil 6.26 : Muğla istasyonu yaz aylarına ait Bahel tahminleri ile gözlem değerleri kıyaslaması.



Şekil 6.27 : Muğla istasyonu yaz aylarına ait YSA tahminleri ile gözlem değerleri kıyaslaması.

Şekil 6.26 ve Şekil 6.27'den de görülebileceği üzere YSA Bahel modeline ait sapmaları giderebilmektedir. 2016 yılı tüm istasyonlara ait mevsimlik Bahel modeli-gözlem değeri kıyaslama grafikleri ile mevsimlik YSA-gözlem değeri kıyaslama grafikleri Ek D'de verilmiştir. Bu sebeple bu bölümde bu grafiklere ayrıca yer verilmeyecektir.

6.4 Bahel Modeli ve YSA Çıktılarının Kıyaslanması

Çizelge 6.2'de mevsimlik Bahel modeli ile YSA'ya ait R^2 değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.2 : 8 istasyona ait 2016 yılı YSA ve mevsimlik Bahel modelleri R^2 değerleri.

	Kış		Bahar		Yaz		Güz		Tüm Yıl	
	Bahel	YSA	Bahel	YSA	Bahel	YSA	Bahel	YSA	Bahel	YSA
Ağrı	0,8247	0,9	0,8946	0,9562	0,9357	0,9734	0,9534	0,978	0,9021	0,9519
Ankara	0,8776	0,9476	0,8963	0,9529	0,9471	0,9731	0,9639	0,9808	0,92123	0,9636
Artvin	0,8479	0,9163	0,9454	0,9778	0,9604	0,9855	0,9484	0,9727	0,92553	0,96308
Kastamonu	0,8714	0,9269	0,8927	0,9538	0,9424	0,9796	0,9415	0,9739	0,91188	0,94598
Isparta	0,9335	0,9625	0,9402	0,9764	0,9422	0,9841	0,9658	0,9851	0,94543	0,97703
Kırklareli	0,7968	0,8978	0,933	0,9655	0,9692	0,9889	0,9223	0,9518	0,90533	0,951
Mardin	0,8911	0,9179	0,9546	0,9828	0,9851	0,9937	0,9746	0,9906	0,95135	0,97125
Muğla	0,7743	0,8590	0,9511	0,9724	0,9825	0,9925	0,9396	0,9600	0,95135	0,97125

R^2 değerleri incelendiğinde YSA uygulamasının tüm istasyonlara ait mevsimlik verilerin hepsini iyileştirdiği görülmektedir. YSA en büyük iyileştirmesini kış ayı Kırklareli değerleri üzerinde yapmış ve 0,7968'lik R^2 değerini 0,8978'e çıkarmıştır. En az iyileştirme ise Mardin istasyonu bahar ayları verilerinde gerçekleşmiş ve 0,9546'lık R^2 değeri 0,9828'e çıkmıştır. R^2 değerleri Bahel modeli için 0,7743 ile 0,9851 arasında değişirken YSA için 0,859 ile 0,9937 arasında değer almaktadır.

Mevsimlik Bahel modeli ile YSA uygulaması RMSE değerleri Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3 : 8 istasyona ait 2016 yılı YSA ve mevsimlik Bahel modelleri RMSE değerleri (W/m^2).

	Kış		Bahar		Yaz		Güz		Tüm Yıl	
	Bahel	YSA	Bahel	YSA	Bahel	YSA	Bahel	YSA	Bahel	YSA
Ağrı	60,8933	52,4412	94,6689	75,1299	86,2368	72,5216	54,5732	45,0426	74,0931	61,2838
Ankara	51,5059	38,6485	90,5003	75,879	79,2009	74,4604	45,8248	40,3333	66,758	57,3303
Artvin	51,9988	43,1316	62,2224	48,1394	60,2647	45,7727	46,1215	38,9658	55,1519	44,0024
Kastamonu	48,652	41,1695	85,408	68,8083	78,5663	60,6343	51,66	40,528	66,0716	52,785
Isparta	45,872	40,1445	75,3654	59,382	86,0752	59,2318	47,8297	38,565	63,7856	49,3308
Kırklareli	63,9131	51,321	71,5241	63,4114	57,3392	45,3098	58,0449	53,7293	62,7053	53,4429
Mardin	59,33	59,0241	68,295	53,334	43,0597	37,4738	43,0602	32,247	53,4362	45,5197
Muğla	70,6783	61,9204	67,8185	63,2465	46,7865	40,1822	60,3634	57,046	61,4117	55,5988

RMSE değerleri incelendiğinde YSA en büyük iyileştirmesini yaz ayı Isparta istasyonu üzerinde yapmış ve 86,0752'lik RMSE değerini 59,2318'e düşürmüştür. En az iyileştirme ise Mardin istasyonu kış ay verilerinde gerçekleşmiş ve 59,33'lük RMSE değeri 59,0241'e düşmüştür. RMSE değerleri Bahel modeli için 43,0597 ile 94,6689 arasında değişirken YSA için 32,247 ile 75,879 arasında değer almaktadır.

Mevsimlik Bahel modeli ile YSA uygulaması NRMSE değerleri Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4 : 8 istasyona ait 2016 yılı YSA ve mevsimlik Bahel modelleri RMSE değerleri (%).

	Kış		Bahar		Yaz		Güz		Ortalama	
	Bahel	YSA	Bahel	YSA	Bahel	YSA	Bahel	YSA	Bahel	YSA
Ağrı	9,98	8,07	10,52	7,67	9,17	7,55	6,42	5,06	9,02	7,09
Ankara	7,46	5,52	9,53	7,66	8,80	7,84	5,73	4,75	7,88	6,44
Artvin	9,45	7,19	7,78	5,35	7,35	5,03	6,15	4,87	7,68	5,61
Kastamonu	9,36	6,33	10,68	7,65	9,14	6,19	6,80	4,94	8,99	6,28
Isparta	7,40	5,73	8,37	6,12	10,13	6,23	5,69	4,29	7,90	5,59
Kırklareli	12,29	8,85	8,22	7,05	6,52	4,92	8,29	6,89	8,83	6,93
Mardin	8,99	8,20	7,67	5,73	4,78	3,94	5,38	3,89	6,71	5,44
Muğla	10,39	8,48	7,71	6,80	5,20	4,14	7,45	6,41	7,69	6,46

NRMSE değerleri incelendiğinde YSA en büyük iyileştirmesini yaz ayı Isparta istasyonu üzerinde yapmış ve %10,13'lik NRMSE değerini %6,23'e düşürmüştür. En az iyileştirme ise Mardin istasyonu kış ay verilerinde gerçekleşmiş ve %8,99'luk NRMSE değeri %8,20'ye düşmüştür. NRMSE değerleri Bahel modeli için %12,29 ile %4,78 arasında değişirken YSA için %8,85 ile %3,89 arasında değer almaktadır.

Çizelge 6.5'te Mevsimlik Bahel modeli ile YSA uygulaması MBE değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.5 : 8 istasyona ait 2016 yılı YSA ve mevsimlik Bahel modelleri MBE değerleri (W/m^2).

	Kış		Bahar		Yaz		Güz		Tüm Yıl	
	Bahel	YSA	Bahel	YSA	Bahel	YSA	Bahel	YSA	Bahel	YSA
Ağrı	-5,1945	-4,7233	5,4185	-0,4322	-2,1178	6,0896	-1,6556	-4,6826	-0,88735	-0,93713
Ankara	5,4674	-1,6712	-8,1409	-6,5818	-15,152	-14,907	-7,3735	-5,5992	-6,29973	-7,18985
Artvin	11,9239	6,1287	-5,2193	-3,1796	-1,018	1,6115	2,8261	-0,6204	2,12818	0,98505
Kastamonu	-3,9325	-0,7452	1,8005	8,8837	-4,9148	9,8596	0,446	0,8029	-1,6502	4,70025
Isparta	-5,7836	-1,34	-3,5205	-0,5881	-24,837	-8,0902	-9,0663	-4,0507	-10,8019	-3,51725
Kırklareli	11,7494	-0,7552	-9,3695	0,1173	-20,099	-5,3024	-11,324	-4,0898	-7,26085	-2,50753
Mardin	6,8257	11,964	-5,0267	-3,0278	-4,2055	6,2847	-8,7878	-4,1839	-2,79858	2,75925
Muğla	17,3405	0,5131	-15,573	-2,7156	-6,3518	1,2923	-0,94	-1,7332	-1,38108	-0,66085

MBE değerleri incelendiğinde mevsimlik Bahel modeli için değerlerin -24,8372 ile 17,3405 arasında değiştiği görülürken, YSA için ise bu değerlerin -14,9072 ile 11,964 arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir.

R^2, RMSE, NRMSE ve MBE değerleri bir bütün olarak değerlendirildiğinde Bahel modeli üzerinde yapay sinir ağı uygulaması sonuçlarının sadece Bahel modeli uygulamasına kıyasla çok daha iyi sonuç verdiği açıkça görülmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Angström-Prescott temelli güneş radyasyonu modelleri yıllarca uygulanagelmiş olmakla birlikte, saatlik ölçekteki modeller hâlâ sınırlı sayıdadır. Güneşlenme süresi ile küresel güneş radyasyonu arasındaki ilişki, Angström-Prescott modellerinin çeşitlendirilmesine ve karesel, kübik, logaritmik versiyonlarının oluşturulmasına olanak sağlamıştır. Angström-Prescott modelinin en büyük avantajı sadece tek bir gözlem verisini (güneşlenme süresi) kullanarak hesaplama yapmaya olanak sağlamasıdır. Birden fazla ölçüm verisinin kullanıldığı (sıcaklık, nem vb. parametreler içeren) modeller, ölçümlerden kaynaklanabilecek hataların hesaplara daha fazla etkimesine neden olabilir. Tek gözlem değeri içeren modellerin kullanılması sayesinde ise ölçümlerden kaynaklanacak hatalar olabildiğince minimize edilmiş olacaktır.

Türkiye için farklı türdeki Angström-Prescott temelli modellerin aylık ortalama günlük güneş radyasyonu hesap başarımlarının incelendiği bir çalışmada en iyi sonuç veren Angström-Prescott temelli modelin Bahel modeli olduğu belirlenmiştir (Yıldırım, 2016). Buradan yola çıkarak tez kapsamında gerçekleştirilen saatlik küresel güneş radyasyonu hesaplamalarında kübik Angström-Prescott modeli olarak da bilinen Bahel modeli kullanılmasına karar verilmiştir.

Modelin sadece yıllık ölçekte uygulanması Angström-Prescott temelli modellerin genel sıkıntısı olan katsayıların sabitliği problemi nedeniyle uygun korelasyon değeri vermeme ihtimali taşımaktadır. Bu sebeple Türkiye genelinde seçilen 8 adet istasyonun verilerine aylık, mevsimlik ve yıllık ölçekler belirlenerek uygulanan Bahel modeli sonuçları kıyaslanmış ve en iyi sonuç veren Bahel modeli mevsimlik kalibrasyon uygulanan model olarak belirlenmiştir. Bahel modeli tüm istasyonlar ortalamasında 0,9430 R^2, 59,283 RMSE ve -3,661 MBE değerine sahiptir. Seçilen Bahel modeli sonuçlarının iyileştirilmesi için yapay sinir ağı uygulaması yapılmış ve sonuçta elde edilen YSA çıktısı ile Bahel modeli sonuçları kıyaslanmıştır. İlgili kıyaslama grafikleri Bölüm 6.4'te görülebilir (sayfa 82,83).

Yapay sinir ağları 500 farklı YSA yapısı denenerek oluşturulmuştur. Eğitim sonunda en iyi sonuç veren YSA yapıları seçilmiş ve böylelikle eğitim sona erdirilmiştir. Eğitim sırasında YSA'daki giriş tabakası nod sayısı, gizli tabaka nöron sayısı gibi parametreler değiştirilmektedir. İstasyonların büyük bir kısmında (8 istasyonun 6'sında) giriş tabakası nod sayısı her mevsimde 2 olarak bulunmuştur. Bu durum sistemin iç bağımlılığının 2 adet giriş değerine, yani 1 saatlik zaman periyoduna kadar devam ettiğini göstermektedir.

YSA uygulaması sonucunda tüm istasyonlar ortalamasında 0,9587 R^2, 52,4117 RMSE ve -0,796 MBE değerleri elde edilmiştir. Tüm sonuçlar genel olarak değerlendirilirse, YSA uygulamasının Bahel modeline kıyasla daha iyi sonuç verdiğinden bahsedilebilir. Bu durum Türkiye'de sadece kübik Angström-Prescott modeli ile saatlik küresel güneş radyasyonu tahminine nazaran, Angström-Prescott çıktılarına YSA uygulamasının yapıldığı hibrit bir modelin daha doğru sonuçlar sağlayacağını göstermektedir.

Saatlik güneş radyasyonuna enerji, hidroloji, meteoroloji, mimari ve benzeri birçok alanda ihtiyaç duyulduğundan, saatlik güneş radyasyonu hesabı yapan modellerin geliştirilmesi gereklidir. Bu sebeple gelecekte, güneş radyasyonuna etkiyen tüm meteorolojik ve konumsal parametreleri içine alan saatlik ölçekte modeller oluşturulmalı, Türkiye'de saatlik modeller üzerine yapılan çalışmaların sayısı artırılmalıdır.

KAYNAKLAR

Adıyaman, F. (2007). *Talep Tahmininde YSA* (Yüksek Lisans Tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Akinoglu, B.G. (2008). *"Recent Advances in the Relations Between Bright Sunshine Hours and Solar Irradiation," in Modeling solar radiation at the earth surface*, V. Badescu, Ed. Verlag Berlin Heidelberg: Springer, 115–143.

Akinoglu, B.G., ve Ecevit, A. (1990). A further comparison and discussion of sunshine based models to estimate global solar radiation. *Solar Energy*, 15, 865-72.

Aksoy, B., (1997). Estimated monthly avarage global radiation for Turkey and its comparison with observations, *Renewable Energy*, 10, 625-33.

Almorox, J., Benito M., ve Hontoria, C. (2005). Estimation of monthly Angström-Prescott equation coefficients from measured daily data in Toledo Spain. *Renewable Energy*, 30, 931-6.

Amrouche B., ve Le Pivert X. (2014). Artificial neural network based daily local forecasting for global solar radiation. *Applied Energy*, 130, 333-341

Angström, A. (1924). Solar and Terrestrial Radiation. *Q. J. Roy. Met. Soc.* 50, 121125.

Atsu, S.S., Dorvlo, S., Jervase, A.J., ve Al-Lawati, A. (2002). Solar radiation estimation using artificial neural networks. *Applied Energy*, 71, 307-319.

Bahel, V., Bakhsh, H., ve Srinivasan, R. (1987). A correlation for estimation of global solar radition, *Energy*, 12, 131-135.

Bakirci, K. (2009). Models of solar radiation with hours of bright sunshine: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2580-2588.

Barutçu, B., (2016). *Signal Processing and Analysis in Renewable Energy Systems, Prediction Problem*, Ders Notları, İTÜ Enerji Enstitüsü.

Benghanem, M., Mellit, A., ve Alamri, S.N. (2009). ANN-based modelling and estimation of daily global solar radiation data, A case study. *Energy Conversion and Management*, 50, (7), 1644-55.

Benson, R. B., Paris, M. V., Sherry, J. E., ve Justus, C. G. (1984). Estimation of daily and monthly direct diffuse and global solar radiation from sunshine duration measurements. *Solar Energy*, 32 (4), 523-35.

Ceylan, İ. ve Gürel, A. E. (2017). *Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı*. Dora Yayıncılık, Bursa.

Cooper, P.I. (1969). The absorption of solar radiation in solar stills. *Sol. Energy*, 12 (3), 333-346.

Çelik, B. (2008). *YSA Metodolojisi ile Zaman Serisi Analizi: Teori ve Uygulama* (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Das, U., Tey, K., Seyedmahmoudian, M., Mekhilef, S., Idris, M., Van Deventer, W., Horan, B. ve Stojcevski, A. (2018). Forecasting of photovoltaic power generation and model optimization: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 912-928.

DMİ. (2008). *Klimatolojik rasat el kitabı*. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, DMİ Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara.

Dogniaux. R., ve Lemoine, M. (1983). Classification of radiation sites in terms of different indices of atmospheric transparency. *Solar energy reseach and development in the European Community*, Series F,. 2. Dordrecht, Holland: Reidel.

Duffie, J.A. ve Beckman, W.A. (1980). *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley and Sons, New York.

Efendigil, T. (2008). *Müsteri Odaklı Sistemler için YSA ve Bulanık Çıkarım Tabanlı Karar Destek Sistemi Yaklasımı*. (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EUAŞ. (2017). *Elektrik Üretim Sektör Raporu.* Elektrik Üretim Anonim Şirketi Araştırma Planlama ve Koordinasyon Dairesi Başkanlığı İstatistik ve Araştırma Müdürlüğü.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2017). *Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü.* Sayı 16. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.

Fadare, DA. (2009). Modelling of solar energy potential in Nigeria using an artificial neural network model. *Applied Energy*, 86, (9),1410-22.

Fröhlich, C. (2009). Evidence of a long-term trend in total solar irradiance. *Astronomy & Astrophysics*, 501, L27-L30. doi: 10.1051/0004-6361/200912318

Gershenson, C. (2003). *Artificial Neural Networks for Beginners.*

Gopinathan, KK., (1988). A general formula for computing the coefficients of the correlations connecting global solar radiation to sunshine duration, *Solar Energy*, 41, 499–502.

Gordon J. M. (2001). *Solar energy-the state of the art: ISES position papers.* International Solar Energy Society. James and James Science Publishers.

Güngör, A., Yıldız, A., ve Kartal, Y. (2005). Ülkemiz Enlemleri Açık Gün Işınımının Hesaplanması İçin Bir Algoritma, Örnek Uygulama: Mersin, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi*, 24-25 Haziran, s.161-174.

Haykin, S. (2005). *Neural networks: a comprehensive foundation*. London: Prentice-Hall International.

Iqbal, M. (1983). *An introduction to solar radiation*, 1st edition, Academic Press.

Jain, A., Mao, J. and Mohiuddin, K. (1996). Artificial neural networks: a tutorial. *Computer*, 29(3), 31-44.

Kalkınma Bakanlığı. (2014). *Onuncu Kalkınma Planı: Yerli Kaynaklara Dayalı Enerji Üretim Programı Eylem Planı.* Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.

Kalogirou, S. (2009). *Solar energy engineering: processes and systems*, Academic Press.

Karahan, M. (2011). *İstatistiksel tahmin yöntemleri: yapay sinir ağları metodu ile ürün talep tahmin uygulaması* (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.

Koca, A., Oztop, H.F., Varol, Y., ve Koca, G.O. (2011). Estimation of solar radiation using artificial neural networks with different input parameters for Mediterranean region of Anatolia in Turkey. *Expert Systems with Applications*, 38, (7), 8756-62.

Krenker, A., Bešter, J., ve Kos, A. (2011). *Introduction to the Artificial Neural Networks. Artificial Neural Networks-Methodological Advances and Biomedical Applications*. 10.5772/15751.

Lee, K., Yoo, H. ve Levermore, G. (2013). Quality control and estimation hourly solar irradiation on inclined surfaces in South Korea. *Renewable Energy*, 57, 190-199.

Levenberg, K. (1944). A Method for the Solution of Certain Problems in Least Squares. *Quarterly Applied Math.*, 2, 164-168.

Marquardt, D. W. (1963). An Algorithm for Least Squares estimation of Nonlinear Parameters. *SIAM Journal Applied Math.*, 11, 431-441.

Miguel, A.D., Bilbao, J., ve Diez, M. (1995). Solar radiation incident on tilted surfaces in Burgos Spain Isotropic models, *Energy Conversion and Management*, 36, 945 - 951.

Mohandes, M. A. (2012). Modeling global solar radiation using particle swarm optimization (PSO), *Solar Energy*, 86, 3137-45.

Mubiru, J., ve Banda, E.J.K.B. (2008). Estimation of monthly average daily global solar irradiation using artificial neural networks. *Solar Energy*, 82, (2),181-7.

Newland, F.J. (1988). A study of a solar radiation models for the coastal region of South China. *Solar Energy*, 31, 227-35.

Notton, G., Paoli, C., Ivanova, L., Vasileva S., ve Nivet M.L. (2013). Neural network approach to estimate 10-min solar global irradiation values on tilted planes. *Renewable Energy*, 50, 576-84.

Olatomiwa L, Mekhilef S, Shamshirband S, ve Petković D. (2015). Adaptive neuro-fuzzy approach for solar radiation prediction in Nigeria. *Renew Sustain Energy Rev.*, 51, 1784–91.

Oliveira, A.P., Escobedo, J.F., Machado, A.J., ve Soares, J. (2002). Correlation models of diffuse solar radiation applied to the city of Sao Paulo, Brazil. *Applied Energy*, 71, 59 - 73.

Ozgoren, M., Bilgili, M., ve Sahin, B. (2012). Estimation of global solar radiation using ANN over Turkey. *Expert Systems with Applications*, 39, (5), 504351.

Öztemel, E. (2012). *Yapay sinir ağları*. 3. Baskı. İstanbul: Papatya Yayıncılık.

Öztürk, H. (2013). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları*. Birsen Yayınevi, İstanbul.

Page, J.K., The estimation of monthly mean values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40^{o} N 40^{o}. S. *Conference on New Sources of Energy*, 378-390, 1961.

Prescott, J.A. (1940). Evaporation from water surface in relation to solar radiation. *Trans R Soc Aust*, 64, 114–48.

Qin J., Chen Z., Yang K., Liang S., ve Tang W. (2011). Estimation of monthly-mean daily global solar radiation based on MODIS and TRMM products. *Applied Energy*, 88, 2480-2489.

Rahimikhoob A. (2010). Estimating global solar radiation using artificial neural network and air temperature data in a semi-arid environment, *Renewable Energy*, 35, 2131–2135.

Ramedani, Z., Omid, M., Keyhani, A., Khoshnevisan, B., ve Saboohi, H. (2014). A comparative study between fuzzy linear regression and support vector regression for global solar radiation prediction in Iran. *Sol Energy*, 109, 135–43.

Rensheng, C., Shihua, L., Ersi, K., Jianping, Y., ve Xibin, J. (2006). Estimating Daily global radiation using two types of revised models in China. *Energy Conversion and Management*, 47, 865-78.

Rietveld, M.R. (1978). A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine. *Agricultural Meteorology*, 19, 243-252.

Rüzgar ve Güneş Enerjisine Dayalı Önlisans Başvuruları İçin Yapılacak Rüzgar ve Güneş Ölçümleri Uygulamalarına Dair Tebliğ. (2014). T.C. Resmi Gazete, 29033, 17 Haziran 2014.

Senkal O., ve Kuleli T. (2012). Estimation of solar radiation over Turkey using artificial neural network and satellite data. *Appl Energy*, 39, 5043-51.

Sezer, M. (2007). *Yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak KOİ parametresinden BOİ parametresinin tahmin edilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Sfetsos, A., ve Coonick, AH. (2000). Univariate and multivariate forecasting of hourly solar radiation with artificial intelligence techniques, *Solar Energy*, 68, (2), 169-78.

Soler, A. (1990). Monthly specific Rietvald's correlations. *Solar and Wind Technology*, 7, 305-8.

Sözen, A., Arcaklioğlu, E., ve Özalp, M. (2004). Estimation of solar potential in Turkey by artificial neural networks using meteorological and geographical data. *Energy Conversion and Management*, 45, (18,19), 3033-52.

Şahin, A., ve Şen Z. (1998). Statistical analysis of the Angström formula coefficients and application for Turkey. *Solar Energy*, 62, 29-38.

Şen, Z. (2009). *Temiz enerji kaynakları ve modelleme ilkeleri*. Su Vakfı, İstanbul.

Şengör, N. S., Erçelik, E. (2014). *Artificial Neural Networks*, EHB 420E Ders Notları, İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi.

Tiba, C., Reis, R., Costa, J., Abreu, J., Amoni, M., Guimaraes, D. ve Porto, M. (2014). On the Development of Spatial/Temporal Solar Radiation Maps: A Minas Gerais (Brazilian) Case Study. *Journal of Geographic Information System*, 06(03), 258-274.

Togrul, I.T., ve Togrul, H. (2002). Global solar radiation over Turkey: comparison of predicted and measured data, *Renew Energy*, 25, 55-67.

WMO. (1990). *Commission for instruments and methods of observation abridged final report of the tenth session.* Secreteriat of the World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland.

Wong L.T., ve Chow, W.K. (2001). Solar Radiation Model. *Applied Energy*, 69, 191-224.

Yadav, A.K., Malik, H., ve Chandel, S.S. (2014). Selection of most relevant input parameters using WEKA for artificial neural network based solar radiation prediction models. *Renew Sustain Energy Rev.*, 31, 509–19.

Yang, K., ve Koike, T. (2005). A general model to estimate hourly and daily solar radiation for hydrological studies. *Water Resources Research*, 41, W10403. doi: 10.1029/2005WR003976

Yıldırım, H.B. (2016). *Introducing novel models to estimate global solar radiation based on meteorological parameters in eastern mediterranean region* (Doktora tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Yıldırım, H.B., Çelik, Ö., Teke, A., Barutçu, B. (2018). Estimating daily global solar radiation with graphical user interface in eastern mediterranean region of turkey. *Sustainable Energy Reviews*, 82, 1528-1537.

21. Yüzyılın eşiğinde güneş enerjisi, (1999). Erişim: 15 Ocak, 2018, http://www.kimyaegitimi.org/sites/default/files/kuresel_isinma_projeleri/probleme_dayali_ogrenme_modeli/gunes_enerjisi2.pdf

Younes, S., Claywell, R. and Muneer, T. (2005). Quality control of solar radiation data: Present status and proposed new approaches. *Energy*, 30(9), 1533-1549.

Yu, H. ve Wilamowski, B. (2011). *Levenberg–Marquardt Training*. 1-16. 10.1201/b10604-15.

Zabara, K. (1986). Estimation of the global solar radiation in Greece. *Solar and Wind Technology*, 3 (4), 267-72.

Zhang, J., Zhao, L., Deng, S., Xu, W., ve Zhang, Y. (2016). A critical review of the models used to estimate solar radiation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70,* 315-329. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.124

Url-1 <*http://globalsolaratlas.info/?c=61.354614,-37.96875,2*>, erişim tarihi 13.01.2018.

Url-2 <*http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx*>, erişim tarihi 13.01.2018.

Url-3 <*http://www.enerjiatlasi.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html*>, erişim tarihi 13.01.2018.

Url-4 <*https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojikaletler.aspx?s=9*>, erişim tarihi 15.02.2018.

Url-5 <*http://www.turingfinance.com/misconceptions-about-neural-networks/*>, erişim tarihi 16.02.2018.

Url-6 <*https://www.neuraldesigner.com/blog/5_algorithms_to_train_a_neural_network*>, erişim tarihi 17.02.2018.

Url-7 <*https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-siniflandirmalari.aspx*>, erişim tarihi 10.01.2018.

Url-8 <*https://www.mgm.gov.tr/kurumsal/istasyonlarimiz.aspx*>, erişim tarihi 8.10.2017

Url-9 <*https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx*>, erişim tarihi 15.01.2018.

EKLER

EK A: Güneş radyasyonu ölçümü yapan MGM istasyonları listesi
EK B: Bahel modeli hesap katsayıları
EK C: YSA uygulaması iterasyon sayıları ve ağ yapılarına ait bilgiler
EK D: Mevsimlik Bahel modeli ve YSA karşılaştırması
EK E: Mevsimlik Bahel modeli ve YSA sonuçları
EK F: Bahel modeli istatistiksel karşılaştırma tabloları
EK G: Mevsimlik Bahel modeli ve YSA istatistiksel karşılaştırma tabloları

EK A

Çizelge A.1 : Güneş radyasyonu ölçümü yapılan istasyonlar.

İst. No	Şehir	İlçesi	İstasyon Adı
17351	Adana	Yüreyir	Adana Bölge
17190	Afyonkarahisar	Merkez	Afyonkarahisar Bölge
17839	Afyonkarahisar	Merkez	Kocatepe Üniversitesi
18912	Afyonkarahisar	Sinanpaşa	Tınaztepe Beldesi
17720	Ağrı	Doğubeyazıt	Doğubeyazıt
17099	Ağrı	Merkez	Ağrı
17192	Aksaray	Merkez	Aksaray
17130	Ankara	Keçiören	Ankara Bölge
17725	Ankara	Keçiören	MGM Genel Müdürlük
17952	Antalya	Elmalı	Elmalı
18305	Antalya	Elmalı	Elmalı Orman Sahası
17045	Artvin	Merkez	Artvin
18026	Aydın	İncirliova	İncir Arş.(TAGEM)
17234	Aydın	Merkez	Aydın
17722	Balıkesir	Burhaniye	Burhaniye
17602	Bartın	Amasra	Amasra
17776	Bingöl	Solhan	Solhan
17070	Bolu	Merkez	Bolu
17116	Bursa	Osmangazi	Bursa
17112	Çanakkale	Merkez	Çanakkale
18854	Denizli	Acıpayam	Alcı Orman
17257	Denizli	Çardak	Çardak Hvl.
18301	Denizli	Kale	Kale
17847	Diyarbakır	Ergani	Ergani
17806	Elazığ	Palu	Palu
17718	Erzincan	Tercan	Tercan
17688	Erzurum	Tortum	Tortum
17726	Eskişehir	Sivrihisar	Sivrihisar
17088	Gümüşhane	Merkez	Gümüşhane
17285	Hakkâri	Merkez	Hakkâri
17240	Isparta	Merkez	Isparta
17065	İstanbul	Merkez	Samandıra Hvl.
18031	İzmir	Bornova	Zeytincilik Arş.(TAGEM)
17749	İzmir	Kemalpaşa	Kemalpaşa
17789	İzmir	Menemen	Menemen
17866	Kahramanmaraş	Göksun	Göksun

Çizelge A.1 (devam) : Güneş radyasyonu ölçümü yapılan istasyonlar.

İst. No	Şehir	İlçesi	İstasyon Adı
17246	Karaman	Merkez	Karaman
17097	Kars	Merkez	Kars
17074	Kastamonu	Merkez	Kastamonu
17836	Kayseri	Develi	Develi
17802	Kayseri	Pınarbaşı	Pınarbaşı
17052	Kırklareli	Merkez	Kırklareli
17262	Kilis	Merkez	Kilis
17239	Konya	Akşehir	Akşehir
17242	Konya	Beyşehir	Beyşehir
18897	Konya	Beyşehir	Yeşildağ Orman
17754	Konya	Kulu	Kulu
18213	Konya	Merkez	Bahri Dağdaş Arş, (TAGEM)
17199	Malatya	Merkez	Malatya
17275	Mardin	Merkez	Mardin
17978	Mersin	Tarsus	Tarsus
17292	Muğla	Merkez	Muğla
17780	Muş	Malazgirt	Malazgirt
17906	Niğde	Ulukışla	Ulukışla
17624	Ordu	Ünye	Ünye
17040	Rize	Merkez	Rize
17026	Sinop	Merkez	Sinop
17734	Sivas	Divriği	Divriği
17162	Sivas	Gemerek	Gemerek
17684	Sivas	Suşehri	Suşehri
17944	Şanlıurfa	Bozova	Bozova
17968	Şanlıurfa	Ceylanpınar	Ceylanpınar Tigem
17287	Şırnak	Merkez	Şırnak
17056	Tekirdağ	Merkez	Tekirdağ
17086	Tokat	Merkez	Tokat
18857	Uşak	Banaz	Banaz Orman Sahası
17172	Van	Merkez	Van Bölge
17760	Yozgat	Boğazlıyan	Boğazlıyan

EK B

Çizelge B.1 : Ağrı istasyonuna ait Bahel modeli katsayıları.

	a	b	c	d
Ocak	0,077	-0,099	0,08939	0,0957
Şubat	0,2376	-0,3308	0,145	0,1002
Mart	0,3785	-0,536	0,2271	0,1212
Nisan	0,0032	0,00822	0,03267	0,1441
Mayıs	-0,0685	0,1917	-0,0581	0,1221
Haziran	-0,2951	0,5771	-0,2417	0,151
Temmuz	0,1508	-0,1932	0,1363	0,0969
Ağustos	-0,0177	0,0303	0,08119	0,1014
Eylül	-0,1689	0,2355	0,04279	0,097
Ekim	-0,3337	0,6011	-0,1941	0,1268
Kasım	-0,0354	0,05687	0,06629	0,0943
Aralık	0,3666	-0,5987	0,3176	0,0555
Kış	0,2357	-0,3627	0,1936	0,085
Bahar	0,0678	-0,0312	0,03745	0,115
Yaz	-0,1173	0,2411	-0,0548	0,1235
Güz	-0,2236	0,3802	-0,0684	0,1104
Yıllık	0,5718	-1,088	0,6471	0,4882

Çizelge B.2 : Ankara istasyonuna ait Bahel modeli katsayıları.

	a	b	c	d
Ocak	0,6615	-0,9504	0,4238	0,0577
Şubat	-0,4142	0,7076	-0,2435	0,1348
Mart	0,1822	-0,2596	0,1526	0,1096
Nisan	0,0301	-0,0115	0,08348	0,0883
Mayıs	0,183	-0,1994	0,1024	0,1055
Haziran	0,2988	-0,4003	0,2077	0,096
Temmuz	0,1642	-0,129	0,04526	0,1191
Ağustos	-0,17	0,4214	-0,1934	0,1437
Eylül	0,2546	-0,3679	0,1954	0,1184
Ekim	0,1693	-0,2053	0,1232	0,1077
Kasım	0,261	-0,4176	0,2585	0,0815
Aralık	0,386	-0,5965	0,3188	0,0692
Kış	0,1949	-0,2406	0,1334	0,0968
Bahar	0,1093	0,1112	0,08763	0,103
Yaz	0,0179	0,123	-0,0758	0,1355
Güz	0,3631	-0,5754	0,3265	0,0816
Yıllık	0,2668	-0,4341	0,2604	0,515

Çizelge B.3 : Artvin istasyonuna ait Bahel modeli katsayıları.

	a	b	c	d
Ocak	0,02121	-0,04299	0,1153	0,06937
Şubat	-0,2756	0,577	-0,249	0,1168
Mart	0,2928	-0,4165	0,2503	0,05561
Nisan	0,2113	-0,2224	0,1193	0,0776
Mayıs	0,1356	-0,1734	0,1371	0,07686
Haziran	0,4125	-0,5627	0,2644	0,07265
Temmuz	0,2589	-0,3489	0,1947	0,07478
Ağustos	0,1971	-0,2115	0,1191	0,08051
Eylül	0,3522	-0,4533	0,2148	0,07543
Ekim	0,09321	-0,06704	0,07675	0,07884
Kasım	0,05308	0,05551	-0,02774	0,09777
Aralık	-0,2672	0,6029	-0,2765	0,1259
Kış	-0,1162	0,2805	-0,08919	0,099
Bahar	0,203	-0,2571	0,1644	0,07092
Yaz	0,2861	-0,3713	0,1923	0,07621
Güz	0,1835	-0,1827	0,1013	0,08254
Yıllık	-0,08786	0,3477	-0,2252	0,5809

Çizelge B.4 : Kastamonu istasyonuna ait Bahel modeli katsayıları.

	a	b	c	d
Ocak	-0,0354	-0,0859	0,2332	0,04844
Şubat	0,1914	-0,3107	0,2144	0,07375
Mart	0,2802	-0,494	0,3248	0,07192
Nisan	0,1723	-0,2169	0,1487	0,08926
Mayıs	0,1707	-0,2335	0,1444	0,1028
Haziran	0,7081	-1,193	0,6117	0,05782
Temmuz	0,09927	-0,2121	0,2109	0,09448
Ağustos	-0,0783	0,2082	-0,0668	0,1333
Eylül	0,7703	-1,263	0,6153	0,07713
Ekim	0,4505	-0,6666	0,3157	0,09539
Kasım	0,3859	-0,6018	0,3185	0,08045
Aralık	0,2297	-0,3944	0,2738	0,06596
Kış	0,1559	-0,3015	0,2516	0,06254
Bahar	0,2036	-0,3056	0,2008	0,08802
Yaz	0,249	-0,4202	0,2709	0,09146
Güz	0,5846	-0,9321	0,4652	0,07765
Yıllık	0,62	-1,056	0,5161	0,5144

Çizelge B.5 : Isparta istasyonuna ait Bahel modeli katsayıları.

	a	b	c	d
Ocak	0,1333	-0,3897	0,3781	0,06213
Şubat	0,3476	-0,645	0,435	0,05227
Mart	-0,1604	0,3095	-0,0756	0,1256
Nisan	0,5035	-0,7511	0,368	0,0805
Mayıs	0,1198	-0,1407	0,1193	0,0988
Haziran	0,5641	-0,845	0,3729	0,1073
Temmuz	0,01324	0,07628	-0,0298	0,1296
Ağustos	0,5409	0,8987	0,4928	0,04141
Eylül	0,6832	-0,3958	0,2464	0,0827
Ekim	0,2673	-0,3958	0,2464	0,0827
Kasım	0,331	-0,5582	0,3506	0,07028
Aralık	0,3208	-0,5228	0,3038	0,07924
Kış	0,1307	-0,4111	0,4046	0,06052
Bahar	0,1621	-0,2092	0,1462	0,1
Yaz	0,3443	-0,4943	0,227	0,1102
Güz	0,305	-0,5205	0,3477	0,0672
Yıllık	0,8613	-1,492	0,7215	0,492

Çizelge B.6 : Kırklareli istasyonuna ait Bahel modeli katsayıları.

	a	b	c	d
Ocak	-0,2167	0,4751	-0,2277	0,132
Şubat	-0,2704	0,5775	-0,2802	0,1471
Mart	0,1361	-0,1929	0,1541	0,08405
Nisan	0,2196	-0,3532	0,2488	0,07678
Mayıs	0,1042	-0,1046	0,09333	0,09715
Haziran	0,1483	-0,2853	0,2725	0,05315
Temmuz	0,0301	-0,0097	0,0906	0,08215
Ağustos	0,224	-0,3705	0,2703	0,06859
Eylül	0,2604	-0,433	0,3002	0,06618
Ekim	0,2943	-0,4636	0,2871	0,07285
Kasım	0,33	-0,5563	0,3561	0,04705
Aralık	0,1842	-0,2501	0,1691	0,07107
Kış	-0,1081	0,2696	-0,1055	0,1139
Bahar	0,1553	-0,2194	0,1664	0,08606
Yaz	0,1537	-0,2607	0,2351	0,06343
Güz	0,2835	-0,4504	0,2914	0,06582
Yıllık	0,8609	-1,416	0,6932	0,4747

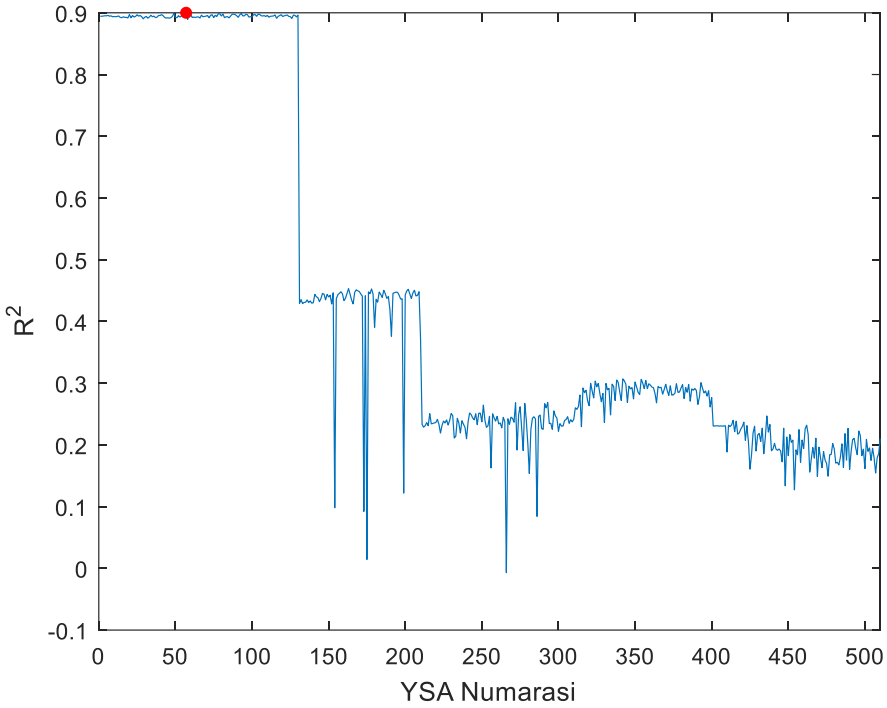
Çizelge B.7 : Mardin istasyonuna ait Bahel modeli katsayıları.

	a	b	c	d
Ocak	-0,0049	-0,0598	0,1853	0,06003
Şubat	-0,2487	0,5386	-0,2318	0,1389
Mart	-0,1071	0,2146	-0,0342	0,1247
Nisan	0,08792	-0,1154	0,1369	0,07609
Mayıs	0,1058	-0,1257	0,1226	0,0881
Haziran	0,6064	-1,008	0,5568	0,04491
Temmuz	0,4468	-0,6794	0,3707	0,05459
Ağustos	0,02146	0,1233	-0,1322	0,1819
Eylül	-0,0058	0,06579	-0,0402	0,1733
Ekim	-0,1193	0,2178	-0,0106	0,1018
Kasım	-0,0007	0,00172	0,09052	0,09928
Aralık	0,06916	-0,3002	0,3872	0,04286
Kış	-0,021	-0,0259	0,168	0,07067
Bahar	-0,1129	0,2462	-0,0552	0,1125
Yaz	0,56	-0,8863	0,4521	0,06999
Güz	-0,0002	0,00145	0,09161	0,09891
Yıllık	0,00072	0,00761	-0,0814	0,6488

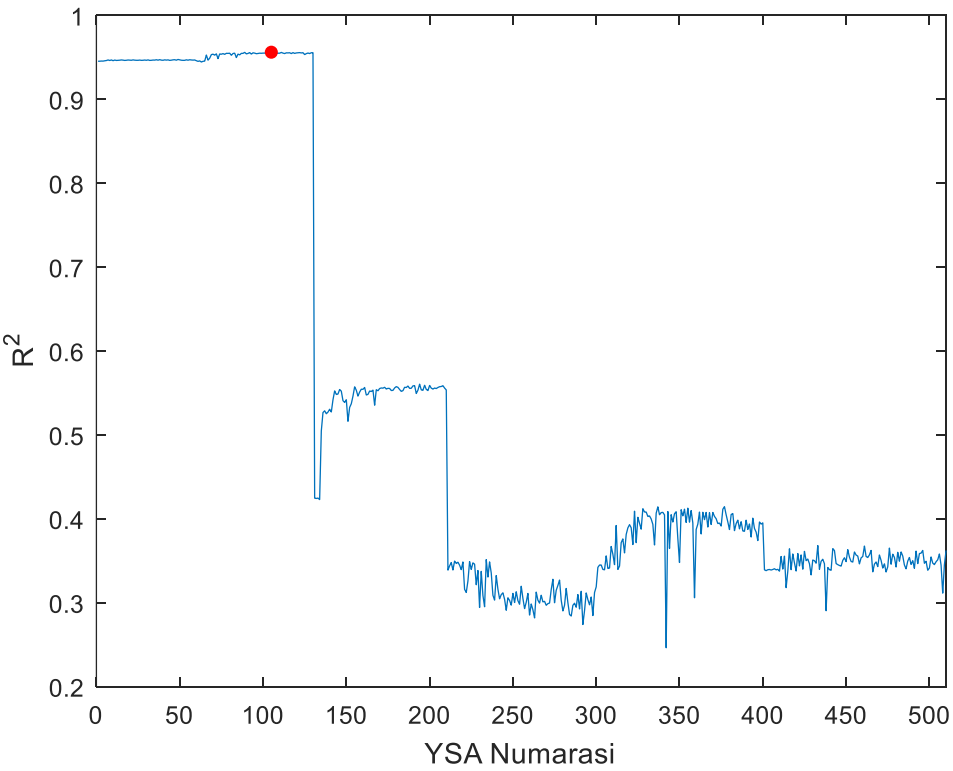
Çizelge B.8 : Muğla istasyonuna ait Bahel modeli katsayıları.

	a	b	c	d
Ocak	-0,6031	1,053	-0,4138	0,1474
Şubat	-0,2332	0,4611	-0,1339	0,0993
Mart	0,879	-1,499	0,8134	-0,0037
Nisan	0,05583	-0,0775	0,1496	0,06615
Mayıs	0,3492	-0,5522	0,321	0,06924
Haziran	0,4565	-0,6613	0,3018	0,09627
Temmuz	0,5829	-1,049	0,6511	0,00948
Ağustos	0,1629	-0,1894	0,1297	0,09737
Eylül	0,5849	-0,9374	0,5177	0,04006
Ekim	0,04964	-0,0246	0,09106	0,08489
Kasım	0,1661	-0,2837	0,2127	0,09597
Aralık	0,489	-0,6849	0,3303	0,05523
Kış	-0,1664	0,3467	-0,0912	0,1003
Bahar	0,4012	-0,6619	0,4027	0,04844
Yaz	0,4876	-0,7957	0,4508	0,05351
Güz	0,2665	-0,378	0,2319	0,08146
Yıllık	-0,0707	0,1035	0,04275	0,5214

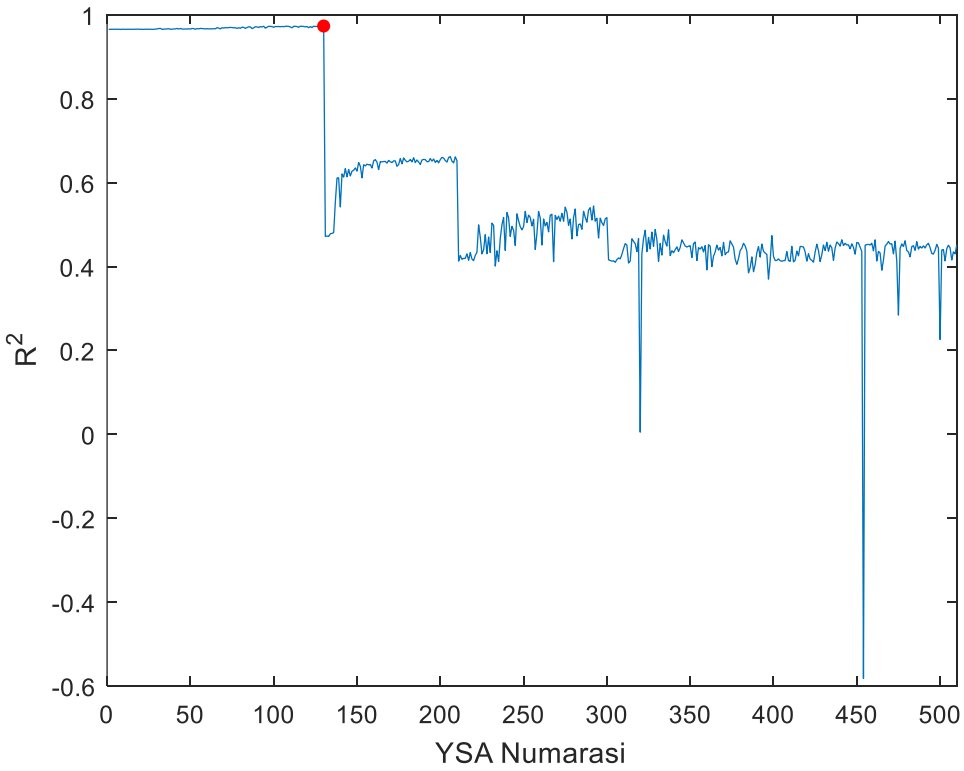
EK C



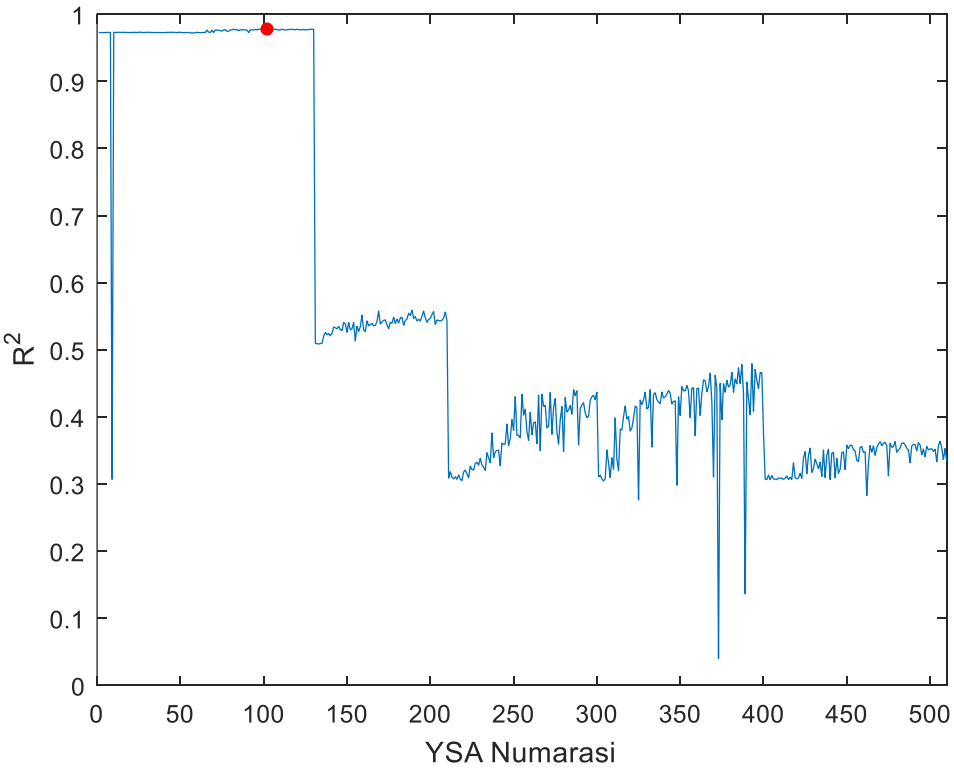
Şekil C.1 : Ağrı istasyonu kış aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



