



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**KIZILIRMAK HAVZASINDA ŞİDDET- SÜRE- FREKANS
İLİŞKİLERİNİN OLUŞTURULMASINDA GENETİK
PROGRAMLAMA VE YAPAY ARI KOLONİSİ
OPTİMİZASYON TEKNİKLERİNİN
KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CİHAD ALAN

Danışman: Prof. Dr. Kadri YÜREKLİ

TOKAT - 2025

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Kadri YÜREKLİ danışmanlığında hazırlamış olduğum “Kızılırmak Havzasında Şiddet- Süre-Frekans ilişkilerinin oluşturulmasında Genetik Programlama ve Yapay Arı Kolonisi Optimizasyon tekniklerinin kullanımı” adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

29/07/2025
Cihad ALAN

JÜRİ KABUL VE ONAY

Cihad ALAN tarafından hazırlanan “**Kızılırmak Havzasında Şiddet- Süre-Frekans İlişkilerinin Oluşturulmasında Genetik Programlama ve Yapay Arı Kolonisi Optimizasyon Tekniklerinin Kullanımı**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 29/07/2025 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzası

Üye (Başkan) : Prof. Dr. Kadri YÜREKLİ

Üye : Doç Dr. Hasan Ali İRİK

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Murat CÖMERT

ONAY

....../....../2024

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdür

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana her türlü desteği sağlayan çok değerli hocam Prof. Dr. Kadri YÜREKLİ 'ye teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tezimin her aşamasında bana desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Müberra ERDOĞAN KARAAĞAÇLI 'ya ve lisansüstü eğitim sürecimdeki arkadaşım Nurcan MENEVŞE' ye teşekkürlerimi sunarım.

Her konuda bana destek olan değerli babam Mustafa ALAN ve annem Semra ALAN' a, eşim Zeynep ALAN' a ve varlıklarıyla enerji veren çocuklarım Ecem ve Enis'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ve 10 yıl gibi uzun bir zaman eğitim hayatıma ara vermeme, düzenli ve iyi bir iş hayatı kurmuş olmama rağmen tekrar okul sırasına oturup mezun olabilme fırsatını veren ve bu vesileyle çocuklarım Ecem ve Enis Alan'a da hayat boyu örnek olabilmemi sağlayan Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü ve tüm hocalarıma teşekkürlerimi bir borç bilirim. Saygılarımla.

Cihad ALAN

ÖZET

KIZILIRMAK HAVZASINDA ŞİDDET- SÜRE- FREKANS İLİŞKİLERİNİN OLUŞTURULMASINDA GENETİK PROGRAMLAMA VE YAPAY ARI KOLONİSİ OPTİMİZASYON TEKNİKLERİNİN KULLANIMI

Alan, Cihad

Yüksek Lisans, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kadri Yürekli

2025, xiii +46 sayfa

Su tüm canlıların yaşamı için vazgeçilmez olan en önemli doğal kaynaktır. Ancak sanayi devriminden sonra atmosferin doğal işleyişinin bozulma süreci 19. yy'dan sonra daha da artmış ve etkisi günümüzde belirgin şekilde hissedilmektedir. Küresel ısınmanın en önemli sonuçlarından olan su kaynaklarında meydana gelen değişimler, çevresel etkilerin yanında sürdürülebilir yaşamı tehdit eden boyutlara ulaşmıştır. Yaşanan bu olumsuz durum su ve su kaynaklarının önemini daha da arttırmaktadır. Küresel ısınmanın su kaynakları üzerindeki olumsuz etkisiyle sel, orman yangınları, kuraklık gibi birçok doğal afetin oluşma sıklığı ve şiddeti artmıştır. Ekolojik dengeyi korumak ve sürdürülebilirliği sağlamak için, su kaynaklarının en akılcı şekilde kullanılması gerekmektedir. Su kaynaklarının temel kaynağı olan yağmurun miktarı, süresi, şiddeti, alansal ve zamansal değişimi gibi özelliklerinin bilinmesi; su kaynakları, tarım, kentleşme, drenaj, taşkın kontrolü ve ulaşım gibi farklı sektörlere ait planlama, tasarım, inşaat ve işletme çalışmaları için önemlidir. Bu bağlamda gerek küresel ısınma, gerekse artan nüfusun ile su kaynakları üzerindeki baskının olumsuz etkilerinin azaltılması için, su kaynaklarının etkin kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmada hidrolik yapıların tasarımında anahtar bir rol üslenen şiddet-süre-frekans (IDF) ilişkilerinin elde edilmesinde Genetik Algoritma (GA) ve Yapay Arı Kolonisi (ABC) optimizasyon yöntemlerinin kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaçla Kızılırmak havzasında altı (Çorum, Kayseri, Nevşehir, Sinop, Sivas) yağmur istasyonuna ait 30 dakika, 1, 2, 3, 6, 12, 18 ve 24 saat süreli maksimum yağmur miktarları materyal olarak kullanılmıştır. Maksimum yağmur serilerinin en yaklaşık takip ettiği teorik olasılık dağılımların parametre tahmininde momentler, maksimum olasılık ve L-momentler yaklaşımları kullanılmıştır. Çalışmada 11 adet IDF ilişkisinin ağırlık faktörleri GA ve

ABC'ye bağlı olarak tahmin edilmiştir. Bu ilişkilerden gözlenen değerlere en yakın sonucu veren IDF ilişkisi her istasyon için belirlenmiştir. Ayrıca  alışmada Genetik Programlama (GP) yöntemi ile her bir istasyona ait hesaplanan yağmur şiddet değerleri kullanılarak yeni IDF ilişkisi de oluşturulmuştur. Geleneksel olarak IDF ilişkilerinin elde edilmesinin güçlüğü ve başarısı açısından, optimizasyon yöntemlerinin kullanımı ile daha kolay ve güvenilir tahminleri yapmak mümkün olabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Maksimum Yağmur, Olasılık Dağılım, Parametre Tahmini, Genetik Algoritma (GA), Yapay Arı Kolonisi (ABC), Genetik Programlama (GP)



ABSTRACT

USE OF GENETIC PROGRAMMING AND ARTIFICIAL COLONY OPTIMISATION TECHNIQUES TO ESTABLISH SEVERITY-DURATION- FREQUENCY RELATIONSHIPS IN THE KIZILIRMAK BASIN

Alan, Cihad

Department of Biosystem Engineering

Thesis Advisor: Prof. Dr. Kadri Yürekli

2025, xiii + 46 pages

Water is the most important natural resource indispensable for the life of all living things. However, the process of deterioration of the natural functioning of the atmosphere after the industrial revolution has increased even more after the 19th century and its effects are felt today. Changes in water resources, which are one of the most important consequences of global warming, have reached dimensions that threaten sustainable life as well as environmental impacts. This negative situation increases the importance of water and water resources even more. With the negative impact of global warming on water resources, the frequency and severity of many natural disasters such as floods, forest fires and drought have increased. In terms of protection of ecological balance and sustainability, water resources should be used in the most rational way. Knowing the characteristics of precipitation, which is the main source of water resources, such as amount, duration, intensity, spatial and temporal variation is important for planning, design, construction and operation studies of different sectors such as water resources, agriculture, urbanisation, drainage, flood control and transportation. In this context, in order to reduce the negative effects of the pressure on water resources due to global warming and increasing population, effective utilisation of water resources is mandatory.

In this study, it is aimed to use Genetic Algorithm (GA) and Artificial Bee Colony (ABC) optimisation methods to obtain intensity-duration-frequency (IDF) relations which play a key role in the design of hydraulic structures. For this purpose, the maximum rainfall amounts of six rainfall stations (Çorum, Kayseri, Nevşehir, Sinop, Sivas) in the Kızılırmak basin for 30 minutes and 1, 2, 3, 6, 12, 18 and 24 hours were used as material. Moments, maximum likelihood and L-moments approaches were used for parameter estimation of the theoretical probability distributions that the maximum

rainfall series most closely follow. In the study, the weight factors of 11 IDF relationships were estimated based on GA and ABC. Among these relationships, the IDF relationship that gives the closest result to the observed values was determined for each station. In addition, a new IDF relationship was also created by using the rainfall intensity values calculated for each station by Genetic Programming (GP) method. In terms of the difficulty and success of obtaining IDF relationships traditionally, it is possible to make easier and more reliable predictions with the use of optimisation methods.

Keywords: Maximum Rainfall, Probability Distribution, Parameter Estimation, Genetic Algorithm (GA), Artificial Bee Colony (ABC), Genetic Programming (GP)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK SÖZLEŞME.....	i
JÜRİ KABUL VE ONAY	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
SİMGE VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Çalışma Alanı	13
3.2. Maksimum Yağmurların Frekans Analizi	16
3.3. Şiddet-Süre-Frekans ilişkileri	16
3.4. IDF ilişkilerinin Optimizasyonu	17
3.4.1. Yapay arı kolonisi (ABC)	18
3.4.2. Genetik algoritma (GA)	20
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	21
4.1. Standart Süreli Maksimum Yağmur Verilerine En İyi Uyan Dağılımın Belirlenmesi	21
4.2. En İyi Uyan Dağılımlara Göre Elde Edilen Yağmur Şiddeti Değerleri	25
4.3. Genetik Algoritma ve Yapay Arı Kolonisi Yöntemlerine Göre Elde Edilen IDF İlişki Parametre ve Performans Sonuçları	27
4.4. Genetik Programlama Yöntemi İle Elde Edilen IDF İlişki Sonuçları	37

5. SONUÇLAR.....	38
6. ÖNERİLER	39
7. KAYNAKÇA	40



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Havzadaki yağmur ölçüm istasyonlarının bazı özellikleri.....	15
Çizelge 3.2. Yağmur süresi ve sıklığa dayalı ampirik ıdf eşitlikleri.....	17
Çizelge 4.1. Çorum istasyonun en uygun dağılım biçimi.....	22
Çizelge 4.2. Kayseri istasyonun en uygun dağılım biçimi.....	23
Çizelge 4.3. Nevşehir istasyonun en uygun dağılım biçimi.....	23
Çizelge 4.4. Sinop istasyonun en uygun dağılım biçimi.....	24
Çizelge 4.5. Sivas istasyonun en uygun dağılım biçimi.....	24
Çizelge 4.6. Standart zamanlardaki maksimum yağmur şiddeti.....	25
Çizelge 4.7. Çorum istasyonu GA, ABC ile tahmin edilen ıdf eşitliklerinin parametresi.....	27
Çizelge 4.8. Kayseri istasyonu GA, ABC ile tahmin edilen ıdf eşitliklerinin parametresi.....	28
Çizelge 4.9. Nevşehir istasyonu GA, ABC ile tahmin edilen ıdf eşitliklerinin parametresi.....	29.
Çizelge 4.10. Sinop istasyonu GA, ABC ile tahmin edilen ıdf eşitliklerinin parametresi.....	30
Çizelge 4.11. Sivas istasyonu GA, ABC ile tahmin edilen ıdf eşitliklerinin parametresi.....	31
Çizelge 4.12. Çorum istasyonu IDF ilişkilerine ait performans ölçüt sonuçları.....	32
Çizelge 4.13. Kayseri istasyonu IDF ilişkilerine ait performans ölçüt sonuçları.....	33
Çizelge 4.14. Nevşehir istasyonu IDF ilişkilerine ait performans ölçüt sonuçları.....	34
Çizelge 4.15. Sinop istasyonu IDF ilişkilerine ait performans ölçüt sonuçları.....	35

Çizelge 4.16. Sivas istasyonu ıdf ilişkilerine ait performans ölçüt sonuçları.....	36
Çizelge 4.17. Genetik programlama ile elde edilmiş ıdf eşitlikleri.....	37
Çizelge 4.18. Genetik programlama eşitliklerine ait parametre değerleri.....	37



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Havzadaki yağmur istasyonları.....	14
Şekil 3.2. Yıllık yağmur ortalamalarına dayalı bölgesel yağmur dağılımı.....	15
Şekil 4.1. İstasyonlara ait IDF grafi.....	26



SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
ABC	Yapay Arı Kolonisi
a,b,c,d,e,f	Ağırlık Faktörleri
t	Aylık ortalama sıcaklık
G	Enlem düzeltme katsayısı
D	Yağmur süresi (dak)
Di	İklimsel su dengesi
N	İstasyon sayısı
T	2 m yükseklikte ortalama günlük hava sıcaklığı
α	Ölçek (scale) parametresi
T	Tekrarlanma periyodu(yıl)
G	Toprak ısı akış yoğunluğu
GP	Genetik Programlama
Pi	Yağmur miktarı
I	Yağmur Şiddeti(mm/dak)
IDF	Şiddet-Süre-Frekans
EV1	Extreme Value Type 1
GAM	Gamma
GEV	Genel ekstrem değer dağılımı
GLOG	Genel lojistik dağılımı
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü
LN2	İki Parametrelili Lognormal
K-S	Kolmogorov-Smirnov
LOG	Logistik
LP-III	Log Pearson Tip 3
MLM	Maksimum Olabilirlik
Matlab	Matrix Laboratory
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
N	Normal

P	Olasılık
PDSI	Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi
P-3	Pearson Tip 3
PM	Penman-Monteith
SN	Besin Kaynaklarının Sayısı
SPEI	Standart Yağmur Evapotranspirasyon İndeksi
SPI	Standart Yağmur İndeksi
SSI	Tarımsal Kuraklık-Standart Toprak Nemi İndeksi
SSYM	Standart Zamanlardaki Maksimum Yağmur Serileri
LN3	Üç Parametrelili Lognormal
GPAR	Gauss Süreci Otoregresif Regresyon Modeli
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü

1. GİRİŞ

Su tüm canlılar için hayati öneme sahip vazgeçilmez bir doğal kaynaktır. Dünya üzerindeki tüm canlılar yaşamlarını sürdürebilmek için suya ihtiyaç duymaktadır. Su, besin maddesi olmasının yanı sıra, içinde bulunan mineraller ve bileşiklerle insan vücudundaki her çeşit biyokimyasal reaksiyonların gerçekleşmesi konusunda etkilidir. Sanayi devriminden sonra atmosferin doğal işleyişinin bozulma süreci 19. yy'dan sonra daha da artarak devam etmiş, bugün tüm küreyi etkileyen iklim değişikliği tehdidi altında kalmıştır (Öztürk, 2002; Akın ve Akın, 2007). Küresel ısınma diğer bir deyişle iklim değişikliğinin en önemli sonuçlarından olan su kaynaklarında meydana gelen değişimler, çevresel etkilerin yanında sürdürülebilir yaşamı tehdit eden boyutlara ulaşmıştır. Yaşanan bu olumsuz durum su ve su kaynaklarının önemini daha da arttırmaktadır. Küresel ısınma sadece su kaynakları üzerinde olumsuz etkiye neden olmakla kalmayıp taşkın, sel, orman yangınları, kuraklık gibi birçok doğal afetin oluşmasında etkin rol oynamaktadır. Ekolojik dengenin korunması ve insan topluluklarının sürdürülebilir gelişiminin sağlanması için, su kaynaklarının bugün ve gelecekteki gereksinimleri karşılayabilecek en akılcı şekilde kullanılması gerekmektedir (Karaman ve Gökalp, 2010). Su kaynaklarının temel kaynağı olan yağmur miktarı, süresi, şiddeti, alansal ve zamansal değişimi gibi özelliklerinin bilinmesi; su kaynakları, tarım, kentleşme, drenaj, taşkın kontrolü ve ulaşım gibi farklı sektörlerle ait planlama, tasarım, inşaat ve işletme çalışmaları için gereklidir (Karahana ve Özkan, 2013). Bu nedenle küresel ısınmaya bağlı olarak görülen iklim değişikliği sonucu su potansiyelinde meydana gelen değişim ile birlikte artan nüfusun su talebinin karşılanması, su kaynaklarının etkin kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Küresel ısınma tehdidi ve artan nüfusun su kaynakları üzerindeki baskının en aza indirilmesi ve bu kaynaklardan etkin bir şekilde yararlanılması onları besleyen yağmurların miktar, süre ve frekansları ile ilgili özelliklerin doğru olarak belirlenmesi ve bu parametrelere ait ilişkilerin doğru olarak oluşturulmasıyla mümkün olabilmektedir. Bu amaçla yağmur verilerinin amaca uygun şekilde ölçülmesi ve onların doğru analizi ve geleceğe dair tahminlerinin güvenilir olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda herhangi bir yerde bir hidrolik yapının tasarlanmasında gerekli proje değerlerinin tahmininde yağmur şiddetinin, yağmur süresi ve tekrarlanma süresi (frekansı) ile ilişkisinin tanımlanması gerekmektedir. Bu ise istatistiksel

yaklaşımlar ile gerçekleştirilmektedir. Hidrolojik olaylar birçok faktörün etkisi altında olduğundan onların gelecekteki miktarlarının ne olacağı ancak istatistiksel yaklaşımlar ile kestirilmektedir. Anlı (2009) hidrolojide istatistiksel yaklaşımların incelenecek gözlemlerin yorumlanabilmesi, gözlenen olayların karakteristiklerinin belirlenmesi ve onların gelecekteki durumları hakkında tahminler yapılabilmesi açısından önemli olduğunu vurgulamıştır.

