



Alınış tarihi (Received): 02.03.2023

Kabul tarihi (Accepted): 25.04.2023

## İklim Değişikliğinin Maksimum ve Minimum Sıcaklıklar Üzerindeki Olası Etkilerinin Belirlenmesi

Sinan NACAR<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 60150, Tokat, Türkiye, [sinan.nacar@gop.edu.tr](mailto:sinan.nacar@gop.edu.tr)

\*Sorumlu yazar: [sinan.nacar@gop.edu.tr](mailto:sinan.nacar@gop.edu.tr)

**ÖZET:** İklim değişikliği ve küresel ısınmanın çevre üzerindeki etkilerinin her geçen gün artması iklim krizini tüm dünyada tartışılan en önemli konulardan birisi haline getirmiştir. Gelecekteki iklimin belirlenmesi ve değerlendirilmesi, iklim değişikliği etkilerini azaltmak ve bu değişikliklere uyum sağlamak açısından hayati öneme sahiptir. Bu çalışma, iklim değişikliğinin Tokat ilinin gelecek dönem maksimum ve minimum sıcaklıkları üzerindeki olası etkilerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla CMIP5 arşivinde yer alan GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES ve MPI-ESM-2M genel dolaşım modellerinin (GDM) dinamik ölçek indirgeme yöntemi ile bölgesel ölçeğe indirgenmiş RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo çıktıları ve Tokat meteoroloji istasyonu maksimum ve minimum sıcaklık verileri kullanılmıştır. GDM çıktılarının 1975-2000 dönemi sıcaklık verileri yapay sinir ağı (YSA) tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme modelinin girdileri olarak kullanılarak birleştirilmiş bir model kurulmuştur. Daha sonra bu model yardımı ile aynı istasyonun 2023-2092 dönemi maksimum ve minimum sıcaklık değerleri her iki senaryo için üretilmiş ve onar yıllık periyotlar için geçmiş dönemle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda Tokat meteoroloji istasyonu maksimum sıcaklıklarının gelecek dönemlerde RCP4.5 senaryosuna göre -0.7 ile 2.9 °C arasında, RCP8.5 senaryosuna göre ise -1.2 ile 4.4 °C arasında, minimum sıcaklıkların ise RCP4.5 senaryosuna göre -2.6 ile 5.2 °C arasında, RCP8.5 senaryosuna göre ise -4.8 ile 7.8 °C arasında değişiklik gösterebileceği tahmin edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** – İklim değişikliği, Tokat, RCP, Sıcaklık, Yapay sinir ağıları

## Determination of the Possible Effects of Climate Change on Maximum and Minimum Temperatures

**ABSTRACT:** The increasing effects of climate change and global warming on the environment have made the climate crisis one of the most important issues discussed worldwide. Determining and evaluating future climate is crucial in reducing the impacts of climate change and adapting to these changes. This study aims to determine the potential effects of climate change on the maximum and minimum temperatures in Tokat province. To achieve this, regional-scale outputs of RCP4.5 and RCP8.5 scenarios from the GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, and MPI-ESM-2M general circulation models (GCM), which are included in the CMIP5 archive, downscaled using the dynamical downscaling method and maximum and minimum temperature data from the Tokat meteorological station were used. An ensemble model was established using artificial neural networks (ANN)-based statistical downscaling method using GCM output temperature data for the 1975-2000 period. Subsequently, using this model, the maximum and minimum temperature values for the Tokat meteorological station for the 2023-2092 period were produced for both scenarios and compared with the past period for ten-year intervals. The study results indicate that the maximum temperatures of the Tokat meteorological station may vary between -0.7 to 2.9 °C for the RCP4.5 scenario and -1.2 to 4.4 °C for the RCP8.5 scenario in future periods, while the minimum temperatures may vary between -2.6 to 5.2 °C for the RCP4.5 scenario and -4.8 to 7.8 °C for the RCP8.5 scenario.

