



**T.C.
Harran Üniversitesi
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**ASİ HAVZASI HİDROLOJİK KURAKLIĞININ ÇOK DEĞİŞKENLİ
KOPULA TEORİSİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

AHMET BAŞAK

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**Şanlıurfa
2024**

T.C.
Harran Üniversitesi
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**ASİ HAVZASI HİDROLOJİK KURAKLIĞININ ÇOK DEĞİŞKENLİ
KOPULA TEORİSİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

AHMET BAŞAK

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
Tez Danışmanı: Prof. Dr. VEYSEL GÜMÜŞ

Şanlıurfa
2024

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
2.1. Farklı Yöntemler Kullanılarak Yapılan Kuraklık Analiz Çalışmaları	6
2.2. Kopula Kullanılarak Yapılan Çalışmalar	16
3. MATERYAL ve YÖNTEM	30
3.1. Çalışma Alanı ve Veriler	30
3.2. Yöntem	34
3.2.1 Akım Kuraklık indeksi (AKİ)	34
3.2.2. Hidrolojik Kuraklığın Sınıflandırılması	35
3.2.3. Kopula	35
3.2.4. Tek Değişkenli ve İki Değişkenli Dönüş Periyotları	37
3.2.5. Kopula fonksiyonları	38
3.2.6. Kopula seçimi	39
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	41
4.1. E19A005 İstasyonu Analiz Sonuçları	41
4.1.1. Kuraklık Analizi	41
4.1.2. Gidişler Analizi	43
4.1.3. Kuraklık Bileşenlerinin Marjinal Dağılımları	47
4.1.4. İki Değişkenli Kuraklık Bileşenlerinin Kopula ile Değerlendirilmesi	47
4.2. E19A006 İstasyonu Analiz Sonuçları	53
4.2.1. Kuraklık Analizi	53
4.2.2. Gidişler Analizi	55
4.2.3. Kuraklık Bileşenlerinin Marjinal Dağılımları	58
4.2.4. İki Değişkenli Kuraklık Bileşenlerinin Kopula İle Değerlendirilmesi	59
4.3. E19A007 İstasyonu Analiz Sonuçları	64
4.3.1. Kuraklık Analizi	64
4.3.2. Gidişler Analizi	66
4.3.3. Kuraklık Bileşenlerinin Marjinal Dağılımları	69
4.3.4. İki Değişkenli Kuraklık Bileşenlerinin Kopula ile Değerlendirilmesi	70
4.4. E19A008 İstasyonu Analiz Sonuçları	75
4.4.1. Kuraklık Analizi	75
4.4.2. Gidişler Analizi	77
4.4.3. Kuraklık Bileşenlerinin Marjinal Dağılımları	80
4.4.4. İki Değişkenli Kuraklık Bileşenlerinin Kopula İle Değerlendirilmesi	81
4.5. Genel Değerlendirme	86
4.5.1. Dönüş Periyotları	86
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	90
KAYNAKLAR	92
ÖZGEÇMİŞ	97

ÖZET

Doktora Tezi

ASİ HAVZASI HİDROLOJİK KURAKLIĞININ ÇOK DEĞİŞKENLİ KOPULA TEORİSİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Ahmet BAŞAK

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Veysel GÜMÜŞ
Yıl: 2024, Sayfa: 97

Kuraklık, farklı iklim koşullarında zamana bağlı olarak değişkenlik gösteren karmaşık bir doğa olayıdır. Kuraklığın iklim değişikliğiyle artan sıklığı, yıkıcı etkilerinin hafifletilmesi için önlemlerin alınmasını, kuraklığa karşı hassas bölgelerin hedefli olarak belirlenmesini ve değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu tez çalışmasında, Türkiye'nin Doğu Akdeniz bölgesindeki Asi Nehri Havzası'ndaki hidrolojik kuraklığın, Akım Kuraklık İndeksi (AKİ) yöntemini kullanarak iki farklı zaman ölçeğinde (AKİ-3 ve AKİ-6) değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Kuraklık şiddetleri ve sınıfları 1954-1976, 1976-1998 ve 1998-2020 olmak üzere üç ayrı döneme ayrılarak incelenmiştir. Kuraklık parametrelerinin geçiş aşamaları (süre, şiddet, pik), tek değişkenli ve kopula fonksiyonları kullanılarak iki değişkenli (Süre-Şiddet ve Süre-Pik) olarak analiz edilmiştir. Kuraklık parametrelerini ortak değerlendirmek için 6 farklı kopula fonksiyonu arasında en uygun olanı Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ve Bayesian Bilgi Kriteri (BIC) seçme kriterleri kullanılarak belirlenmiştir. Dört istasyonda her iki zaman ölçeğinde ve iki değişkenli aşamaların neredeyse tamamında (%94'ünde) en uygun kopula Galambos olarak belirlenmiştir. Ayrıca Galambos kopulası kullanılarak hesaplanan kuraklık parametrelerinin tek değişkenli dönüş süreleri ile iki değişkenli dönüş süreleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuçlar, önceki dönemlerle karşılaştırıldığında üçüncü dönemde süre, şiddet, pik gibi elde edilen tüm kuraklık parametrelerinde dikkate değer bir artış olduğunu ve kuraklık şiddetinin özellikle belirgin bir artış gösterdiği görülmüştür. Tek değişkenli dönüş periyoduna karşılık gelen iki değişkenli Süre-Şiddet ve Süre-Pik bileşenlerinin ortak değerlendirildiği dönüş periyodları karşılaştırıldığında, Hatay İli, Antakya İlçesi, Demirköprü mahallesinde konumlu E19A007 istasyonu hem AKİ-3 hem de AKİ-6 için çalışılan istasyonlar arasında en çok risk barındıran istasyon olmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Asi Havzası, hidrolojik kuraklık, kopula, dönüş periyodu

ABSTRACT

PhD Thesis

EVALUATION OF THE HYDROLOGICAL DROUGHT IN THE ORANTES BASIN USING MULTIVARIATE COPULA THEORY

Ahmet BAŞAK

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Veysel GÜMÜŞ
Year: 2024, Page: 97**

Drought is a complex natural phenomenon that varies over time under different climatic conditions. The increasing frequency of drought with climate change requires measures to be taken to mitigate its devastating effects and targeted identification and assessment of drought-prone regions. In this thesis, it is aimed to evaluate the hydrological drought in the Asi River Basin in the Eastern Mediterranean region of Turkey at two different time scales (3 and 6 months) using the Stream Drought Index (SDI) method. Drought severity and classes were analysed by dividing into three different periods as 1954-1976, 1976-1998 and 1998-2020. The transition stages of drought parameters (duration, intensity, peak) were analysed as univariate and bivariate (Duration-Severity and Duration-Peak) using copula functions. In order to jointly evaluate the drought parameters, the most appropriate one among six different copula functions was determined using the Akaike Information Criterion (AIC) and Bayesian Information Criterion (BIC) selection criteria. At four stations, Galambos was found to be the most appropriate copula at both time scales and in almost all (94%) of the bivariate phases. Comparisons were also made between the univariate return periods of drought parameters calculated using the Galambos copula and the bivariate return periods. The results showed that there was a significant increase in all drought parameters such as duration, intensity and peak in the third period compared to the previous periods, and drought intensity showed a particularly significant increase. Comparison of the bivariate return periods, where the duration-severity and duration-peak components were evaluated jointly, E19A007 station located in Demirköprü neighbourhood of Antakya District, Hatay Province was the station with the highest risk among the stations studied for both 3 and 6-month.

KEYWORDS: Orontes River basin, hydrological drought, copula, return periods

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez konumun belirlenmesinde ve hazırlanmasında bana rehberlik eden, yardımda bulunan ve akademik gelişimime katkı sağlayan danışman hocam sayın Prof. Dr. Veysel GÜMÜŞ'e, doktora eğitimime katkıda bulunan Doç. Dr. Oğuz ŞİMŞEK ve Prof. Dr. Mustafa Hakkı AYDOĞDU'na, tezin yazılma sürecinde desteklerini esirgemeyen, Dr. Yavuz AVŞAROĞLU'na, Öğr. Gör. Ahmet Erhan EREN'e ve Harran Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarı çalışma grubundaki, Öğr. Gör. Cihat BENGİ, İnş. Yük. Müh. Mehmet PARMAKSIZ, İnş. Yük. Müh. Mehmet Celal CAN, İnş. Yük. Müh. İbrahim Halil İFŞAAT, Arş. Gör. Latif Doğan DİNSEVER, İnş. Yük. Mim. Mahmut NİMETOĞLU, Dr. Mehmet ŞEKER, İnş. Yük. Müh. Wlat İBRAHİM'e teşekkür ediyorum.

Ayrıca eşim Aslı ve aileme bu süreç boyunca verdikleri destek, gösterdikleri sabır ve her zaman yanımda oldukları için sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3. 1. Türkiye’de yer alan su havzaları	30
Şekil 3. 2. Çalışma Alanı.....	31
Şekil 4. 1 E19A005 istasyonu AKİ-3 ve AKİ-6 değerlerinin zamansal değişimi	41
Şekil 4. 2. AKİ-3’e göre E19A005 istasyonuna ait kurak ve nemli dönem yüzdeleri	42
Şekil 4. 3 AKİ-6’ya göre E19A005 istasyonuna ait kurak ve nemli dönem yüzdeleri	43
Şekil 4. 4. E19A005 istasyonuna ait kuraklık süre ve şiddet değerlerinin saçılım grafikleri	45
Şekil 4. 5. E19A005 İstasyonuna ait Kuraklık Süre ve Şiddet Değerlerinin Korelasyonu.	46
Şekil 4. 6. E19A006 istasyonu AKİ-3 ve AKİ-6 değerlerinin zamansal değişimi	53
Şekil 4. 7. AKİ-3’e göre E19A006 istasyonuna ait kurak ve nemli dönem yüzdeleri	54
Şekil 4. 8. AKİ-6’ya göre E19A006 istasyonuna ait kurak ve nemli dönem yüzdeleri	55
Şekil 4. 9. E19A006 istasyonuna ait kuraklık süre ve şiddet değerlerinin saçılım grafikleri	57
Şekil 4. 10. E19A006 istasyonuna ait kuraklık süre ve şiddet değerlerinin korelasyonu.	58
Şekil 4. 11. AKİ-3 ve AKİ-6 için tek değişkenli dönüş periyotlarına karşılık gelen İki değişkenli dönüş periyotları	62
Şekil 4. 12. E19A007 istasyonu AKİ-3 ve AKİ-6 değerlerinin zamansal değişimi	64
Şekil 4. 13. AKİ-3’e göre E19A007 istasyonuna ait kurak ve nemli dönem yüzdeleri	65
Şekil 4. 14. AKİ-6’ya göre E19A007 istasyonuna ait kurak ve nemli dönem yüzdeleri	66
Şekil 4. 15. E19A007 istasyonuna ait kuraklık süre ve şiddet değerlerinin saçılım grafikleri	68
Şekil 4. 16. E19A007 istasyonuna ait kuraklık süre- şiddet ve kuraklık süre-pik değerlerinin korelasyonu.	69
Şekil 4. 17. AKİ-3 ve AKİ-6 için tek değişkenli dönüş periyotlarına karşılık gelen İki değişkenli dönüş periyotları	73
Şekil 4. 18. E19A008 istasyonu AKİ-3 ve AKİ-6 değerlerinin zamansal değişimi	75
Şekil 4. 19. AKİ-3’e göre E19A008 istasyonuna ait kurak ve nemli dönem yüzdeleri	76
Şekil 4. 20. AKİ-6’ya göre E19A008 istasyonuna ait kurak ve nemli dönem yüzdeleri	77
Şekil 4. 21. E19A008 istasyonuna ait kuraklık süre ve şiddet değerlerinin saçılım grafikleri	79
Şekil 4. 22. E19A008 istasyonuna ait kuraklık süre ve şiddet değerlerinin korelasyonu	80
Şekil 4. 23. AKİ-3 ve AKİ-6 için tek değişkenli dönüş periyotlarına karşılık gelen İki değişkenli dönüş periyotları	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3. 1. İstasyon Bilgileri	32
Çizelge 3. 2. AKİ değerlerine göre kurak ve yağışlı dönemlerin sınıflandırılması	35
Çizelge 3. 3. Kopula Fonksiyonları.....	39
Çizelge 4. 1. Maksimum kuraklık parametrelerinin dönemsel değişimleri	44
Çizelge 4. 2. AKİ-3 ve AKİ-6 için en uygun marjinal dağılımlar ve parametreler	47
Çizelge 4. 3. Kopulalar için hesaplanan AIC, BIC ve Parametre değerleri.....	48
Çizelge 4. 4. AKİ-3 ve AKİ-6 için Tek değişkenli Dönüş Periyotları.....	49
Çizelge 4. 5. süre şiddet için iki değişkenli dönüş periyotları	52
Çizelge 4. 6. süre-pik için iki değişkenli dönüş periyotları	53
Çizelge 4. 7. Maksimum kuraklık parametrelerinin dönemsel değişimleri	56
Çizelge 4. 8. AKİ-3 ve AKİ-6 için en uygun marjinal dağılımlar ve parametreler	59
Çizelge 4. 9. Kopulalar için hesaplanan AIC, BIC ve Parametre değerleri.....	59
Çizelge 4. 10. AKİ-3 ve AKİ-6 için Tek değişkenli Dönüş Periyotları.....	60
Çizelge 4. 11. Süre-şiddet için iki değişkenli dönüş periyotları	63
Çizelge 4. 12. Süre-Pik İçin İki Değişkenli Dönüş Periyotları.....	64
Çizelge 4. 13. Maksimum kuraklık parametrelerinin dönemsel değişimleri	67
Çizelge 4. 14. AKİ-3 ve AKİ-6 için en uygun marjinal dağılımlar ve parametreler	70
Çizelge 4. 15. Kopulalar için hesaplanan AIC, BIC ve Parametre değerleri.....	71
Çizelge 4. 16. AKİ-3 ve AKİ-6 için Tek değişkenli Dönüş Periyotları.....	72
Çizelge 4. 17. Süre Şiddet İçin İki Değişkenli Dönüş Periyotları	74
Çizelge 4. 18. Süre Pik İçin İki Değişkenli Dönüş Periyotları	75
Çizelge 4. 19. Maksimum kuraklık parametrelerinin dönemsel değişimleri	78
Çizelge 4. 20. AKİ-3 ve AKİ-6 için en uygun marjinal dağılımlar ve parametreler	81
Çizelge 4. 21. Kopulalar için hesaplanan AIC, BIC ve Parametre değerleri.....	81
Çizelge 4. 22. AKİ-3 ve AKİ-6 için Tek değişkenli Dönüş Periyotları.....	82
Çizelge 4. 23. Süre-Şiddet için İki Değişkenli Dönüş Periyotları	85
Çizelge 4. 24. Süre-Pik için İki Değişkenli Dönüş Periyotları	86
Çizelge 4. 25. AKİ-3 ve AKİ-6 için hesaplanan tek değişkenli dönüş periyotları	87
Çizelge 4. 26. Tek değişkenli dönüş perioduna karşılık gelen iki değişkenli dönüş periyodu	89

SİMGELER DİZİNİ

AGİ	Akım gözlem istasyonu
AIC	Akaike Bilgi Kriteri
AMH	Ali-Mikhail-Haq
BIC	Bayes Bilgi Kriteri
C	Kopula fonksiyonu
CFD	Kümülatif dağılım fonksiyonu
CP	Koşullu olasılık
D	Kuraklık süresi
d	Kuraklık süresinin belirlenen bir eşik değerini aşan kuraklık şiddetinin koşullu olasılığı
DSİ	Devlet Su İşleri
$E(L)$	İki kuraklık arasındaki süre
EİEİ	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
$F_S(d)$	Kuraklık süresinin kümülatif dağılım fonksiyonu
$F_S(s)$	Kuraklık şiddetinin kümülatif dağılım fonksiyonu
$F_S(p)$	Kuraklık pik değerinin kümülatif dağılım fonksiyonu
i	Veri gözlem sırası
j	Veri ay sırası
L	İki kuraklık arasındaki süre
MGİ	Meteoroloji gözlem istasyonu
MLE	Maksimum olabilirlik tahmini
P	Kuraklık pik değeri
PDSI	Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi
PET	Potansiyel evapotranspirasyon
Q	Aylık akım verisi
S	Kuraklık şiddeti
s	Kuraklık şiddetinin belirlenen bir eşik değerini aşan kuraklık süresinin koşullu olasılığı
SDF	Kuraklık şiddet-süre-frekansı
SDI	Akım Kuraklık İndeksi
S_k	Standart sapma
SPEI	Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi
SSI	Standartlaştırılmış Toprak Nem İndeksi
SRI	Standartlaştırılmış Akış İndeksi
$T'_{Dp^{vyae}}$	Kuraklık süre veya pik değerinin belirli bir değere eşit veya büyük olduğu dönüş periyodu
$T'_{DS^{vyae}}$	Kuraklık süre veya şiddetinin belirli bir değere eşit veya büyük olduğu dönüş periyodu
T_D	Kuraklık süresinin belirli bir değere eşit ve büyük olması durumundaki dönüş periyodu
$T_{Dp^{ve}}$	Kuraklık süre ve pik değerinin belirli bir değere eşit veya büyük olduğu dönüş periyodu
$T_{DS^{ve}}$	Kuraklık süre ve şiddetinin belirli bir değere eşit veya büyük olduğu dönüş periyodu
T_S	Kuraklık şiddetinin belirli bir değere eşit ve büyük olması durumundaki dönüş periyodu
V_k	Kümülatif akım hacim ortalaması

1. GİRİŞ

Geçmişte yaşamış toplumlar, ilk yerleşim alanlarını genellikle su kaynaklarına yakın yerlerde kurmuşlardır. Kurak bölgelerde yaşayanlar ise vahadan veya yeraltı suyundan yararlanabilecekleri yerlerde konumlanmış ve bu alanlarda tarım yapmaya başlamışlardır. Tarımın gelişmesiyle birlikte toplumlar yerleşik hayata geçmiş, bu da devlet ve medeniyet olgusunu doğurmuştur. Bu ilk medeni toplumların ekonomik temeli tarım olup, tarımsal verim, bu devletlerin refah düzeyini belirlemiştir. Uzun süren kıtlık dönemleri ise bu devletlerin yıkılmasına veya yöneten hanedanların değişmesine yol açmıştır. Bu nedenle kuraklık, insanlık tarihi boyunca toplumsal, ekonomik ve siyasi yönlendirmelere sebep olmuştur. Tarım, su ve toprağın verimli buluşmasıyla büyük ekonomik büyüme potansiyeli yaratmış ve bu büyüme su yönetimi ile ilgili teknik gelişmelere bağlı kalmıştır (Şen, 2009).

Dünya nüfusunun artması, artan gıda ihtiyacı, kentleşmenin doğa tahribatını tetiklemesi ve iklim değişikliğinin etkileri, ekolojik dengenin bozulmasına neden olmaktadır. İklim değişikliğini küresel ölçekte ele alan birçok uluslararası kuruluşun araştırmalarına göre, gelecekte dünyanın bazı bölgelerinde taşkın gibi meteorolojik afetlerin süre ve frekansında artış beklenirken, bazı bölgelerinde ise daha uzun süreli ve şiddetli kuraklıklar yaşanabilecektir. Türkiye, Doğu Akdeniz bölgesinde yer alması nedeniyle küresel ısınmanın olumsuz sonuçlarından olan kuraklık ve su kaynaklarının azalması gibi ekolojik bozulmalar konusunda risk grubunda bulunan ülkeler arasında yer almaktadır (IPCC, 2007) (IPCC, 2009).

Akdeniz kıyıları, kara-deniz etkileşiminden kaynaklı sıcaklık değişimlerine diğer bölgelere kıyasla daha çok maruz kalmaktadır. Akdeniz yağış türünün hâkim olduğu Ege ve Akdeniz kıyılarında, yağışların büyük kısmı kış aylarında, en düşük yağışlar ise yaz aylarında görülmektedir. Yaz kuraklığı, mevsimler arası yağış değişkenliği ve kurak dönemler, Türkiye’de su kaynakları üzerindeki en büyük baskıyı oluşturmaktadır (Bayazıt & Önöz, 2008).

Kuraklık, farklı iklim koşullarında zamana bağlı olarak değişkenlik gösteren karmaşık bir doğa olayıdır. Tüm canlıların yaşam alanını, ekonomiyi ve tarımsal ürünlerin arz-talep dengesini olumsuz yönde etkileyen doğal bir afettir. Etki sınırının bilinmemesi ve süresinin öngörülememesi, kuraklığı diğer doğal afetlerden ayıran en önemli özelliğidir. Kuraklığın ekonomiye verdiği zararlar, çoğu zaman taşkın gibi doğal afetlerin zararından daha az olmamaktadır (Bayazıt & Önöz, 2008).

Kuraklık genel bir tanıma sahip olsa da farklı parametrelere bağlı olarak gerçekleşen kuraklık türleri vardır. Dört ana kuraklık türü (meteorolojik, hidrolojik, tarımsal ve sosyo-ekonomik kuraklık) bulunmaktadır. Bu türlerin her biri farklı kuraklık durumlarını tanımlasa da birbiriyle ilişkilidir. Her kuraklık türüne karşılık gelen tanımlama bileşenleri ve kuraklığın uzun sürmesi durumunda olası yıkıcı etkiler Şekil 1. 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. 1. Kuraklığın türleri ve yıkıcı etkileri

Yeryüzündeki suyun kaynağı yağışlardır. Yağışların uzun yıllar ortalamasının altında kalması meteorolojik kuraklık olarak tanımlanır. Akım verilerinin uzun yıllar ortalamasının altında kalması ise hidrolojik kuraklık olarak adlandırılır. Meteorolojik kuraklık sonrasında hidrolojik kuraklığın yaşanması beklenir (Gumus & Algin, 2017). Yağış ve akım değerlerindeki azalma, bitkilerin ihtiyaç duyduğu suyun toprakta bulunmamasına veya sulamanın yetersiz olmasına yol açarak tarımsal kuraklığa sebep olabilir. Bu durumda arz talep dengesinin bozulması ve sosyo-ekonomik kuraklık yaşanması olasıdır. Hidrolojik kuraklığın değerlendirilmesi, tarımsal faaliyetlerin belirlenmesi, mevcut su kaynaklarının planlanması ve işletilmesi açısından büyük önem taşır. Kuraklık, yağış eksikliği olarak genel bir tanıma sahip olsa da asıl yıkıcı

etkiler zemin neminin azalması, akarsularda akışın azalması ve biriktirme haznelerindeki suyun azalmasıyla ortaya çıkar.

Hidrolojik kuraklığın ilk belirtileri, akarsuların akımlarında azalmalar, yeraltı su seviyesinde düşmeler veya biriktirme haznelerinde seviyenin düşmesi olarak ortaya çıkar. Bu tür kuraklık, su yapılarının işlevsiz kalmasına veya inşa amacına hizmet edememesine neden olabilir. Örneğin, mevcut bir barajın hem enerji üretiminde hem de temin ettiği sulama ve içme suyu miktarında azalma meydana gelebilir. Dolayısıyla gerçek anlamda su sıkıntısı hidrolojik kuraklığın etkisiyle ortaya çıkar. Gelişmekte olan ülkelerde kuraklığın etkileri daha fazla hissedilir. Hidrolojik kuraklık analizi çalışmaları, su kaynaklarını etkin planlamak suretiyle kuraklığın yıkıcı etkilerini azaltabilir (Bayazıt & Önöz, 2008). Bu nedenle, su kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması, su kaynakları üzerinde inşa edilen veya inşa edilmesi planlanan su yapılarının işletilmesi ve tarımsal ile endüstriyel faaliyetlerin sürdürülebilir olması açısından hidrolojik kuraklığın değerlendirilmesi büyük önem taşır.

İklim değişikliğinin bir sonucu olarak sık yaşanan taşkın ve kuraklık gibi doğal afetler, hidrolojik çalışmaların önemini artırmıştır. Küresel gıda arz-talep dengesi, pandemi koşullarının doğal bir sonucu olarak, ülkelerin sınırlarını kapatması ile krize dönüşmüştür. Çözüm olarak ulusal bazda tarım politikaları önem kazanmakta, bölgesel hatta havza bazlı mikro ölçekte nehir havzalarının etkin planlanması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen deprem, Asi Nehir Havzası'ndaki bazı illeri ekonomik olarak felce uğratmıştır. Havzadaki tarımın ekonomiye maksimum katkı sağlaması, yavaş ilerleyen bir hidrolojik olay olan kuraklıkla mücadeleyi gerekli kılmaktadır. Ancak bu şekilde kuraklığın yıkıcı etkilerini azaltabiliriz. Bu da bizi kuraklık analizi çalışmalarına yönlendirmektedir.

