

**TÜRKİYE’DE ISIL SİSTEM TASARIMINDA
KULLANILAN METEOROLOJİK VERİLERİN AKILLI
SİSTEMLERLE TAHMİNİ**

Mak. Yük. Müh. Erdem IŞIK

**Doktora Tezi
Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği
Danışman: Prof. Dr. Mustafa İNALLI
HAZİRAN-2012**

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE’DE ISIL SİSTEM TASARIMINDA
KULLANILAN METEOROLOJİK VERİLERİN AKILLI
SİSTEMLERLE TAHMİNİ**

DOKTORA TEZİ

Mak. Yük. Müh. Erdem IŞIK

(04120201)

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı: Termodinamik

Danışman: Prof. Dr. Mustafa İNALLI

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 12.06.2012

HAZİRAN-2012

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE’DE ISIL SİSTEM TASARIMINDA KULLANILAN METEOROLOJİK
VERİLERİN AKILLI SİSTEMLERLE TAHMİNİ**

DOKTORA TEZİ

Mak. Yük. Müh. Erdem IŞIK

(04120201)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 12 Haziran 2012

Tezin Savunulduğu Tarih: 28 Haziran 2012

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa İNALLI (F.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Hüsamettin BULUT (H.Ü.)
Prof. Dr. Hasan ALLİ (F.Ü.)
Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN (F.Ü.)
Doç. Dr. Abdülkadir ŞENGÜR (F.Ü.)

HAZİRAN-2012

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans ve doktora çalışmalarımda tez danışmanım olan, anlayışı ve sabrıyla bana her zaman yol gösteren, destek olan ve yardım eden öğrencilerinin iyi yetişmesi ve başarılı olması konusunda çok dikkat gösteren Prof. Dr. Mustafa İNALLI'ya sonsuz teşekkür eder, saygılar sunarım.

Tezin ilerlemesinde bilgilerini benden esirgemeyen, yaptığım çalışmanın periyodik sunumlarına kıymetli vakitlerini ayırıp, katılan ve çalışmada görüş ve önerileri ile büyük pay sahibi olan Prof. Dr. Hasan ALLI'ye, modelleme çalışmalarında sürekli yardım ve desteğini gördüğüm Doç. Dr. Abdulkadir ŞENGÜR'e, ekonomik analiz çalışmalarında yardım ve desteğini gördüğüm Yrd. Doç. Dr. Aynur UÇAR'a, zaman zaman bilgilerine başvurduğum Yrd. Doç. Dr. Oğuz YAKUT'a, her görüştüğümüzde, ilgi ve moral desteğini esirgemeyen Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN'e, tezin her bölümünde bilgi, görüş ve desteğini aldığım, kıymetli arkadaşım Arş. Gör. Mesut HÜSEYİNOĞLU'na ve bölümümüzün tüm öğretim elemanı ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Randevu taleplerimi kabul ederek, çalışmamızı inceleyip; görüş, öneri, bilgi ve doküman desteği ile çalışmamıza büyük katkılar sağlayan, Harran Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Hüsamettin BULUT'a teşekkürlerimi sunarım.

Beş yılı aşkın bir zaman hizmet ettiğim, hava tahmininde ki başarısı ile dünyanın sayılı teşkilatları arasında saygın bir konumu olan, DMI Genel Müdürlüğü idareci ve çalışanlarına, özellikle Diyarbakır Meteoroloji Bölge Müdür Yardımcısı Dr. M. Latif GÜLTEKİN'e, Esat ATMACA'ya ve Harita Mühendisi İzzet BALTA'ya teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince bana her türlü maddi ve manevi desteği esirgemeyen eşime ve aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	IX
KISALTMALAR.....	X
SEMBOLLER.....	XI
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR	6
2.1. Akıllı Sistemler İle Güneş Işınımı;	6
2.2. Derece-Gün ve Uygulamaları	11
3. YAPAY SİNİR AĞI VE UYARLAMALI BULANIK SİNİRSEL AĞ TABANLI MODELLEME	17
3.1. Yapay Sinir Ağları	17
3.1.1. YSA 'nın Uygulama Alanları	19
3.1.2. YSA 'nın Avantajları ve Dezavantajları	21
3.1.3. Sinir Ağlarının Biyolojik Yapısı.....	23
3.1.4. Yapay Sinir Hücresi.....	24
3.1.5. Yapay Sinir Ağlarının Genel Yapısı.....	26
3.1.6. YSA 'da Öğrenme Algoritmaları.....	29
3.1.7. YSA 'nın Temel Özellikleri.....	32
3.2. Uyarlamalı Bulanık Sinirsel Ağlar (UBSA)	34
3.2.1. UBSA Mimarisi	35
3.3. YSA ve UBSA ile Meteorolojik Parametrelerin Tahmini	38
3.4. Model Performans Kriterleri ve Uygulama	40
4. DERECE-GÜN SAYILARI.....	48
4.1. Isıtma Derece-Günler.....	51
4.2. Soğutma Derece-Günler	64
5. EKONOMİK ANALİZ	75
5.1. Isı Kaybının Hesaplanması	77
5.2. Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması	79
5.3. Ekonomik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	81
6. MATLAB GUI İLE KULLANICI ARAYÜZÜ TASARLAMA	90
6.1. Matlab GUI.....	90
6.1.1. Matlab GUI Editörü	91
6.1.2. Matlab GUI Bileşenleri.....	94
6.1.3. Matlab GUI Bileşenlerinin Özellikleri	96
6.2. Matlab GUI İle Yapılan Uygulama	98
6.2.1. Matlab GUI İle Yaptığımız Arayüzün Kullanılması ve Örnek Uygulama.....	100
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	103
7.1. YSA ve UBSA Model Sonuçları ve Değerlendirilmesi	103
7.2. Derece-Gün Sayılarının Değerlendirilmesi	104
7.3. Ekonomik Analizin Değerlendirilmesi	105
7.4. Arayüz Çalışmasının Değerlendirilmesi.....	107
7.5. Öneriler	107

KAYNAKLAR.....	109
EKLER	117
ÖZGEÇMİŞ	171

ÖZET

Enerji kaynaklarının sınırlı olması ve artan nüfusa bağlı olarak enerji ihtiyacının artması nedeniyle dünyamız genelinde araştırmaların bu konularda yoğunlaştığı görülmektedir. Özellikle mevcut enerji kaynaklarının tasarruflu tüketiminin öneminden dolayı araştırmacılar daha çok bu alanda çalışmaktadırlar. Isıl sistemlerin tasarımında ileriye dönük meteorolojik verilerin tahmini büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, ısıl sistem tasarımında kullanılan meteorolojik verilerin, akıllı sistemler ile tahmini Türkiye 'nin genelini temsil edecek şekilde elli il için gerçekleştirilmiştir. Bu tezde, yapay sinir ağları ve uyarlamalı bulanık sinirsel ağ tabanlı modelleme sistemleri ile Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 'nden alınan meteorolojik veriler modellenmiştir. Modellemede Matlab paket programı kullanılarak ileriye dönük ısıl sistem tasarımında kullanılan verilerin yüksek duyarlılıkla tahmini gerçekleştirilmiştir. Tahmin edilen bu veriler yardımı ile yeni ısıtma derece-gün ve soğutma derece-gün bölgeleri önerilmiştir. Bu veriler kullanılarak Türkiye için nem, sıcaklık, güneş ışıyım şiddeti, ısıtma derece-gün, soğutma derece-gün haritaları Surfer ve ArcGIS programları kullanılarak hazırlanmıştır. Uygulanan modelden tasarım yapanların faydalanabilmesi için Matlab GUI ile bir grafiksel arayüz gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, modelden elde edilen yeni ısıtma derece-gün sayıları kullanılarak farklı iki duvar yapısı için ekonomik analiz yapılmış ve optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, ısıtma, havalandırma ve hava şartlandırma (HVAC) sistemlerinin tasarımında kullanılan nem, sıcaklık ve ışıyım değerleri akıllı sistemlerle yapılan modelleme çalışmaları ile yaklaşık % 99 doğrulukla tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Meteorolojik veri, Akıllı sistemler, Yapay sinir ağları, Uyarlamalı bulanık sinirsel tabanlı ağ, Derece-gün, Ekonomik analiz.

SUMMARY

Estimation of Meteorological Data with Intelligent Systems Used in the Design of Thermal Systems in Turkey

It has been seen that investigations have been focus on energy saving due to the limited energy sources and increasing of demand of the energy with increasing population in the world. Especially due to the importance economical consumption of available energy source researchers mostly have studied in this field. Forward-looking estimation of the meteorological data in the design of thermal systems is of very great importance.

In this study, a program was developed with intelligent systems for the prediction of meteorological data used in the design of thermal systems in Turkey representing to 50 cities throughout the country. In this thesis, the meteorological data obtained from Turkish State Meteorological Service were modeled by using artificial neural networks and adaptive fuzzy neural network-based modeling systems. In the modeling the Matlab package program was used and thus used data in the design for future thermal system were estimated with high precisions. The heating degree-day and cooling degree-day zones were suggested with the help of these estimated data. Using estimated data for Turkey, a prospective map of humidity, temperature, solar energy potential, heating degree-day and cooling degree-day were prepared with Surfer and ArcGIS package programs. A graphical user interface was designed with Matlab GUI package program to take advantage of comfortable and successful usage of designed model for end-user. An economic analysis was conducted for two different wall structures by taking into account the number of new heating degree-day from the model.

Consequently, meteorological data such as humidity, temperature and radiation intensity values which are used in the design of heating, ventilation and air conditioning systems (HVAC) have been estimated with an accuracy of 99 percent by the help of intelligent systems.

Key Words: Meteorological Data, Intelligent System, Artificial Neural Network, ANFIS, Degree-Day, Economic Analysis.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1.	Basit bir sinir hücresi 23
Şekil 3.2.	Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi..... 24
Şekil 3.3.	Yapay sinirin genel yapısı..... 24
Şekil 3.4.	En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları, a: lineer fonksiyon, b: rampa fonksiyonu, c: basamak fonksiyonu, d: sigmoid fonksiyonu, e: tanjant hiperbolik 25
Şekil 3.5.	Yapay sinirin detaylı yapısı 26
Şekil 3.6.	YSA 'ların genel yapısı..... 27
Şekil 3.7.	İleri beslemeli ağ yapısı 28
Şekil 3.8.	Eğitici öğrenme algoritması..... 30
Şekil 3.9.	Eğitici öğrenme yapısı..... 31
Şekil 3.10.	Takviyeli öğrenme yapısı..... 32
Şekil 3.11.	İki girişli ve iki kurallı Sugeno tip bulanık çıkarıma eşdeğer UBSA mimarisi 35
Şekil 3.12.	YSA 'da kullanılan blok diyagramın görünümü..... 39
Şekil 3.13.	UBSA 'da kullanılan blok diyagramın görünümü 39
Şekil 3.14.	LM algoritması için eğitim yaklaşımı ile ortalama kare hatasının değişimi..... 42
Şekil 3.15.	LM algoritması ile İzmir ili global güneş ışıınının YSA ve ölçüm olarak karşılaştırılması 42
Şekil 3.16.	LM algoritması ile İzmir ili sıcaklığının YSA ve ölçüm olarak karşılaştırılması 43
Şekil 3.17.	LM algoritması ile İzmir ili için bağıl nemin YSA ve ölçüm olarak karşılaştırılması 43
Şekil 3.18.	Gauss algoritması ile İzmir ili global güneş ışıınının UBSA ve ölçüm olarak karşılaştırılması 44
Şekil 3.19.	Gauss algoritması ile İzmir ili sıcaklığının UBSA ve ölçüm olarak karşılaştırılması 45
Şekil 3.20.	Gauss algoritması ile İzmir ili için bağıl nemin UBSA ve ölçüm olarak karşılaştırılması 45
Şekil 3.21.	Türkiye için DMİ, YSA ve UBSA verileri ile hesaplanan yıllık güneşlenme potansiyeli haritaları 47
Şekil 4.1.	Adana, Gaziantep, Ankara ve Muş illeri için DMİ verilerine göre belirlenen IDG sayılarının aylara bağıl olarak değişimi 53
Şekil 4.2.	18 °C denge noktası sıcaklığında DMİ, YSA ve UBSA verileri ile hesaplanan IDG sayılarının Türkiye haritası üzerinde contour gösterimi 56
Şekil 4.3.	18 °C denge noktası sıcaklığında DMİ, YSA ve UBSA verileri ile hesaplanan IDG sayıları Türkiye haritası üzerinde renkli gösterimi 57
Şekil 4.4.	Türkiye için yükseklik ile yıllık IDG sayılarının değişimi 58
Şekil 4.5.	IDG sayılarının enlem ve yüksekliğe göre değişimi..... 59
Şekil 4.6.	IDG sayılarının boylam ve yüksekliğe göre değişimi..... 59
Şekil 4.7.	IDG bölgelerindeki iller 62
Şekil 4.8.	Çalışma yapılan illerin 18 °C denge noktası sıcaklığında YSA model verileri ile hesaplanan yıllık IDG sayıları..... 63
Şekil 4.9.	Adana, Gaziantep, Ankara ve Muş illeri için DMİ verilerine göre belirlenen SDG sayılarının aylara bağıl olarak değişimi 66

Şekil 4.10.	22 °C denge noktası sıcaklığında DMİ, YSA ve UBSA verileri ile hesaplanan SDG sayıları Türkiye haritasında contour gösterimi	69
Şekil 4.11.	22 °C denge noktası sıcaklığında DMİ; YSA ve UBSA verileri ile hesaplanan SDG sayılarının Türkiye haritasında renkli gösterimi	70
Şekil 4.12.	Türkiye için yükseklik ile yıllık SDG sayılarının değişimi	71
Şekil 4.13.	SDG sayılarının enlem ve yüksekliğe göre değişimi	71
Şekil 4.14.	SDG sayılarının boylam ve yüksekliğe göre değişimi	72
Şekil 4.15.	SDG bölgelerindeki iller	73
Şekil 4.16.	Çalışma yapılan illerin 22 °C denge noktası sıcaklığında YSA model verileri ile hesaplanan yıllık SDG sayılar	74
Şekil 5.1.	Hesaplamalarda kullanılan duvar modelleri	79
Şekil 5.2.	Çalışma yapılan illerde farklı yakıt türleri için duvar tiplerine göre yıllık maliyet değişimi	83
Şekil 5.3.	Adana ili için farklı yakıt türlerine göre yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç arasındaki ilişki (Meteorolojik değerler ve ANN)	84
Şekil 5.4.	Gaziantep ili için farklı yakıt türlerine göre yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç arasındaki ilişki (Meteorolojik değerler ve ANN)	84
Şekil 5.5.	Ankara ili için farklı yakıt türlerine göre yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç arasındaki ilişki (Meteorolojik değerler ve ANN)	85
Şekil 5.6.	Muş ili için farklı yakıt türlerine göre yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç arasındaki ilişki (Meteorolojik değerler ve ANN)	85
Şekil 5.7.	Adana ili için yalıtım kalınlığının yıllık maliyete etkisi	86
Şekil 5.8.	Gaziantep ili için yalıtım kalınlığının yıllık maliyete etkisi	86
Şekil 5.9.	Ankara ili için yalıtım kalınlığının yıllık maliyete etkisi	87
Şekil 5.10.	Muş ili için yalıtım kalınlığının yıllık maliyete etkisi	87
Şekil 6.1.	GUI dosyası oluşturma menüsü	92
Şekil 6.2.	GUI dosyası oluşturma penceresi	92
Şekil 6.3.	Grafiksel kullanıcı arayüz geliştirme alanı	93
Şekil 6.4.	Bileşenlere ait özellik penceresi	96
Şekil 6.5.	Hazırlanan list box 'ın görünüşü	98
Şekil 6.6.	Hazırlanan radio button 'un görünüşü	99
Şekil 6.7.	Matlab GUI de hazırlanan arayüzün görünüşü	99
Şekil 6.8.	Matlab GUI de Afyon ili için uygulama örneği	100
Şekil 6.9.	Matlab GUI de Afyon ili için yapılan uygulamada sıcaklık grafiği	101
Şekil 6.10.	Matlab GUI de Afyon ili için yapılan uygulamada ısıtım grafiği	101
Şekil 6.11.	Matlab GUI de Afyon ili için yapılan uygulamada bağıl nem grafiği	102

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1. İncelenen illerin coğrafik özellikleri.....	50
Tablo 4.2. Adana, Gaziantep, Ankara ve Muş illeri için aylık IDG sayıları.....	52
Tablo 4.3. Türkiye 'deki bazı iller için yıllık IDG sayıları	54
Tablo 4.3 (Devamı) Türkiye 'deki bazı iller için yıllık IDG sayıları.....	55
Tablo 4.4. YSA model verileri ile oluşturulan ve TS-825 'e göre IDG bölgeleri....	61
Tablo 4.5. Adana, Gaziantep, Ankara ve Muş illeri için aylık SDG sayıları.....	65
Tablo 4.6. Türkiye 'deki bazı iller için yıllık SDG sayıları	67
Tablo 4.6. (Devamı) Türkiye 'deki bazı iller için yıllık SDG sayıları	68
Tablo 4.7. YSA model verileri ile oluşturulan SDG bölgeleri.....	73
Tablo 5.1. Seçilen yalıtım malzemesinin bazı özellikleri	80
Tablo 5.2. Kullanılan yakıtların fiyatı, ısı değeri, verimi ve kimyasal yapısı.....	80
Tablo 5.3. Aylık ve yıllık IDG sayıları	82
Tablo 5.4. Adana, Gaziantep, Ankara ve Muş illerinde sandviç duvar tipinde optimum yalıtım kalınlıklarının yakıt türlerine bağlı değişimi.....	88
Tablo 5.5. Adana, Gaziantep, Ankara ve Muş illeri için dıştan yalıtımlı duvarın optimum yalıtım kalınlıklarının yakıt türlerine göre değişimi.....	88
Tablo 5.6. Sandviç duvar tipi için hesaplanan geri ödeme süreleri.....	89
Tablo 5.7. Dıştan yalıtımlı duvar tipi için hesaplanan geri ödeme süreleri	89
Tablo 7.1. YSA ve UBSA model verileri için performans kriterleri değişim aralıkları	103

KISALTMALAR

BM	: Bulanık Mantık
COV	: Varyasyon katsayısı
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DG	: Derece-gün
DS	: Derece-saat
GA	: Genetik Algoritma
GY	: Geriye yayımlı
GUI	: Graphical User Interface (Grafiksel Kullanıcı Arayüzü)
IDG	: Isıtma derece-gün
IDS	: Isıtma derece-saat
MAE	: Ortalama mutlak hata
MLP	: Çok katmanlı algılayıcı
RMSE	: Ortalama karesel hatanın karekökü
SDG	: Soğutma derece-gün
SDS	: Soğutma derece-saat
SOM	: Self Organizing Map
UBSA	: Uyarlamalı bulanık sinirsel ağlar
YSA	: Yapay sinir ağları

SEMBOLLER

C_A	: Yıllık enerji maliyeti ($\$/m^2yıl$)
C_f	: Yakıt maliyeti ($\$/kg$)
C_{yal}	: Yalıtım malzemesinin maliyeti ($\$/m^2$)
d	: Enflasyon oranı
D	: Boylam
DD	: Derece-gün sayısı ($^{\circ}C$ gün)
E_A	: Yıllık enerji miktarı ($J/m^2 - yıl$)
$f(.)$	: Aktivasyon fonksiyonu
$g(.)$	: Toplama fonksiyonu
H_u	: Yakıtın alt ısı değeri (J/kg)
i	: Faiz oranı
k	: Isıl iletim katsayısı (W/mK)
K	: Enlem
m_y	: Yıllık yakıt tüketimi ($kg/yıl$)
n	: Girdi sayısı
N	: Çalışma ömrü (yıl)
N_p	: Geri ödeme süresi (yıl)
q_A	: Yıllık ısı kaybı (W/m^2)
Q_i	: i nolu sinir hücresi için eşik değeri
R	: Korelasyon katsayısı
R_d	: Dış ortam havasının ısı direnç katsayısı (m^2K/W)
R_{duv}	: Yalıtımsız duvar tabakasının toplam ısı direnci (m^2K/W)
R_i	: İç ortam havasının ısı direnç katsayısı (m^2K/W)
R_{tduv}	: Yalıtımsız duvar tabakasının (R_i , R_{duv} ve R_d) toplam ısı direnç katsayısı (m^2K/W)
R_{yal}	: Yalıtım malzemesinin ısı direnç katsayısı (m^2K/W)
S	: Net enerji kazancı ($\$/m^2$)
T_d	: Denge sıcaklığı
T_o	: Ölçülen ortalama günlük dış sıcaklık
U	: Toplam ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
X	: Yalıtım kalınlığı (m)
w_i	: Ağırlık katsayısı
$x_1, x_2 \dots x_n$	: Giriş vektörü
$y_1, y_2 \dots y_m$	: Çıkış vektörü
η	: Yakma sisteminin verimi (%)

1. GİRİŞ

Enerji, insanların yaşamlarını sağlıklı, güvenli ve rahat bir şekilde sürdürebilmeleri için gerekli temel ihtiyaçlardandır. 19. Yüzyılda, dünyada yaşanan enerji krizleri; enerji üretimi, tüketimi ve enerji politikalarında önemli değişikliklere yol açmıştır. Önceki yıllarda kolaylıkla tüketilen enerji için tasarruf yolları aranmaya başlanmış ve enerji tasarruf politikaları geliştirilmiştir. Petrole olan bağımlılık azaltılmaya çalışılmış, kömür ve doğalgaz önem kazanmıştır. Alternatif enerji kaynaklarından daha çok yararlanılabilmesi için çalışmalara başlanmıştır. Daha önceleri, fosil enerji kaynaklarının ne kadar daha kullanılabileceği tartışılırken, günümüzde artık yaşanan çevre krizinin etkileri tartışılmaya başlanmıştır. Sera etkisi ve ozon tabakasının delinmesi sonucunda dünyanın ısınması ve bunun neden olacağı sorunlar üzerinde durulmaktadır [1 - 2].

Küresel enerji ihtiyacının ve fosil yakıt fiyatlarının artması, ülkelerin enerji tüketimlerini azaltmalarına ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanmalarına yöneltmiştir. Genel olarak güneş ve rüzgâr enerjisi sistemlerinin çalışmaları esnasında fazla emisyonların olmaması, güvenli olmaları ve çevreye karşı duyarlı olmaları nedeniyle son yıllarda bu enerji kaynaklarının kullanımı artmıştır [3]. Dünyanın enerji geleceği ile ilgili raporlara bakıldığında; 2000 - 2010 yılları arasında enerji ihtiyaçları ve kaynaklarındaki dağılımda, 2100 yılında petrolün iyice azalacağı, kömürün neredeyse hiç kalmayacağı, güneş enerjisi kullanımının ise çok artacağı görülmektedir [4].

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en hızlı gelişen ve büyüyen alan, güneş enerjisi teknolojileridir. Güneş enerjisi, sürekli gelişen teknolojileri ve düşüş gösteren maliyetleri sayesinde geleceğin en önemli enerji kaynaklarından biri olarak düşünülmektedir [5]. Küresel ısınımın kantitatif bilgisi; buharlaşma, toprak neminin hesaplanması, hidrolojik çalışmalar, tarımsal çalışmalar, klimatoloji, bina enerji analizleri ve daha da pek çok alan için gerekli olmaktadır. Günümüzde özellikle güneş enerjili sistemlerin tasarımı ve optimizasyonu ile mimari gibi pek çok mühendislik tasarımı için güneş ısınımı değerleri büyük önem taşımaktadır. Bu nedenledir ki, güneş ısınımının değişimi bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır [6 - 8].

Güneş ısınımı ve diğer meteorolojik verilere ihtiyaç duyulan alanlardan biride modern binalarda iklim kontrolü ve konfor unsurlarının projelendirilmesidir. Isıtma (Heating),

havalandırma (Ventilating) ve hava şartlandırma (Air Conditioning) kısa adıyla HVAC sistemleri, binalardaki iklimi, sıcaklığı ve hava akışını düzenleyerek kontrol etmekte ve ortam konforunun sağlanmasına yardımcı olmaktadır. HVAC sistemleri ortamda yaşayanların sağlığı için de önemlidir. Çünkü iklim şartları iyi düzenlenmiş ve uygun değerlerde sabit tutulmuş sistemler, küf ve benzeri zararlı organizmaları yaşanan ortamdaki uzak tutmaktadır. Ayrıca HVAC sistemlerinin otomasyonunun en önemli faydası düşük enerji sarfıyatı sağlaması ve dolayısıyla enerji tasarrufu gerçekleştirilmesidir.

İklim verileri; HVAC sistemlerinin simülasyonunda, enerji analizlerinde, kapasitelerinin ve uygunluklarının belirlenmesinde gereklidir. Fakat iklim şartları saatlik, günlük, aylık ve yıllık periyotlar içerisinde büyük değişimler göstermektedir. Bu değişimleri tahmin etmek oldukça zordur. Ancak geçmişte gözlemlenen uzun yılların iklim verileri değerlendirilerek hesaplamalar için uygun iklim verileri belirlenebilmektedir. İklim verileri değişik amaçlar için farklı yöntemlerle sunulmaktadır. Bunlar “tipik iklim yılı yöntemi”, “derece-gün yöntemi” (DG) ve “BİN (sıcaklık frekans aralığı) yöntemi” [9].

DG yöntemi farklı yerlerdeki belirli binaların aylık, yıllık soğutma ve ısıtma gereksinimlerinin tahmini için 1920 'lerin sonunda geliştirilmiştir. Bu metod, ortalama günlük sıcaklık ile denge noktası sıcaklığı arasında binaların ihtiyaç duyduğu enerjinin orantılı olduğunu varsaymaktadır. DG yöntemi; bina HVAC ekipmanlarının verimliliğinin ve kullanılabilirliğinin uygun olup olmadığını belirlemektedir. İç ortam sıcaklığının dalgalanmasına izin verildiğinde, kararlı hal modelleri dışında diğer modellerin kullanılması gerekmektedir. Ancak, bir binanın enerji tüketimi dinamik hesaplamalarla hesaplanabilmesine rağmen, DG kavramı önemli bir araç olmaya devam etmektedir [10].

İklim etkisi DG terimi ile kısaca karakterize edilebilmektedir. Farklı bölgelerdeki farklı iklim koşulları, ısıtma veya soğutma enerjisi ihtiyacını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Tüm dünyada özellikle ısıtma ve ısı yalıtımı uygulamaları için DG sayıları kullanılarak coğrafik bölgelerden farklı olarak DG bölgeleri tespit edilmektedir. Ülkemizde ısıtma yükü hesapları TS-2164 Standardına göre yapılmaktadır. Binalarda ısı yalıtım hesabında kullanılan değerler ise TS-825 ile verilmektedir [11 - 12].

İklim verileri içerisinde yer alan güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi, güneş enerjisi uygulamaları ve sistemleri için; sağlıklı, güvenilir ve kolay ulaşılabilir güneş verilerine ihtiyaç bulunmaktadır. Ölçme aletlerinin pahalı olması, ölçüm teknikleri ile ilgili problemler ve ölçümün belirli kuruluşlar tarafından yapılması, ısınım ve güneşlenme süreleri gibi güneş verilerine ulaşmayı zorlaştırmaktadır. Çok sayıda değişkene bağlı

olarak değişen meteorolojik veriler her yerde ölçülememeleri sebebiyle, çeşitli yöntemler ile modellenmeye ve bu modeller yoluyla da tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Güneş ışıını ölçümlerinde kullanılan piranometre cihazı birçok yerleşim yerinde ya sınırlı sayıdadır ya da mevcut değildir. Fakat birçok yerleşim bölgesinde rüzgâr hızı, bağıl nem, buhar basıncı, hava basıncı, hava sıcaklığı, güneşlenme süresi gibi meteorolojik veriler ölçülebilmektedir. Bu meteorolojik verilerin, güneş ışıını değerinin doğru olarak hesaplanmasında oldukça etkili olduğu, yapılan araştırmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Günümüzde güneş ışıının belirlenmesi konusunda yapılan çalışmalarda çok değişik matematiksel ifadeler türetildiği görülmektedir. Son yıllarda güneş ışıının doğru tahminine duyulan ihtiyaç, güneş ışıını verilerinin bazı enerji sistemlerinin kontrol ve optimizasyon işlemlerinde kullanılmalarından dolayı artmıştır. Dünyanın farklı yerlerinde küresel güneş ışıının tahmini için en yaygın kullanılan metot yapay sinir ağları (YSA) metodudur [6, 13 - 16].

YSA sayısal bir modelleme tekniğidir. YSA anahtar bilgi kalıplarını öğrenebilen çok boyutlu bilgi alanlarıdır. Bir şekilde YSA, insan beynini ve öğrenme sürecini taklit etmektedir. Bu nedenle sistem hakkında karakteristik bilgiye ihtiyaç yoktur. YSA bunun yerine önceden girilmiş veriler olan girdi ve çıktı parametreleri arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Dolayısı ile YSA, bir veya daha fazla girdi ve çıktı arasındaki muhtemelen doğrusal olmayan ilişkinin hesaplanmasında kullanılmaktadır [17 - 18].

Diğer bir ifade ile YSA 'lar yapısal ve matematiksel olarak birbirinden farklılıklar gösterirler. Genellikle giriş, çıkış ve gizli katman olmak üzere üç katmandan oluşurlar. Giriş katmanındaki hücre sayısı, YSA 'ya yapılan veri girişi sayısı kadardır. Çıkış katmanındaki hücre sayısı ise, YSA 'dan alınacak bilgi sayısı kadardır. Gizli katmandaki düğüm sayısı ise, deneysel olarak bulunur. Hücre sayısı ve hücreler arasındaki bağlantı sayısı, YSA 'nın öğrenme kapasitesine etki eder. Bir hücrenin çok sayıda girişi olmasına rağmen, bir adet çıkışı vardır. Hücreler bu giriş bilgilerini işleyerek bir sonraki katmana bilgiyi aktarırlar. Giriş bilgileri; her bilgi kendi ağırlığı ile çarpılarak toplanır ve aktivasyon fonksiyona tabi tutularak işlenir. Böylece bir sonraki katmana iletilecek bilgi elde edilmiş olur. YSA 'ların matematiksel farklılıkları ise eğitilmelerinde kullanılan algoritmalar ve hücre çıkışında kullanılan aktivasyon fonksiyonunun tipidir. Aktivasyon fonksiyonları üstel fonksiyonlar ihtiva etmelerinden dolayı lineer olmayan modelleme elde edilebilmektedir.

Çalışmada kullandığımız diğer bir yöntem ise uyarlamalı bulanık sinirsel ağlar (ANFIS: Adaptive Neuro Inference System) dir. İlk olarak Jang [19] tarafından önerilen UBSA, bulanık sistemlerle YSA 'nın birleşiminden oluşan bir sistemdir. Bulanık sistemler, uzman görüş ve deneyimlerini sözel ifadeler yardımıyla sisteme aktarırken, yapısı gereği hem doğrusal hem de doğrusal olmayan ilişkileri modelleyebilen YSA, öğrenme özelliği sayesinde, veriden hareketle birçok değişik formdaki fonksiyonel yapıyı başarıyla modelleyebilmekte ve herhangi bir formdaki fonksiyona belirli bir doğrulukta yakınsayabilmektedir [20 - 22]. Her iki yöntemin avantajlarını birleştiren UBSA, son yıllarda tahmin, sınıflandırma, kontrol, zaman serileri analizi gibi birçok alanda başarıyla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada; öncelikle konunun önemi anlatılmıştır. İkinci bölümde ise konu ile alakalı literatür araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde, mevcut çalışmada kullanılan akıllı sistemlerin (YSA ve UBSA) yapısı, çalışma şekilleri ve çeşitleri, güneş ışınımının, sıcaklığın, bağıl nemin; diğer meteorolojik parametrelere dayanarak, akıllı sistemlerle ileriye dönük tahmini ülkemizin genelini temsil edecek şekilde farklı bölgelere dağılmış elli il merkezine uygulanması bölüm üçte yapılmıştır. Bu tahminler sonucu elde edilen değerler; meteorolojik veriler ve TS-825 ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikler ve tablolar halinde sunulmuştur.

Dördüncü bölümde akıllı sistemlerle tahmini yapılan sıcaklık parametresinden yola çıkılarak, ısıtma derece-gün (IDG) ve soğutma derece-gün (SDG) sayıları hesaplanmış ve Türkiye için yeni IDG ve SDG bölgeleri önerilmiştir. Modellerden hesaplanan değerlere göre önerilen yeni DG bölgeleri haritalarla gösterilmiştir. Böylelikle hatalı iklim verilerinin sebep olduğu tasarımlardan kaynaklanan enerji tüketimi fazlalığı veya ortam konforu olumsuzluklarının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Beşinci bölümde ise, TS-825'te dört farklı iklim bölgesi için hesaplanan IDG sayıları dikkate alınarak 1. bölgeden Adana, 2. bölgeden Gaziantep, 3. bölgeden Ankara ve 4. bölgeden Muş illeri için ekonomik analiz yapılmış ve optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Altıncı bölümde ise bu ileriye dönük tahmin çalışması için GUI (Graphical User Interface) ile ara yüz oluşturulmuş ve son kullanıcılar için bir yazılım gerçekleştirilmiştir. Son bölümde ise çalışmadan elde edilen ana sonuçlar özetlenmiş ve sonraki benzer çalışmalar için öneriler yapılmıştır.

Akıllı sistemlerle meteorolojik parametrelerin ileriye dönük tahmini çalışmalarında en yaygın konulardan biri güneş ışınımı şiddetinin tahmin edilmesidir. Geçmiş yıllarda YSA veya UBSA modelleri ile gerçekleştirilen çalışmalarda, tahmin değerleri ile gerçek

değerler arasındaki farkların belirlenebilmesi amacıyla çeşitli istatistiki metotlar uygulanmış ve performans kriterlerinin uygun özellik sağlayıp sağlamadığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalarda bir bölge için YSA veya UBSA ile model uygulanmış, bu iki akıllı sistemin belirli bir bölge için karşılaştırmalı etkilerinden bahsedilmemiştir. Ayrıca elde edilen verilerin, bir sonraki basamakta mühendislik uygulamasındaki etkileri tartışılmamıştır. Mevcut çalışmada; HVAC sistemlerinin projelendirilmesinde esas teşkil eden parametrelerden sıcaklık, bağıl nem ve güneş ışıınımı şiddeti değerlerinin tahmini için YSA ve UBSA modelleri ile üç çıkışlı bir sayısal model hazırlanmıştır. Ayrıca; mevcut çalışmada, ülkemiz genelini temsil edecek şekilde elli il için bahsedilen hesaplamalar yapılmış ve kullanışlı bir arayüz oluşturulmuştur. Hazırlanan modellerin ürettiği, gerçek ve standart değerler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çeşitli performans kriterleri ile yapılan bu karşılaştırmaya göre hazırlanan modellerin ürettiği değerlerin oldukça başarılı olduğu tespit edilmiştir. YSA ve UBSA modelleri ile gerçekleştirilen tahmin sonucunda elde edilen sıcaklık verileri ile Türkiye 'yi temsil edecek şekilde elli il için IDG ve SDG sayıları tespit edilmiştir. Surfer ve ArcGIS programları kullanılarak DG haritaları çizilmiştir.

IDG ve SDG sayılarının bilinmesi, binaların ısıtılması veya soğutulması için gerekli olan enerji ihtiyacının tayini açısından oldukça önemlidir. Adana, Gaziantep, Ankara ve Muş illerinde için iki farklı duvar konfigürasyonu (sandviç ve dıştan yalıtımlı duvar) için ekonomik analiz yapılmıştır. Bu analizde kömür, doğalgaz, fuel-oil gibi üç farklı yakıt için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Yalıtım kalınlığının yıllık maliyete etkisi ortaya konarak, geri ödeme süreleri tayin edilmiştir.

2. LİTERATÜR

2.1. Akıllı Sistemler İle Güneş Işınımı;

Behrang ve arkadaşlarının [2010] yaptıkları çalışmada; meteorolojik verilere bağlı olarak yatay bir yüzey üzerindeki günlük küresel güneş ışıınımı, YSA teknikleri ile tahmin edilmiştir. 2002 - 2006 yılları arasında İran Dezful şehri için güneş ışıınımı değerleri günlük ortalama hava sıcaklığı, bağıl nem, güneşlenme süresi, buharlaşma ve rüzgâr hızı değerleri ile tahmin edilmiştir [13].

Tymvios ve arkadaşlarının [2005] yaptıkları çalışmada, yatay bir yüzey üzerindeki güneş ışıınının çeşitli modeller ile karşılaştırmalı olarak tahmini amaçlanmıştır. İki farklı metot kullanılmıştır. Bu metotlardan ilki klasik sayılabilecek Angström lineer yaklaşımı, diğeri ise YSA ile güneşlenme süresi ve diğeri iklimsel parametrelerin tahminine dayanmaktadır. Eksik verilere rağmen YSA 'nın diğeri klasik hesaplamalara göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür [23].

Mellit ve arkadaşlarının [2005] yaptığı çalışmada, günlük küresel güneş ışıınımını YSA ile tahmin etmek için bir hibrit model geliştirilmiştir. Bu amaçla Cezayir 'de altmış meteorolojik istasyondan 1991 - 2000 yılları arasındaki veriler toplanmıştır. Toplanan verilerden atmış aylık veri, sistemin eğitimi için kullanılmıştır. Ölçülen ve tahmin edilen değerler arasındaki ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) % 8 'i geçmemektedir. Model, geleneksel modeller; AR (otoregresif), ARMA (otoregresif hareketli ortalamalar), Markov chain, MTM (Markov geçiş matrisleri) ve ölçülebilen değerlerle karşılaştırıldığında % 90 ve % 92 arasında değişen bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Yapılan çalışma önerilen modelin, girdi olarak; yükseklik, enlem ve boylam koordinatlarını kullanarak, Cezayir 'in her yerinde günlük güneş ışıınımını tahmin etmek için kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

Mellit ve arkadaşlarının [2008] yaptığı bir diğeri çalışmada, UBSA tabanlı sistem ile aylık ortalama netlik indeksi ve coğrafi koordinatlara göre izole alanlarda toplam güneş ışıınımı verileri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Mellit ve Pavan 'ın [2010] yılında yaptıkları çalışmada da YSA ile güneş ışıınımı tahmini için modelleme yapılmıştır. Bu amaçla hava sıcaklığı ve ortalama günlük güneş ışıınımı değerleri kullanılarak yirmi dört saat temelli güneş ışıınımı tahmini için çok katmanlı algılayıcı model kullanılmıştır. Çok katmanlı

algılayıcı modelin genelleme yeteneğini kontrol etmek için, bir K-kat çapraz doğrulaması yapılmıştır. Korelasyon katsayısı aralığı güneşli günler için % 98 - % 99, bulutlu günler için ise % 94 - % 96 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar model performansının iyi olduğunu göstermektedir [24 - 26].

Rahimikhoob'un [2010] yaptığı çalışmanın amacı; YSA kullanılarak, yarı-kurak bir ortamda hava sıcaklığı verilerinin bir fonksiyonu olarak küresel güneş ışıınının doğru bir şekilde tahmin edilmesidir. YSA, dünya dışı ışıının, maksimum ve minimum hava sıcaklığının bir fonksiyonu olarak küresel güneş ışıınının tahmini için eğitilmiştir. Bunun için İran'ın güneybatısındaki Huzistan ovasında bulunan Ahvaz Hava İstasyonundan alınan 1994 ile 2001 yılları arasındaki meteorolojik veriler kullanılmıştır. Önerilen YSA modeli kullanılarak test verileri için gözlenen ve tahmin edilen küresel güneş ışıınını değerleri arasında R^2 değeri 0.889 olarak bulunmuştur [27].

Alam ve arkadaşlarının [2006] yaptığı çalışmada, güneş ışıınını şiddetini tahmin etmek için bir YSA modeli geliştirilmiştir. Netlik indeksi olarak bilinen bir parametre ile aylık ortalama günlük güneş ışıınını şiddetinin hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Hindistan'ın farklı iklimsel koşullara sahip on bir istasyonundan güneş ışıınını verileri alınmış modelin eğitim ve testinde kullanılmıştır. Bu analizde ileri beslemeli, geri yayımlı bir algoritma tercih edilmiştir. YSA modelinin sonuçlarına göre hata karelerinin ortalama karekökü ve yanlış hata değerleri sırasıyla % 1.65 ve % 2.79 olarak bulunmuştur [28].

Rehman ve Mohandes [2008] Suudi Arabistan Abha şehrinde 1998 ve 2002 yılları arasında ölçülen hava sıcaklığı ve bağıl nem değerlerini kullanarak YSA modeli ile güneş ışıınını tahmini yapmışlardır. Güneş ışıınını tahmini üç veri bileşimi kullanılarak yapılmıştır. İlkinde yıllık ve günlük en yüksek hava sıcaklığı giriş verilmştir. İkincisinde yıllık ve günlük ortalama hava sıcaklığı, üçüncüsünde ise ortalama hava sıcaklığı ve bağıl nem giriş verilerle çıkışta güneş ışıınını değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. 1998 ve 2001 yılları arasında ölçülen veriler modelin eğitimi için, 2002 yılındaki 240 gün veri ise test için kullanılmıştır. Test verileri sinir ağı eğitiminde kullanılmamıştır. Elde edilen sonuçlar, YSA'nın sadece sıcaklık ve bağıl neme bağılı olarak güneş ışıınını tahmin etmede etkili olduğunu göstermiştir [29].

Sözen ve Arcaklıoğlu'nun [2005] yaptığı bir çalışmada, Türkiye'de güneş enerjisi potansiyelini YSA ile belirlemek için meteorolojik ve coğrafi verilere dayalı yeni bir formülasyon geliştirilmiştir. Ölçekli-eşlenik gradyan (SCG: Scaled - Conjugate Backpropagation), Pola - Ribiere metodu (CGP), Levenberg - Marquardt (LM) öğrenme

algoritması ve logistik sigmoid aktivasyon fonksiyonu ağırları kullanılmıştır. Meteorolojik ve coğrafi veriler (enlem, boylam, yükseklik, ay, ortalama güneşlenme süresi ve ortalama sıcaklık) giriş katmanında kullanmıştır. Güneş ışıınımı ise çıkış katmanını oluşturmaktadır. Maksimum mutlak hata yüzdesi 3.832 'den daha az bulunmuştur. R^2 değerleri seçilen istasyonlar için yaklaşık % 99.97 'dur. Bu çalışma güneş ışıınım değerlerini doğru bir şekilde tahmin etmek için YSA yeteneğini onaylamaktadır [30].

Azadeh ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [2009] klimatolojik değişkenler ile küresel güneş ışıınımını tahmin etmek için entegre bir YSA yaklaşımı sunulmaktadır. Entegre YSA öğrenme ve test verileri, en düşük mutlak hata yüzdesi yaklaşımı ile çok katmanlı algılayıcılarla işlenmiştir. Önerilen yaklaşım uygun ölçüm ekipmanı bulunmayan yerler için özellikle yararlıdır. Girdi değişkenleri olarak ilgili tüm klimatolojik ve meteorolojik parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Entegre YSA yaklaşımının uygulanabilirliğini ve üstünlüğünü göstermek amacıyla, İran'ın altı şehri için altı yıl süresince aylık veriler toplanmıştır. Her şehir için ayrı bir model kabul edilmiş ve her şehirde güneş ışıınımı miktarı hesaplanmıştır. Bunlara ilave olarak entegre bir YSA modeli güneş ışıınımını tahmin etmek için öngörülmüştür. Entegre bir modelle elde ettikleri sonuçlar yaklaşık % 94 gibi yüksek bir hassasiyet göstermiştir. Bu değer hatırı sayılır doğruluğunu göstermek için geleneksel angström modeli ile bu model sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu nedenle, önerilen yaklaşımın, doğrudan ölçüm cihazlarının olmadığı uzak ve kırsal bölgelerde güneş ışıınımının tahmininde etkili bir araç olabileceğini göstermişlerdir [31].

Elminir ve arkadaşlarının [2005] yaptıkları bir çalışmada, güneş enerjisi uygulamaları için yürütülen, saha testinin zaman alıcı, maliyetli ve hâkim hava şartlarına büyük ölçüde bağlı olduğunun üzerinde durularak, ölçmelerde sistem hataları ve kötü hava şartlarının çeşitli problemlere neden olduğu belirtilmektedir. Bu nedenledir ki bu sorunların üstesinden gelebilmek için doğru bir modele duyulan ihtiyaç önem kazanmaktadır. Yapılan çalışmada; YSA modeli ile kızılötesi, ultraviyole ve küresel güneşlenme, yaklaşık olarak sırasıyla % 95, % 93 ve % 96 doğruluk oranıyla tahmin edilmiştir [32].

Farade 'nin yaptığı [2009] çalışmada, Nijerya 'da güneş enerjisi potansiyelinin tahmini için YSA 'ya dayalı bir model geliştirilmiştir. MATLAB 'ın araç kutusu kullanılarak standart çok katmanlı, ileri beslemeli ve geri yayımlı mimariye sahip YSA modeli kullanılmıştır. Ağın eğitiminde ve testte kullanılan veriler NASA jeo-uydusundan temin edilen on yıllık coğrafik ve meteorolojik verilerden oluşmaktadır. Meteorolojik ve coğrafi

veriler (enlem, boylam, yükseklik, ay, ortalama sıcaklık, ortalama güneşlenme süresi ve güneş ışınlamı, bağıl nem) ağı girdi olarak verilmiştir [16].

Jiang [2008] aylık ortalama günlük güneş ışınlamını tahmin etmek için YSA ile hazırlanmış bir model sunmuştur. Çin 'de farklı iklimsel koşullara sahip dokuz istasyondan 1995 - 2004 yıllarına ait güneş ışınlamı verileri alınmıştır. Sekiz istasyondan alınan veriler sinir ağlarını eğitmek için kullanılırken bir istasyon verileri, test için kullanılmıştır. Tahmin edilen değerlerle ölçülen değerlerin RMSE, ortalama hata yüzdesi (MPE) ve ortalama yanlılık hatası (MBE) karşılaştırılmıştır. Sonuçta, YSA modeli, diğer deneye dayalı regresyon modelleri ile kıyaslanmıştır. YSA tarafından öngörülen güneş ışınlamı tahminlerinin, gerçek değerlere oldukça uygunluk gösterdiği tespit edilmiştir. YSA modeli Zhengzhou ili gerçek değerlerini % 94.81 'lik bir doğruluk ile tahmin edebilmektedir. Zhengzhou ili verileri YSA eğitim setinin bir parçası değildir. Bundan dolayı eldeki sonuçlar, bu yaklaşım ve genelleme yeteneğinin kabiliyetini göstermektedir. Jiang 'ın 2009 yılında yaptığı diğer bir çalışmada da Çin 'in sekiz şehri için YSA modeli ile aylık ortalama günlük güneş ışınlamı miktarı tahmin edilmiştir. Bu çalışmada da ileri beslemeli geri yayımlı YSA modeli uygulanmıştır [33 - 34].

Çin 'de dokuz büyük iklim bölgesi ve bunların alt bölgelerini kapsayan kırk ilde ölçülen güneşlenme süresi yardımıyla, günlük küresel güneş ışınlamı tahmini, YSA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Lam ve arkadaşlarının [2008] yaptığı bu çalışmada kırk şehrin tümü, dokuz iklim bölgesi ve alt bölgeleri için güneşlenme saati ile günlük güneş ışınlamı arasındaki korelasyon katsayısı 0.82'den yüksek çıkmıştır. Ortalama yanlılık hatası, soğuk iklim bölgeleri için 3.3 MJ/m² ile 2.19 MJ/m² arasında değişmektedir. RMSE değeri ise 1.4 MJ/m² (çok soğuk iklim) ile 4.01 MJ/m² (soğuk iklim) arasında değişmektedir [35].

Lopez ve Gueymard [2008] yılında yaptıkları çalışmada, bulutsuz koşullar altında eş zamanlı olarak güneş ışığının üç bileşenini tahmin etmek için basit ve doğru bir model geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bu nedenle YSA 'ya dayalı bir spektral ışınlamı modeli oluşturmuşlardır [36].

Lu ve arkadaşlarının [2011] yaptıkları çalışmada; alansal ve zamansal doğruluk ile jeostatik uydu verilerinden faydalanılarak aylık ortalama günlük güneş ışınlamının tahmini için basit hızlı ve verimli bir şekilde kullanılabilecek bir algoritma geliştirmişlerdir [37].

Mubiru ve Banda [2008] maksimum sıcaklık, bulutluluk, güneşlenme süresi gibi hava istasyonu bilgileri ve yer parametreleri; enlem boylam yükseklik verilerini dikkate alarak Uganda 'da yatay yüzey üzerindeki günlük ortalama güneş ışınımının aylık tahmini için bir YSA modeli geliştirilmiştir. Sonuçta elde edilen küresel güneş ışınımının tahmin edilen ve ölçülen değerleri arasında bir uyum olduğunu göstermektedir. Korelasyon katsayısı 0.974 olarak elde edilmiştir. RMSE değeri 0.385 MJ/m^2 ve ortalama yanlılık hatası 0.059 MJ/m^2 'dir YSA ve deneysel yöntem arasında karşılaştırma yapıp önerilen YSA tahmin modelinin üstünlüğü vurgulanmıştır [38].

Qin ve arkadaşlarının [2011] yaptığı çalışmada YSA ile günlük ortalama güneş ışınımı miktarının tespiti yapılmıştır. Giriş olarak aylık ortalama yüzey sıcaklığı, yüzey sıcaklığının ölçüldüğü gün sayısı, gelişmiş bitki örtüsü indeksi kullanılmıştır. Eğitim çalışmasından sonra YSA ile tahmin edilen güneş ışınımı miktarı istasyon verileri ile kontrol edilmiştir [39].

Reddy ve Ranjan 'ın [2003] yazdığı makalede küresel güneş ışınımının aylık ortalama günlük ve saatlik verilerinin tahmini için YSA tabanlı modeller sunulmaktadır. Hindistan'ın çeşitli bölgelerinde bulunan on üç istasyondan alınan güneş ışınımı verileri eğitim ve test amacıyla kullanılmıştır. Kuzey Hindistan 'dan beş, Güney Hindistan bölgesinden altı istasyonun verileri eğitim için, kalan iki istasyon (bir Güney Hindistan istasyonu ve bir Kuzey Hindistan istasyonu) verileri test için kullanılmıştır. YSA modelinin sonuçları diğer deneysel regresyon modelleri ile karşılaştırılmıştır. YSA ile tahmin edilen değerler, gerçek değerler ile iyi bir uyum içinde olduğu ve dolayısıyla mevcut diğer modellerden üstün olduğu tespit edilmiştir [40].

Şenkal ve Kuleli 'nin, [2009] yılında yaptıkları çalışmada esnek üretim (RP), ölçekli-eşlenik gradyan (SCG) ve lojistik sigmoid aktivasyon fonksiyonu öğrenme algoritmaları kullanılarak YSA ile Türkiye için güneş ışınımı tahmini yapılmıştır. Sinir ağlarını eğitmek için, Türkiye 'nin farklı bölgelerinde yer alan on iki şehrin (Antalya, Artvin, Edirne, Kayseri, Kütahya, Van, Adana, Ankara, İstanbul, Samsun, İzmir, Diyarbakır) Ağustos 1997 'den Aralık 1997 'ye kadar olan dönem içerisindeki meteorolojik veriler kullanılmıştır. Bu verilerden dokuz istasyonun verisi eğitim, üç istasyon verisi ise test için değerlendirilmiştir. Meteoroloji ve coğrafi veriler (enlem, boylam, yükseklik, aylık ortalama dağınık ışınım ve ortalama ışınım demeti) ağın giriş katmanında kullanılmıştır. Güneş ışınımı ise çıktı parametresidir. Güneş ışınımının aylık ortalama günlük toplam güneş ışınımı değerleri eğitim şehirleri için; 54 W/m^2 ve 64 W/m^2 arasında, test şehirleri

için ise; 91 W/m^2 - 125 W/m^2 arasında bulunmuştur. Şenkal [2010] yaptığı başka bir çalışmada ise genelleştirilmiş regresyon sinir ağlarıyla güneş ışıının tahmininde hem meteorolojik veriler hem de uydu verileri kullanılmıştır. Giriş katmanında; enlem, boylam, yükseklik ve bazı meteorolojik parametreler kullanılmıştır. YSA ile tahmin edilen güneş ışıını miktarı ile ölçülen değerler arasında RMSE ve korelasyon değeri, eğitim verileri için; 0.1630 MJ/m^2 ve % 95.34, test verileri için 0.32 MJ/m^2 ve % 93.41 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar yeterince iyi olduğundan Türkiye 'de genelleştirilmiş regresyon sinir ağlarının güneş ışıını tahmin etmek için kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır [41 - 42].

2.2. Derece-Gün ve Uygulamaları

Günümüzde binalarda enerji analizi için karmaşık ve gelişmiş yöntemler mevcut olmasına rağmen, en yaygın kullanılanı oldukça basit olan DG yöntemidir. DG yönteminde, bir binanın enerji ihtiyacı, binanın iç ortam sıcaklığı ile ilgili denge noktası sıcaklığı ve binanın bulunduğu yerin dış hava sıcaklığı arasındaki fark ile doğru orantılıdır. Eğer binanın iç ortam sıcaklığı ve iç ısı kazançları sabit ise DG yönteminden elde edilen değerlerle, binanın ısıtma veya soğutma ihtiyacı için gerekli enerji yüksek hassasiyetle tahmin edilmektedir. Bu teknikte denge noktası sıcaklığı bir binada ısıtma veya soğutmaya ihtiyaç duyulmadığı zamandaki dış ortam sıcaklığı olarak alınmaktadır. Bu denge noktası sıcaklığı, kullanılan binanın özelliklerine göre farklılık gösterebilmektedir. Bu fark istenilen iç ortam sıcaklığına, binanın ısı özelliklerine ve kullanım şekline göre değişmektedir [11].

Kurak bölgelerde, genellikle gece ve gündüz arasında büyük sıcaklık farklarının bulunduğunu belirten Şen ve Kadioğlu 'na [1998] göre IDG sayıları, binaların ısı ihtiyacının göstergesidir. DG sayıları maksimum ve minimum sıcaklıklar ile doğrusal olarak değişmektedir. DG hesaplamaları sadece maksimum sıcaklık kayıtlarını sunmak ve risk değerlendirmelerini açıklamak için kullanılmaktadır. Bahsedilen çalışmada çeşitli bölgeler için DG haritaları oluşturulmuş ve yerel topoğrafyayla ilişkileri incelenmiştir [43].

Türkiye 'deki yetmiş yedi hava istasyonu için ısıtma ve soğutma derece-saat (DS) verilerini belirlemek amacıyla Satman ve Yalçınkaya [1999] tarafından çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada saatlik sıcaklık verileri kullanılarak 15°C , 17°C ve 18.3°C

denge sıcaklıklarında, yıllık IDS; 24 °C, 26 °C, 27 °C ve 30 °C denge sıcaklıklarında da ise SDS sayıları elde edilmiştir. DS performansları tablo ve haritalarla sunulmuştur [44].

Büyükalaca ve arkadaşları [1999] Türkiye 'nin tüm bölgelerini temsil edebilecek iller için öncelikli olarak 18 °C denge noktası sıcaklığında, IDG sayılarını hesaplamışlardır. Ayrıca DG sayıları ile farklı denge noktası sıcaklıkları (16 °C ve 14 °C) için de hesaplama yapılmıştır. Benzer şekilde soğutma sistemleri için üç farklı denge noktası sıcaklıkları esas alınarak (22 °C, 24 °C, 26°C) SDG sayıları belirlenmiştir [45].

Badescu ve Zamfir [1999] tarafından yapılan çalışmada, Romanya için DS yöntemi uygulanmıştır. Saatlik ortalama sıcaklık dağılımı analitik olarak temsil edilmiştir. Regresyon katsayısı mevcut meteorolojik verilerin dağıtım fonksiyonuna katılması ile elde edilmiştir. Çeşitli sıcaklıklarda birikimli dağılım fonksiyonları üretilmiş ve test edilmiştir. Bu tür fonksiyonlardan, DS sayıları kolaylıkla hesaplanmıştır [46].

Christenson ve arkadaşlarının [2006] yaptıkları çalışmada, DG yöntemi İsviçre'deki binaların ısıtma ihtiyacında değişen iklimin etkisini belirlemek amacıyla kullanılmıştır. IDG ve SDG sayılarını tahmin etmek için bir işlem geliştirilmiş ve İsviçre'yi temsil eden dört merkeze uygulanmıştır. Geçmiş eğilimler 1901 -2003 tarihleri arasındaki sıcaklık verilerinden yararlanılarak tespit edilmiştir. 21. yüzyıl için gelecekteki olası aralığı belirleyebilmek amacıyla, kırk bir bölge için, sekiz küresel iklim modeli ile otuz beş simülasyondan üretilen veriler kullanılmıştır. IDG sayıları 1901 ile 2003 tarihleri arasında 8 °C, 10 °C veya 12 °C denge sıcaklığında % 11 - % 18 arasında azaldığı belirlenmiştir. 1975 - 2085 için senaryo hesaplamalarında % 13 - % 87 azalma görülmüştür. Bu fark sıcaklık senaryolarından kaynaklanmaktadır. Sıcaklık senaryolarının seçimi burada en hassas konudur. 20. ve 21. yüzyıllar için SDG sayılarında hızlanan değişimler tespit edilmiştir. Bu çalışmaya göre önümüzdeki on yıl için İsviçre 'deki binaların enerji tüketiminde bölgesel ve mevsimsel önemli değişikliklerin görülmesi muhtemeldir [47].

Sahal [2006] yaptığı çalışmada, Türkiye 'de çeşitli iklim bölgelerinde dış duvarda ki fiziksel bozulmalara nemin sebep olduğu ifade edilmiştir. Bu yüzden nemli bölgede tasarımcılar için iklim şemalarına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, Türkiye için iklim bölgeleri tanımlamak amacıyla yeni bir yaklaşım sunulmaktadır. İlk olarak aylık verilere göre yıllık şiddetli yağış indeksi hesaplanmış ve yağış haritaları çıkarılmıştır. Daha sonra Türkiye için şiddetli yağmur indeksi temelli nüfus ağırlıklı DG sayıları bulunmuştur. Nüfus ağırlıklı DG'de Türkiye üç iklim bölgesine ayrılmıştır. Birinci bölge; şiddetli yağmur indeksi üçten düşük olan korunaklı yerleri, ikinci bölge; şiddetli yağmur indeksi üç ile altı arasında,

nüfus ağırlıklı IDG sayısı 1600 olan yerlerdir. Eylül'den Mayıs sonuna kadar ortalama sıcaklık sıfırın üstündedir. Üçüncü bölge; şiddetli yağmur indeksi üç ile altı arasında, nüfus ağırlıklı IDG sayısı 1601 ile 2500 arasında olan yerlerdir. Orta derecede şiddetli yağış vardır ve bütün yıl boyunca sıcaklık sıfırın üstündedir [48].

Bulut ve arkadaşlarının [2007] yaptıkları çalışmada, iklimlendirme ve güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında, simülasyonunda ve enerji analizlerinde kullanılmak üzere Türkiye'nin tüm bölgelerini temsil edecek on beş il için günlük maksimum sıcaklık, günlük minimum sıcaklık, saatlik sıcaklık, günlük ortalama bağıl nem ve yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışıınımı değerlerini veren eşitlikler sunulmuştur. Günlük maksimum ve minimum sıcaklık ve bağıl nem eşitliklerinin belirlenmesinde DMI'den temin edilen on altı yıllık, günlük toplam güneş ışıınımı eşitliklerinin tespitinde ise yedi yıllık veriler kullanılmıştır [11].

Dombaycı [2009] yılında Türkiye'deki yetmiş dokuz ilin meteorolojik istasyonlarında ölçülen uzun dönem (yirmi bir yıllık) günlük en yüksek ve en düşük sıcaklık verilerini kullanarak, IDG ve SDG sayılarını hesaplanmıştır. IDG sayıları için beş farklı, SDG sayılarının tespitinde de altı farklı denge sıcaklığı kullanılmıştır. 17.5 °C denge sıcaklığı için maksimum ve minimum DG sayıları sırasıyla Ardahan'da 4581 ve Mersin'de 783; 22 °C denge sıcaklığı için maksimum ve minimum SDG sayıları sırasıyla Şanlıurfa'da 970 ve Ardahan'da 61 olarak tespit edilmiştir [49].

Genesis [2009] çeşitli denge sıcaklıklarında yıllık DG sayılarının tahmini için basitleştirilmiş ikinci derece bir bağıntı geliştirmiştir. Bu ilişkinin uygulaması için belirlenen bölgenin ortalama yıllık sıcaklık ve bazı referans denge sıcaklık DG sayılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Önerilen ilişkinin parametrelerinin belirlenebilmesi için istatistiksel analiz gerekli değildir. Bu nedenle konuma duyarsızdır. Diğer ülkelerin ve Yunanistan'ın pek çok şehrine uygulanmış ve ikinci dereceden ilişkinin doğru sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Bunun yanı sıra DG tahmini için önerilen ifade açık ve basit formu nedeniyle analitik amaçlar için kolaylıkla uygulanabilir bir şekildedir [50].

Martinaitis ve arkadaşlarının [2010] yaptığı çalışmada; binaların ekserji analizi için kullanılan DG uygulamaları sunulmaktadır. İklim, binaların enerji kullanımı, ekserji analizi için ana unsur olarak görülmektedir. Analizin girişinde; dış sıcaklık, yoğunluk dağılımı ve kümülatif dağılım frekansı fonksiyonları tanımlanmıştır. Binaların kullandığı enerjinin belirlendiği ekserji analizlerinde kabul edilen yerel iklim şartları için çok çeşitli göreceli

ekserji göstergeleri bulunmaktadır. Bu parametrelerin belirlenmesi farklı yerlerdeki binaların ısıtma uygulamalarının termodinamik değerlendirmesini sağlamaktadır [51].

Dağtır ve Bolattürk 'ün [2011] yaptığı çalışmada, birinci iklim bölgesinde bulunan İzmir ili için güneş ışıının etkisi de hesaba katılarak soğutma ve ısıtma yüküne göre optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Meteorolojide uzun yıllar kaydedilmiş olan saatlik sıcaklık ve saatlik güneşlenme şiddeti verileri kullanılarak öncelikle güneş - hava sıcaklıkları tespit edilmiştir. Daha sonra ısıtma ve soğutma yükleri belirli bir denge sıcaklığında DS yöntemine göre hesaplanmıştır. Ayrıca güneş ışıını dikkate alınarak ve alınmayarak DS sayıları elde edilmiştir [2].

Bayram ve Yeşilata [2009] yaptığı çalışmada; SDG ve IDG sayıları basit bir yaklaşımla entegre edilerek, TS-825 uyarınca öngörülen yalıtım kalınlıklarının yeterliliği sorgulanmakta ve ülkemizdeki iklim (DG) bölgelerinin yeniden düzenlenmesi konusunda bir öneri sunulmaktadır. Bu yaklaşım doğrultusunda; boyutsuz bir DG parametresi tanımlanarak; soğutma gereksinimi, ısıtmaya kıyasla etkin ve etkin olmayan yerleşim yerleri, net bir şekilde belirlenebilmiştir. Hesaplamalarda; ülkemizdeki tüm meteorolojik merkezlerden elde edilen ve Avrupa Topluluğu İstatistik Ofisinin (Eurostat) önerdiği yöntemine uygun oluşturulmuş, otuz üç yıllık IDG ve SDG verileri kullanılmıştır. Elde edilen iklim (DG) bölgeleri; TS-825 standardında öngörülen iklim bölgeleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda; I. iklim bölgesinde bulunan iki iklim noktası (Cizre ve İskenderun) dışında, diğer bütün iklim noktalarında, TS-825 tarafından öngörülen yalıtım kalınlıklarının, soğutma dönemi açısından yeterli olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca; SDG ve IDG sayılarının her ikisini de göz önüne alarak yapılan iklim bölgeleri sınıflandırmasında; iklim bölgesi sayısı TS-825 ile aynı kalmakla birlikte, iklim bölgesi kapsamında önemli değişimler yapılmıştır [52].

Gölcü vd. [2006] Denizli 'deki binalarda, ısıtma için farklı enerji kaynaklarının kullanılması halinde dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığını DG sayısını esas alarak hesaplamışlardır [53].

Bolattürk, Isparta bölgesindeki binaların duvar ve çatı döşemeleri için optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tasarruflarını araştırmıştır. Bunun için yine DG sayısı esas alınmıştır. Bolattürk 'ün başka bir çalışmasında, Türkiye'nin dört iklim bölgesinden seçilen on altı şehir için IDG sayılarını kullanarak optimum yalıtım kalınlıklarını ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır [53].

Bolattürk 'ün [2008] yaptıkları çalışmada ise binaların dış duvar optimum yalıtım kalınlığının belirlenebilmesi için yıllık ısıtma ve soğutma yükleri temel alınarak karşılaştırılmalı olarak analiz yapılmıştır. Seçilen şehirler için ölçülmüş uzun dönem meteorolojik veriler kullanılarak hesaplanan iletim yükleri, optimum yalıtım kalınlığının belirlenebilmesi için yararlanılan ekonomik modelde (P_1 ve P_2 metotları) kullanılmıştır. Binaların yıllık enerji tüketimi, DG yöntemi ile belirlenmiştir. SDG için; optimum yalıtım kalınlığı 3.2 ile 3.8 cm arasında, enerji tasarrufu 8.47 ve 12.19 $\$/m^2$ arasında değişmektedir. Geri ödeme süresi 3.39 ve 3.81 yıl arasındadır. Öte yandan, ısıtma yükü için, yalıtım kalınlığı 1.6 ve 2.7 cm arasında, enerji tasarrufu, 2.2 ve 6.6 $\$/m^2$ arasında değişmektedir ve geri ödeme süresi 4.15 ve 5.47 yıl arasındadır [54].

Kaynaklı [2008] optimum yalıtım kalınlığı hesaplamaları için örnek olarak seçilen şehir olan Bursa 'da bir prototip bina üzerinde hesaplamalar yapmıştır. Yapılan çalışmada 1992-2005 yılları arasındaki uzun vadeli dönem içerisindeki dış hava sıcaklık kayıtları dikkate alınarak DS sayıları hesaplanmış ve çeşitli mimari tasarım özellikleri (örneğin hava infiltrasyon oranı, cam çerçevesi, alan) için araştırılmıştır. Daha sonra enerji gereksinimi ve toplam maliyete yalıtım kalınlığının etkisi incelenmiştir [55].

Şişman ve arkadaşları [2007], TS-825 'e göre dört farklı DG bölgesindeki binalar için gerekli ısı yükleri büyük farklılıklar gösterdiğinden, farklı DG bölgeleri için optimum yalıtım kalınlığının belirlenebilmesi amacıyla maliyete dayalı bir metot geliştirmişlerdir. İzmir, Bursa, Eskişehir ve Erzurum için sırasıyla DG sayıları 1450, 2203, 3215 ve 4856 olarak hesaplanmıştır. Bu sayılar ile N yıllık bir ömür için optimum yalıtım kalınlıkları tespit edilmiştir [56].

Özel ve Pıhtılı [2008] yılında yaptığı çalışmada; dış duvarlara uygulanan yalıtımın optimum kalınlığı, IDG ve SDG sayıları birlikte ele alınarak belirlenmiştir. Hesaplamalar Adana, Elazığ, Erzurum, İstanbul ve İzmir illeri için yapılmıştır. Bu durumda dış duvarlara ekstrüde polistren yalıtımı uygulanarak, artan yalıtım kalınlıklarına göre optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Çalışmada; incelenen illere göre optimum yalıtım kalınlığının 0.04 ile 0.084 m arasında, yıllık tasarrufun 21.94 ile 97.12 YTL/ m^2 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Geri ödeme süresinin ise 1.45 ile 2.05 yıl arasında değiştiği görülmüştür [53].

Büyükalaca ve arkadaşlarının [2001] yaptıkları çalışmada; HVAC sistemlerinde ısıtma ve soğutma enerjisini tahmin etmek için DG yöntemi uygulanmıştır. Uzun vadeli ölçüm sonuçları kullanılarak Türkiye için IDG ve SDG sayıları belirlenmiştir. IDG hesaplarında; 14 °C ile 22 °C arasında beş farklı, DG soğutma hesaplarında 18 °C ile 28 °C arasındaki altı farklı denge sıcaklığı kullanılmıştır [57].

Bulut ve arkadaşlarının [1999] yaptığı çalışmada; iklimlendirme ve güneş enerjisi sistemlerinin tasarım, simülasyon ve enerji analizlerinde kullanılmak üzere Türkiye'nin tüm bölgelerini temsil edecek on beş il için günlük maksimum sıcaklık, günlük minimum sıcaklık, saatlik sıcaklık, günlük ortalama bağıl nem ve yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışıınımı değerlerini veren eşitlikler sunulmuştur. Günlük maksimum ve minimum sıcaklık, bağıl nem eşitliklerinin belirlenmesinde temin edilen on altı yıllık, günlük toplam güneş ışıınımı eşitliklerinin tespitinde ise yedi yıllık veriler kullanılmıştır. Önerilen eşitlikler için MAE ve ortalama standart hata değerleri her bir il için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Eşitliklerden elde edilen iklim verileri ölçülen verilerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda önerilen eşitliklerin iklim verilerini iyi bir hassasiyetle temsil ettiği görülmüştür. Ayrıca eşitliklerin kullanımına dair tipik bir örnek verilmiştir [9].

3. YAPAY SİNİR AĞI VE UYARLAMALI BULANIK SİNİRSEL AĞ TABANLI MODELLEME

3.1. Yapay Sinir Ağları

Bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler, yapay zekâ konusunda yapılan çalışmaları ve konuya olan ilgiyi artırmıştır. Yapay zekâ araştırmalarının ana amacı, insanın bilgi işleme prensiplerinin araştırılması ve biyolojik sinir sistemlerinin çalışmasının taklit edilmesidir. Ayrıca, bu disiplin daha esnek yetenekleri ile bilgisayarların gerek çalışmasına ve gerekse yapısına yeni yaklaşımlar kazandırmayı amaçlamaktadır. Bu beklentilere cevap verebilmek için, zeki sistemler oluşturma çalışmalarına farklı bilim dallarından nörologlar, biyologlar, fizyologlar, mühendisler, matematikçiler, psikologlar ve fizikçiler bireysel veya birlikte işbirliği içinde çalışarak katkıda bulunmuşlardır. Yapay zekâ araştırmacılarının temel amacı; ideal, insan gibi düşünen ve davranan sistemler oluşturmaktır. Fakat buna ulaşmanın güçlüğü anlaşıncı, çalışmanın yönü rasyonel düşünen ve davranan sistemlerin tasarlanmasına çevrilmiştir [58]. YSA; insan beyninin çalışma mekanizması taklit edilerek geliştirilen mantıksal bir programlama tekniğidir. YSA bilgisayar ortamında beynin yaptığı işleri yapabilen, karar veren, yetersiz veri durumunda var olan mevcut veriyi kullanarak bir sonuca ulaşan, öğrenen bir tür algoritmadır [59].

YSA ve genetik algoritmalar (GA) gibi canlıların biyolojik özelliklerine dayanan ve bulanık mantık (BM) gibi insanların düşünme yeteneğini temel alan yöntemler incelendiğinde modern anlamda ilk olarak YSA modelinin 1943 yılında, bir sinir hekimi olan Warren McCulloch ile bir matematikçi olan Walter Pitts tarafından gerçekleştirildiği görülmektedir. McCulloch ve Pitts, insan beyninin hesaplama yeteneğinden esinlenerek, elektrik devreleriyle basit bir sinir ağını modellemişlerdir [60]. 1949'da ise D. O. Hebb "Organization of Behavior" isimli kitabında, öğrenme ile ilgili temel teoriyi ele almıştır. Fizikokimyasal psikolojinin gelişimine önemli katkısı bulunan kitapta ayrıca öğrenebilen ve uyum sağlayabilen sinir ağları modeli için temel oluşturacak Hebb Sinapsi (Eğer bir sinir başka bir sinirden bir giriş alırsa ve her ikisi de yüksek aktif ise yani matematiksel olarak aynı işaretli ise sinirler arasındaki boyut kuvvetlendirilir) ve Hebbian Hücresi tanıtılmaktadır [61]. Azeri bilim adamı Loutfi A. Zadeh 'in 1965 yılında Fuzzy Sets 'lerle duyurduğu BM teorisinde problem çözerken insanın düşünüş tarzını esas almıştır.

“Büyük”, “uzun”, “sıcak”, “yaşlı”, “genç” ve “hızlı” gibi nispi kavramların derecelendirilmesinde Zadeh ’in geliştirdiği “Bulanık Set Teorisi” ve matematik formülasyonu, klasik mantığın aksine çok daha geniş ufuklar açmıştır [62]. Rumelhart ve diğerleri tarafından 1986 yılında geliştirilen ileri beslemeli geri yayılma mimarisi, hala en çok kullanılan ağ mimarisi olarak bilinmektedir [63]. Günümüzde GA uygulamaları üzerine klasik eser olarak bilinen kitap ise 1989 yılında Goldberg (1989) tarafından yayınlanmıştır [64].

Yapay zekâ teknikleri, her geçen gün daha fazla gelişmektedir. Yeni ürünler ortaya çıkmakta ve daha çok günlük hayatta kendisini göstermektedir. Otomasyon sistemleri de yapay zekâ teknolojisi ile donatılarak bilgisayarın karar verme gücünden faydalanılmaktadır. Yapay zekâ teknikleri, YSA, BM, sezgisel algoritmalar (GA, tabu arama, karınca algoritması, ısıt işlemler, bağışıklık sistemi gibi), zeki etmenler ve uzman sistemler (US) olmak üzere gruplandırılırlar. Literatürde BM teorisini istatistiksel yaklaşım olarak kabul eden bilim adamları olsa da çoğu çalışmada yapay zekâ yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir.

Uzman sistemler: Bir uzmanın problemlerini çözdüğü gibi, problemlere de çözümler üreten sistemlerdir. Uzmanlık bilgisi ile donatılırlar. Çıkarım mekanizmaları bilgiler arasındaki ilişkileri kurarak kararlar verirler.

YSA: Örneklerden olaylar arasındaki ilişkileri öğrenerek daha sonra hiç görmediği örnekler hakkında öğrendikleri bilgileri kullanarak karar veren sistemlerdir.

GA: Geleneksel optimizasyon teknolojisi ile çözülemeyen problemleri çözmek üzere geliştirilmişlerdir. Problemlerin çözümlerini birleştirerek daha iyi çözümler üretmek felsefesine dayanmaktadır.

Bulanık önermeler mantığı: Belirsiz bilgileri işleyebilme ve kesin rakamlar ile ifade edilemeyen durumlarda karar vermeyi kolaylaştıran bir teknolojidir.

Zeki etmenler: Değişik yapay zekâ tekniklerini kullanabilen ve bağımsız olarak çalışabilen sistemlerdir. Esnek bir şekilde programlanmaktadır [58].

3. 1. 1. YSA 'nın Uygulama Alanları

İlk YSA çalışmaları yaklaşık elli yıl önce başlamış olmasına karşılık bunların etkin kullanımı ve sürekli gelişimine son yirmi yıl içinde rastlanmaktadır. Halbuki, bir çok kontrol sistemi ile en uygun optimizasyon yöntemlerinin esasları, matematik usulleri, terminolojileri ve kuralları nerede ise çok uzun yıllardır değişmeyecek biçimde kurulmuştur. YSA yöntemleri yüksek eğitim, araştırma, endüstri ve teknolojik gelişmeler için BM ve GA yöntemleri ile beraber çok başarılı bir temel teşkil etmektedir. Her birinin çok değişik alanlarda uygulamaları bulunmaktadır. Bu arada, YSA uygulamalara kısa zamanda uyarlanabilen bir anlayış basitliğine ve işleyişine de sahiptir.

YSA uygulamalarının başarı ile yapılabilmesi için, esaslarının ve çalışma işleyişlerinin mutlaka çok iyi anlaşılmış olması gerekmektedir. Böyle olmayan durumda yapılan çalışmaların çoğu maalesef sadece mekanik birer uygulamayı geçememektedir. YSA 'nın genel kullanım nedenleri şu şekilde sınıflandırılabilir.

Sınıflandırma: Bilimsel çalışmalarda sınıflandırma sık sık başvurulanan bir yöntemdir. YSA'nın eğitilmesinden sonra ağa verilen verilerle hangi sınıfın geçerli olacağının tespit edilmesi mümkündür.

Kümeleme: Sınıflandırmada sınırların önceden tespit edilerek verilmesine karşılık kümelemede böyle bir bilgiye gerek yoktur. Kümeleme birbirine benzer olan girdi verilerinin aynı gruba dâhil edilmesi demektir. YSA, ağın eğitimine bağlı olarak kendisine verilen bir dizi veriyi birbirinden farklı alt kümelerine ayırabilir. Daha sonra ise ağa verilen eğitim verileri arasında olmayan verilerin hangi kümeye gireceğine karar verebilir.

Vektör Sayısallaştırma: Çok sayıda olan verilerin kendi aralarında az sayıda aynı özelliklere sahip olan verilere ayrılması olayıdır. Sayısallaştırma işlemi ile mesela bir alan örtüşmeyen alt alanlara ayrılabilir.

Desen Uygunluğu: Burada bozuk, yıpranmış, eskimiş veya eksik olarak verilen bir desenin YSA 'nın hafızasında daha önceden depolanmış olan, tam ve eksiksiz bir desenle karşılaştırılması sonucunda bozuk girdiye YSA düzgün desen çıktıları verilebilir.

Fonksiyon Yaklaşımı: Matematik ifadesi bilinmeyen birçok şekil bulunmaktadır. Bu durumda istenilen şeklin basit ve düzgün olan başka şekillerin üst üste bindirilmesi ile yaklaşımı söz konusu olabilir. Verilen bir fonksiyona temel bazı şekillerle yaklaşmak YSA vasıtasıyla mümkün olmaktadır.

Tahmin Yapmak: Genel olarak gelecek, geçmiş verilerin davranışlarının incelenmesi sonucunda olayın iç ve dış işleyişlerinin anlaşılmasından sonra tahmin edilebilmektedir. Borsadaki salınımların, hava olaylarının, taşkınların ve benzeri tahminler hep bu tür bir işlevdir.

Kontrol sorunları: Endüstride imal edilen birçok alet ve cihazın çalışması matematiksel modellerle benzetilemeyecek kadar karmaşık iç ilişkilerle olmaktadır. Bu ilişkilerin insan tarafından modellenmesine otomatik kontrol veya otomasyon denir. Kontrol genel olarak verilen girdi değerlerinden istenen çıktı davranışının elde edilmesi olarak tanımlanmaktadır.

Optimizasyon: Birçok ticari ve bilimsel konularda incelenen olayın optimumunun belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Optimizasyon için birçok klasik yöntem geliştirilmiş olmasına rağmen, optimizasyonun YSA ile yapılması en azından sınırlayıcı matematik kabullerinin bulunmaması açısından önemlidir.

Arama Çalışmaları: Problemlere uygun çözümleri bulmak için birçok arama yöntem ve stratejileri kullanılmaktadır. Özellikle yapay zekâ uygulamalarında fazlaca kullanılan arama yöntemlerinin YSA ile başarılması da mümkündür [65].

YSA, özellikle günümüze kadar çözümü güç ve karmaşık olan ya da ekonomik olmayan çok farklı alanlardaki problemlerin çözümüne uygulanmış ve genellikle başarılı sonuçlar alınabilmiştir. YSA çok farklı alanlara uygulanabildiğinden bütün uygulama alanlarını burada sıralamak zor olmaktadır. Ancak günümüzde, arıza analizi ve tespitinde (elektrik makinelerinin, uçakların yada bileşenlerinin, entegre devrelerin ve benzeri elemanların arıza analizleri), tıp alanında (tıbbi sinyallerin analizi, kanserli hücrelerin analizi, protez tasarımı, kalp fonksiyonları gibi fizyolojik işaretlerin izlenmesi tanınması ve yorumlanması, transplantasyon zamanlarının optimizasyonu ve hastanelerde giderlerin optimizasyonu), savunma sanayinde (silahların otomasyonu ve hedef izleme, nesneleri/görüntüleri ayırma ve tanıma, yeni algılayıcı tasarımı ve gürültü önleme), haberleşmede (görüntü ve veri sıkıştırma, otomatik bilgi sunma servisleri, konuşmaların gerçek zamanda çevirisi), üretimde (üretim sistemlerinin optimizasyonu, ürün analizi ve tasarımı, ürünlerin kalite analizi ve kontrolü, planlama ve yönetim analizi), otomasyon ve kontrolde (uçaklarda otomatik pilot sistemi otomasyonu, ulaşım araçlarında otomatik yol bulma/gösterme, robot sistemlerin kontrolü, doğrusal olmayan sistem modelleme ve

kontrolü, elektrikli sürücü sistemlerin kontrolü) çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra YSA, her türlü bilgiyi işlemek ya da analiz etmek amacıyla kullanılmaktadırlar. İş hayatı, finans, endüstri, eğitim ve karışık problemler bilim alanlarında, bulanık veya var olan basit yöntemlerle çözülemeyen problemlerin çözümünde, doğrusal olmayan sistemlerde başarıyla uygulanmaktadırlar [58, 60, 65].

3.1.2. YSA 'nın Avantajları ve Dezavantajları

YSA 'nın bu derece fazla uygulama alanının olmasının çok haklı gerekçeleri ve yararları bulunmaktadır. Bu avantajları şu şekilde sıralamak mümkündür.