**Keywords** – Climate change, Tokat, RCP, Temperature, Artificial neural network

## 1. Giriş

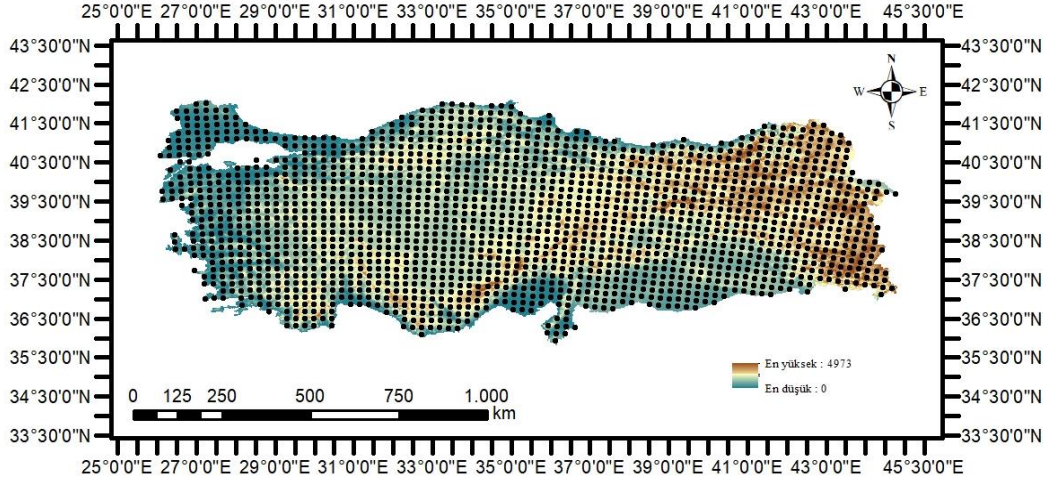
Yirminci yüzyılın sonlarında, aşırı meteorolojik olayların sıklığı ve büyüklüğündeki değişikliklerle birlikte dünya genelinde sıcaklıklarda da bir artış gözlenmiştir (Monier ve Gao, 2015; Sharafati ve Pezeshki, 2020). Ayrıca insan faaliyetleri nedeniyle farklı ülkelerden kaynaklanan sera gazı salınımlarının devam etmesi ile bu değişikliklerin şiddetleneceği ve gelecekte küresel ısınmanın artmasına neden olacağı birçok araştırmacı tarafından ifade edilmektedir (Sillmann ve ark. 2013; Hassan ve Nile, 2021). Bir bölgenin iklim değişikliğinden nasıl ve ne kadar etkilenebileceğini belirlemek için gelecekte yaşanması muhtemel iklimin önceden bilinmesi gerekmektedir. Bir bölgenin gelecek dönem iklimini ve iklim değişikliği etkilerinin belirlenmesinde en çok kullanılan araçların başında ise genel dolaşım model (GDM) çıktılarının kullanılması gelmektedir (Hassan ve Nile, 2021). Dünya genelinde GDM çıktıları kullanılarak iklim değişikliğinin farklı hidro-meteorolojik değişkenler üzerindeki olası etkilerini belirlemeye yönelik birçok çalışma yapılmıştır (Byun ve ark. 2019; Huang ve ark. 2020; Tarek ve ark. 2021; Nair ve ark. 2022). Bununla birlikte, GCM'lerin sahip oldukları düşük çözünürlük (kaba), bu modellerin bölgesel ölçek için kullanılmasına engel olmaktadır. Bir başka ifade ile yaklaşık olarak 200x200 km çözünürlüğe sahip olan GDM çıktıları bir bölgenin iklimini temsil etmede yetersiz kalmaktadır (Wilby ve ark. 1998). Bu nedenle çözünürlüklerinin artırılması yani bölgesel ölçeğe indirgenmeleri gerekmektedir. Bu kapsamda dinamik ve istatistiksel ölçek indirgeme yöntemleri olmak üzere iki farklı başlık altında toplanan ölçek indirgeme yöntemleri geliştirilmiştir (Nacar ve ark. 2022a; Nacar ve ark. 2022b). Dinamik ölçek indirgeme yönteminde bölgesel iklim modelleri kullanılarak ortalama 200 km çözünürlüğündeki GDM çıktıları 3 km çözünürlüğe kadar düşürebilmektedir. Ancak dinamik ölçek indirgeme yöntemleri kullanımı uzun zaman alan, işlem gücü yüksek bilgisayarlar ve konusunda uzman personel gerektiren yöntemlerdir. İstatistiksel ölçek indirgeme yöntemi ise GDM çıktılarında yer alan kaba çözünürlüklü atmosferik değişkenler ile gözlem verileri arasındaki istatistiksel ilişkileri kullanan ölçek indirgeme yöntemleridir (Fistikoglu ve Okkan, 2011). İstatistiksel ölçek indirgeme yöntemleri dinamik ölçek indirgeme yöntemlerine kıyasla kullanımı daha kolay, çok fazla veri gerektirmeyen ve farklı bölgelere kolaylıkla uyarlanabilen yöntemlerdir (Timbal ve ark. 2003). Her iki yönteme ait avantaj ve dezavantajlar hakkında daha detaylı bilgilere Feng (2020) ve Bermudez ve ark. (2020) çalışmalarından ulaşılabılır (Nacar ve ark. 2022a,b).

Bu çalışma ile iklim değişikliğinin aylık ortalama maksimum ve minimum sıcaklıklar üzerindeki olası etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Tokat ili meteoroloji istasyonuna ait veriler ile iklim değişikliği çalışmalarında sıklıkla kullanılan farklı senaryolar altında çalıştırılan GDM çıktıları kullanılmıştır. Bu veriler daha önce Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan bir proje ile dinamik ölçek indirgeme yöntemi kullanılarak bölgesel ölçeğe indirgenmiş olan GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES ve MPI-ESM-2M GDM'lerine ait verilerdir. Proje kapsamında dinamik ölçek indirgeme kullanılarak 20x20 km çözünürlüğe indirgenmiş olan GDM çıktıları, Tokat meteoroloji istasyonu özeline yapay sinir ağı tabanlı (YSA) tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi kullanılarak indirgenmiş ve gelecek dönem (2023-2092) maksimum ve minimum sıcaklık değerleri iyimser (RCP4.5) ve kötümser (RCP8.5) senaryolar için üretilmiştir. YSA yöntemi iklim değişikliği çalışmalarında sıklıkla ve başarıyla kullanılan ölçek indirgeme yöntemlerinden birisi olması sebebiyle bu çalışmada da kullanılmıştır (Tisseuil ve ark. 2010; Vu ve ark. 2016; Baghanam ve ark. 2020). Üretilmiş olan gelecek dönem maksimum ve minimum sıcaklık verileri onar yıllık dönemler için geçmiş dönemle karşılaştırılmış ve gelecek dönem olası sıcaklık artış ve düşüşleri uzun süreli aylık ortalamalar temelinde değerlendirilmiştir.

## 2. Kullanılan Veriler ve Yöntemler

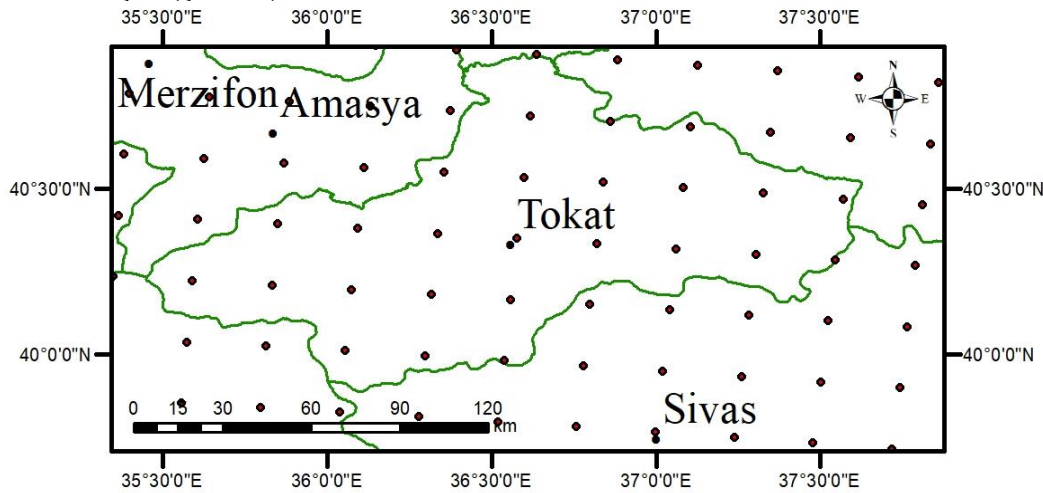
### Veri Seti

Çalışma kapsamında CMIP5 arşivinde yer alan GDM'lerden GFDL-ESM2M (GFDL), HadGEM2-ES (HadGEM) ve MPI-ESM-2M (MPI) modellerinin Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yapılan proje ile tüm Türkiye için dinamik ölçek indirgeme yöntemi kullanılarak 20x20 km çözünürlüğe indirgenmiş çıktıları kullanılmıştır. Bu çıktılar MGM tarafından Şekil 1'de görüleceği üzere tüm Türkiye için bir sayısal ağ halinde hazırlanmıştır.