Kuraklık gibi hidrolojik olayların istatistiksel analizini yapabilmek için düzenli olarak ölçülmüş ve kayıt altına alınmış uzun süreli zaman verileri gereklidir. Bu tür çalışmalarda istatistik, örnek verilerden yığın parametreleri tahmin etme rolünü üstlenir. Kuraklık değerlendirmesinde birden çok parametrenin kullanılması, daha etkili bir değerlendirme için tercih edilen bir yöntemdir. Ancak kuraklık

parametrelerinin farklı dağılım fonksiyonlarına uyması önemli bir sorun olmakla birlikte, bu bağımlılığı modellemek amacıyla son yıllarda kopula fonksiyonları sık kullanılan bir yöntem olmuştur.

Bu çalışmada, Türkiye'nin güneyinde yer alan ve sınır aşan sular kapsamına giren Asi Nehir Havzasında bulunan dört akım gözlem istasyonuna ait hesaplanmış Akım Kuraklık İndeksi (AKİ) değerlerinin zamansal dağılımı değerlendirilmiştir. Tarihsel kuraklık indislerinin değerlendirilmesinin yanı sıra, bölgedeki kuraklıkların temel bileşenleri (kuraklık süresi, şiddeti ve pik değeri) üç zaman aralığında (1954-1976, 1976-1998 ve 1998-2019) iki farklı zaman ölçeği (AKİ-3 ve AKİ-6) için incelenmiştir. Son olarak, kuraklık süre-şiddet ve kuraklık süre-pik değerlerinin tek değişkenli ve kopula fonksiyonları yardımıyla iki değişkenli dönüş periyotları hesaplanarak, kuraklık risk durumları karşılaştırılmıştır. Bu tez çalışmasında elde edilecek sonuçlarla, Asi Havzasında su kaynakları yönetimi ve kuraklığın yıkıcı etkilerini azaltmak için temel bilgiler elde edilmesi hedeflenmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kuraklık analizi çalışmalarının temel gayesi kuraklığın önceden tahmin edilmesidir. Çünkü, gelecekte olası kuraklıkların başlama tarihlerinin, kuraklık sürelerinin, kuraklık şiddetinin ve kuraklığın etki alanının doğru tahmin edilmesi, kuraklığın yıkıcı etkilerine karşı önlem almada oldukça önemli kriterlerdir.

Analiz çalışmaları için kullanılan yöntemler genellikle meteorolojik ve hidrolojik yöntemler olarak sınıflandırılır. Yeryüzündeki suyun kaynağı olan yağışların azalması, her ne kadar kuraklığın başlamasını tetiklese de asıl hasarlar, zemindeki nem eksikliği, nehir akımında ve biriktirme haznelerinde (bentler, barajlar, göller) suyun eksilmesiyle ortaya çıkar. Kuraklıkla ilgili hidrolojik çalışmalar, kuraklığın etkisini azaltabilir, bu da su kaynaklarının etkin planlanması ile mümkün olabilir (Şen, 2009) (Bayazit & Önöz, 2008). Ayrıca, insan etkilerinin son zamanlarda hidrolojik kuraklığı şiddetlendirdiği birçok araştırmacı tarafından dile getirilmiştir.

Kuraklığın izlenmesinin en temel yolu kuraklık indeksleridir (Gümüş, 2017). Farklı kuraklık türlerinin değerlendirilmesi için çeşitli araştırmacılar tarafından farklı indeksler geliştirilmiştir. Örneğin; meteorolojik kuraklık için Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ), tarımsal kuraklık için Toprak Nemi Açığı İndeksi (Soil Moisture Deficit Index -SMDI) ve Sosyo Ekonomik Kuraklık İndeksi için (Multivariate Standardized Reliability and Resilience Index-MSRRI) yöntemleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Hidrolojik kuraklığın belirlenmesinde ve değerlendirilmesinde ise farklı araştırmacılar tarafından çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bunlardan bazıları; Akım Kuraklık İndeksi-(AKİ) -(Nalbantis & Tsakiris, 2009), Normalin Yüzdesi Metoduna (PNI - Percent of Normal Index (PNI)- (Nikbakht ve ark., 2013), Standartlaştırılmış Akış Kuraklık İndeksi (Standardize Runoff Index -SRI) (Shukla & Wood, 2008), Yüzey Suyu İhtiyaç İndeksi (Surface Water Supply Index- SWSI) (Shafer & Dezman, 1984), Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (Palmer Hydrologic Drought Index-PDSI (Palmer, 1965), Yüzey Suyu İhtiyaç İndeksi (Surface Water Supply Index) (Shafer & Dezman, 1984), Kuraklık İyileştirme Yöntemi (Reclamation Drought Index-RCDI)

(Weghorst, 1996) yöntemleridir. Ancak, dünyanın farklı bölgelerinde hidrolojik kuraklığın değerlendirilmesinde, Nalbantis ve Tsakiris (2009) tarafından önerilen ve sadece akım verilerini kullanan Akım Kuraklık İndeksi (AKİ) sıkça tercih edilmektedir. Girdi parametresi olarak sadece aylık ortalama akım değerlerine ihtiyaç duyması ve diğer hidrolojik kuraklık indekslerinden farklı olarak, daha az veri ihtiyacı duyması, diğer yöntemlere kıyasla Akım Kuraklık İndeksi'nin en büyük avantajıdır.

Ülkemiz başta olmak üzere, Dünya'nın farklı bölgelerinde, çok sayıda araştırmacı, akım verilerini kullanarak farklı zaman ölçekleri için hidrolojik kuraklığı AKİ yöntemiyle analiz etmişlerdir.

2.1. Farklı Yöntemler Kullanılarak Yapılan Kuraklık Analiz Çalışmaları

Son yıllarda AKİ başta olmak üzere farklı yöntemler kullanılarak hidrolojik ve meteorolojik kuraklığın izlenmesinde Türkiye'de ve Dünya'da yapılan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

Tabari ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada, hidrolojik kuraklık analizi için kullanılan mevcut kuraklık indeksleri incelenmiştir. Araştırmacılar, bu indekslerin yoğun veri ihtiyacı ve hesaplama zorluklarına odaklanarak, Nalbantis ve Tsakiris (2009) tarafından geliştirilen Akım Kuraklık İndeksi'nin (AKİ) basitlik ve etkinlik açısından üstün olduğunu belirtmişlerdir. Kuzeybatı İran'daki 14 istasyonun 1975-2009 yılları arasındaki akım verileri AKİ yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu analizde, 3, 6 ve 12 aylık periyotlar için kullanılan akım serilerinin bazılarının normal dağılıma uymadığı, uzun süreli ölçümler için ise log-normal dağılımın daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Araştırma sonucunda, incelenen istasyonların çoğunda son yıllarda aşırı kuraklık yaşandığı belirlenmiştir.

Akar ve ark. (2015), Yozgat, Sorgun İkikara Havzası'nda 1990-2004 yılları arasındaki aylık yağış ve akım verilerini kullanarak meteorolojik ve hidrolojik kuraklık analizi yapmışlardır. Bu analizde, Modifiye Fournier İndeksi (FI), Bagnouls-Gaussen Kuraklık İndisi (Kİ), Erosivity İndeksi (EI), Aşındırıcı Güç İndisi (AGİ) ve

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) gibi çeşitli kuraklık indekslerini değerlendirmişlerdir. Araştırma, kurak ve yağışlı dönemleri saptamak amacıyla yapılmıştır. Ayrıca, bu indekslerin hidrolojik kuraklık üzerindeki etkisini de incelemişlerdir. Sonuç olarak, yağışlı dönemlere geçişte yıllık toplam akım değerlerinin arttığını ve meteorolojik kuraklık indekslerinin çoğunun hidrolojik kuraklıkla ilişkili olduğunu, ancak her indeksin farklı bir değerlendirme yaptığını bulmuşlardır. Buna karşın, meteorolojik kuraklık indekslerinin hidrolojik kuraklığı tanımlamada tatmin edici sonuçlar vermediğini belirtmişlerdir.

Hong ve ark. (2015), hidrolojik kuraklıkların değerlendirilmesi ve izlenmesi için AKİ yönteminin kullanımını incelemişlerdir. Bu yöntemin, kümülatif akım verileri üzerinden kuraklığın başlangıcını ve süresini başarılı bir şekilde tahmin etme yeteneği ve alansal boyutun değerlendirilmesindeki basitliğine dikkat çekmişlerdir. Çalışmalarını, Yukarı Yangtze Nehri üzerinde bulunan Yichang istasyonundaki 1882-2009 yılları arasındaki akım verileri üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Kuraklık analizinin zorluklarına işaret eden bu çalışmada, 12 aylık AKİ değerlerinin oluşturulmasında kullanılan uzun süreli akım verilerinin, dağılım fonksiyonlarının parametrelerini ve analiz sonuçlarını daha doğru tahmin etme olanağı sağladığı belirtilmiştir.

Gumus ve Algin (2017) AKİ yöntemini minimal veri gereksinimi (sadece akım değerleri) ve hesaplama kolaylığı açısından değerlendirmişlerdir. Doğu Akdeniz bölgesinde son yıllarda yaşanan kuraklığın tarihsel olarak en kötü dönemlerden biri olduğunu savunmuşlar ve bu bağlamda Seyhan ve Ceyhan Havzalarında kuraklık endişelerinin arttığını vurgulamışlardır. Seyhan ve Ceyhan havzalarında 14 meteoroloji istasyonundan alınan yağış verileriyle Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ), 12 akım gözlem istasyonundan alınan verilerle AKİ değerlerini hesaplamışlardır. 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde meteorolojik ve hidrolojik kuraklık analizi yapmışlardır. Özellikle, 3 ve 6 aylık zaman ölçeklerinin su kaynakları yönetimi için daha önemli olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında, hidrolojik ve meteorolojik kuraklıklar arasında güçlü bir korelasyon olduğunu ve bu durumların birbirinin devamı niteliğinde olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, tahmin edilen

hidrolojik kuraklığın bölgedeki su ve toprak kaynaklarının planlanmasına katkı sağlayacağını belirtmişlerdir.

Gümüş (2017), Asi Havzası'ndaki dört akım gözlem istasyonundan alınan 52 yıllık (1954-2005) aylık ortalama akım verilerini kullanarak AKİ serilerini hesaplamıştır. Bu verilerle 3, 6 ve 12 aylık AKİ değerlerini elde ederek, kurak ve nemli dönemlerin yanı sıra kuraklığın şiddetini, büyüklüğünü ve dağılımını analiz etmişlerdir. İstasyon sonuçlarının genellikle ortalama değerlere yakın olduğu gözlemlenmiştir. Asi Havzası'nda, özellikle 2000 yılından itibaren artan bir kuraklık trendine dikkat çekmişlerdir. Ayrıca, sınır aşan sular açısından stratejik öneme sahip olan Asi Nehir Havzası'nda, kuraklık etkilerinin azaltılması ve su kaynaklarının etkin planlanması için hidrolojik kuraklık çalışmalarının artırılmasının gerekli ve önemli olduğunu vurgulamıştır.

Aksoy ve ark. (2018), Meriç Ergene hidrolojik havzasında bulunan bir meteoroloji gözlem istasyonundan elde edilen aylık yağış verilerini kullanarak, kuraklığın şiddet, süre ve frekans gibi değişkenlerle karakterize edilmesinin önemini vurgulamışlardır. Aylık, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık periyotlar için Standartlaştırılmış Yağış İndeksleri hesaplamışlar ve 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık dönüş periyotları için kuraklık süre, şiddet ve frekans eğrilerini oluşturmuşlardır. Bu eğriler sayesinde, belirli dönüş periyodu ve süreli kuraklık şiddetinin hesaplanabileceğini ve bu bilginin kuraklığa karşı önlem alınmasında önemli bir adım oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Topçu (2018), Doğu Akdeniz, Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarındaki 35 meteoroloji istasyonunun verilerini (yağış, sıcaklık, nispi nem, açık ve kapalı gün sayısı) ve 56 akım gözlem istasyonunun akım verilerini, farklı kuraklık indeksleri yardımıyla, (Keşif Kuraklık İndeksi, Ondalık Kuraklık İndeksi, Bütünleşik Kuraklık İndeksi ve Akım Kuraklık İndeksi) 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlar için kuraklık analizi gerçekleştirmiştir. Araştırmada, bu havzalarda son yıllarda sık sık şiddetli kuraklıkların meydana geldiği ve özellikle 2001 yılında tüm periyotlarda aşırı kuraklık yaşandığı belirlenmiştir. Kuraklık sebeplerinin yağış azalması ve nehir suyunun sulama amaçlı çekilmesi olduğunu tespit etmiş, havzada yaşanan kuraklığın

ciddiyetine dikkat çekmiş ve su kaynaklarının etkin kullanımı ile su tüketicilerinin bilinçlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Özfidaner (2018), Türkiye'deki 48 meteoroloji ve 55 akım gözlem istasyonunun verilerini kullanarak, geniş bir alanda meteorolojik ve hidrolojik kuraklık analizi yapmıştır. 1968-2007 yılları arasındaki yağış verileri ile SYİ yöntemini kullanarak aylık, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman periyotlarında meteorolojik kuraklığı hesaplamıştır. Aynı dönem için, akım verileriyle, 3, 6 ve 12 aylık AKİ değerlerini hesaplayıp kuraklık sınıflarını belirlemiştir. Çalışma sonucunda, Türkiye'nin doğusunda hidrolojik kuraklığın daha yoğun hissedileceği ve Akdeniz bölgesinde ise şiddetli kuraklıkların olduğunu tespit etmiştir.

Özfidaner ve ark. (2018) hidrolojik döngünün karmaşıklığı ve kuraklık analizlerinin zorluklarına dikkat çekerek, Seyhan Havzası'nda 1967-2007 yılları arasındaki ortalama aylık akım verilerini, AKİ yöntemine uygulayarak 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman periyotlarında kuraklığın şiddetini belirlemişlerdir. Özellikle, 9 ve 12 aylık dönemlerde her istasyonda benzer AKİ değerleri elde etmişlerdir. Araştırmada, küresel iklimsel değişikliklerin sonucu olarak kuraklığın ciddi bir tehdit oluşturduğu ve özellikle 2000 yılından sonra Seyhan bölgesinde 3 ve 6 aylık kuraklıkların önem kazandığı vurgulanmıştır. Çalışma, küresel çapta iklimsel değişiklikler nedeniyle hidrolojik kuraklığın büyük bir tehdit olduğunu ve kuraklığın izlenmesinin yanında her sektör için kuraklık eylem planlarının hazırlanması gerektiğini önermişlerdir.

Ozkaya ve Zerberg (2019), hidrolojik kuraklık analizlerinin genellikle doğal akım verileri kullanılarak yapıldığını belirtmiş, ancak baraj ve bent gibi yapay yapıların akış rejimlerini değiştirdiğini ve bu değişikliklerin hidrolojik kuraklık özelliklerini etkileyebileceğini savunmuşlardır. Dicle Nehri üzerindeki barajlar ve enerji yapılardan dolayı değişen akım verilerinin doğal formuna döndürülmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Yukarı Dicle Havzası'ndaki 47 akım gözlem istasyonundan 1972-2011 yılları arasındaki aylık ortalama akım verilerini kullanarak, bölgenin 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde AKİ yöntemiyle hidrolojik kuraklık analizini yapmışlardır. 1990 yılından itibaren kuraklık şartlarının arttığını ve her on

yılda kuraklık koşullarının yoğunluğunun ve sıklığının arttığına dikkat çekmişlerdir. Araştırma, hidrolojik kuraklığın erken değerlendirmesi ve önleyici tedbirlerin önemini vurgulamış, ayrıca nehirlerin doğal akışının korunmasının önemine işaret etmişlerdir.

Bacanlı ve ark. (2019), Akdeniz bölgesindeki kuraklık analizleri için 8 meteoroloji gözlem istasyonundan elde edilen yağış ve sıcaklık verilerini kullanarak Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SYEI) ile çalışma gerçekleştirmişlerdir. Thornthwaite yöntemi kullanılarak elde edilen 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık SYEI değerleri ile bölgenin nemli ve kurak dönemlerini kıyaslamışlardır. 1970-2018 yılları arasında bölgedeki kuraklık durumuna dikkat çekmişler ve Akdeniz bölgesinde normale yakın kuraklık sınıfının en yüksek yüzdeye sahip olduğunu belirlemişlerdir. Araştırma, meteorolojik kuraklık sonrası tarımsal ve hidrolojik kuraklık tehlikesinin oluşabileceğini ortaya koymuş, potansiyel kuraklık etkilerini azaltmak için kuraklık önleme planlarının oluşturulmasını ve su kaynaklarının etkin planlanması ve kullanımını önermiştir.

Cavus ve Aksoy (2019), Seyhan Havzası'ndaki Adana meteoroloji gözlem istasyonundan alınan aylık yağış verileri ile 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde SYİ değerlerini hesaplayarak, kurak ve nemli dönemleri belirlemişlerdir. Hesaplanan SYİ değerleri temelinde, 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık dönüş aralıklarına göre kuraklık şiddet-süre-frekans eğrileri kullanılarak yağış açığını hesaplamışlardır. Bu çalışma sonucunda, belirli bir ay ve ölçekte, istenen dönüş periyoduna karşılık gelen kuraklık büyüklüğünün hesaplanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Araştırmacılar ayrıca, su arz-talep bilgisinin kuraklık risk yönetimi için önemli bilgiler sağlayacağını ve su kaynaklarının etkin planlanmasında faydalı olacağını vurgulamışlardır.

Dikici (2019), Asi Havzası'ndaki kuraklık trendini araştırarak, 1970-2016 yılları arasındaki hidrolojik (akım), meteorolojik (yağış, buharlaşma, sıcaklık) ve hidrojeolojik (yeraltı suyu) verilerinin zaman içindeki eğilimlerini detaylıca incelemiştir. Eksik istasyon verilerini enterpolasyon yöntemiyle tamamlamış ve trend tespiti için Mann-Kendall testini kullanmıştır. Araştırmada, akım değerlerinin müdahalesiz (doğal akış) olarak hesaplanmasının önemini vurgulamış ve AGİ

verilerini doğal hale getirdiğini belirtmiştir. Sonuçta, Asi Havzası'nda akım serisinde %95 güven düzeyinde anlamlı olmasa da azalan bir trend, yeraltı suyu düzeylerinde benzer bir azalma trendi ve yıllık toplam yağış serisinde %95 güven düzeyinde anlamlı olmasa da artan bir trendin varlığına işaret etmiştir.

Katipoğlu (2020), Fırat Havzası'nın meteorolojik ve hidrolojik kuraklığını çeşitli yöntemlerle analiz etmiştir. 1966-2017 arasında 16 meteoroloji gözlem istasyonundan elde edilen verilerle meteorolojik kuraklık analizi yapmış ve 1970-2009 arasındaki 18 akım gözlem istasyonunun verileri kullanılarak 3 ve 12 aylık periyotlarda kuraklığın zamansal ve mekânsal analizini gerçekleştirmiştir. Eksik yağış verilerini regresyon analiziyle, sıcaklık verilerini ise yapay sinir ağları ile tamamlamıştır. Veri tutarsızlıklarını ve sapmalarını belirlemek için dört farklı homojenlik testi kullanmıştır. Meteorolojik kuraklığı beş, hidrolojik kuraklığı iki farklı indisle analiz ederek, havzaya özgü indekslerin avantaj ve dezavantajlarını belirlemiştir. İndis veri setlerinin trend analizlerini Mann-Kendall testleri ile incelemiş ve Fırat Havzası'ndaki aşırı kuraklıkların haritasını oluşturmuştur. Sonuç olarak, havzadaki meteorolojik ve hidrolojik kuraklıklar arasındaki ilişkilerin daha detaylı incelenmesini, gözlem istasyon sayılarının artırılmasını ve havza bazlı kuraklık eylem planlarının ilgili kurumlarla bilimsel kurumların koordinasyonu içinde oluşturulmasını önermiştir.

Simsek (2021), meteorolojik kuraklık indeks değerlerinin, yağış verilerine dayandığı ve bu değerlerin hidrolojik kuraklığı tam olarak temsil etmediğini belirtmiştir. Ayrıca, akım değerleriyle hesaplanan hidrolojik kuraklık indekslerinin, baraj planlaması ve işletilmesi için meteorolojik kuraklık indekslerinden daha güvenilir olabileceğini ifade etmiştir. Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi'ndeki 29 akım gözlem istasyonunun 1960-2015 yılları arasındaki aylık ortalama akım verileri kullanılarak, bölgenin 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde hidrolojik kuraklığını AKİ yöntemiyle değerlendirmiştir. Kuraklık indekslerinin monoton eğilimleri, parametrik olmayan Mann-Kendall yöntemi ve eğim değerleri Sen'in eğim yöntemi ile hesaplanmıştır. Araştırma, havzanın orta kesimlerinde aşırı kuraklığın diğer kesimlere

göre daha yüksek yüzdelerde görüldüğünü ve son dönemde kuraklığın artış gösterdiğini ortaya koymuştur.

Malik ve ark. (2021), kuraklık şiddeti, başlangıç ve bitiş tarihlerinin bilinmesinin, kuraklık etkilerini en aza indirmek için önemli olduğunu belirtmişlerdir. Su kaynaklarının etkin planlama ve yönetimi için tarihsel kuraklık risk analizlerinin kullanılmasının gerekliliğine vurgu yapmışlardır. Pratik modellerin geliştirilmesinin ve çeşitli indekslerin kullanılmasının araştırmacılar tarafından önerildiğini belirtmişlerdir. AKİ yöntemi, SYİ yöntemine benzer şekilde 3-, 6-, 9-, 12- aylık zaman ölçeklerini hesaplar ve küresel ölçekte kullanılabilirliği vurgulanmıştır. Hindistan'daki Naula ve Kedar istasyonlarının 1975-2007 arası akım verileri kullanılarak, farklı zaman ölçekleri için AKİ yöntemiyle hidrolojik kuraklık analizi yapılmıştır. Kurak dönemlerde içme ve sulama suyu ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için yağışlı dönemde su depolanmasını önermişlerdir.

Yüceerim (2021), Susurluk Havzası'nın alt havzası olan Kocadere Havzası'nda 1988-2017 yılları arasındaki yağış ve akım verilerini kullanarak, aylık, 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlarda meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklık analizi yapmıştır. Meteorolojik kuraklık için SYİ, hidrolojik kuraklık için Standartlaştırılmış Akış İndeksi (SRI) ve tarımsal kuraklık için toprak Nem Tahmin Yöntemi'ni kullanmıştır. Çalışmada, bu farklı indeksler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Sonuç olarak, 3 aylık periyotta meteorolojik kuraklığın tarımsal kuraklıkla güçlü bir ilişkisi olduğu, yıllık bazda ise meteorolojik kuraklığın hidrolojik kuraklıkla orta derecede ilişkili olduğu tespit edilmiştir.

Eroğlu (2022), Beyşehir Gölü Havzası'nda geçmişte yaşanmış ve gelecekte olası kuraklıkları analiz etmiştir. İstasyonlardan ölçülen yağış ve akım serilerinin normal dağılıma uyması gerektiğini vurgulayarak, normal dağılıma uymayan veri setleri için uygun dağılıma göre olasılık değerlerine karşılık gelen Z değerlerini hesaplamıştır. Meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık analizlerini SYİ, AKİ ve Keşif Kuraklık İndeksi (KKİ) kullanarak yapmıştır. 2015-2040 yılları arasındaki yağış, akım ve sıcaklık verilerini Yapay Sinir Ağları ile tahmin ederek kuraklık indekslerini

hesaplamıştır. Sonuç olarak, SYİ ve AKİ değerlerinin kuraklık frekansında benzer sonuçlar verdiğini ve tüm istasyonlarda 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlarda kuraklığın arttığını, yapılan kuraklık analizleriyle tahmin edilen sonuçların uyumlu olduğunu belirtmiştir.