- YSA matematik olarak modellenmesi mümkün olmayan veya zor olan karmaşık problemleri çok rahat modelleyerek çözebilmektedir.
- YSA kullanılarak problemleri başarılı bir şekilde çözebilmek için problemin çok iyi modellenmesi gerekmektedir. Bu modelleme, problemi çözebilmek için sadece söz konusu olay ile ilgili örneklerin belirlenip toparlanmasına yardımcı olacaktır. Örneklerin dışında herhangi bir ön bilgiye ihtiyaç yoktur.
- Gerçek dünyada olaylar ve olayların arkasındaki değişik faktörlerin birbirleri ile ilişkilerini ve birbirlerinin üzerindeki etkilerinin bilmek zordur. YSA bu ilişkileri otomatik olarak örneklerden öğrenmektedir. Kullanıcıların bu ilişkileri bilmesi ve ağa söylemesi beklenmemektedir. Geleneksel yöntemlerde bu ilişkiyi belirlemek veya yok saymak gerekmektedir. Bu özellik belki de YSA 'nın en önemli avantajlarından biridir.
- Benzer şekilde, gerçek dünya olayları ve bu olayların arkasındaki faktörlerin birbirleri ile ilişkilerin doğrusal olmadığı durumlarda bu ilişkileri modellemek çok zor olmaktadır. Bu nedenle gerçek hayatta problemleri çözmek için bazı varsayımlar yapmak gerekmektedir. Bu da modellenen sistemin gerçek sisteme uygunluğunu azaltmakta ve gerçek sistemin davranışlarını kontrol altına almayı zorlaştırmaktadır. Özellikle insan hayatının söz konusu olduğu yerlerde bu sebepten dolayı geleneksel sistemleri kullanmak sorun olabilmektedir. Yukarıda anlatılanların aksine, YSA için ise ilişkilerin doğrusal olup olmaması önemli değildir. Çünkü ilişkileri gerçekleştiren örnekler üzerinden kendiliğinden hesaba katılmaktadır. Bu nedenle, bu ilişkilerin

modellenmesi sorunu geleneksel sistemlerdeki kadar zor değildir. Örnekler gerçek sistemi temsil etmektedir. Bunun için bu örnekleri kullanarak öğrenen ağlar tarafından verilen kararlar daha gerçekçi olmaktadır.

- YSA uygulamaları hem pratik hem de maliyet bakımından daha ucuzdur. Sadece örneklerin belirlenmesi ve basit bir program problemi çözmek için yeterli olabilmektedir.
- YSA zaman bakımından daha çok verimli çalışmaktadırlar. Örneklerin bulunması, ağların oluşturulması, olayı öğrenmesi, gerçek zamanda kullanıma alınması çok kısa bir zaman diliminde mümkün olabilmektedir.
- Yeni bilgilerin ortaya çıkması, ortamda bazı değişikliklerin olması durumunda, yeniden eğitilebilirler. Bazı ağların eğitilmesinde gerek yoktur. Kendileri ortama uyumu öğrenerek gerçekleştirebilirler.
- Paralel çalışabilmeleri onların gerçek zamanlı kullanımlarını kolaylaştırmaktadır.

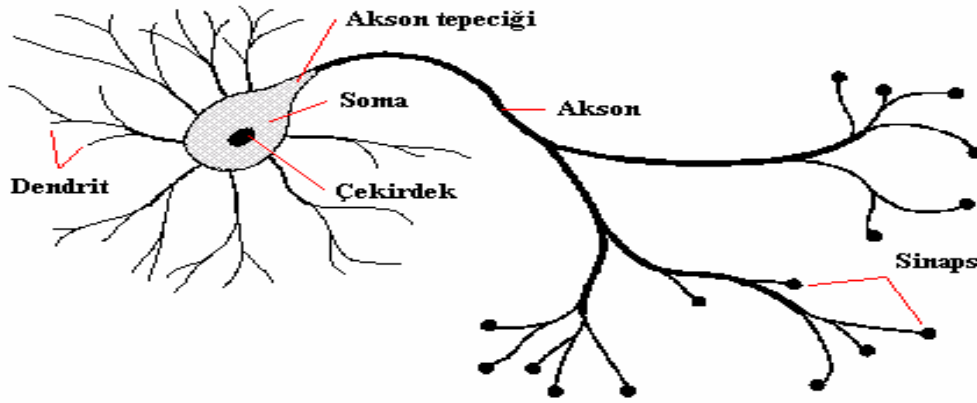
YSA'nın oluşturulmasında ve kullanılmasında avantajlar yanında bazı dezavantajlarda bulunmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir;

- YSA'nın oluşturulmasında, model seçiminde, ağın topolojisinin belirlenmesinde bir kurallar seti yoktur. Kullanıcının tecrübesine bağlı olarak belirlenmektedir.
- Problemlerin YSA ile çözülebilmesi için örneklerin tasarlanması için bir kurallar seti yoktur. Problem sahibi kendi tecrübesine göre örnekleri formüle etmektedir. Bir problem değişik şekillerde gösterilebilmekte ve her gösterimin kendisine göre performansı da değişmektedir. Doğru gösterimi bulmasının yolu yine tecrübeler ile sınırlıdır.
- Ağın davranışlarını açıklamak mümkün değildir. Bu ise ağa güveni azaltmaktadır.
- Eğitimin gerçekleştirilmesi uzun zamanlar alabilmektedir.
- Problemlere optimum sonuçlar garanti etmemektedir. Üretilen sonuçların optimum olduğunu iddia etmek doğru değildir. İyi sonuçlardan birisidir, denilebilir. Geleneksel yöntemler optimum çözümler üretirler.

- Örneklerin bulunmasının güç olduğu durumlarda ve problemi doğru temsil eden örneklerin bulunmaması durumunda problemlere sağlıklı çözümler üretebilmek mümkün olamamaktadır [66].

3. 1. 3. Sinir Ağlarının Biyolojik Yapısı

Biyolojik sinir ağının temeli olan sinir hücresi nöron olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3.1 'de şematik diyagramı gösterilen tipik sinir hücresi üç ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler; soma olarak adlandırılan hücre gövdesi, akson ve dendritlerdir [67].



Şekil 3.1. Basit bir sinir hücresi [67].

Dendritler girdi kanalları olarak işlev görürler. Bu girdi kanalları diğer nöronların sinapsları aracılığıyla girdilerini alırlar. Belirli bir sürede bir hücreye gelen girişlerin değeri, belirli bir eşik değerine ulaştığında hücre bir tepki üretmektedir. Daha sonra çekirdek, gelen bu sinyalleri zaman içinde işler. Çekirdek, bu işlenmiş değeri bir çıktıya dönüştürdükten sonra bu çıktıyı akson ve sinapslar aracılığıyla diğer nöronlara göndermektedir. Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beynin (merkezi sinir ağı) bulunduğu üç katmanlı bir sistem olarak açıklanmaktadır. Alıcı sinirler, organizma içerisinden ya da dış ortamlardan algıladıkları uyarıları, elektriksel sinyallere dönüştürerek beyne iletmektedirler. Tepki sinirleri ise, beynin ürettiği elektriksel sinyalleri organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürürler [68].

Şekil 3.2 'de bir sinir sisteminin blok diyagramı görülmektedir. Biyolojik beynin en önemli özelliklerinden birisi de, öğrenme olayıdır. İnsanlar ve hayvanlar, sürekli olarak

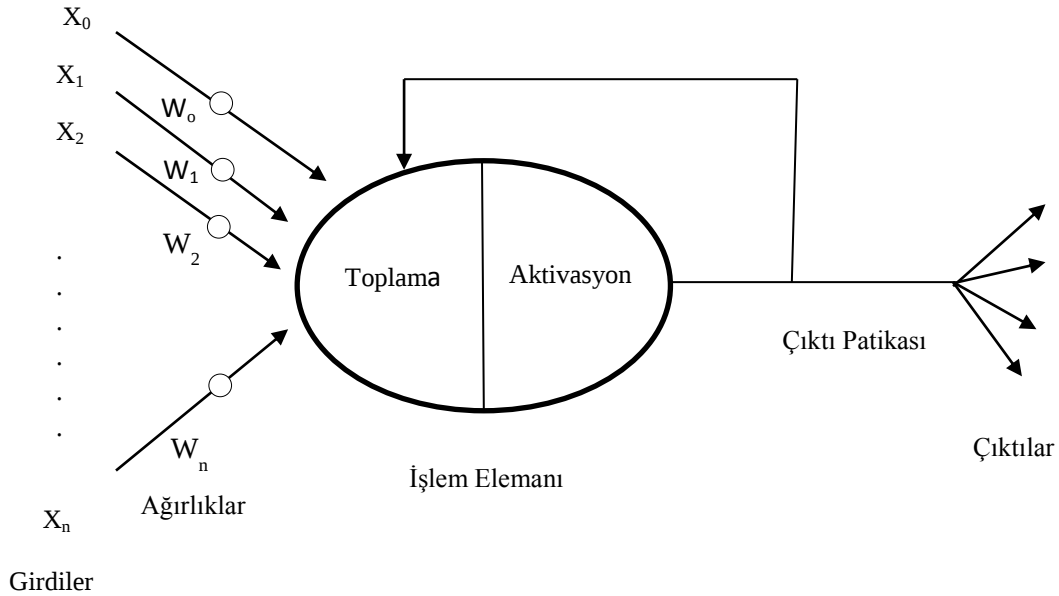
içerisinde bulundukları çevre ile ilişki neticesinde bir öğrenme işlemi içerisindedirler. Öğrenilen her yeni bilgi, beynin fonksiyonlarını hemen etkileyerek, yapılan davranışlara yansımaktadır. YSA 'nın gerçekleştirilmesinde bu özellik esas teşkil etmektedir [58].



Şekil 3.2. Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi

3. 1. 4. Yapay Sinir Hücresi

Bir YSA hücresi biyolojik bir sinir hücresine benzetilerek oluşturulmuştur. Bu hücre, biyolojik bir sinir hücresi gibi gelen bilgiyi sahip olduğu eşik değerinin izin verdiği oranda algılar ve işleyerek komşu sinir hücresine aktarmaktadır. Bu işlem çıkış sinir hücresine kadar devam etmektedir. Buradaki çıkış sinir hücresi de biyolojik anlamda beyindir. Başka bir deyişle YSA hücresi, biyolojik sinir hücresinin şekil ve işlev olarak bir taklididir.



Şekil 3.3. Yapay sinirin genel yapısı

Şekil 3.3 'de görüldüğü üzere her bir x_i girdisi kendisine karşılık gelen w_i ağırlık katsayısı ile çarpılır, tüm bu çarpımlar toplanır ve bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek bir çıktı üretilir.

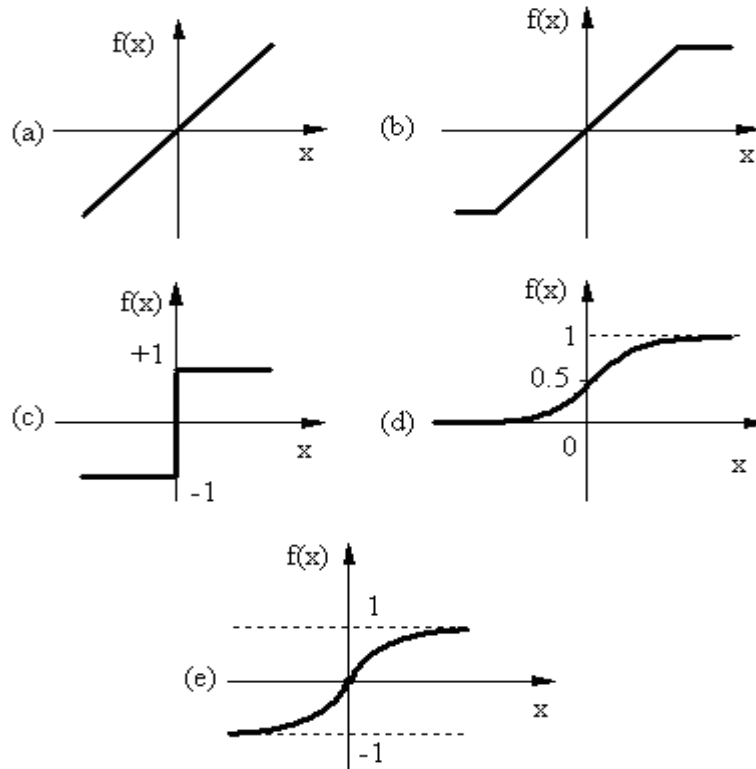
McCullogh ve Pitts (1943) tarafından tasarlanan ilk yapay sinir hücresinin matematik ifadesi,

$$y_i = f(g(x)) = f\left(\sum_{j=0}^n w_{ij}x_j - Q_i\right) ; x_i = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R \quad (3.1)$$

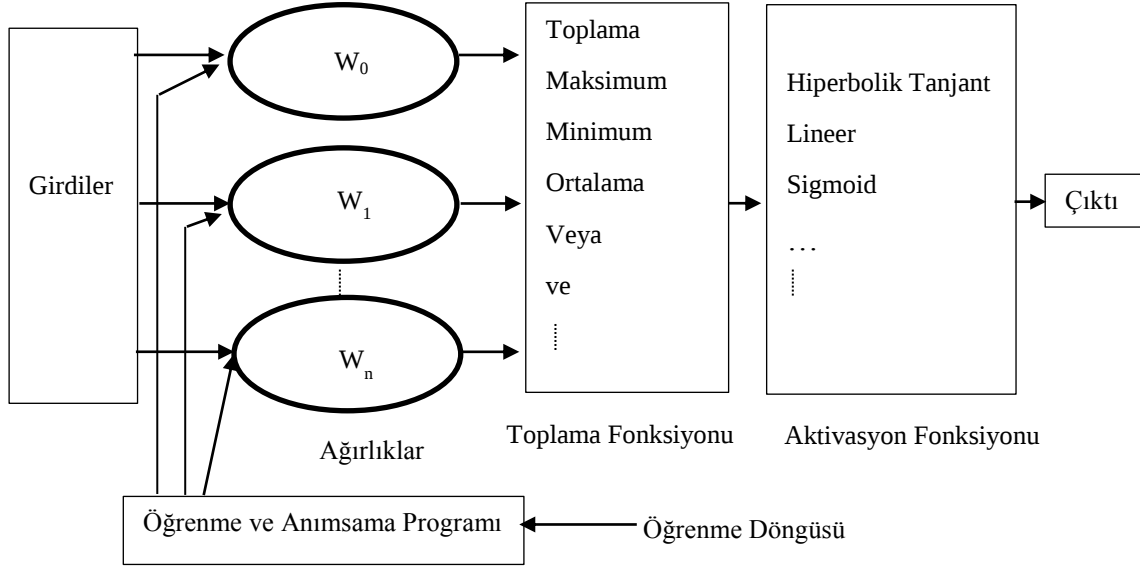
şeklinde verilmektedir. Burada y_i çıktı değerini, $f(.)$ aktivasyon fonksiyonunu, $g(.)$ toplama fonksiyonunu, w_{ij} bağlantı ağırlıklarını ve Q_i ise i nolu sinir hücresi için eşik değerini ifade etmektedir. Aktivasyon fonksiyonu olarak aşağıdaki birim adım fonksiyonu kullanılmıştır.

$$f(.) = \begin{cases} 1; & g(.) \geq 0 \\ 0; & g(.) < 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

Literatürde en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları adım, eşik, sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonlarıdır. Bu fonksiyonlar Şekil 3.4 'de gösterilmiştir. Şekil 3.5'te ise yapay sinir hücrelerinin ayrıntılı yapısını göstermektedir.



Şekil 3.4. En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları, a: lineer fonksiyon, b: rampa fonksiyonu, c: basamak fonksiyonu, d: sigmoid fonksiyonu, e: tanjant hiperbolik [69].



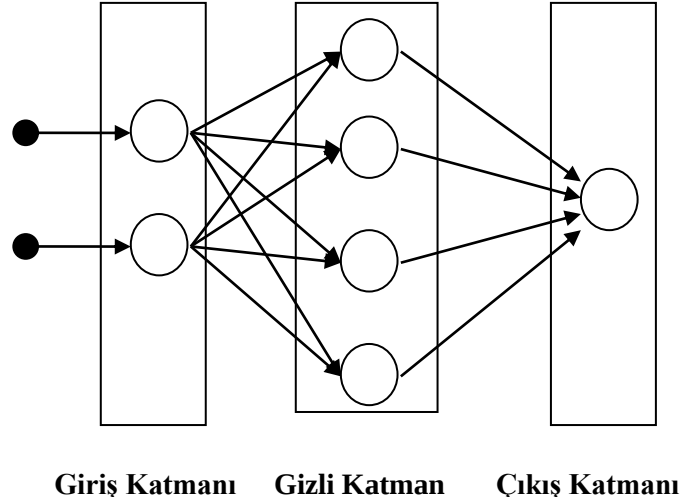
Şekil 3.5. Yapay sinirin detaylı yapısı

3.1.5. Yapay Sinir Ağlarının Genel Yapısı

YSA'nın genel yapısına bakıldığında (Şekil 3.6), sistemin en az 3 tabakadan meydana geldiği görülmektedir. İlk tabaka girdi katmanıdır ve son tabaka da çıktı katmanını meydana getirmektedir. Diğer kısım ise gizli tabakadır ve bu tabaka ilgilenilen problemin özelliğine göre birden fazla katman içermektedir. Her katman yapay sinir hücrelerine sahiptir ve çıktı tabakası hariç bir katmandaki yapay sinir hücreleri bir sonraki katmanın yapay sinir hücreleriyle ağırlık katsayılarıyla bağlıdır. Girdi katmanındaki sinir hücre sayısının girdi değişkenleri sayısı kadar olacağı oldukça açıktır. Oysaki gizli tabakadaki sinir hücre sayısının ne olacağı sadece girdiyle ilişkilidir.

Literatürde genelde iki çeşit uygulama vardır. İlki n girdi sayısı olmak üzere $2n+1$ ve diğeri de $(n+1)/2$ sayılarıdır. Elbette ki problemin özelliğine göre gizli tabakada daha farklı sayıda sinir hücresi de kullanılabilir. Bu sayının çok olması sistemin çözüme ulaşma hızını azaltmaktadır [70].

Şekil 3.6 'da ileri beslemeli ağ yapısı görülmektedir. Giriş katmanında çoğu zaman bilgi işleme söz konusu olmaz. Bu katmandaki işlem elemanları aldıkları bilgiyi herhangi bir değişikliğe uğratmadan ara katmandaki işlem elemanlarına aktarırlar. Burada sözü edilen bilgi, sinir ağının işlem elemanları arasındaki bağlantı hatları üzerinde bulunan ağırlıklarla ifade edilmektedir. Dolayısı ile bilgi, bütün ağa dağıtılmış demektir.



Şekil 3.6. YSA 'ların genel yapısı [71].

Bu bilgiler, YSA 'nın belleğidir veya diğer bir deyişle YSA eğitildikten sonra kullanılacağı sistem için bir veri tabanıdır.

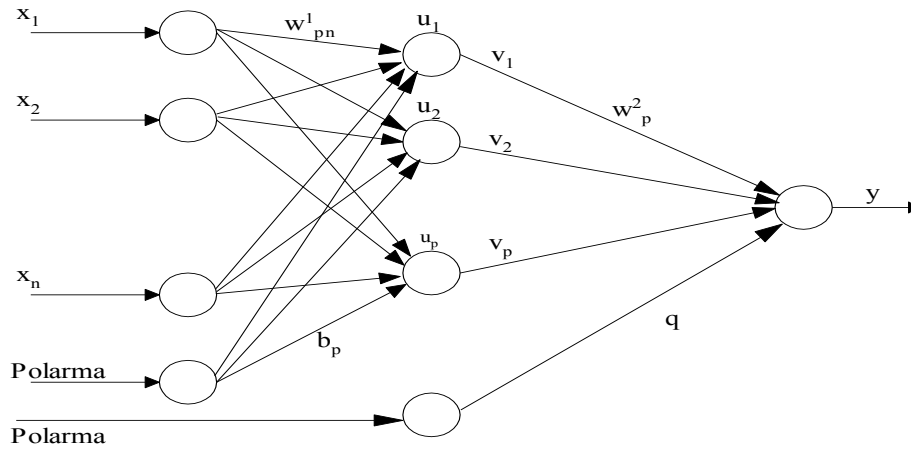
Şekil 3.6 'da tek yönlü ağların olduğu, bir katmandaki bilgilerin sadece bir sonraki katmana geçtiği ve yine bir katmandaki işlem elemanlarının bir sonraki katmana tamamen bağlandığı bir ağ yapısı gösterilmiştir. Çok bilinen geriye yayılım ağı (ileri beslemeli, katmanlı ağ) modeli bu tür yapıya örnek olarak verilebilir.

Geri beslemeli YSA 'da en az bir hücrenin çıkışı kendisine ya da diğer hücrelere giriş olarak verilmektedir. Genellikle geri besleme bir geciktirme elemanı üzerinden yapılmaktadır. Geri besleme, bir katmandaki hücreler arasında olur. Bu yapısı ile geri beslemeli YSA, doğrusal olmayan dinamik bir davranış göstermektedir. Dolayısıyla, geri beslemenin yapılış şekline göre farklı yapıda ve davranışta geri beslemeli YSA yapıları elde edilebilir. Yayılma ve uyum gösterme olmak üzere iki aşamada işlemleri gerçekleştiren Standart Geri Yayılım Algoritması (SBP), katmanlar arasında tam bir bağlantının bulunduğu çok katmanlı, ileri beslemeli ve öğreticili olarak eğitilen bir YSA modelidir. Standart geri yayılım algoritması; hataları geriye doğru çıkıştan girişe azaltmaya çalışmasından dolayı bu ismi almıştır. Geri yayımlı öğrenme kuralı ağ çıkışındaki mevcut hata düzeyine göre her bir katmandaki ağırlıkları yeniden hesaplamak için kullanılmaktadır.

YSA 'nın en tanınmış olan ileri beslemeli ağ, çok katmanlı bir ağıdır. Widrow - Hoff öğrenme kuralının bir uzantısı olarak Rumelhart, Hinton ve Williams tarafından 1986 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu ağ, giriş ile çıkış katmanları arasında birden fazla katmanın

kullanıldığı YSA sistemidir. Gizli katman olarak isimlendirilen bu ara katmanlarda, aracısız giriş alamayan ve aracısız çıkış veremeyen işlem elemanları bulunmaktadır. Katmanlardaki hücreler arasında ve bir katmandan önceki katmana geriye doğru bir bağlantı yoktur. Şekil 3.7 'de ileri beslemeli çok katmanlı YSA 'nın genel yapısı görülmektedir.

Eğitici öğrenme kullanılarak eğitilen ileri beslemeli ağda, girişe bir giriş vektörü uygulanmakta ve çıkıştan bir çıkış vektörü elde edilmektedir. Amaç her giriş vektörü için, ağın üreteceği cevabın istenilen çıkış vektörünün aynısı veya yeterince yakın değerlerde olmasını sağlayacak şekilde, ağırlık vektörleri oluşturmaktır. Yakın zamana kadar ileri beslemeli ağlar, eğitim algoritmalarının biyolojik sistemlere uygun olmamasına rağmen, son zamanlarda geliştirilen öğrenme algoritmalarıyla yaygın bir şekilde kullanımı sağlanmıştır.



Şekil 3.7. İleri beslemeli ağ yapısı

İleri beslemeli ağın çıkışını elde etmek için, ileri yönde (girişten çıkışa) hesaplamalar yapılır. j . düğümün net girişi u_j , girişlerin bir lineer fonksiyonudur ve w_{ji} ağırlıklarıyla birlikte,

$$u_j = \sum_i x_i w_{ji} + b_j \quad (3.3)$$

şeklinde ifade edilir. Net girişin lineer olmayan fonksiyonu olan v_j ,

$$v_j = \frac{1-e^{-u_j}}{1+e^{-u_j}} \quad (3.4)$$

ile ifade edilir. Ara katman çıkışı v_j ile çıkış düğümü arasındaki ilişki doğrusaldır. Ağ çıkışı,

$$y = \sum_j v_j w_j^2 + q \quad (3.5)$$

şeklinde elde edilir. Giriş değerlerinin polarma ağırlığı ile birleştirilmesi, öğrenmeyi kolaylaştırmaktadır. Başlangıçta tüm ağırlıklara küçük rastgele değerler atanmaktadır. Bu ağırlık simetrisini bozmakta ve ağırlıkların büyük değerlerle dolmuş hale gelmesini engellemektedir. Giriş tabakasına $x_1, x_2 \dots x_n$ giriş vektörü uygulanmakta ve 3.3 - 3.5 eşitlikleri ile ağ çıkışları $y_1, y_2 \dots y_m$ hesaplanmaktadır (Aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanıldığı kabul edilmiştir).

Katmanların boyutu hakkında genelleme yaparak bir değer vermek mümkün değildir. Giriş ve çıkış katmanlarının boyutu uygulamaya göre tespit edilmektedir. Ancak ara katmanın boyutu belirsiz olmakla birlikte genellikle giriş katmanından daha büyük olmalıdır. Eğer ara katmandaki hücre sayısı az seçilirse, giriş değerleri arasından gerekli özellikleri tanımlamayabilir. Gereğinden fazla olması halinde ise, genelleme ve soyutlama hatasına düşebilir. Ortaya çıkan bu sorunun en iyi çözümü ortalama bir değer alınmasıdır [58].

3. 1. 6. YSA 'da Öğrenme Algoritmaları

Literatürde kullanılan birçok öğrenme algoritması mevcuttur. Bu öğrenme algoritmalarının çoğunluğu matematik tabanlı olup ağırlıkların güncellenmesi için kullanılmaktadırlar. Bu algoritmaların bir çoğu Hebb kuralından türetilmiştir.

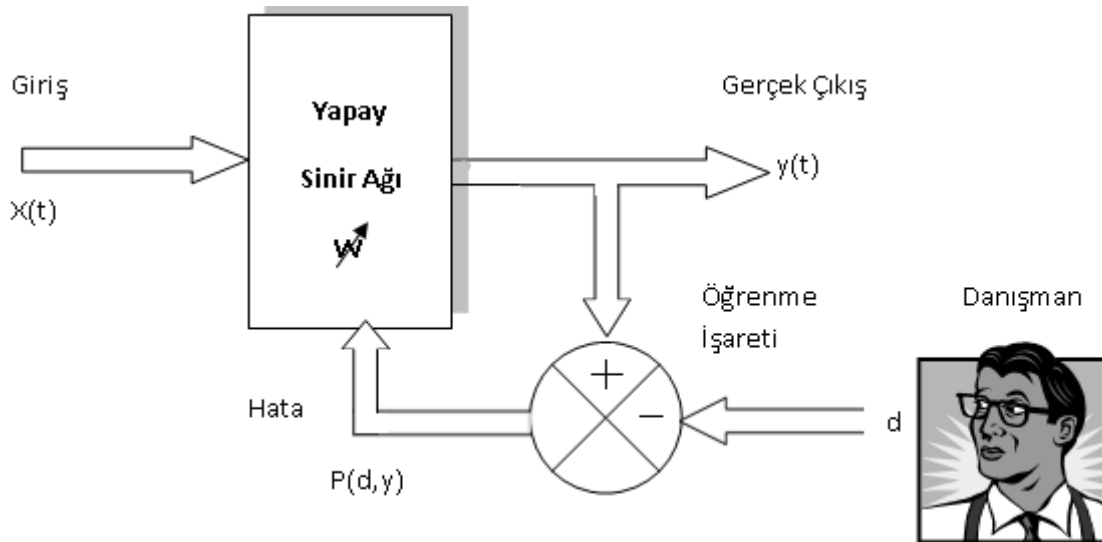
Öğrenme işlemi çok parametrelidir, karmaşık ve matematiksel olarak ifade edilmesi zor bir işlemdir. Bugün kullanılan öğrenme kuralları bu işlemin basitleştirilmiş veya farklı formatlarla ifade edilmiş biçimleridir. Mevcut öğrenme algoritmalarının birçoğu aslında Hebb, Delta, Kohonen ve Hopfield olmak üzere dört farklı öğrenme kuralından esinlenilerek geliştirilmiştir.

Gözlem, eğitim ve hareketin doğal yapıda meydana getirdiği davranış değişikliği öğrenme olarak tanımlanmaktadır. Bir takım metot, kural, algoritma, yaklaşım veya

gözlem bir ağın ağırlıklarının bir probleme göre değiştirilmesi ile öğrenme sağlanmaktadır. Öğrenme yöntemine göre algoritmalar sınıflandırılmıştır. Genel olarak üç öğrenme metodu ve bunların uygulandığı değişik öğrenme kurallarından söz edilmektedir. Bu öğrenme yaklaşımları genel olarak eğitici, eğitici ve takviyeli olmak üzere üç farklı gruba ayrılmaktadır [72].

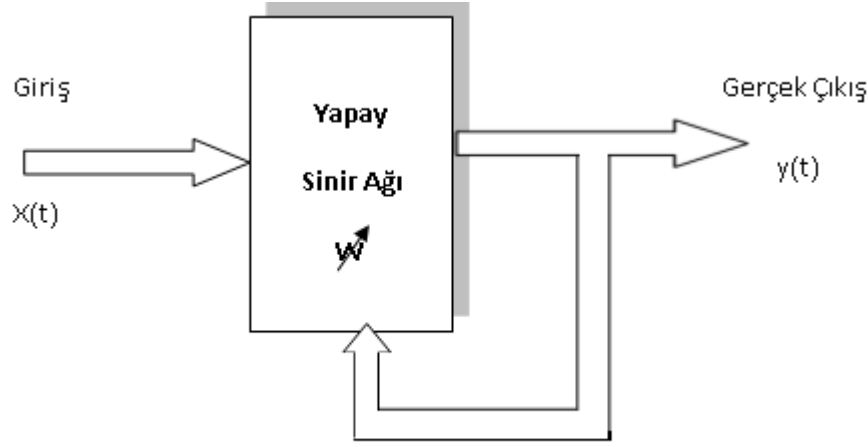
Eğitici Öğrenme: Bu tip öğrenmede, öğrenme aşamasında YSA 'ya ne öğrenmesi gerektiği örnek bir çıkışla bildirilmektedir. İstenilen veya arzu edilen çıkış ile gerçek çıkış (ağ çıkışı) arasındaki farka (hataya) göre, nöronlar arası bağlantıların ağırlığı, en uygun çıkışı elde etmek için bir öğrenme algoritması ile düzenlenmektedir.

Bu nedenle eğitici öğrenme algoritmasının bir öğretmene veya danışmana ihtiyacı vardır. Eğitici öğrenme yapısı şekil 3.8 'de görülmektedir. Widrow - Hoff tarafından geliştirilen delta kuralı ve Rumelhart ve McClelland tarafından geliştirilen genelleştirilmiş delta kuralı veya geri yayılım algoritması eğitici öğrenme algoritmalarına örnek olarak verilebilir.



Şekil 3.8. Eğitici öğrenme algoritması

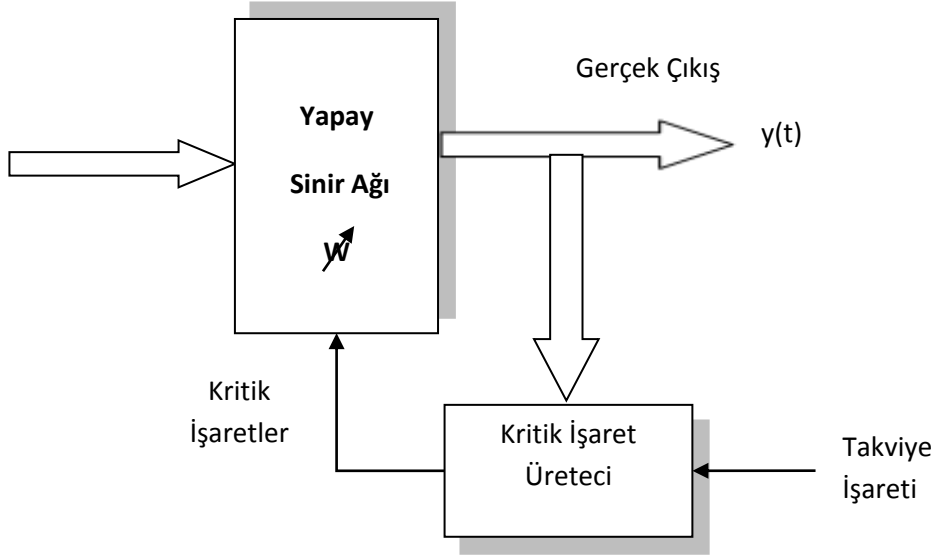
Eğiticişiz Öğrenme: Giriş verilen örneklerden elde edilen çıkış bilgisine göre, ağ sınıflandırma kurallarını kendi kendine geliştirmektedir. Bu öğrenme algoritmalarında, istenilen çıkış değerinin bilinmesine gerek yoktur. Öğrenme sürecinde sadece giriş bilgileri ağı uygulanmaktadır. Uygulanan giriş ve bu giriş verileri arasındaki matematiksel ilişkilere göre bağlantı ağırlıkları ayarlanır. Aynı özellikleri gösteren örneklerde aynı çıkışlar, farklı çıkışlarda ise yeni çıkışlar oluşturmaktadır. Şekil 3.9 'da eğitimcişiz öğrenme yapısı görölmektedir. Grossberg tarafından geliştirilen ART (Adaptive Resonance Theory) veya Kohonen tarafından geliştirilen SOM (Self Organizing Map) öğrenme kuralı eğitimcişiz öğrenmeye örnek olarak verilebilir.



Şekil 3.9. Eğitimcişiz öğrenme yapısı

Takviyeli Öğrenme: Bu öğrenme kuralı eğitimcişiz öğrenme algoritmasının özel bir formudur. Şekil 3.10 'da takviyeli öğrenme yapısı görölmektedir. Bu algortmada, giriş değerlerine karşı istenilen çıkış değerlerinin bilinmesine gerek yoktur. YSA 'ya bir hedef verilmemekte fakat elde edilen çıkışın verilen girişe karşılık uygunluğunu değerlendiren bir kriter kullanılmaktadır.

Yukarıdaki yöntemden farkı ise, bu durumda eğitimcinin, ağıın üretmesi gereken sonuç yerine, onun ürettiğı sonucun sadece doğru veya yanlış olduğunu söylemesidir. Bu ise ağı bir takviye sinyalinin gönderilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem, ilgili örnek için beklenen çıktının oluşturulamadığı durumlarda çok faydalıdır. Optimizasyon problemlerini çözmek için Hinton ve Sejnowski 'nin geliştirdiğı Boltzmann Kuralı veya GA takviyeli öğrenmeye örnek olarak verilebilir.



Şekil 3.10. Takviyeli öğrenme yapısı

3.1.7. YSA 'nın Temel Özellikleri

YSA 'yı hem popüler yapan, hem de geleneksel bilgi işleme metotlarından ayıran özellikleri bulunmaktadır. YSA 'nın bir takım özellikleri, her ne kadar problemin yapısına ve kullanılan sinir ağı modeline bağlı olsa da, genel özellikleri aşağıdaki gibi verilebilir.

Öğrenme: Daha önce söz edildiği gibi, YSA, olaylar hakkındaki ilişkiyi belirli bir algoritmaya dayanarak çözmek yerine, o ilişkiyi gösteren örnekleri incelemek suretiyle çözümler üretmeyi sağlamaktadır. Burada, ilgili olay ile alakalı sinir ağına örneklerden başka hiç bir ön bilginin verilmemiş olması dikkat çekicidir. Ağ, kendisine gösterilen örnekleri tekrar tekrar inceleyerek aradaki ilişkiyi kavramaya çalışmaktadır. Her yeni örnek, ağın sahip olduğu bilgiye bir yenisini ekler ve bu işlem tekrar ettikçe ilgili problem hakkında bazı genellemeler yapılmaktadır [72].

Genelleme: Alışagelmiş bilgisayarların bir karakteristiği, istenen çıkışı üretmek için, tam olarak doğru girişlere ihtiyaç göstermeleridir. Öte yandan YSA, girişlerinde değişimler olsa bile doğru çıkışı üretebilirler. Mesela, basılı harfleri tanımak için eğitilmiş bir sistem, gürültüden dolayı giriş karakterlerinin bozulması halinde bile doğru olarak çalışmaktadır. Yani sistem, daha önce o tipten hiç bir şey görmemiş olmasına rağmen, insanlar gibi tamam olmayan veya kısmen hatalı girişlerle bile, harfleri tanıyabilmektedir. Çalışmalar, insanların çoğunun bir metindeki harflerin yarısından fazlası silinmiş olsa bile, o metni okuyabildiklerini göstermiştir [73]. YSA, kendilerine gösterilen bir şekli daha önce

öğrendikleri ile mukayese ederek ve aradaki benzerlikleri ortaya koyarak, belirli sınıflara ayırma özelliklerine sahiptir. YSA tam doğru olmayan bir eğitime kümesinden, tam doğruyu çıkarabilir. Ses tanımak için eğitilmiş bir YSA 'ya, gürültü tarafından bozulmuş ses verilebilir. Buna rağmen eğitilden sonra, sistem girişi bozuk ses olmasına rağmen, çıkışta ses mükemmel bir şekilde oluşturulabilir. Yani sistem, eğitim kümesinin özünü çıkarıp saklamıştır. Böylece, eksik veya gürültülü girişlere karşın uygun şekilde cevap verebilmektedir.

Hata Toleransı: Verilerde eğer bir eksiklik söz konusu olursa, geleneksel yöntemler yeterli olmamaktadır. Daha önce belirtildiği üzere, iyi eğitilmiş ve genelleme kapasitesi yüksek bir sinir ağı, kendisine takdim edilen veriler, eksik olsa da karar verme işlemine devam etmektedir. Aynı şekilde, YSA üzerinde birtakım problemler ve bozukluklar olabilir. Geleneksel sistemlerin tersine YSA, bu durumda da çalışmalarına devam eder. Verilerdeki eksiklik veya YSA 'daki yapısal bozukluk arttıkça YSA 'nın performansı yavaş yavaş azalmaya başlar. Fakat sistem fonksiyonunu tamamen durdurmaz ve mutlaka bir sonuç üretilmektedir. Bu özellikler YSA' nın yapısından kaynaklanmaktadır. Çünkü ağın sahip olduğu bilgi, ağ üzerindeki hücrelerin birbiri ile olan bağlantıları üzerine dağıtılmıştır. Zaten böyle bir durumda tek bir bağlantı ve onun üzerindeki bilgi, başlı başına hiçbir zaman bir anlam ifade etmez. Ancak, bir grup halinde ve tam olarak bağlantıların birlikte düşünülmesi sonucu anlamlı bilgiler üretilmektedir. Bundan dolayı birkaç bağlantının etkisiz hale gelmesi, sonucu ya etkilemez veya performansını yavaş yavaş düşürür. YSA sahip olduğu diğer bağlantılar nedeniyle işlevine devam eder. Geleneksel sistemlerin ardışık çalışmalarından dolayı, sistemdeki en küçük bir hatanın veya bozulmanın ulaşabileceği boyutlar düşünülürse bu özelliğin ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır.

Hız: Bilgi işleme hızı, bilgisayar teknolojisinde önemli bir yer teşkil etmektedir. Sistemlerin her geçen gün biraz daha karmaşık olduğu, dolayısı ile daha fazla hacimde veriyi daha verimli bir şekilde işleme gerekliliği, yeni yazılım / donanım sistemlerinin zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Diğer yandan insan beyni oldukça fazla bilgiyi gerçek zamanlı olarak oldukça hızlı bir şekilde işleyebilmektedir. YSA 'nın da, yine birbirlerine bağlı ve paralel işlem elemanlarından oluşmasından dolayı hızlı işleyebilme özelliği bu ağlara özellikle endüstriyel hayatta çok önemli olan gerçek zamanlı çalışma kabiliyeti kazandırmaktadır [72]

3.2. Uyarlamalı Bulanık Sinirsel Ağlar (UBSA)

BM, sinir ağları, GA ve uzman sistemler gibi bütün yapay zekâ tekniklerinin her birinin kendisine özgü yetenekleri bulunmaktadır. Örneğin YSA ile öğrenme, örnekleri tanımlamada iyi iken kararların nasıl alındığını konusunda iyi değildir. BM yaklaşımı karar almada çok iyi sonuçlar vermektedir. Fakat karar alma sürecindeki kural oluşturmaya kendiliğinden gerçekleştiremez. Sinirsel BM yaklaşımı, YSA'nın öğrenme yeteneği, en uygunu bulma ve bağlantılı yapılar özelliği, bulanık mantığın ise insan gibi karar verme ve uzman bilgisi sağlama kolaylığı gibi üstünlüklerinin birleştirilmesi fikrine dayanmaktadır. Bu yolla, bulanık denetim sistemlerine, sinir ağlarının öğrenme ve hesaplama gücü verilebilirken, sinir ağlarına da bulanık denetimin insan gibi karar verme ve uzman bilgisi sağlama yeteneği kazandırılmaktadır. Modern sinirsel bulanık sistemler genellikle ileri beslemeli çok katmanlıdır. Son yıllarda birçok araştırmacı tarafından yoğun olarak UBSA, FALCON, FuNe, RuleNet, GARIC, NEFCLASS, NEFCON, NEFPROX diye adlandırılan sinirsel bulanık sistemler kullanılmaktadır.

Bulanık çıkarım sistemleri ve çok katmanlı algılayıcılar, uyarlamalı ağların çok genel hesaplama çalışmalarının özel örnekleridir. Her iki örnek de uyarlamalı ağın geriye yayılma öğrenme yeteneğini almışlardır. UBSA, uyarlamalı ağların işlevsel olarak bulanık çıkarım sistemine eşdeğer olan bir sınıftır. Açık olarak uyarlamalı ağlara dayanan bulanık çıkarım sistemi veya uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi anlamına gelen UBSA (ANFIS) ismi, Adaptive Network-based Fuzzy Inference System veya Adaptive Neuro Fuzzy Inference System olan özgün adının baş harflerinden oluşmuştur. Aynı zamanda bazı kaynaklarda UBSA, Takagi, Sugeno, Kant bulanık kuralları ile sinirsel bulanık denetleyici olarak geçmektedir. Aynı şekilde karma sinir ağları olarak da anılmaktadır.

UBSA denetleyicilerin bazı önemli özellikleri tanımlanabilir:

1. Öğrenme yeteneği,
2. Paralel işlem,
3. Yapılandırılmış bilgi temsili,
4. Diğer denetim tasarım yöntemleriyle daha iyi bütünleşme.

Çok katmanlı algılayıcı, 1. ve 2. özelliklere sahiptir. Fakat 3. ve 4. özelliklere sahip değildir. UBSA 'nın yapısındaki bulanık çıkarım sisteminin mimarisinin kolaylıkla anlatılabilmesi için x ve y olmak üzere iki girişi ve f gibi bir çıkışı olduğu kabul edilirse, birinci derece Sugeno bulanık modeli için iki bulanık “EĞER-O HALDE” kuralı Eşitlik 3.6 'daki gibi olur.

Kural 1: EĞER $x = A_1$ ve $y = B_1$ O HALDE $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$

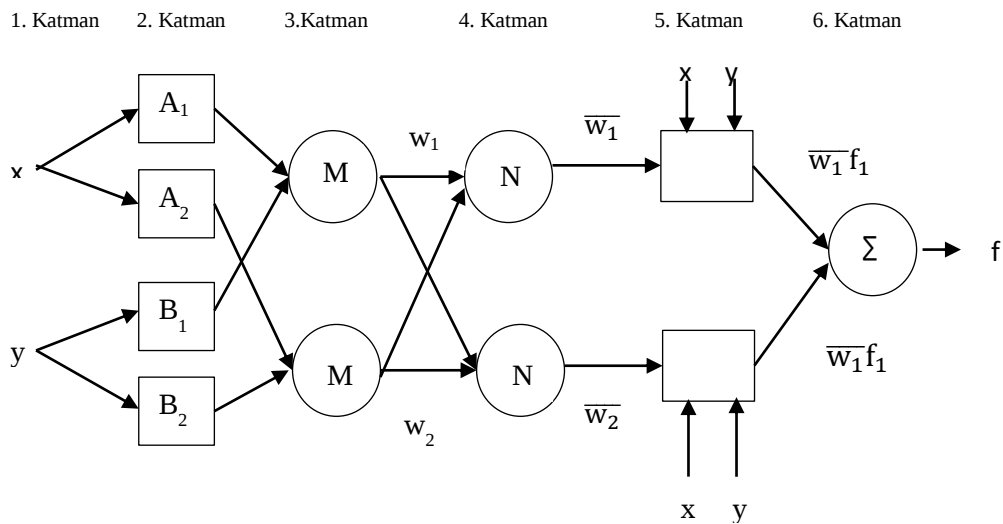
Kural 2: EĞER $x = A_2$ ve $y = B_2$ O HALDE $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$ (3.6)

Eşitlikte $i = 1, 2$ için, x ve y giriş değişkenlerini, f_i çıkış değişkenini, A_i ve B_i bulanık kümeleri, $p_i, q_i, r_i \in R$ olmak üzere sonuç değişkenlerini gösterirler.

3.2.1. UBSA Mimarisi

Şekil 3.11 'de iki girişli ve iki kurallı Sugeno tip bulanık çıkarım yöntemine eşdeğer olan UBSA mimarisi görülmektedir. UBSA mimarisi içindeki her katmana ait düğüm işlevleri aşağıda verilmiştir.

- 1. Katman:** Bu kademedeki her düğüm, giriş sinyallerin diğer katmanlara aktarıldığı giriş düğümleridir. Bu düğümde herhangi bir toplam ya da etkinlik işlevi kullanılmamaktadır.



Şekil 3.11. İki girişli ve iki kurallı Sugeno tip bulanık çıkarıma eşdeğer UBSA mimarisi

2. **Katman:** Bu katmandaki her düğüm için A_i ve B_i 'ler bulanık kümeyi ifade ederler. Bu katmandaki düğümlerin çıkışı, giriş örneklerine ve kullanılan üyelik işlevine bağlı olan üyelik dereceleridir. Bu düğümlerden elde edilen üyelik dereceleri veya düğüm çıkışları Eşitlik 3.7 'deki gibidir.

$$\begin{aligned} O_i^1 &= \mu_{A_i}(x), \quad i = 1, 2 \\ O_i^1 &= \mu_{B_{i-2}}(y), \quad i = 3, 4 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Eşitlik 3.7 'de görüldüğü gibi iki farklı düğüm çıkışı yazılmıştır. Bunun nedeni ağın x ve y gibi iki farklı girişe sahip olmasıdır. Bu katmanda her iki giriş için toplam 4 düğüm vardır. Her bir düğümde üyelik fonksiyonu olarak en çoğu 1 ve en azı 0 olan çan eğrisi üyelik fonksiyonları kullanılır ve sonuç işlevi Eşitlik 3.8 'de verilmiştir.

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - c_i}{a_i} \right)^{b_i}} \quad (3.8)$$

Burada c_i ve a_i çan eğrisi şekilli üyelik fonksiyonun sırasıyla orta noktasını ve standart sapmasını gösterir. Bu değişkenler ağ eğitilirken ayarlanır.

3. **Katman:** Bu katmandaki her düğüm, M ile etiketlenmiştir ve giren tüm işaretlerin çarpımını gösterir. Düğüm çıkışı Eşitlik 3.9 'daki gibi ifade edilebilir.

$$O_i^3 = w_i = \mu_{A_1}(x) \mu_{B_1}(y) \quad i = 1, 2 \quad (3.9)$$

Her düğümün çıkışı bir kuralın eşikleme seviyesini temsil etmektedir. Genelleştirilmiş bulanık VE 'yi (AND) yerine getiren t-norm operatörlerden herhangi biri, bu katmandaki düğümler için düğüm işlevi olarak kullanılabilir.

4. **Katman:** Bu katmandaki her düğüm N ile etiketlenmiştir. Burada, bir kuralın normalleştirilmiş eşikleme seviyesi hesaplanmaktadır. Bu, Eşitlik 3.10 'da görüldüğü gibi, i . düğüm için, i . kuralın eşikleme seviyesinin, bütün kuralların eşikleme seviyelerinin toplamına eşittir.

$$O_i^4 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad i = 1, 2 \quad (3.10)$$

5. **Katman:** Bu katmandaki her i düğümü, düğüm işlevi ile uyarlamalı bir düğümdür. Her i düğümü, sonuç ağırlıkları değerlerini hesaplar. Düğüm çıkış işlevi Eşitlik 3.11'deki gibi yazılabilir.

$$O_i^5 = \bar{w}_i f_i = w_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad i = 1, 2 \quad (3.11)$$

Burada w_i , 4. katmanın çıkışıdır ve normalleştirilmiş eşikleme seviyesidir. Aynı zamanda (p_i, q_i, r_i) ayar edilebilmesi için gerekli olan, ayar değişken kümesidir. Bu katmandaki değişkenler sonuç değişkenlere karşılık gelir.

6. **Katman:** Bu katmanda sadece bir düğüm bulunmaktadır ve Σ ile etiketlenmiştir. Burada, 5. Katman çıkışından alınan sinyaller toplanır ve elde edilen sonuç sistemin gerçek çıkışı f değerini verir. Ağın gerçek çıkışı eşlenik 3.12 'de verilmiştir.

$$O_i^6 = \sum_{i=1}^2 \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_{i=1}^2 w_i f_i}{w_1 + w_2} \quad (3.12)$$

Böylece Sugeno tip bulanık çıkarım modeline işlevsel olarak eşdeğer olan, örnek UBSA yapısı tanımlanmıştır. Ağın yapısı tamamen sabit değildir. Ağın oluşturulması ve düğüm işlevlerinin görevlerine göre ayrılması, her katmandaki her bir düğümün sağladıklarına ve modüler işlevselliğine göre keyfi olarak seçilebilmektedir.

Sugeno tip UBSA 'dan Tsukamoto UBSA 'ya kolaylıkla geçilebilir. Genellikle yaygın olarak da bu iki tip kullanılır. Mamdani tip bulanık çıkarıma karşılık gelen UBSA için, max. – min. kompozisyonu ve sonuç çıkış için ağırlık merkezi durulama yöntemi ile elde edilebilir. Fakat bu Sugeno veya Tsukamoto tip UBSA 'ya göre çok karmaşık ve zordur. Ayrıca öğrenme yeteneğine ve yaklaşım gücüne önemli bir katkı sağlamamaktadır.

Bütün sonuç değişkenler bir vektör olarak $(p_1, q_1, r_1, p_2, q_2, r_2)^T$ şeklinde düzenlenir ve Eşitlik 3.13 'deki gibi gösterilebilir.

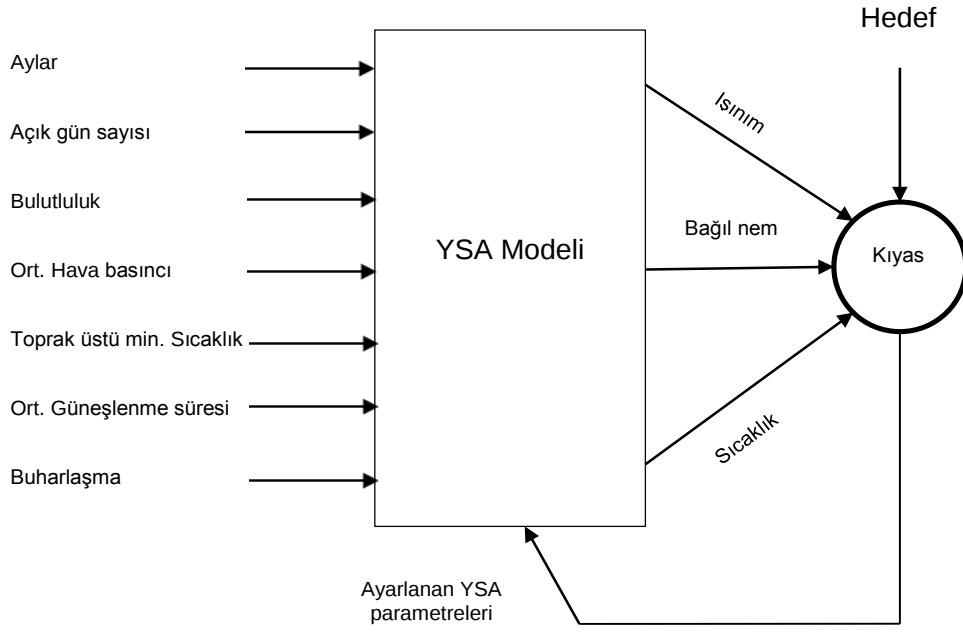
$$f = (\bar{w}_1 x)P_1 + (\bar{w}_1 y)q_1 + (\bar{w}_1)r_1 + (\bar{w}_2 x)P_2 + (\bar{w}_2 y)q_2 + (\bar{w}_2)r_2 \quad (3.13)$$

Sonuç ve üyelik fonksiyonlarına ait değişkenlerin ayarlanmasında geri yayımlı öğrenme algoritması kullanılabilmektedir [58].

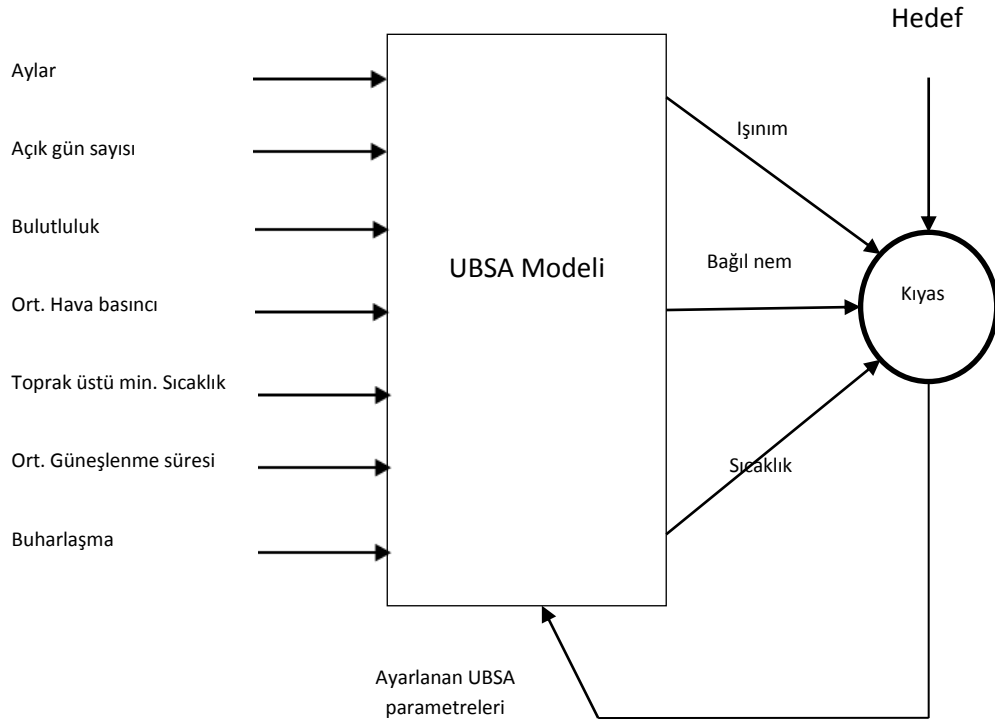
3.3. YSA ve UBSA ile Meteorolojik Parametrelerin Tahmini

Atmosferde meydana gelen hava olaylarının oluşumunu, gelişimini ve değişimini, nedenleri ve sonuçlarıyla inceleyen ve bu hava olaylarının canlılar ve dünya üzerindeki etkilerini araştıran bir bilim dalı olan meteoroloji, ilk çağlardan bu yana insanoğlunun dikkatini çekmiştir. Tarihin her döneminde insanlar, ellerindeki imkânlarla göre atmosferde neler olup bittiğini araştırma, anlama ve mümkünse tedbir alma çabası içerisinde olmuşlardır. İklim, yerleşimlerin planlanmasını ve yapı tasarımını etkileyen fiziksel etkenlerin başında gelir. İklimi oluşturan hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr, güneş ışıınımları ve yağışlar kişilerin açık mekânlarda ısısal konfor duygusunu doğrudan etkilediği gibi kapalı hacimlerde de dolaylı olarak etkiler. Özellikle güneşin ışıınım etkisi ve hava sıcaklığı sıcak ve soğuk hava koşullarında yapı içi ısısal konfor açısından önemlidir. Ancak, ülkemizde meteorolojinin önemi henüz tam olarak anlaşılmış değildir. Genel olarak meteorolojinin hava sıcaklığı ile ilgili olduğu düşünülmekte ancak mühendislik tarafı olduğu düşünülmemektedir. Meteorolojik olayların insan yaşamında büyük bir öneme sahip olması nedeniyle değerlerinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Meteorolojik veriler çok sayıda değişkene bağlı olmaları ve her yerde ölçülememeleri sebebiyle, çeşitli yöntemler ile modellenmeye ve bu modeller yardımıyla tahmin edilmeye çalışılmaktadır [13, 14, 74 - 77].

Yapılan çalışmada, MATLAB 7.10.0 (R2010a) programı kullanılmış olup, Türkiye'nin elli ili için, 2001 - 2011 yılları arasında ölçülmüş on bir yıllık meteorolojik veriler DMİ 'den alınarak kullanılmıştır. YSA yapısı olarak yedi adet giriş, üç adet çıkışlı çok katmanlı bir sinir ağı algılayıcısı (MLP) modeli kullanılmıştır ve bu yapı Şekil 3.12'de verilmiştir. Şekil 3.13 'te yapısı verilen UBSA modeli için ise, YSA ile benzer yine yedi girişli, ancak tek çıkışlı üç farklı model hazırlanmıştır. İklim sistemlerinin tasarımında meteorolojik parametrelerin tahmini oldukça önemlidir. Son yıllarda genişçe kullanım alanı bulan YSA ve UBSA metotları ile aylık ortalama güneş ışıınımlı şiddeti, bağıl nem ve sıcaklık değerleri tahmin edilmiştir. YSA modeli olarak Geriye Yayılımlı (GY) çok katmanlı YSA kullanılmıştır. YSA modelinin performansı orta katmandaki nöron sayısı, giriş sayısı, öğrenme katsayısı gibi parametreler değiştirilerek, deneme yanılma yoluyla en iyi çözümler elde edilmeye çalışılmıştır. Oluşturulan YSA modeli ile istenen meteorolojik parametreleri yüksek bir hassasiyetle tahmin edilmiştir. YSA modellemesinde Levenberg – Marquardt (LM), öğrenme algoritması kullanılmıştır.



Şekil 3.12. YSA 'da kullanılan blok diyagramın görünümü



Şekil 3.13. UBSA 'da kullanılan blok diyagramın görünümü

3.4. Model Performans Kriterleri ve Uygulama

Bu çalışmada oluşturulan YSA ve UBSA modellerinin performansları üç farklı istatistiksel ölçüt kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu ölçütler, ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE), varyasyon katsayısı (COV) ve uygunluk katsayısı (R^2) gibi istatistiksel parametrelerdir.

RMSE, ölçüm değerleri ile model tahminleri arasındaki hata oranını belirlemek amacıyla kullanılmakta ve RMSE değerinin sıfıra yaklaşması modelin tahmin kabiliyetinin artması anlamına gelmektedir. RMSE aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır [78].

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_{model,i} - y_{gözlem,i})^2}{n} \right]^{1/2} \quad (3.14)$$

Burada $y_{model,i}$ ve $y_{gözlem,i}$ sırasıyla model tahminlerini ve ölçüm değerlerini, n ise gözlem sayısını göstermektedir.

MAE, ölçüm değerleri ile model tahminleri arasındaki mutlak hatayı belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. MAE değeri sıfıra ne kadar yakın olursa modelinin tahmin yeteneği o kadar iyi demektir. MAE aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır [78].

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_{gözlem,i} - y_{model,i}| \quad (3.15)$$

Ölçüm değerlerinin büyüklüğünden ileri gelen farklılığı ortadan kaldırmak, hem de farklı ölçü birimi ile ifade edilmiş ölçüm değerlerini karşılaştırılabilir duruma getirmek için yeni bir değişim ölçüsü kullanması gerekmektedir. COV, değişim katsayısı olup standart sapmanın ortalamaya oranının yüzle çarpılması ile bulunmaktadır. COV sıfır ile yüz arasında değerler almaktadır. Katsayı sıfıra yaklaştıkça değişkenlik azalmakta, yüze yaklaştıkça ise değişkenlik artmaktadır. Yüzde ile ifade edilmektedir. COV aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

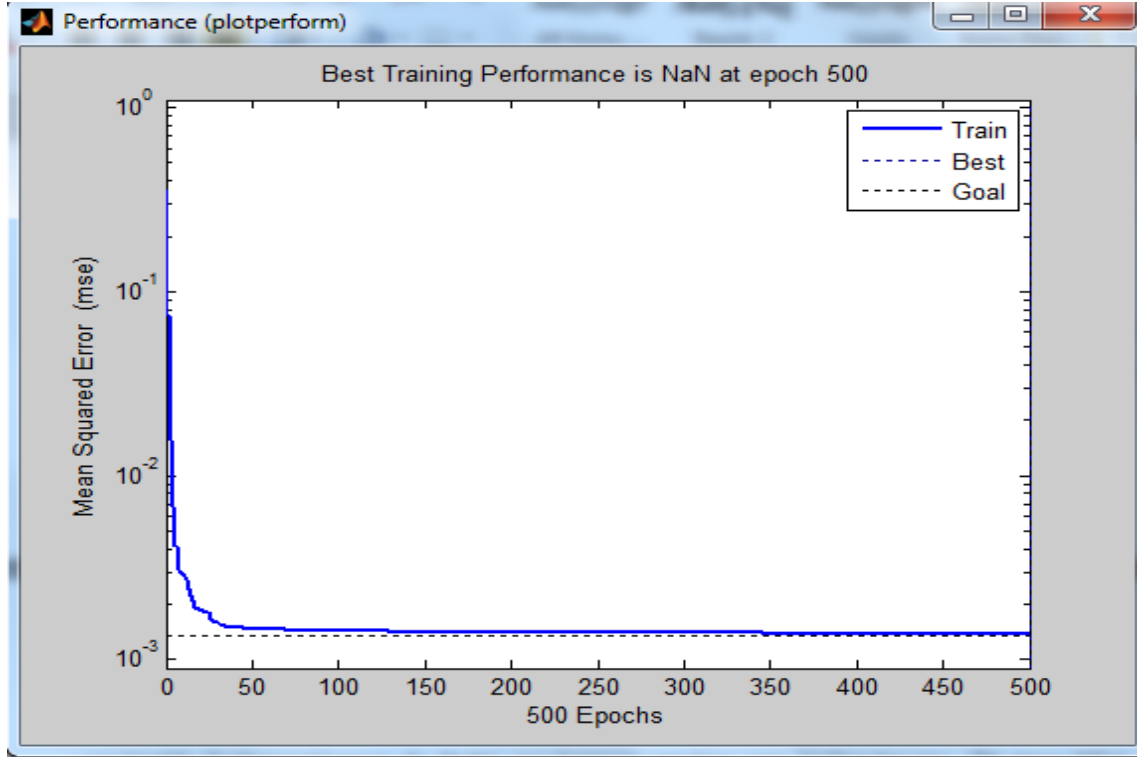
$$COV = \frac{s}{\bar{x}} * 100 \quad (3.16)$$

Burada S , standart sapmayı, $\bar{X}$ ise ortalamayı göstermektedir.

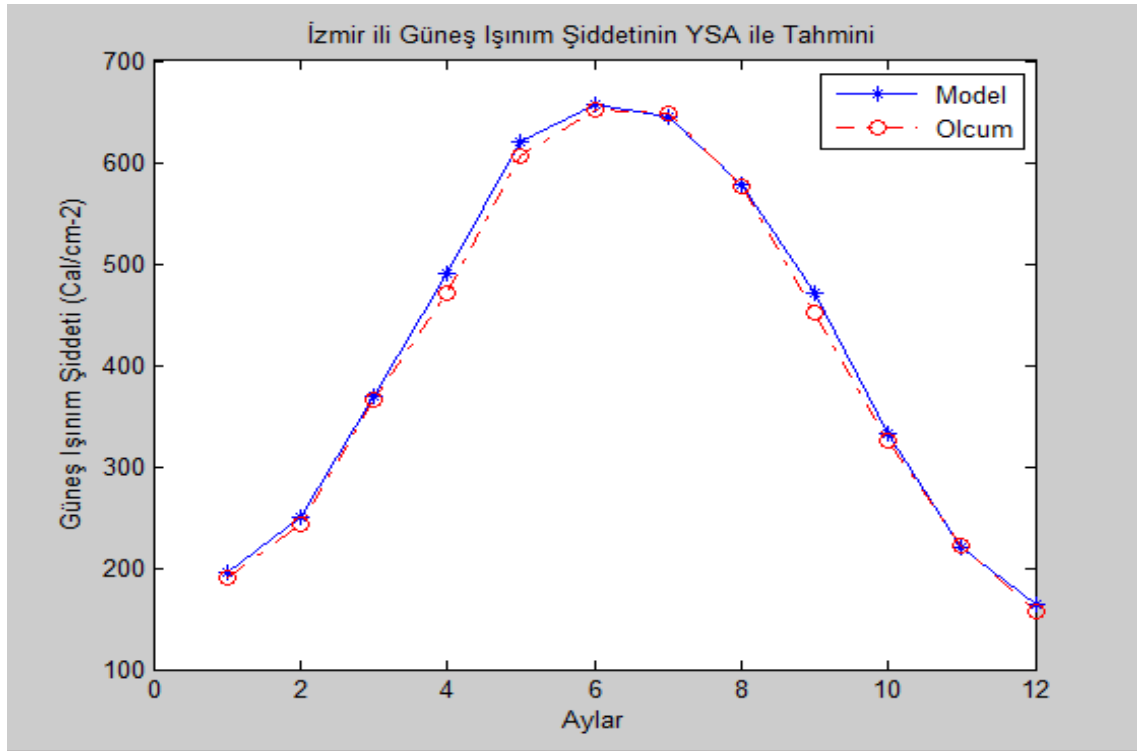
R^2 , ölçüm değerleri ile model tahminleri arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılır. R^2 değeri sıfır ile bir arasında değişmekte ve bu değer bir e yaklaşması model tahminleri ile ölçüm değerleri arasındaki bağımlılığın kuvvetli olduğu anlamına gelmektedir [79].

Mevcut çalışmada, çeşitli ara katman sayıları kullanılmıştır. Optimum model parametrelerini belirlemek için UBSA'nın bulanık kural tabanı, farklı üyelik fonksiyonları ve üyelik fonksiyonlarının da farklı ara katman sayıları için kullanılmıştır. İlk önce YSA modelinde değişik algoritmalar denenmiştir ve en uygun çözüm bulunmuştur. Bu kısımda sadece birinci DG bölgesindeki illerinden İzmir ili ile ilgili YSA ve UBSA modeli örnek olarak verilecektir. Diğer iller ile alakalı uygulama örnekleri ekte verilecektir.

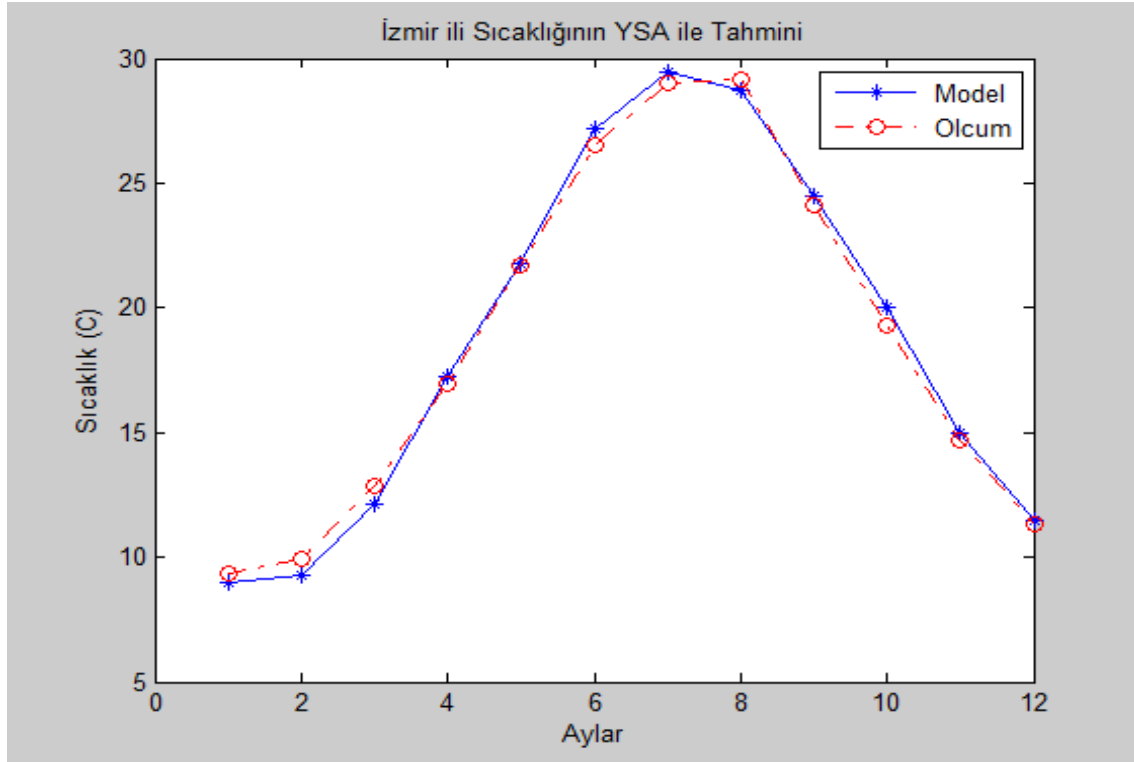
Şekil 3.14 'de YSA algoritmasının veya topolojisi için eğitim verilerinin amaç değerine yakınsaması verilmiştir. Yaklaşık beş yüz iterasyon sonucunda ortalama karesel hata (MSE) değerinde hedeflenen 1×10^{-3} değerine ulaşılmıştır. Bu modelin başarısı da 3.7225×10^{-5} 'dir. Bu çözüm sonucunda YSA modelinin ilk çıkış parametresi olan global güneş ışıınımı değerlerinin ölçüm değerleri ile kıyaslanması İzmir ili için şekil 3.15'te verilmiştir. İlk çıkışın R^2 değeri 0.9983 'dir. Aynı şekilde modelin çalışması sonucunda elde edilen diğer çıkışların (sıcaklık ve bağıl nem), ölçüm ve YSA model verileri İzmir ili için şekil 3.16 ve 3.17 'de verilmiştir. Sıcaklık çıkışı için R^2 değeri 0.9998, bağıl nem için ise 0.9983 tür. RMSE, MAE ve COV değerleri de en küçük değerlerdedir.



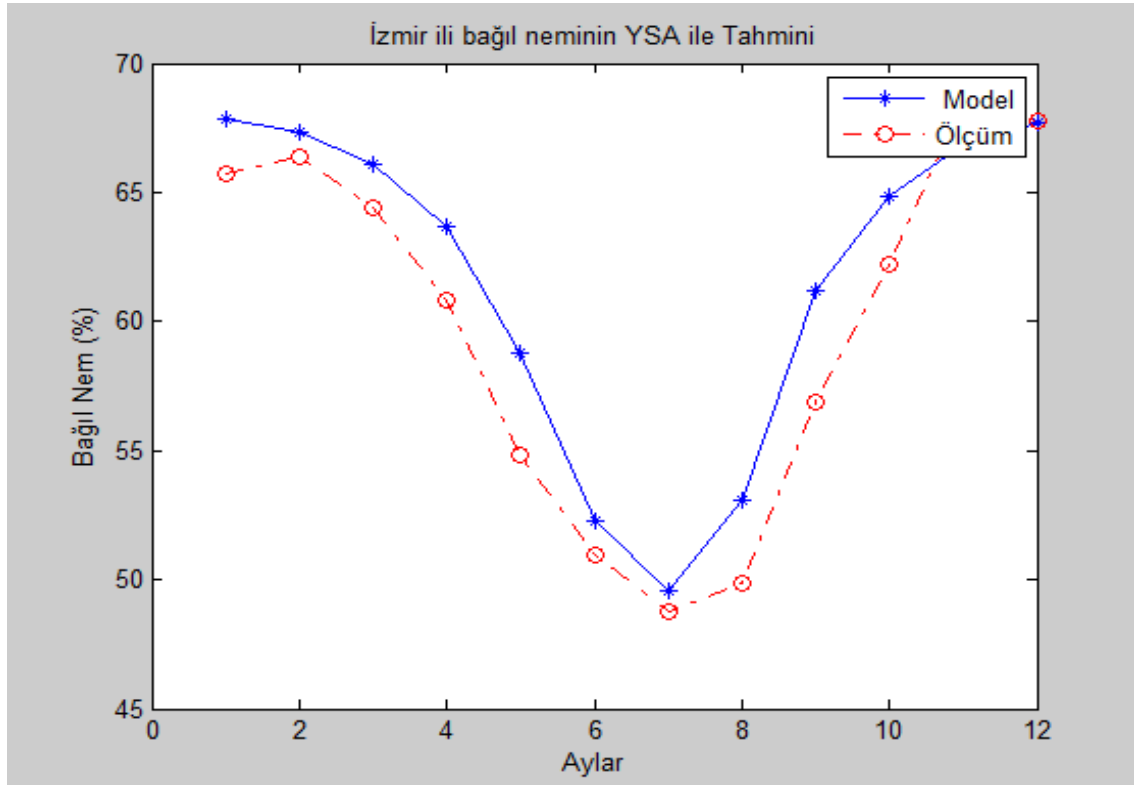
Şekil 3.14. LM algoritması için eğitim yaklaşımı ile ortalama kare hatasının değişimi



Şekil 3.15. LM algoritması ile İzmir ili güneş ışıınım şiddetinin YSA ve ölçüm olarak karşılaştırılması



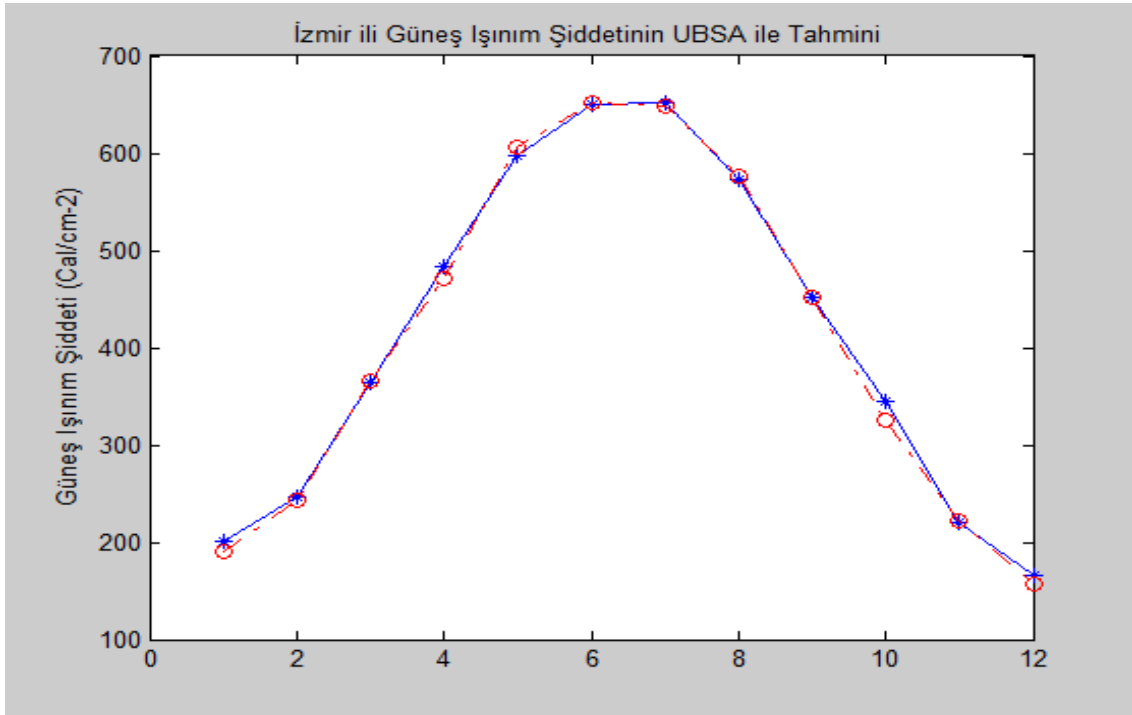
Şekil 3.16. LM algoritması ile İzmir ili sıcaklığının YSA ve ölçüm olarak karşılaştırılması



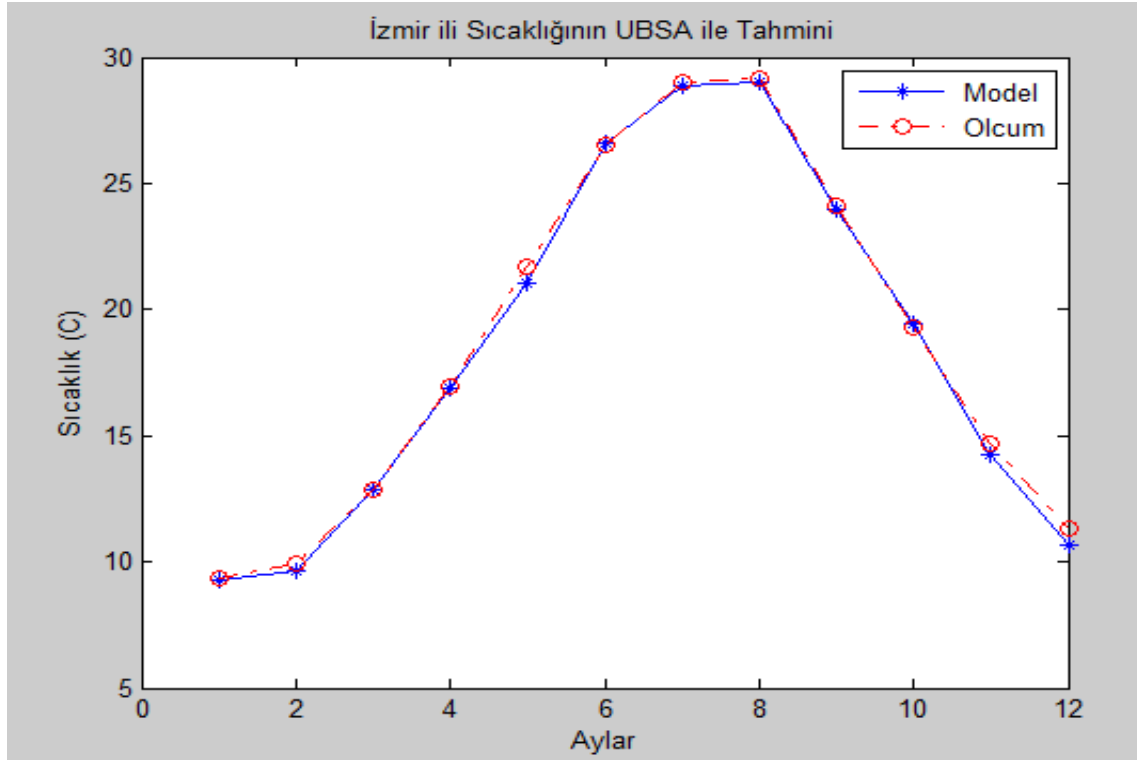
Şekil 3.17. LM algoritması ile İzmir ili için bağıl nemin YSA ve ölçüm olarak karşılaştırılması

UBSA algoritmasının veya topolojisi için eğitim verilerinin amaç değerine yakınsaması için model oluşturulmuştur. Üyelik fonksiyonlarının ve üyelik fonksiyon sayılarının model üzerindeki etkisi incelenmiştir. UBSA algoritmasında gbell, gauss2, tri, gauss, trap gibi üyelik fonksiyonları mevcuttur. Çalışmada, en iyi fonksiyon sayısı 2 olarak bulunmuştur. Bu model sonucunda elde edilen İzmir ili global güneş ışıınımı değerlerinin ölçüm verileri ile karşılaştırılmasını gösteren grafik de Şekil 3.18 'de verilmiştir. İlk çıkışın R^2 değeri 0.9997 'dir. Aynı şekilde modelin çalışması sonucunda elde edilen diğer çıkışlar, şekil 3.19. ve 3.20 'de verilmiştir. Sıcaklık çıkışı için R^2 değeri 0.9997, bağıl nem için ise 0.9982 'dir. RMSE, MAE ve COV değerleri de en küçük değerlerdedir.