Şekil 1. GFDL, HadGEM ve MPI GDM'lerinin 20x20 km çözünürlüklü sayısal ağ haritası  
Figure 1. 20x20 km resolution grid map of GFDL, HadGEM and MPI GCMs

Bu çalışma kapsamında Tokat meteoroloji istasyonunun içine düştüğü sayısal ağa ait veriler kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Tokat il merkezine düşen sayısal ağ merkezleri  
Figure 2. Grid centers in Tokat city center

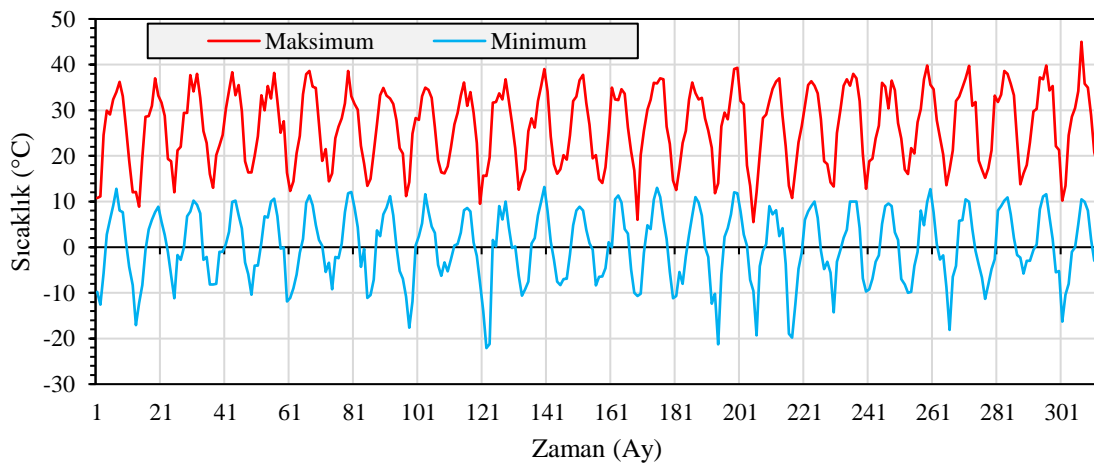
GFDL, HadGEM ve MPI GDM'lerinin geçmiş dönem senaryo çıktıları ile iyimser ve kötümser senaryoyu temsil ettiği literatürde sıklıkla ifade edilen RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo çıktıları kullanılmıştır. GDM'lerin 1975-2000 dönemi düşük çözünürlüklü sıcaklık verileri istatistiksel ölçek indirgeme modellerinin bağımsız değişkenleri, Tokat meteoroloji

istasyonu maksimum ve minimum sıcaklık verileri bağımlı değişkeni olarak kullanılmıştır. Böylece 20x20 km çözünürlüklü veriler istasyon ölçeğine indirgenmiştir. Daha sonra RCP senaryo çıktılarında yer alan sıcaklık verileri bu modellerin yeni girdileri olarak tanıtılmış ve 2023-2092 dönemi noktasal maksimum ve minimum sıcaklık verileri üretilmiştir. Verilerin yaklaşık olarak %60'ı modellerin eğitiminde, %20'si doğrulanmasında ve geriye kalan %20'si ise test edilmesinde kullanılmıştır. GDM çıktılarına ve Tokat meteoroloji istasyonundan ölçülen 1975-2000 dönemi maksimum ve minimum sıcaklık verilerine ait temel istatistikler Tablo 1'de verilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan Tokat meteoroloji istasyonundan ölçülen maksimum ve minimum sıcaklık verilerine ait zaman serileri Şekil 3'te verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan verilere ait temel istatistikler

Table 1. Basic statistics of the data used in the study

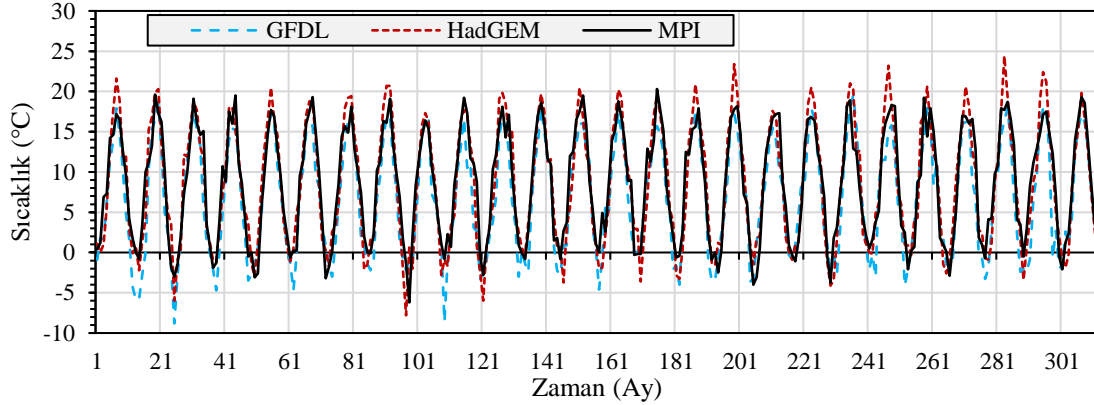
Tüm veri	Maksimum	Minimum	GFDL	HadGEM	MPI
Minimum	5,5	-22,1	-8,8	-7,8	-6,2
Maksimum	45,0	13,2	19,5	24,4	20,3
Ortalama	26,5	0,1	6,8	8,6	8,6
S.Sapma	8,3	7,7	7,0	7,6	6,9
Eğitim	Maksimum	Minimum	GFDL	HadGEM	MPI
Minimum	6,0	-22,1	-8,8	-7,8	-6,2
Maksimum	39,0	13,2	18,5	21,6	20,3
Ortalama	26,1	0,2	6,6	8,5	8,5
S.Sapma	7,9	7,6	7,1	7,5	6,8
Doğrulama	Maksimum	Minimum	GFDL	HadGEM	MPI
Minimum	5,5	-21,3	-4,1	-4,1	-4,0
Maksimum	39,3	12,0	19,5	23,4	18,9
Ortalama	26,5	-0,5	7,2	8,8	8,3
S.Sapma	8,9	8,5	6,8	7,8	7,0
Test	Maksimum	Minimum	GFDL	HadGEM	MPI
Minimum	10,2	-18,1	-3,3	-3,4	-2,9
Maksimum	45,0	12,7	17,9	24,4	19,3
Ortalama	27,8	0,5	7,1	8,9	9,0
S.Sapma	8,5	7,4	7,0	7,6	7,0