Yılmaz ve Yılmaz (2022), literatürde sıkça kullanılan Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) ve Akım Kuraklık İndeksini (AKİ), kendi çalışmalarında geliştirdikleri Çok Değişkenli Kuraklık İndeksi (ÇDKİ) ile kıyaslamışlardır. Meriç-Ergene Havzası'ndaki Kırklareli ilinde 1986-2015 yılları arasındaki meteoroloji gözlem istasyonundan alınan aylık toplam yağış, aylık ortalama akım, aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama nispi nem ve aylık yağışlı gün sayısı verilerini kullanarak ÇDKİ hesaplamışlardır. Ayrıca, aynı dönem için SYİ ve AKİ değerlerini de hesaplamışlardır. Üç farklı kuraklık indeksi kullanılarak kurak dönemleri belirlenmiştir. ÇDKİ için kullanılan girdi parametrelerinin ağırlıklarını entropi yöntemi ile hesaplamışlar ve aylık ortalama akımın 0.835 ile en yüksek ağırlık oranına sahip olduğunu, diğer parametrelerin ağırlıklarını sırasıyla 0.127, 0.007, 0.005 ve 0.027 olarak belirlemişlerdir. Pearson korelasyon analizi sonucunda, ÇDKİ ile en yüksek korelasyon gösteren girdi parametresinin akım ($r=0.76$) olduğunu bulmuşlardır.

Xu ve ark. (2022), yarı kurak bir bölgede hidrolojik kuraklığın özelliklerini ve potansiyel nedenlerini araştırmışlardır. 1970-2016 arası akım verilerini kullanarak, Standartlaştırılmış Akım İndeksi (SSI) ile hidrolojik kuraklığı analiz etmişlerdir. Run Teorisi ile kuraklığın olası süreçlerini belirtmeye çalışmışlardır. Sonuç olarak, kuraklığın iklim koşullarından etkilendiği fakat en kritik rolü havzanın drenaj özelliklerinin oynadığını belirtmişlerdir. Ayrıca insan etkilerinin son zamanlarda hidrolojik kuraklığı şiddetlendirdiği, buna karşı yarı kurak alanlarda rezervuarların etkin yönetiminin ve kuraklık erken uyarı ve tahmin sisteminin geliştirilmesi için çalışmaların sürdürülmesini önermişlerdir.

Albaqoull (2022), yüksek lisans tezi kapsamında Batı Karadeniz bölgesindeki meteorolojik ve hidrolojik kuraklığı incelemiştir. Sinop ilindeki 8 yağış gözlem istasyonundan elde edilen aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verilerini

kullanarak aylık, 3, 6 ve 12 aylık Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile meteorolojik ve tarımsal kuraklığı belirlemiştir. Kastamonu ve Bartın bölgelerindeki 3 akım gözlem istasyonundan alınan akım verileriyle hidrolojik kuraklığı analiz etmiştir. Araştırma, Batı Karadeniz Havzalarında hidrolojik ve meteorolojik kuraklıklar arasında zamanla değişen bir ilişki olduğunu vurgulamıştır. Sonuç olarak, toplam yağış miktarı ve kurak gün sayısında bir artış olacağını, bu durumun kısa süreli aşırı yağışlara ve taşkınlarla yol açabileceğini belirtmiştir. Çalışma, planlama ve politika üretiminde faydalı bilgiler sağladığı sonucuna ulaşmıştır.

Turhan ve ark. (2022), Asi Nehir Havzasının bir alt bölgesi ve tarımsal sit alanı olan Arsuz Ovası'nın hidrolojik kuraklığını incelemiştir. Ovadaki üç Akım Gözlem İstasyonundan 1990-2015 yılları arasında toplanan aylık ortalama akım verilerini kullanarak debi-zaman ve debi-süreklilik eğrileri oluşturmuşlar ve 3, 6, 12 aylık zaman ölçekleri için Akım Kuraklık İndeksi (AKİ) değerlerini hesaplamışlardır. Çalışmayı üç farklı döneme ayırarak daha detaylı bir analiz yapmışlardır. Sonuç olarak, 2005 sonrası iklimsel dengenin bozulması sonucunda, aşırı nemli ve aşırı kurak dönemler yaşandığını ve 2009'da akım değerlerinin maksimuma ulaşırken, 2014'te minimum seviyelere düştüğünü tespit etmişlerdir. 2014 yılının en kurak, 2009 yılının ise en nemli yıl olduğunu belirlemiştir. Çalışmanın sonucunda, bölgesel kuraklığın izlenmesi, trend analizi ve gelecekteki kuraklık tahminlerinin geliştirilmesinin önemine vurgu yapmışlardır.

Çetin (2023), doktora tez çalışmasında Gediz Havzası'nın 8 alt havzasında 1970-2015 yılları arasındaki meteoroloji ve akım verilerini kullanarak, aylık, 3, 6 ve 12 aylık periyotlar için meteorolojik ve hidrolojik kuraklık hesaplamaları yapmıştır. Meteorolojik kuraklık için SYİ ve SYEI İndeksini, hidrolojik kuraklık için ise SAI yöntemini kullanmıştır. Daha sonra 2015-2100 yılları arasındaki tahmin edilen yağış ve sıcaklık değerleri ile SYİ ve SYEI veri setlerini hesaplamıştır. Bazı alt havzalarda 2000'li yıllarda yaşanan meteorolojik kuraklığın yoğun ve kısa süreli olmasına karşın, akımlar üzerindeki etkisinin daha uzun ve yoğun olduğunu belirtmiştir. 2020-2035 yılları arasında aşırı sulak dönemlerin olasılığına karşı altyapı tasarımlarının gözden

geçirilmesini ve 2050 sonrası için aşırı kurak dönemlere ilişkin su yöneticilerine suyun etkin planlanması konusunda öneriler sunmuştur.

Literatür çalışmalarından anlaşıldığı üzere; Ülkemiz başta olmak üzere dünyanın farklı bölgelerinde araştırmacılar meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklığı analiz etmişlerdir. Genel olarak, son zamanlarda kuraklık etkilerinin daha fazla hissedildiği, ülkemizin en yağışlı bölgesi olan Karadeniz Havzalarında bile hidrolojik ve meteorolojik kuraklıklar arasında zamana bağlı bir ilişkinin olduğu ve toplam yağış miktarında artışın (bunun taşkınlarla neden olacak kısa süreli aşırı yağışların varlığına işaret ettiği) ve kurak gün sayısının arttığı belirtilmiştir. Akdeniz bölgesinde son yıllarda yaşanan kuraklıkların muhtemelen asırlardır görülen en kötü kuraklık olduğu, Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarında kuraklığın artan trendine dikkat çekilmiştir. Meteorolojik kuraklık sonrası tarımsal ve hidrolojik kuraklık tehlikesinin oluşabileceği, sonuçların ciddiye alınması gerektiği belirtilmiştir.

Bu çalışmalarda kuraklığı belirlemek için hidrolojik ve meteorolojik verileri veya bunların kombinasyonunu kullanarak kuraklık indeksleri hesaplanmıştır. Çünkü kuraklığın izlenmesinin en temel yolu kuraklık indeksleri olduğu genel kanısına varılmıştır. Doğru bir kuraklık analizi için çalışılan kuraklık türüne bağlı olarak uygun indeksin seçilmesinin önemi vurgulanmıştır. Literatürde en çok kullanılan indekslerin SYİ ve Akım Kuraklık İndeksi (AKİ) olduğu belirtilmiş, bazı çalışmalarda SYİ ve AKİ değerlerine göre kuraklık frekansının benzer sonuçlar verdiği, yapılan kuraklık analizleriyle tahmin edilen kuraklık sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Akım verileriyle yapılan hidrolojik kuraklık değerlendirmelerinde, Yunanistan'daki Evinos Nehri havzasının hidrolojik kuraklığı üzerine yapılan bir çalışmada Nalbantis ve Tsakiris (2009) tarafından geliştirilen Akım Kuraklık İndeksi (AKİ)'nin, hidrolojik kuraklıkları hesaplamada kolaylık sağladığı ve veri gereksinimi az olduğu için basit bir yöntem olduğu yaygın bir kanaat haline gelmiştir. Ayrıca, kümülatif akım verilerini kullanarak kuraklığın başlangıcını ve süresini tahmin etmede başarılı olduğu ve kuraklığın alansal boyutunun değerlendirilmesinde etkili bir indeks

olarak tanımlanmıştır. SYİ yöntemine benzer şekilde, hidrolojik kuraklığın analizinde her hidrolojik yıl için 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde hesaplanabildiği ve küresel ölçekte birçok araştırmacı tarafından tercih edildiği anlaşılmaktadır.

Hidrolojik kuraklık analiz çalışmalarında, akım değerlerinin alındığı nehirlerin doğal akış halinde olmasının önemi vurgulanmıştır. Bir akarsu üzerine baraj, bent gibi yapay yapıların inşası, doğal akış rejimlerini değiştirebilir. Havzadaki bu tür değişikliklerin hidrolojik kuraklık özelliklerini etkileyebileceği savunulmuştur.

Yağış eksikliğinin yeraltı suları, nehir akımları ve rezervuarları etkileme derecesinin, kuraklığın izlenmesi açısından önemli bir problem olduğu ve dolayısıyla akım verilerinin farklı dönemlerde somut olarak ifade edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Kuraklığın mevsimsel değişimlerini gösteren 3 ve 6 aylık zaman ölçeklerinin su kaynakları yönetiminde önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir. Böylece Akdeniz bölgesinde, 2000 ve sonrası yıllarda 3 ve 6 aylık kuraklıkların önem kazandığına dikkat çekilmiştir.

Su kaynaklarının etkin planlama ve yönetimi için, tarihsel kuraklıkların risk analizlerinden yararlanılmasının zaruri olduğu vurgulanmış, bölgesel kuraklığın izlenmesi, trend analizi ve gelecek kuraklık tahmin çalışmalarının hâlâ geliştirilmeye muhtaç olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, sınır aşan sular açısından stratejik öneme sahip olan Asi Nehir Havzası'nda kuraklık etkilerinin azaltılması ve mevcut su kaynaklarının etkin planlanması amacıyla hidrolojik kuraklık çalışmalarının artırılmasının gerekli ve önemli olduğu vurgulanmıştır.

2.2. Kopula Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Bölgesel kuraklık analizinde kuraklık indekslerinin kullanılması, en temel yaklaşımdır. Bu indeksler, bir bölgedeki kuraklığın başlangıcını ve sonunu belirleyerek kuraklık şiddetinin hesaplanmasını sağlar. Ancak gerçekte kuraklık, sadece tek bir parametreyle değil; şiddeti, süresi, pik değeri ve frekansı ile karakterize edilir.

Kuraklık bileşenleri arasında karmaşık bir korelasyon olduğu bilinmektedir Shiau ve Modarres (2009), Kim ve ark. (2003). Kuraklığı karakterize eden bu parametrelerin (örneğin, süre, şiddet ve pik) arasındaki bağlantıları göz ardı etmek, kuraklık olayının oluşturduğu risklerin belirlenmesini zorlaştırır. Bu parametreleri birlikte değerlendirmek bu eksikliği gidermeye yardımcı olur. Ancak geçmişte, bu parametrelerin farklı dağılımlara sahip olması, ortak değerlendirme yapmayı zorlaştırmıştır (Hao & Singh, 2013). Kopula fonksiyonlarının hidro-meteorolojik olaylarda kullanılması yaygınlaştıkça bu problem aşılmıştır. Bu fonksiyonlar, iki veya daha fazla rastgele değişken arasındaki bağımlılık yapısını modelleyerek farklı dağılımlara sahip parametrelerin birlikte değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Böylece kopulalar ile kuraklık olayını daha detaylı analiz etmek mümkün hale gelmiştir.

Shiau ve ark. (2007), kuraklığın karmaşık yapısını analiz etmek için geleneksel tek değişkenli analiz yerine iki değişkenli (kuraklık süresi ve şiddeti) kuraklık dağılımlarını ve frekans analizlerini çalışmışlardır. Çin'in Kuzeyindeki Sarı Nehir Havzası'nda, 1919-2002 yılları arasındaki akım verilerini kullanarak, kopula fonksiyonlarıyla hidrolojik kuraklığı değerlendirmişlerdir. Kuraklığın süresi ve şiddeti arasında önemli bir korelasyon (0.88) olduğunu, ancak farklı dağılımlara sahip oldukları için iki değişkenli kuraklık dağılımları için kopula fonksiyonlarını kullanmışlardır. Analiz için birkaç kopula fonksiyonu kullanılmış, ancak basit kullanımı nedeniyle Archimedean kopula ailesinden Clayton kopulasını tercih etmişlerdir. 1920'lerin sonundan 1930'ların başına kadar olan kuraklık döneminin geri dönüş süresinin 105 yıl olduğunu ve 1919-2002 döneminde yaşanan en şiddetli kuraklığın 1930-1933 arasında 36 ay sürdüğünü bulmuşlardır. Kümülatif kuraklık süresi 66 ay için şiddetin 10 olarak hesaplandığı tespit edilmiştir.

Madadgar ve Moradkhani (2013), Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Yukarı Klamath Nehri Havzası'ndaki 1906-2009 yılları arasındaki akım verilerini kullanarak, 3, 6 ve 12 aylık zaman skalalarında Akım Kuraklık İndeksi (AKİ) yöntemiyle kuraklık analizi yapmışlardır. Ayrıca, iklim değişikliğinin gelecekteki

olası kuraklığa etkisini beş farklı projeksiyon kullanarak modellemişlerdir. Geçmiş ve gelecekteki olası kuraklıkları karşılaştırarak, iklim değişikliğinin kuraklıklar üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Kuraklık bileşenleri arasındaki karmaşık ilişkiyi ve ortak davranışlarını modellemek için üç değişkenli kopula yöntemini kullanmışlardır. Archimedean ve Eliptik kopulaların en çok uygulanan iki yöntem olduğunu belirtmişler, ancak uygulamada Archimedean kopulalarının, özellikle Eliptik kopulaların pozitif korelasyon matrisine sahip olma gerekliliği gibi sınırlamalar nedeniyle daha geniş bir kullanım alanına sahip olduğunu savunmuşlardır. Sonuç olarak, Archimedean kopula ailesinden Gumbel kopulanın ve Eliptik aileden t-kopulanın benzer sonuçlar vermesine rağmen, Gumbel kopulanın daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Yukarı Klamath Nehri Havzası için gelecekte aşırı yoğun kuraklıkların beklenmediğini, kuraklığın süre ve şiddetinde azalma tahmin edildiğini ve genel olarak yağışlı dönemlerin oluşacağını belirtmişlerdir. Gelecekte olası kurak dönemlerin 3 aydan kısa süreceğini, nadiren 5 aya kadar uzayabileceğini ve geri dönüş sürelerinin artabileceğini öngörmüşlerdir.

Tosunoğlu ve Can (2015), Erzurum ilinde kuraklık frekans analizini kopula yöntemi kullanarak araştırmışlardır. 1951-2013 yılları arasındaki aylık yağış verilerini kullanarak Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) metodu ile meteorolojik kuraklığı analiz etmişlerdir. Kuraklık süresi ve şiddeti serilerinin tek değişkenli marjinal dağılımlarını Akaike Bilgi Kriteri (AIC) temel alarak belirlemişlerdir. Kuraklık süresi serileri için en uygun dağılımın iki parametrelili Lognormal, şiddetin ise Weibull dağılımına uyduğunu tespit etmişlerdir. Kuraklık parametrelerinin ortak modellenmesi için Archimedean kopula ailesine mensup iki değişkenli Clayton, Frank ve Gumbel-Hougaard kopulalarını kullanmışlardır. Ortak dağılımı en iyi modelleyen kopulanın Gumbel-Hougaard kopulası olduğunu belirlemiş ve bu kopula fonksiyonunu kullanarak kuraklık süresi ve şiddeti parametrelerinin ortak ve şartlı dönüş periyotlarını hesaplamışlardır. Araştırma, Erzurum ilinde mevcut su yapılarının yeterlilik analizi ve tasarlanacak su yapılarının işletilmesi açısından yararlı bilgiler sağladığı sonucuna ulaşmıştır.

Tosunoğlu ve Can (2015), Türkiye genelinde 1966-2006 yılları arasındaki yağış verilerini kullanarak 173 istasyonda kuraklık analizi yapmışlardır. Kuraklık süresi ve şiddet bileşenlerinin birbirleriyle ilişkili fakat farklı olasılık dağılımlarına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Süre serileri için en uygun dağılımın Log-normal, şiddet serileri için ise Gamma, Weibull ve genelleştirilmiş Pareto dağılımlarının uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Kuraklık bileşenlerinin farklı dağılımları nedeniyle, ortak dağılım fonksiyonunu oluşturmak için Frank, Clayton, Gumbel-Hougaard ve Ali-Mikhail-Haq kopulalarını kullanarak kuraklık şiddeti ve süresini değerlendirmişlerdir. İki değişkenli dönüş periyotlarını ve koşullu olasılıkları analiz etmişlerdir. En uygun kopula olarak Gumbel-Hougaard kopulasını belirlemiş ve kuraklık süre ve şiddet serilerinin dönüş periyotlarını ve koşullu olasılıklarını tahmin etmek için bu kopulayı kullanmışlardır. Sonuç olarak, her bölgenin kuraklık özelliklerini kapsamlı bir şekilde açıklamış ve su kaynaklarının etkinliği ve yeterliliğinin değerlendirilmesinde kuraklık çalışmalarının önemini vurgulamışlardır.

Tosunoglu ve Kisi (2016), son yıllarda kuraklık bileşenlerinin (kuraklığın şiddeti, süresi ve yoğunluğu) ortak dağılımlarının kopulalar ile geniş çapta kullanıldığını, ancak Türkiye gibi yarı kurak bölgelerde akım verileri ile elde edilen kuraklığın kopula ile modelleme çalışmalarının az olduğunu vurgulamışlardır. Çoruh Nehir Havzası'ndaki günlük akım değerleriyle yıllık maksimum şiddet ve buna karşılık gelen süre özelliklerini analiz etmişlerdir. Threshold metodu kullanarak kuraklık bileşenlerini belirlemişler ve Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ile yıllık maksimum şiddet serilerine en uygun dağılımın Üstel ve Weibull, süre serilerinin ise Weibull ve Lojistik dağılımları olduğunu bulmuşlardır. Archimedyan kopulalar kullanarak kuraklık süresi ve şiddetini analiz etmiş ve çalışma alanını en iyi tanımlayan kopula fonksiyonunun Gumbel-Hougaard olduğunu belirlemişlerdir. Gumbel-Hougaard kopula fonksiyonu ve Mann-Kendall'ın dönüş periyodunu alternatif bir ortak dönüş periyodu olarak değerlendirmiş, kuraklık özelliklerinin tek değişkenli ve ortak dönüş periyotlarını karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, Türkiye'nin önemli su havzalarından biri olan Çoruh Havzası'nda kuraklık şiddetinin maksimum olduğu ve buna denk gelen kuraklık süresi özelliklerinin iki değişkenli dönüş periyotlarının bilinmesinin, kuraklık riski

değerlendirmeleri için (örneğin kuraklık koşullarında su yapılarının yeterliliğinin değerlendirilmesi) yararlı bilgiler sağlayacağını söylemişlerdir.

Afshar ve ark. (2020), iklim değişikliğinin, birçok bölgede aralıklı kuraklıklara ve su kaynaklarının azalmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, Ankara'da bulunan 5 (beş) meteoroloji gözlem istasyonuna ait aylık yağış verilerini kullanarak meydana gelen hafif ve aşırı meteorolojik kuraklıkların dönüş periyodundaki değişimleri, SPI yöntemiyle iklim projeksiyonu kullanılarak incelemişlerdir. Genel olarak, üç olası olasılık kombinasyonu (yani, ve, veya koşullu olasılık) için kullanılan kopula fonksiyonları ve farklı iklim projeksiyonları kullanılarak belirlenen periyotların yakın sonuçlar verdiği, aşırı kuraklıkların ülkemizde daha sık meydana geleceğine işaret etmişlerdir. Ayrıca Archimedean ve Elliptical kopulaları kullanarak, oluşan kuraklığın süre ve şiddetini ortak şekilde değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, yakın gelecekte, hafif kuraklıkta artış olabileceği ve aşırı kurak ayların daha uzun süreli ve daha şiddet olabileceği uyarısında bulunmuşlardır.

Tosunoğlu (2014), doktora tez çalışmasında, Türkiye'de meteorolojik ve hidrolojik kuraklığı çalışmıştır. Hidrolojik kuraklık indislerinin hesaplanması için birçok olasılık dağılım fonksiyonu kullanıldığını ve tek bir olasılık dağılım modelinin bütün seri setine uygulanmasının daha kullanılır olduğuna vurgu yapmıştır. Kuraklığın; Kuzey Atlantik Salınımı (NAO), Arktik Salınımı (AO), Güneyli Salınımı (SO), Kuzey Denizi-Hazar Paterni (NCP) ve Akdeniz Salınimleri (MO) arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. 148 yağış gözlem istasyonu ve 84 akım gözlem istasyonundan elde edilen aylık yağış verileri (1966-2006) ve akım verilerini (1966-2004) kullanarak sırasıyla Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) ve Standartlaştırılmış Akış İndeksi (SAİ). İle kuraklık parametrelerini (kuraklık süre ve şiddet) hesaplamışlardır. Daha sonra, ise Çoruh havzasında seçilen 5 (beş) yağış istasyonunun günlük yağış verileri ile Genelleştirilmiş Lineer Modeller (GLM) kullanarak kuraklık modeli oluşturmuştur. Ayrıca iki değişkenli frekans analizlerini kopula kullanarak yapmıştır. Gumbel-Hougaard kopula yardımıyla. Çoruh havzasında 5, 10, 20, 50, 100 ve 200 yıllık dönüş periyotları için kuraklık parametrelerinin (süre ve şiddet) tahminleri yapılmıştır.

Çalışmanın kuraklık yönetimi ve su kaynaklarının planlamasında faydalı olabileceği sonucuna varmıştır.

Evkaya ve ark. (2019), kopula yardımıyla, yeni bir kuraklık indeksi ortaya koymayı amaçlamışlardır. Farklı değişkenleri (yağış, toprak nemi, akım ve evapotranspirasyon) kullanarak kuraklığın tespiti ve izlenmesi için çeşitli indeks ve yöntemlerin kullanıldığını, literatürde en sık kullanılan Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) olduğu belirtmişlerdir. Son zamanlarda, AKİ'nin aralarında bulunduğu, SYİ'nin farklı indeks versiyonlarının birçok araştırmacı tarafından önerildiğini savunmuşlardır. Akşehir meteoroloji gözlem istasyon verilerini kullanarak iklim değişikliğinin kuraklık üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Akşehir meteoroloji gözlem istasyon verisi ve zaman skalası için; kuraklığın süresi, kuraklığın şiddeti ve kuraklığın pik noktasını, 3 ve 9 aylık zaman süreleri için, kuraklık endeksleri olarak SYİ, SYEI ve İki Değişkenli Kuraklık İndeksinin (COPDI) yardımıyla analiz etmişlerdir. Kuraklığın bileşenleri arasında verimli bir ilişkinin mevcut birçok çalışmayla kanıtlandığını söylemişlerdir. Literatürde yeni kullanılmaya başlanan, iki değişkenli kuraklık indekzinin (COPDI) hem meteorolojik hem de tarımsal kuraklık özelliklerini tanımlamak için tamamlayıcı bir araç olarak kullanılabileceğini vurgulamışlardır. Ayrıca. Kuraklığın ve etkilerinin daha net anlaşılması için kopula tabanlı çalışmaların yapılmasını önermişlerdir.