Yağmurların şiddet-süre-tekerrür analizlerinin yapılması ve onlar arasında ilişkinin kurulması için standart zamanlardaki maksimum yağmur serileri (SSYM) gereklidir. Ülkemizde bu seriler ile ilgili bilgilere Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (MGM) ulaşılabilmektedir. MGM her yıl için plüviyograf kaydı bulunan istasyonlardan, standart zaman olarak belirtilen zamanlar için (30 dakika, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 18 ve 24 saat) yağmur miktarlarını belirlemektedir. Hidrolik yapıların tasarımında referans bir araç olan şiddet-süre-frekans (IDF) eğrilerinin oluşturulması için SSYM verilerinin frekans dağılımları yapılmalıdır. Bu amaçla veriye en uygun dağılımın belirlenmesi planlanması düşünülen hidrolik yapının ekonomik ömrü boyunca kendinden beklenen faydayı sağlaması açısından önemlidir (Dupont and Allen 2000). Ülkemizde standart süreli yağmurlara en iyi uyan dağılımın saptanmasıyla ilgili çalışmaların sınırlı olduğu, daha çok SSMY eğilimlerinin araştırıldığı çalışmalar yoğun olarak yapılmıştır.

Bu çalışma iki amaç üzerine kurgulanmıştır. İlk gayret, materyal olarak seçilen Kızılırmak havzası üzerinde bulunan Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilen 5 meteoroloji istasyonuna (Çorum, Kayseri, Nevşehir, Sinop, Sivas) ait standart süreli yağmurlaralara en iyi uyan dağılımın belirlenmesi ve bu dağılımlara ait parametrelerin saptanmasıdır. İkinci hedef ise her bir istasyon için farklı süre ve tekrarlama periyotlarına ait şiddet değerlerinin ampirik eşitliklerle tespit edilmesi ve daha sonra GP ve ABC yaklaşımlarıyla istasyonları temsil edecek yeni IDF eşitliklerinin elde edilmesidir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Koutsoyiannis ve ark. (1998) de şiddet-süre-frekans (IDF) ilişkisini yağmurun şiddeti, süresi ve tekrarlanma süreleri arasında kurulan matematiksel bir ilişki olduğunu, su kaynakları mühendisliğinde yaygın olarak referans alınan önemli bir araç olduğunu vurgulamıştır. IDF eğrilerini oluşturmak için öncelikle, her hangi bir noktasal yada bölgesel yağmur süresi belli olan veriye en iyi uyan teorik dağılım belirlenir ve bu olasılık dağılımdan geri dönüş periyotları belirlenmektedir (Cheng and Aghakouchak, 2014; Tfwala ve ark., 2017).

IDF ilişkileri ilk olarak Sherman(1931) ve Bernard (1932) tarafından ortaya atılmıştır. Ülkemizde standart zamanlardaki yağmur derinliklerinin frekans analizi ile ilgili çalışma ilk olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 1969 yılında yapılmıştır (Çölaşan, 1969). Daha sonra Devlet Su İşleri tarafından 497 yağmur istasyonunun standart zamanlardaki yağmur miktarları kullanılarak maksimum yağmurların frekans atlası oluşturulmuştur (Anonim, 1970). Türkiye için standart zamanlardaki maksimum yağmurlar ile ilgili frekans analizleri ve IDF ilişkilerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar daha çok 2000’li yıllardan sonra artış göstermiştir..

Seçkin ve Yurtal (2008) ve Seçkin (2009) hidrolik yapıların proje kriterleri belirlenirken yaygın olarak 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 ve 1000 yıl tekrarlanma sürelerinin kullanıldığını belirtmişlerdir. Kentsel alanlarda planlanması düşünülen drenaj kanal için 2 ve 5 yıl tekrarlanma sürelerinde meydana gelmesi muhtemel maksimum yağmur miktarına ihtiyaç duyulurken, erozyon ve sediment kontrol yapıları için 25 yıl tekrarlanma süresine, baraj ve gölet için 100 yıl, dolusavak projelenirken 1000 ve 10000 yıl da gelmesi muhtemel yağmur yada akım miktarına ihtiyaç duyulduğunu bildirmişlerdir.

Yürekli ve ark. (2011) hidrolik yapıların planlanma aşamasında frekans analizleri ile belirlenen tasarım değerlerinin güvenilir olarak elde edilmesi, hidrolik yapının kendinden beklenen işlevi öngörülen ekonomik ömrü boyunca yerine getirebilmesi yanında yapının ekonomik olarak inşası bağlamında da önemli olduğunu bildirmiştir. Tasarım değerinin olması gerekenden daha büyük olarak tahmini yapının maliyetini artırırken, küçük bir değer olarak belirlenmesi durumunda ise can ve mal kaybına neden olunacağı belirtilmiştir.

Frekans analizlerinde kullanılacak verinin gözlem süresi, homojenliği, rasgele seçilmiş olmaları ve sürekliliği gibi şartlarının yerine getirilmesi hidrolik yapılar için tahmin edilecek tasarım değerinin güvenilir olmasında etkindir. Diğer taraftan amaca uygun olduğuna karar verilen veri dizilerine en iyi uyum sağlayan teorik olasılık dağılımının belirmesi yanında göz önüne alınan aday olasılık dağılımların parametrelerini tahmin yöntemlerinin de tasarım değerlerinin güvenilir olarak belirlenmesinde önemli olmaktadır (Singh, 1992; Anlı, 2006; Hosking ve Wallis, 1993).

Yavuz (2018) 1975–2010 yılları arasında Türkiye'deki yedi iklim bölgesindeki 22 meteoroloji istasyonundan alınan süresi 30 dakikadan 24 saate kadar değişen standart zamanlardaki maksimum yağmur serilerine en iyi uyumu sağlayan teorik dağılımı Kolmogorov-Smirnov, Ki-kare ve Olasılık Pozisyonu Korelasyon Katsayısı testlerine göre belirlemiştir. İç Anadolu ve Akdeniz bölgeleri için parametreleri olasılık ağırlıklı momentler yöntemiyle hesaplanan Genelleştirilmiş Ekstrem Değer Dağılımı, Güneydoğu Anadolu ve Marmara Bölgeleri için ise parametreleri momentler yöntemiyle tahmin edilen, Pearson 3 dağılımı en iyi uyumu göstermiştir. Diğer taraftan Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgeleri için sırasıyla, parametreleri olasılık ağırlıklı momentler yöntemiyle tahmin edilen üç parametrelili Log-Normal ve Gumbel dağılımları, Ege Bölgesi için ise parametreleri Momentler Yöntemi ile hesaplanan Genelleştirilmiş Ekstrem Değer Dağılımının en iyi sonucu verdiği belirtilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında standart zamanlardaki yağmurların frekans analiz sonuçlarına bağlı olarak şiddet-süre –frekans ilişkileri kurulmuş, bu ilişkilere ait parametreler excel-çözücü ile belirlenmiştir.

Değer (2019) 13 meteoroloji istasyonundan 5, 10, 15, 30 dakikalık ve 1, 2, 3, 6, 12 ve 24 saatlik maksimum yağmur verilerini kullanarak yağmur şiddet-süre-frekans eğrilerinin oluşturmuştur. Bu amaç için Gumbel, Normal, Log-Normal ve Pearson Tip 3 dağılımlarını kullanmıştır. Veriye en uygun dağılımı Kolmogorov-Smirnov yaklaşımıyla belirlenmiştir.

Karahan ve ark. (2008) GAP bölgesinde bulunan Adıyaman, Diyarbakır, Gaziantep ve Şanlıurfa'daki meteoroloji istasyonlarından alınan 5, 10, 15, 30 dakikalık ve 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 18 ve 24 saatlik maksimum yağmur verilerine, göz önüne aldıkları teorik olasılık dağılımlar arasından en iyi uyumu Genelleştirilmiş Ekstrem Değer dağılımının

gösterdiğini belirtmişlerdir. Çalışmada altı adet ilişkiyi kullanılmıştır. Genetik algoritma yaklaşımıyla her bir il için en iyi sonucu veren ilişkinin parametreleri belirlenmiştir. Böylece her ili temsil edecek yeni IDF ilişkisi elde etmişlerdir.

Şenocak (2004) 1938-2000 yılları arasında yirmi dört meteoroloji istasyonundan alınan 5, 10, 15, 30 dakika ve 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 24 saatlik standart süreli maksimum yağmur miktarlarının en uygun teorik dağılımları ve şiddet-süre-frekans eşitliklerini belirlemiştir. Çalışmada Genel Ekstrem Değer, Gumbel, Normal, Log-Normal, Üç Parametrelili Log-Normal, Gamma, Pearson 3 ve Log-Pearson 3 dağılımları tercih edilmiştir. Farklı standart süreli yağmur serileri için en uygun olasılık dağılımların değiştiğini bildirmiştir.

Karahan ve Özkan (2013) Ege bölgesinin il ve ilçelerinde 1929-2005 yıllarını kapsayan standart süreli yağmurlara en iyi uyumu sağlayan teorik dağılımı belirlemişlerdir. Göz önüne aldıkları dağılımlardan veriye en iyi uyumu sağlayan olasılık dağılımı belilerken Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling ve Ki-Kare dağılım uygunluk testlerini kullanmışlardır. Anderson-Darling testine göre serilerin tamamına yakını Genelleştirilmiş Ektrem Değer dağılımına en iyi uyumu göstermiştir. Kolmogorov-Smirnov ve Ki-Kare dağılım uygunluk testlerine göre ise kısa, orta ve uzun süreli gözlem serilerinin Genelleştirilmiş Ektrem Değer, Gamma ve Log-Normal dağılımlara uyum gösterdiğini belirtmişlerdir. Standart zamanlardaki her bir yağmur verisine en iyi uyumu sağlayan teorik dağılımların parametrelerini maksimum olabilirlik, olasılık-ağırlıklı momentler, L-momentler ve en küçük kareler yöntemleri kullanılarak saptanmıştır.

Göktürk (2018) frekans analizlerine bağlı olarak güvenilir tahminlerin yapılması için üzerinde çalışılan veriye en yaklaşık uyan teorik olasılık dağılım biçiminin belirlenmesi gerektiğini bildirmiştir. Çalışmasında gözlem süresi en az 30 yıl olan 37 yağmur istasyonundan alınan standart zamanlardaki maksimum yağmur serilerinin farklı teorik olasılık dağılım biçimlerine uygunluğu FRANMOD modeliyle araştırmıştır. Yağmur serilerinin en iyi uyum sağladığı teorik dağılımın 5 parametrelili Wakaby dağılımı olduğu, daha sonra üç parametrelili Beta dağılımı, üçüncü olarak da Genelleştirilmiş Logistik dağılımının veriye en iyi uyumu sağladığını belirtmiştir.

Örgün (2015) Türkiye'deki 242 yağmur istasyonundan elde edilen 5, 15 ve 30 dakika, 1, 3, 6, 12 ve 24 saat süreli maksimum yağmur serilerinin frekans analizini Log-Normal, Gumbel ve Log-Pearson 3 teorik olasılık dağılımlara uygunluğunu araştırmıştır. Log-Pearson 3 dağılımın yağmur verilerine daha iyi uyum sağladığını belirtmiştir. Seçilen bu dağılıma bağlı olarak belli süreli ve tekerrürlü yağmur şiddeti tahminleri yapmıştır. Literatürde yaygın olarak kullanılan dokuz adet şiddet-süre-frekans (tekerrür) ilişkisinin parametrelerini belirlemiş ve hesaplanan yağmur şiddeti değerlerine yakın sonuç üreten şiddet-süre-frekans ilişkisini başarılı olarak belirlemiştir.

Değer ve ark.(2019 yağmurun süresi, şiddeti ve frekansı arasındaki ilişkiyi gösteren şiddet-süre-tekerrür eğrilerinin, hidrolik yapıların tasarımında kullanıldığını, bu nedenle bu eğrilerin güvenilir veri elde edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Küresel iklim değişikliğinin yağmurun şiddet, süre ve frekans karakteristiklerini değiştirdiği belirtilmiştir. Bu nedenle su ile ilgili yapıların projelerinde şiddet-süre-tekerrür eğrilerinin sürekli olarak kullanılması ve yağmur karakteristiklerinin incelenerek güncellenmesi, güvenli ve ekonomik hidrolik yapıların inşasındaki riski azaltmak veya ortadan kaldırmak için bir zorunluluk olduğu bildirilmiştir. Çalışmalarını Adana, Hatay, Osmaniye ve Kahramanmaraş illerindeki meteoroloji istasyonlarından alınan 5, 10, 15, 30 dakika ve 1, 2, 3, 6, 12, 24 saatlik yağmur süreleri için şiddet-süre-tekerrür eğrilerini elde etmek için kurgulamışlardır. Bu amaçla Gumbel ve Log-Pearson Tip 3 teorik dağılımlarını kullanmışlardır.

Değer ve ark.(2022) Gaziantep ili merkez meteoroloji istasyonundan alınan 5, 10, 15, 30, 60, 120, 180, 360, 720 ve 1440 dakikalık maksimum yağmur serileri şiddet-süre-frekans eğrilerini oluşturmak amacıyla Normal, Log-Normal, üç parametrelili Log-Normal, Gumbel Weibull ve Log-Pearson 3 teorik olasılık dağılımları kullanmıştır. Bu dağılımlar arasında veriye en iyi uyum sağlayan teorik dağılım Ki-kare testiyle belirlenmiştir. 5, 10, 15 ve 180 dakikalık yağmur serilerinin üç parametrelili Log-Normal dağılıma, 30, 60, 120, ve 360 dakikalık yağmur serilerinin Log-Pearson 3 dağılımına, 720 dakikalık yağmur serisinin Weibull dağılımına, 1440 dakikalık yağmur serisinin ise Log-Normal dağılıma en iyi uyumu sağladığı tesbit edilmiştir.

Kişİ ve ark. (2001), Antalya ilinin 1956'dan 1995'e kadarki 24 saatlik maksimum yağmur miktarlarına en iyi uyum gösteren teorik olasılık dağılımı belirlemek için, Üç

Parametrelı Log-Normal, Gumbel, Genel Ekstrem Değer, Log-Logistic, Pearson 3 ve Log-Pearson 3 dağılımları kullanmışlardır. Parametre tahmininde momentler, maksimum olabilirlik ve olsılık ağırlıklı momentler yöntemini tercih etmişlerdir. zerinde çalıştıkları veriye en uygun dağılımların Log-Normal, Genel Ekstrem Değer ve Log-Pearson 3 dağılımları olduğunu belirlemişlerdir.