Şekil 3. Tokat meteoroloji istasyonu 1975-2000 dönemi maksimum ve minimum sıcaklık verilerine ait zaman serisi

Figure 3. Time series of maximum and minimum temperature data of Tokat meteorological station for the period 1975-2000

1975-2000 dönemine ait zaman serisi incelendiğinde maksimum sıcaklıkların 5.5 ile 45.0 °C arasında, minimum sıcaklıkların ise -22.1 ile 13.2 °C arasında değiştiği görülmektedir. GFDL, HadGEM ve MPI modellerinin dinamik ölçek indirgeme yöntemi ile bölgesel ölçeğe indirgenmiş 20x20 km çözünürlüklü aylık ortalama sıcaklık verilerine ait zaman serileri Şekil 4’te verilmiştir. Zaman serileri incelendiğinde aylık ortalama sıcaklık değerlerinin -10 ile 25 °C arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 4. GFDL, HadGEM ve MPI GDM’lerine ait 20x20 km çözünürlüklü dinamik ölçek indirgeme modeli çıktılarına ait zaman serileri

*Figure 4. Time series of 20x20 km resolution dynamic downscaling model outputs of GFDL, HadGEM and MPI GCMs*

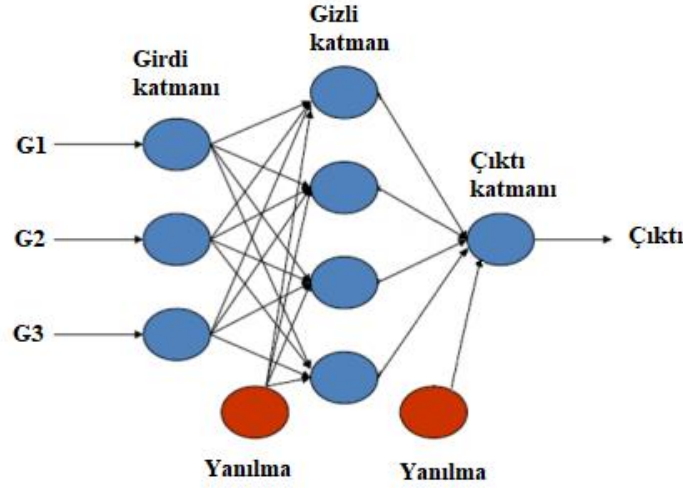
### ***İstatistiksel Ölçek İndirgeme Yöntemi***

GDM’ler iklim değişikliğinin hidro-meteorolojik değişkenler üzerindeki olası etkilerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan veri setleridir. Ancak sahip oldukları düşük çözünürlükler nedeniyle bölgesel iklimi temsil etmede yetersiz kalmaktadırlar. Bu nedenle GDM’lerin çözünürlüklerinin artırılması bir başka ifade ile bölgesel ölçeğe indirgenmeleri gerekmektedir. Bu amaçla ölçek indirgeme yöntemleri geliştirilmiştir (Okkan ve İnan, 2015a; Okkan ve İnan, 2015b). Ölçek indirgeme yöntemleri iki temel başlık altında incelenmektedir. Bunlar dinamik ve istatistiksel ölçek indirgeme yöntemleridir (Chen ve ark. 2010; Chu ve ark. 2008). Dinamik ölçek küçültme yöntemi, bölgesel ölçekte işletilen fiziksel iklim modellerine dayalı çalışmaları içerir. Bu modeller başlangıç ve sınır koşullarını GDM çıktılarından alır ve topografya özellikleri dikkate alınarak daha yüksek çözünürlüklerde çalıştırılabilir (Crane ve Hewitson, 1998). Böylece orografik yağışlar, ekstrem süreçler ve bölgesel iklim anomalileri bölgesel iklim modelleri ile ele alınabilirler (Fowler ve ark. 2005). İstatistiksel ölçek indirgeme yöntemi, GDM’lerdeki büyük ölçekli değişkenler ile istasyonlarda ölçülen meteorolojik parametreler arasındaki ilişkilere dayanmaktadır (Nacar ve ark. 2021; Şan ve ark. 2022). Her iki ölçek indirgeme yönteminin de avantajları vardır. Ancak istatistiksel ölçek küçültme yöntemi, düşük hesaplama maliyeti, farklı bölgelere kolaylıkla uygulanabilmesi ve çok fazla değişken gerektirmemesi nedeniyle hidro-meteorolojik çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Chen ve ark. 2010; Okkan ve Kirdemir, 2016; Nacar ve ark. 2022a; Nacar ve ark. 2022b). Bu çalışma kapsamında yaklaşık 200x200 km çözünürlüklere sahip olan GDM çıktılarına dinamik ölçek indirgeme yöntemi ile 20x20 km çözünürlüğe indirgenmiş çıktılarına istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi uygulanarak noktasal ölçeğe indirgeme sağlanmıştır. Bu amaçla literatürde sıklıkla kullanılan YSA tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi kullanılmıştır.



### Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağı (YSA) yöntemi, hidrometeoroloji ve birçok farklı alanda yaygın olarak kullanılan kavramsal bir tekniktir (Nacar ve ark. 2018; Yılmaz ve ark. 2019; Anılan vd., 2020; Seker ve Gumus, 2022; Mete ve ark. 2023). YSA yöntemi doğrusal olmayan ilişkiler içeren problemlerin modellenmesinde kolaylık sağlamaktadır. Literatürde farklı YSA mimarileri kullanılıyor olmasına karşın en sık kullanılan mimari ileri beslemeli geri yayımlı YSA mimarisidir. Şekil 5'te temel bir ileri beslemeli geri yayımlı YSA mimarisi gösterilmiştir.



Şekil 5. Çalışma kapsamında kullanılan YSA mimarisi  
Figure 5. ANN architecture used in the study

Bu YSA mimarisi bağımsız değişkenlerin bulunduğu girdi katmanı, nöronların bulunduğu bir ara katman ve bağımlı değişkenin yer aldığı çıktı katmanından oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında bağımsız değişken olarak üç GDM'ye ait sıcaklık verileri ve ay değeri, bağımlı değişken olarak ise Tokat meteoroloji istasyonundan ölçülmüş olan maksimum ve minimum sıcaklık verileri kullanılmıştır. Ara katmanda yer alan nöron sayısı ise 5, 10, 15, 20 ve 25 olarak seçilmiş ve her bir nöron sayısı için deneme yanılma yöntemi ile en yüksek performansı gösteren modeller belirlenmeye çalışılmıştır. YSA yöntemi ve uygulamaları hakkında daha detaylı bilgiler için Nourani ve ark. (2019), Salimi ve ark. (2019) ve Baghanam ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmalar incelenebilir.