Dehghani ve ark. (2019), su kaynakları risk yönetimi için hidrolojik kuraklığın tahmin edilmesinin önemini vurgulamışlardır. Meteorolojik kuraklığın devamında hidrolojik kuraklığın meydana geldiğini, dolayısıyla meteorolojik kuraklıkların hidrolojik kuraklıklara yayılmasını incelemek için kopulanın önemli bir araç olduğunu söylemişlerdir. İran'ın güneybatısında bulunan Karun Havzasında 14 meteorolojik ve hidrolojik istasyonun 1973-2011 yılları arası verisi kullanılarak, SYİ ve SHDI indeksleriyle kuraklık analizi yapmışlardır. Meteorolojik ve hidrolojik kuraklık arasındaki korelasyonu modellemek için Archimedean kopula ailesine mensup 5 kopula fonksiyonu kullanmışlardır. Veri setini kontrol etmek için parametrik olmayan testler kullanıp, trend tespiti için Mann-Kendall testinden yararlanmışlardır. Kopula fonksiyonu ilk defa, meteorolojik kuraklık indeksine dayalı olarak hidrolojik kuraklığı

tahmin aracı olarak kullanıldığını söylemişlerdir. En uygun kopulanın Clayton kopulası olduğunu bulmuşlardır. Meteorolojik ve hidrolojik kuraklıklar arasında üç aydan fazla bir gecikme olduğunu, ayrıca aşırı ve şiddetli meteorolojik kuraklığın, %70'in üzerinde olasılıkla hidrolojik kuraklığa dönüştüğünü söylemişlerdir. Bölgede enerji amaçlı barajların varlığından dolayı, bulguların su kaynaklarının yönetimine katkı sağlayacağı, kopula fonksiyonlarının kuraklığın tahmini için başarılı sonuçlar verdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Zhao ve ark. (2020), Çin'in Kuzeydoğusunda bulunan 70 yağış gözlem istasyonuna ait verileri kullanarak 3 aylık SPI ile meteorolojik kuraklık analizini çalışmışlardır. 1960-2018 yılları arasında, çalışılan bölgede 6408 kuraklık olayına tanık olmuşlardır. Kopula fonksiyonlarının Geleneksel tahmin metodlarından daha doğru ve kullanışlı olduğunu vurgulamışlardır. Archimedean Kopula ailesinin, basit bir forma sahip olduğunu ve kullanımda kolaylıklar sağladığını öne sürüp bu kopulaları çalışmalarında kullanmışlardır. Archimedean kopula ailesinin; Clayton, Frank, Gauss ve Gumbel Kopula fonksiyonlarından oluştuğunu belirtmişlerdir. Ortak fonksiyon olarak minimum AE, RMSE, AIC ve BIC değerlerine sahip Frank kopula en uygun kopula olarak hesaplamışlardır. Bu tür çalışmaların hem tarımsal su yönetiminin hem de kuraklık ile mücadelesindeki önemini vurgulamışlardır.

Wang ve ark. (2020), Geleneksel tek değişkenli kuraklık indekslerinin, kuraklık analizi için kısıtlı bilgi verdiğini vurgulamışlardır. Meteorolojik ve hidrolojik koşulların karmaşıklığına istinaden, kuraklığın izlenmesi için kapsamlı bir kuraklık indeksi oluşturmayı gerekli görmüşlerdir. Dolayısıyla, Meteorolojik ve hidrolojik kuraklık birleşimine dayalı oluşturulan SPESI, kuraklığın oluşumunu, süresini ve sonunu hassas ve etkili bir şekilde yakalayabileceğini söylemişlerdir. Çin'deki en uzun ikinci nehir ve dünyanın en uzun beşinci nehri olan, Sarı Nehir Havzasında, 1961-2015 yılları arası meteorolojik ve hidrolojik verileri kullanarak, Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon Akış İndeksi (SPESI) yardımıyla kuraklık analizini yapmışlardır. En uygun kopulanın Frank kopula olduğunu ve kuraklığın daha sık meydana gelebileceğini söylemişlerdir. Sonuç olarak; oluşturulan indeksin, mekânsal farklılığa

rağmen, kuraklığın izlenmesini mümkün kıldığı, güvenilir ve etkili çok değişkenli bir indeks olabileceği sonucuna varmışlardır.

Das ve ark. (2020), Hindistan'ın sahip olduğu tarım arazilerinin %68' inin kuraklık koşullara sahip olduğu, %50'sinin ise şiddetli kuraklığa daha sık maruz kaldığı bilgisini vermişlerdir. İklim değişikliğinin artış hızına bağlı olarak, meteorolojik girdi parametrelerinin kuraklığı baskıladığını, Meteorolojik kuraklığın, hidrolojik kuraklığa yol açtığını ve bu da iklimi daha da etkilediğini belirtmişlerdir. Hindistan'ın Himalaya bölgesinde, kopula tabanlı, meteorolojik kuraklığını 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçekleri için hesaplamışlardır. 12 aylık zaman serisinde olasılık yoğunluk değerlerindeki değişikliğe dikkat çekmişlerdir. Çalışmaların genellikle Frank, Gaussian, Gumbel, Clayton ve t-kopula ile yapıldığını, çalışmalarında değişkenler arasındaki tüm bağımlılık aralığını kapsadığını ifade dip, Gaussian ve Frank kopulasını kullanmışlardır. Ayrıca çalışmalarında tek değişkenli ve iki değişkenli dönüş periyotları karşılaştırılmışlardır. İki değişkenli analiz sonuçlarının, kuraklıkla mücadele de, su kaynaklarının etkin planlamada yararlı olabileceğini, ayrıca gelecekte hidrolojik kuraklığa karşı araştırmaların sürdürülmesini önemişlerdir.

Won ve ark. (2020), 16 farklı iklim projeksiyonu modeli ile kullanılan kuraklık indeksine göre gelecekte (2021-2050) olası kuraklıkların değişimini değerlendirmişlerdir. Güney Kore'nin Penin sula bölgesindeki meteorolojik veriler (yağış-buharlaşıma-nem) kullanılarak, kopula tabanlı yeni üretilen kuraklık indeksi (CJDI) ve geleneksel kuraklık indeksleri (SYİ-SYEİ-EDI) ile 3, 6 ve 12 aylık süreler ve 10 yıllık ile 30 yıllık dönüş periyodu için yapılan kuraklık sonuçlarını kıyaslamışlardır. Gelecekteki kuraklık modelinin analizi sonucunda, SPI ve SPEI durumunda kuraklığın yaklaşık %11 oranında hafıfleyeceği, EDDI durumunda kuraklığın yaklaşık %89 oranında yoğunlaşacağını, CJDI durumunda ise kuraklığın yaklaşık %17'ye kadar yoğunlaşacağı sonucuna varmışlardır. Sonuç olarak birden fazla kuraklık indeksini kopula yardımıyla entegre ederek yeni bir model oluşturup, çeşitli açılardan kuraklığın izlenmesini önermişlerdir. Ayrıca yeni oluşturulan kuraklık indeksinin farklı iklimler için teyide muhtaç olduğunun altını çizmişlerdir. Bu çalışmanın çıktılarının, gelecekteki çalışmalara ışık tutacağını savunmuşlardır.

Sahana ve ark. (2020), Hindistan'da 1980-2005 arası, 30 meteorolojik istasyon verilerini kullanarak aylık, 3 aylık ve 6 aylık zaman skalasında, 50 ile 100 yıllık geri dönüş periyotları için süre-şiddet-frekans eğrilerini oluşturmuşlardır, Çok değişkenli standartlaştırılmış kuraklık indeksi ile analiz yapmış, kopula tabanlı şiddet-süre-frekans eğrileri yardımıyla geniş bir alanda kuraklık haritasını ortaya çıkarmışlardır. Kuraklık süre ve şiddeti için, MSE ve AIC kriterlerine göre en uygun dağılımın üstel dağılım olduğunu, ayrıca, tüm istasyonlar için en uygun kopulanın Gumbel-Hougaard kopula olduğu sonucuna varmışlardır. 2015 yılında meydana gelen kuraklığın oluşma olasılığını analiz etmişler, ayrıca yağış ve toprak neminin herhangi birindeki veya her ikisindeki eksikliklerden kaynaklanan kuraklık olaylarını belirlemede bu indisin başarısına vurgu yapmışlardır.

Mellak ve Souag-Gamane (2020), kuraklıkla mücadele için, kuraklığın zamansal, mekânsal özelliklerinin ve geri dönüş periyotların bilinmesini zaruri görmüşlerdir. Kuzey Cezayir'de 194 meteoroloji istasyonundan alınan yağış verilerini kullanarak, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) yardımıyla 3 aylık periyot (SYİ - 3) için kuraklığı analiz etmişlerdir. Kuraklık şiddetinin mekânsal-zamansal değişimi göstermek için, farklı geri dönüş periyotları için, süre, şiddet ve kümülatif yüzdenin üç boyutlu grafiklerinin oluştur. Çalışmanın sonucunda; kuraklık şiddeti ve kuraklık süresinin sırasıyla gama ve üstel dağılımlara uyduğunu, Archimedean kopula ailesinden Gumbel-Hougaard, Clayton ve Frank kopulaları arasında, en başarılı kopulaların Clayton kopulası olduğunu bulmuşlardır.

Mellak ve Souag-Gamane (2020), Hızlı ekolojik değişimle, Durağan varsayımına dayalı geleneksel kuraklık endekslerin sorgulanabilir olduğunu savunmuşlardır. Bu nedenle yeni bir kuraklık indeksi olan durağan olmayan standartlaştırılmış bir yağış indeksi (SPINS) ile, Güney Kore'deki 8 meteoroloji gözlem istasyonunun 1961-2017 arası yağış verilerini kullanarak kuraklık analizini yapmışlardır. Kopula yardımıyla, kuraklık süresi ve şiddetinin iki değişkenli dönüş periyotlarını hesaplamışlardır. Sonuçların, geleneksel standartlaştırılmış yağış indeksi tarafından üretilenlerden daha şiddetli olduğunu ayrıca kuraklık analizi çalışmalarında

sıcaklık ve evapotranspirasyon gibi faktörlerin dikkate alınmasını önermişlerdir. Etkin kuraklık yönetiminin, kuraklıkla ilgili önceden bilgiler gerektirdiğini, hızlı değişen ekolojik ortamda, kuraklığın risk değerlendirmesinde benzer çalışmaların faydalı olacağı sonucuna varmışlardır.

Khan ve ark. (2021), Pakistan'ın belli bir bölgesindeki 12 meteorolojik istasyonun 17 yıllık (1998-2014) aylık ortalama yağış verileri ile, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) ve Standartlaştırılmış Yağış Sıcaklık İndeksi (SYSİ) yardımıyla kuraklık analizini çalışmışlardır. Hesaplamış 3 aylık SYİ ve SYSİ değerlerini karşılaştırmışlardır. Archimedean kopula ailesi ile kuraklığın süre ve şiddetini modellemişlerdir. Her iki indeksin de kuraklığın şiddetinde yakın sonuçlar verdiğini, çalışılan tüm istasyonlarda Gamma dağılımının kuraklık süresini ve şiddetini tanımlamada en uygun dağılım olduğunu, Gumbel-Hougaard'ın en başarılı kopula olduğunu bulmuşlardır. Sonuç olarak; kopula fonksiyonları ile, yağışın süre ve şiddetinin modellenmesi, gelecekteki kuraklıkların yanı sıra yağışları tahmin etmek için de kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Otkur ve ark. (2021), tek değişkenli analizlerin, kuraklık olaylarını kapsamlı açıklayamadığını, geleneksel çok değişkenli analizlerin ise, değişkenlerin normal marjinal dağılıma sahip olması durumunda kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Çin'de bölgesel olarak, kuraklığın sıcaklık artışına bağlı olarak SYEI indisi ile analiz etmişlerdir. 1979-2019 meteoroloji istasyonlarından alınan günlük sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak elde edilen kuraklık süre-şiddet korelasyonunu araştırmışlardır. Korelasyonun pozitif olduğunu bulmuşlardır. Kopula tabanlı analiz sonuçlarından; Altı kopula fonksiyonu için AIC değerlerine göre; Gaussian, HuslerReiss ve Frank kopula fonksiyonları sırasıyla çalışılan bölgenin, kuzeybatı, kuzeydoğu ve güneybatı bölgesindeki başarısını dile getirmişlerdir. Kuraklık şiddetindeki artışların, kuraklık süresindeki artışlardan daha önemli olacağını söylemişlerdir. Kopula fonksiyonlarının geleneksel çok değişkenli analizlere göre önemli avantajlara sahip olduğunu, ortak bir marjinal dağılımın için kullanılabileceğini ve koşullu olasılıklarının hesaplanmasında kolaylık sağladığını dile getirmişlerdir. Ayrıca, gelecekte olası kuraklık olaylarının ve büyüklüklerinin doğru tahmin edilmesi için kopulaların kullanılmasını önermişlerdir.

Dixit ve Jayakumar (2022), tek değişkenli kuraklık analizlerin kuraklığı yeterince tanımlayamadığını ifade etmişlerdir. Hindistan'daki kuraklığı; meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklığı çalışmışlardır. Bu üç kuraklık türünü aynı anda temsil eden kopula tabanlı çok değişkenli indeks (MDI) ve üç değişkenli Keşif Kuraklık İndeksi (KKİ) yardımıyla, gelecek için olası senaryoları analiz etmişlerdir. Bu indeksin girdi parametreleri yağış, evapotranspirasyon, toprak nemi olmak üzere, dört değişkenli Archimedean kopulası kullanılarak, iklim değişikliğinin kuraklık üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda; İki değişkenli ve üç değişkenli analizler için elde edilen en uygun kopulaların, sırasıyla Frank ve Student t kopulası olduğu, kuraklığın süresinin ve kuraklık şiddetinin mekânsal ölçekte belirlendiğini, özellikle nehir havzasındaki olası kuraklık için akım değerlerinin önemine vurgu yapmışlardır. Ayrıca bu tür çalışmanın, gelecek kuraklığının başlangıcı ve sona ermesine ilişkin bilgilere ulaşmak için önemli bir adım olduğu sonucuna varmışlardır.

Poonia ve ark. (2021), kuraklığı sadece düşük yağış veya nem eksikliği olarak tanımlanamayacağını çünkü kurak iklim koşullarında kalıcı bir kurak iklim oluştuğunu, dolayısıyla kuraklığı hidrolojik dengesizlik oluşturacak kadar anormal bir süre olarak tanımlamışlardır. Kuraklık süre ve şiddetinin kuraklığın en önemli bileşenleri olduğunu söylemişlerdir. Bu bileşenlerin tek değişkenli analizle anlamlı bir modelinin kurulmasının zor olduğunu, dolayısıyla, iki veya daha fazla rasgele değişken arasındaki çok değişkenli dağılımı modellediğinden, hidro-iklim olaylarını incelemek için kopula fonksiyonlarını kullanmışlardır. Hindistan'ın 24 nehir havzasında, 1982-2013 yılları arasındaki aylık yağış, toprak nemi ve akış verileri ile kuraklığı araştırmışlardır. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ), Standartlaştırılmış Toprak Nem İndeksi (SSI) ve Standartlaştırılmış Akış İndeksi (SAİ) kullanmışlardır. Kuraklık süre ve kuraklık şiddet bileşenleri arasındaki korelasyonu modellemek için, Archimedean kopula ailesinden iki değişkenli üç adet kopula (Gumbel, Frank ve Plackett) kullanmışlardır. Ayrıca su kaynaklarının etkin planlanması için, kuraklığın koşullu olasılığı ve dönüş periyotlarını belirlemişlerdir. Sonuç olarak, Güney Hindistan'da kuraklığın arttığı, batı ve Orta Hindistan'daki kuraklık olaylarının daha

şiddetli ve daha uzun olduğunu, güney Hindistan nehir havzalarındakilerin ise daha sık ancak daha az şiddetli olduğunu bulmuşlardır.

Eşit ve Yüce (2021) Osmaniye bölgesinde, iki değişkenli kopula fonksiyonu kullanarak, meteorolojik kuraklığın ortak olasılık dağılımlarını hesaplamışlardır. Meteoroloji gözlem istasyonundan temin edilen uzun yıllar yağış verilerini kullanarak, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) yöntemi ile, kuraklığın şiddetini ve süresini 3 aylık zaman ölçeğinde (SYİ -3) hesaplamışlardır. Kuraklığın süresi ve şiddeti için en uygun dağılımın sırasıyla Log-normal ve Weibull olduğunu bulmuşlardır. Hidrolojik ve meteorolojik çalışmalarda Archimedean kopulanın genel olarak kullanıldığına dikkat çekmişlerdir. Akaike Bilgi Kriteri (AIC), Bayes Bilgi Kriteri (BIC), Maksimum olabilirlik (MLE) ve kuyruk bağımlılığı kriterleri göz önünde bulundurularak, en uygun kopulanın Gumbel fonksiyonun olduğunu söylemişlerdir. Kuraklık süre ve şiddet parametrelerinin koşullu ve ortak dönüş periyotlarının farklı durumları karşılaştırmak için faydalı bilgiler verdiğini bu sayede su kaynaklarının öngörülemeyen riskini değerlendirmek için yararlı olacağı sonucuna varmışlardır.

Eşit ve Yüce (2022), Akdeniz iklim kuşağında olan Kahramanmaraş İlinde kuraklığı çalışmışlardır. Dört meteoroloji yağış istasyon verilerini kullanarak, üç aylık periyot için Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) ile kuraklık analizini yapmışlardır. Ayrıca kuraklığın karmaşık yapısından dolayı tek bir değişkenle kapsamlı bir analizin yapılamayacağını belirtip, kopula yardımıyla çok değişkenli kuraklık frekans analizini yapmışlardır. Kurak ve yağışlı dönemleri belirlemek için, SPI indeksi hesaplandıktan sonra kuraklık parametrelerini (süre, şiddet) belirlemişlerdir. AIC ve BIC uygunluk testlerine göre en uygun marjinal dağılımın farklı istasyonlarda değişiklik gösterdiğini, üç istasyonda en uygun kopulanın Archimedean ailesinden Gumbel kopula olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca kuraklık parametrelerinin (süre ve şiddet) 2, 5, 10, 50, 100 ve 500 yıllık dönüş periyotları ve şartlı olasılık değerlerini hesaplamışlardır.

Ma ve ark. (2013), Çin'in Kuzeyinde bulunan Shaying nehir havzasının hidrolojik kuraklığını çalışmışlardır. 17 hidroloji ve meteoroloji gözlem istasyonunun 1951-2008 yılları arasındaki verileri kullanılarak, Standartlaştırılmış Akış İndeksi

(SRI) ile hidrolojik kuraklığı analiz etmişlerdir. Ayrıca Archimedean kopulası kullanılarak, aralarında korelasyon olan, kuraklık bileşenlerinin (kuraklık süre-kuraklık şiddet ve kuraklık pik) çok değişkenli dağılım fonksiyonu ve dönüş periyotlarını elde etmişlerdir. Çalışmanın sonunda, kuraklık karakterinin yersel değişikliğine rağmen, kopulaların kuraklığın risk değerlendirmesi için faydalı sonuçlar sağladığını savunmuşlardır.

Dünyanın farklı bölgelerinde araştırmacılar, yağışın süre ve şiddetinin modellenmesi, yağışları tahmin etmenin yanı sıra gelecekteki kuraklıkların değerlendirilmesi gibi birçok hidrolojik çalışmada yukarıdaki çalışmalarda da görüldüğü gibi kopula fonksiyonlarını sıkça tercih etmişlerdir. Ayrıca kuraklıkla mücadele için kuraklığın zamansal, mekânsal özelliklerinin ve geri dönüş periyotlarının bilinmesini zaruri görmüşlerdir. Etkin kuraklık yönetiminin, kuraklıkla ilgili önceden bilgiler gerektirdiğini, hızlı değişen ekolojik ortamda, durağan varsayımına dayalı geleneksel tek değişkenli analizlerin, kuraklık olaylarını kapsamlı açıklayamadığını bildirmişlerdir. Geleneksel çok değişkenli analizlerin ise, değişkenlerin normal marjinal dağılıma sahip olması durumunda kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimini göstermek için, farklı geri dönüş periyotları için, süre, şiddet ve pik değerlerinin kombinasyonunu üç boyutlu grafikleri sayesinde hesaplanmaktadır. Belirli dönüş periyodu ve süreli kuraklık şiddetinin bilinmesinin, kuraklığın önlenmesi için önem teşkil ettiğini söylemişlerdir. İki değişkenli kopulalar ile yapılan kuraklık çalışmalarının sayısı fazla olmasına rağmen, Türkiye’de yapılan çalışmaların çoğunun meteorolojik kuraklığı incelediği görülmektedir. Ülkemizde akım verileri ile hesaplanmış hidrolojik kuraklıkların iki değişkenli kopulalar ile değerlendiren çalışmalar ise oldukça kısıtlıdır.

Asi havzasında, akım verileri kullanılarak elde edilmiş hidrolojik kuraklık bileşenlerinin iki değişkenli kopula ile değerlendirmesini içeren bir çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca, kuraklık süre-şiddetinin yanında, kuraklık süre-pik değerlerinin beraber değerlendirmesi konusunda da yenilik katmaktadır.

İki değişkenli analiz sonuçlarının, kuraklıkla mücadelede, su kaynaklarının etkin planlamada yararlı olabileceğini, ayrıca gelecekte hidrolojik kuraklığa karşı araştırmaların sürdürülmesini ve gelecek için olası senaryoları analiz edilmesini önermişlerdir.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı ve Veriler

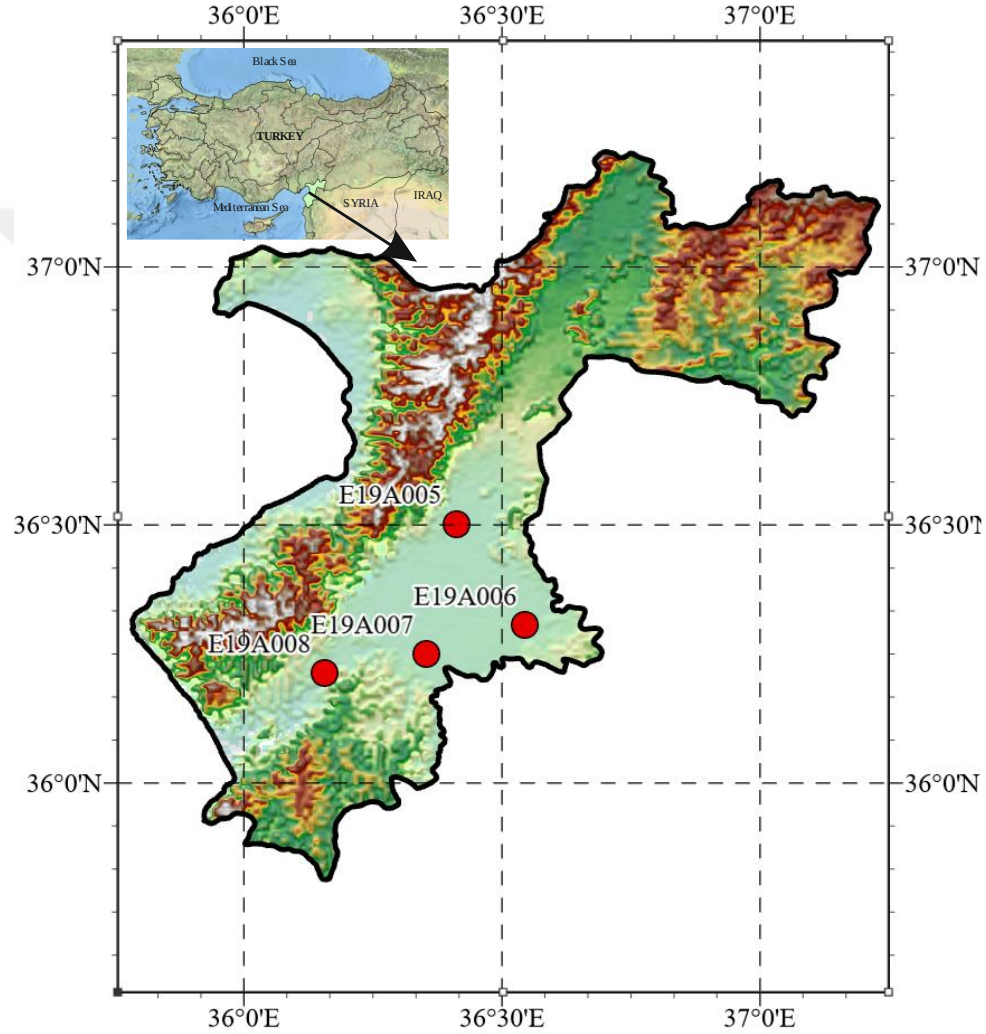
Türkiye toplam 25 nehir havzasına bölünmüştür (Şekil 3. 1). Türkiye'nin güneyindeki Asi Havzası, Doğu Akdeniz Bölgesinde; 36° 21'Kuzey, 35° 48'Güney enlemleri, 36° 41'Doğu ve 35° 53'Batı boylamları arasında, Batıda Akdeniz, güneyde Suriye, doğuda Fırat Havzası ve kuzeyde ise Ceyhan Havzası yer alır. (Şekil 3. 2)



Şekil 3. 1. Türkiye’de yer alan su havzaları

Asi havzası yıllık toplam 1.17 milyar m³ su potansiyeline ve 7800 km² yağış alanına sahip olup, sınır aşan sular kapsamındaki Asi nehrini barındırmaktadır. Asi nehri, Lübnan’dan doğsa da en önemli yan kolları Türkiye’deki Karasu ve Afrin çaylarıdır. Lübnan’dan Suriye sınırına girdikten sonra, Türkiye-Suriye sınırını çizip kuzeye doğru Türkiye’ye girmektedir. Türkiye’ye girdikten sonra, Amik Ovası’nda küçük Asi Nehri’yle de birleşerek bir kavis çizmekte ve Samandağ Kasabası’nın 6 kilometre güneybatısından Doğu Akdeniz’e dökülmektedir (ORSAM, 2023). Denize döküldüğünde, yıllık toplam yüzeysel akımın yaklaşık yarısı Türkiye sınırlarında doğan yan kolları tarafından beslenmektedir (Yanmaz & Usul, 2006).

