

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HİDROELEKTRİK ENERJİ
SANTRALLERİNDE ÜRETİLEN ENERJİ ÜZERİNE ETKİSİ:
SAKARYA HAVZASI ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hamza PİR

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Gökmen ÇERİBAŞI

Haziran 2023

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HİDROELEKTRİK ENERJİ
SANTRALLERİNDE ÜRETİLEN ENERJİ ÜZERİNE ETKİSİ:
SAKARYA HAVZASI ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hamza PİR

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 14/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Doç. Dr. Gökmen ÇERİBAŞI	BAŞARILI
Üye: Doç. Dr. Beytullah EREN	BAŞARILI
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Kurban ÖNTÜRK	BAŞARILI

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Hamza PİR

02/06/2023

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Gökmen ÇERİBAŞI'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda tecrübe ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Doç. Dr. Ferhat AYDIN'a, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım sayın hocam Arş. Gör. İyad CEYHUNLU'ya ve çalışmada kullanmış olduğum verileri temininde bana yardımcı olan Adasu, Doğançay I-II ve Pamukova Hidroelektrik Enerji Santralleri çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yüksek lisans sürecimde desteklerini eksik etmeyen tüm arkadaşlarıma ve en önemlisi maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen annem, babam ve tüm aile fertlerime teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	iv
SİMGELER	v
TABLOLAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE METOT	13
3.1. Çalışma Alanı	13
3.1.1. Sarıyar hidroelektrik enerji santrali	15
3.1.2. Gökçekaya hidroelektrik enerji santrali	16
3.1.3. Yenice hidroelektrik enerji santrali	18
3.1.4. Pamukova hidroelektrik enerji santrali	19
3.1.5. Doğançay I hidroelektrik enerji santrali	20
3.1.6. Doğançay II hidroelektrik enerji santrali	22
3.1.7. Adasu hidroelektrik enerji santrali	23
3.2. Yöntem	25
3.2.1. Mann-Kendall yöntemi	25
3.2.2. Mann-Kendall mertebeye korelasyon yöntemi	26
3.2.3. Yenilikçi trend analizi (ITA).....	28
3.2.4. 3 Boyutlu yenilikçi trend analizi (3D-ITA).....	31

BÖLÜM 4.

ARAŞTIRMA BULGULARI	33
4.1. Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice HES'leri İçin Analiz Sonuçları.....	33
4.1.1. Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice HES'leri için ITA ve 3D-ITA analiz sonuçları	33
4.1.2. Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice HES'leri için Mann-Kendall analiz sonuçları	35
4.1.3. Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice HES'leri için Mann-Kendall mertebe korelasyon analiz sonuçları	35
4.2. Pamukova HES Analiz Sonuçları	36
4.2.1. Pamukova HES ITA ve 3D-ITA analiz sonuçları.....	36
4.2.2. Pamukova HES Mann-Kendall analiz sonuçları.....	38
4.2.3. Pamukova HES için Mann-Kendall mertebe korelasyon analiz sonuçları ..	38
4.3. Doğançay I HES Analiz Sonuçları.....	39
4.3.1. Doğançay I HES ITA ve 3D-ITA analiz sonuçları	39
4.3.2. Doğançay I HES Mann-Kendall analiz sonuçları	41
4.3.3. Doğançay I HES için Mann-Kendall mertebe korelasyon analiz sonuçları.	41
4.4. Doğançay II HES Analiz Sonuçları	42
4.4.1. Doğançay II HES ITA ve 3D-ITA analiz sonuçları.....	42
4.4.2. Doğançay II HES Mann-Kendall analiz sonuçları.....	43
4.4.3. Doğançay II HES için Mann-Kendall mertebe korelasyon analiz sonuçları	44
4.5. Adasu HES Analiz Sonuçları	45
4.5.1. Adasu HES ITA ve 3D-ITA analiz sonuçları.....	45
4.5.2. Adasu HES Mann-Kendall analiz sonuçları.....	45

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	47
-----------------------------------	-----------

KAYNAKLAR	51
------------------------	-----------

EKLER	55
--------------------	-----------

KISALTMALAR

BOD5	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
COD)	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
DSİ	: Devlet Su İşleri
EİEİ	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
Gamma İYF	: Gamma İhtimal Yoğunluk Fonksiyonu
GWh	: Gigawatt Saat
HES	: Hidroelektrik Enerji Santrali
hm ³	: Hektometre Küp
hPa	: Aktüel Basınç
IPTA	: Yenilikçi Poligon Trend Analizi
ITA	: Yenilikçi Trend Analizi
ITA_DL	: Revize Edilen Yenilikçi Trend Analizi
Km	: Kilometre
Km ²	: Kilometre Kare
m	: Metre
m ³	: Metre Küp
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğünün
MK	: Mann-Kendall
mm	: Milimetre
MW	: Megawatt
SASKİ	: Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
Şen-YYÇ	: Şen Yenilikçi Yönelim Çözümleme
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
YEA-DK	: Yenilikçi Eğilim Analizi-Değişim Kutuları
3D-ITA	: Üç Boyutlu Yenilikçi Trend Analizi

SİMGELER

$E(t)$: Test istatistiği ortalaması
H_0	: Sıfır Hipotezi
n	: Terim sayısı
S	: Mann-Kendall test istatistiği
t	: Test istatistiği
$u(t)$: Mann-Kendall Meritebe Korelayon test fonksiyonu
$var(t)$: Test istatistiği varyansı
Z	: Standart normal deđişken
$Z_{\alpha/2}$: α anlamlılık düzeye için normal dağılımın kritik değeri
α	: Anlamlılık düzeye
τ	: Kendall Korelasyon Katsayısı
σ_S	: S Değerinin varyansının karşılığı

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1 : Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice HES'lerine ait enerji verileri için Mann-Kendall analiz sonuçları.	35
Tablo 4.2 : Pamukova HES'e ait enerji ve debi verileri için Mann-Kendall analiz sonuçları.	38
Tablo 4.3 : Doğançay I HES'e ait enerji ve debi verileri için Mann-Kendall analiz sonuçları.	41
Tablo 4.4 : Doğançay II HES'e ait enerji ve debi verileri için Mann-Kendall analiz sonuçları.	43
Tablo A.1 : Normal Dağılım Tablosu	55

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 : Sakarya Havzası konumu.....	13
Şekil 3.2 : HES'lerin konumu.	14
Şekil 3.3 : Sarıyar HES'in havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü.....	15
Şekil 3.4 : Sarıyar HES'e ait aylık üretilen enerji gidiş grafiği.	16
Şekil 3.5 : Gökçekaya HES'in havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü.	17
Şekil 3.6 : Gökçekaya HES'e ait aylık üretilen enerji gidiş grafiği.	17
Şekil 3.7 : Yenice HES'in havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü.	18
Şekil 3.8 : Yenice HES'e ait aylık üretilen enerji gidiş grafiği.....	19
Şekil 3.9 : Pamukova HES'in havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü.	19
Şekil 3.10 : Pamukova HES'e ait aylık üretilen enerji gidiş grafiği.	20
Şekil 3.11 : Pamukova HES'e ait aylık ortalama debi gidiş grafiği.....	20
Şekil 3.12 : Doğançay I HES'in havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü.....	21
Şekil 3.13 : Doğançay I HES'e ait aylık üretilen enerji gidiş grafiği.	21
Şekil 3.14 : Doğançay I HES'e ait aylık ortalama debi gidiş grafiği.	22
Şekil 3.15 : Doğançay II HES'in havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü.	22
Şekil 3.16 : Doğançay II HES'e ait aylık üretilen enerji gidiş grafiği	23
Şekil 3.17 : Doğançay II HES'e ait aylık toplam debi gidiş grafiği	23
Şekil 3.18 : Adasu HES'in havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü	24
Şekil 3.19 : Adasu HES'e ait aylık üretilen enerji gidiş grafiği.....	25
Şekil 3.20 : Trendin olduğunu gösteren varsayımsal $u(t) - u'(t)$ grafiği.	27
Şekil 3.21 : Trendin olmadığını gösteren varsayımsal $u(t) - u'(t)$ grafiği.	28
Şekil 3.22 : Varsayımsal ITA grafiği	29
Şekil 3.23 : Varsayımsal ITA sınıflandırma grafiği.....	30
Şekil 3.24 : Varsayımsal 3D-ITA grafiği.	32
Şekil 4.1 : Sarıyar HES'in enerji verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri.	33
Şekil 4.2 : Gökçekaya HES enerji verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri.	34
Şekil 4.3 : Yenice HES enerji verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri. ...	34
Şekil 4.4 : Yenice HES enerji verilerinin $u(t)-u'(t)$ grafiği.....	36
Şekil 4.5 : Pamukova HES enerji verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri.	36
Şekil 4.6 : Pamukova HES debi verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri.	37
Şekil 4.7 : Pamukova HES enerji verilerinin $u(t)-u'(t)$ grafiği.	38
Şekil 4.8 : Pamukova HES debi verilerinin $u(t)-u'(t)$ grafiği.	39
Şekil 4.9 : Doğançay I HES enerji verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri.	39

Şekil 4.10 : Doğançay I HES debi verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri.	40
Şekil 4.11 : Doğançay I HES enerji verilerinin $u(t)$ - $u'(t)$ grafiği.....	42
Şekil 4.12 : Doğançay II HES enerji verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri.....	42
Şekil 4.13 : Doğançay II HES debi verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri.....	43
Şekil 4.14 : Doğançay II HES enerji verilerinin $u(t)$ - $u'(t)$ grafiği	44
Şekil 4.15 : Adasu HES enerji verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri ...	45



İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HİDROELEKTRİK ENERJİ SANTRALLERİNDE ÜRETİLEN ENERJİ ÜZERİNE ETKİSİ: SAKARYA HAVZASI ÖRNEĞİ

ÖZET

İnsanlık tarihine bakıldığında geçmişten günümüze kadar geçen zamanda insanlığın temel ihtiyaçlarından birisi haline gelen enerji, günümüzün vazgeçilmez ihtiyaçlarından biridir. Enerji üretim kaynakları birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak karşımıza çıkmaktadır. Birincil enerji kaynakları yenilenebilir enerji ve yenilenemeyen enerji olarak ikiye ayrılmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynakları, fosil yakıtlar olduğu için kısıtlı ve iklim değişimini etkileyen sera gazı salınımı yüksek kaynaklardır. Türkiye’de son yıllarda ekonomi ve nüfustaki hızlı artış enerji talebindeki güçlü büyümeyi etkilemiştir. Enerji ihtiyacını karşılamak ve iklim değişikliğini etkilememek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına önem verilmiştir. Temiz yenilenebilir enerji kaynaklarında gelişmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar içerisinde hidroelektrik enerji santralleri (HES) incelendiğinde temiz ve çevre dostu yenilenebilir enerji sunmakta, yurt içi harcamaları tarafından yatırımlarının %70-%80 kadarı karşılanmakta, kısa sürede devreye alınıp devreden çıkarılabilmekte ve kullanım ömrü uzun olan yapılardır. Bu avantajları ve Türkiye’de bulunan su gücü potansiyeli göz önünde bulundurulduğunda tercih edilebilir bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. HES’ler iklim değişikliklerinden, baraj su seviyelerine kadar birçok doğrudan ve dolaylı değişkenden etkilenmektedir. İklim değişikliği ile birlikte meydana gelen sıcaklık artışı ve yağış düşüşleri su gücü potansiyeline sahip ülkemizde HES’lerin bünyesinde üretilen enerji ve debi miktarlarını da etkilemektedir. Bu çalışmada iklim değişikliğinin HES’lerde üretilen enerji ve debi üzerine etkisini araştırmak için Sakarya Havzası incelenmiştir. Klasik ve modern analiz yöntemleri kullanılarak araştırılacaktır. Klasik yöntemlerden Mann-Kendall ve Mann-Kendall Mertebe Korelasyon yöntemleri ve modern yöntemlerden de Yenilikçi Trend Analizi (ITA) ve Üç Boyutlu Yenilikçi Trend Analizi (3D-ITA) yöntemleri kullanılacaktır. Sakarya Havzasında en uzun veri aralığına sahip olan 7 adet HES’ten aylık toplam üretilen enerji ve aylık ortalama debi verileri alınarak analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda klasik ve modern yöntemlerin analiz sonuçlarının birbirini desteklediği görülmüştür. İklim değişikliği nedeniyle havza genelinde enerji ve debi verilerinde Mann-Kendall ve Yenilikçi Trend Analizi yöntemlerine göre azalan trend gözlemlenirken Üç Boyutlu Yenilikçi Trend Analizi yöntemine göre kararsız trendler gözlemlenmiştir. Ancak Pamukova HES’e ait enerji ve debi verilerinde orta bölgede kararlı azalan trend görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sakarya Havzası, İklim değişikliği, Enerji, Hidroelektrik Enerji Santrali, Mann-Kendall Yöntemi, Yenilikçi Trend Analizi, Üç Boyutlu Yenilikçi Trend Analizi

EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON ENERGY GENERATED AT HYDROELECTRIC POWER PLANT: SAKARYA BASIN CASE

ABSTRACT

When we look at the history of humanity, energy, which has become one of the basic needs of humanity from the past to the present, is one of the indispensable needs of today. Energy production sources appear as primary and secondary energy sources. Primary energy sources are divided into two as renewable energy and non-renewable energy. Since non-renewable energy sources are fossil fuels, they are limited and have high greenhouse gas emissions that affect climate change. The rapid increase in the economy and population in Turkey in recent years has affected the strong growth in energy demand. In order to meet the energy needs and not to affect the climate change, importance is given to the use of renewable energy sources. Various methods are used to develop in clean renewable energy sources. Among these, hydroelectric power plants (HEPPs) offer clean and environmentally friendly renewable energy, 70%-80% of their investments are covered by domestic expenditures, they can be commissioned and deactivated in a short time and they are structures with service a long life. Considering these advantages and the water power potential of Turkey, it is a preferable renewable energy source. HEPPs are affected by many direct and indirect variables, from climate changes to dam water levels. The temperature increase and precipitation decreases that occur with climate change also affect the energy and flow rates produced by HEPPs in our country, which has a water power potential. In this study, Sakarya Basin was investigated to investigate the effect of climate change on the energy and flow rate produced in HEPPs. It will be investigated using classical and modern analysis methods. Mann-Kendall and Mann-Kendall Rank Correlation methods from classical methods and Innovative Trend Analysis (ITA) and Three-Dimensional Innovative Trend Analysis (3D-ITA) methods from modern methods will be used. Monthly total energy produced and monthly average flow data were obtained from 7 HEPPs, which have the longest data range in the Sakarya Basin, and analyzed. As a result of the study, it was seen that the analysis results of classical and modern methods supported each other. While a decreasing trend was observed according to Mann-Kendall and Innovative Trend Analysis methods in the energy and flow data throughout the basin due to climate change, unstable trends were observed according to the Three-Dimensional Innovative Trend Analysis method. However, a stable decreasing trend was observed in the middle region in the energy and flow data of Pamukova HEPP.

Keywords: Sakarya Basin, Climate change, Energy, Hydroelectric Power Plant, Mann-Kendall Method, Innovative Trend Analysis, Three Dimensional Innovative Trend Analysis

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Enerji, doğada meydana gelen kimyasal ve fiziksel tepkime ve olaylarda manyetik, ışık, sıcaklık, mekanik ve elektrik formlara dönüştürülen ve kullanılan formların genel isimlendirmesidir (Url-1).

Enerji üretiminde birçok kaynak kullanılmaktadır. Enerji kaynakları birincil ve ikincil enerji kaynakları olmak üzere ikiye ayrılır. Birincil enerji kaynakları da yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynakları da kendi içerisinde nükleer enerji ile kömür, doğal gaz ve petrol gibi fosil yakıtlardan oluşmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise yeni ve geleneksel enerji kaynakları olarak ikiye ayrılır. Yeni enerji kaynakları; güneş, rüzgâr, dalga, gelgit, jeotermal ve çağdaş biyokütle-enerji ormanları ve enerji tarımı olarak sınıflandırılırken geleneksel enerji kaynakları; hidroelektrik ve klasik biyokütle odun, bitki ve hayvan atıkları ve evsel çöpler olarak sınıflandırılır. İkincil enerji kaynakları, birincil enerji kaynaklarının dönüştürülmesi sonucu oluşan enerji kaynaklarıdır. İkincil enerji kaynaklarının üretimi için, petrol rafinerileri, termik ve nükleer santral gibi büyük oranda teknolojiyi ve bilimi kullanan altyapı yatırımları gerektirmektedir (Koçak, 2011).

Teknolojinin gelişmesi ile enerjiye olan talep artmış, 2000'li yılların başında 10.037 Milyar Ton Eşdeğer Petrol (TEP) enerji ihtiyacı varken 2019 yılında 14.406 Milyar TEP'e ulaşarak %43,5 artış göstermiştir. 2019 yılında üretilen enerjinin %80,8'i fosil yakıt kaynaklarından, %19,2'si ise nükleer enerji ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmiştir (Garip, 2022).

Türkiye'nin son yirmi yılda hızlı ekonomik ve nüfus artışı, enerji talebindeki güçlü büyümeyi tetiklemiştir. 2000 yılında yaklaşık olarak 75 TEP olan enerji tüketimi, 2018 yılında 144.2 TEP'e çıkarak %92'lik artış göstermiştir. Dünya ortalamasının 2000-2019 yıllarında %43,5'lük artışı ile karşılaştırıldığında Türkiye'nin dünya ortalamasının üzerinde bir enerji talebine sahip olduğu görülmektedir (Garip, 2022).

2018 yılında tüketicinin sadece %14'ü yenilenebilir kaynaklar tarafından karşılanmakta, kalan %86'sı ise %29'u petrol, %28'i kömür ve %29'u doğalgaz olarak dağılım göstermektedir (Garip, 2022). Enerji üretiminde kullanılan kaynakların yarısından fazlasını oluşturan petrol ve doğalgaz sırasıyla %91,2 ve %98,9 ithalat oranına sahip olması, Türkiye'nin enerji kaynaklarında sürdürülebilirlikten uzak olduğunu ve dışa bağıllığını göstermektedir (Url-2).

Üretilen enerjinin büyük bir kısmını oluşturan yenilenemeyen enerji kaynaklarından olan fosil yakıtlar tükenen ve sınırlı miktarda kaynaklar olmalarının yanı sıra iklim üzerinde ki olumsuz etkileri sebebiyle enerji ihtiyacını karşılamak için fosil yakıtlar gibi yenilenemeyen enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ön plana çıkmaktadır (Kaş, 2022).

Birçok şirket, iklim etkisini azaltmaya ve temiz enerji olarak nitelendirilen enerji üretimine katkı sağlamak için bu alanda çeşitli çalışmalar yaptıklarını göstermektedir. Bu bağlamda, çeşitli sektörlerde yer alan yaklaşık 1.000 şirket, emisyon azaltma veya iklim nötrlüğü hedefleri taahhüt etmiştir. Bu hedeflere ulaşmak isteyen şirketler, temiz kaynaklardan elektrik üreterek elektrik tüketimlerinden kaynaklanan emisyonları azaltarak ortadan kaldırmak için hedefler belirtmektedir. (Url-3).

Türkiye, ithalat bağıllığını ve artış hızını yavaşlatmak, enerji talebindeki büyümeyi kontrol etmek ve tüketiciler için enerji fiyatlarını düşürmek amacıyla enerji sistemini yeniden yapılandırmaya ve buna bağlı olarak enerji üretiminde yerliliği arttırmaya yönelmiştir. Türkiye'nin yerli enerji üretimini arttırmaya yönelik stratejisi, üretime dönük petrol ve gaz gelişimini genişletmenin yanı sıra, yenilenebilir kaynakların, nükleer enerjinin ve linyit madenciliğinin geliştirilmesine yönelik planları içermektedir. Ülkemizde son on yılda enerji karışımının önemli ölçüde çeşitlendiği görülmektedir. Yenilenebilir enerji, son on yılda üç katına çıkan yenilenebilir elektrik üretimiyle etkili bir büyüme kaydetmiştir. (Url-2).