### Model Performans Değerlendirmeleri

Çalışma kapsamında kurulan YSA tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme modellerinin performanslarının karşılaştırılması amacıyla ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı (NS) istatistikleri hesaplanmıştır. Bu istatistikler Eşitlik 1-3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |t_i - td_i| \quad (2)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2} \quad (3)$$

Bu eşitliklerde  $t_i$  gözlem değerini,  $\bar{t}$  gözlem değerlerin ortalamasını,  $td_i$  ölçeği indirgenmiş değerleri ve N veri sayısını temsil etmektedir. NS değerlerinin 1'e yakın olması model performansının yüksek olduğunu ifade etmektedir. Aynı zamanda düşük RMSE ve MAE değerleri de yüksek model performansı anlamına gelmektedir (Legates ve McCabe, 1999; Uluer ve ark. 2009).

### 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular maksimum ve minimum sıcaklıklar için ayrı başlıklar altında incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

#### *Maksimum Sıcaklıklar*

Maksimum sıcaklık değişkeni için beş farklı nöron sayı kullanılarak YSA tabanlı ölçek indirgeme modelleri kurulmuştur. Kurulan modeller her bir nöron sayısı için deneme yanılma yöntemi ile çok sayıda çalıştırılmış ve en yüksek performansı gösteren modeller kaydedilmiştir. Her bir nöron sayısı için elde edilen en yüksek performans değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Maksimum sıcaklık değişkeni için kurulan YSA tabanlı ölçek indirgeme modellerine ait performans istatistikleri

*Table 3. Performance statistics of ANN-based downscaling models for the maximum temperature variable*

Veri seti	Model	YSA_5	YSA_10	YSA_15	YSA_20	YSA_25
	RMSE	2.70	2.91	2.68	2.76	2.66
	MAE	2.19	2.38	2.17	2.26	2.18
	NS	0.88	0.87	0.89	0.88	0.89
Eğitim	RMSE	2.85	2.87	2.85	2.90	2.80
	MAE	2.29	2.32	2.30	2.29	2.28
	NS	0.90	0.90	0.90	0.89	0.90
Doğrulama	RMSE	2.97	2.68	2.87	2.75	2.87
	MAE	2.17	1.93	2.11	2.01	2.08
	NS	0.88	0.90	0.89	0.90	0.89
Test	NS	0.88	0.90	0.89	0.90	0.89

Tablo 3 incelendiğinde beş modelin de performans istatistiklerinin, eğitim, doğrulama ve test veri setleri için birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu nedenle modeller arasından bir tane seçmek yerine her beş model için de gelecek dönem (2023-2092) verileri RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için üretilmiştir. Üretilen gelecek dönem maksimum sıcaklık verileri onar yıllık dönemleri ortalamaları ile geçmiş dönem (1975-200) maksimum sıcaklıkları arasındaki değişim miktarları onar yıllık dönemlerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma uzun süreli aylık ortalamalar ve uzun süreli yıllık ortalamalar için hesaplanmıştır. RCP4.5 senaryo çıktılarına ait değişim miktarları Şekil 6'da verilmiştir.

RCP4.5		Dönem/Ay												
		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
YSA_5	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2083-2092													
YSA_10	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2083-2092													
YSA_15	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2083-2092													
YSA_20	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2083-2092													
YSA_25	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2083-2092													
$\Delta^{\circ}\text{C}$		-0.67	-0.38	-0.09	0.21	0.50	0.80	1.09	1.38	1.68	1.97	2.26	2.56	2.85

Şekil 6. Maksimum sıcaklıkların gelecek dönem (2023-2092) RCP4.5 senaryo çıktıları ile geçmiş dönem (1975-2000) gözlem verileri arasındaki farklar

Figure 6. Differences of maximum temperatures between future (2023-2092) RCP4.5 scenario outputs and past (1975-2000) observation data

RCP4.5 senaryosuna göre Tokat ili maksimum sıcaklıklarının  $-0.67$  ile  $2.85$   $^{\circ}\text{C}$  arasında değişebileceği öngörülmüştür. Sıcaklık artışlarının bütün modellerde sonbahar aylarında meydana geleceği görülmektedir. En fazla artışların YSA\_10 modelinden elde edildiği görülmektedir. En fazla düşüş ise YSA\_5 modelinden elde edilmiştir. Bunun yanında yaz aylarındaki maksimum sıcaklıklarda az da olsa düşüşlerin olabileceği öngörülmektedir. Yıllık ortalamalarda ise  $2$   $^{\circ}\text{C}$ 'ye varan sıcaklık artışlarının yaşanabileceği görülmektedir. Ayrıca maksimum sıcaklıklardaki artışın yüzyıl sonlarına doğru daha da şiddetleneceği tahmin edilmektedir.

RCP8.5 senaryo çıktılarına ait değişim miktarları Şekil 7'de verilmiştir.



RCP8.5		Dönem/Ay												
		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
YSA_5	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2073-2082													
2083-2092														
YSA_10	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2073-2082													
2083-2092														
YSA_15	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2073-2082													
2083-2092														
YSA_20	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2073-2082													
2083-2092														
YSA_25	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2073-2082													
2083-2092														
$\Delta^{\circ}\text{C}$		-1.22	-0.76	-0.29	0.17	0.64	1.10	1.56	2.03	2.49	2.96	3.42	3.88	4.35

Şekil 7. Maksimum sıcaklıkların gelecek dönem (2023-2092) RCP8.5 senaryo çıktıları ile geçmiş dönem (1975-2000) gözlem verileri arasındaki farklar

Figure 7. Differences of maximum temperatures between future (2023-2092) RCP8.5 scenario outputs and past (1975-2000) observational data