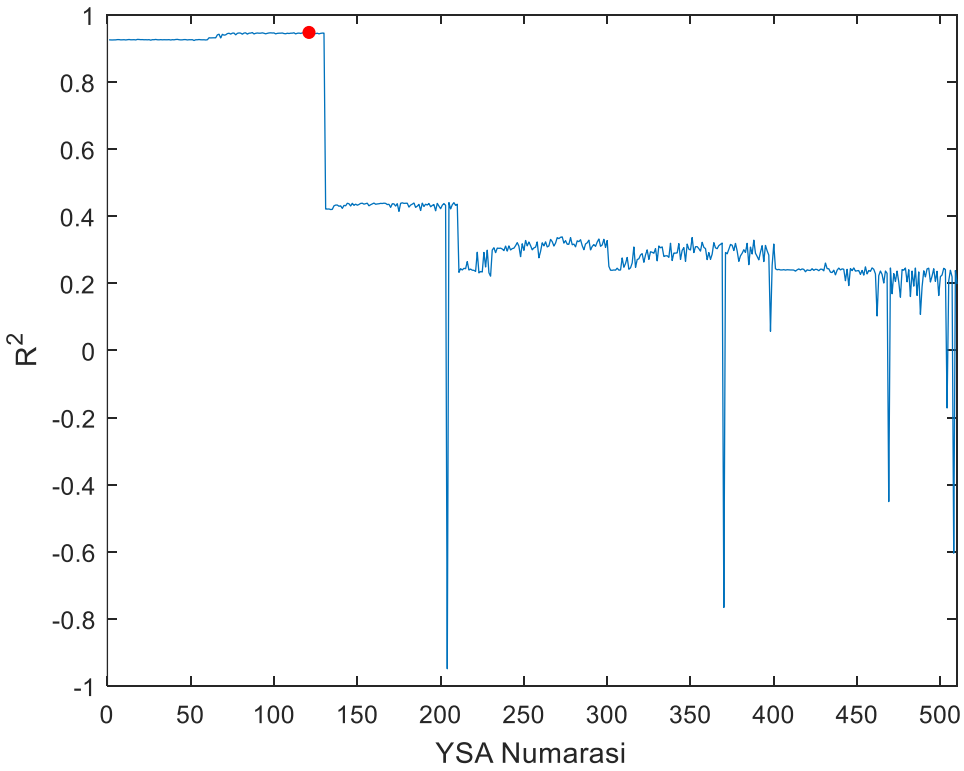
Şekil C.2 : Ağrı istasyonu bahar aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



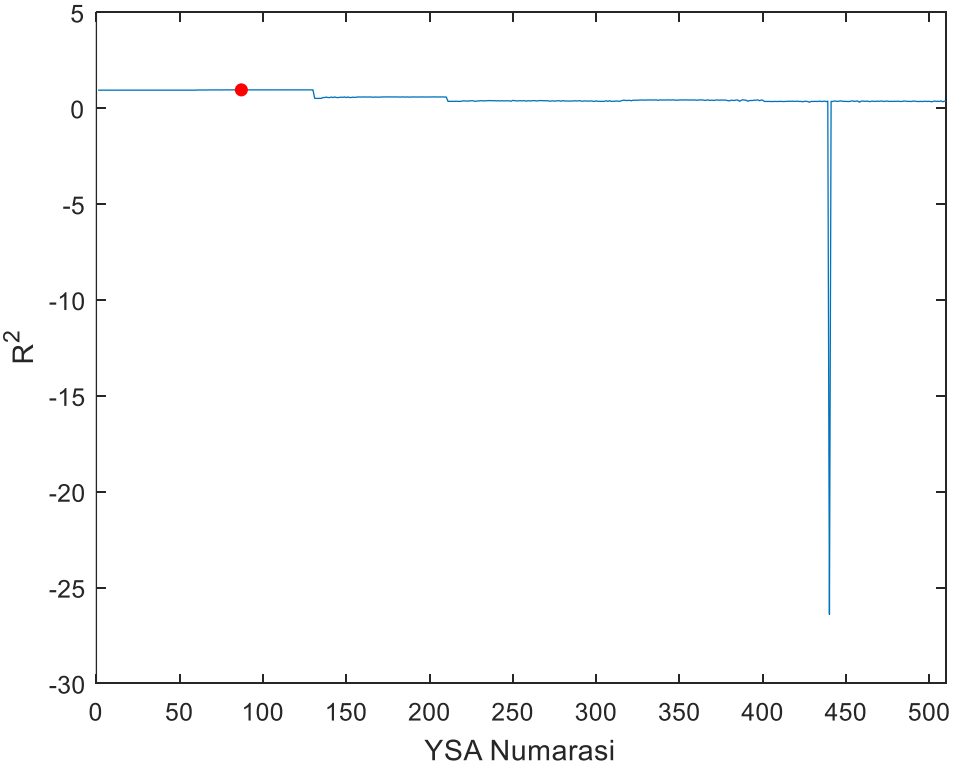
Şekil C.3 : Ağrı istasyonu yaz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



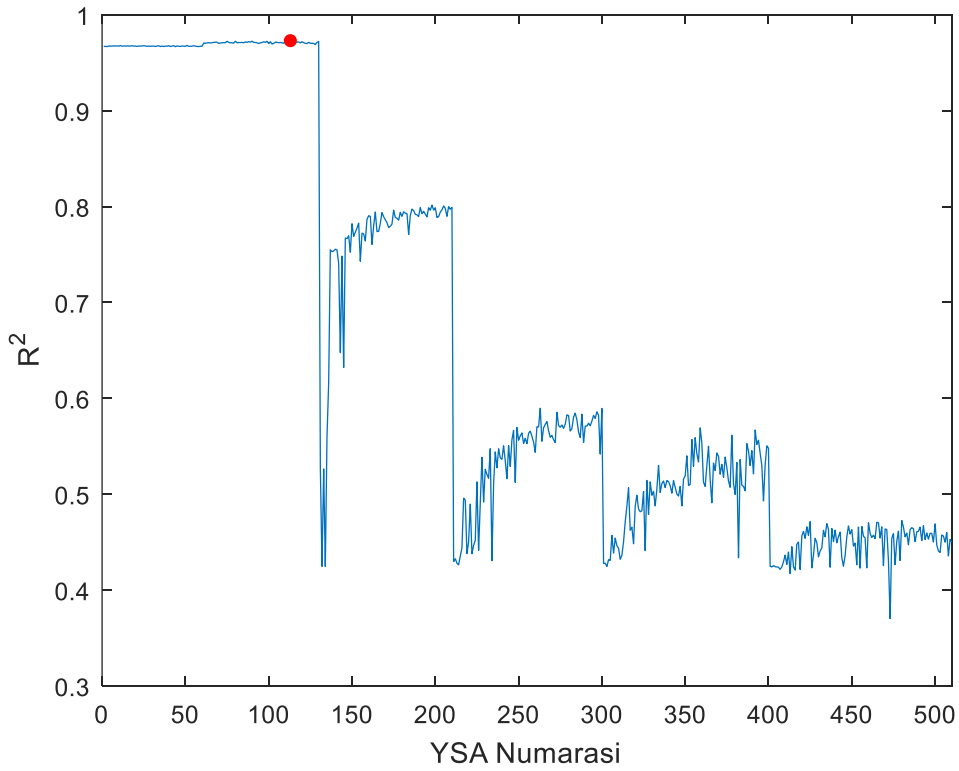
Şekil C.4 : Ağrı istasyonu güz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



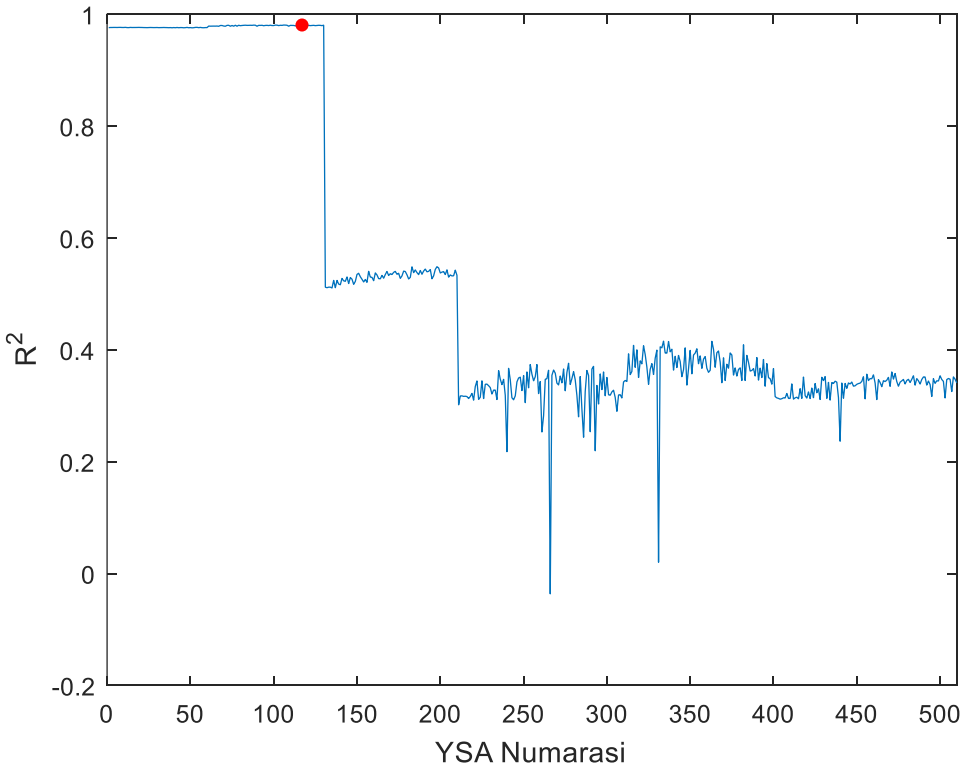
Şekil C.5 : Ankara istasyonu kış aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



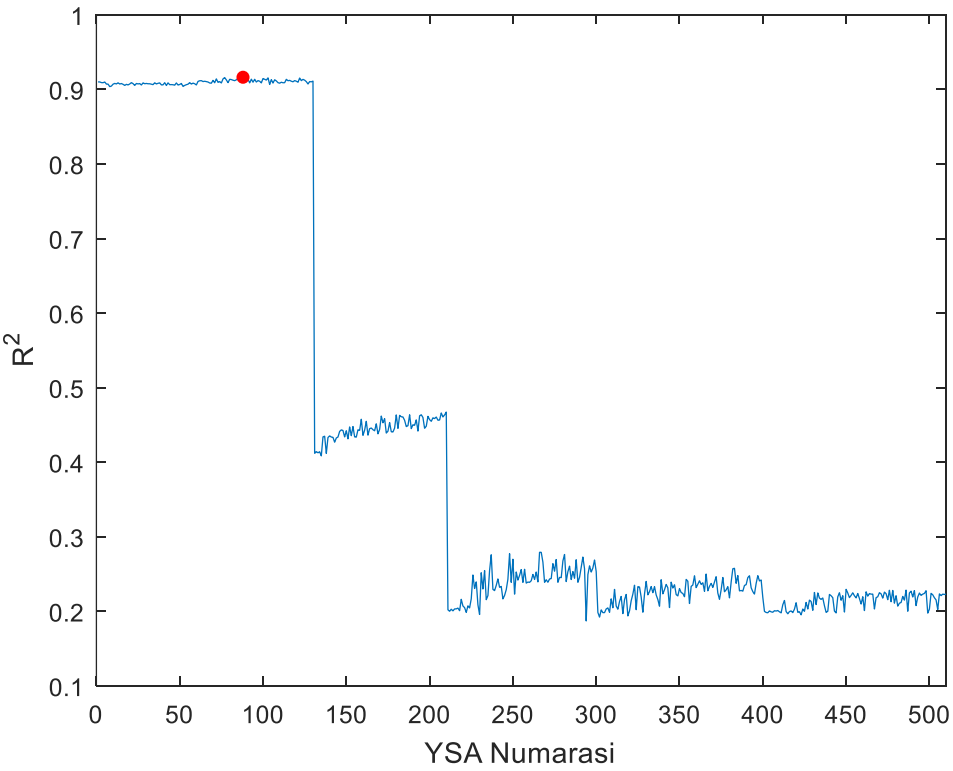
Şekil C.6 : Ankara istasyonu bahar aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



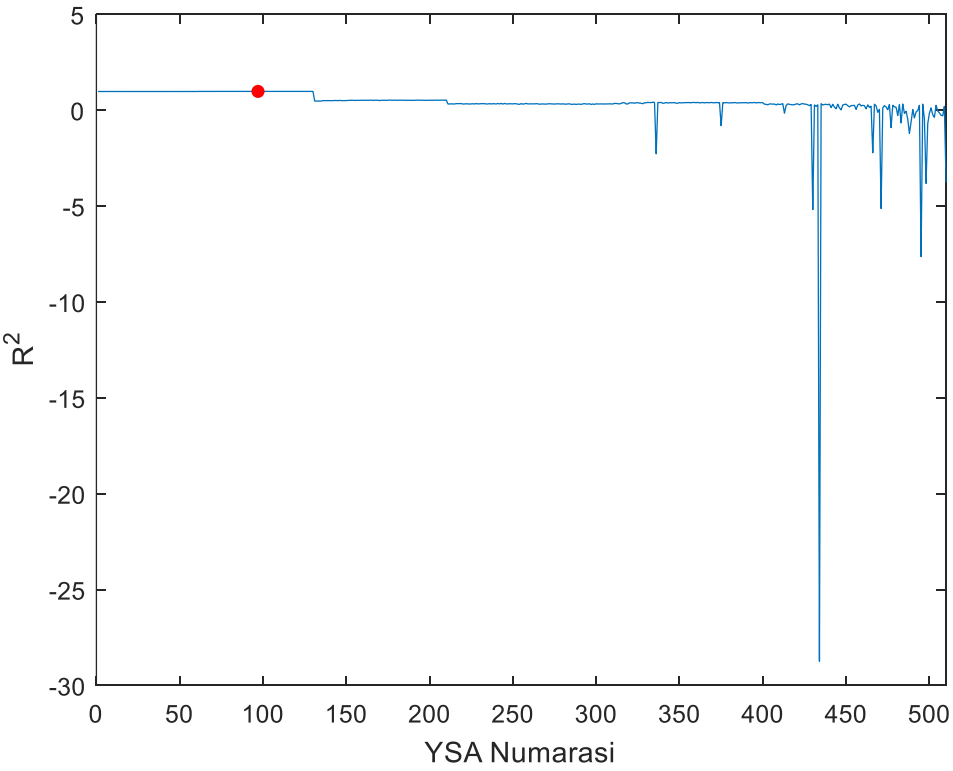
Şekil C.7 : Ankara istasyonu yaz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



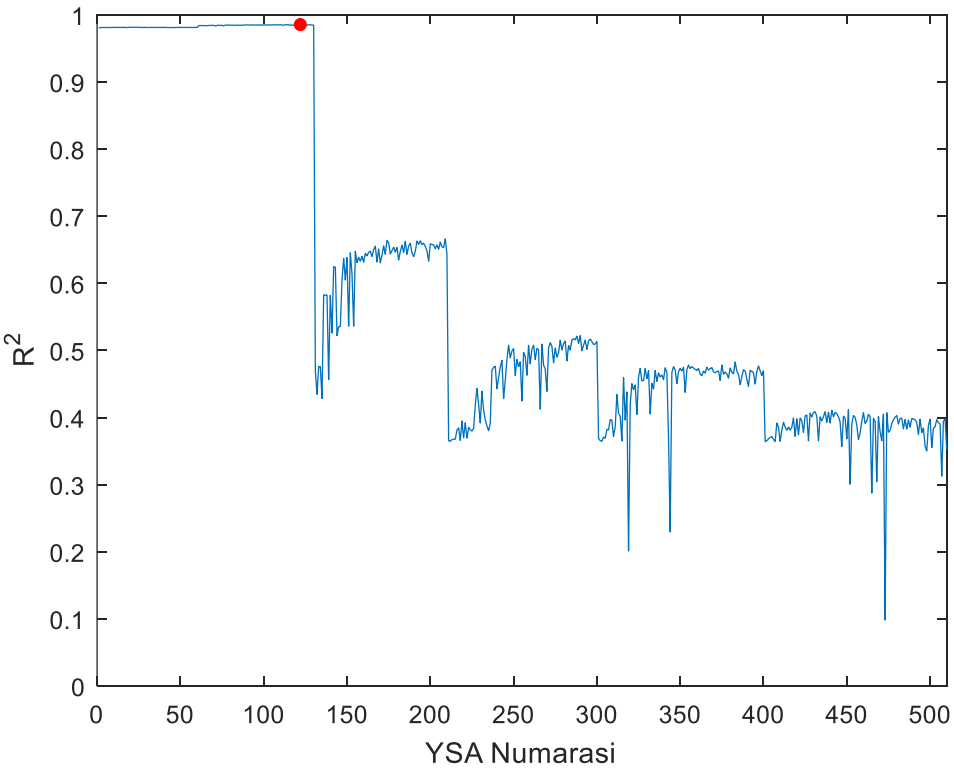
Şekil C.8 : Ankara istasyonu güz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



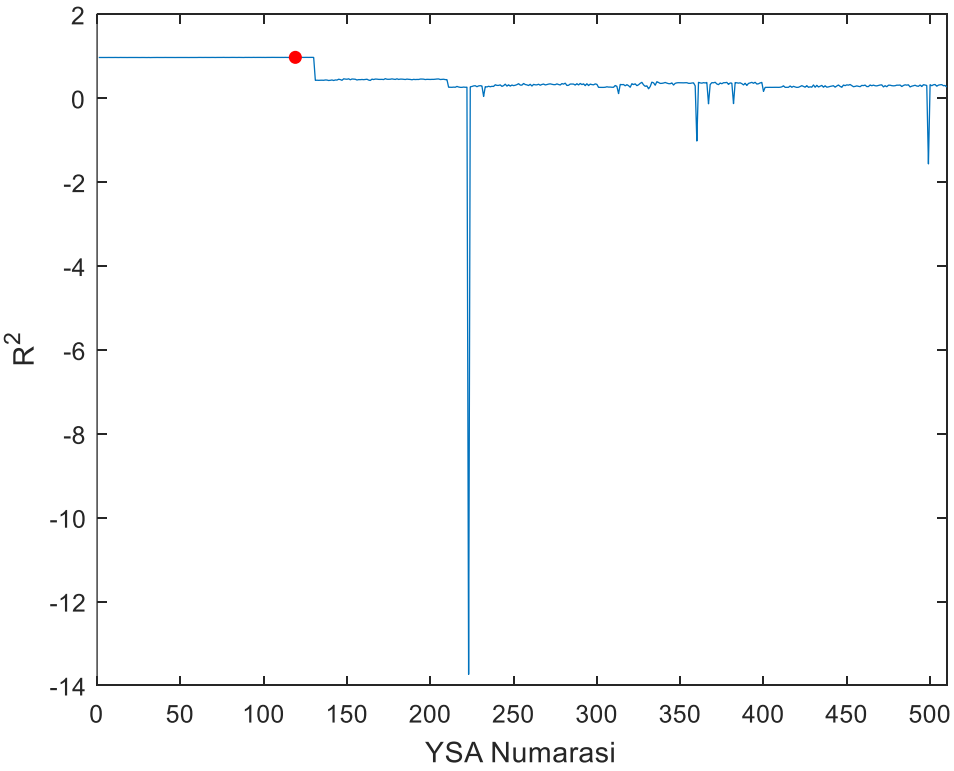
Şekil C.9 : Artvin istasyonu kış aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



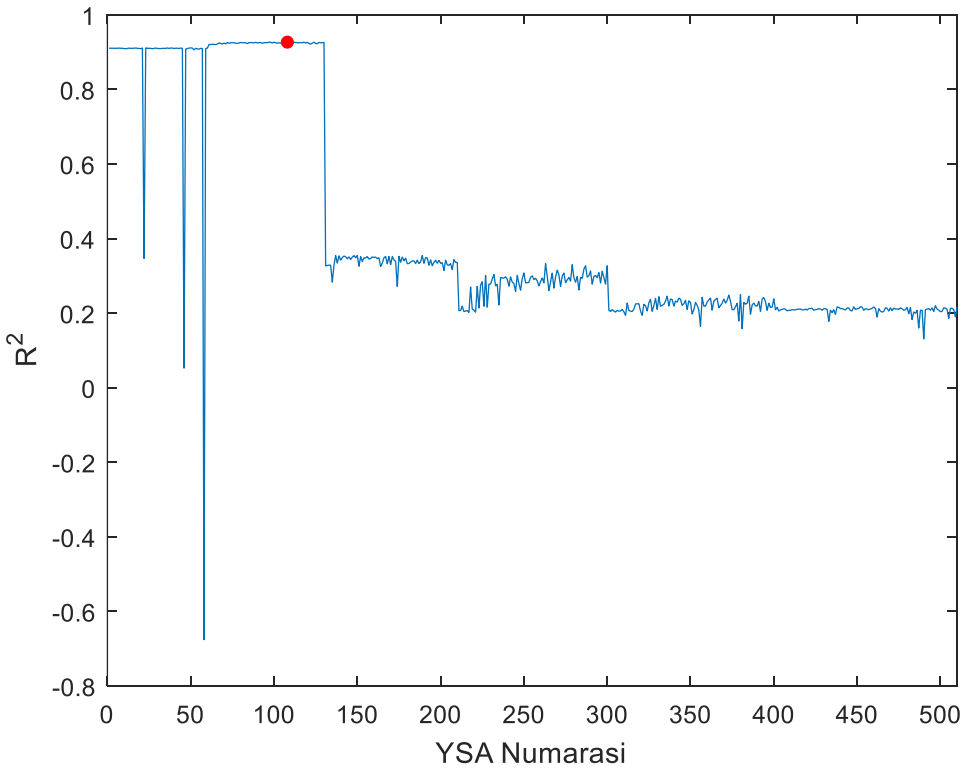
Şekil C.10 : Artvin istasyonu bahar aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



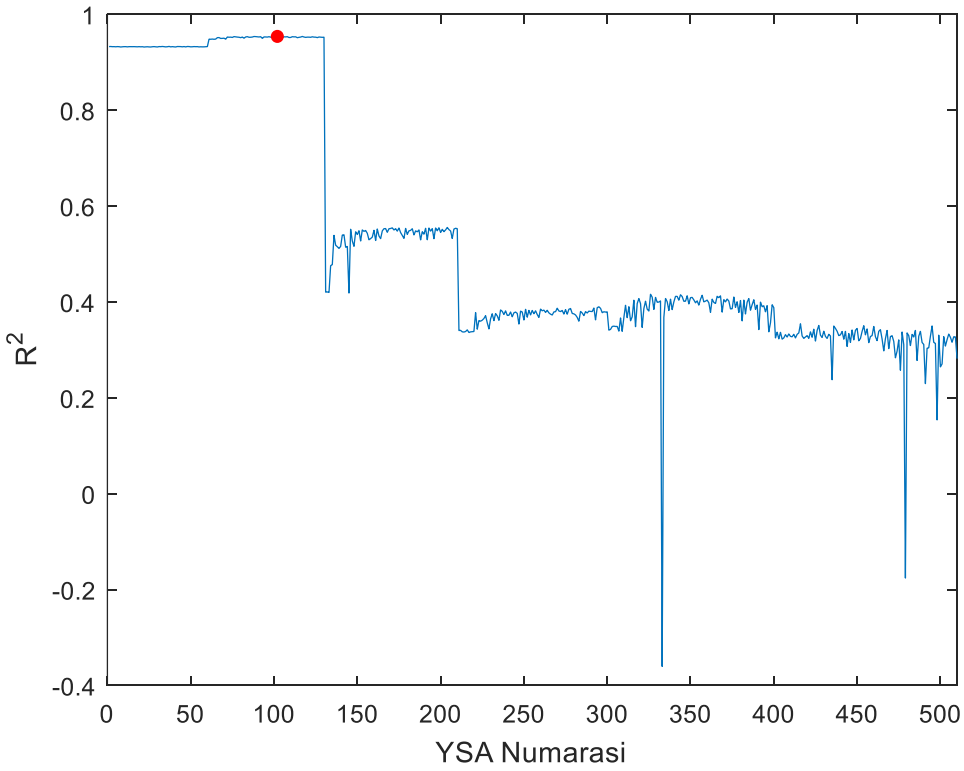
Şekil C.11 : Artvin istasyonu yaz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



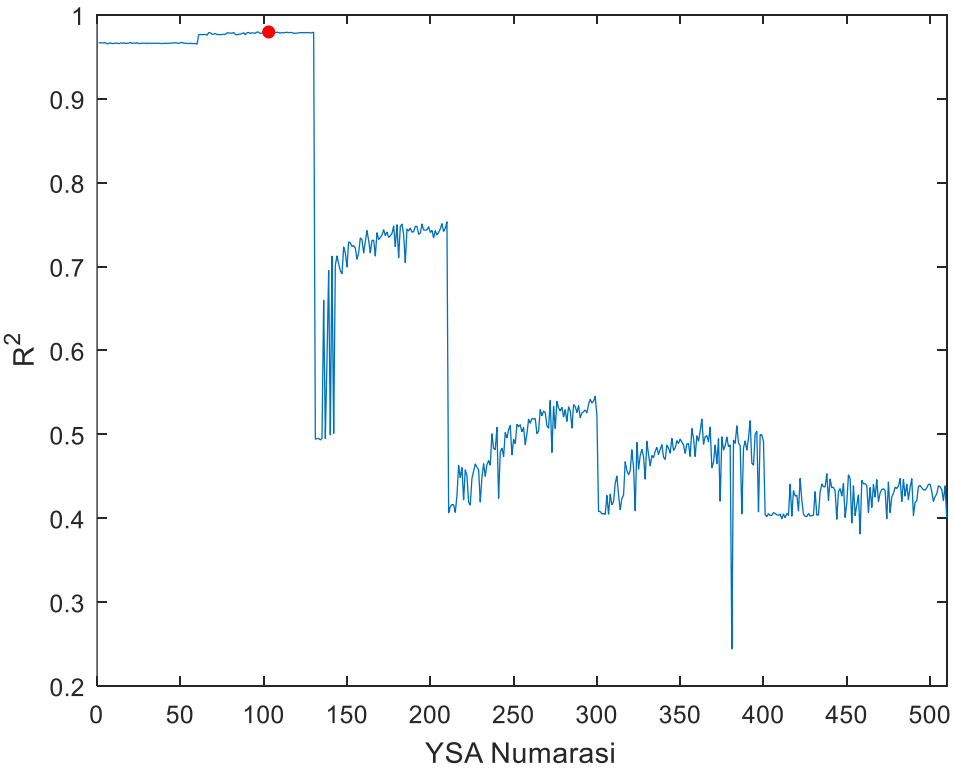
Şekil C.12 : Artvin istasyonu güz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



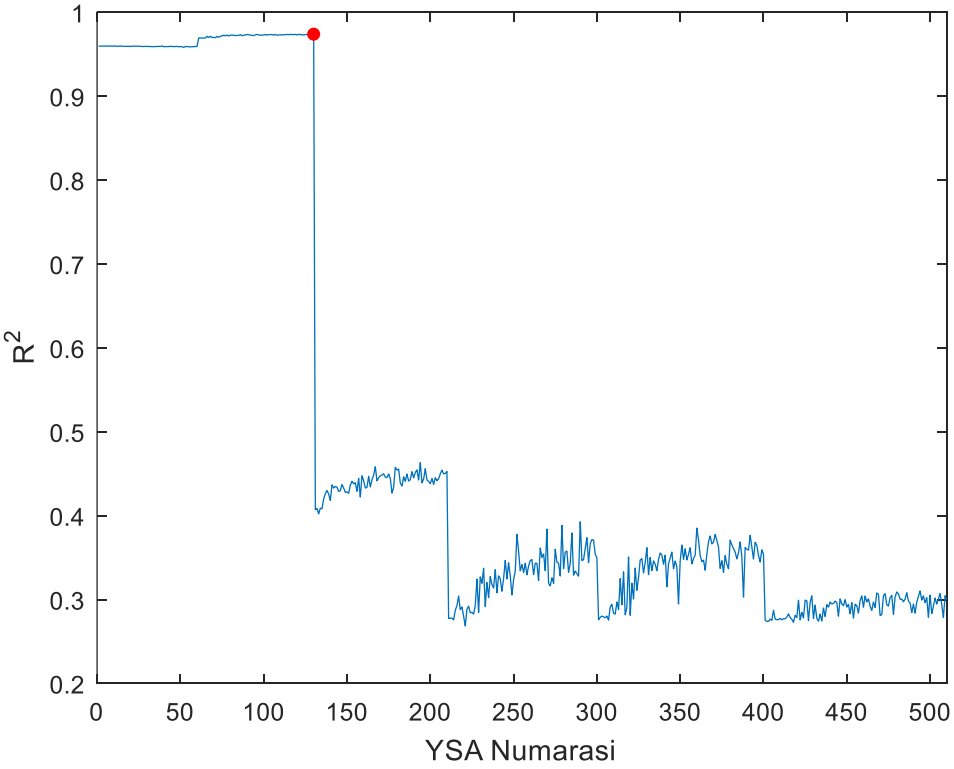
Şekil C.13 : Kastamonu istasyonu kış aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



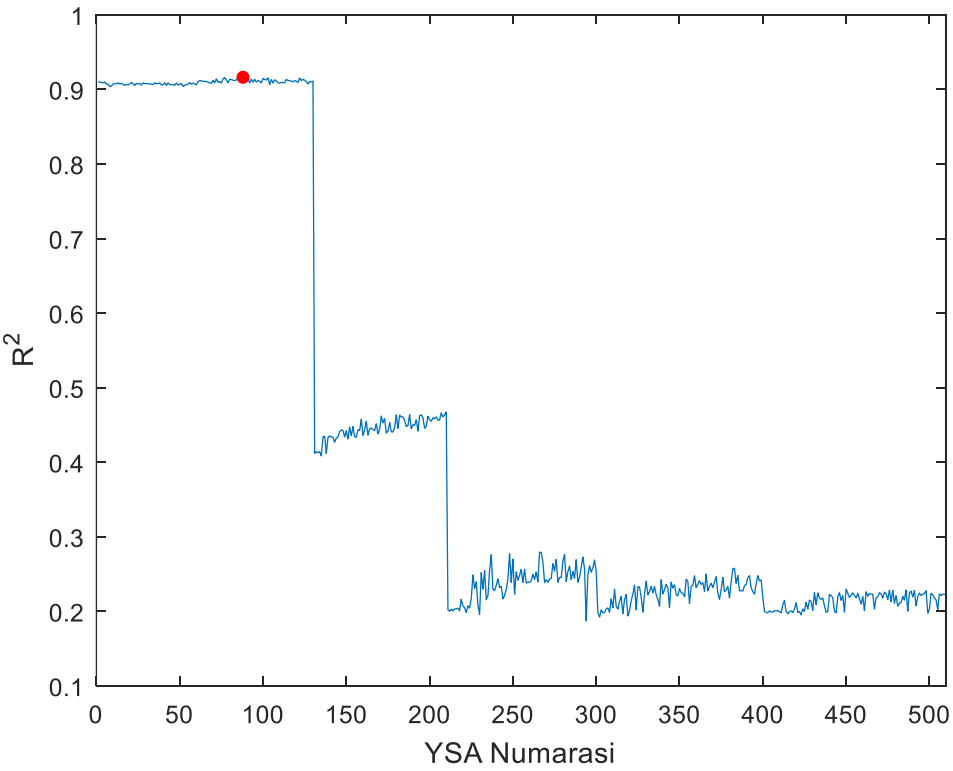
Şekil C.14 : Kastamonu istasyonu bahar aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



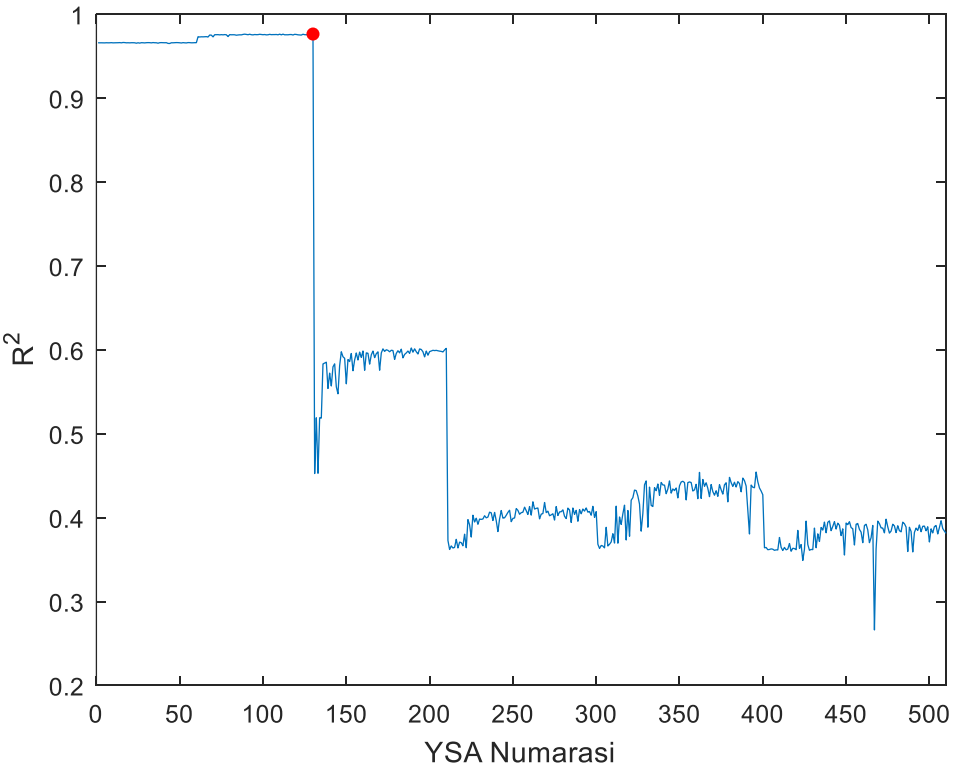
Şekil C.15 : Kastamonu istasyonu yaz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



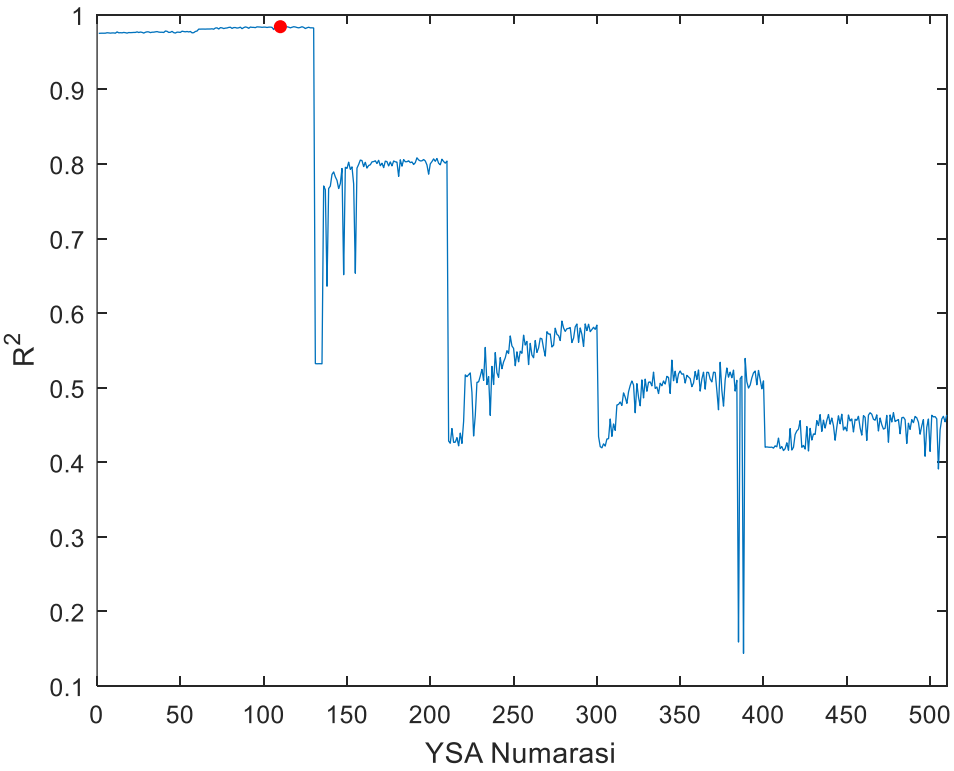
Şekil C.16 : Kastamonu istasyonu güz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



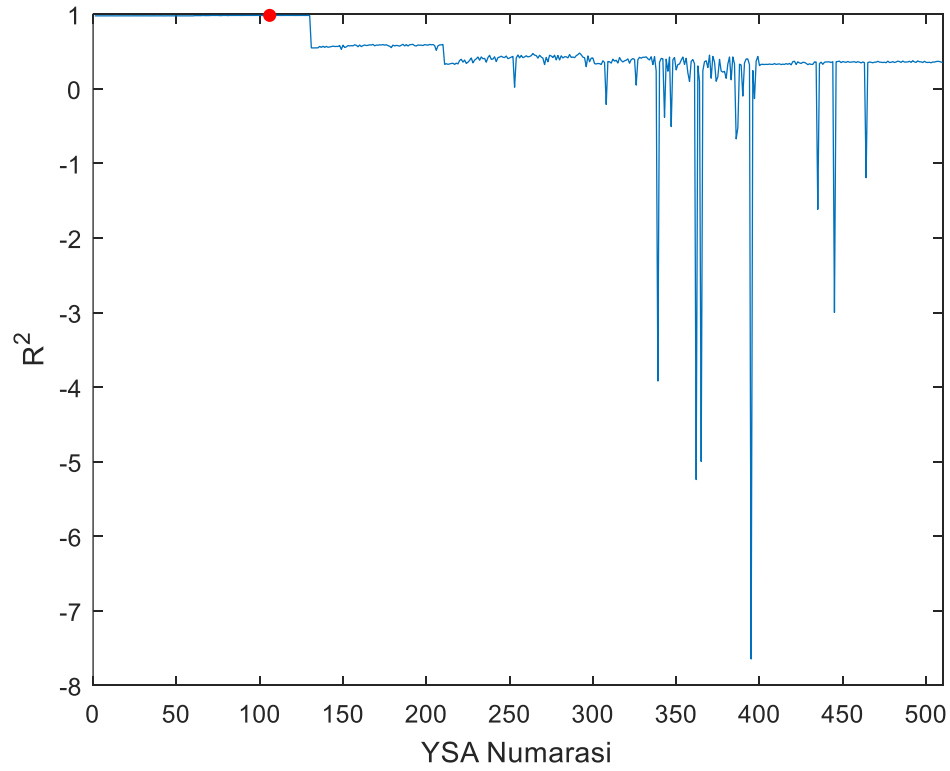
Şekil C.17 : Isparta istasyonu kış aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



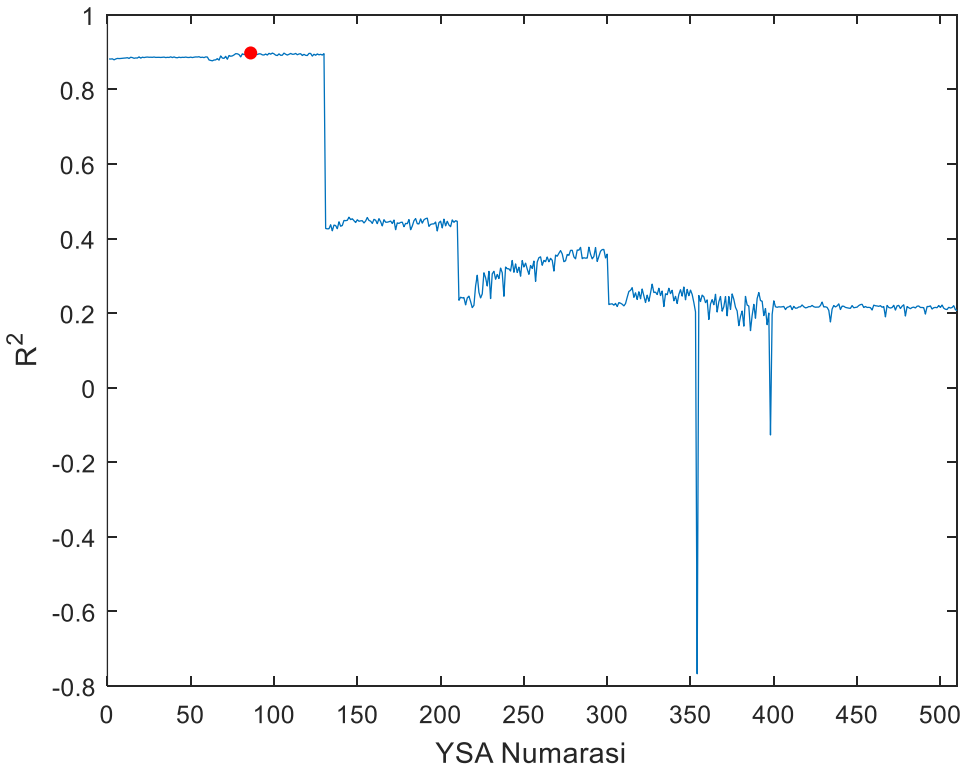
Şekil C.18 : Isparta istasyonu bahar aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



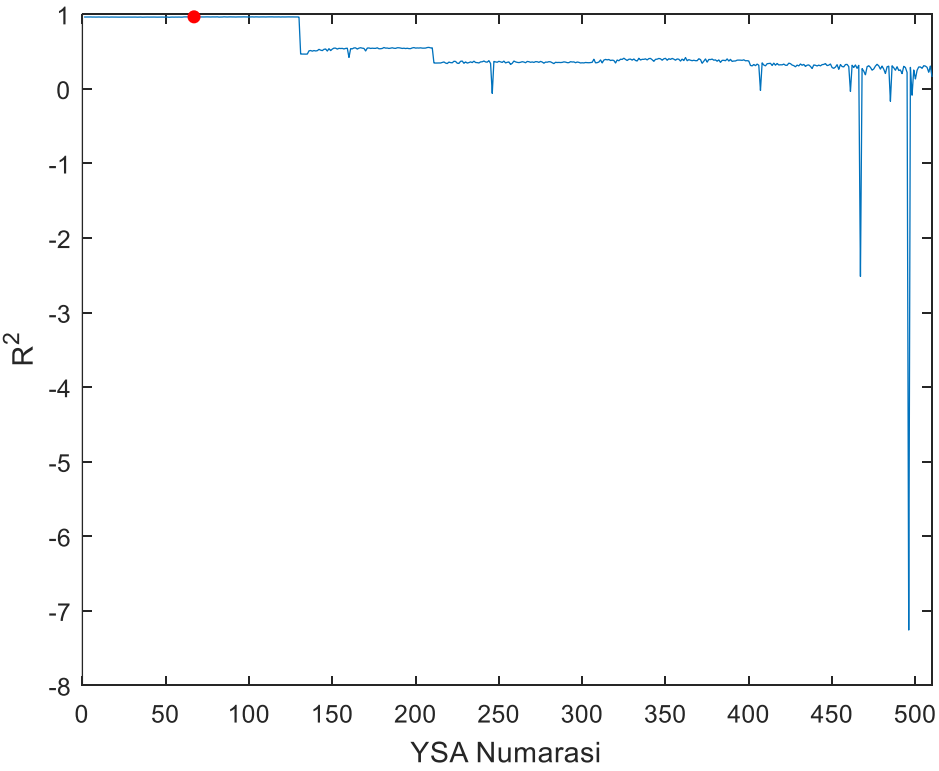
Şekil C.19 : Isparta istasyonu yaz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



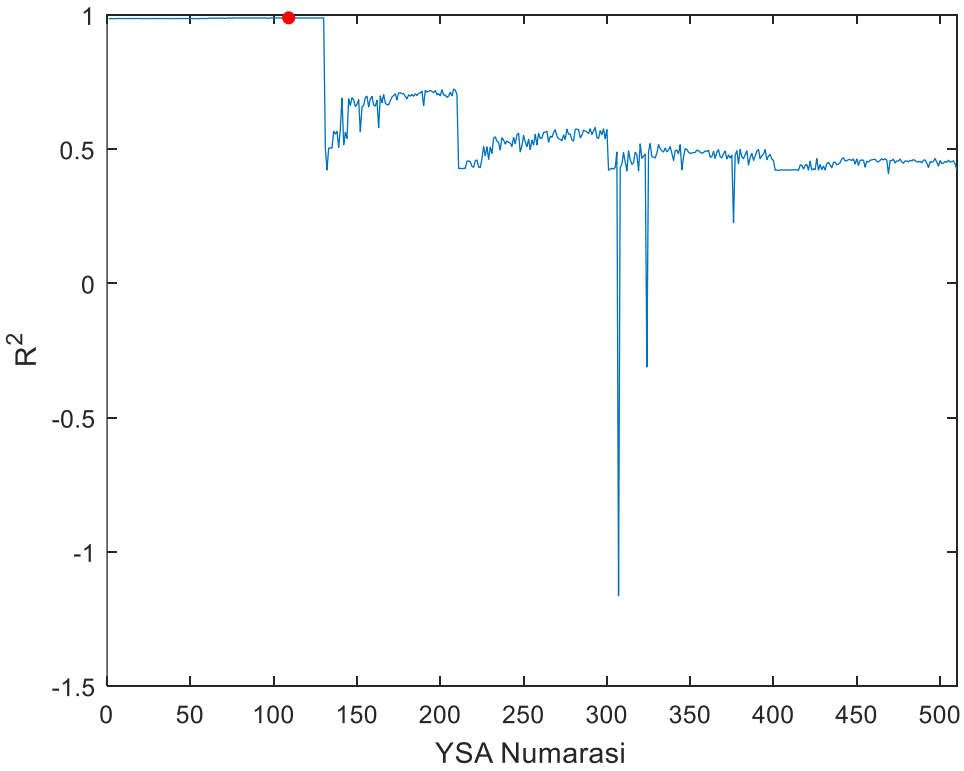
Şekil C.20 : Isparta istasyonu güz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