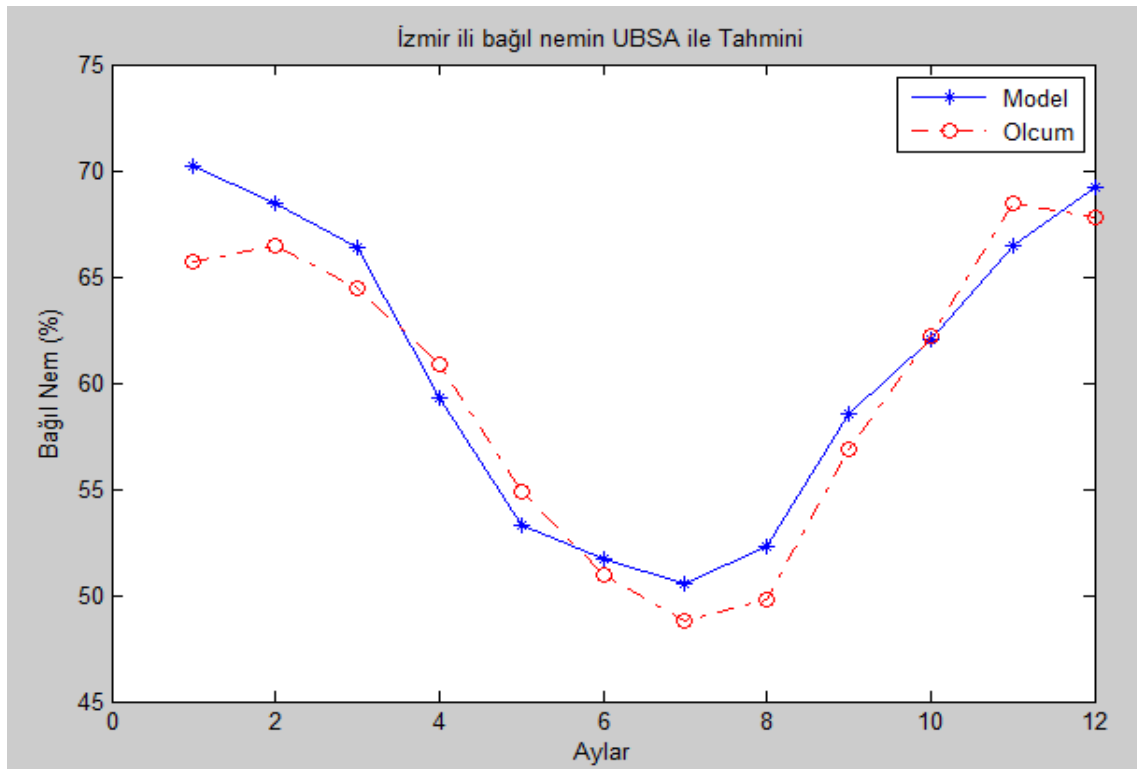
HVAC sistemleri için çok önemli parametre sayılabilecek sıcaklık, bağıl nem ve ışıınının önümüzdeki zaman dilimleri için bilmek çok önemlidir. Bu sebeple çeşitli parametrelerden yola çıkılarak modeller hazırlanmaktadır. Akıllı sistem uygulamalarının bir türü olan YSA bu modellerden biri olarak kullanılabileceği çalışmamız ile gösterilmiştir. Modelimiz ile 2002 - 2011 yılları arasındaki on yıllık meteoroloji verileri YSA 'nın eğitiminde kullanılmıştır. Meteorolojik veriler ile model tarafından üretilen veriler arasında yapılan istatistiki testler sonucunda R, RMSE, MAE ve COV değerleri oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Bu değerler YSA 'nın uygun ağ mimarisi, eğitim seti ile ışıının şiddeti, bağıl nem ve hava sıcaklığı verilerinin tahmininde de başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 3.18. Gauss algoritması ile İzmir ili güneş ışıınım şiddetinin UBSA ve ölçüm olarak karşılaştırılması



Şekil 3.19. Gauss algoritması ile İzmir ili sıcaklığının UBSA ve ölçüm olarak karşılaştırılması

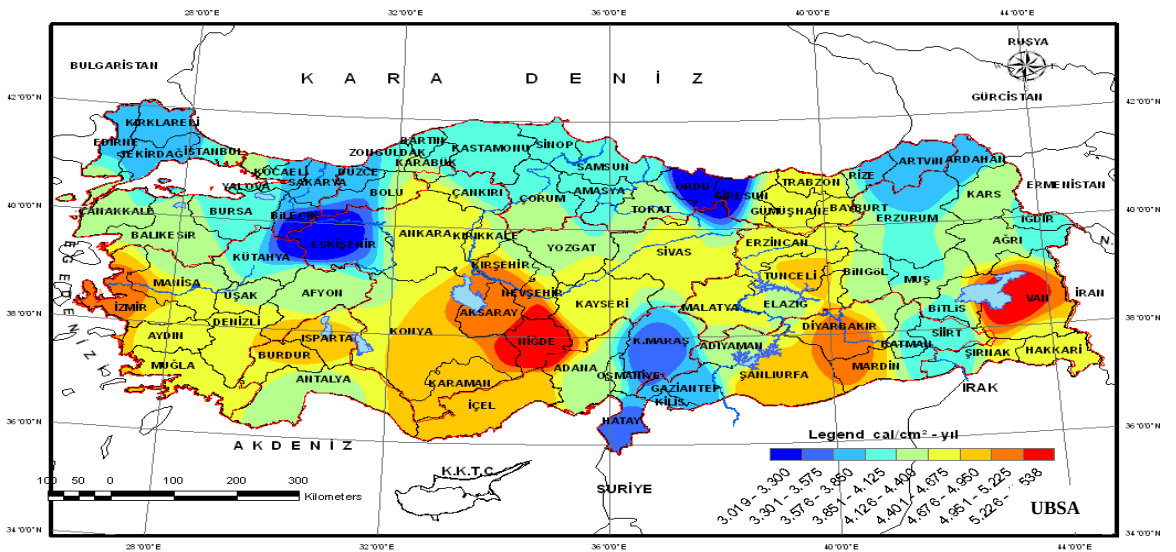
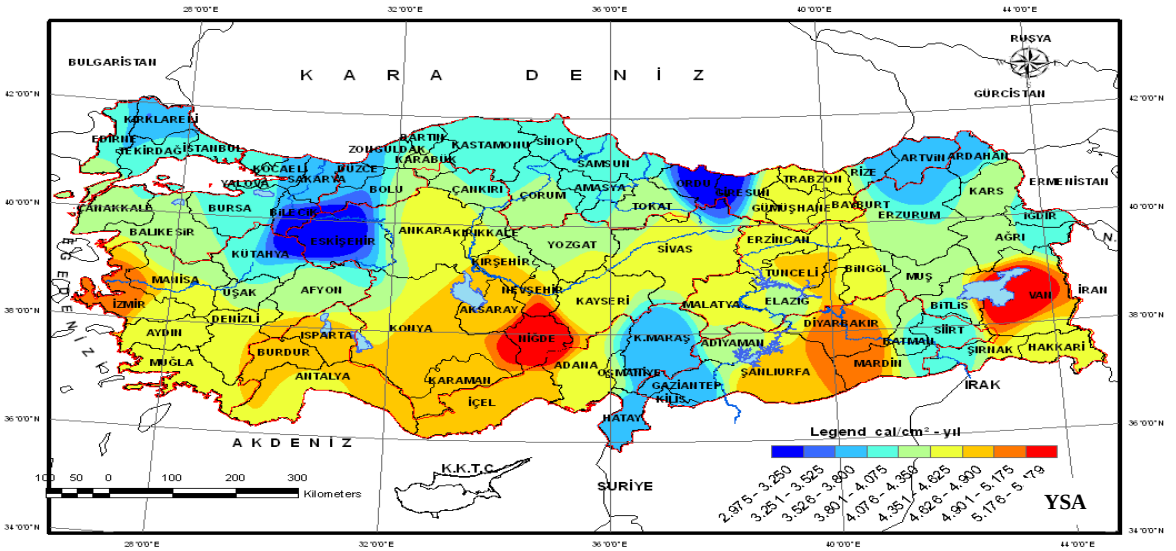
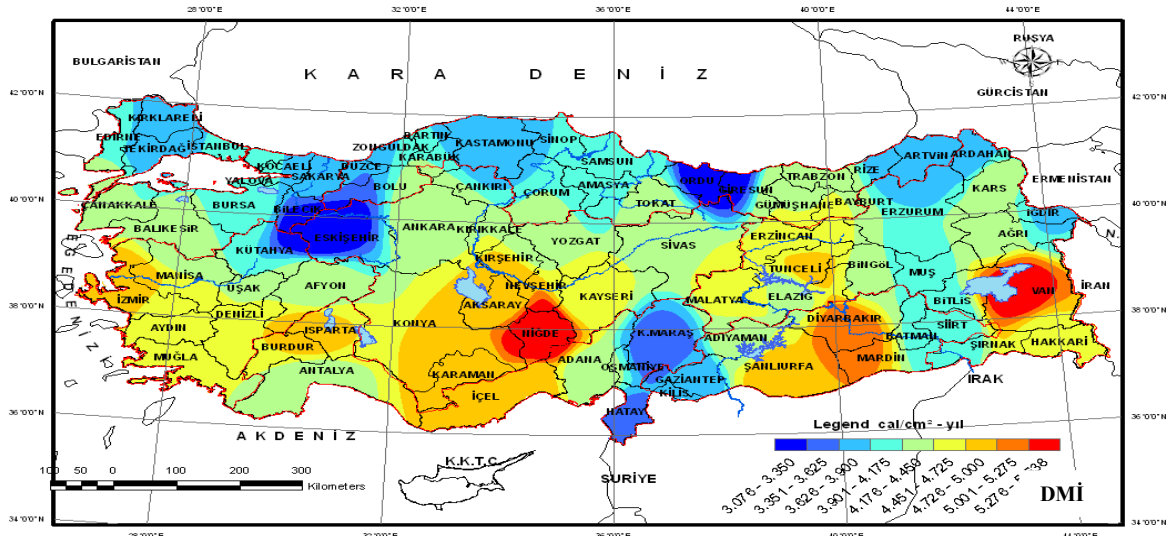


Şekil 3.20. Gauss algoritması ile İzmir ili için bağıl neminin UBSA ve ölçüm olarak karşılaştırılması

Ayrıca bu metot, güneş ışıınımı gibi ölçümü direkt olarak yapılamayan farklı yerleşim bölgelerinin güneş ışıınımının tespit edilmesinde de rahatlıkla kullanılabilecektir. Mevcut çalışmada, MATLAB 7.10.0 (R2010a) programı kullanılmış olup, Türkiye 'nin elli ili için mevcut analizler yapılmıştır.

Meteorolojik veriler, YSA ve UBSA ile hesaplanan sıcaklık, bağıl nem ve ışıınım değerlerinin aylara göre değişim grafikleri EK 1 'de, YSA model verileri için hesaplanan performans kriterleri EK 2 'de UBSA modeli için hesaplanan performans kriterleri ise EK 3 'de verilmiştir.

Ülkemiz coğrafi konumu nedeni ile güneş enerjisi potansiyeli açısından şanslı bir konuma sahiptir. Meteorolojik veriler kullanılarak akıllı sistemler ile oluşturduğumuz güneş ışıınımı şiddeti değerlerinden yola çıkılarak Türkiye için hazırlanan yıllık güneş enerjisi potansiyeli haritaları Şekil 3.21'de görölmektedir. YSA ve UBSA model verilerine göre oluşturulan bu haritalarda; Van, Diyarbakır, Mardin, Niğde ve İzmir illerinin güneş enerjisi potansiyellerinin yüksek, Ordu ve Eskişehir illerinin ise düşük olduğu görölmektedir. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğünce hazırlanan güneş enerjisi potansiyel atlası dikkate alınarak hazırladığımız güneş enerjisi potansiyel haritaları ile karşılaştırıldığında paralellikler olduğu görölmektedir. Güneş enerjisi potansiyelinin her iki çalışmada da Marmara, Karadeniz bölgesinde düşük olduğu, Akdeniz bölgesinin kıyı bölgeleri, Güneydoğu Anadolu, Ege bölgesinin güney kısımlarında, Doğu Anadolu bölgesinde Van ve civarında yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 3.21. Türkiye için DMİ, YSA ve UBSA verileri ile hesaplanan yıllık güneş enerjisi potansiyeli haritaları

4. DERECE-GÜN SAYILARI

Bir bina için enerji analizi, ısıtma, soğutma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemlerinin tasarımında, optimum maliyetin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır [57]. Meteorolojide ölçülen dış hava sıcaklığı ile insanların hissettiği sıcaklık; rüzgâr hızı, güneş ışıınımı ve bağıl nemin etkisiyle farklı olmaktadır. Her ne kadar enerji analizleri için rüzgâr hızı, güneş ışıınımı ve bağıl nemi göz önüne alan indeksler geliştirilmişse de, DG sayıları daha basit olduğu, kullanımı kolay olduğu ve daha az veri ile aynı işin yapılabilmesine imkân sağladığı için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. DG sayısı binanın ısıtılması veya soğutulması için ihtiyaç duyulan enerjinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. DG yönteminde bina için ihtiyaç duyulan enerjinin, denge sıcaklık ve ortalama günlük sıcaklık arasındaki farkla doğrusal olduğu varsayılmaktadır [57, 80].

Günümüzde değişik amaçlar için geliştirilmiş çeşitli DG indeksleri bulunmaktadır. Bu DG indekslerinin en önemlileri IDG ve SDG sayısıdır. DG sayıları, değişik amaçlar için kullanılmaktadır. Bunlardan en önemlileri aşağıdaki gibidir:

- Bir bölgedeki ısıtma veya soğutma ihtiyacının diğer bir bölge ile karşılaştırılması,
- Yapıların ısıtma, soğutma ve havalandırma ihtiyaçlarının tespiti,
- Isıtma veya soğutma sezonunun başlangıç ve bitiş tarihlerinin tespiti,
- Yakıt tüketiminin hesaplanması ile yanma verimliliğinin tahmini,
- Nem oranlarının ayarlanması,
- Binaların enerji korunumlu tasarımı,
- Binaların mimari yapıların belirlenmesi,
- Enerji üretimi ve dağıtımı,
- Enerji pazarlanması ve planlanması,
- Nüfus yoğunluğuna göre ısıtma soğutma amaçlı yakıt yükü ve yakıtın cinsine bağlı olarak ihtiyaç duyulan yakıt miktarı hesaplamaları,
- Enerji politikalarının belirlenmesi,
- İleriye yönelik enerji ihtiyacının tespiti,
- İklimsel değişimin tespiti,
- Optimum yalıtım kalınlığı tespiti,

- Dış hesap sıcaklığının tespiti,
- Isıtma ve klima araçlarının tasarımı,
- Isıtma ve soğutma araçları endüstrisinde,
- İnsan ve çevre sağlığı, [81].

DG sayılarının hesaplanabilmesi için değişik yöntemler bulunmaktadır. Bütün hesaplamalarda bir “denge sıcaklık” değerine ihtiyaç vardır. Bu denge sıcaklık değerine bağlı olarak IDG ve SDG sayıları hesaplanabilir.

IDG ve SDG sayıları aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$IDG = (1 \text{ gün}) \sum_{\text{günler}} (T_d - T_o)^+ \quad (4.1)$$

$$SDG = (1 \text{ gün}) \sum_{\text{günler}} (T_o - T_d)^+ \quad (4.2)$$

Bu eşitliklerde; T_d denge sıcaklığını, T_o ise ölçülen ortalama dış sıcaklığı göstermektedir.

Büyükalaca ve arkadaşlarının 1999 yılında yaptıkları çalışmada; 14 °C, 16 °C ve 18 °C denge noktası sıcaklığında IDG sayıları, 22 °C, 24 °C, 26 °C denge noktası sıcaklıklarında da SDG sayıları hesaplamışlardır [45]. Yine Büyükalaca ve arkadaşlarının 2001 yılında yaptıkları farklı bir çalışmada da; IDG hesaplarında 14 °C ile 22 °C arasında beş farklı, DG hesaplarında 18 °C ile 28 °C arasındaki altı farklı denge sıcaklığı kullanmışlardır [57]. Dombaycı 'nın 2009 yılında yaptığı çalışma da IDG için 17.5 °C, SDG için ise 22 °C denge sıcaklığı, Stathopoulou 'nun yaptığı çalışmada ise SDG için bu sıcaklığı 25 °C olarak seçmiştir. IDG sayıları Avrupa ve Amerika için sırasıyla 18 °C ve 18.3 °C olarak alınmaktadır [49, 82].

Literatürde genel olarak IDG sayıları 18 °C, SDG sayıları ise 22 °C denge noktası sıcaklığında hesaplanmaktadır. Mevcut tezde ise, yukarıda belirtilen denge sıcaklıklarına ilaveten, yalıtımlı bina tasarımı hali göz önüne alınarak, IDG için 16 °C ve SDG için 24 °C denge sıcaklıkları kullanılmıştır.

Tablo 4.1 'de çalışma yapılan illerde DMİ 'ne bağlı elli farklı meteoroloji istasyonu için enlem boylam ve yükseklik değerleri görülmektedir.

Tablo 4.1. İncelenen illerin coğrafik özellikleri [DMİ]

İller	Enlem, K	Boylam, D	Yükseklik, m
Adana	37° 00'	35° 19'	27
Adapazarı	40° 46'	30° 23'	30
Adıyaman	37° 45'	38° 16'	672
Afyon	38° 44'	30° 34'	1034
Ağrı	39° 43'	43° 03'	1632
Aksaray	38° 22'	24° 02'	961
Amasya	40° 39'	35° 50'	412
Ankara	39° 58'	32° 51'	891
Antalya	36° 53'	30° 40'	47
Ardahan	41° 06'	42° 42'	1829
Artvin	41° 10'	41° 49'	628
Aydın	37° 50'	27° 50'	56
Balıkesir	38° 37'	27° 55'	102
Bingöl	38° 53'	40° 29'	1177
Bursa	40° 13'	29° 00'	100
Çanakkale	40° 09'	26° 24'	6
Diyarbakır	37° 54'	40° 13'	649
Edirne	41° 40'	26° 33'	51
Elazığ	38° 40'	39° 13'	989
Erzincan	39° 42'	39° 31'	1218
Erzurum	39° 04'	41° 25'	1758
Eskişehir	39° 45'	30° 33'	801
Gaziantep	37° 04'	37° 23'	854
Gümüşhane	40° 27'	39° 28'	1219
Hakkâri	37° 34'	43° 45'	1728

İller	Enlem, K	Boylam, D	Yükseklik m
Hatay	36° 15'	36° 08'	100
Iğdır	39 ° 55'	44° 03'	858
Isparta	37 ° 47'	30° 34'	997
İstanbul	40 ° 54'	29° 09'	28
İzmir	38 ° 23'	27° 04'	29
K. Maraş	37 ° 35'	36° 56'	572
Karaman	37 ° 10'	33° 13'	1023
Kars	40 ° 35'	43° 04'	1775
Kastamonu	41 ° 22'	33° 46'	800
Kayseri	38 ° 43'	35° 29'	1092
Kırklareli	41 ° 44'	27° 13'	232
Malatya	38 ° 41'	38° 18'	948
Mersin	36 ° 48'	34° 38'	3
Muş	38 ° 44'	41° 29'	1323
Niğde	37 ° 58'	34° 41'	1211
Ordu	40 ° 58'	37° 53'	4
Samsun	41 ° 21'	36° 14'	4
Siirt	37 ° 55'	41° 56'	896
Sivas	39 ° 44'	37° 01'	1285
Şanlıurfa	37 ° 09'	38° 47 '	547
Tekirdağ	40 ° 59'	27° 29'	4
Tokat	40 ° 18'	36° 33'	608
Tunceli	39 ° 06'	39° 33'	981
Van	38 ° 29'	43° 23'	1690
Yozgat	39 ° 49'	34° 48'	1298

4.1. Isıtma Derece-Günler

Yılın soğuk dönemlerinde ortam sıcaklığı, denge sıcaklığının altına düştüğünde binadaki konfor şartları bozulmakta ve ısıtma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Isıtma ihtiyacı miktarını en iyi şekilde IDG sayıları ortaya koymaktadır. Günlük ortalama hava sıcaklığının, denge sıcaklığından düşük olması durumunda, bu iki sıcaklık değeri arasındaki farklar IDG sayıları olarak tarif edilirler. Denge sıcaklığı altındaki her 1 °C 'lik günlük ortalama sıcaklık farkı bir IDG olarak ifade edilir. IDG sayıları bir periyot için günlük kümülatif toplamlar olarak ifade edilmektedir. İnsan konforu için en düşük sıcaklığı genel olarak 18 °C olup, iç ortam sıcaklığı bu seviyenin altına düştüğünde ısıtma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte farklı denge sıcaklıklarını referans alan IDG çalışmaları da literatürde mevcuttur. Pencerelerden bina içine giren güneş ışıması, bina yalıtımı ve mutfaktaki cihazlardan kaynaklı sıcaklık artışı dolayısıyla IDG hesabı için denge sıcaklıkları daha düşüğe seçilebilmektedir.

Günün ortalama sıcaklığı düştükçe IDG sayısı artmaktadır. Dolayısıyla ısıtma için daha fazla yakıtı veya enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Herhangi bir yerleşim biriminin, yıllık IDG sayılarının bilinmesi o bölgenin ısıtma amaçlı yakıt veya enerji ihtiyacı tahminini ve planlamasını kolaylaştırmaktadır [80].

Mevcut çalışmada, elli il merkezi için DG sayılarının hesaplanmasında, DMİ'nin 2001 - 2011 yılları arasında ölçülen, YSA ve UBSA modelleri ile bu yıllar için tahmin edilen sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Tablo 4.2 'de Türkiye 'nin dört farklı iklim bölgesi için (Adana, Gaziantep, Ankara ve Muş) DMİ verileri, YSA ve UBSA 'ya göre hesaplanan aylık DG sayılarında önemli farklılıklar olduğu gözlenmiştir.

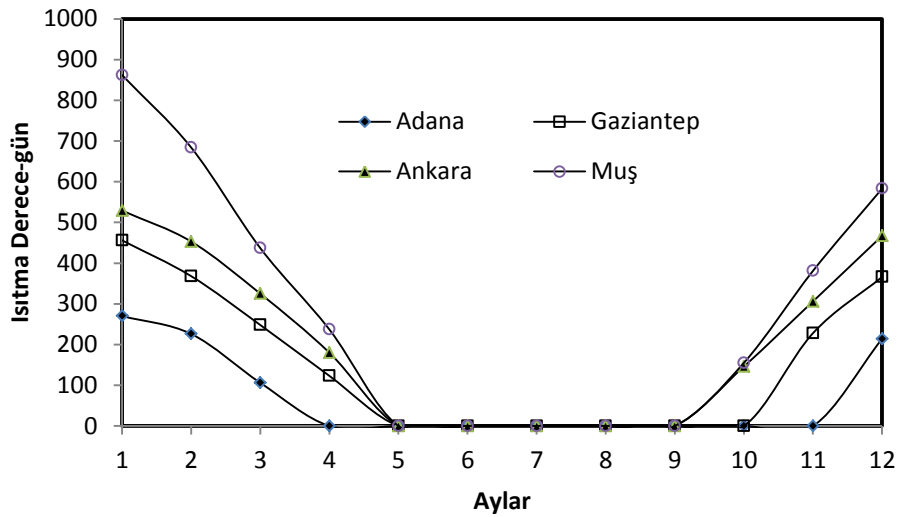
Tablo 4.2 de aylık IDG sayılarının Adana için nisan – kasım ayları arasında, Muş için ise mayıs ile eylül ayları arasında 0 olduğu görülmektedir. Bu sonuçta ısıtma enerjisi ihtiyacının Adana'ya göre daha fazla olduğunu gösterir.

Tablo 4.2. Adana, Gaziantep, Ankara ve Muş illeri için aylık IDG sayıları

İLLER	AYLAR	DENGE NOKTASI SICAKLIĞI (°C)					
		16 °C			18 °C		
		DMİ	YSA	UBSA	DMİ	YSA	UBSA
ADANA	Ocak	208	239	251	270	301	313
	Şubat	153	136	178	226	194	236
	Mart	44	34	43	106	96	105
	Nisan	0	0	0	0	0	0
	Mayıs	0	0	0	0	0	0
	Haziran	0	0	0	0	0	0
	Temmuz	0	0	0	0	0	0
	Ağustos	0	0	0	0	0	0
	Eylül	0	0	0	0	0	0
	Ekim	0	0	0	0	0	0
	Kasım	0	0	0	0	0	0
	Aralık	152	152	146	214	214	208
	TOPLAM	557	561	618	816,0	805	862
GAZİANTEP	Ocak	394	366	394	456	428	456
	Şubat	310	325	331	368	383	389
	Mart	186	217	202	248	279	264
	Nisan	63	63	57	123	123	117
	Mayıs	0	0	0	0	0	0
	Haziran	0	0	0	0	0	0
	Temmuz	0	0	0	0	0	0
	Ağustos	0	0	0	0	0	0
	Eylül	0	0	0	0	0	0
	Ekim	0	0	0	0	0	0
	Kasım	168	171	159	228	231	219
	Aralık	304	316	298	366	378	360
	TOPLAM	1425	1458	1441	1789	1822	1805
ANKARA	Ocak	467	489	459	529	551	521
	Şubat	395	416	368	453	474	426
	Mart	263	248	257	325	310	319
	Nisan	120	120	120	180	180	180
	Mayıs	0	0	0	0	0	0
	Haziran	0	0	0	0	0	0
	Temmuz	0	0	0	0	0	0
	Ağustos	0	0	0	0	0	0
	Eylül	0	0	0	0	0	0
	Ekim	84	68	68	146	130	130
	Kasım	246	234	248	306	294	308
	Aralık	405	386	405	467	448	467
	TOPLAM	1980	1961	1925	2406	2387	2351
MUŞ	Ocak	800	772	803	862	834	865
	Şubat	626	615	609	684	673	667
	Mart	375	378	378	437	440	440
	Nisan	177	174	159	237	234	219
	Mayıs	0	0	0	0	0	0
	Haziran	0	0	0	0	0	0
	Temmuz	0	0	0	0	0	0
	Ağustos	0	0	0	0	0	0
	Eylül	0	0	0	0	0	0
	Ekim	93	84	74	155	146	136
	Kasım	321	336	330	381	396	390
	Aralık	521	527	536	583	589	598
	TOPLAM	2913	2886	2889	3339	3312	3315

Seçilen dört farklı il için 18  C denge sıcaklığında DMİ verilerine göre hesaplanan IDG sayılarının aylara bağlı olarak değişimi şekil 4.1 'de gösterilmiştir. Tablo 4.3'de ise Türkiye 'deki elli il için 16  C ve 18  C denge noktası sıcaklığında üç farklı model ile hesaplanan yıllık IDG sayıları grlmektedir. Tablodan da görülebileceği gibi 18  C denge noktası sıcaklığında en düşük IDG sayısı 540 ile Mersin 'de, en yüksek sayı ise 4829 ile Ardahan 'da tespit edilmiştir.

Türkiye için ortalama IDG sayıları DMİ, YSA ve UBSA verilerine göre sırasıyla 2320, 2322 ve 2316 'dır. DMİ ve UBSA verilerine göre yirmi beş il, YSA verilerine göre ise yirmi altı il Türkiye ortalamasının altında bir değere sahiptir. şekil 4.2 'de DMİ, YSA modeli ve UBSA modeli ile 18  C denge noktası sıcaklığında hesaplanan eşdeğer IDG sayıları gösterilmiştir. şekil 4.3 'de ise aynı verilerin Türkiye haritası üzerinde renkli gösterimi mevcuttur.



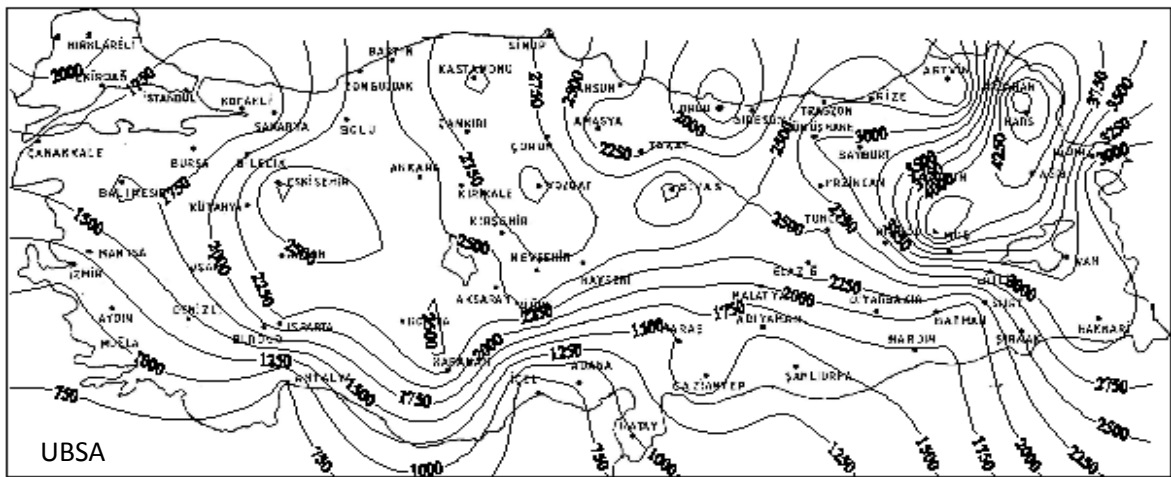
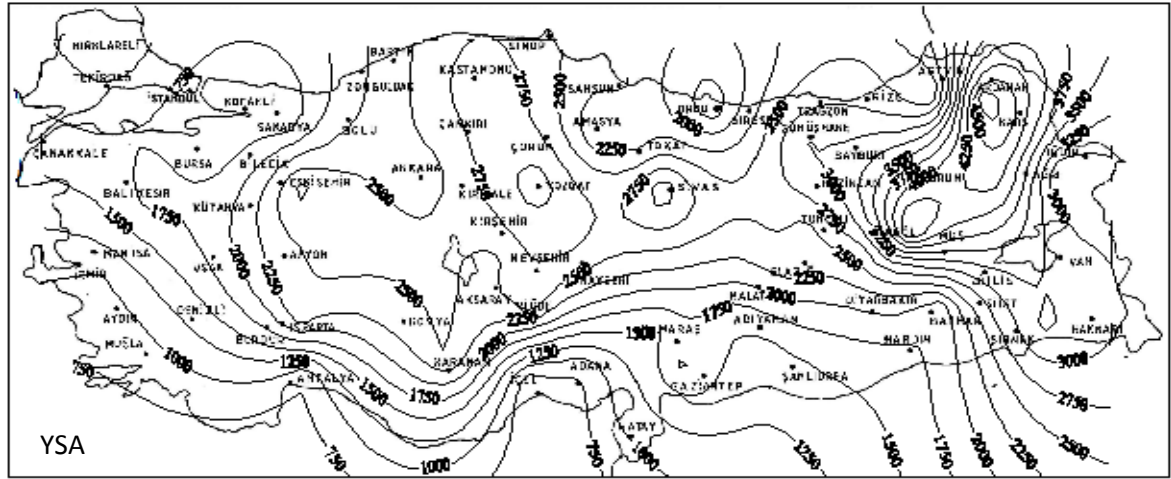
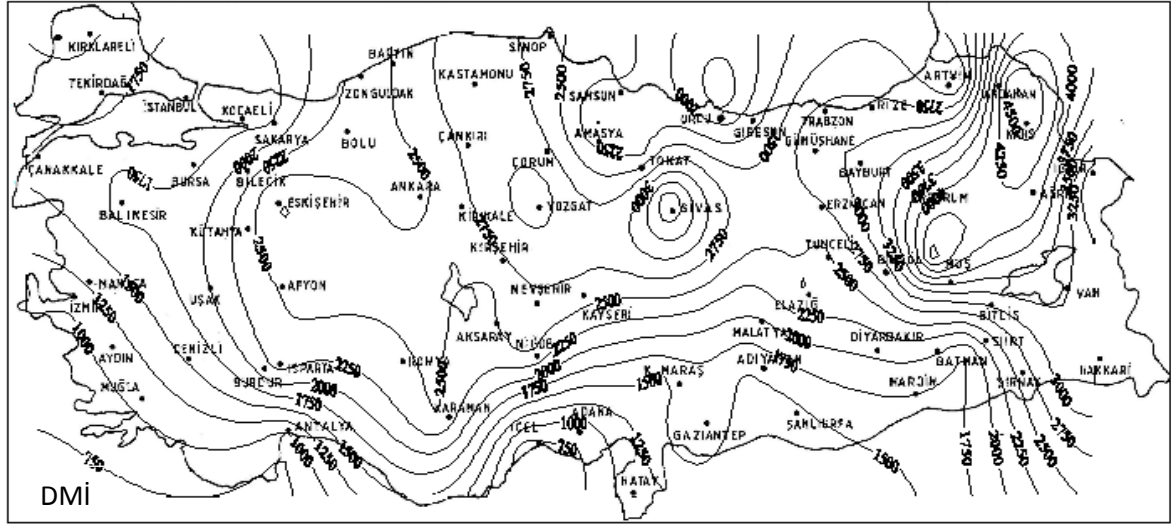
şekil 4.1. Adana, Gaziantep, Ankara ve Muş illeri için DMİ verilerine göre belirlenen IDG sayılarının aylara bağlı olarak değişimi

Tablo 4.3. Türkiye ’deki bazı iller için yıllık IDG sayıları

İLLER	DENGİ NOKTASI SICAKLIĞI (°C)					
	16 °C			18 °C		
	DMİ	YSA	UBSA	DMİ	YSA	UBSA
Adana	557	561	618	816,0	805	862
Adapazarı	1233	1209	1213	1598	1573	1576
Adıyaman	1186	1199	1209	1490	1563	1573
Afyon	2077	2030	1965	2504	2456	2391
Ağrı	3639	3738	3700	4127	4226	4188
Aksaray	1994	1994	1957	2420	2420	2383
Amasya	1623	1627	1650	1987	1991	2014
Ankara	1980	1961	1925	2406	2387	2351
Antalya	520	532	479	764	777	723
Ardahan	4221	4339	4353	4829	4944	4960
Artvin	1752	1697	2181	1755	2178	2143
Aydın	766	757	793	1070	1061	1097
Balıkesir	1440	1484	1424	1804	1847	1788
Bingöl	2480	2393	2532	2906	2819	2955
Bursa	1288	1251	1243	1652	1615	1607
Çanakkale	1200	1238	1281	1564	1602	1648
Diyarbakır	1623	1607	1666	1987	1971	2030
Edirne	1615	1586	1650	2041	2012	2076
Elazığ	2094	2087	2049	2520	2513	2475
Erzincan	2304	2369	2354	2729	2795	2781
Erzurum	4081	4038	4110	4706	4668	4717
Eskişehir	2374	2389	2411	2800	2815	2837
Gaziantep	1425	1458	1441	1789	1822	1805
Gümüşhane	2523	2527	2564	3011	3015	3052
Hakkâri	2756	2807	2759	3239	3296	3185

Tablo 4.3 (Devamı) Türkiye ’deki bazı iller için yıllık IDG sayıları

İLLER	DENGİ NOKTASI SICAKLIĞI (°C)					
	16 °C			18 °C		
	DMİ	YSA	UBSA	DMİ	YSA	UBSA
Hatay	701	688	670	1005	992	974
Iğdır	2204	2272	2208	2628	2698	2634
Isparta	1943	1991	1905	2369	2417	2331
İstanbul	1160	1172	1175	1523	1536	1539
İzmir	666	675	700	970	976	1004
K. Maraş	1107	1155	1072	1411	1460	1376
Karaman	2101	2099	2121	2527	2525	2547
Kars	3970	4028	3978	4578	4636	4586
Kastamonu	2506	2449	2578	2994	2937	3066
Kayseri	2272	2290	2330	2698	2716	2756
Kırlareli	1701	1669	1679	2127	2195	2105
Malatya	1823	1890	1880	2187	2254	2244
Mersin	358	386	398	540	568	582
Muş	2913	2886	2889	3339	3312	3315
Niğde	2165	2234	2180	2590	2658	2604
Ordu	1193	1197	1106	1557	1562	1468
Samsun	1983	1885	1981	2348	2311	2407
Siirt	1459	1457	1451	1723	1821	1815
Sivas	2720	2710	2667	3208	3197	3155
Şanlıurfa	1026	1038	1009	1332	1344	1314
Tekirdağ	1418	1415	1383	1783	1779	1747
Tokat	1756	1805	1723	2182	2231	2147
Tunceli	2061	2033	2113	2425	2396	2478
Van	2769	2808	2813	3257	3295	3300
Yozgat	2686	2660	2626	3174	3148	3114

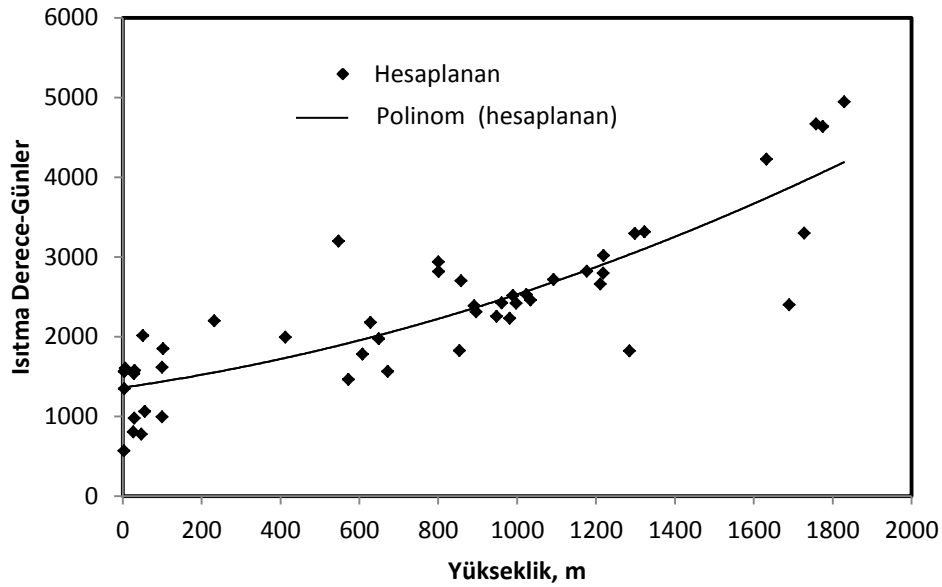


Şekil 4.2. 18 °C denge noktası sıcaklığında DMİ, YSA ve UBSA verileri ile hesaplanan IDG sayılarının Türkiye haritası üzerinde contour gösterimi

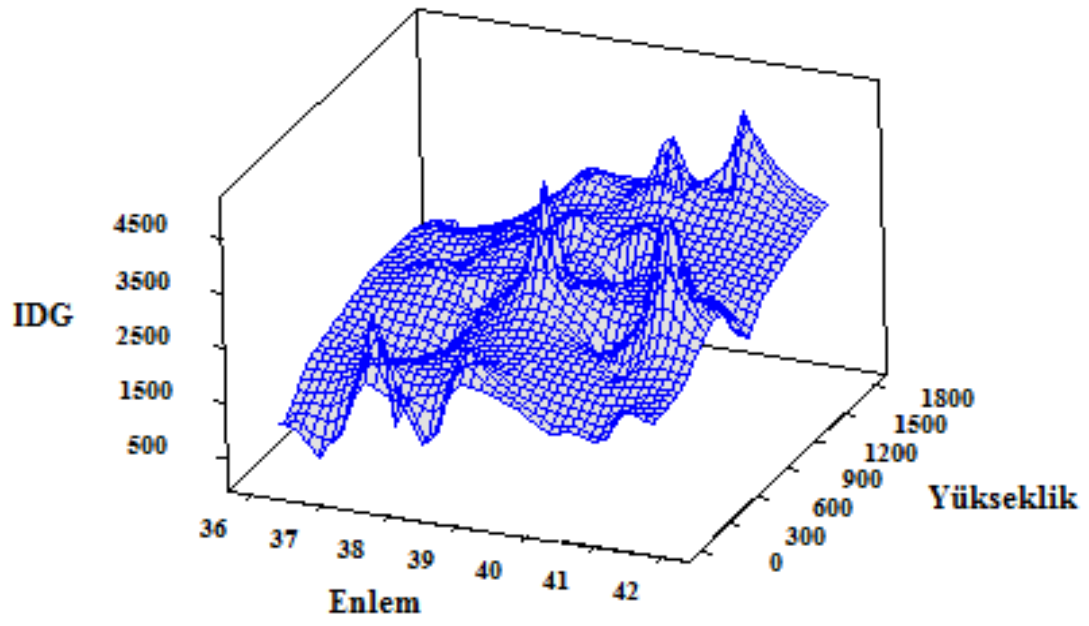


Şekil 4.3. 18 °C denge noktası sıcaklığında DMİ, YSA ve UBSA verileri ile hesaplanan IDG sayıları Türkiye haritası üzerinde renkli gösterimi

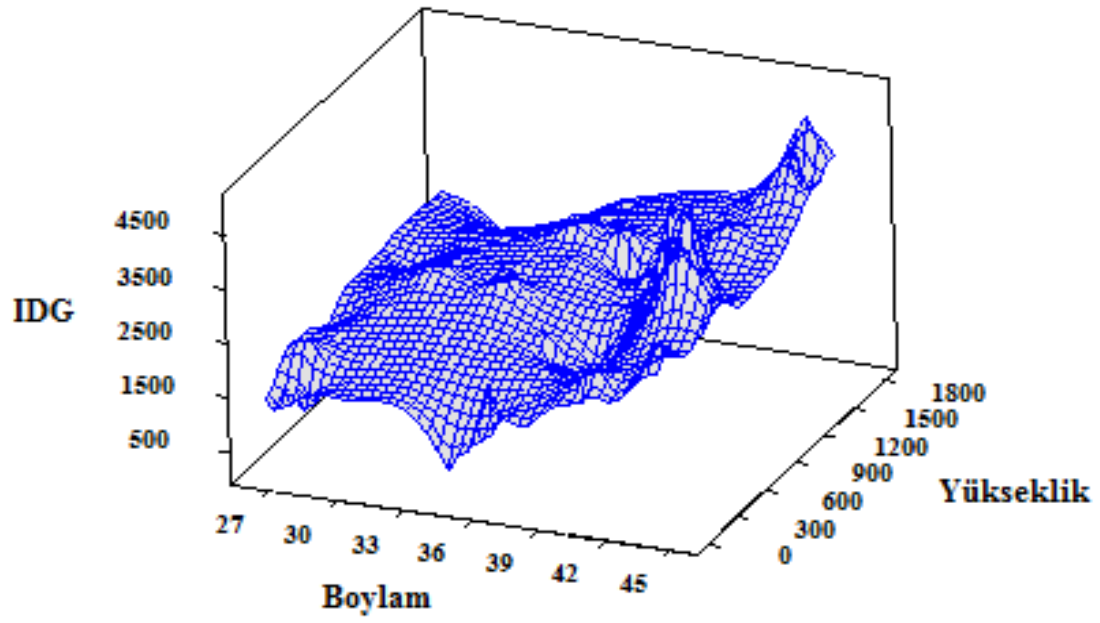
Türkiye 'nin yeryüzü şekilleri düz olmayıp çeşitli yükseklikte ovalar, platolar ve sıradağlar bulunmaktadır. Çalışma yapılan iller arasında en düşük yükseklik 3 m, en büyük yükseklik 1829 m ve ortalama yükseklik 743 m 'dir. Şekil 4.4'de IDG sayılarının yükseklikle değişimi verilmiştir. Verilerin dağılımı homojen olmasa da DG sayıları yükseklik ile birlikte artmaktadır. Genelde dağılım enlem ve boylama göre farklılıklar göstermektedir. Şekil 4.5'te yükseklik ve enleme göre, Şekil 4.6 'da ise yükseklik ve boylama göre DG sayılarının değişimi üç boyutlu olarak görülmektedir. Şekil 4.5'de görüldüğü üzere istisnai durumlar olmakla beraber, genellikle IDG sayıları yükseklik ve enlemin her ikisinin artmasıyla artmaktadır. Yüksekliğin düştüğü enlemin ise arttığı yerlerde daha düşük DG sayıları elde edilmiştir. DG sayıları üzerinde boylam ve yüksekliğin birlikte oluşturduğu etkinin görüldüğü Şekil 4.6. incelendiğinde, DG sayılarının yüksekliğin ve boylamın arttığı yerlerde daha büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4. Türkiye için yükseklik ile yıllık IDG sayılarının değişimi



Şekil 4.5. IDG sayılarının enlem ve yüksekliğe göre değişimi



Şekil 4.6. IDG sayılarının boylam ve yüksekliğe göre değişimi

Farklı bölgelerdeki farklı iklim koşulları ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacını önemli ölçüde etkilemektedir. Tüm dünyada özellikle ısıtma ve ısı yalıtımı uygulamaları için DG sayıları kullanılarak coğrafik bölgelerden farklı olarak DG bölgeleri tespit edilmektedir. 18 °C denge noktası sıcaklığı esas alınarak YSA model verileri ile hesaplanan DG sayıları küçükten büyüğe sıralanıp, IDG bölgeleri aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

I. Bölge	$IDG \leq 1250$
II. Bölge	$1251 \leq IDG \leq 2250$
III. Bölge	$2251 \leq IDG \leq 3250$
IV. Bölge	$3251 \leq IDG \leq 4250$
V. Bölge	$IDG \geq 4251$

Mevcut çalışmada, Bulut ve arkadaşlarının 2007 yılında yaptıkları çalışmaya benzer IDG bölgeleri oluşturulmuştur [11]. Oluşturulan bölgelerde aralıkların eşit dağılımı için her bir bölge 1000 DG içerecek şekilde ayarlanmıştır.

TS-825'e, Bulut ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmaya ve YSA model verileri ile oluşturulan DG bölgelerine göre iller Tablo 4.4'de verilmiştir. YSA modelde kullanılan meteorolojik veriler şehir merkezlerindeki meteoroloji istasyonlarına ait olduğundan yapılan sınıflandırma il merkezleri için geçerlidir. Tablo içerisindeki iller, DG sayıları dikkate alınarak küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır. Her bir bölge içinde en yüksek ve en düşük IDG sayılarının birbirine oranı ile elde edilen değerler sırasıyla; 1.87, 1.66, 1.42, 1.28, 1.07 'dir.

Tablo 4.4 'de görüldüğü gibi önerilen I. IDG bölgesinde altı il, II. IDG bölgesinde on sekiz il, III. IDG bölgesinde on dokuz il, IV. IDG bölgesinde dört il ve V. IDG bölgesinde de üç il yer almaktadır.

Yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar TS-825 ile karşılaştırıldığında bazı DG bölgelerindeki illerin TS-825 ile aynı olmasına rağmen bazı iller içinde belirgin farklar söz konusudur. I. IDG bölgesindeki illerde herhangi bir değişme olmadığı görülmektedir. TS-825'te III. IDG bölgede yer alan ve düşük IDG sayısına sahip illerin bazılarının (Artvin, Kırklareli, Tokat) II. IDG bölgesinde olması önerilmiştir. TS-825'e göre IV. IDG bölgesinde yer alan bazı illerin ise (Kayseri, Erzincan, Kastamonu, Gümüşhane, Yozgat, Sivas) III. IDG bölgesinde yer alması tavsiye edilmiştir. TS- 825'e göre dört IDG bölgesi bulunmaktadır.

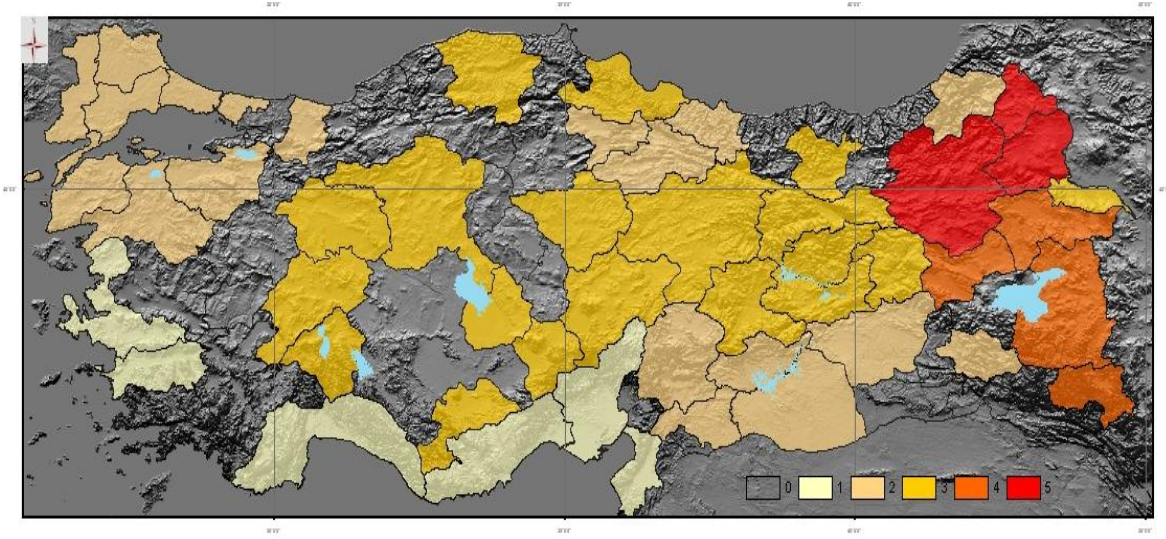
Tablo 4.4. YSA model verileri ile oluşturulan ve TS-825 'e göre IDG bölgeleri

Bölge	Mevcut çalışma	TS-825 binalarda ısı yalıtım kuralları standardı	Bulut ve ark. [11]
I	Mersin, Antalya, Adana, İzmir, Hatay, Aydın	Mersin, Antalya, Adana, İzmir, Hatay, Aydın	Adana, Antalya, Aydın, Hatay, İzmir, Mersin
II	Şanlıurfa, K. Maraş, İstanbul, Ordu, Adıyaman, Adapazarı, Çanakkale, Bursa, Tekirdağ, Siirt, Gaziantep, Balıkesir, Diyarbakır, Amasya, Edirne, Artvin, Kırklareli, Tokat	Şanlıurfa, K. Maraş, İstanbul, Ordu, Adıyaman, Adapazarı, Çanakkale, Bursa, Tekirdağ, Siirt, Gaziantep, Balıkesir, Diyarbakır, Amasya, Edirne,	Adapazarı, Adıyaman, Amasya, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Diyarbakır, Edirne, Gaziantep, İstanbul, K. Maraş, Ordu, Samsun, Siirt, Şanlıurfa, Tekirdağ,
III	Malatya, Samsun, Ankara, Tunceli, Isparta, Aksaray, Afyon, Elazığ, Karaman, Niğde, Iğdır, Kayseri, Erzincan, Eskişehir, Bingöl, Kastamonu, Gümüşhane, Yozgat, Sivas	Artvin, Kırklareli, Tokat, Malatya, Samsun, Ankara, Tunceli, Isparta, Aksaray, Afyon, Elazığ, Karaman, Niğde, Iğdır, Eskişehir, Bingöl,	Afyon, Aksaray, Ankara, Artvin, Bingöl, Elazığ, Erzincan, Eskişehir, Gümüşhane, Iğdır, Isparta, Karaman, Kastamonu, Kayseri, Kırklareli, Malatya, Niğde, Tokat, Tunceli,
IV	Van, Hakkâri, Muş, Ağrı	Kayseri, Erzincan, Kastamonu, Gümüşhane, Yozgat, Sivas, Van, Hakkâri, Muş, Ağrı, Kars, Erzurum, Ardahan.	Hakkâri, Muş, Sivas, Van, Yozgat
V	Kars, Erzurum, Ardahan	-	Ağrı, Ardahan, Erzurum, Kars

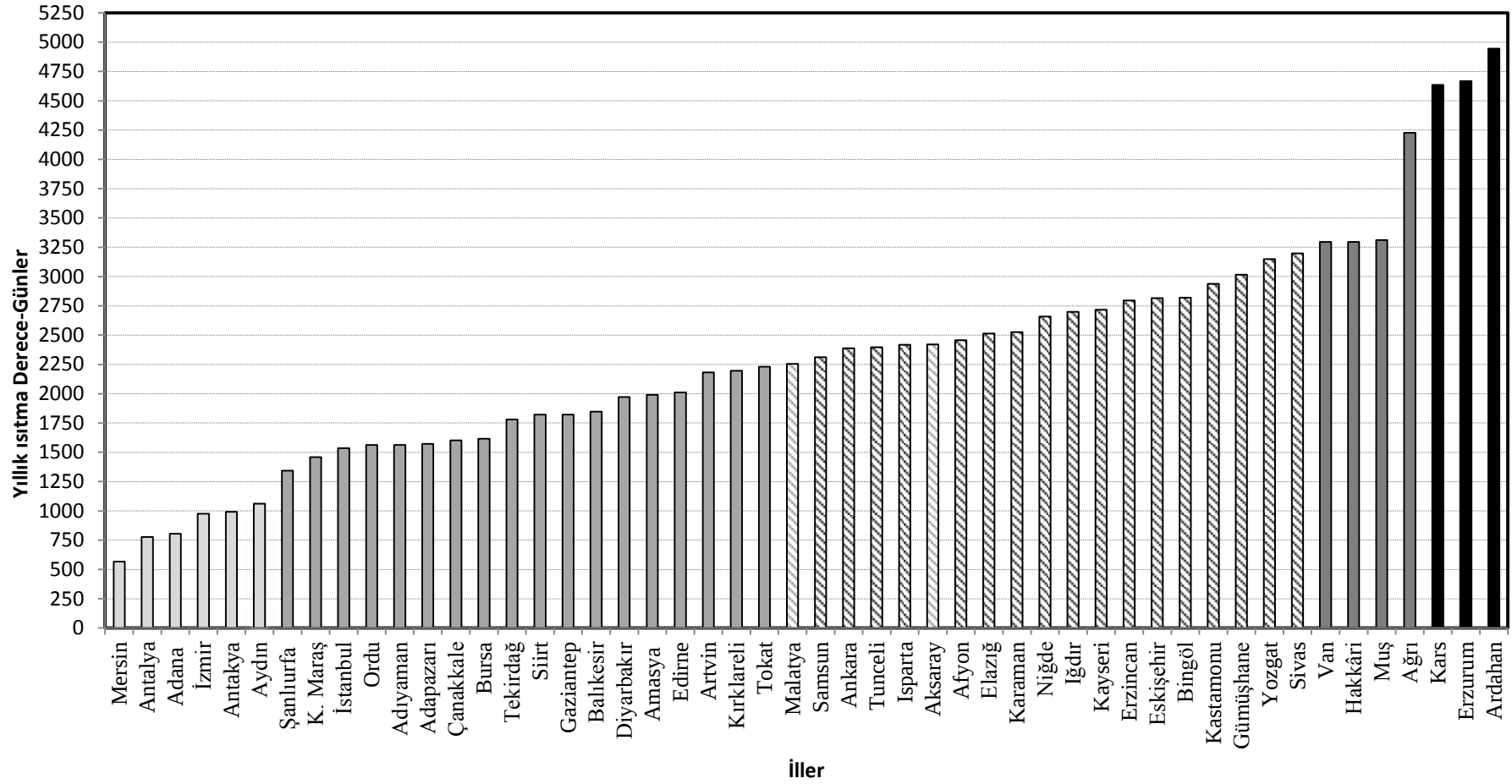
Bulut ile arkadaşlarının [11] yaptıkları çalışmaya göre de IDG 'ler için beş bölge tanımlanmıştır. Bulut ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada II. IDG bölgesinde yer alan Samsun ilinin yapılan bu çalışmada DG sayısının yüksek olması nedeniyle III. IDG bölgesinde olması önerilmektedir. Bulut ile arkadaşlarının yaptıkları çalışmaya göre III. IDG bölgesinde yer alan Artvin, Tokat ve Kırklareli illerinin yapılan çalışma ile II. IDG bölgesinde, IV. IDG bölgesinde yer alan Sivas ve Yozgat illerinin ise III. IDG bölgesinde, V. IDG bölgesinde bulunan Ağrı ilinin ise IV. IDG bölgesinde yer alması önerilmektedir.

TS-825’de IV. IDG bölgesindeki en yüksek IDG sayısına sahip Ardahan (4221) ili ile en düşük IDG sayısına sahip kayseri (2272) ilinin ısıtma ihtiyaçları arasında büyük fark olduğu tespit edilmiştir. Bölgesel olarak aynı DG bölgesinde olması bazı iller için gereksiz enerji tüketimine neden olacağından, bir IDG bölgesi (V. IDG bölgesi; Kars, Erzurum, Ardahan) daha olması önerilmiştir. Ayrıca yapılan çalışma ile Artvin, Kırklareli, Tokat, Kayseri, Erzincan, Kastamonu, Gümüşhane, Yozgat ve Sivas illerinin ısıtma ihtiyaçlarının azaldığı tespit edilmiştir.

Çalışma yapılan iller için yıllık IDG bölgelerinin Türkiye haritası üzerindeki gösterimi Şekil 4.7 ’de, yıllık IDG sayıları ise Şekil 4.8 ’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. IDG bölgelerindeki iller



Şekil 4.8. Çalışma yapılan illerin 18 °C denge noktası sıcaklığında YSA model verileri ile hesaplanan yıllık IDG sayıları

4.2. Soğutma Derece-Günler

Soğuk havalarda ısıtmaya ihtiyaç olduğu gibi, sıcak havalarda da soğutmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Konutlarda konforu sağlamak için sıcak havalarda iç ortamın soğutulması ve havalandırılması gerekmektedir. Soğutma işlemi klima gibi cihazlar ile sağlanmaktadır. Bu cihazların tükettiği enerji miktarını belirleyebilmek için SDG indeksi kullanılabilir. SDG hesaplanması için herhangi bir n periyodunda, tespit edilen bir denge noktası sıcaklığının üzerindeki günlük ortalama sıcaklıklar ile denge sıcaklığı arasındaki farkların kümülâtif toplamı alınarak hesap edilmektedir.

Yapılan bu çalışmada DG yöntemi ile hesaplanan IDG sayılarına benzer şekilde SDG sayıları da hesaplanmıştır. SDG sayılarının hesabında 22 °C ve 24 °C denge noktası sıcaklığı esas alınarak aylık ve yıllık SDG sayıları tespit edilmiştir. Bu hesaplarda DMİ, YSA ve UBSA model verileri kullanılmıştır.

Adana, Gaziantep, Ankara ve Muş illeri için DMİ, YSA ve UBSA model verileri ile hesaplanan SDG sayıları Tablo 4.5 'de verilmiştir. IDG sayıları yılın soğuk dönemlerinde önem kazanırken, SDG sayılarının ise yılın sıcak dönemlerinde önemli değerlere ulaştığı görülmektedir. 22 °C denge sıcaklığında DMİ verilerine göre Muş 'un yıllık SDG sayısı 233 iken, Adana 'nın ise 726 'dır. Bu durumda Adana 'da ki bir konut aynı karaktere sahip olan Muş 'taki bir konuta göre soğutma amaçlı 3.12 kat daha fazla yakıt tüketmektedir. Denge sıcaklığının 22 °C yerine 24 °C seçildiğinde Adana için il için ağustos ayında DMİ verileri ile belirlenen SDG sayılarında yaklaşık % 26.27 oranında, Muş için ise aynı ay için yaklaşık % 51.24 azalmaktadır.

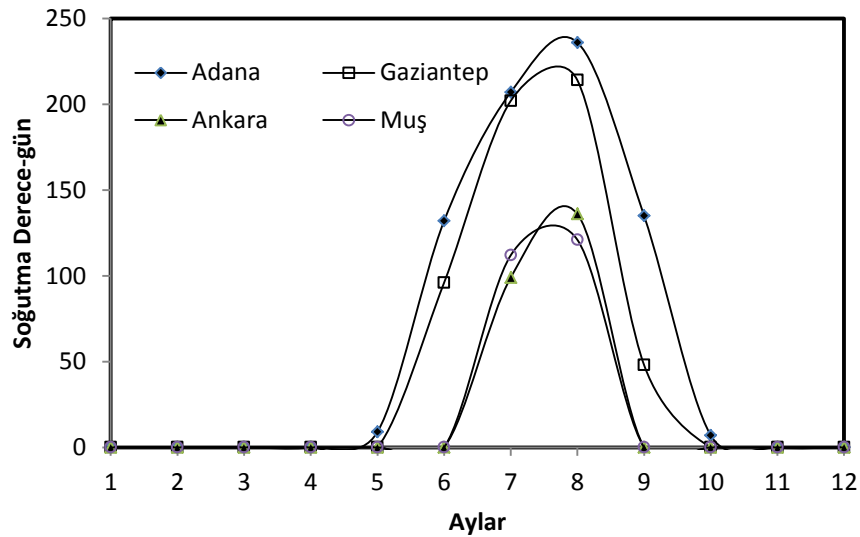
Tablo 4.5. Adana, Gaziantep, Ankara ve Muş illeri için aylık SDG sayıları

İLLER	AYLAR	DENGE SICAKLIĞI (°C)					
		22 °C		24 °C			
		DMİ	YSA	UBSA	DMİ	YSA	UBSA
ADANA	Ocak	0	0	0	0	0	0
	Şubat	0	0	0	0	0	0
	Mart	0	0	0	0	0	0
	Nisan	0	0	0	0	0	0
	Mayıs	9	7	0	0	0	0
	Haziran	132	127	118	72	74	64
	Temmuz	207	189	192	145	132	134
	Ağustos	236	213	225	174	154	166
	Eylül	135	130	116	75	77	62
	Ekim	7	0	11	0	0	0
	Kasım	0	0	0	0	0	0
	Aralık	0	0	0	0	0	0
	TOPLAM	726	666	662	466	437	426
GAZİANTEP	Ocak	0	0	0	0	0	0
	Şubat	0	0	0	0	0	0
	Mart	0	0	0	0	0	0
	Nisan	0	0	0	0	0	0
	Mayıs	0	0	0	0	0	0
	Haziran	96	78	90	36	18	30
	Temmuz	202	251	208	140	189	149
	Ağustos	214	211	183	152	149	121
	Eylül	48	6	36	0	0	0
	Ekim	0	0	0	0	0	0
	Kasım	0	0	0	0	0	0
	Aralık	0	0	0	0	0	0
	TOPLAM	560	546	517	328	356	300
ANKARA	Ocak	0	0	0	0	0	0
	Şubat	0	0	0	0	0	0
	Mart	0	0	0	0	0	0
	Nisan	0	0	0	0	0	0
	Mayıs	0	0	0	0	0	0
	Haziran	0	36	0	0	0	0
	Temmuz	99	124	84	37	62	22
	Ağustos	136	127	127	74	65	65
	Eylül	0	0	0	0	0	0
	Ekim	0	0	0	0	0	0
	Kasım	0	0	0	0	0	0
	Aralık	0	0	0	0	0	0
	TOPLAM	235	287	211	111	127	87
MUŞ	Ocak	0	0	0	0	0	0
	Şubat	0	0	0	0	0	0
	Mart	0	0	0	0	0	0
	Nisan	0	0	0	0	0	0
	Mayıs	0	0	0	0	0	0
	Haziran	0	0	0	0	0	0
	Temmuz	112	115	115	50	53	53
	Ağustos	121	112	109	59	50	47
	Eylül	0	0	0	0	0	0
	Ekim	0	0	0	0	0	0
	Kasım	0	0	0	0	0	0
	Aralık	0	0	0	0	0	0
	TOPLAM	233	227	224	109	103	100

Adana, Gaziantep, Ankara ve Muş illeri için DMİ verileri ile hesaplanan SDG sayıları Şekil 4.9 'da gösterilmiştir. Şekilden illerin soğutma sezonu belirlenebilir. Örneğin Muş'un soğutma sezonu 6. aydan 9. aya kadar, Adana ilinin ise 5. aydan 10. aya kadardır.

Türkiye 'deki elli il için 22 °C ve 24 °C denge noktası sıcaklığında hesaplanan yıllık SDG sayıları Tablo 4.6 'da sunulmuştur. 22 °C denge noktası sıcaklığında Ağrı, Ardahan, Erzurum, Gümüşhane, Kars, Kastamonu, Sivas ve Yozgat illerinin SDG sayıları sıfırdır. Eğer iç kazançlar çok yüksek veya konfor anlayışı fazla değilse bu iller için soğutmaya ihtiyaç yoktur denilebilir. En yüksek SDG sayısı 1033 ile Şanlıurfa olarak tespit edilmiştir. Türkiye için 22 °C denge sıcaklığında ortalama SDG sayısı DMİ verilerine göre 306, YSA verilerine göre 307 ve UBSA verilerine göre ise 310 'dur. DMİ, YSA ve UBSA verilerine göre yirmi sekiz il Türkiye ortalamasını geçmektedir.

SDG sayıları için denge noktası sıcaklığının 24 °C alınması durumunda Türkiye için ortalama yıllık SDG sayıları DMİ verilerine göre 169, YSA verilerine göre 171 ve UBSA verilerine göre ise 173 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.10 'da DMİ, YSA ve UBSA model verileri 22 °C denge noktası sıcaklığında hesaplanan SDG sayıları gösterilmiştir. Türkiye haritası üzerinde DMİ, YSA ve UBSA model verileri ile elde edilen SDG sayılarının renkli gösterimi ise Şekil 4.11 'de görülmektedir.



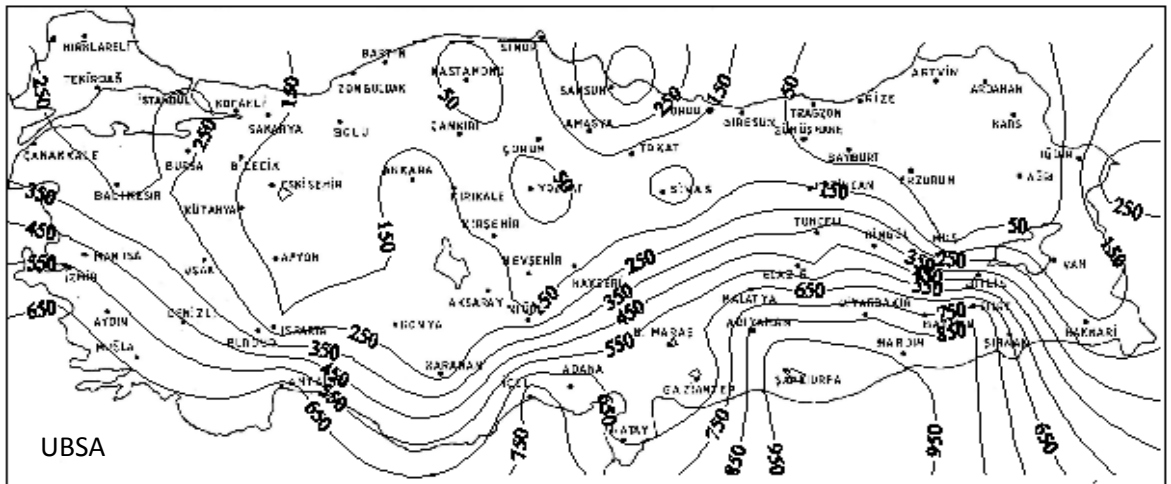
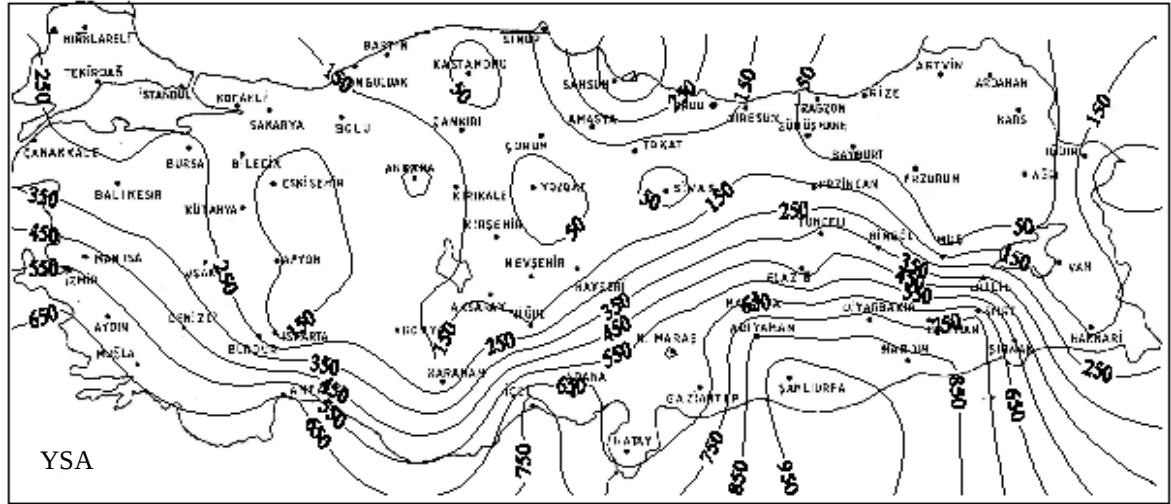
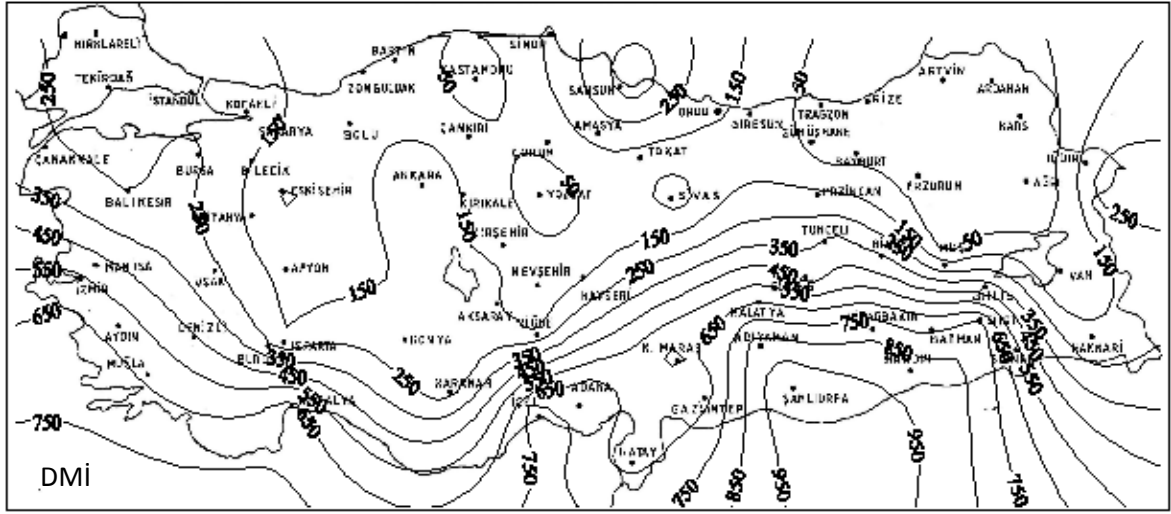
Şekil 4.9. Adana, Gaziantep, Ankara ve Muş illeri için DMİ verilerine göre belirlenen SDG sayılarının aylara bağlı olarak değişimi

Tablo 4.6. Türkiye 'deki bazı iller için yıllık SDG sayıları

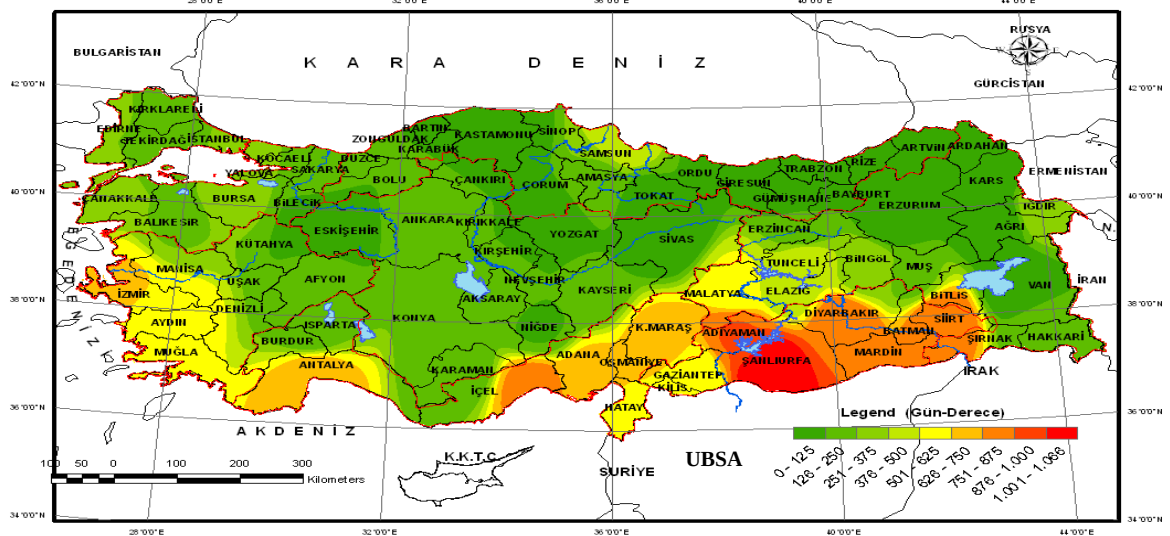
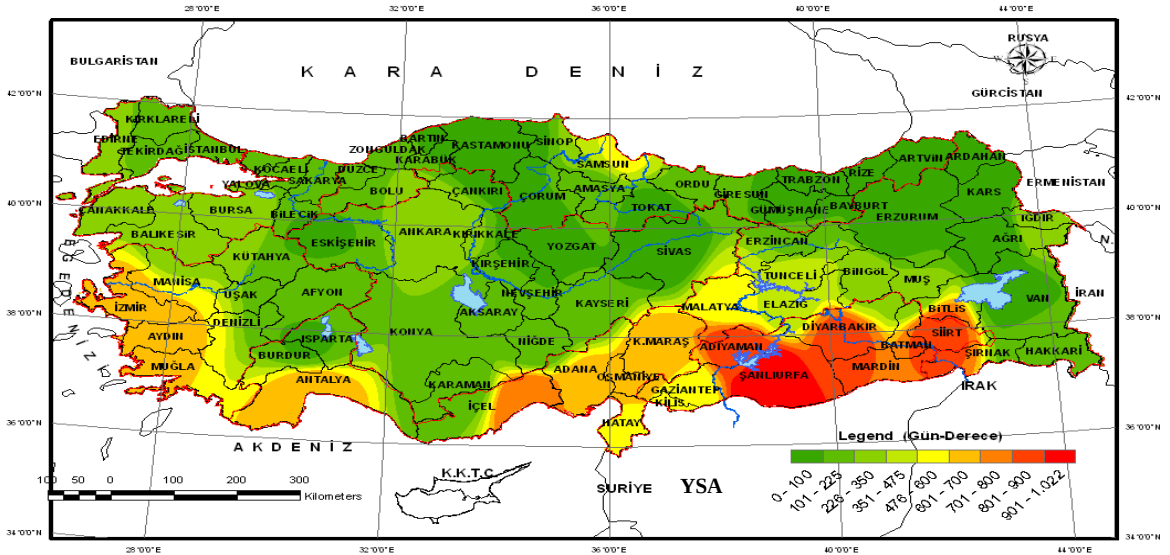
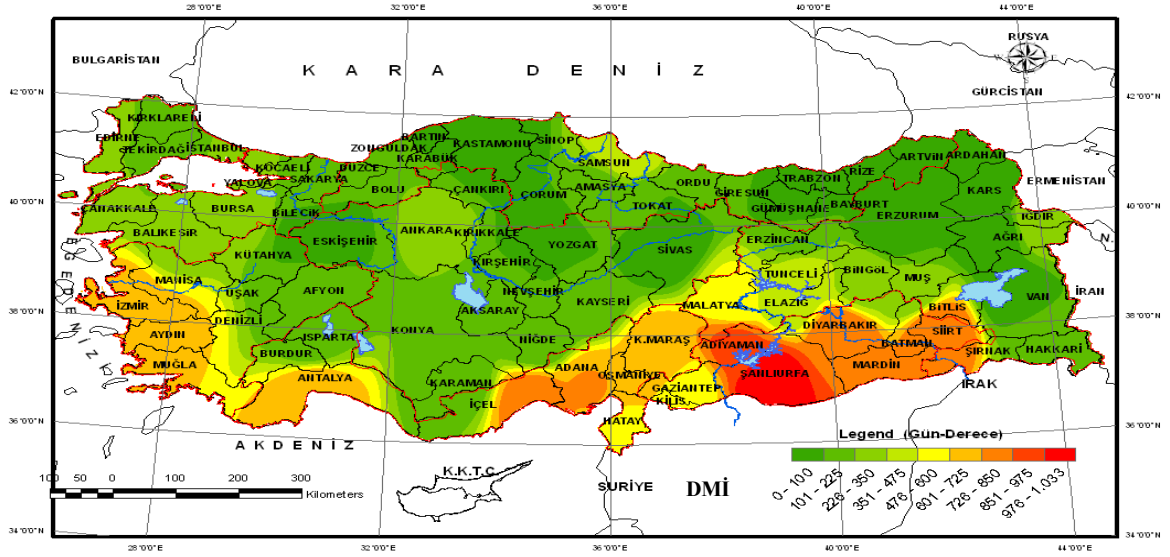
İLLER	DENGİ SICAKLIĞI (°C)					
	22 °C			24 °C		
	DMİ	YSA	UBSA	DMİ	YSA	UBSA
Adana	726	666	662	466	437	426
Adapazarı	165	201	171	41	56	38
Adıyaman	868	843	877	633	602	633
Afyon	131	158	137	22	37	22
Ağrı	0	0	0	0	0	0
Aksaray	174	140	193	50	16	69
Amasya	201	204	234	74	80	74
Ankara	235	287	211	111	127	87
Antalya	690	699	701	446	455	457
Ardahan	0	0	0	0	0	0
Artvin	31	25	40	0	0	0
Aydın	626	614	605	385	379	361
Balıkesir	259	272	247	108	118	146
Bingöl	313	332	337	177	196	192
Bursa	274	293	259	114	133	93
Çanakkale	296	282	299	139	149	139
Diyarbakır	820	819	851	576	576	607
Edirne	274	266	260	111	112	103
Elazığ	383	399	432	214	242	248
Erzincan	182	185	161	59	62	38
Erzurum	0	0	0	0	0	0
Eskişehir	35	92	37	0	0	0
Gaziantep	560	546	517	328	356	300
Gümüşhane	0	0	0	0	0	0
Hakkâri	210	165	183	86	47	59

Tablo 4.6. (Devamı) Türkiye ’deki bazı iller için yıllık SDG sayıları

İLLER	DENGE SICAKLIĞI (°C)					
	22 °C			24 °C		
	DMİ	YSA	UBSA	DMİ	YSA	UBSA
Hatay	590	588	603	347	344	359
Iğdır	321	315	325	158	134	198
Isparta	155	93	155	31	0	31
İstanbul	241	217	283	93	75	119
İzmir	638	632	629	394	388	385
K. Maraş	680	677	677	436	433	433
Karaman	152	148	162	28	43	38
Kars	0	0	0	0	0	0
Kastamonu	0	0	0	0	0	0
Kayseri	124	103	133	6	0	12
Kırklareli	165	167	189	35	28	50
Malatya	495	490	517	278	288	306
Mersin	781	796	798	500	496	491
Muş	233	227	224	109	103	100
Niğde	109	124	121	0	0	0
Ordu	151	170	115	28	46	0
Samsun	432	486	444	248	302	260
Siirt	825	821	852	581	577	657
Sivas	0	0	0	0	0	0
Şanlıurfa	1033	1022	1066	767	775	797
Tekirdağ	189	213	213	62	65	53
Tokat	103	80	81	0	0	0
Tunceli	390	430	435	227	291	260
Van	53	71	50	0	0	0
Yozgat	0	0	0	0	0	0

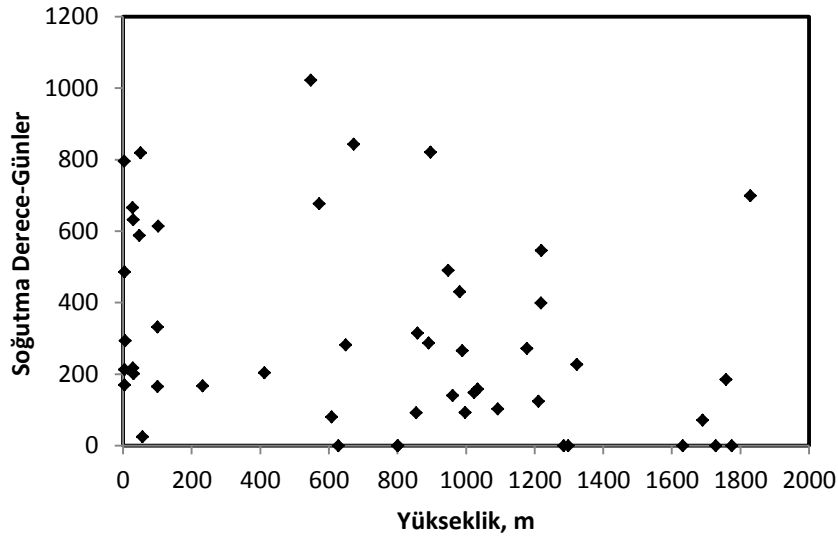


Şekil 4.10. 22 °C denge noktası sıcaklığında DMİ, YSA ve UBSA verileri ile hesaplanan SDG sayılarının Türkiye haritasında contour gösterimi

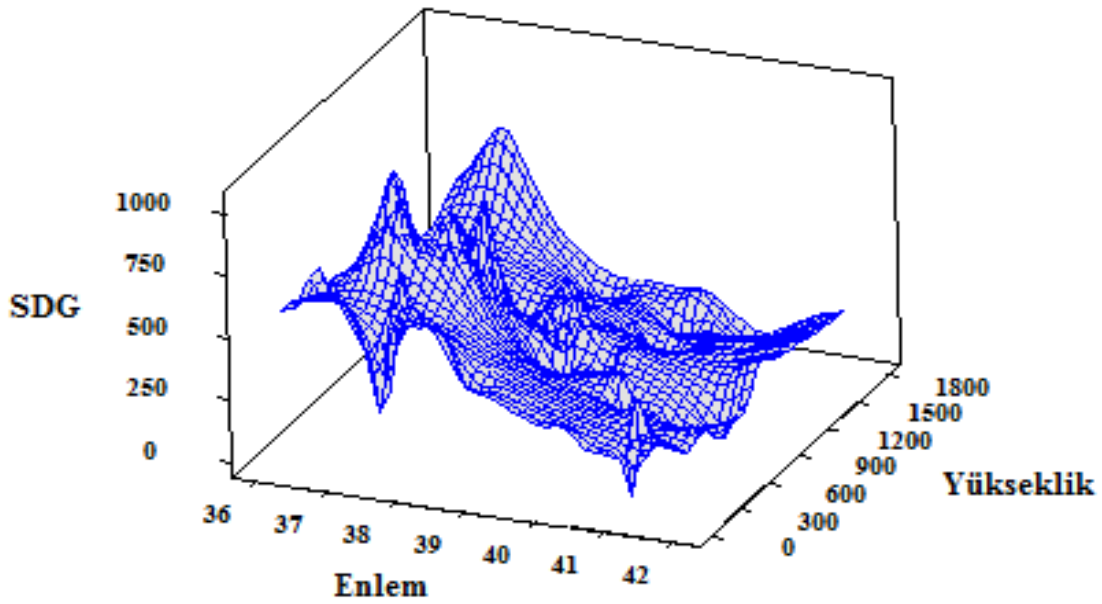


Şekil 4.11. 22 °C denge noktası sıcaklığında DMi; YSA ve UBSA verileri ile hesaplanan SDG sayılarının Türkiye haritasında renkli gösterimi

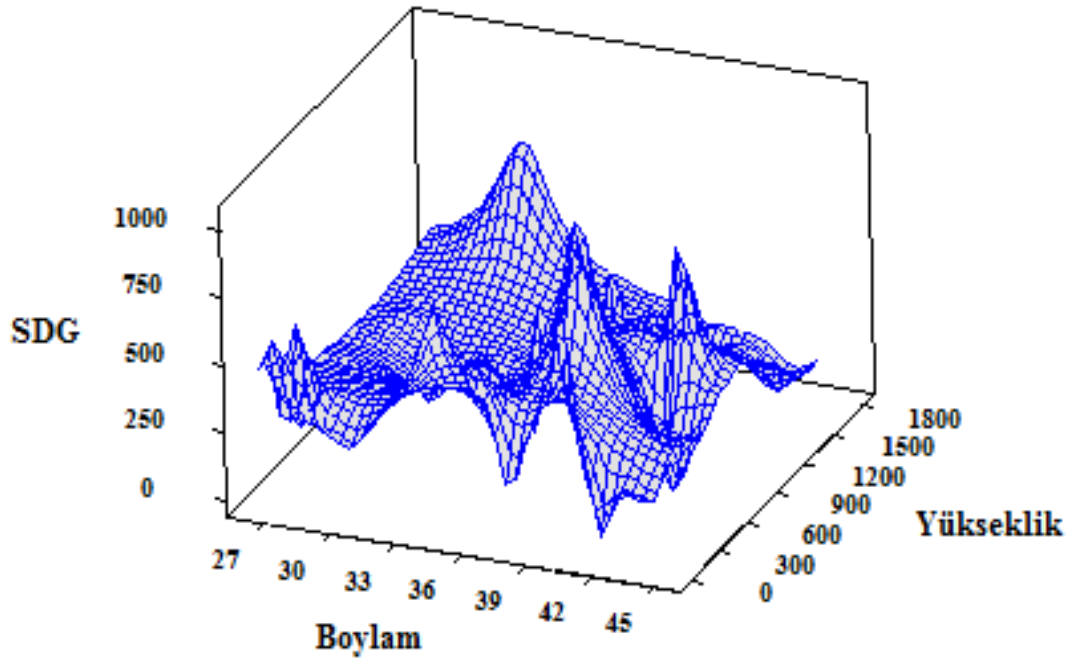
22 °C denge noktası sıcaklığında SDG sayılarının yükseklikle değişimi Şekil 4.12’de görülmektedir. SDG sayıları ile yükseklik arasında herhangi bir korelasyon söz konusu değildir. Bununla birlikte SDG sayılarına yükseklik ve enlemin ikili etkisi Şekil 4.13’te, yükseklik ve boylamın ikili etkisi ise Şekil 4.14 ’de gösterilmiştir. Şekil 4.13 ’ten 900 m’den yüksek ve 39°’den daha düşük enlemlere sahip yerlerde soğutma ihtiyacının daha fazla olduğu görülmektedir. Boylam ve yüksekliğin, SDG sayıları ile ilişkisi açık değildir.