Temiz yenilenebilir enerji üretiminde gelişmek için tüm dünya çeşitli yöntemler kullanılmakta ve bu yöntemlerden hidroelektrik enerji ele alındığında; çevre dostu ve temiz bir yenilenebilir enerji sunmakta, yurt içi harcamaları tarafından yatırımlarının %70-%80 kadarı karşılanmakta, devreye alınıp devreden çıkarılabilmek sürelerinin kısa olmakla birlikte bir talep olması durumunda birkaç saniyede devreye sokulabilmekte ve

kullanılan bir yakıt olmadığı için doğaya sera gazı gibi çevresel zararı bulunan atıkları bırakmamaktadır. Hidroelektrik Enerji Santrallerinin (HES) bu avantajları neticesinde tercih edilebilir bir yenilenebilir enerji kaynağı olduğu görülmektedir. Ayrıca HES'lerin kullanım ömrü 75 yılı bulmaktadır. Bu süre bir termik santralin ömründen üç kat daha fazladır. Yenileme çalışmaları yapılması durumunda HES kullanım süresini uzatmak mümkün olmaktadır (Koçak, 2011).

HES'ler yapısında suyu biriktiren ve biriken suyun türbinler yardımıyla enerjiye dönüştürülmesi prensibine dayanarak çalışmaktadır. Büyük enerji üretim yüzdesine sahip olan HES'ler iklim değişikliklerinden, baraj su seviyelerine kadar birçok doğrudan ve dolaylı değişkenden etkilenmektedir. İklim değişikliği ile meydana gelen sıcaklık artışları ve yağış düşüşleri su gücü potansiyeline sahip ülkemizde HES'lerin bünyesinde üretilen enerji ve debi miktarlarını da etkilemektedir.

Dünyada ve Türkiye'de yapılan bilimsel çalışmalar incelendiğinde yenilenebilir enerji kaynaklarından olan HES'ler üzerinde az sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Özellikle Türkiye'de yapılan bilimsel çalışmalar (Lisansüstü Tezleri ve Makaleler) incelendiğinde bu konuda hakkında yeterli sayıda çalışma yapılmadığı görülmektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarından HES'ler üzerine yapılan bilimsel çalışmaların artırılması son derece önem arz etmektedir. Ayrıca dünyada ve özellikle Türkiye'de son yıllarda küresel ısınma sonucu çoğalan iklim değişikliği etkisini arttırmaktadır. Bu durum su kaynaklarında olan ihtiyacı her geçen gün arttırmaktadır. Dolayısıyla mevcut su kaynaklarının korunup akıllıca yönetilebilmesi için ileriye dönük analizlerinin yapılması önem kazanmaktadır. Dolayısıyla bu tez çalışmasında Türkiye'nin önemli havzalarından biri olan Sakarya Havzasında yer alan HES'ler üzerinde iklim değişikliğinin etkisinin araştırılması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada analizler Mann-Kendall Yöntemi, Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Yöntemi, Yenilikçi Trend Analizi (ITA) ve Üç Boyutlu Yenilikçi Trend Analizi (3D-ITA) yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışma, Sakarya Havzasında bulunan yedi HES seçilerek yapılmıştır. Bunlar; Sarıyar, Gökçekaya, Yenice, Pamukova, Doğançay I, Doğançay II ve Adasu HES'leridir.

BÖLÜM 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında kullanılan yöntemler ve çalışma alanı (Sakarya Havzası ve HES) olarak yapılan bilimsel çalışmalar (Dünya ve Türkiye) incelendiğinde;

Alashan (2023), çalışmasında farklı uzunluklardaki alt serileri analiz etmeyi amaçlamıştır. Revize edilen Yenilikçi Trend Analizi (ITA_DL) yöntemi ile yapılan analizleri Mann-Kendall ve ITA yöntemiyle karşılaştırmıştır. Oxford'un yıllık ve aylık yağış verilerini analiz etmiştir. Çalışma sonucunda revize edilen ITA yönteminde 4 ayda tek düze trend gözlemlerken Mann-Kendall yönteminde 3 ayda tek düze trend gözlemlenmiştir. ITA_DL yönteminde elde edilen trendlerin eylül ayı dışında ITA ile uyumlu olduğunu gözlemlenmiştir.

Rezak ve diğ. (2023), çalışmalarında Cezayir'in kuzeybatısında yer alan Cheurfas II barajının su kalitesinde ki zamansal değişimin trendini incelemiştir. Organik kirliliği gösteren 11 değişkenlik zaman serisinde trend durumunu Mann-Kendall yöntemi kullanarak analizleri yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda organik madde, fosfatlar, kuru artıklar ve çözünmüş oksijende artan yönde trend gözlemlenmiştir. Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOD5), kimyasal oksijen ihtiyacı (COD) ve NO₃ benzeri değişkenlerde azalan yönde trend gözlemlerken NH₄⁺, NO₂⁻ ve PH değerlerinde trendin olmadığını gözlemlenmiştir.

Bayraktar ve Efe (2022), çalışmalarında Samsun ili Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'ne ait olan 17030 numaralı otomatik meteoroloji gözlem istasyonundan alınan 1990-2019 yılları arası günlük ortalama sıcaklık ve günlük toplam yağış verilerinin trendini incelemiştir. Verilerin trendini incelemek için Şen Trend Analizi yöntemini kullanmışlardır. Yıllık ortalama sıcaklıkların analizi sonucunda düşük, orta ve yüksek değerlerin monotonik artan trende sahip olduğunu ve her üç alt grubun trend büyüklüklerinin birbirine yakın olduklarını gözlemlenmiştir. Mevsimsel ortalama sıcaklık değerlerinin analizi sonucunda kış mevsimine ait bir nokta dışında bütün noktalarda artan trend gözlemlenmiştir.

Yıllık toplam yağış verilerinin trendini incelediklerinde düşük değerlerde azalan trend ile başlayıp artan trende geçtiğini, orta ve yüksek değerlerde ise artan trend olduğunu gözlemlemişlerdir. Mevsimsel toplam yağış verilerinin trendini incelediklerinde ise düşük ve orta değerlerin azalan ve artan trend, yüksek değerlerde ise yaz mevsimi dışında diğer mevsimlerde belirgin artan trend gözlemlemişlerdir.

Çeribaşı ve diğ. (2022), çalışmalarında iklim değişikliğinin hidroelektrik santraller üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma alanı olarak Sakarya havzası, Sakarya nehri üzerinde kurulu olan Doğançay I ve II hidroelektrik santrallerini seçmişlerdir. Hidroelektrik santrallerden alınan 48 aylık (2015-2018 yılları arası) ortalama enerji, debi ve verim verilerine ek olarak Sakarya iline ait ortalama yağış, sıcaklık ve nem verilerini de çalışmalarında kullanmışlardır. Verilerin analizinde yeni trend yöntemlerinden birisi olan Yenilikçi Poligon Trend Analizi (IPTA) yöntemini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda enerji, debi ve verim parametrelerinde IPTA grafiklerinde azalan trend, yağış, sıcaklık ve nem parametrelerinde ise sıcaklıklarda herhangi bir trend yokken yağış ve nem grafiklerinde azalan trend gözlemlemişlerdir. Buna ek olarak IPTA yöntemine göre tüm verilerde homojenlik olmadığını gözlemlemişlerdir. Yağış, sıcaklık ve nem verilerinde gözlenen bu homojen olmama durumunun iklim değişikliği olarak karşımıza çıkacağını ve hidroelektrik santrallerde üretilen enerjiyi büyük ölçüde etkileneceğini söylemişlerdir.

Gul ve Ren (2022), çalışmalarında Pakistan'ın Khyber Pakhtunkhwa bölgesinde 10 istasyona ait 66 yıllık, aylık verileri kullanarak aylık, mevsimsel ve yıllık yağış modellerinin trendini incelemişlerdir. Trend analizi için Mann-Kendall, Şen'in Eğim Testi ve Yenilikçi Trend Analizi yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda Mann-Kendall yönteminde verilerin yaklaşık %86'sında trendin olmadığını, Yenilikçi Trend Analizi yönteminde ise verilerin aylık olarak %80'inde, mevsimsel olarak ise %88'inde anlamlı artan ve azalan trend olduğunu belirlemişlerdir.

Umar ve diğ. (2022), çalışmalarında Pakistan'ın Jhelum Nehir havzasında bulunan 6 yağış ve 7 deşarj istasyonuna ait 1980-2017 yılları arasındaki zaman serilerini yıllık maksimum ve yıllık ortalama olarak trendini incelemişlerdir. Mann-Kendall, Şen'in eğimi ve ITA testini kullanarak analizlerini yapmışlardır. ITA testi sonuçlarında birden fazla istasyonda monoton olmayan trend sonuçları elde etmişlerdir. Yıllık ortalama

yağış ve deşarjlarda azalan yönde bir trend özlemlerken, yıllık maksimum yağış ve deşarjlarda artan yönde trend gözlemlenmişlerdir.

Güçlü (2022), çalışmasında Yenilikçi Şen Yöntemine dayalı üç boyutlu grafiksel gösterimin tanımlamasını yapmak için Türkiye’de bulunan Zonguldak, Kocaeli, Edirne ve Çanakkale olmak üzere dört ilden birer adet istasyondan 54 yıllık yağış verilerini kullanmıştır. Çalışmasında üç boyutlu gösterim ile trendlerin kararlılıklarını ve görselleştirilmesini amaçlamıştır. Çalışma sonucunda Çanakkale istasyonu, ITA’ya göre monoton artış trendine sahipken 3D-ITA’ya göre kararsız olduğunu görmüştür. Edirne istasyonundan alınan verilerde ise ITA artan trende sahipken 3D-ITA’ya göre birini kısımdan ikinci kısma kadar düşük değerlerde trend olmadığını, yüksek değerlerin tüm kısımlarda kararlı artan trend olduğunu görmüştür. Kocaeli ve Zonguldak istasyon kayıtlarına göre monoton olmayan trend görülürken 3D-ITA’ya göre kararsız olduklarını görmüştür. 3D-ITA’nın ITA yaklaşımına olumlu katkıları ile oldukça faydalı olduğu sonucuna varmıştır.

Üstündağ (2022), yaptığı çalışma kapsamında Yeşilirmak Havzasına ait akım, sıcaklık, buharlaşma ve yağış verilerini kullanmıştır. 30 ve üzeri verisi bulunan Devlet Su İşleri (DSİ) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİEİ) bünyesinde ki 11 adet gözlem istasyonundan alınan akım verilerini ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün (MGM) 9 istasyonundan alınan her bir istasyon için aylık, mevsimlik ve yıllık olmak üzere sıcaklık, buharlaşma ve yağış verilerini kullanmıştır. Çalışmada Mann-Kendall ve Spearman Rho testi temel alınarak trend analizleri yapmıştır. Çalışma sonucunda sıcaklıkta, yıllık ve mevsimlik anlamlı artış olurken bu eğilimin yaz mevsiminde daha şiddetli olduğunu gözlemlenmiştir. Buharlaşma verilerine göre en şiddetli eğilimin yaz mevsiminde olduğu görülmüştür. Yağış verilerinde ise mevsimsel olarak anlamlı bir trend olmadığını görmüştür. Yıllık yağış verilerinde ise Amasya istasyonunda pozitif yönlü görülürken Zile istasyonunun anlamlı azalışa sahip olduğu görmüştür. Akım verilerine bakıldığında anlamlı azalış yönünde eğilimlerin belirgin olduğu sonucuna ulaşmıştır. Çalışma sonucunda artan sıcaklıkla doğru orantılı olarak yükselen buharlaşmanın olması ve bunlarla bağlantılı olarak akım verilerindeki belirgin azalış ülke olarak havza ile ilgili çalışmaların çeşitlendirilmesi ve planlamalarının yapılmasının öneminden bahsetmektedir.

Anık ve diğ. (2021), Doğu Karadeniz Havzasına ait 17 akım gözlem istasyonundan alınan 30 yılın üzerinde yıllık anlık maksimum akım verilerinin eğilimini incelemişlerdir. Analizlerinde Mann-Kendall, Şen'in Geçiş Eğilimi ve Yenilikçi Eğilim Analizi-Değişim Kutuları (YEA-DK) yöntemlerini kullanmışlardır. Yapılan analiz sonucunda Mann Kendall yöntemine göre bir istasyonda artan trend, üç istasyonda ise artan trend sonucun elde etmişlerdir. Şen'in Geçiş Eğilimi yönteminde trend belirlenmezken Yenilikçi Eğilim Analizi-Değişim Kutuları yönteminde ise düşük, orta ve yüksek değerlerde azalan ve artan trend belirlemişlerdir.

Esen (2021), Bingöl ilinin Bingöl meteoroloji istasyonuna ait 1970-2017 yılları arasındaki 47 yıllık sıcaklık ve yağış verileri ile Göynük Çayağzı akım ölçüm istasyonundan akım kayıt verilerinin analizlerini yaparak trendlerini ve korelasyonlarını açıklamak için homojenlik testi, eğilim testi ve korelasyon testi uygulanmıştır. Eğilimlerin yönü, dağılışı ve miktarını belirlemek için Mann-Kendall testi ve lineer trend analizi kullanırken, verilerin birbirleriyle olan korelasyonlarının tespiti için Kendall tau ve Spearman rho testleri uygulamıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre sıcaklık yıllık ortalama verilerine göre artış görülürken, yağış verilerinde trend görülmezken Nisan ayı yağışlarında azalan trend görülmüştür. Akım verilerinde azalış eğilimi görülmüştür. Yağış ve akım verileriyle yapılan incelemelerde aralarında doğrusal ve pozitif ilişki görülmektedir. Sıcaklık-yağış ve sıcaklık-akım arasındaki yapılan incelemelerde ters orantılı ve negatif ilişki görülmüştür.

İlker ve Terzi (2021), çalışmalarında Kastamonu ve Çankırı illerine ait toplam sekiz adet meteorolojik istasyonun (Çankırı, Kastamonu, Çerkeş, Ilgaz, Bozkurt, Devrekani, İnebolu ve Tosya) 1980-2017 yılları arasında 38 yıllık maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık verilerini incelemişlerdir. Analizlerinde Mann-Kendall ve Sen'in Trend Eğim testini kullanmışlardır. Trend analiz sonucunda maksimum sıcaklık verilerinin yaklaşık olarak %50'sinde anlamlı artan trend, minimum sıcaklık verilerinin yaklaşık olarak %30'unda anlamlı artan trend ve ortalama sıcaklık verilerinde ise yaklaşık olarak %40'ında anlamlı artan trend olduğunu gözlemlenmişlerdir. Bu durum sonucunda Kastamonu ve Çankırı illerinin sıcaklık artış eğiliminde olduğunu, gelecekte iklim değişikliği ve küresel ısınma etkisinde sıcaklık artışlarının gözlemlenebileceğini vurgulamışlardır.

Yükseler ve diğ. (2021), çalışmalarında Bingöl ili, Solhan, Kiğı, Genç ve Karlıova ilçelerinin iklim değişikliğinin 1960-2017 yılları arasındaki yağış verileri üzerine olan etkilerini yıllık ve mevsimsel olarak analiz etmişlerdir. Analizlerinde Mann-Kendall (MK) ve Şen yenilikçi yönelim çözümleme (Şen-YYÇ) yöntemini kullanmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda yıllık olarak yapılan analizlerde tüm istasyonlara ait yağış verilerinde azalma yönünde trend olduğunu tespit etmişlerdir. İstasyonların mevsimsel incelemelerine bakıldığı zaman genel anlamda azalan yönde trend olduğunu görmüşlerdir. Sadece Solhan ve Bingöl istasyonları için yaz mevsiminde, Genç istasyonunda ise kış mevsiminin yağış verilerinde artan trend görülmüştür. Ayrıca Kiğı ve Karlıova istasyonlarına ait yağış verilerinin mevsimsel Mann-Kendall değerlerine baktıklarında ise iklimsel kaymaların meydana geldiğini görmüşlerdir.

Ceyhunlu ve Aydın (2020), yaptıkları çalışmada küresel ısınmanın oluşmasıyla meydana gelen iklim değişikliğinin hidro-meteorolojik (yağış, nem, basınç, rüzgâr ve sıcaklık) verileri üzerindeki etkisi araştırmışlardır. Sakarya ili için yapılan bu çalışmada, 2000-2015 yıllarını kapsayan 16 yıla ait aylık ortalama veriler üzerinde yenilikçi şen yöntemini kullanarak analiz yapmışlardır. Çalışma sonucunda, ortalama yağışlarda 120-150 mm arasında azalan trend varken 150-260 mm arasında ise artan trend vardır. Basınç verilerinde ise 1005-1018 hPa arasında azalan trend varken 1018-1025 hPa arasında ise artan tren vardır. Nem değerlerinde, sıcaklık derecelerinde ve rüzgâr hızlarında ise artış olmadığını tespit etmişlerdir.

Tokgöz ve Partal (2020), çalışmalarında Karadeniz Bölgesinin 1960-2015 yılları arası veri aralığına sahip olan 16 istasyondan almış oldukları sıcaklık ve yağış verilerinin analizlerinde Mann-Kendall ve Yenilikçi Şen yöntemlerini kullanmışlardır. Yapılan analiz sonucunda Yenilikçi Şen Yöntemine göre sıcaklık verilerine göre istasyonların tamamında artan trend görülürken Mann-Kendall Testine göre 7 istasyonda artan trend olduğunu gözlemlemişlerdir. Benzer sonuçların yağış verilerinde de elde etmişlerdir. Bunun sonucunda sıcaklık ve yağış verilerinde Yenilikçi Şen Yönteminin daha çok istatistiksel trend elde ettiğini göstermiştir. Sonuç olarak Karadeniz Bölgesine ait yıllık sıcaklık ve yağışlarda genel olarak artan trend görülmüştür.

Wang ve diğ. (2020), Çin'in doğusundaki Yangtze Nehri Deltasında bulunan 14 istasyona ait 1961-2016 yılları arasındaki yağış verilerinin yıllık ve mevsimsel olarak

trendini incelemişlerdir. Mann-Kendall ve Yenilikçi Trend Analizi (ITA) yöntemini kullanmışlardır. ITA yönteminden elde edilen sonuçları Mann-Kendall yöntemiyle karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda tüm istasyonlarda %99 güven aralığında artan trend gözlemlenmiştir. İlk bahar ve son bahar aylarında azalan trend gözlemlerken, yaz ve kış aylarında artan trend gözlemlenmiştir.

Çeribaşı (2019). Çalışmasında 1964-2012 yılları arasındaki veri setlerini kullanmıştır. Doğu Karadeniz Havzasındaki dokuz yağış istasyonundan (Ordu, Giresun, Rize, Trabzon, Gümüşhane, Hopa, Akçaabat, Pazar ve Ünye) alınan yıllık ortalama veri setlerine Mann-Kendall, Spearman Rho ve Şen trend analiz yöntemlerini uygulamıştır. Yapılan çalışma sonucunda, Spearman Rho ve Mann-Kendall testi sonuçlarına göre %90 güven aralığında Rize, Ünye ve Pazar istasyonlarında artan trend gözlemlerken diğer istasyonlarda trend olmadığını gözlemlenmiştir. Şen yöntemi analiz sonuçları incelendiğinde genel olarak tüm istasyonlarda artan trend olduğunu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Doğu Karadeniz Havzası için yapılan incelemede çoğu bölgede artan yağışlar gözlemlenirken diğer taraftan Rize, Pazar ve Ünye bölgeleri için daha etkili yağışlar görülebileceği beklenmektedir.

Dalkılıç (2019), çalışmasında iklimsel olarak birbirine yakın olan Erzincan, Gümüşhane ve Bayburt illerini çalışma alanı olarak seçmiştir. Seçilen illere ait 1978-2018 yılları arasındaki 3 istasyondan alınan yağış verilerine Mann-Kendall, Spearman Rho, Mevsimsel Mann-Kendall ve Şen eğilim testlerini uygulamıştır. Yapılan testler sonucunda yıllık olarak artan veya azalan trend görülmezken Gümüşhane ve Erzincan ilinin temmuz ayında, Bayburt ilinde ise ağustos ayında azalan trend olduğu görülmüştür. Kış mevsiminde ise mart ayında artan trend görülmüştür. Bu durum iklim değişikliği etkisiyle oluşabilecek kuraklık ve taşkın gibi olayların oluşturacağı etkiyi ön görmek ve önlem alma açısından yarar sağlayacağını vurgulamıştır.

Güçlü (2019), çalışmasında iklim değişikliğinin akım değerlerine olan etkisini, Meriç-Ergene Havzasının ana kolu olan Ergene nehri üzerinde 1964-2013 yılları arasında ki toplam 50 adet yıllık en yüksek debi değerlerinde incelemiştir. Yenilikçi Şen Yöntemi ile değerlerin eğilimini belirlemiş ve görselleştirmiştir. Eğilimlerin sayısallaştırılması için tekerrür sürelerini dikkate alarak sıklık hesabına tabi tutmuştur. N-yıl tekerrür debilerini bulmak için iki parametrelili Gamma ihtimal yoğunluk fonksiyonunu tercih

etmiştir. Analizler sonucunda bütüncül olmayan artan trend gözlemlenmiştir. Gamma İYF sonuçlarına göre ilk yarım ve ikinci yarım olarak analiz edilen verilerde ilk yarımda 200 yılda bir meydana gelebilecek debi değerinin ikinci yarımda 20 yıl gibi kısa bir sürede bekleneceğini gözlemlemiştir.