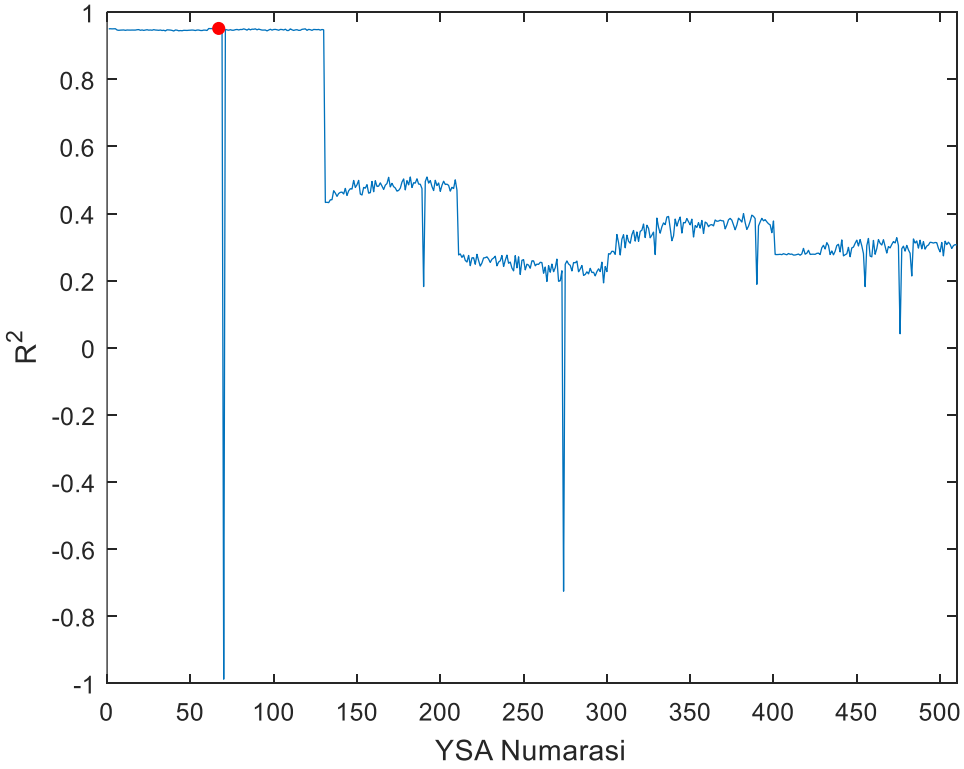
Şekil C.21 : Kırklareli istasyonu kış aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



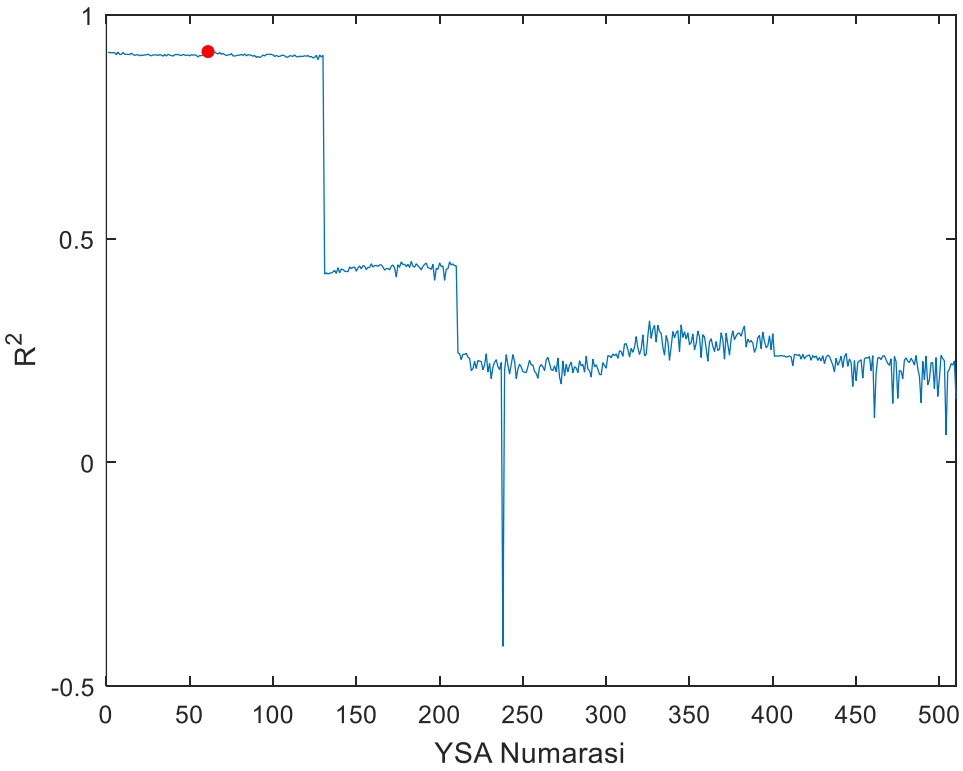
Şekil C.22 : Kırklareli istasyonu bahar aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



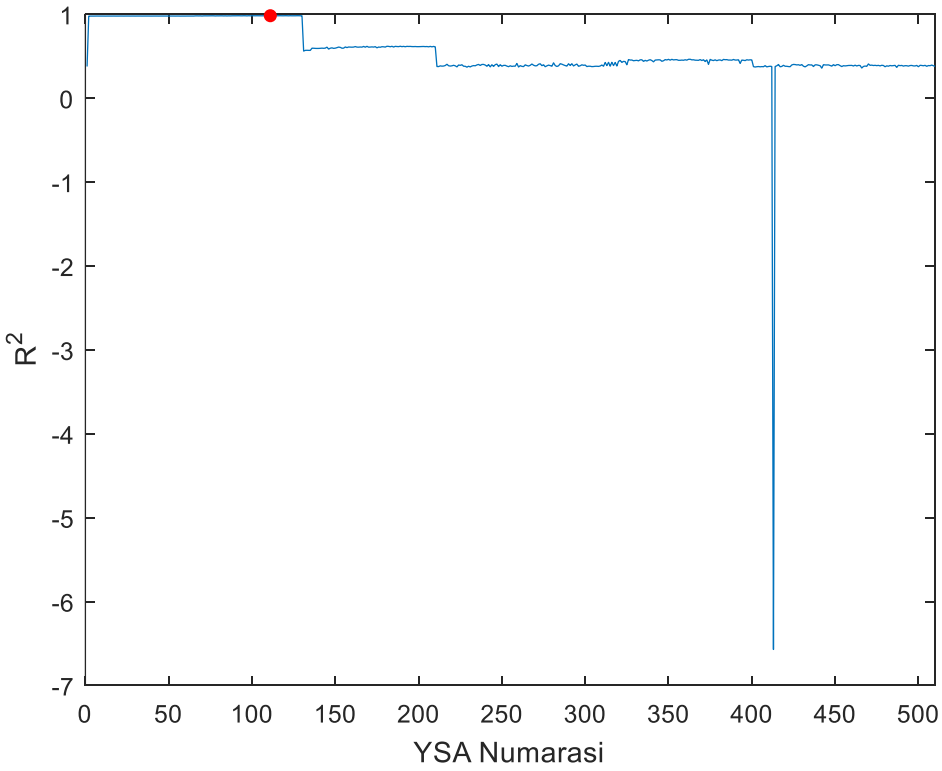
Şekil C.23 : Kırklareli istasyonu yaz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



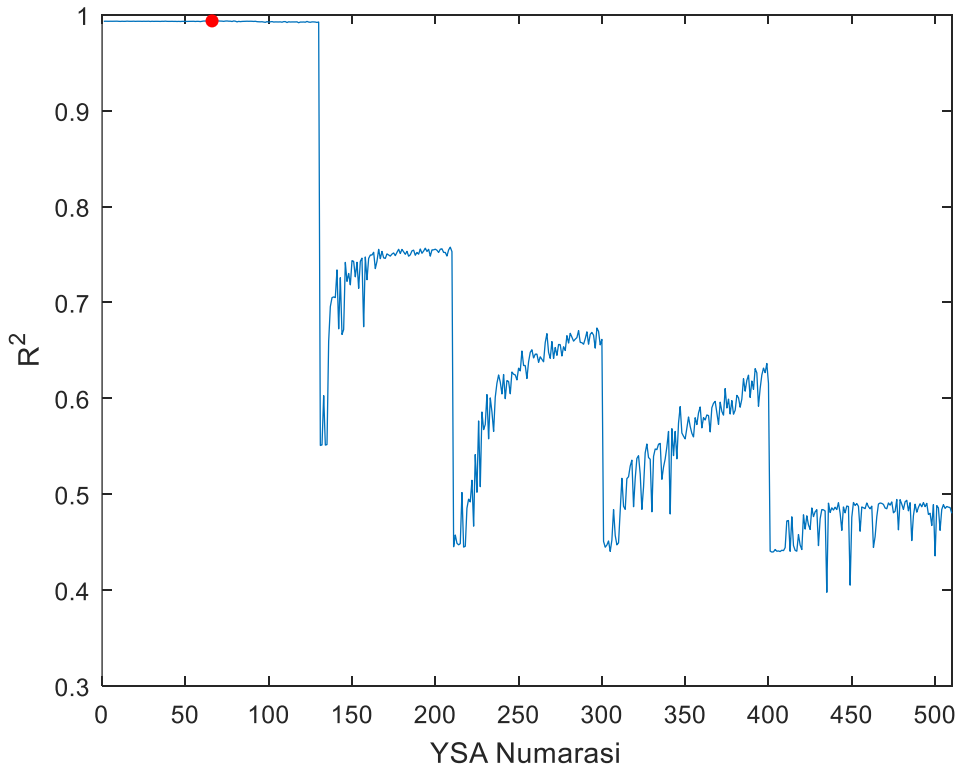
Şekil C.24 : Kırklareli istasyonu güz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



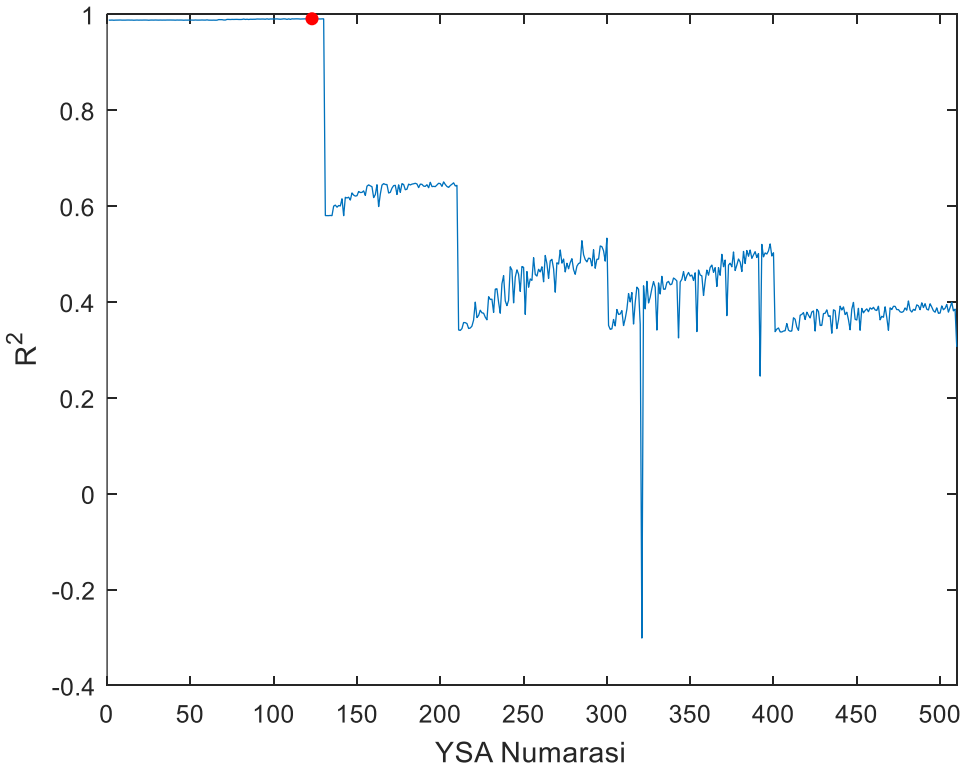
Şekil C.25 : Mardin istasyonu kış aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



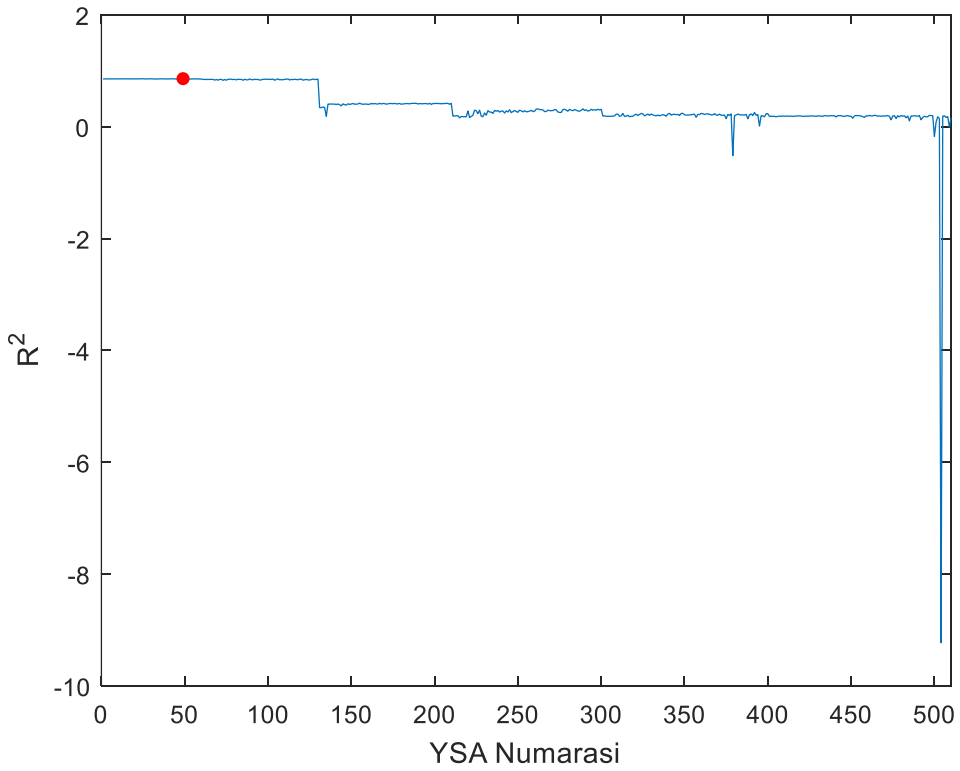
Şekil C.26 : Mardin istasyonu bahar aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



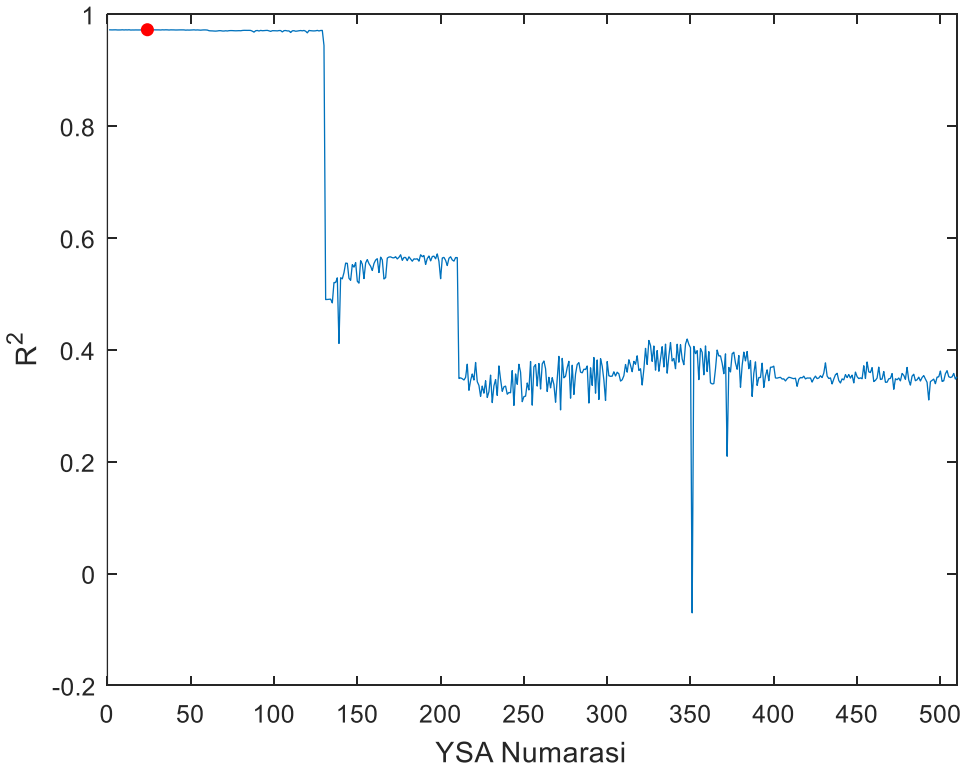
Şekil C.27 : Mardin istasyonu yaz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



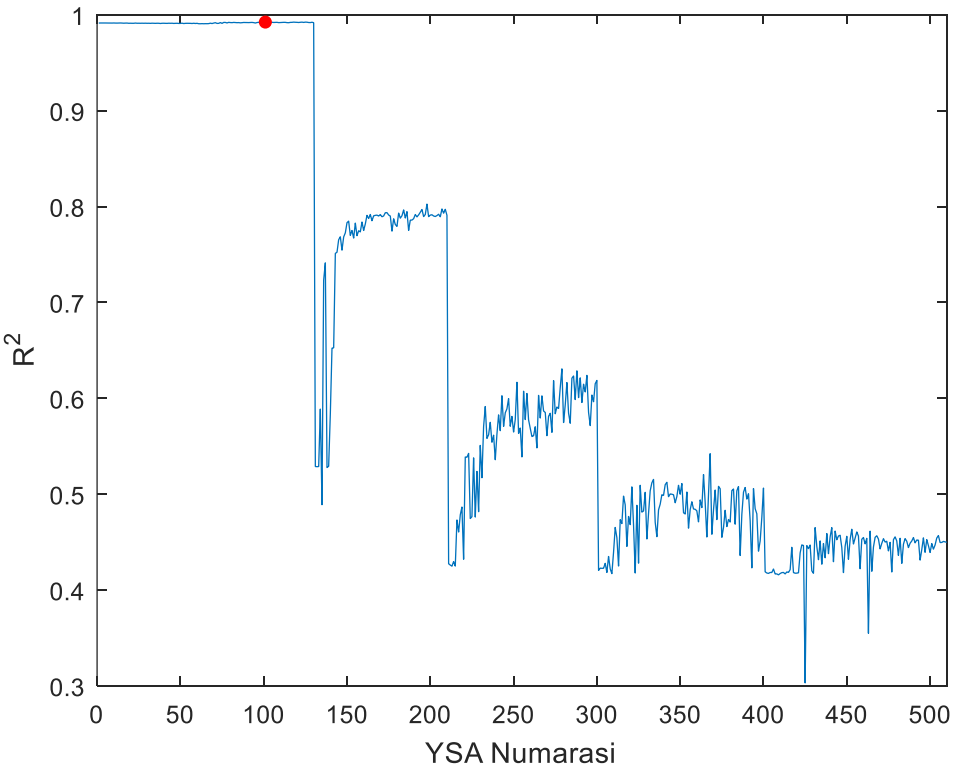
Şekil C.28 : Mardin istasyonu güz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



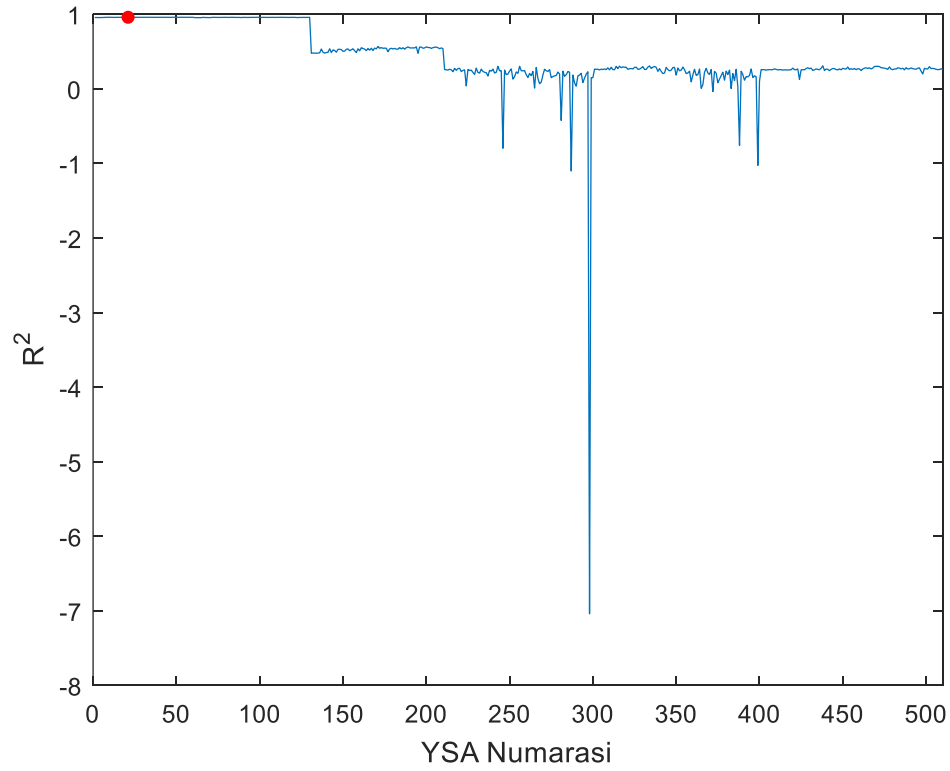
Şekil C.29 : Muğla istasyonu kış aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



Şekil C.30 : Muğla istasyonu bahar aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.



Şekil C.31 : Muğla istasyonu yaz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.

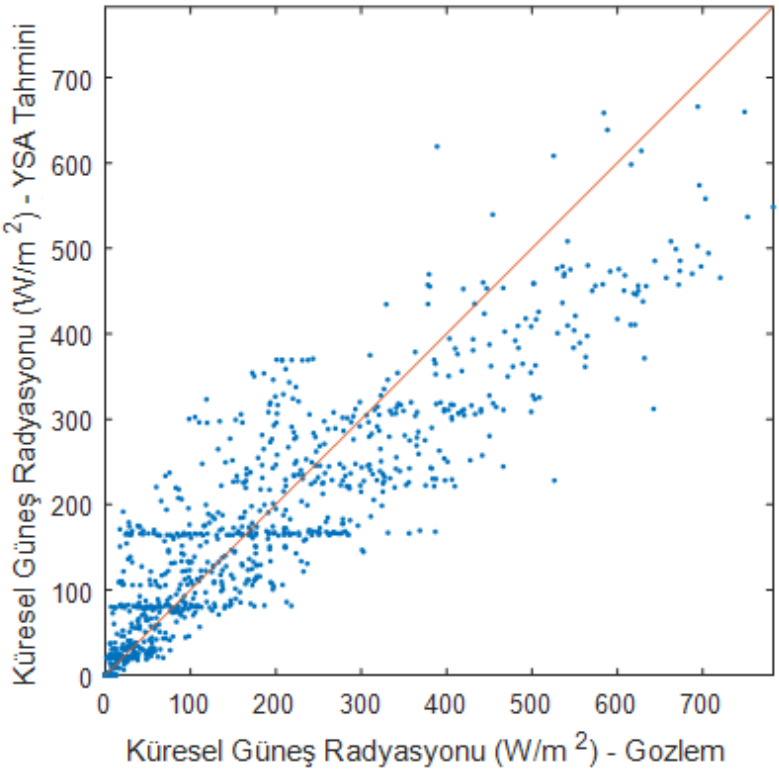


Şekil C.32 : Muğla istasyonu güz aylarına ait R^2 değerinin YSA iterasyon numarasına göre değişimi.

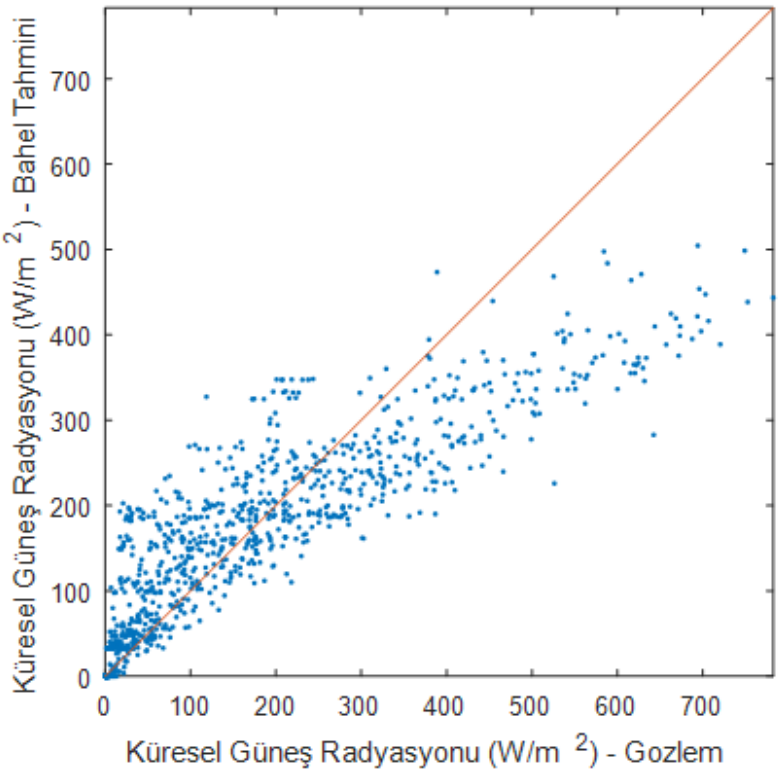
Çizelge C.1 : Yapay sinir ağları yapılarına ait bilgiler.

İstasyon	Mevsimler	Giriş tabakası nod sayısı (k)	Gizli tabaka nöron sayısı (h)	Ağın koşulma sayısı (ii)
Ağrı	Kış	1	12	2
Ağrı	Bahar	2	9	5
Ağrı	Yaz	2	14	5
Ağrı	Güz	2	9	2
Ankara	Kış	2	13	1
Ankara	Bahar	2	6	2
Ankara	Yaz	2	11	3
Ankara	Güz	2	12	2
Artvin	Kış	2	6	3
Artvin	Bahar	2	8	2
Artvin	Yaz	2	13	2
Artvin	Güz	2	12	4
Kastamonu	Kış	2	10	3
Kastamonu	Bahar	2	9	2
Kastamonu	Yaz	2	9	3
Kastamonu	Güz	2	14	5
Isparta	Kış	2	10	1
Isparta	Bahar	2	14	5
Isparta	Yaz	2	10	5
Isparta	Güz	2	10	1
Kırklareli	Kış	2	6	1
Kırklareli	Bahar	2	2	2
Kırklareli	Yaz	2	10	4
Kırklareli	Güz	2	2	2
Mardin	Kış	2	1	1
Mardin	Bahar	2	11	1
Mardin	Yaz	2	2	1
Mardin	Güz	2	13	3
Muğla	Kış	1	10	4
Muğla	Bahar	1	5	4
Muğla	Yaz	2	9	1
Muğla	Güz	1	5	1

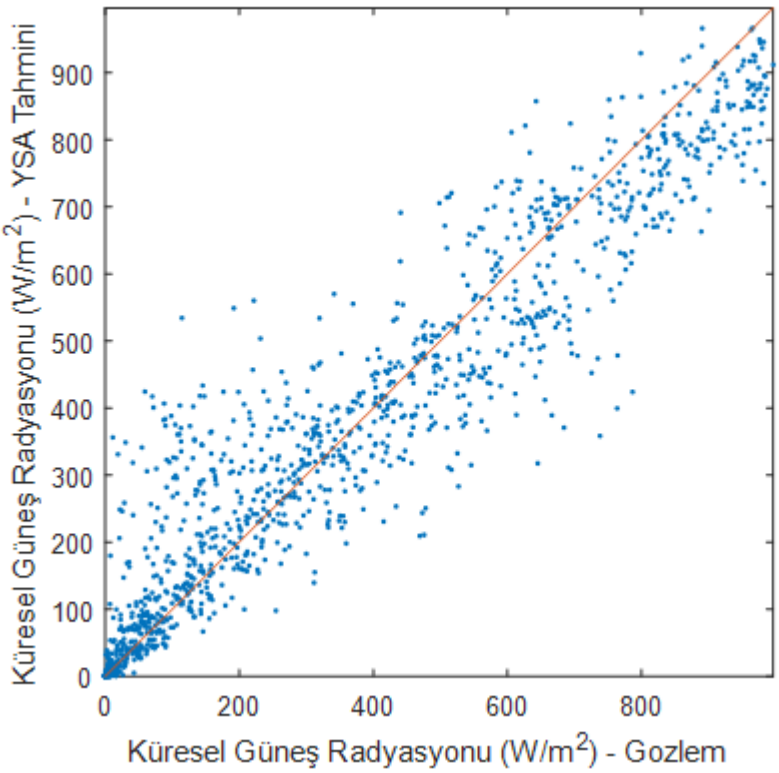
EK D



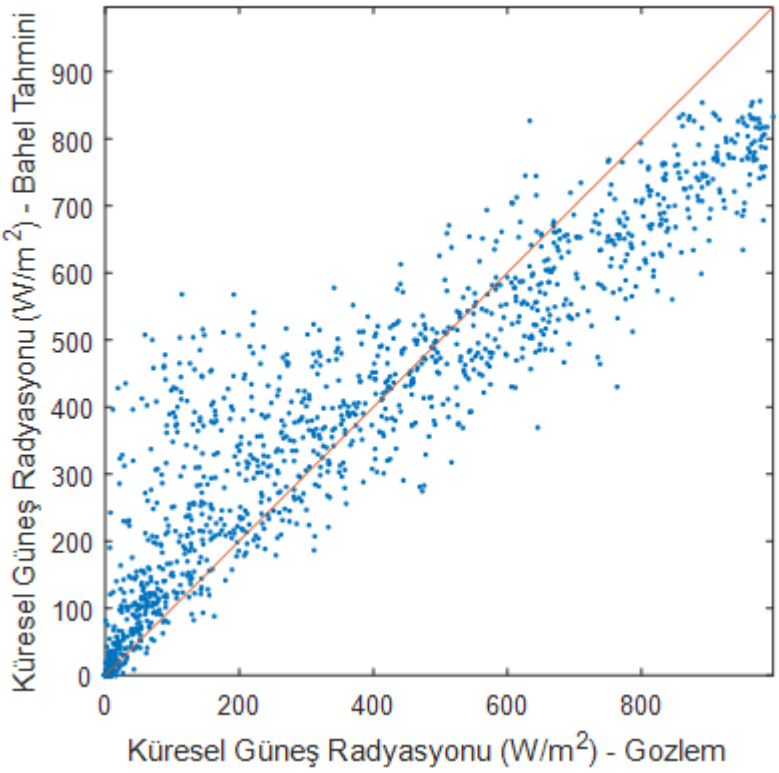
Şekil D.1 : Ağrı istasyonu kış aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



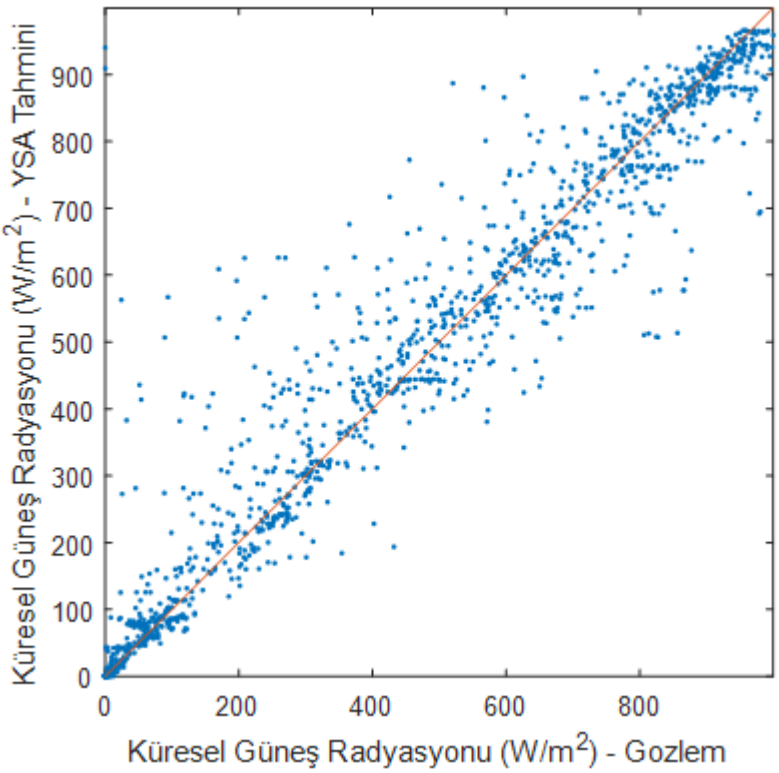
Şekil D.2 : Ağrı istasyonu kış aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



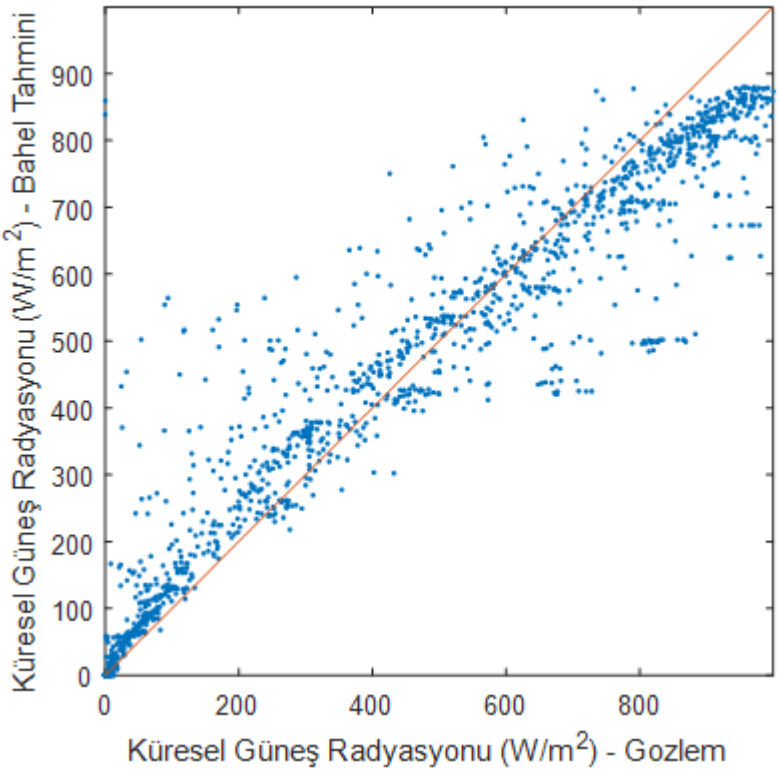
Şekil D.3 : Ağrı istasyonu bahar aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



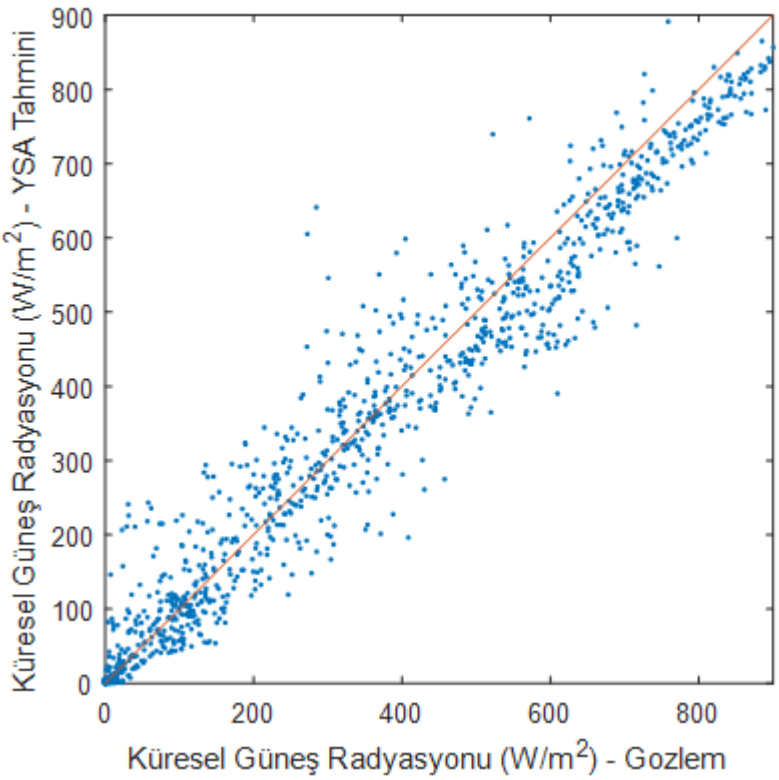
Şekil D.4 : Ağrı istasyonu bahar aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



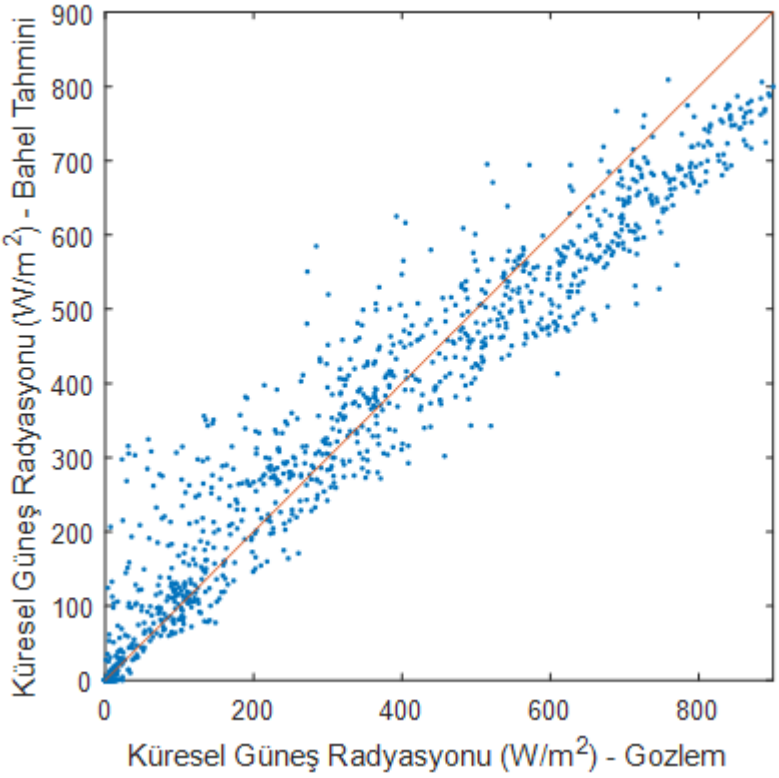
Şekil D.5 : Ağrı istasyonu yaz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



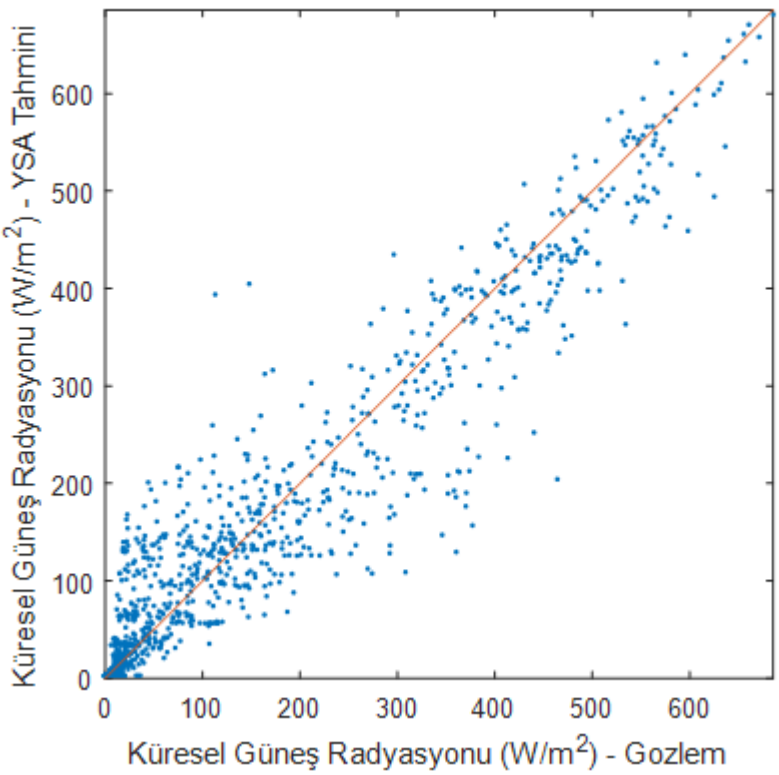
Şekil D.6 : Ağrı istasyonu yaz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



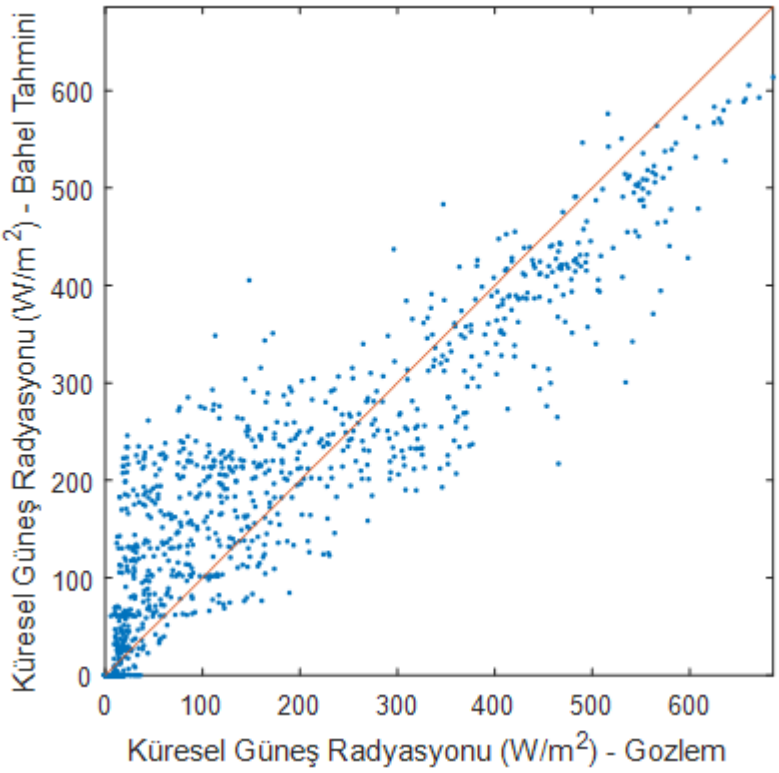
Şekil D.7 : Ağrı istasyonu güz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



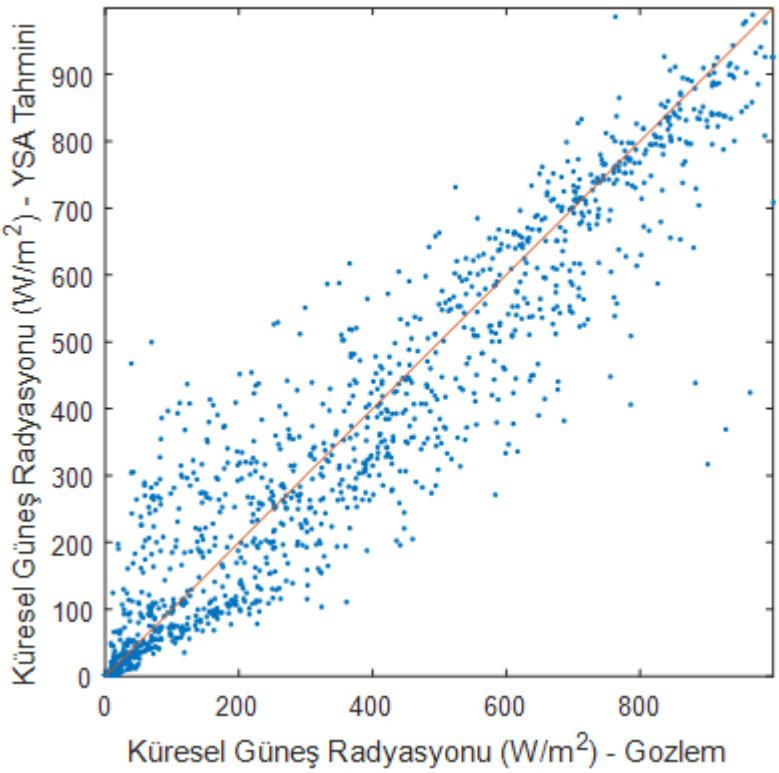
Şekil D.8 : Ağrı istasyonu güz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



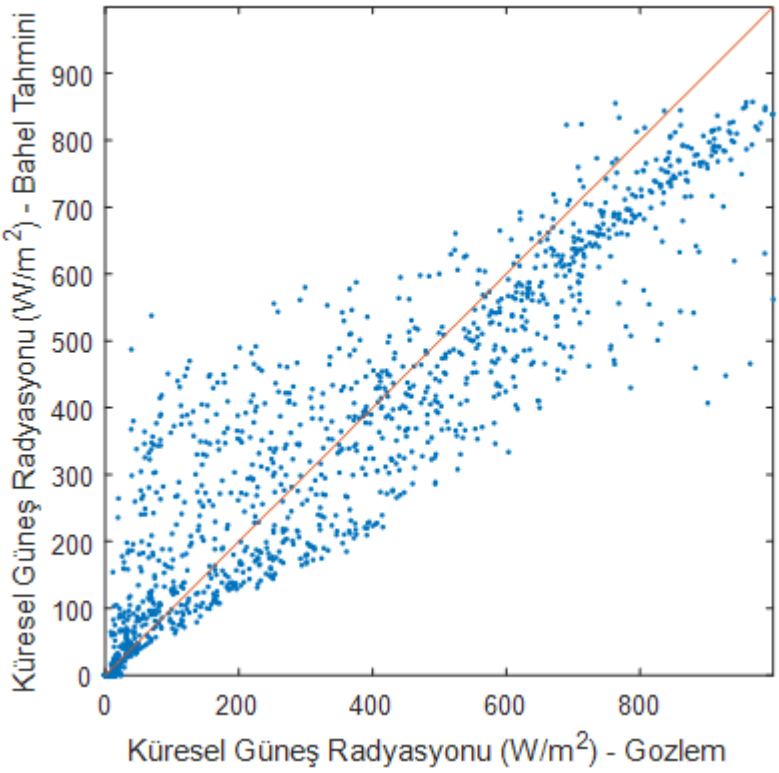
Şekil D.9 : Ankara istasyonu kış aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