Şekil 4.12. Türkiye için yükseklik ile yıllık SDG sayılarının değişimi



Şekil 4.13. SDG sayılarının enlem ve yüksekliğe göre değişimi



Şekil 4.14. SDG sayılarının boylam ve yüksekliğe göre değişimi

SDG sayılarının belirlenmesinde YSA model verileri ile hesaplanan değerler kullanılmıştır. 22 °C denge noktası sıcaklığında çalışma yapılan iller için hesaplanan DG sayıları küçükten büyüğe sıralanmıştır. Oluşturulan SDG bölgeleri aşağıdaki gibidir.

- | | |
|------------|-------------------------|
| I. Bölge | $SDG \leq 250$ |
| II. Bölge | $251 \leq SDG \leq 500$ |
| III. Bölge | $SDG \geq 501$ |

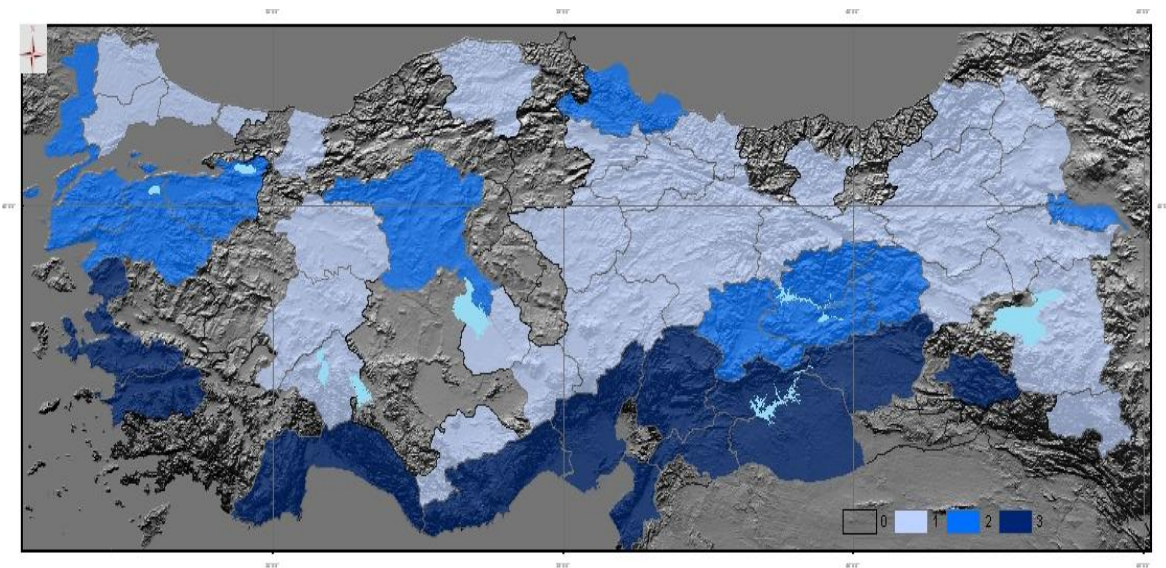
Önerilen SDG bölgeleri Tablo 4.7 'de verilmiştir. Buna göre I. bölgede yirmi yedi il bulunmaktadır. I. bölge illeri içerisinde sekiz ilin SDG sayısı sıfırdır. Yine bu bölge içinde en yüksek SDG sayısı 227 ile Muş iline aittir. II. bölgede on bir il, III. bölgede ise on iki il mevcuttur. I. bölgedeki iller için soğutma ihtiyacı çok azdır. II. bölgede I. bölgeye göre daha fazla bir soğutma ihtiyacının olduğundan bahsedilebilir. Ancak III. bölge için soğutma ihtiyacı çok önemli görünmektedir.

Tablo 4.7'de görüldüğü üzere yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar Bulut ve arkadaşlarının [11] yaptıkları çalışma ile uyum içerisindedir. Ancak yapılan çalışma ile SDG sayıları arttığı tespit edilen Ankara, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Edirne ve Samsun illerinin II. SDG bölgesinde olması önerilmektedir. Yapılan çalışmada bu iller için soğutma ihtiyacının arttığı tespit edilmiştir.

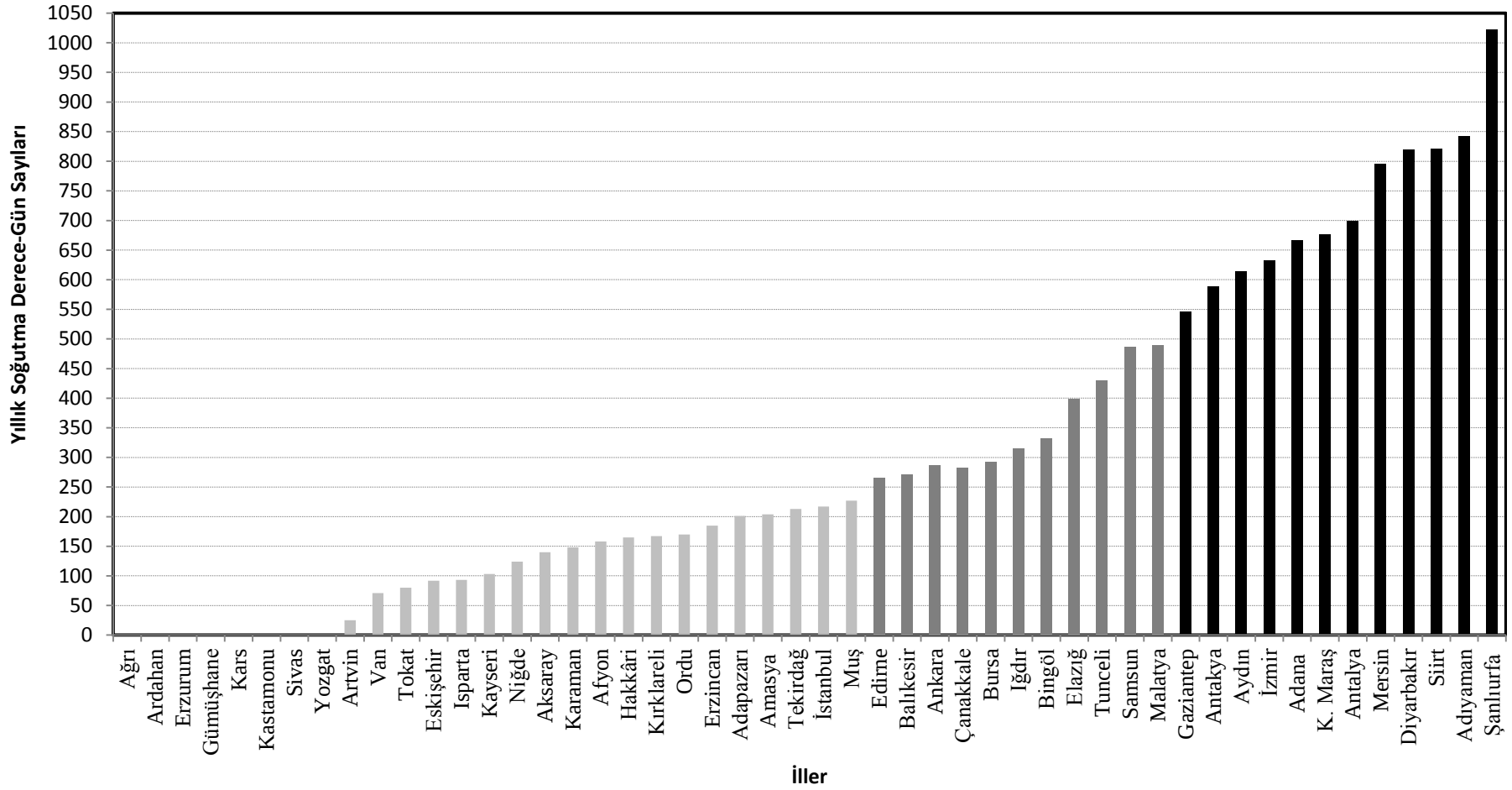
Tablo 4.7. YSA model verileri ile oluşturulan SDG bölgeleri

Bölge	Mevcut Çalışma	Bulut ve ark. [11]
I	Ağrı, Ardahan, Erzurum, Gümüşhane, Kars, Kastamonu, Sivas, Yozgat, Artvin, Van, Tokat, Eskişehir, Isparta, Kayseri, Niğde, Aksaray, Karaman, Afyon, Hakkâri, Kırklareli, Ordu, Erzincan, Adapazarı, Amasya, Tekirdağ, İstanbul, Muş	Adapazarı, Afyon, Ağrı, Aksaray, Amasya, Ankara, Ardahan, Artvin, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Edirne, Erzincan, Erzurum, Eskişehir, Gümüşhane, Hakkâri, Isparta, İstanbul, Karaman, Kars, Kastamonu, Kayseri, Kırklareli, Muş, Niğde, Ordu, Samsun, Sivas, Tekirdağ, Tokat, Van, Yozgat
II	Edirne, Balıkesir, Ankara, Çanakkale, Bursa, Iğdır, Bingöl, Elazığ, Tunceli, Samsun, Malatya	Bingöl, Elazığ, Iğdır, Malatya, Tunceli
III	Gaziantep, Hatay, Aydın, İzmir, Adana, K. Maraş, Antalya, Mersin, Diyarbakır, Siirt, Adıyaman, Şanlıurfa	Adana, Adıyaman, Hatay, Antalya, Aydın, Diyarbakır, Gaziantep, İzmir, K. Maraş, Mersin, Siirt, Şanlıurfa

Şekil 4.15 'te Türkiye haritası üzerinde 22 °C denge sıcaklığında YSA model verileri ile hesaplanan SDG sayılarına göre belirlenen SDG bölgeleri gösterilmiştir. Çalışma yapılan iller için aynı denge noktası sıcaklığında YSA model verileri ile hesaplanan yıllık SDG sayıları Şekil 4.16 'da gösterilmiştir.



Şekil 4.15. SDG bölgelerindeki iller



Şekil 4.16. Çalışma yapılan illerin 22 °C denge noktası sıcaklığında YSA model verileri ile hesaplanan yıllık SDG sayıları

5. EKONOMİK ANALİZ

Enerji tüketimi; nüfusun artmasına, yaşam standartlarının iyileşmesine, büyük şehirlere göç oranına ve kentleşmeye bağlı olarak hızlı bir şekilde artmaktadır. Gelişmiş ülkelerde enerji tüketiminin yoğun olarak gerçekleştiği sektörleri dört ana başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar; endüstri, inşaat, ulaşım ve tarım sektörleridir. İnşaat sektörü sanayi sektörünün en yakın takipçisi durumundadır [54]. Tüm dünyada artan enerji talebi ve çevre bilincinin etkisiyle enerji kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılması söz konusudur [56].

Türkiye 'de 2008 verilerine göre enerjinin % 41 'i konutlarda, % 33 'ü sanayide, % 20'si ulaşırmada, % 5 'i tarımda, % 1 'i de diğer alanlarda tüketilmektedir. Türkiye'de enerji tüketiminin en yoğun olduğu sektör olan inşaat sektörüdür. Konutlarda tüketilen enerjinin % 85'i ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. İyi yalıtılmış bir ortamda, doğru seçilmiş yakıt türü ve iyi bir yakma tekniği ile harcanan enerjinin hemen hemen tamamı ısıtma amaçlı kullanılabilen ve yakıtın çevre kirliliğine etkisi minimum düzeye indirilebilmektedir. Böylelikle hem enerji kaynaklarının daha etkin kullanımı sağlanmakta hem de çevreye daha az zarar verilmektedir. Binalarda ısıtmada kullanılan enerjinin toplam enerji tüketimindeki payının büyüklüğü göz önüne alındığında ısı yalıtımının önemi daha fazla ortaya çıkmaktadır [83, 84].

Isı yalıtım malzemelerinin seçiminde, malzemenin bulunma ve uygulanma kolaylığı ile birlikte maliyet de önemli bir faktördür. Çünkü yalıtım, binanın ilk yatırım giderlerini arttıran bir uygulamadır. Ancak, maliyet ve enerji tasarrufuna bağlı olarak hesaplanan geri dönüşüm süresiyle, sonraki yıllarda ekonomiye artı bir katkı ve enerji tüketiminde de azalma sağlanmaktadır. Enerji korunumu konusunda son yıllarda yapılan araştırmaların büyük bir bölümü enerji kaynaklarının “tasarruflu tüketimine” yönelik önlemleri içermektedir. Bu önlemlerle binaların, ısıtma ve soğutma yükleri için harcanan enerjinin korunumu hedeflenmektedir [85]. Günümüzde, bina ısı yalıtım projelerinde en çok üzerinde durulan hususların başında, bina özgül ısı kaybını minimum kılacak ve aynı zamanda bina duvar yüzeylerine uygulanacak olan ısı malzemesinin en etkin kesit kalınlığını verecek değerlerin hesaplanması gelmektedir. Türkiye 'de uygulanan birçok bina projesinde, taban / tavan bileşenlerine herhangi bir ısı yalıtım uygulaması yapılmamaktadır. Bina projelerinde gerekli ısı yalıtımı yalnızca duvar yüzeylerine

uygulanan ısı yalıtım katmanı ile sağlanmaya çalışılmaktadır. Ancak, bu tip uygulamalarda, duvar yüzeylerine uygulanacak ısı yalıtım malzemesinin uygulama kalınlıkları son derece büyük değerler olarak hesaplanmaktadır. Bu da ısı enerjisi kazancı açısından gereksiz yere etkin olmayan uygulamaları gündeme getirmektedir. Ayrıca çok katlı binalarda kullanılan yüksek kalınlıktaki yalıtım tabakasının birim ağırlık değerlerinin artmasının bir sonucu olarak duvardan ayrıldığı dahi gözlenebilmektedir. Bu nedenledir ki bina projesinde öngörülen bileşenler bağlamında, bina ısı yalıtımında elde edilecek ısı enerjisi kazancına göre duvar yüzeyine uygulanacak ısı yalıtım malzemesi için en ideal kalınlığın tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun haricinde bina için gerekli ısı enerjisi kazancı sadece dış duvar bileşenlerinden değil, taban / döşeme veya tavan yapı bileşenlerindeki ısı kayıplarını minimize edecek alternatif yalıtım uygulama çözümlerini de planlamak gerekmektedir. Ancak ülkemizde genellikle soğuk iklim bölgelerinde, binaların en üst katlarının iyi ısınamama sorunu; radyatör dilimlerinin artırılması ve kazan suyu sıcaklığının yükseltilmesi gibi enerjinin daha fazla kullanımına sebep olacak çözümlerle giderilmeye çalışılmaktadır. Sıcak iklim bölgelerinde ise, ısınamamanın aksine; yaz aylarında aşırı yüksek sıcak sebebiyle, konfor arayışları soğutma gücü yetsin veya yetmesin her odaya koyulan klimalarla ve dolayısıyla yine enerji tüketimiyle sürdürülmektedir [86].

Binayı, dış ortamdan ayıran ve dış ortam etkilerine karşı koruyan bina dış duvarlarıdır. Aynı zamanda bina duvarları, binanın en çok ısı kaybeden yerleridir. Dolayısıyla bina dış duvarlarının yalıtımı, ısı kaybı hesabı sonuçlarını değiştiren önemli bir faktördür. Klasik yapı malzemeleri ile (delikli tuğla, beton, ahşap vb.) inşa edilen bina duvarında ısı kaybı ve dolayısıyla yakıt tüketimi de fazla olmaktadır. Ayrıca bu tür bina duvarına sahip mekânlar yaz mevsiminde (özellikle güneş alan cephelerde) dayanılmaz derecede sıcak olmaktadır. Bu sakıncaları gidermek az yakıtle kolay ve iyi ısıtılan, kışın sıcak yazın serin mekânlar elde etmek amacıyla bina duvarı; dıştan yalıtımlı, içten yalıtımlı ve sandviç olarak düzenlenmektedir [85].

Mevcut çalışmada, binaların dış duvarları iki farklı yapıya sahiptir. Bunlardan biri; 2 cm iç sıva, arasında yalıtım malzemesi bulunan 2 parça 13.5 cm yatay delikli tuğla ve 3 cm dış sıvadan oluşan sandviç duvar, diğeri ise 2 cm iç sıva, 20 cm yatay delikli tuğla, yalıtım ve 3 cm dış sıvadan oluşan dıştan yalıtımlı duvardır. Hesaplamalarda yalıtım malzemesi olarak geliştirilmiş polistren kullanılmıştır. Malzeme seçiminde, bu malzemelerin Türkiye genelinde yaygın olarak bulunabilmesi ve uygulanmasının kolay olması etkili

olmuştur. Yapılan çalışmada farklı DG bölgelerinde olan, dört farklı il (Adana, Gaziantep, Ankara, Muş), üç farklı yakıt türü (kömür, doğalgaz, fuel-oil) ve yalıtım malzemesi olarak ise genişletilmiş polistren için yalıtım kalınlıkları ile yıllık kazanç arasındaki ilişki hesaplanmıştır. Meteorolojik veriler ve YSA ile tahmin edilen sıcaklık değerleri dikkate alınarak 1. bölgeden Adana, 2. bölgeden Gaziantep, 3. bölgeden Ankara ve 4. bölgeden Muş ili için DG sayıları hesaplanmıştır.

5.1. Isı Kaybının Hesaplanması

Binalarda ısı kaybı genellikle dış duvar, tavan, pencereler ve temelden oluşur. Bu çalışmada, ısı kaybının dış duvarlardan olduğu düşünülerek ısı kaybı hesaplamaları yapılmıştır. Dış duvarlardan birim alan başına ısı kaybı;

$$q_A = U \cdot (T_d - T_o) \quad (5.1)$$

Burada, U toplam ısı transfer katsayısı, T_d denge noktası sıcaklığı ve T_o günlük sıcaklıktır. Birim yüzeyden yıllık ısı kaybı, DG sayısı kullanarak aşağıdaki eşitlikten denklemden hesaplanabilir:

$$q_A = 86400 \cdot DG \cdot U \quad (5.2)$$

eşitliği ile hesaplanabilir [87]. Dış duvarın birim yüzeyinden oluşan ısı kaybı sebebiyle, ısıtma için gerekli yıllık enerji miktarı E_A , yıllık ısı kaybının yakma sisteminin verimine bölünmesi ile yaklaşık olarak elde edilir:

$$E_A = \frac{86400 \cdot DG \cdot U}{\eta} \quad (5.3)$$

Tipik bir duvar için toplam ısı transfer katsayısı;

$$U = \frac{1}{R_i + R_{duv} + R_{yal} + R_d} \quad (5.4)$$

eşitliği ile ifade edilebilir. Burada R_i ve R_d sırası ile iç ve dış yüzeyin ısı dirençleridir. R_{duv} yalıtımsız duvar tabakalarının toplam ısı direncidir. R_{yal} ise yalıtım malzemesinin ısı direncidir ve

$$R_{yal} = \frac{x}{k} \quad (5.5)$$

olarak yazılabilir. Burada x ve k sırası ile yalıtım malzemesinin kalınlığı ve ısı iletim katsayısıdır. Yalıtımlı duvar tabakasının toplam ısı direnci,

$$U = \frac{1}{R_{tduv} + R_{yal}} \quad (5.6)$$

Burada R_{tduv} ; R_i , R_{duv} ve R_d ısı dirençlerinin toplamıdır. Isıtma için gerekli yıllık enerji miktarı E_A ,

$$E_A = \frac{86400 \cdot DG}{\left(R_{tduv} + \frac{x}{k}\right)\eta} \quad (5.7)$$

eşitliği ile bulunur. Yıllık yakıt tüketimi,

$$m_y = \frac{86400 \cdot DG}{\left(R_{tduv} + \frac{x}{k}\right)\eta H_u} \quad (5.8)$$

Bu çalışmada yıllık enerji kazancı P_1 - P_2 metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir birim yüzey için ısıtmanın yıllık enerji maliyeti C_A ,

$$C_A = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_f}{\left(R_{tduv} + \frac{x}{k}\right)\eta H_u} \quad (5.9)$$

eşitliği ile hesaplanır [88]. Burada C_f yakıt maliyeti, H_u ise yakıtın ısı değeridir.

5.2. Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması

Bu çalışmada, 2 cm iç sıva, arasında yalıtım malzemesi bulunan 2 parça 13.5 cm yatay delikli tuğla ve 3 cm dış sıvadan oluşan sandviç duvar ile 2 cm iç sıva, 20 cm yatay delikli tuğla, yalıtım ve 3 cm dış sıvadan oluşan dıştan yalıtımlı duvar seçilmiştir. Sandviç duvar ve dıştan yalıtımlı duvarın tipik bir gösterimi Şekil 5.1 'de görülmektedir.

Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken ömür maliyet analizi kullanılması gerekir. P_1 enflasyon oranı (d) ve faiz oranı (i) 'ye bağlıdır. P_1 ve P_2 aşağıdaki eşitliklerden hesaplanabilir:

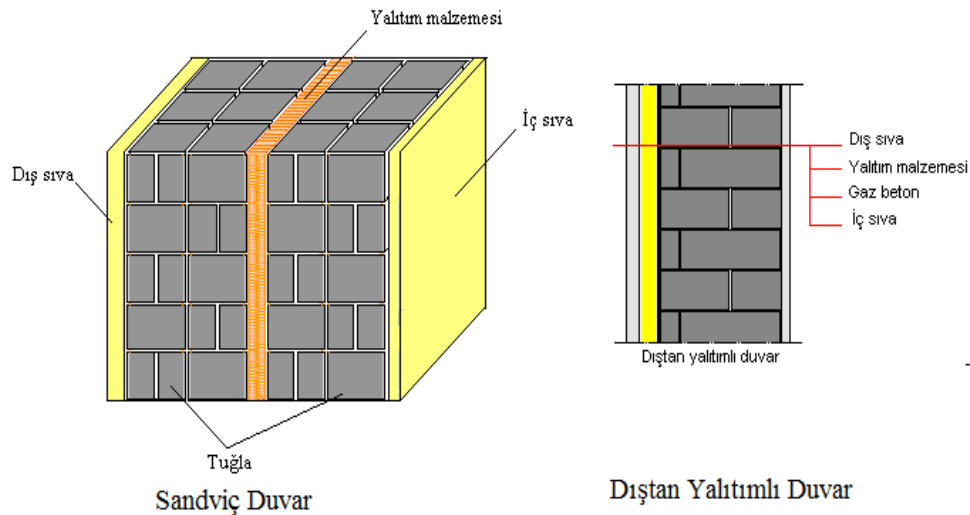
$$P_1 = [(1 + d)/(d - i)] \left[1 - ((1 + i)/(1 + d))^N \right] \quad (5.10)$$

$$P_2 = 1 + P_1 M_s - R_v(1 + d_f)^{-N} \quad (5.11)$$

N ömür süresi olup, bu çalışmada on yıl olarak kabul edilmiştir. Yalıtım maliyeti ise C_{yal} ,

$$C_{yal} = C_y x \quad (5.12)$$

eşitliğiyle hesaplanır.



Şekil 5.1. Hesaplamalarda kullanılan duvar modelleri

Burada C_y yalıtım malzemesinin \$ / m³ olarak maliyetidir. Sonuç olarak, yalıtılmış bir binanın toplam ısıtma maliyeti; sistemle ilgili tüm harcamaların toplamından oluşan ömür maliyet analizi dikkate alınarak hesaplandığında [89],

$$C_t = C_A P_1 + C_y x \quad (5.13)$$

veya

$$C_t = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_f \cdot P_1}{(R_{tduv} + \frac{x}{k}) \eta H_u} + C_y \cdot x \quad (5.14)$$

şeklinde yazılabilir. Optimum yalıtım kalınlığı, toplam ısıtma maliyetini minimuma indirmekle veya yıllık kazancı maksimize etmekle hesaplanır.

Yıllık kazanç ve yalıtım kalınlığı hesaplamalarında yalıtım malzemesi olarak geliştirilmiş polistren kullanılmış olup çeşitli özellikleri Tablo 5.1 'de, yakıtların özellikleri ise Tablo 5.2 'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Seçilen yalıtım malzemesinin bazı özellikleri [90].

Malzeme adı	Standart	k (W/mK)	ρ (kg/m ³)	Fiyatı (\$/m ³)
Ekstrüde Polistren Köpük (XPS)	TS-11989 EN-13164	0.031	30	67.50

Tablo 5.2. Kullanılan yakıtların fiyatı, ısı değeri, verimi ve kimyasal yapısı [91].

Yakıt Tipi	$H_u \cdot 10^6$ (J/kg)	η_s	Birim Fiyatı	Yakıtın Kimyasal Yapısı
Kömür	25.122	0.65	0.2216 \$/kg	$C_{7.078}H_{5.149}O_{0.517}S_{0.01}N_{0.086}$
Doğal gaz	34.542	0.93	0.3601 \$/kg	$C_{1.05}H_4O_{0.034}S_{0.022}$
Fuel-oil	40.614	0.80	0.734 \$/kg	$C_{7.3125}H_{10.407}O_{0.04}S_{0.026}N_{0.02}$

Mevcut çalışmada, ısıtma için net enerji kazancı S, aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir:

$$S = C_A P_1 - P_2 C_y \quad (5.15)$$

veya

$$S = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_f}{\left(R_{tduv} + \frac{x}{k}\right) \eta_{H_u}} P_1 - P_2 C_y x \quad (5.16)$$

Geri dönüş periyodu N_p ,

$$N_p = \frac{\ln \left[1 - \frac{(P_2 C_y H_u \eta (R_{tduv} + R_{tduv}^2 k)(d-i))}{86400 \cdot DG \cdot C_f (1+d)} \right]}{\ln[(1+i)/(1+d)]} \quad (5.17)$$

eşitliğinden hesaplanabilir. Tüm hesaplamalarda faiz oranı % 4, enflasyon oranı % 5 ve ömür ise on yıl olarak seçilmiştir.

5.3. Ekonomik Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, DMİ ve YSA modeli için optimum yalıtım kalınlığı, Eşitlik 5.14'deki amaç fonksiyonu Matlab Optimizasyon Toolbox'da çözülerek bulunmuştur.

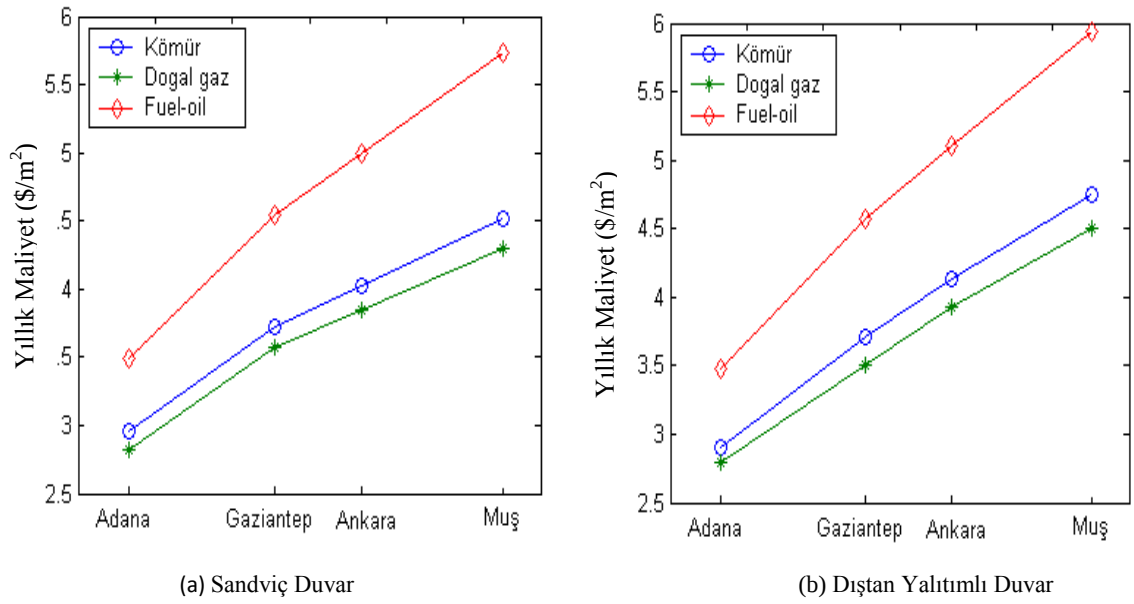
Tablo 5.3 'de 18 °C denge noktası sıcaklıklarında, seçilen dört il için YSA modeli ve meteorolojik verilerle hesaplanan aylık IDG ve yıllık IDG sayıları gösterilmiştir. Tablo 5.3 'de görüldüğü üzere en büyük DG sayısına sahip Muş ili için DMİ verileri ile hesaplanan IDG sayısı 3257 iken YSA modeli ile hesaplanan IDG sayısı 3266'dır. En düşük DG sayısına sahip Adana ili için DMİ verileri YSA modeli ile hesaplanan IDG sayıları sırasıyla 833 ve 823 olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.2 'de üç farklı yakıt ve dört farklı bölgeden seçilmiş iller için yıllık maliyetleri görülmektedir. Optimum yalıtım kalınlıkları dikkate alınarak hesaplanan yıllık maliyet, yakıt maliyeti ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. Yakıt maliyetindeki herhangi bir artış yıllık maliyeti arttırmaktadır. Maliyeti yüksek olan yakıt kullanılan bölgelerde yalıtımın çok önemli olduğu görülmektedir. Şekil 5.2 'den de görüldüğü gibi, en yüksek yıllık

maliyet fuel-oil yakıt türü için en düşük yıllık maliyet ise doğal gaz yakıt türü için tespit edilmiştir. Kömür, fuel-oil ve doğalgaz yakıt olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak yakıtların çevreye verdiği zarar göz önüne alındığında doğalgazın kullanımı daha uygun ve ekonomiktir. Bu nedenle yıllık maliyetin, yalıtım kalınlığı ile değişiminde doğal gaz yakıt türüne göre hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 5.3. Aylık ve yıllık IDG sayıları

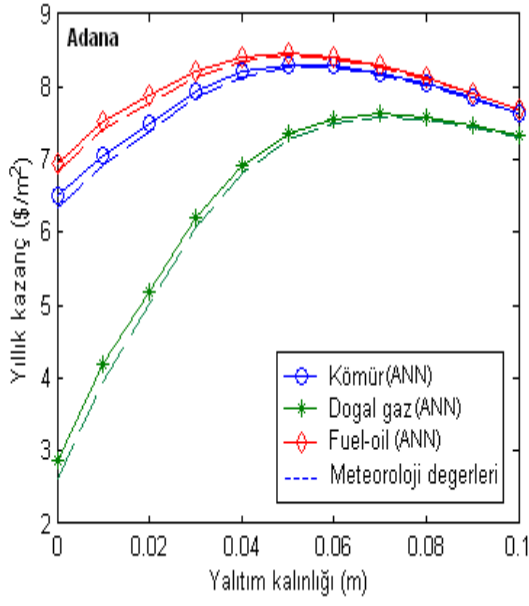
ISITMA DERECE-GÜN SAYILARI													
AYLAR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	H.	T.	A.	E.	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
ADANA													
DMİ	276	196	91	16							49	205	833
ANN	288	215	101									219	823
GAZİANTEP													
DMİ	456	350	241	127	19					23	202	359	1778
ANN	418	418	277	120							237	376	1846
ANKARA													
DMİ	528	405	316	194	54					121	284	434	2336
ANN	493	485	309	183						133	313	441	2357
MUŞ													
DMİ	826	601	413	257	83					139	375	563	3257
ANN	828	648	443	240						146	388	573	3266



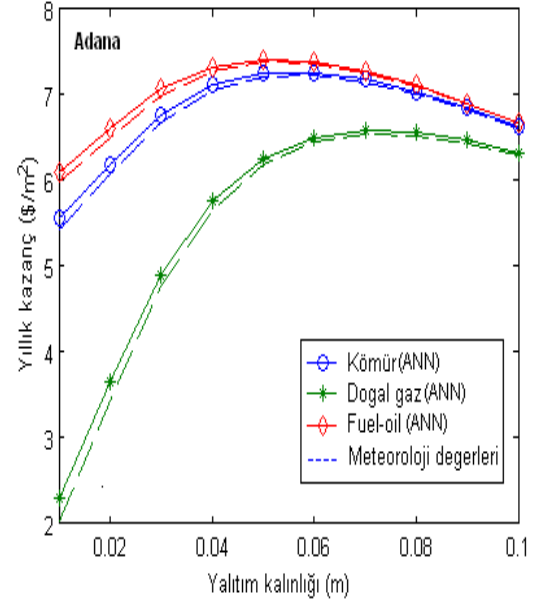
Şekil 5.2. Çalışma yapılan illerde farklı yakıt türleri için duvar tiplerine göre yıllık maliyet değişimi

Şekil 5.3, 5.4, 5.5 ve 5.6 'da ise üç farklı yakıt için DMİ verileri ve YSA modeli tarafından hesaplanmış yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç grafikleri görülmüştür. Yıllık tasarruf diğer bir ifade ile kazanç, yakıt maliyeti ile doğru orantılıdır. Optimum yalıtım kalınlığı, DG sayısı ve yakıt maliyetinin artması ile artmaktadır. DG sayısı yüksek olan soğuk iklimlerde ısı kaybını azaltmak için daha fazla yalıtım kalınlığına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle en yüksek optimum yalıtım kalınlığı Muş ili için tespit edilmiştir.

Şekil 5.7, 5.8, 5.9 ve 5.10 'da yalıtım kalınlığına göre maliyetlerin değişimini görülmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi artan yalıtım kalınlığı ile yakıt maliyeti azalırken, yalıtım maliyeti ise lineer olarak artmaktadır. Toplam maliyet ise belirli bir değere kadar azalmakta ve bu değerden sonra artmaktadır. Dolayısıyla toplam maliyetin minimum olduğu değer optimum yalıtım kalınlığını vermektedir. Sandviç tipi duvarda YSA modeli ile hesaplanan optimum yalıtım kalınlığı Adana ili için 0.0375 m, Gaziantep ili için 0.0694 m, Ankara ili için 0.0818 m ve Muş ili için 0.1010 m olarak hesaplanmıştır. Dıştan yalıtımlı duvar tipinde ise YSA modeli ile belirlenen optimum yalıtım kalınlığı Adana ili için 0.0422 m, Gaziantep ili için 0.0740 m, Ankara ili için 0.0865 m ve Muş ili için 0.1057 m olarak elde edilmiştir.

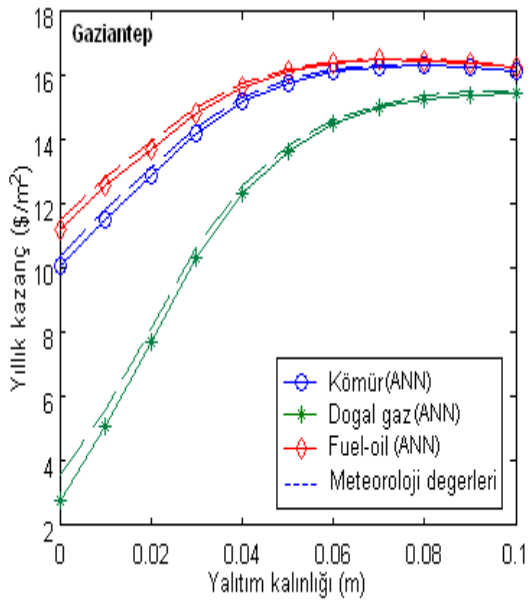


(a) Sandviç Duvar

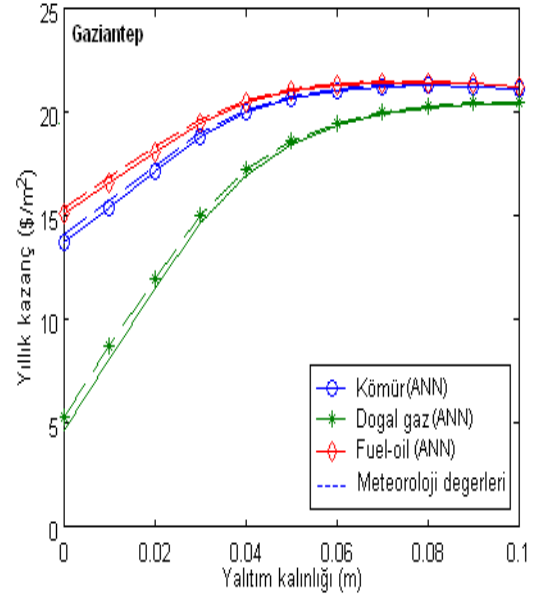


(b) Dıştan Yalıtımlı Duvar

Şekil 5.3. Adana ili için farklı yakıt türlerine göre yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç arasındaki ilişki (Meteorolojik değerler ve ANN)

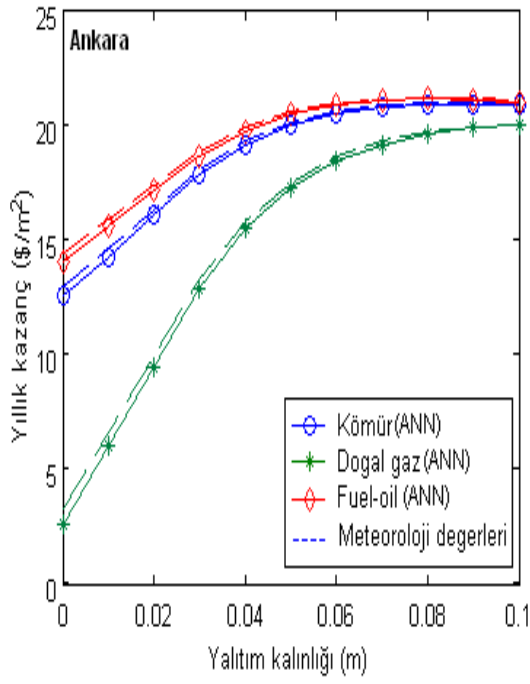


(a) Sandviç Duvar

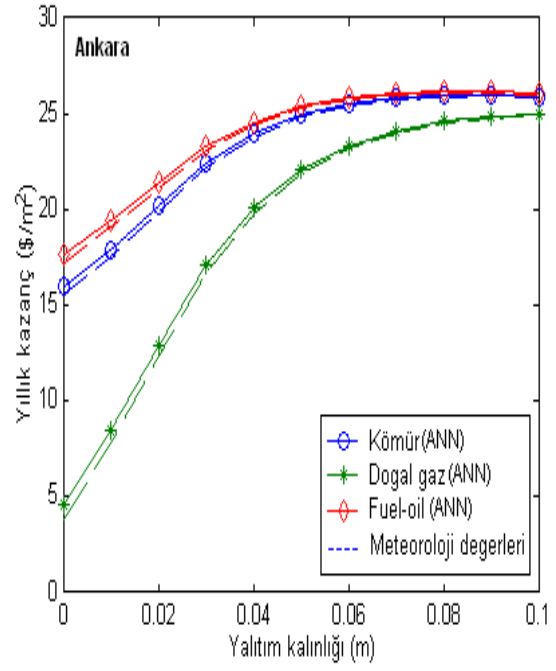


(b) Dıştan Yalıtımlı Duvar

Şekil 5.4. Gaziantep ili için farklı yakıt türlerine göre yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç arasındaki ilişki (Meteorolojik değerler ve ANN)

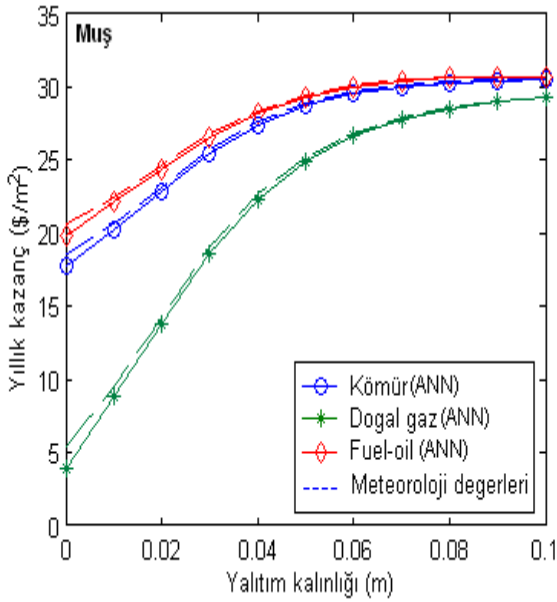


(a) Sandviç Duvar

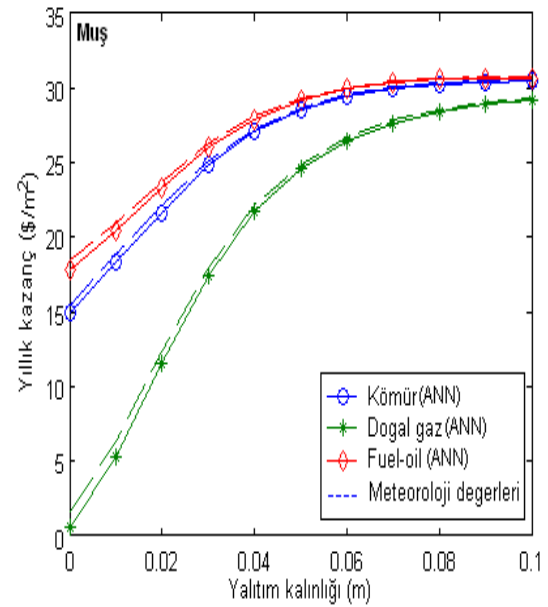


(b) Dıştan Yalıtımlı Duvar

Şekil 5.5. Ankara ili için farklı yakıt türlerine göre yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç arasındaki ilişki (Meteorolojik değerler ve ANN)

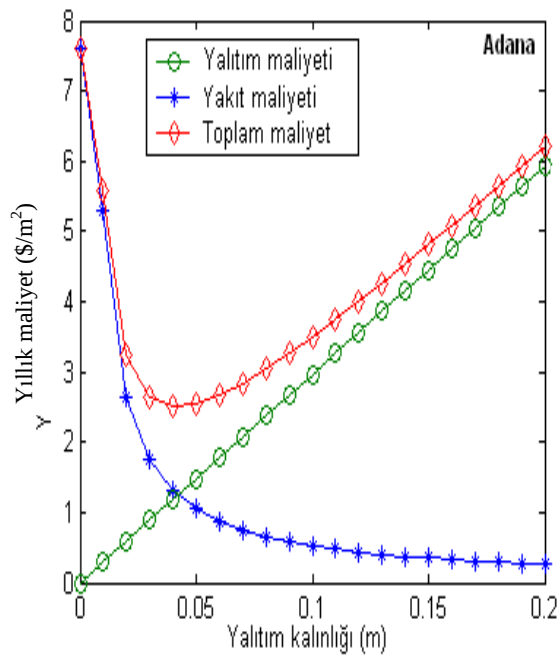


(a) Sandviç Duvar

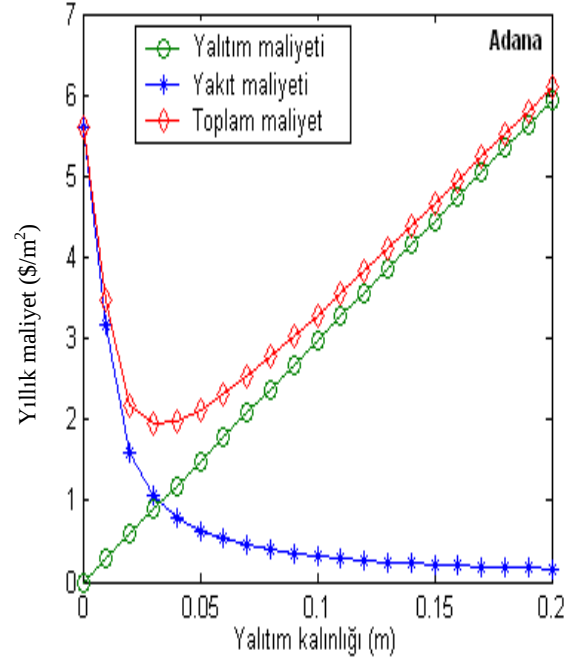


(b) Dıştan Yalıtımlı Duvar

Şekil 5.6. Muş ili için farklı yakıt türlerine göre yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç arasındaki ilişki (Meteorolojik değerler ve ANN)

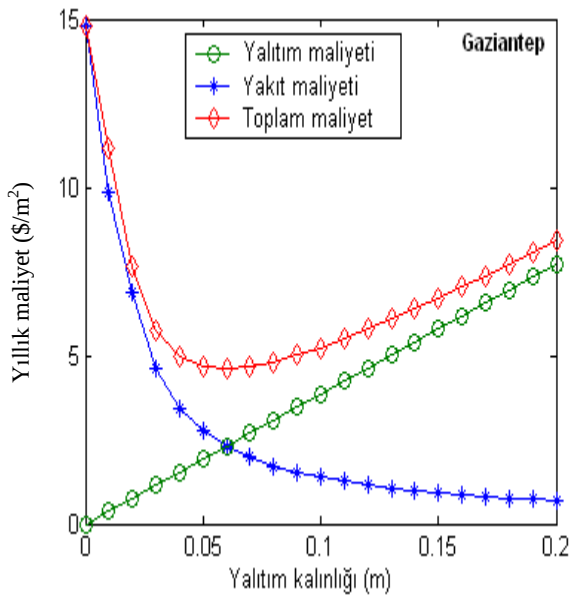


(a) Sandviç Duvar

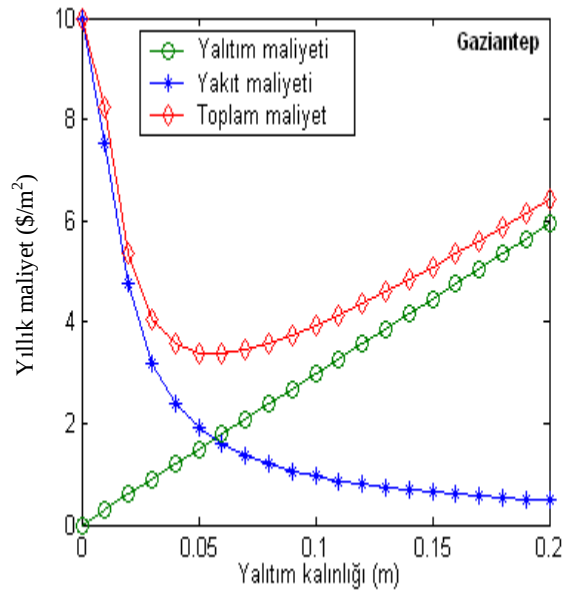


(b) Dıştan Yalıtımlı Duvar

Şekil 5.7. Adana ili için yalıtım kalınlığının yıllık maliyete etkisi

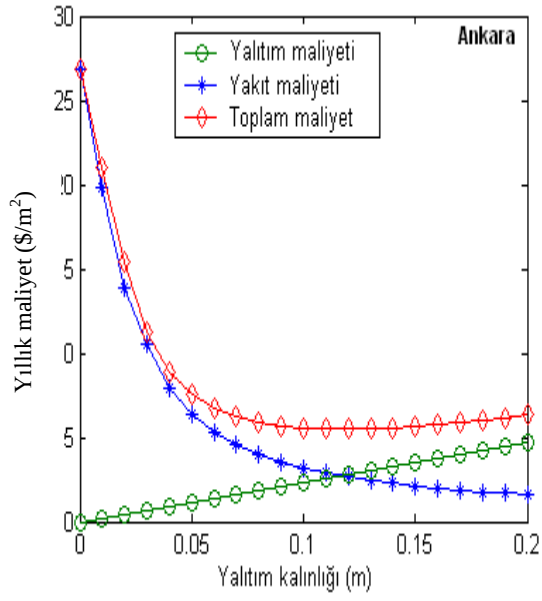


(a) Sandviç Duvar

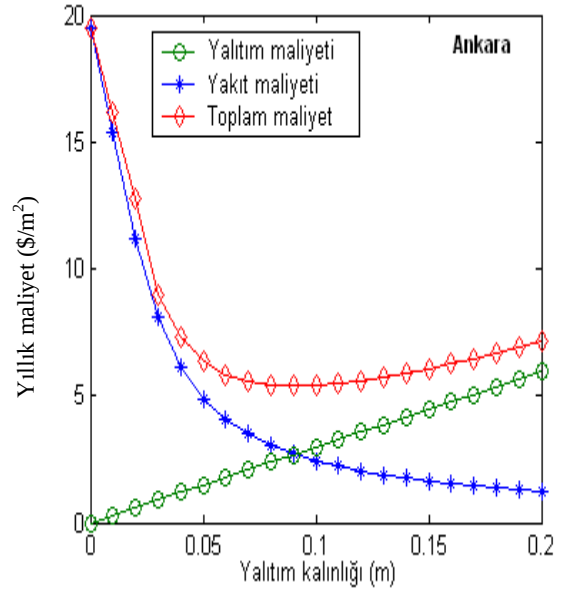


(b) Dıştan Yalıtımlı Duvar

Şekil 5.8. Gaziantep ili için yalıtım kalınlığının yıllık maliyete etkisi

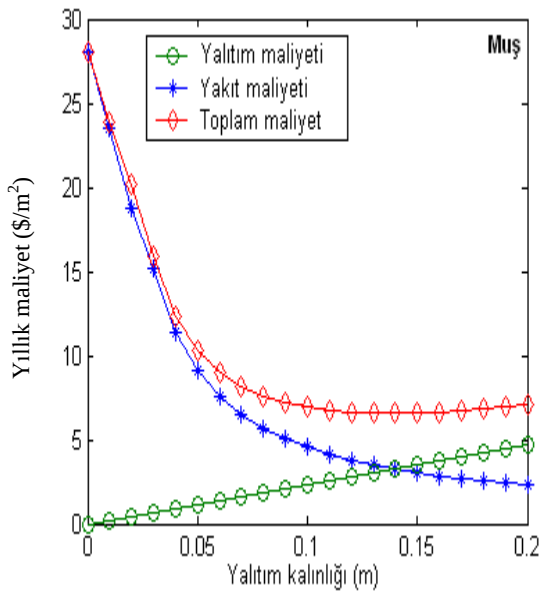


(a) Sandviç Duvar

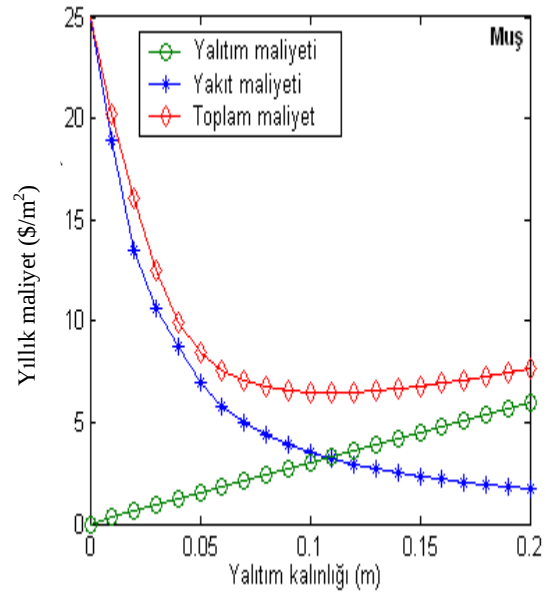


(b) Dıştan Yalıtımlı Duvar

Şekil 5.9. Ankara ili için yalıtım kalınlığının yıllık maliyete etkisi



(a) Sandviç Duvar



(b) Dıştan Yalıtımlı Duvar

Şekil 5.10. Muş ili için yalıtım kalınlığının yıllık maliyete etkisi

Tablo 5.4 'de Adana, Gaziantep, Ankara ve Muş illeri için sandviç duvarın optimum yalıtım kalınlıklarının yakıt türlerine göre değişimi görülmektedir. Bütün yakıt türleri için en yüksek yalıtım kalınlığı Muş ili için, en düşük yalıtım kalınlığı ise Adana ili için tespit edilmiştir. DMİ verilerine göre sandviç duvar için en yüksek optimum yalıtım kalınlığı Muş ili için 0.1562 m (yakıt türü fuel-oil), en düşük optimum yalıtım kalınlığı Adana ili için 0.0379 m (yakıt türü doğal gaz) olarak belirlenmiştir. YSA ile yapılan çalışmada ise bu değerler Muş ili için 0.1565 m, Adana ili için ise 0.0375 m olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.5' de, Adana, Gaziantep, Ankara ve Muş illeri için dıştan yalıtımlı duvarın optimum yalıtım kalınlıklarının yakıt türlerine göre değişimi görülmektedir. Tablodan görüldüğü gibi en yüksek optimum yalıtım kalınlığı enerji kaynağı olarak fuel-oil kullanıldığı zaman elde edilmektedir. En düşük optimum yalıtım kalınlığı ise doğal gaz enerji kaynağı kullanıldığı zaman elde edilmiştir. Dıştan yalıtımlı duvar için dört il içinde en yüksek optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla 0.1609 m ve 0,1612 m olarak hesaplanmıştır. Tespit edilen en düşük optimum yalıtım kalınlıkları ise Adana iline ait olup sırasıyla 0.0426 m ve 0.0422 m olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.4. Adana, Gaziantep, Ankara ve Muş illerinde sandviç duvar tipinde optimum yalıtım kalınlıklarının yakıt türlerine bağlı değişimi

İLLER	OPTİMUM YALITIM KALINLIĞI (m)					
	DMİ			YSA		
	Kömür	Doğal Gaz	Fuel-oil	Kömür	Doğal Gaz	Fuel-oil
Adana	0.0425	0.0379	0.0659	0.0421	0.0375	0.0653
Gaziantep	0.0743	0.0676	0.1085	0.0762	0.0694	0.1111
Ankara	0.0891	0.0814	0.1283	0.0896	0.0818	0.1290
Muş	0.1100	0.1009	0.1562	0.1102	0.1010	0.1565

Tablo 5.5. Adana, Gaziantep, Ankara ve Muş illeri için dıştan yalıtımlı duvarın optimum yalıtım kalınlıklarının yakıt türlerine göre değişimi.

İLLER	OPTİMUM YALITIM KALINLIĞI (m)					
	DMİ			YSA		
	Kömür	Doğal Gaz	Fuel-oil	Kömür	Doğal Gaz	Fuel-oil
Adana	0.0472	0.0426	0.0706	0.0468	0.0422	0.0700
Gaziantep	0.0790	0.0723	0.1132	0.0809	0.0740	0.1157
Ankara	0.0937	0.0860	0.1329	0.0943	0.0865	0.1336
Muş	0.1146	0.1055	0.1609	0.1148	0.1057	0.1612

Yalıtım maliyetinin, yıllık enerji maliyetine oranı olarak ifade edilen geri ödeme süreleri sandviç duvar için Tablo 5.6 'da, dıştan yalıtımlı duvar için ise Tablo 5.7 'de verilmiştir. Geri dönüşüm süresinden sonraki yıllarda, yalıtımla elde edilen kazanç, kullanıcılara ve dolayısıyla da ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır.

Geri ödeme süresi, IDG sayılarının artmasıyla azalmaktadır. Yalıtım kalınlığı ise DG sayılarının artmasıyla artar. Çünkü IDG sayılarının düşük olduğu sıcak iklimlerde daha düşük yalıtım kalınlıklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Buna bağlı olarak DG sayılarının artmasıyla, yalıtım kalınlığında artış görülmekte ve dolayısıyla da geri ödeme süresi azalmaktadır. Her iki duvar tipinde de en düşük geri ödeme süresi Muş ilinde, en yüksek geri ödeme süresi ise Adana ilinde gerçekleşmiştir. Sandviç duvarda DMİ ve YSA model verileri için en düşük geri ödeme süreleri sırasıyla 1.388 ve 1.389 yıl, en yüksek geri ödeme süreleri ise 2.069 ve 2.063 olarak hesaplanmıştır. DMİ verileri ve YSA modeli ile elde edilen DG sayıları kullanılarak hesaplanan yalıtım kalınlıkları ve yıllık kazanç değerlerinin uyum halinde olduğu görülmektedir.

Tablo 5.6. Sandviç duvar tipi için hesaplanan geri ödeme süreleri

İLLER	GERİ ÖDEME SÜRESİ (yıl)					
	DMİ			YSA		
	Kömür	Doğal Gaz	Fuel-oil	Kömür	Doğal Gaz	Fuel-oil
Adana	2.361	2.430	2.069	2.355	2.424	2.063
Gaziantep	1.982	2.051	1.690	2.001	2.070	1.709
Ankara	1.846	1.915	1.554	1.850	1.919	1.558
Muş	1.679	1.749	1.388	1.681	1.750	1.389

Tablo 5.7. Dıştan yalıtımlı duvar tipi için hesaplanan geri ödeme süreleri

İLLER	GERİ ÖDEME SÜRESİ (yıl)					
	DMİ			YSA		
	Kömür	Doğal Gaz	Fuel-oil	Kömür	Doğal Gaz	Fuel-oil
Adana	2.168	2.237	1.876	2.162	2.231	1.869
Gaziantep	1.789	1.858	1.497	1.807	1.877	1.516
Ankara	1.652	1.721	1.360	1.657	1.726	1.365
Muş	1.485	1.555	1.194	1.487	1.557	1.195

6. MATLAB GUI İLE KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI

Önceki bölümlerde, meteorolojik veriler kullanılarak güneş ışıınımı, sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin akıllı sistemler ile ileriye dönük tahmini ülkemizin genelini temsil edecek şekilde birçok şehre uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu bölümde ise, bu ileriye dönük tahmin çalışması için Matlab GUI (Graphical User Interface) ile ara yüz oluşturulmuş ve son kullanıcılar için bir yazılım gerçekleştirilmiştir. Matlab GUI uygulamalarının gerekliliğinin temel sebeplerinin başında günümüzde hazırlanan programların grafik tabanlı oluşu ve bu uygulamaların son kullanıcı tarafından kullanım kolaylığına sahip olması gelmektedir. Aşağıda öncelikle Matlab GUI hakkında kısaca bilgi sunulmuştur.

6.1. Matlab GUI

MATLAB, bilimsel ve mühendislik hesaplamaları için tasarlanmış ayrıca akademik araştırmalarda da kullanılan güçlü bir yazılım paketidir [92]. Uygulama programlarında, kullanıcının program ile etkileşim içinde olabilmesi ve veri değerlerinin giriş çıkışlarının anlamlı bir biçimde, kolayca değerlendirebilmesi için, çeşitli grafiksel bileşenlerden oluşan kullanıcı arayüzleri oluşturulmaktadır. Bu kullanım yapısına grafiksel kullanıcı arayüzü (Graphical User Interface / GUI) denilmektedir [93, 94].

Matlab GUI Matlab programcısı tarafından hazırlanan grafik tabanlı uygulamaların, son kullanıcıya fare ve klavye arabirimi ile interaktif olarak hitap etmesini sağlayan bir platformdur. GUI uygulamaları kullanıcı için içinde birçok kolaylık barındırmasına rağmen, programcılar açısından daha büyük zorlukları vardır. Çünkü bu uygulamalarda, klavyeden girişlerin yanı sıra, fare ile tıklamalar da ön plandadır ve bu gibi işlemlerin yapılacağını kullanıcıya belirtmek zordur [95]. Kullanıcı arayüzünün kalitesini gösteren etkenler arasında en önemlileri kullanım kolaylığı ve kullanıcının verimliliğini arttırmak sayılabilir. Kullanıcı arayüzünde kaliteyi arttırmanın en iyi yolu, belirli bir sıra halinde tanımlanmış ve iyi tasarlanmış işlemlerden oluşmasıdır.

İyi bir grafiksel kullanıcı arayüzünün en önemli karakteristik özelliği, kullanıcının yapmak istediği işlemlere hızlı bir şekilde yanıt verebilmesi, az zamanda çok iş yapması,

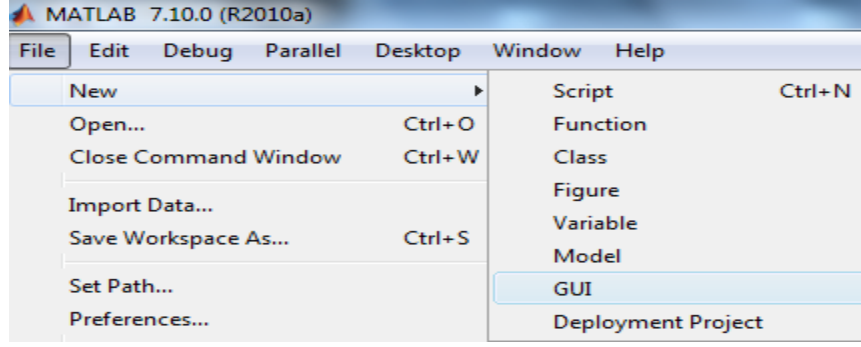
kolaylık ve rahatlık sağlamasıdır. Bu durum, arayüzün faydalı ve başarılı olduğunu göstermektedir. Faydalı grafiksel kullanıcı arayüzleri, kullanıcının bilgilenmesine önem verir, her türlü bilgiyi alması için büyük bir çaba harcar ve kullanıcı memnuniyetine sağlar. Bunu sağlayan arayüz başarılıdır. Yüksek performans gösteren, kullanıcıyı bekletmeyen arayüz faydalıdır. Arayüzü geliştiren kişi ya da kuruluşlar ise yaptıkları çalışmaları, kullanıcıyı teknik detaylara boğmadan, net, anlaşılır ve görsel olarak güzel bir şekilde sunmalıdırlar. Kullanıcı arayüz tasarımının ana fikri, kullanıcı ile sistem arasındaki bütünleşmeyi sağlamaktır. Kullanıcı ile sistem arasındaki bütünleşmeyi sağlamak için, sistem analiz yöntemlerini, arayüz tasarımını, yazılım mühendisliğini ve sistem değerlendirme metotlarını birleştirmek gerekmektedir [96, 97].

6.1.1. Matlab GUI Editörü

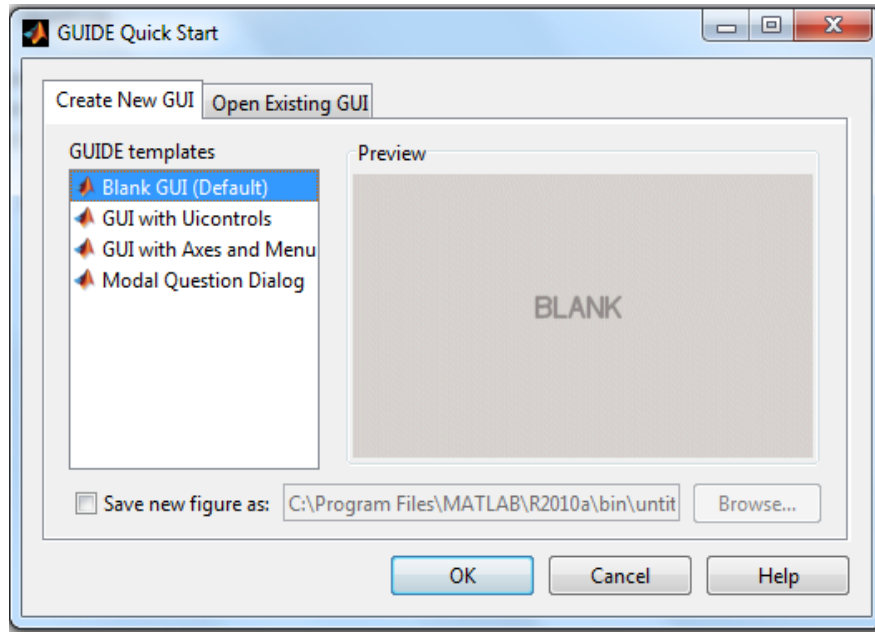
Özellikle GUI tasarımında, hızlı arayüzler tasarımıylaabilmek amacıyla bu işe ilk başlayan programcılar için MATLAB GUIDE aracının kullanılması büyük bir kolaylık sağlamaktadır. GUI arabiriminin kullanılmasıyla kolaylıkla ve yorulmadan sürükleyip bırak ve açılan pencereler yardımı ile özelliklerin değiştirilmesine dayanan bir yöntem kullanılmaktadır. Ayrıca, bu yöntemi kullanmak ilerde var olan bir GUI 'nin düzenlenmesi ve değişiklik yapılması bakımından da çok yararlıdır.

M-File programlama yönteminde, tüm GUI tasarımları ve callback program parçalarının yazılması tamamıyla programlama kodları kullanılarak yapılmaktadır. Burada tasarımcı her şeye hâkimdir. Bu teknik, uzman bir programlama bilgisi gerektirmektedir. Bu yöntem ile tasarım zamanı uzamasına rağmen programcı her türlü manipülasyonu yapabildiği için programcı açısından çok yararlıdır [98].

Matlab 'da GUI oluşturmak için, Şekil 6.1 'de gösterildiği gibi File menüsünden New / GUI veya komut penceresinden >> guide yazılmalıdır. Bu durumda Şekil 6.2'deki GUI penceresi ekrana gelmektedir.

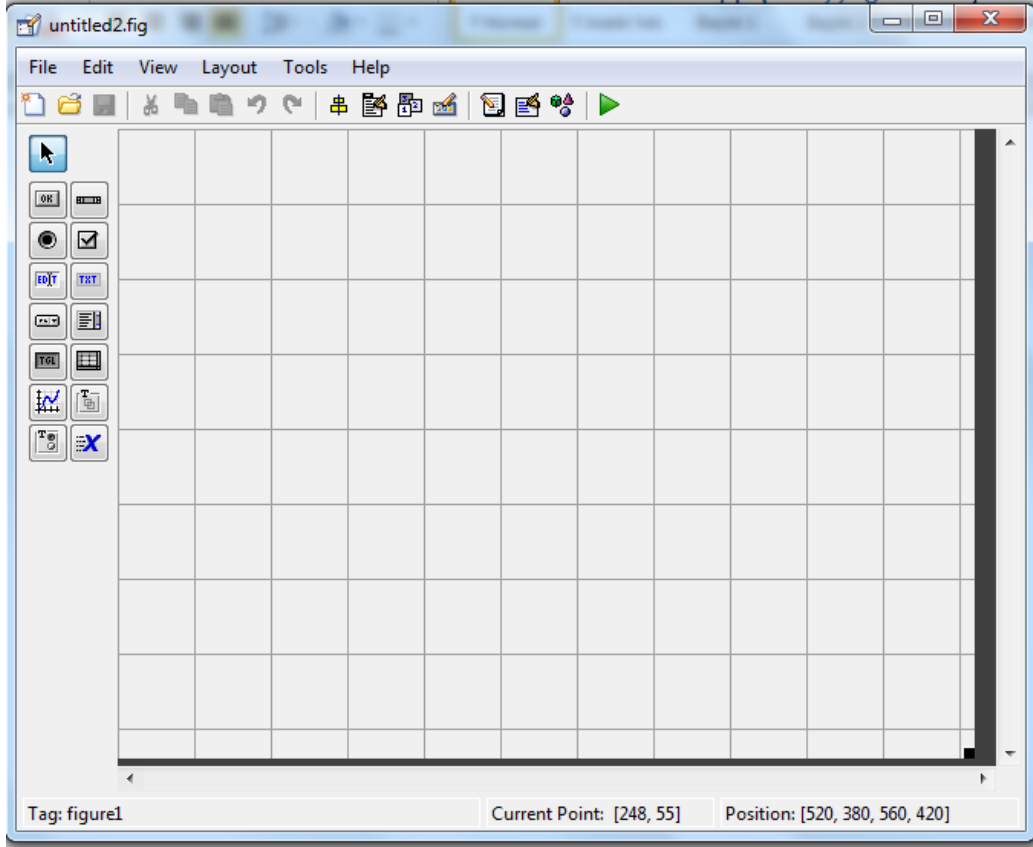


Şekil 6.1. GUI dosyası oluşturma menüsü



Şekil 6.2. GUI dosyası oluşturma penceresi

Açılan pencerede Create New GUI menüsünden yeni bir GUI dosyası, Open Existing GUI menüsünden ise daha önceden yüklü olan bir GUI dosyası açılabilir. Yeni bir GUI dosyası açıldığında Şekil 6.3 ‘deki boş GUI penceresi ekrana gelmektedir.



Şekil 6.3. Grafiksel kullanıcı arayüz geliştirme alanı

GUI dosyalarını kaydetmek ve çalıştırmak için “grafik” ve “m” dosyası olmak üzere iki dosya kullanılır.

Grafik dosyası (Dosya adı. fig): GUI ’nin genel görünümü ile ilgili kod ve açıklamaları, bileşenleri ve bileşenlerinin özelliklerini içeren grafik dosyasıdır.

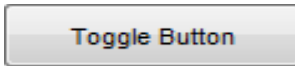
M dosyası (Dosya adı .m): GUI ’yi çalıştırmak için kullanılan ve bileşenlerin işlevlerini alt fonksiyonlar halinde kaydedildiği bir fonksiyon dosyasıdır [99, 100].

6.1.2. Matlab GUI Bileşenleri

Push button: Fare ile üzerine tıklandığında basılmış görünümü alan, fare bırakıldığında eski konumuna dönen, yaylı buton özelliğindeki bileşendir. Basılı konumdan normal konuma dönerken “callback” fonksiyonu işleme konulur. Bu butonun amacı GUI uygulamalarında girilen verilerle işlemi yapmaktır.



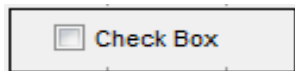
Toogle button: Fare ile üzerine tıklandığında basılı konuma geçen, tekrar tıklandığında eski konumuna dönen buton özelliğindeki bileşendir. Toggle button 'un bu özelliği sayesinde girilen verilerle Toggle button basılı konumdayken farklı bir işlem gurubu, basılı değilken farklı bir işlem gurubu uygulanabilir.



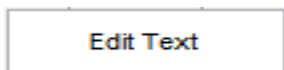
Radio button: Tıklandığında yuvarlak kutucuğa işaret koyan, tekrar tıklandığında işareti kaldıran bileşendir. GUI çıktısını, işaretlenen duruma göre sonuçlandırmak için kullanılır. Birden fazla seçeneğin olduğu, ancak seçeneklerden sadece herhangi birinin seçilebileceği hallerde bu nesne kullanılır. Buton grupları ile kullanılması genellikle tercih edilir.



Checkbox: Tıklandığında işaret koyan, tekrar tıklandığında işareti kaldıran işaretleme butonudur. İşaretleme butonlarına atanan özellikler, işaretli olduğunda işleme konulur, aksi durumda işleme konulmaz. Check Box 'lar ile kullanıcıya birçok seçenek sunulup, bu seçeneklerden istediklerini seçmesi sağlanır.



Edit text: Kullanıcının karakter dizisi girmesini sağlamaktadır. Kullanıcının metin girmesi gereken yerlerde kullanılır. Bir kullanıcıdan bilgi girişi ya da bir değer alınması söz konusu olduğunda giriş elemanı olarak sıklıkla kullanılan bir nesnedir. Edit Text, Input gibi düşünülebilir.



Static text: Başlık atamak, isim vermek ya da açıklama yapmak için kullanılan ve kullanıcı tarafından değiştirilemeyen kutucuklardır. Bunun dışında bu kutucuğu, sonuçların görüntülenebileceği ekranlar olarak da kullanmak mümkündür.

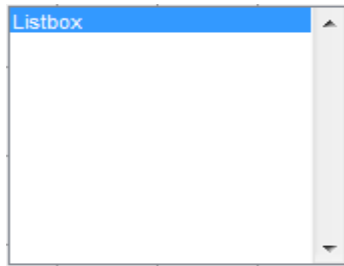


Slider: Fare ile oklara veya çubuğa tıklanarak yukarı-aşağı ya da sağa-sola hareket edilmesini sağlayan, görüntüyü nümerik değerlere karşılık gelecek şekilde kaydıran bileşendir.



Frame: “Axes” haricindeki bileşenleri çerçeve içine alarak gruplandırmaya yarayan dekoratif kutucuklardır.

List Box: Kullanıcı için birçok seçeneği kutucuk içinde görüntülemeyi sağlayan bileşendir. Kullanıcının bir seçeneği veya birkaç seçeneği aynı anda seçmesi sağlanabilir.

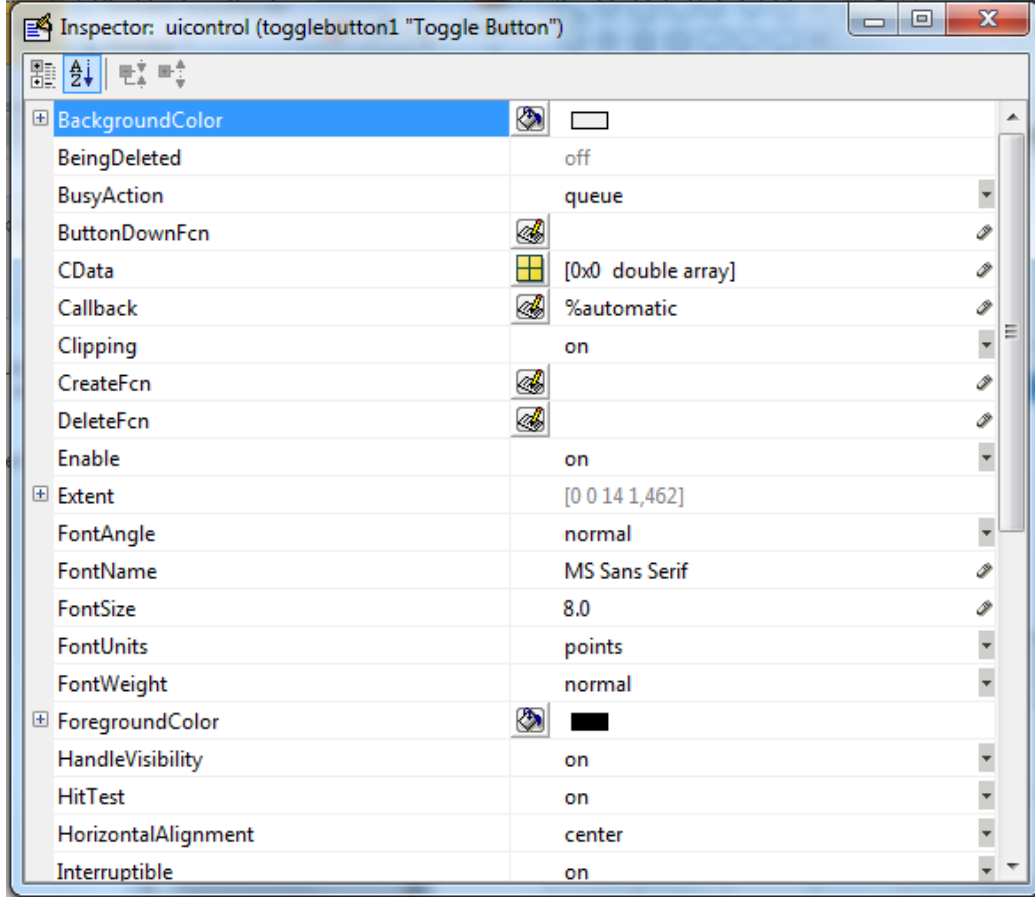


Popup Menü: Popup menü, List Box ile aynı çalışma ilkesine sahiptir. Ama eldeki seçenek sayısı, List Box kullanmaya mani olacak kadar fazla ise, seçenekler uzama menüsü halinde Popup Menü içinde belirtilir.

Axes: Grafiklerin görüntülenmesi için kullanılan, eksenleri ve grafik alanı içeren bileşendir.

6.1.3. Matlab GUI Bileşenlerinin Özellikleri

Matlab GUI bileşenlerinin özellikleri, bir GUI bileşenin boyutunun, renginin, etiketinin, yazı karakterinin vs. gibi birçok özelliğinin ayarlandığı bir penceredir. Bileşen üzerine çift tıklayarak bu pencere açılır. Şekil 6.4 'de özellik penceresi görülmektedir.



Şekil 6.4. Bileşenlere ait özellik penceresi

BackgroundColor: Seçilen nesnenin yüzey rengini belirlemek için kullanılmaktadır.

Busy Action: GUI işlemlerinin üst üste gelmesi durumunda, bileşenin davranışını belirlemektedir.

ButtonDownFcn: Bileşen üzerinde veya bileşene beş piksel yakınlıkta, fare ile tıklandığında çalıştırılacak olan fonksiyonu m-dosyasından çağıran komutun girildiği bölümdür.

CData: Bileşenin yüzeyinin alacalı renkler almasını sağlayan özelliktir. Bu özellik kullanıldığında bileşen üzerindeki yazı görüntülenmez.

Callback: GUI’de editöründe hazırlanan GUI kaydedildikten sonra, GUI’nin tüm kodlarını içeren m- dosyasının içine, bileşenin gerçekleştireceği işlemleri içeren “callback” fonksiyonun temeli oluşturulmaktadır.

CreateFcn: Bileşen oluşturulduğunda MATLAB programının çalıştırdığı “çalacak” fonksiyonudur. Yeni oluşturulacak bileşen için bu fonksiyon çalıştırılmaktadır.

DeleteFcn: Bileşen silinmeden önce MATLAB programı tarafından çalıştırılan “callback” fonksiyonudur.

Enable: Bileşenin pasif duruma gelmesini sağlamaktadır.

FontAngle: Bileşen üstündeki metnin hafif yatık veya çok yatık görüntülenmesini sağlamaktadır.

FontName: Bileşen üstündeki metnin yazı tipini belirlemek için kullanılmaktadır.

Font Size: Bileşenin üstündeki metnin yazı boyutunu belirlemek için kullanılmaktadır.

FontWeight: Bileşen üstündeki metnin kalın, koyu veya ince görüntülenmesini sağlamaktadır.

FontUnits: Bileşenin üstündeki yazının büyüklüğünün santimetre, inç, pixel, point, gibi birimlerle ifade edilmesini sağlar.

ForegroundColor: Bileşenin üstündeki yazı rengini belirlemek için kullanılmaktadır.

HandleVisibility: GUI ile ilgili “handle” fonksiyonlarının komut penceresinden görüntülenip görüntülenmemesini ayarlamak için kullanılmaktadır.

HorizontalAligment: Bileşenin üzerindeki yazının, “Position” özelliğinde belirtilen alan içinde, yatay olarak nasıl görüntülenmesi gerektiğini belirlemek için kullanılmaktadır.

Interruptible: “No” seçeneği seçilirse, bu bileşene tıklandıktan sonra işlem sürmekte iken başka bir bileşene işlem yaptırılmak istenildiğinde, ilk işlem sonlandırılmakta ve sonra ikinci işleme geçilmektedir. ”Yes” seçeneği seçilirse, önce ikinci işlem sonlandırılır daha sonra birinci işleme döner ve birinci işlemi sonlandırmaktadır.

Max: “Value” bölümüne girilmesine izin verilen maksimum değeri belirlemektedir.

Min: “Value” bölümüne girilmesine izin verilen minimum değeri belirlemektedir.

Position: Bileşenin GUI üzerindeki yerinin, koordinatlar cinsinden ve boyutlarının da sayısal olarak belirlenebilmesini sağlamaktadır.