şenocak ve Acar (2007) Erzurum ili için yağmur şiddeti-süre-tekerrür (IDF) denklemi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bu alışma kapsamında 5, 10, 15, 30 ve 60 dakikalık yıllık maksimum yağmurlara en iyi uyumu sağlayan teorik olasılık dağılımları (Genelleştirilmiş Ekstrem Değerler, Gumbel, Normal, Log-Normal,  parametrelı Log-Normal, Gamma, Pearson tip 3 ve Log-Pearson tip 3) Ki-kare testiyle belirlemiştir. IDF ilişkilerinin sabitleri doğrusal olmayan tahmin yaklaşımıyla saptanmıştır.

Haktanır (2009) Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından işletilen 253 istasyondan alınan standart zamanlardaki maksimum yağmur derinliklerinin oluşturduğu serilerin frekans analizini yapmak için beş farklı teorik olasılık dağılım modeli kullanılmıştır. Bu dağılımlar arasından en uygun olanının seçiminde Ki-Kare, Kolmogorov-Smirnov ve Olasılık Pozisyonu Korelasyon Katsayısı testleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda maksimum yağmur serilerinin ağırlıklı olarak Genel Ekstrem Değerler olasılık dağılımını takip ettiği ifade edilmiştir.

Atar (1996) Doğu Akdeniz bölgesindeki meteoroloji istasyonlarından elde edilen 1 ve 24 saat süreli maksimum yağmur derinliklerinin en yakın takip ettiği teorik olasılık dağılımı belirlemek amacıyla öncelikle verilerin trendini, homojenliğini ve bağımsızlığını analiz etmiştir. Çalışmada göz önüne alınan verilerin en iyi uyumu gösterdiği teorik olasılık dağılımların, Gumbel, iki parametrelı Log-Normal ve Genelleştirilmiş Ekstrem Değerler olduğu belirlenmiştir.

Lopu (2007) İzmir ve Uşak meteoroloji istasyonundan alınan standart zamanlardaki maksimum yağmurların frekans analizini yaptığı çalışmada İzmir istasyonu için Gumbel ve Log-Normal, Uşak istasyonu için Gumbel dağılımlarını en iyi uyum sağlayan teorik olasılık dağılımlar olarak belirlemiştir.

Yüksek ve ark. (2009) Doğu Karadeniz'deki dokuz meteoroloji istasyonundan alınan 15 dakika, 1, 3, 12 ve 24 saat süreli maksimum yağmur miktarlarına  teorik olasılık

dağılım modeli (Gumbel, Log-Normal ve Log-Pearson 3) arasından en iyi uyumu sağlayan dağılımı Ki-Kare ve Olasılık Çizgisi Korelasyon testleri ile belirlemiştir. Maksimum yağmur serilerinin en iyi şekilde Log-Pearson 3 dağılımını takip ettiği belirlenmiştir.

Yüksek ve ark. (2016) 242 meteoroloji istasyonundan alınan 5, 15 ve 30 dakika, 1, 3, 6, 12 ve 24 saat süreli maksimum yağmur miktarlarının frekans analizi için, Gumbel, Log-Normal ve Log-Pearson 3 dağılımlarını kullanmışlar ve bunlar arasında en uygun dağılımı Ki-Kare ve Olasılık Çizgisi Korelasyon testleri ile belirlemiştir. Yağmur verileri için çoğunlukla Log-Pearson 3 dağılımının en iyi uyumu sağladığını bildirmişlerdir.

Hadi ve Tombul (2016) Hopa meteoroloji istasyonundan 1965-2015 yıllarını kapsayan dönem için alınan 5, 10, 15, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 480, 720, 1080, 1440 dakikalık maksimum yağmur serileri kullanılarak IDF eğrileri oluşturulmuştur. Bu amaçla altı teorik olasılık dağılımını (üç parametrelili Weibull, Normal, üç parametrelili Log-Normal, Log-Pearson 3, Gumbel ve üç parametrelili Log-Logistic) kullanılmıştır. Bu dağılımlar arasında veriye en uygun dağılımı üç istatistik yaklaşıma bağlı olarak belirlenmiştir. Çalışmada Gumbel dağılımı veriye en uygun teorik dağılım olarak belirlenmiştir.

Zeybekoğlu ve Karahan (2017) gözlem süresi 20 yıldan fazla olan Türkiye'deki 207 gözlem istasyonuna ait standart süreli yağmur şiddeti verilerinin eğilimlerini incelemiştir. Eğilimleri tespit etmek için Mann Kendall ve Spearman'ın Rho testlerini, baskınlık belirlemede ise Yenilikçi Eğilim Çözümlemesi yöntemini kullanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yağmur şiddetlerinin eğiliminin her iki teste göre % 9 arttığı %3 azalma eğilimi gösterdiği ifade edilmiştir.

Şen ve Aksu (2021) İstanbul ve çevresinde bulunan 7 istasyona ait standart süreli maksimum yağmurların eğilim analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 6 istasyonda önemli artma eğilimi tespit edildiği ifade edilmiştir.

Aksu ve ark., (2022) Karadeniz bölgesinde bulunan 21 meteoroloji istasyonuna ait standart süreli maksimum yağmurların zamansal ve mekânsal analizini yaptıkları çalışmada verilerin aykırı değerler içermediği, yalnızca 3 istasyon dışında tüm

istasyonların homojen olmadığı, Mann-Kendall test sonucuna göre maksimum yağmurların artan eğilime sahip olduğu ifade edilmiştir.

Aşıkoğlu (1997) Ege bölgesindeki 23 meteoroloji istasyonundan alınan standart zamanlardaki yağmur miktarlarına Gumbel ve Log-Normal dağılımları uygulamış ve Log-Normal dağılıma göre IDF ilişkisi oluşturmuştur.

Benzeden ve Bükey (2001) Ege Bölgesinde bulunan istasyonlar için Anonim (1970)'de hesaplanmış standart zamanlardaki belli tekrarlanma süreli maksimum yağmur miktarları için üç ve dört parametrelili IDF ilişkilerinin uygunluğunu araştırmış ve göz önüne aldığı istasyonlara en uygun olanı IDF ilişkisini belirlemiştir.

Güçlü ve Şişman (2013) İstanbul Sarıyer istasyonundan alınan verilere, Gamma, Weibull, Gumbel ve Log-Normal teorik olasılık dağılımları kullanarak IDF eğrilerini çizmiş ve karşılaştırmıştır. Gamma dağılımına göre oluşturulan IDF eğrilerinin diğerlerine göre daha uygun olduğu belirtilmiştir.

Yılmaz (2013) Avustralya Melbourne şehrindeki meteoroloji istasyonundan 1880-2010 yıllarını kapsayan dönem için alınan 6, 12, 18 ve 30 dakika, 1, 2, 3, 6, 12, 24, 48 ve 72 saat süreli ekstrem yağmur miktarlarının IDF eğrilerindeki değişimi belirlemek amacıyla gözlem süresini 30 yıllık dört döneme ayırmış ve her dönem için IDF eğrilerinin oluşturulmasında Genelleştirilmiş Ekstrem Değer dağılımını kullanmıştır. Yapılan analiz sonucunda ilk ve son 30 yıllık dönem için edinilen eğrilerde önemli farklar bulunmuştur.

Aşıkoğlu (2005) standart süreli maksimum yağmurların ortalama ve standart sapmalarının yağmur süresi doğrusal biçimde değişme özelliğini istatistiksel olarak sağlayan ve olasılık dağılım türü yağmurun süresiyle değişmeyen şiddet-süre-tekerrür modellerini araştırmak amacıyla İzmir Meteoroloji istasyonundan alınan standart süreli maksimum yağmurları kullanmıştır. Bu amaç için uygun teorik olasılık dağılım modellerinin Log-Normal ve Gumbel dağılımları olduğuna karar vermiştir. Standart süreli maksimum yağmurların derinliklerinin ve yağmur şiddetlerinin örnek istatistiklerinin (ortalama, standart sapma, değişkenlik katsayısı ve logaritmik ortalama) yağmurun süresi ile doğrusal değişimini tanımlayan en uygun ölçeklendirme fonksiyonlarını tanımlanmıştır.

Benzeden ve Hacısüleyman (2003) yıllık maksimum yağmur miktarlarının ortalama ve standart sapma parametrelerinin yağmur süresinin düzgün bir fonksiyonu şeklinde değiştiğini belirtmiştir . Bu fonksiyonel ilişkiden kaynaklanan sapmaların, verinin azlığı ve örnekleme hatalarından kaynaklanabileceğini ifade etmiştir. Batı ve Orta Anadolu da bulunan 11 meteoroloji istasyonundan alınan standart süreli maksimum yağmur miktarlarının ortalama ve standart sapma değerlerinin, yağmur süreleri ile düzenli bir fonksiyon oluşturduğunu tespit etmiştir .

Literatürde yaygın olarak kullanılan IDF ilişkilerinin ağırlık faktörleri, matematiksel dönüşümler yanında istatistiksel yaklaşımlarla da tahmin edilmektedir . Ancak bu şekildeki uygulamalar zaman alıcı olmaları yanında çok fazla hesaplama ve deneme yanılma işlemi gerektirmektedir. Son yıllarda ise ağırlık faktörlerinin hesaplanmasında optimizasyon teknikleri yoğun ilgi görmektedir (Karahan ve ark., 2007; Karahan, 2010)

Haktanir ve ark.(2016) bölgesel L-moment yaklaşımını, 5, 10, 15, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 480, 720, 1080 ve 1440 dakikalık standart sürelerle sahip 14 adet yıllık maksimum yağmur serilerine uygulamıştır. Çalışma sonucunda bölgesel dağılımlar olarak 120 dakikadan 1440 dakikaya kadar olan standart süreli maksimum yağmur miktarları için Genelleştirilmiş Logistik, 30 ve 60 dakika için Genelleştirilmiş Ekstrem Değer, 10 ve 15 dakika için Genelleştirilmiş Normal ve 5 dakika için Pearson 3 dağılımları belirlenmiştir.

Erdoğan (2020) Fırat-Dicle havzasındaki 18 istasyondan elde ettiği 5, 15 ve 30 dakika ve 1, 2, 3, 6, 12 ve 24 saat süreli yağmurları kullanarak L-momentler yaklaşımıyla bölgesel frekans analizi yapmıştır. 5, 15 ve 30 dakika 1, 6, 12 ve 24 saat süreli maksimum yağmurlar için havza tek bölge olarak homojen kabul edilmiş, 2 ve 3 saat süreli maksimum yağmurlar için havza iki alt bölgeye ayrılarak homojenlik sağlanmıştır. Her süreli yağmur serisi için homojen bölgelere ait bölgesel teorik olasılık dağılım tanımlanmıştır. Seçilen bölgesel frekans dağılımına göre farklı tekrarlanma periyotlarına göre yağmur şiddetleri belirlenerek Genetik programlama ile her bölgeyi temsil edecek IDF ilişkileri geliştirilmiştir.

Eryiğit (2012) şiddet-süre-frekans ilişkilerinin ağırlık faktörlerini yapay bağışıklık sistemi algoritması ile tahmin etmiştir. Bu amaçla Ege Bölgesindeki 35 istasyondan

alınan yağmur verilerini kullanmış ve yapay bağışıklık sistemi algoritmasının başarılı sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Hinis ve ark.(2024) IDF ilişkilerinin kurulmasında, parçacık sürü optimizasyonu, yapay arı kolonisi, genetik algoritma, akış yönü algoritması, genetik programlama ve çok genli genetik programlama yaklaşımlarını Fırat-Dicle havzası için kullanmıştır. Çalışmada en başarılı sonuçların genetik programlama ve çok genli genetik programlama ile elde edildiği belirtilmiştir.

Başakın ve ark. (2021) Kayseri ili meteoroloji istasyonundan alınan standart zamanlardaki maksimum yağmur miktarlarını kullanarak genetik programlama tekniği ile IDF ilişkisi geliştirmiştir. Geliştirilen bu ilişkinin performansı Nevşehir, Niğde ve Yozgat illeri için test edilmiştir. Ayrıca, geliştirilen ilişkinin sonuçları, ampirik bir IDF ilişkisinin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu ampirik IDF ilişkisinin ağırlık faktörleri ise parçacık sürü optimizasyonu ile tahmin edilmiştir.

Citakoğlu ve Demir (2023) Türkiye'nin yedi bölgesi için literatürde yaygın olarak kullanılan IDF ilişkilerini Parçacık Sürü Optimizasyon (PSO) ve Genetik Algoritma (GA) teknikleriyle kalibre edilip sonuçları karşılaştırmıştır. Daha sonra Çok Genli Genetik Programlama (MGGP) ile yeni bölgesel IDF ilişkisi geliştirilmiştir. PSO, GA ve MGGP ile elde edilen ilişkilerin daha başarılı olduğu bildirilmiştir.

Görkemli ve ark. (2022) İç Anadolu bölgesi için literatürde yaygın olarak kullanılan ampirik IDF ilişkilerinin performanslarıyla Yapay Arı Kolonisi (ABC) yaklaşımıyla elde edilen ilişkilerin performansını karşılaştırmıştır. ABC yaklaşımının IDF ilişkisini daha başarılı şekilde tanımladığı bildirilmiştir.

Rasel and Islam (2015) Bangladeş'in Kuzeybatı bölgesi için IDF ilişkisini geliştirmek için iki yaygın frekans analiz tekniği olan Gumbel ve Log-Pearson 3 dağılımını kullanmıştır. Gumbel dağılımının veriyi daha iyi temsil ettiğini belirtmiştir. İncelenen IDF ilişkisinin parametreleri ise doğrusal olmayan çoklu regresyon modeliyle belirlenmiştir.

Elsebaie (2012) Gumbel ve Log-Pearson 3 teorik olasılık dağılımlarını kullanarak yağmur şiddetini tahmin etmek amacıyla bir IDF ilişkisi oluşturmuş, bu ilişkinin parametreleri ise doğrusal olmayan çoklu regresyon modeliyle elde edilmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