Şekil 7 incelendiğinde maksimum sıcaklıkların kötümser senaryoya göre -1.22 ile 4.35 arasında değişim göstereceği görülmektedir. Sıcaklık artışlarının RCP4.5 senaryosunda olduğu gibi sonbahar aylarında daha şiddetli olacağı görülmektedir. En fazla artış YSA\_5 modelinden elde edilirken en fazla düşüş özellikle yaz aylarında ve YSA\_5 modelinden elde edildiği görülmektedir. Sıcaklık artışlarının yüzyıl sonlarına doğru arttığı renk değişimlerinden anlaşılmaktadır. Uzun yıllar yıllık ortalama maksimum sıcaklık değerlerindeki artışların 3 °C düzeylerinde olabileceği tahmin edilmektedir. Maksimum sıcaklık değişkenindeki sıcaklık değişim miktarlarının RCP4.5 senaryosunda öngörülen değişim miktarlarının yaklaşık iki katı kadar olduğu görülmektedir. Her iki senaryoya göre de maksimum sıcaklıklarda çok ciddi miktarda artışların olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Sıcaklıklarda öngörülen bu tür artışların IPCC tarafından vurgulanan 1.5 C değerinden oldukça fazla olduğu görülmektedir. IPCC tarafından hazırlanan raporda 1.5°C sınırın, sürdürülebilir kalkınma ve yoksulluğu önlemek için kritik öneme sahip olduğu

vurgulanmaktadır. Bu raporda ayrıca küresel ısınmanın 1.5°C ile sınırlandırılması, ekolojik sistemler ve yaşam alanları üzerindeki birçok kalıcı etkinin önlenmesi anlamına geldiği vurgulanmaktadır. Ortalama sıcaklıklarda 2°C üzerinde bir sıcaklık artışının sıcak hava dalgalarına bağlı ölümleri arttıracığı, şiddetli orman yangınlarına maruz kalılabileceğini göstermektedir. İyimser senaryoyu temsil eden RCP4.5 senaryosuna göre bile tahmin edilen 3 °C'lik sıcaklık artışının bu etkileri daha da şiddetlendirebileceğini göstermektedir. Kötümser senaryoya göre ise maksimum sıcaklıklardaki öngörülen yaklaşık 5 °C'lik sıcaklık artışının hayatı birçok yönden olumsuz etkileyeceği kaçınılmaz bir gerçektir. IPCC raporları bitki ve hayvanların, özellikle göçmen canlıların, bu sıcaklık değişimine ayak uyduramayacağını ve yerel ölçekte soylarının tükeneceğini ve deniz ekosistemlerinin bu derecede bir sıcaklık artışı ile çökebileceğini göstermektedir.

### **Minimum Sıcaklıklar**

Minimum sıcaklık değişkeni için maksimum sıcaklık değişkeninde olduğu gibi beş farklı nöron sayısı ile modeller kurulmuş ve modellere ait performans istatistikleri hesaplanmıştır. Minimum sıcaklıklar için kurulan ölçek indirgeme modellerine ait performans istatistikleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Minimum sıcaklık değişkeni için kurulan YSA tabanlı ölçek indirgeme modellerine ait performans istatistikleri

*Table 4. Performance statistics of ANN-based downscaling models for the minimum temperature variable*

Veri seti	Model	YSA_5	YSA_10	YSA_15	YSA_20	YSA_25
Eğitim	RMSE	2.80	2.29	2.97	2.44	2.27
	MAE	2.05	1.65	2.20	1.67	1.59
	NS	0.86	0.91	0.85	0.90	0.91
Doğrulama	RMSE	3.68	3.25	3.42	3.29	3.43
	MAE	2.74	2.56	2.47	2.46	2.51
	NS	0.81	0.85	0.84	0.85	0.84
Test	RMSE	2.80	3.21	2.77	2.71	2.91
	MAE	2.16	2.45	2.08	2.02	2.23
	NS	0.86	0.81	0.86	0.87	0.85

Modeller ait performans istatistikleri incelendiğinde eğitim, doğrulama ve test veri takımlarına ait performans değerlerinin her beş model için de birbirlerine oldukça yakın oldukları görülmektedir. Bu nedenle yine maksimum sıcaklık değişkeninde olduğu gibi her beş model için gelecek önem verileri üretilmiş ve onar yıllık dönemler için geçmiş dönem gözlem verileri ile karşılaştırılmıştır. RC4.5 senaryosuna göre minimum sıcaklıklardaki değişim miktarları Şekil 8'de verilmiştir. Minimum sıcaklıkların RCP4.5 senaryosuna göre -2.57 ile 5.20 °C arasında değişebileceği öngörülmektedir. Sıcaklık artışlarının ilkbahar ve yaz aylarında, düşüşlerin ise sonbahar ve kış aylarında olabileceği tahmin edilmektedir. Minimum sıcaklıklardaki en fazla artışın YSA\_5 modelinden elde edildiği açıkça görülmektedir.

RCP4.5		Dönem/Ay												
		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
YSA_5	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2083-2092													
YSA_10	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2083-2092													
YSA_15	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2083-2092													
YSA_20	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2083-2092													
YSA_25	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2083-2092													
$\Delta^{\circ}\text{C}$		-2.57	-1.92	-1.28	-0.63	0.02	0.67	1.32	1.96	2.61	3.26	3.91	4.56	5.20

Şekil 8. Minimum sıcaklıkların gelecek dönem (2023-2092) RCP4.5 senaryo çıktıları ile geçmiş dönem (1975-2000) gözlem verileri arasındaki farklar

Figure 8. Differences of minimum temperatures between future (2023-2092) RCP4.5 scenario outputs and past (1975-2000) observation data

Minimum sıcaklık değişkeninin RCP8.5 senaryo çıktılarına ait değişim miktarları Şekil 9’da verilmiştir. Şekil incelendiğinde minimum sıcaklıkların -4.81 ile 7.75 °C arasında değişim gösterebileceği görülmektedir. Sıcaklık artış ve düşüşlerin RCP4.5 senaryosunda öngörüldüğü gibi olacağı tahmin edilmektedir. En fazla değişimin YSA\_10 modelinden elde edildiği şekil üzerinden açıkça görülmektedir. Uzun yıllar yıllık ortalama minimum sıcaklık değerlerindeki değişimin artan yönde ve yüzyıl sonlarında maksimum değerine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca RCP8.5 senaryo çıktılarının RCP4.5 senaryo çıktılarına göre neredeyse iki kata yaklaşan değişim öngördüğü anlaşılmaktadır.