Toplam uzunluğu 556 km olup, 366 km Suriye'de, 98 km Türkiye'de, 40 km'si ise Lübnan'dadır. 52 km'si Türkiye-Suriye sınırını oluşturur. Ülkemiz sınırları içerisindeki yaklaşık %70'lik bölümü Hatay ili sınırları içerisinde yer almakta olup, Nil nehri ile ters akış yönüne sahip iki akarsudan biri olsa da bulunduğu bölgede güneyden kuzeye; yani ters yönde akan tek nehirdir. Ayrıca kaynağı Türkiye'de olmayıp, denize döküldüğü yer olan tek nehir Asi Nehri'dir.



Şekil 3. 2. Çalışma Alanı

Asi Nehri'nin yıllık su hacmi 1.200 milyon m³ ve ortalama su debisi 30 m³/sn olarak verilmektedir. Yağış miktarı Lübnan'da 950-1270 mm, Suriye'de 760-1015 mm, Türkiye kısmında ise 505-1095 mm arasındadır. Nehir havzasında genel olarak Akdeniz iklimi görülür. Genelde yazlar kurak, kışlar yağışlıdır. Nehir de bu düzene

uyar, kışın suları artar, yazın ise azalır. Dolayısıyla kış mevsimi ile ilkbaharda taşkınlar nedeniyle pek çok su baskını yaşanmıştır.

Asi havzasında, uzun yıllar verisi bulunan ve düzenli bir şekilde ölçümü yapılan ve konumları Şekil 3. 2’de toplam dört istasyon bulunmaktadır. Bu istasyonlara ait coğrafi bilgiler, ortalama akım değerleri, ölçüm aralıkları ve eksik veri oranları Çizelge 3. 1. İstasyon Bilgileri Çizelge 3. 1’de verilmiştir. İstasyonların kotları birbirlerine yakın olup, ölçüm aralığı 1954-2019 arasındadır.

Çizelge 3. 1. İstasyon Bilgileri

İstasyon No	İstasyon Adı	Koordinat (°)	Rakım (m)	Uzun dönem ortalama akım (m ³ /s)	Eksik veri (%)	Ölçüm aralığı
E19A005	Karasu Torun Köprüsü	36°24' D - 36°30' K	84	10.2	0.38	1954-2019
E19A006	Afrin Deresi Müşröflü	36°32' D - 36°18' K	98	7.3	1.52	1954-2019
E19A007	Asi Nehri Demirköprü	36°21' D - 36°15' K	85	28.2	1.77	1954-2019
E19A008	Asi Nehri Antakya	36°9' D - 36°11' K	71	62.8	6.19	1954-2019

Eksik veri oranı ise %0.4 ile 6.2 arasında değişmektedir. Eksik veriler, yakın istasyonlardan regresyon tekniği ile tamamlanmıştır. Ele alınan istasyonlar arasında E19A006 istasyonu en düşük ortalama akım değerine sahip iken E19A008 istasyonu ise en büyük ortalama akım değerine sahiptir.

Kullanma suyunun kıt olduğu Ortadoğu, uluslararası suların paylaşımı konusunda uyuşmazlıkların yaşandığı önemli bölgelerden biridir. Suyun kullanımı, paylaşımı ve nehrin yıllık su hacminin belirlenmesi konusunda; Türkiye ve Suriye arasında ihtilafa konu olan nehirlerden biri de Asi Nehri’dir. Lübnan ve Suriye arasındaki kullanıma ilişkin antlaşma, Aşağı Havza ülkesi konumundaki Türkiye’nin aleyhine durumlar ortaya çıkarmaktadır. Ancak Türkiye, Dicle-Fırat nehirleri konusunda yukarı havza ülkesi, Suriye ise aşağı havza ülke konumundadır. Dolayısıyla Suriye’nin, Dicle-Fırat nehirleri konusunda savunduğu tezler, Asi Nehri konusunda kendisine karşı ileri sürülmektedir.

Türkiye'nin, uluslararası suların adilane paylaşımı ve etkin planlanması konusundaki savunduğu ilkeler, Asi Havzası'nda, hidrolojik çalışmaların önemini arttırmaktadır.

Nüfus artışına paralel olarak gıda ihtiyacının artması ve son yıllarda yaşanan pandemi koşullarının doğal sonucu olarak, kriz döneminde tarımsal gıdaların tedarik sorunu, yakın geçmişte yaşadığımız büyük bir problem olmuştur. Dolayısıyla bu problemler bizleri, ulusal bazda hatta küçük tarım havzalarında bile, su ve toprak kaynaklarının etkin planlanması sonucuna yönlendirmektedir. Bu da hidrolojik çalışmaların değerini arttırmaktadır.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında, en önemli nehir kolu Türkiye'de bulunan, yarı kurak iklime sahip Asi Nehir Havzasının hidrolojik kuraklığını araştırmak gerekli ve önemli bir çalışma olarak değerlendirilmektedir.

3.2. Yöntem

3.2.1 Akım Kuraklık indeksi (AKİ)

Nalbantis (2008) tarafından geliştirilen Akım kuraklık indeksi (AKİ), meteorolojik kuraklığı hesaplamak için literatürde en fazla olarak kullanılan indislerden biri olup, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (Standardized precipitation index - SPI) McKee ve ark. (1993) ile benzer hesaplamayı içermektedir. AKİ'nin hidrolojik kuraklık ile doğrudan bağlantılı olan akım verilerine bağımlı olması ve farklı zaman ölçeklerine uygulanabilmesi bu yöntemin en önemli avantajıdır. Bu yöntemde hidrolojik kuraklıkların değerlendirilmesi ve izlenmesi için nehrin kümülatif akış miktarı kullanılarak, kuraklığın başlangıcını ve süresini belirlenir, kuraklıkların sıklığı ve şiddeti nehir havzası üzerindeki kuraklık etkisine göre tanımlanır ve hidrolojik kuraklık için su dengesi göstergeleri elde edilir (Jahangir & Yarahmadi, 2020). Bu yöntem ile AKİ değerleri aylık akım verileri ($Q_{i,j}$) kullanılarak hesaplanmaktadır. Burada i , su yılını, j ise su yılı içerisindeki ayı temsil etmektedir. Biriken akım hacmi 3 ve 6 aylık zaman ölçeklerinde aşağıdaki denklemlerdeki gibi hesaplanır:

$$V_{i,j} = \sum_{j=3(k-1)+1}^{3k} Q_{i,j}, \quad k=1,2,3,4. \quad (3.1)$$

$$V_{i,j} = \sum_{j=6(k-1)+1}^{6k} Q_{i,j}, \quad k=1,2 \quad (3.2)$$

Denklem 3.1, ve Denklem 3.2, sırasıyla 3, ve 6 aylık kuraklık indis değerleri hesaplanır. Denklemlerdeki k , referans periyodunu ifade eder. Denklem 3.1'de $k=1$ Ekim-Aralık (AKİ-3 Ekim), $k=2$ Ocak-Mart (AKİ-3 Ocak), $k=3$ Nisan-Haziran (AKİ-3 Nisan), $k=4$ ise Temmuz-Eylül (AKİ-3 Temmuz) dönemlerini temsil eder.

Denklem 3.2'de $k=1$ ve $k=2$ sırasıyla ilk 6 ay (AKİ-6 Ekim) ve son 6 aylık (AKİ-6 Nisan) periyodları, ifade eder. Burada, referans periyot k . ve i . hidrolojik yıl için V_k kümülatif akım hacimlerinin ortalamasını, S_k standart sapmasını temsil eder.

Akım değerlerinin kuraklıklarını hesaplamak için bu çalışmada hidrolojik yıl (ekim-eylül) kullanılmıştır. Mevcut çalışmada, mevsimsel değişiklerin yansıtılabilmesi açısından 3 ve 6 aylık AKİ kullanılmıştır ve AKİ değerleri gama dağılımı kullanılarak hesaplanmıştır.

3.2.2. Hidrolojik Kuraklığın Sınıflandırılması

AKİ metodunda aylık akım veri setleri en az 30 yıllık kesintisiz dönem için düzenlenir. Kuraklık şiddeti Çizelge 3. 2'de ki kategorilere göre sınıflandırılabilir. Pozitif değerler nemli, negatif değerler ise kurak dönemleri temsil etmektedir.

Çizelge 3. 2. AKİ değerlerine göre kurak ve yağışlı dönemlerin sınıflandırılması

AKİ Değerleri	Sınıflandırma
$AKİ \geq 2$	Aşırı nemli
$1.5 \leq AKİ < 2.0$	Çok nemli
$1.0 \leq AKİ < 1.5$	Orta nemli
$0 \leq AKİ < 1.0$	Hafif nemli
$-1.0 \leq AKİ < 0$	Hafif kurak
$-1.5 \leq AKİ < -1.0$	Orta kurak
$-2.0 \leq AKİ < -1.5$	Çok kurak
$AKİ \leq -2$	Aşırı kurak

3.2.3. Kopula

Kopula, Latin dilinde bağ, bağlaç, ilişki, bir araya getirme gibi anlamalara karşılık gelmektedir. Kopula terimini, istatistik veya matematikte, ilk olarak Sklar (1959) tarafından, tek değişkenli dağılım fonksiyonları bir araya getirmek suretiyle, çok değişkenli dağılım fonksiyonlarını modelleme anlamında kullanılmıştır. Sonraki yıllarda; Schweizer ve Wolff (1981) kopulanın akademik çalışmalarda kullanılabilirliğine katkı sağlamışlardır. Ayrıca Kopula, rastgele değişkenlerin (tek değişkenli ve çok değişkenli) marjinal dağılımları hakkında önemli bilgiler verip, farklı korelasyon yapılarına izin verdiğinden, son yıllarda çok sayıda araştırmacının, farklı alanlarda kullandığı bir yöntem olmuştur.

Hidrolojik ve meteorolojik olayların frekans analizinde; uygun dağılımların seçilmesi kadar, etkin parametre tahmini de analizin önemli bir parçasıdır. Kuraklık, süre, şiddet, frekans ve pik gibi birden çok parametre ile karakterize edilir.

20. yüzyılın ikinci yarısından beri birçok araştırmacı, olasılık teorisi üzerinden kuraklık parametrelerini analiz ederek, çalışmalar yapmaktadır. Ancak bu çalışmaların birçoğu, tek değişkenli kuraklık parametrelerinin analizi şeklinde yapılmıştır.

Süre, şiddet, frekans ve pik gibi bileşenlerle karakterize edilen kuraklık; bu bileşenleri arasında yüksek korelasyona sahip, karmaşık bir doğa olayıdır. Dolayısıyla kuraklığın tek değişkenli analiz sonuçları, değişkenler arasındaki önemli korelasyonu açıklayamamaktadır. Shiau (2006), kuraklık analiz sonuçlarının daha gerçekçi karakterizasyonu için kuraklık değişkenlerinin “ortak modellenmesi” zaruridir. Bu da çok değişkenli analiz yöntemleri ile mümkün olacaktır.

Kuraklık parametrelerinin farklı dağılım fonksiyonlarına uyması sebebiyle, çok değişkenli modellerin oluşturulması konusunda bazı zorluklar ortaya çıkmaktadır. Çünkü geleneksel yöntemler, rastgele değişkenlerin aynı olasılık dağılım fonksiyonuna uymasını zorunlu kılmaktadır. İlk defa Abe Sklar (1959) tarafından kullanılan bu teorem, kopulalar teorisinin en önemli teoremidir. Hem rastgele değişkenler arasındaki korelasyonu koruyabilme, hem de rastgele değişkenlere ait farklı dağılım özelliklerini bünyesinde taşıyabilmesi gibi avantajları vardır. Geleneksel yöntemlerin doğasında bulunan birçok dezavantajın üstesinden gelme özelliği bulunmaktadır (Wu ve ark., 2020).

Örneğin, $x_1, x_2, \dots, x_n$ şeklinde rastgele vektörlerin tek değişkenli kümülatif dağılım fonksiyonları (CDF), $F_1, F_2, \dots, F_n$ olsun. Sklar teoremine göre bu rastgele vektörlerin ortak tek değişkenli kümülatif dağılım fonksiyonları tanımlayan bir n boyutlu Kopula fonksiyonu vardır. Bu fonksiyon Denklem 3.3'teki gibi hesaplanır:

$$H(x_1, x_2, \dots, x_n) = C(F_1(x_1), F_2(x_2), \dots, F_n(x_n)) \quad (3.3)$$

Burada C terimi, parametresi θ olan n boyutlu bir kopulayı temsil etmektedir.

3.2.4. Tek Değişkenli ve İki Değişkenli Dönüş Periyotları

Tek değişkene bağlı olarak hesaplanan dönüş periyotları Denklem 3.4'te görüldüğü gibi kuraklık süresi, şiddeti ve pik değeri için ayrı ayrı hesaplanır.

$$T_D = \frac{E(L)}{1 - F_D(d)}, T_S = \frac{E(L)}{1 - F_S(s)}, T_P = \frac{E(L)}{1 - F_P(p)} \quad (3.4)$$

Burada, T_D , kuraklık süresinin belirli bir değere eşit ve büyük olması durumundaki dönüş periyodunu, T_S , kuraklık şiddetinin belirli bir değere eşit ve büyük olması durumundaki dönüş periyodunu, T_P kuraklığın pik değerinin eşit ve büyük olması durumundaki dönüş periyodunu ifade eder. L = iki kuraklık arasındaki süre, $E(L)$, Gözlenen kuraklıklardan tahmin edilebilen, beklenen iki kuraklık arasındaki süre, $F_S(s)$, $F_D(d)$ ve $F_P(p)$ ise kuraklık süre, şiddet veya pik değerinin kümülatif dağılım fonksiyonunu ifade eder.

Kopula fonksiyonları yardımıyla iki değişkenli dönüş periyotları için iki tanımlama bulunmaktadır. Denklem 3.5 ve Denklem 3.6'da gösterilen iki değişkenli dönüş periyodu formüllerindeki C kopula fonksiyonunu temsil etmek üzere; T_{DS} kuraklık süre ve şiddetinin belirli bir değere eşit veya büyük olması durumunu ifade ederken ($D \geq d$ ve $S \geq s$), T'_{DS} ise kuraklık süresi veya şiddetinin belirli bir değere eşit veya yüksek olma durumunu belirtir ($D \geq d$ veya $S \geq s$).

$$T_{DS} = \frac{E(L)}{P(D \geq d \text{ ve } S \geq s)} = \frac{E(L)}{1 - F_D(d) - F_S(s) + C(F_D(d), F_S(s))} \quad (3.5)$$

$$T'_{DS} = \frac{E(L)}{P(D \geq d \text{ veya } S \geq s)} = \frac{E(L)}{1 - C(F_D(d), F_S(s))} \quad (3.6)$$

Denklem 3.7 ve Denklem 3.8’de gösterilen, T_{DP} kuraklık süre ve pik değerinin belirli bir değere eşit veya büyük olması durumunu ifade ederken ($D \geq d$ ve $P \geq p$), T'_{DP} ise kuraklık süresi veya pik değerinin belirli bir değere eşit veya yüksek olma durumunu belirtir.

$$T_{DP} = \frac{E(L)}{P(D \geq d \text{ ve } P \geq p)} = \frac{E(L)}{1 - F_D(d) - F_P(p) + C(F_D(d), F_P(p))} \quad (3.7)$$

$$T'_{DP} = \frac{E(L)}{P(D \geq d \text{ veya } P \geq p)} = \frac{E(L)}{1 - C(F_D(d), F_P(p))} \quad (3.8)$$

3.2.5. Kopula fonksiyonları

Tek değişkenli marjinal dağılımlardan çok değişkenli dağılımlar oluşturmak için, literatürde birçok kopula fonksiyonu bulunmaktadır (Sadegh ve ark., 2017). Ancak hidrolojik ve meteorolojik çalışmalarda genellikle, aşağıdaki kopula fonksiyonları veya kopula aileleri sıklıkla kullanılmıştır.

- 1- Archimedean sınıfı; Ali Mikhail Haq-AMH (Ali ve ark., 1978), Clayton (Clayton, 1978), Gumbel-Hougaard (Li et al., 2013) ve Joe (Li et al., 2013) Frank (Li ve ark., 2013),
- 2- Eliptik sınıf (normal ve student t),
- 3- Uç-değerler Galambos (Huynh ve ark., 2014), Husler-Reiss, Tawn, ve t-EV)
- 4- Diğer sınıflar (Farlie-Gumbel-Morgenstern ve Plackett) olarak dört sınıf ayrılır (Ayantobo ve ark., 2018).

Literatürde birçok kopula fonksiyonu olmasına karşın, Archimedean kopula ailesi genel olarak hidrolojik ve meteorolojik alanlarda daha sık kullanılmaktadır. (Kim ve ark., 2003; Mortuza ve ark., 2019; Nabaei ve ark., 2019; Tosunoglu & Can, 2016). Ayrıca, uç değer sınıfında yer alan Galambos kopulasının da kuraklık süre ve şiddetini ortak değerlendirmede başarılı olduğu görülmektedir ((Avsaroglu & Gumus, 2022; Kiafar ve ark., 2020; Mirabbasi ve ark., 2012). Bu nedenle, bu çalışmada

Archimedean sınıfında bulunan AMH, Clayton, Frank, Gumbel-Hougaard ve Joe kopulaları ve aşırı değer sınıfında yer alan Galambos kopulası, kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan iki değişkenli kopulaların matematiksel ifadeleri, Çizelge 3. 3'de gösterilmektedir. Mevcut formüllerde yer alan u ve v , üniform dağılımlı rasgele değişkenleri, θ ise kopula parametresini simgeler.

Çizelge 3. 3. Kopula Fonksiyonları

Kopula Tipi	Formül	Parametre Aralığı
Clayton	$\max(u^{-\theta} + v^{-\theta} - 1, 0)^{-1/\theta}$	$\theta \in [-1, \infty) \setminus 0$
Frank	$-\frac{1}{\theta} \ln \left[1 + \frac{(\exp(-\theta u) - 1)(\exp(-\theta v) - 1)}{\exp(-\theta) - 1} \right]$	$\theta \in \mathbb{R} \setminus 0$
Joe	$1 - \left[(1-u)^\theta + (1-v)^\theta - (1-u)^\theta (1-v)^\theta \right]^{1/\theta}$	$\theta \in [1, \infty)$
Gumbel-Hougaard	$\exp \left\{ - \left[(-\ln(u))^\theta + (-\ln(v))^\theta \right]^{1/\theta} \right\}$	$\theta \in [1, \infty)$
Ali-Mikhail-Haq (AMH))	$\frac{uv}{1 - \theta(1-u)(1-v)}$	$\theta \in [-1, 1)$
Galambos	$uv \exp \left\{ (-\ln(u))^{-\theta} + (-\ln(v))^{-\theta} \right\}^{-1/\theta}$	$\theta \in [0, \infty)$

3.2.6. Kopula seçimi

Marjinal dağılımlara bağlı olarak kullanılacak en iyi kopula fonksiyonu, analiz ve hesaplamaların sonucunu doğrudan etkileyeceğinden dolayı büyük bir önem arz etmektedir. Kopula seçimi için sadece tek seçim kriteri kullanmak bazı dezavantajlar sunmaktadır ve en uygun parametre setini tek kriter ile belirlemek, dağılımları karşılaştırmada oluşan kısıtlamalar nedeniyle tamamen tatmin edici değildir (Huard ve ark., 2006), (Huang ve ark., 2014).

Bu çalışmada veriyi modelleyen uygun iki boyutlu kopula fonksiyonunu seçerken seçim kriteri olarak için Akaike Bilgi Kriteri (Akaike Information Criterion - AIC) (Akaike, 1974), Bayes Bilgi Kriteri (Bayesian Information Criterion - BIC) (Schwarz, 1978) kullanılmıştır. AIC ve BIC'de en düşük değer en iyi sonucu işaret eder.

$$AIC = -2(\ln(\text{likelihood})) + 2K \quad (3.9)$$

$$BIC = -2\log p(L) + p\log(n) \quad (3.10)$$

Burada p , tahmin edilen parametre sayısı ve n , gözlem sayısıdır

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen analizler MATLAB yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.



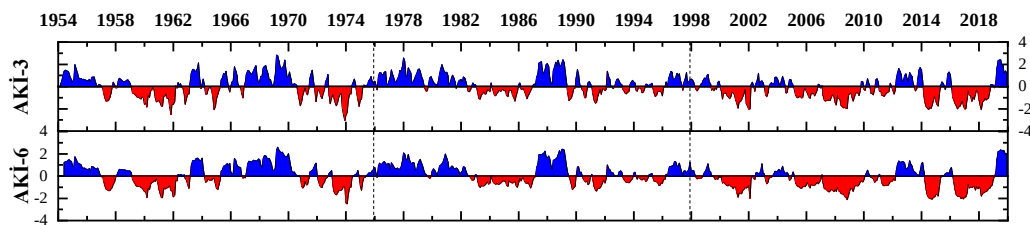
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Asi havzasında bulunan dört akım gözlem istasyonunda 3 aylık (AKİ-3) ve 6 aylık (AKİ-6) zaman ölçeklerinde elde edilen AKİ değerlerinin zamansal değişimi sırasıyla Şekil 4. 1 ve Şekil 4. 2’de verilmiştir. İstasyonlarda hidrolojik kuraklığın geçmişten günümüze değişiminin net bir şekilde değerlendirilebilmesi için düzenli kayıtların bulunduğu zaman aralığı (1954-2019) üç farklı aralığa ayrılmıştır. 1954-1976 yılları 1.Dönem, 1976-1998 yılları 2.Dönem ve 1998-2019 yılları arası ise, 3.Dönem olarak tanımlanmıştır.

4.1. E19A005 İstasyonu Analiz Sonuçları

4.1.1. Kuraklık Analizi

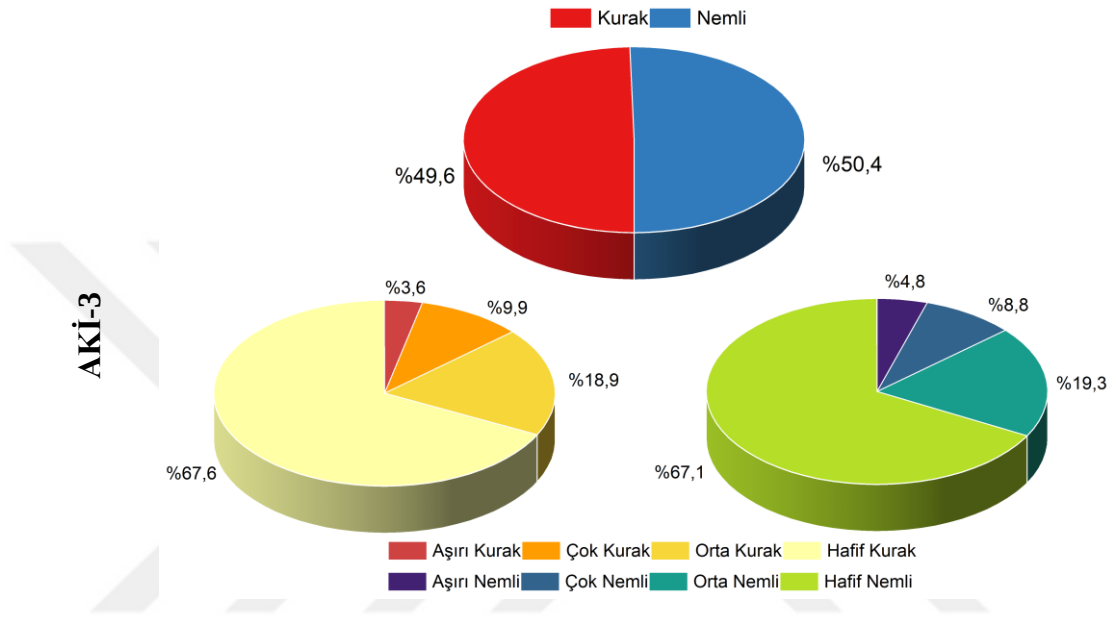
E19A005 numaralı Karasu Torun Köprüsü akım gözlem istasyonuna ait kuraklık analizi için 1954-2019 yılları arası sürekli olarak ölçülmüş akım verileri kullanılmıştır. Aylık ortalama akım değerleri kullanılarak, 3 aylık (AKİ-3) ve 6 aylık (AKİ-6) zaman ölçeklerinde elde edilen AKİ değerlerinin değişimi değerlendirilmiştir.