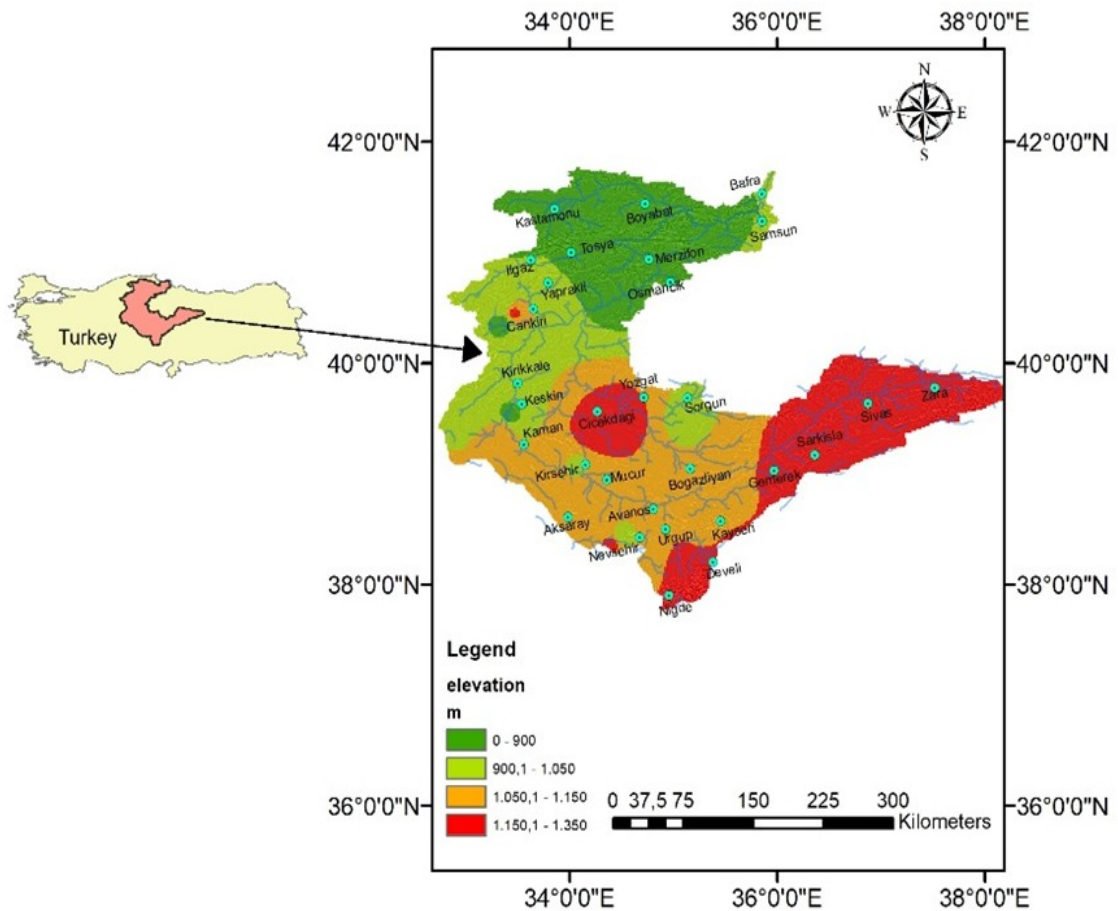
3.1. Çalışma Alanı

Türkiye'nin en uzun nehri olan 1151 km uzunluğundaki Kızılırmak Nehri, 78 647 km²'lik alanıyla Fırat-Dicle havzasından sonra Türkiye'nin ikinci büyük havzası olma özelliğini taşımaktadır. Türkiye yüzeyinin yaklaşık %11'ine denk gelen drenaj alanı Orta Anadolu Bölgesi ve Orta Karadeniz Bölgesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Havza 11 ilin yüzey alanını kısmen veya tamamen kaplamaktadır (Şekil 3.1). Bu iller arasında sanayi ve nüfus yoğunluğunun en yüksek olduğu şehir Kayseri'dir. Havzanın yıllık ortalama yağmur yaklaşık 445 mm'dir ve ortalama akış miktarı 164.15 m³/s civarındadır. Kızılırmak Nehri, İç Anadolu Bölgesi'nin doğusunda Sivas ili sınırları içerisinde yer alan Kızıldağ'ın güney yamaçlarından doğar, akışını öncelikle batı ve güneybatı yönünde sürdürür, daha sonra yay şeklini alarak Karadeniz yönünde akar. Nehir sonunda Karadeniz'e dökülür. Havzanın tamamında karasal iklim hakimken, kuzey kesiminde Karadeniz iklimi hakimdir. Havzanın orta kesimi topografik olarak daha düz bir yapıya sahiptir ve bu kesim aynı zamanda en az yağmurun düştüğü bölgedir. Bu bölgeye düşen yıllık yağmur miktarı 300-400 mm civarındadır. Havzada bulunan istasyonlara ait yıllık ortalama yağmur miktarlarına göre yağmurun bölgesel dağılımı Şekil 3.2'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi yağmurlar bölgesel olarak oldukça farklı dağılmıştır. Havzanın tamamında tahıl ekimi yoğun olup şeker pancarı, patates, soğan, sarımsak, mercimek, fiğ, yonca, tütün, meyve ve mısır yetiştirilmektedir (Ayaz vd. 2010; Köse vd. 2011; Bahadır 2011). Havzanın ortalama sıcaklığı 13,7 °C iken, yıllık yağmur miktarı 300 ile 800 mm arasında değişmektedir. yağmur ve kar sularıyla beslenen nehrin düzensiz bir rejimi vardır. Su rejimi en yüksek seviyesine Nisan ayında ulaşırken, Temmuz ile Şubat ayları arasında en düşük su seviyesinde akmaktadır. Nehir üzerinde 15 adet baraj bulunmaktadır. Kızılırmak Nehri'nden Ankara'ya içme ve kullanma suyu sağlamak amacıyla yapılan proje ile yılda 500 milyon m³ su sağlanmaktadır (Cakmak vd. 2007).

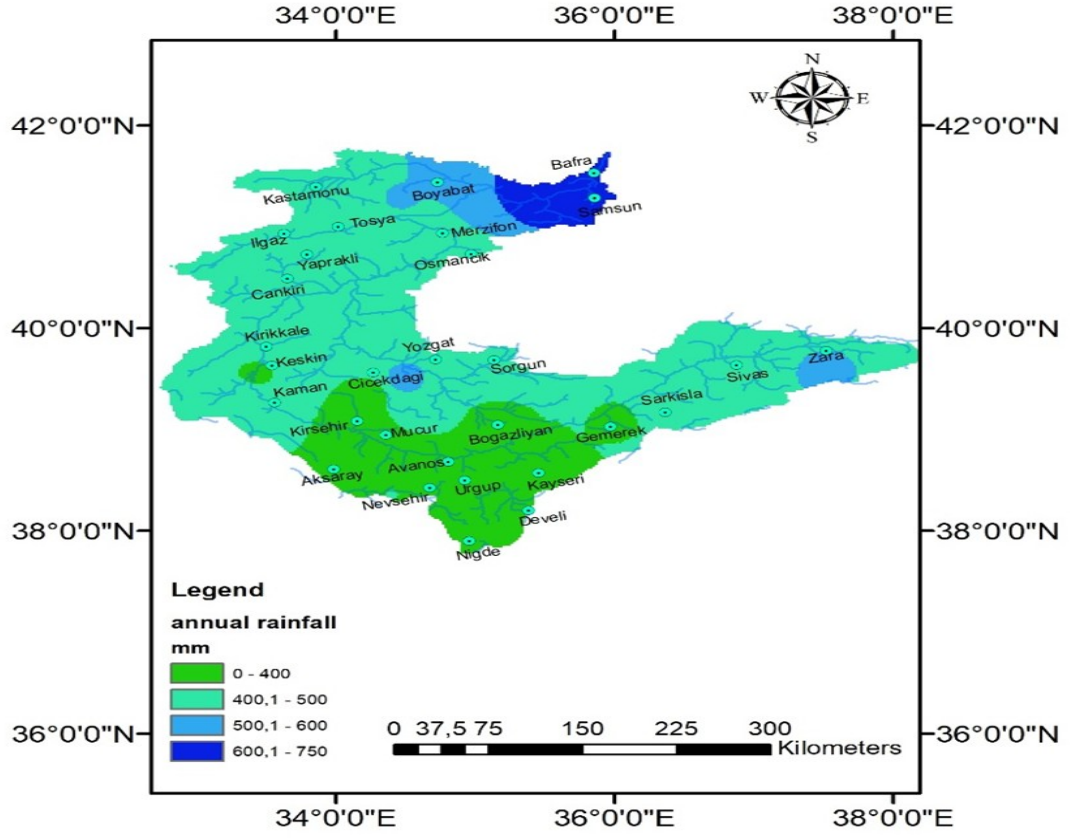
Çalışma alanında 100 adet yağmur ölçüm istasyonu tespit edilmiş olmasına rağmen, bu istasyonların 70 tanesinin yağmur gözlem periyotları analiz için yeterli değildir ve ayrıca bazı istasyonlarda çok sayıda yağmur verisi eksiktir (Yurekli, 2021). Bu amaçla çalışmada beklenen hedefe ulaşmak için sürekli gözlem periyodu 30 yıl ve üzeri olan

plüviyograf kaydı bulunan beş meteoroloji istasyonu (Çorum, Kayseri, Nevşehir, Sivas, Sinop) seçilmiştir. Mckee ve diğerleri (1993) analiz için en az 30 yıllık bir yağmur serisi önermiştir. Haktanir ve ark.(2016) da yaptıkları çalışmada en az 30 yıllık kaydı bulunan plüviyografli meteoroloji istasyonlarını kullanmışlardır. Bu istasyonlarla ilgili bazı özellikler Çizelge 3.1'de mevcuttur.

Standart zamanlardaki maksimum yağmur derinliklerine bağlı olarak frekans analizlerini yapmak ve çalışmada göz önüne alınan amprik IDF ilişkilerinin ağırlık faktörlerini Genetik Algoritma (GA) ve Yapay Arı Kolonisi ile belirlemek amacıyla, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından işletilen havzada plüviyograf kaydı bulunan sürekli gözlem süresi 30 yıl ve üzeri olan beş istasyonun standart zamanlardaki maksimum yağmur (30 dakika ve 1, 2, 3, 6, 12,18 ve 24 saat) miktarları materyal olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Havzada bulunan yağmur istasyonları



Şekil 3.2. Yıllık yağmur ortalamalarına dayalı bölgesel yağmur dağılımı

Çizelge 3.1. Havzadaki yağmur ölçüm istasyonlarının bazı özellikleri

Meteoroloji İstasyonları	Boylam (Doğu)	Enlem (Kuzey)	Yükseklik (Metre)	Gözlem Periyodu	Yıllık Ortalama (mm)
Çorum	34°04'	39°54'	820	1950-2019	379.0
Kayseri	38°41'	35°29'	1054	1950-2019	384.3
Nevşehir	38°36'	34°42'	1224	1960-2019	412.5
Sinop	35°26'	42°06'	27	1950-2019	408.7
Sivas	39°45'	37°01'	1285	1950-2019	426.7

3.2. Maksimum Yağmurların Frekans Analizi

Araştırmada materyal olarak göz önüne alınan beş meteoroloji istasyonundan alınan 30 dakika ve 1, 2, 3, 6, 12,18 ve 24 saat süreli maksimum yağmurların IDF eşitliklerinin oluşturulmasında belli tekrarlanma sürelerinde beklenen maksimum yağmur şiddeti değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır . Bu ise yağmur serilerinin en yaklaşık takip ettiği teorik dağılımın belirlenmesiyle mümkün olmaktadır. Hidrolojik olaylar meydana geldikleri koşullarda birçok faktörün eş zamanlı etkisi altında kalmaktadır. Bu durum gelecekteki miktarlarını tahmin etmeyi zorlaştırmaktadır . Bu nedenle hidrolojik olayların gelecekteki miktarları olasılık dağılım ilişkileri kullanılarak tahmin edilmektedir. Dolayısı ile IDF eşitliklerinin veya grafiklerinin doğruluğu ve güvenilirliği, seçilen teorik olasılık dağılımına bağlı olmaktadır. Hidrolojik olayların frekans analizlerinde çok sayıda olasılık dağılımı kullanılmaktadır. Literatürde bu amaçla Normal, Log-Normal, Log-Pearson 3, Gumbel, Gamma dağılımları öne çıkmaktadır . Bu çalışmada bu dağılımlara ek olarak farklı dağılımlar ve parametre tahmininde momentler, maksimum olabilirlik ve L-momentler yaklaşımları da dikkate alınmıştır. Tüm hesaplamalar MATLAB programında yapılmıştır.

3.3. Şiddet-Süre-Frekans ilişkileri

Araştırmada literatürde yaygın olarak kullanılan Çizelge 2’de eşitlikleri verilen amprik IDF ilişkileri dikkate alınmıştır (Yukseket al, 2022; Karahan et al. 2008; Başakın et al, 2021).

Çizelge 3.2. Yağmur süresi ve sıklığa dayalı ampirik IDF eşitlikleri

Eşitlik Kodu	Eşitlikler	Ağırlık Faktörleri
EQ1	$I = \frac{a \cdot T^b}{(D + c)^d}$	a, b, c, d
EQ2	$I = \frac{a \cdot T^b}{D^c}$	a, b, c
EQ3	$I = \frac{a \cdot T^b}{(D^c + d)}$	a, b, c, d
EQ4	$I = \frac{(a + b \cdot \ln T)}{D^c}$	a, b, c
EQ5	$I = \frac{(a + b \cdot \ln T)}{(D^c + d)}$	a, b, c, d
EQ6	$I = \frac{(a + b \cdot \ln T)}{(D + c)^d}$	a, b, c, d
EQ7	$I = \frac{(a + b \cdot [\ln(\ln T)])}{(D + c)^d}$	a, b, c, d
EQ8	$I = \frac{(a + b \cdot [\ln(\ln T)])}{(D)^c}$	a, b, c
EQ9	$I = \frac{(a + b \cdot [\ln(\ln T)])}{(D^c + d)}$	a, b, c, d
EQ10	$I = \frac{(a + b \cdot [\ln(T)] + c[\ln(T)^2])}{d + e \cdot [\ln(D)] + f[\ln(D)^2]}$	a, b, c, d, e, f
EQ11	$I = \frac{a \cdot T^b}{(c + D^d)^e}$	a, b, c, d, e
I, Yağmur şiddeti (mm/dak); T, tekrarlanma periyodu (yıl); D, Yağmur süresi (dak)		

3.4. IDF ilişkilerinin Optimizasyonu

Çizelge 2’de verilen IDF ilişkilerinin ağırlık faktörlerinin geleneksel yöntemlerle tahmin etmenin zorluğu ve bu ilişkilerden elde edilen yağmur şiddeti değerleri ile en uygun teorik dağılımdan alınan değerler arasındaki sapmalar gibi olumsuzluklar, araştırmacıları işlem kolaylığı ve tahmin başarısını artıracak farklı tekniklere yöneltmiştir. Bu bağlamda son yıllarda genetik ilhama dayalı teknikler, hidrolojide dahil olmak üzere birçok alanda güncel sorunların çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada genetik ilhama dayalı optimizasyon yaklaşımlarından

Genetik Algoritma (GA) ve Yapay Arı Kolonisi (ABC) kullanılmıştır. Bu optimizasyon yöntemlerinin detayları aşağıda açıklanmıştır.

3.4.1. Yapay arı kolonisi (ABC)

Yapay arı kolonisi algoritması (ABC), bal arılarının yiyecek ararken kullandıkları yöntemlerden esinlenerek geliştirilen bir sezgisel optimizasyon yaklaşımıdır. Bu yaklaşım son zamanlarda optimizasyon problemlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Arıların yiyecek aramak için gittikleri kaynaklar, algoritmada çözülmek istenen problemin olası çözümlerini temsil ederken, kaynaklardaki nektar miktarı da çözümün kalitesini ifade etmektedir. ABC algoritmasında bir kolonide üç tip arı bulunur: işçi arılar, gözcü arılar ve kâşif arılar (Karaboğa ve ark., 2014). ABC optimizasyon yaklaşımı, en fazla nektara sahip kaynağı bularak problem için mümkün çözümler arasından en optimum olanına ulaşmaya çalışır. ABC optimizasyon süreci hakkında daha detaylı bilgi Karaboğa, (2005) ve Akay (2009)’dan elde edilebilir. Kolonideki üç arı grubuna bağlı olarak süreç aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Yiyecek arama sürecinin başlangıcında, izci arılar çevrede rastgele arama yaparak yiyecek bulmaya çalışırlar.
- Yiyecek kaynakları bulunduğundan sonra, kâşif arılar görevli arılar haline gelirler ve buldukları kaynaktan nektarı kovana taşırlar. Bu arılar, taşıdıkları nektarı boşalttıktan sonra kaynağa geri dönerler veya dans alanında yaptıkları dansla kaynak hakkında sahip oldukları bilgileri izleyici arılara aktarırlar. Bir besin kaynağının (bir çözüm) ABC’de gerekli bir kontrol parametresi olan “limit” adı verilen önceden belirlenmiş deneme sayısı ile iyileştirilememesi durumunda, çözüm (besin kaynağı) görevli arı tarafından tüketilir, görevli arı kâşif arıya dönüşür ve yeni bir kaynak aramaya başlar.
- Kovadaki gözcü arılar, zengin kaynakları gösteren dansları izlerler ve dans sıklığı, yiyeceğin kalitesiyle orantılı olarak bir kaynağı tercih ederler.