Özener (2019), Çoruh Havzasına ait akış ve meteorolojik parametrelerinde trend yöntemlerini kullanarak analiz yapmıştır. Çoruh Havzasına ait beş akım gözlem istasyonundan akım verilerini ve bu gözlem istasyonlarına en yakın olan beş meteoroloji gözlem istasyonundan alınan ortalama sıcaklık, toplam yağış ve ortalama bağıl nem verileri ile çalışmalarını yapmıştır. Alınan verileri analiz etmek ve anlamlı akım verilerine meteorolojik parametrelerin etkisini incelemek için Mann-Kendall, Spearman Rho, Mann-Kendall Mertebe Korelasyon ve Şen Trend Belirleme yöntemlerini kullanmıştır. Analizlerinde %95 güven aralığını seçmiştir. Akım verileri üzerinde yapılan analizde Mann-Kendall ve Spearman Rho testine göre Bayburt ve İspir Köprü akım gözlem istasyonlarında trend gözlenmezken, Şen Trend Belirleme yöntemine göre tüm istasyonlarda artan yönde anlamlı trend gözlemlenmiştir. Meteorolojik verilere yapılan analiz sonucunda akım verilerinde trend gözlenen istasyonlar ile bu istasyonlara karşılık gelen meteorolojik veriler arasındaki ilişkiyi korelasyon testi yaparak incelemiştir. Sonuç olarak yıllık ortalama akım ve yıllık toplam yağış verileri arasında pozitif yönde anlamlı yönde ilişki olduğunu sonucuna varmıştır.

Yılmaz ve Tosunoğlu (2019), çalışmalarında Türkiye'deki 26 nehir havzasına ait 153 ölçüm istasyonundan almış oldukları yıllık anlık maksimum akış verilerinde Mann-Kendall, Spearman Rho ve Şen'in eğim testini kullanmışlardır. Geleneksel testler (Mann-Kendall ve Spearman Rho) sonucunda 57 istasyonda azalan trend gözlemlerken 6 istasyonda ise artan trend gözlemlenmiştir. Şen'nin trend yöntemine göre dokuz istasyonda artan-azalan trend görülürken Mann-Kendall ve Spearman Rho testlerinde anlamlı bir trend olmadığı görülmüştür.

Çeribaşı ve Doğan (2015), çalışmalarında seçilen üç havzaya (Doğu Karadeniz Havzası, Batı Karadeniz Havzası ve Sakarya Havzası) ait akım verilerini kullanarak analizlerini yapmışlardır. Seçilen havzalara ait toplam 14 akım gözlem istasyonundan alınan verileri Mann-Kendall ve Spearman Rho yöntemleri ile analizlerini yapmışlardır. Trend görülen istasyonlarda trendin başlangıç yılını tespit etmek için, Mann-Kendall Mertebe

Korelasyon testi uygulamışlardır. Çalışma sonucunda Doğu Karadeniz Havzasına ait akım istasyonlarından alınan verilerde trend gözlemlenmezken, Batı Karadeniz Havzası ve Sakarya Havzasıyla yapılan analizler sonucunda ise bazı akım istasyonlarında azalan yönde trende rastlamışlardır.

Kâhya ve Kalaycı (2004), çalışmalarında Türkiye'deki nehir akımlarının trend analizini yapmışlardır. Türkiye'deki 26 adet havza içerisinde buluna akım gözlem istasyonlarından 83 tanesini seçmişlerdir ve çalışmalarında seçilen istasyonlardan alınan aylık ortalama akım verilerine Sen'in t, Mann – Kendall, Mevsimsel Kendall ve Spearman'ın Rho testlerini kullanarak trend analizi yapmışlardır. Yapılan analizler sonucunda Türkiye'nin doğu havzalarında trend olmadığını, batı ve güney havzalarında azalan yönde trend olduğunu ve Kuzey havzalarında ise artan yönde trend olduğu sonucuna varmışlardır.

Türkeş, Sümer ve Demir (2002) Türkiye'deki çözümlenmeleri türdeş bulunan 70 istasyonunun 1929-1999 yılları arasında kaydedilmiş yıllık ortalama, minimum ve maksimum sıcaklıklardaki değişimleri araştırmıştır. Trend değişimlerinin belirlenmesinde Mann-Kendall testini kullanmıştır. Çalışma sonucunda, ortalama sıcaklıklarda artan bir trend Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgesinin çok kentleşmiş istasyonlarında görülmüştür. Maksimum sıcaklıklarda, İç Anadolu Bölgesi genel olarak incelendiğinde zayıf bir azalan trend görülürken, ülkenin doğu ve batı bölgelerinde zayıf bir artan trend gözlenmiştir. İlkbahar minimum sıcaklıkları, Türkiye istasyonlarının büyük çoğunluğunda bir ısınma eğilimi göstermiştir. Yaz minimum sıcaklıkları, istasyonların büyük çoğunluğunda artmıştır. Sonbahar minimum sıcaklıkları, çoğu batı ve güney bölgelerinde bulunan, 16 istasyonda anlamlı bir artan trend gözlemlemiştir. Yaz minimum sıcaklıkları, ilkbahar ve sonbahar sıcaklıklarına bakıldığında genel olarak daha büyük oranda ısındığı gözlemlenmiştir.

Moreas ve diğ. (1998), çalışmalarında Brezilya'nın güneydoğusunda bulunan Piracicaba nehir havzasından elde edilen 1947-1991 yılları arasındaki yağış ve akım verilerinin trendini Mann-Kendall yöntemiyle incelemiştir. Yağış verilerinin tüm havza genelinde önemli artan trend gözlemlemiştir. Akım verilerinde ise 8 akım istasyonunun yarısında önemli azalan trend gözlemlemiştir.

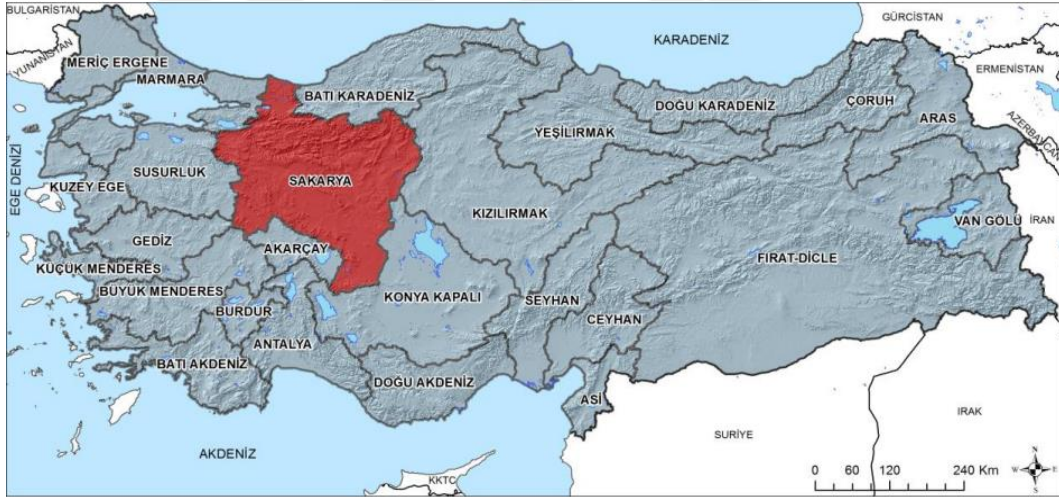
Toros (1993), Türkiye'yi temsilen yerleşim birimlerinin sosyo-ekonomik önemi, uzun yıllar meteorolojik gözlem yapılmış olması (ortalama 60 yıl) ve eşit coğrafi dağılım sebebiyle seçilen 18 meteoroloji istasyonundan (Zonguldak, Samsun, Trabzon, Kars, İstanbul, Edirne, Sivas, Kütahya, Çanakkale, Ankara, Elâzığ, Van, Konya, Antalya, Adana, Şanlıurfa, İzmir ve Konya) alınan sıcaklık ve yağış verileri üzerinde çalışmalar yapmıştır. Test sonuçlarına göre ilkbahar gece sıcaklıklarında belirgin bir trend yokken gece ve gündüz sıcaklığındaki değişimler birbirleri ile karşılaştırıldığında, Türkiye genelinde gece sıcaklığında artışların olduğunu ve yağış verilerinde ise bir trend olmadığı görülmüştür. Ancak mevsimsel olarak toplam yağışlarda önemli olmasa da ilkbahar aylarında artma, kış aylarında ise azalma eğilimi gözlenmiştir.



BÖLÜM 3. MATERYAL VE METOT

3.1. Çalışma Alanı

Sakarya Havzası, Türkiye'deki 25 hidrolojik havzadan biridir. Batı Karadeniz ve İç Anadolu Bölgesi'nde konumlanmaktadır. Havza'nın doğusunda Batı Karadeniz ve Kızılırmak Havzaları, batısında Susurluk, güneyin Akarçay ve Konya Kapalı Havzaları bulunmaktadır. Matematiksel konum olarak $37^{\circ} 57'$ ile $41^{\circ} 12'$ kuzey paralelleri ve $29^{\circ} 16'$ ile $33^{\circ} 15'$ doğu meridyenleri arasında konumlanmaktadır (Çıtakoğlu ve Özeren, 2021). Havza konumu şekil 3.1'de gösterilmiştir.

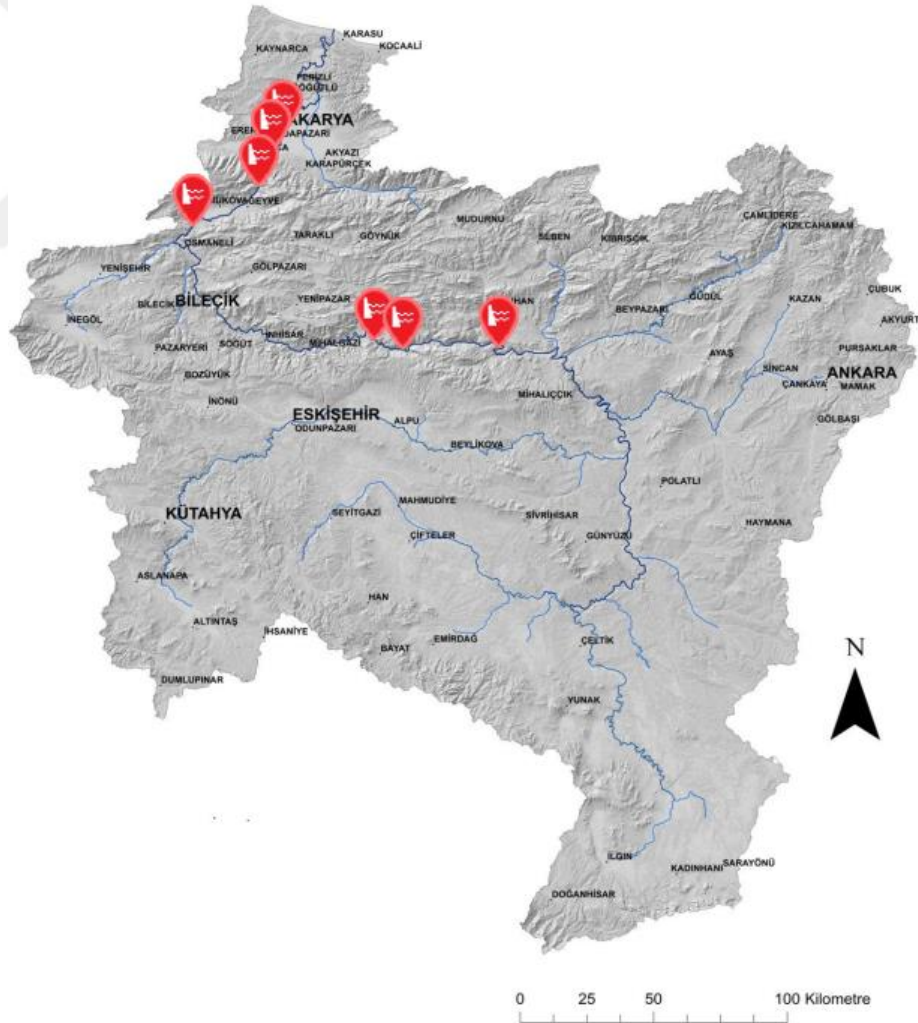


Şekil 3.1 : Sakarya Havzası konumu.

Toplam alanı 58.160 km² olan Sakarya Havzası, yüz ölçümü olarak Türkiye yüz ölçümünün yaklaşık %7.4'ünü oluşturmaktadır. Havza'nın ana kolu olan Sakarya Nehri, Eskişehir'in Çifteler ilçesinin güneyinde yer alan Sakarbaşı olarak bilinen Sakaryabaşı yöresindeki kaynaklardan doğmaktadır. Karasu Çayı, Porsuk Çayı, Göksu Çayı, Mudurnu, Çarksuyu, Ankara Çayı gibi yan kollar ve dereler ile beslenen Sakarya Nehri, Sakarya'nın Karasu ilçesinden Karadeniz'e dökülmektedir (Duvan ve diğ, 2021).

Sakarya Havzası, kapladığı alan ve bulunmuş olduğu konum sebebi ile çeşitli iklimlerin etkisi altında kalmaktadır. Havzanın kuzey kesimlerinde yağışlı ve ılıman Karadeniz iklimi görülürken güney kesimlerinde ise tipik İç Anadolu iklimi görülmektedir. Aynı iklimler sonucunda kuzey ve güney kısımlarda farklı yağış miktarları görülmektedir (Çıtakoğlu ve Özeren, 2021).

Havzanın ana kolu olan Sakarya Nehri üzerinde 14 adet Hidroelektrik Enerji Santrali (HES) bulunmaktadır. Bunlar; Gürsöğüt, Kargı, Sarıyar, Gökçekaya, Yenice, Beyköy, Bükör-2, Darca, Gök, Pamukova, Ova, Doğançay-I, Doğançay-II ve Adasu HES'leri olarak sıralanabilir. Çalışma verileri seçilen Sarıyar, Gökçekaya, Yenice, Pamukova, Doğançay-I, Doğançay-II ve Adasu HES'lerinden alınmıştır. Seçilmiş olan HES'lerin havza üzerindeki konumları şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : HES'lerin konumu.

3.1.1. Sarıyar hidroelektrik enerji santrali

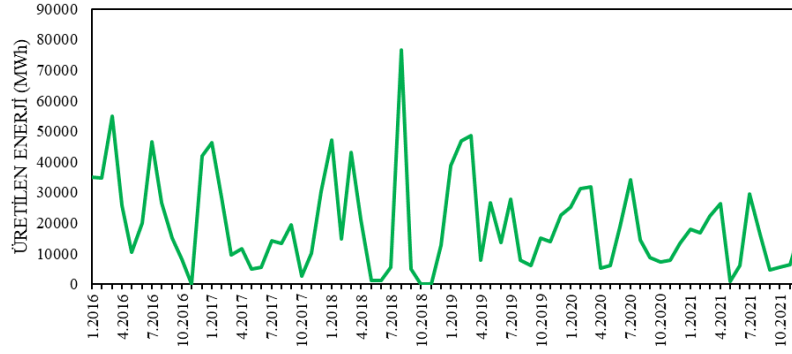
Ankara'nın Nallıhan ilçesinde Sarıyar mahallesinde olan HES $31^{\circ}24'51''$ doğu boylamları ile $40^{\circ}02'24''$ kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü şekil 3.3'te gösterilmiştir. 1951 yılında Sakarya Nehri üzerinde inşaatına başlanan Sarıyar Hidroelektrik Enerji Santrali 1956 yılında üretime başlamıştır (Url-4).



Şekil 3.3 : Sarıyar HES'in havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü.

Beton gövde dolgusuna sahip olan baraj, 108m gövde yüksekliğine, 568000 m^3 gövde hacmine, nehir yatağından 90m yüksekliğe ve 249,5 m kret uzunluğuna sahiptir. Maksimum su kotunda 1400 hm^3 su hacmine sahiptir. HES bünyesinde her biri 40MW olan 4 adet generatör bulunmaktadır. Kurulu gücü 160 MW olan HES'ten yılda 300 GWh elektrik enerjisi elde edilmektedir. Türkiye'de kurulan ilk büyük hidroelektrik enerji santralidir (Url-4). Sarıyar HES'in 6 yıllık enerji verilerine ait enerji gidiş grafiği şekil 3.4'te gösterilmiştir.

SARIYAR HES-ENERJİ



Şekil 3.4 : Sarıyar HES'e ait aylık üretilen enerji gidiş grafiği.

Baraj bölgesi karasal iklime sahiptir. Kışları yağışlı ve soğuk, yazları ise kurak ve sıcak geçmektedir. Baraj gölü nedeniyle kış ayları kısmen yumuşak geçmektedir. Engebeli bir arazi yapısına sahip olan göl çevresi, yağmur ve kar sularının kısa bir sürede akış şeklinde göle gelmelerine neden olmaktadır (Atıcı, 2004).

3.1.2. Gökçekaya hidroelektrik enerji santrali

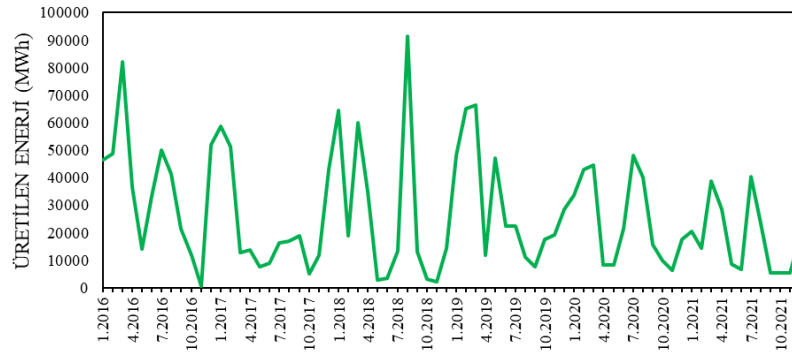
Eskişehir Alpu ilçesinde yer alan ilçenin 45 km kuzeydoğusunda olan HES 31°0'57" doğu boylamları ile 40°1'59" kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Gökçekaya Hidroelektrik Enerji Santralinin havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü şekil 3.5'te gösterilmiştir. 1967 yılında inşaatına başlanan HES 1972 yılından üretime başlamıştır (Url-5).



Şekil 3.5 : Gökçekaya HES'in havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü.

Beton kemer tipine sahip olan baraj, 650000 m³ gövde hacmine, nehir yatağından 115m yüksekliğe sahiptir. Maksimum su kotunda 910 hm³ su hacmine sahiptir. Düşey eksenli françis türbin tipine sahip HES bünyesinde her biri 92,8 MW gücünde olan 3 adet generatör bulunmaktadır. Kurulu gücü 278,4 MW olan HES'ten yılda 400 GWh elektrik enerjisi elde edilmektedir (Url-5). Gökçekaya HES'in 6 yıllık enerjilerine ait enerji gidiş grafiği şekil 3.6'da gösterilmiştir.

GÖKÇEKAYA HES-ENERJİ



Şekil 3.6 : Gökçekaya HES'e ait aylık üretilen enerji gidiş grafiği.

3.1.3. Yenice hidroelektrik enerji santrali

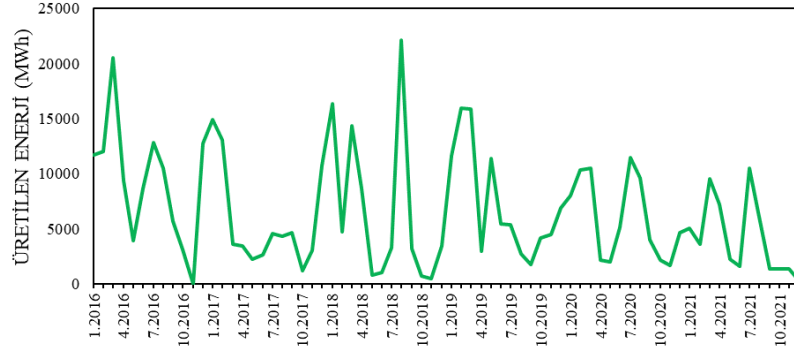
Ankara Nallıhan ilçesinde yer alan HES 30°51'24" doğu boylamları ile 40°3'48" kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Yenice Hidroelektrik Enerji Santralinin Havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü şekil 3.7'de gösterilmiştir. 1985 yılında inşaatına başlanan HES 1999 yılından üretime başlamıştır. 2017 yılına kadar Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ) bünyesinde işletilen HES 2017 yılı Aralık ayında Kılıç Enerji'ye devredilmiştir.