SelectionHighlight: “On” seçeneği seçildiğinde, bileşen ile işlem yaptırıldıktan sonra bileşenin etrafı belirginleştirilip siyah bir kutucuğa dönüşmektedir. ”Off” seçeneği seçildiğinde ise işlem yaptırıldıktan sonra bileşen siyah çerçeve içine alınmamaktadır.

SliderStep: GUI çalıştığında bileşen üzerinde, “Slider” çubuğunun, oka her tıklandığında yatay veya düşey eksenlerde girilen değerler kadar hareket etmesini sağlamaktadır.

String: Bileşenin üzerine yazı yazmak için kullanılmaktadır.

Style: Bileşenin cinsini değiştirmek için kullanılmaktadır.

Tag: Bu bölüme girilen metin, bileşenin m-dosyasındaki “callback” alt fonksiyonunun ismi olarak atanmaktadır.

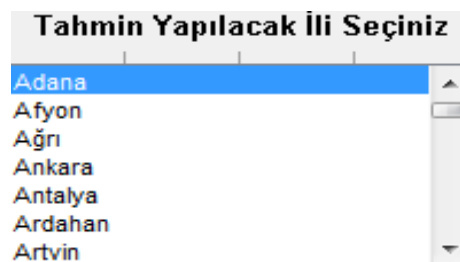
TooltipString: GUI penceresinde fare, bileşen üzerinde bekletildiğinde beliren ve bileşenle ilgili açıklamayı içeren metnin görüntülenmesini sağlamaktadır.

UIContextMenu: Bileşenin üzerinde farenin sağ tuşuna tıklandığında belirmesi istenen menünün, “Menu Editor” ile oluşturulan “Context” menüleri arasından seçilmesini sağlamaktadır.

Units: “Position” bölümüne girilen değerlerin birimini belirlemeye yaramaktadır [94].

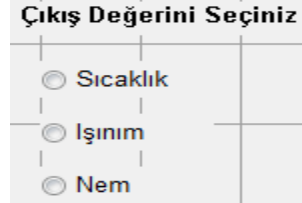
6.2. Matlab GUI ile Yapılan Uygulama

Öncelikle probleme uygun olarak son kullanıcılar için meteorolojik verileri içeren, her il için ayrı ayrı hazırlanan excel dosyaları yeni bir dizin oluşturulup içine yerleştirilmiştir. Daha sonra Matlab GUI programı çalıştırılmıştır. Oluşturduğumuz arayüzde amaç bulunan yıldan bir sonraki yılın ışınlım, sıcaklık ve bağıl nem verilerini tahmin etmektir. Açılan Matlab GUI ’de ilk olarak bir List Box bileşeni seçilmiştir. Bu bileşen ile daha öncede belirtilen, kullanıcı için gerekli birçok seçeneği burada görebiliyoruz. Bu bileşende ileriye dönük tahmin yapılması istenen iller tek tek Şekil 6.5’de görülecek şekilde girilmiştir.



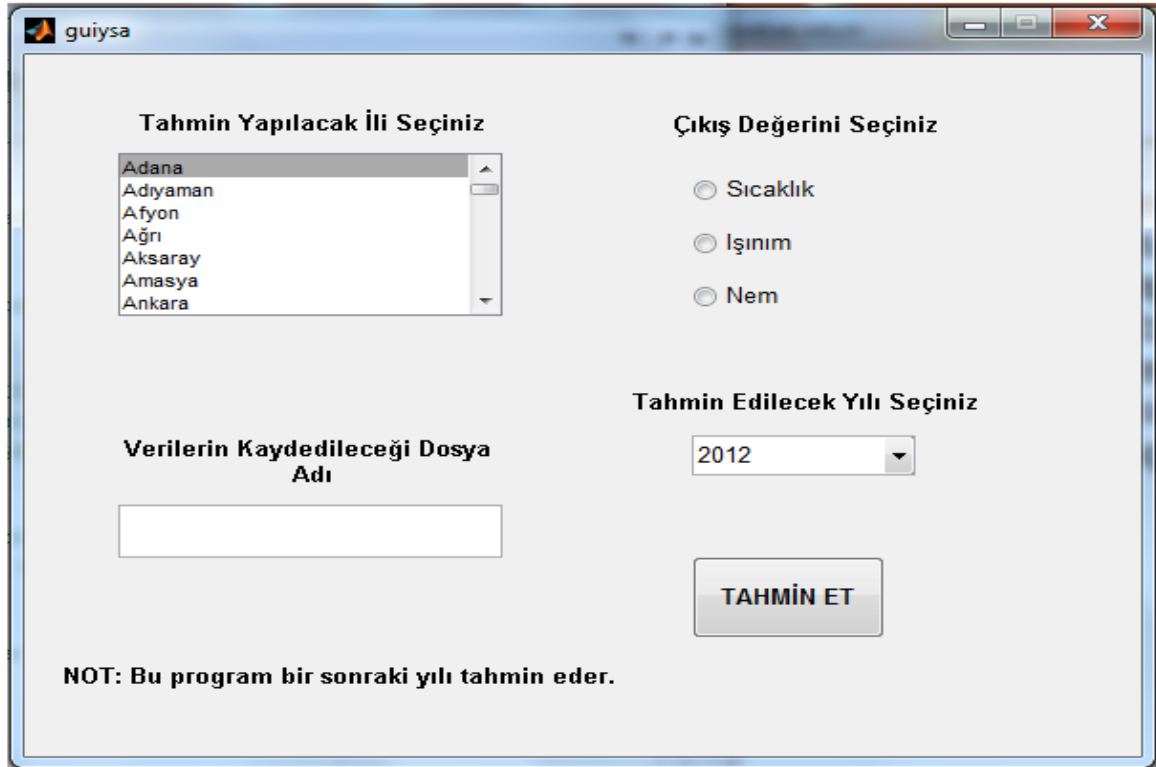
Şekil 6.5. Hazırlanan list box ’ın görünüşü

Bu işlem tamamlandıktan sonra YSA ile hazırlanan modelden, çıkış olarak istenen seçenekleri (sıcaklık, ıslanım, bağıl nem) belirtmek için, tıkladığında yuvarlak kutucuğa işaret koyan ve grafiğini çizen, tekrar tıkladığında işareti kaldıran bir bileşen olan radio button seçeneğinden üç adet Şekil 6.6 'daki gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 6.6. Hazırlanan radio button 'un görünüşü

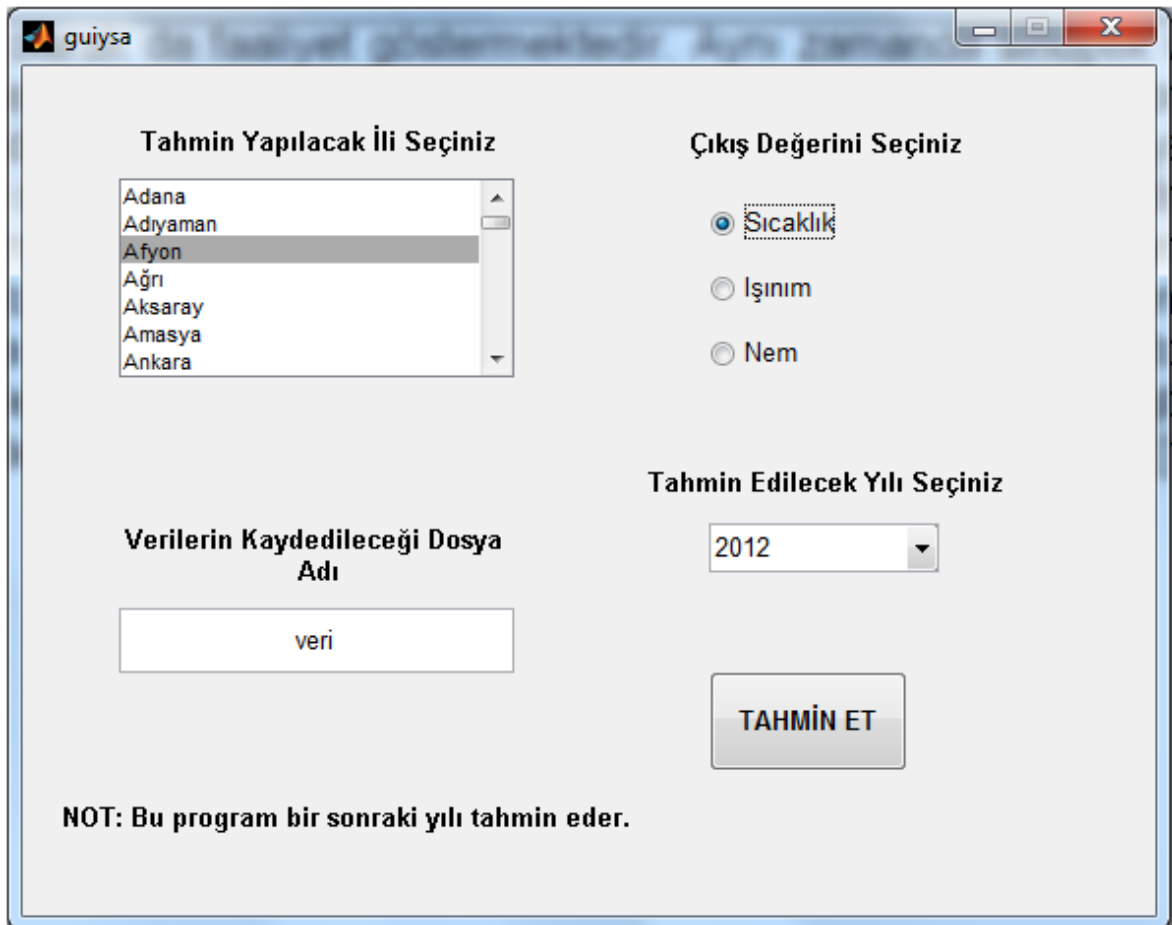
Bir diğer adım olarak, List Box ile hemen hemen aynı çalışma ilkesine sahip olan popup menü ile tahmin edilecek yılın girilmesi işlevine işlerlik kazandırılmıştır. Matlab GUI çalışırken hesaplanan değerlerin kaydedileceği dosya adını (karakter dizisi) girmek için imkân sağlayan edit text butonu yerleştirilmiştir. Yukarıda konumlandırılan bileşenlerin ne işe yaradığını belirten ifadeler ise kullanıcı tarafından değiştirilemeyecek şekilde, static text butonu kullanılarak oluşturuldu. Bu şekilde Şekil 6.7'de görülen, sade net ve anlaşılır bir arayüz tasarlanmıştır.



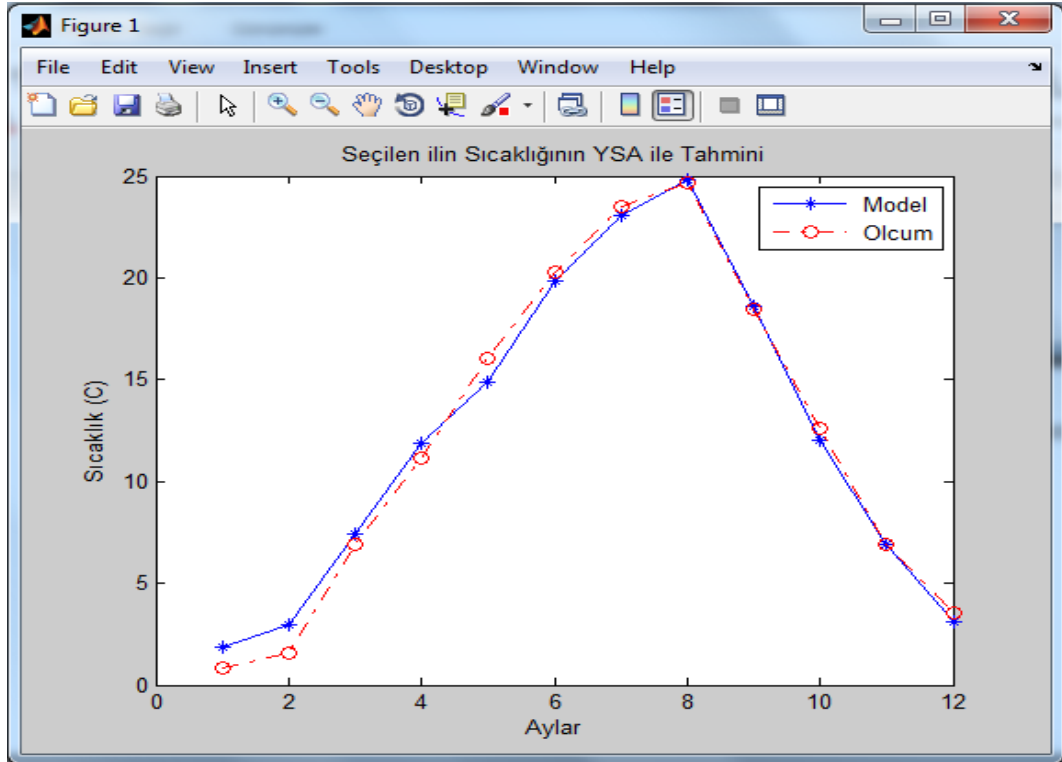
Şekil 6.7. Matlab GUI de hazırlanan arayüzün görünüşü

6.2.1. Matlab GUI İle Yapılan Arayüzün Kullanılması ve Örnek Uygulama

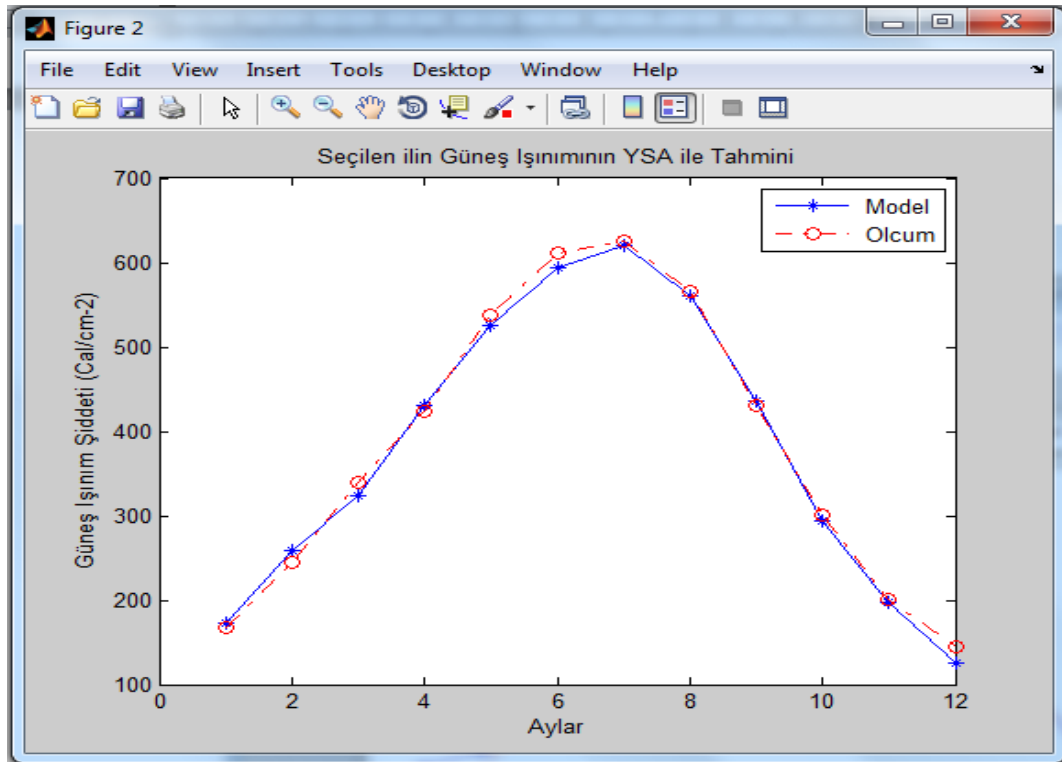
Örnek uygulamada ilk önce, Matlab GUI ile yapılan arayüzün bölüm üçte hazırlanan YSA modeli ile bağlantıları yapılmıştır. Daha sonra, çalıştırılan programda öncelikle kullanıcı herhangi bir ili fare ile seçerek işlemi başlatmaktadır. Örnek uygulamada Afyon ili seçilmiştir. Program çalıştıktan sonra çıkış verilerinin kaydedileceği dosya adı edit box'a yazılarak, tahmin edilecek yıl seçilmeli ve TAHMİN ET butonuna basılmalıdır. Program çalıştıktan sonra kullanıcı, radio button seçeneklerinden istenen çıkışa ait grafikleri tek tek veya hepsini işaretleyerek alabilmektedir. Bu uygulamaya ait arayüz şekil 6.8 'de, çıkış değerleri seçildikten sonraki grafikler ise Şekil 6.9, Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'de görülmektedir.



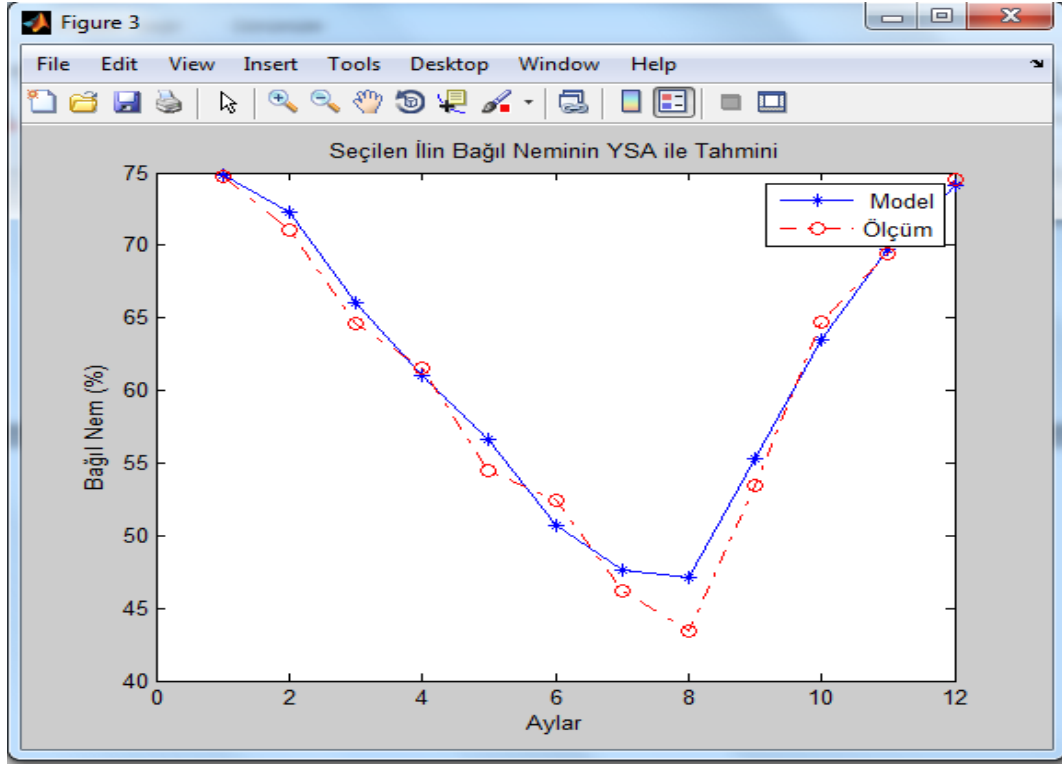
Şekil 6.8. Matlab GUI de Afyon ili için uygulama örneği



Şekil 6.9. Matlab GUI de Afyon ili için yapılan uygulamada sıcaklık grafiğı



Şekil 6.10. Matlab GUI de Afyon ili için yapılan uygulamada ışımm grafiğı



Şekil 6.11. Matlab GUI de Afyon ili için yapılan uygulamada bağıl nem grafiği

Hazırlanan arayüz sayesinde YSA modeli kullanılarak; sıcaklık, güneş ışıınımı ve bağıl nem değerlerinin tahminini gerçekleştirmek için, akıllı sistemlerle ilgili herhangi bir bilgiye veya tecrübeye ihtiyaç duyulmamaktadır. YSA modelini bilmeyen ama ileriye dönük tahmin yapmak isteyen kişi ve kuruluşlar, çalışmanın bu bölümünde hazırlanan arayüzü kullanarak istedikleri bilgilere çok rahat, bir şekilde ulaşarak çalışmalarını gerçekleştirebileceklerdir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye genelini temsil edecek şekilde seçilmiş elli il için, ısıtım sistemi tasarımı için kullanılan meteorolojik verilerin akıllı sistemler ile tahmini gerçekleştirilmiştir. Meteorolojik verilere, YSA ve UBSA modelleri uygulanarak ısıtım ve soğutma DG sayıları hesaplanmıştır. Dıştan yalıtımlı ve sandviç tip duvarların optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme sürelerini içeren bir ekonomik analiz gerçekleştirilmiştir. YSA modeli ile ileriye yönelik tahmin çalışmasına ilgi ve ihtiyaç duyan kişi veya kuruluşlar için bir arayüz oluşturulmuştur.

Mevcut çalışmada ele edilen önemli sonuçlar, dört ana başlık altında aşağıda özetlenmiştir.

7.1. YSA ve UBSA Model Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Meteorolojik veriler olan sıcaklık, güneş ışınımı ve bağıl nem değerlerinin ileriye dönük tahmini için yedi girişli, üç çıkışlı çok katmanlı, geriye yayımlı bir sinir ağı algılayıcı modeli kullanılmıştır. YSA modelinin performansı orta katmandaki nöron sayısı, giriş sayısı, öğrenme katsayısı gibi parametreler değiştirilerek, deneme yanılma yoluyla sağlanmıştır.

Aynı şekilde meteorolojik verilerin ileriye dönük tahmininde UBSA modeli de kullanılmıştır. YSA ve UBSA modellerinin performansları; RMSE, MAE, COV ve R^2 gibi istatistiksel parametreler kullanılarak tespit edilmiştir. Tablo 7.1’de YSA ve UBSA modelleri ile tahmini gerçekleştirilen sıcaklık, güneş ışınımı ve bağıl nem değerlerine ait performans kriterlerinin değişim aralıkları görülmektedir.

Tablo 7.1. YSA ve UBSA model verileri için performans kriterleri değişim aralıkları

		R^2	RMSE	COV, %	MAE
YSA	Sıcaklık (°C)	0.9867-0.9999	0.0062-0.0615	0.0086-1.2070	0.0051-0.0459
	Bağıl nem (%)	0.9960-0.9998	0.0112-0.0497	0.0717-0.3581	0.0084-0.0386
	Güneş ışınımı (cal/cm ²)	0.9941-0.9998	0.0084-0.0717	0.0019-0.2974	0.0068-0.0572
UBSA	Sıcaklık (°C)	0.9918-0.9999	0.3128-1.025	0.0923-22.45	0.2451-0.881
	Bağıl nem (%)	0.9910-0.9997	0.0287-0.03853	0.0467-0.7557	0.0246-0.3113
	Güneş ışınımı (cal/cm ²)	0.9919-0.9999	0.1857-0.4448	0.0811-0.6679	0.1543-0.3634

R^2 değerlerinin bire, RMSE ve MAE değerlerinin ise sıfıra yakın olmasından dolayı model tahminleri ile ölçüm değerleri arasındaki bağımlılığın kuvvetli olduğu söylenebilir. Aynı şekilde COV değerlerinin sıfıra yaklaşması değişkenliğin azaldığını, yüze yaklaşması ise değişkenliğin arttığını göstermektedir. Dolayısıyla yapılan çalışmada standart sapmanın ortalamaya oranının yüzdelik kısmının Ardahan dışındaki iller için sıfıra oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. Model performans kriterlerine göre (R^2 , RMSE, COV ve MAE) YSA ve UBSA modellerinin meteorolojik verileri (sıcaklık, güneş ışıınımı ve bağıl nem) yüksek bir hassasiyetle tahmin edilmiştir. YSA ve USBA modelleri kendi aralarında karşılaştırıldıklarında sıcaklık, güneş ışıınımı ve bağıl nem değerlerinin YSA modeli tahmininin daha başarılı olduğu görülmüştür.

Meteorolojik veriler kullanılarak akıllı sistemler ile oluşturulan güneş ışıınımı şiddeti değerlerinden yola çıkılarak Türkiye için yıllık güneş enerjisi potansiyeli haritaları hazırlanmıştır. YSA ve UBSA model verileri ile hazırlanan bu haritalara göre; Van, Diyarbakır, Mardin, Niğde ve İzmir illerinin güneş enerjisi potansiyellerinin yüksek, Ordu ve Eskişehir illerinin ise düşük olduğu tespit edilmiştir.

7.2. Derece-Gün Sayılarının Değerlendirilmesi

Türkiye genelini temsil edecek şekilde seçilen elli il merkezi için DG sayılarının hesaplanmasında, DMİ 'nin 2001 - 2011 yılları arasında ölçülen uzun dönem sıcaklık değerleri ile YSA ve UBSA modelleri ile bu yıllar için tahmin edilen sıcaklık değerleri kullanılmıştır. IDG sayıları için denge noktası sıcaklığı 16 °C ve 18 °C olarak seçilmiştir.

Çalışma yapılan elli il içerisinde IDG sayıları en büyük, dolayısıyla ısıtma ihtiyacı en fazla olan iller Erzurum, Kars ve Ağrı olarak belirlenmiştir. YSA modeli verileri ile 18 °C için IDG sayıları sırasıyla; 4038, 4028 ve 3738 'dir. Isıtma ihtiyacı en az olan iller ise Mersin Antalya ve Adana olarak tespit edilmiştir. YSA modeli verileri ile 18 °C için IDG sayıları sırasıyla, 386, 532 ve 561 olarak bulunmuştur.

YSA model verileri kullanılarak, 18 °C denge noktası sıcaklığı için hesaplanan IDG sayıları esas alınarak, IDG bölgeleri oluşturulmuştur. I. bölgede altı il, II. bölgede on sekiz il, III: bölgede on dokuz il, IV. bölgede dört il ve V. bölgede de üç il yer almaktadır.

Yapılan çalışmada belirlenen II. Bölgeye, TS-825 'de III. Bölgede olan üç il (Artvin, Kırklareli, Tokat), belirlenen III. Bölgeye ise, TS-825 'de bulunan altı il (Kayseri, Erzincan, Kastamonu, Gümüşhane, Yozgat, Sivas) dâhil edilmiştir. TS-825 'de olmayan V. Bölge oluşturulmuştur (Kars, Erzurum, Ardahan). Dolayısıyla TS-825 tarafından IDG sayıları esas alınarak öngörülen yalıtım kalınlıklarının, yapılan çalışmaya göre bölge değiştirmeyen iller için yeterli, bölge değiştiren iller için ise fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden TS-825 'in güncellenmesi ekonomik ve çevresel faktörler açısından önem taşımaktadır.

Benzer şekilde, SDG sayıları 22 °C ve 24 °C denge noktası sıcaklıkları için hesaplanmıştır. Elli il için yapılan çalışmada; DMİ verileri, YSA model verileri ve UBSA verileri kullanılarak SDG sayıları hesaplanmıştır. 22 °C denge noktası için hesaplanan en yüksek SDG sayılarına sahip iller Şanlıurfa, Diyarbakır ve Adıyaman olarak tespit edilmiştir. YSA model verileri ile hesaplanan SDG sayıları sırasıyla 1022, 819 ve 843 olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışma ile üç SDG bölgesi önerilmektedir.

Çalışma yapılan iller için 18 °C (IDG için) ve 22 °C (SDG için) denge noktası sıcaklığında DMİ, YSA ve UBSA model verileri ile hesaplanan DG sayılarının haritaları hazırlanmıştır. Bu haritalara göre de DMİ verileri ile YSA model verileri gösterimlerinin uyum içinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca DG değerlerinin literatürde verilen değerlerle uyum içinde olduğu görülmüştür.

7.3. Ekonomik Analizin Değerlendirilmesi

Ekonomik analiz için iki farklı duvar tipi üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Bunlardan biri dıştan yalıtımlı duvar, diğeri ise sandviç duvardır. Yalıtım malzemesi olarak geliştirilmiş polistren kullanılmıştır. Farklı DG bölgelerinde olan dört farklı il (Adana, Gaziantep, Ankara, Muş), üç farklı yakıt türü (kömür, doğalgaz, fuel-oil) ve yalıtım malzemesi olarak ise geliştirilmiş polistren için yalıtım kalınlıkları ile yıllık kazanç arasındaki ilişki hesaplanmıştır.

Çalışma için seçilen dört il içerisinde optimum yalıtım kalınlığı en yüksek olan il Muş olarak belirlenmiştir. Çünkü optimum yalıtım kalınlığı, DG sayısı ve yakıt maliyetinin artması ile artmaktadır. DG sayısı yüksek olan soğuk iklimlerde ısı kaybını azaltmak için

daha fazla yalıtım kalınlığına ihtiyaç duyulmasından dolayı Muş ili için yalıtım kalınlığı fazladır. En düşük yalıtım kalınlığı ise Adana ili için tespit edilmiştir.

Sandviç tipi duvarda YSA modeli ile hesaplanan optimum yalıtım kalınlığı Adana ili için 0.0375 m, Gaziantep ili için 0.0694 m, Ankara ili için 0.0818 m ve Muş ili için 0.1010 m olarak hesaplanmıştır. Dıştan yalıtımlı duvar tipinde ise YSA modeli ile belirlenen optimum yalıtım kalınlığı Adana ili için 0.0422 m, Gaziantep ili için 0.0740 m, Ankara ili için 0.0865 m ve Muş ili için 0.1057 m olarak elde edilmiştir.

YSA model verileri ile yapılan çalışmada Muş ili için sandviç duvarın optimum yalıtım kalınlığı kömür, doğal gaz ve fuel-oil yakıt türlerine göre sırasıyla 0.1102 m, 0.1010 m ve 0.1565 m, olarak tespit edilmiştir. YSA model verilerine göre Adana ili için ise kömür, doğal gaz ve fuel-oil yakıt türlerine göre sırasıyla 0.0421 m, 0.0375 m ve 0.0653 m olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde dıştan yalıtımlı duvar tipi içinde YSA ile hesaplanan değerlere göre de çalışılan dört il içerisinde optimum yalıtım kalınlığı en yüksek olarak, fuel-oil yakıt için 0.1612 m olarak Muş ili tespit edilmiştir. YSA ile tespit edilen en düşük optimum yalıtım kalınlıkları Adana iline ait olup kömür, doğal gaz ve fuel-oil yakıt türlerine göre sırasıyla 0.0468 m, 0.0422 m ve 0.07 m olarak hesaplanmıştır. Sandviç duvarda olduğu gibi, dıştan yalıtımlı duvarda da DMİ verileri ile hesaplanan optimum yalıtım kalınlıklarının YSA ile hesaplanan değerlere oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir.

Geri ödeme süresinin, IDG sayısının artmasıyla azaldığı, yalıtım kalınlığının ise IDG sayısının artmasıyla, arttığı tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak IDG sayısının artmasıyla, yalıtım kalınlığında artış görülmekte ve dolayısıyla da geri ödeme süresi azalmaktadır. Sandviç duvar tipinde en düşük geri ödeme süresi YSA modeli ile 1.389 yıl olarak Muş için hesaplanmıştır. Benzer şekilde dıştan yalıtımlı duvar için en düşük geri ödeme süresi YSA modeli ile 1.365 yıl olarak belirlenmiştir. Çalışma yapılan iller arasında geri ödeme süresi en uzun olan Adana ili olup, sandviç duvar tipi için YSA modeli ile hesaplanan geri ödeme süresi 2.063 yıl, dıştan yalıtımlı duvar tipi için ise 1.869 yıldır.

7.4. Arayüz Çalışmasının Değerlendirilmesi

Günümüzde hazırlanan programların çoğu grafik tabanlıdır. Bu grafik tabanlı uygulamalarda aranan en önemli özellik, son kullanıcıların bu arayüzü kolaylıkla kullanmasıdır. Bunu sağlamanın en iyi yolu, arayüzün belirli bir sıra halinde iyi tanımlanmış ve tasarlanmış işlemlerinden oluşmasıdır. Yapılan bu çalışmada meteorolojik verilerden yola çıkılarak ileriye dönük tahmin çalışması için Matlab GUI programı ile grafik tabanlı bir uygulama geliştirilmiştir. Böylelikle son kullanıcıların fare veya klavye arabirimi ile interaktif olarak istediği veriye sahip olmasını sağlayacak bir platform oluşturulmuştur. Hazırlanan arayüz sayesinde akıllı sistemlerle ilgili herhangi bir bilgiye veya tecrübeye ihtiyaç duyulmaksızın YSA modeli kullanılarak; sıcaklık, güneş ışıınımı ve bağıl nem değerlerinin tahmini gerçekleştirilebilmektedir. YSA modelini bilmeyen ama ileriye dönük tahmin yapmak isteyen kişi ve kuruluşlar tarafından rahat ve kolay kullanılabilecek, bir arayüz hazırlanmıştır. Bu arayüzün kullanım aşamaları adım adım açıklanarak istenilen bilgilere rahat ve kolay bir şekilde ulaşılması sağlanmıştır. Kolay ve sade bir arayüz oluşturularak, kullanıcıların bu arayüzü kullanım verimliliği arttırılmaya çalışılmıştır.

7.5. Öneriler

Yapılan çalışmada meteorolojik veriler yardımıyla sıcaklık, bağıl nem ve ışıınım değerlerinin akıllı sistemlerle tahmini için Türkiye 'deki elli il merkezindeki veriler kullanılarak modelleme yapılmıştır. Yapılan model çalışması dünyada benzer iklim özellikleri gösteren diğer bölgelere de uygulanabilir.

Akıllı sistemler ile meteorolojik veriler olan; sıcaklık, bağıl nem ve ışıınım değerleri yüksek hassasiyetle tahmin edilmiştir. Dolayısıyla yağış miktarı, rüzgar hızı gibi diğer meteorolojik parametrelerin ileriye dönük tahmininde akıllı sistemler kullanılabilir.

Yapılan diğer çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da sadece il merkezlerindeki istasyonlar dikkate alınmıştır. Ancak il merkezi verilerinin tüm il sınırlarını temsil edip etmeyeceği açık olmadığından, il merkezleri dışındaki istasyon verileri de dikkate alınarak çalışma genişletilebilir.

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, akıllı sistemler ile mevcut çalışmanın devamı olarak derece-saat sayıları ve ASHRAE'ye göre ısıtma ve soğutma tasarım değerleri tespit edilebilir.

İstatistiki çalışmalarda en yüksek ve en düşük değerlerin çok fazla dikkate alınmadığı bilinmektedir. Dolayısıyla çok kısa zaman dilimleri içinde etkili olan parametreler dikkate alınmamaktadır. Ancak ileriye dönük iklim simülasyonlarında bu değerlerden yola çıkılmaktadır. Bu nedenle ekstrem hava olaylarını da içine alacak şekilde akıllı sistemler ile sıcaklık, bağıl nem ve ışıyım değerleri tahmin edilerek çeşitli iklim senaryolarına göre ilerideki yıllar için önlemler alınabilir.

Halen ısıtma ve soğutma yükü hesabında kullanılan dış ortam şartlarının ve DG bölgelerinin yeniden düzenlenmesi standartlarının da buna göre yenilenmesi gerekmektedir. Bazı merkezlerde uygun olmakla birlikte, ülkemizde TS-825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardı bazı bölgelerde sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin büyük farklılıklar gösterdiği açıkça görülmektedir. Bu da ısı, ekonomik ve çevre açısından istenmeyen farklı kapasitede proje uygulamalarının gerçekleşmesine neden olmaktadır. Dış ortam şartlarındaki değişim, özellikle bu sektördeki firmaların ürün çeşitlerini gözden geçirmesini gerektirecektir. Gelişen teknoloji ile HVAC sistemleri projelendirme standartlarını günümüz teknolojilerini de kapsayacak şekilde güncellenmesi gerekmektedir. Yeni hazırlanacak standart sadece bu çalışmada da önerilen sıcaklıkların değişimini kapsamamalı, bina inşasındaki alışkanlıkları da göz önünde tutan yeni katsayıları da içermelidir. “TS-825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardındaki DG bölgelerinin yeniden düzenlenmesi yanı sıra, “TS-2164 Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları” içinde yer alan dış hesap parametrelerinin değişimiyle de uyumluluk sağlanmalıdır.

8. KAYNAKLAR

- [1] **Özcan, E. R., Kayman, S.,** Enerji Tüketimindeki Değişimin Küresel Isınmaya Etkisi ve ABD, AB ülkeleri, Japonya, Çin ve Türkiye Karşılaştırması: 1980-2004.
- [2] **Dağdır C., Bolattürk, A.,** 2011. Sıcak iklim bölgelerindeki binalarda ısıtma ve soğutma yüküne göre tespit edilen optimum yalıtım kalınlıklarının karşılaştırılması, *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 13/16 nisan 2011, İzmir.
- [3] **Jacovides, C. P., Tymvios, F. S. Assimakopoulos, V. D., Kaltsounides N. A.,** 2006. Comparative study of various correlations in estimating hourly diffuse fraction of global solar radiation, *Renewable Energy*, 31, 2492–2504.
- [4] **Çetin, M., Eğrican N.,** 2010. Güneş enerjisi: ekonomiye ve istihdama katkısı, *Solar Future 2010 İstanbul*, Bildiriler Kitabı, 119-121.
- [5] **Görgün, T. ,** 2010. Uluslararası ticaret çerçevesinde güneş enerjisi teknolojileri, önemli ülkeler ve Türkiye 'nin durumu, *Solar Future 2010 İstanbul*, Bildiriler Kitabı, 184-188.
- [6] **Yelmen, B., Yelmen, O. G.,** 2010. Akdeniz bölgesi için yatay düzleme gelen aylık ortalama tüm Güneş ışınımının tespiti, *Solar Future 2010 İstanbul*, Bildiriler Kitabı,, 15-19.
- [7] **Toğrul, T. İ., Toğrul, H., Evin, D.,** 2000. Estimation of monthly global solar radiation from sunshine duration measurement in Elâzığ, *Renewable Energy* 19,587-595.
- [8] **Tang, W., Yang, K., He J., Qin, J.,** 2010. Quality control and estimation of global solar radiation in China, *Solar Energy*, 84, 466–475.
- [9] **Bulut, H., Büyükalaca, O. ve Yılmaz, A.,** 1999. Türkiye 'nin 15 ili için Bazı İklim Verilerinin Eşitliklerle İfadesi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 51, 48-56.
- [10] **Said, S. A. M., Habib, M. A., Iqbal, M. O.,** 2003. Database for building energy prediction in Saudi Arabia, *Energy Conversion and Management*, 44, 191–201.
- [11] **Bulut, H., Büyükalaca, O. ve Yılmaz, A.,** 2007. Türkiye için ısıtma ve soğutma derece-gün bölgeleri, *ULIBTK '07 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, 30 Mayıs-2 Haziran 2007 Kayseri.
- [12] **Yılmaz, T. ve Bulut, H.,** 2001. Türkiye için yeni dış ortam sıcaklık tasarım değerleri, *V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, 3-6 Ekim2001 İzmir, 293-311.

- [13] **Behrang, M. A., Assareh, E., Ghanbarzadeh, A., Noghrehabadi, A. R.,** 2010. The potential of different artificial neural network (ANN) techniques in daily global solar radiation modeling based on meteorological data, *Solar Energy*, 84, 1468–1480.
- [14] **Şencan, A., Bezir, N. Ç.,** 2003. Ölçülebilen meteorolojik verilerle güneş radyasyonunun yapay sinir ağları metoduyla tayini, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, *Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu*, Mersin, 235–239.
- [15] **Cao J., Lin X.,** 2008. Study of hourly and daily solar irradiation forecast using diagonal recurrent wavelet neural networks, *Energy Conversion and Management*, 49, 1396–1406.
- [16] **Farade, D. A.,** 2009. Modeling of solar energy potential in Nigeria using an artificial neural network model, *Applied Energy*, 86, 1410–1422, 2009.
- [17] **Mubiru, J.,** 2008. Predicting total solar irradiation values using artificial neural networks, technical note, *Renewable Energy*, 33, 2329–2332.
- [18] **Benghanem, M., Mellit, A., Alamri, S. N.,** 2009. ANN-based modeling and estimation of daily global solar radiation data: a case study, *Energy Conversion and Management*, 50, 1644–1655.
- [19] **Jang, JS.R.,** 1993 ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system, *IEEE Trans Syst, Man, Cybernet*, 23 (3), 665–685.
- [20] **Cybenko, G.,** 1989. Approximation by superposition's of a sigmoidal function, *Mathematical Control Signals Systems*, 2, 303–314.
- [21] **Hornik, K., Stinchcombe, M., White, H.,** 1989. Multilayer feed-forward networks are universal approximations, *Neural Networks* 2, 359–366.
- [22] **Hornik, K.,** 1991. Approximation capability of multilayer feed forward networks, *Neural Networks*, 4, 251–257.
- [23] **Tymvios, F. S., Jacovides, C. P., Michaelides, S. C., Scouteli, C.,** 2005. Comparative study of Angstrom's and artificial neural networks methodologies in estimating global solar radiation, *Solar Energy*, 78, 752–762.
- [24] **Mellit A., Benghanem, M., Hadj Arab, A., Guessoum, A,** 2005. A simplified model for generating sequences of global solar radiation data for isolated sites: Using artificial neural network and a library of Markov transition matrices approach, *Solar Energy*, 79, 469–482.
- [25] **Mellit, A., Kalogiroub, S. A., Shaaric, S., Salhid, H., Hadj Arabe, A.,** 2008. Methodology for predicting sequences of mean monthly clearness index and daily solar radiation data in remote areas: Application for sizing a stand-alone PV system *Renewable Energy*, 33, 1570–1590.

- [26] **Mellit, A., Pavan, A. M.,** 2010. A 24-h forecast of solar irradiance using artificial neural network: Application for performance prediction of a grid-connected PV plant at Trieste, Italy, *Solar Energy*, 84, 807–821.
- [27] **Rahimikhoob, A.,** 2010, Estimating global solar radiation using artificial neural network and air temperature data in a semi-arid environment, Technical Note, *Renewable Energy* 35, 2131–2135.
- [28] **Alam, S., Kaushik, S. C., Garg, S. N.,** 2006. Computation of beam solar radiation at normal incidence using artificial neural network, *Renewable Energy*, 31, 1483–1491.
- [29] **Rehman, S., Mohandes, M.,** 2008., Artificial neural network estimation of global solar radiation using air temperature and relative humidity, *Energy Policy*, 36, 571–576.
- [30] **Sözen A., Arcaklıoğlu E.,** 2005. Solar potential in Turkey, *Applied Energy*, 80, 35–45.
- [31] **Azadeh, A., Maghsoudi, A., Sohrabkhani, S.,** 2009. An integrated artificial neural networks approach for predicting global radiation, *Energy Conversion and Management*, 50, 1497–1505.
- [32] **Elminir, H. K., Areed F. F., Elsayed T. S.,** 2005. Estimation of solar radiation components incident on Helwan site using neural networks, *Solar Energy*, 79, 270–279.
- [33] **Jiang, Y.,** 2008. Prediction of monthly mean daily diffuse solar radiation using artificial neural networks and comparison with other empirical models, *Energy Policy*, 36, 3833–3837.
- [34] **Jiang, Y.,** 2009. Computation of monthly mean daily global solar radiation in China using artificial neural networks and comparison with other empirical models, *Energy*, 34, 1276–1283.
- [35] **Lam, C. J., Wan, W. K. K., Yang, L.,** 2008. Solar radiation modeling using ANNs for different climates in China, *Energy Conversion and Management*, 49, 1080–1090.
- [36] **Lopez, G., Gueymard, C. A.,** 2007. Clear-sky solar luminous efficacy determination using artificial neural networks, *Solar Energy*, 81, 929–939.
- [37] **Lu, N., Qin, J., Yang, K., Sun, J.,** 2011. A simple and efficient algorithm to estimate daily global solar radiation from geostationary satellite data, *Energy*, 36, 3179–3188.
- [38] **Mubiru, J., Banda, E. J. K. B.,** 2008. Estimation of monthly average daily global solar irradiation using artificial neural networks, *Solar Energy*, 82, 181–187.

- [39] Qin, J., Chen, Z., Yang, K., Liang, S., Tang, W., 2011. Estimation of monthly-mean daily global solar radiation based on MODIS and TRMM products, *Applied Energy*, 88, 2480–2489.
- [40] Reddy, K. S., Ranjan, M., 2003. Solar resource estimation using artificial neural networks and comparison with other correlation models, *Energy Conversion and Management* 44, 2519–2530.
- [41] Şenkal, O., Kuleli, T., 2009. Estimation of solar radiation over Turkey using artificial neural network and satellite data, *Applied Energy*, 86, 1222–1228.
- [42] Şenkal, O., 2010. Modeling of solar radiation using remote sensing and artificial neural network in Turkey, *Energy*, 35, 4795–4801.
- [43] Şen, Z., Kadioğlu, M., 1998. Heating degree-days for arid regions, *Energy*, 23, No. 12, pp. 1089 – 1094.
- [44] Satman, A., Yalçınkaya, N., 1999, Heating and cooling degree-hours for Turkey, *Energy*, 24, 833–840.
- [45] Büyükalaca, O., Bulut, H., Yılmaz, T., 1999. Türkiye ’nin bazı illeri için derece-gün değerleri, *12. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, 8-10 Eylül Sakarya.
- [46] Badescu, V., Zamfir, E., 1999. Degree-days, degree-hours and ambient temperature bin data from monthly-average temperatures (Romania), *Energy Conversion & Management*, 40, 885–900.
- [47] Christenson, M., Manz, H., Gyalistras, D., 2006. Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland, *Energy Conversion and Management*, 47, 671–686.
- [48] Sahal, N., 2006. Proposed approach for defining climate regions for Turkey based on annual driving rain index and heating degree-days for building envelope design, *Building and Environment*, 41, 520–526.
- [49] Dombaycı, A., 2009. Degree-days maps of Turkey for various base temperatures, *Energy*, 34, 1807–1812.
- [50] Gelezenis, J. J., 2009. A simplified quadratic expression for the approximate estimation of heating degree-days to any base temperature, *Applied Energy*, 86, 1986–1994.
- [51] Martinaitis, V., Bieksa, D., Miseviciute, V., 2010, Degree-days for the exergy analysis of buildings, *Energy and Buildings*, 42, 1063–1069.
- [52] Yeşilata, B., Bayram, M., 2009. Isıtma ve soğutma derece-gün sayılarının entegrasyonu, *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 6-9 Mayıs, İzmir.

- [53] **Özel, M., Pıhtılı, K.,** 2008. Isıtma ve Soğutma Derece-Gün Değerlerini Kullanarak Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi, *Sigma*, Cilt: 2, Sayı: 3.
- [54] **Bolattürk, A.,** 2008, Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey, *Building and Environment*, 43, 1055–1064.
- [55] **Kaynaklı O.,** 2008. A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness, *Renewable Energy*, 33, 1164–1172.
- [56] **Şişman, N., Kahya, E., Aras, N., Aras, H.,** 2007. Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof (ceiling) for Turkey's different degree-day regions, *Energy Policy*, 35, 5151–5155.
- [57] **Büyükalaca, O., Bulut, H., Yılmaz, T.,** 2001. Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey, *Applied Energy*, 69, 269–283.
- [58] **Esen, H.,** 2007. Düşey borulu toprak kaynaklı ısı pompasının konutlardaki iklimlendirme sistemlerinde mevsimsel davranışın araştırılması, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [59] **Partal, T.,** 2007. Türkiye yağış miktarının yapay sinir ağları ve dalgacık dönüşümü yöntemleri ile tahmini, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [60] **Coşan,** 2006. Yapay sinir ağları ile Türkiye 'nin elektrik enerjisi ihtiyacının 2020 yılına kadar tahmini, *Lisans Bitirme Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [61] **Hebb, D. O.,** 1949. The organization of behavior, Wiley, New York.
- [62] **Zadeh, L. A.,** 1965. Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8, 338-353.
- [63] **Rumelhart, D. E., Hilton, G. E., Williams, R. J.,** 1986. Learning representations by back-propagating errors, *Nature*, 323, 533-536.
- [64] **Goldberg, D. E.,** 1989. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning addison- Wesley Pub. Co.
- [65] **Şen, Z.,** 2004. Yapay Sinir Ağları İlkeleri, Su vakfı Yayınları, İstanbul.
- [66] **Öztemel, E.,** 2006. Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- [67] **Çilliyüz, Y.,** 2006. Yapay sinir ağları ile çevre koşulları etkili bölgesel yük kestirimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [68] **Öcal, O.,** 2007. Yapay sinir ağları algoritması kullanılarak akarsu havzalarında yağış-akış-katı madde ilişkisinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

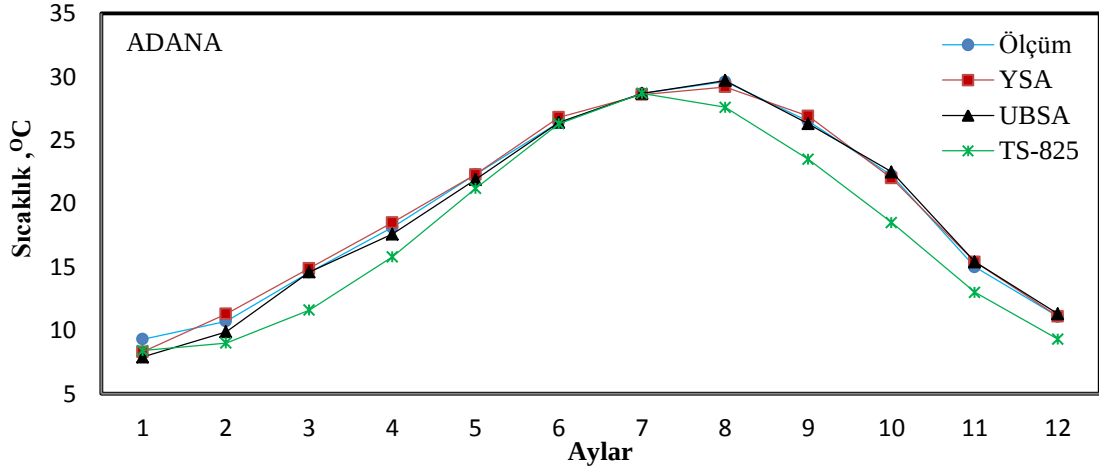
- [69] **Yurtoğlu, H.**, 2005. Yapay sinir ağları metodolojisi ile öngörü modellemesi: bazı makroekonomik değişkenler için Türkiye örneği, *Uzmanlık Tezi*, Ekonomik Modeller ve Stratejik Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [70] **Öztopal, A.**, 2007. Uydu ve yer kaynaklı meteorolojik değişkenlerle kısa vadeli yağış modellemesi için yapay sinir ağı yaklaşımı, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [71] **Mermer, M.**, 2007. Kentsel içme suyu ihtiyacının yapay sinir ağları ile tahmini, *Yüksek Lisans Tezi*, Celal Bayar üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- [72] **Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E., Erler, M.**, 2003. Mühendislikte yapay zeka uygulamaları-I, yapay sinir ağları, *Ufuk kitap kırtasiye*, Kayseri.
- [73] **Gökbulut, M.**, 2007. Ders notları, Fırat Üniversitesi.
- [74] **Pepe O.**, 2005. *Dört Mevsim Meteoroloji Bülteni*, 1, 3-4.
- [75] **Gedik, Z. G.**, 1992. Yapılarda Isısal Tasarım İlkeleri, YTÜ, İstanbul.
- [76] **Kadıoğlu M.**, 2010. http://www.sabah.com.tr/Yasam/2010/06/05/afetler_ve_meteorolojinin_onemi,
- [77] **Atik K., Deniz E., Yıldız E.**, 2007. Meteorolojik Verilerin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi, *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10 (1).
- [78] **Singh, K.P., Basant, A., Malik, A., Jain, G.**, 2009. Artificial neural network modeling of the river water quality, A case study, *Ecological modeling*, 220(6), 888-895.
- [79] **Doğan, E., Ateş, A., Yılmaz, E.C., Eren, B.**, 2008. Application of Artificial Neural Networks to Estimate Wastewater Treatment Plant Inlet Biochemical Oxygen Demand, *Environmental Progress*, 27(4), 439-446.
- [80] **Sevinç, S.**, 2006. Bursa 'da binaların ısıtılmasında gerekli olan enerji ve yakıt miktarının derece-gün yöntemiyle hesaplanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [81] **Akbayır, Ö.**, 2006. Derece-Gün Metodu ve Eskişehir İçin Derece-Gün Değerleri Tespiti, *Yüksek Lisans Tezi*, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [82] **Stathopoulou, M., Cartalis, C., Chrysoulakis, N.**, 2006. Using midday surface temperature to estimate cooling degree-days from NOAA-AVHRR thermal infrared data: An application for Athens, Greece, *Solar Energy*, 80, 414-422.
- [83] **Balo, F., Uçar, A.**, 2009, Sivas İli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması, *ULIBTK '09, 17. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Sivas.

- [84] **Özkan, D. B., Onan, C., Erdem, S.,** 2009. Effect Of Insulation Material Thickness On Thermal Insulation, Journal of Engineering and Natural Sciences, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma 27, 190-196.
- [85] **Aytaç, A., Aksoy, T. U.,** 2006. Enerji Tasarrufu İçin Dış Duvarlarda Optimum Yalıtım Kalınlığı Ve Isıtma Maliyeti İlişkisi, Gazi Ü. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 21, No 4, 753-758.
- [86] **Balo, F., Uçar, A.,** 2009, Konutların Dış Duvar Ve Çatısında Kullanılan Yalıtım Malzemelerin Optimum Kalınlığının Tespiti, *ULIBTK '09, 17.ısı Bilimi ve Tekniği Kongresi.* Sivas.
- [87] **Bolattürk A.,** 2003, Binalarda Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Hesabı ve Enerji Tasarrufundaki Rolü, *14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi,* Isparta, 41-47, 3-5 Eylül.
- [88] **Bolattürk A.,** 2006, Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey, Applied Thermal Engineering, 26(11-12), 1301-1309.
- [89] **Gölcü, M., Dombaycı, Ö. ve Abalı, S.,** 2006, Denizli için optimum yalıtım kalınlığının enerji Tasarrufuna etkisi ve sonuçları , *Gazi Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi* 21, 639-644.
- [90] **<http://www.dosider.org>**
- [91] **Enerji Dünyası Dergisi,** 2008, Teknik yayıncılık, Tanıtım A.Ş.
- [92] **Richter, D.,** 2008. Matlab Guide, Cleveland State University, Department of Mechanical Engineering, USA.
- [93] **Uysal, M.,** 2004. Matlab ile matematiksel uygulamalar ve mühendislik uygulamaları, İstanbul.
- [94] **Yakut, S.E.,** 2007. Analog modülasyonlarda dalgacık dönüşüm temelli bir akıllı sınıflandırma sistemi, *Yüksek Lisans Tezi,* F. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [95] **Uzunoğlu M., Kızıl A., Onar, Ö. Ç.,** 2002. Kolay Anlatımı ile İleri Düzeyde Matlab 6.0-6.5, Türkmen Yayınevi, İstanbul.
- [96] **Engin, A.,** 2005. Hesaplama Programlarının Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (GUI) Hataları Perspektifinden İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi,* İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [97] **Oğraş, H.,** 2010. Haberleşme sistemlerinin benzetimi için bir grafik kullanıcı arabirim tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi,* F. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

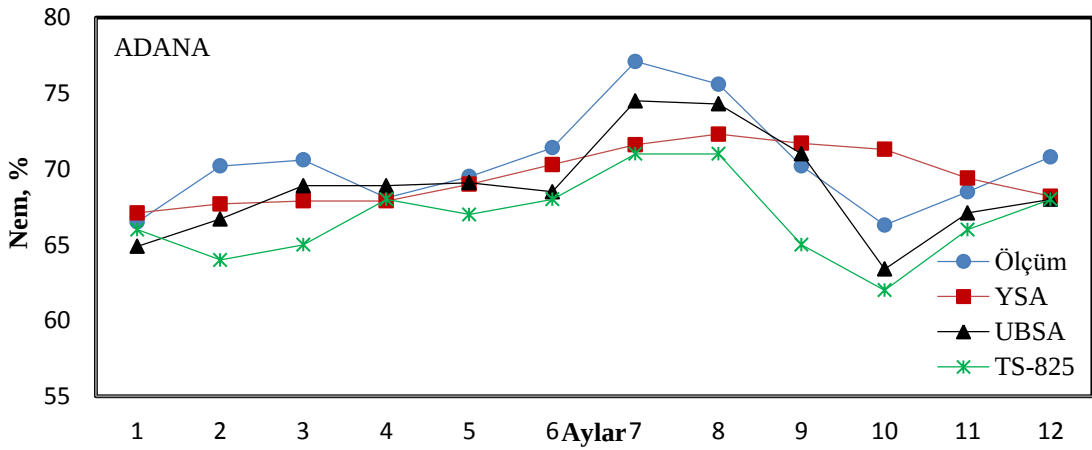
- [98] **Kaplan, S.**, 2010. Grafiksel kullanıcı arayüzü yardımı ile görsel robotik araç kutusu tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- [99] **Tosun, İ.**, 2008. Güç sistemleri eğitimi için Matlab GUI tabanlı bir yük akış simülatörü, *Yüksek Lisans Tezi*, F. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [100] **Koç, S.**, 2008. Enerji iletim hatları için Matlab GUI tabanlı bir arıza analiz programı geliştirme, *Yüksek Lisans Tezi*, F. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

EKLER

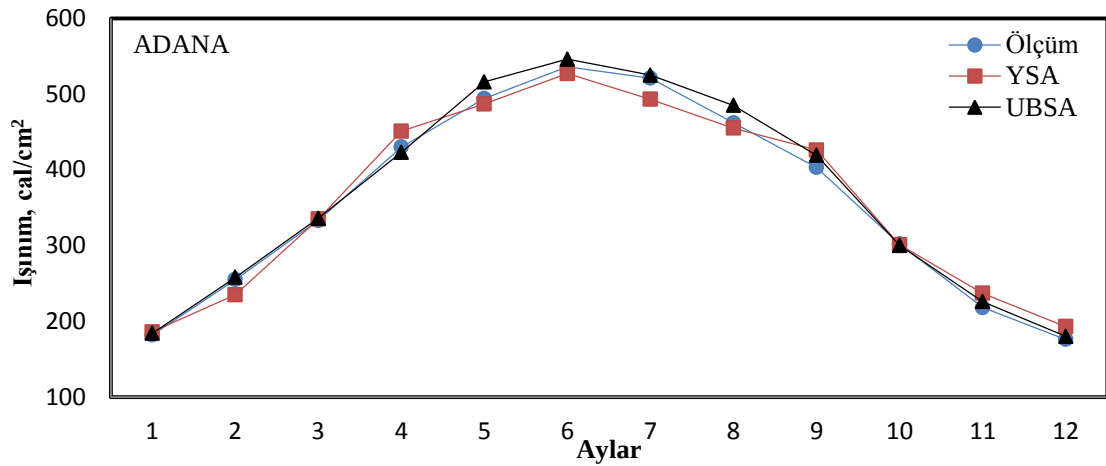
EK. 1 Türkiye 'deki 50 ilin meteorolojik veriler, YSA ve UBSA ile belirlenen sıcaklık, bağıl nem ve ışınlam değerlerinin aylık değişimi



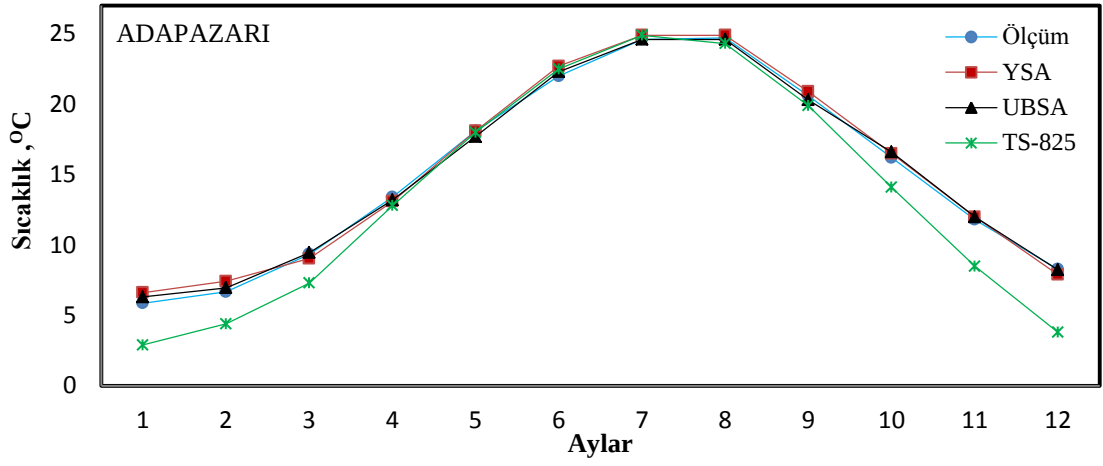
Şekil 1.1 Adana ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



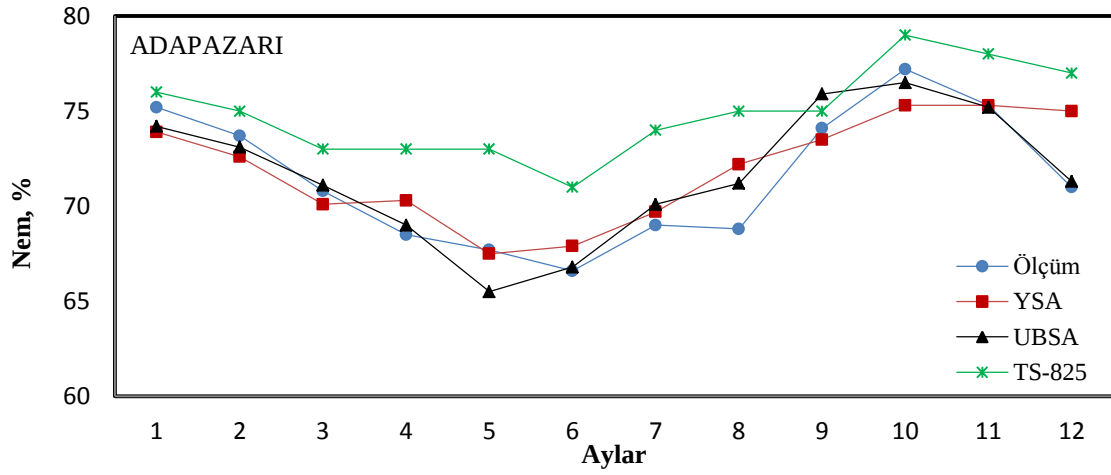
Şekil 1.2. Adana ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



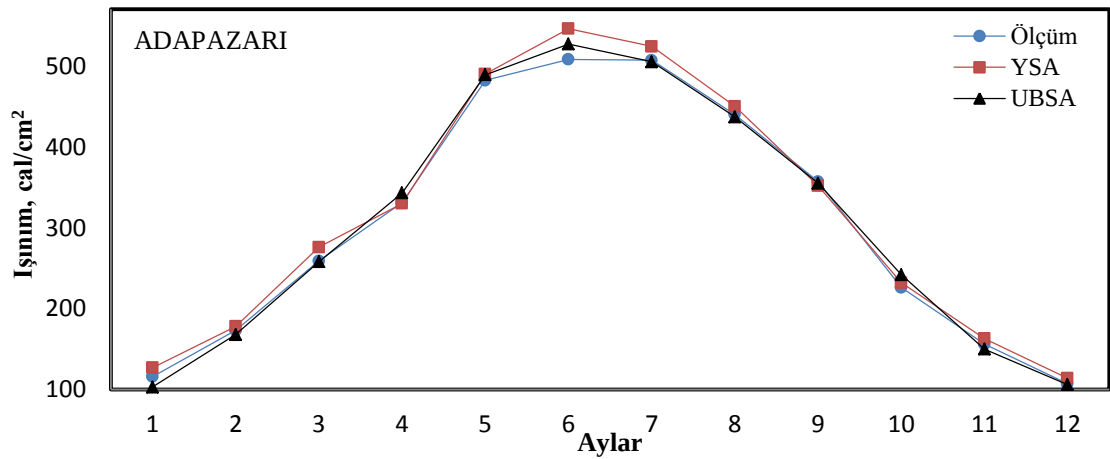
Şekil 1.3. Adana ili için DMİ ve model verilerine göre ışınlamın aylara göre değişimi



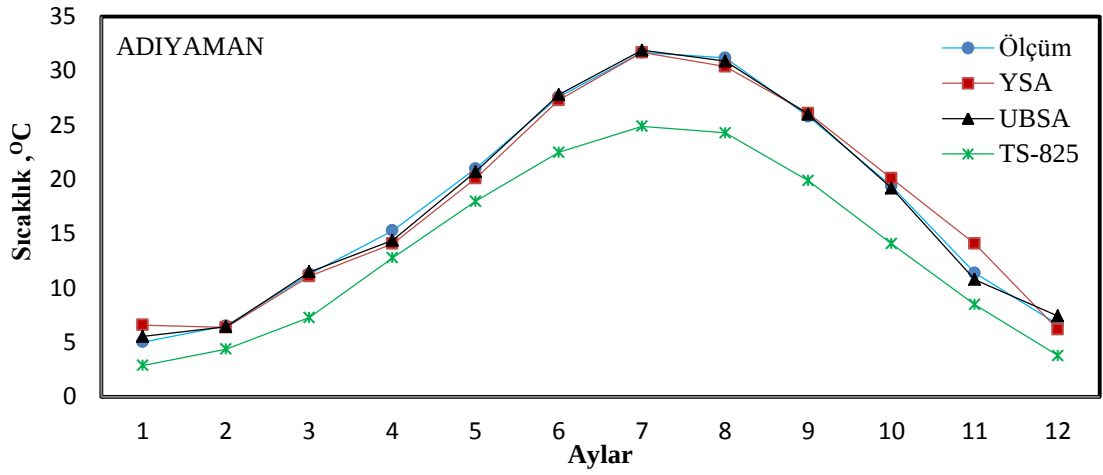
Şekil 1.4. Adapazarı ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



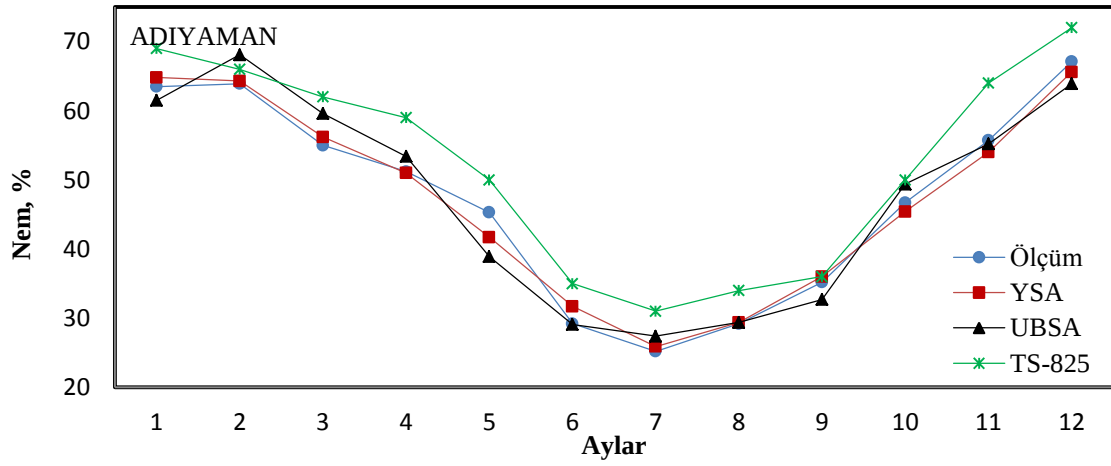
Şekil 1.5. Adapazarı ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



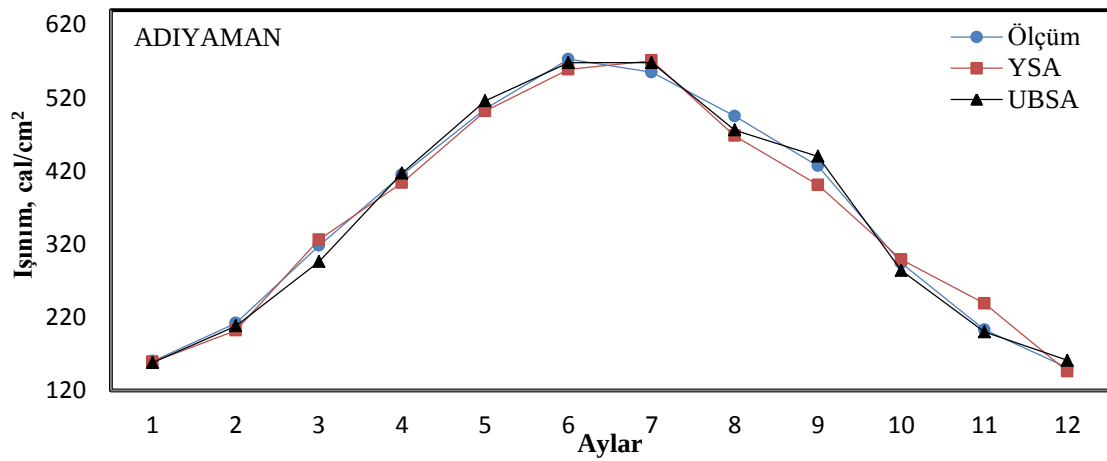
Şekil 1.6. Adapazarı ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



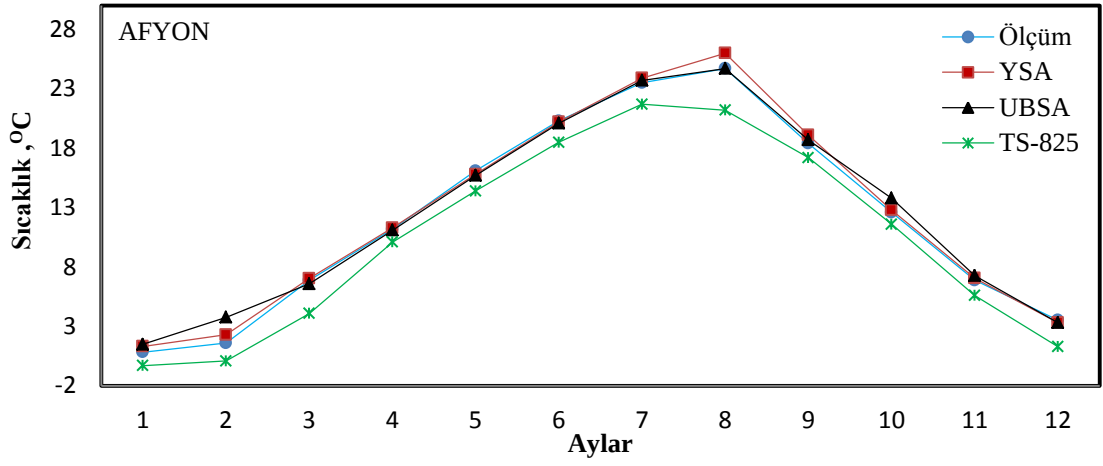
Şekil 1.7. Adıyaman ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



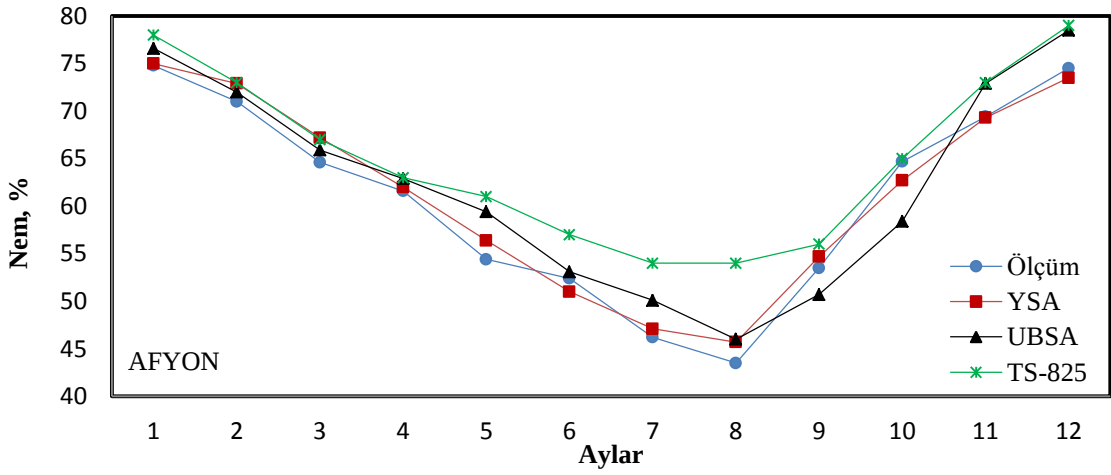
Şekil 1.8. Adıyaman ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



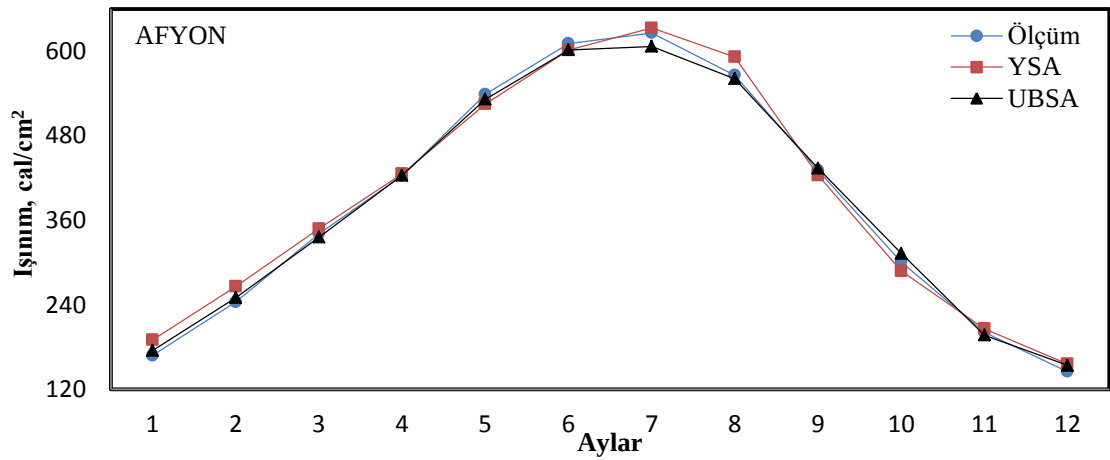
Şekil 1.9. Adıyaman ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



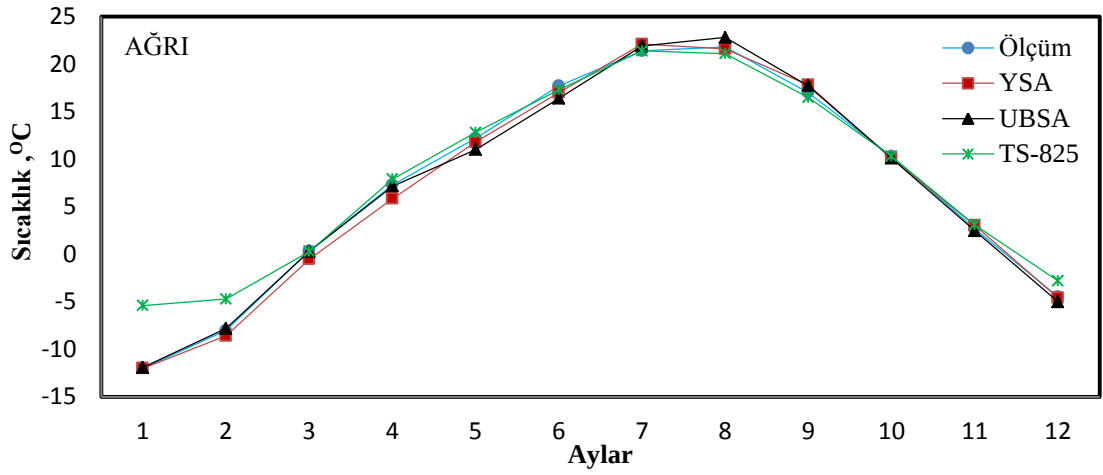
Şekil 1.10. Afyon ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



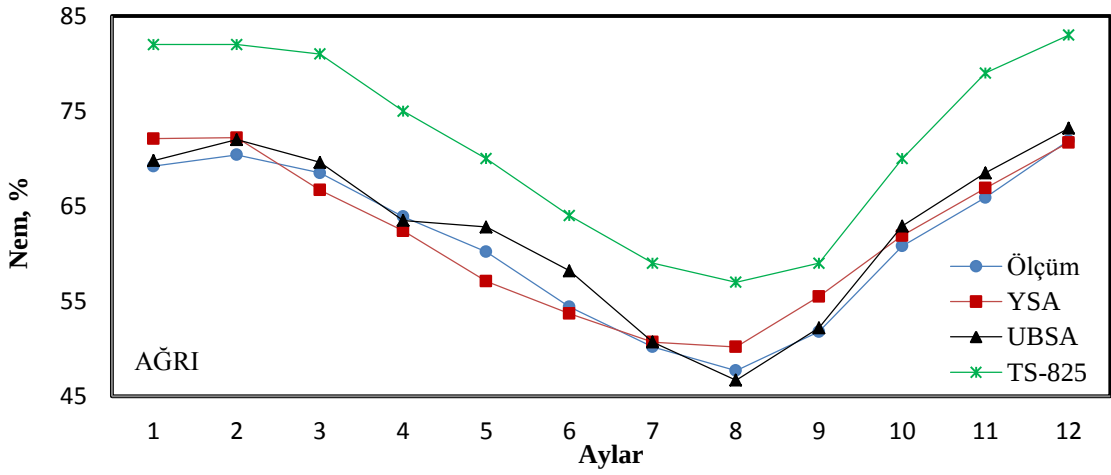
Şekil 1.11. Afyon ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



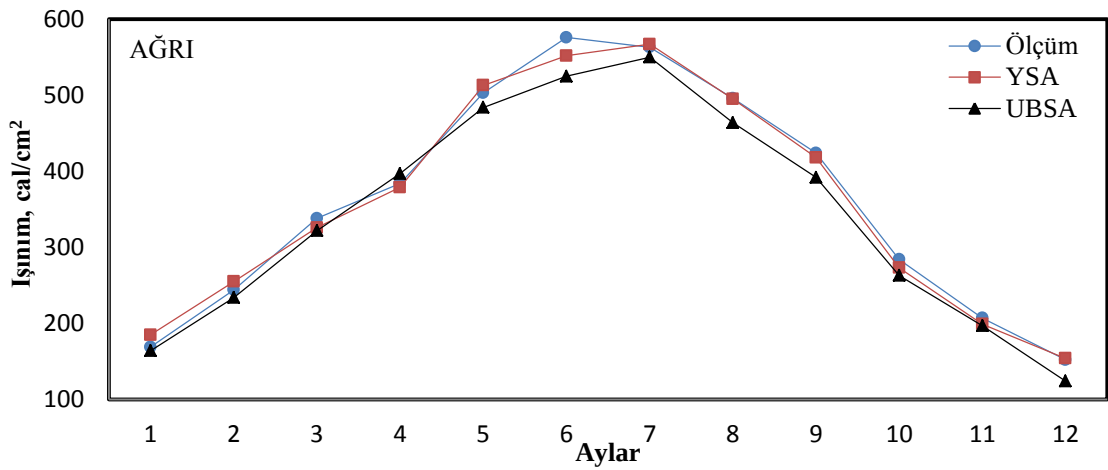
Şekil 1.12. Afyon ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



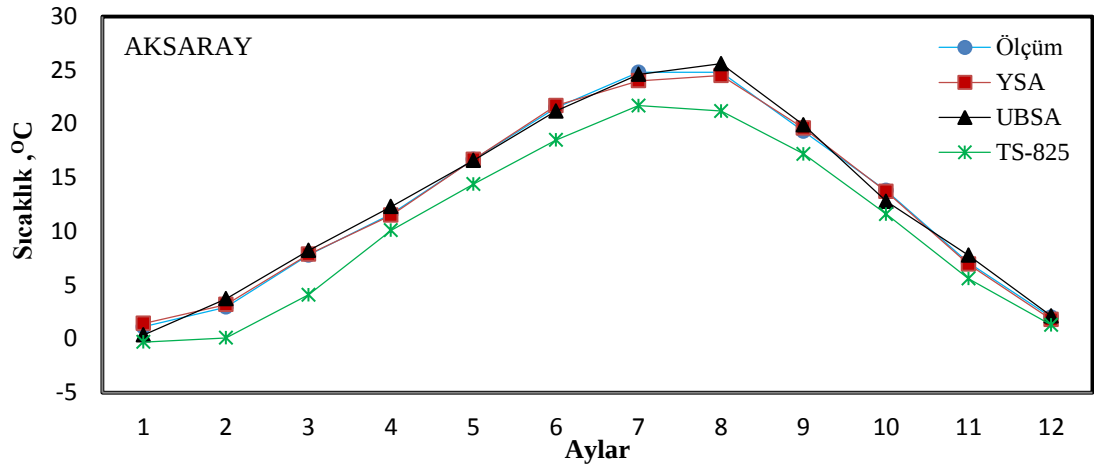
Şekil 1.13. Ağrı ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