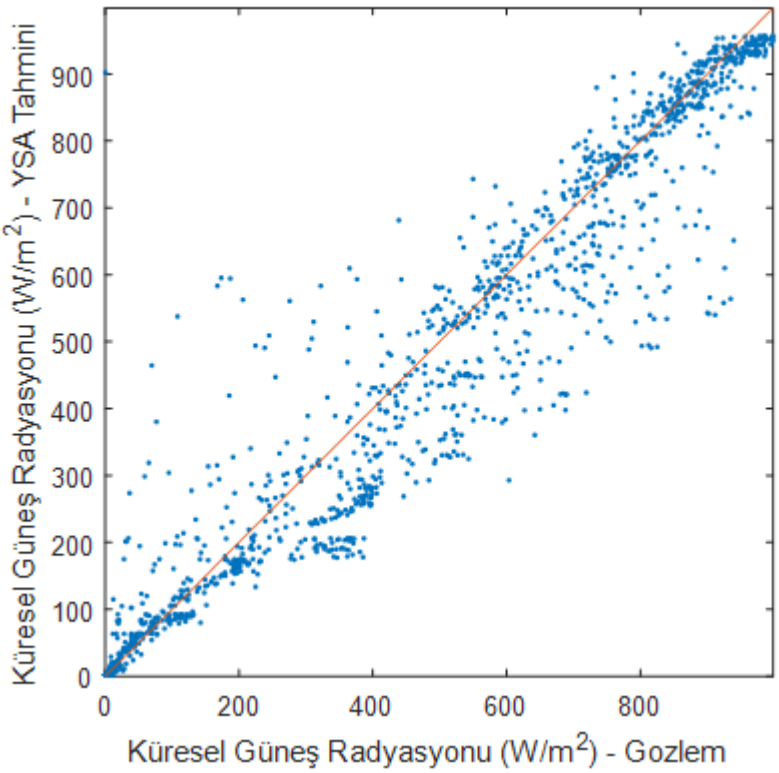
Şekil D.10 : Ankara istasyonu kış aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



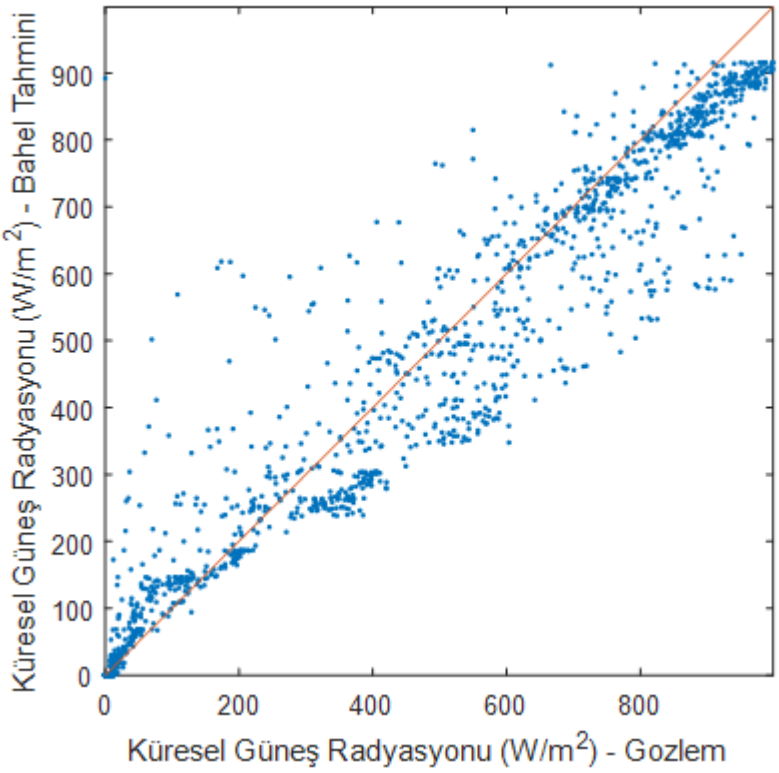
Şekil D.11 : Ankara istasyonu bahar aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



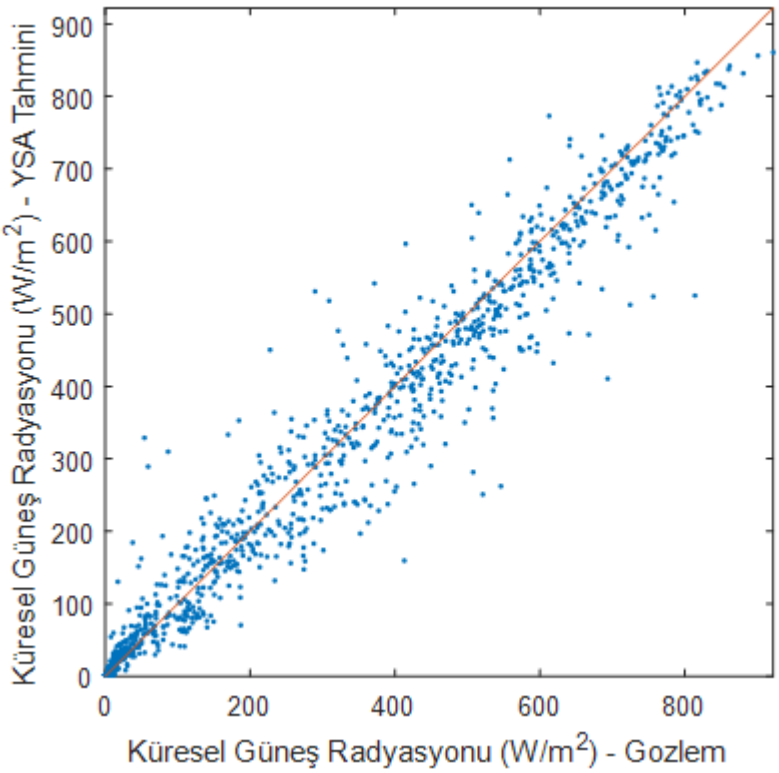
Şekil D.12 : Ankara istasyonu bahar aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



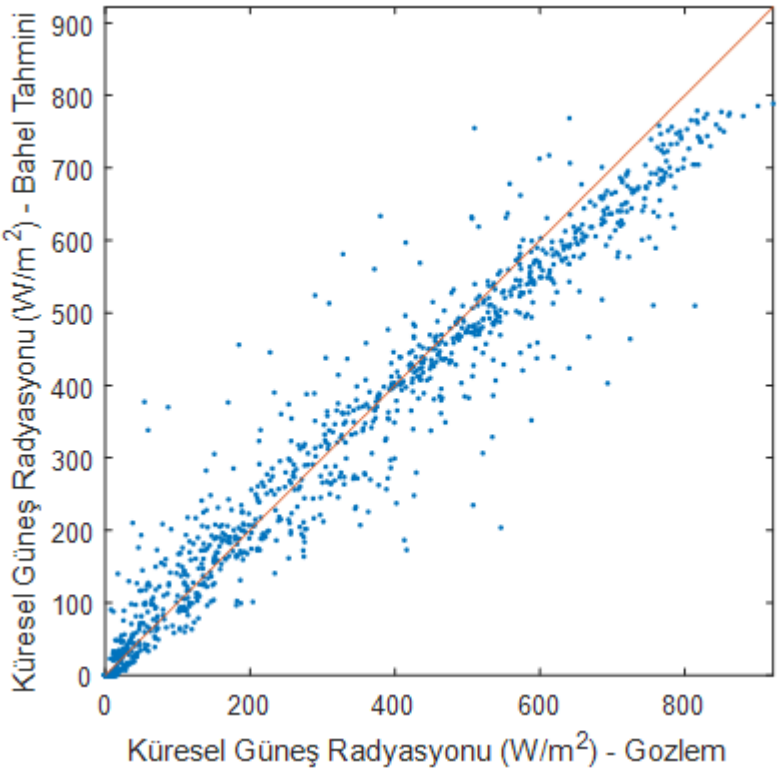
Şekil D.13 : Ankara istasyonu yaz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



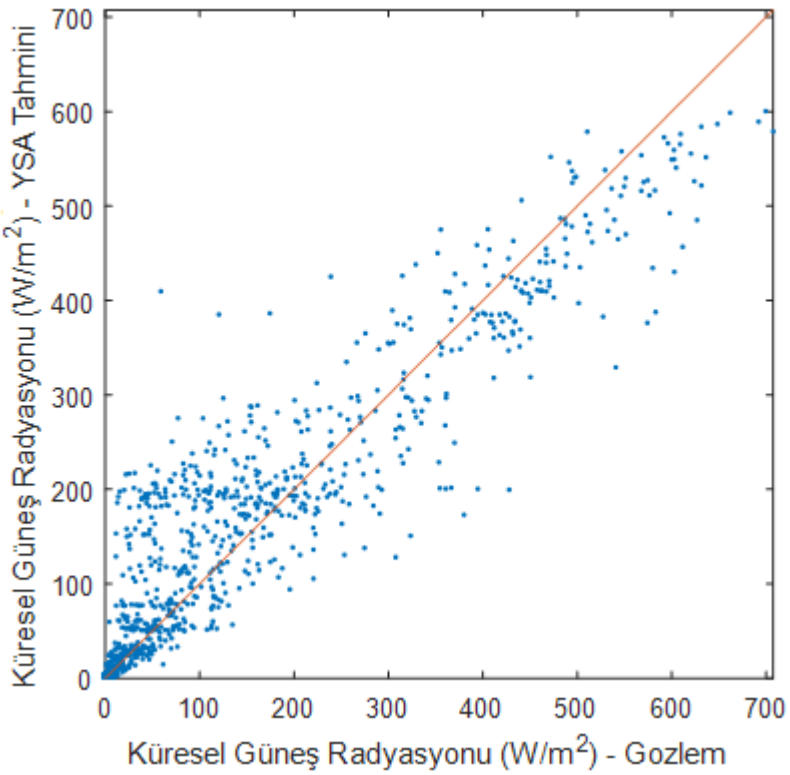
Şekil D.14 : Ankara istasyonu yaz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



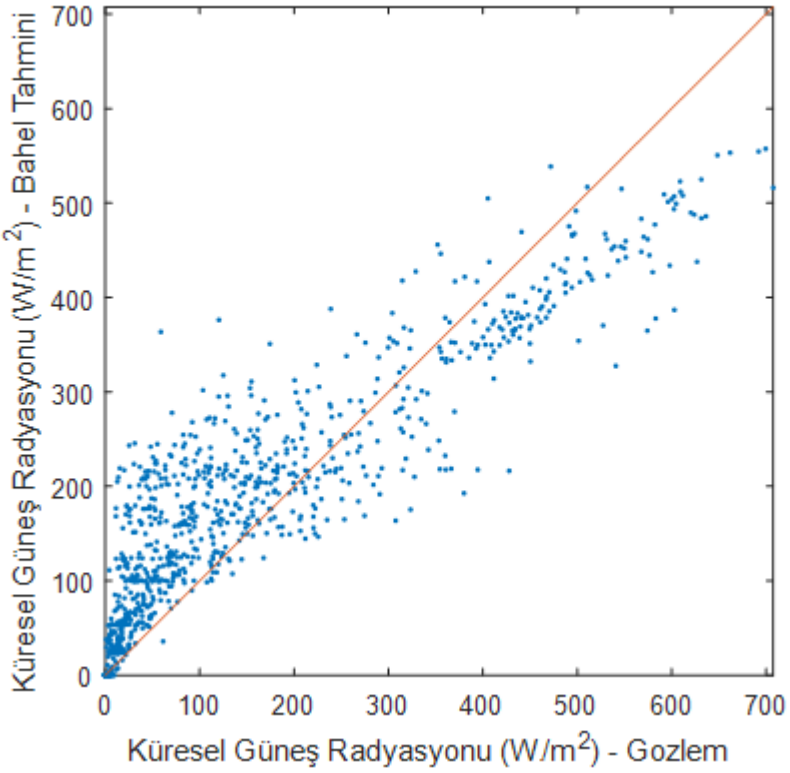
Şekil D.15 : Ankara istasyonu güz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



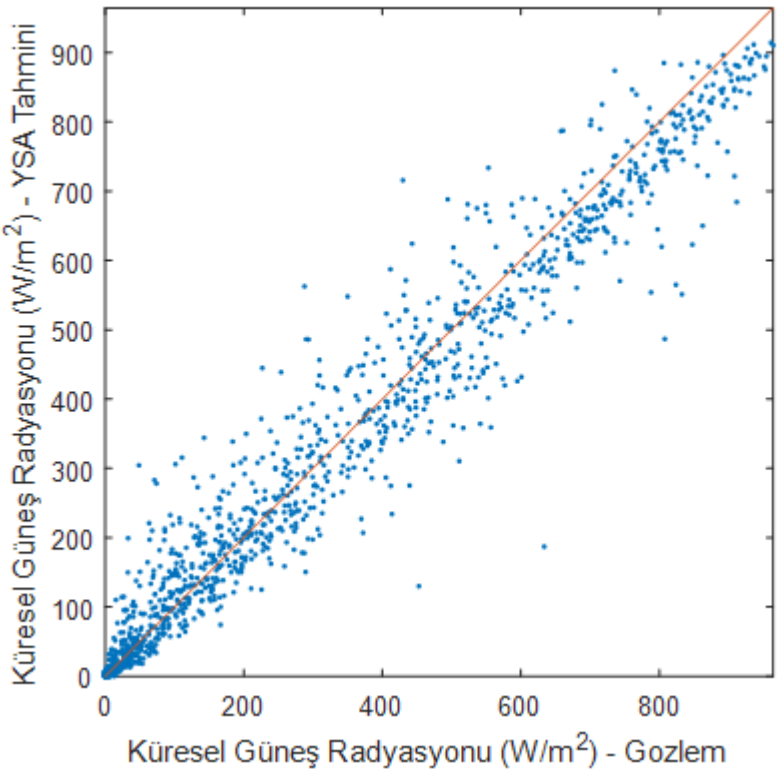
Şekil D.16 : Ankara istasyonu güz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



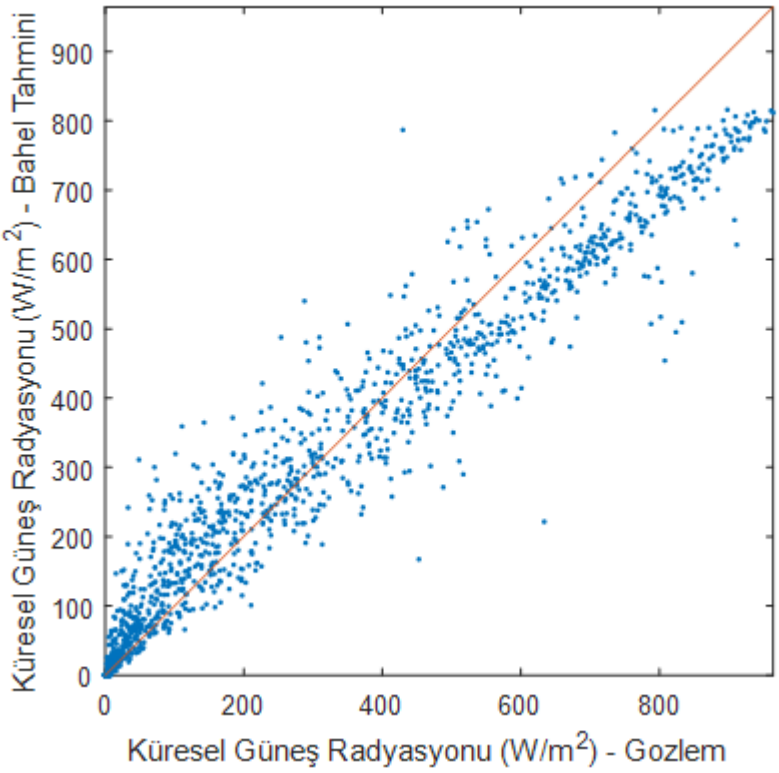
Şekil D.17 : Artvin istasyonu kış aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



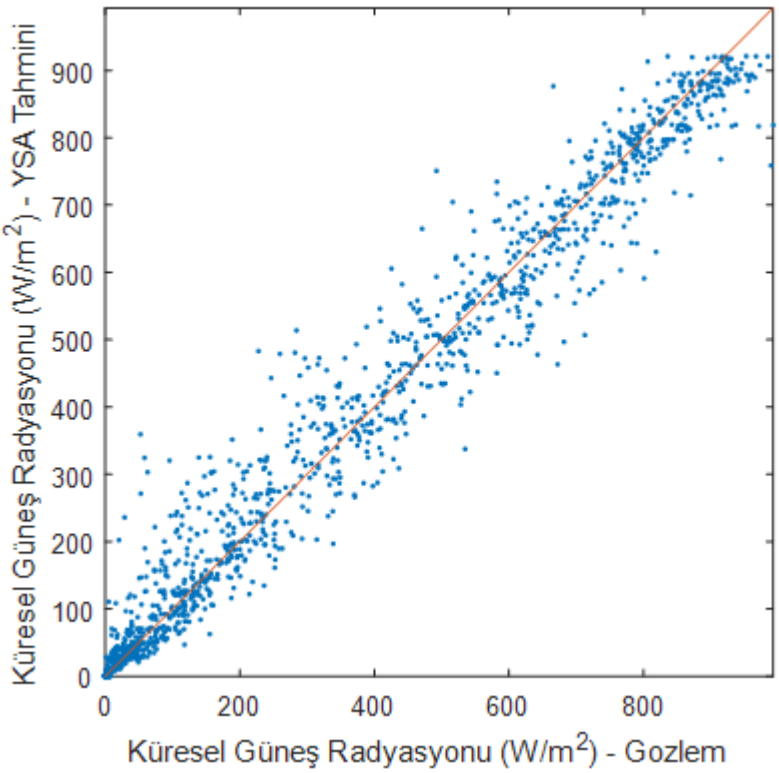
Şekil D.18 : Artvin istasyonu kış aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



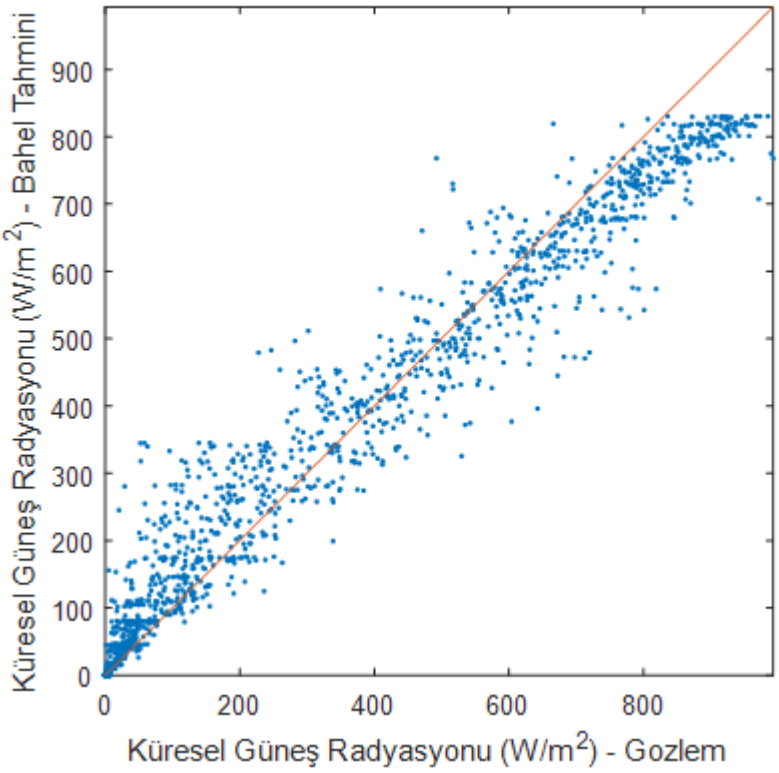
Şekil D.19 : Artvin istasyonu bahar aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



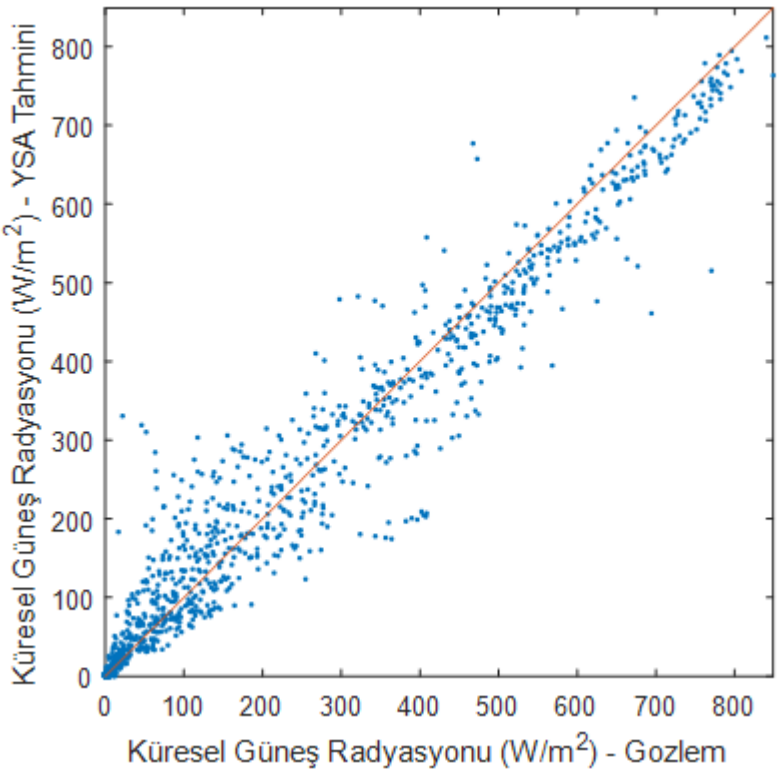
Şekil D.20 : Artvin istasyonu bahar aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



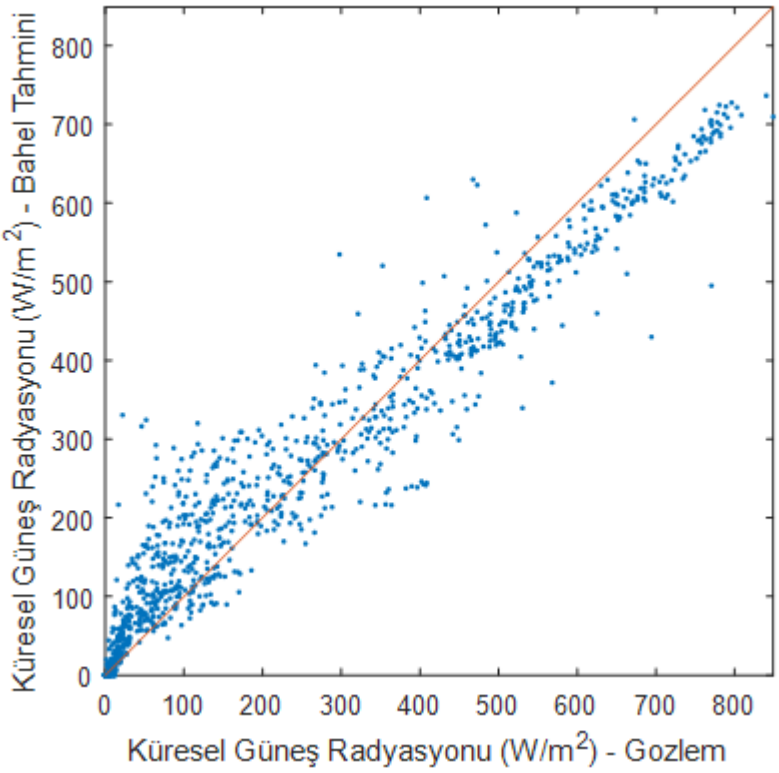
Şekil D.21 : Artvin istasyonu yaz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



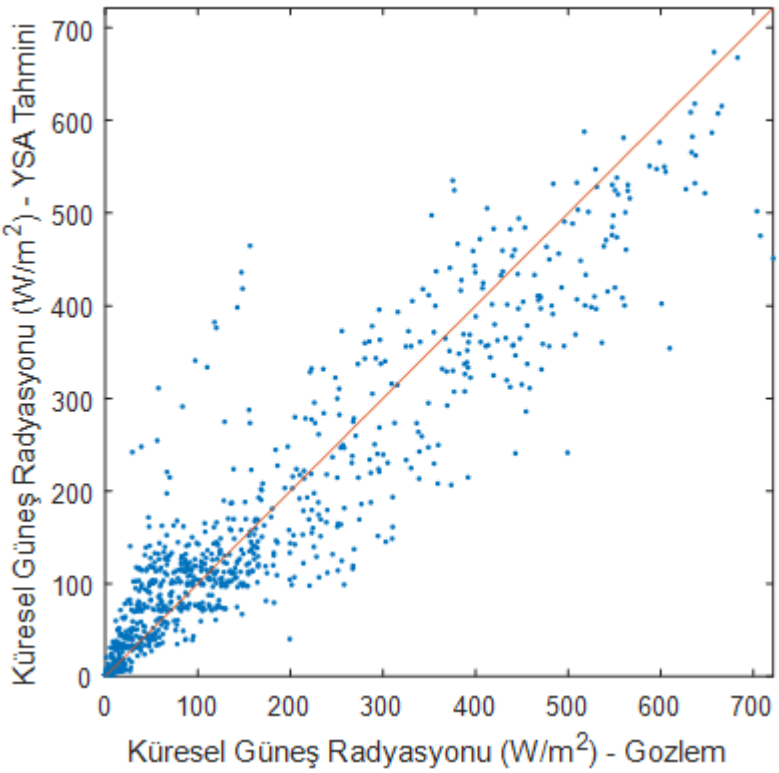
Şekil D.22 : Artvin istasyonu yaz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



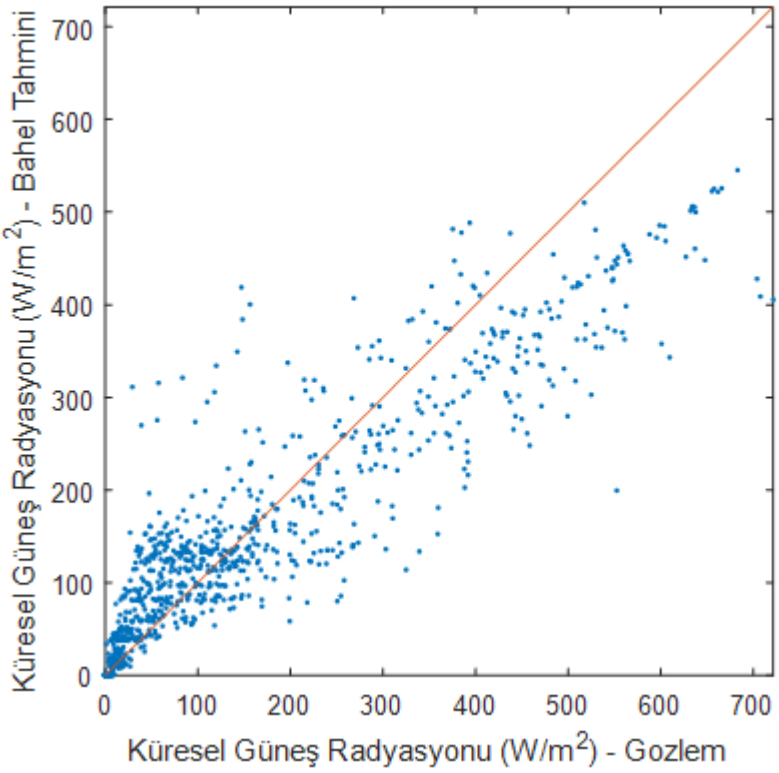
Şekil D.23 : Artvin istasyonu güz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



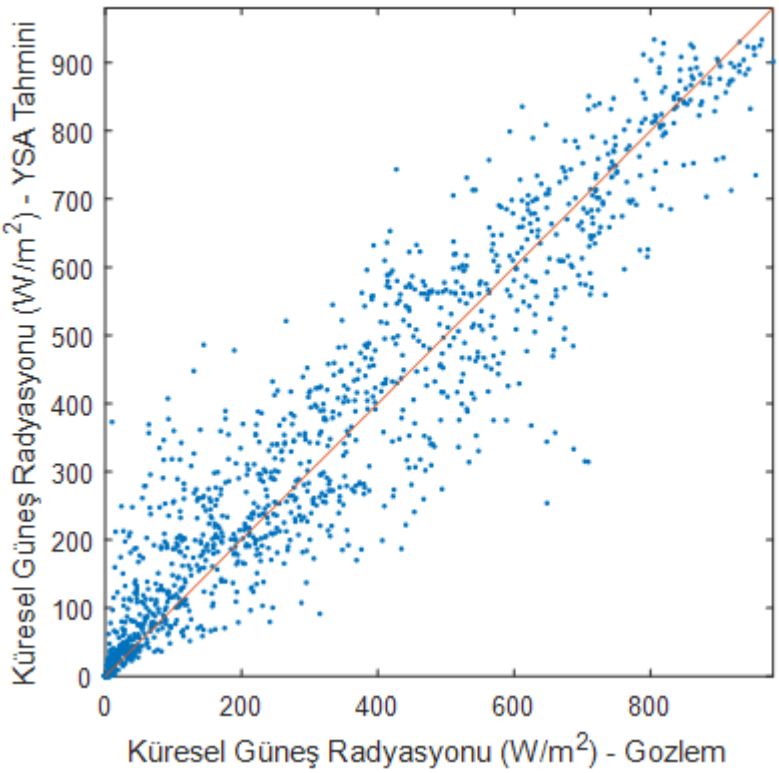
Şekil D.24 : Artvin istasyonu güz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



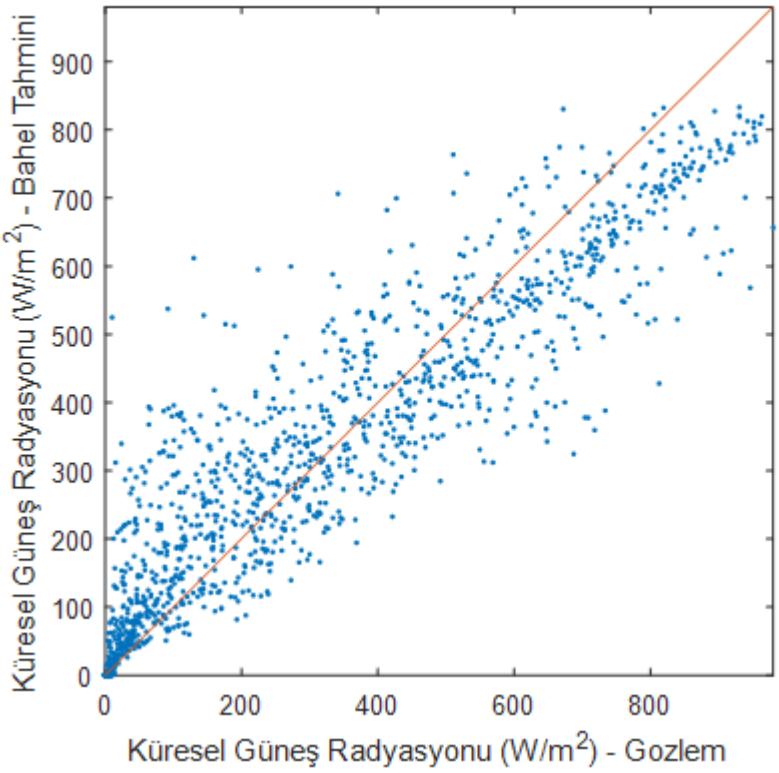
Şekil D.25 : Kastamonu istasyonu kış aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



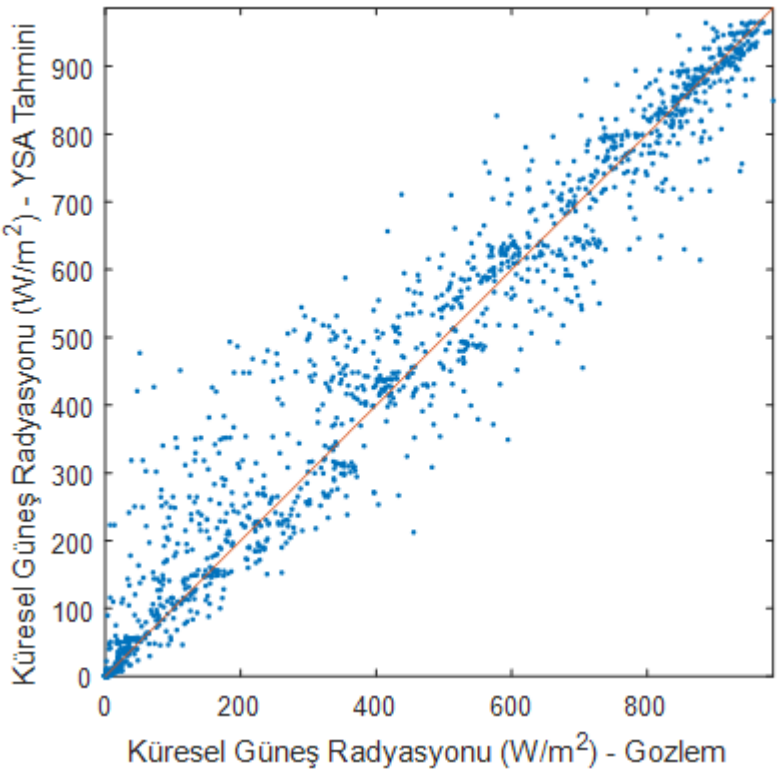
Şekil D.26 : Kastamonu istasyonu kış aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



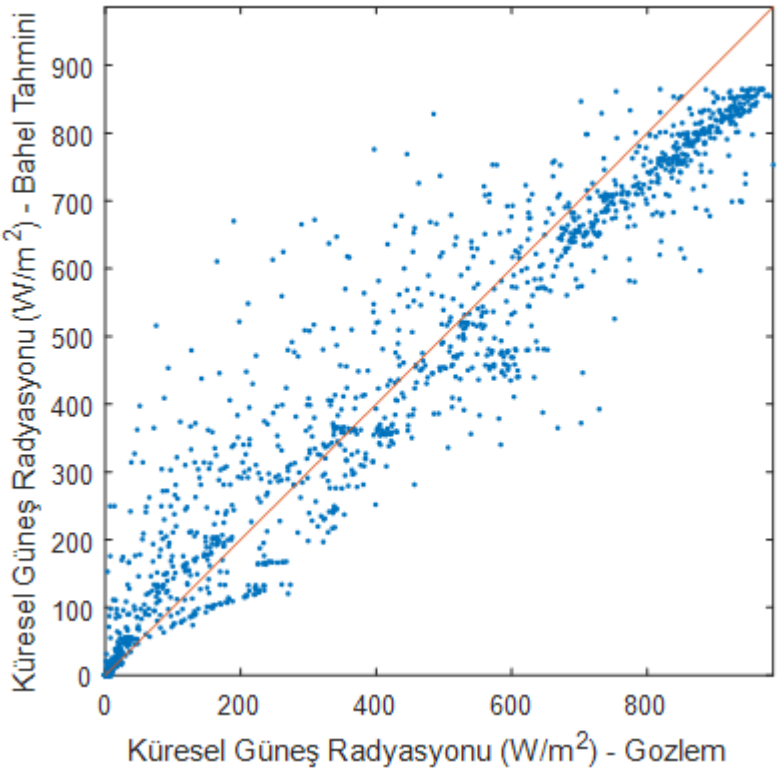
Şekil D.27 : Kastamonu istasyonu bahar aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



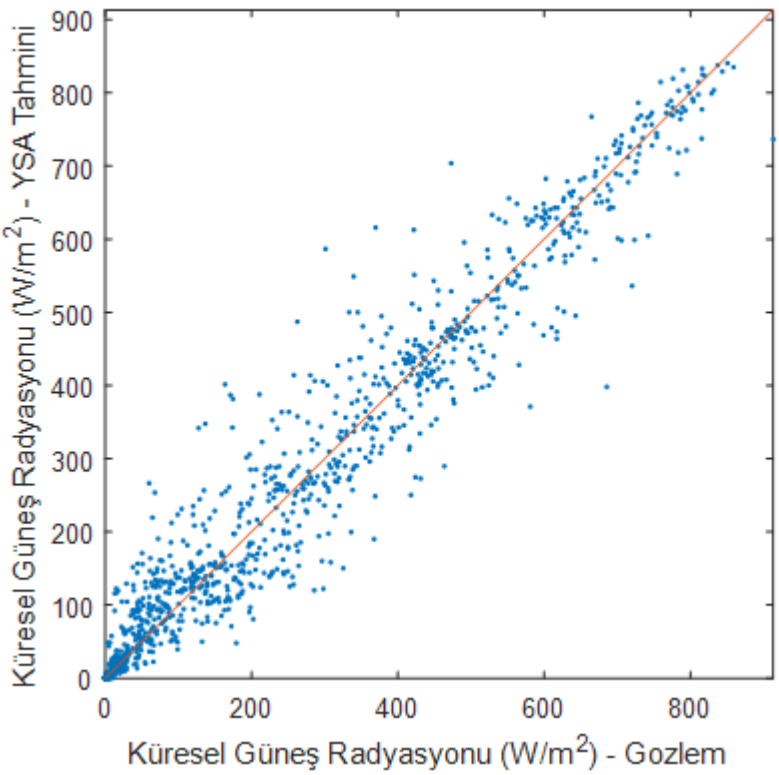
Şekil D.28 : Kastamonu istasyonu bahar aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



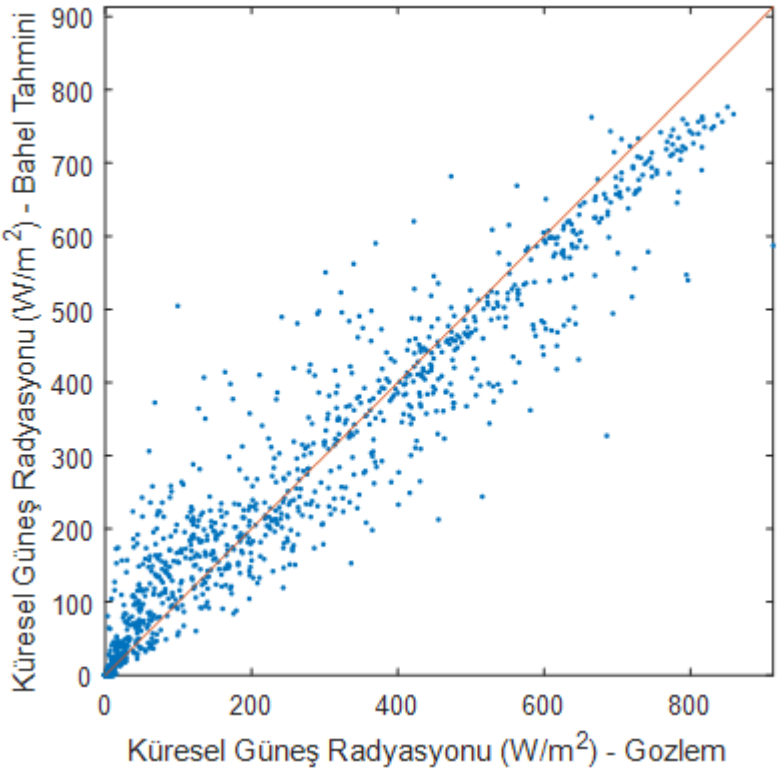
Şekil D.29 : Kastamonu istasyonu yaz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



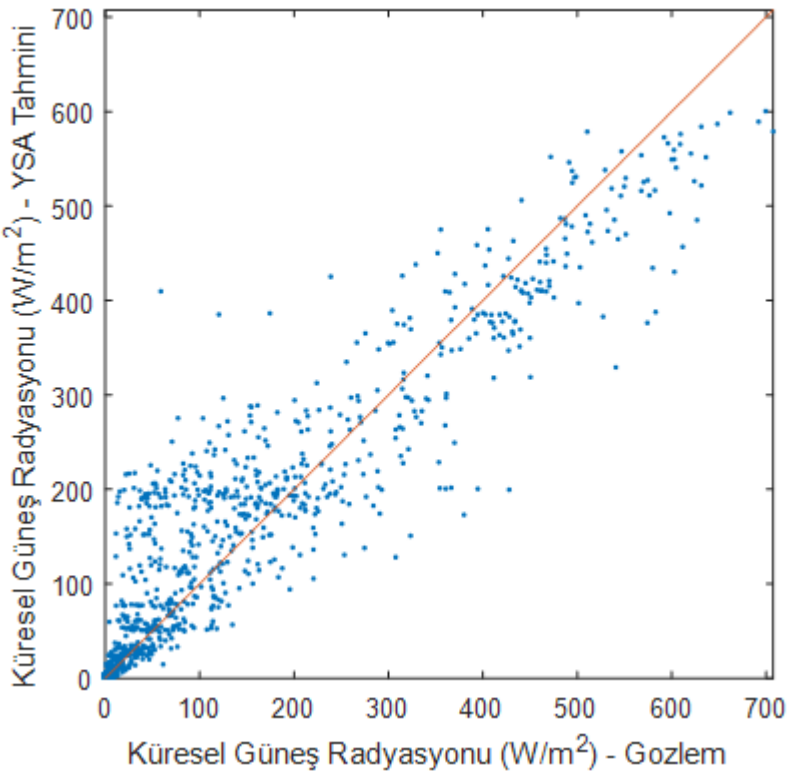
Şekil D.30 : Kastamonu istasyonu yaz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



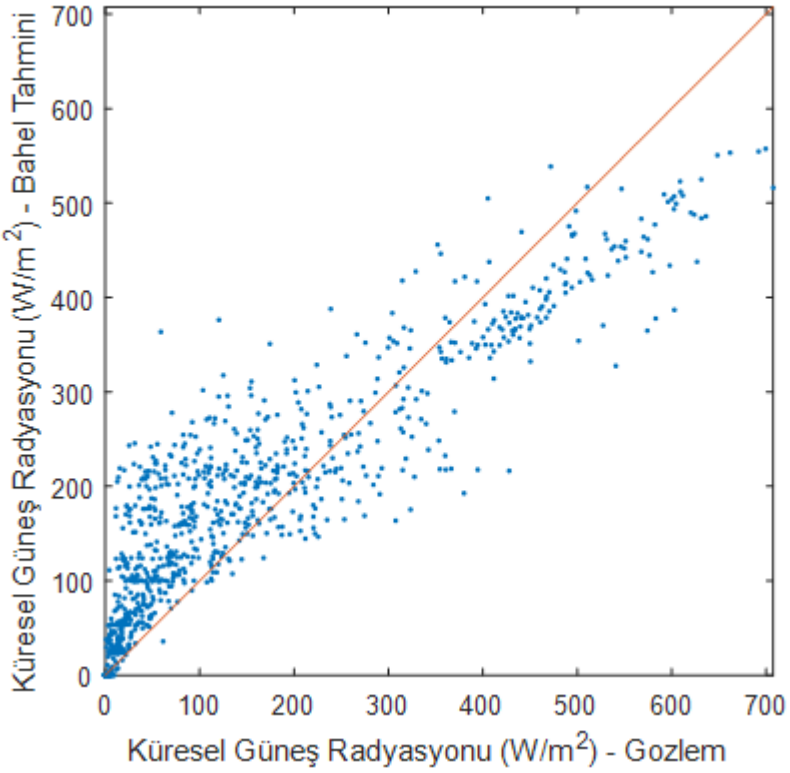
Şekil D.31 : Kastamonu istasyonu güz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



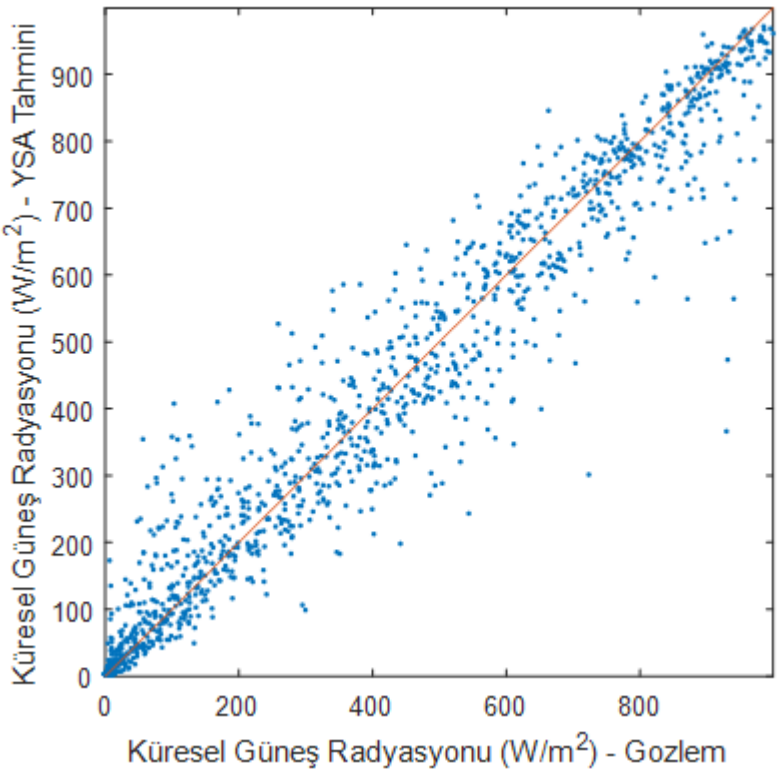
Şekil D.32 : Kastamonu istasyonu güz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



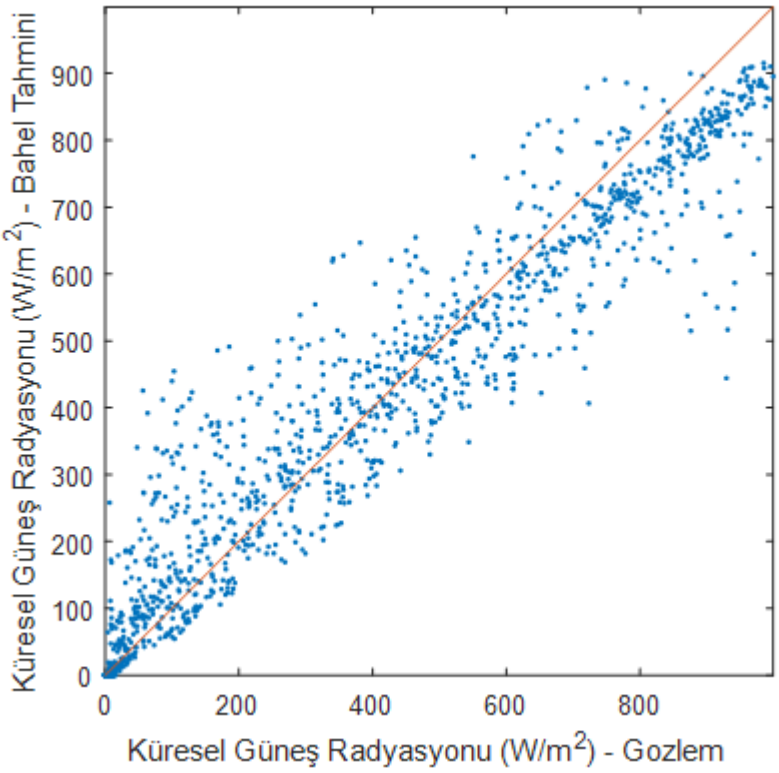
Şekil D.33 : Isparta istasyonu kış aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



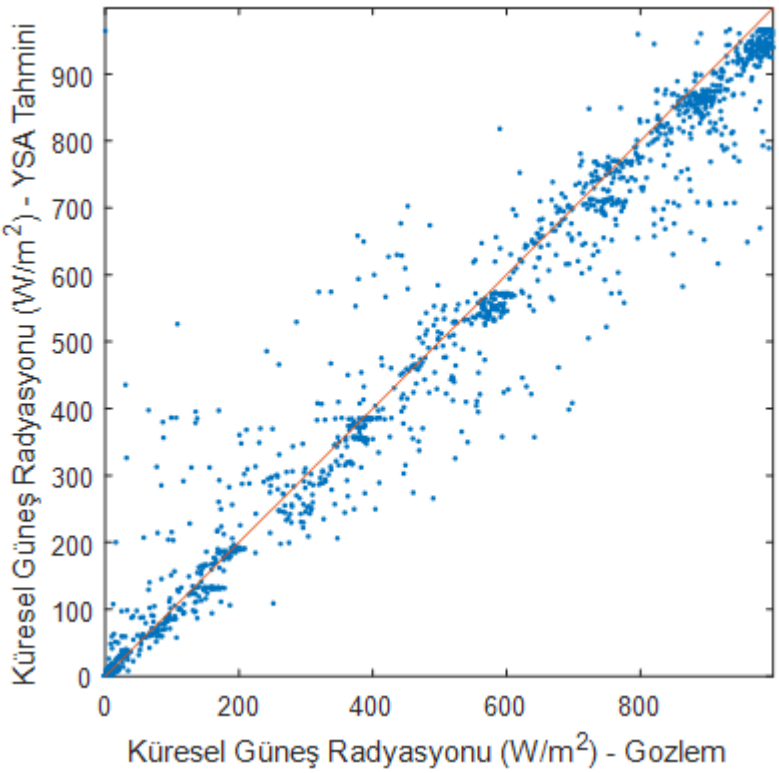
Şekil D.34 : Isparta istasyonu kış aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