Şekil 3.7 : Yenice HES'in havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü.

Toprak dolgu tipine sahip olan baraj, 1798000 m³ gövde hacmine, nehir yatağından 41m yüksekliğe sahiptir. Normal su kotunda 57,6 hm³ su hacmine sahiptir. Düşey eksenli kaplan türbin tipine sahip HES bünyesinde her biri 12,63 MW gücünde olan 3 adet türbin bulunmaktadır. Kurulu gücü 37,89 MW olan HES'ten yılda 122 GWh elektrik enerjisi elde edilmektedir (Url-6). Yenice HES'in 6 yıllık enerji verilerine ait enerji gidiş grafiği şekil 3.8'de gösterilmiştir.

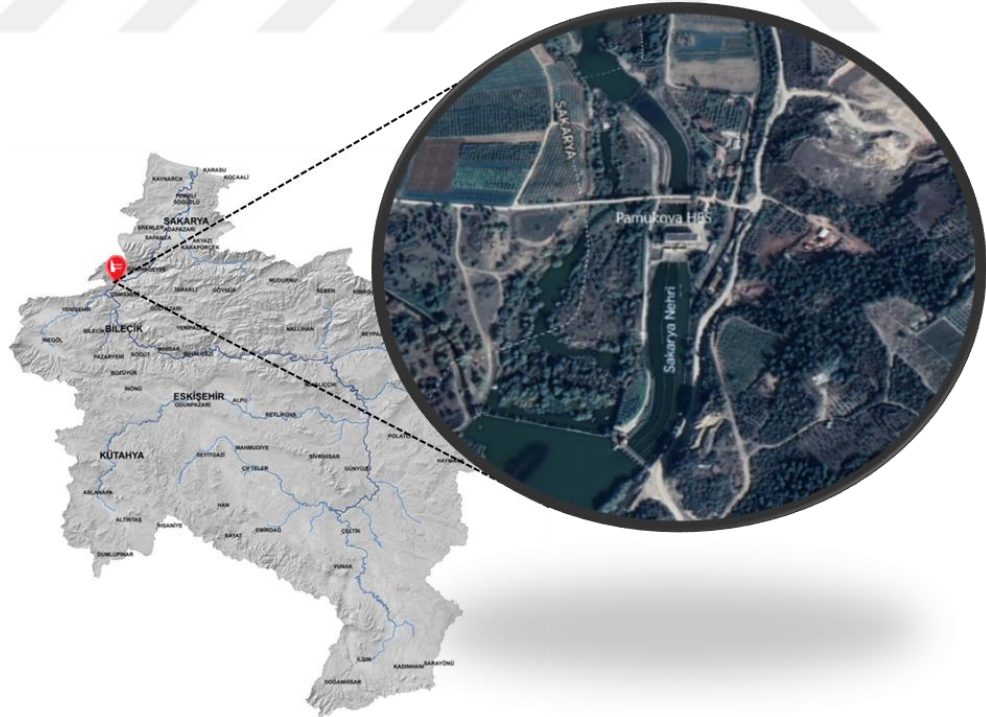
YENİCE HES-ENERJİ



Şekil 3.8 : Yenice HES'e ait aylık üretilen enerji gidiş grafiği.

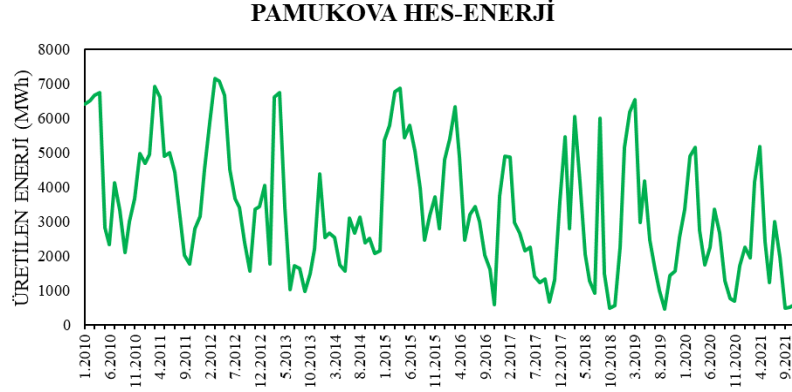
3.1.4. Pamukova hidroelektrik enerji santrali

Sakarya ilinin güneyinde, Bilecik ilinin Osmaneli ilçesinin sınırları içerisinde yer almakta olan HES 30°03'21.1" doğu boylamları ile 40°26'26.0" kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Pamukova Hidroelektrik Santralinin Havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü şekil 3.9'da gösterilmiştir. Karel Elektrik Üretim A.Ş. tarafından işletilen HES 2000 yılında enerji üretimine başlamıştır (Çalışkan, 2019).

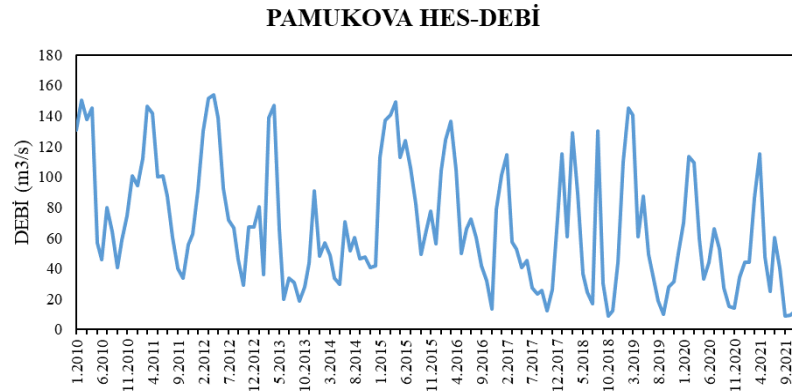


Şekil 3.9 : Pamukova HES'in havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü.

Düşüden yararlanarak üretim sağlayan nehir tipi bir santraldir. Yatay eksenli kaplan türbin tipine sahip olan HES bünyesinde her biri 3,1 MW gücünde olan 3 adet türbin bulunmaktadır. Kurulu gücü 9,3 MW olan HES'ten yılda 55 GWh elektrik enerjisi elde edilmektedir (Çalışkan, 2019). Pamukova HES'in 12 yıllık enerji ve debi verilerine ait enerji gidiş grafiği şekil 3.10'da ve debi gidiş grafiği şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Pamukova HES'e ait aylık üretilen enerji gidiş grafiği.



Şekil 3.11 : Pamukova HES'e ait aylık ortalama debi gidiş grafiği.

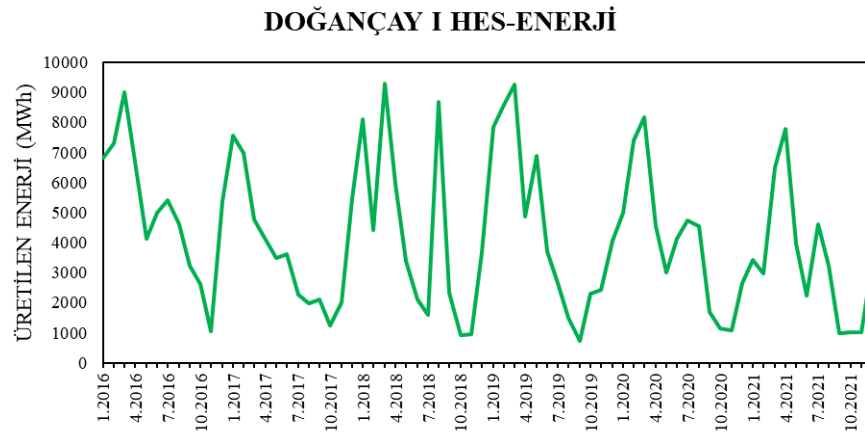
3.1.5. Doğançay I hidroelektrik enerji santrali

Sakarya ilinin Geyve ilçesine bağlı Örencik köyü ve Kızılkaya köyü arasında yer almakta olan HES 30°20'07.9" doğu boylamları ile 40°34'45.8" kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Doğançay I Hidroelektrik Santrali'nin Havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü şekil 3.12'de gösterilmiştir. Akfen HES Yatırımları ve Enerji Üretim A.Ş. tarafından işletilen HES 2014 yılında üretime başlamıştır (Ceyhunlu, 2020).



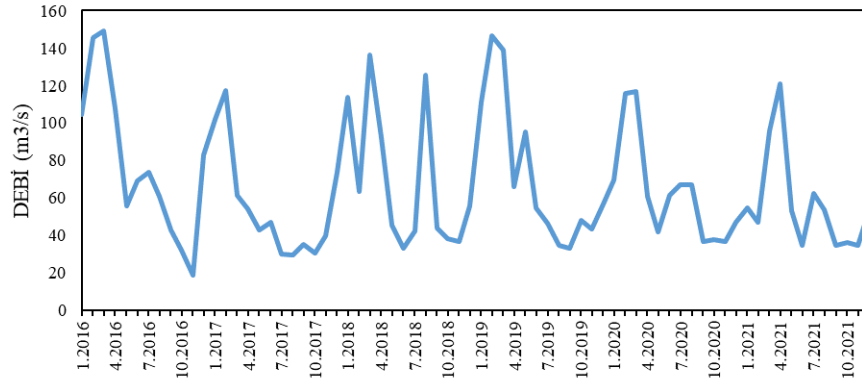
Şekil 3.12 : Doğançay I HES'in havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü.

Düşüden yararlanarak üretim sağlayan nehir tipi bir santraldir. Çift ayarlı, dikey kaplan türbin tipine sahip olan HES bünyesinde her biri 4,971 MW gücünde olan 3 adet türbin bulunmaktadır. Kurulu gücü 14,913 MW olan HES'ten yılda 84,65 GWh elektrik enerjisi elde edilmektedir (Ceyhunlu, 2020). Doğançay I HES'in 6 yıllık enerji ve debi verilerine ait enerji gidiş grafiği şekil 3.13'te ve debi gidiş grafiği şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13 : Doğançay I HES'e ait aylık üretilen enerji gidiş grafiği.

DOĞANÇAY I HES-DEBİ



Şekil 3.14 : Doğançay I HES'e ait aylık ortalama debi gidiş grafiği.

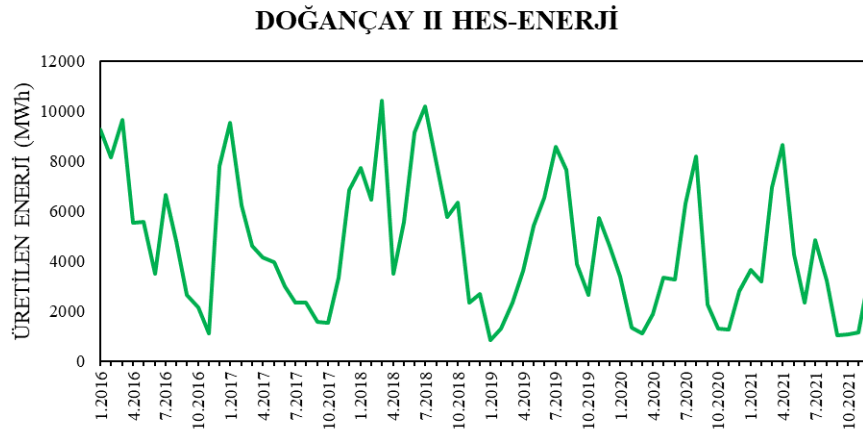
3.1.6. Doğançay II hidroelektrik enerji santrali

Sakarya ilinin Geyve ilçesine bağlı Karaçam mahallesinde yer almakta olan HES 30°20'26.4" doğu boylamları ile 40°38'23.0" kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Doğançay I Hidroelektrik Santrali'nin Havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü şekil 3.15'te gösterilmiştir. Akfen HES Yatırımları ve Enerji Üretim A.Ş. tarafından işletilen HES 2014 yılında üretime başlamıştır (Ceyhunlu, 2020).

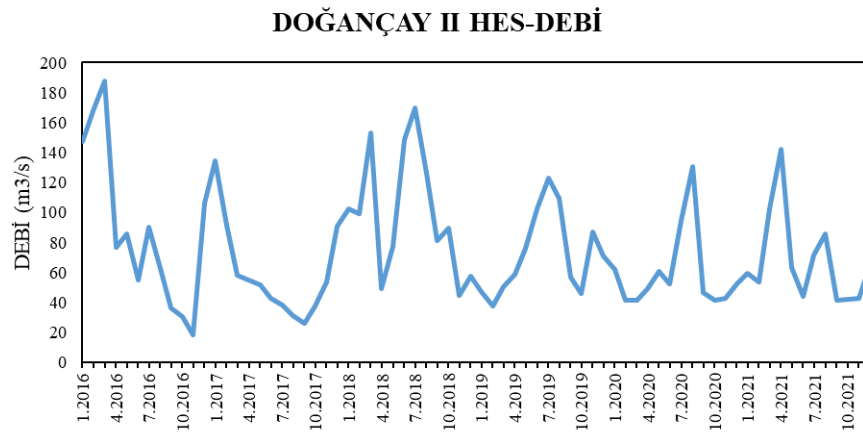


Şekil 3.15 : Doğançay II HES'in havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü.

Düşüden yararlanarak üretim sağlayan nehir tipi bir santraldir. Çift ayarlı, dikey kaplan türbin tipine sahip olan HES bünyesinde her biri 5,214 MW gücünde olan 3 adet türbin bulunmaktadır. Kurulu gücü 15,64 MW olan HES'ten yılda 88,79 GWh elektrik enerjisi elde edilmektedir (Ceyhunlu, 2020). Doğançay I HES'in 6 yıllık enerji ve debi verilerine ait enerji gidiş grafiği şekil 3.16'da ve debi gidiş grafiği şekil 3.17'de gösterilmiştir.



Şekil 3.16 : Doğançay II HES'e ait aylık üretilen enerji gidiş grafiği

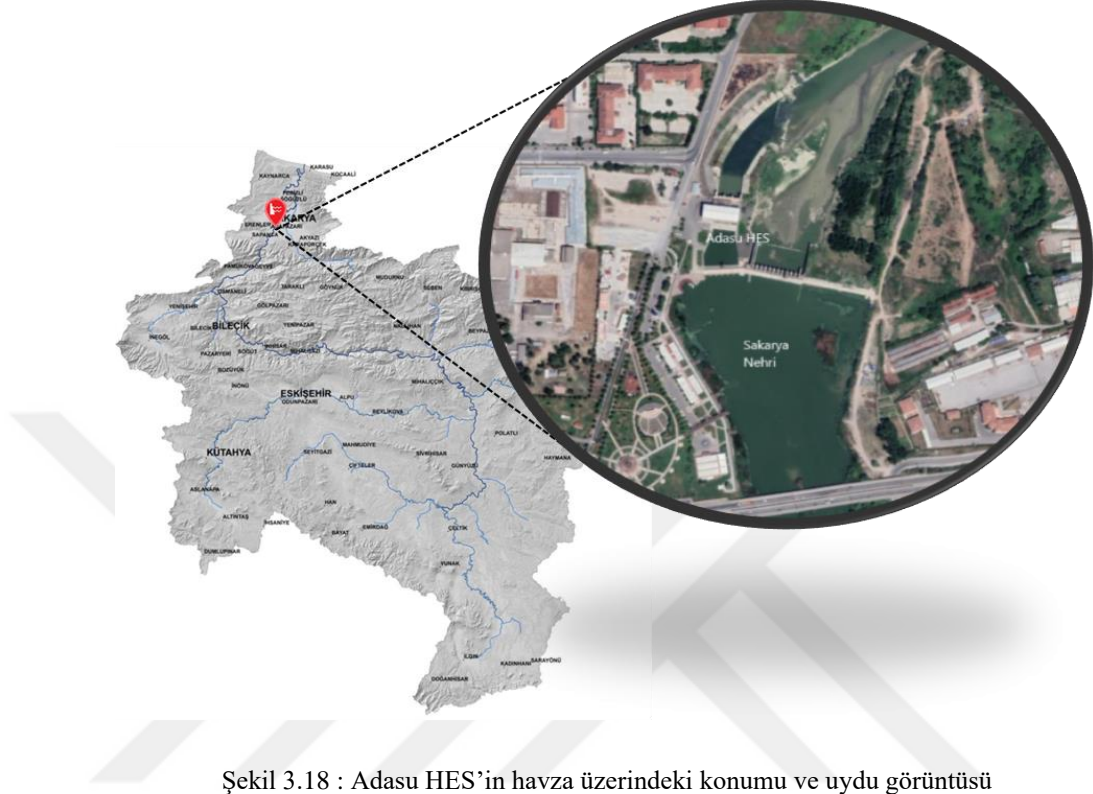


Şekil 3.17 : Doğançay II HES'e ait aylık toplam debi gidiş grafiği

3.1.7. Adasu hidroelektrik enerji santrali

Sakarya ilinin Erenler ilçesinin sınırları içerisinde yer almakta olan HES 30°25'13.7" doğu boylamları ile 40°44'35.6" kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Adasu Hidroelektrik Santralinin Havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü şekil 3.18'de gösterilmiştir. Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından

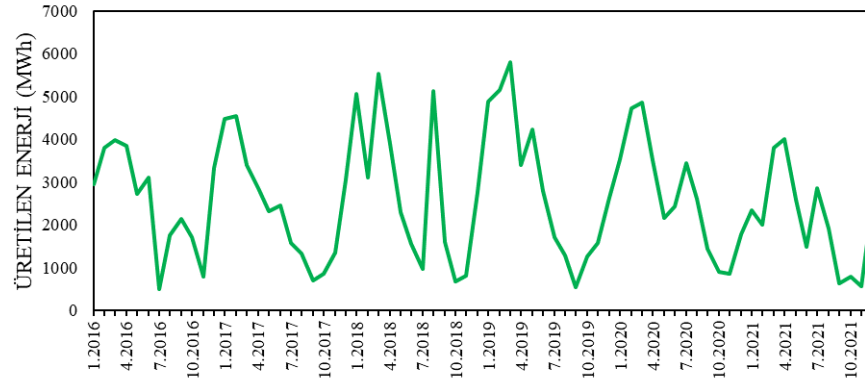
işletilmektedir. 2013 yılında enerji üretimine başlayan HES Türkiye’de yerel yönetimin inşa etmiş olduğu ilk baraj projesidir (Çalışkan, 2019).



Şekil 3.18 : Adasu HES’in havza üzerindeki konumu ve uydu görüntüsü

Biriktirme olmadan üretim sağlayan nehir tipi bir barajdır. S kaplan türbin tipine sahip olan HES bünyesinde her biri 3,2 MW gücünde olan 3 adet türbin bulunmaktadır. Kurulu gücü 9,6 MW olan HES’ten yılda 60 GWh elektrik enerjisi elde edilmektedir (Çalışkan, 2019). Adasu HES’in 6 yıllık enerji verilerine ait enerji gidiş grafiği şekil 3.19’da gösterilmiştir.

ADASU HES-ENERJİ



Şekil 3.19 : Adasu HES'e ait aylık üretilen enerji gidiş grafiği.

3.2. Yöntem

3.2.1. Mann-Kendall yöntemi

Trend analizinin en yaygın yöntemlerinden biri olan Mann Kendall yöntemi, Mann (1945) ve Kendall (1975) tarafından geliştirilmiş parametrik olmayan yani rastgele değişkenin dağılımıyla bağlantılı olmayan bir yöntemdir. Çarpık dağılıma sahip olan tüm zaman serilerinde trendin belirlenmesinde kullanılabilen bu yöntem ile zaman serisinde trendin varlığı, sıfır hipotezi (H_0 : trend yok) ile belirlenmektedir (Tokgöz ve Partal, 2020). Mann-Kendall yönteminin uygulama adımları aşağıda sıralanmıştır;

- 1) n adet veriye sahip zaman serisi (x_1, x_2, \dots, x_n), x_i ve x_j çiftleri olarak iki gruba ayrılır.
- 2) Burada x_i değerleri seçilen x_j değerinden önce gelen her x değerini temsil etmektedir.
- 3) Seçilen x_j değeri kendinden önce ki her x değeri ile büyüklükleri kıyaslanır, $x_j > x_i$ olan çiftlerin sayısı P, $x_j < x_i$ olan çiftlerin sayısı ise M olarak tanımlanmaktadır.
- 4) Test istatistiği (S) değeri, $S = P - M$ şeklinde hesaplanmaktadır.
- 5) Kendall korelasyon katsayısı, $\tau = \frac{S}{\sqrt{\frac{n(n-1)}{2}}}$ şeklinde hesaplanır.
- 6) $n \geq 10$ olan zaman serilerinde varyansa karşılık olarak σ_s değeri, $\sigma_s = \sqrt{\frac{n(n-1)(2n+5)}{18}}$ formülü ile hesaplanmaktadır.