RCP8.5		Dönem/Ay												
		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
YSA_5	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2083-2092													
YSA_10	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2083-2092													
YSA_15	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2083-2092													
YSA_20	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2083-2092													
YSA_25	2023-2032													
	2033-2042													
	2043-2052													
	2053-2062													
	2063-2072													
	2083-2092													
$\Delta^{\circ}\text{C}$		-4.81	-3.76	-2.71	-1.67	-0.62	0.42	1.47	2.52	3.56	4.61	5.65	6.70	7.75

Şekil 9. Minimum sıcaklıkların gelecek dönem (2023-2092) RCP8.5 senaryo çıktıları ile geçmiş dönem (1975-2000) gözlem verileri arasındaki farklar

Figure 9. Differences of minimum temperatures between future (2023-2092) RCP8.5 scenario outputs and past (1975-2000) observation data

RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre maksimum ve minimum sıcaklıklarda öngörülen sıcaklık artışlarının ekosistem üzerinde ciddi olumsuzluklara neden olacağı, sıcaklık artışlarına bağlı ölümlerin artacağı, aşırı hava olayları nedeniyle yaşanacak can kayıplarının artacağı, önemli miktarlarda maddi kayıpların yaşanacağı IPCC raporlarında açıkça ifade edilmektedir. Tokat ili özelinde meydana gelebilecek bu tür sıcaklık artışlarının tarım ve hayvancılık faaliyetlerini önemli ölçüde etkileyeceği düşünülmektedir. Bölgenin önemli geçim kaynakları arasında olan tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin artan sıcaklıklar nedeniyle etkilenmesi bölge halkının gelecek dönemlerde önemli ekonomik kayıplar yaşayabileceği anlamına gelmektedir. Ayrıca bu türden sıcaklık artışları temiz ve kullanılabilir su kaynaklarının azalmasına ve kuraklığın artmasına neden olacağı kaçınılmazdır. Son yıllarda artan taşkın ve kuraklık haberleri öngörülen bu değişimleri destekler niteliktedir. Son üç yılda İzmir, Ankara, İstanbul, Trabzon, Rize, Ordu, Bursa,

Kahramanmaraş, Kayseri, Antalya, Muğla, Tekirdağ, Konya, Muş, Erzurum, Şanlıurfa, Samsun, kısacası yurdun dört bir yanı sellere teslim olmuş, aşırı yağış ve taşkınlar canlar almış, yollar kapanmış, tarlalar ve ekinler yok olmuştur. Küresel anlamda iklim krizine karşı yeterli ve etkili tedbirler alınmazsa bu afetlerin Tokat ve diğer illerde de şiddetini arttırarak devam etmesi kaçınılmazdır.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada iklim değişikliğinin maksimum ve minimum sıcaklıklar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu etkilerin tespiti için Tokat ili meteoroloji istasyonu örnek olarak seçilmiş ve CMIP5 arşivinde yer alan GFDL, HadGEM ve MPI GDM çıktıları kullanılarak gelecek dönem sıcaklık verileri üretilmiştir. Bu kapsamda bahsi geçen GDM'lerin düşük çözünürlüklü çıktılarının dinamik ölçek indirgeme yöntemi ile bölgesel ölçeğe indirgenmiş çıktıları istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi marifetiyle noktasal ölçeğe indirgenmiştir. İstatistiksel ölçek indirgeme yöntemi olarak yapay sinir ağları (YSA) tabanlı modeller kurulmuş ve 2023-2092 dönemi sıcaklık verileri iyimser senaryoyu temsil eden RCP4.5 ve kötümser senaryoyu temsil eden RCP8.5 senaryoları için üretilmiştir. Üretilen gelecek dönem senaryo verileri ile 1975-2000 geçmiş dönem gözlem verileri karşılaştırılmış ve değişim miktarları onar yıllık dönemler için hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- YSA tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi ile kurulan modeller maksimum ve minimum sıcaklıklar için 0.85 üzerinde NS değerleri vermiştir. Bu değer model çıktılarının gerçek değerlere çok yakın olduğunu ve dolayısıyla YSA yönteminin maksimum ve minimum sıcaklık verilerinin elde edilmesinde istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi olarak kullanılabileceğini göstermiştir.
- İklim değişikliğinin Tokat meteoroloji istasyonundan ölçülen maksimum sıcaklık değerleri üzerinde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre uzun yıllar ortalamasında sırasıyla -0.7 ile 2.9 °C ve -1.2 ile 4.4 °C arasında değişime neden olabileceği görülmüştür.
- Minimum sıcaklıklarda ise RCP4.5 senaryosuna göre -2.6 ile 5.2 °C arasında, RCP8.5 senaryosuna göre ise -4.8 ile 7.8 °C arasında değişimin olabileceği görülmüştür.
- Maksimum ve minimum sıcaklıklarda öngörülen sıcaklık artışlarının bölgenin öncelikle su kaynaklarını ve sonrasında tarımsal ve hayvansal üretimini etkileyeceği düşünülmektedir. Bu durumun ilerleyen dönemlerde şiddetini arttırarak devam edeceği tahmin edilmektedir.

Bu çalışmada iklim değişikliğinin maksimum ve minimum sıcaklıklar üzerindeki olası etkileri CMIP5 arşivindeki GDM verileri kullanılarak incelendiği ve sonuçların RCP senaryoları çerçevesinde üretildiği unutulmamalıdır. Bu çalışma CMIP6 arşivinde yer alan GDM çıktıları kullanılarak ortak sosyoekonomik patikalar (SSP) senaryoları ile tekrarlanabilir. Ayrıca iklim değişikliğinin su kaynakları ve dolayısı ile canlılar için hayati öneme sahip olan yağış değişkeni üzerindeki olası etkileri bir diğer araştırmanın konusu olabilir.

#### 5. Teşekkür

Çalışma kapsamında kullanılan verilerin temin edilmesinde desteğini esirgemeyen Gaye Oğuztürk'e ve verileri temin eden Meteoroloji Genel Müdürlüğü yetkililerine ve çalışanlarına teşekkür ederim.