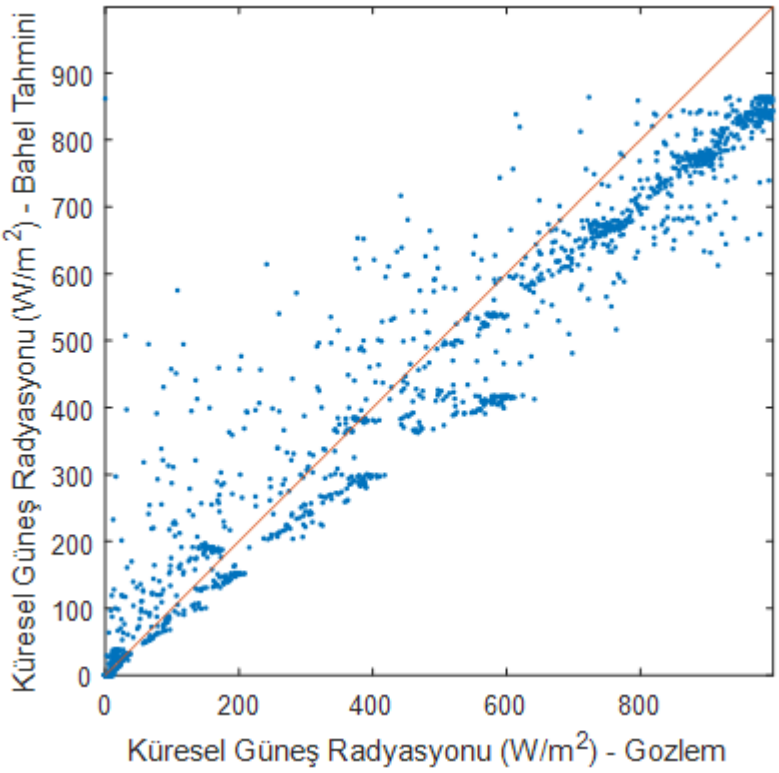
Şekil D.35 : Isparta istasyonu bahar aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



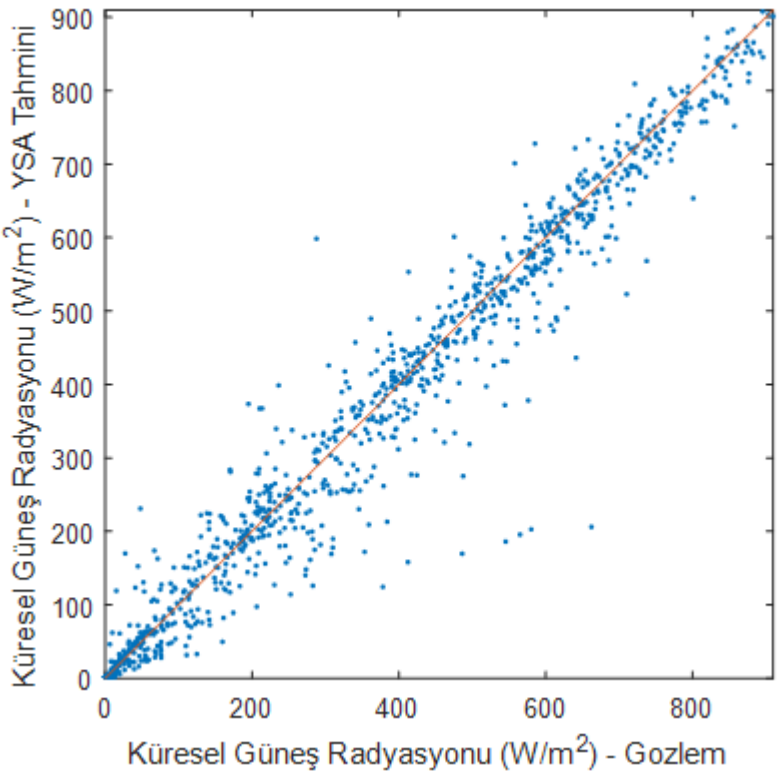
Şekil D.36 : Isparta istasyonu bahar aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



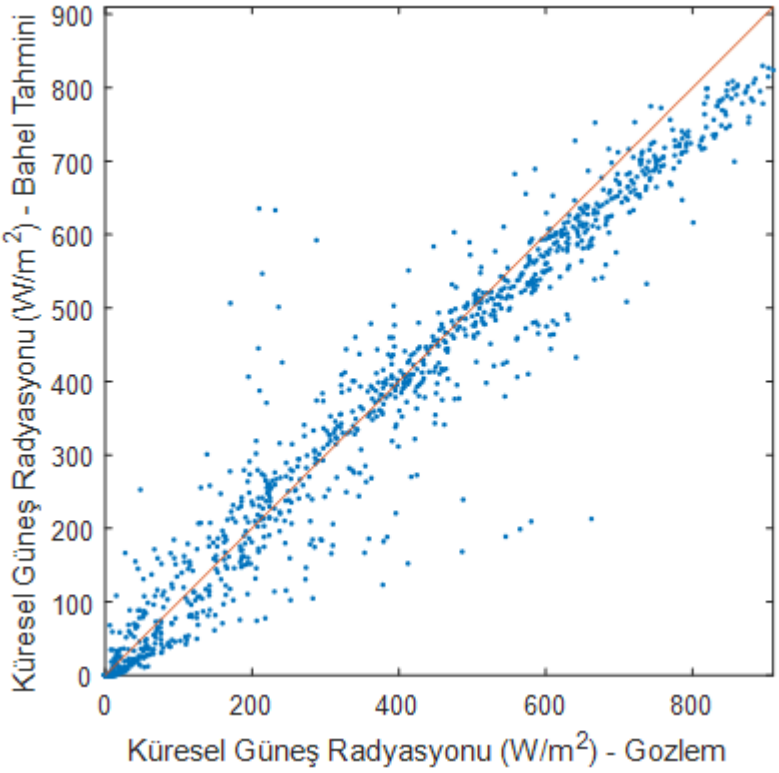
Şekil D.37 : Isparta istasyonu yaz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



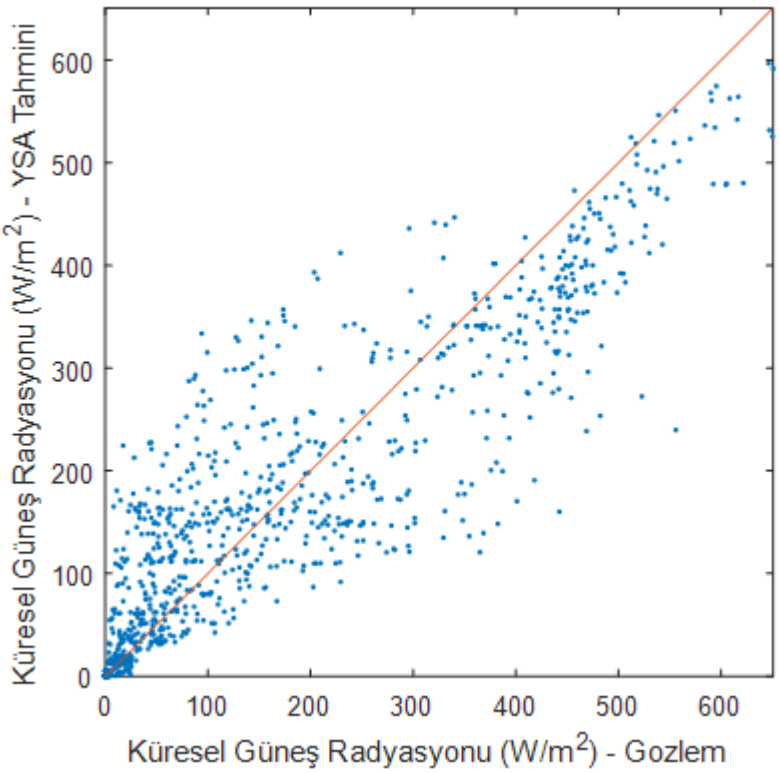
Şekil D.38 : Isparta istasyonu yaz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



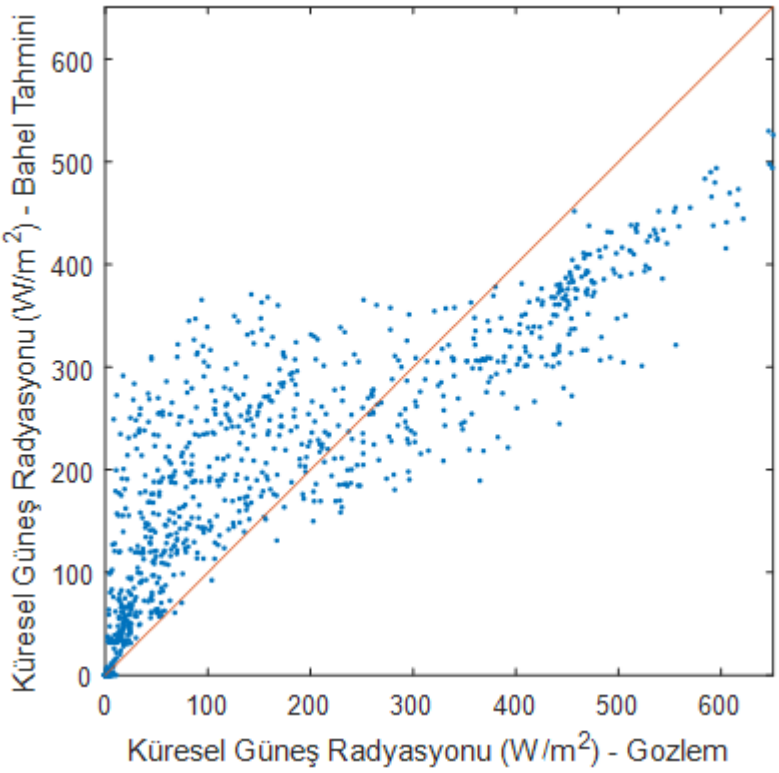
Şekil D.39 : Isparta istasyonu güz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



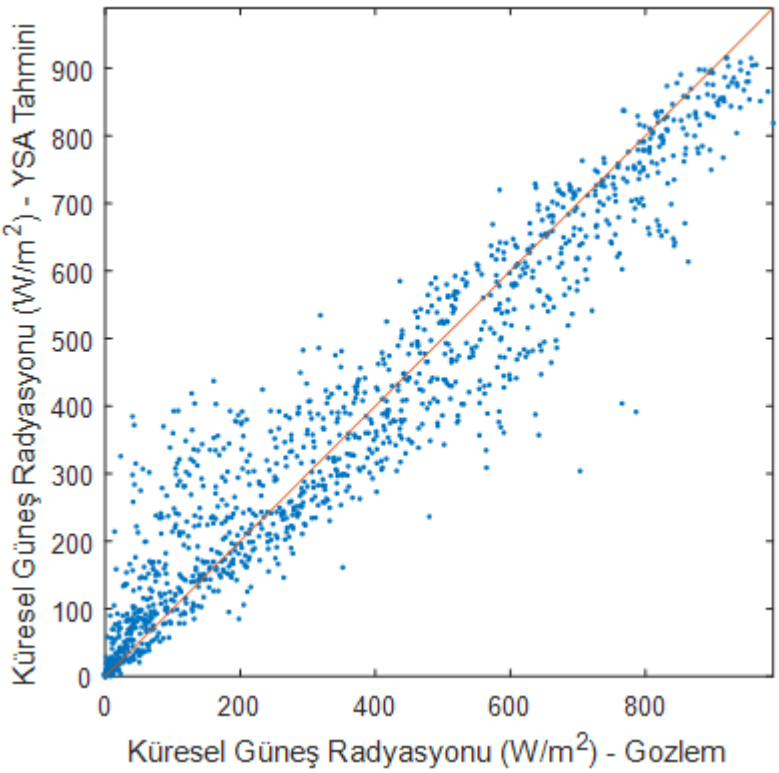
Şekil D.40 : Isparta istasyonu güz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



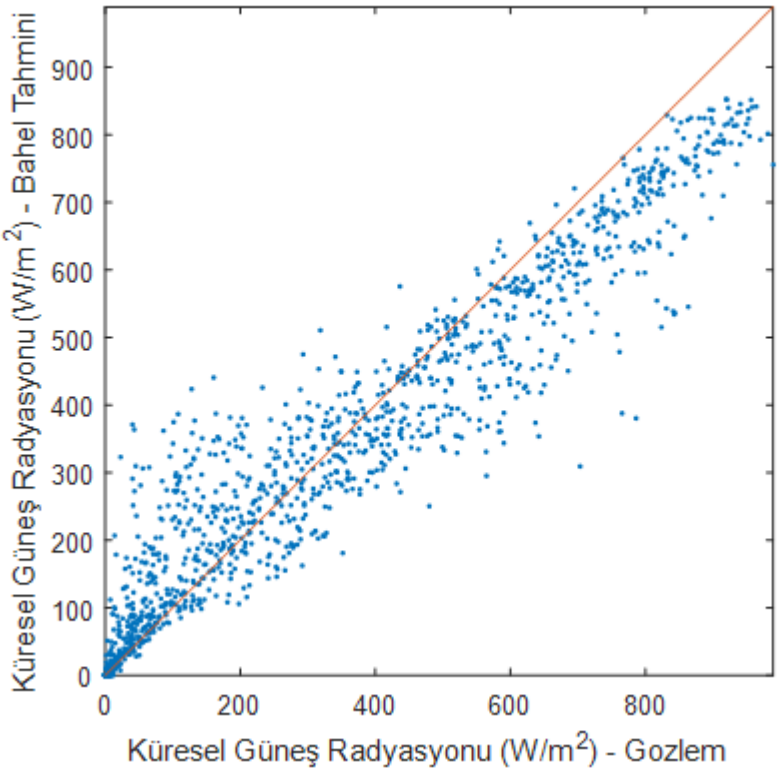
Şekil D.41 : Kırklareli istasyonu kış aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



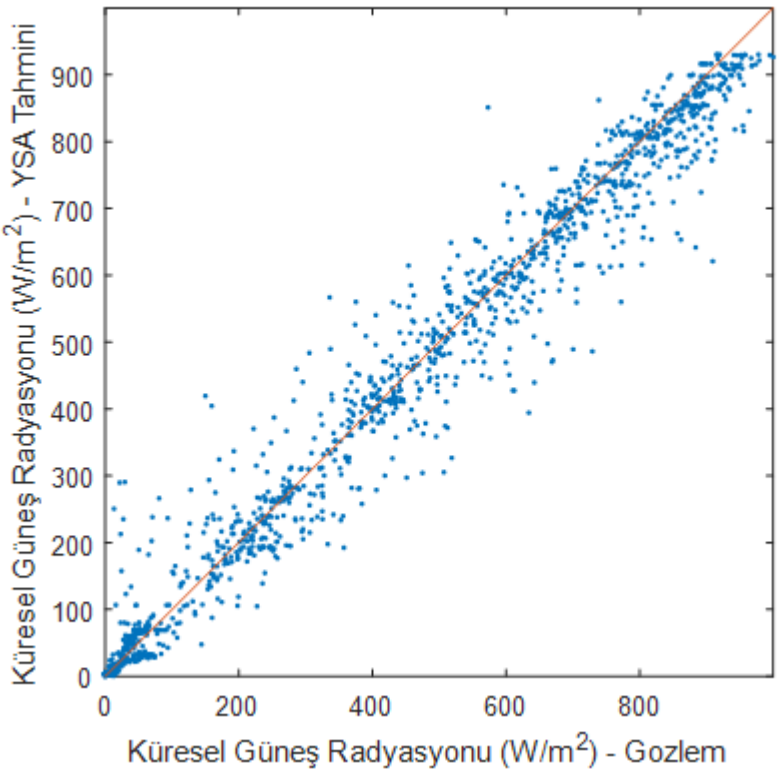
Şekil D.42 : Kırklareli istasyonu kış aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



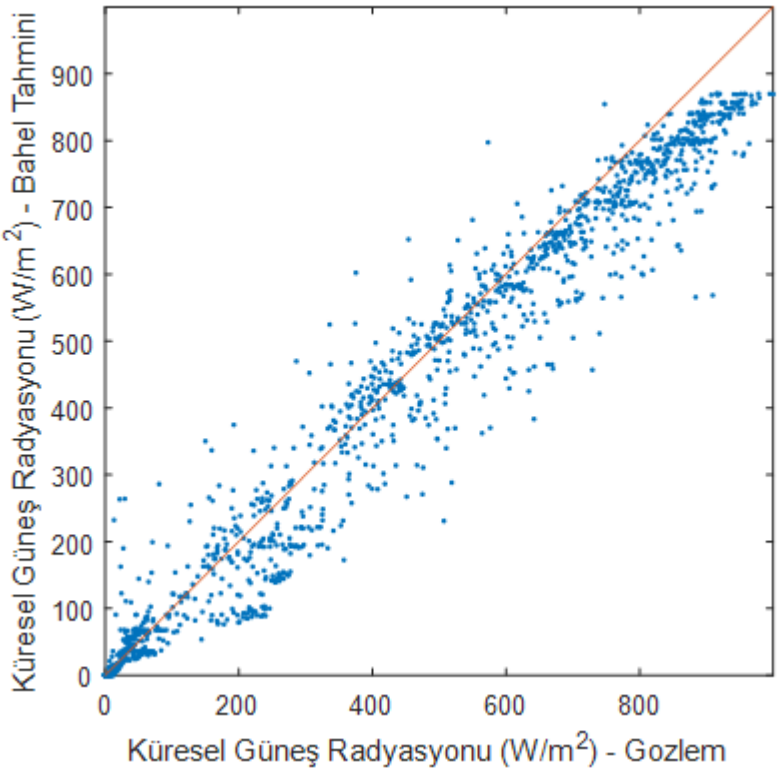
Şekil D.43 : Kırklareli istasyonu bahar aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



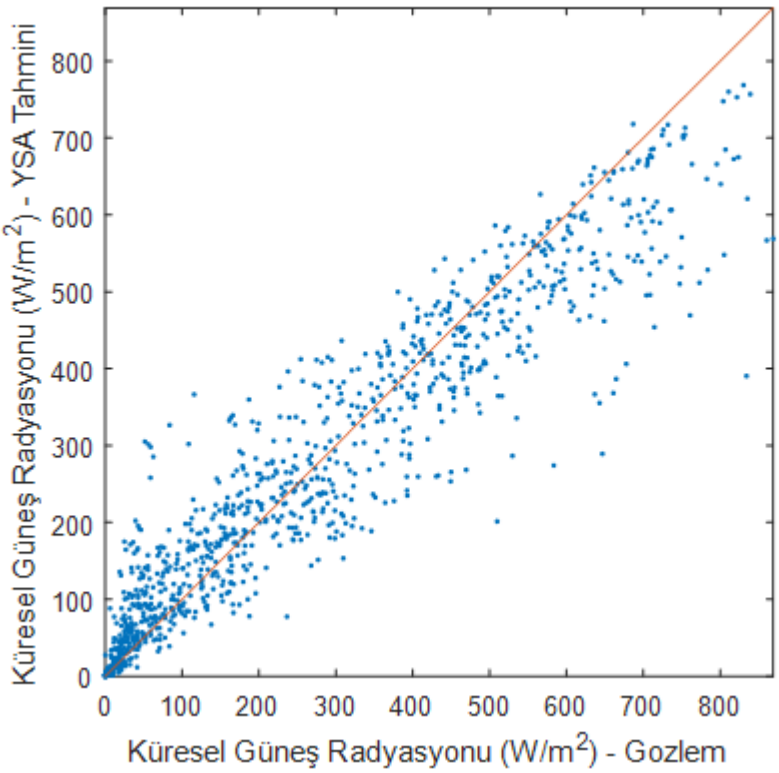
Şekil D.44 : Kırklareli istasyonu bahar aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



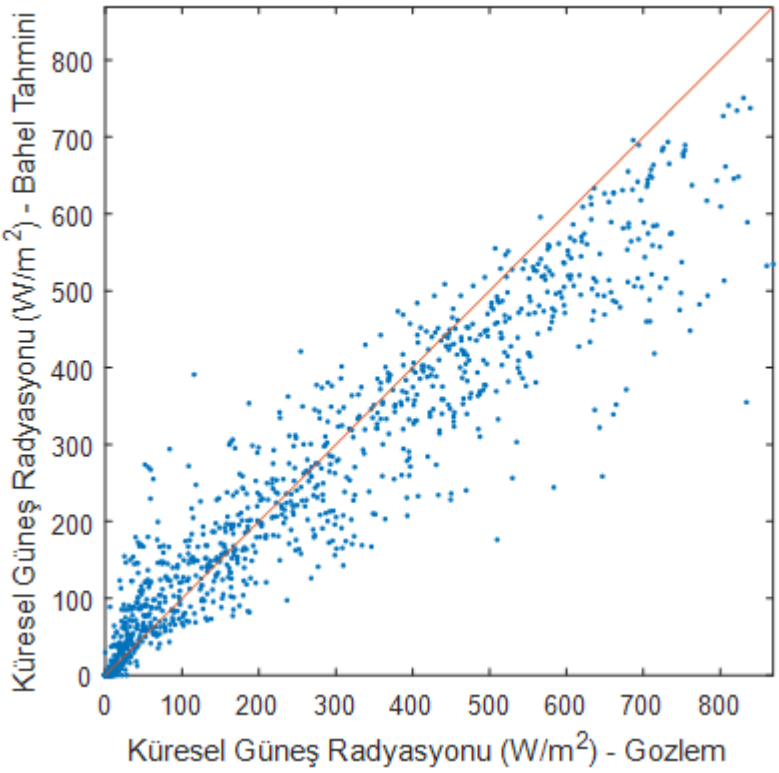
Şekil D.45 : Kırklareli istasyonu yaz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



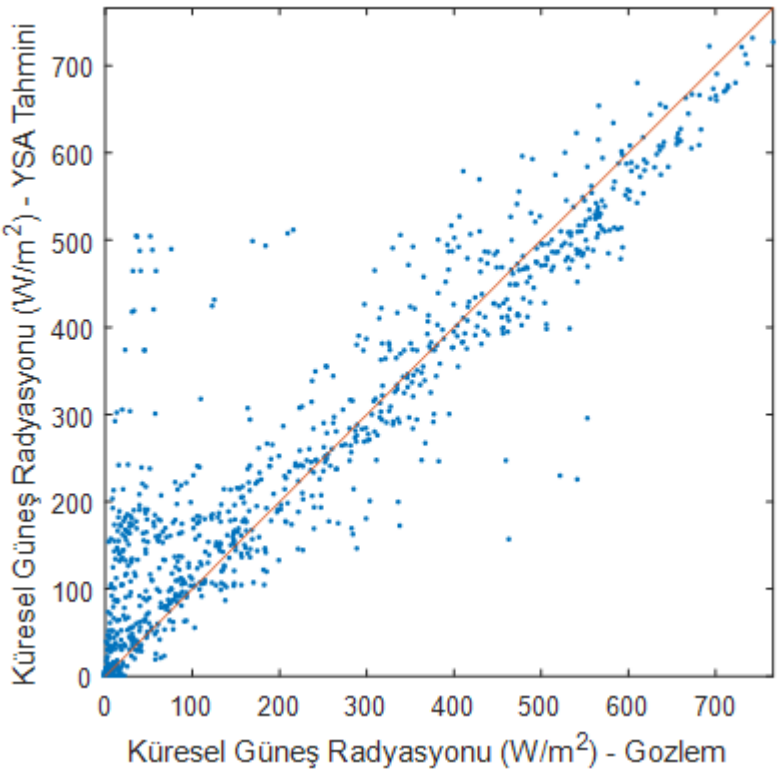
Şekil D.46 : Kırklareli istasyonu yaz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



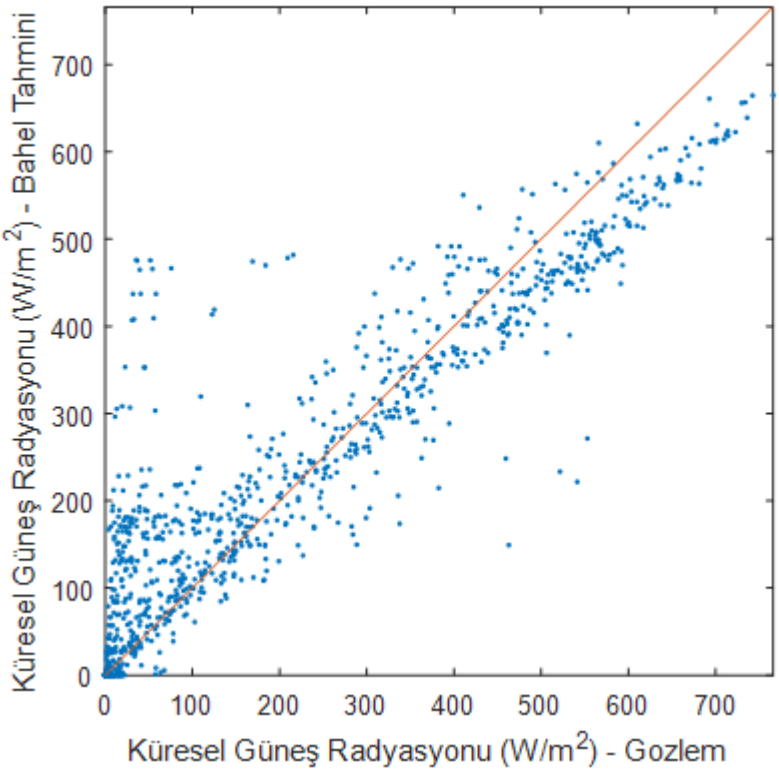
Şekil D.47 : Kırklareli istasyonu güz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



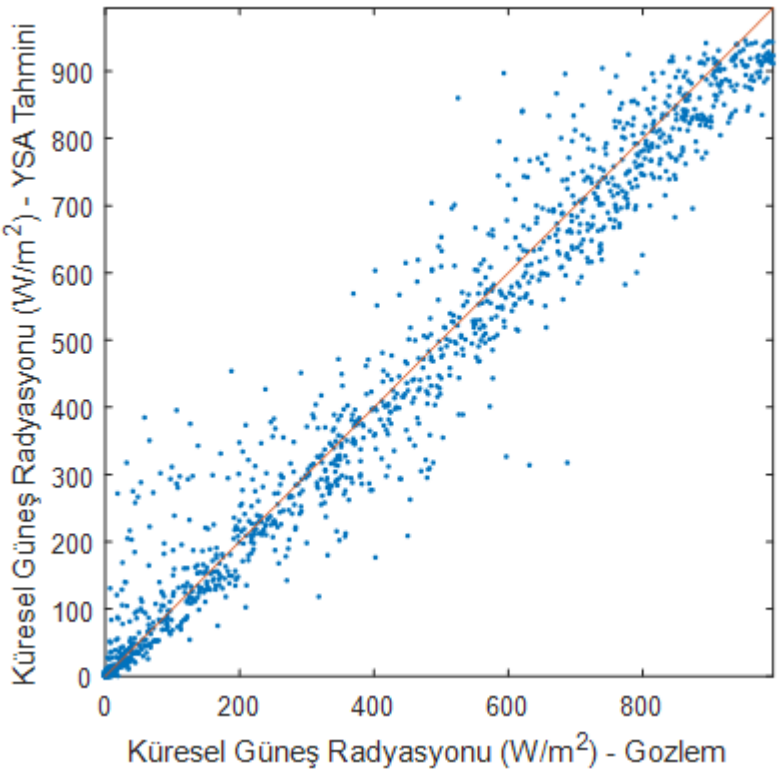
Şekil D.48 : Kırklareli istasyonu güz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



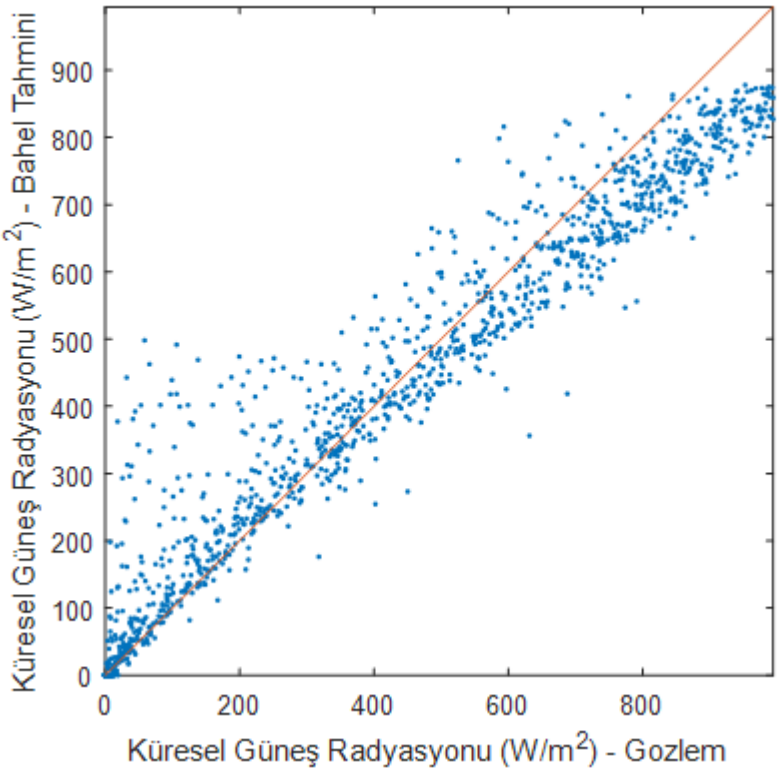
Şekil D.49 : Mardin istasyonu kış aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



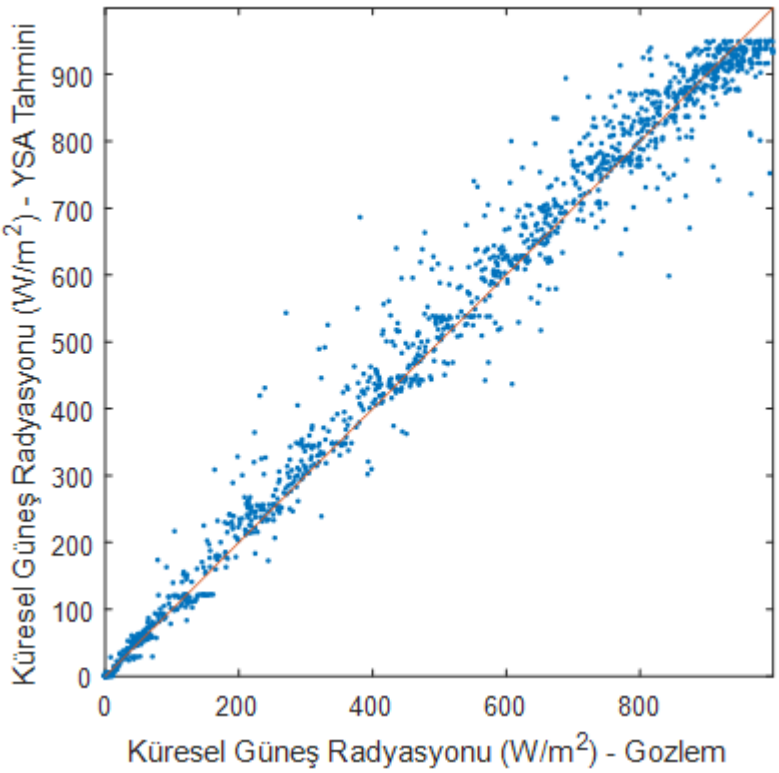
Şekil D.50 : Mardin istasyonu kış aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



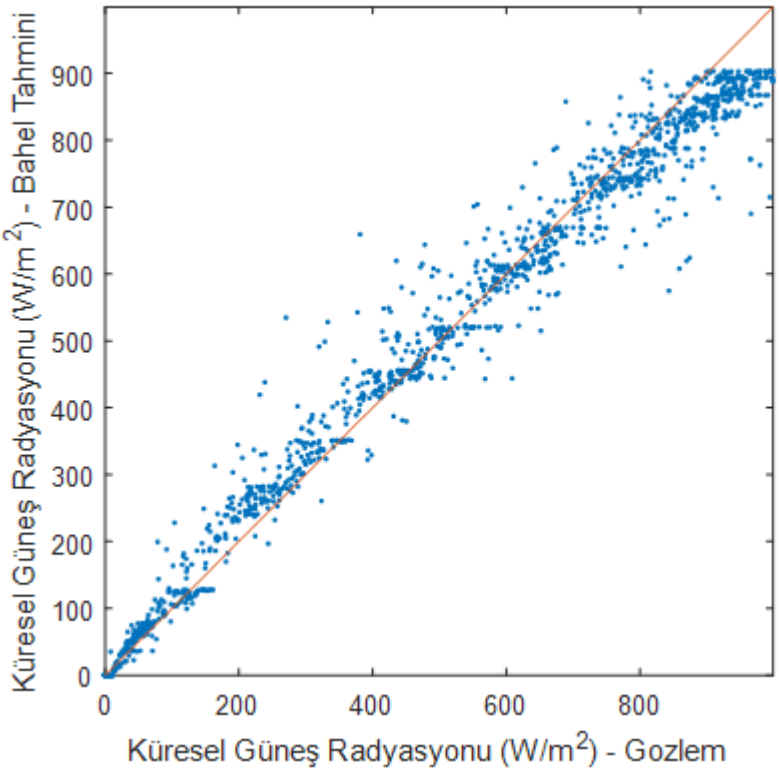
Şekil D.51 : Mardin istasyonu bahar aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



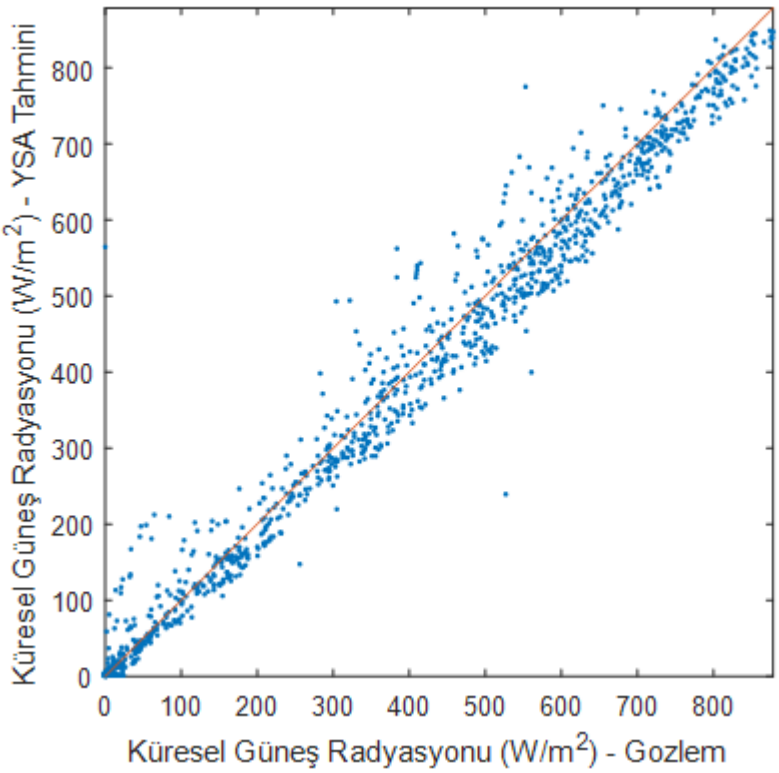
Şekil D.52 : Mardin istasyonu bahar aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



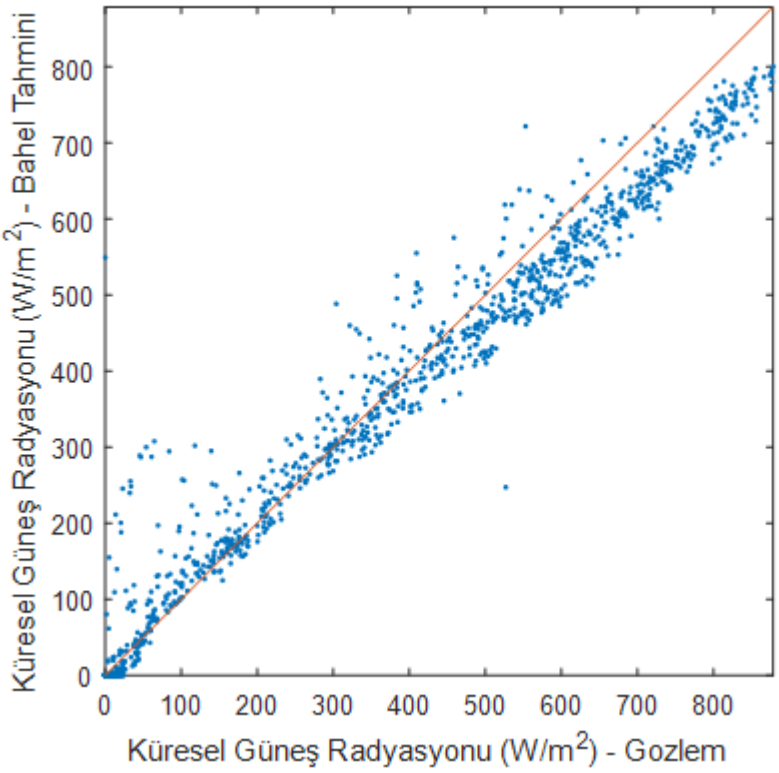
Şekil D.53 : Mardin istasyonu yaz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



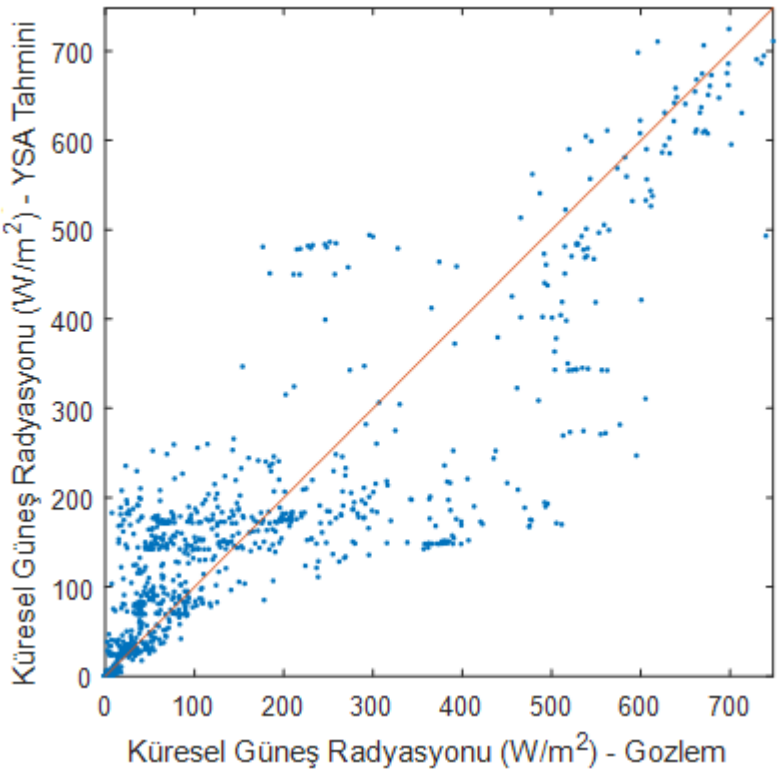
Şekil D.54 : Mardin istasyonu yaz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



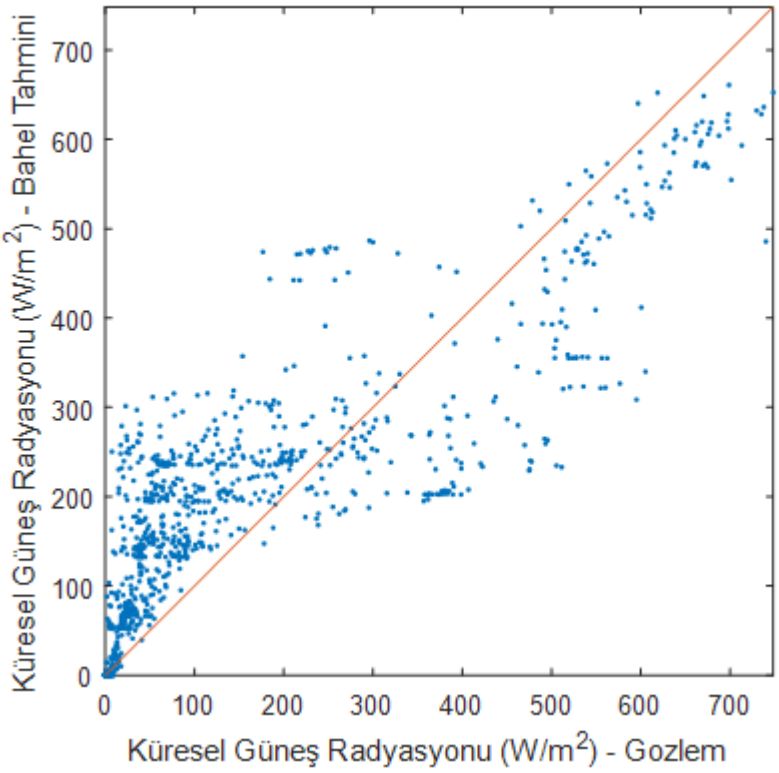
Şekil D.55 : Mardin istasyonu güz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



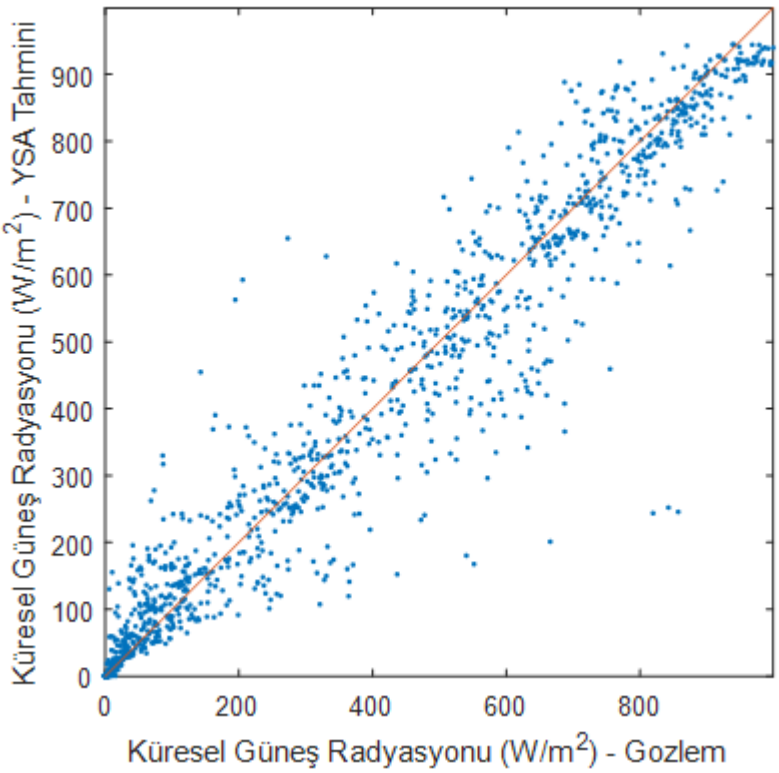
Şekil D.56 : Mardin istasyonu güz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



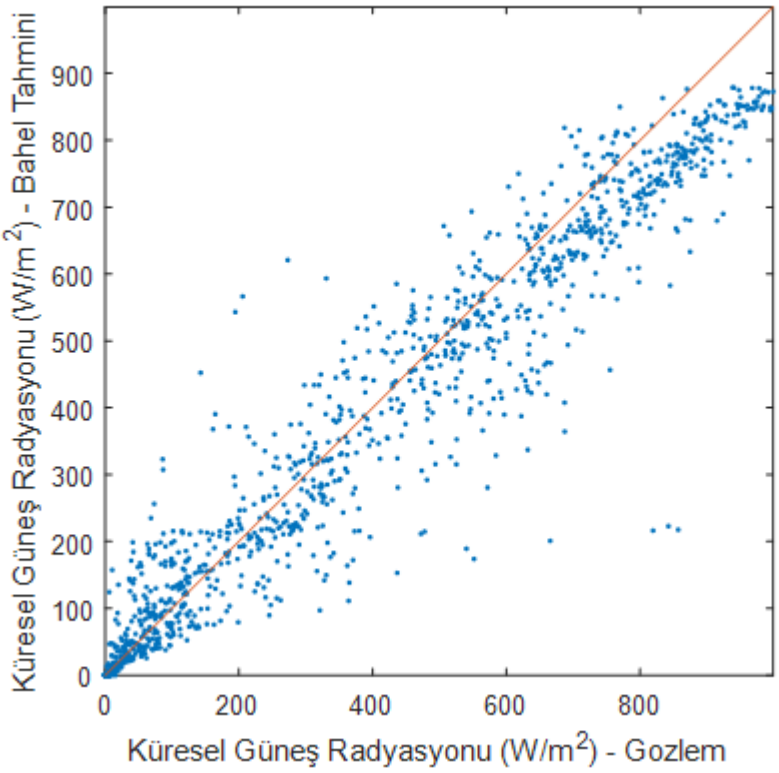
Şekil D.57 : Muğla istasyonu kış aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



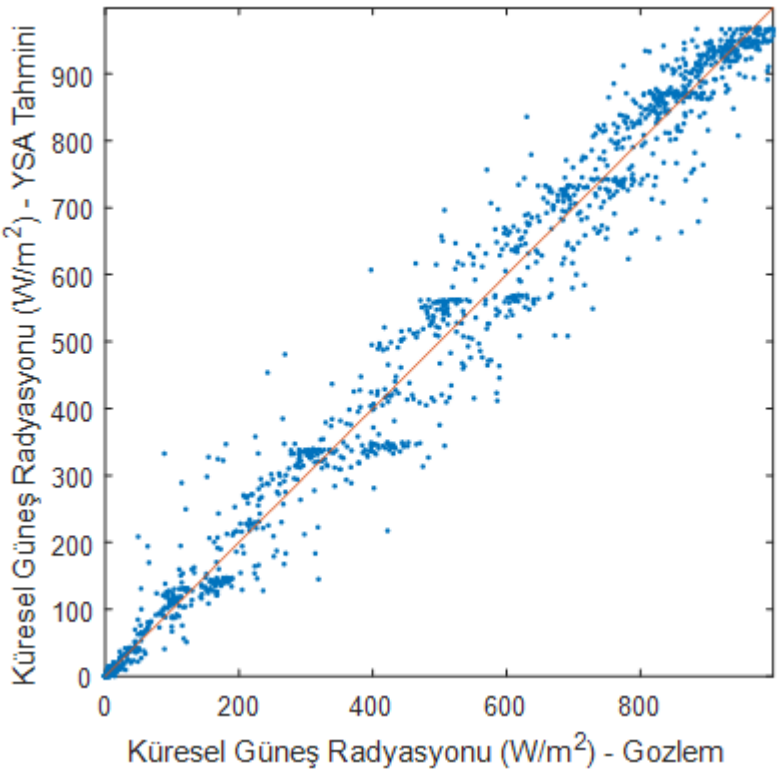
Şekil D.58 : Muğla istasyonu kış aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



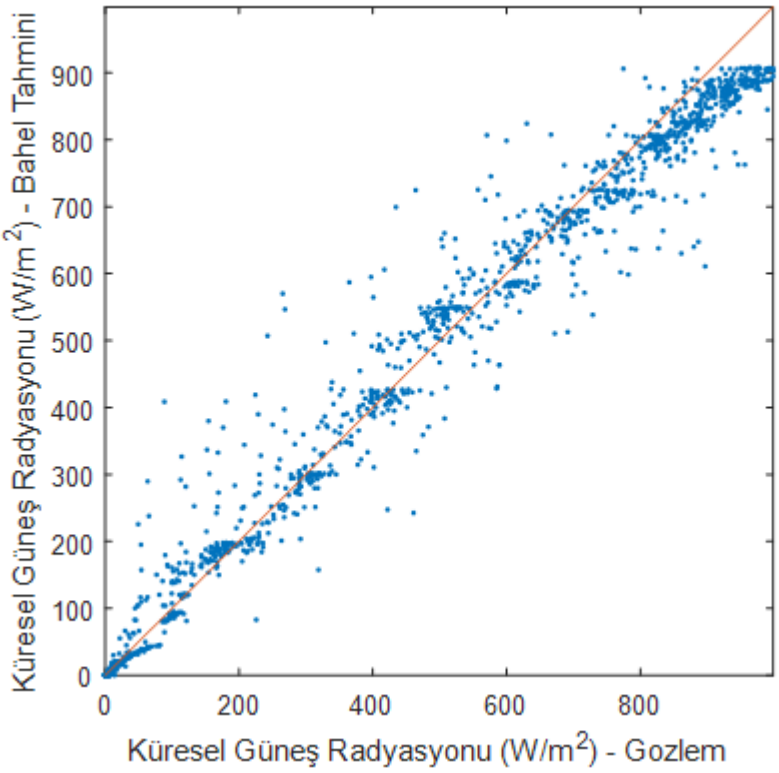
Şekil D.59 : Muğla istasyonu bahar aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



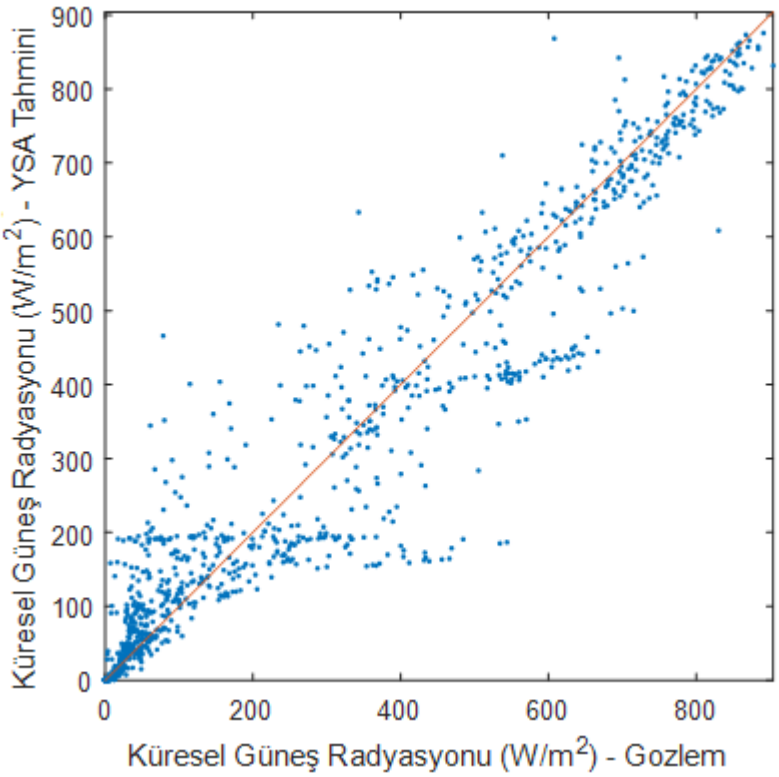
Şekil D.60 : Muğla istasyonu bahar aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.