- 7) Zaman serisinde eşit veriler varsa σ_s değeri, $\sigma_s = \sqrt{\frac{[n(n-1)(2n+5) - \frac{\sum_i^j t_i(t_i-1)(2t_i+5)]}{18}}$ şeklinde hesaplanmaktadır. Bu formülde n toplam veri sayısını, t_i eşit değere sahip veri sayısını ve j bağlı grup sayısını (eşit değere sahip veri gruplarının sayısını) göstermektedir. Örneğin: 7,8,6,7,5,5,5,6,7,7 şeklinde gösterilen bir veri serisinde n = 10, j = 3, $t_1 = 4$ (7 verisi için), $t_2 = 3$ (5 verisi için) ve $t_3 = 2$ (6 verisi için) şeklinde olacaktır.
- 8) S ve σ_s değerlerine bağlı olarak standart normal dağılım olan test istatistik değeri
- $$Z, Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma_s} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sigma_s} & S < 0 \end{cases}$$
- şeklinde hesaplanmaktadır.
- 9) Mutlak Z değeri, seçilmiş α anlamlılık seviyesinin karşılığı olan $Z_{\alpha/2}$ değerinden küçük ise H_0 hipotezi (sıfır hipotezi) kabul edilmektedir. Sıfır hipotezinin kabul edilmesi zaman serisinde trend olmadığını göstermektedir.
- 10) Mutlak Z değerinin, $Z_{\alpha/2}$ değerinden büyük olması durumunda sıfır hipotezi reddedilmektedir. Sıfır hipotezinin reddedilmesi zaman serisinde trendin olduğunu göstermektedir
- 11) Z değerinin pozitif olması artan trendin olduğunu, negatif olması ise azalan trendin olduğu göstermektedir.

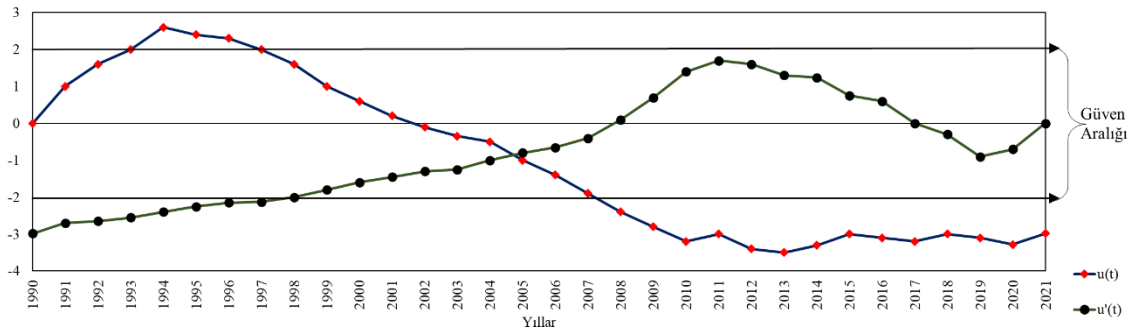
3.2.2. Mann-Kendall mertebe korelasyon yöntemi

Mann-Kendall yöntemi zaman serisine ait trendin varlığından ve trend durumundan söz etmektedir. Mann-Kendall mertebe korelasyon yöntemi, Mann-Kendall yönteminden farklı olarak trend başlangıcına ait zaman bilgisini tanımlamaktadır (Çeribaşı, 2015). Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Yönteminin uygulama adımları aşağıda sıralanmıştır;

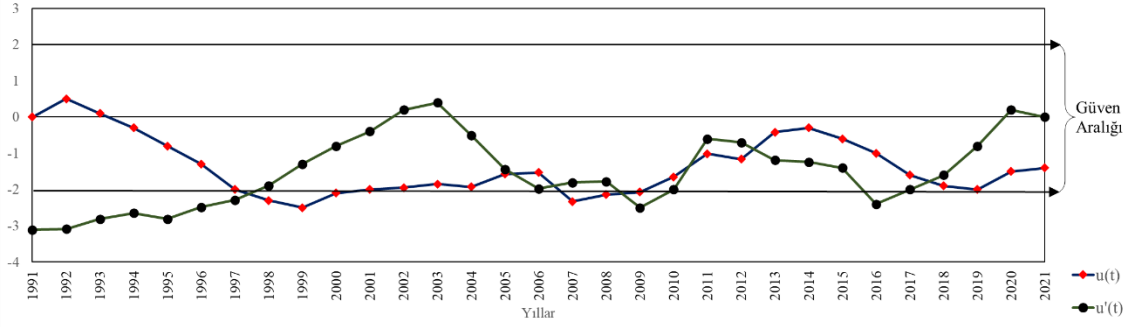
- 1) Zaman serisinde seçilen her x_i değeri kendinden önce gelen verilerin kaç tanesinden büyük olduğu sayılır ve bu durum her x_i değerine karşılık gelen n_i tam sayı değerini vermektedir.
- 2) n_i değerinin ardışık toplamlarını t_i ile gösterilmesi sonucunda yöntemin uygulanmasında gerekli olan (t) değeri; $t = \sum_{i=1}^n n_i$ şeklinde tanımlanmaktadır.
- 3) t değerinin ortalaması E(t) değeri; $E(t) = \frac{n(n-1)}{4}$ şeklinde hesaplanmaktadır.

- 4) t değerinin varyansı; $var(t) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72}$ şeklinde hesaplanmaktadır.
- 5) Grafikselle gösterimde kullanılacak olan u(t) fonksiyonu; $u(t) = \frac{[t-E(t)]}{\sqrt{var(t)}}$ şeklinde tanımlanmaktadır.
- 6) u(t) değerlerinin sıfıra yakın olması zamanla bir değişim yok varsayımını ifade ederken, u(t)'nin büyük değerleri bir değişimin olduğunu göstermektedir.
- 7) Yöntemin uygulanabilmesi için u'(t) fonksiyonuna gerek duyulmaktadır. Zaman serisi tersten sıralanır ve u(t) fonksiyonuna benzer şekilde hesaplanarak u'(t) fonksiyonu elde edilir.

Elde edilen u(t) ve u'(t) fonksiyonları için çizgisel grafik çizilir. Mann-Kendall yöntemine göre trend var ise u(t) – u'(t) grafiğinde fonksiyonların kesişim noktası trend başlangıç tarihini göstermektedir. u(t) – u'(t) grafiğinde fonksiyonlar birden çok noktada kesişiyor ise Mann-Kendall Mertebe Korelasyon yöntemine göre trend görülmemektedir. Ancak Mann-Kendall yöntemine göre trend var ve u(t) – u'(t) grafiğinde fonksiyonlar birden fazla noktada kesişiyor ise ilk kesişim noktası trend başlangıç tarihini göstermektedir. Trendin var olduğu durum için varsayımsal grafik Şekil 3.20'de gösterilirken, trendin var olmadığı durum için varsayımsal grafik Şekil 3.21'de gösterilmektedir.



Şekil 3.20 : Trendin olduğunu gösteren varsayımsal u(t) – u'(t) grafiği.



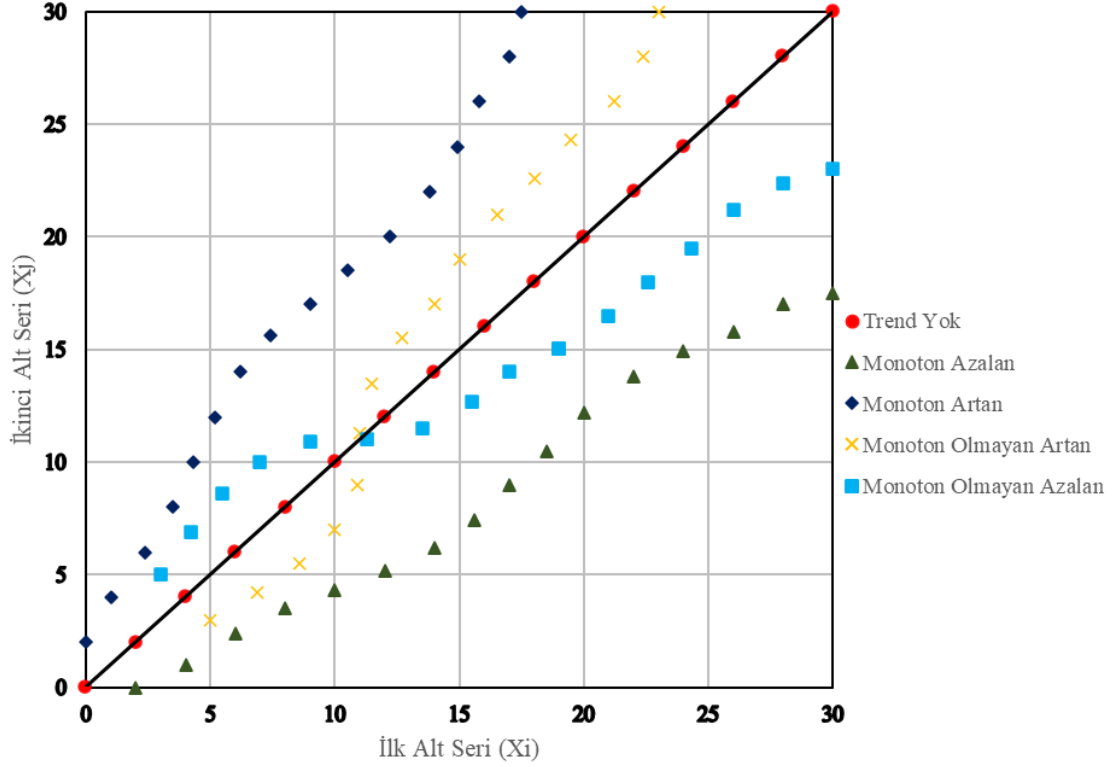
Şekil 3.21 : Trendin olmadığını gösteren varsayımsal $u(t) - u'(t)$ grafiği.

3.2.3. Yenilikçi trend analizi (ITA)

Yenilikçi Trend Analizi (ITA) testi, Şen tarafında 2012 yılında geliştirilen grafiksel bir analiz yöntemidir. Trend durumunun incelenmesi ve belirlenmesi için iki boyutlu grafikler kullanılmaktadır. Trendlerin belirlenmesinde kullanılan grafikler, oluşan trend değişimlerinin görülmesinde ve yorumlamasında etkili olmuştur (Ergüven, 2022). Yenilikçi Trend Analizi (ITA) yöntemi n adet veriye sahip zaman serisi için uygulama adımları aşağıda sıralanmıştır;

- 1) Zaman serisi, iki alt-seri oluşturacak şekilde serinin tam ortasından iki eşit parçaya bölünür ve ayrılan her iki alt-seri küçükten büyüğe sıralanır.
- 2) Sıralanan alt-seriler, ilk alt-seri (X_i ; $i = 1, 2, \dots, n/2$) x eksenine, ikinci alt-seri (X_j ; $j = n/2+1, n/2+2, \dots, n$) y eksenine gelecek şekilde kartezyen koordinat sistemi üzerinde noktalanarak saçılım grafiği oluşturulur.
- 3) Oluşturulan saçılım grafiği yatay ve dikey eksenleri aynı ölçekte olacak şekilde boyutlandırılır, saçılma grafiği üzerine orijinden geçecek şekilde 1:1 (45°) eğime sahip doğru çizilir ve grafik üzerinden yorumlamalar yapılır.

Yukarıda uygulama adımları anlatılan ITA yöntemine ait varsayımsal grafik Şekil 3.22’de gösterilmiştir.

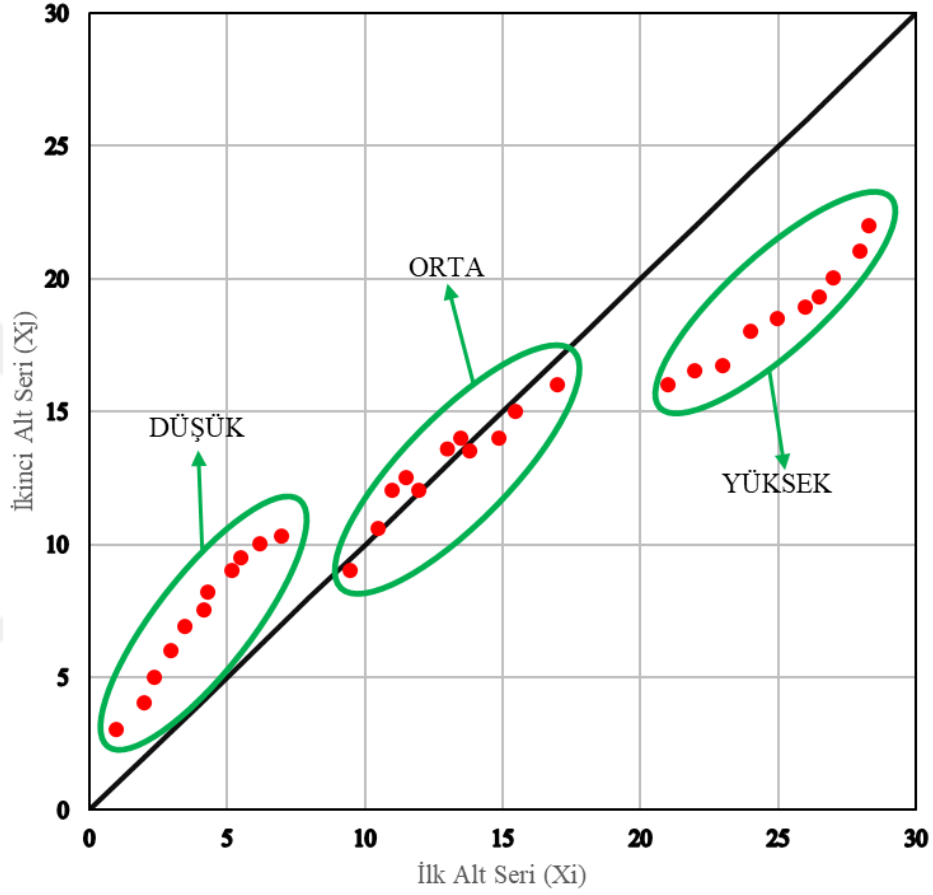


Şekil 3.22 : Varsayımsal ITA grafiği

Şekil 3.22 ‘deki grafik incelendiğinde;

- Veriler 1:1 (45°) doğrusu üzerinde sıralanırsa veya doğruya çok yakın bir şekilde sıralanırsa seride trend yok demektir. Veriler 1:1 doğrusunun alt kısmında yer alırsa azalan trend, 1:1 doğrusunun üst kısmında yer almaları artan trend görülür.
- Veriler 1:1 doğrusunun üstünde sıralanırsa ve doğrudan uzaklaşarak artar ise monoton artan trend, veriler 1:1 doğrusunun alt kısmında sıralanırsa ve doğrudan uzaklaşarak artar ise monoton azalan trend görülür.
- Veriler 1:1 doğrusunun alt kısmında sıralanmaya başlar ve yüksek değerlere doğru 1:1 doğrusunun üstünde doğrudan uzaklaşarak artar ise monoton olmayan artan trend, veriler 1:1 doğrusunun üstünde sıralanmaya başlar ve yüksek değerlere doğru 1:1 doğrusunun alt kısmında doğrudan uzaklaşarak artar ise monoton olmayan azalan trend görülür.

Ayrıca ITA grafiklerinde kartezyen koordinat sistemine bölgesel olarak saçılan verilerin yorumlanabilmesi için düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç bölgede inceleme yapılabilmektedir (Tokgöz ve Partal, 2020). Şekil 3.23'te varsayımsal ITA sınıflandırma grafiği örnek gösterilmektedir.



Şekil 3.23 : Varsayımsal ITA sınıflandırma grafiği.

Şekil 3.23'te varsayımsal ITA Sınıflandırma grafiği incelendiğinde;

- Düşük bölgede bulunan veriler 1:1 eğim çizgisinin üstünde kalmaktadır. Bu nedenle düşük bölgede bulunan verilerde artan trend gözlemlenmektedir.
- Orta bölgede bulunan veriler 1:1 eğim çizgisinin üzerinde ve yakınında olduğu için orta bölgede trendin olmadığı gözlemlenmektedir.
- Yüksek bölgede bulunan verilerin 1:1 eğim çizgisinin altında saçıldığı dolayısıyla bu bölgede azalan trend gözlemlenmektedir.

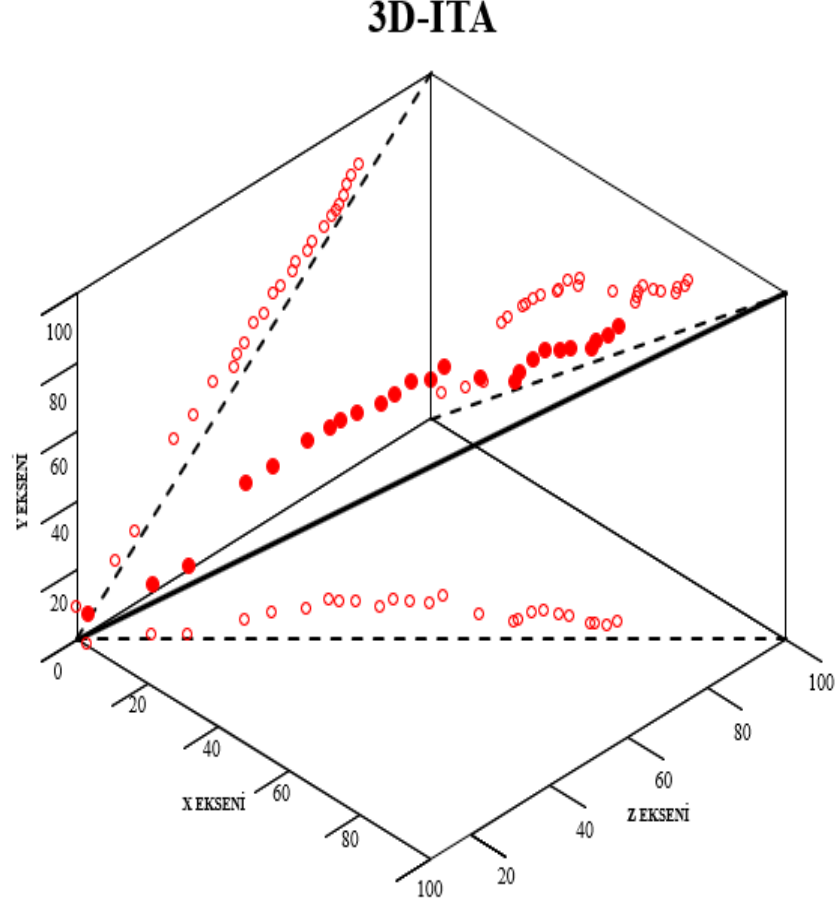
3.2.4.3 Boyutlu yenilikçi trend analizi (3D-ITA)

ITA yaklaşımına dayalı üç boyutlu grafiksel gösterim ile trend kararlılıklarının incelenmesine, belirlenmesine ve görselleştirilmesine imkân sağlamaktadır. Sunulan 3D modelleme, ITA testinden daha fazla trend bilgisi ortaya koymakta ve trend hakkında yorumlamalarda avantaj sağlamaktadır (Güçlü, 2022). 3D-ITA yönteminin uygulama adımları aşağıda sıralanmıştır;

- 1) n adet veri veriye sahip olan zaman serisi, $[r_1 = 1, 2, \dots, n/3]$, $[r_2 = (n/3)+1, (n/3)+2, \dots, (2n/3)]$ ve $[r_3 = (2n/3)+1, (2n/3)+2, \dots, n]$ olacak şekilde üç eşit alt-seri oluşturulur.
- 2) Aynı sayıda veriye sahip olan $\{r_1\}$, $\{r_2\}$ ve $\{r_3\}$ alt serileri küçükten büyüğe doğru sıralanır.
- 3) x-z düzlemini oluşturmak için, x eksenine r_1 değerleri, z eksenine ise r_2 değerleri noktasal olarak saçılır.
- 4) x-y düzlemini oluşturmak için, x eksenine r_1 değerleri, y eksenine ise r_3 değerleri noktasal olarak saçılır.
- 5) z-y düzlemini oluşturmak için, z eksenine r_2 değerleri, y eksenine ise r_3 değerleri noktasal olarak saçılır.
- 6) ITA yönteminde de olduğu gibi her yüzeye 1:1 (45°) doğrusu çizilir.
- 7) Oluşturulan 3 boyutlu grafiğe 1:1:1 doğrusu çizilir ve r_1 , r_2 ve r_3 alt serilerine ait değerler noktasal olarak saçılır.
- 8) Saçılım sonucunda noktalar 1:1:1 doğrusu üzerinde toplanması durumunda trend yok demektir.
- 9) Saçılan verilere ait izdüşümler 1:1 doğrusunun üstünde ise anlamlı ve kararlı bir artan trend, verilere ait iz düşümler 1:1 doğrusunun altında ise anlamlı ve kararlı azalan trend görülür.
- 10) ITA yöntemine göre herhangi bir trend tipi varsa ve 3D-ITA yöntemine ait iz düşüm yüzeylerinde farklı trend oluşmuş ise bu durum kararsızlığı göstermektedir.