Bir problemi çözmek için yönlendirilen arama uzayını yiyecek kaynakları içeren bir kovan ortamı olarak ele aldığımızda, ABC algoritması arama uzayındaki çözümlere karşılık gelen rastgele yiyecek kaynağı lokasyonları üretilmesiyle başlamaktadır. Bu durum aşağıda matematiksel bir fonksiyonla gösterilmiştir.

$$x_{ij} = x_j^{min} + rand(0,1)(x_j^{max} - x_j^{min}), i = 1 \dots SN, j = 1 \dots D \quad (3.1)$$

Eşitlikte, “SN” besin kaynaklarının sayısını, “D” ise optimize edilecek parametre sayısını ifade etmektedir. x_j^{max} ve x_j^{min} sırasıyla j parametresinin üst ve alt sınırlarına karşılık gelir. “rand(0,1)” sıfır ile bir arasında üretilen sayıyı temsil etmektedir.

İşçi arılar, hafızalarında yiyecek kaynağının bulunduğu mahalledeki bir yiyecek kaynağını belirler ve kalitesini değerlendirir. Yiyecek kaynağının kalitesinin daha tatmin edici olduğu bilgisine ulaşıldığında, yeni kaynak hafızaya kaydedilir. ABC algoritmasında bu durum aşağıdaki gibi formüle edilir.

$$v_{ij} = x_{ij} + \varphi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (3.2)$$

Eşitlikte, v_i ve x_i sırasıyla yeni kaynak ve işçi arının hafızasındaki kaynaktır. “j” $[1, D]$, aralığında üretilen rastgele sayıdır, φ_{ij} ise eksi bir ile bir aralığında üretilen rastgele sayıdır. x_k , mevcut kaynağın çevresinde rastgele oluşmuş bir kaynaktır. Yeni kaynağın uygunluk değeri aşağıdaki denklemle belirlenir.

$$fitness_i = \begin{cases} 1/(1 + f_i) & f_i \geq 0 \\ 1 + abs(f_i) & f_i < 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

Eşitlikte Burada f_i , komşu kaynak çözümünün kalitesi, yani amaç fonksiyon değeridir. Mevcut kaynak ile komşu kaynak arasında seçim yapılırken uygunluk değerine göre açgözlü seçim yöntemi uygulanır. Görevli arıların tamamı araştırmalarını tamamlayıp kovana döndüklerinde, gözcü arılara kaynaklardaki nektar miktarı hakkında bilgi iletirler. Gözcü arı bu bilgiler ışığında kaynaktaki nektar miktarına orantılı bir olasılıkla bir kaynak seçer. Bu olasılıksal seçim süreci, algoritmadaki nektar miktarına karşılık gelen uygunluk değerine göre gerçekleştirilir. Başka bir deyişle, bir kaynağın uygunluk değerinin tüm kaynakların kümülatif uygunluk değerine oranı, söz konusu kaynağın diğer kaynaklara kıyasla seçilme olasılığını tanımlar (Eşitlik 3.4)

$$p_i = \frac{fitness_i}{\sum_{i=1}^{SN} fitness_i} \quad (3.4)$$

İlişkide “ $fitness_i$ ” kaynağın kalitesini, SN ise çalışan arı sayısını ifade etmektedir. Algoritmada her bir kaynağın hesaplanan olasılık değerleri dikkate alınarak sıfır ile bir aralığında rastgele sayılar üretilir. Eğer bu değer olasılık değerinden büyükse gözlemci

arılar Eşitlik 3.2 dahil edilir ve takip eden işlem gerçekleştirilir. Algoritmadaki bu aşamalar, önceden tanımlanmış bir kritere ulaşılan veya maksimum yinleme sayısına ulaşılan kadar devam eder ve algoritma sonlandırılır.

3.4.2. Genetik algoritma (GA)

Optimizasyon ve arama problemlerine yüksek performanslı çözümler üretmek amacıyla son zamanlarda Genetik algoritma (GA) üzerinde yoğun olarak durulmaktadır. GA, doğal seleksiyon sürecinden esinlenerek üreme için ideal bireylerin seçildiği ve bir sonraki neslin oluşturulduğu bir sezgisel arama yaklaşımıdır. GA'da doğal seleksiyon süreci, olası çözüm bilgisini içeren tüm bireyleri (genlerden oluşan kromozomları) içeren bir popülasyondan en uygun bireylerin seçilmesiyle başlar. Seçilen bu bireyler, kendi özelliklerini taşıyan ve bir sonraki nesillere katılan yeni bireylerin üretilmesine olanak sağlar. Söz konusu süreç, en uygun bireylerden oluşan bir nesil oluşana kadar tekrarlanarak sürdürülür. GA ile bir problemin çözümü başlangıç popülasyonu, uygunluk fonksiyonu, seleksiyon, çaprazlama ve mutasyon olmak üzere beş adımda tamamlanır. Genetik algoritmada bir problemin çözümüne odaklanıldığında bir bireye ait gen kümesi (kromozom) bir dizi halinde oluşturulur. Genellikle birler ve sıfırlardan oluşan ikili değerler (bitler) kullanılır. Başka bir deyişle bu aktivite kromozomlar üzerinde genlerin kodlanması sürecidir. Daha sonra uygunluk fonksiyonu ile bir bireyin diğer bireylerle rekabet gücü bulunur. Her bir bireye verilen uygunluk puanına göre o bireyin üremeye seçilme olasılığı belirlenir. En yüksek uygunluk puanına sahip iki birey, genlerini bir sonraki nesle aktarmak üzere seçilir. Genetik algoritmaların en önemli adımı olan çaprazlamada, seçilen birey çiftleri için genler arasında çaprazlama noktası rastgele belirlenir. Çaprazlama aşamasında oluşan yeni bireylerin bazı genleri düşük olasılıkla rastgele mutasyona uğratılır. Bu, bit dizisindeki bazı bitlerin çevrilebilmesine olanak tanır. Bu aşamalar içerisinde GA ile bir problemin en iyi çözüm sürecinin ayrıntıları Goldberg (1989)'de mevcuttur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışmasının bu bölümünde maksimum olabilirlik yöntemi göre standart süreli maksimum yağmur verilerine en iyi uyan dağılım sonuçları, en uygun dağılımlar kullanılarak elde edilen Quantile değerleriyle hesaplanan yağmur şiddeti değerleri, Genetik algoritma ve Yapay Arı Kolonisi yöntemleriyle elde edilen IDF ilişki parametreleri ve performans sonuçları ile son olarak Genetik Programlama yöntemi ile elde edilen IDF ilişki sonuçları sunulmuştur .

4.1. Standart Süreli Maksimum Yağmur Verilerine En İyi Uyan Dağılımın

Belirlenmesi

Çalışmada standart süreli maksimum yağmur verilerine en iyi uyan dağılımları belirlemek için Rao ve Hamed (2000) tarafından geliştirilen Matlab yazılımı kullanılmıştır. Maksimum Olabilirlik Yöntemi ile en uygun dağılımlar belirlenmiştir. Her yöntemde elde edilen dağılımlara ait Kolmogorow-Smirnow test değeri elde edilmiştir. Bu test değerleri kullanılarak standart süreli maksimum yağmurlara en iyi uyum sağlayan dağılım belirlenmiştir. En uygun dağılımlara ait Kolmogorow-Smirnow test sonuçları Çorum istasyonu için Çizelge 4.1, Kayseri istasyonu için Çizelge 4.2, Nevşehir istasyonu için Çizelge 4.3, Sinop istasyonu için Çizelge 4.4 ve Sivas istasyonu için Çizelge 4.5'te verilmiştir. En uygun dağılımı belirlerken en büyük K-S değeri dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.1 incelendiğinde Çorum istasyonunda 0.5 saatlik yağmur için LP3 dağılımı; 1 ve 3 saatlik yağmur için P3 dağılımı; 2, 18 ve 24 saatlik yağmurlar için GLOG dağılımı; 4 saatlik yağmur için LN3 dağılımı, 5 saatlik için GEV dağılımı; 6 ve 8 saatlik yağmurlar için LN2 dağılımı ve son olarak 12 saatlik yağmur için EV1 dağılımı en uygun dağılımlar olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1 incelendiğinde Çorum istasyonunda 0.5 saatlik yağmur için LP3 dağılımı; 1 ve 3 saatlik yağmur için P3 dağılımı; 2, 18 ve 24 saatlik yağmurlar için GLOG dağılımı; 4 saatlik yağmur için LN3 dağılımı, 5 saatlik için GEV dağılımı; 6 ve 8 saatlik yağmurlar için LN2 dağılımı ve son olarak 12 saatlik yağmur için EV1 dağılımı en uygun dağılımlar olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.2 incelendiğinde Kayseri istasyonunda 0.5, 5, 6 ve 8 saatlik yağmur için LN3 dağılımı; 1 saatlik yağmur için EXP dağılımı; 2 saatlik yağmurlar için GPAR dağılımı; 3 ve 4 saatlik yağmur için LP3 dağılımı, 5 saatlik için GEV dağılımı; 12 ve 24 saatlik yağmurlar için P3 dağılımı ve son olarak 18 saatlik yağmur için WEIBUL dağılımı en uygun dağılımlar olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.3 incelendiğinde Nevşehir istasyonunda 0.5, 1, 3 saatlik yağmur için LN3 dağılımı; 2 saatlik yağmur için GEV dağılımı; 4 saatlik yağmurlar için P3 dağılımı; 5 ve 6 saatlik yağmur için GPAR dağılımı, 8, 12 ve 24 saatlik yağmurlar için LOG dağılımı ve son olarak 18 saatlik yağmur için LP3 dağılımı en uygun dağılımlar olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.4 incelendiğinde Sinop istasyonunda 0.5 ve 24 saatlik yağmur için GEV dağılımı; 1, 4, 5, 6 ve 18 saatlik yağmur için LN3 dağılımı; 2 ve 3 saatlik yağmurlar için LP3 dağılımı; 8 ve 12 saatlik yağmur için GPARdağılımı en uygun dağılımlar olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.5 incelendiğinde Sivas istasyonunda 0.5, 3 ve 6 saatlik yağmur için P3 dağılımı; 1 saatlik yağmur için GEV dağılımı; 4 ve 24 saatlik yağmurlar için GLOG dağılımı; 2, 5 ve 12 saatlik yağmur için LN3 dağılımı ve son olarak 8 ve 18 saatlik için GAM dağılımı en uygun dağılımlar olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1 Çorum istasyonunun en uygun dağılım biçimi

Dağılımlar	Maksimum Yağmur Süreleri										
	0,5	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
GEV	0.94	0.55	0.78	0.84	0.91	0.94	0.73	0.50	0.80	0.94	0.94
P-3	0.79	0.73	0.80	0.94	0.91	0.86	0.70	0.42	0.78	0.93	0.94
LN-3	0.94	0.63	0.85	0.91	0.93	0.93	0.74	0.47	0.80	0.94	0.95
GLOG	0.92	0.00	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	0.81	0.99	0.97
EV1	0.94	0.54	0.45	0.76	0.68	0.81	0.64	0.52	0.82	0.85	0.93
GPAR	0.54	0.68	0.41	0.40	0.41	0.17	0.02	0.01	0.01	0.01	0.07
WEİBUL	0.08	0.03	0.02	0.04	0.00	0.73	0.06	0.07	0.12	0.00	0.85
N	0.28	0.07	0.05	0.11	0.19	0.13	0.17	0.09	0.36	0.56	0.42
EXP	0.06	0.07	0.15	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
LOG	0.58	0.27	0.21	0.43	0.45	0.46	0.42	0.28	0.60	0.86	0.75
LN2	0.90	0.63	0.64	0.90	0.87	0.92	0.77	0.63	0.76	0.80	0.93
GAM	0.94	0.50	0.31	0.57	0.57	0.59	0.56	0.34	0.80	0.89	0.91
LP-3	0.95	0.65	0.82	0.90	0.88	0.90	0.74	0.49	0.78	0.88	0.92

Çizelge 4.2 Kayseri istasyonunun en uygun dağılım biçimi

Dağılımlar	Maksimum Yağmur Süreleri										
	0,5	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
GEV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.80	0.91	0.75
P-3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.87	0.84	0.90	0.81	0.89	0.96	0.91
LN-3	0.79	0.87	0.55	0.82	0.892	0.89	0.97	0.91	0.85	0.93	0.83
GLOG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	0.90	0.00
EV1	0.38	0.32	0.16	0.42	0.56	0.46	0.58	0.65	0.70	0.91	0.75
GPAR	0.57	0.80	0.66	0.65	0.49	0.68	0.43	0.24	0.26	0.16	0.48
WEİBUL	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.06	0.87	0.04	0.87	0.98	0.89
N	0.09	0.09	0.05	0.08	0.12	0.18	0.16	0.08	0.22	0.50	0.26
EXP	0.49	0.97	0.26	0.23	0.10	0.05	0.03	0.01	0.01	0.00	0.03
LOG	0.30	0.16	0.19	0.28	0.31	0.43	0.51	0.46	0.45	0.67	0.65
LN2	0.51	0.57	0.25	0.52	0.68	0.57	0.67	0.72	0.80	0.94	0.88
GAM	0.28	0.33	0.23	0.28	0.45	0.42	0.42	0.39	0.77	0.93	0.68
LP-3	0.74	0.78	0.53	0.83	0.893	0.885	0.96	0.90	0.83	0.93	0.80

Çizelge 4.3 Nevşehir istasyonunun en uygun dağılım biçimi

Dağılımlar	Maksimum Yağmur Süreleri										
	0,5	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
GEV	0.986	0.00	0.79	0.00	0.75	0.71	0.44	0.67	0.80	0.73	0.91
P-3	0.984	0.00	0.62	0.83	0.90	0.81	0.77	0.63	0.71	0.64	0.89
LN-3	0.989	0.89	0.75	0.89	0.82	0.74	0.57	0.63	0.77	0.67	0.93
GLOG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.47	0.63	0.75	0.63	0.97
EV1	0.648	0.51	0.34	0.45	0.52	0.73	0.48	0.59	0.60	0.38	0.67
GPAR	0.612	0.78	0.40	0.44	0.89	0.93	0.97	0.72	0.42	0.00	0.09
WEİBUL	0.986	0.02	0.05	0.04	0.11	0.19	0.22	0.31	0.00	0.69	0.73
N	0.206	0.05	0.05	0.14	0.19	0.54	0.35	0.72	0.83	0.71	0.89
EXP	0.132	0.44	0.05	0.04	0.18	0.18	0.12	0.03	0.01	0.00	0.01
LOG	0.555	0.26	0.19	0.39	0.36	0.72	0.42	0.76	0.89	0.64	0.99
LN2	0.900	0.72	0.43	0.54	0.61	0.78	0.51	0.60	0.60	0.34	0.86
GAM	0.611	0.33	0.21	0.34	0.40	0.68	0.42	0.70	0.78	0.48	0.97
LP-3	0.988	0.85	0.75	0.86	0.80	0.77	0.45	0.71	0.84	0.80	0.93

Çizelge 4.4 Sinop istasyonunun en uygun dağılım biçimi

Dağılımlar	Maksimum Yağmur Süreleri										
	0,5	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
GEV	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	1.00
P-3	0.52	0.48	0.41	0.41	0.52	0.00	0.00	0.05	0.07	0.00	0.93
LN-3	0.64	0.65	0.65	0.54	0.61	0.77	0.89	0.00	0.66	0.93	0.97
GLOG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EV1	0.33	0.38	0.18	0.15	0.17	0.36	0.40	0.29	0.17	0.31	0.80
GPAR	0.07	0.15	0.00	0.20	0.36	0.42	0.41	0.93	0.86	0.53	0.20
WEİBUL	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N	0.04	0.02	0.03	0.02	0.05	0.07	0.05	0.05	0.07	0.11	0.26
EXP	0.00	0.01	0.06	0.01	0.03	0.05	0.15	0.80	0.67	0.20	0.05
LOG	0.33	0.28	0.17	0.17	0.26	0.31	0.15	0.15	0.18	0.28	0.60
LN2	0.62	0.60	0.36	0.28	0.29	0.48	0.57	0.40	0.27	0.47	0.94
GAM	0.32	0.27	0.14	0.14	0.17	0.45	0.27	0.19	0.16	0.26	0.77
LP-3	0.67	0.64	0.69	0.55	0.60	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Çizelge 4.5 Sivas istasyonunun en uygun dağılım biçimi