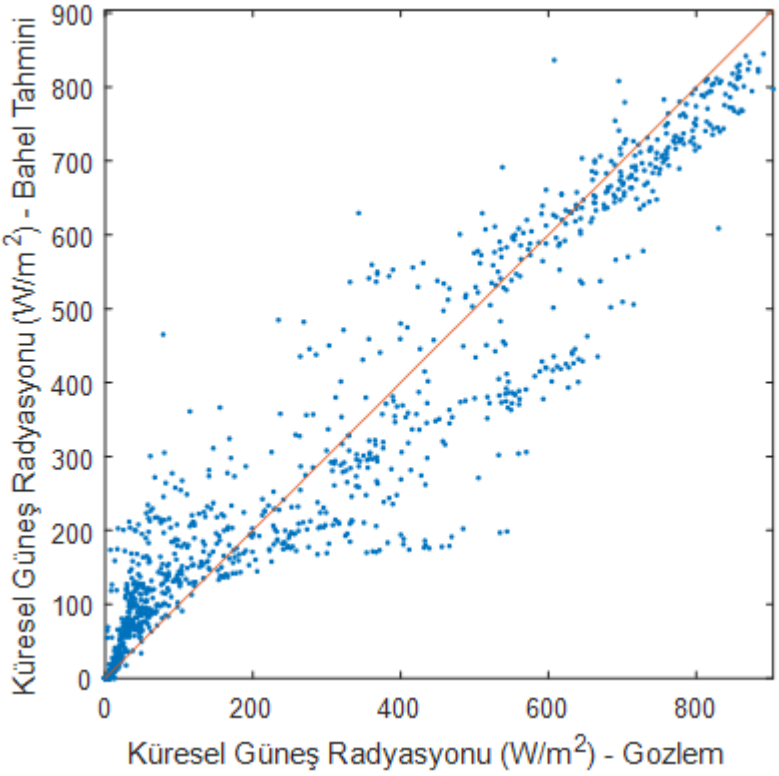
Şekil D.61 : Muğla istasyonu yaz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.



Şekil D.62 : Muğla istasyonu yaz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.

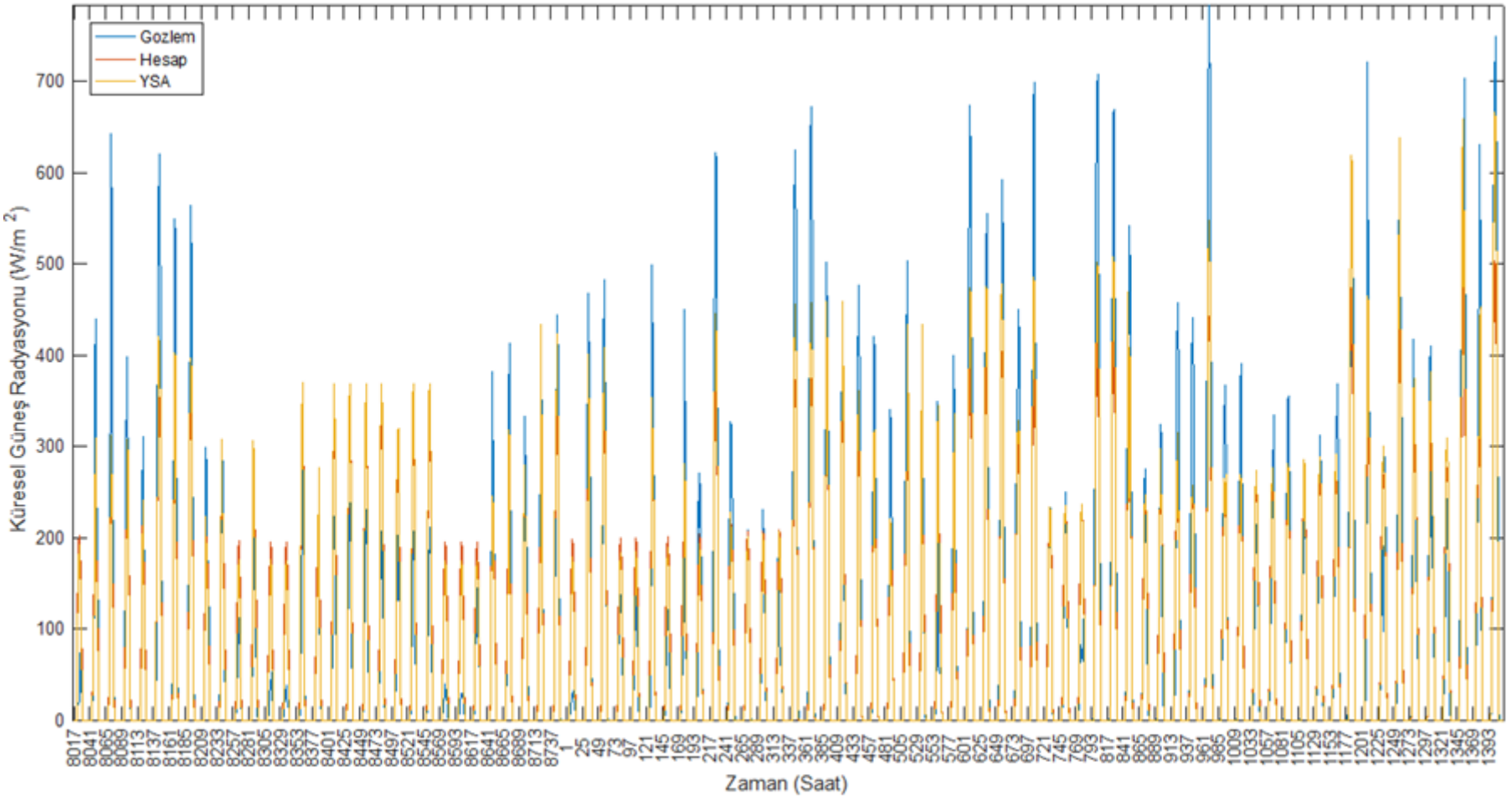


Şekil D.63 : Muğla istasyonu güz aylarına ait YSA-gözlem karşılaştırması.

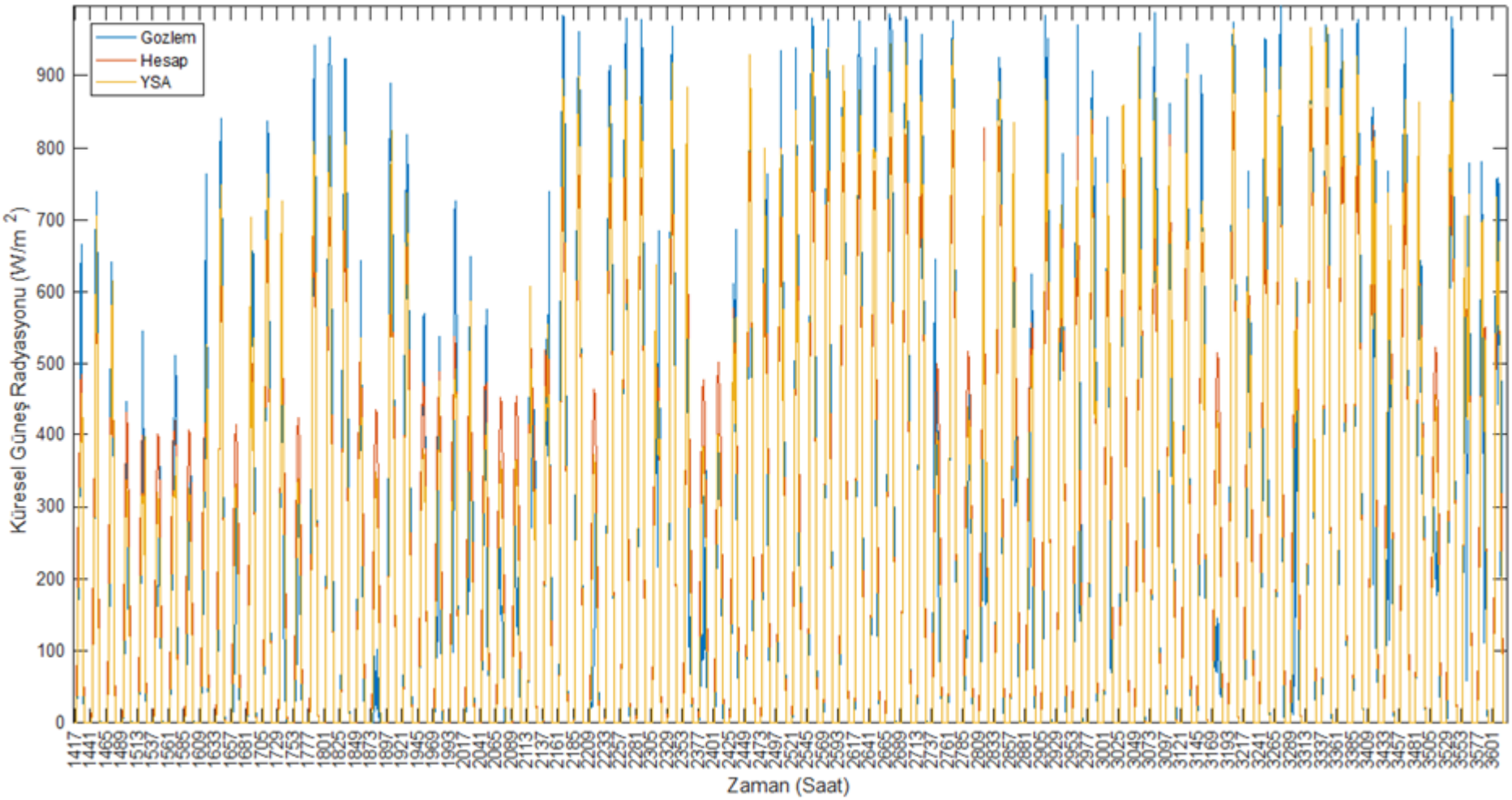


Şekil D.64 : Muğla istasyonu güz aylarına ait Bahel-gözlem karşılaştırması.

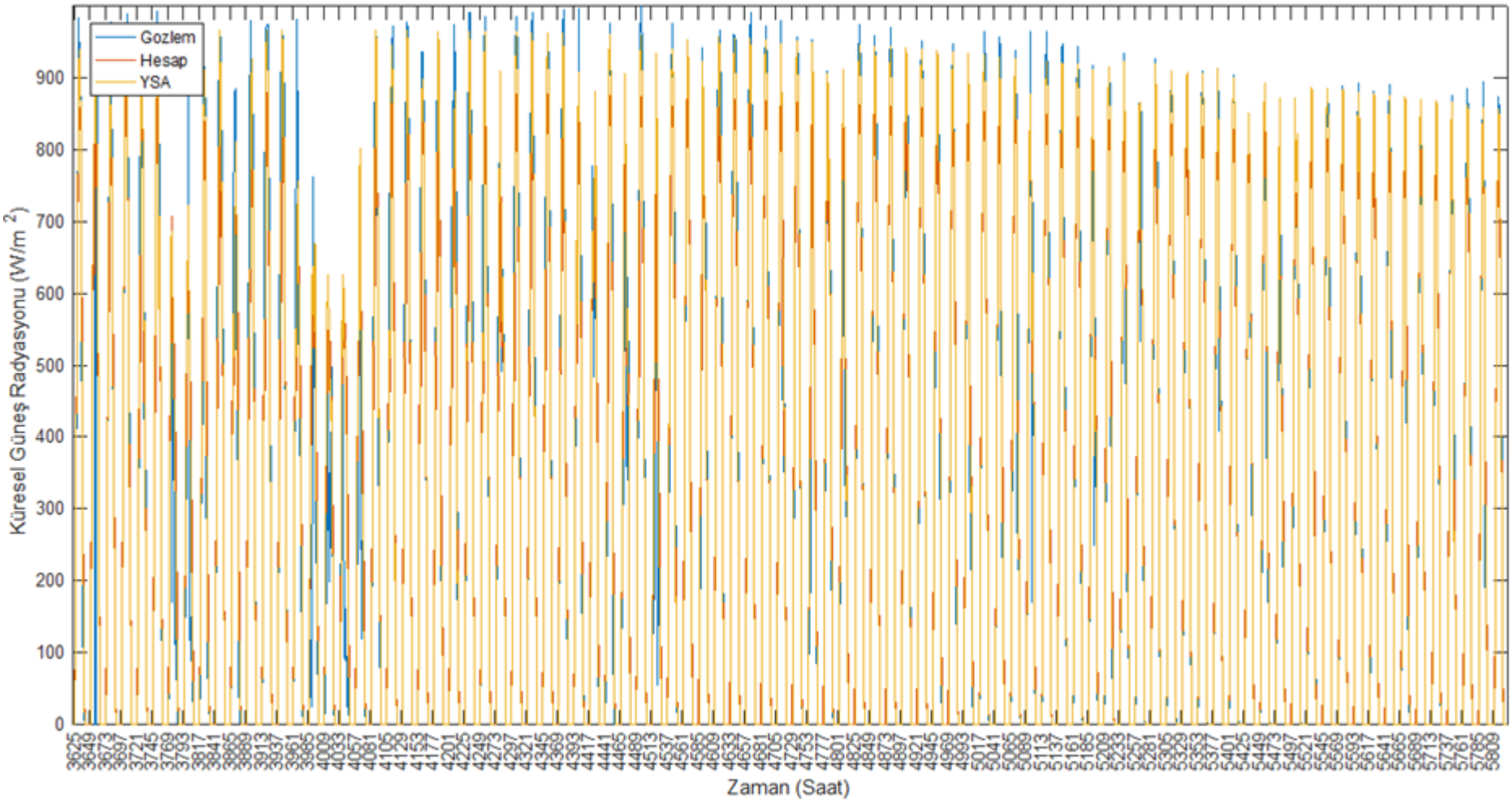
EK E



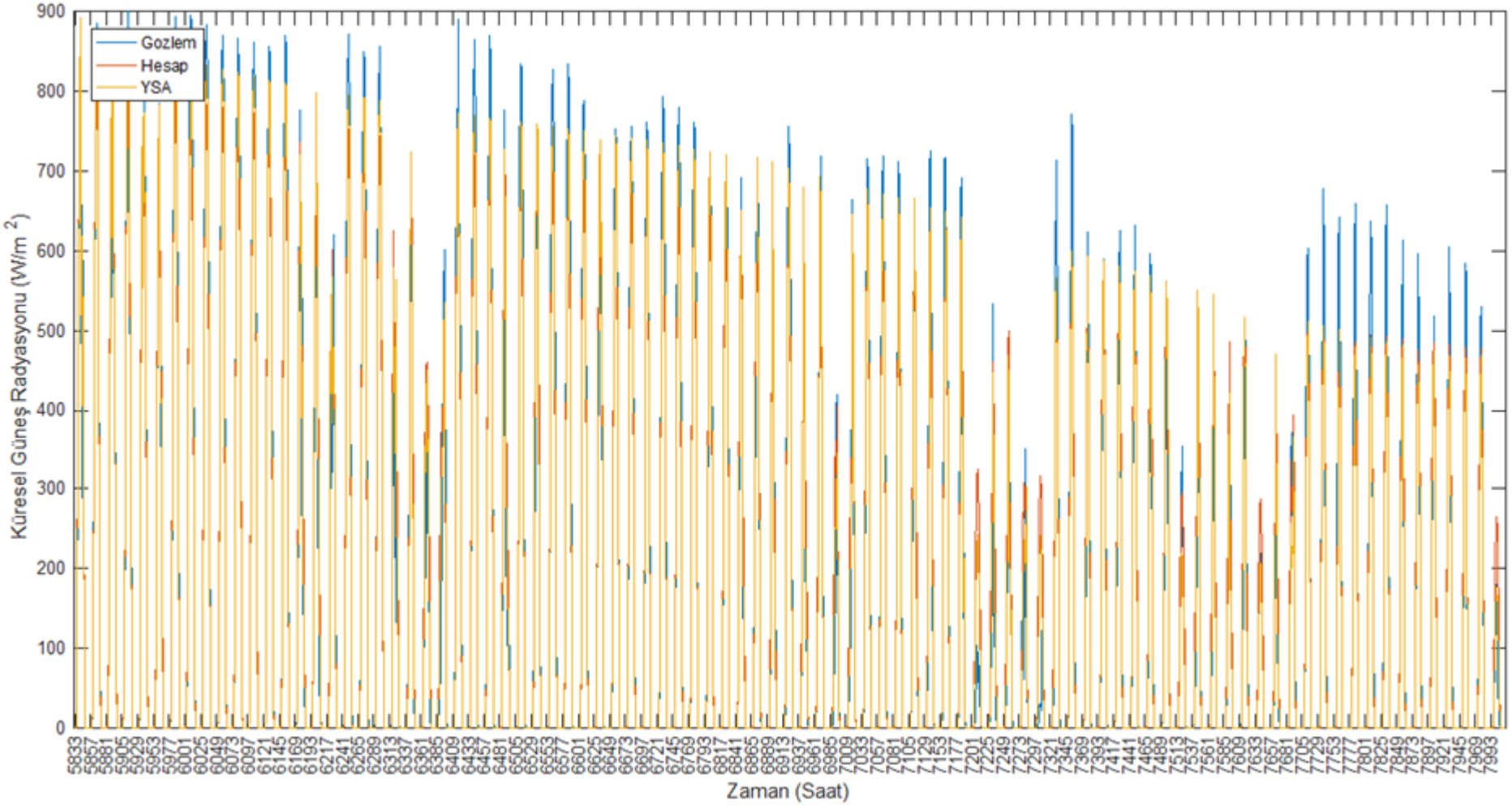
Şekil E.1 : Ağrı istasyonu kış aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



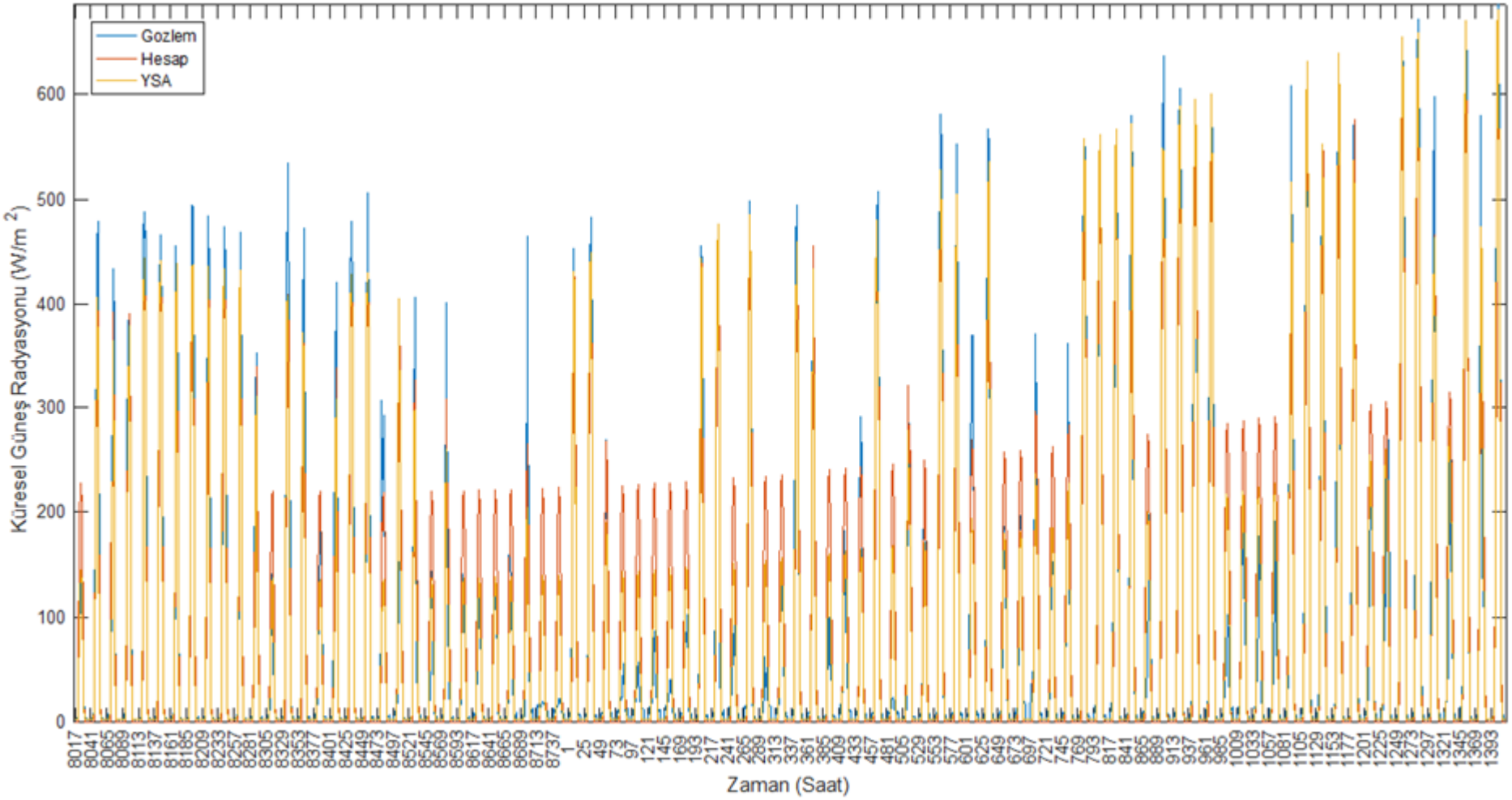
Şekil E.2 : Ağrı istasyonu bahar aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



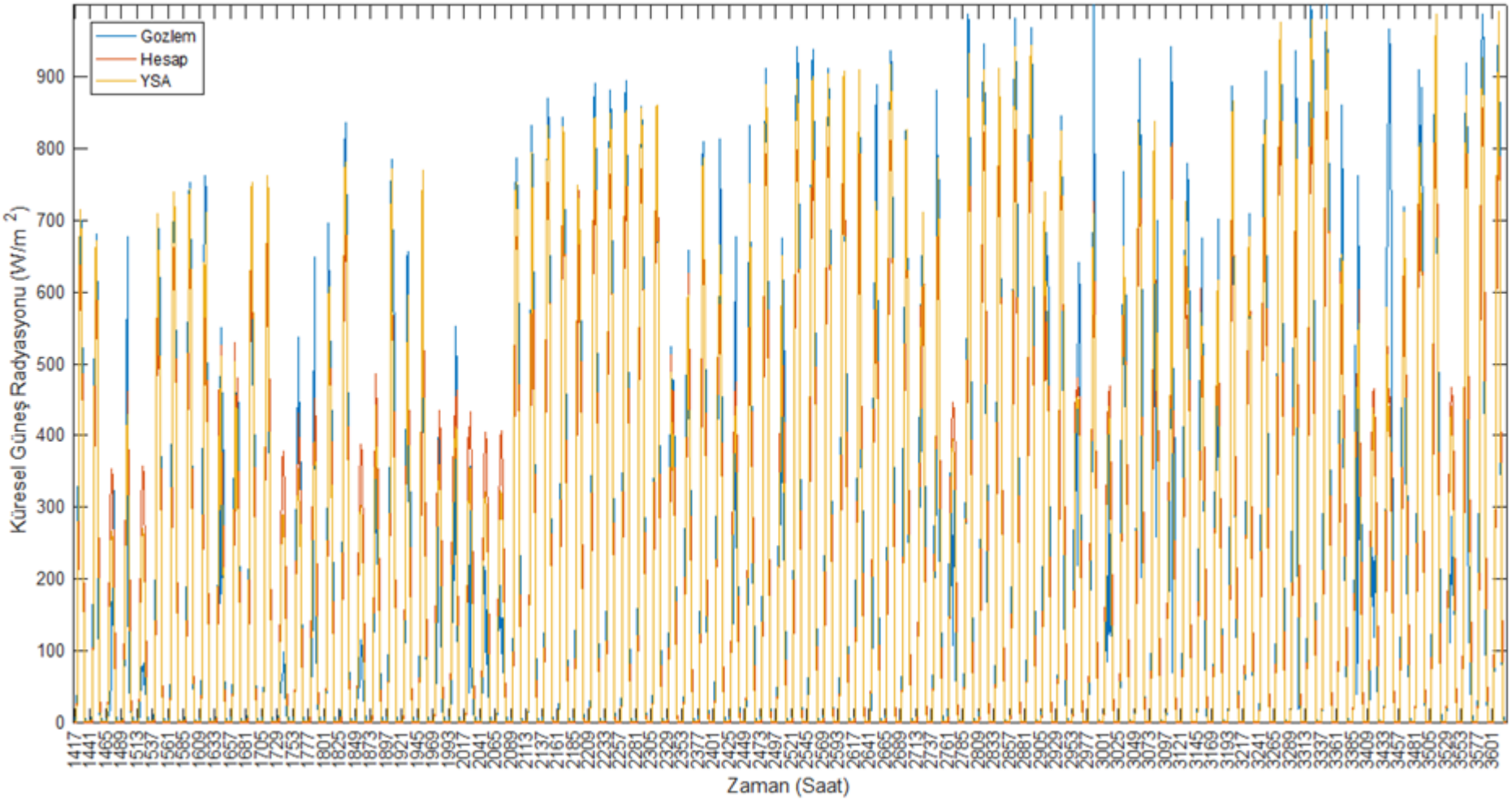
Şekil E.3 : Ağrı istasyonu yaz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



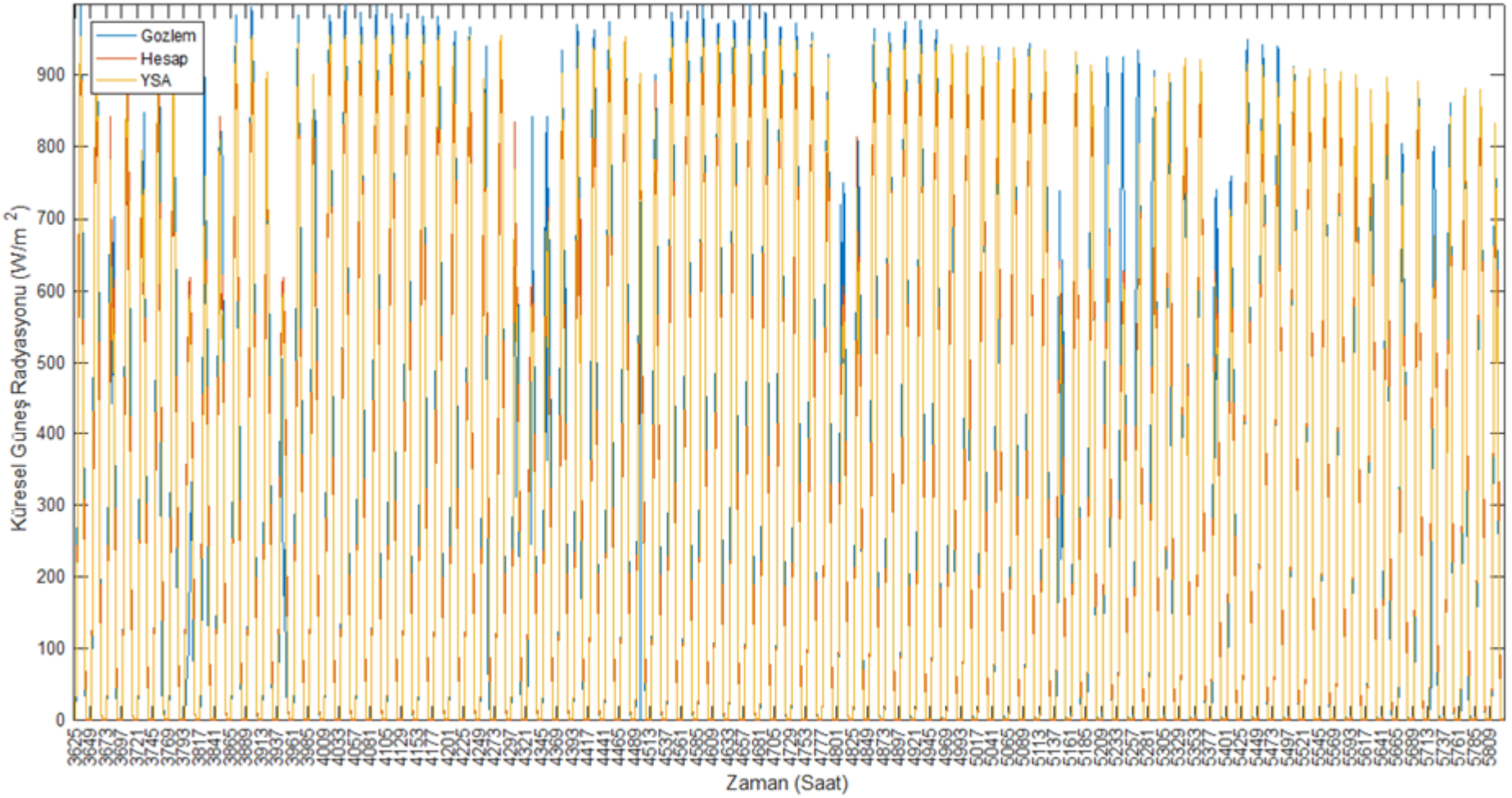
Şekil E.4 : Ağrı istasyonu güz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



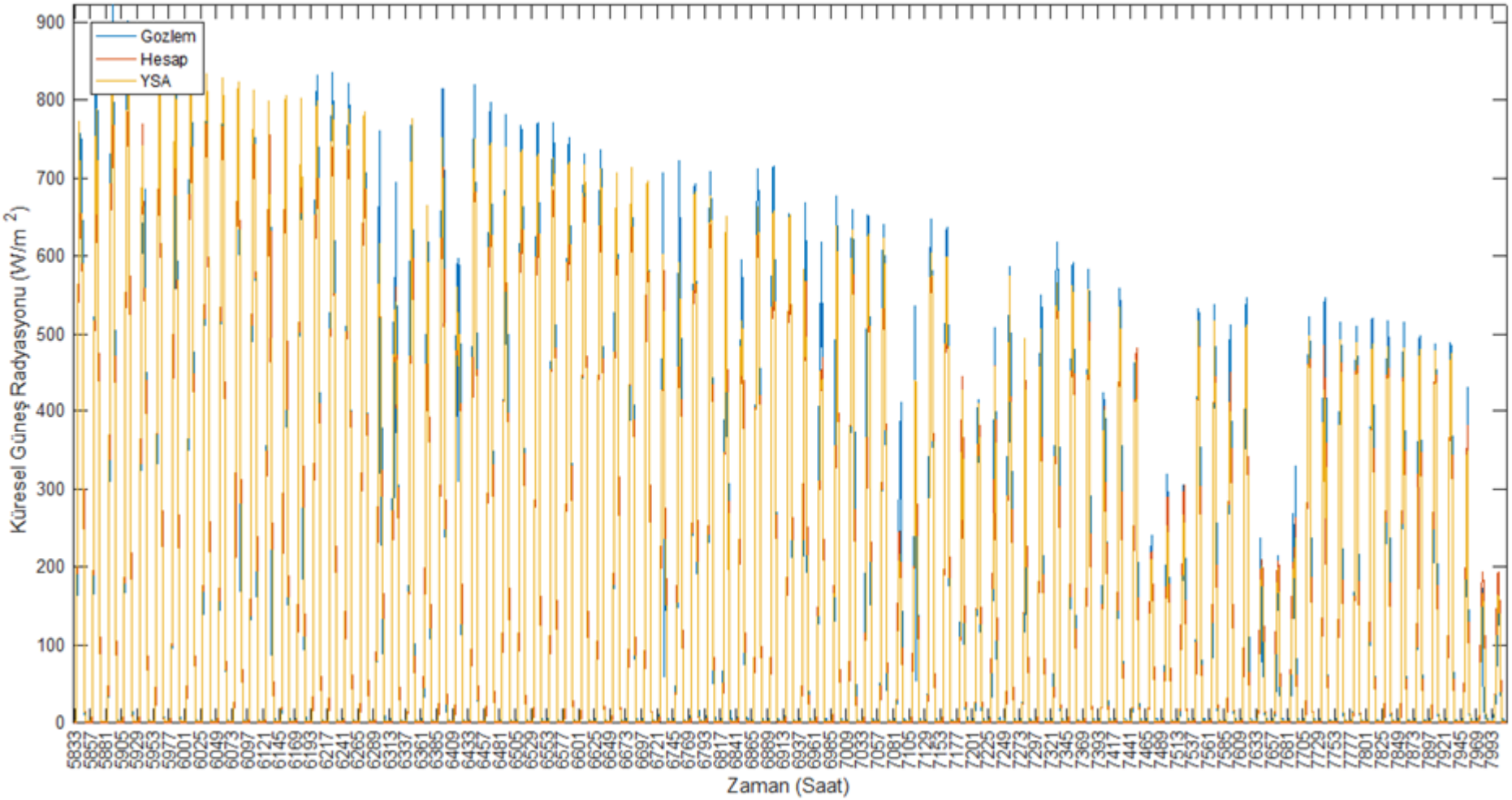
Şekil E.5 : Ankara istasyonu kış aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



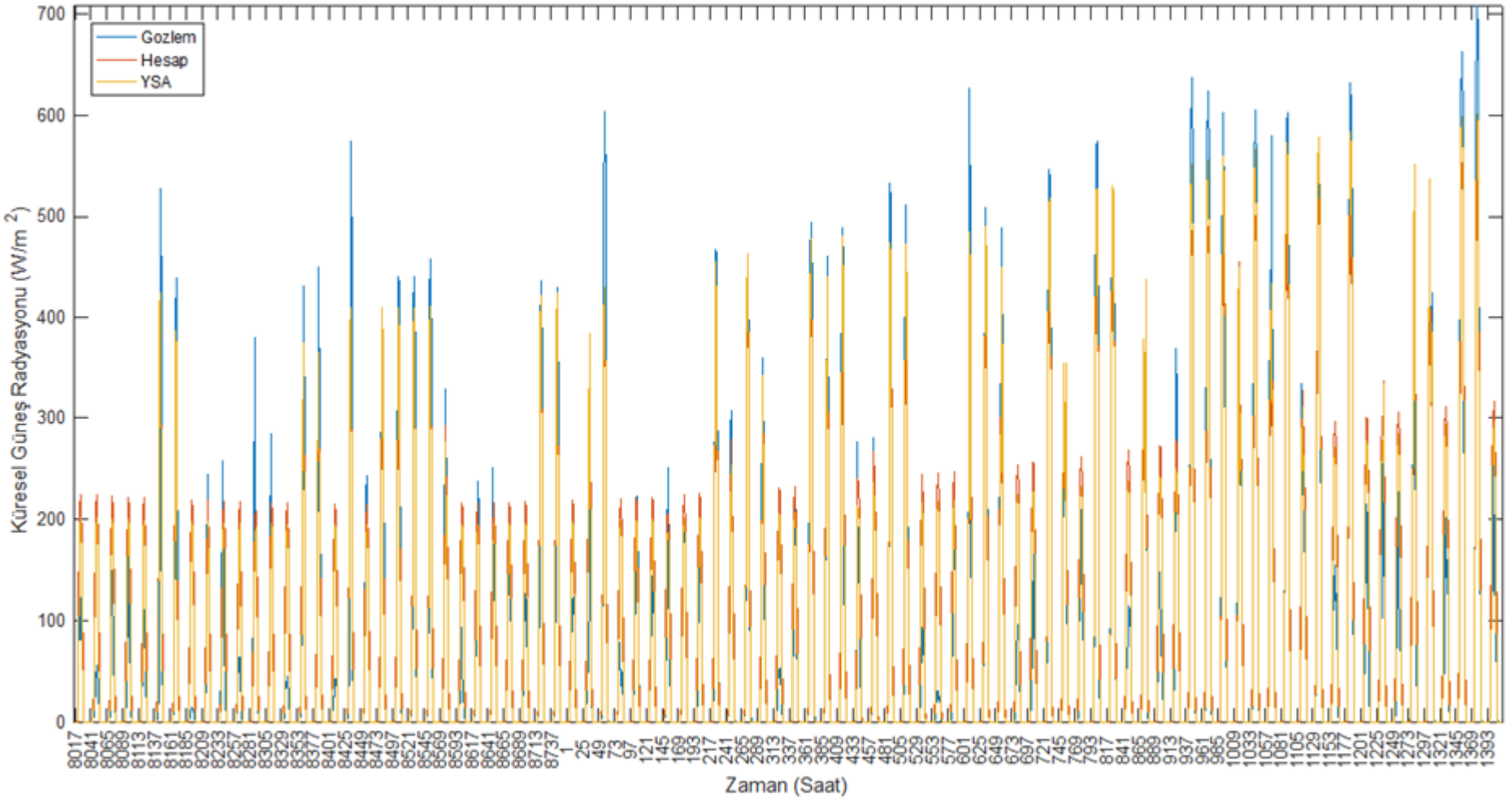
Şekil E.6 : Ankara istasyonu bahar aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



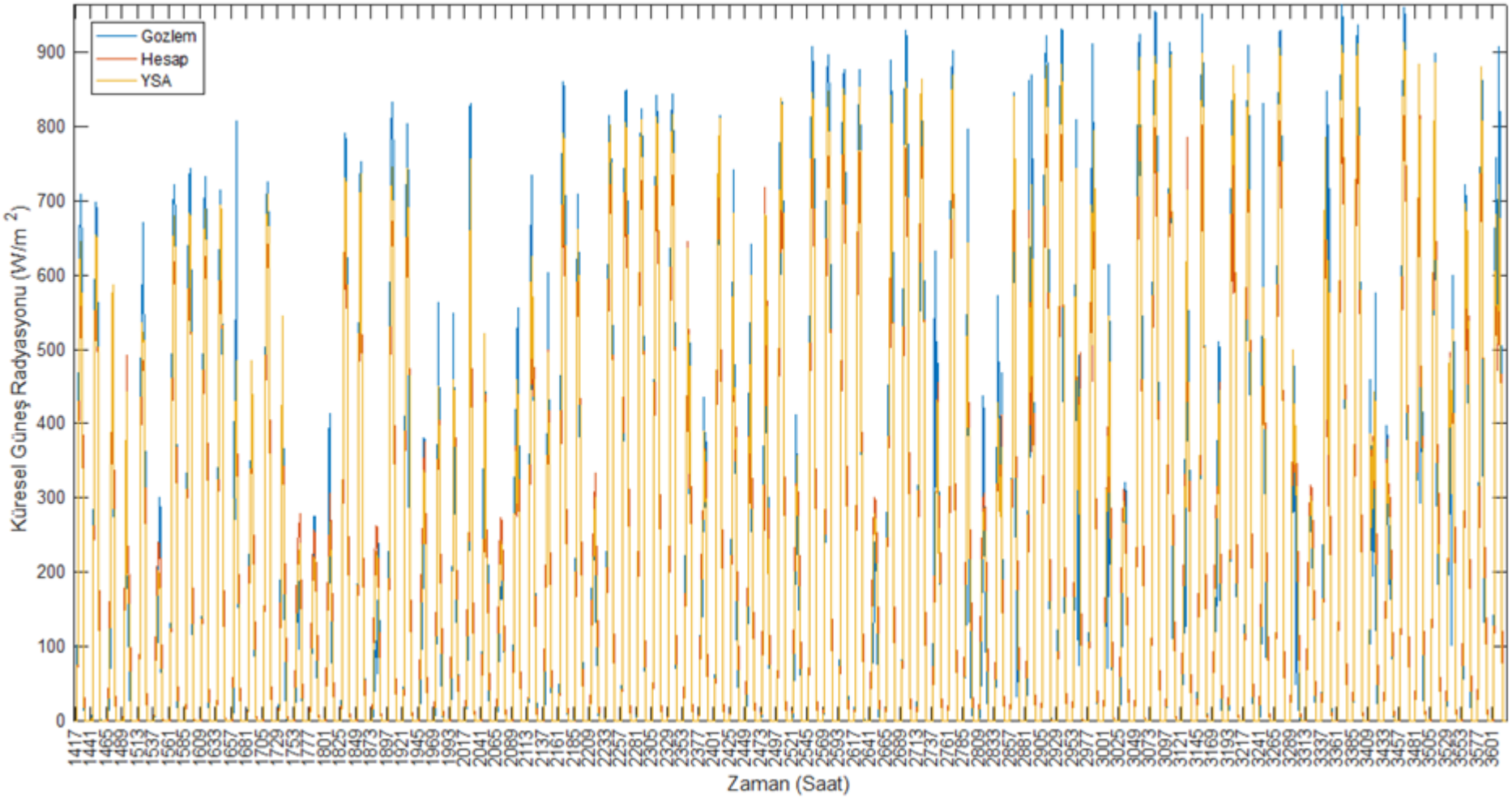
Şekil E.7 : Ankara istasyonu yaz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



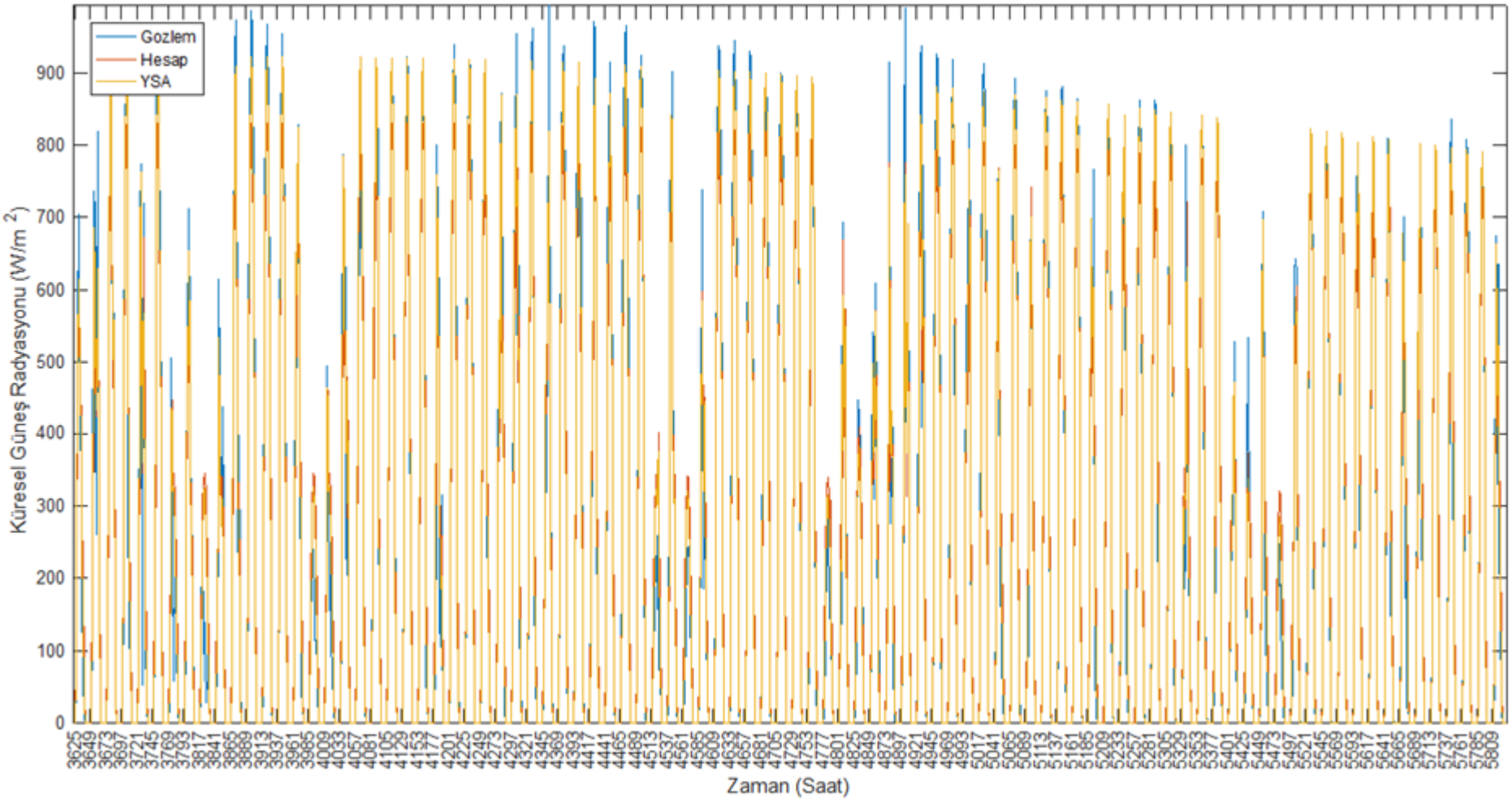
Şekil E.8 : Ankara istasyonu güz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