## 6. Kaynaklar

- Anilan, T., Nacar, S., Kankal, M., Yuksek, O. 2020. Prediction of maximum annual flood discharges using artificial neural network approaches. *Gravevinar*, 72(03.), 215-224.
- Baghanam, A. H., Eslahi, M., Sheikhabaei, A., Seifi, A. J. 2020. Assessing the impact of climate change over the northwest of Iran: an overview of statistical downscaling methods. *Theoretical and Applied Climatology*, 141, 1135-1150.
- Bermúdez, M., Cea, L., Van Uytven, E., Willems, P., Farfán, J. F., Puertas, J. 2020. A robust method to update local river inundation maps using global climate model output and weather typing based statistical downscaling. *Water Resources Management*, 34, 4345-4362.
- Byun, K., Chiu, C. M., Hamlet, A. F. 2019. Effects of 21st century climate change on seasonal flow regimes and hydrologic extremes over the Midwest and Great Lakes region of the US. *Science of the Total Environment*, 650, 1261-1277.
- Chen, S. T., Yu, P. S., Tang, Y. H. 2010. Statistical downscaling of daily precipitation using support vector machines and multivariate analysis. *Journal of hydrology*, 385(1-4), 13-22.
- Chu, J. L., Kang, H., Tam, C. Y., Park, C. K., Chen, C. T. 2008. Seasonal forecast for local precipitation over northern Taiwan using statistical downscaling. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D12).
- Crane, R. G., Hewitson, B. C. 1998. Doubled CO<sub>2</sub> precipitation changes for the Susquehanna Basin: Down-scaling from the Genesis general circulation model. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 18(1), 65-76.
- Feng, K. 2020. Characteristics and Comparison of Different Downscaling Methods in Global Climate Model. *Meteorological & Environmental Research*, 11(1).
- Fistikoglu, O., Okkan, U. 2011. Statistical downscaling of monthly precipitation using NCEP/NCAR reanalysis data for Tahtali River Basin in Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(2), 157-164.
- Fowler, H. J., Ekström, M., Kilsby, C. G., Jones, P. D. 2005. New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 1. Assessment of control climate. *Journal of Hydrology*, 300(1-4), 212-233.
- Hassan, W. H., Nile, B. K. 2021. Climate change and predicting future temperature in Iraq using CanESM2 and HadCM3 modeling. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7, 737-748.
- Huang, Y., Ma, Y., Liu, T., Luo, M. 2020. Climate change impacts on extreme flows under IPCC RCP scenarios in the mountainous Kaidu watershed, Tarim River basin. *Sustainability*, 12(5), 2090.
- Legates, D. R., McCabe Jr, G. J. 1999. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water resources research*, 35(1), 233-241.
- Mete B., Nacar, S., Bayram, A., Baki, O. T. 2023. Regresyon ve Yapay Sinir Ağları Yöntemleri ile Akarsularda Askıda Katı Madde Konsantrasyonu Tahmini. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(1), 125-135.
- Monier, E., Gao, X. 2015. Climate change impacts on extreme events in the United States: an uncertainty analysis. *Climatic Change*, 131, 67-81.
- Nacar, S., Hınıs, M. A., Kankal, M. 2018. Forecasting daily streamflow discharges using various neural network models and training algorithms. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22, 3676-3685.



- Nacar, S., Kankal, M., Okkan, U. 2021. EraInterim Re-analiz verileri kullanılarak istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi ile doğu Karadeniz havzası aylık ortalama sıcaklık değerlerinin tahmin edilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 136-148.
- Nacar, S., Kankal, M., Okkan, U. 2022a. Evaluation of the suitability of NCEP/NCAR, ERA-Interim and, ERA5 reanalysis data sets for statistical downscaling in the Eastern Black Sea Basin, Turkey. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 134(2), 39.
- Nacar, S., Kankal, M., Okkan, U. 2022b. Doğu Karadeniz Havzası Lokal Meteorolojik Değişkenleri İçin Bir Ölçek İndirgeme Uygulaması ve Senaryo Esaslı Öngörüler. *Teknik Dergi*, 33(6).
- Nair, A. V., Wi, S., Gleason, C., Kayastha, R. B., Nikolopoulos, E. I. 2022. Climate change impact on precipitation-phase partitioning and streamflow for glacierized catchments in Nepal (No. EGU22-10735). Copernicus Meetings.
- Nourani, V., Razzaghzadeh, Z., Baghanam, A. H., Molajou, A. 2019. ANN-based statistical downscaling of climatic parameters using decision tree predictor screening method. *Theoretical and Applied Climatology*, 137, 1729-1746.
- Okkan, U., Inan, G. 2015a. Bayesian learning and relevance vector machines approach for downscaling of monthly precipitation. *Journal of Hydrologic Engineering*, 20(4), 04014051.
- Okkan, U., Inan, G. 2015b. Statistical downscaling of monthly reservoir inflows for Kemer watershed in Turkey: use of machine learning methods, multiple GCMs and emission scenarios. *International Journal of Climatology*, 35(11), 3274-3295.
- Okkan, U., Kirdemir, U. 2016. Downscaling of monthly precipitation using CMIP5 climate models operated under RCPs. *Meteorological Applications*, 23(3), 514-528.
- Salimi, A. H., Masoompour Samakosh, J., Sharifi, E., Hassanvand, M. R., Noori, A., von Rautenkranz, H. 2019. Optimized artificial neural networks-based methods for statistical downscaling of gridded precipitation data. *Water*, 11(8), 1653.
- Seker, M., Gumus, V. 2022. Projection of temperature and precipitation in the Mediterranean region through multi-model ensemble from CMIP6. *Atmospheric Research*, 280, 106440.
- Sharafati, A., Pezeshki, E. 2020. A strategy to assess the uncertainty of a climate change impact on extreme hydrological events in the semi-arid Dehbar catchment in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 139, 389-402.
- Sillmann, J., Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X., Bronaugh, D. 2013. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections. *Journal of geophysical research: atmospheres*, 118(6), 2473-2493.
- Şan, M., Nacar, S., Kankal, M., Bayram, A. 2022. Daily precipitation performances of regression-based statistical downscaling models in a basin with mountain and semi-arid climates. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 1-25.
- Tarek, M., Brissette, F., Arsenault, R. 2021. Uncertainty of gridded precipitation and temperature reference datasets in climate change impact studies. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(6), 3331-3350.
- Timbal, B., Dufour, A., McAvaney, B. 2003. An estimate of future climate change for western France using a statistical downscaling technique. *Climate Dynamics*, 20, 807-823.
- Tisseuil, C., Vrac, M., Lek, S., Wade, A. J. 2010. Statistical downscaling of river flows. *Journal of Hydrology*, 385(1-4), 279-291.
- Uluer, O., Kırmacı, V., Ataş, Ş. 2009. Using the artificial neural network model for modeling the performance of the counter flow vortex tube. *Expert Systems with Applications*, 36(10), 12256-12263.

- Vu, M. T., Aribarg, T., Supratid, S., Raghavan, S. V., Liong, S. Y. 2016. Statistical downscaling rainfall using artificial neural network: significantly wetter Bangkok?. *Theoretical and applied climatology*, 126, 453-467.
- Wilby, R. L., Wigley, T. M. L., Conway, D., Jones, P. D., Hewitson, B. C., Main, J., Wilks, D. S. 1998. Statistical downscaling of general circulation model output: A comparison of methods. *Water resources research*, 34(11), 2995-3008.
- Yilmaz, B., Aras, E., Kankal, M., Nacar, S. 2019. Prediction of suspended sediment loading by means of hybrid artificial intelligence approaches. *Acta Geophysicvunacara*, 67, 1693-1705.