Dağılımlar	Maksimum Yağmur Süreleri										
	0.5	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
GEV	0.90	0.99	0.985	0.69	0.67	0.86	0.89	0.95	0.96	0.96	0.35
P-3	0.96	0.77	0.99	0.80	0.69	0.906	0.96	0.93	0.94	0.96	0.26
LN-3	0.95	0.96	1.00	0.77	0.71	0.910	0.92	0.93	0.98	0.97	0.30
GLOG	0.00	0.00	0.00	0.77	0.75	0.83	0.89	0.86	0.96	0.97	0.55
EV1	0.73	0.85	0.97	0.52	0.55	0.83	0.89	0.87	0.81	0.86	0.39
GPAR	0.28	0.40	0.32	0.46	0.25	0.27	0.29	0.33	0.59	0.11	0.00
WEİBUL	0.00	0.00	0.91	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.28	0.19	0.00
N	0.33	0.22	0.22	0.10	0.08	0.22	0.46	0.81	0.92	0.86	0.10
EXP	0.02	0.03	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00
LOG	0.52	0.61	0.65	0.26	0.23	0.43	0.74	0.90	0.92	1.00	0.24
LN2	0.87	0.93	0.93	0.48	0.44	0.71	0.94	0.90	0.86	0.93	0.33
GAM	0.74	0.77	0.67	0.29	0.26	0.49	0.80	0.970	0.97	1.00	0.30
LP-3	0.93	0.98	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.969	0.97	0.97	0.00

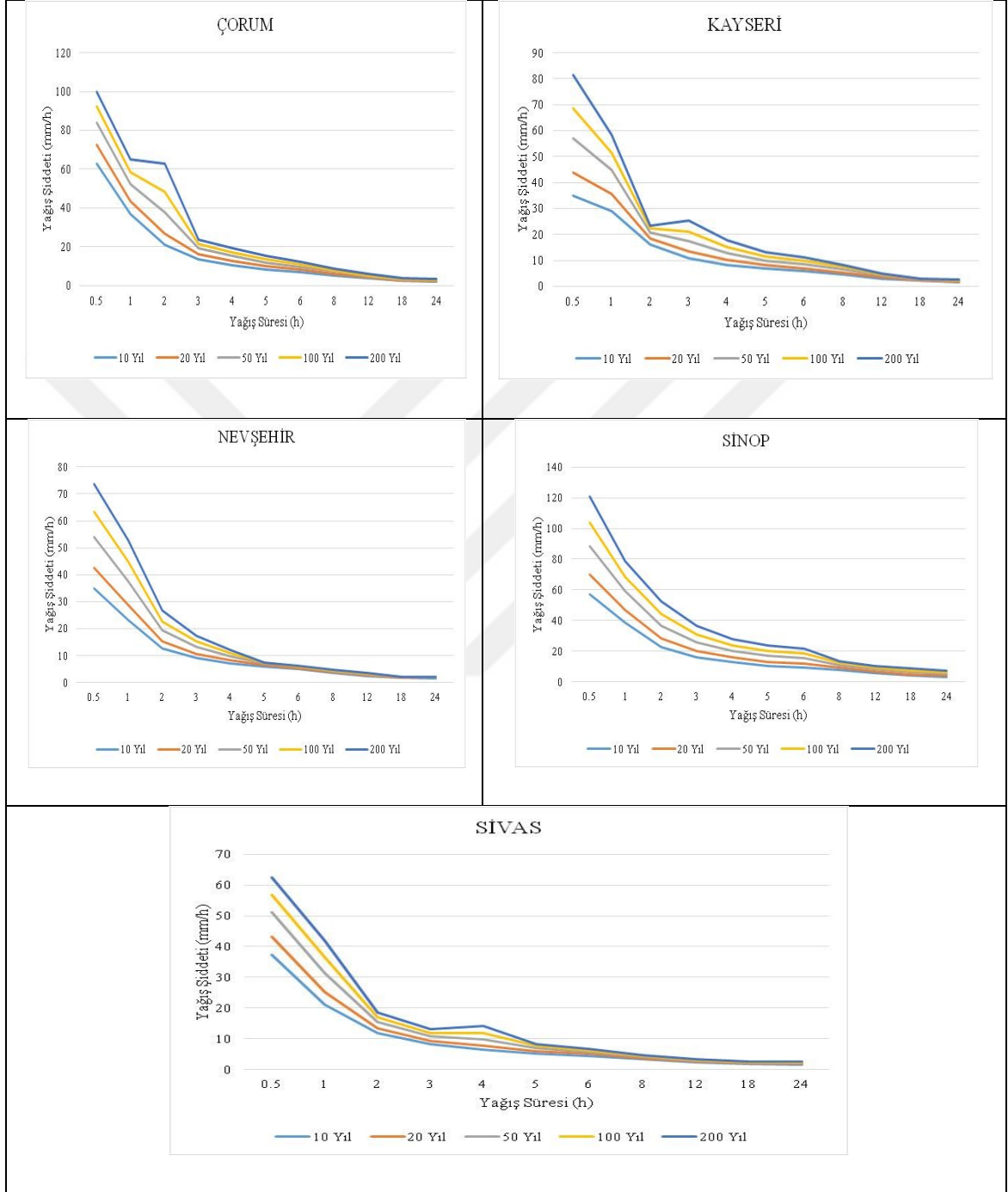
4.2. En İyi Uyan Dağılımlara Göre Elde Edilen Yağmur Şiddeti Değerleri

Her bir istasyonun standart süreli maksimum yağmurları için belirlenen en uygun dağılımlar kullanılarak dağılımlara ait quantile değerleri elde edilmiştir. Elde edilen quantile değerleri, yağmur süresine bölünerek yağmur şiddeti değerleri elde edilmiştir. Çorum, Kayseri, Nevşehir, Sinop ve Sivas istasyonlarına ait yağmur şiddeti değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir. İstasyonlara ait IDF grafiği ise Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Standart zamanlardaki maksimum yağmur şiddeti (mm/h)

İstasyonlar	T (Yıl)	Maksimum Yağmur Süreleri (saat)										
		0,5	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
Çorum	10	63.06	36.85	20.86	13.80	10.58	8.42	7.09	5.36	3.70	2.43	2.10
	20	72.52	43.57	26.91	16.16	12.53	9.91	8.23	6.18	4.23	2.76	2.40
	50	84.02	52.21	37.58	19.18	15.18	11.96	9.74	7.24	4.92	3.23	2.84
	100	92.14	58.64	48.48	21.42	17.25	13.59	10.90	8.05	5.44	3.62	3.21
	200	99.84	65.02	62.68	23.64	19.40	15.30	12.08	8.86	5.96	4.05	3.63
Kayseri	10	34.96	28.88	16.05	10.74	8.28	6.74	5.8	4.5	3.09	2.14	1.75
	20	43.8	35.7	18.4	13.35	10.1	8.07	6.92	5.33	3.56	2.39	1.96
	50	57.16	44.71	20.85	17.43	12.84	9.93	8.49	6.47	4.15	2.69	2.23
	100	68.7	51.53	22.32	21.08	15.22	11.44	9.77	7.39	4.58	2.89	2.43
	200	81.58	58.35	23.51	25.33	17.89	13.05	11.12	8.35	5.01	3.08	2.63
Nevşehir	10	34.84	23.09	12.58	8.99	7.07	5.96	5	3.61	2.5	1.78	1.6
	20	42.6	28.89	15.25	10.73	8.23	6.51	5.46	3.92	2.75	1.91	1.73
	50	53.9	37.5	19.26	13.18	9.73	7	5.85	4.27	3.07	2.03	1.9
	100	63.36	44.8	22.73	15.17	10.84	7.24	6.05	4.51	3.31	2.11	2.02
	200	73.7	52.85	26.64	17.28	11.95	7.4	6.18	4.72	3.54	2.17	2.14
Sinop	10	57.38	38.53	22.79	16.29	12.91	10.7	9.42	7.83	5.71	4.13	3.43
	20	69.88	47.01	28.41	20.18	15.88	13.24	11.79	9.32	6.88	5.07	4.16
	50	88.24	58.96	36.86	26.01	20.21	16.99	15.36	11.14	8.38	6.44	5.27
	100	103.8	68.64	44.19	31.05	23.81	20.15	18.44	12.4	9.47	7.58	6.22
	200	121	78.94	52.44	36.72	27.72	23.62	21.88	13.58	10.53	8.83	7.3
Sivas	10	37.22	21.18	11.8	8.31	6.56	5.35	4.57	3.48	2.49	1.9	1.68
	20	43.3	25.3	13.43	9.46	7.82	6.07	5.11	3.79	2.72	2.08	1.88
	50	51.04	31.32	15.5	10.92	9.88	7	5.78	4.17	3	2.3	2.15
	100	56.74	36.41	17.03	12	11.83	7.71	6.28	4.43	3.19	2.46	2.36
	200	62.38	42.03	18.52	13.06	14.23	8.44	6.76	4.68	3.37	2.61	2.58

Şekil 4.1. İstasyonlara ait IDF grafiği



4.3. Genetik Algoritma ve Yapay Arı Kolonisi Yöntemlerine Göre Elde Edilen IDF İlişki Parametre ve Performans Sonuçları

Genetik algoritma ve yapay arı kolonisi yöntemleri kullanılarak elde edilen yağmur şiddeti verileri ile literatürde verilmiş 11 IDF ilişkilerine ait parametre tahminleri yapılmıştır. Her bir ilişkiye ait parametre tahmin sonuçları Çorum, Kayseri, Nevşehir, Sinop ve Sivas istasyonları için sırasıyla Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9, Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11’de sunulmuştur .

Çizelge 4.7. Çorum istasyonu GA ve ABC ile tahmin edilen IDF eşitliklerinin parametreleri

Eşitlik No		Parametreler					
		a	b	c	d	e	f
1	GA	40.00	0.19	0.53	1.08	-	-
	ABC	40.00	0.19	0.53	1.08	-	-
2	GA	24.42	0.18	0.77	-	-	-
	ABC	24.42	0.18	0.77	-	-	-
3	GA	50.00	0.18	1.22	0.84	-	-
	ABC	50.00	0.18	1.22	0.84	-	-
4	GA	15.6	8.85	0.77	-	-	-
	ABC	15.6	8.85	0.77	-	-	-
5	GA	31.52	18.81	1.23	0.86	-	-
	ABC	31.58	18.82	1.23	0.86	-	-
6	GA	50.00	30.15	1.16	1.41	-	-
	ABC	50.00	30.11	1.16	1.41	-	-
7	GA	18.44	50.00	0.51	1.07	-	-
	ABC	18.44	50.00	0.51	1.07	-	-
8	GA	8.49	31.55	0.77	-	-	-
	ABC	8.49	31.55	0.77	-	-	-
9	GA	19.61	50.00	1.10	0.56	-	-
	ABC	19.61	50.00	1.10	0.56	-	-
10	GA	199.99	198.03	5.23	15.81	14.19	10.02
	ABC	195.45	197.44	-6.90	15.37	12.83	8.57
11	GA	28.89	0.16	0.01	6.72	0.11	-
	ABC	28.06	0.19	0.24	2.52	0.37	-

Çizelge 4.8 Kayseri istasyonu GA ve ABC ile tahmin edilen IDF eşitliklerinin parametreleri

Eşitlik no	Parametreler						
		a	b	c	d	e	f
1	GA	31.87	0.25	0.86	1.21	-	-
	ABC	36.23	0.25	0.97	1.28	-	-
2	GA	13.59	0.25	0.74	-	-	-
	ABC	13.59	0.25	0.74	-	-	-
3	GA	48.64	0.30	1.77	2.76	-	-
	ABC	28.69	0.25	1.20	0.87	-	-
4	GA	2.29	8.89	0.74	-	-	-
	ABC	2.29	8.89	0.74	-	-	-
5	GA	14.93	28.26	1.52	1.82	-	-
	ABC	5.27	18.50	1.20	0.87	-	-
6	GA	6.42	22.81	0.95	1.26	-	-
	ABC	6.61	22.99	0.96	1.26	-	-
7	GA	0.00	50.00	0.59	1.07	-	-
	ABC	0.00	50.00	0.59	1.07	-	-
8	GA	0.00	28.14	0.74	-	-	-
	ABC	0.00	28.14	0.74	-	-	-
9	GA	0.10	50.00	1.08	0.64	-	-
	ABC	-3.54	50.00	1.06	0.55	-	-
10	GA	-200.00	-182.55	-9.91	-24.19	-21.99	-19.47
	ABC	199.52	200.00	11.25	26.62	24.24	20.53
11	GA	16.34	0.26	0.00	22.10	0.04	-
	ABC	16.17	0.25	0.00	18.10	0.05	-

Çizelge 4.9. Nevşehir istasyonu GA ve ABC ile tahmin edilen IDF eşitliklerinin parametreleri

Eşitlik No	Parametreler						
		a	b	c	d	e	f
1	GA	40.00	0.25	1.07	1.49	-	-
	ABC	40.00	0.25	1.07	1.48	-	-
2	GA	12.22	0.24	0.82	-	-	-
	ABC	12.22	0.24	0.82	-	-	-
3	GA	26.64	0.28	1.48	1.19	-	-
	ABC	27.30	0.24	1.39	0.95	-	-
4	GA	2.70	7.64	0.82	-	-	-
	ABC	2.70	7.64	0.82	-	-	-
5	GA	5.63	17.31	1.38	0.95	-	-
	ABC	5.39	17.41	1.39	0.95	-	-
6	GA	10.42	33.17	1.28	1.61	-	-
	ABC	10.55	33.11	1.28	1.61	-	-
7	GA	0.00	50.00	0.64	1.23	-	-
	ABC	0.00	50.00	0.64	1.23	-	-
8	GA	0.00	24.72	0.82	-	-	-
	ABC	0.00	24.72	0.82	-	-	-
9	GA	0.10	50.00	1.31	0.79	-	-
	ABC	-372044.00	50.00	1.26	0.71	-	-
10	GA	-189.76	-84.82	-10.42	-17.70	-18.76	-16.60
	ABC	-198.19	-199.79	-15.88	-31.41	-34.09	-31.14
11	GA	16.91	0.22	0.00	50.00	0.22	-
	ABC	15.21	0.24	0.23	4.52	0.23	-

Çizelge 4.10 Sinop istasyonu GA ve ABC ile tahmin edilen IDF eşitliklerinin parametreleri

Eşitlik No	Parametreler						
		a	b	c	d	e	f
1	GA	29.48	0.24	0.37	0.89	-	-
	ABC	29.50	0.24	0.37	0.89	-	-
2	GA	21.03	0.24	0.70	-	-	-
	ABC	21.03	0.24	0.70	-	-	-
3	GA	30.98	0.24	0.91	0.39	-	-
	ABC	31.19	0.24	0.91	0.40	-	-
4	GA	4.25	13.38	0.70	-	-	-
	ABC	4.25	13.38	0.70	-	-	-
5	GA	6.07	20.33	0.92	0.42	-	-
	ABC	6.30	19.90	0.91	0.40	-	-
6	GA	5.95	18.79	0.37	0.89	-	-
	ABC	5.97	18.76	0.36	0.89	-	-
7	GA	0.00	50.00	0.17	0.79	-	-
	ABC	0.00	50.00	0.17	0.79	-	-
8	GA	0.00	42.94	0.70	-	-	-
	ABC	0.00	42.94	0.70	-	-	-
9	GA	0.10	50.00	0.78	0.14	-	-
	ABC	-2.80	50.00	0.76	0.10	-	-
10	GA	200.00	133.87	9.75	14.33	11.26	6.98
	ABC	190.30	-200.00	-18.11	-21.22	-15.55	-85602.00
11	GA	24.64	0.22	0.00	50.00	0.01	-
	ABC	23.68	0.24	0.12	3.28	0.24	-