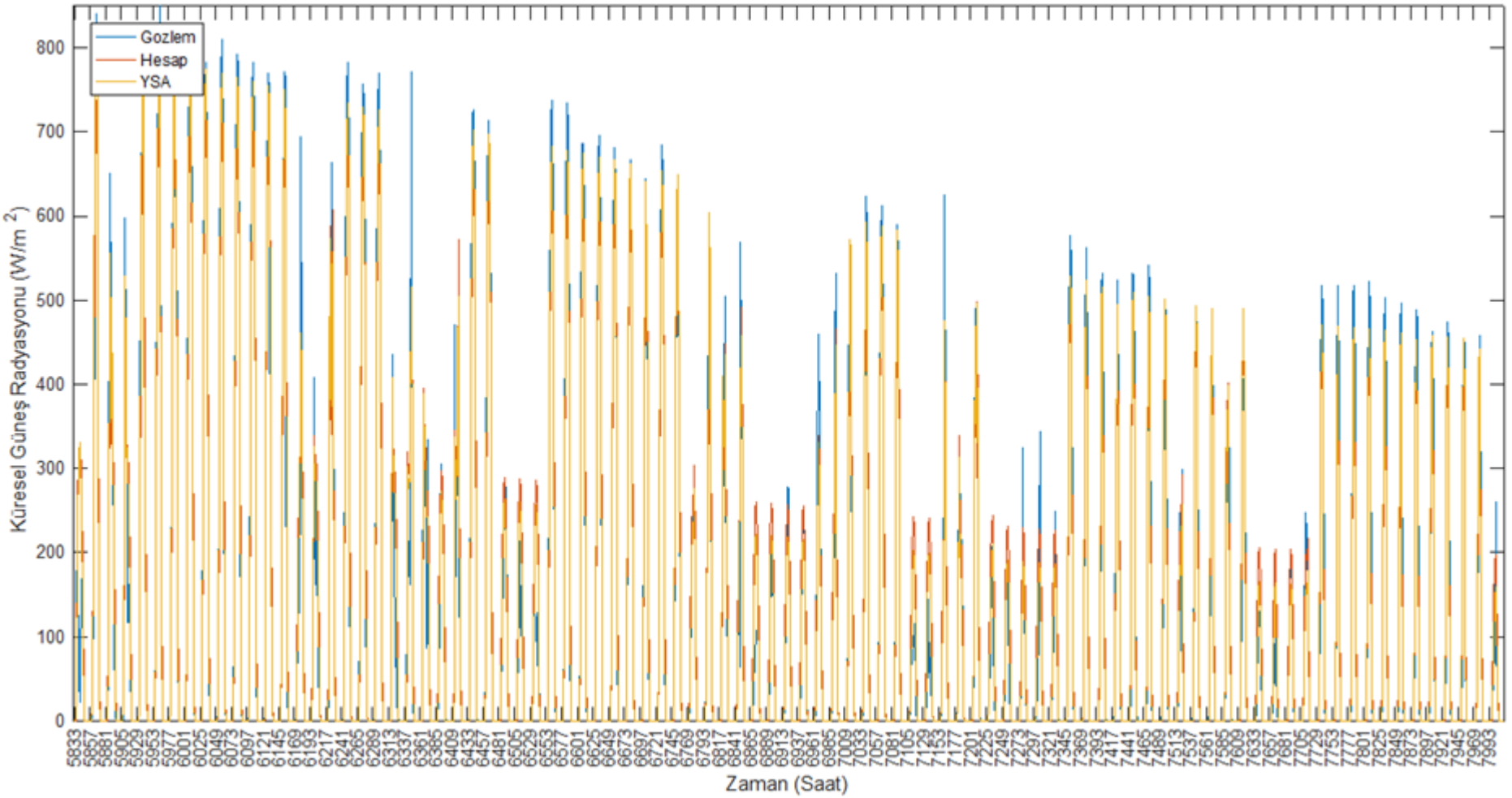
Şekil E.9 : Artvin istasyonu kış aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



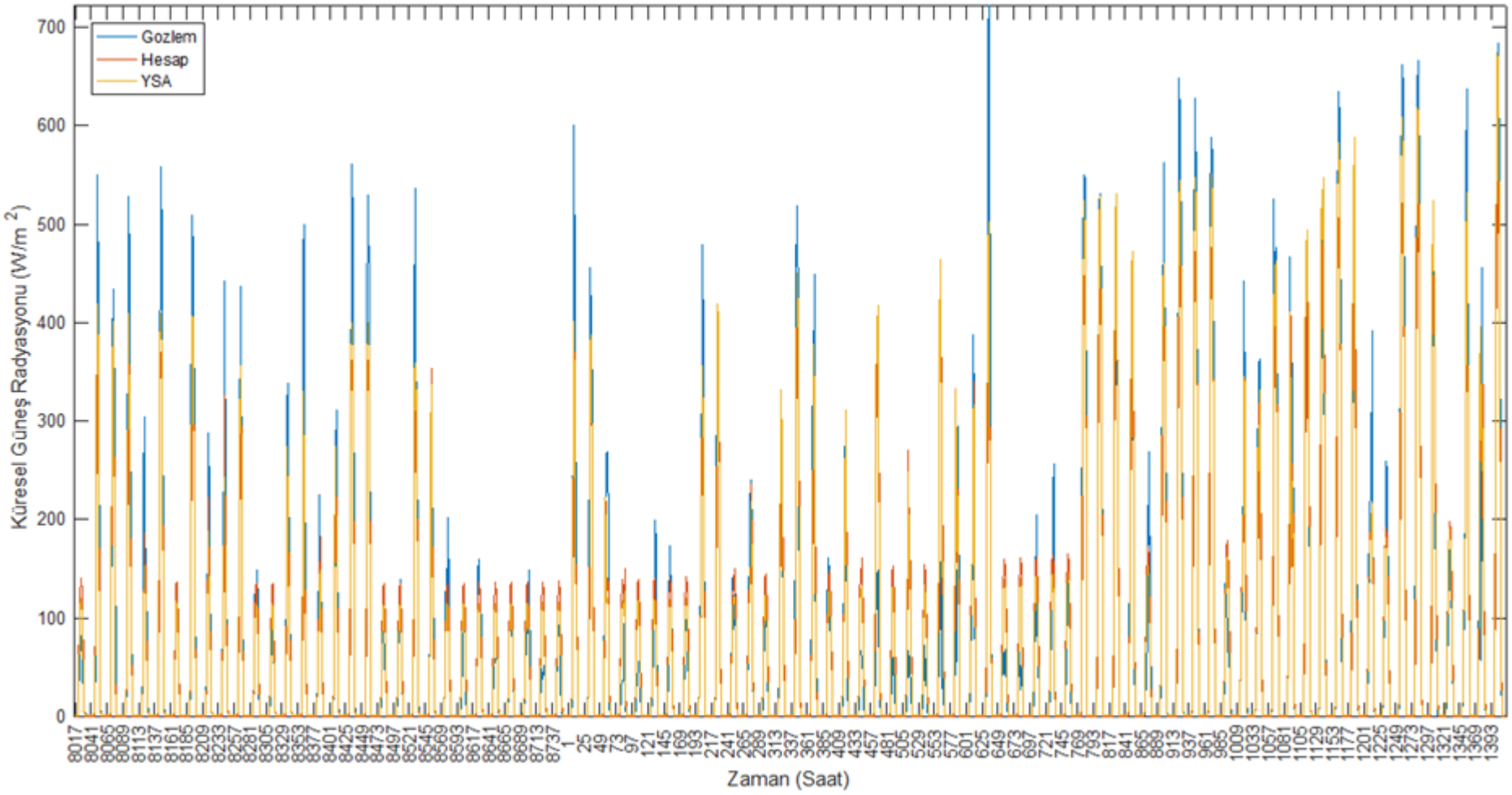
Şekil E.10 : Artvin istasyonu bahar aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



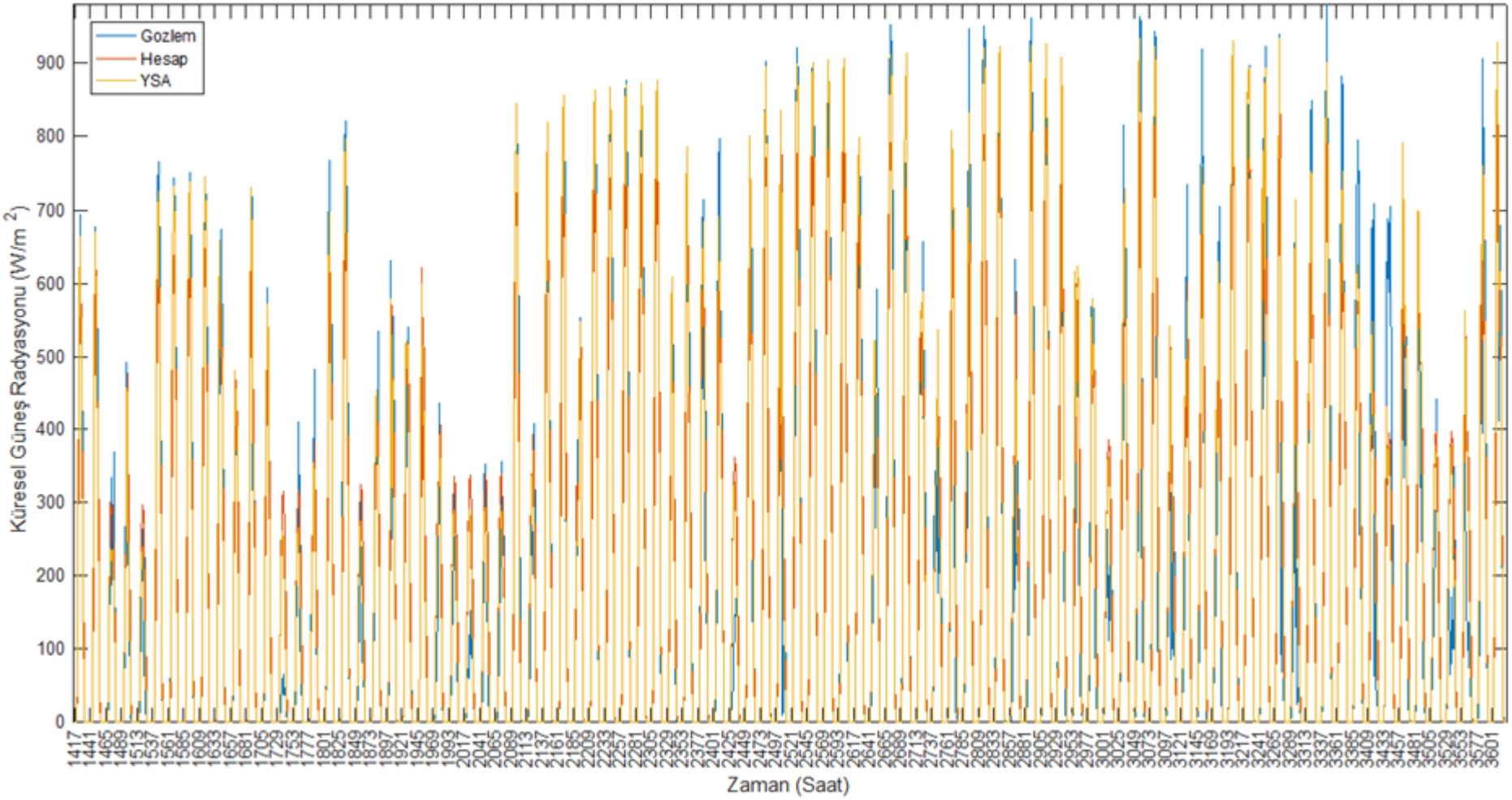
Şekil E.11 : Artvin istasyonu yaz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



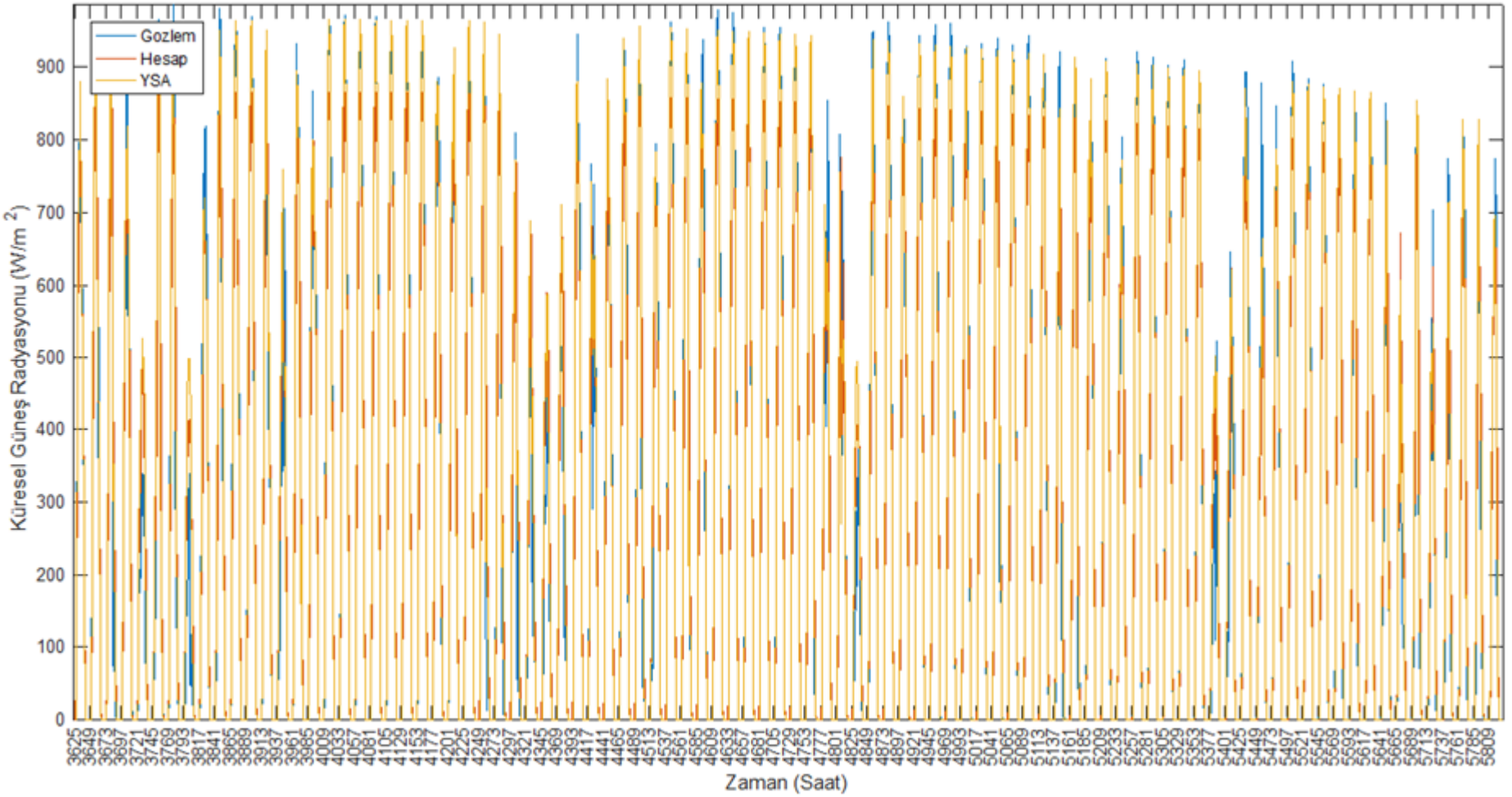
Şekil E.12 : Artvin istasyonu güz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



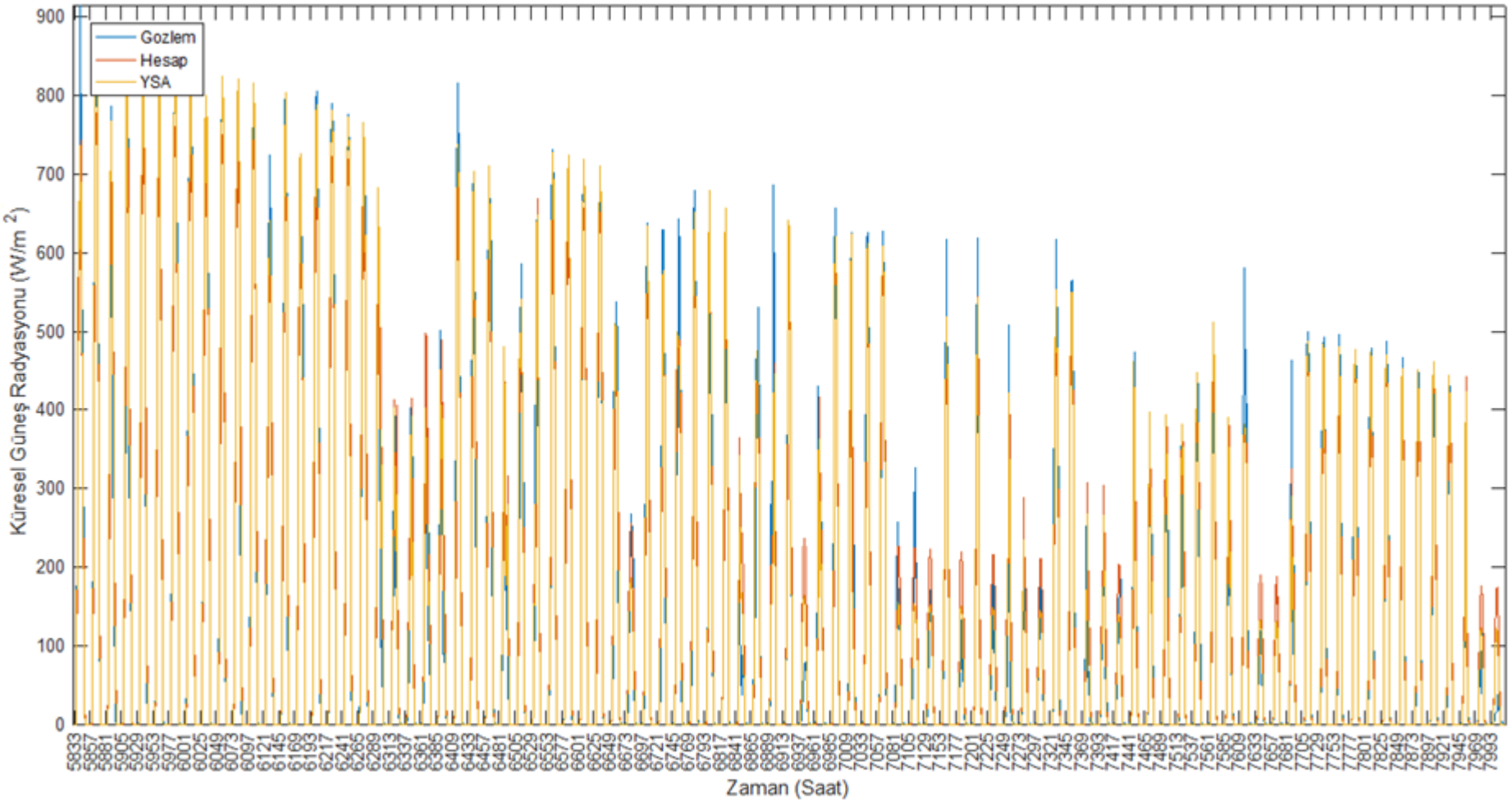
Şekil E.13 : Kastamonu istasyonu kış aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



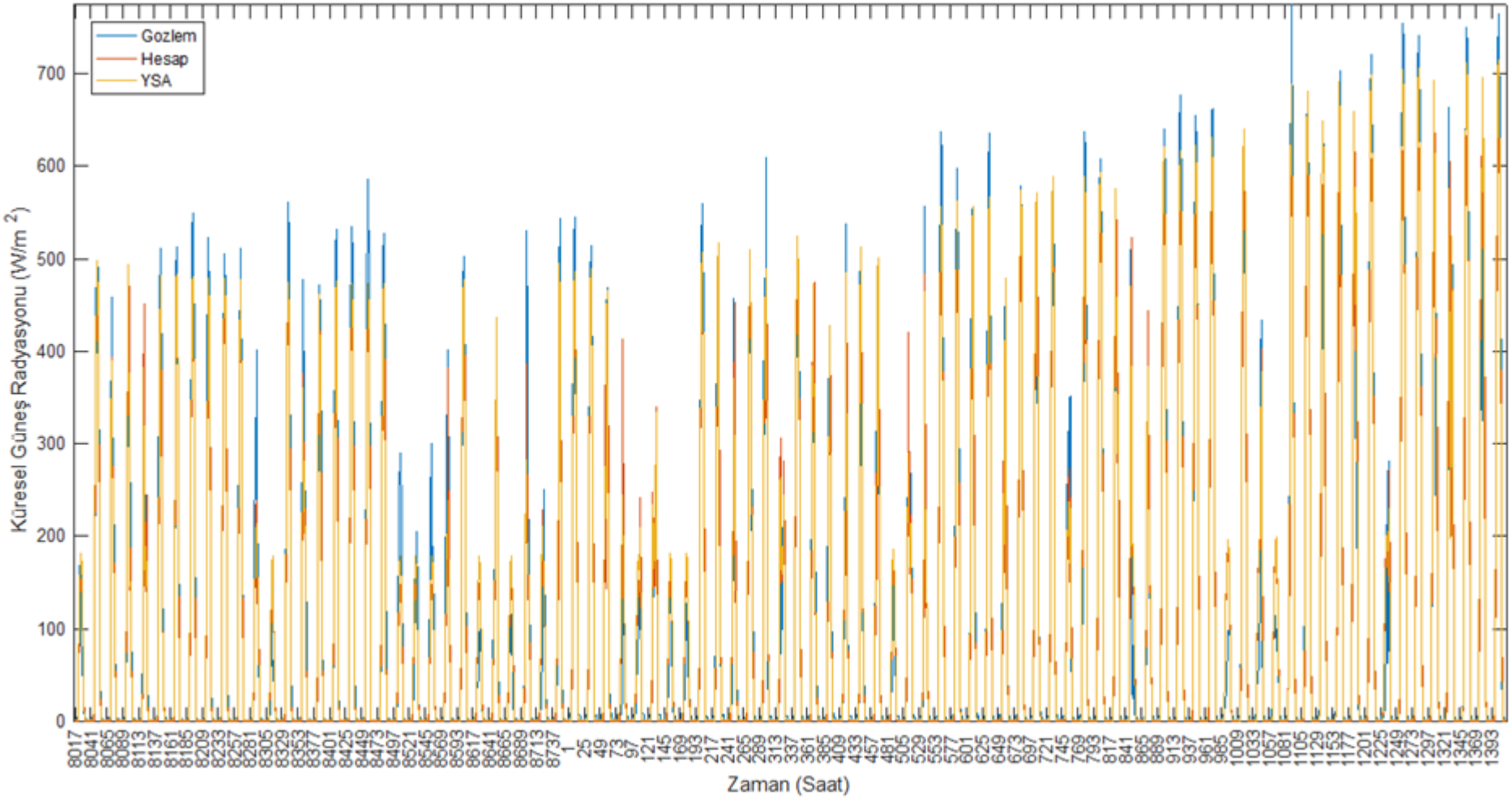
Şekil E.14 : Kastamonu istasyonu bahar aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



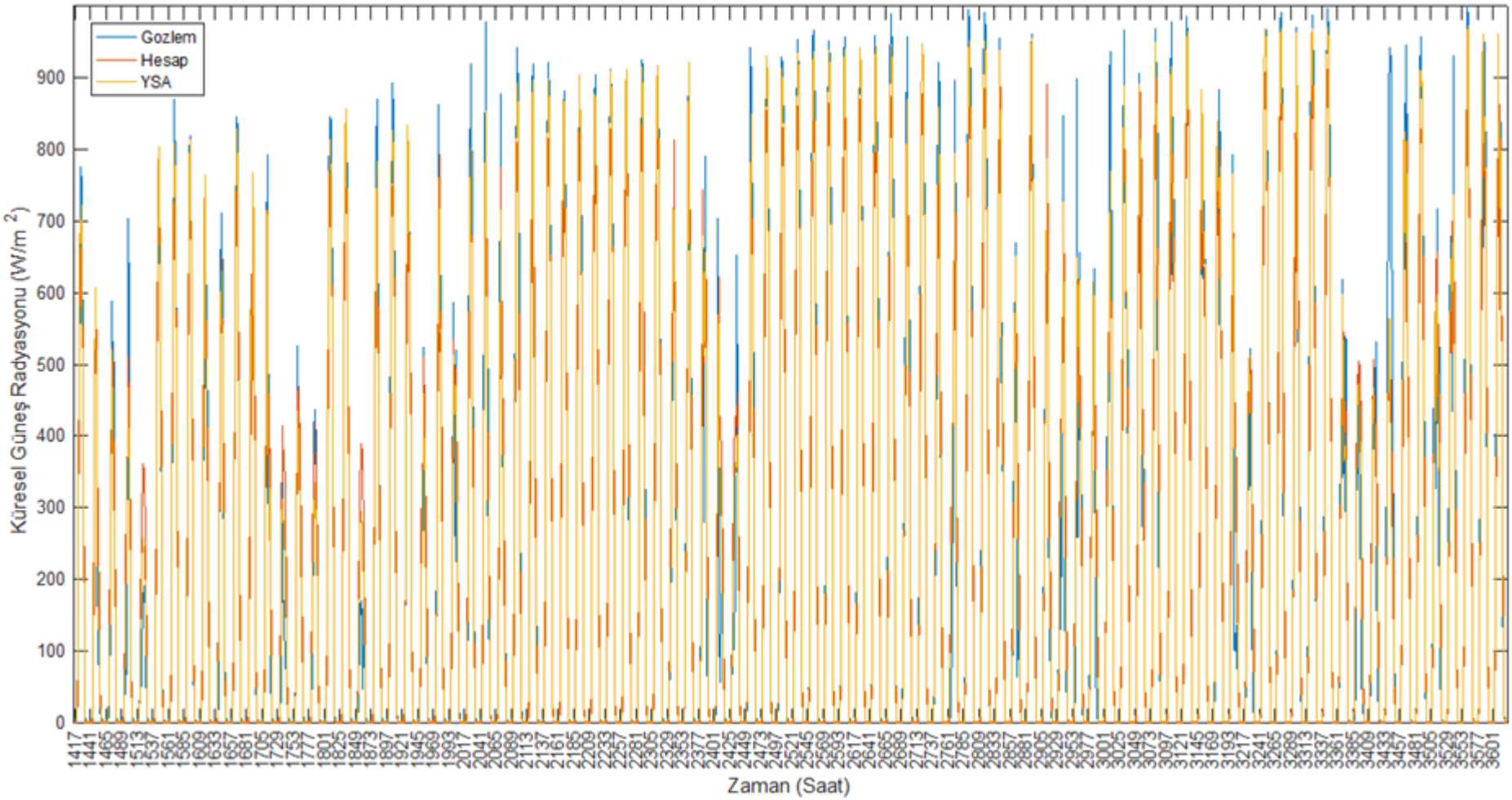
Şekil E.15 : Kastamonu istasyonu yaz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



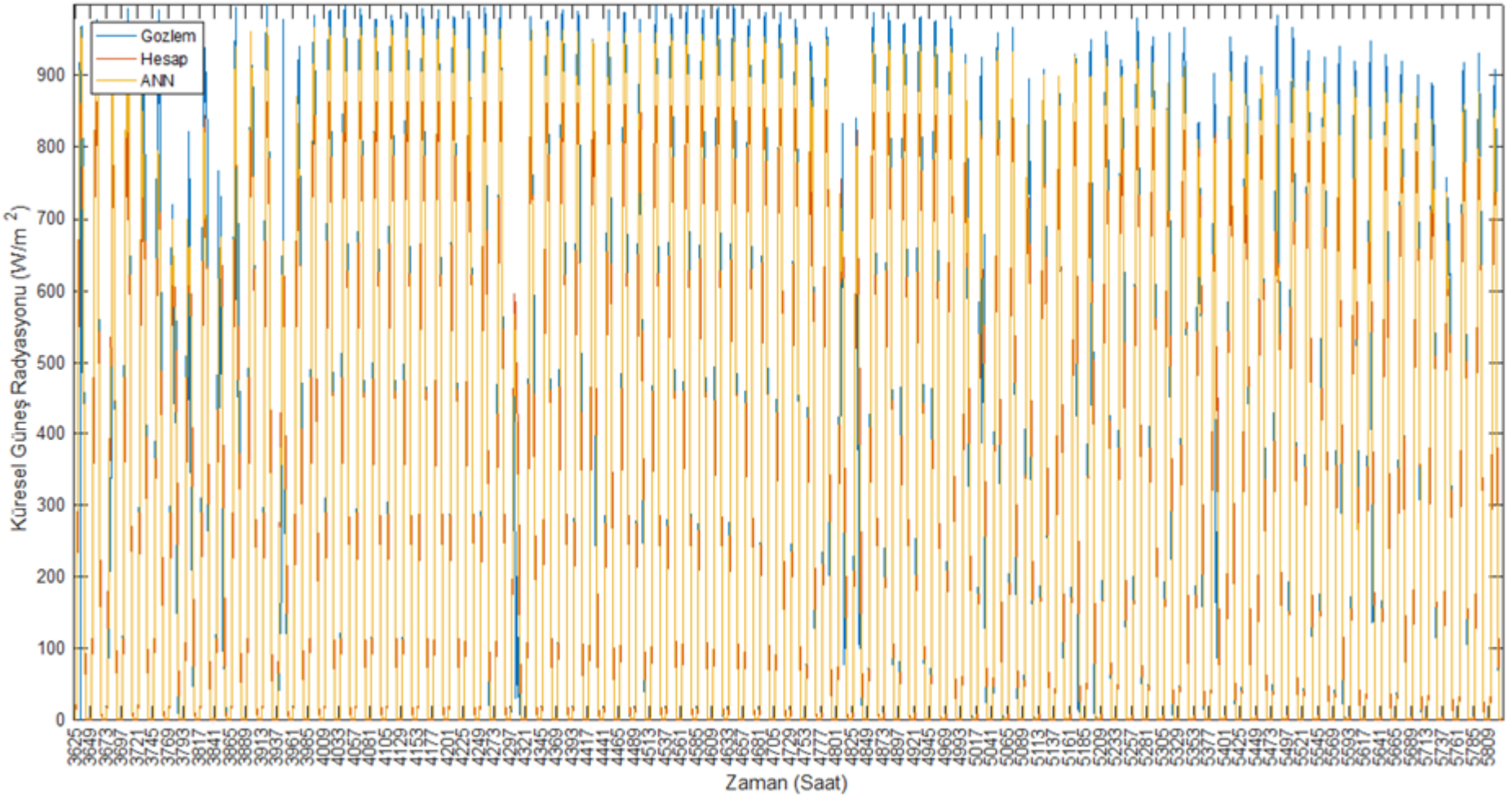
Şekil E.16 : Kastamonu istasyonu güz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



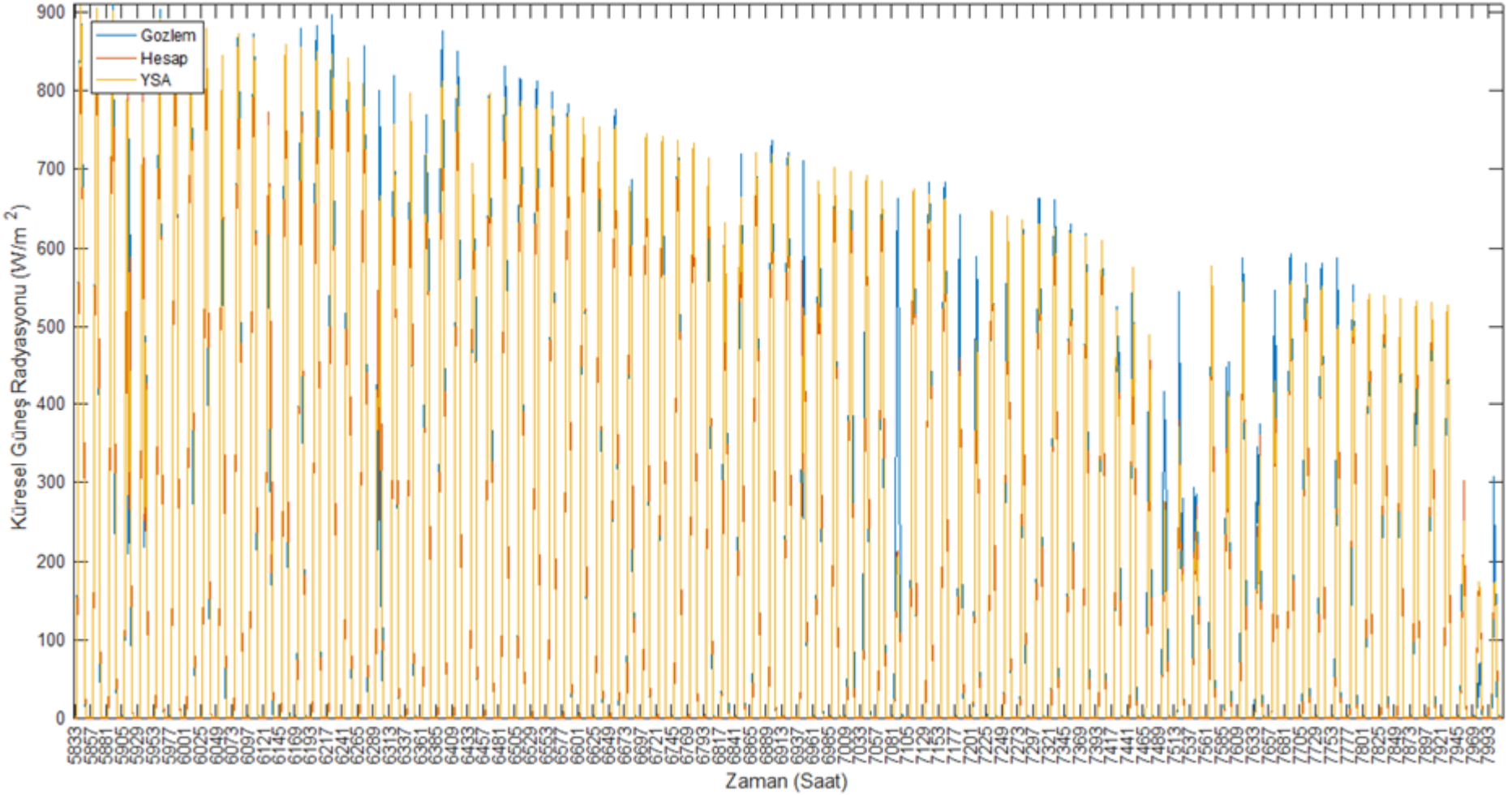
Şekil E.17 : Isparta istasyonu kış aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



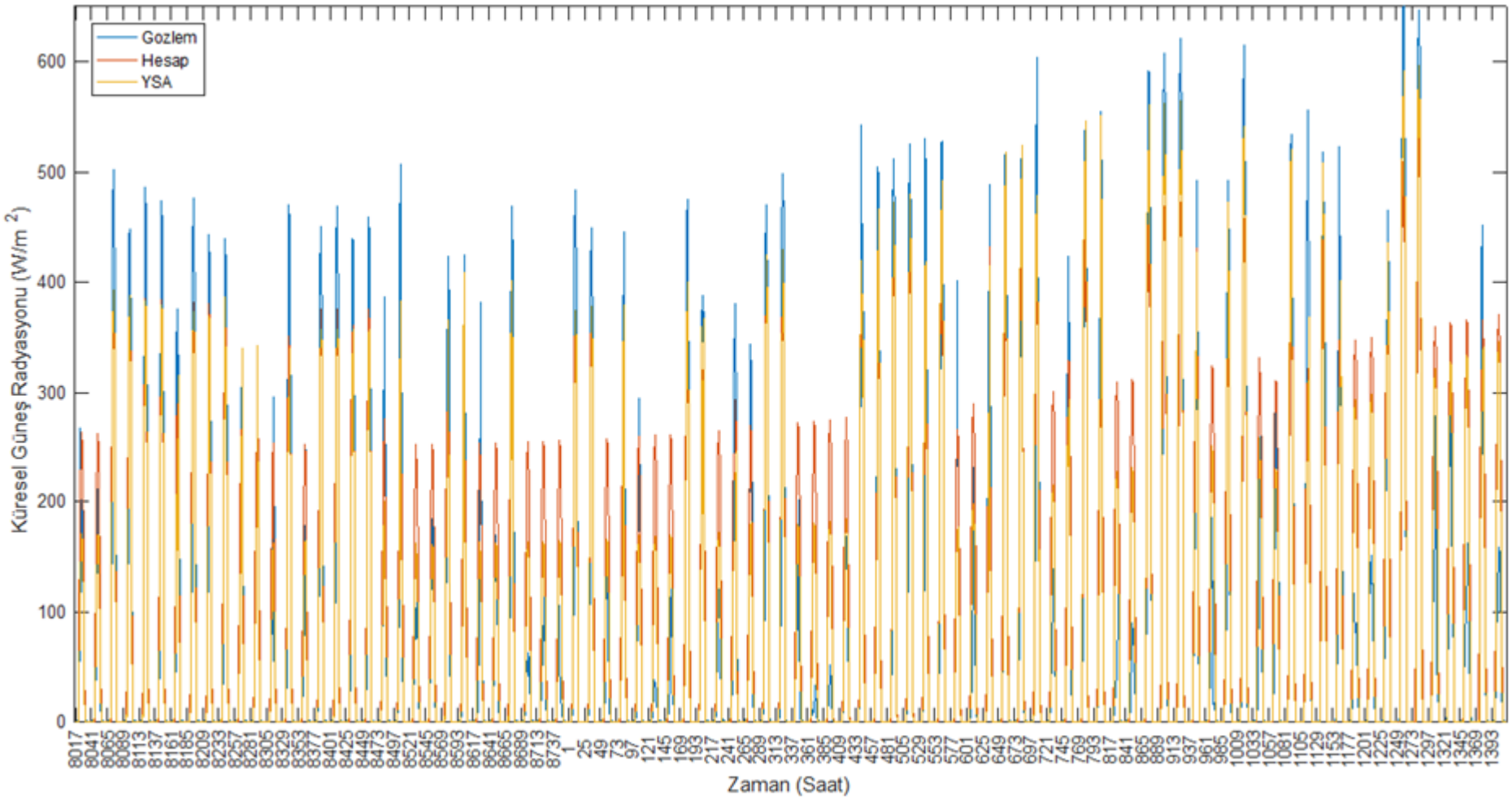
Şekil E.18 : Isparta istasyonu bahar aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



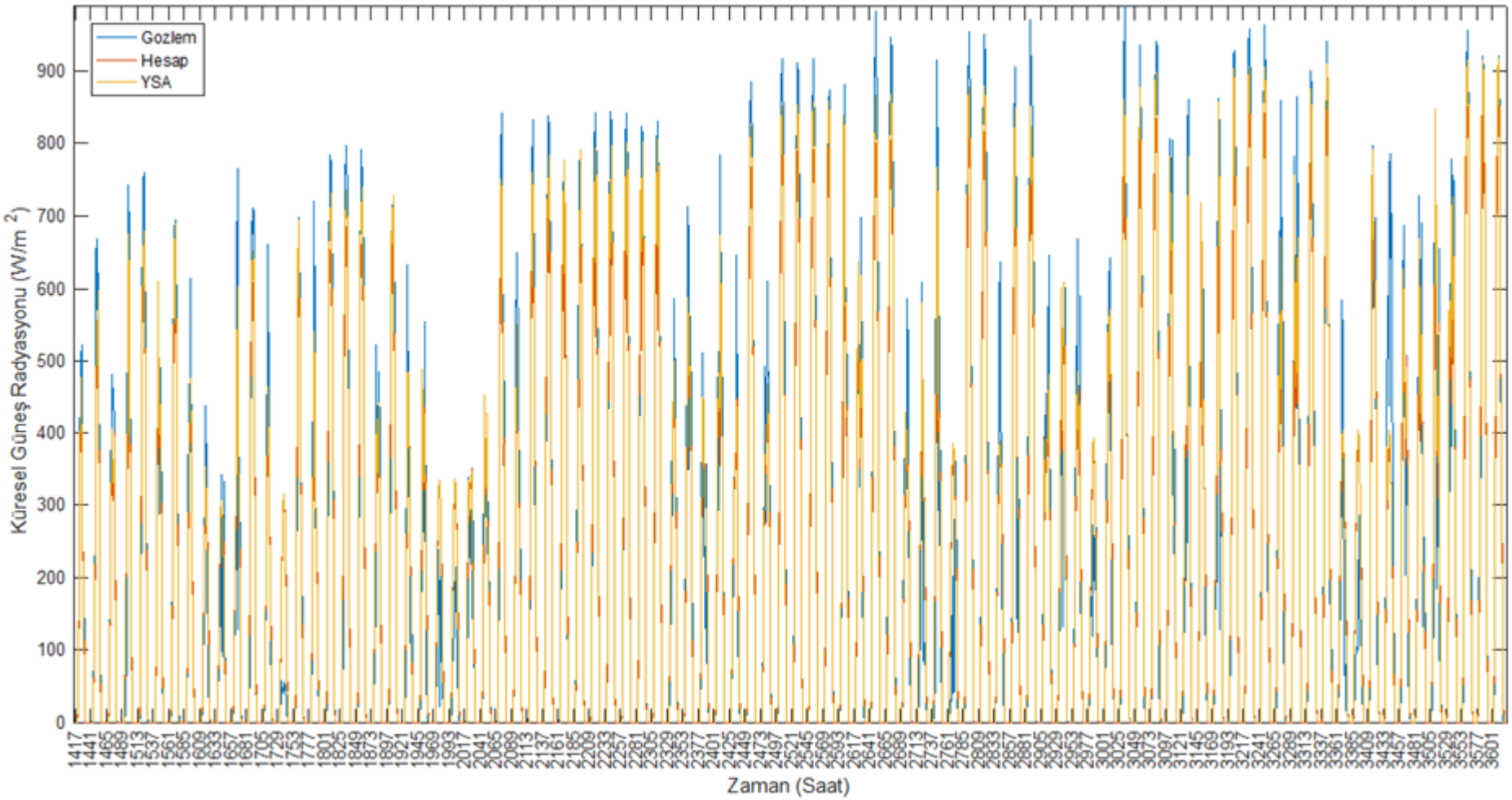
Şekil E.19 : Isparta istasyonu yaz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



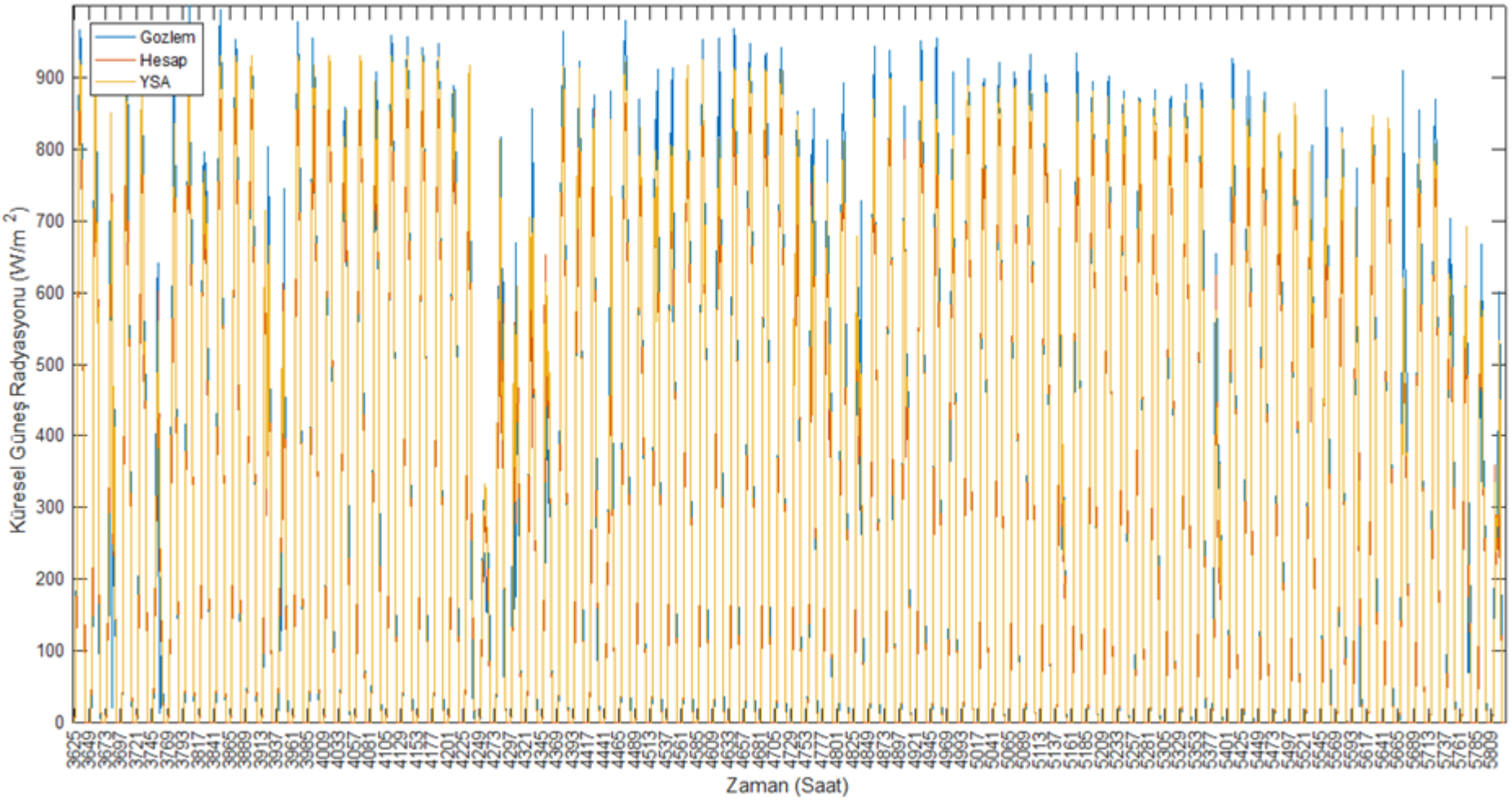
Şekil E.20 : Isparta istasyonu güz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