Şekil 4. 1 E19A005 istasyonu AKİ-3 ve AKİ-6 değerlerinin zamansal değişimi

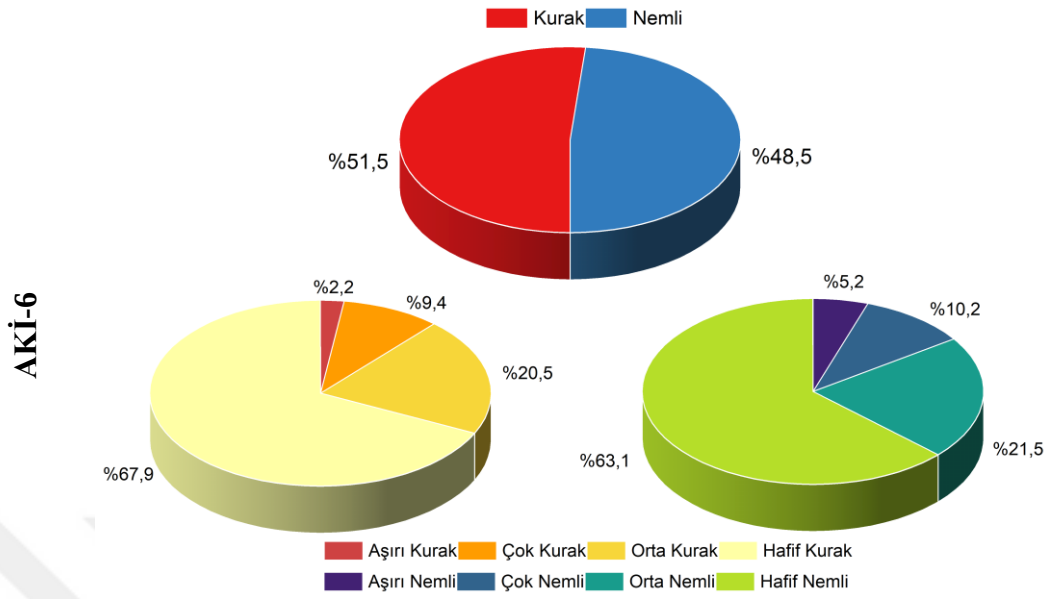
Şekil 4. 1.’de, AKİ-3 ve AKİ-6 değerlerinin zamansal değişimi gösterilmektedir. E19A005 istasyonunun AKİ-3 zaman periyodunda 1954-2019 yılları arasında (3 farklı dönem için) ayrı ayrı yapılan incelemelerde; 1.Dönem’in başlarında nemli ayların meydana geldiği, dönemin ortalarında kurak ayların daha sık yaşandığı ve dönemin sonlarına doğru kurak ay oranında ciddi bir artışın gözlemlendiği belirlenmiştir. 2.Dönem’de ise nemli ayların 1.Dönem’e kıyasla daha fazla, kurak

ayların da özellikle dönem ortalarında daha yoğun olduğu tespit edilmiştir. 3.Dönem’de ise daha uzun süreli kuraklıkların meydana geldiği ve nemli dönemlerin daha kısa sürdüğü gözlemlenmiştir. Aşırı kuraklığın son dönemde arttığı ayrıca, kuraklık şiddetinin her iki zaman periyodunda son dönemde en büyük değerini aldığı görülmüştür.



Şekil 4. 2. AKİ-3'e göre E19A005 istasyonuna ait kurak ve nemli dönem yüzdeleri

Şekil 4. 2.'de, AKİ-3'e göre kurak ve nemli dönem yüzdeleri verilmiştir. AKİ-3 değerlerine göre, 1954-2019 arası tüm ayların %50.4'ü nemli geçerken %49.6'sı ise kurak geçmiştir. Kurak geçen ayların %67.6 oranında hafif kurak, %18.9'u orta kurak, %9.9'u çok kurak, %3.6'sı ise aşırı kurak geçmiştir. Bu dönemde nemli geçen ayların %67.1 oranında hafif nemli, %19.3'ü orta nemli, %8.8'i çok nemli, %4.8'i ise aşırı nemli geçmiştir.



Şekil 4. 3 AKİ-6'ya göre E19A005 istasyonuna ait kurak ve nemli dönem yüzdeleri

Şekil 4. 3.'teki AKİ-6 değerlerine göre, 1954-2019 arası tüm ayların %51.5'ü kurak geçenken %48.5 ise nemli geçmiştir. Kurak geçen ayların %67.9'u hafif kurak, %20.5'i orta kurak, %9.4'ü çok kurak, %2.2 oranında ise aşırı kurak geçmiştir. Bu dönemde nemli geçen ayların %63.1 oranında hafif nemli, %21.5'i orta nemli, %10.2'si çok nemli, %5.2'lik kısmı ise aşırı nemli geçmiştir.

4.1.2. Gidişler Analizi

AKİ ile hesaplanan kuraklık şiddetinden sonra, Gidişler analizi kullanılarak E19A005 istasyonuna ait kuraklığın süre ve pik değerleri elde edilmiştir ve değerler Çizelge 4. 1.'de gösterilmiştir. AKİ-3 için, 1954-1976 yılları arası 1.Dönem olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 4. 1. Maksimum kuraklık parametrelerinin dönemsel değişimleri

İstasyon	Parametre	AKİ-3			AKİ-6		
		1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem
E19A005	Maks Süre	37 (Kas.59)	22 (Ara.84)	32 (Ara.07)	38 (Ara.59)	37 (Aralık.84)	35 (Ara.07)
	Maks.Şiddet	39.8	12.4	40.1	39	20.8	44.6
	Pik	3.06 (Eyl.74)	1.49 (Şub.92)	2.09 (Ara.18)	2.49 (Kas.74)	1.36 (Mar.92)	2.12 (Ağu.09)

1.Dönem’de en uzun kurak süre, Kasım 1959 da başlayıp 37 ay sürmüş, bu kurak sürede kuraklık şiddeti 39.8 olarak hesaplanmıştır. Kuraklığın pik değeri 3.06 olarak 1974 yılının Eylül ayında meydana gelmiştir. AKİ-3’te, benzer ardışık kurak ve nemli dönemlerin 2.Dönem’de devam ettiği görülmektedir. Ancak bu dönemin başlarında nemli geçen sürenin önceki döneme kıyasla daha uzun süreli olduğu ve kuraklık şiddetinin daha küçük olduğu görülmektedir. 2.Dönem’de en uzun kurak süre, Aralık 1984 da başlayıp 22 ay sürmüş, bu kurak sürede kuraklık şiddeti 12.42 olarak hesaplanmıştır. Kuraklığın pik değeri 1.49 olarak 1992 yılının şubat ayında meydana gelmiştir.

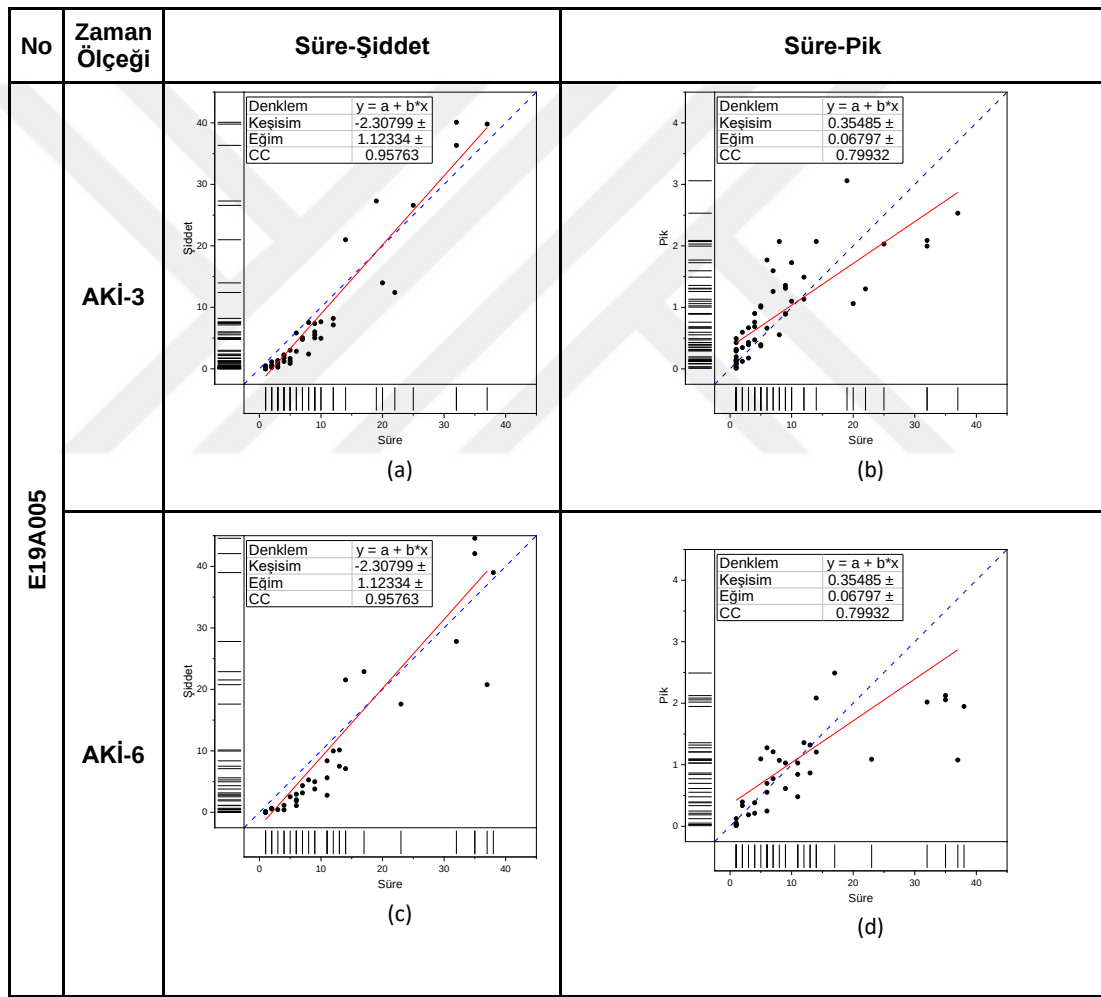
AKİ-3 değerlerine göre; 1998-2019 yılları arası ise, 3.Dönem olarak tanımlanmıştır. Bu dönemde, kurak dönemin yağışlı dönemlere kıyasla daha uzun sürdüğü ve bu dönemin yağışlı dönemden daha büyük şiddette yaşandığı söylenebilir. Aralık 2007’de başlayıp 32 ay süren kuraklığın şiddeti 40.09 olarak meydana gelmiştir. Pik kuraklık değeri 2.49 olarak 2018 yılının aralık ayında görülmüştür.

AKİ-6 değerlerine göre; 1954-1976 yılları arası olarak tanımlanan 1.Dönemin başlarında nemli ayların yaşandığı ancak dönemin sonlarına doğru kurak dönemlerin bariz şekilde arttığı görülmektedir. 1.Dönem’de en uzun kurak süre, Aralık 1959 da başlayıp 38 ay sürmüş, bu kurak sürede kuraklık şiddeti 39 olarak hesaplanmıştır. Kuraklığın pik değeri 2.49 olarak 1974 yılının Kasım ayında meydana gelmiştir.

AKİ-3 periyodun 2.Dönemine benzer şekilde, AKİ-6’nın 2.Döneminde de benzer ardışık kurak ve nemli dönemlerin devam ettiği görülmektedir. 2.Dönem’de en uzun kurak süre, Aralık 1984 da başlayıp 37 ay sürmüş, bu kurak sürede kuraklık

şiddeti 20.77 olarak hesaplanmıştır. Kuraklığın pik değeri 1.36 olarak 1992 yılının mart ayında meydana gelmiştir.

AKİ-6 değerlerine göre; 1998-2019 yılları arası ise, 3.Dönem olarak tanımlanmıştır. Bu dönemde, kurak dönemin, nemli dönemlere kıyasla daha uzun sürdüğü söylenebilir. Aralık 2007’de başlayıp 35 ay süren en uzun kuraklığın şiddeti 44.58 olarak meydana gelmiştir. Pik kuraklık değeri 2.12 olarak 2009 yılının ağustos ayında görülmüştür.

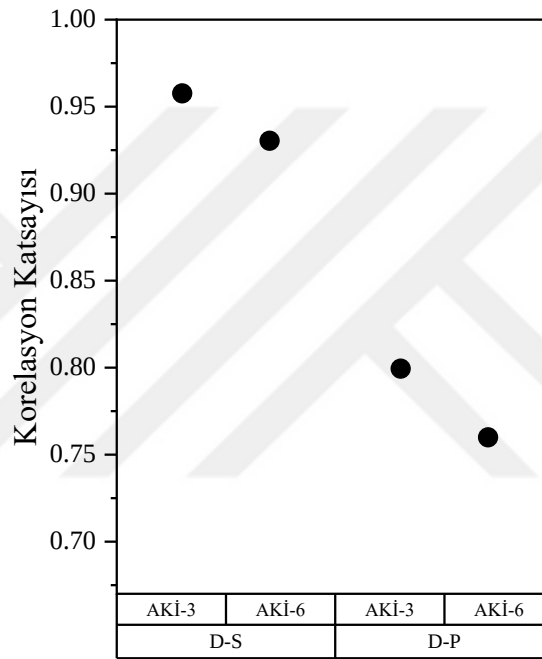


Şekil 4. 4. E19A005 istasyonuna ait kuraklık süre ve şiddet değerlerinin saçılım grafikleri

Şekil 4. 4’de E19A005 istasyonuna ait AKİ-3 ve AKİ-6 zaman ölçeklerinde hesaplanmış kuraklık süre, şiddet ve pik değerlerinin saçılım grafikleri verilmiştir. Şekil 4.4. (a); AKİ-3 için süre - şiddet saçılım grafiğini göstermektedir. Şekil 4.4. (b)

AKİ-3 için süre - pik saçılım grafiğini göstermektedir. Şekil 4.4. (c) AKİ-6 için süre şiddet saçılım grafiğini, Şekil 4.4. (d) ise, AKİ-6 için süre-pik saçılım grafiğini göstermektedir.

E19A005 istasyonu için AKİ-3'te ortalama kuraklık süresi, 7,54 ay, kuraklık şiddeti 6,16 ve kuraklık pik değeri ise 0.87 olarak belirlenmiştir. AKİ-6'da ortalama kuraklık süresi, 11.57 ay, kuraklık şiddeti 9.23 ve kuraklık pik değeri ise 0.92 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. 5. E19A005 İstasyonuna ait Kuraklık Süre ve Şiddet Değerlerinin Korelasyonu.

Şekil 4. 5'te ise kuraklık süre-şiddet ile süre-pik değerlerinin birbirleri ile olan Pearson korelasyon katsayılarını göstermektedir. AKİ-3 için belirlenmiş kuraklık süre-kuraklık şiddeti arasındaki korelasyon katsayısı 0.96 olduğu belirlenmiştir. Kuraklık süre- Kuraklık pik değeri arasındaki korelasyon ise 0.80 olduğu belirlenmiştir. AKİ-6 için belirlenmiş kuraklık süre-kuraklık şiddeti arasındaki korelasyon katsayısı 0.93 olduğu, kuraklık süre-kuraklık pik değeri arasındaki korelasyon ise 0.76 olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu korelasyon katsayılarına göre, kuraklık süre- şiddet arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmüştür.

4.1.3. Kuraklık Bileşenlerinin Marjinal Dağılımları

E19A005 istasyonunun her bir değişken için en uygun marjinal dağılımı ve dağılımlara ait parametreler Çizelge 4. 2.'de verilmiştir. E19A005 istasyonunda, Süre için AKİ-3'te, Inverse Gaussian, AKİ-6'da ise Exponential en uygun marjinal dağılım olarak ortaya çıkmıştır. Şiddet için E19A005 istasyonu AKİ-3'te Weibull, AKİ-6'da ise Gamma en uygun marjinal dağılım olarak belirlenmiştir. Pik için ise, AKİ-3'te Exponential, AKİ-6'da ise Nakagami en uygun marjinal dağılım olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4. 2. AKİ-3 ve AKİ-6 için en uygun marjinal dağılımlar ve parametreler

İstasyon	Zaman Ölçeği	Süre	Şiddet	Pik
E19A005	AKİ-3	Inverse Gaussian ($\mu=7.538$, $\lambda=3.521$)	Weibull ($A=3.79$, $B=0.57$)	Exponential ($\mu=0.867$)
	AKİ-6	Exponential ($\mu=11.57$)	Gamma ($a=0.48$, $b=19.23$)	Nakagami ($\mu=0.435$ $\omega=1.318$)

4.1.4. İki Değişkenli Kuraklık Bileşenlerinin Kopula ile Değerlendirilmesi

Farklı marjinal dağılımlara sahip kuraklık bileşenlerinin (örneğin, kuraklık süre, kuraklık şiddeti, kuraklık pik değeri vb.) ortak değerlendirmesi amacıyla kopula fonksiyonları kullanılmıştır. Bu amaçla, Asi havzasındaki kuraklık süre-şiddet ve kuraklık süre-pik değerlerinin ortak değerlendirmesi amacıyla farklı kopula fonksiyonları test edilmiştir. Bunlar, Archimedyan ailesinden Clayton, Frank ve Joe'ın, uç değerler ailesine ait Galambos'un yanında, AMH ve Gumbel kopula fonksiyonlarıdır. Kuraklık karakteristikleri arasındaki ilişkiyi ve bağımlılığı tanımlamak için en uygun kopula modeli AIC ve BIC değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Seçilmiş olan altı farklı kopula fonksiyonu kullanılarak Süre-Şiddet ve Süre-Pik için elde edilmiş olan kopula parametresi, AIC ve BIC değerleri Çizelge 4 3'te verilmiştir.

Çizelge 4. 3.'te E19A005 istasyonu için Süre-Şiddet için en başarılı kopula tüm kriterlere göre AKİ-3 ve AKİ-6'da Galambos olmuştur. Süre-Pik için ise AKİ-3'te tüm

kriterlere göre en uyumlu kopula Galambos olarak belirlenirken, AKİ-6'da Clayton kopulası en uygun kopula olmuştur.

Çizelge 4. 3. Kopulalar için hesaplanan AIC, BIC ve Parametre değerleri

No	Kopula	Süre-Şiddet						Süre-Pik					
		AKİ-3			AKİ-6			AKİ-3			AKİ-6		
		AIC	BIC	Par	AIC	BIC	Par	AIC	BIC	Par	AIC	BIC	Par
E19A005	AMH	-242.6	-240.7	1	-144.4	-142.8	1	-251.9	-250	1	-194.9	-193.4	1
	Clayton	-279.4	-277.5	2.6	-206.2	-204.7	7.2	-283	-281.1	2.2	-216.7	-215.2	2.4
	Frank	-290.3	-288.3	19.3	-218.6	-217.1	22.8	-289.6	-287.6	10.3	-208	-206.5	9.9
	Galambos	-291	-289.1	5	-227.5	-225.9	35	-293.9	-292	5.9	-212.1	-210.5	1.7
	Gumbel	-290.6	-288.7	4.8	-207.5	-205.9	4.9	-282.1	-280.2	2.7	-212	-210.4	2.6
	Joe	-286.9	-284.9	35	-226.4	-224.8	35	-291.7	-289.7	35	-203.9	-202.4	3.4

*En iyi değerler kalın işaretlenmiştir.

E19A005 istasyonu için kuraklığın dönüş periyotları tek değişkenli olarak hesaplanıp sonuçlar Çizelge 4. 4'de gösterilmektedir. AKİ-3'te, hesaplanan Süre değeri 10 yıllık dönüş periyotunda 15.53 aydır. 100 yıllık dönüş periyoduna ait Süre ise 51.16 ay olarak hesaplanmaktadır. AKİ-6'da 20 yıllık dönüş periyotunda hesaplanan süre değeri 28.24 aydır. AKİ-3 ve AKİ-6 için 50 yıllık dönüş periyotunda hesaplanan Süre değerleri sırasıyla 38.67 ve 38.84 olup birbirine yakın değerler hesaplanmıştır. Değişim aralıkları yüksek olmuştur. 100 yıllık ve 200 yıllık dönüş periyotlarında AKİ-3 için hesaplanan Süre değerleri AKİ-6 hesaplanan süreden daha büyüktür.

AKİ-3'te, 5 yıllık dönüş periyodu için hesaplanan kuraklık şiddeti 6.9'dur. Aynı dönüş periyodunda AKİ-6 için bu değer 7.98 olarak hesaplanmıştır. 50 yıllık dönüş periyotlarında AKİ-3 ve AKİ-6 için şiddet değerleri sırasıyla 37.54 ve 41.82 olarak hesaplanmıştır. 200 yıllık dönüş periyodu için hesaplanan şiddet değerleri ise her iki zaman skalası için (AKİ-3 ve AKİ-6) yakın değer bulunmuştur.

5 yıllık dönüş periyotunda AKİ-3 için pik değer 1.22 olarak hesaplanırken, aynı dönüş periyodunda AKİ-6 için bu değer 1.04 olarak hesaplanmıştır. 200 yıllık dönüş periyodunda ise, pik değer; AKİ-3 ve AKİ-6 için sırasıyla 4.42 ve 3.85 olarak

hesaplanmıştır. AKİ-3 için hesaplanan pik değerler tüm dönüş periyotlarında, AKİ-6 değerlerinden daha büyüktür.

Çizelge 4. 4. AKİ-3 ve AKİ-6 için Tek değişkenli Dönüş Periyotları

	Tek Değişkenli Dönüş Periyotları			
	Parametre	Dönüş Periyodu	AKİ-3	AKİ-6
E19A005	Süre	5 Yıl	8.68	12.2
		10 Yıl	15.53	20.22
		20 Yıl	24.36	28.24
		50 Yıl	38.67	38.84
		100 Yıl	51.16	46.86
		200 Yıl	64.82	54.88
	Şiddet	5 Yıl	6.9	7.98
		10 Yıl	13.9	17.06
		20 Yıl	22.87	27.3
		50 Yıl	37.54	41.82
		100 Yıl	50.64	53.27
		200 Yıl	65.37	65
	Pik	5 Yıl	1.22	1.04
		10 Yıl	1.82	1.51
		20 Yıl	2.42	2.05
		50 Yıl	3.22	2.77
		100 Yıl	3.82	3.31
		200 Yıl	4.42	3.85

Kuraklık, karmaşık bir yapıya sahiptir ve bileşenlerinin birbirleri ile olan etkilerini inceleyebilmek için farklı bileşenlerin ortak bir değerlendirmeye ihtiyaç vardır. Bu nedenle tek değişkenli dönüş periyodunun yanında, Asi havzası için iki değişkenli dönüş periyodunu hesaplamak için havzada en başarılı sonucu verdiği görülen Galambos kopulası kullanılmıştır.

Kopula fonksiyonu ile elde edilen dönüş periyotları Süre-Şiddet ve Süre-Pik için, Şekil 4. 6.'da, E19A005 istasyonuna ait 8 farklı grafik verilmiştir. Bu şekillerde T_{DS}^{ve} ve T_{DS}^{veya} için hesaplanan 5, 10, 20, 50, 100 ve 200 yıllık dönüş periyotları için hesaplanmış olan kuraklık bileşen (kuraklık süresi, şiddeti ve pik) değerlerinin dönüş periyoduna ait grafikler ayrı ayrı görülmektedir. Bu grafiklerde yer alan T_{DS}^{ve} iki kuraklık bileşeninin aynı anda olmasıyla, T_{DS}^{veya} ise iki kuraklık bileşeninin ayrı ayrı olmasıyla ortaya çıkacak dönüş periyotlarını temsil etmektedir.