Çizelge 4.11 Sivas istasyonu GA ve ABC ile tahmin edilen IDF eşitliklerinin parametreleri

Eşitlik No	Parametreler						
		a	b	c	d	e	f
1	GA	20.22	0.18	0.32	1.06	-	-
	ABC	20.22	0.18	0.32	1.06	-	-
2	GA	14.18	0.18	0.84	-	-	-
	ABC	14.00	0.18	0.84	-	-	-
3	GA	20.92	0.19	1.13	0.42	-	-
	ABC	19.85	0.18	1.06	0.32	-	-
4	GA	9.12	5.10	0.84	-	-	-
	ABC	9.12	5.10	0.84	-	-	-
5	GA	12.69	7.20	1.06	0.32	-	-
	ABC	12.71	7.19	1.06	0.32	-	-
6	GA	12.91	7.33	0.32	1.06	-	-
	ABC	13.52	7.18	0.33	1.07	-	-
7	GA	7.04	26.01	0.32	1.06	-	-
	ABC	7.01	26.02	0.32	1.59	-	-
8	GA	5.52	17.86	0.83	-	-	-
	ABC	5.02	18.18	0.84	-	-	-
9	GA	6.94	25.95	1.07	0.33	-	-
	ABC	6.92	25.61	1.06	0.32	-	-
10	GA	198.85	169.42	-3.44	25.01	26.13	18.69
	ABC	199.90	196.66	0.99	29.83	30.91	21.89
11	GA	15.69	0.18	0.08	3.88	0.24	-
	ABC	15.43	0.18	0.00	13.64	0.07	-

Elde edilen parametre değerleri IDF ilişkilerinde yerine yazılarak 11 denklem için GA ve ABC yöntemlerine göre IDF değerleri hesaplanmıştır. En iyi ilişkinin belirlenmesi için gözlenen IDF ve tahmin edilen IDF değerleri kullanılarak her bir ilişkiye ait performans ölçütleri hesaplanmıştır. Her bir ilişkiye ait performans ölçüt sonuçları

Çorum, Kayseri, Nevşehir, Sinop ve Sivas istasyonları için sırasıyla Çizelge 4.12, Çizelge 4.13, Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.12. Çorum istasyonu IDF ilişkilerine ait performans ölçüt sonuçları

Eşitlik No	Yöntem	Korelasyon	MSE	NSE	MAE	RMSE
E-1	GA	0.9867	16.7593	0.9737	2.2391	4.0938
E-2		0.9817	23.8669	0.9625	3.0544	4.8854
E-3		0.9874	15.7437	0.9753	2.1717	3.9678
E-4		0.9818	23.6974	0.9628	3.069	4.868
E-5		0.9875	15.5825	0.9755	2.1101	3.9475
E-6		0.9877	15.3028	0.976	2.165	3.9119
E-7		0.9862	17.4379	0.9726	2.0985	4.1759
E-8		0.9813	24.3135	0.9618	3.1039	4.9309
E-9		0.9864	17.139	0.9731	2.0046	4.1399
E-10		0.9783	72.7312	0.8858	6.2915	8.5283
E-11		0.9551	232.8011	0.6346	8.4551	15.2578
E-1	ABC	0.9867	16.7592	0.9737	2.2413	4.0938
E-2		0.9817	23.8669	0.9625	3.054	4.8854
E-3		0.9874	15.7437	0.9753	2.1727	3.9678
E-4		0.9818	23.6974	0.9628	3.069	4.868
E-5		0.9875	15.5826	0.9755	2.1144	3.9475
E-6		0.9877	15.3027	0.976	2.1595	3.9119
E-7		0.9862	17.4379	0.9726	2.0985	4.1759
E-8		0.9491	24.31	0.96	3.1	4.93
E-9		0.9864	17.139	0.9731	2.0051	4.1399
E-10		0.9828	25.935	0.9593	3.6423	5.0926
E-11		0.9571	311.2095	0.5115	10.8499	17.6411

Çizelge 4.12 incelendiğinde Çorum istasyonunda Genetik Algoritma yöntemine için en iyi performans Kolerasyon ve MSE ölçütlerine göre E-6 ilişkisinde, NSE' ye göre E-11; MAE ve RMSE ölçütüne göre ise E-9 da elde edilmiştir. Yapay Arı Kolonisi yönteminde ise en iyi performans Kolerasyon ve MSE ölçütlerine göre E-6 ilişkisinde, NSE' ye göre E-11; MAE ölçütüne göre ise E-9 RMSE ölçütüne göre ise E-5 da elde edilmiştir.

Çizelge 4.13. Kayseri istasyonu IDF ilişkilerine ait performans ölçüt sonuçları

Eşitlik No	Yöntem	Korelasyon	MSE	NSE	MAE	RMSE
E-1	GA	0.9934	4.4166	0.9869	1.1440	2.1016
E-2		0.9864	9.2534	0.9726	2.1367	3.0419
E-3		0.9854	11.9702	0.9645	2.6853	3.4598
E-4		0.9864	9.1982	0.9728	2.1660	3.0329
E-5		0.9909	6.4152	0.9810	1.5967	2.5328
E-6		0.9935	4.3301	0.9872	1.2244	2.0809
E-7		0.9909	6.0323	0.9821	1.4504	2.4561
E-8		0.9846	10.6171	0.9686	2.3189	3.2584
E-9		0.9913	5.8732	0.9826	1.3956	2.4235
E-10		0.9951	3.2648	0.9903	1.3467	1.8069
E-11		0.9518	220.5843	0.3467	9.5754	14.8521
E-1	ABC	0.9934	4.408	0.987	1.194	2.100
E-2		0.9864	9.253	0.973	2.137	3.042
E-3		0.9937	4.238	0.987	1.156	2.059
E-4		0.9864	9.198	0.973	2.166	3.033
E-5		0.9938	4.167	0.988	1.226	2.041
E-6		0.9935	4.330	0.987	1.223	2.081
E-7		0.9909	6.032	0.982	1.451	2.456
E-8		0.9846	10.617	0.969	2.319	3.258
E-9		0.9914	5.686	0.983	1.429	2.385
E-10		0.9950	3.346	0.990	1.397	1.829
E-11		0.9510	218.834	0.352	9.492	14.793

Çizelge 4.13 incelendiğinde Kayseri ilinde Genetik Algoritma kullanılarak en iyi performans Kolerasyon, MSE, NSE ve RMSE' ye göre E-10 ilişkisinde;MAE görede E-1 de verilmiştir.

Kayseri ilinde Yapay Arı Kolonisi kullanılarak en iyi performans Kolerasyon, MSE, NSE ve RMSE'ye göre en iyi performans E-10 ilişkisinde;MAE' ye görede E-3 de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Nevşehir istasyonu IDF ilişkilerine ait performans ölçüt sonuçları

Eşitlik No	Yöntem	Korelasyon	MSE	NSE	MAE	RMSE
E-1	GA	0.9982	1.1174	0.9962	0.8646	1.0571
E-2		0.9900	5.9671	0.9795	1.6614	2.4428
E-3		0.9977	1.6475	0.9943	1.0922	1.2836
E-4		0.9900	5.9766	0.9795	1.6893	2.4447
E-5		0.9986	0.8909	0.9969	0.7965	0.9439
E-6		0.9983	1.0900	0.9963	0.8667	1.0440
E-7		0.9954	2.6628	0.9909	1.0149	1.6318
E-8		0.9884	6.9827	0.9760	1.7561	2.6425
E-9		0.9964	2.0722	0.9929	0.9780	1.4395
E-10		0.9972	1.7158	0.9941	1.0824	1.3099
E-11		0.9533	153.3907	0.4733	7.5925	12.3851
E-1	ABC	0.9981	1.1169	0.9962	0.8622	1.0568
E-2		0.9900	5.9671	0.9795	1.6618	2.4428
E-3		0.9987	0.8774	0.9970	0.8202	0.9367
E-4		0.9900	5.9766	0.9795	1.6893	2.4447
E-5		0.9986	0.8904	0.9969	0.7959	0.9436
E-6		0.9983	1.0900	0.9963	0.8661	1.0440
E-7		0.9954	2.6628	0.9909	1.0149	1.6318
E-8		0.9884	6.9827	0.9760	1.7559	2.6425
E-9		0.9966	1.9578	0.9933	0.9774	1.3992
E-10		0.9965	2.0110	0.9931	1.2244	1.4181
E-11		0.9582	166.8730	0.4270	7.9028	12.9179

Çizelge 4.14 incelendiğinde Nevşehir ilinde Genetik Algoritma kullanılarak en iyi performans MSE, NSE, MAE, RMSE' ye göre E-5 ilişkisinde; Kolerasyon değerine görede E-5'de verilmiştir.

Nevşehir ilinde Yapay Arı Kolonisi kullanılarak en iyi performans Kolerasyon, MSE, NSE ve RMSE'ye göre en iyi performans E-3 ilişkisinde,MAE' ye görede E-5 de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Sinop istasyonu IDF ilişkilerine ait performans ölçüt sonuçları

Eşitlik No	Yöntem	Korelasyon	MSE	NSE	MAE	RMSE
E-1	GA	0.999323	0.9336	0.99867	0.7554	0.9663
E-2		0.997535	3.6368	0.99482	1.4795	1.9070
E-3		0.999319	0.9408	0.99866	0.7616	0.9700
E-4		0.997488	3.6888	0.99475	1.4957	1.9206
E-5		0.999284	0.9981	0.99858	0.7855	0.9991
E-6		0.999288	0.9839	0.99860	0.7609	0.9919
E-7		0.996736	4.7063	0.99330	1.4425	2.1694
E-8		0.995421	6.7903	0.99033	1.8745	2.6058
E-9		0.996436	5.1498	0.99267	1.5203	2.2693
E-10		0.997702	3.4953	0.99502	1.3891	1.8696
E-11		0.942192	430.3884	0.38737	13.2986	20.7458
E-1	ABC	0.999323	0.9337	0.99867	0.7559	0.9663
E-2		0.997535	3.6368	0.99482	1.4783	1.9070
E-3		0.999320	0.9388	0.99866	0.7635	0.9689
E-4		0.997488	3.6888	0.99475	1.4956	1.9206
E-5		0.999284	0.9892	0.99859	0.7699	0.9946
E-6		0.999288	0.9839	0.99860	0.7599	0.9919
E-7		0.996734	4.7062	0.99330	1.4428	2.1694
E-8		0.995421	6.7903	0.99033	1.8744	2.6058
E-9		0.996537	4.9861	0.99290	1.5181	2.2329
E-10		0.975428	135.6694	0.80688	7.9611	11.6477
E-11		0.945446	507.6547	0.27738	15.0715	22.5312

Çizelge 4.15 incelendiğinde Sinop ilinde Genetik Algoritma kullanılarak en iyi performans Kolerasyon, MSE, NSE, MAE, RMSE' ye göre E-1 ilişkisinde verilmiştir.

Sinop ilinde Yapay Arı Kolonisi kullanılarak en iyi performans Kolerasyon, MSE, NSE, MAE, RMSE' ye göre E-1 ilişkisinde verilmiştir.

Çizelge 4.16. Sivas istasyonu IDF ilişkilerine ait performans ölçüt sonuçları

Eşitlik No	Yöntem	Korelasyon	MSE	NSE	MAE	RMSE
E-1	GA	0.99740	1.1415	0.9948	0.7478	1.0588
E-2		0.99589	1.8257	0.9918	0.8672	1.3391
E-3		0.99740	1.2170	0.9945	0.8201	1.0933
E-4		0.99602	1.7679	0.9920	0.8528	1.3177
E-5		0.99756	1.0758	0.9951	0.7142	1.0279
E-6		0.99753	1.0844	0.9951	0.7164	1.0320
E-7		0.99703	1.3014	0.9941	0.7696	1.1306
E-8		0.99558	1.9905	0.9910	0.9278	1.3982
E-9		0.99706	1.2939	0.9942	0.7750	1.1273
E-10		0.99761	1.0655	0.9952	0.7627	1.0230
E-11		0.97272	84.1650	0.6197	5.6839	9.0919
E-1	ABC	0.9974	1.1415	0.99484	0.7481	1.0588
E-2		0.9959	1.8257	0.99175	0.8671	1.3391
E-3		0.9974	1.1329	0.99488	0.7473	1.0548
E-4		0.9960	1.7679	0.99201	0.8528	1.3177
E-5		0.9976	1.0759	0.99514	0.7147	1.0280
E-6		0.9975	1.0955	0.99505	0.6971	1.0373
E-7		0.9970	1.3014	0.99412	0.7702	1.1306
E-8		0.9955	1.9799	0.99105	0.9268	1.3945
E-9		0.9971	1.2930	0.99416	0.7710	1.1269
E-10		0.9967	1.8390	0.99169	1.0628	1.3439
E-11		0.9730	84.6625	0.61747	5.7131	9.1187

Çizelge 4.16 incelendiğinde Sivas ilinde Genetik Algoritma kullanılarak en iyi performans Kolerasyon, MSE, NSE, RMSE' ye göre E-10 ilişkisinde;MAE değerine görede E-5'de verilmiştir.

Sivas ilinde Yapay Arı Kolonisi kullanılarak Kolerasyon, MSE,NSE'ye göre en iyi performans E-5 ilişkisinde,MAE ve RMSE' ye görede E-6 'da verilmiştir

4.4. Genetik Programlama Yöntemi İle Elde Edilen IDF İlişki Sonuçları

Genetik programlama yöntemi ile her bir istasyona ait hesaplanan yağış şiddet değerleri kullanılarak literatürdeki IDF ilişkilerine benzer IDF ilişkisi türetilmiştir. Çizelge 4.17'de her bir istasyona ait IDF ilişkileri, Çizelge 4.18 de ise eşitliklere ait parametre sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.17. Genetik programlama ile elde edilmiş IDF eşitlikleri

İstasyonlar	IDF Eşitlikleri
Çorum	$i = \frac{a + b.T}{[T + c.\log(T) + d.t.T.\log(t) + e.t.\log(t) + \log(T)]}$
Kayseri	$i = \frac{a + b}{t} + \frac{-c}{[d + e.T.\log(t)]}$
Nevşehir	$i = \frac{a + T}{[b + t * T + c.t.\log(T)] - d}$
Sinop	$i = \frac{a + b.\log(c + T)}{(d + t)}$
Sivas	$i = \frac{a + \{b + c.\log[\log(T - d)]\}}{t}$

Çizelge 4.18. GP eşitliklerine ait parametre değerleri

İstasyonlar	Parametre Değerleri				
	a	b	c	d	e
Çorum	1501.585	70402.066	4.526	0.4779	2.689
Kayseri	1215.5642	44152.498	43279.722	1.05747	0.70726
Nevşehir	55049.8317	7.92097	3.10454	541.55474	-
Sinop	129.3715	2301.6592	1.020434	0.56949	-
Sivas	7.300506	105.7168	147.3070	1.027168	-

5. SONUÇLAR

IDF eğrileri ve yağmurun şiddeti, süresi ve frekansı arasındaki ilişkiyi tanımlayan denklemler, hidrolik yapıların planlanması, tasarlanması ve işletilmesinde yaygın olarak kullanılan araçlardır. Ayrıca küresel iklim değişikliği gibi insan faktörü müdahaleleri, IDF ilişkilerinde farklılaşmaya yol açmıştır. Bu bağlamda, IDF ilişkilerinin başarılı bir şekilde kurulması, söz konusu yapıların uzun vadeli yönetim stratejilerinin güvenilir bir şekilde oluşturulmasına neden olacaktır. IDF ilişkilerinin geleneksel olarak elde edilmesinin dışında, genetik olarak ilham alan yaklaşımlar, birçok başka alanda olduğu gibi, hidrolojideki mevcut sorunu çözmede son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Kızılırmak Havzası'ndaki beş meteoroloji istasyonuna ait standart süreli maksimum yağmur verileri kullanılarak, şiddet-süre-frekans (IDF) ilişkileri oluşturulmuştur. Bu amaçla, öncelikle maksimum yağmurlara en iyi uyan teorik dağılımlar belirlenmiş, ardından Genetik Algoritma (GA) ve Yapay Arı Kolonisi (ABC) optimizasyon teknikleriyle IDF eşitliklerinin ağırlık faktörleri tahmin edilmiştir. Son olarak Genetik Programlama (GP) yöntemi ile yeni IDF modelleri geliştirilmiştir.