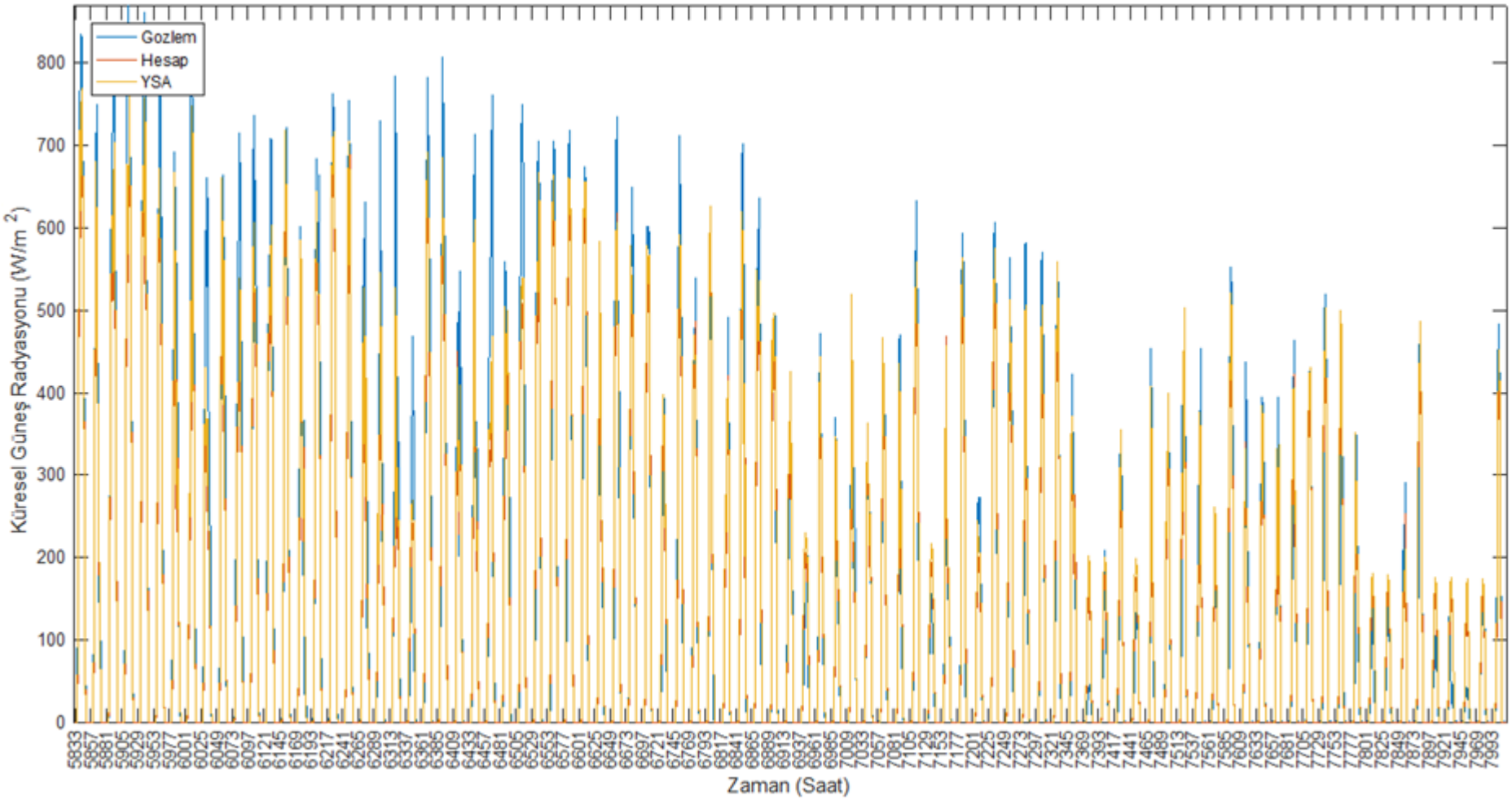
Şekil E.21 : Kırklareli istasyonu kış aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



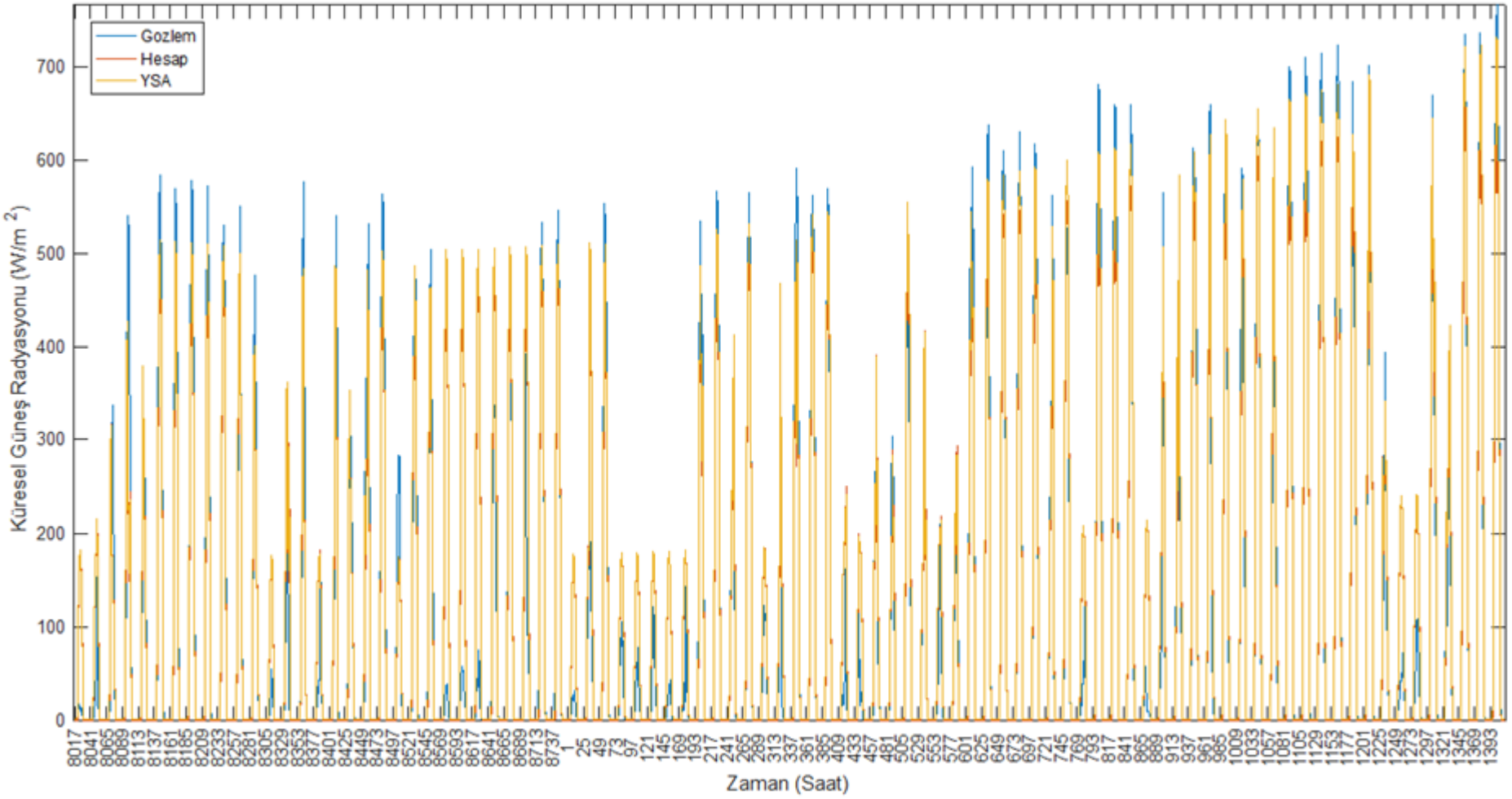
Şekil E.22 : Kırklareli istasyonu bahar aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



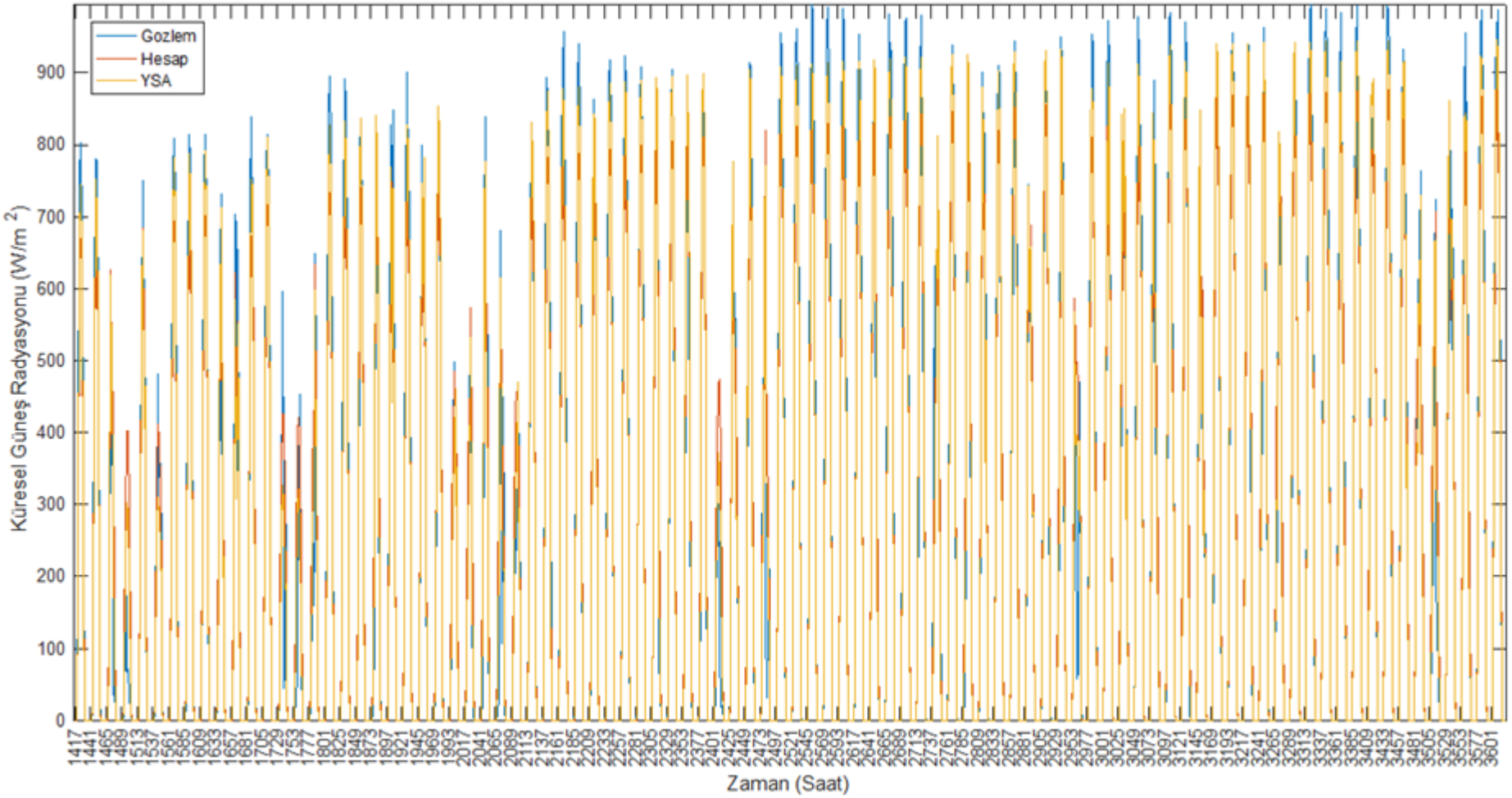
Şekil E.23 : Kırklareli istasyonu yaz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



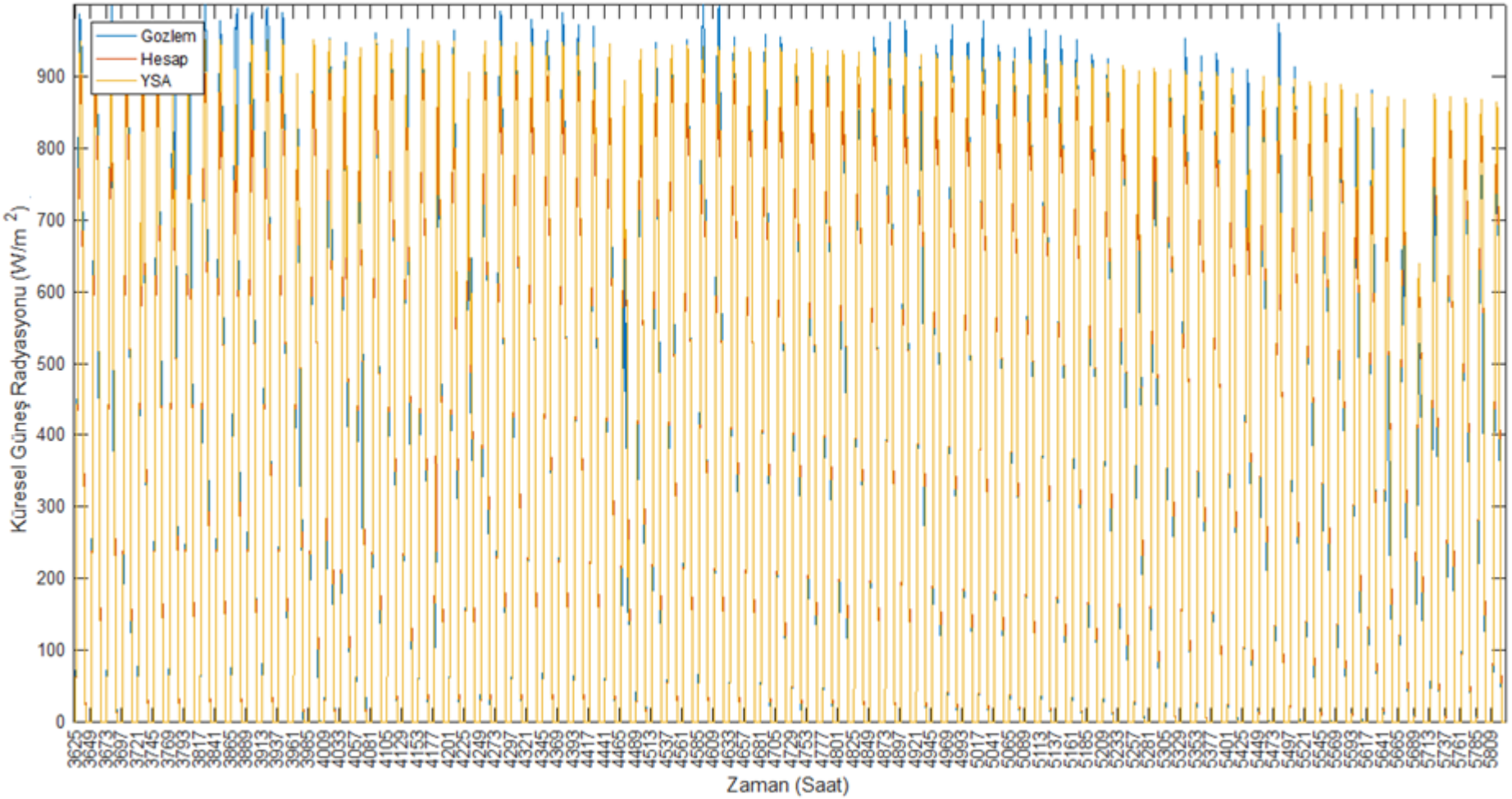
Şekil E.24 : Kırklareli istasyonu güz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



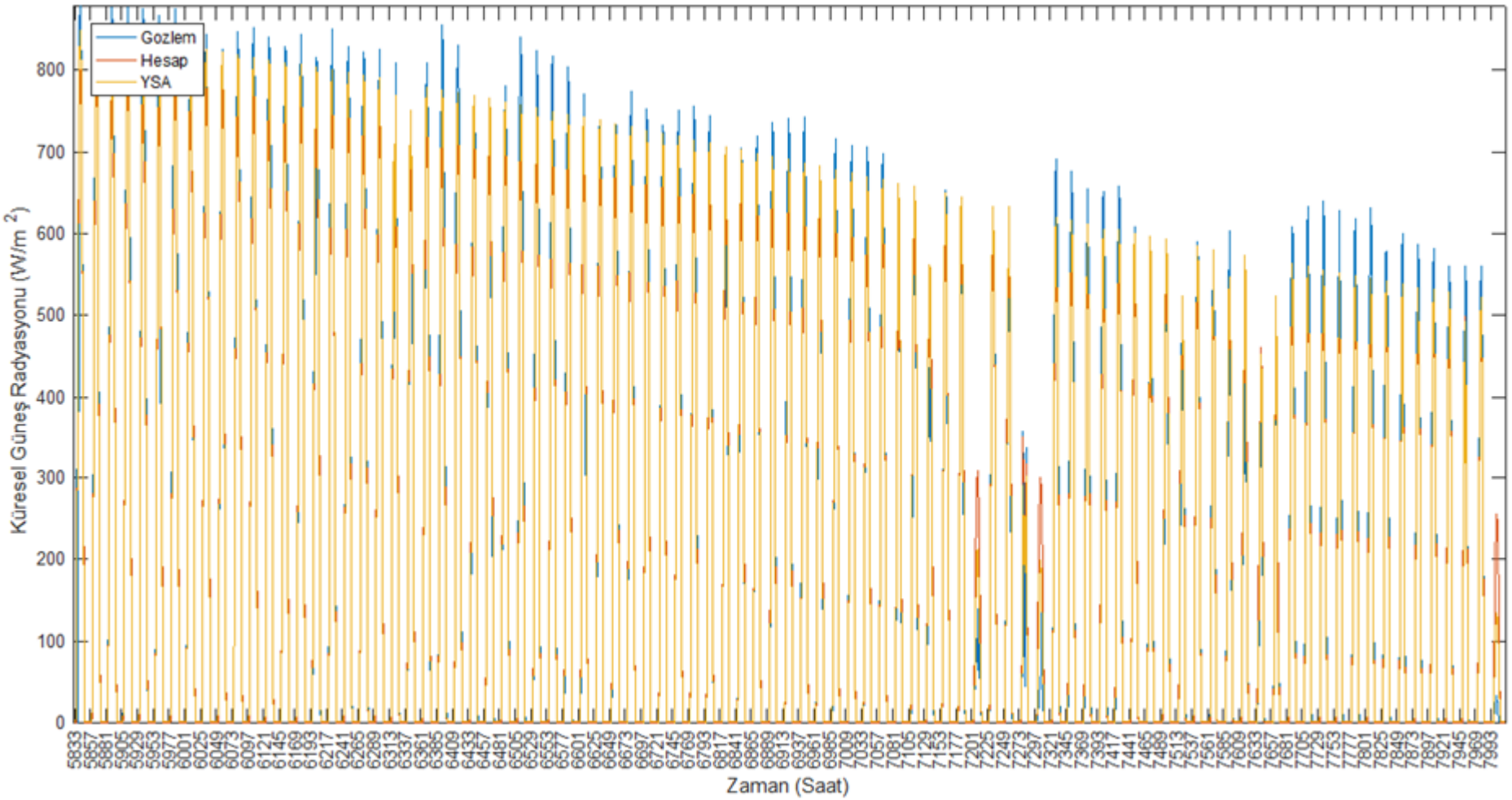
Şekil E.25 : Mardin istasyonu kış aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



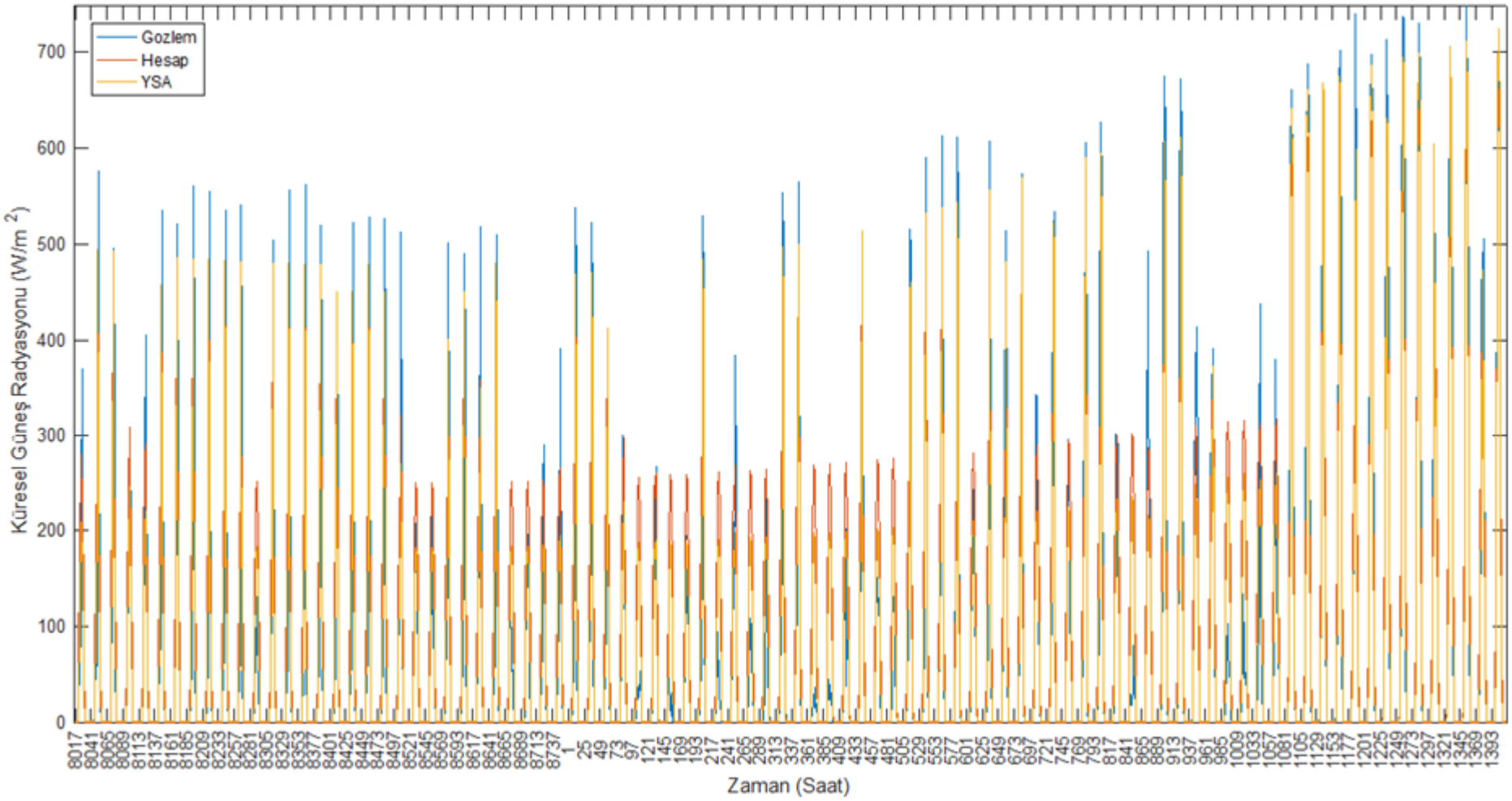
Şekil E.26 : Mardin istasyonu bahar aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



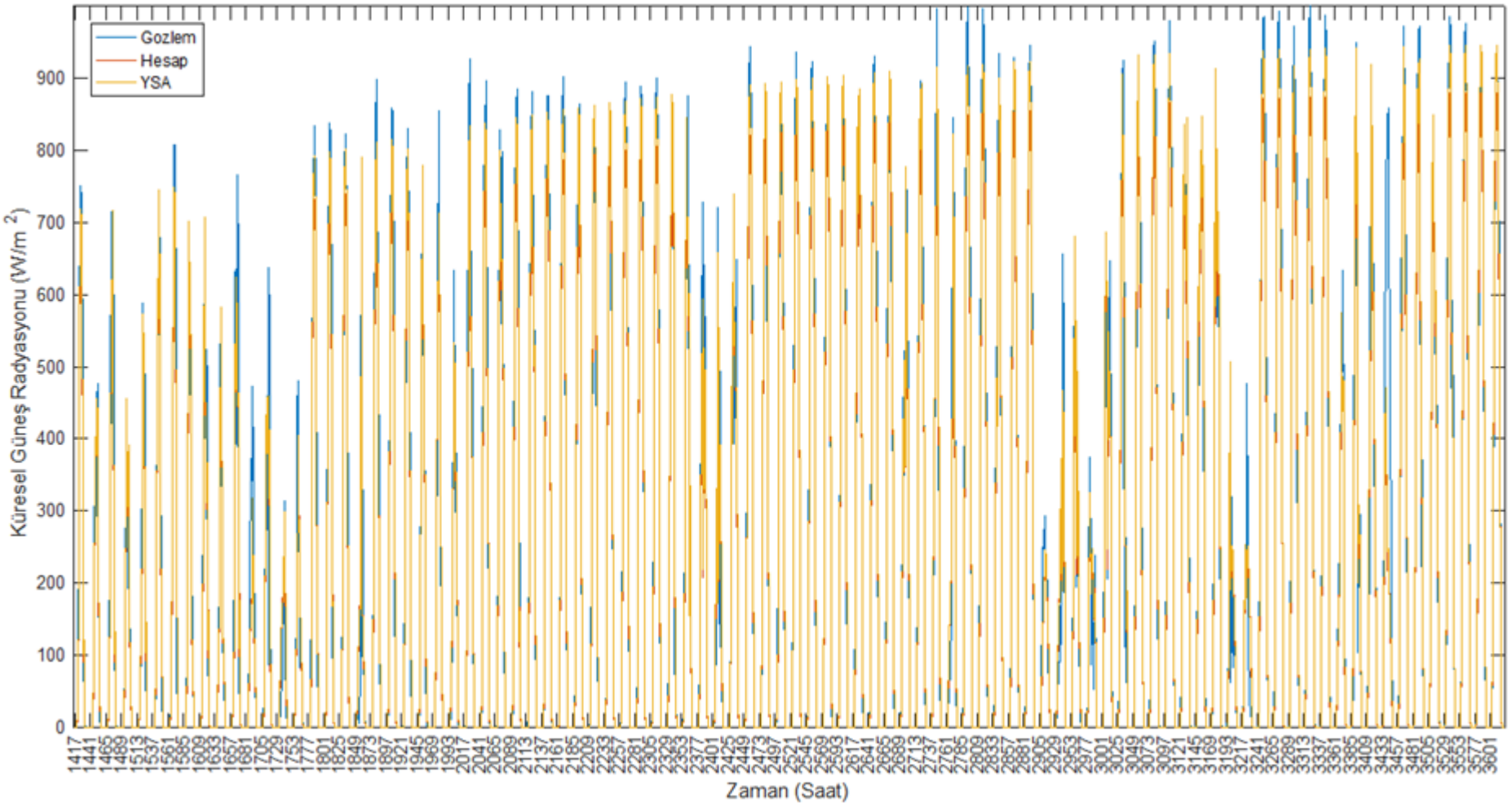
Şekil E.27 : Mardin istasyonu yaz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



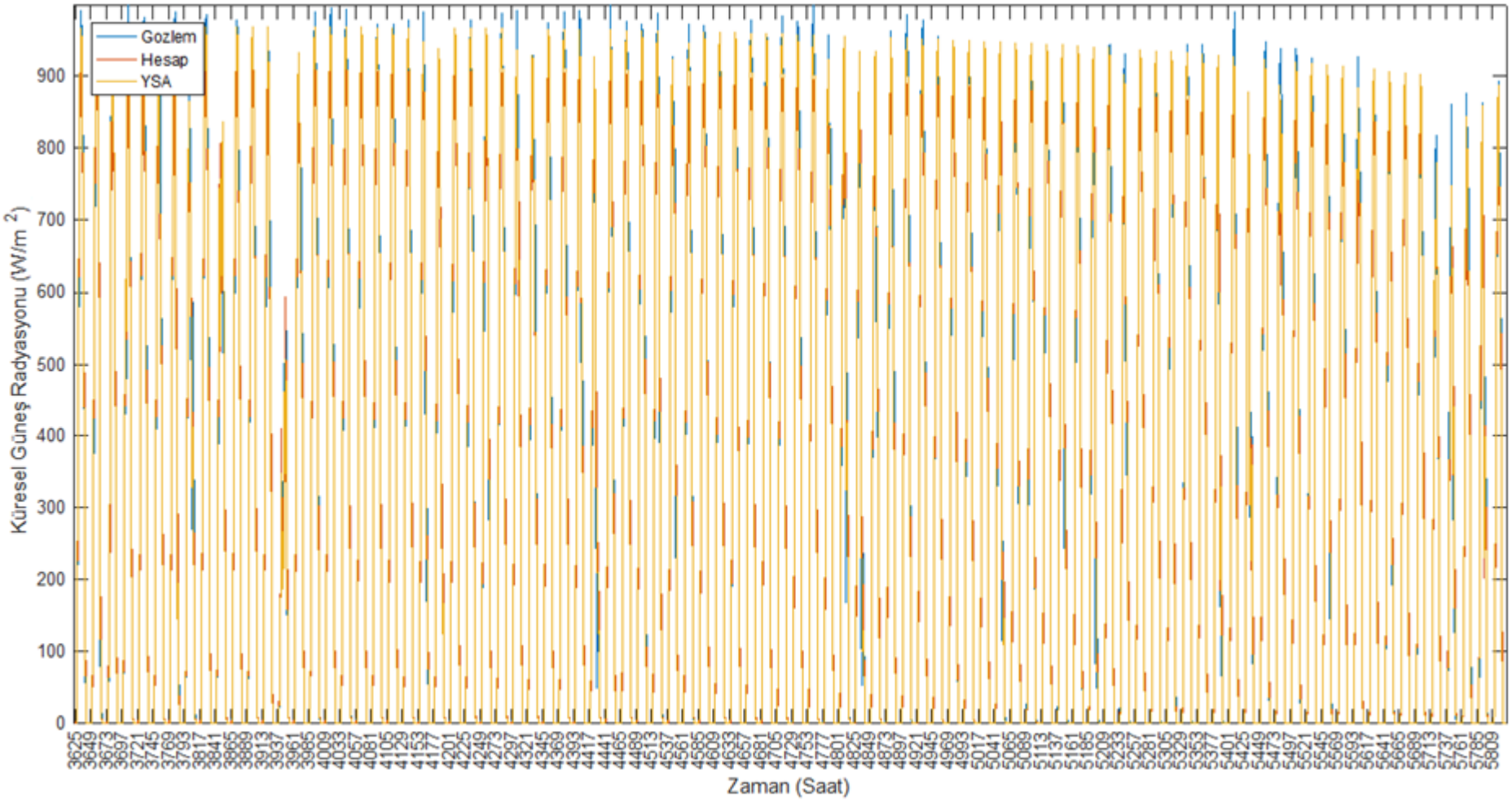
Şekil E.28 : Mardin istasyonu güz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



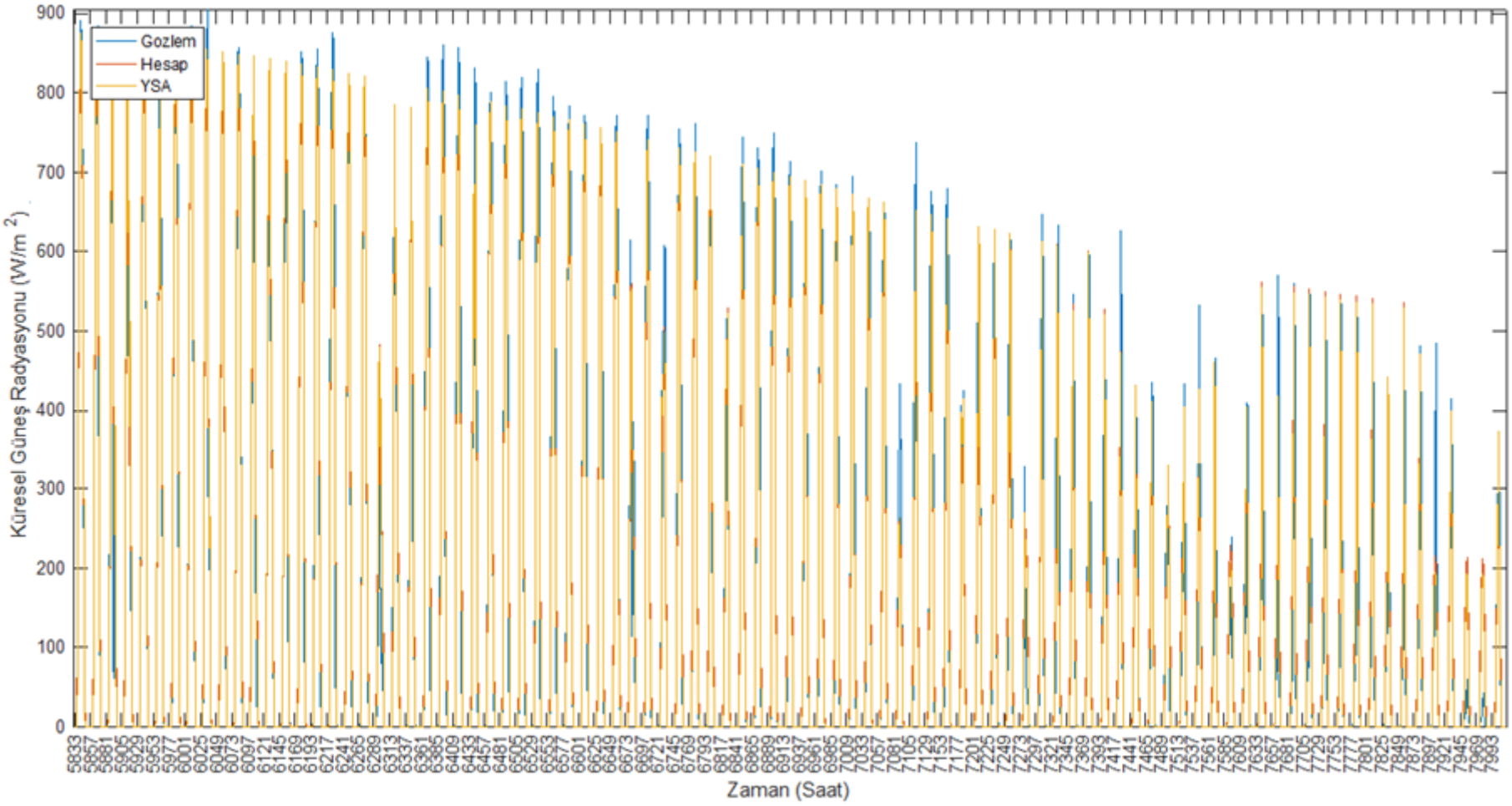
Şekil E.29 : Muğla istasyonu kış aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



Şekil E.30 : Muğla istasyonu bahar aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



Şekil E.31 : Muğla istasyonu yaz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.



Şekil E.32 : Muğla istasyonu güz aylarına ait YSA, Bahel ve gözlem değerleri.

EK F

Çizelge F.1 : Ağrı istasyonu Bahel modellerine ait R^2 değerleri.

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	0,8846	0,8946	0,799
2012	0,9367	0,9428	0,8303
2013	0,9313	0,9388	0,8205
2014	0,9299	0,9382	0,8276
2015	0,912	0,9249	0,8154
2016	0,9168	0,928	0,8082

Çizelge F.2 : Ağrı istasyonu Bahel modellerine ait RMSE değerleri (W/m^2).

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	83,8168	78,3616	365,771
2012	65,3654	61,3991	346,041
2013	68,444	63,869	357,242
2014	68,4953	63,4676	350,719
2015	76,5195	69,7568	360,837
2016	73,8459	67,8257	366,026

Çizelge F.3 : Ağrı istasyonu Bahel modellerine ait MBE değerleri (W/m^2).

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	2,2152	-1,2193	498,274
2012	3,1127	1,0581	506,174
2013	2,7954	0,3495	507,416
2014	2,3012	0,446	507,624
2015	0,1194	-3,0044	4,99646
2016	1,7729	-0,8618	502,498

Çizelge F.4 : Ankara istasyonu Bahel modellerine ait R^2 değerleri.

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	0,858	0,8607	0,7723
2012	0,9122	0,9194	0,8287
2013	0,9089	0,9118	0,8344
2014	0,9102	0,9156	0,8228
2015	0,897	0,9049	0,8059
2016	0,9009	0,9053	0,8251

Çizelge F.5 : Ankara istasyonu Bahel modellerine ait RMSE değerleri (W/m^2).

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	97,4221	96,5639	387,614
2012	78,6713	75,3846	339,685
2013	80,2137	78,7344	332,727
2014	79,0719	76,3388	344,664
2015	82,5261	79,4288	352,17
2016	82,4424	80,3272	341,809

Çizelge F.6 : Ankara istasyonu Bahel modellerine ait MBE değerleri (W/m^2).

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	2,1345	3,8821	495,9556
2012	-1,3520	-0,3771	490,3000
2013	-2,1510	-1,6834	489,3429
2014	2,8206	3,3877	496,7807
2015	1,9401	2,8551	495,4247
2016	-8,0444	-6,3584	483,4881

Çizelge F.7 : Artvin istasyonu Bahel modellerine ait R^2 değerleri.

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	0,8993	0,903	0,7521
2012	0,9562	0,9591	0,7351
2013	0,953	0,9558	0,712
2014	0,952	0,9546	0,7387
2015	0,9376	0,9459	0,7
2016	0,948	0,9525	0,6989

Çizelge F.8 : Artvin istasyonu Bahel modellerine ait RMSE değerleri (W/m^2).

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	68,4967	67,1034	402,386
2012	47,9123	46,0559	419,926
2013	48,5047	46,9368	436,352
2014	50,0534	48,521	416,873
2015	55,1989	51,2219	445,097
2016	50,7226	48,3518	445,297

Çizelge F.9 : Artvin istasyonu Bahel modellerine ait MBE değerleri (W/m^2).

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	2,9074	2,4683	534,8794
2012	3,0233	2,4831	529,4377
2013	1,3534	1,2979	530,0564
2014	1,9224	1,2168	528,7515
2015	-1,0767	-0,8031	531,5020
2016	2,2346	2,0716	531,8099

Çizelge F.10 : Kastamonu istasyonu Bahel modellerine ait R^2 değerleri.

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	0,8897	0,8927	0,6964
2012	0,9084	0,9082	0,7553
2013	0,9020	0,8998	0,7469
2014	0,9171	0,9240	0,7363
2015	0,8512	0,8722	0,7282
2016	0,9253	0,9311	0,7494

Çizelge F.11 : Kastamonu istasyonu Bahel modellerine ait RMSE değerleri (W/m^2).

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	77,2842	75,8608	433,6648
2012	70,5228	70,0781	391,0908
2013	73,1892	73,4701	394,7963
2014	67,9025	64,6027	406,6010
2015	83,4049	77,2427	401,1968
2016	64,8545	61,9062	396,5348

Çizelge F.12 : Kastamonu istasyonu Bahel modellerine ait MBE değerleri (W/m^2).

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	2,9074	2,4683	534,8794
2012	3,0233	2,4831	529,4377
2013	1,3534	1,2979	530,0564
2014	1,9224	1,2168	528,7515
2015	-1,0767	-0,8031	531,5020
2016	2,2346	2,0716	531,8099

Çizelge F.13 : Isparta istasyonu Bahel modellerine ait R^2 değerleri.

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	0,8548	0,8506	0,6716
2012	0,9479	0,9469	0,8185
2013	0,9559	0,9598	0,8268
2014	0,9388	0,9457	0,8118
2015	0,7930	0,9446	0,7957
2016	0,9513	0,9548	0,8315

Çizelge F.14 : Isparta istasyonu Bahel modellerine ait RMSE değerleri (W/m^2).

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	100,8857	102,0967	460,6944
2012	61,3395	61,6162	345,8081
2013	56,8824	54,1159	336,3936
2014	64,8415	60,9493	348,1345
2015	121,9133	61,7227	363,9006
2016	59,1059	56,7864	331,7381

Çizelge F.15 : Isparta istasyonu Bahel modellerine ait MBE değerleri (W/m^2).

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	2,2067	3,1328	490,8485
2012	-10,7771	-11,7654	477,5730
2013	-10,2206	-9,8917	477,1527
2014	-10,3438	-9,0253	480,2613
2015	-7,2998	-5,7474	484,1319
2016	-11,2888	-10,8292	477,2698

Çizelge F.16 : Kırklareli istasyonu Bahel modellerine ait R^2 değerleri.

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	0,9362	0,9412	0,8209
2012	0,9659	0,9707	0,8776
2013	0,8925	0,8950	0,8346
2014	0,9393	0,9438	0,8077
2015	0,8815	0,8944	0,8176
2016	0,9406	0,9480	0,8422

Çizelge F.17 : Kırklareli istasyonu Bahel modellerine ait RMSE değerleri (W/m^2).

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	60,8227	58,3503	341,9848
2012	46,5877	43,1196	288,9013
2013	74,3621	73,0435	323,4652
2014	57,6552	55,2278	352,3763
2015	78,1429	73,5199	335,8739
2016	57,2372	53,3351	318,9573

Çizelge F.18 : Kırklareli istasyonu Bahel modellerine ait MBE değerleri (W/m^2).

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	-0,9493	4,0045	489,6656
2012	-10,2725	0,8494	487,1633
2013	-8,7593	-17,0302	467,8597
2014	3,0047	5,7661	490,0540
2015	-13,0503	-11,8547	467,5778
2016	-0,6159	-7,3506	479,2196

Çizelge F.19 : Mardin istasyonu Bahel modellerine ait R^2 değerleri.

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	0,9618	0,9607	0,7750
2012	0,9629	0,9670	0,7435
2013	0,9682	0,9703	0,7725
2014	0,9448	0,9535	0,7500
2015	0,9345	0,9433	0,7489
2016	0,9634	0,9693	0,7762

Çizelge F.20 : Mardin istasyonu Bahel modellerine ait RMSE değerleri (W/m^2).

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	54,1762	54,8839	386,8959
2012	53,2567	50,1503	411,9397
2013	49,8010	48,0804	387,4063
2014	65,5303	60,1101	406,3417
2015	70,7996	65,5033	408,1660
2016	53,6717	49,0298	383,2227

Çizelge F.21 : Mardin istasyonu Bahel modellerine ait MBE değerleri (W/m^2).

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	-0,6847	-0,3486	505,6911
2012	-0,7370	-0,8362	511,6683
2013	-5,0507	-5,1631	499,1652
2014	-8,9422	-6,9639	503,0176
2015	-4,6229	-6,9552	509,9443
2016	-2,4416	-2,8336	498,3101

Çizelge F.22 : Muğla istasyonu Bahel modellerine ait R^2 değerleri.

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	0,9380	0,9412	0,8011
2012	0,9569	0,9651	0,8434
2013	0,9608	0,9692	0,8374
2014	0,9512	0,9618	0,8026
2015	0,9407	0,9529	0,7969
2016	0,9444	0,9555	0,8352

Çizelge F.23 : Muğla istasyonu Bahel modellerine ait RMSE değerleri (W/m^2).

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	67,2865	65,1912	369,8221
2012	56,8785	50,8310	329,6481
2013	54,3928	47,9306	335,8931
2014	58,7574	51,6129	367,5189
2015	64,5536	56,9880	372,3970
2016	63,8609	56,7004	338,1577

Çizelge F.24 : Muğla istasyonu Bahel modellerine ait MBE değerleri (W/m^2).

	Aylık	Mevsimlik	Yıllık
2011	2,0940	2,3002	510,3123
2012	-1,3249	-1,5594	504,9459
2013	-3,5551	-3,2203	503,7637
2014	0,5217	0,0748	510,2643
2015	0,5272	0,6427	511,8135
2016	-1,4604	-1,4841	507,3031

EK G

Çizelge G.1 : Ağrı istasyonuna ait Mevsimlik Bahel modelleri ve YSA karşılaştırması.

	R^2		RMSE (W/m^2)		MBE (W/m^2)	
	Mevsimlik Bahel	YSA	Mevsimlik Bahel	YSA	Mevsimlik Bahel	YSA
Kış	0,8247	0,9	60,8933	52,4412	-5,1945	-4,7233
Bahar	0,8946	0,9562	94,6689	75,1299	5,4185	-0,4322
Yaz	0,9357	0,9734	86,2368	72,5216	-2,1178	6,0896
Güz	0,9534	0,978	54,5732	45,0426	-1,6556	-4,6826

Çizelge G.2 : Ankara istasyonuna ait Mevsimlik Bahel modelleri ve YSA karşılaştırması.

	R^2		RMSE (W/m^2)		MBE (W/m^2)	
	Mevsimlik Bahel	YSA	Mevsimlik Bahel	YSA	Mevsimlik Bahel	YSA
Kış	0,7876	0,9476	51,5059	38,6485	5,4674	-1,6712
Bahar	0,8963	0,9529	90,5003	75,879	-8,1409	-6,5818
Yaz	-9,9471	0,9731	79,2009	74,4604	-15,1519	-14,9072
Güz	0,9639	0,9839	45,8248	40,3333	-7,3735	-5,5992

Çizelge G.3 : Artvin istasyonuna ait Mevsimlik Bahel modelleri ve YSA karşılaştırması.

	R^2		RMSE (W/m^2)		MBE (W/m^2)	
	Mevsimlik Bahel	YSA	Mevsimlik Bahel	YSA	Mevsimlik Bahel	YSA
Kış	0,8479	0,9163	51,9988	43,1316	11,9239	6,1287
Bahar	0,9454	0,9778	62,2224	48,1394	-5,2193	-3,1796
Yaz	0,9604	0,9855	60,2647	45,7727	-1,018	1,6115
Güz	0,9484	0,9727	46,1215	38,9658	2,8261	-0,6204

Çizelge G.4 : Kastamonu istasyonuna ait Mevsimlik Bahel modelleri ve YSA karşılaştırması.

	R^2		RMSE (W/m^2)		MBE (W/m^2)	
	Mevsimlik Bahel	YSA	Mevsimlik Bahel	YSA	Mevsimlik Bahel	YSA
Kış	0,8714	0,9269	48,652	41,1695	-3,9325	-0,7452
Bahar	0,8927	0,9538	85,408	68,8083	1,8005	8,8837
Yaz	0,9424	0,9796	78,5663	60,6343	-4,9148	9,8596
Güz	0,9415	0,9739	51,66	40,528	0,446	0,8029

Çizelge G.5 : Isparta istasyonuna ait Mevsimlik Bahel modelleri ve YSA karşılaştırması.

	R^2		RMSE (W/m^2)		MBE (W/m^2)	
	Mevsimlik Bahel	YSA	Mevsimlik Bahel	YSA	Mevsimlik Bahel	YSA
Kış	0,9335	0,9625	45,872	40,1445	-5,7836	-1,34
Bahar	0,9402	0,9764	75,3654	59,382	-3,5205	-0,5881
Yaz	0,9422	0,9841	86,0752	59,2318	-24,8372	-8,0902
Güz	0,9658	0,9851	47,8297	38,565	-9,0663	-4,0507

Çizelge G.6 : Kırklareli istasyonuna ait Mevsimlik Bahel modelleri ve YSA karşılaştırması.

	R^2		RMSE (W/m^2)		MBE (W/m^2)	
	Mevsimlik Bahel	YSA	Mevsimlik Bahel	YSA	Mevsimlik Bahel	YSA
Kış	0,7968	0,8978	63,9131	51,321	11,7494	-0,7552
Bahar	0,933	0,9655	71,5241	63,4114	-9,3695	0,1173
Yaz	0,9692	0,9889	57,3392	45,3098	-20,0994	-5,3024
Güz	0,9223	0,9518	58,0449	53,7293	-11,3239	-4,0898

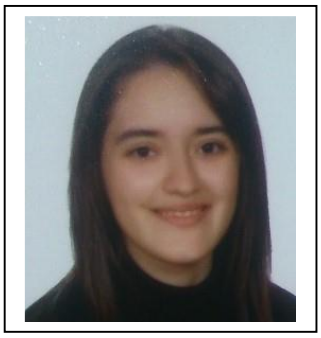
Çizelge G.7 : Mardin istasyonuna ait Mevsimlik Bahel modelleri ve YSA karşılaştırması.

	R^2		RMSE (W/m^2)		MBE (W/m^2)	
	Mevsimlik Bahel	YSA	Mevsimlik Bahel	YSA	Mevsimlik Bahel	YSA
Kış	0,8911	0,9179	59,33	59,0241	6,8257	11,964
Bahar	0,9546	0,9828	68,295	53,334	-5,0267	-3,0278
Yaz	0,9851	0,9937	43,0597	37,4738	-4,2055	6,2847
Güz	0,9746	0,9906	43,0602	32,247	-8,7878	-4,1839

Çizelge G.8 : Muğla istasyonuna ait Mevsimlik Bahel modelleri ve YSA karşılaştırması.

	R^2		RMSE (W/m^2)		MBE (W/m^2)	
	Mevsimlik Bahel	YSA	Mevsimlik Bahel	YSA	Mevsimlik Bahel	YSA
Kış	0,7743	0,859	70,6783	61,9204	17,3405	0,5131
Bahar	0,9511	0,9724	67,8185	63,2465	-15,573	-2,7156
Yaz	0,9825	0,9925	46,7865	40,1822	-6,3518	1,2923
Güz	0,9396	0,96	60,3634	57,046	-0,94	-1,7332

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad **:** Elvan Burcu Koşma
Doğum Tarihi ve Yeri **:** 17.01.1993 / Gölcük
E-posta **:** elvankosma@outlook.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği
- **Lisans** **:** 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2015 yılında İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü'nden "Bölüm Üçüncüsü" olarak mezun oldu.
- 2015 yılında Çevre Mühendisliği Bitirme Tasarım Projesi'nde Birincilik Ödülü'nü aldı.
- 2018 yılından itibaren Türk-Alman Üniversitesi Enerji Bilimi ve Teknolojileri Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.