Şekil 4 6.(a)'da AKİ-3 periyodu için, Süre ve şiddet parametrelerinin dönüş periyodunu, Şekil 4 6.(b) AKİ-3'te süre veya şiddetinin dönüş periyodunu, Şekil 4 6.(c) AKİ-3 periyodu için, Süre ve pik parametrelerinin dönüş periyodunu, Şekil 4 6.(d) AKİ-3'te süre veya pik değerlerinin dönüş periyodunu temsil etmektedir. Ayrıca Şekil 4 6.(e) AKİ-6 periyodu için, Süre ve şiddet parametrelerinin dönüş periyodunu, Şekil 4 6.(f) AKİ-6'da süre veya şiddetinin dönüş periyodunu, Şekil 4 6.(g) AKİ-6 periyodu için, Süre ve pik parametrelerinin dönüş periyodunu, Şekil 4 6.(h) ise AKİ-6'da süre veya pik değerlerinin dönüş periyodunu temsil etmektedir.

Şekil 4 6.(a)'da AKİ-3 periyodu için, 3.48 aylık süre ve 2.83 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu, 5.88 ay olarak hesaplanırken, 6 aylık süre ve 8 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu ise 9 ay olarak hesaplanmıştır. Ayrıca yaklaşık olarak; 57 aylık süre ve 40 şiddeti için, yaklaşık 37 aylık dönüş periyodu hesaplanmıştır.

Şekil 4 6.(b)'de AKİ-3 periyodu için, 14 aylık süre veya 21 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu, 8 ay olarak hesaplanırken, 37 aylık süre veya 40 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu ise 45 ay olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4 6.(c)'de AKİ-6 periyodu için, 13 aylık süre ve 21 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu, 14 ay olarak hesaplanırken, 35 aylık süre ve 45 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu ise 61 ay olarak hesaplanmıştır.

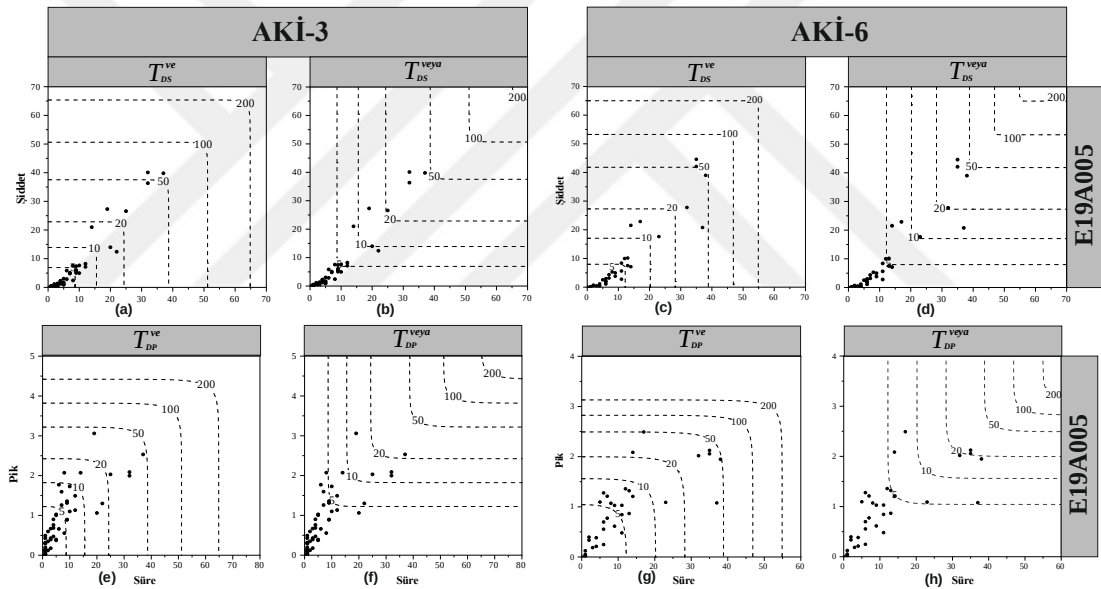
Şekil 4 6.(d)'de AKİ-6 periyodu için, 7 aylık süre veya 5 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu, 3 ay hesaplanmıştır. Ayrıca, 32 aylık süre veya 28 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu, 20 ay olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4 6.(e)'de AKİ-3 periyodu için, 8 aylık süre ve 1 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu, 5 ay olarak hesaplanırken, 10 aylık süre ve 1 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu ise 6 ay olarak hesaplanmıştır. Ayrıca yaklaşık olarak; 21 aylık süre ve 2 pik değeri için, dönüş periyodu 24 ay olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4 6.(f)'de AKİ-3 periyodu için, 11 aylık süre veya 1.5 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu, 6 ay olarak hesaplanırken, 37 aylık süre veya 2.5 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu ise 37 ay olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4 6.(g)'de AKİ-6 periyodu için, 11 aylık süre ve 0.5 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu 5 ay olarak hesaplanırken, 38 aylık süre ve 2 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu ise 50 ay olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4 6.(h) AKİ-6 periyodu için, 34 aylık süre veya 2 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu, 21 ay hesaplanmıştır.



Şekil 4.1. AKİ-3 ve AKİ-6 için tek değişkenli dönüş periyotlarına karşılık gelen iki değişkenli dönüş periyotları

Bu çalışmada, tek değişkenli dönüş periyotları ile iki değişkenli dönüş periyotlarının karşılaştırmasını yapabilmek amaçlanmıştır. Bunun için, tek değişken için 5, 10, 20, 50, 100 ve 200 yıllık dönüş periyotları için hesaplanmış olan kuraklık bileşen (kuraklık süresi, şiddeti ve pik) değerlerine karşılık gelen iki değişkenli dönüş periyotları (T_{DS}^{ve} ve T_{DS}^{veya} için) Çizelge 4. 5ve Çizelge 4. 6.'da verilmiştir.

Çizelge 4. 5'te kuraklık süre ve kuraklık şiddet parametreleri için, tek değişkenli dönüş periyotlarına karşılık gelen iki değişkenli dönüş periyotları hem AKİ-3 hem de AKİ-6 zaman ölçeğinde verilmiştir.

AKİ-3 zaman ölçeğinde, 5 yıllık dönüş periyodu için, süre ve şiddetin değeri 5.29 iken, aynı ölçek ve dönüş periyodu için, süre veya şiddet değeri 4.74 olarak hesaplanmıştır. AKİ-3 zaman ölçeğinde, 100 yıllık dönüş periyodu için süre ve şiddet değeri 106.74 iken, süre veya şiddet değeri ise 94.06 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4. 5. süre şiddet için iki değişkenli dönüş periyotları

	Zaman Ölçeği	Dönüş Periyodu	İki değişkenli Dönüş Periyotları	
			E19A005	
			T_{DS}^{ve}	T_{DS}^{veya}
Süre-Şiddet	AKİ-3	5	5.29	4.74
		10	10.63	9.44
		20	21.31	18.84
		50	53.35	47.05
		100	106.74	94.06
		200	213.53	188.09
	AKİ-6	5	5.09	4.91
		10	10.21	9.80
		20	20.44	19.58
		50	51.13	48.92
		100	102.28	97.82
		200	204.59	195.62

Çizelge 4. 6.'da kuraklık süre ve kuraklık pik parametreleri için, tek değişkenli dönüş periyotlarına karşılık gelen iki değişkenli dönüş periyotları hem AKİ-3 hem de AKİ-6 zaman ölçeğinde verilmiştir.

AKİ-3 zaman ölçeğinde, 5 yıllık dönüş periyodu için, süre ve pik değeri 5.94 iken, aynı ölçek ve dönüş periyodu için, süre veya pik değeri 4.31 olarak hesaplanmıştır. AKİ-3 zaman ölçeğinde, 200 yıllık dönüş periyodu için süre ve pik değeri 246.13 iken, süre veya pik değeri ise 168.43 olarak belirlenmiştir.

AKİ-6 zaman ölçeğinde, 100 yıllık dönüş periyodu için, süre ve pik değeri 135.99 iken, aynı ölçek ve dönüş periyodu için, süre veya pik değeri 79.07 olarak

hesaplanmıştır. AKİ-3 zaman ölçeğinde, 200 yıllık dönüş periyodu için süre ve pik değeri 272.52 iken, süre veya pik değeri ise 157.96 olarak belirlenmiştir.

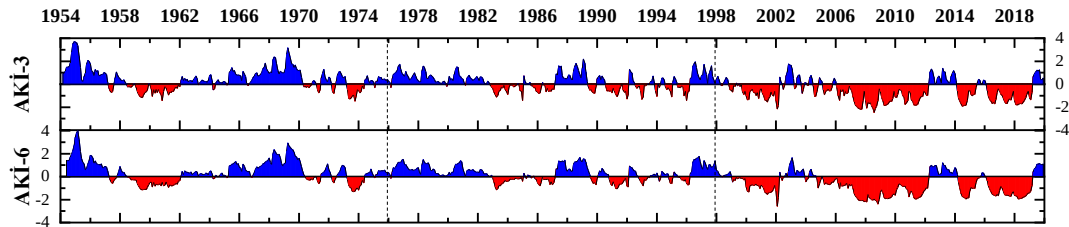
Çizelge 4. 6. süre-pik için iki değişkenli dönüş periyotları

	Zaman Ölçeği	Dönüş Periyodu	İki değişkenli Dönüş Periyotları	
			E19A005	
			T_{DP}^{ve}	T_{DP}^{veya}
Süre-Pik	AKİ-3	5	5.94	4.31
		10	12.11	8.52
		20	24.43	16.93
		50	61.38	42.18
		100	122.96	84.26
		200	246.13	168.43
	AKİ-6	5	6.27	4.16
		10	13.10	8.09
		20	26.76	15.97
		50	67.72	39.63
		100	135.99	79.07
		200	272.52	157.96

4.2. E19A006 İstasyonu Analiz Sonuçları

4.2.1. Kuraklık Analizi

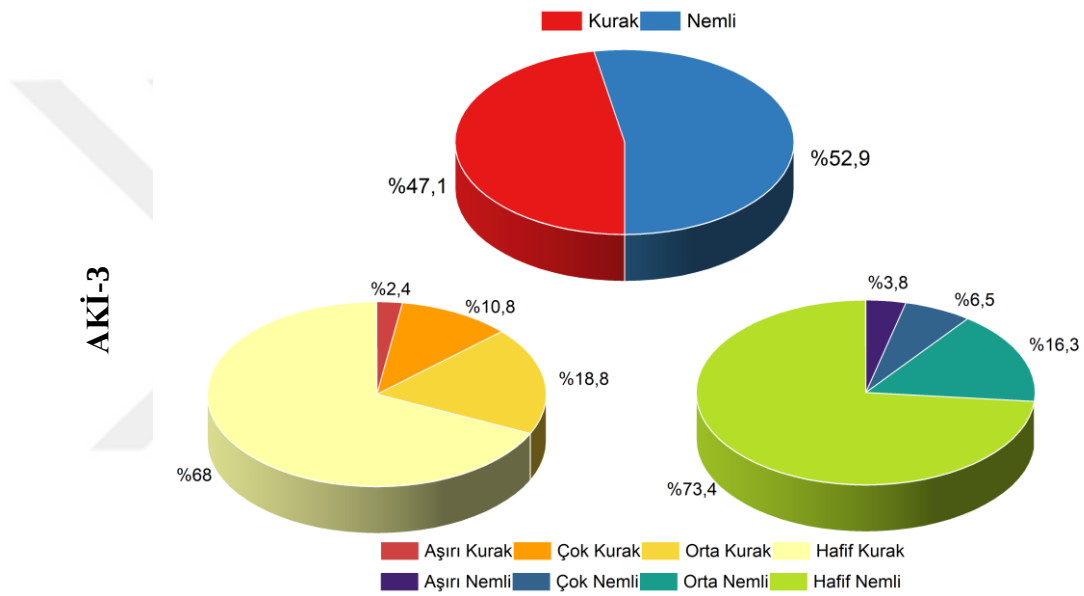
E19A006 numaralı Afrin Deresi Müşrüflü akım gözlem istasyonuna ait kuraklık analizi için 1954-2019 yılları arası sürekli olarak ölçülmüş akım verileri kullanılmıştır. Aylık ortalama akım değerleri kullanılarak, 3 aylık (AKİ-3) ve 6 aylık (AKİ-6) zaman ölçeklerinde elde edilen AKİ değerlerinin değişimi değerlendirilmiştir



Şekil 4. 6. E19A006 istasyonu AKİ-3 ve AKİ-6 değerlerinin zamansal değişimi

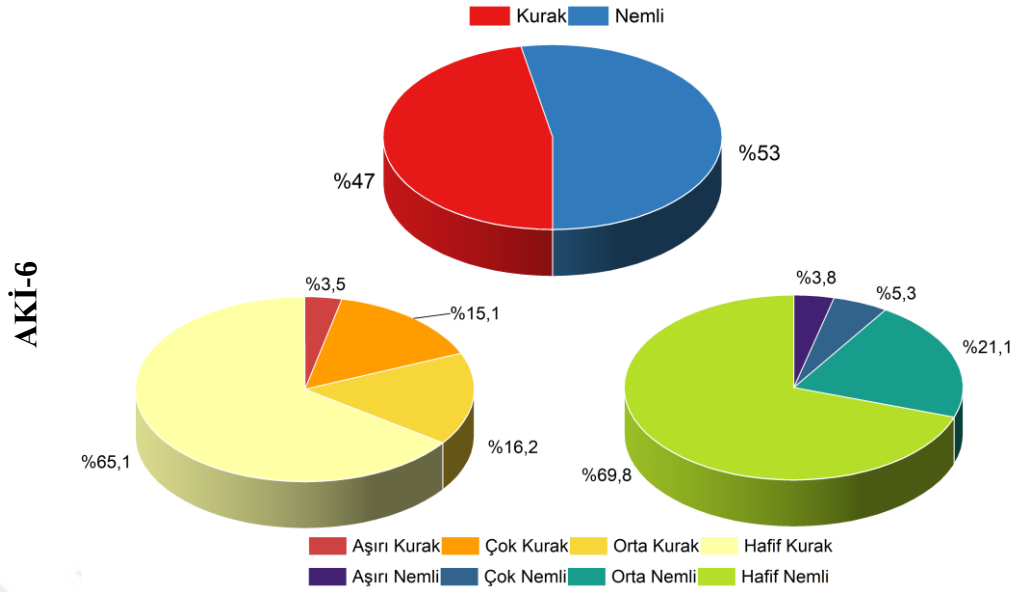
Şekil 4. 6.'da AKİ-3 ve AKİ-6 değerlerinin zamansal değişimi gösterilmektedir. E19A006 istasyonunun AKİ-3 zaman periyodunda 1954-2019 yılları arasında (3 farklı dönem için) ayrı ayrı yapılan incelemelerde; 1.Dönem'in başlarında

nemli ayların meydana geldiği, dönemin ortalarına doğru kurak dönemlerin yaşanmaya başlandığı ancak nemli ayların daha sık gözlemlendiği belirlenmiştir. 2.Dönem'in başlarında nemli ayların görüldüğü, dönemin ikinci yarısında ardışık kurak ve nemli dönemlerin yaşandığı tespit edilmiştir. 3.Dönem'de ise daha uzun süreli kuraklıkların meydana geldiği ve nemli dönemlerin daha kısa sürdüğü gözlemlenmiştir. Aşırı kuraklığın, ilk iki döneme göre, son dönemde arttığı ayrıca, kuraklık şiddetinin son dönemde en büyük değerini aldığı görülmüştür.



Şekil 4. 7. AKİ-3'e göre E19A006 istasyonuna ait kurak ve nemli dönem yüzdeleri

Şekil 4. 7.'de, AKİ-3'e göre kurak ve nemli dönem yüzdeleri verilmiştir. AKİ-3 değerlerine göre, 1954-2019 arası tüm ayların %47.1'i kurak geçerken %52.9'u ise nemli geçmiştir. Kurak geçen ayların %68 oranında hafif kurak, %18.8'i orta kurak, %10.8'i çok kurak, %2.4'ü ise aşırı kurak geçmiştir. Bu dönemde nemli geçen ayların %73.4 oranında hafif nemli, %16.3'ü orta nemli, %6.5'i çok nemli, %3.8'i ise aşırı nemli geçmiştir.



Şekil 4. 8. AKİ-6'ya göre E19A006 istasyonuna ait kurak ve nemli dönem yüzdeleri

Şekil 4. 8.'deki AKİ-6 değerlerine göre, 1954-2019 arası tüm ayların %47'si kurak geçenken %53 ise nemli geçmiştir. Kurak geçen ayların %65,1'i hafif kurak, %16,2'si orta kurak, %15,1'i çok kurak, %3,5 oranında ise aşırı kurak geçmiştir. Bu dönemde nemli geçen ayların %69,8 oranında hafif nemli, %21,1'i orta nemli, %5,3'ü çok nemli, %3,8'lik kısmı ise aşırı nemli geçmiştir.

4.2.2. Gidişler Analizi

Gidişler analiziyle elde edilen kuraklık parametre değerleri Çizelge 4. 7.'de gösterilmiştir. AKİ-3 için, 1954-1976 yılları arası 1.Dönem olarak tanımlanmıştır. Bu dönemde en uzun kurak süre, Ekim 1960 da başlayıp 25 ay sürmüş, bu kurak sürede kuraklık şiddeti 13.99 olarak hesaplanmıştır. Kuraklığın pik değeri 1.46 olarak 1974 yılının temmuz ayında meydana gelmiştir. AKİ-3'te, benzer ardışık kurak ve nemli dönemlerin 2.Dönem'de de devam ettiği görülmektedir. Ancak bu dönemin başlarında nemli geçen sürenin önceki döneme kıyasla daha kısa süreli olduğu ve kuraklık şiddetinin daha küçük olduğu görülmektedir. 2.Dönem'de en uzun kurak süre, Aralık 1983'de başlayıp 22 ay sürmüş, bu kurak sürede kuraklık şiddeti 11.77 olarak hesaplanmıştır. Kuraklığın pik değeri 1.43 olarak 1985 yılının Ekim ayında meydana gelmiştir.

Çizelge 4. 7. Maksimum kuraklık parametrelerinin dönemsel değişimleri

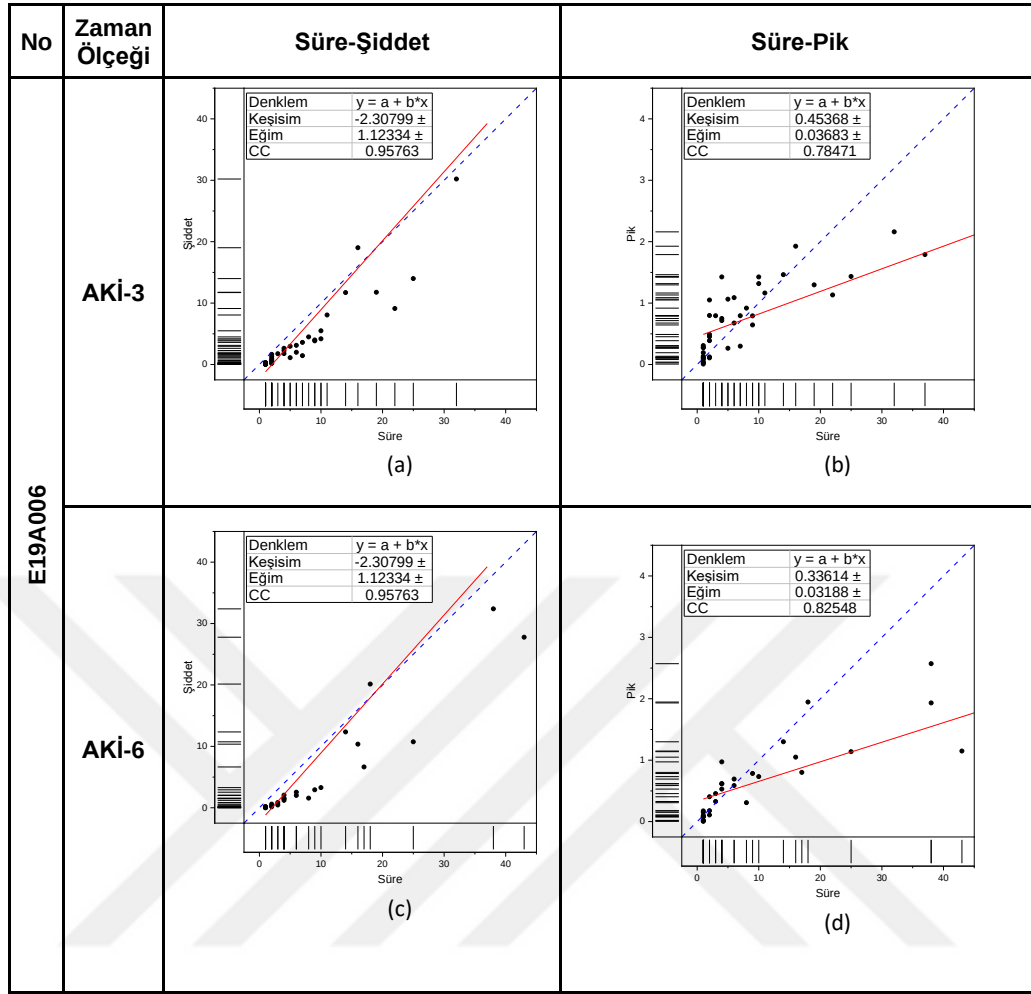
İstasyon	Parametre	AKİ-3			AKİ-6		
		1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem
E19A006	Maks Süre	25 (Eki-60)	22 (Ağu-83)	74 (Kas-06)	43 (Nis-59)	25 (Eki-83)	86 (Ara-05)
	Maks.Şiddet	13.99	11.77	94.23	27.78	10.75	112.32
	Pik	1.46 (Tem-74)	1.43 (Eki-85)	2.45 (May-09)	1.30 (Haz-74)	1.14 (Oca-84)	2.57 (Kas-02)

AKİ-3 değerlerine göre; 1998-2019 yılları arası ise, 3.Dönem olarak tanımlanmıştır. Bu dönemde, kurak dönemin yağışlı dönemlere kıyasla daha uzun sürdüğü söylenebilir. Kasım 2006'de başlayıp 74 ay süren kuraklığın şiddeti 94.23 olarak meydana gelmiştir. Pik kuraklık değeri 2.45 olarak 2009 yılının Mayıs ayında görülmüştür.

AKİ-6 değerlerine göre; 1954-1976 yılları arası olarak tanımlanan 1.Dönemin başlarında nemli ayların yaşandığı ancak dönemin ortalarına doğru kurak dönemlerin bariz şekilde arttığı görülmektedir. 1.Dönem'de en uzun kurak süre, Nisan 1959 da başlayıp 43 ay sürmüş, bu kurak sürede kuraklık şiddeti 27.78 olarak hesaplanmıştır. Kuraklığın pik değeri 1.30olarak 1974 yılının Haziran ayında meydana gelmiştir.

AKİ-3 periyodun 2.Dönemine benzer şekilde, AKİ-6'nın 2.Döneminde de benzer ardışık kurak ve nemli dönemlerin devam ettiği görülmektedir. 2.Dönem'de en uzun kurak süre, Ekim 1983'te başlayıp 25 ay sürmüş, bu kurak sürede kuraklık şiddeti 10.75 olarak hesaplanmıştır. Kuraklığın pik değeri 1.14 olarak 1984 yılının Ocak ayında meydana gelmiştir.