Yapılan araştırmalar sonucunda şu bulgulara ulaşılmıştır:

- Yağmur verilerine en iyi uyan dağılımlar istasyona ve süreye göre değişiklik göstermiştir. Çoğunlukla çalışılan istasyonlarda LN3, LP3 ve GEV gibi dağılımlar ön plana çıkmıştır.
- GA ve ABC yöntemleri ile oluşturulan IDF eşitlikleri, geleneksel yöntemlere kıyasla daha düşük hata payı ile sonuçlar elde edilmiştir.
- GP yöntemi ile geliştirilen modeller, istasyonlara ait yağmur verileriyle yüksek uyum göstermiştir.
- Kullanılan optimizasyon tabanlı yöntemler, IDF ilişkilerinin belirlenmesinde hem zamandan tasarruf sağlamış hem de güvenilirliği artırmıştır.

6. ÖNERİLER

- Benzer çalışmaların farklı havzalarda ve iklimlerde yapılması, bu yöntemlerin genellenebilirliğini ortaya koyacaktır.
- Daha ileri düzey optimizasyon teknikleriyle model performansları artırılabilir.
- Gelecekteki iklim senaryoları dikkate alınarak uzun vadeli IDF ilişkileri geliştirilebilir.



7. KAYNAKÇA

- Akın, M., Akın, G.(2007). Suyun Önemi, Türkiye’de Su Potansiyeli, Su Havzaları ve Su Kirliliği. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, 105-118.
- Aksu, H., Cetin, M., Aksoy, H., Yaldiz, S. G., Yildirim, I., & Keklik, G., 2022. Spatial and temporal characterization of standard duration-maximum precipitation over Black Sea Region in Turkey. *Natural Hazards*, 111(3), 2379-2405.
- Anlı, A. S., 2006. Giresun Aksu Havzası Maksimum Akımlarının Frekans Analizi. Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 19 (1), 99-106.
- Anlı, A.S. (2009). Ankara’da Meydana Gelen Yağmurların L Moment Yöntemleri İle Bölgesel Frekans Analizi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi.
- Anonim, 1970. Türkiye’de Maksimum Yağmurların Frekans Atlası, 675, 11, 77, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Aşıkoğlu, Ö. L., 2005. Standart Süreli Maksimum Yağmurlar için Genelleştirilmiş Şiddet-Süre-Tekerrür Modelleri, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Atar, B., 1996. Doğu Akdeniz Bölgesindeki 1 ve 24 Saat Süreli Maksimum Yağmurların Trendlerinin ve Olasılık Dağılımlarının İncelenmesi. (Y.Lisans Tezi), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ayaz S, Aktaş Ö, Baban A, Tırıs M (2010) Preparation of basin protection action plans project. TUBITAK Marmara Research Center, Gebze-Turkey.
- Ayvaz, M:T. , Karahan, H.,Ceylan, Genetik Algoritma Tekniği İle Akifer Parametrelerinin Belirlenmesi, 2.Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı 215-229, 2005.
- Bahadır M (2011) Kızılırmak Nehri Akım Değişimlerinin İstatistiksel Analizi. *Turkish Studies - International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish*, 6:1339–1356.
- Bahriye Baştürk, Derviş Karaboğa,"An Artificial beecolony (abc)algorithm for numeric function optimizasyon" İntelligence symposium, İndianapolis, IN, USA,2006, s.49, 53
- Basakın EE, Ekmekcioglu O, Ozger M, Citakoglu H (2021) Determination of intensity-duration-frequency relation by particle swarm optimization and genetic programming. In: II. International Applied Statistics Conference (UYIK-2021). Tokat, Turkey, pp 1–8
- Bayazıt, M., Hidrolojide İstatistik Yöntemler, İTÜ Kütüphanesi, Sayı: 1197,1981.

- Benzeden, E. ve Bükey, B., 2001. Ege Bölgesi Örneğinde En Uygun Yağmur Şiddeti-Süre-Tekerrür Modelleri, III. Ulusal Hidroloji Kongresi, İzmir, Bildiriler Kitabı, 1: 19-29.
- Benzeden, E. ve Hacısüleyman, H., 2003. Yağmur Şiddeti-Süre-Tekerrür Bağlıntılarındaki Parametrelerin Tekerrür Aralığı ile Değişimi, I. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, İzmir, Bildiriler Kitabı, 1: 159:161.
- Bernard, M. M., 1932. Formulas for Rainfall Intensities of Long Duration, 96: 592-624.
- Cakmak B, Kendirli B, Ucar Y (2007) Evaluation of agricultural water use: a case study for Kizilirmak. J Tekirdag Agric Fac 4:175–185
- Cheng, L., AghaKouchak, A. (2014). Nonstationary precipitation intensity-duration-frequency curves for infrastructure design in a changing climate. Sci-Rep. 4: 1-6.
- Citakoglu H, Demir V (2023) Developing numerical equality to regional intensity–duration–frequency curves using evolutionary algorithms and multi-gene genetic programming. Acta Geophys 71:469–488. <https://doi.org/10.1007/s11600-022-00883-8>
- Çölaşan, U. E., 1969. Türkiye'nin Yağmur Şiddeti-Süre-Tekerrür Eğrileri, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Deger, İ. H. 2019. Generating Rainfall Intensity-Duration-frequency Curves of Southeastern and Eastern Mediterranean Regions of Turkey. Hasan Kalyoncu University Graduate School Of Natural and Applied Sciences, M.Sc. Thesis, 92 p. Gaziantep.
- Deger, İ. H., Yüce M. İ., Aytek A. 2019. Doğu Akdeniz Bölgesi Yağmur Şiddet-Süre-Tekerrür Analizi. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, 10. Ulusal Hidroloji Kongresi, 9-12 Ekim, s.1-8.
- Deger, İ. H., Yüce M. İ., Aytek A., Eşit, M., Uğur, F., Şık, İ. 2022. Gaziantep İli için Yağmur Şiddet-Süre-Tekerrür Eğrilerinin Tespiti. Gaziantep Üniversitesi, 11. Ulusal Hidroloji Kongresi, 13-15 Ekim, s.323-329.
- Derviş Karaboğa, a Modified Artificial bee colong(ABC)Algorithm for konstrained, optimizasion problemis, 2001, s.213
- Dupont BS, Allen DL (2000) Revision of the rainfall intensity duration curves for the commonwealth of Kentucky. Kentucky Transportation Center, College of Engineering, University of Kentucky, Research Report: KTC-00–18
- Elsebaie IH (2012) Developing rainfall intensity–duration–frequency relationship for two regions in Saudi Arabia. J King Saud Univ Eng Sci 24:131–140. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2011.06.001>

- Erdoğan, M. 2020. Fırat-Dicle Havzasında Farklı Şiddetteki Maksimum Yağmurların L-Momentler Yaklaşımıyla Bölgesel Frekans Analizi. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 123s.
- Eryiğit, M. 2012. Şiddet-Süre-Frekans Bağıntısının Yapay Bağışıklık Algoritması Kullanılarak Belirlenmesi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 61s.
- Goldberg DE (1989) Genetic algorithms in search, optimization and machine learning, 1st edn. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc, USA.
- Görkemli B, Citakoglu H, Haktanir T, Karaboga D (2022) A new method based on artificial bee colony programming for the regional standardized intensity–duration-frequency relationship. Arab J Geosci. [https:// doi. org/ 10. 1007/ s12517- 021- 09377-1](https://doi.org/10.1007/s12517-021-09377-1)
- Göktürk, H. 2018. DSİ 7. Bölge İlleri Yıllık Süreli Günlük Maksimum Yağmurları İçin En Uygun Dağılımların Franmod Modeli İle Belirlenmesi. TOKAT Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Ana Bilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, 280.s, Tokat.
- Güçlü, Y.S., Şişman, E., 2013. Şiddet-frekans-süre eğrilerinin farklı yığışımli olasılık fonksiyonları kullanılarak çıkartılması ve karşılaştırılması: Sarıyer, 357-367. Taşkın ve Heyelan Sempozyumu, Ekim 24-26, 2013, Trabzon.
- Hadi, S.J., Tombul, M., 2016. Analyzing the historical rainfall observations and examining the flood event of Hopa, Turkey. International Journal of Environmental Science, 1, 278-283.
- Haktanır, T., 2009. Standart Süreli Yıllık Ekstrem Yağmur Serileri Frekans Analizinde Ağırlıklı Uygunluk Testi. IV. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 6-10 Temmuz, 2009, İstanbul.
- Haktanır, T., Citakoglu H, Seckin, N. 2016. Regional frequency analyses of successiveduration annual maximum rainfalls by L-moments method. Hydrological Sciences Journal, 61 (4), 647–668.
- Hinis, M.A., Yürekli, K., Erdogan, M. 2024. Establishing regional intensity-duration-frequency (IDF) relationships by using the L-moment approach and genetically based techniques for the Euphrates-Tigris basin. Theoretical and Applied Climatology, 155:1363–1380. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04695-8>
- Hosking, J. R. M. ve Wallis, J. R., 1993. Some Statistics Useful in Regional Frequency Analysis. Water Resources Research, 29 (2), 271-281.
- Karahan, H., Ceylan, H., Ayvaz, M. T. 2007. Predicting Rainfall-Intensity using Genetic Algorithm Approach, Hydrological Processes, 21(4), 470-475.

- Karahan, H., Ayvaz, M. T., Gürarslan, G., 2008. Şiddet-süre-frekans bağıntısının genetik algoritma ile belirlenmesi: GAP örneği. Teknik Dergi, 19(92), 4393-4407.
- Karahan, H. 2010. Şiddet-Süre-Frekans Bağıntısının Armoni Araştırma Tekniği ile Belirlenmesi ve Ege Bölgesi İstasyonları için Uygulama, VI. Ulusal Hidroloji Kongresi, 22-24 Eylül 2010, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Karahan, H., Özkan, E., 2013. Ege Bölgesi Standart Süreli Yıllık Maksimum Yağmurları İçin En Uygun Dağılımlar. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(3), 152-157.
- Karahan H. Ceylan, H., Akış Serilerinin Genetik Algoritma İle Tahmini Advances İn Civing Enciniering, 6th. İnternational Conference, İstanbul, 6-8 October, 1289-1298, 2004.
- Karahan, H. Ceylan, H., Ayvaz, M. T., Predicting Rainfall- İntensity usng Genetic Algorithm Aproach, Hydrologicial Processes, 21 (+), 470-475, 2007.
- Karahan, H., Ayvaz M: T., Yağmur- şiddet- süre Bağıntısının Doğrusal olmayan Optimizasyon Tekniği İle Belirlenmesi, Antalya Örneği, Antalya Yöresini İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi Bildiriler kitabı, Cilt 2, 163-170, 2005.
- Karaman, S., Gökalp, Z., 2010. Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerine Etkileri. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, (1), 59-66.
- Kişi, Ö., Üneş, F. ve Cengiz, T. M., 2001. Taşkın Frekans Analizi Paket Programının Antalya Extrem Yağmurlarına Uygulanması. I. Türkiye Su Kongresi, 8-10 Ocak, 2001, İstanbul.
- Koutsoyiannis, D., Kozonis, D. and Manetas, A. (1998). A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. Journal of Hydrology, 206: 118-135.
- Lopçu, Y., 2007. Yıllık Maksimum Yağmurların Şiddet-Süre-Tekerrür Modelleri, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir 63 s.
- Örgün, E. 2015. Türkiye İçin Yağmur Şiddeti-Süre-Tekerrür İlişkilerinin Analizi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 47s., Trabzon.
- Öztürk, K., 2002. Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Olası Etkileri. Gazi Üniversitesi. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22(1).
- Rasel M, Islam M (2015) Generation of rainfall intensity-duration frequency relationship for north-western region in Bangladesh. J Environ Sci, Toxicol Food Technol (IOSR-JESTFT) 9:41-47

- Seçkin, N. ve Yurtal, R., 2008. L-Momentlere Dayalı Gösterge-Sel Metodu ile Bölgesel Taşkın Frekans Analizi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, eDergi, Makaleler, 19 (4), 120-129.
- Seçkin, N., 2009. L-Momentlere Dayalı Gösterge-Sel Metodu ile Bölgesel Taşkın 169 Frekans Analizi. (Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana
- Sherman, C. W., 1931. Frequency and Intensity of Excessive Rainfall At Boston, Massachusetts, Transaction Paper, 95: 951-960.
- Singh, V. P., 1992. Elementary Hydrology. Prentice Hall, 973 p, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Şenocak, S. 2004. Türkiye’deki Bazı Şehir Merkezlerinde Yağmur Şiddeti-Süre-Tekerrür İlişkilerinin Analizi. (Y.Lisans Tezi), Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- Şenocak, S., Acar, R. 2007. Modelling of Short Duration Rainfall (SDR) Intensity Equations for Erzurum. Pamukkale University Engineering College, Journal of Engineering Science, 13(1), 75-80.
- Şen, K., Aksu, H. 2021. İstanbul İçin Standart Süreli Gözlenen En Büyük Yağmurların Eğilimleri. Teknik Dergi, 10495-10514.
- Şen, Z., Genetik Algoritmalar ve En İyileme Yöntemleri, Su Vakfı Yayınları, 2004.
- Tfwala, C.M., van Rensburg, L.D., Schall R., Mosia, S.M., Dlamini, P. (2017). Precipitation intensity-duration-frequency curves and their uncertainties for Ghaap Plateau. Journal of Climate Risk Management, 16: 1-9.
- Yavuz, K. 2018.Türkiye’deki Standart Süreli Yağmurlar İçin Şiddet-Süre-Tekerrür Periyodu İlişkisinin Uygun Olasılık Dağılım Fonksiyonunun Belirlenmesi ve Formülüle Edilmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 58 s., Kayseri.
- Yılmaz, A.G. 2013. Ekstrem Yağmurların Şiddet-Süre-Tekerrür Analizi: Melbourne Örneği, 155-161. Taşkın ve Heyelan Sempozyumu, Ekim 24-26, 2013, Trabzon.
- Yüksek, Ö., Kankal, M., Serencam, U. ve Yıldız, O. E., 2009. Doğu Karadeniz’deki 170 Yıllık En Büyük Debi ve Yağmurlar İçin Uygun Dağılımların Analizi. IV. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 6-10 Temmuz, 2009, İstanbul.
- Yüksek, Ö., Anılan, T., Boğuşlu Öztürk, H. ve Örgün, E., 2016. Şehir Taşkınlarının Tahmininde Yağmur Şiddeti-Süre-Tekerrür Analizi: Rize İli İçin Bir Uygulama. 4. Ulusal Taşkın Sempozyumu, 23-25 Kasım, 2016, Rize.
- Yüksek, Ö., Anılan, T., Saka, F., Örgün E. 2022. Rainfall Intensity-Duration-Frequency Analysis in Turkey, with the Emphasis of Eastern Black Sea Basin. Technical journal, 33, 12087-12103. <https://doi.org/10.18400/tekderg.727085>

- Yürekli, K., Köse, Ö. ve Hınıs, M. A., 2011. Yüzey Drenaja Neden Olan Yıllık Maksimum Yağmurların Bölgesel Frekans Analizi. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 4 (2), 27-30.
- Yurekli K (2021) Scrutinizing variability in full and partial rainfall time series by different approaches. Nat. Hazards 105, 2523-2542. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04410-0>
- Zeybekoğlu, U., Karahan, H. 2018. Standart süreli yağmur şiddetlerinin eğilim analizi yöntemleriyle incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24(6), 974-1004.