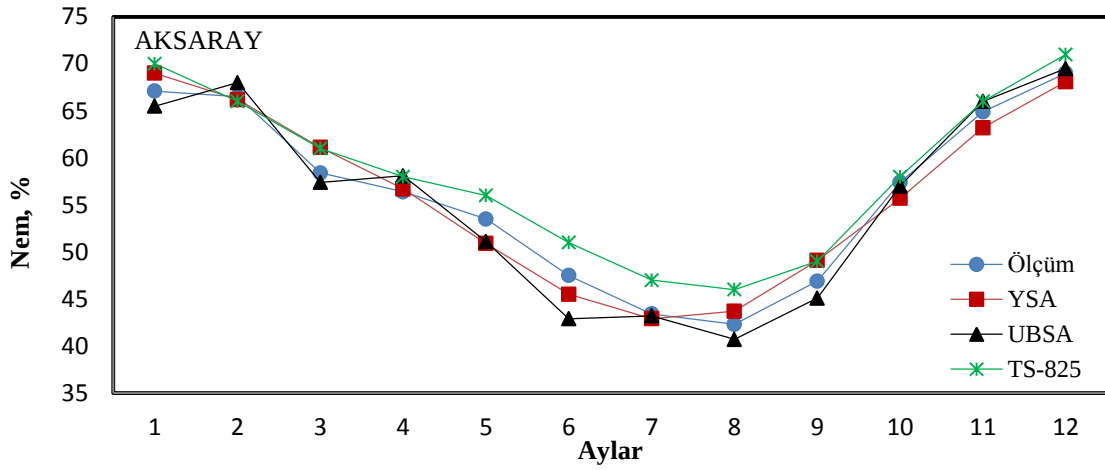
Şekil 1.14. Ağrı ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



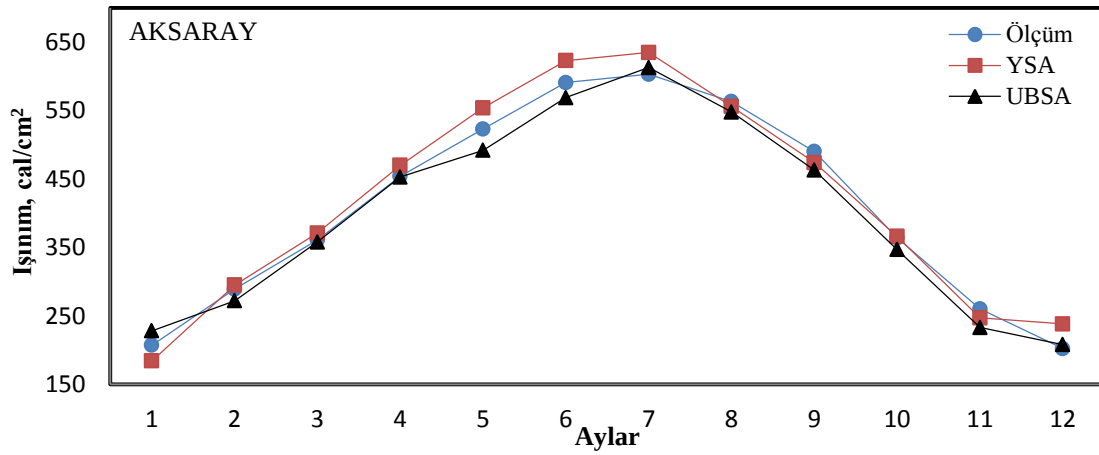
Şekil 1.15. Ağrı ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



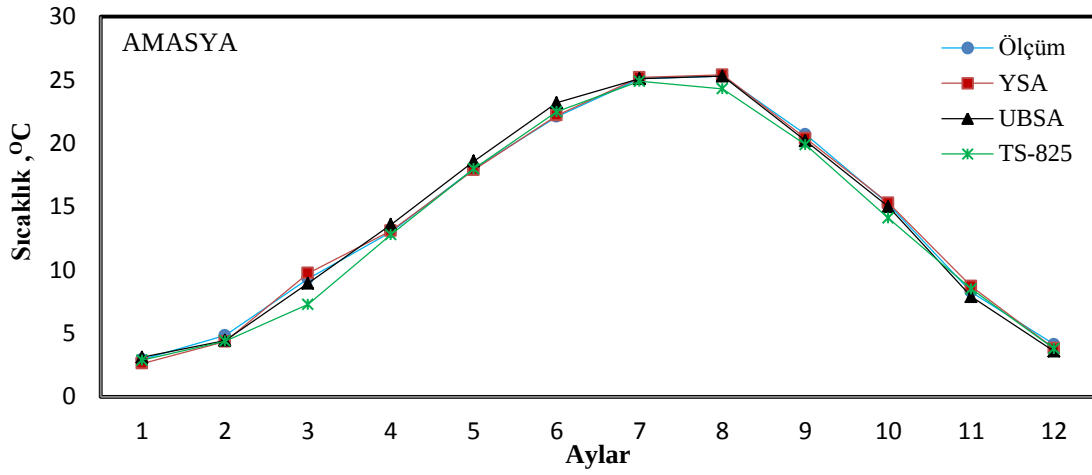
Şekil 1.16. Aksaray ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



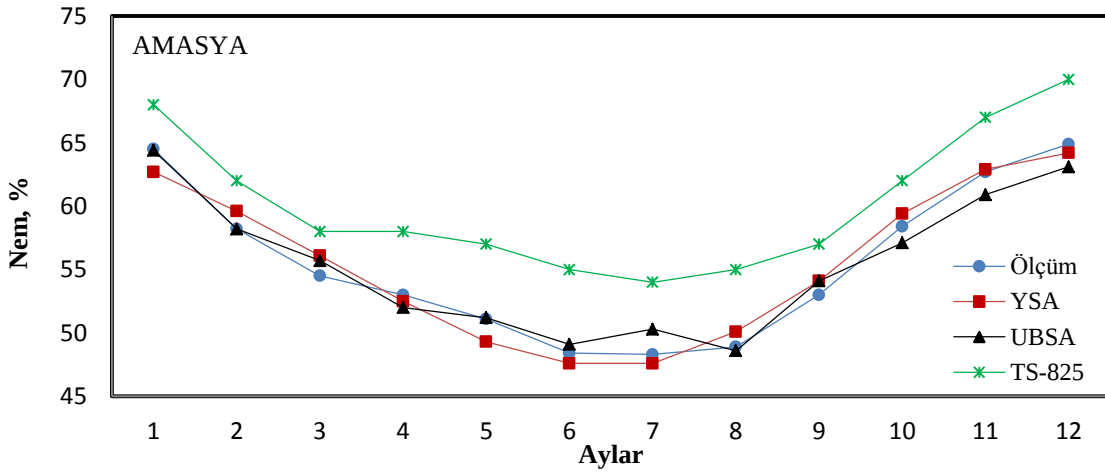
Şekil 1.17. Aksaray ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



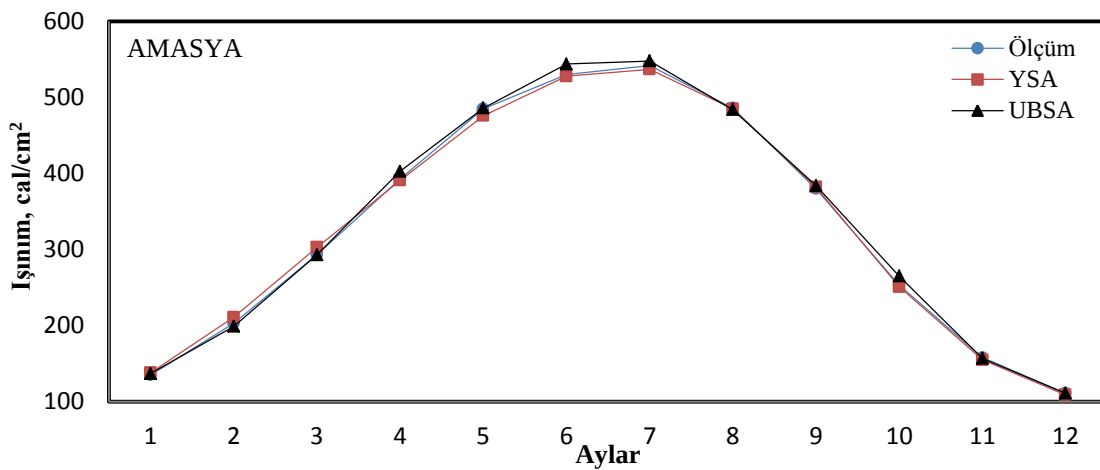
Şekil 1.18. Aksaray ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



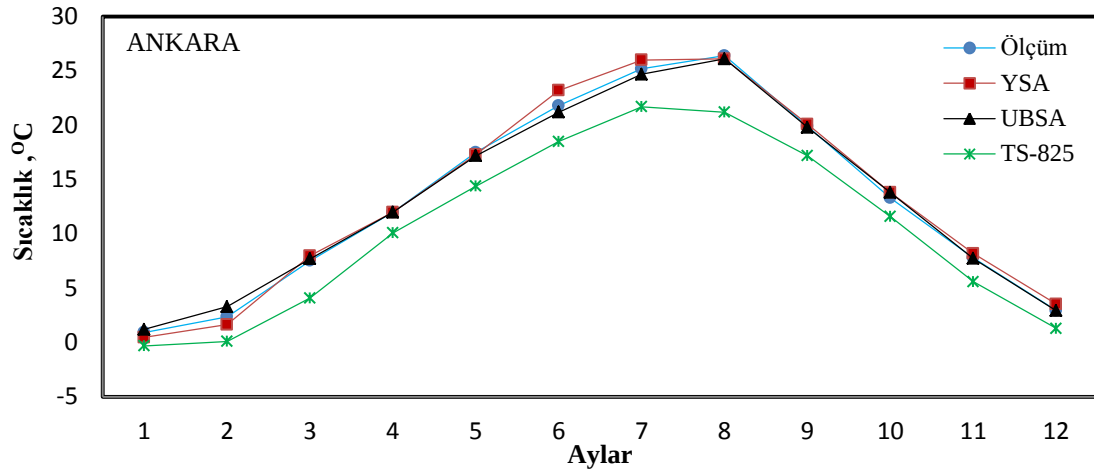
Şekil 1.19. Amasya ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



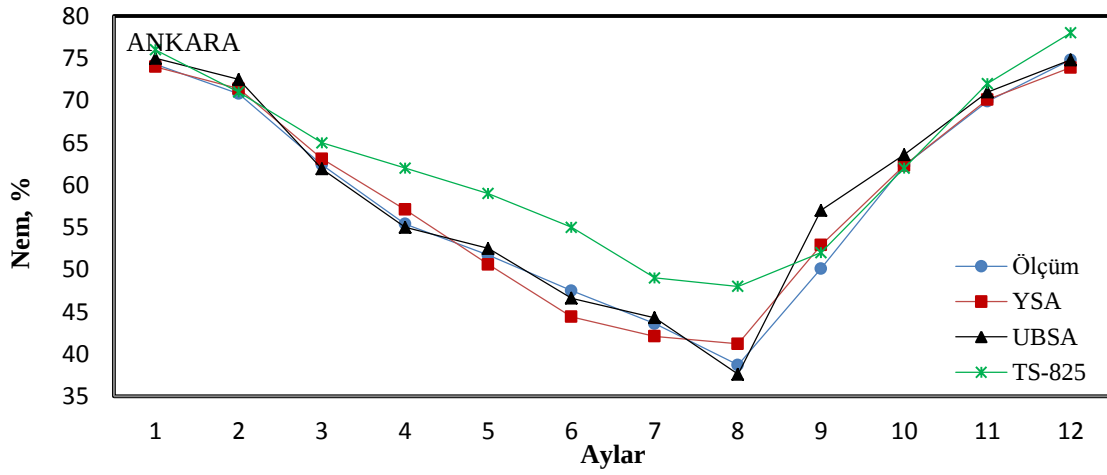
Şekil 1.20. Amasya ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



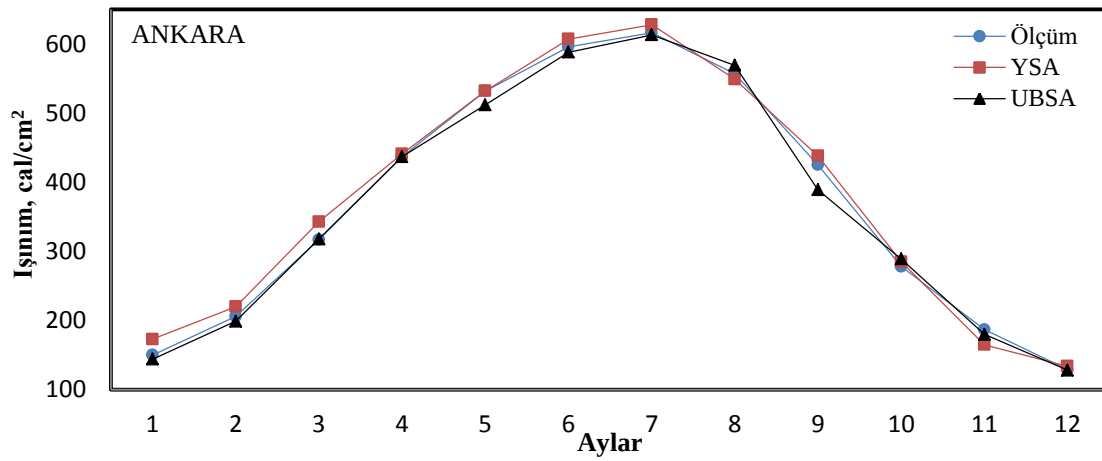
Şekil 1.21. Amasya ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



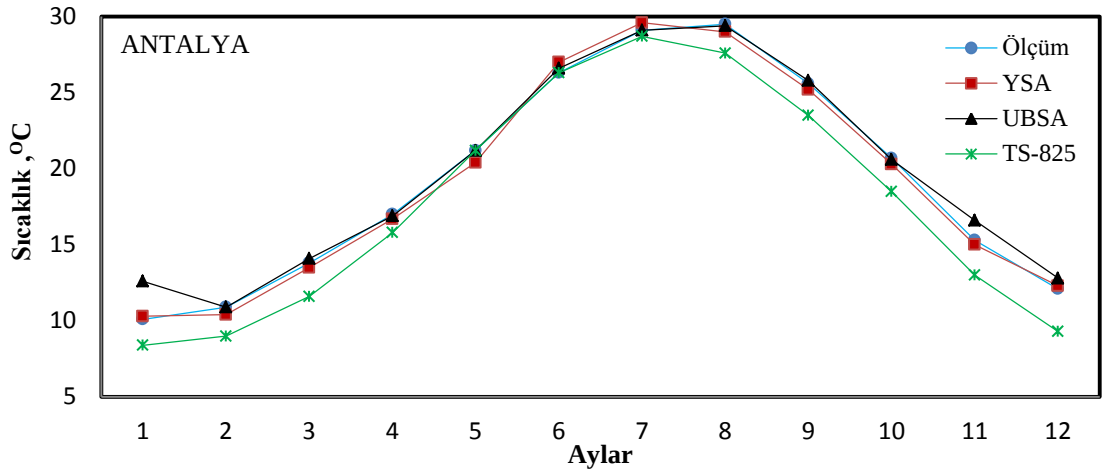
Şekil 1.22. Ankara ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



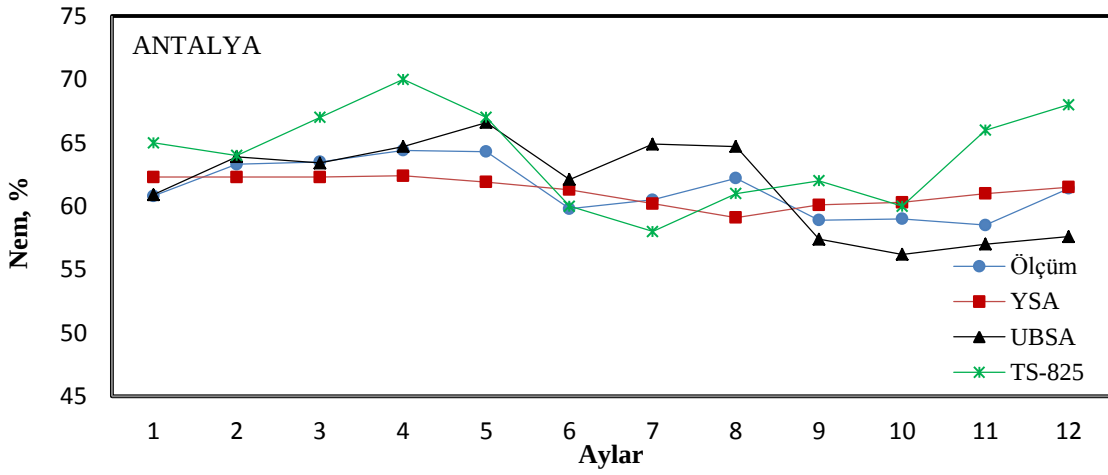
Şekil 1.23. Ankara ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



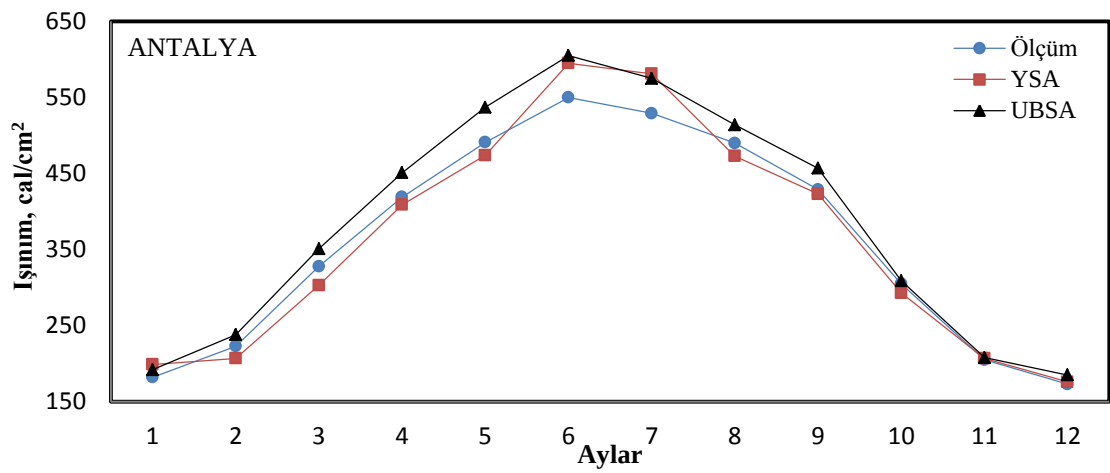
Şekil 1.24. Ankara ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



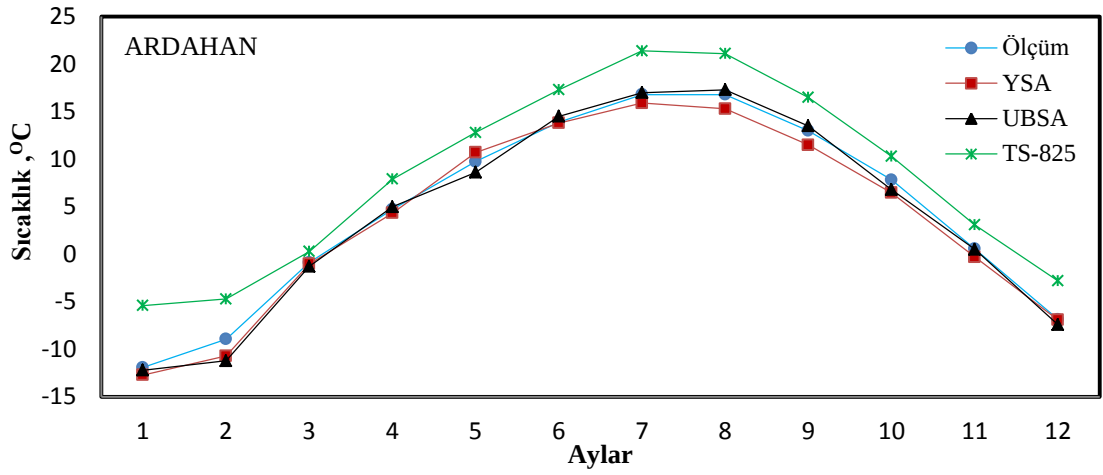
Şekil 1.25. Antalya ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



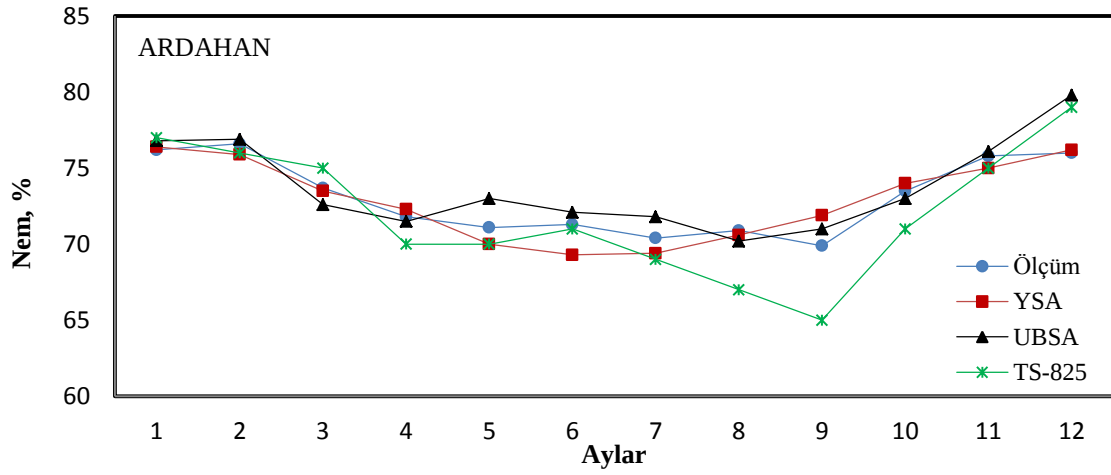
Şekil 1.26. Antalya ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



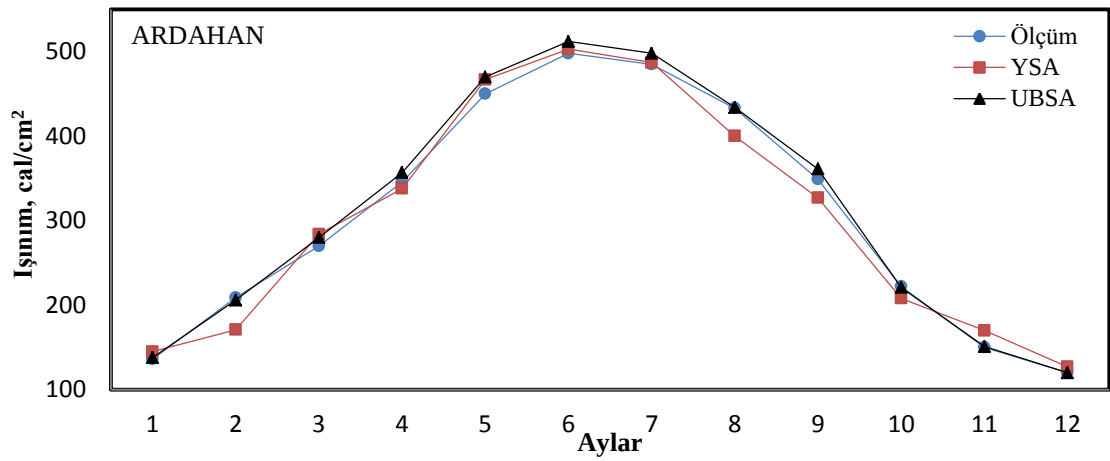
Şekil 1.27. Antalya ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



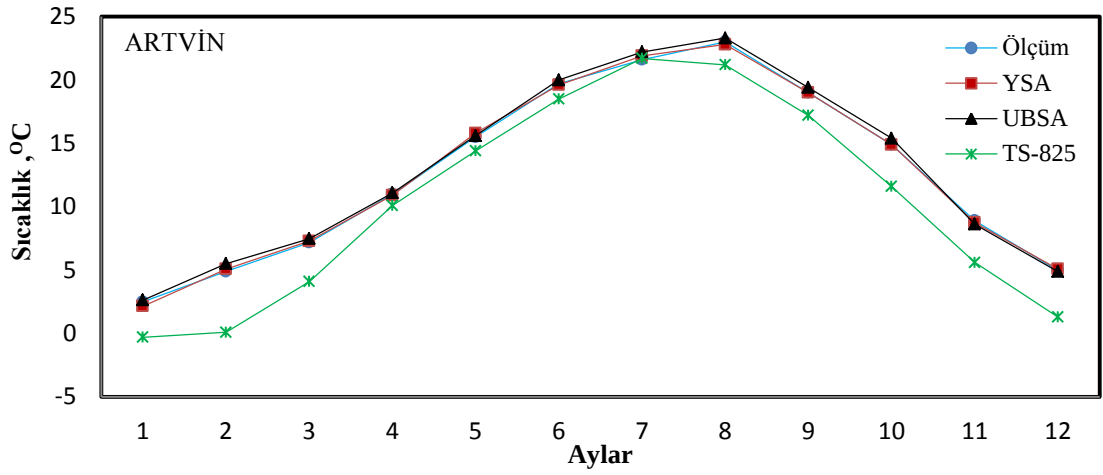
Şekil 1.28. Ardahan ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



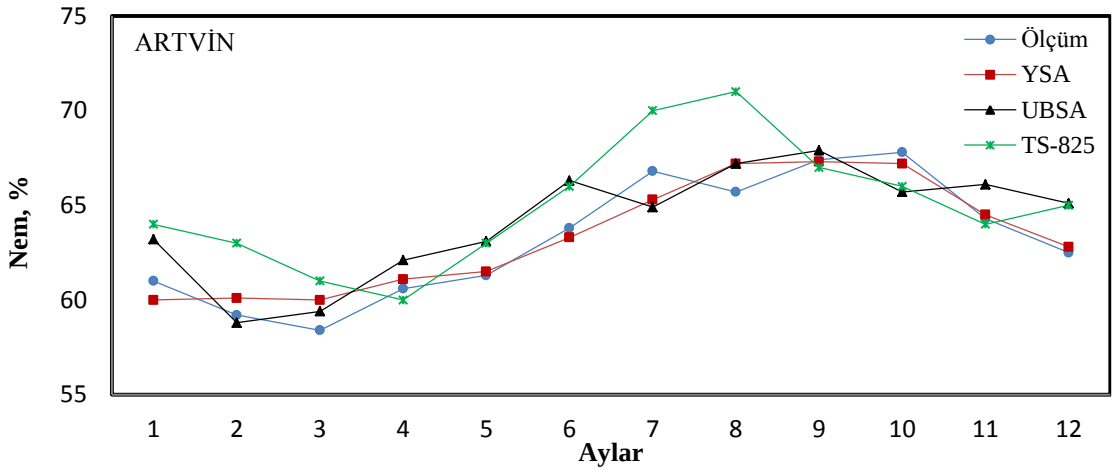
Şekil 1.29. Ardahan ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



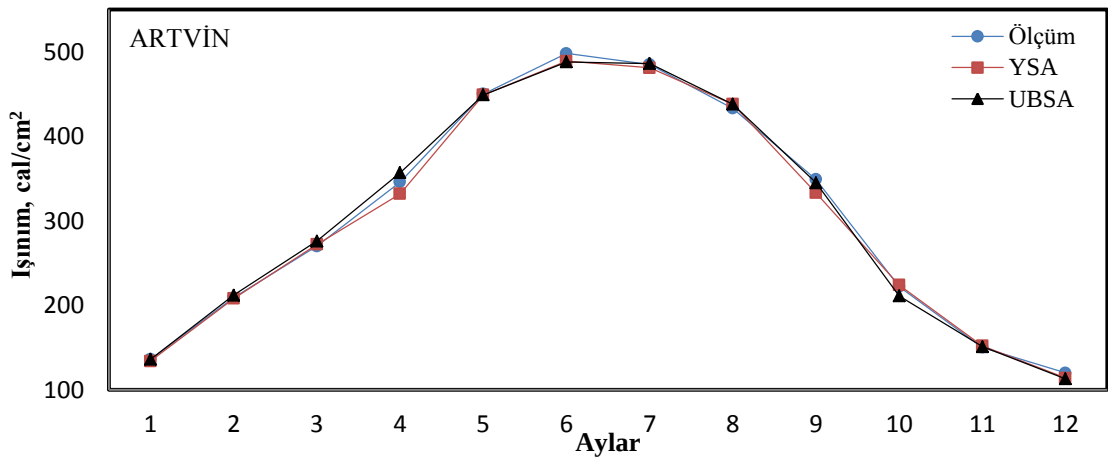
Şekil 1.30. Ardahan ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



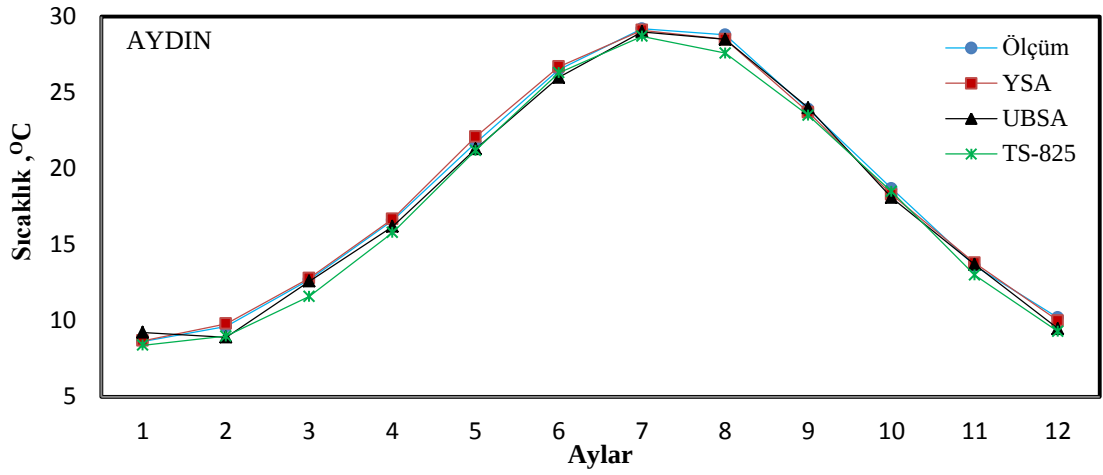
Şekil 1.31. Artvin ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



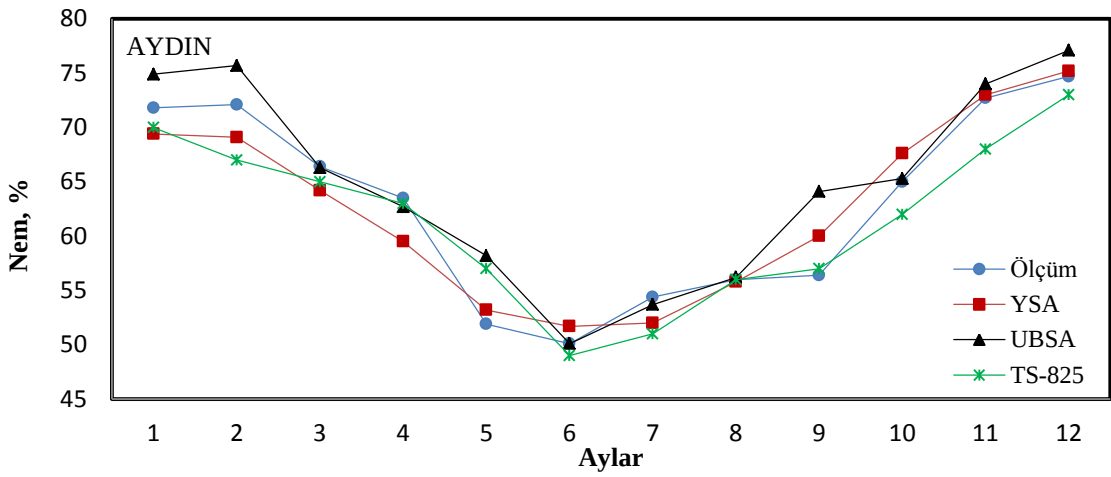
Şekil 1.32. Artvin ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



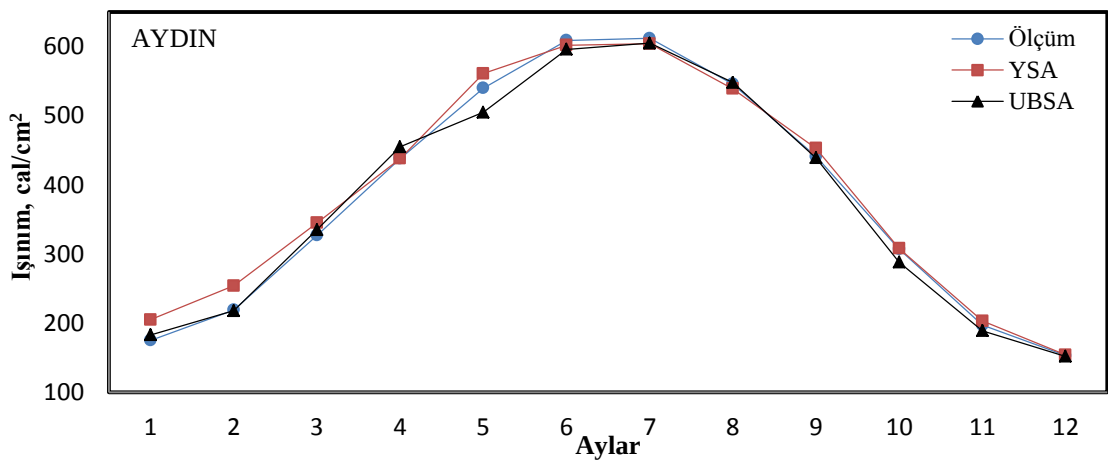
Şekil 1.33. Artvin ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



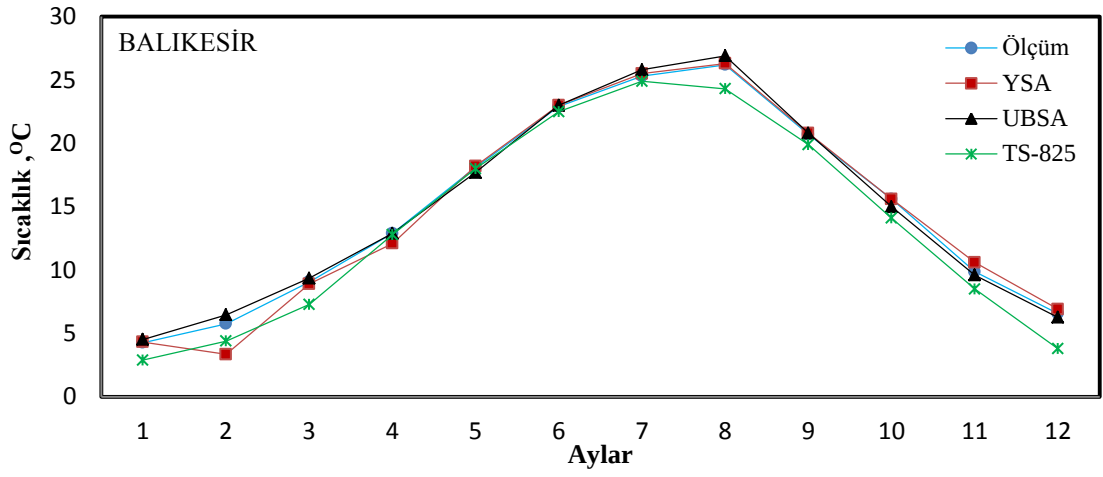
Şekil 1.34. Aydın ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



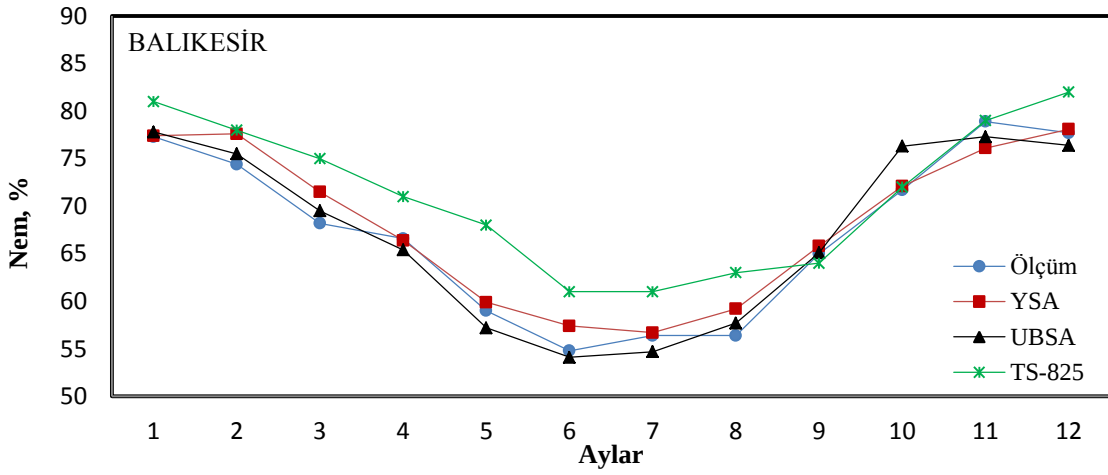
Şekil 1.35. Aydın ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



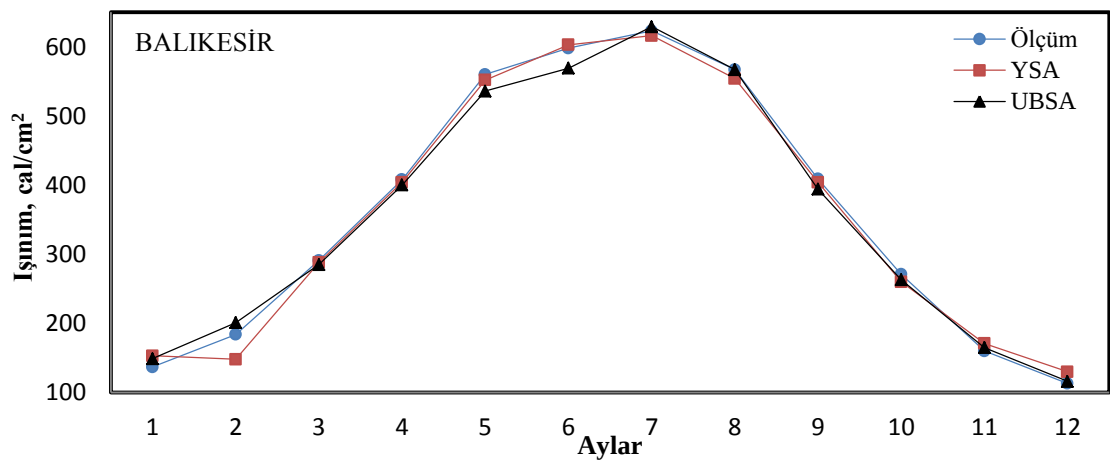
Şekil 1.36. Aydın ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



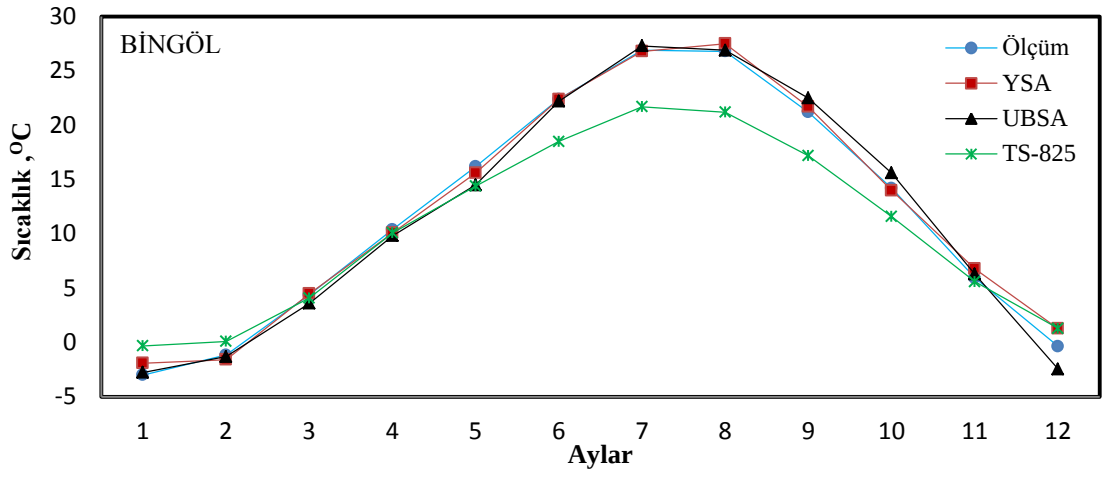
Şekil 1.37. Balıkesir ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



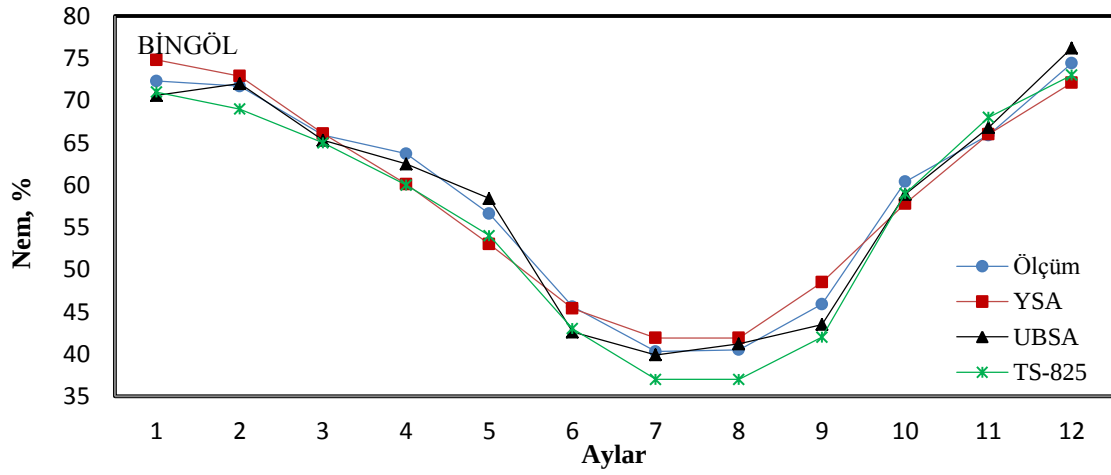
Şekil 1.38. Balıkesir ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



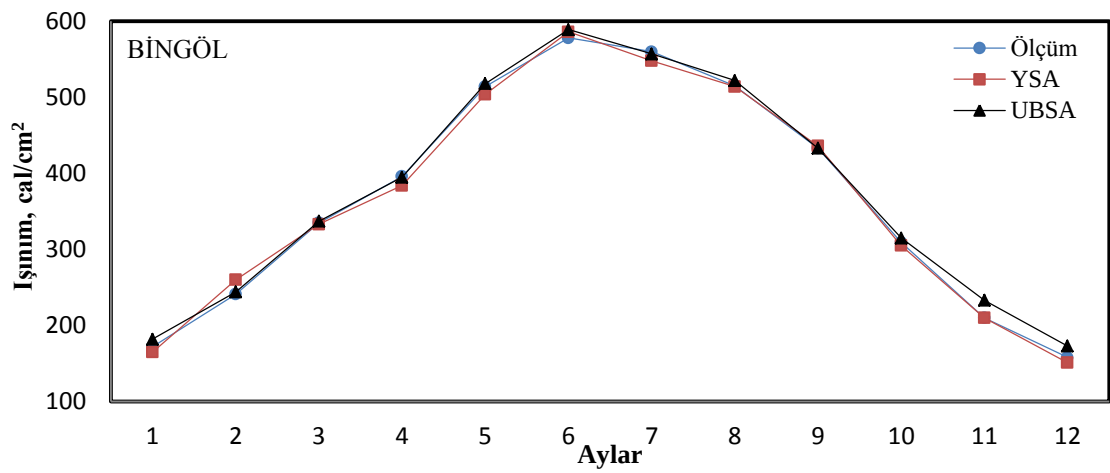
Şekil 1.39. Balıkesir ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



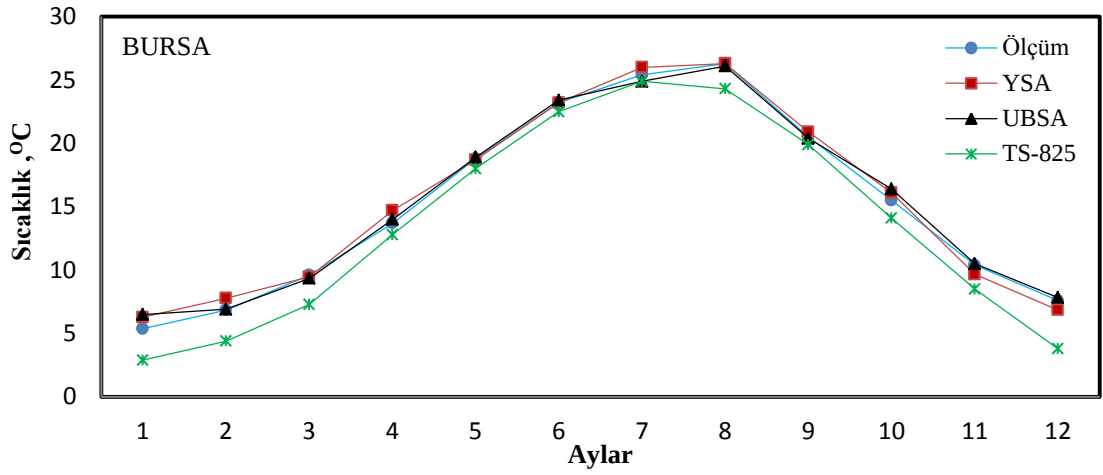
Şekil 1.40. Bingöl ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



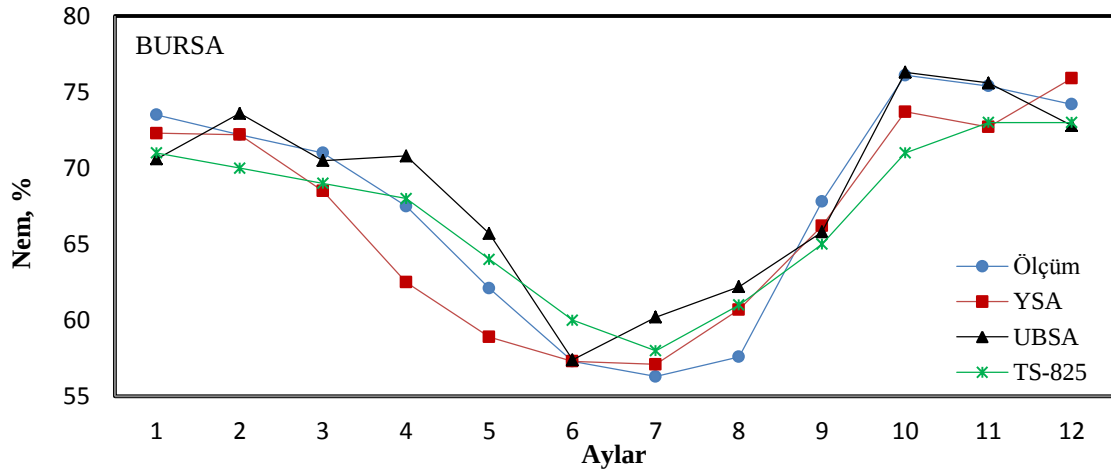
Şekil 1.41. Bingöl ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



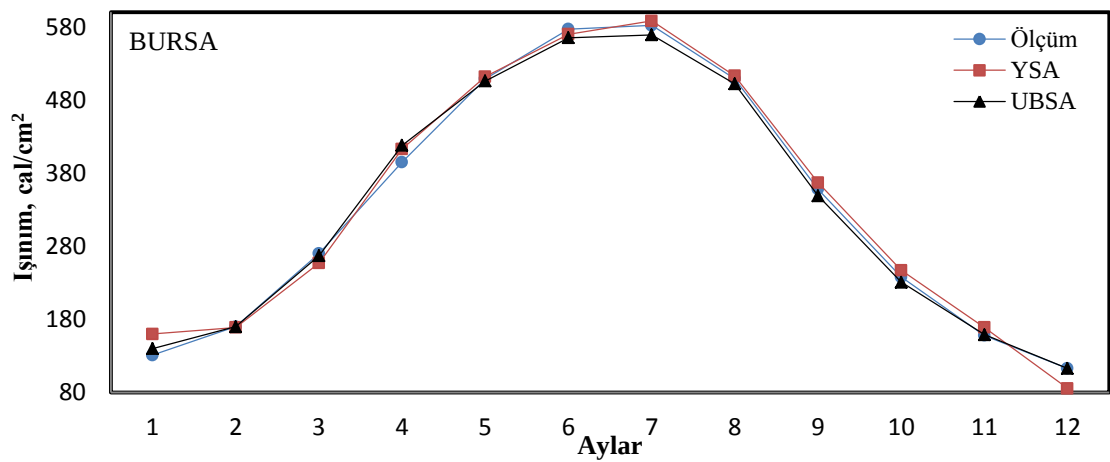
Şekil 1.42. Bingöl ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



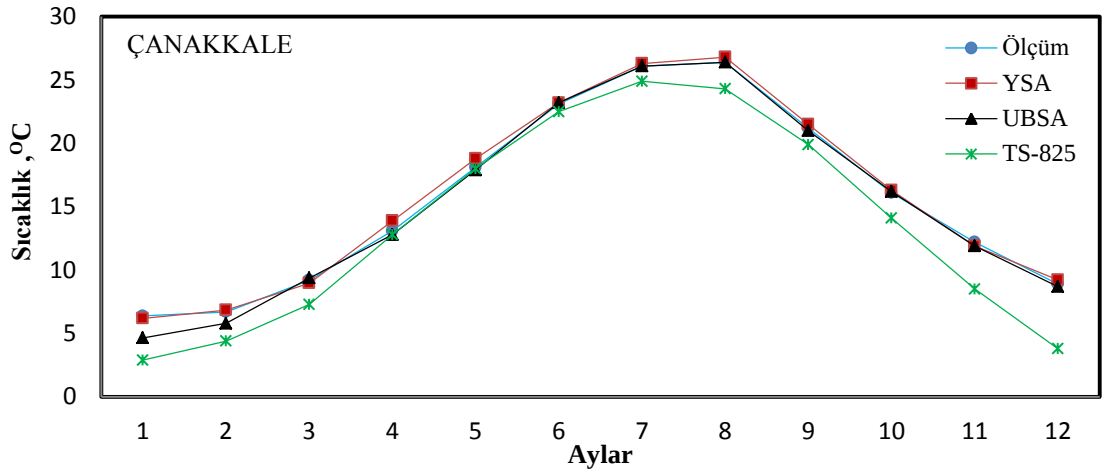
Şekil 1.43. Bursa ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



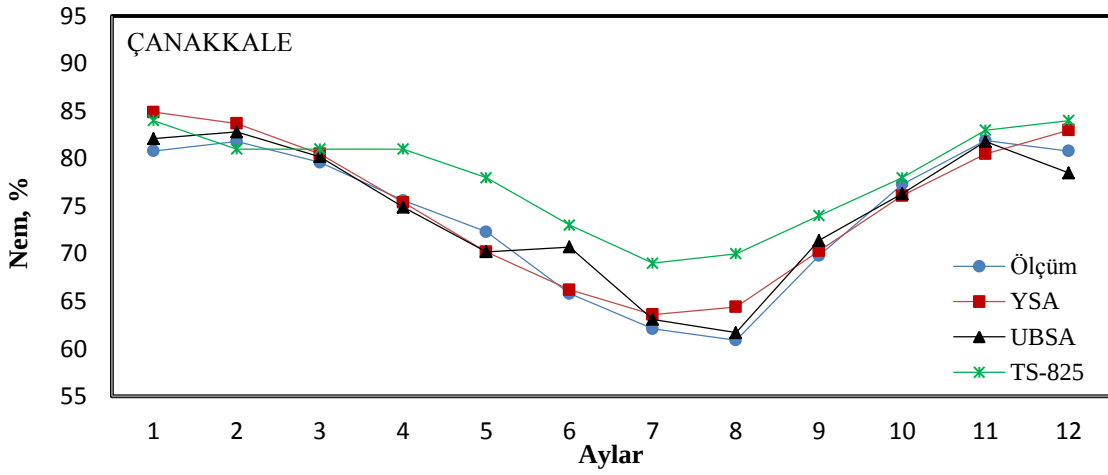
Şekil 1.44. Bursa ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



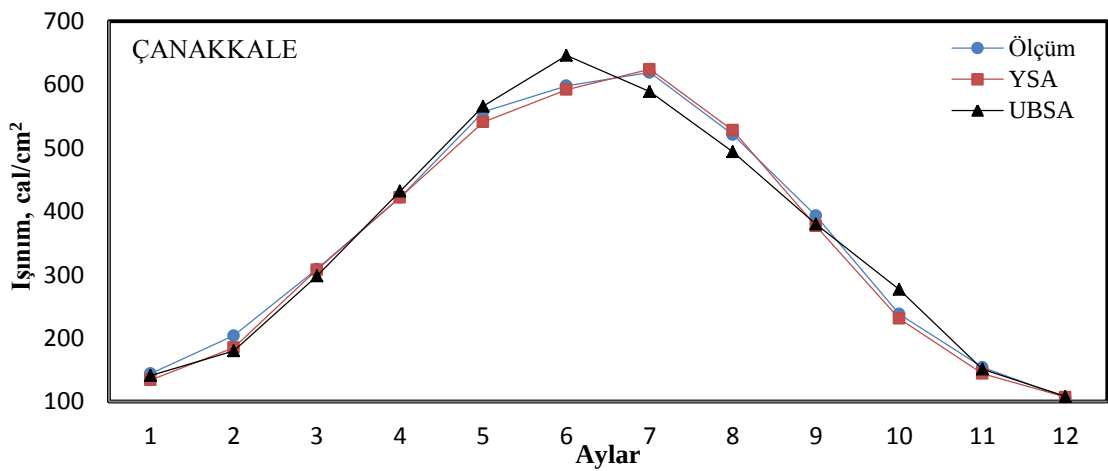
Şekil 1.45. Bursa ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



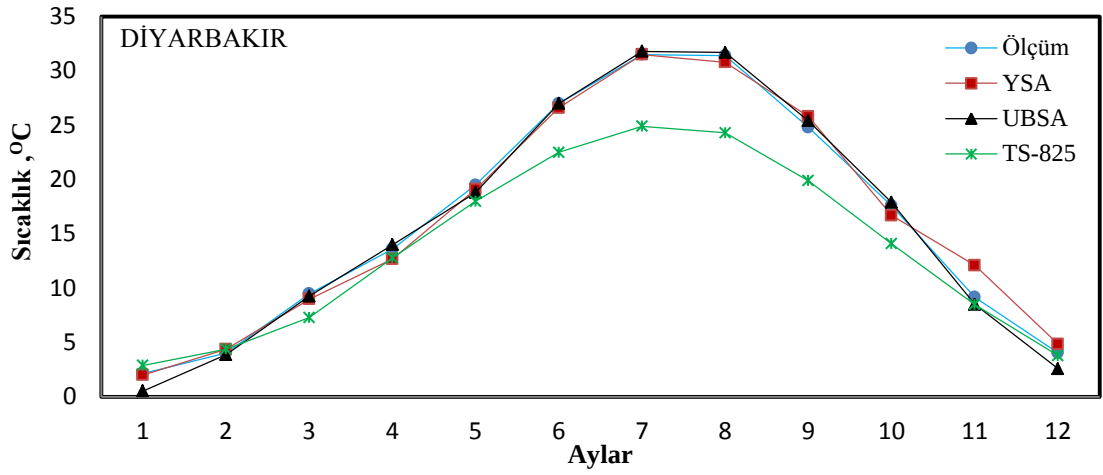
Şekil 1.46. Çanakkale ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



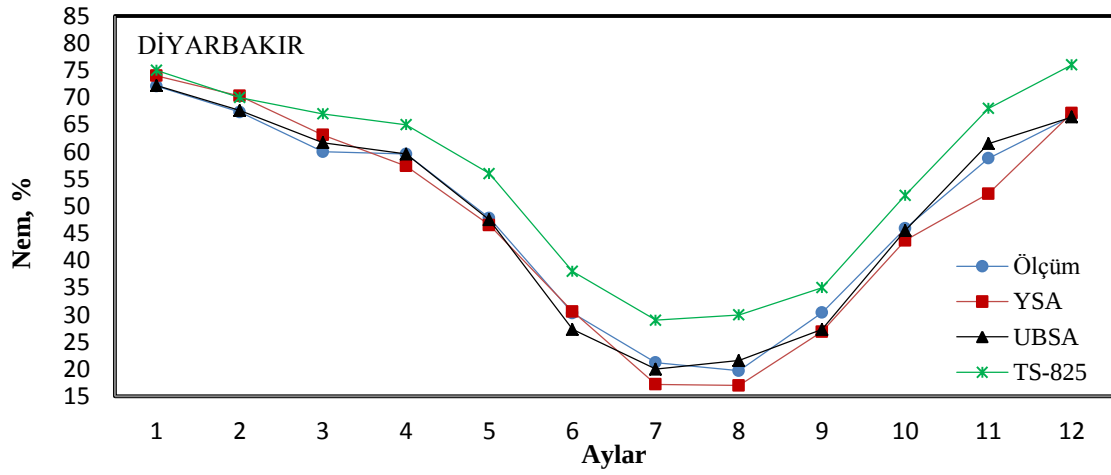
Şekil 1.47. Çanakkale ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



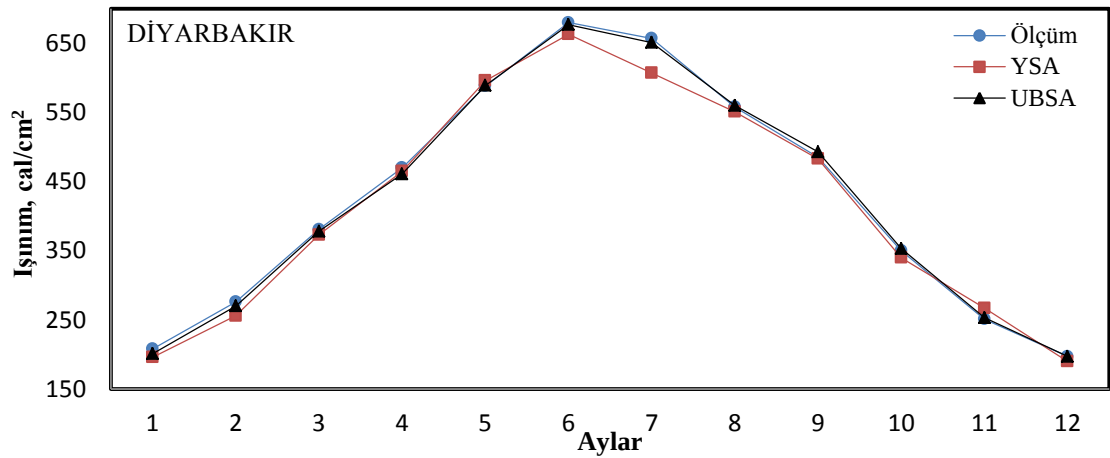
Şekil 1.48. Çanakkale ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



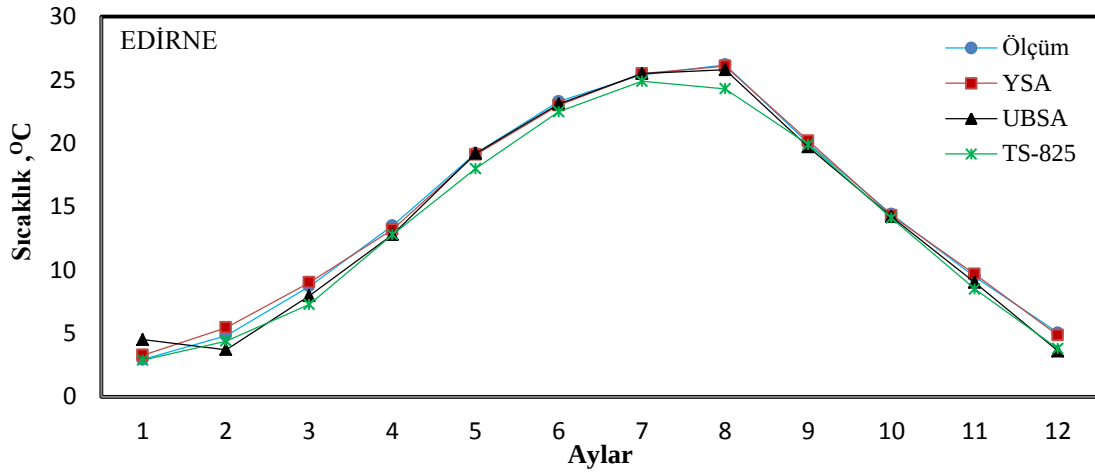
Şekil 1.49. Diyarbakır ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



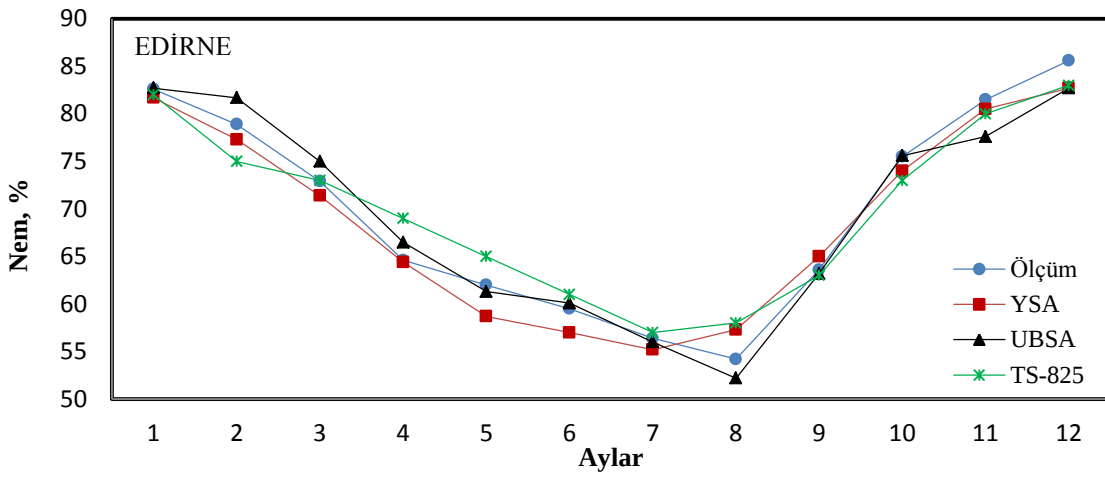
Şekil 1.50. Diyarbakır ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



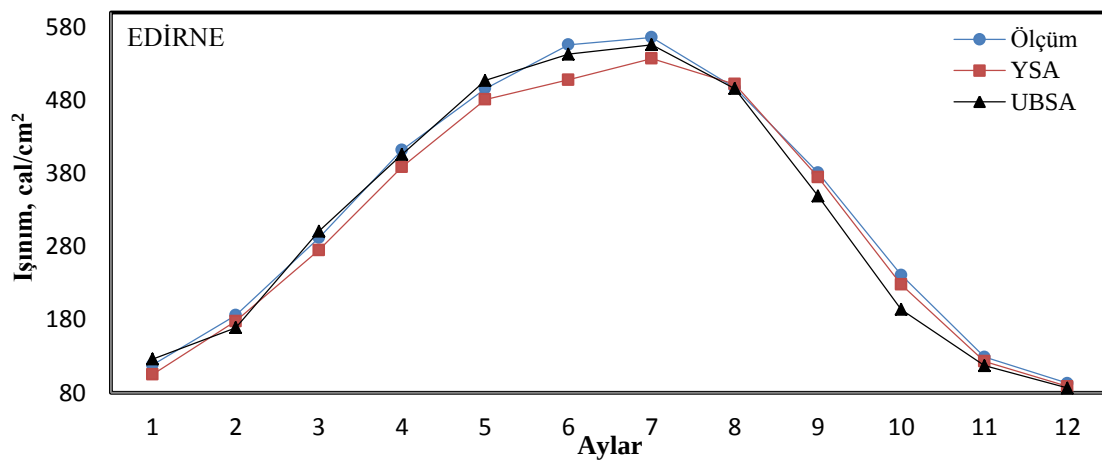
Şekil 1.51. Diyarbakır ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



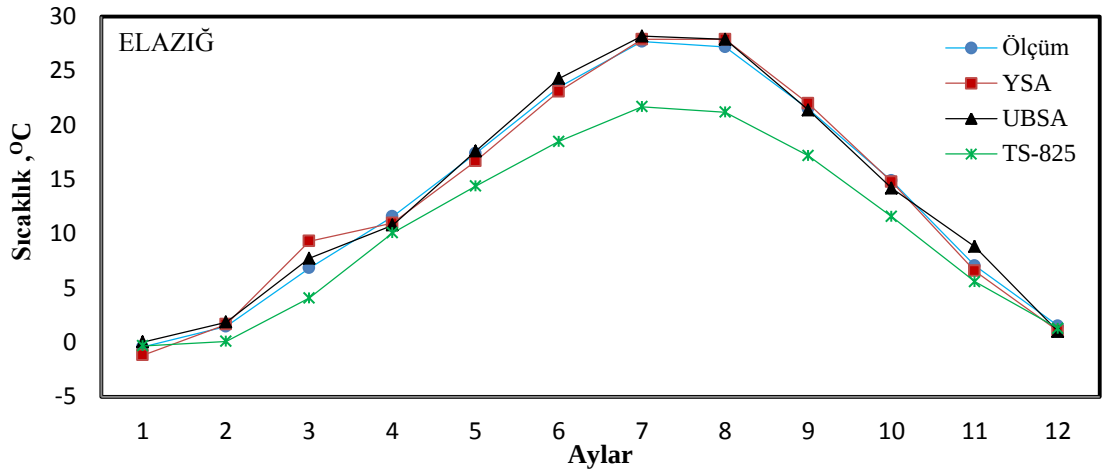
Şekil 1.52. Edirne ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



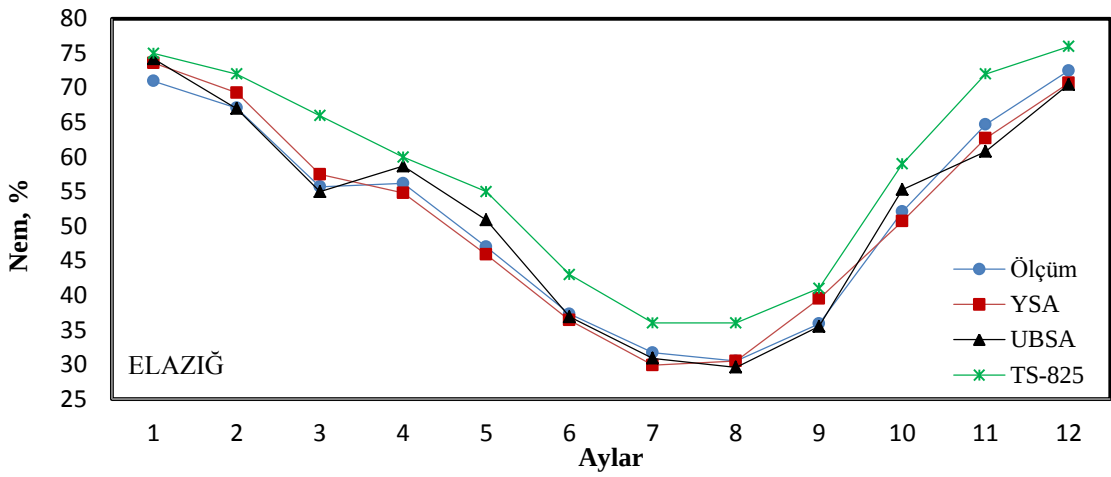
Şekil 1.53. Edirne ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



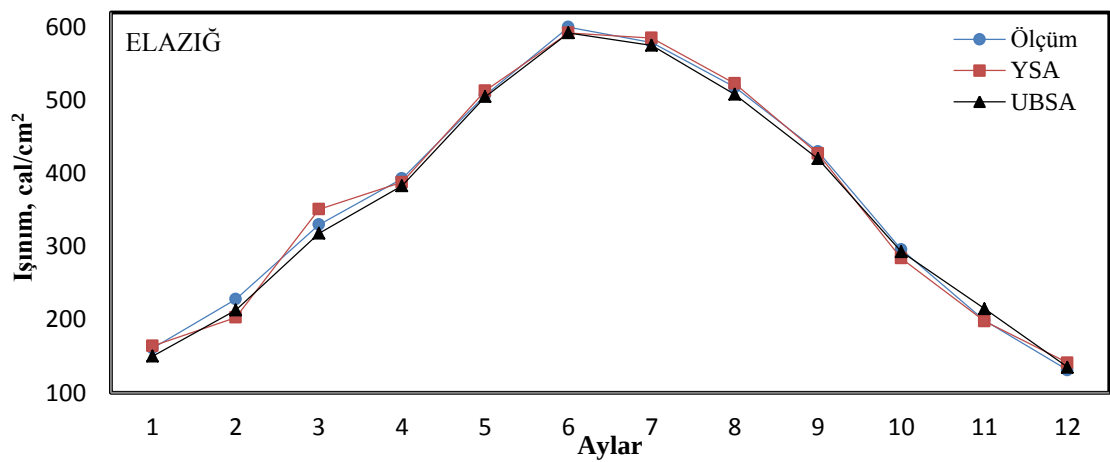
Şekil 1.54. Edirne ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



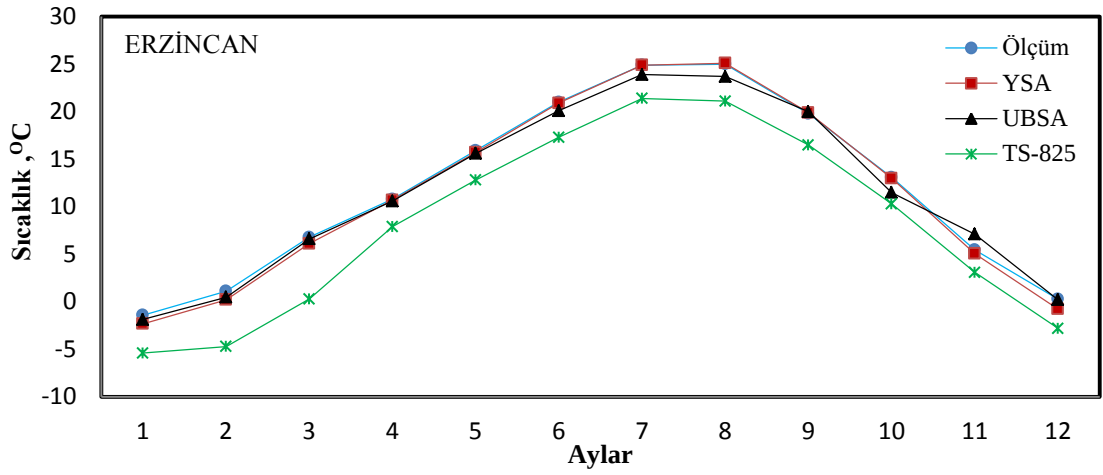
Şekil 1.55. Elazığ ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



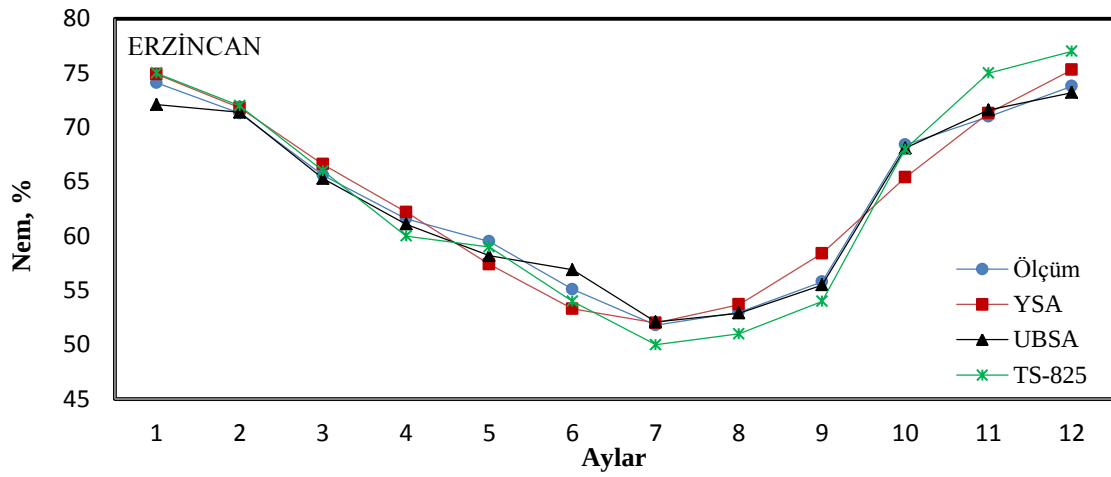
Şekil 1.56. Elazığ ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



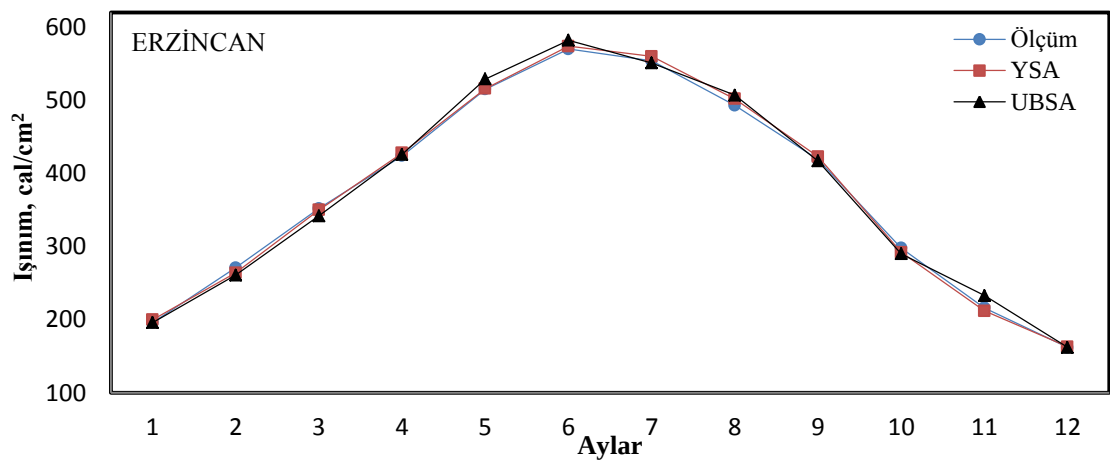
Şekil 1.57. Elazığ ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



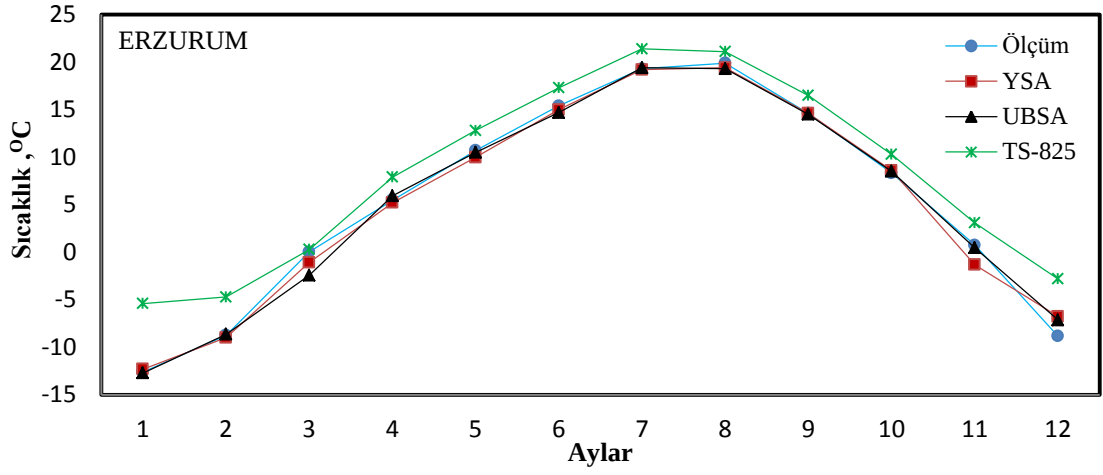
Şekil 1.58. Erzincan ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



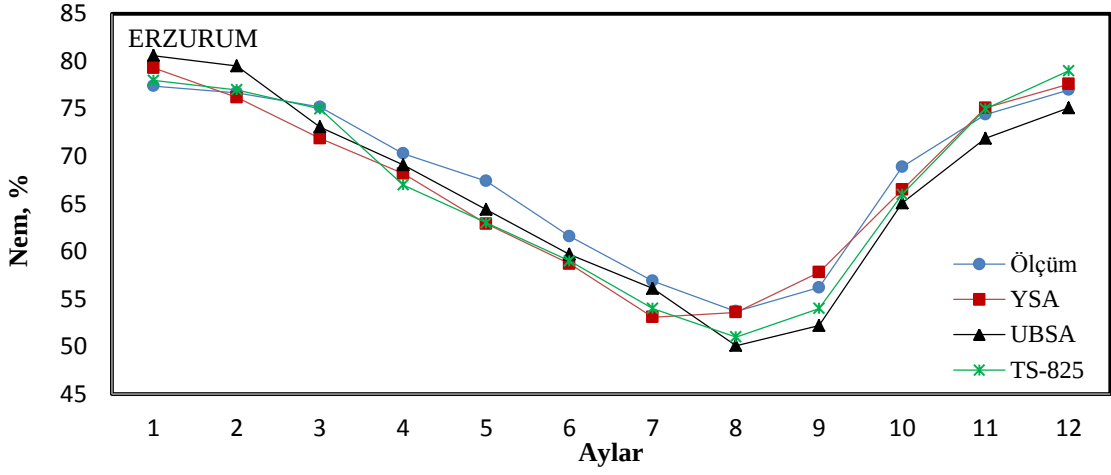
Şekil 1.59. Erzincan ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



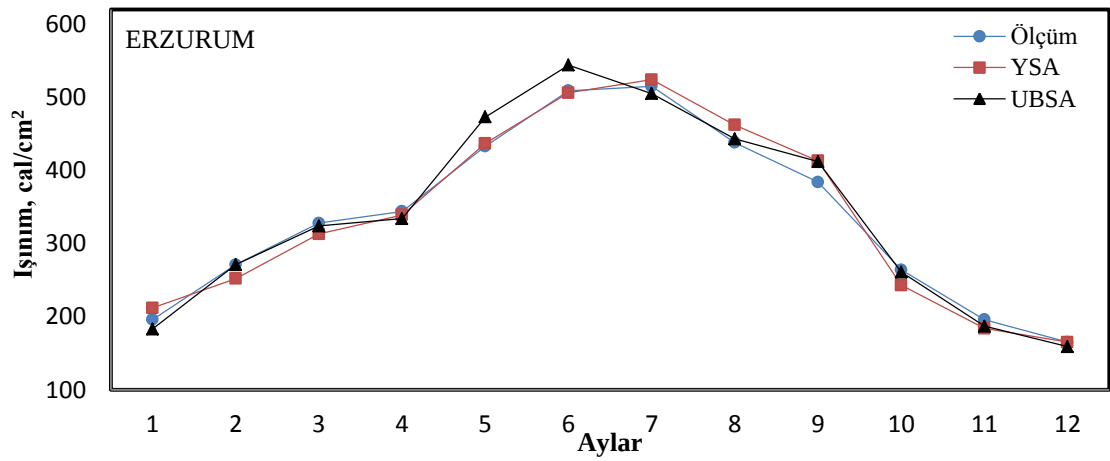
Şekil 1.60. Erzincan ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



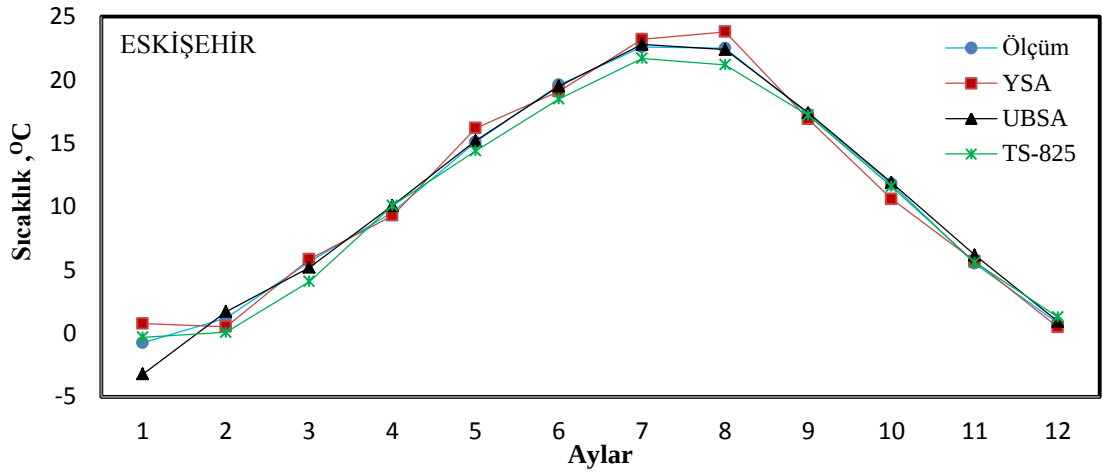
Şekil 1.61. Erzurum ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



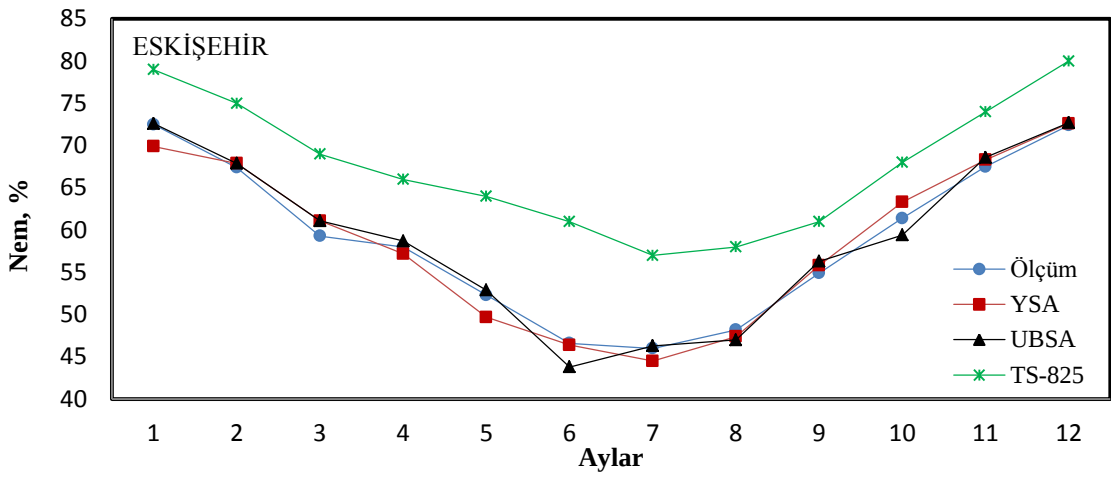
Şekil 1.62. Erzurum ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