İlk kez bir tez çalışmasında kullanılacak olan ve görsel zenginliğe sahip olan 3D-ITA yöntemi sayesinde, normal ITA yönteminde bahsedilen trend tiplerinin gösterimine ek olarak bizlere zaman serisine ait olan trendlerin kararlılıklarını göstermektedir. Verilerin

üç eşit alt seriye ayrılarak farklı alt seri kombinasyonları sonucunda oluşan trend analizlerini gözlemlememizi sağlamaktadır. 3D-ITA yöntemi için temsili grafik modeli şekil 3.24'te gösterilmektedir.



Şekil 3.24 : Varsayımsal 3D-ITA grafiği.

Şekil 3.24 incelendiğinde;

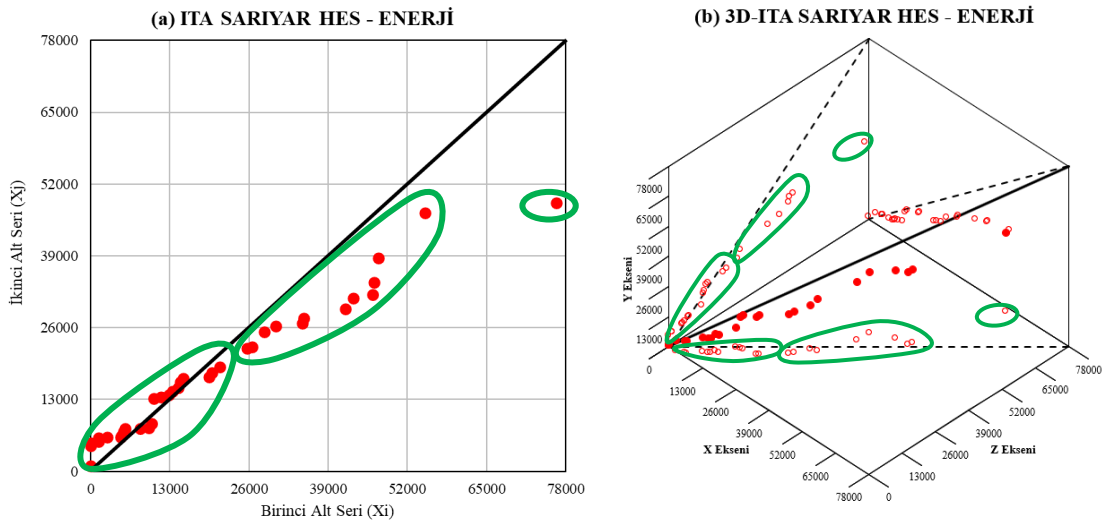
- y-z yüzeyi için, saçılım grafiğinde saçılımın 1:1 doğrusuna çok yakın olması sebebiyle trend yoktur.
- x-z yüzeyi için, saçılım grafiğinde düşük değerlerde trend yokken orta ve yüksek değerlerde artan bir trend görülmektedir.
- x-y yüzeyi için, saçılım grafiğinde artan bir trende sahip olduğu görülmektedir.
- İncelenen x-z ve y-z yüzeylerinde gözlemlenen trend durumlarının farklı olması zaman serisinin kararsız olduğunu göstermektedir.

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

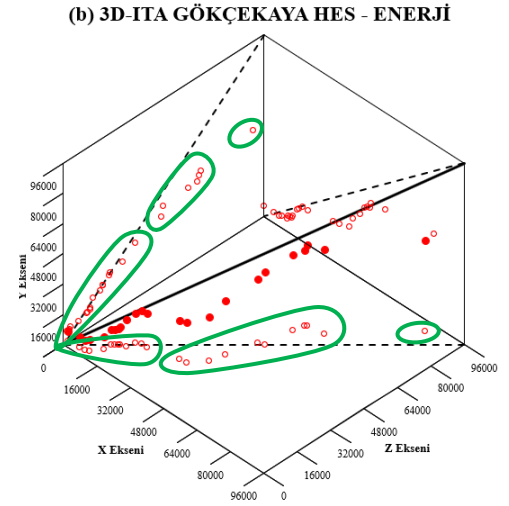
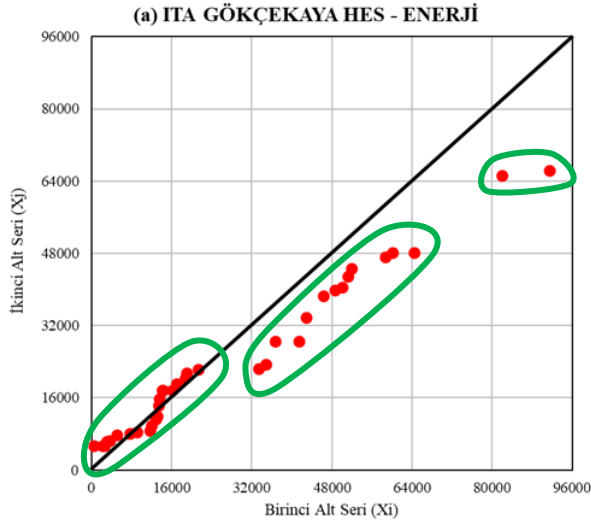
4.1. Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice HES'leri İçin Analiz Sonuçları

4.1.1. Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice HES'leri için ITA ve 3D-ITA analiz sonuçları

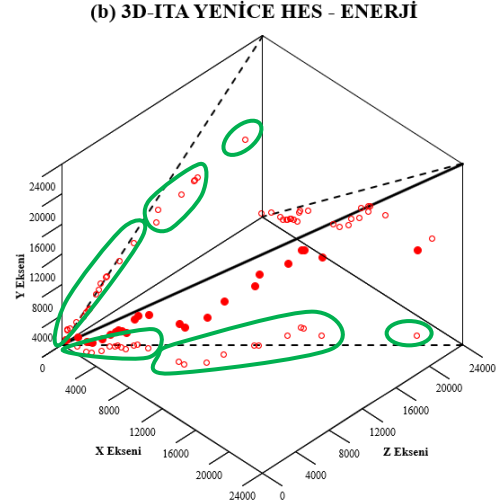
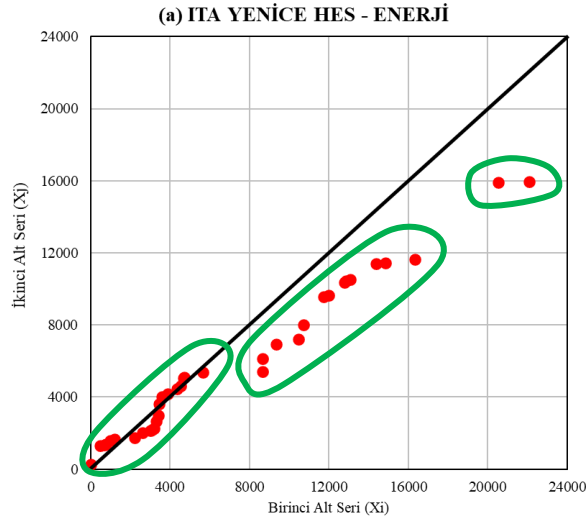
Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice HES'lerinin enerji verilerine ait ITA ve 3D-ITA analizleri yapılmış, sonuçları sırasıyla şekil 4.1, şekil 4.2 ve şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Sarıyar HES'in enerji verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri.



Şekil 4.2 : Gökçekaya HES enerji verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri.



Şekil 4.3 : Yenice HES enerji verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri.

Şekil 4.1a, şekil 4.2a ve şekil 4.3a'da bulunan ITA grafiklerinde monoton olmayan azalan yönde bir trend görülmektedir. Düşük bölgede bir trend gözlemlenmezken orta ve yüksek bölgelerde azalan bir trend gözlemlenmektedir.

Şekil 4.1b, şekil 4.2b ve şekil 4.3b'de bulunan 3D-ITA grafikleri incelendiğinde, x-z ve y-z yüzeylerinin düşük bölgelerinde bir trend görülmemektedir. Tüm 3D-ITA grafikleri için, x-z yüzeyinde bulunan orta bölgede monoton olmayan artan trend ve yüksek bölgede artan bir trend görülmektedir. Ancak y-z yüzeyinde orta ve yüksek bölgelerde azalan bir trend görülmektedir. İki yüzey arasındaki trendlerin farklı olması Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice HES'lerine ait trendlerin kararsızlığını göstermektedir.

4.1.2. Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice HES'leri için Mann-Kendall analiz sonuçları

Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice HES'lerine ait enerji verilerinin trendini gözlemlemek için Mann-Kendall yöntemi uygulanmaktadır. Analiz sonuçları tablo 4.1'de gösterilmiştir.

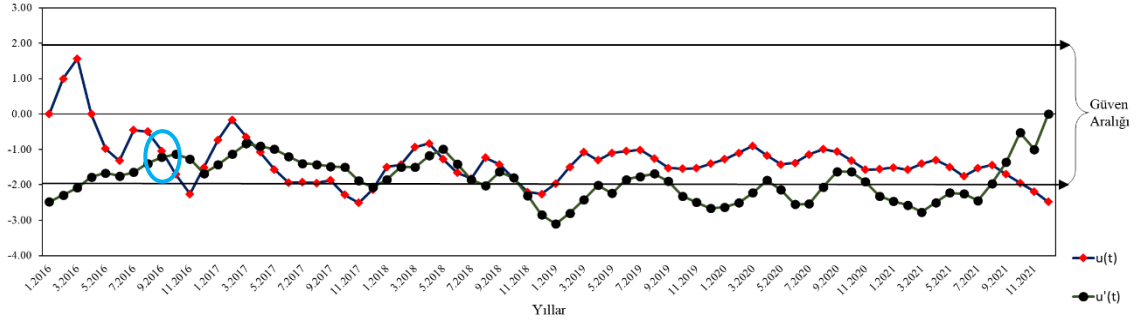
Tablo 4.1 : Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice HES'lerine ait enerji verileri için Mann-Kendall analiz sonuçları.

HES	Tarih Aralığı	P	M	S	τ	σ_S	Z
Sarıyar	2016-2021	1113	1440	-327	-0.128	205.7	-1.585
Gökçekaya	2016-2021	1088	1458	-380	-0.149	205.7	-1.842
Yenice	2016-2021	1023	1533	-510	-0.200	205.7	-2.474

Tablo 4.1'de Mann-Kendall yöntemine ait analiz sonuçları incelendiğinde mutlak Z değerleri sırasıyla 1.585, 1.842 ve 2.474 olarak hesaplanmıştır. α anlamlılık düzeyi 0,05 olarak seçildiğinde $Z_{\alpha/2}$ değeri ek A tablosundan 1,96 olarak görülmektedir. Yenice HES'e ait mutlak Z değeri, $Z_{\alpha/2}=1,96$ değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir ve Z değerinin negatif değere sahip olmasından dolayı azalan yönde trend gözlemlenmektedir. Sarıyar ve Gökçekaya HES'lerinin Mutlak Z değeri, $Z_{\alpha/2}=1,96$ değerinden küçük olduğu için H_0 hipotezi kabul edilerek %95 güven aralığında trendin olmadığı görülmektedir. Ancak Sarıyar ve Gökçekaya HES'lerinde sırasıyla %85 ve %90 güven aralığında azalan trend görülmektedir.

4.1.3. Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice HES'leri için Mann-Kendall mertebe korelasyon analiz sonuçları

Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice HES'leri enerji verilerine ait Mann-Kendall sonuçları incelendiğinde Yenice HES için azalan bir trend gözlemlenmiştir. Yenice HES Mann-Kendall Mertebe Korelasyon grafiği şekil 4.4'te gösterilmiştir.



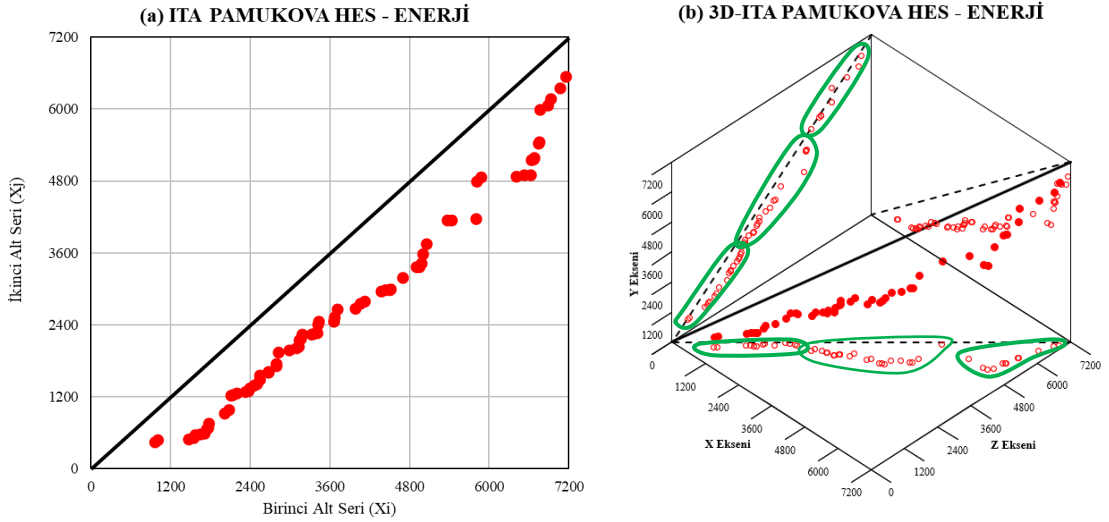
Şekil 4.4 : Yenice HES enerji verilerinin $u(t)$ - $u'(t)$ grafiği.

Şekil 4.4'te gösterilen $u(t)$ - $u'(t)$ grafiği incelendiğinde Yenice HES için ilk kesişim noktası olan Ekim-2016 trend başlangıç tarihi olarak belirlenmiştir.

4.2. Pamukova HES Analiz Sonuçları

4.2.1. Pamukova HES ITA ve 3D-ITA analiz sonuçları

Pamukova HES'in enerji verilerine ait ITA ve 3D-ITA analiz sonuçları Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



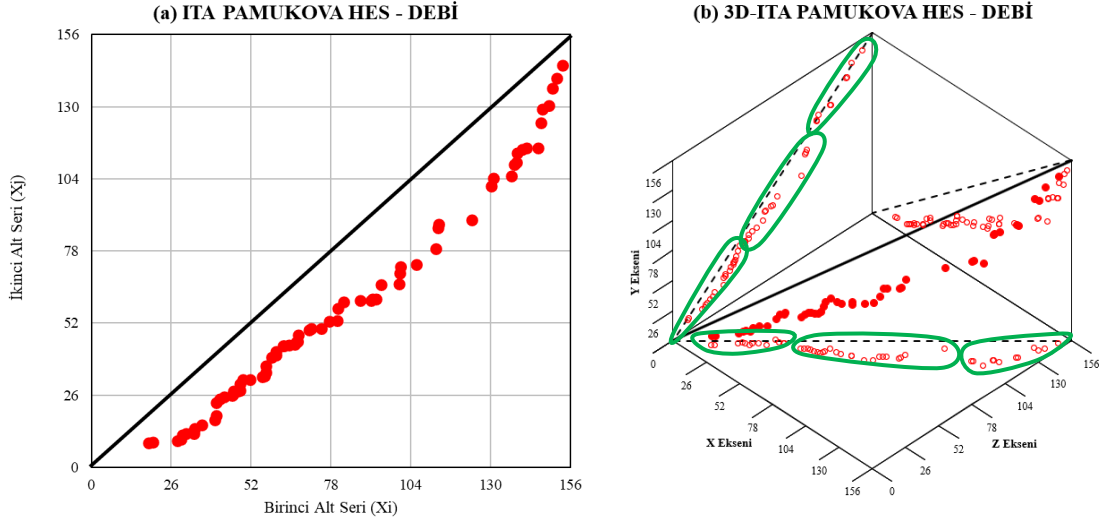
Şekil 4.5 : Pamukova HES enerji verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri.

Şekil 4.5a ITA grafiği incelendiğinde monoton azalan bir trend görülmektedir.

Şekil 4.5b 3D-ITA grafiği incelendiğinde x-z yüzeyinin düşük bölgesinde ve y-z yüzeyinin yüksek bölgesinde trend olmadığı gözlemlenmiştir. Ancak y-z yüzeyinin düşük ve orta bölgelerinde, x-z yüzeyinin ise orta ve yüksek bölgelerinde azalan trend

gözlemlenmiştir. x-z ve y-z yüzeylerindeki düşük ve yüksek bölgelerde görülen trendlerin farklı olmasından dolayı kararlılık görülmezken orta bölgede trendler aynı olduğu için orta bölgede trendin kararlı olduğu görülmektedir.

Pamukova HES'in debi verilerine ait ITA ve 3D-ITA analiz sonuçları şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : Pamukova HES debi verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri.

Şekil 4.6a ITA grafiği incelendiğinde monoton azalan bir trend görülmektedir.

Şekil 4.6b 3D-ITA grafiği incelendiğinde x-z yüzeyinin düşük bölgesinde ve y-z yüzeyinin yüksek bölgesinde trend olmadığı görülmektedir. Ancak y-z yüzeyinin düşük ve orta bölgelerinde, x-z yüzeyinin ise orta ve yüksek bölgelerinde azalan trend gözlemlenmiştir. Düşük ve yüksek bölgede trend kararlılığı görülmezken orta bölgede trendin kararlı olduğu görülmektedir.

4.2.2. Pamukova HES Mann-Kendall analiz sonuçları

Pamukova HES'e ait enerji ve debi verilerine Mann-Kendall yöntemi uygulanmış ve analiz sonuçları tablo 4.2'de gösterilmiştir.

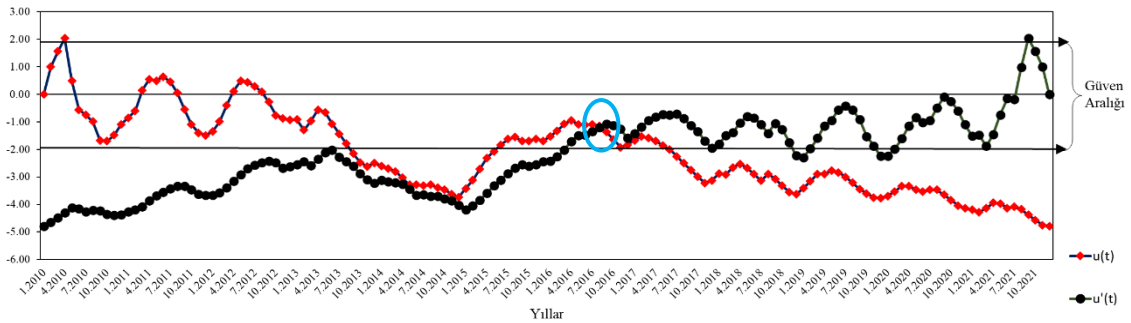
Tablo 4.2 : Pamukova HES'e ait enerji ve debi verileri için Mann-Kendall analiz sonuçları.