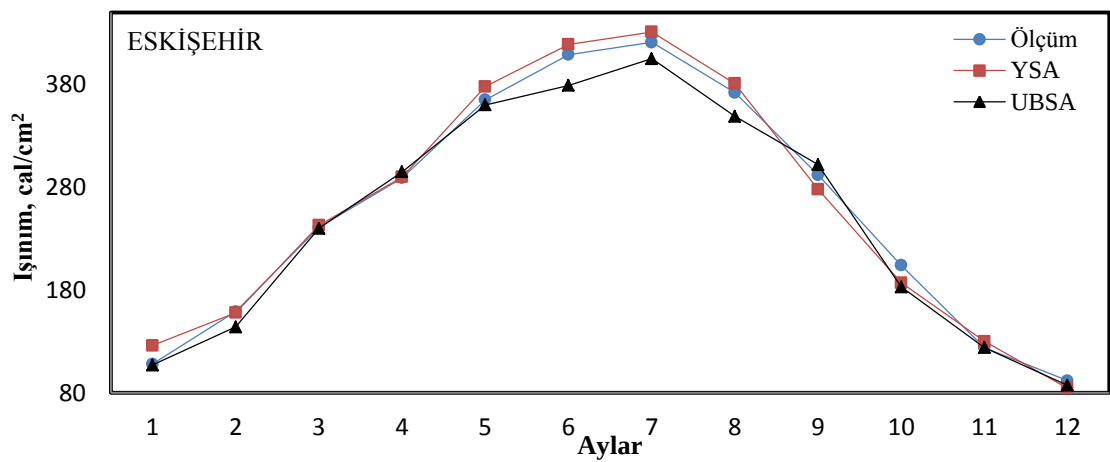
Şekil 1.63. Erzurum ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



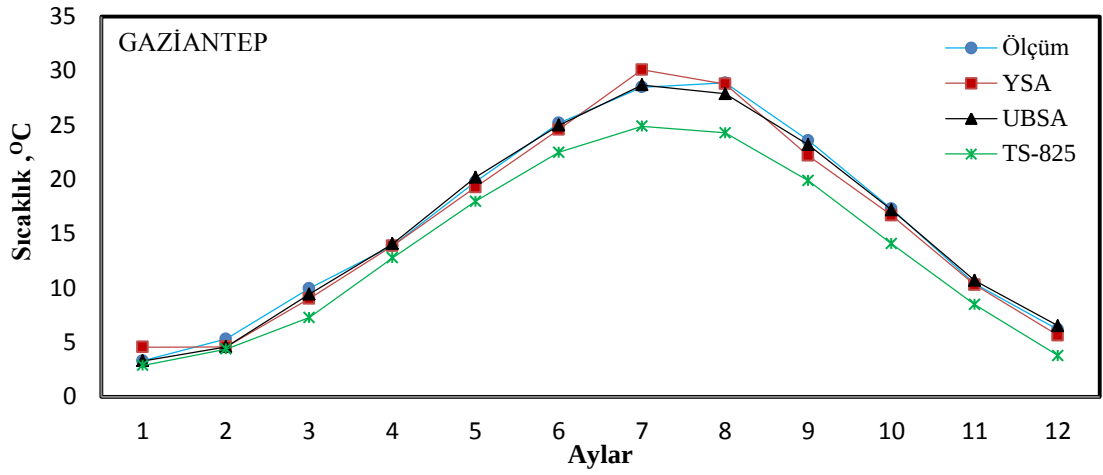
Şekil 1.64. Eskişehir ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



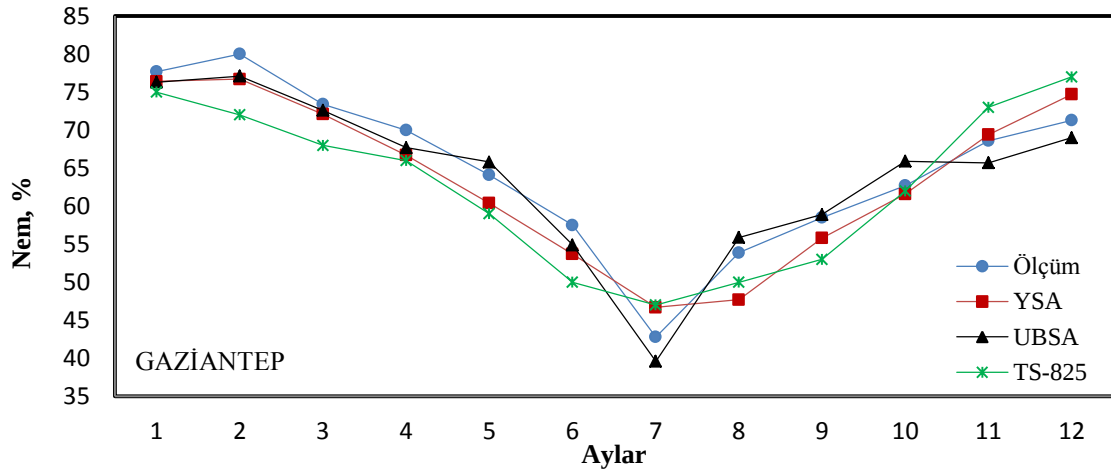
Şekil 1.65. Eskişehir ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



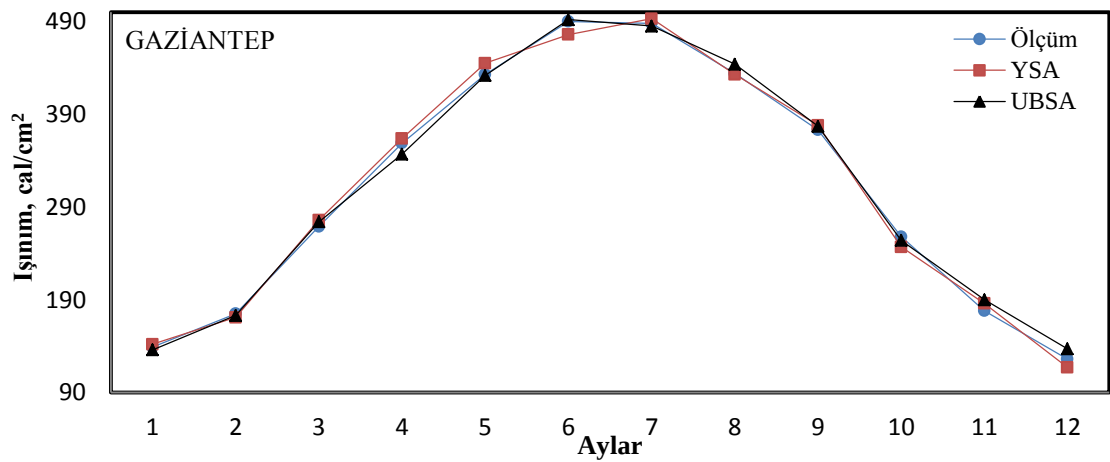
Şekil 1.66. Eskişehir ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



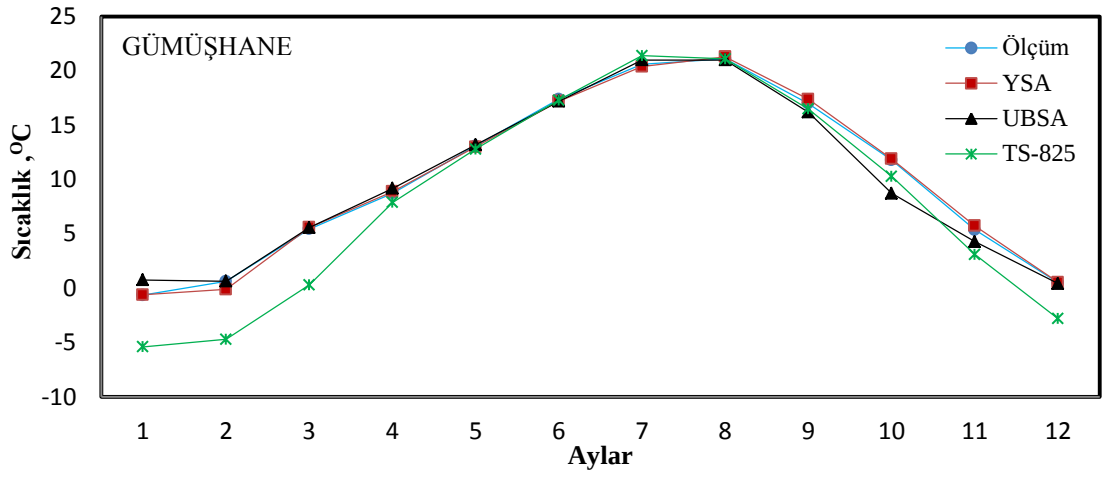
Şekil 1.67. Gaziantep ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



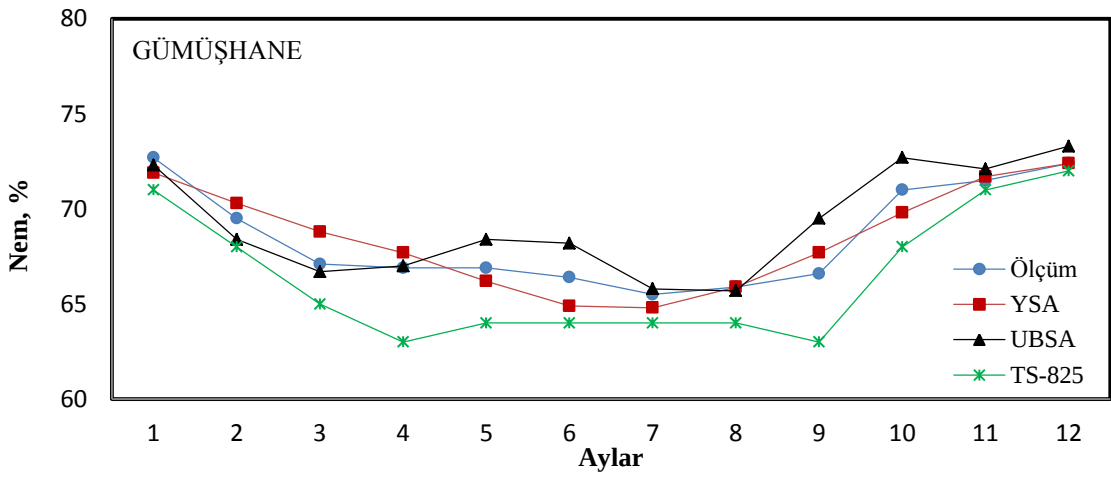
Şekil 1.68. Gaziantep ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



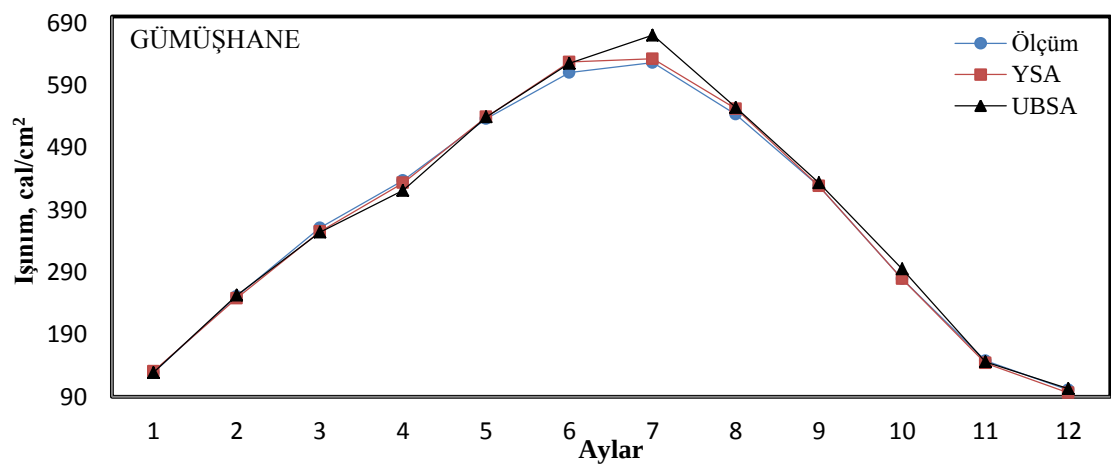
Şekil 1.69. Gaziantep ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



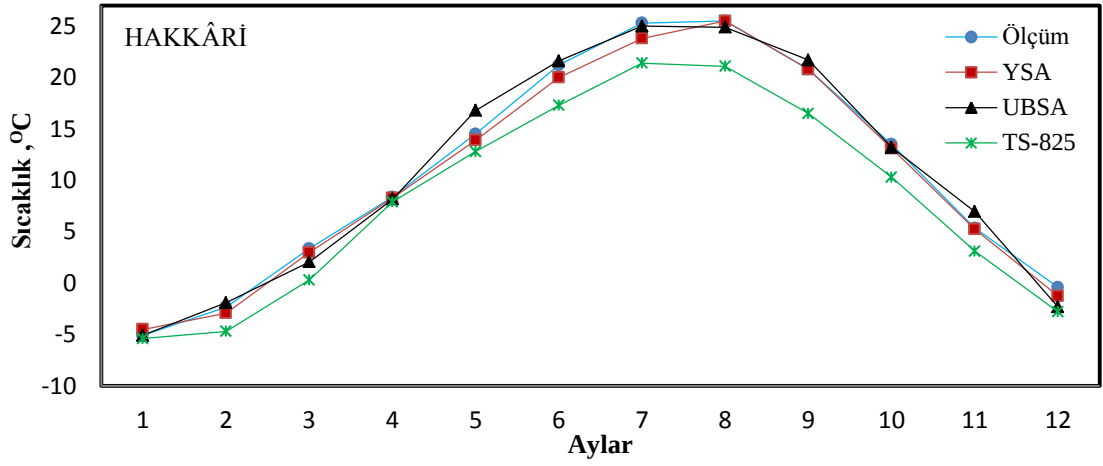
Şekil 1.70. Gümüşhane ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



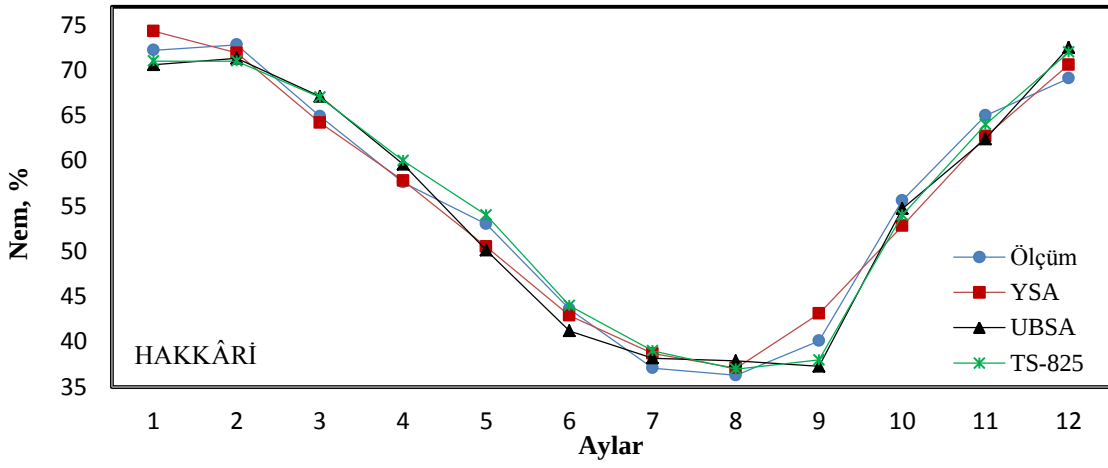
Şekil 1.71. Gümüşhane ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



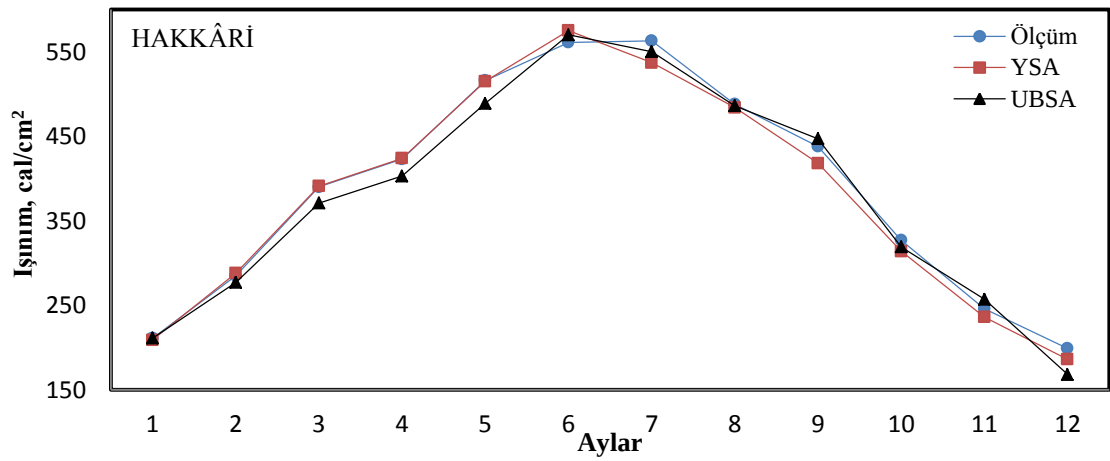
Şekil 1.72. Gümüşhane ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



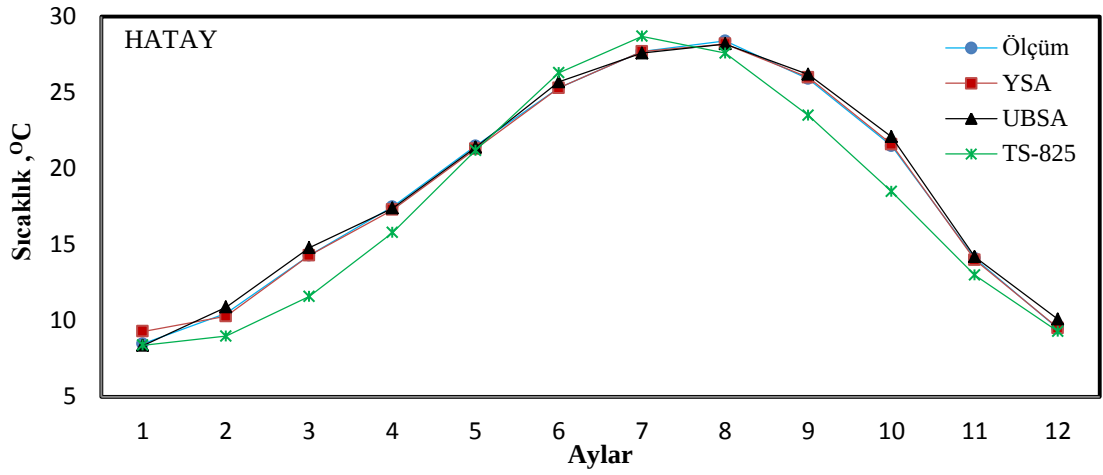
Şekil 1.73. Hakkâri ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



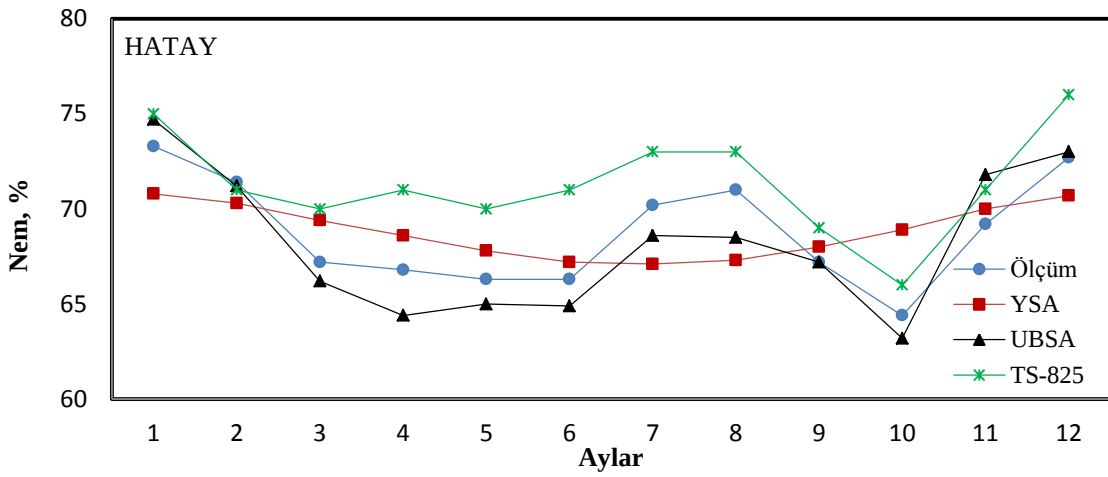
Şekil 1.74. Hakkâri ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



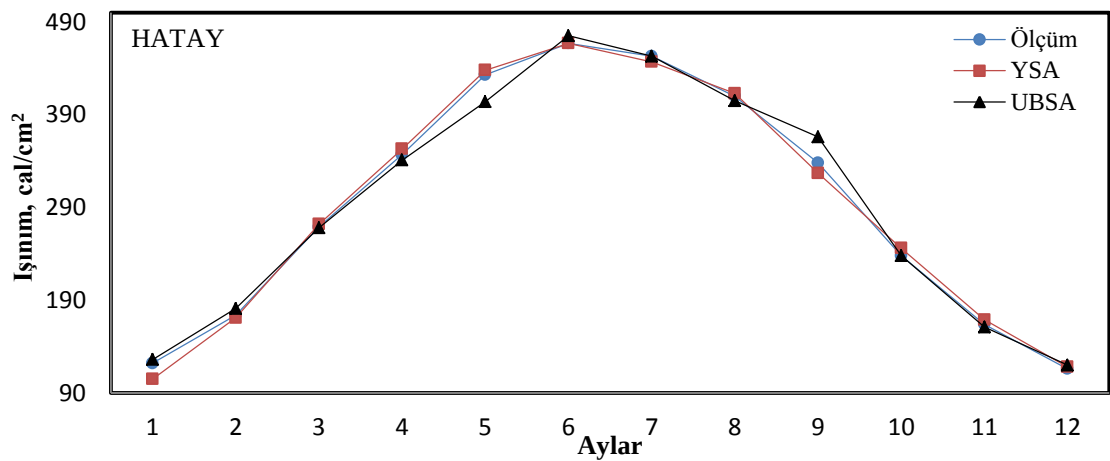
Şekil 1.75. Hakkâri ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



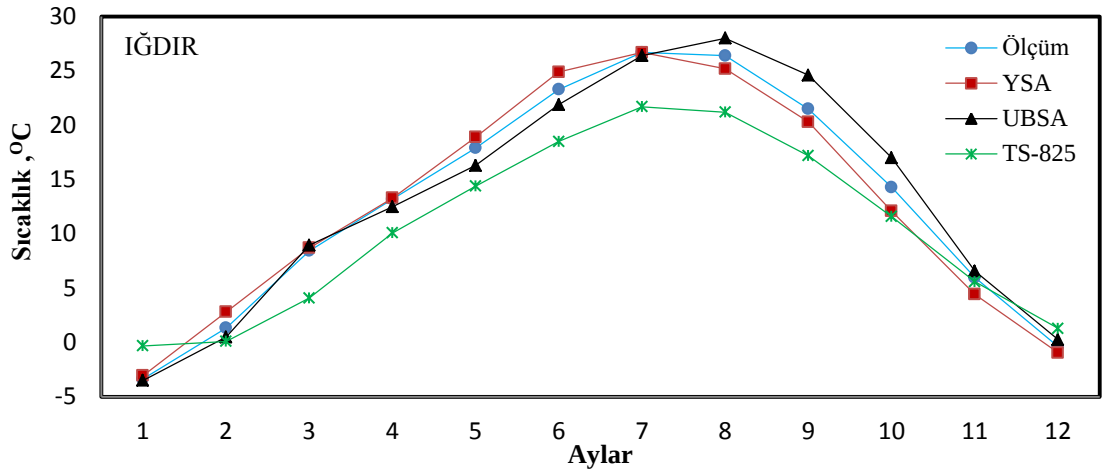
Şekil 1.76. Hatay ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



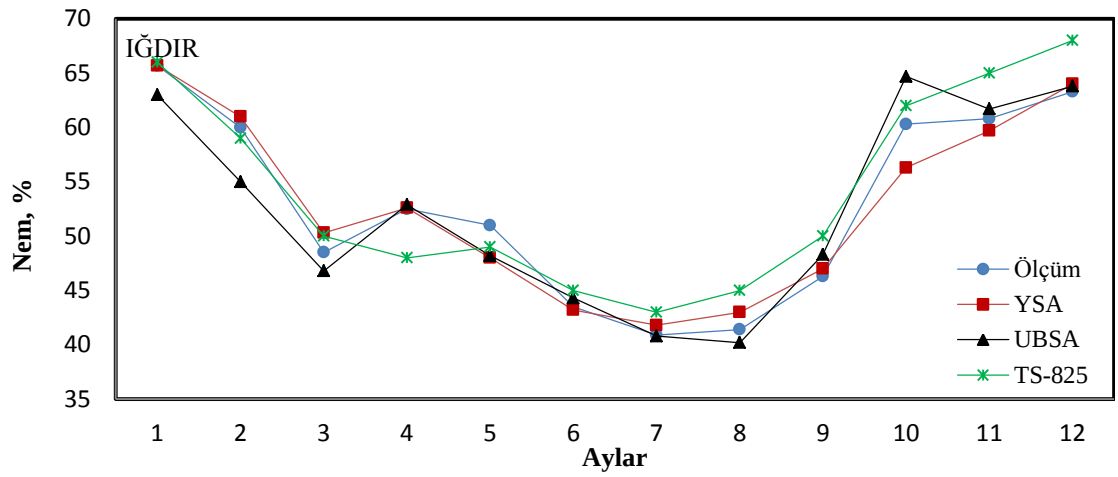
Şekil 1.77. Hatay ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



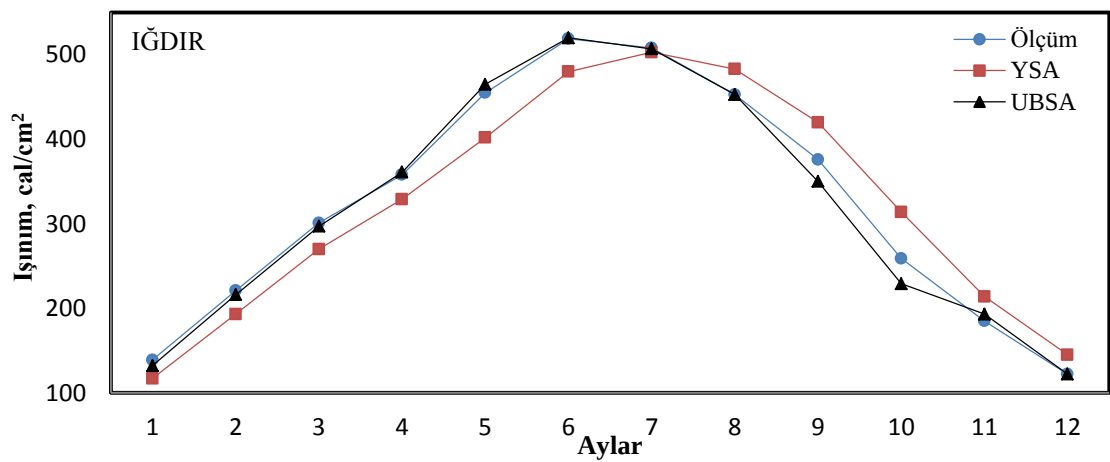
Şekil 1.78. Hatay ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



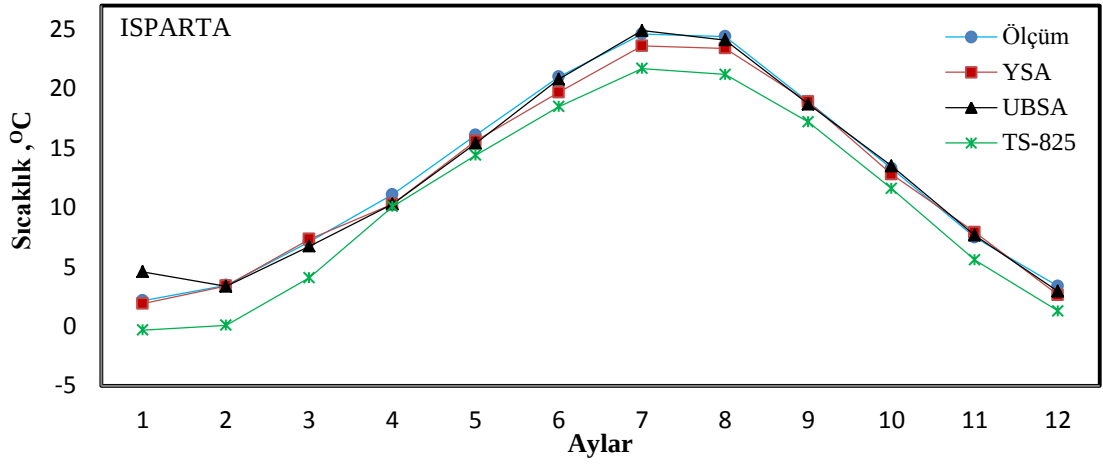
Şekil 1.79. Iğdır ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



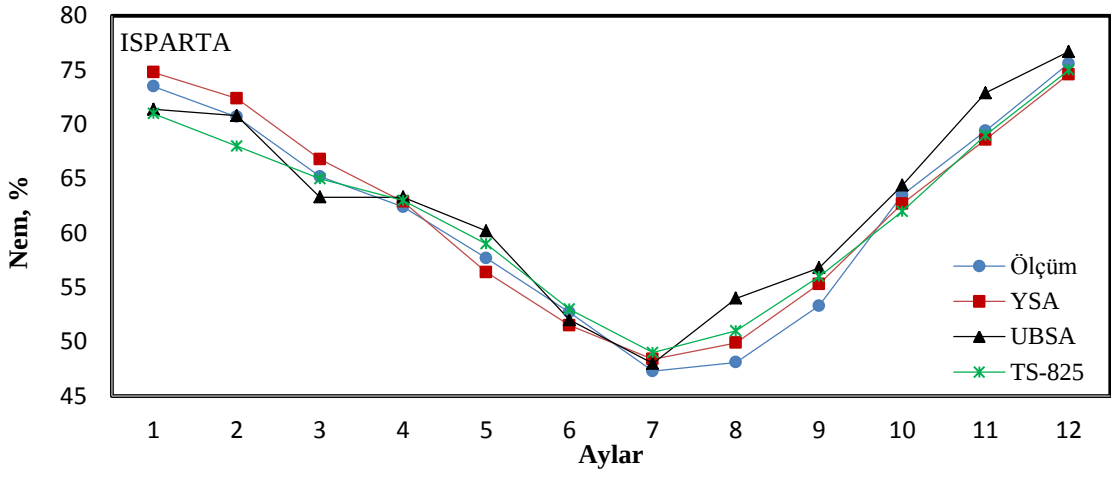
Şekil 1.80. Iğdır ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



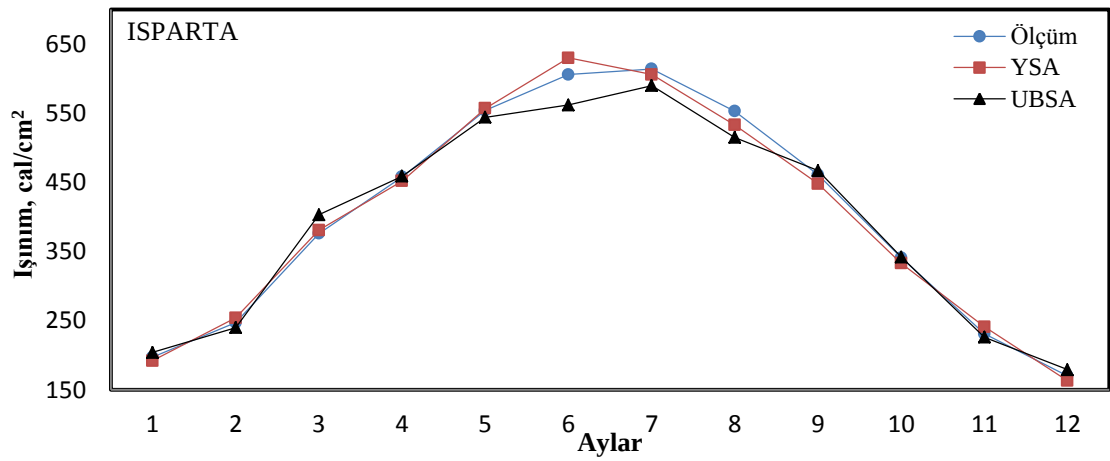
Şekil 1.81. Iğdır ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



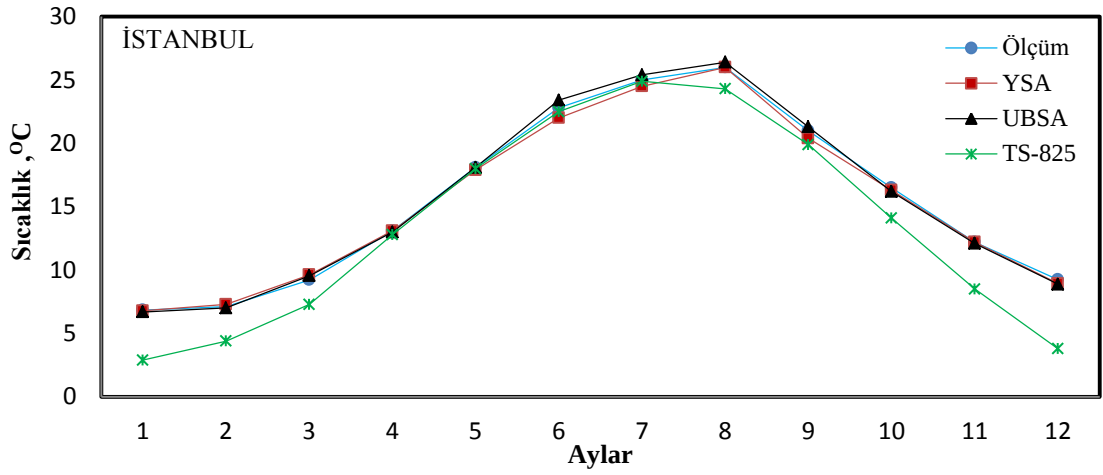
Şekil 1.82. Isparta ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



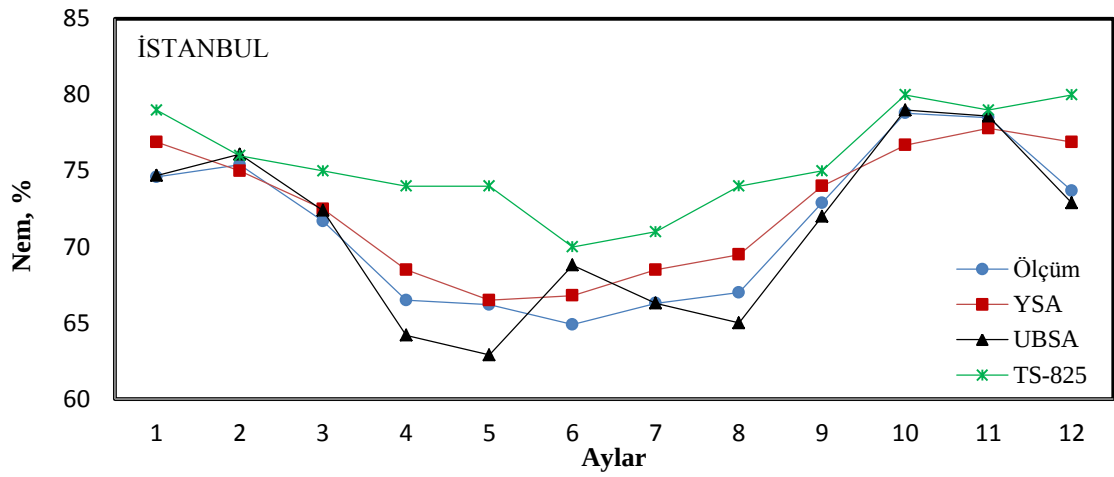
Şekil 1.83. Isparta ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



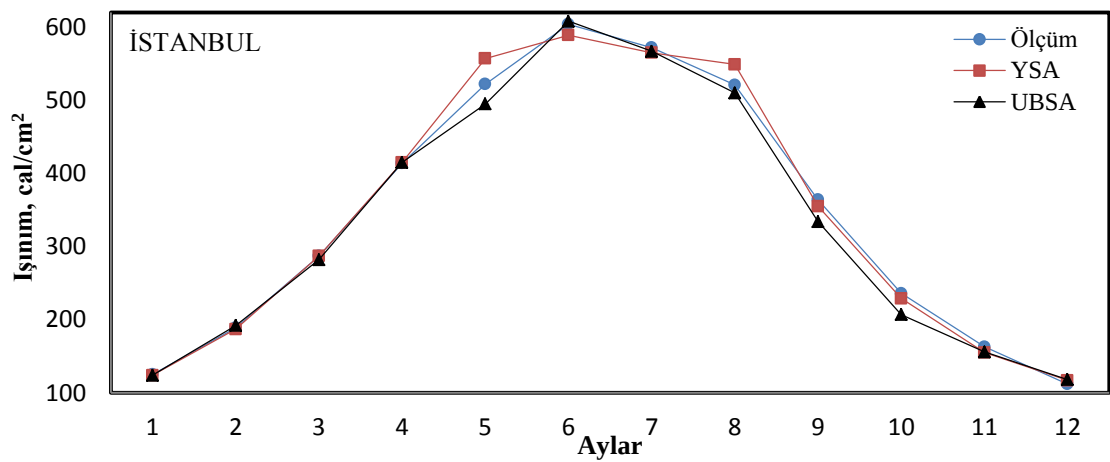
Şekil 1.84. Isparta ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



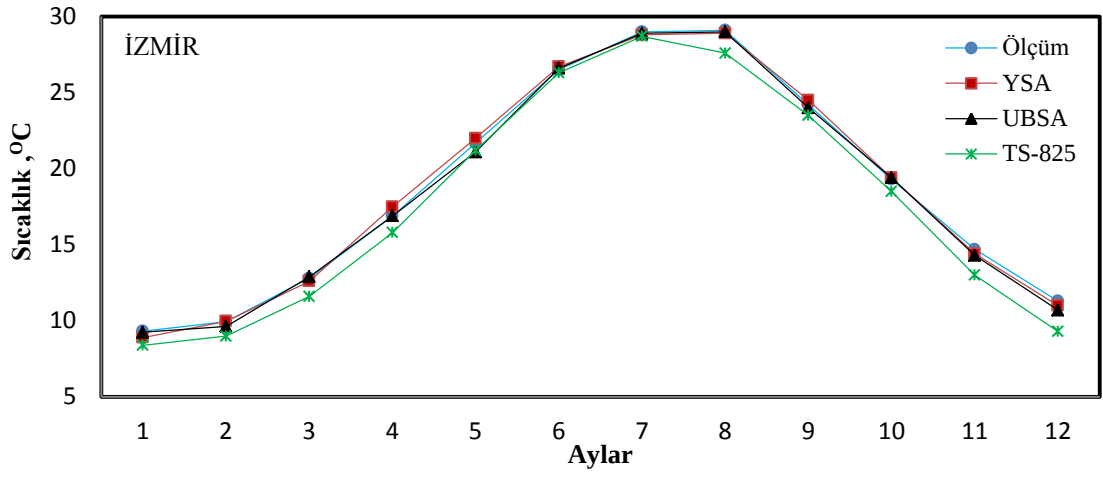
Şekil 1.85. İstanbul ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



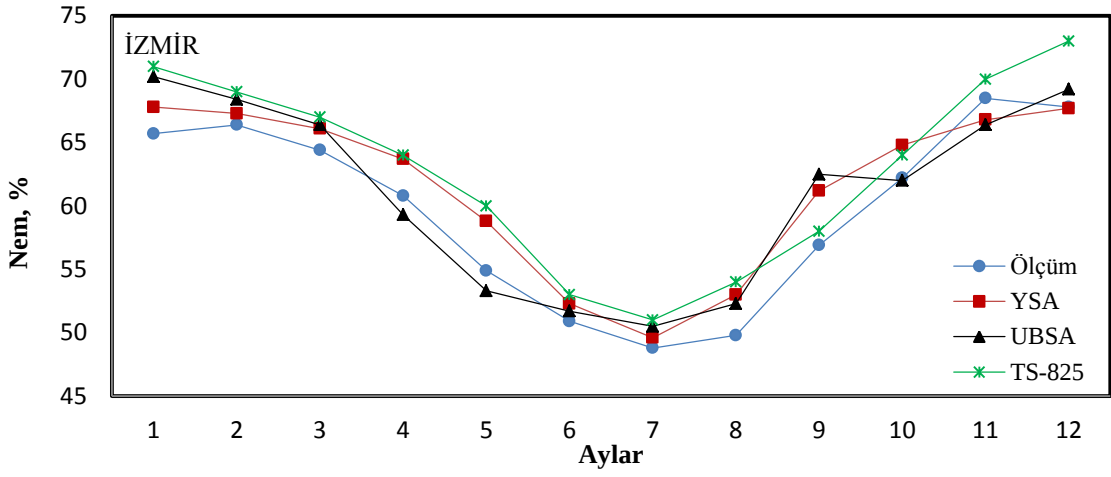
Şekil 1.86. İstanbul ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



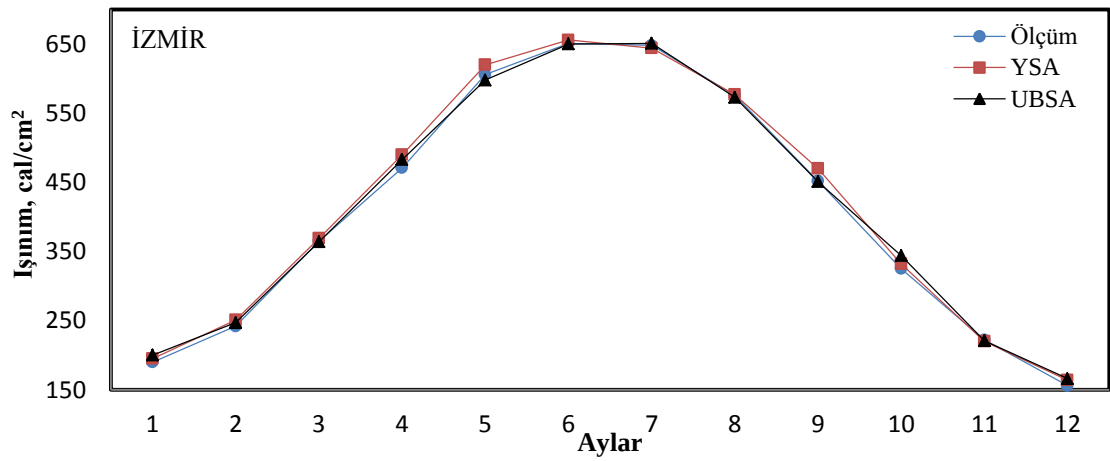
Şekil 1.87. İstanbul ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



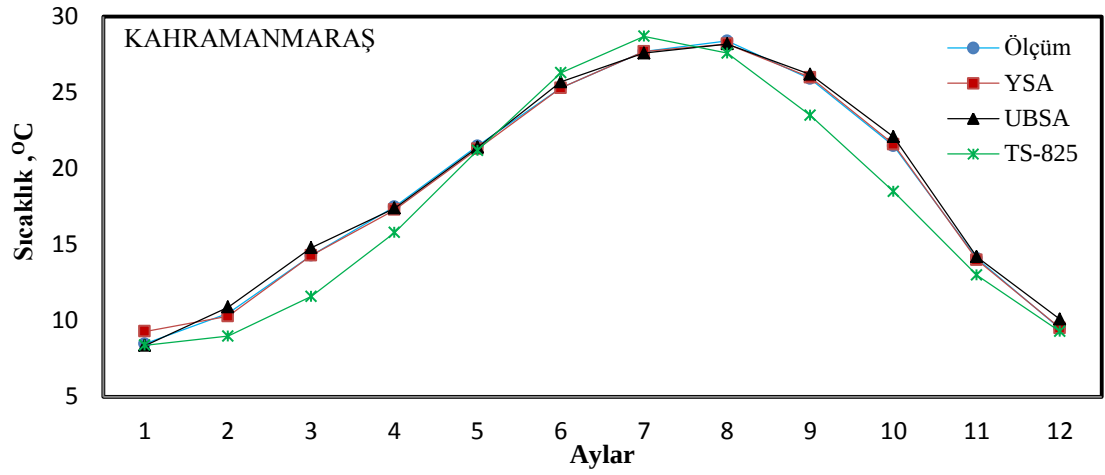
Şekil 1.88. İzmir ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



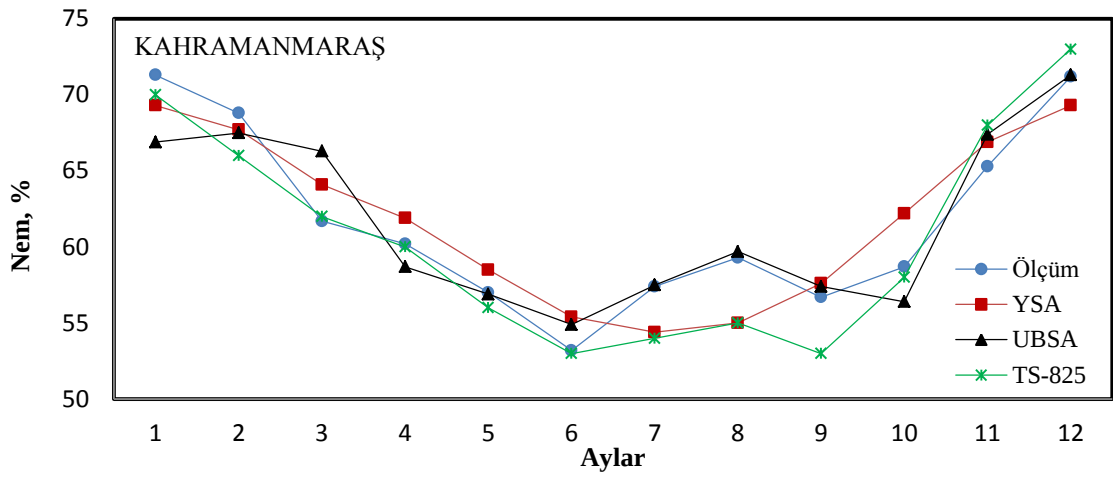
Şekil 1.89. İzmir ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



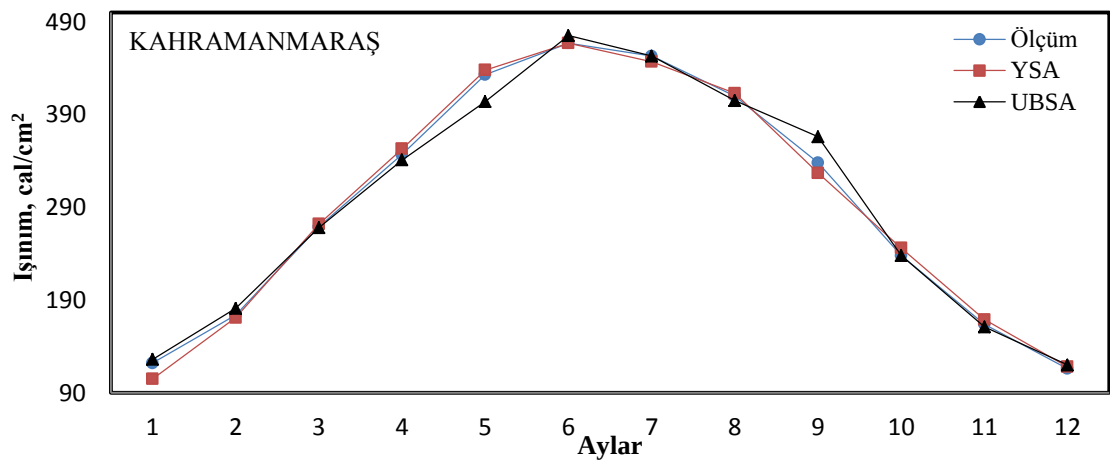
Şekil 1.90. İzmir ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



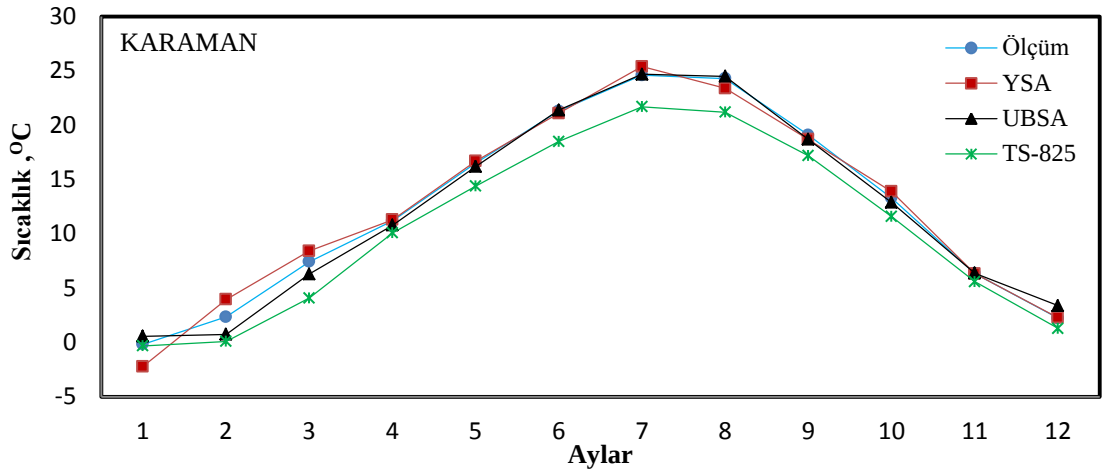
Şekil 1.91. Kahramanmaraş ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



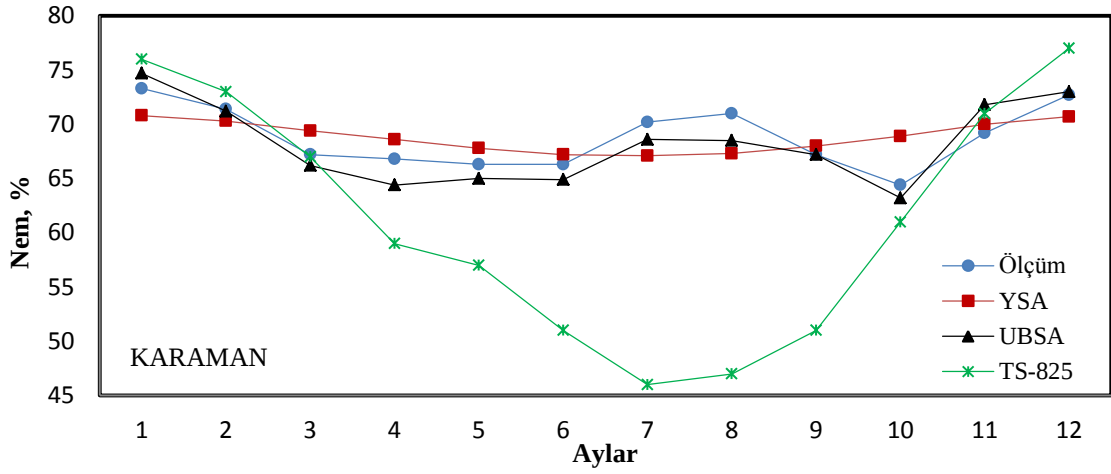
Şekil 1.92. Kahramanmaraş ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



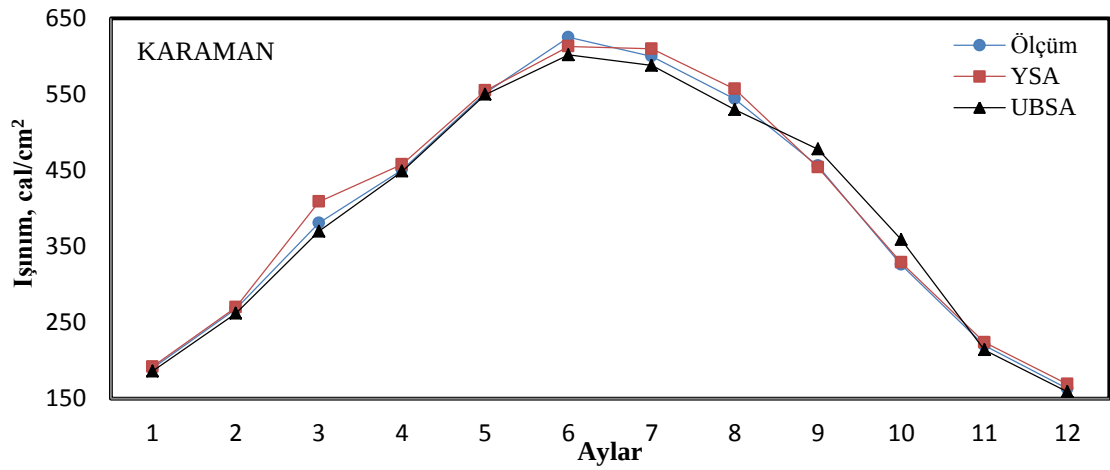
Şekil 1.93. Kahramanmaraş ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



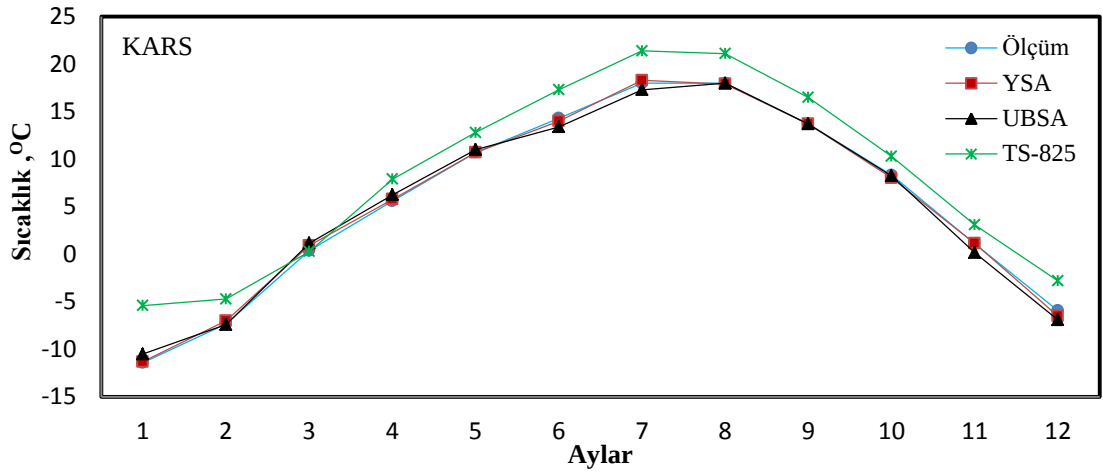
Şekil 1.94. Karaman ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



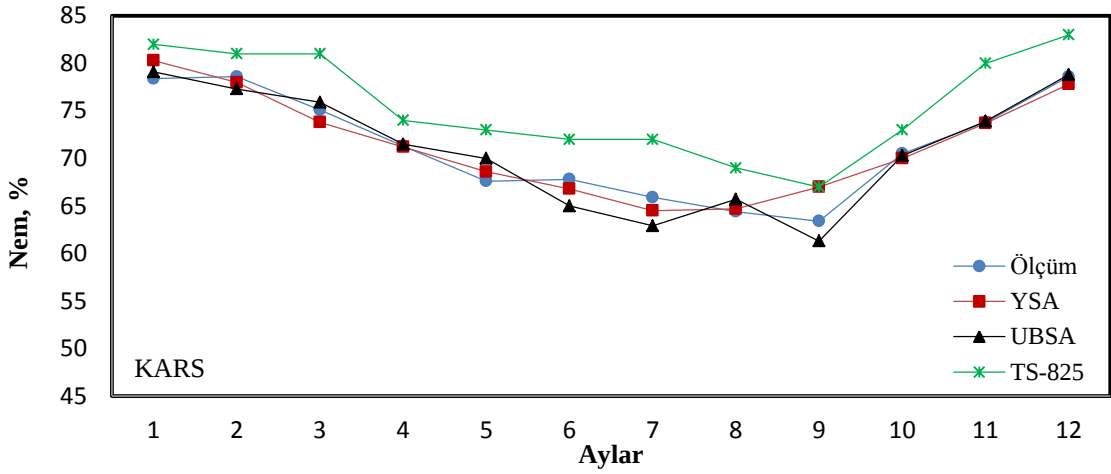
Şekil 1.95. Karaman ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



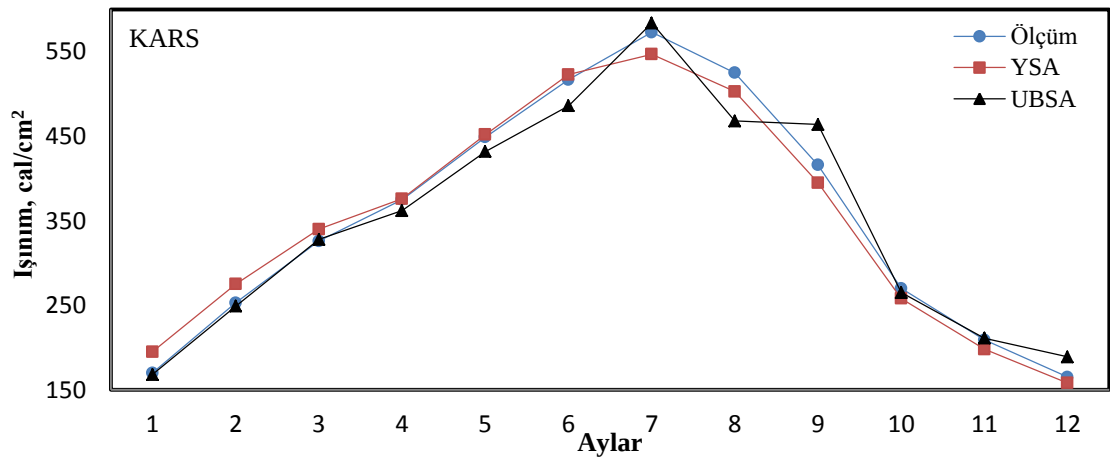
Şekil 1.96. Karaman ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



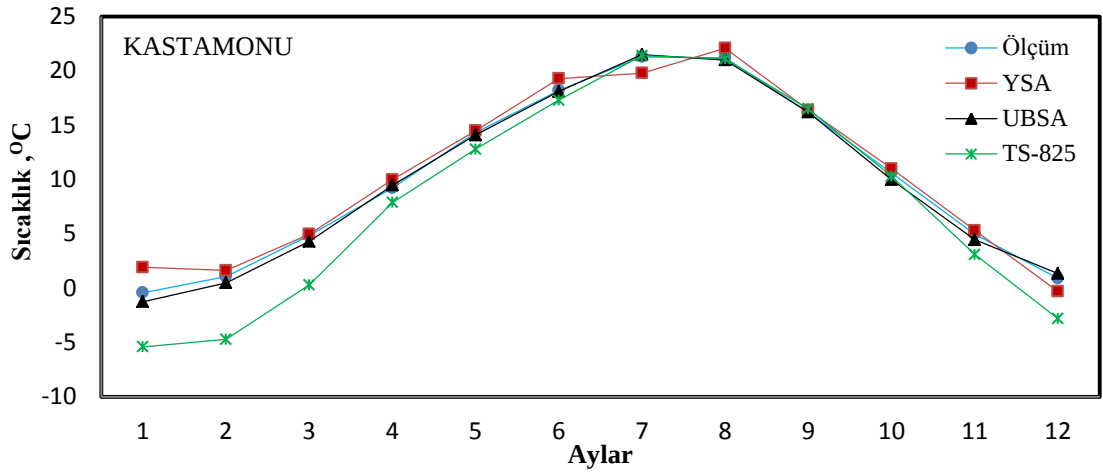
Şekil 1.97. Kars ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



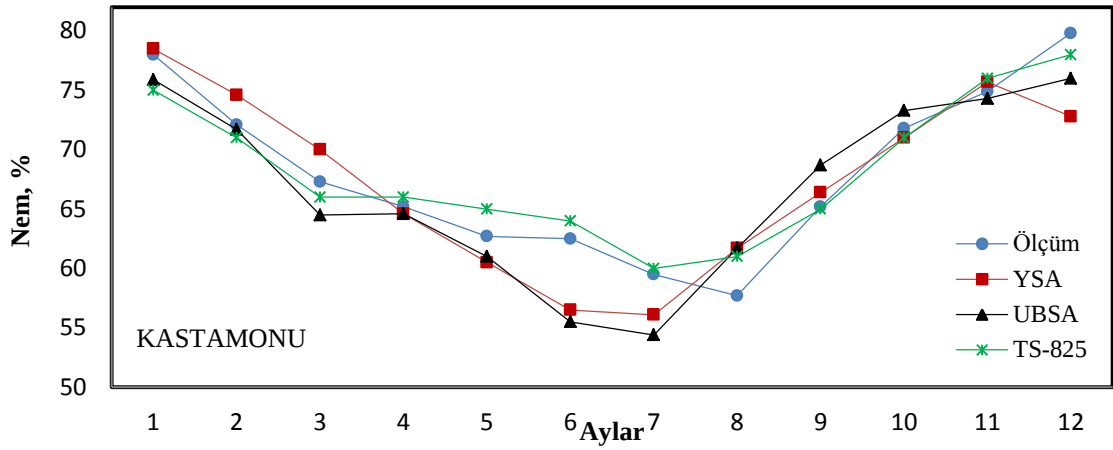
Şekil 1.98. Kars ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



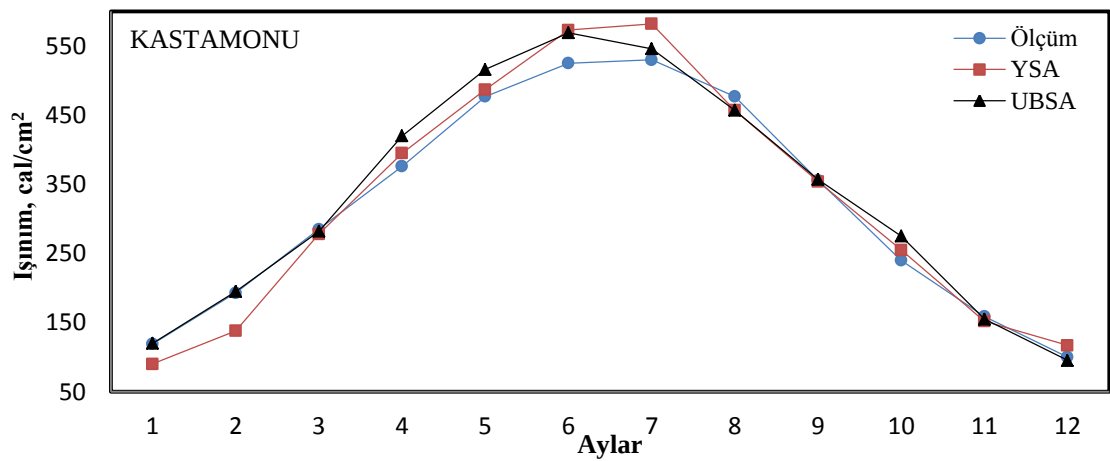
Şekil 1.99. Kars ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



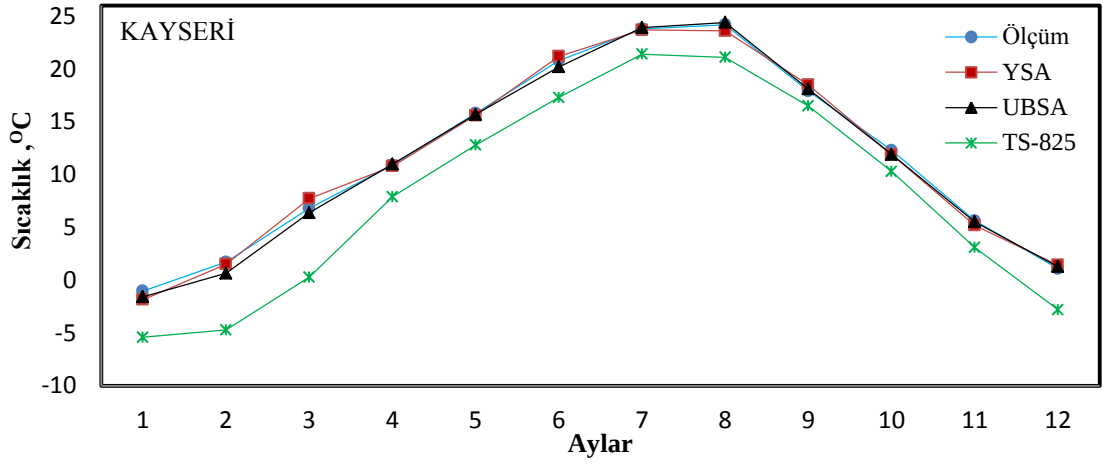
Şekil 1.100. Kastamonu ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



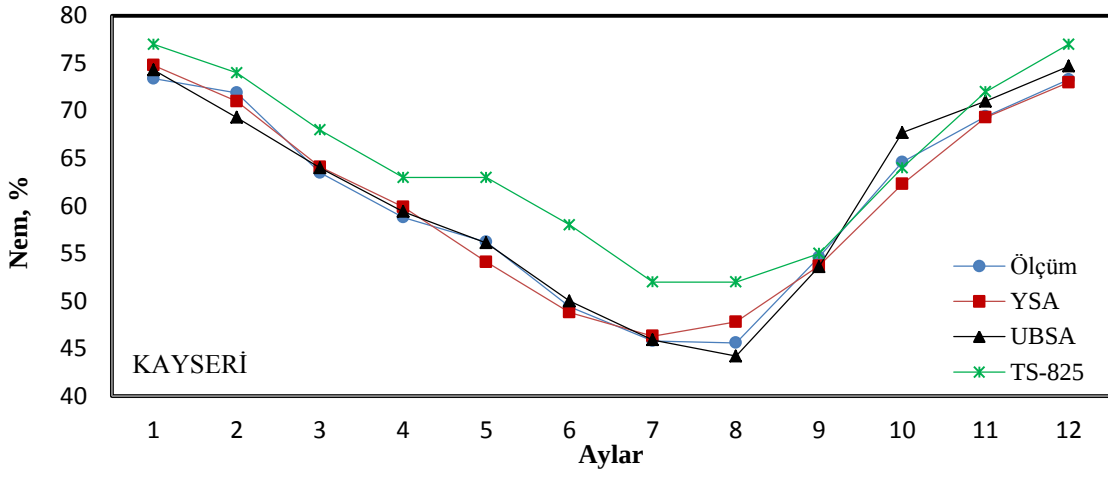
Şekil 1.101. Kastamonu ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



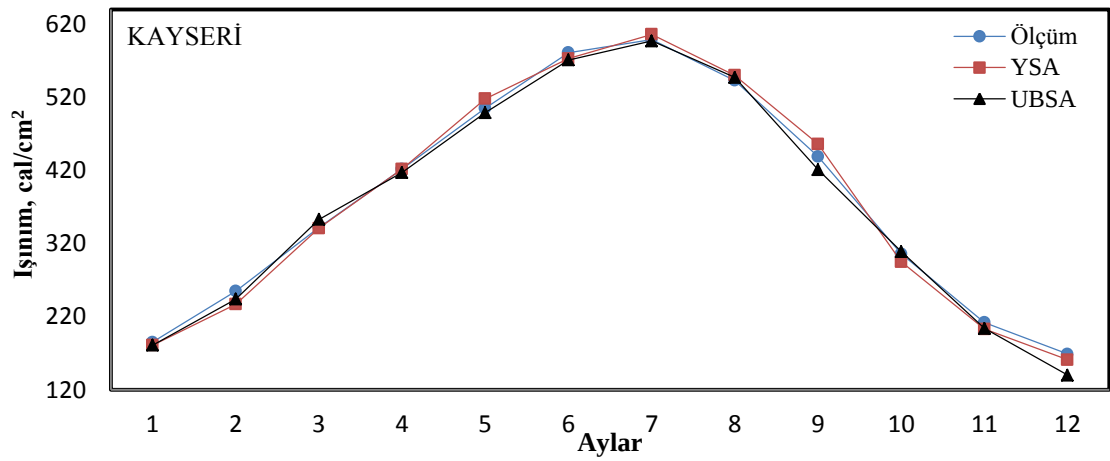
Şekil 1.102. Kastamonu ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



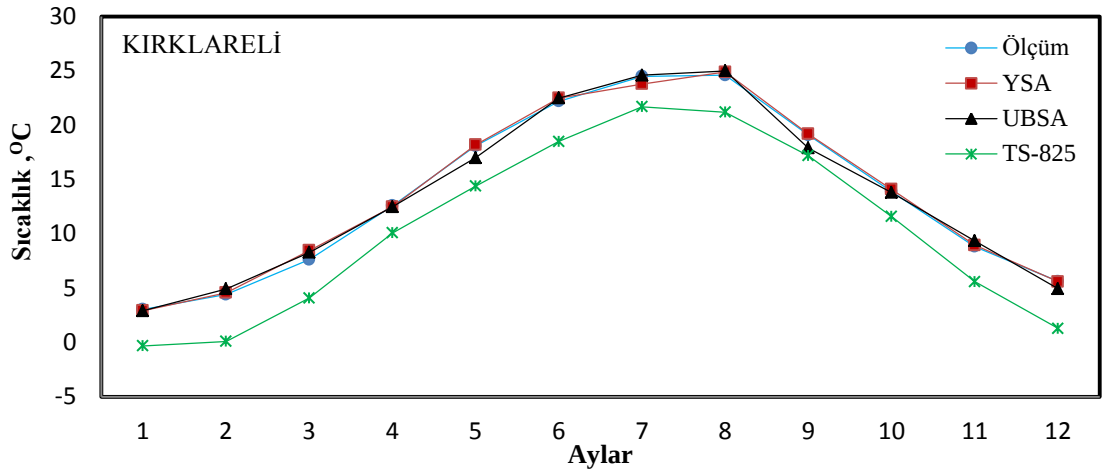
Şekil 1.103. Kayseri ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



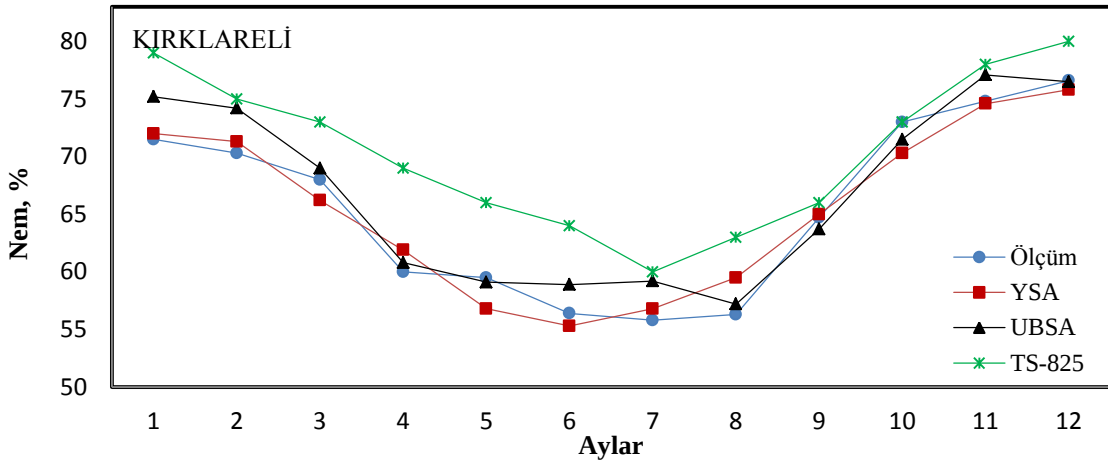
Şekil 1.104. Kayseri ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



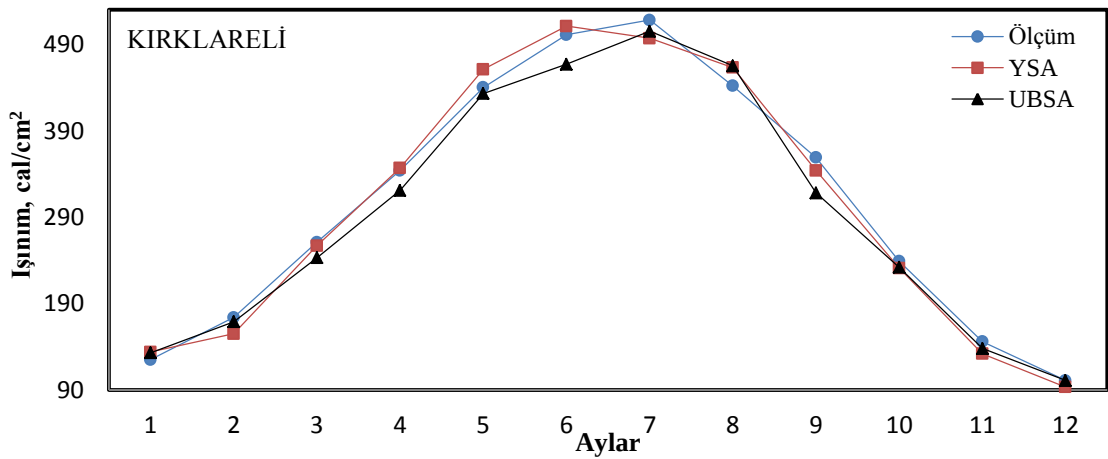
Şekil 1.105. Kayseri ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



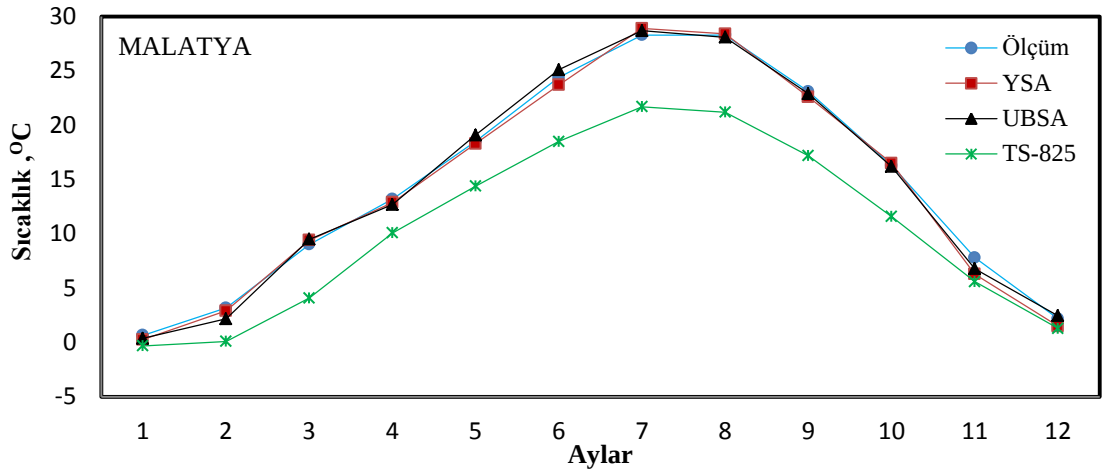
Şekil 1.103. Kırklareli ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



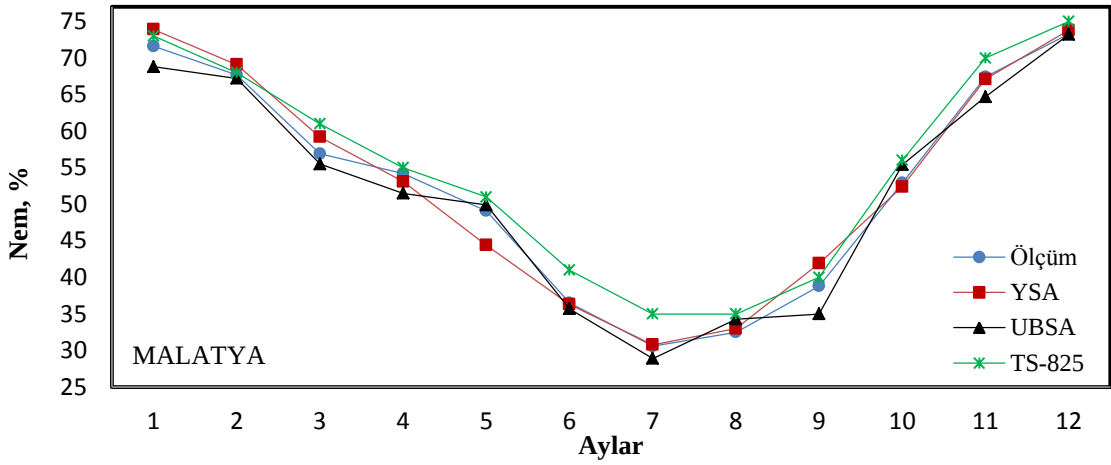
Şekil 1.107. Kırklareli ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



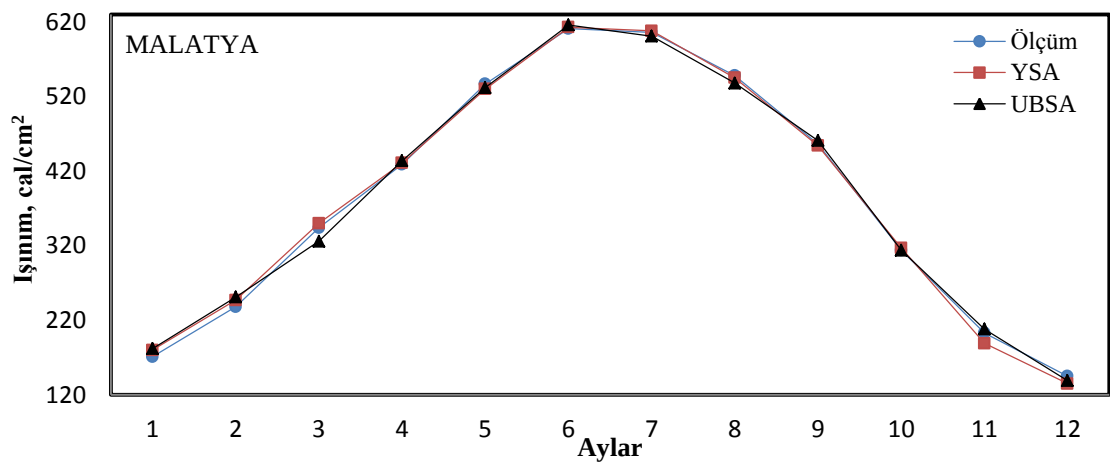
Şekil 1.108. Kırklareli ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



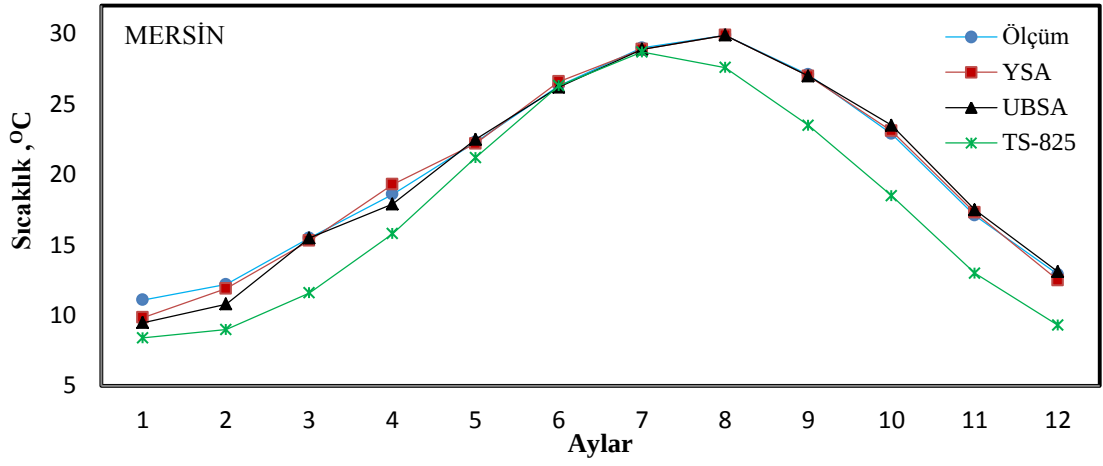
Şekil 1.109. Malatya ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