HES	Veri	Tarih Aralığı	P	M	S	τ	σ_s	Z
Pamukova	Enerji	2010-2021	3761	6535	-2774	-0.269	579	-4.790
	Debi	2010-2021	3836	6459	-2623	-0.255	579	-4.529

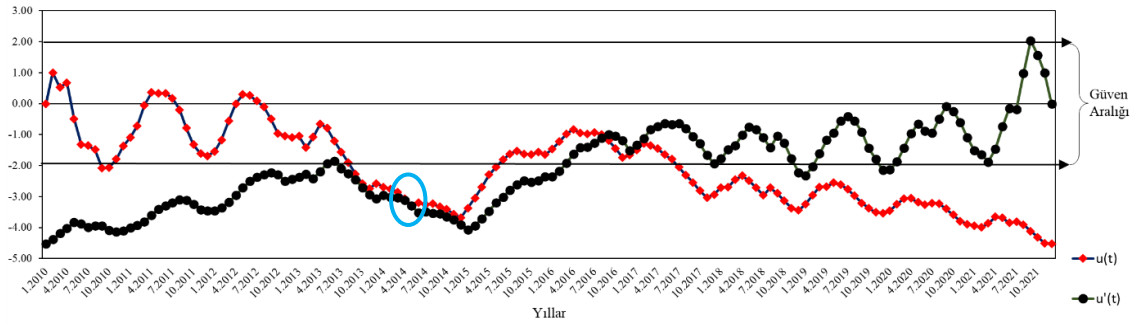
Tablo 4.2'de Mann-Kendall yöntemine ait analiz sonuçları incelendiğinde mutlak Z değerleri enerji ve debi için 4.79 ve 4.529 olarak hesaplanmıştır. Seçilen α anlamlılık düzeyine göre $Z_{\alpha/2}$ değeri ek A tablosunda 1,96 olarak görülmektedir. Analiz sonucunda enerji ve debi verilerine ait mutlak Z değerleri, $Z_{\alpha/2}=1,96$ değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilerek trendin var olduğu gözlemlenmektedir. Z değerlerinin negatif olması azalan yönde trend olduğunu göstermektedir.

4.2.3. Pamukova HES için Mann-Kendall mertebe korelasyon analiz sonuçları

Pamukova HES için enerji ve debi verilerine ait Mann-Kendall sonuçları incelendiğinde her iki veri setinin de azalan trend olduğu görülmektedir. Trend başlangıç tarihinin belirlenmesi için enerji ve debi verilerine ait Mann-Kendall Mertebe Korelasyon grafikleri sırasıyla şekil 4.7 ve şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 : Pamukova HES enerji verilerinin $u(t)-u'(t)$ grafiği.



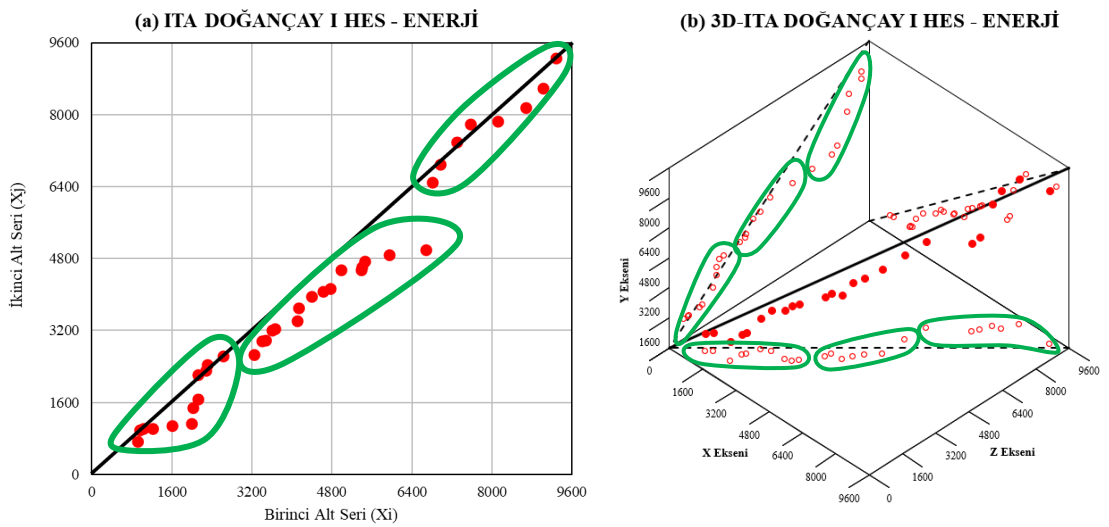
Şekil 4.8 : Pamukova HES debi verilerinin $u(t)-u'(t)$ grafiği.

Mann-Kendall analiz sonuçlarına göre azalan trend gözlenen enerji verileri için Şekil 4.7'de gösterilen $u(t)-u'(t)$ grafiği incelendiğinde fonksiyonların tek bir noktada kesiştikleri gözlemlenmektedir. Kesişim noktası olan Ağustos 2016 trend başlangıç tarihi olarak belirlenmiştir. Ancak azalan trende sahip debi verilerine ait şekil 4.8'de gösterilmiş olan $u(t)-u'(t)$ grafiği iki noktada kesişmektedir. İlk kesişim noktası olan Mayıs 2014 trend başlangıç tarihi olarak belirlenmiştir.

4.3. Doğançay I HES Analiz Sonuçları

4.3.1. Doğançay I HES ITA ve 3D-ITA analiz sonuçları

Doğançay I HES enerji verilerine ait ITA ve 3D-ITA analiz sonuçları şekil 4.9'da gösterilmiştir.

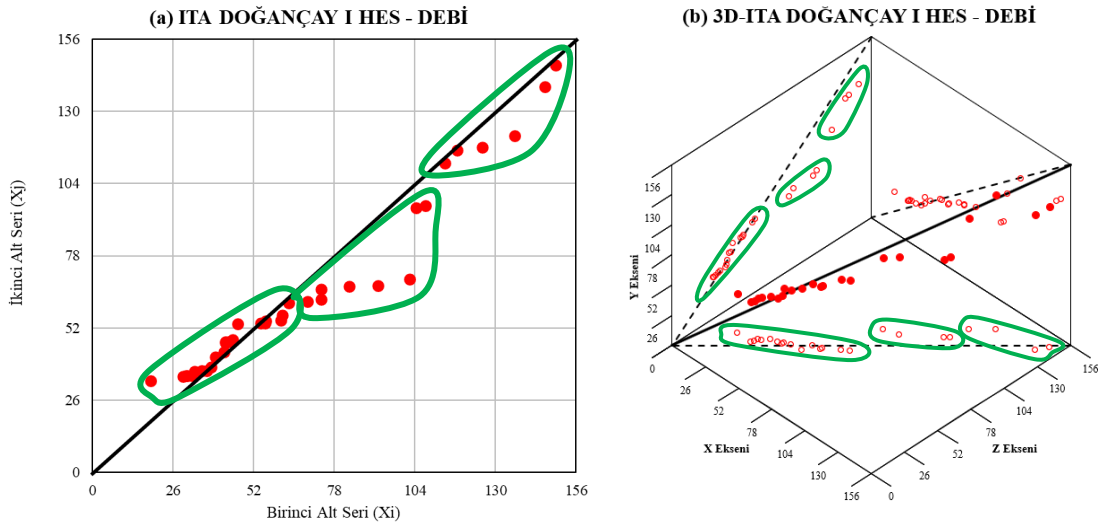


Şekil 4.9 : Doğançay I HES enerji verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri.

Şekil 4.9a ITA grafiği incelendiğinde monoton olmayan azalan yönde bir trend görülmektedir. Düşük ve orta bölgelerde azalan yönde bir trend görülmüştür. Ancak yüksek bölgede bir trend görülmemektedir.

Şekil 4.9b 3D-ITA grafiğine göre x-z yüzeyinde monoton olmayan artan bir trend gözlemlenirken, y-z yüzeyinde düşük ve orta bölgelerde bir trend gözlemlenmemektedir. Ancak yüksek bölgede azalan bir trend gözlemlenmektedir. Yüzeylerin farklı bir trende sahip olması trendin kararsız olduğunu göstermektedir.

Doğançay I HES debi verilerine ait ITA ve 3D-ITA analiz sonuçları şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 : Doğançay I HES debi verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri.

Şekil 4.10a ITA grafiği incelendiğinde monoton olmayan azalan bir trend görülmektedir. Düşük değerlerde artan bir trend gözlemlenirken orta ve yüksek değerlerde azalan bir trend gözlemlenmiştir.

Şekil 4.10b 3D-ITA grafiğinde ise x-z ve y-z yüzlerinde düşük değerlerde bir trend görülememektedir. Orta ve yüksek değerler için, x-z yüzeyinde artan yönde bir trend gözlemlenirken y-z yüzeyinde azalan yönde bir trend gözlemlenmesi trendin kararsızlığını göstermektedir.

4.3.2. Doğançay I HES Mann-Kendall analiz sonuçları

Doğançay I HES için enerji ve debi verilerine ait Mann-Kendall yöntemi analiz sonuçları tablo 4.3'te gösterilmiştir.

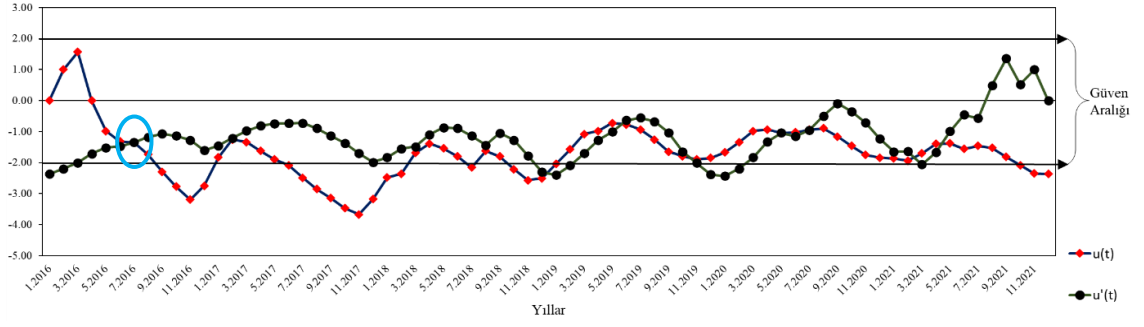
Tablo 4.3 : Doğançay I HES'e ait enerji ve debi verileri için Mann-Kendall analiz sonuçları.

HES	Veri	Tarih Aralığı	P	M	S	τ	σ_s	Z
Doğançay I	Enerji	2016-2021	1035	1521	-486	-0.190	205.7	-2.358
	Debi	2016-2021	1128	1428	-300	-0.117	205.7	-1.454

Tablo 4.3'te Mann-Kendall yöntemine ait analiz sonuçları incelendiğinde enerji ve debi verilerine ait mutlak Z değerleri sırasıyla 2.358 ve 1.454 olarak gözlemlenmektedir. Seçilen $\alpha=0.05$ anlamlılık düzeyine göre $Z_{\alpha/2}$ değeri ek A tablosunda 1,96 olarak görülmektedir. Tablo 4.3'e göre enerji verilerine ait mutlak Z değeri $Z_{\alpha/2}=1,96$ değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilmekte ve Z değeri negatif olduğu için azalan yönde trend olduğu gözlemlenmektedir. Ancak debi verilerine ait mutlak Z değeri $Z_{\alpha/2}=1,96$ değerinden küçük olduğu için H_0 hipotezi kabul edilmektedir. Bu nedenle debi verilerinde %95 güven aralığında trend görülmemektedir. Ancak mutlak Z değeri $\alpha=0.15$ anlamlılık düzeyine karşılık gelen $Z_{\alpha/2} = 1,44$ değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir ve Z değeri negatif olduğu için azalan yönde trend olduğu görülmektedir.

4.3.3. Doğançay I HES için Mann-Kendall mertebe korelasyon analiz sonuçları

Doğançay I HES için enerji ve debi verilerine ait Mann-Kendall sonuçları incelendiğinde enerji verilerinde trend gözlemlenirken debi verilerinde trend olmadığı gözlemlenmektedir. Enerji verilerine ait trendin başlangıç tarihinin belirlenmesi için Mann-Kendall Mertebe Korelasyon grafiği şekil 4.11'de gösterilmiştir.



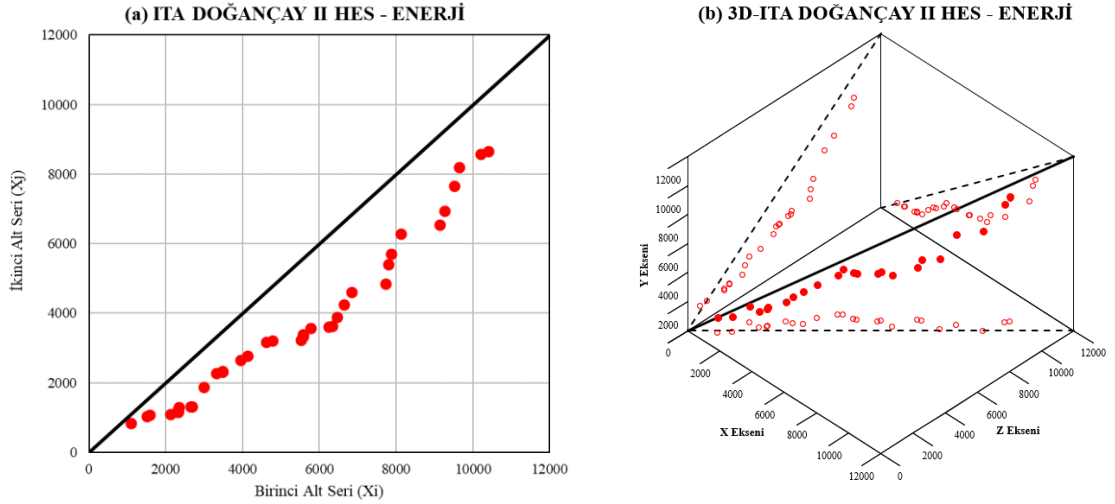
Şekil 4.11 : Doğançay I HES enerji verilerinin $u(t)$ - $u'(t)$ grafiği.

Şekil 4.11'de gösterilen $u(t)$ - $u'(t)$ grafiği incelendiğinde ilk kesişim noktası olan Temmuz 2016 trend başlangıç tarihi olarak belirlenmiştir.

4.4. Doğançay II HES Analiz Sonuçları

4.4.1. Doğançay II HES ITA ve 3D-ITA analiz sonuçları

Doğançay II HES enerji verilerine ait ITA ve 3D-ITA analiz sonuçları şekil 4.12'de gösterilmiştir.



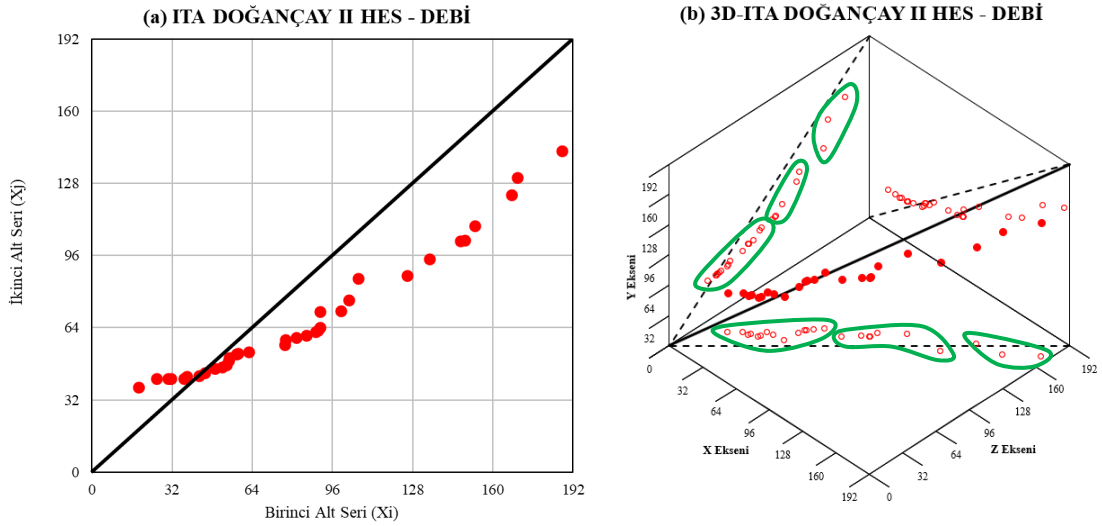
Şekil 4.12 : Doğançay II HES enerji verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri.

Şekil 4.12a ITA grafiği incelendiğinde monoton azalan yönde bir trend gözlemlenmektedir.

Şekil 4.12b 3D-ITA grafiğine göre x-y ve y-z yüzeylerinde monoton olmayan azalan yönde trend gözlemlenmektedir. Ancak x-z yüzeyinde monoton olmayan artan bir trend

gözlemlenmektedir. x-z yüzeyinde gözlemlenen trendin diğer yüzeylerdeki trenden farklı olması trendin kararsızlığını göstermektedir.

Doğançay II HES debi verilerine ait ITA ve 3D-ITA analiz sonuçları şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13 : Doğançay II HES debi verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri.

Şekil 4.13a ITA grafiği incelendiğinde monoton olmayan azalan trend gözlemlenmektedir.

Şekil 4.13b 3D-ITA grafiğine göre x-z yüzeyinde düşük ve orta değerlerde azalan trend gözlemlenirken yüksek değerlerde azalan trend gözlemlenmektedir. y-z yüzeyinde ise monoton olmayan azalan trend gözlemlenmektedir. Düşük ve orta değerlerde kararlılık gözlemlenmezken yüksek değerlerde kararlılık gözlemlenmektedir.

4.4.2. Doğançay II HES Mann-Kendall analiz sonuçları

Doğançay II HES için enerji ve debi verilerine ait Mann-Kendall yöntemi analiz sonuçları tablo 4.4'te gösterilmiştir.

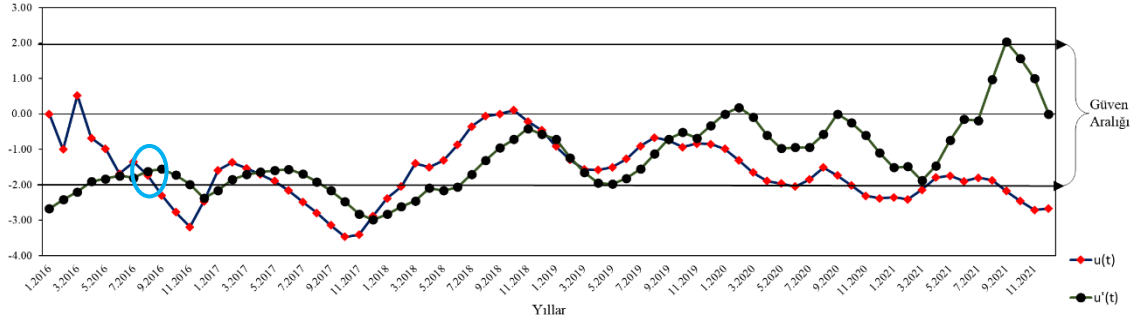
Tablo 4.4 : Doğançay II HES'e ait enerji ve debi verileri için Mann-Kendall analiz sonuçları.

HES	Veri	Tarih Aralığı	P	M	S	τ	σ_s	Z
Doğançay II	Enerji	2016-2021	1003	1553	-550	-0.215	205.7	-2.669
	Debi	2016-2021	1152	1403	-251	-0.098	205.7	-1.215

Tablo 4.4'te Mann-Kendall yöntemine ait analiz sonuçları incelendiğinde enerji ve debi verilerine ait mutlak Z değerleri sırasıyla 2.669 ve 1.215 olarak gözlemlenmektedir. Seçilen $\alpha=0.05$ anlamlılık düzeyine göre $Z_{\alpha/2}$ değeri ek A tablosunda 1,96 olarak görülmektedir. Tablo 4.4'e göre enerji verilerine ait mutlak Z değeri $Z_{\alpha/2}=1,96$ değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir ve Z değeri negatif olduğu için azalan yönde trend olduğu görülmektedir. Ancak debi verilerine ait mutlak Z değeri $Z_{\alpha/2}=1,96$ değerinden küçük olduğu için H_0 hipotezi kabul edilmektedir. Bu nedenle debi verilerinde %95 güven aralığında trend görülmemektedir. Ancak mutlak Z değeri $\alpha=0.25$ anlamlılık düzeyine karşılık gelen $Z_{\alpha/2} = 1,15$ değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir ve Z değeri negatif olduğu için azalan yönde trend olduğu görülmektedir.

4.4.3. Doğançay II HES için Mann-Kendall mertebe korelasyon analiz sonuçları

Doğançay II HES için enerji ve debi verilerine ait Mann-Kendall sonuçları incelendiğinde enerji verilerinde trend görülürken debi verilerinde trend olmadığı görülmektedir. Enerji verilerine ait trendin başlangıç tarihinin belirlenmesi için Mann-Kendall Mertebe Korelasyon grafiği şekil 4.14'te gösterilmiştir.