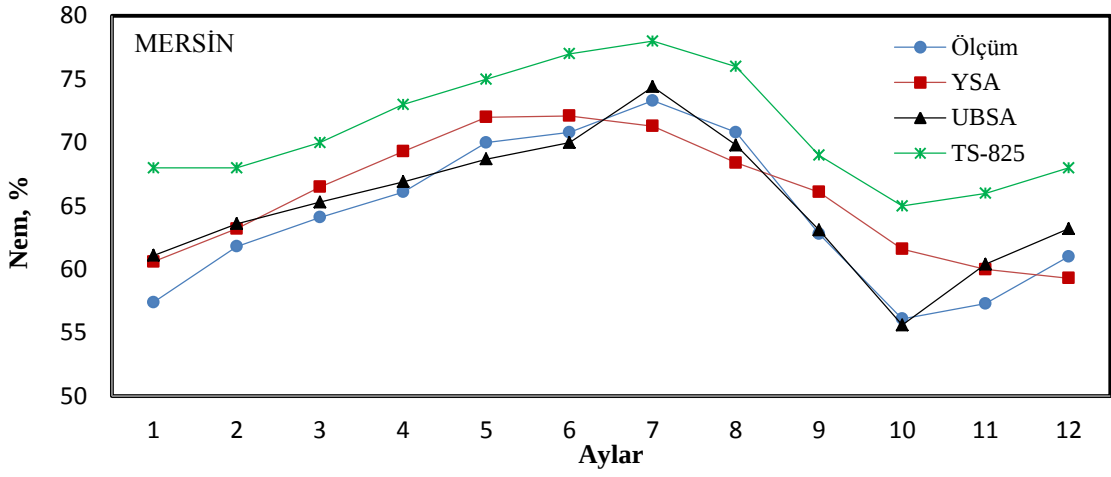
Şekil 1.110. Malatya ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



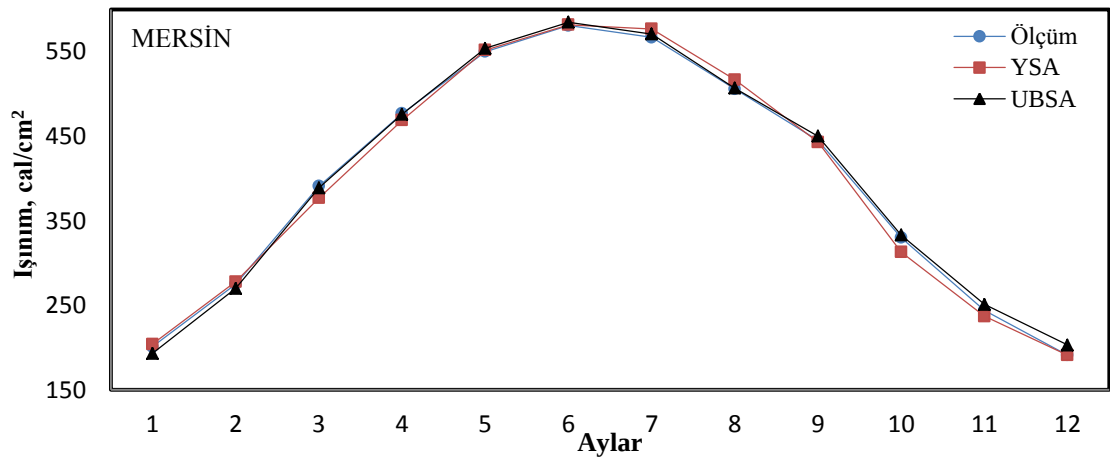
Şekil 1.111. Malatya ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



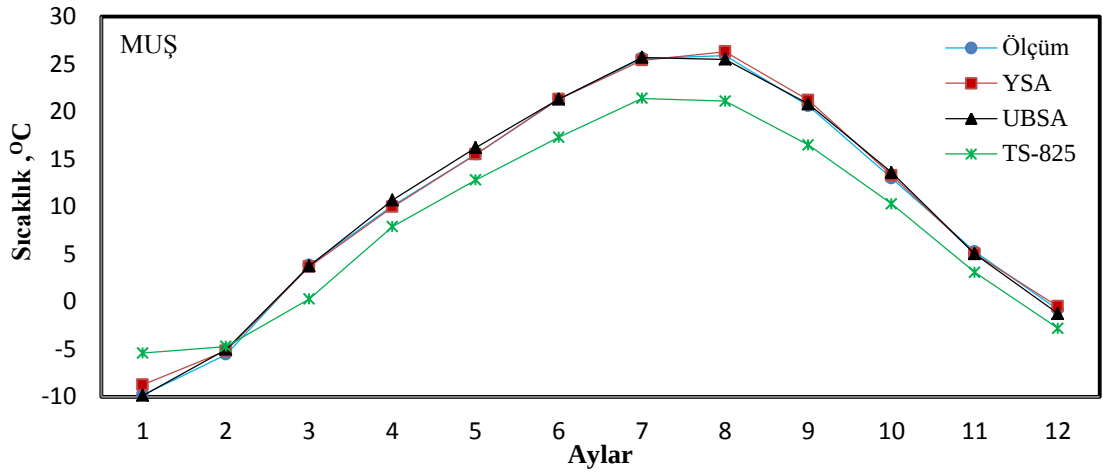
Şekil 1.112. Mersin ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



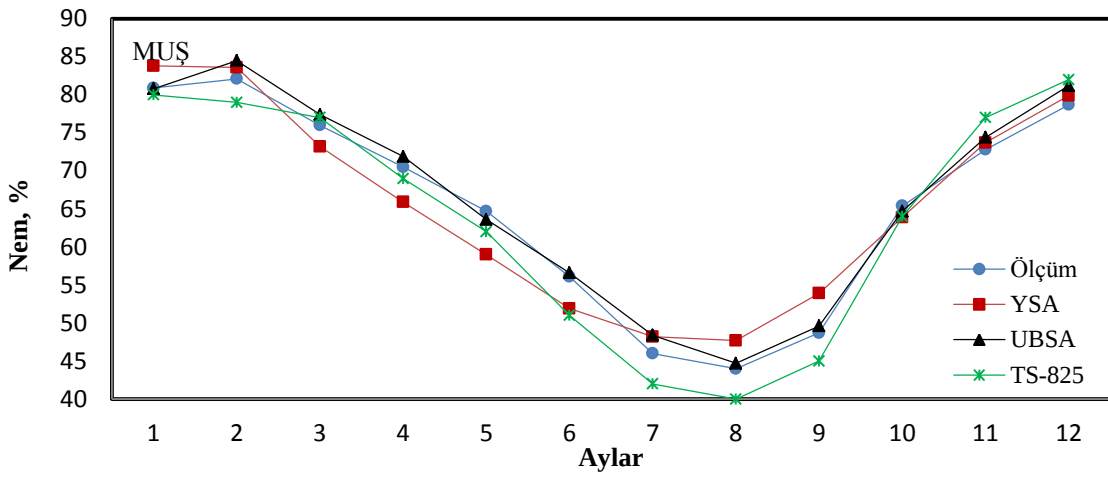
Şekil 1.113. Mersin ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



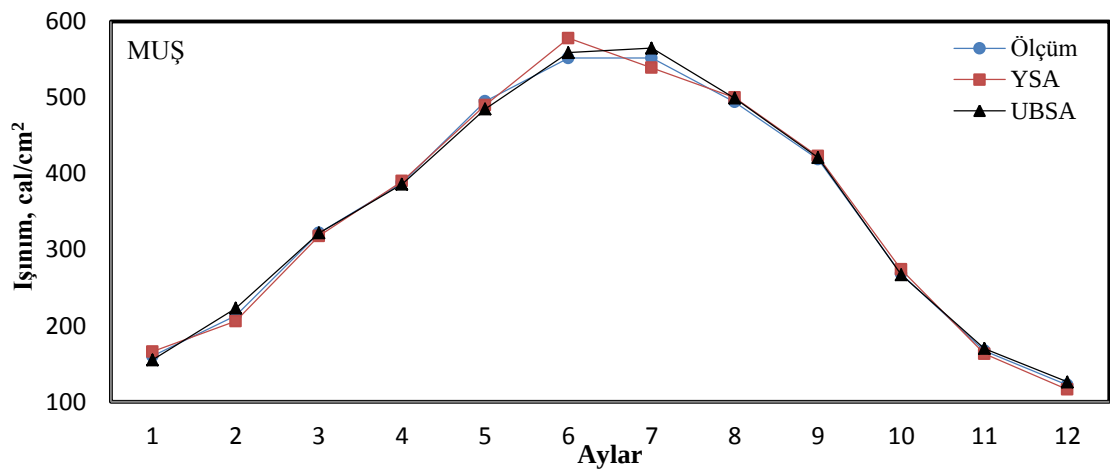
Şekil 1.114. Mersin ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



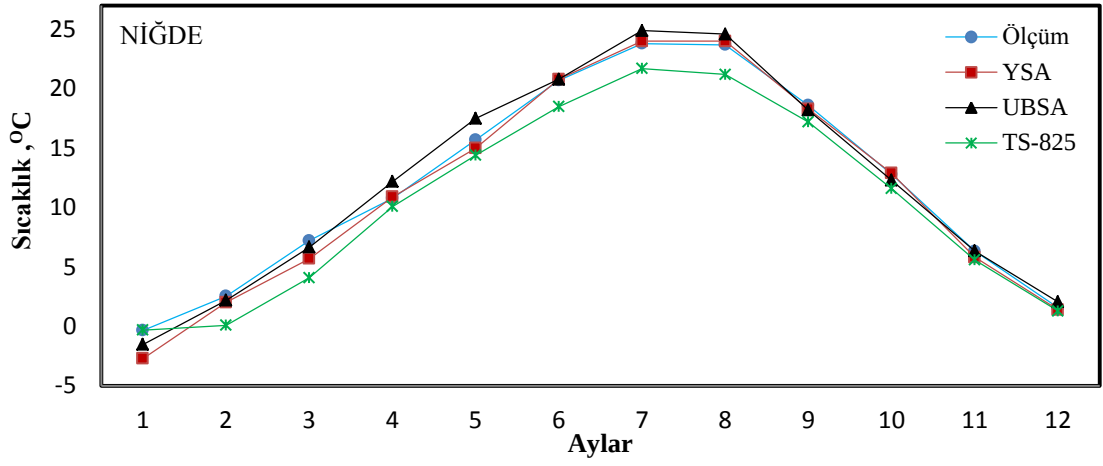
Şekil 1.115. Muş ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



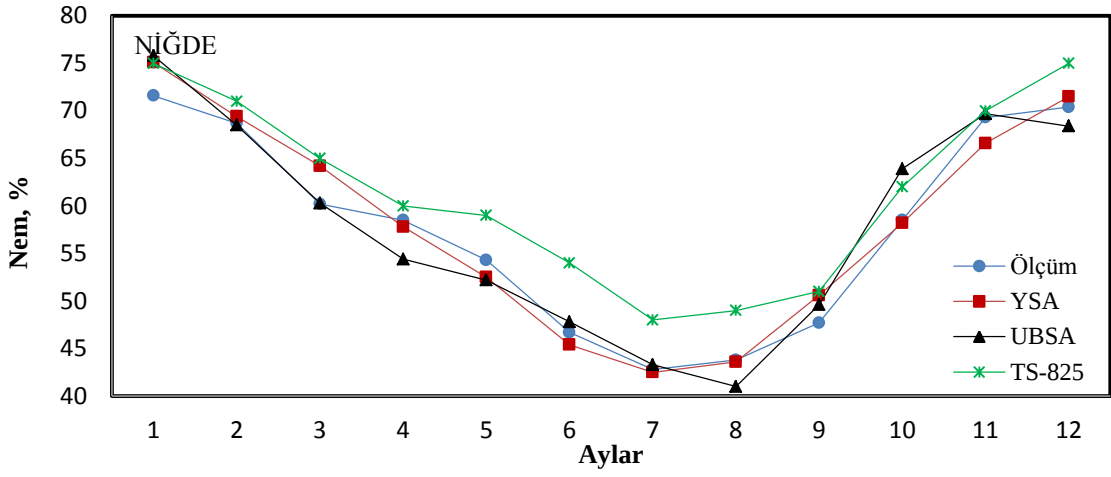
Şekil 1.116. Muş ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



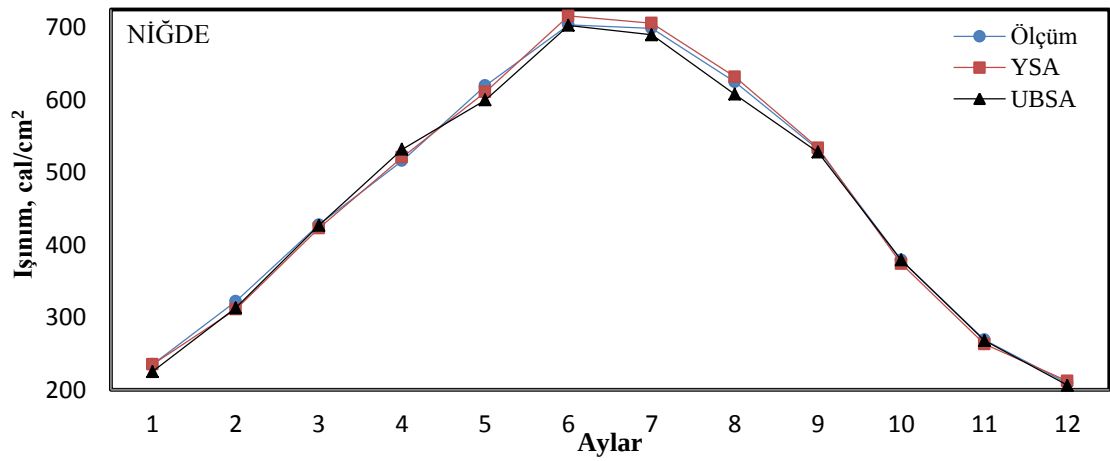
Şekil 1.117. Muş ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



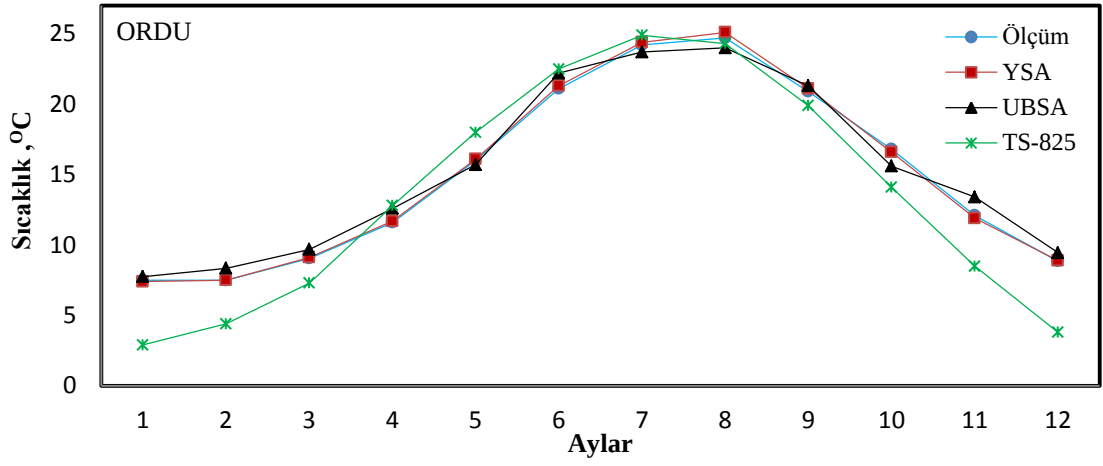
Şekil 1.118. Niğde ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



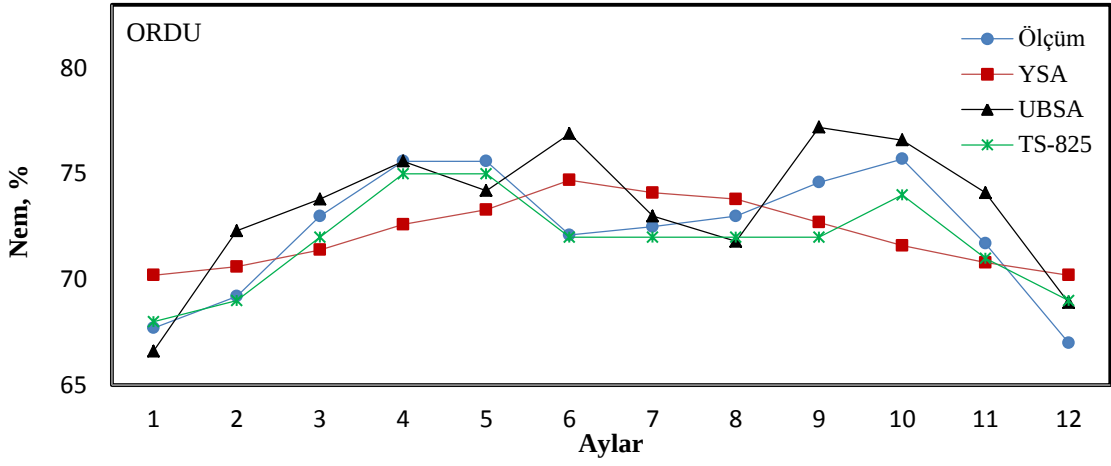
Şekil 1.119. Niğde ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



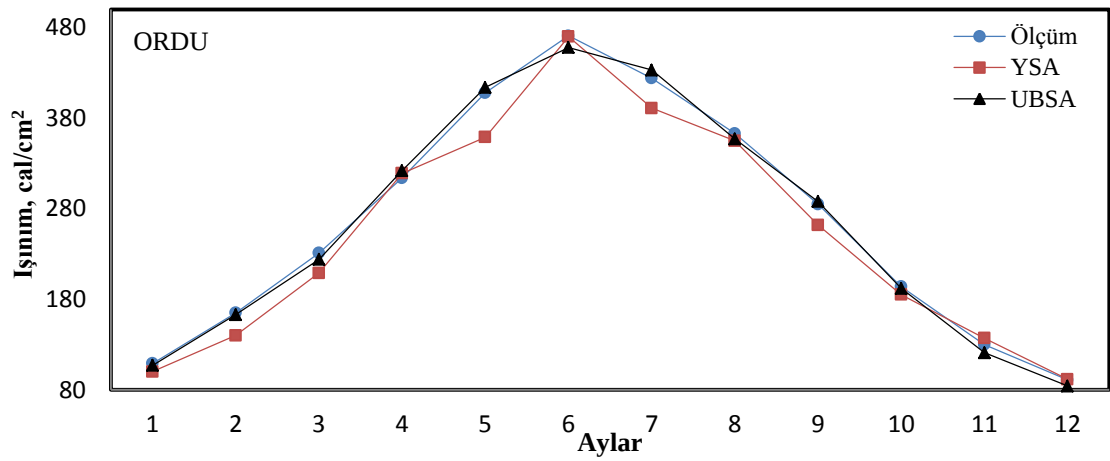
Şekil 1.120. Niğde ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



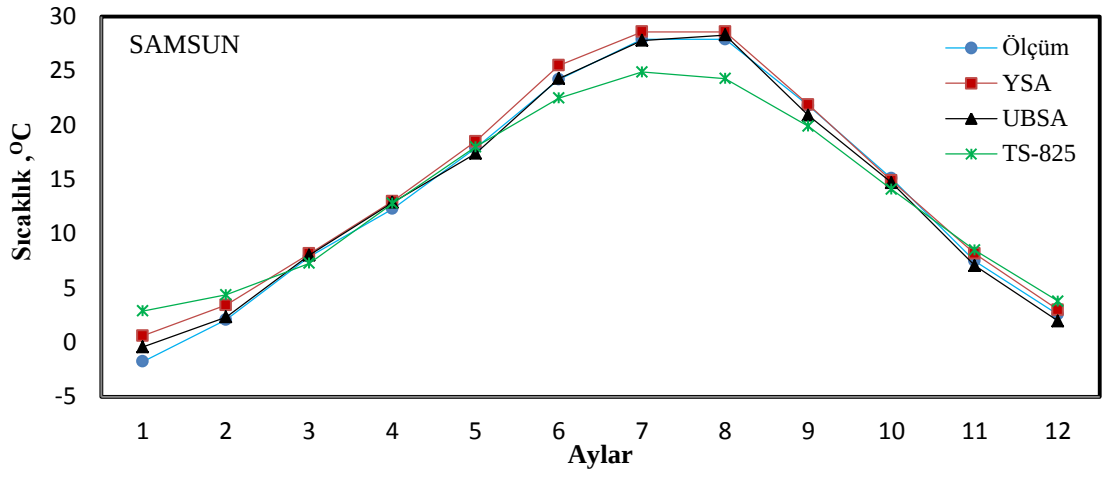
Şekil 1.121. Ordu ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



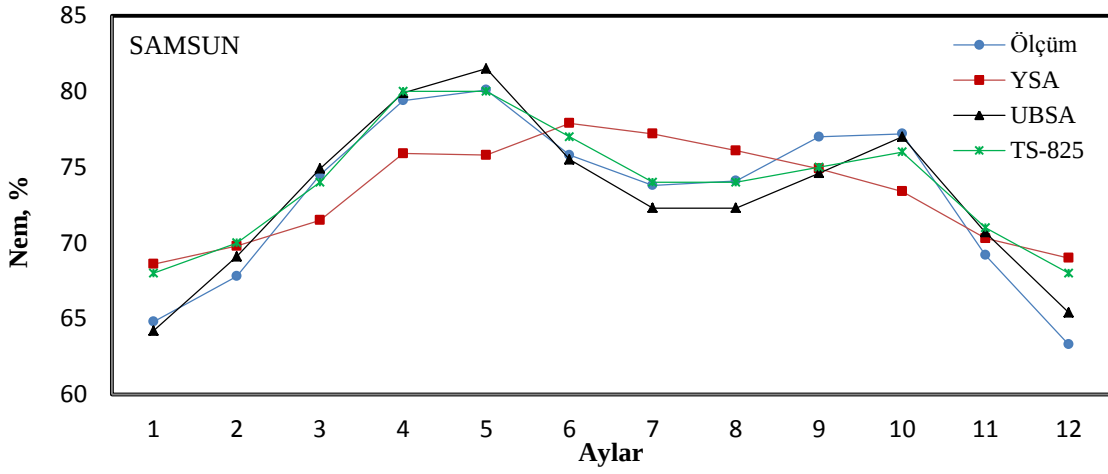
Şekil 1.122. Ordu ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



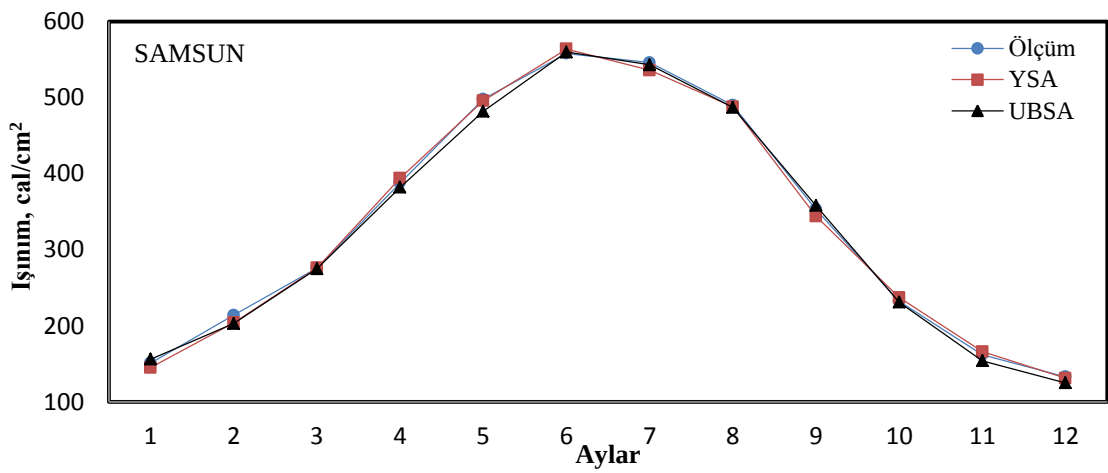
Şekil 1.123. Ordu ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



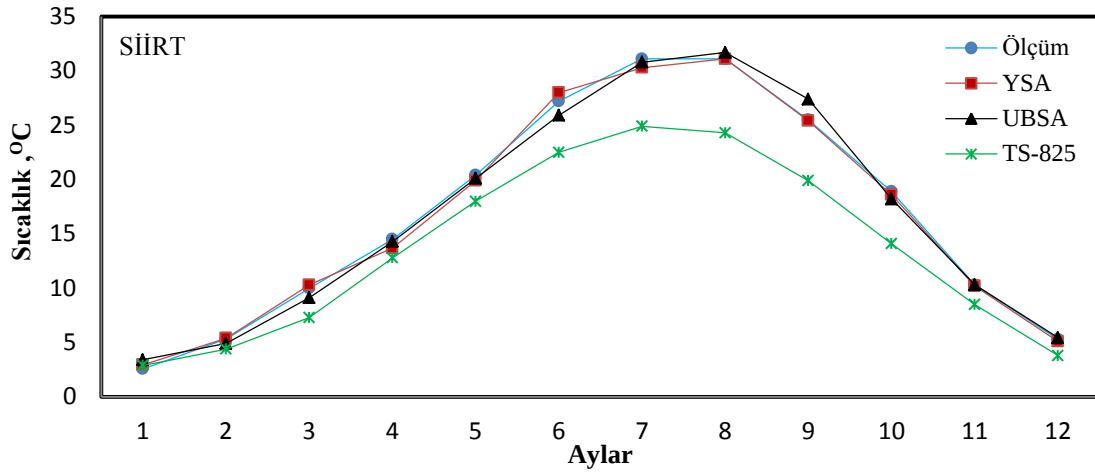
Şekil 1.124. Samsun ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



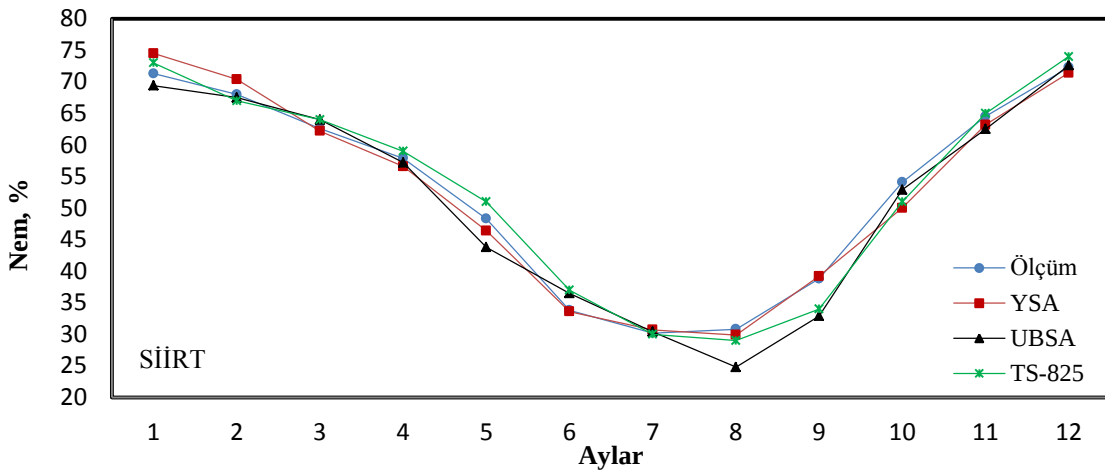
Şekil 1.125. Samsun ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



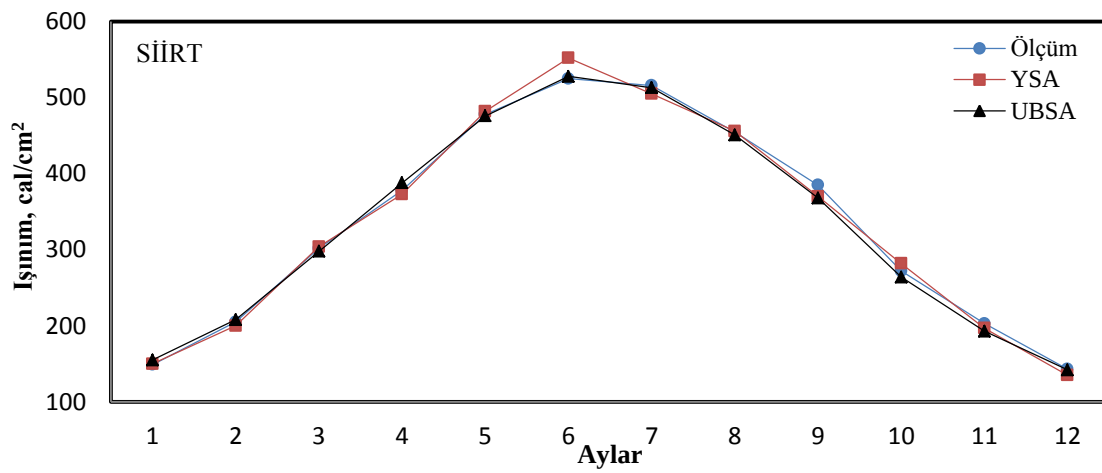
Şekil 1.126. Samsun ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



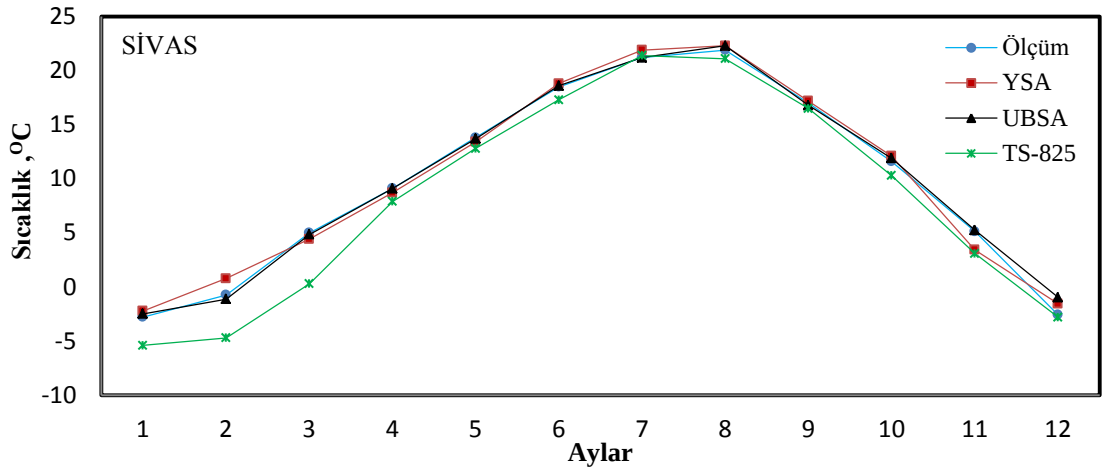
Şekil 1.127. Siirt ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



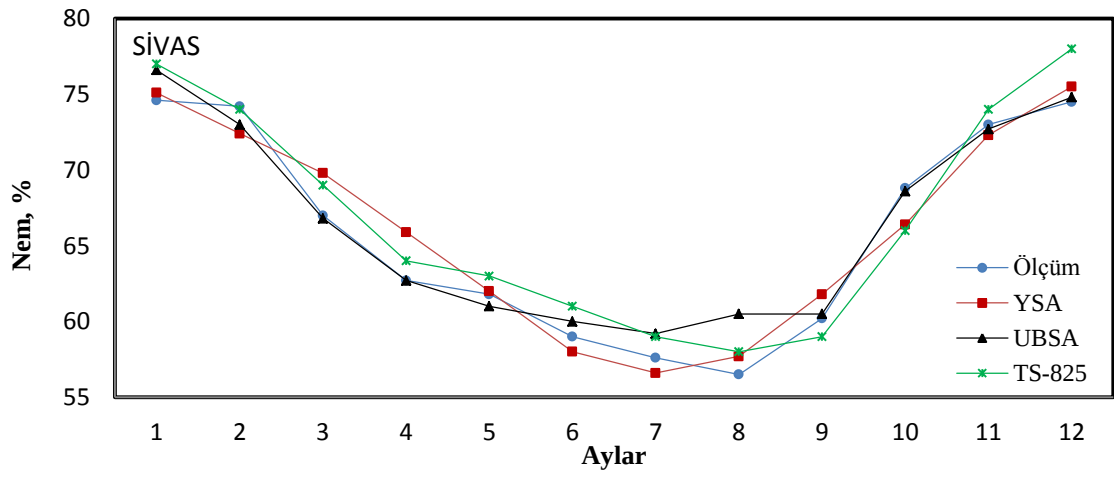
Şekil 1.128. Siirt ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



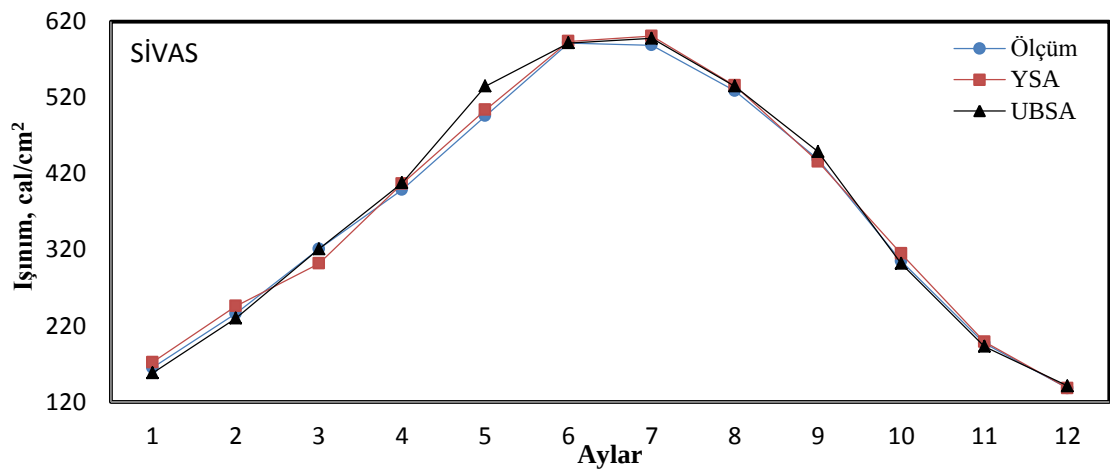
Şekil 1.129. Siirt ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



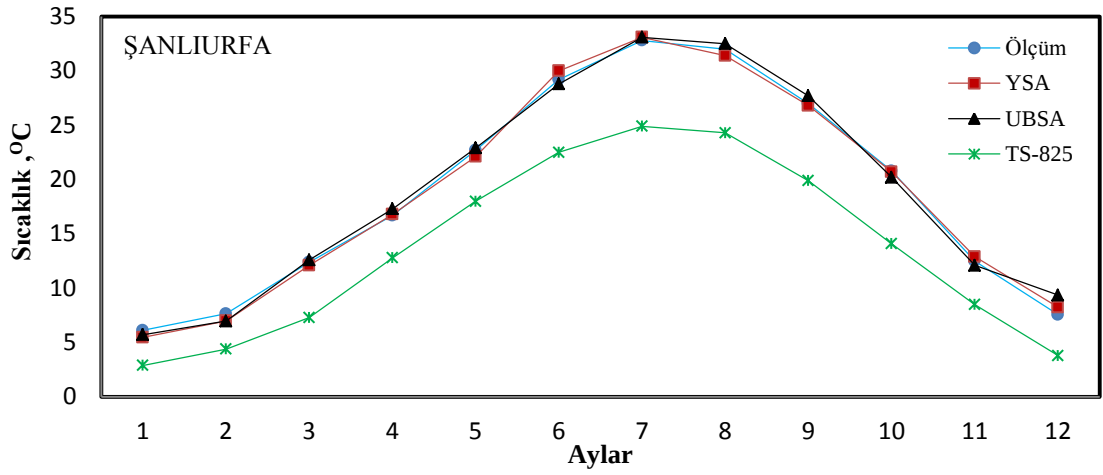
Şekil 1.130. Sivas ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



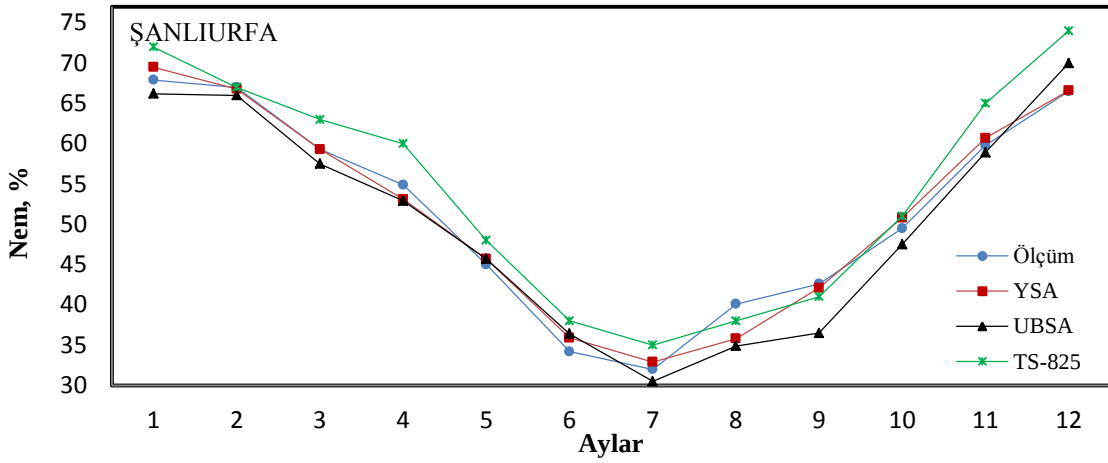
Şekil 1.131. Sivas ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



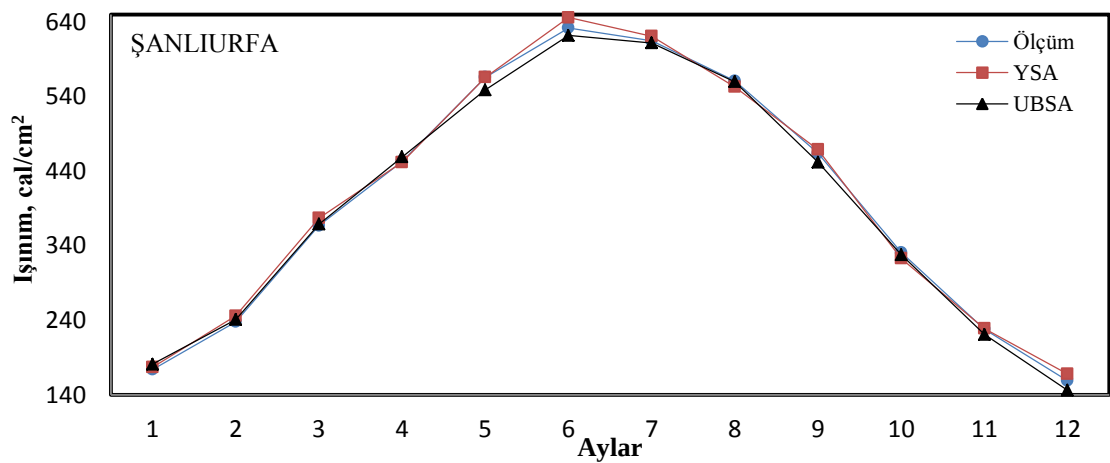
Şekil 1.132. Sivas ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



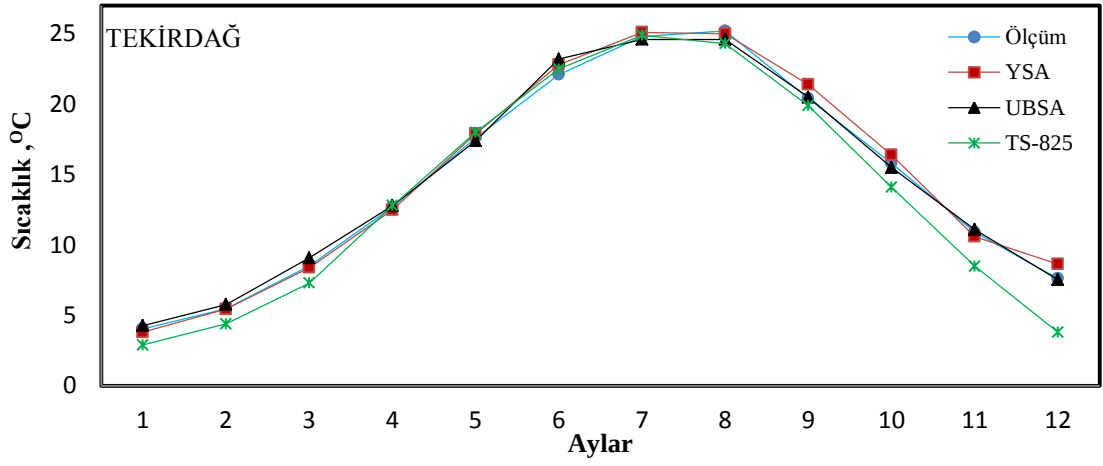
Şekil 1.133. Şanlıurfa ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



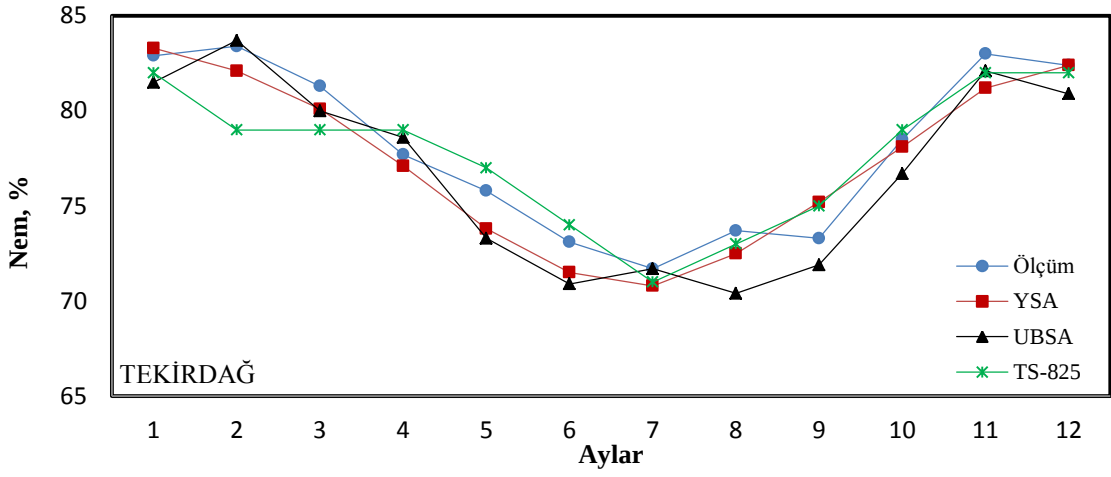
Şekil 1.134. Şanlıurfa ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



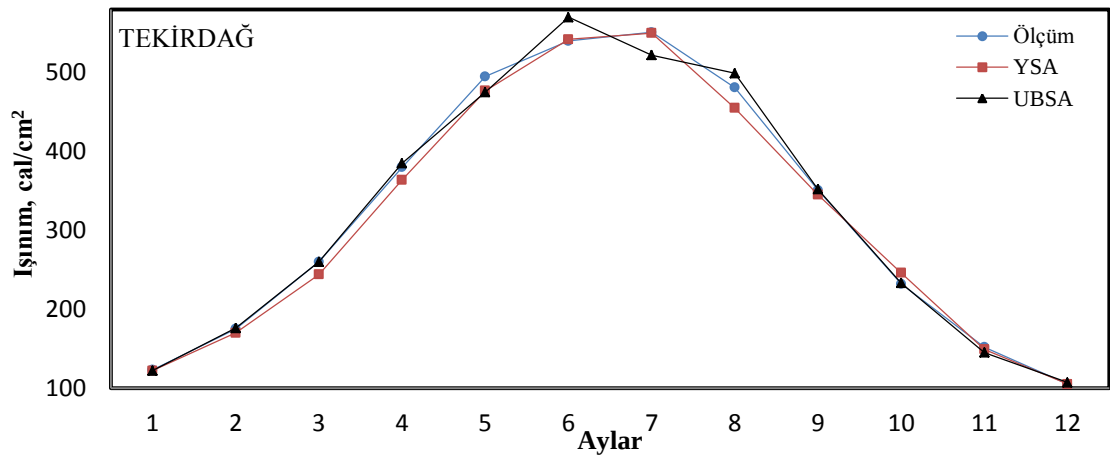
Şekil 1.135. Şanlıurfa ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



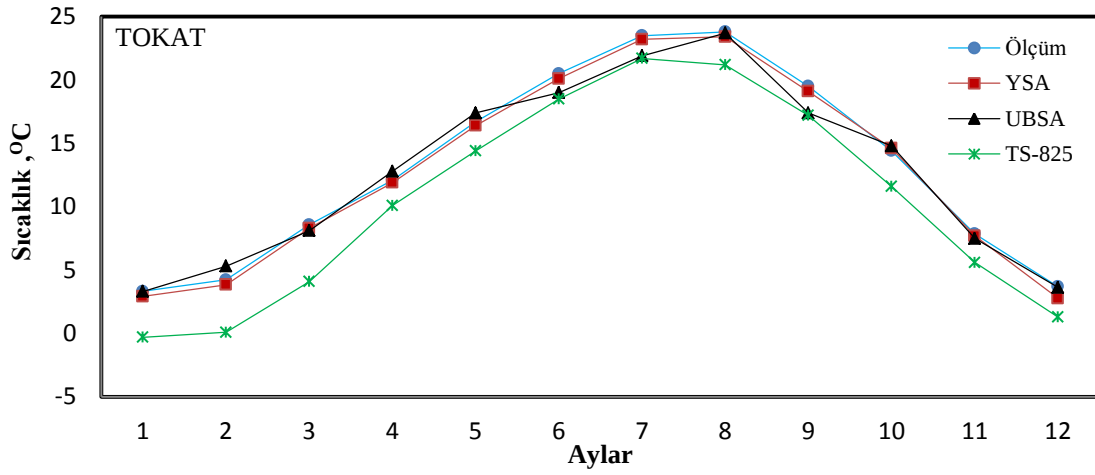
Şekil 1.136. Tekirdağ ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



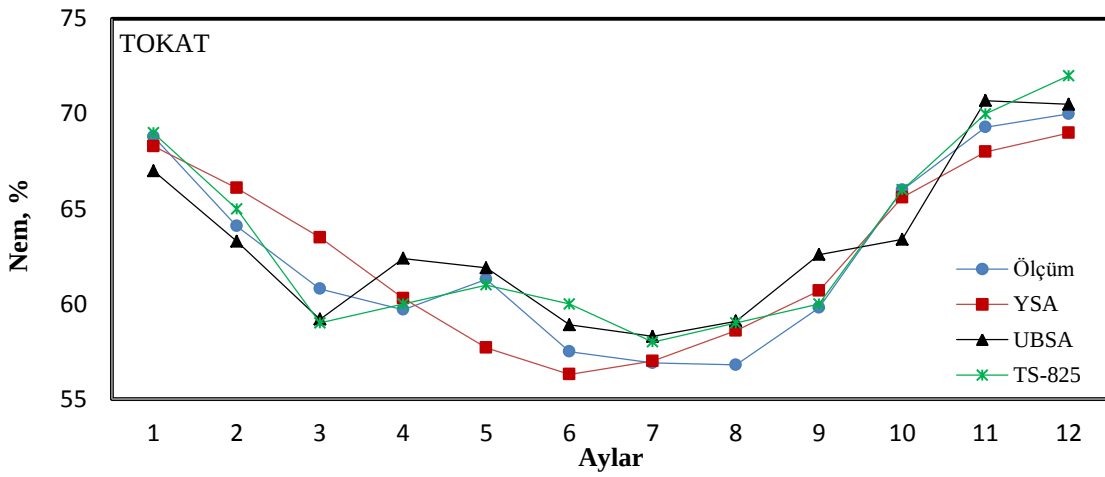
Şekil 1.137. Tekirdağ ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



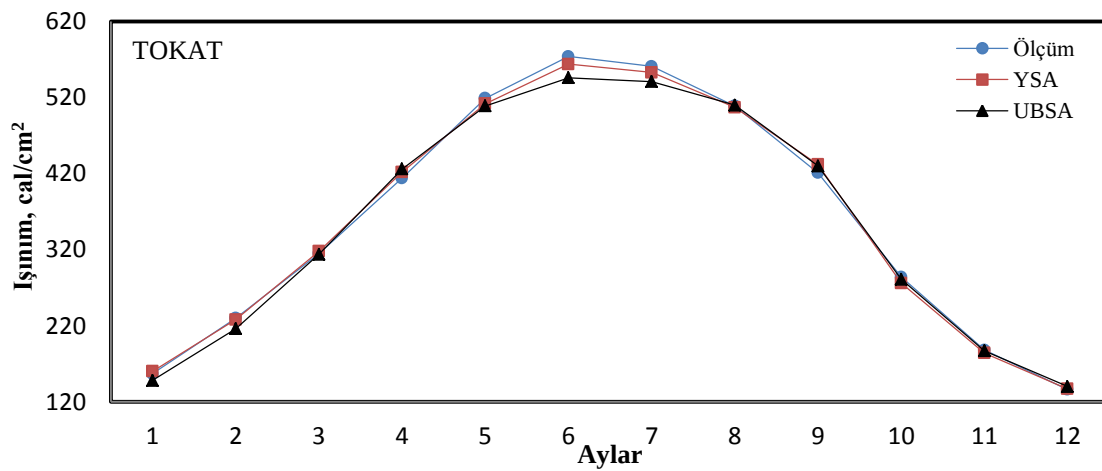
Şekil 1.138. Tekirdağ ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



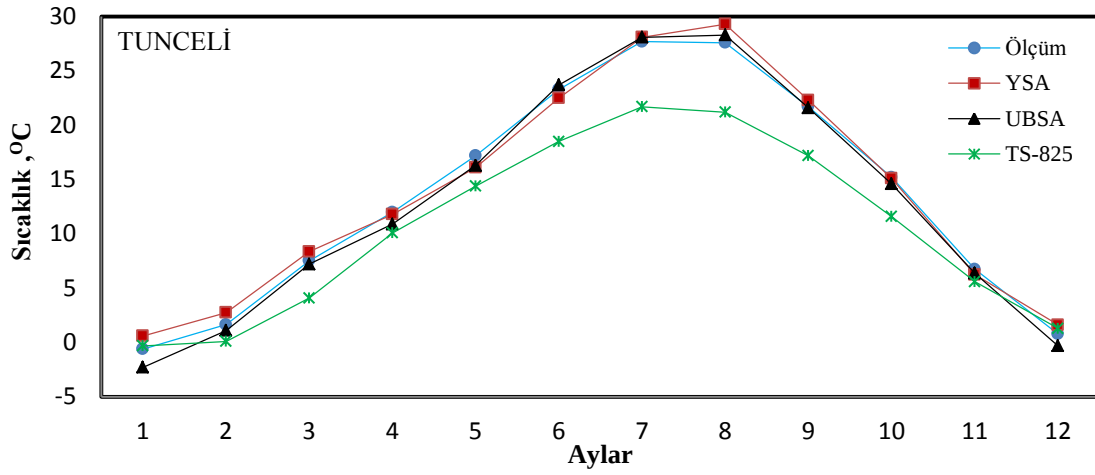
Şekil 1.139. Tokat ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



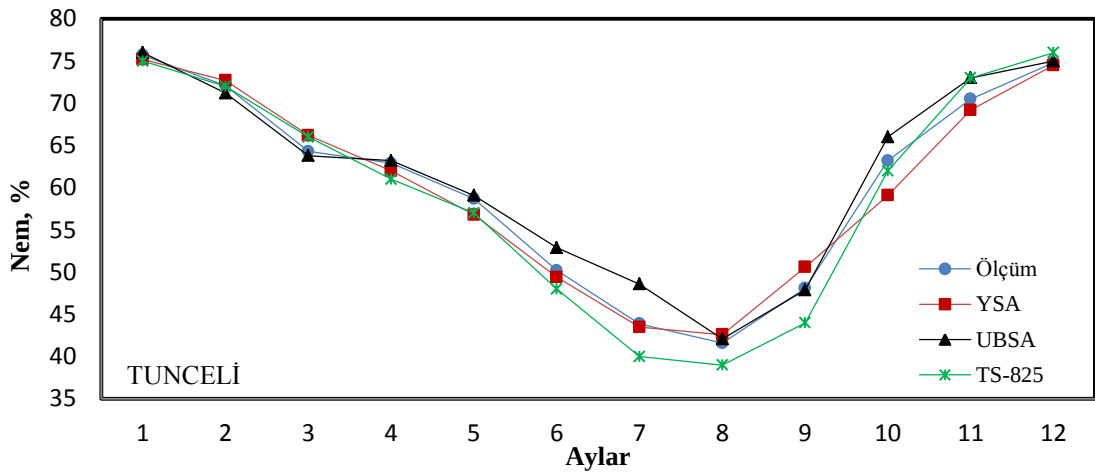
Şekil 1.140. Tokat ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



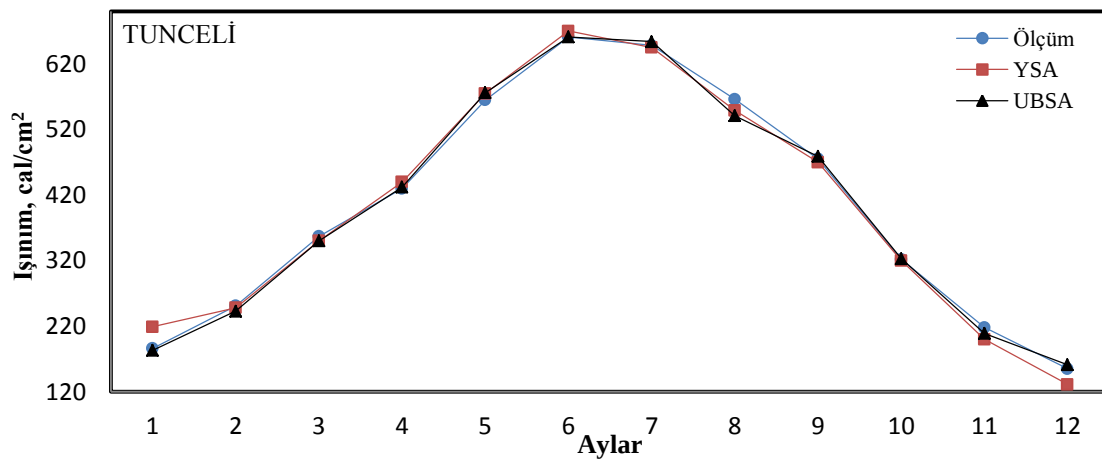
Şekil 1.141 Tokat ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



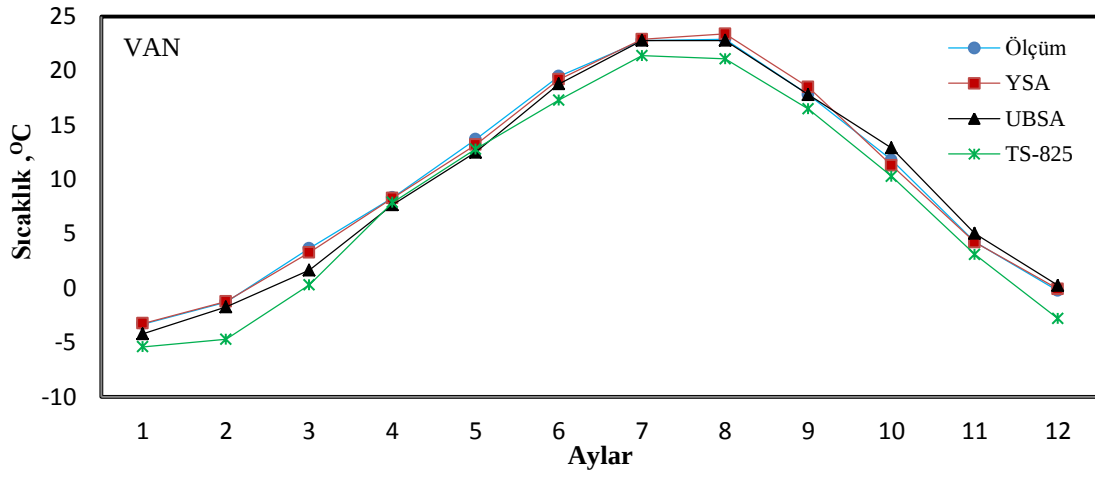
Şekil 1.142. Tunceli ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



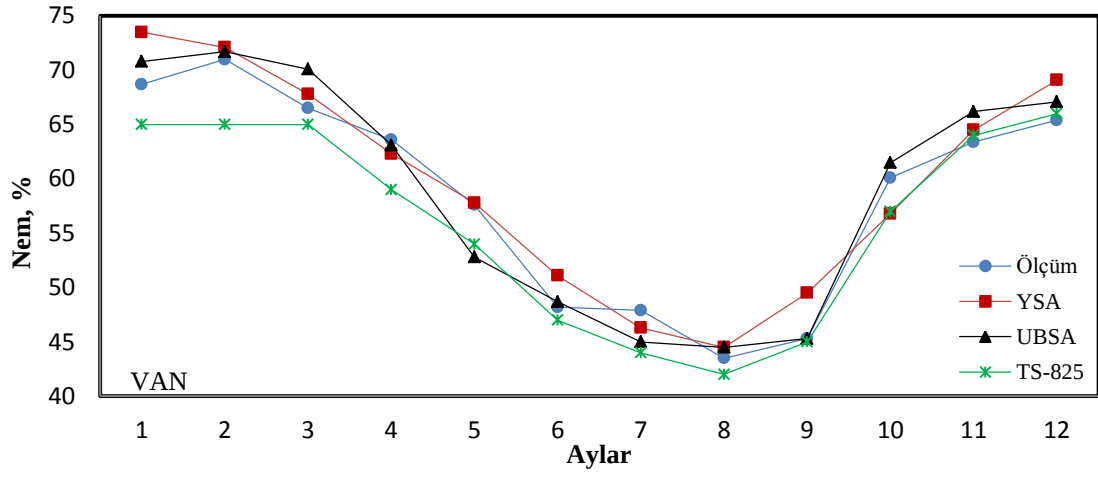
Şekil 1.143. Tunceli ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



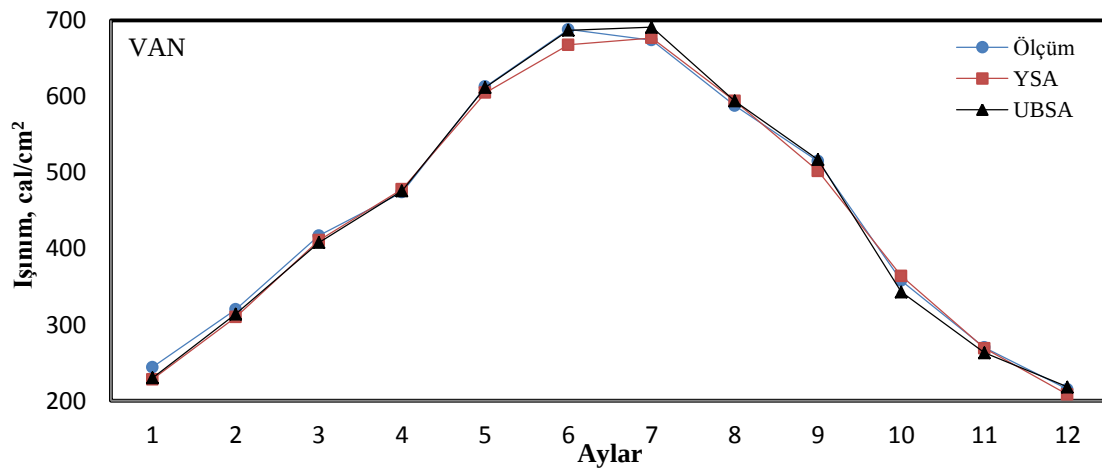
Şekil 1.144. Tunceli ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



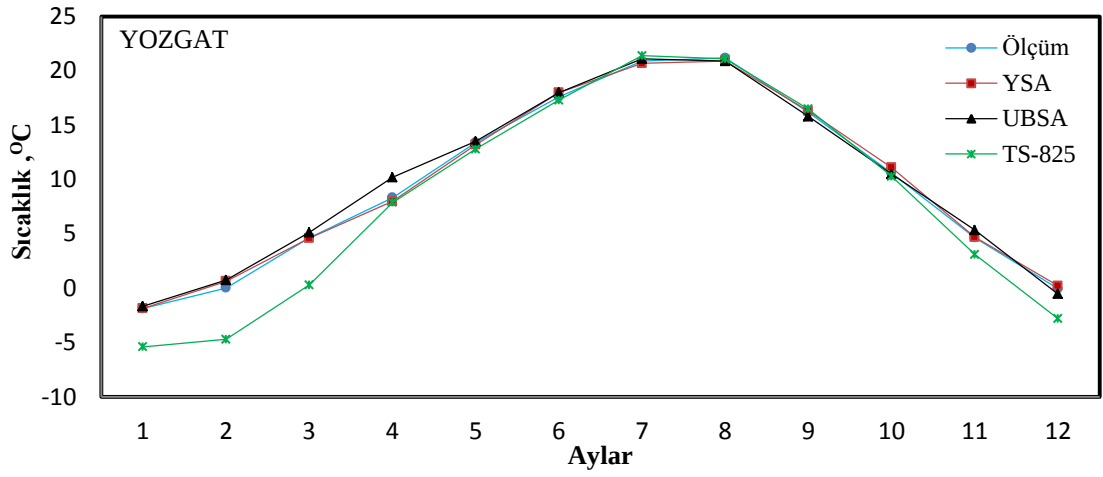
Şekil 1.145. Van ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



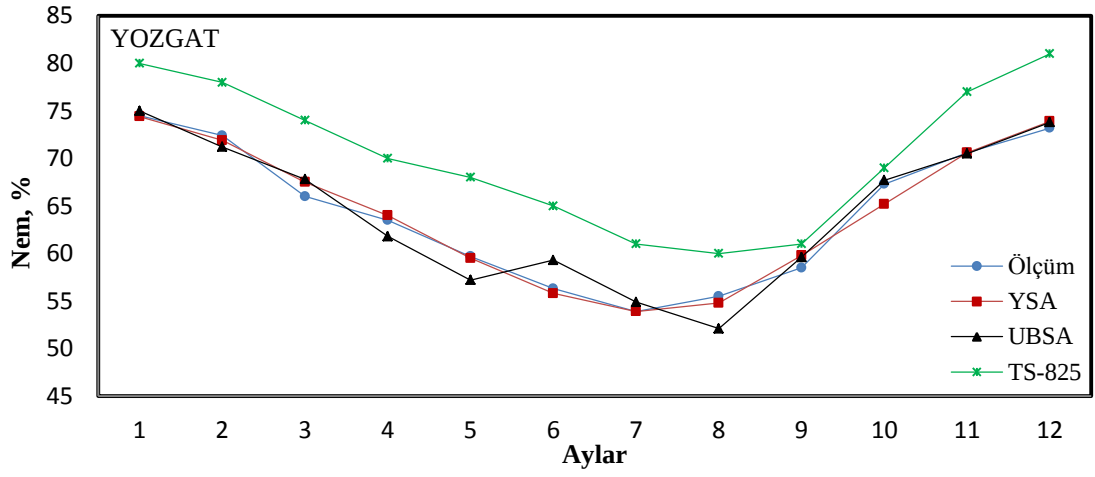
Şekil 1.146. Van ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



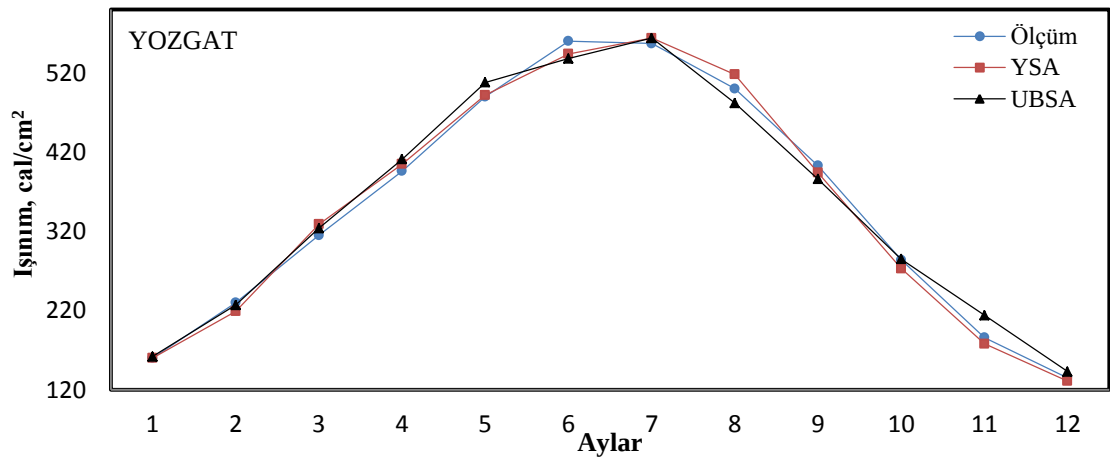
Şekil 1.147. Van ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi



Şekil 1.148. Yozgat ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre sıcaklığın aylara göre değişimi



Şekil 1.149. Yozgat ili için DMİ, TS-825 ve model verilerine göre bağıl nemin aylara göre değişimi



Şekil 1.150 Yozgat ili için DMİ ve model verilerine göre ışıının aylara göre değişimi

EK 2. YSA modeli için performans kriterleri

İLLER	PERFORMANS KRİTERLERİ											
	SICAKLIK				BAĞIL NEM				GÜNEŞ IŞINIMI			
	R ²	RMSE	COV	MAE	R ²	RMSE	COV	MAE	R ²	RMSE	COV	MAE
Adana	0.9996	0.0141	0.0723	0.0113	0.9984	0.0343	0.0488	0.0274	0.9984	0.0343	0.0488	0.0274
Adapazarı	0.9993	0.0171	0.1131	0.0147	0.9993	0.0224	0.0314	0.0175	0.9993	0.0224	0.0314	0.0175
Adıyaman	0.9971	0.0329	0.1855	0.0243	0.9989	0.0216	0.0457	0.0173	0.9989	0.0216	0.0457	0.0173
Afyon	0.9987	0.0202	0.1653	0.0152	0.9994	0.0187	0.0308	0.0161	0.9994	0.0187	0.0308	0.0161
Ağrı	0.9976	0.0267	0.3716	0.0214	0.9980	0.0344	0.0561	0.0269	0.9980	0.0344	0.0561	0.0269
Aksaray	0.9996	0.0113	0.0884	0.0083	0.9991	0.0230	0.0409	0.0203	0.9991	0.0230	0.0409	0.0203
Amasya	0.9997	0.0101	0.0714	0.0081	0.9996	0.0160	0.0288	0.0145	0.9996	0.0160	0.0288	0.0145
Ankara	0.9983	0.0229	0.1743	0.0191	0.9984	0.0292	0.0499	0.0200	0.9984	0.0292	0.0499	0.0200
Antalya	0.9995	0.0149	0.0774	0.0136	0.9992	0.0237	0.0387	0.0207	0.9992	0.0237	0.0387	0.0207
Ardahan	0.9905	0.0551	1.2070	0.0459	0.9998	0.0125	0.0171	0.0098	0.9998	0.0125	0.0171	0.0098
Artvin	0.9998	0.0080	0.0630	0.0067	0.9996	0.0166	0.0264	0.0117	0.9996	0.0166	0.0264	0.0117
Aydın	0.9999	0.0073	0.0395	0.0062	0.9987	0.0292	0.0464	0.0249	0.9987	0.0292	0.0464	0.0249
Balıkesir	0.9978	0.0282	0.1911	0.0161	0.9992	0.0229	0.0341	0.0174	0.9992	0.0229	0.0341	0.0174
Bingöl	0.9980	0.0244	0.2032	0.0186	0.9987	0.0270	0.0462	0.0227	0.9987	0.0270	0.0462	0.0227
Bursa	0.9986	0.0225	0.1474	0.0188	0.9983	0.0350	0.0517	0.0282	0.9983	0.0350	0.0517	0.0282
Çanakkale	0.9995	0.0134	0.0859	0.0114	0.9993	0.0229	0.0310	0.0189	0.9993	0.0229	0.0310	0.0189
Diyarbakır	0.9971	0.0309	0.1908	0.0218	0.9965	0.0372	0.0770	0.0318	0.9965	0.0372	0.0770	0.0318
Edirne	0.9997	0.0102	0.0705	0.0086	0.9992	0.0221	0.0317	0.0196	0.9992	0.0221	0.0317	0.0196
Elazığ	0.9973	0.0289	0.2159	0.0211	0.9994	0.0193	0.0304	0.0158	0.9994	0.0193	0.0304	0.0158
Erzincan	0.9987	0.0197	0.1653	0.0144	0.9987	0.0247	0.0476	0.0222	0.9987	0.0247	0.0476	0.0222
Erzurum	0.9867	0.0615	1.1490	0.0371	0.9965	0.0497	0.0731	0.0386	0.9965	0.0497	0.0731	0.0386
Eskişehir	0.9985	0.0220	0.0086	0.0185	0.9994	0.0185	0.0315	0.0153	0.9994	0.0185	0.0315	0.0153
Gaziantep	0.9979	0.0276	0.1722	0.0225	0.9975	0.0361	0.0556	0.0322	0.9975	0.0361	0.0556	0.0322
Gümüşhane	0.9995	0.0119	0.1177	0.0090	0.9998	0.0121	0.0176	0.0102	0.9998	0.0121	0.0176	0.0102
Hakkâri	0.9980	0.0245	0.2264	0.0186	0.9990	0.0238	0.0427	0.0207	0.9990	0.0238	0.0427	0.0207

EK 2 Devamı. YSA modeli için performans kriterleri

İLLER	PERFORMANS KRİTERLERİ											
	SICAKLIK				BAĞIL NEM				GÜNEŞ IŞINIMI			
	R ²	RMSE	COV	MAE	R ²	RMSE	COV	MAE	R ²	RMSE	COV	MAE
Hatay	0.9998	0.0089	0.0478	0.0056	0.9988	0.0293	0.0425	0.0256	0.9988	0.0293	0.0425	0.0256
Iğdır	0.9949	0.0407	0.3139	0.0332	0.9965	0.0424	0.0803	0.0265	0.9965	0.0424	0.0803	0.0265
Isparta	0.9979	0.0252	0.1976	0.0208	0.9995	0.0168	0.0273	0.0159	0.9995	0.0168	0.0273	0.0159
İstanbul	0.9995	0.0131	0.0840	0.0102	0.9991	0.0248	0.0348	0.0211	0.9991	0.0248	0.0348	0.0211
İzmir	0.9998	0.0097	0.0516	0.0086	0.9983	0.0319	0.0534	0.0276	0.9983	0.0319	0.0534	0.0276
K. Maraş	0.9995	0.0138	0.0790	0.0098	0.9985	0.0294	0.0475	0.0269	0.9985	0.0294	0.0475	0.0269
Karaman	0.9963	0.0335	0.2709	0.0245	0.9995	0.0166	0.0287	0.0132	0.9995	0.0166	0.0287	0.0132
Kars	0.9993	0.0145	0.2656	0.0115	0.9996	0.0165	0.0232	0.0123	0.9996	0.0165	0.0232	0.0123
Kastamonu	0.9935	0.0433	0.4241	0.0342	0.9974	0.0392	0.0576	0.0314	0.9974	0.0392	0.0576	0.0314
Kayseri	0.9988	0.0189	0.1623	0.0159	0.9996	0.0160	0.0265	0.0133	0.9996	0.0160	0.0265	0.0133
Kırklareli	0.9995	0.0133	0.0968	0.0096	0.9993	0.0216	0.0330	0.0179	0.9993	0.0216	0.0330	0.0179
Malatya	0.9988	0.0198	0.1355	0.0158	0.9987	0.0247	0.0469	0.0177	0.9987	0.0247	0.0469	0.0177
Mersin	0.9995	0.0153	0.0748	0.0110	0.9981	0.0339	0.0528	0.0313	0.9981	0.0339	0.0528	0.0313
Muş	0.9992	0.0151	0.1453	0.0114	0.9967	0.0425	0.0649	0.0371	0.9967	0.0425	0.0649	0.0371
Niğde	0.9964	0.0336	0.2813	0.0222	0.9987	0.0260	0.0451	0.0206	0.9987	0.0260	0.0451	0.0206
Ordu	0.9999	0.0062	0.0410	0.0051	0.9989	0.0296	0.0409	0.0272	0.9989	0.0296	0.0409	0.0272
Samsun	0.9996	0.0134	0.0686	0.0101	0.9984	0.0348	0.0494	0.0267	0.9984	0.0348	0.0494	0.0267
Siirt	0.9994	0.0144	0.0854	0.0112	0.9988	0.0234	0.0445	0.0184	0.9988	0.0234	0.0445	0.0184
Sivas	0.9960	0.0350	0.3581	0.0289	0.9960	0.0350	0.3581	0.0289	0.9960	0.0350	0.3581	0.0289
Şanlıurfa	0.9994	0.0152	0.0802	0.0132	0.9991	0.0214	0.0414	0.0154	0.9991	0.0214	0.0414	0.0154
Tekirdağ	0.9989	0.0204	0.1397	0.0162	0.9997	0.0143	0.0183	0.0125	0.9997	0.0143	0.0183	0.0125
Tokat	0.9993	0.0152	0.1149	0.0133	0.9993	0.0219	0.0350	0.0177	0.9993	0.0219	0.0350	0.0177
Tunceli	0.9971	0.0301	0.2248	0.0260	0.9992	0.0216	0.0357	0.0170	0.9992	0.0216	0.0357	0.0170
Van	0.9992	0.0146	0.1460	0.0113	0.9980	0.0333	0.0571	0.0281	0.9980	0.0333	0.0571	0.0281
Yozgat	0.9994	0.0122	0.1267	0.0100	0.9998	0.0112	0.0174	0.0084	0.9998	0.0112	0.0174	0.0084

EK 3. UBSA modeli için performans kriterleri

İLLER	PERFORMANS KRİTERLERİ											
	SICAKLIK				BAĞIL NEM				GÜNEŞ IŞINIMI			
	R ²	RMSE	COV	MAE	R ²	RMSE	COV	MAE	R ²	RMSE	COV	MAE
Adana	0.9989	0.4473	2.289	0.3843	0.9991	0.0776	0.1102	0.0675	0.9960	0.3517	0.0979	0.2890
Adapazarı	0.9997	0.4241	2.805	0.3428	0.9997	0.0530	0.0741	0.0438	0.9992	0.4416	0.1447	0.3578
Adıyaman	0.9995	0.4675	2.637	0.3734	0.9943	0.2672	0.5654	0.2124	0.9991	0.3923	0.1093	0.3169
Afyon	0.9972	0.5035	4.126	0.4067	0.9955	0.2275	0.3737	0.1903	0.9996	0.3976	0.1038	0.3189
Ağrı	0.9974	0.9171	12.78	0.7947	0.9991	0.1476	0.2411	0.1129	0.9950	0.4040	0.1117	0.3284
Aksaray	0.9984	0.5479	4.284	0.4551	0.9976	0.1777	0.3167	0.1413	0.9981	0.3510	0.0858	0.2883
Amasya	0.9991	0.4814	3.416	0.3926	0.9991	0.1449	0.2611	0.1223	0.9997	0.4324	0.1307	0.3482
Ankara	0.9992	0.5037	3.836	0.4068	0.9987	0.2511	0.4296	0.2042	0.9989	0.4246	0.1151	0.3404
Antalya	0.9984	0.3128	1.621	0.2451	0.9982	0.0287	0.0467	0.0246	0.9932	0.3014	0.0836	0.2415
Ardahan	0.9935	1.025	22.45	0.8881	0.9996	0.0544	0.0744	0.0454	0.9991	0.3996	0.1308	0.3186
Artvin	0.9993	0.4945	3.874	0.411	0.9986	0.0387	0.0613	0.0331	0.9996	0.4016	0.1314	0.3203
Aydın	0.9994	0.3819	2.08	0.3022	0.9950	0.1838	0.2921	0.1500	0.9980	0.3823	0.1005	0.3025
Balıkesir	0.9994	0.4594	3.112	0.3722	0.9993	0.1607	0.2392	0.1270	0.9988	0.4229	0.1174	0.3308
Bingöl	0.996	0.6271	5.224	0.5136	0.9993	0.2108	0.3598	0.1625	0.9994	0.3823	0.1038	0.3098
Bursa	0.9992	0.4052	2.654	0.3207	0.9976	0.0960	0.1420	0.0763	0.9993	0.4137	0.1238	0.3209
Çanakkale	0.9988	0.4614	2.952	0.3888	0.9985	0.1251	0.1689	0.0921	0.9966	0.4182	0.1176	0.3291
Diyarbakır	0.9999	0.3924	0.09232	0.3166	0.9989	0.3650	0.7557	0.2924	0.9999	0.3924	0.0923	0.3166
Edirne	0.9966	0.4309	2.988	0.3431	0.9992	0.1845	0.2644	0.1484	0.9974	0.4190	0.1267	0.3338
Elazığ	0.9979	0.5526	4.133	0.4483	0.9982	0.3462	0.6679	0.2897	0.9982	0.3462	0.6679	0.2897
Erzincan	0.9964	0.6048	5.083	0.5039	0.9995	0.1469	0.2317	0.1160	0.9994	0.3738	0.1004	0.3043
Erzurum	0.9942	0.9302	17.38	0.7981	0.9910	0.2210	0.2630	0.1460	0.9974	0.3235	0.0960	0.2633
Eskişehir	0.9967	0.6438	5.903	0.5576	0.9974	0.3853	0.1503	0.3113	0.9984	0.1857	0.2732	0.1543
Gaziantep	0.9993	0.5049	3.15	0.4156	0.9952	0.1690	0.2598	0.1345	0.9996	0.4186	0.1350	0.3384
Gümüşhane	0.9929	0.4967	4.921	0.3979	0.9987	0.0585	0.0854	0.0493	0.9986	0.4448	0.1200	0.3634
Hakkâri	0.9944	0.686	6.336	0.5745	0.9985	0.2571	0.4624	0.2022	0.9985	0.3513	0.0907	0.2886

EK 3 Devamı. UBSA modeli için performans kriterleri

İLLER	PERFORMANS KRİTERLERİ											
	SICAKLIK				BAĞIL NEM				GÜNEŞ IŞINIMI			
	R ²	RMSE	COV	MAE	R ²	RMSE	COV	MAE	R ²	RMSE	COV	MAE
Hatay	0.9997	0.4193	2.238	0.3476	0.9989	0.0805	0.1169	0.0730	0.9985	0.4250	0.1444	0.3454
Iğdır	0.9918	0.6699	5.173	0.5708	0.9980	0.1772	0.3354	0.1424	0.9988	0.4150	0.1279	0.3427
Isparta	0.9972	0.4193	3.289	0.3312	0.9978	0.1687	0.2738	0.1350	0.9977	0.3730	0.0931	0.3022
İstanbul	0.9996	0.4034	2.59	0.323	0.9992	0.0687	0.0963	0.0560	0.9976	0.4158	0.1215	0.3285
İzmir	0.9997	0.3855	2.057	0.3101	0.9982	0.1634	0.2734	0.1361	0.9997	0.3934	0.0962	0.3137
K. Maraş	0.9984	0.5186	2.966	0.4409	0.9982	0.1967	0.3406	0.1574	0.9977	0.3960	0.1079	0.3153
Karaman	0.9977	0.5375	4.342	0.4418	0.9982	0.1967	0.3406	0.1574	0.9988	0.3884	0.0976	0.3177
Kars	0.9965	0.8952	16.43	0.773	0.9995	0.1109	0.1556	0.0914	0.9919	0.3877	0.1095	0.3130
Kastamonu	0.9988	0.5805	5.689	0.4828	0.9960	0.1620	0.2720	0.1250	0.9951	0.4040	0.1263	0.3269
Kayseri	0.9991	0.5984	5.134	0.5024	0.9994	0.2122	0.3505	0.1722	0.9972	0.3892	0.1280	0.3080
Kırklareli	0.9985	0.495	3.61	0.4057	0.9997	0.1351	0.2008	0.1066	0.9994	0.3708	0.1190	0.3030
Malatya	0.099	0.5589	3.835	0.462	0.9980	0.2759	0.5242	0.2194	0.9996	0.4048	0.1056	0.3267
Mersin	0.999	0.4092	2.004	0.3523	0.9987	0.0732	0.1139	0.0606	0.9998	0.3769	0.0951	0.3122
Muş	0.9993	0.8148	7.824	0.7089	0.9995	0.2228	0.3402	0.1714	0.9997	0.3892	0.1125	0.3132
Niğde	0.9961	0.6047	5.063	0.5155	0.9976	0.2603	0.4512	0.2264	0.9996	0.3802	0.0824	0.3111
Ordu	0.9974	0.3576	2.38	0.2753	0.9995	0.3647	0.1374	0.2907	0.9995	0.3647	0.1374	0.2907
Samsun	0.9988	0.5783	4.195	0.4822	0.9997	0.1226	0.1678	0.1070	0.9996	0.3911	0.1173	0.3040
Siirt	0.9982	0.5127	3.044	0.4175	0.9940	0.2828	0.5366	0.2188	0.9996	0.4034	0.1207	0.3276
Sivas	0.9985	0.6343	6.497	0.5215	0.9995	0.1591	0.2418	0.1351	0.9990	0.4138	0.1127	0.3366
Şanlıurfa	0.9989	0.4778	2.519	0.3894	0.9971	0.2549	0.4943	0.2014	0.9996	0.3941	0.0988	0.3203
Tekirdağ	0.9992	0.4849	3.321	0.4001	0.9993	0.0618	0.0792	0.0496	0.9977	0.4083	0.1274	0.3220
Tokat	0.9956	0.4652	3.529	0.3734	0.9984	0.0851	0.1360	0.0739	0.9990	0.4077	0.1135	0.3322
Tunceli	0.9976	0.6253	4.669	0.5296	0.9977	0.2423	0.4005	0.1943	0.9996	0.4024	0.0999	0.3227
Van	0.9993	0.387	3.91	0.327	0.9985	0.1968	0.3369	0.1577	0.9996	0.3632	0.0811	0.2951
Yozgat	0.9971	0.5659	5.869	0.465	0.9986	0.1561	0.2428	0.1302	0.9984	0.3685	0.1049	0.2977

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Elazığ 'da doğdu. İlk ve orta tahsilini Elazığ 'da tamamladı. 1997 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Fırat Üniversitesinde 2004 yılında yüksek lisansını tamamladı. Uzun yıllar kamuda mühendis olarak çalıştıktan sonra, 2010 yılında Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi oldu. Halen, 35. madde ile Fırat Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.