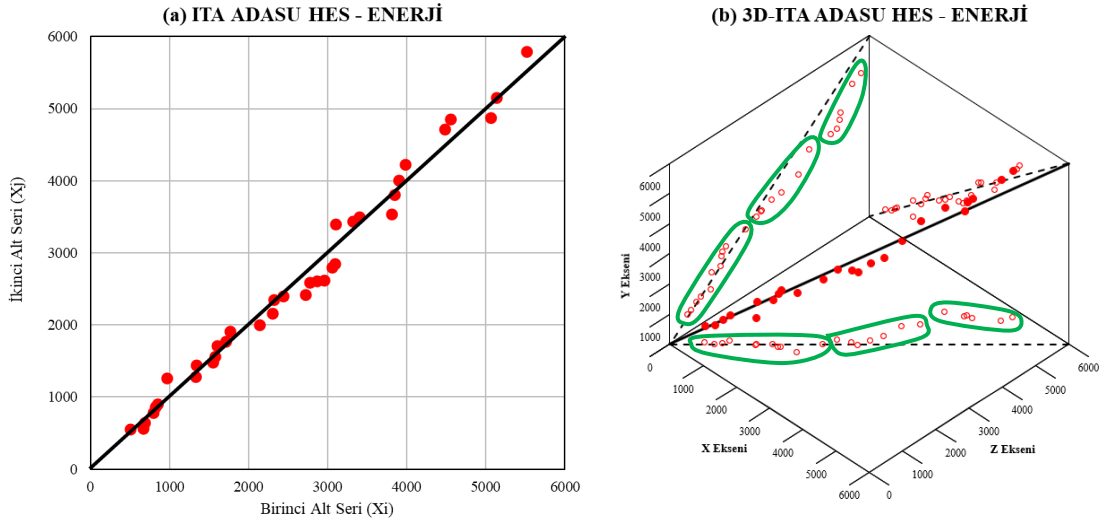
Şekil 4.14 : Doğançay II HES enerji verilerinin $u(t)-u'(t)$ grafiği

Şekil 4.14'te gösterilen $u(t)-u'(t)$ grafiği incelendiğinde fonksiyonların ilk kesişim noktası olan Ağustos 2016 trend başlangıç tarihi olarak belirlenmiştir.

4.5. Adasu HES Analiz Sonuçları

4.5.1. Adasu HES ITA ve 3D-ITA analiz sonuçları

Adasu HES enerji verilerine ait ITA ve 3D-ITA analiz sonuçları şekil 4.15'te gösterilmiştir.



Şekil 4.15 : Adasu HES enerji verileri için ITA (a) ve 3D-ITA (b) saçılım grafikleri

Şekil 4.15a ITA grafiği incelendiğinde zaman serisinde ir trend gözlemlenmemektedir.

Şekil 4.15b 3D-ITA grafiğine göre x-z yüzeyinde monoton olmayan artan trend gözlemlenirken y-z yüzeyinde monoton olmayan azalan trend gözlemlenmektedir. Yüzeylerde gözlemlenen farklı trendler trendin kararsızlığını göstermektedir.

4.5.2. Adasu HES Mann-Kendall analiz sonuçları

Doğançay II HES için enerji verilerine ait Mann-Kendall yöntemi analiz sonuçları şu şekildedir;

- $P=1130$ ve $M=1426$ değerlerine bağlı olarak $S=-296$ olarak bulunmaktadır. Test istatistik değeri olan Z değeri yapılan hesaplamalar sonucunda, $Z=-1.434$ olarak bulunur.

Mann-Kendall yöntemine ait analiz sonuçları incelendiğinde enerji verilerine ait mutlak Z değeri 1.434 olarak görülmektedir. Seçilen $\alpha=0.05$ anlamlılık düzeyine göre $Z_{\alpha/2}$ değeri ek A tablosunda 1,96 değerine karşılık gelmektedir. Enerji verilerine ait mutlak Z

değeri $Z_{\alpha/2}=1,96$ değerinden küçük olduğu için H_0 hipotezi kabul edilmektedir. Bu nedenle enerji verilerinde %95 güven aralığında trend görülmemektedir. Ancak mutlak Z değeri $\alpha=0.20$ anlamlılık düzeyine karşılık gelen $Z_{\alpha/2} = 1,28$ değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir ve Z değeri negatif olduğu için azalan yönde trend olduğu görülmektedir.



BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye'nin en uzun üçüncü akarsuyu olan Sakarya Nehri'ni kapsayan ve içerisinde 14 adet eski ve yeni hidroelektrik enerji santrali yer alması sebebiyle Sakarya Havzası tercih edilmiştir. Sakarya Havzasında meydana gelen iklim değişikliğinin HES'lere olan etkisi araştırılmıştır. HES'lerin aylık toplam enerji ve aylık ortalama debilerinin trend analizi yapılmıştır. Klasik analiz yöntemlerinden Mann-Kendall Yöntemi ve Mann-Kendall Sıra Korelasyon Yöntemi kullanılırken modern analiz yöntemlerinden ise Yenilikçi Trend Analizi (ITA) ve Üç Boyutlu Yenilikçi Trend Analizi (3D-ITA) yöntemleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Çalışmada, Sakarya Havzasında bulunan yedi HES seçilmiştir. Bunlar; Sarıyar, Gökçekaya, Yenice, Pamukova, Doğançay I, Doğançay II ve Adasu HES'leridir. HES'lere ait enerji veri setlerinin uzunluğu; Sarıyar, Gökçekaya, Yenice, Doğançay I, Doğançay II ve Adasu HES'leri için 6 yılken Pamukova HES için 12 yıldır. HES'lere ait debi veri setlerinin uzunluğu; Doğançay I ve Doğançay II HES'leri için 6 yılken Pamukova HES için 12 yıldır. HES'lere ait klasik ve modern yöntemlere göre analiz sonuçları aşağıdaki gibidir;

- Sarıyar ve Gökçekaya HES'leri için enerji verileri kullanılarak yapılan analizler sonucunda Mann-Kendall Yöntemine göre %95 güven aralığında trend görülmezken ITA yöntemiyle yapılan analiz sonuçlarında monoton olmayan azalan trend görülmüştür. 3D-ITA yöntemiyle yapılan analizlerde ise trendin kararsız olduğu görülmüştür.
- Yenice HES için enerji verileri kullanılarak yapılan analizler sonucunda Mann-Kendall Yöntemine göre azalan trend gözlemlenirken Mann-Kendall Sıra Korelasyon Yöntemine göre yapılan analiz sonucunda trend başlangıç tarihi Ekim 2016 olarak belirlenmiştir. ITA yöntemiyle yapılan analiz sonuçlarında monoton olmayan azalan trend görülürken 3D-ITA yöntemiyle yapılan analizlerde ise trendin kararsız olduğu görülmüştür.

- Pamukova HES için enerji ve debi verileri kullanılarak yapılan analizler sonucunda Mann-Kendall Yöntemine göre azalan trend gözlemlenirken Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Yöntemine göre yapılan analiz sonucunda enerji verileri için trend başlangıç tarihi Ağustos 2016, debi verileri için trend başlangıç tarihi Mayıs 2014 olarak belirlenmiştir. ITA yöntemiyle yapılan analiz sonuçlarında monoton azalan trend görülürken 3D-ITA yöntemiyle yapılan analizlerde ise orta bölgelerde kararlı azalan trend olduğu ancak düşük ve yüksek bölgelerde trendin kararsız olduğu görülmüştür.
- Doğançay I HES için enerji ve debi verileri kullanılarak yapılan analizler sonucunda Mann-Kendall Yöntemine göre enerji verilerinde azalan trend gözlemlenirken debi verilerinde trend gözlemlenmemiştir. Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Yöntemine göre yapılan analiz sonucunda ise enerji verileri için trend başlangıç tarihi Temmuz 2016 olarak belirlenmiştir. ITA yöntemiyle yapılan analiz sonuçlarında monoton olmayan azalan trend görülürken 3D-ITA yöntemiyle yapılan analizlerde ise trendin kararsız olduğu görülmüştür.
- Doğançay II HES için enerji ve debi verileri kullanılarak yapılan analizler sonucunda Mann-Kendall Yöntemine göre enerji verilerinde azalan trend gözlemlenirken debi verilerinde trend gözlemlenmemiştir. Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Yöntemine göre yapılan analiz sonucunda ise enerji verileri için trend başlangıç tarihi Ağustos 2016 olarak belirlenmiştir. ITA yöntemiyle yapılan analiz sonuçlarında enerji verilerinde monoton azalan trend görülürken debi verilerinde monoton olmayan azalan trend görülmüştür. 3D-ITA yöntemiyle yapılan analizlerde ise enerji verilerinin kararsız olduğu ancak debi verilerinde yüksek bölgelerde kararlı azalan trend olduğu görülmüştür.
- Adasu HES için enerji verileri kullanılarak yapılan analizler sonucunda Mann-Kendall Yöntemine göre trend görülmemiştir. ITA yöntemiyle yapılan analiz sonuçlarında trend görülmezken 3D-ITA yöntemiyle yapılan analizlerde ise trendlerin kararsız olduğu görülmüştür.

Bu sonuçlar doğrultusunda üretilen enerji ve debi verilerinde klasik ve modern yöntemlere göre azalan trend görülmüştür. Bu durum modern yöntemlerin klasik yöntemlerle uyumlu olduğunu göstermektedir. Ancak dört HES'te ITA yöntemine göre

monoton olmayan azalan trende sahip veri setlerinde Mann-Kendall yöntemine göre %95 güven aralığında trend olmadığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla modern ITA yönteminin klasik Mann-Kendall yöntemine göre monoton olmayan trendlerde trend belirlemede daha fazla sonuç verdiği görülmüştür. Yeni metodoloji olan 3D-ITA yöntemi ITA yöntemine göre monoton trend görülen veri setlerinin trendlerinin kararsız olabildiğini ve monoton olmayan trendlerde veri setlerinin de kararlı trend olabildiğini göstermiştir. Dolayısıyla 3D-ITA yöntemi ITA yöntemine olumlu katkı sağlamış ve bu sayede trendlerin kararlılık durumunu net bir şekilde gözlemlememizi sağlamıştır.

Çalışma sonucunda HES'lerde üretilen enerji ve debilerde azalan trend görülmesi, barajlardaki su rezervlerinin azalması ve akarsularda meydana gelen kuraklığın artması gibi iklimde meydana gelen değişimlerin önemi bu çalışma sayesinde açıkça gözlemlenmiştir. İklimde meydana gelen bu değişimlerin HES gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından alınan verimi düşürdüğü ve bunun sonucunda enerji ihtiyacının karşılanmasında zorluklar yaşanacağı düşünülmektedir.

İklim değişikliğinin etkilerini azaltmak ve enerji üretiminde meydana gelen eksikliği tamamlamak için aşağıdaki önerilere yer verilmiştir;

Sera gazı etkisi ve bilinçsiz enerji kullanımı sonucunda meydana gelen iklim değişikliği etkileri çeşitli hava muhalefetlerini getirdiği gibi su döngüsünde meydana gelen değişimlerden dere ve nehirler gibi akarsuları da etkisi altına almaktadır. Bu durumun neticesinde HES gibi çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları da etkilenmektedir. İklim değişikliği etkilerinin azaltılarak yenilenebilir enerji kaynaklarının veriminin artırılması için fosil yakıt ve bilinçsiz enerji tüketiminin önüne geçilmelidir.

Baraj rezervlerinde bulunan sularda küresel ısınmanın getirmiş olduğu etkilerle birlikte yüzey buharlaşmaları meydana gelebilir. Bu durum HES'lerden üretilen enerji kapasitesini azaltmaktadır. Dünyada su depolama tesislerinde meydana gelen yüzey buharlaşmasını önlemede polietilen yüzey topları kullanıldığı örnekleri vardır. Sakarya Havzası gibi su potansiyeli bulunan ve karasal iklim görülen havzalarda yüzey buharlaşmasının etkisinin en aza indirilebilmesi için HES'lerde bu teknoloji kullanılabilir.

İklim değişikliği ile beraber yağışlarda meydana gelen ani değişiklikler sağanak yağışlarla beraber taşkın ve sellere sebep olmaktadır. Bu durum üretilen enerjide

dalgalanmalara sebep olmaktadır. Bu yağışlar ile birlikte Sakarya Havzası gibi HES sayısı fazla olan havzalarda meydana gelebilecek taşkınların etkilerini önlemek için taşkın analizlerinin yapılması ve önlemlerin alınması büyük öneme sahiptir.



KAYNAKLAR

- Alashan, S. (2023). Comparison of sub-series with different lengths using şen-innovative trend analysis. *Acta Geophys*, 71, 373–383. <https://doi.org/10.1007/s11600-022-00869-6>
- Anık, E. M., Akçay, F., Kankal, M. ve Şan, M. (2021). Doğu Karadeniz Havzası Yıllık Anlık Maksimum Akımların Eğilim Analizi. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology*, 3 (1), 1-22.
- Atıcı, T. (2004). Sarıyar Barajı Planktonik Algleri Kısım: I-Cyanophyta. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 2 (2), 88-98.
- Bayraktar, E. ve Efe, B. (2022). Samsun İli Yağış ve Sıcaklık Verilerinin Şen Yenilikçi Trend Yöntemi ile Trend Analizi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 34 (2), 190-197.
- Ceyhunlu, A. I. (2020). *Hidroelektrik Enerji Santrallerinde Üretilen Enerjinin Kısa ve Uzun Süreli Olarak Tahmin Edilmesi ve Taşkın Riskinin Araştırılması: Doğançay Hidroelektrik Enerji Santralleri Örneği*. (Yüksek Lisans tezi). Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya.
- Ceyhunlu, A. I. ve Aydın, F. (2020). Yenilikçi Şen Trend Yöntemi ile Sakarya'nın Meteorolojik Verilerinin Eğilim Analizi. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 5 (2), 1–7.
- Çalışkan, M. (2019). *Sakarya Havzasındaki Hidroelektrik Enerji Santrallerinin Enerji Potansiyellerinin Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile İleriye Dönük Araştırılması*. (Yüksek Lisans tezi). Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya.
- Çeribaşı, G. (2019). Şen Yöntemi ve Trend Yöntemleri Kullanılarak Doğu Karadeniz Havzasının Yağış Verilerinin Analiz Edilmesi, *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (1): 254-264.
- Çeribaşı, G. (2015). *Karadeniz ve Sakarya Havzalarında Yağış-Akış-Askıda Katı Madde Verilerinin Trend Analizi ile İncelenmesi*. (Doktora tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Çeribaşı, G. ve Doğan, E. (2015). Trend Analizi Yöntemi Kullanılarak Batı ve Doğu Karadeniz ile Sakarya Havzası Akım Miktarlarının Değerlendirilmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 7 (2), 1-12.

- Ceribası, G., Ceyhunlu, A. I., Wałęga, A., & Młyński, D. (2022). Investigation of the Effect of Climate Change on Energy Produced by Hydroelectric Power Plants (HEPPs) by Trend Analysis Method: A Case Study for Dogancay I–II HEPPs. *Energies*, 15(7), 2474.
- Çıtakoğlu, H. ve Özener, Y. (2021). Sakarya Havzası Su Kalitesi Parametrelerinin Yapay Sınır Ağları ile Modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 10-17.
- Dalkılıç, H. Y. (2019). Yağışların Trend Analizi. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 12 (3), 1537-1549.
- Duvan, A., Aktürk, G. ve Yıldız, O. (2021). Meteorolojik Kuraklığın Zamansal ve Alansal Özelliklerine İklim Değişikliğinin Etkisi, Sakarya Havzası Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 3 (2), 207-217.
- Ergüven, R. (2022). *Küresel İklim Değişikliğinin Yukarı Fırat Havzası Hidrometeorolojik Verileri Üzerine Etkisi*. (Yüksek Lisans tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Esen, F. (2021). Göynük Çayı Havzası'nın (Bingöl) Hidroklimatolojik Analizi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 31 (1), 25-40. DOI: 10.18069/firatsbed.762813
- Garip, M. (2022). *Şebekeye Bağlı Yenilenebilir Enerji Sistemi Tasarımı, Optimizasyonu, Tekno-Ekonomik ve Çevresel Etki Analizi*. (Yüksek Lisans tezi). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Gul, S. & Ren, J. (2022) Application of non-parametric innovative trend analysis of different time scale precipitation during (1951–2016) in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Acta Geophys*, 70, 485–503 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11600-021-00703-5>
- Güçlü, Y. S. (2022) Trend stability identification by three-dimensional model. *Model. Earth Syst. Environ.*, (8), 4333–4340.
- Güçlü, Y. S. (2019). İklim Değişikliğinin Anlık Yüksek Akımlara Etkisi. *Su Kaynakları*, 4 (1), 23-30.
- İlker, A. ve Terzi, Ö. (2021). Sıcaklık Verilerinin Trend Analizi: Çankırı ve Kastamonu Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9 (4), 1339-1347.
- Kahya, E. & Kalaycı, S. (2004). Trend Analysis of Streamflow in Turkey. *Journal of Hydrology*, 289 (1–4), 128–144.
- Kaş, R. (2022). *Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Bulunduğu Bir Mikroşebekede Enerji Depolama Sistemlerinin Maliyet Optimizasyonu*. (Yüksek Lisans tezi). Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Koçak, M. E. (2011). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Hidroelektrik Santraller Ve Sıraonaklar HES Projesi*. (Yüksek Lisans tezi). Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

- Moreas, K. M., Pellegrino, G. Q., Bakkester, M. V., Martinelli, L. A., Victorora, R. L. & Krusche, A. V. (1998). Trends in Hydrological Parameters of a Southern Brazilian Watershed and its Relation to Human Induced Changes. *Water Resources Management*, 12, 295–311.
- Özener, A. Y. (2019). *Çoruh Havzası'nda Akış ve Meteorolojik Parametrelerin Trend Analizi*. (Yüksek Lisans tezi). Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize.
- Rezak, S., Rahal, F. & Bahmani, A. (2023). Water quality trend analysis of Cheurfas II dam, Algeria. *Revista Facultad de Ingenieria Universidad de Antioquia*, 106, 9-24.
- Tokgöz, S. ve Partal, T. (2020). Karadeniz Bölgesinde Yıllık Yağış ve Sıcaklık Verilerinin Yenilikçi Şen ve Mann-Kendall Yöntemleri ile Trend Analizi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (2), 1107-1118.
- Toros, H. (1993). *Klimatolojik Serilerden Türkiye İkliminde Trend Analizi*. (Yüksek Lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Türkeş, M., Sümer, U. M. ve Demir, İ. (2002). Türkiye'nin günlük ortalama, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları ile sıcaklık genişliğindeki eğilimler ve değişiklikler. *Prof. Dr. Sırrı Erinç Anısına Klimatoloji Çalıştayı 2002, Bildiriler Kitabı*, 89-106. Ege Üniversitesi Coğrafya Bölümü, 11-13 Nisan 2002, İzmir.
- Umar, S., Lone, M. A., Goel, N. K. & Zakwan, M. (2022). Trend analysis of hydro-meteorological parameters in the Jhelum River basin, North Western Himalayas. *Theor Appl Climatol*, 148, 1417–1428. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04014-7>
- Üstündağ, S. (2022). *Yeşilirmak Havzasında Sıcaklık Yağış Buharlaştırma ve Akım Verilerinin Karşılaştırmalı Trend Analizi*. (Yüksek Lisans tezi). Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.
- Wang, Y., Xu, Y., Tabari, H., Wang, J., Wang, Q., Song, S. & Hu, Z. (2020). Innovative trend analysis of annual and seasonal rainfall in the Yangtze River Delta, eastern China. *Atmos Res*, 231 (3), 104673.
- Yılmaz, M. & Tosunoğlu, F. (2019). Trend assessment of annual instantaneous maximum flows in Turkey. *Hydrological Sciences Journal*. 64 (7), 820-834.
- Yükseler, U., Dursun, Ö. F. ve Alashan, S. (2021). Yağışların Mevsimsel Değişimlerinin Eğilim Analiz Yöntemleri ile Araştırılması: Bingöl İli Örneği. *El-Cezeri*, 8(1), 45-59.
- Url-1 <<https://www.milliyet.com.tr/egitim/enerji-nedir-cesitleri-nelerdir-enerji-kaynaklari-ve-kullanim-alanlari-6255866>>, erişim tarihi: 23.01.2023
- Url-2 <<https://www.iea.org/reports/turkey-2021>>, erişim tarihi: 22.01.2023
- Url-3 <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>>, erişim tarihi: 22.01.2023

Url-4 <<https://www.euas.gov.tr/santraller/sariyar-hasan-polatkan-hes>>, erişim tarihi:
20.02.2023

Url-5 <<https://www.euas.gov.tr/santraller/gokcekaya-hes>>, erişim tarihi: 20.02.2023

Url-6 <<https://kilicenerji.com.tr/yenice-baraji-ve-hes.html>>, Erişim Tarihi: 20.02.2023



EKLER

EK A. Normal Dağılım Tablosu

Tablo A.1 : Normal Dağılım Tablosu

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0108	0.0694	0.0681
1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005
3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
3.5	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
3.6	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
3.7	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
3.8	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
3.9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000