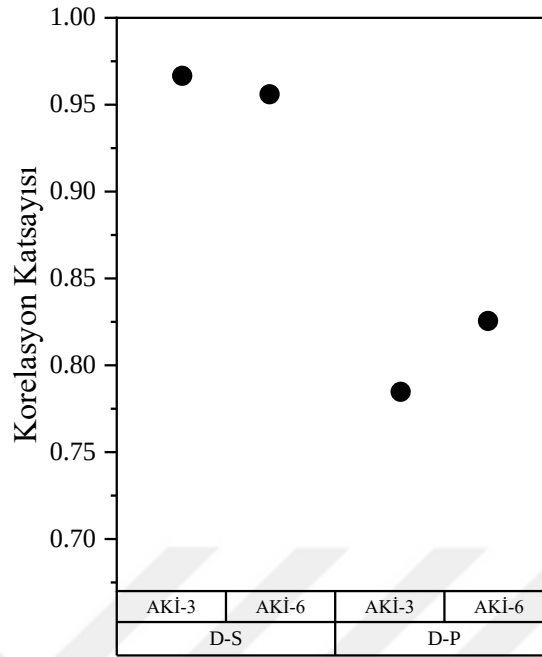
AKİ-6 değerlerine göre; 1998-2019 yılları arası ise, 3.Dönem olarak tanımlanmıştır. Bu dönemde, kuraklığın, ilk iki döneme kıyasla bariz arttığı söylenebilir. Aralık 2005'te başlayıp 86 ay süren kuraklığın şiddeti 112.32 olarak meydana gelmiştir. Pik kuraklık değeri 2.57 olarak 2002 yılının Kasım ayında görülmüştür.



Şekil 4. 9. E19A006 istasyonuna ait kuraklık süre ve şiddet değerlerinin saçılım grafikleri

Şekil 4. 9'da E19A006 istasyonuna ait AKİ-3 ve AKİ-6 zaman ölçeklerinde hesaplanmış kuraklık süre, şiddet ve pik değerlerinin saçılım grafikleri verilmiştir.

Şekil 4.9 (a), AKİ-3 için süre - şiddet saçılım grafiğini göstermektedir. Şekil 4. 9. (b), AKİ-3 için süre -pik saçılım grafiğini göstermektedir. Şekil 4. 9. (c) AKİ-6 için süre - şiddet saçılım grafiğini, Şekil 4. 9. (d) ise, AKİ-6 için süre - pik saçılım grafiğini göstermektedir. E19A006 istasyonu için AKİ-3'te ortalama kuraklık süresi, 8.86 ay, kuraklık şiddeti 7.07 ve kuraklık pik değeri ise 0.78 olarak belirlenmiştir. AKİ-6'da ortalama kuraklık süresi, 11.94 ay, kuraklık şiddeti 9.96 ve ortalama kuraklık pik değeri ise 0.72 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. 10. E19A006 istasyonuna ait kuraklık süre ve şiddet değerlerinin korelasyonu.

Şekil 4. 10'da ise kuraklık süre-şiddet ile süre-pik değerlerinin birbirleri ile olan Pearson korelasyon katsayılarını göstermektedir. AKİ-3 için belirlenmiş kuraklık süre-kuraklık şiddeti arasındaki korelasyon katsayısı 0.97 olduğu belirlenmiştir. Kuraklık süre- Kuraklık pik değeri arasındaki korelasyon ise 0.78 olduğu belirlenmiştir. AKİ-6 için belirlenmiş kuraklık süre-kuraklık şiddeti arasındaki korelasyon katsayısı 0.96 olduğu, kuraklık süre-kuraklık pik değeri arasındaki korelasyon ise 0.83 olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen bu korelasyon katsayılarına göre, kuraklık süre- şiddet ve kuraklık süre- pik değerleri arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmüştür.

4.2.3. Kuraklık Bileşenlerinin Marjinal Dağılımları

E19A006 istasyonunun her bir değişken için en uygun marjinal dağılımı ve dağılımlara ait parametreler Çizelge 4. 8.'de verilmiştir. E19A006 istasyonunda, Süre için AKİ-3 ve AKİ-6'da Inverse Gaussian, en uygun marjinal dağılım olarak ortaya çıkmıştır. Şiddet için, hem AKİ-3 hem de AKİ-6 için Log-normal en uygun marjinal

dağılım olarak belirlenmiştir. Pik için ise, AKİ-3 ve AKİ-6'da Exponential, en uygun marjinal dağılım olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4. 8. AKİ-3 ve AKİ-6 için en uygun marjinal dağılımlar ve parametreler

İstasyon	Zaman Ölçeği	Süre	Şiddet	Pik
E19A006	AKİ-3	İnverse Gaussian ($\mu = 8.86$, $\Lambda = 3.27$)	Lognormal ($\mu = 0.28$, $\Sigma = 2.09$)	Exponential ($\mu = 0.78$)
	AKİ-6	İnverse Gaussian ($\mu = 11.94$, $\Lambda = 3.22$)	Lognormal ($\mu = 0.14$, $\Sigma = 2.52$)	Exponential ($\mu = 0.717$)

4.2.4. İki Değişkenli Kuraklık Bileşenlerinin Kopula İle Değerlendirilmesi

Çizelge 4. 9.'da E19A006 istasyonu için Süre-Şiddet için en başarılı kopulanın tüm kriterlere göre AKİ-3 ve AKİ-6'da Galambos olmuştur. Süre-Pik için ise AKİ-3 ve AKİ-6'da tüm kriterlere göre en uyumlu kopula Galambos olmuştur.

Çizelge 4. 9. Kopulalar için hesaplanan AIC, BIC ve Parametre değerleri

No	Kopula	Süre-Şiddet						Süre-Pik					
		AKİ-3			AKİ-6			AKİ-3			AKİ-6		
		AIC	BIC	Par	AIC	BIC	Par	AIC	BIC	Par	AIC	BIC	Par
E19A006	AMH	-181	-179.2	1	-127.1	-125.6	1	-205	-203.3	1	-137.7	-136.3	1
	Clayton	-217	-215.3	3.3	-165.6	-164.2	4.8	-226	-224.3	2.1	-165.6	-164.2	3
	Frank	-235.3	-233.6	18.8	-176.4	-175	23.3	-226.3	-224.5	9.3	-176.2	-174.8	14.2
	Galambos	-243.1	-241.4	35	-179.4	-177.9	35	-229.8	-228.1	4.7	-181	-179.5	12.9
	Gumbel	-234.6	-232.8	4.8	-170.3	-168.8	5.3	-225.7	-223.9	2.9	-169.2	-167.8	3.3
	Joe	-241.8	-240.1	35	-178.9	-177.4	35	-228.3	-226.5	35	-180.3	-178.9	35

*En iyi değerler kalın işaretlenmiştir

E19A006 istasyonu için kuraklığın dönüş periyotları tek değişkenli olarak hesaplanıp sonuçlar Çizelge 4. 10.'da gösterilmektedir. AKİ-3'te, hesaplanan Süre değeri 10 yıllık dönüş periyotunda 16 aydır. 100 yıllık dönüş periyoduna ait Süre ise 62.9 ay olarak hesaplanmaktadır. AKİ-6'da 20 yıllık dönüş periyotunda hesaplanan Süre değeri 29.47 aydır. AKİ-3 ve AKİ-6 için 50 yıllık dönüş periyotunda hesaplanan Süre değerleri sırasıyla 45.83 ve 56.92 olarak hesaplanmıştır. Sadece 5 yıllık ve 10

yıllık dönüş periyotlarında AKİ-3 için hesaplanan Süre değerleri AKİ-6 hesaplanan süreden daha büyüktür.

AKİ-3’de, 5 yıllık dönüş periyodu için hesaplanan kuraklık şiddeti 4.3’tür. Aynı dönüş periyodunda AKİ-6 için bu değer 2.31 olarak hesaplanmıştır. 20 yıllık dönüş periyotlarında AKİ-3 ve AKİ-6 için şiddet değerleri sırasıyla 28.42 ve 30.2 olarak hesaplanmıştır. Dönüş periyodu arttıkça AKİ-3 ve AKİ-6 arasındaki makasın arttığı gözlenmiştir. 200 yıllık dönüş periyodu için hesaplanan AKİ-6 değerinin, AKİ-3 değerinin yaklaşık iki katı olarak hesaplanmıştır.

AKİ-3’te kuraklık süresi boyunca hesaplanan pik değerleri Çizelge 4. 10.’da gösterilmektedir. 5 yıllık dönüş periyotunda AKİ-3 için pik değer 0.97 olarak hesaplanırken, aynı dönüş periyodunda AKİ-6 için bu değer 0.67 olarak hesaplanmıştır. 200 yıllık dönüş periyodunda ise, pik değer; AKİ-3 ve AKİ-6 için sırasıyla 3.12 ve 3.83 olarak hesaplanmıştır. AKİ-3 için hesaplanan pik değerler, 5 yıllık dönüş periyodu hariç geriye kalan tüm dönüş periyotlarında, AKİ-6 değerlerinden daha büyüktür.

Çizelge 4. 10. AKİ-3 ve AKİ-6 için Tek değişkenli Dönüş Periyotları

Tek Değişkenli Dönüş Periyotları				
E19A006	Parametre	Dönüş Periyodu	AKİ-3	AKİ-6
	Süre	5 Yıl	8.1	6.42
		10 Yıl	16	15.27
		20 Yıl	26.97	29.47
		50 Yıl	45.83	56.92
		100 Yıl	62.9	83.72
		200 Yıl	81.96	114.94
	Şiddet	5 Yıl	4.3	2.31
		10 Yıl	12.33	10.02
		20 Yıl	28.42	30.2
		50 Yıl	71.12	98.17
		100 Yıl	129.9	210.42
		200 Yıl	224.44	417.9
	Pik	5 Yıl	0.97	0.67
		10 Yıl	1.1	1.53
		20 Yıl	1.57	2.07
		50 Yıl	2.18	2.77
		100 Yıl	2.65	3.3
		200 Yıl	3.12	3.83

Kopula fonksiyonu ile elde edilen dönüş periyotları Süre-Şiddet ve Süre-Pik için Şekil 4. 11.'de, E19A006 istasyonuna ait 8 farklı grafik verilmiştir. Bu şekillerde T_{DS}^{ve} ve T_{DS}^{veya} için hesaplanan 5, 10, 20, 50, 100 ve 200 yıllık dönüş periyotları için hesaplanmış olan kuraklık bileşen (kuraklık süresi, şiddeti ve pik) değerlerinin dönüş periyoduna ait grafikler ayrı ayrı görülmektedir. Bu grafiklerde yer alan T_{DS}^{ve} iki kuraklık bileşeninin aynı anda olmasıyla, T_{DS}^{veya} ise iki kuraklık bileşeninin ayrı ayrı olmasıyla ortaya çıkacak dönüş periyotlarını temsil etmektedir. Şekil 4.11.(a) AKİ-3 periyodu için, Süre ve şiddet parametrelerinin dönüş periyodunu, Şekil 4.12.(b) AKİ-3'te süre veya şiddetinin dönüş periyodunu, Şekil 4. 11.(c) AKİ-3 periyodu için, Süre ve pik parametrelerinin dönüş periyodunu, Şekil 4. 11.(d) AKİ-3'te süre veya pik değerlerinin dönüş periyodunu temsil etmektedir. Ayrıca 7.(e) AKİ-6 periyodu için, süre ve şiddet parametrelerinin dönüş periyodunu, Şekil 4. 11.(f) AKİ-6'da süre veya şiddetinin dönüş periyodunu, Şekil 4. 11.(g) AKİ-6 periyodu için, Süre ve pik parametrelerinin dönüş periyodunu, Şekil 4. 11.(h) ise AKİ-6'da süre veya pik değerlerinin dönüş periyodunu temsil etmektedir.

Şekil 4. 11.(a)'da AKİ-3 periyodu için, 4 aylık süre ve 4.29 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu, 5 ay olarak hesaplanırken, 6 aylık süre ve 10.5 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu ise 8.91 ay olarak hesaplanmıştır. Ayrıca yaklaşık olarak; 61 aylık süre ve 110 şiddeti için, yaklaşık 93 aylık dönüş periyodu hesaplanmıştır.

Şekil 4. 11.(b)'de AKİ-3 periyodu için, 4 aylık süre veya 4.29 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu, 2.93 ay olarak hesaplanırken, 6 aylık süre veya 105 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu ise 3.93 ay olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4. 11.(c)'de AKİ-6 periyodu için, 12 aylık süre ve 30 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu ise 20 ay olarak hesaplanırken, 60 aylık süre ve 30 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu, yaklaşık 54 ay olarak hesaplanmıştır.

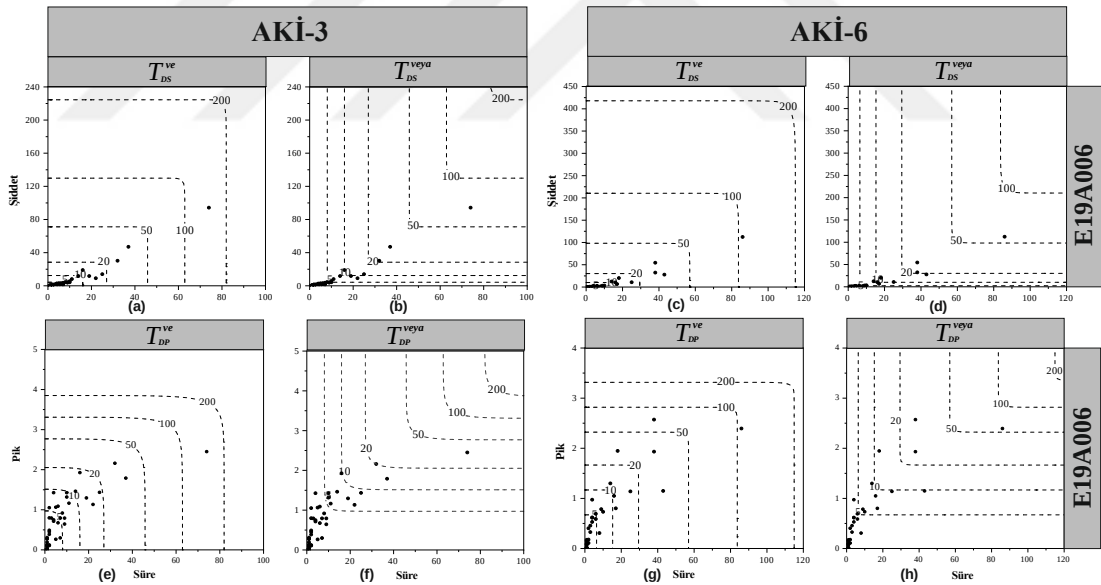
Şekil 4. 11.(d)'de AKİ-6 periyodu için, 12 aylık süre veya 30 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu ise 8.3 ay olarak hesaplanırken, 60 aylık süre veya 30 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu, yaklaşık 20 ay olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4. 11.(e)'de AKİ-3 periyodu için, 6 aylık süre ve 2 pik değerinin dönüş periyodu, 20 ay olarak hesaplanırken, 16 aylık süre ve 2 pik değerinin dönüş periyodu ise yaklaşık 20 ay olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4. 11.(f)'de AKİ-3 periyodu için, 6 aylık süre veya 1 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu, 3.7 ay olarak hesaplanırken, 12 aylık süre veya 1 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu ise yaklaşık 5 ay olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4. 11.(g)'de AKİ-6 periyodu için, 6,5 aylık süre ve 0.5 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu 5 ay olarak hesaplanırken, 15 aylık süre ve 0.5 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu ise 10 ay olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4. 11.(h)'de AKİ-6 periyodu için, 12 aylık süre veya 0.5 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu, 4 ay hesaplanmıştır.



Şekil 4. 11. AKİ-3 ve AKİ-6 için tek değişkenli dönüş periyotlarına karşılık gelen iki değişkenli dönüş periyotları

E19A006 istasyonu için D-S için iki değişkenli dönüş periyotları ve tek değişkenli dönüş periyotları karşılaştırıldığında, T_{DS}^{ve} için dönüş periyodunun tek değişkenli e göre AKİ-3'e için yaklaşık olarak %2.5-%7 aralığında, AKİ-6 için ise %1.2-%5 aralığında değişim göstermiştir. Süre-Pik'in değerlendirileceği risk analizlerinde iki değişkenli dönüş periyotların kullanılması önerilmektedir.

Çizelge 4. 11. Süre-şiddet için iki değişkenli dönüş periyotları da kuraklık süre ve kuraklık şiddet parametreleri için, tek değişkenli dönüş periyotlarına karşılık gelen iki değişkenli dönüş periyotları hem AKİ-3 hem de AKİ-6 zaman ölçeğinde verilmiştir.

AKİ-3 zaman ölçeğinde, 5 yıllık dönüş periyodu için, süre ve şiddetin değeri 5.14 iken, aynı ölçek ve dönüş periyodu için, süre veya şiddet değeri 4.87 olarak hesaplanmıştır. AKİ-3 zaman ölçeğinde, 100 yıllık dönüş periyodu için süre ve şiddet değeri 103.34 iken, süre veya şiddet değeri ise yaklaşık 97 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4. 11. Süre-şiddet için iki değişkenli dönüş periyotları

	Zaman Ölçeği	Dönüş Periyodu	İki değişkenli Dönüş Periyotları	
			E19A006	
			T_{DS}^{ve}	T_{DS}^{veya}
Süre-Şiddet	AKİ-3	5	5.14	4.87
		10	10.31	9.71
		20	20.65	19.39
		50	51.66	48.44
		100	103.34	96.87
		200	206.71	193.71
	AKİ-6	5	5.21	4.81
		10	10.48	9.56
		20	21.03	19.06
		50	52.67	47.59
		100	105.41	95.12
		200	210.87	190.19

Çizelge 4. 12.'de kuraklık süre ve kuraklık pik parametreleri için, tek değişkenli dönüş periyotlarına karşılık gelen iki değişkenli dönüş periyotları hem AKİ-3 hem de AKİ-6 zaman ölçeğinde verilmiştir.

AKİ-3 zaman ölçeğinde, 5 yıllık dönüş periyodu için, süre ve pik değeri yaklaşık 6 iken, aynı ölçek ve dönüş periyodu için, süre veya pik değeri 4.24 olarak hesaplanmıştır.

AKİ-6 zaman ölçeğinde, 20 yıllık dönüş periyodu için, süre ve pik değeri yaklaşık 21 iken, aynı ölçek ve dönüş periyodu için, süre veya pik değeri yaklaşık 19 olarak hesaplanmıştır.

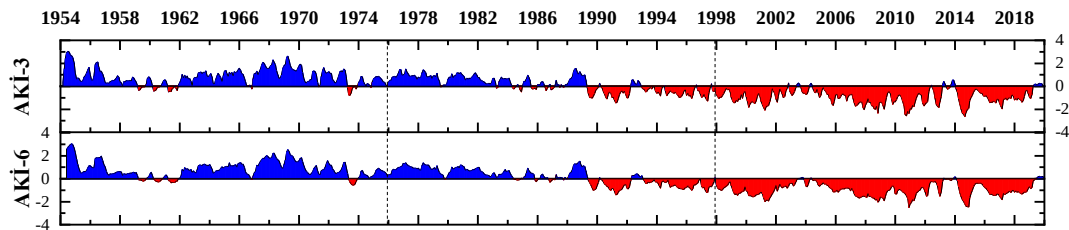
Çizelge 4. 12. Süre-Pik İçin İki Değişkenli Dönüş Periyotları

	Zaman Ölçeği	Dönüş Periyodu	İki değişkenli Dönüş Periyotları	
			E19A006	
			T_{DS}^{ve}	T_{DS}^{veya}
Süre-Pik	AKİ-3	5	6.09	4.24
		10	12.51	8.33
		20	25.35	16.51
		50	63.86	41.08
		100	128.04	82.03
		200	256.41	163.94
	AKİ-6	5	5.22	4.8
		10	10.51	9.54
		20	21.09	19.01
		50	52.83	47.45
		100	105.73	94.86
		200	211.53	189.66

4.3. E19A007 İstasyonu Analiz Sonuçları

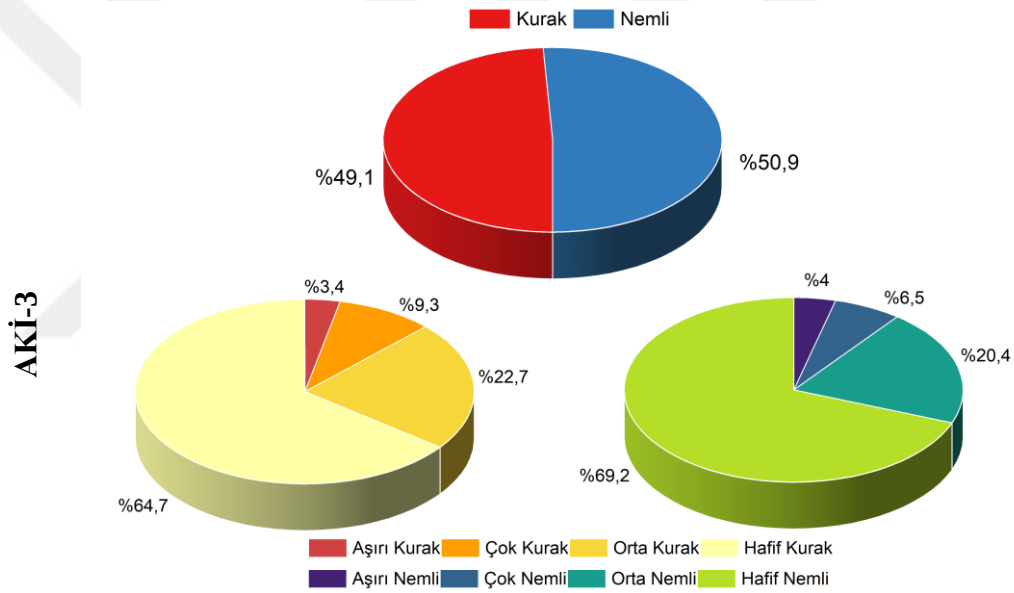
4.3.1. Kuraklık Analizi

E19A007 numaralı Asi Nehri Demirköprü akım gözlem istasyonuna ait kuraklık analizini gerçekleştirmek için 1954-2019 yılları arası sürekli olarak ölçülmüş akım verileri kullanılmıştır. Aylık ortalama akım değerleri kullanılarak, 3 aylık (AKİ-3) ve 6 aylık (AKİ-6) zaman ölçeklerinde elde edilen AKİ değerlerinin değişimi değerlendirilmiştir



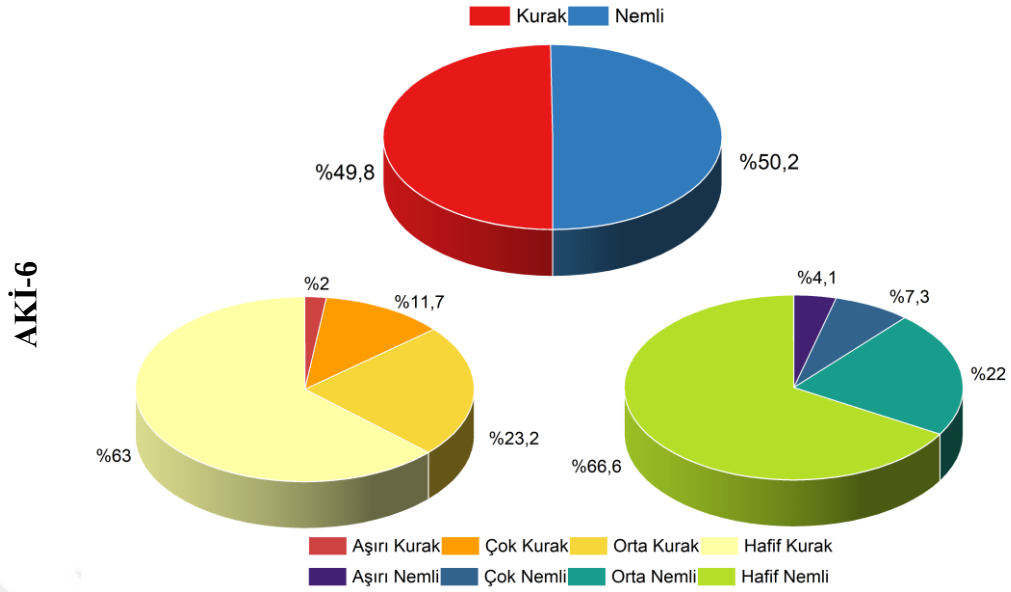
Şekil 4. 12. E19A007 istasyonu AKİ-3 ve AKİ-6 değerlerinin zamansal değişimi

Şekil 4. 12.'de, AKİ-3 ve AKİ-6 değerlerinin zamansal değişimi gösterilmektedir. E19A007 istasyonunun AKİ-3 zaman periyodunda 1954-2019 yılları arasında (3 farklı dönem için) ayrı ayrı yapılan incelemelerde; 1.Dönem ve 2.Dönem'in ilk yarısına kadar nemli ayların meydana geldiği, 2.Dönem'in ortalarından itibaren 3.Dönem'in sonuna kadar neredeyse tüm ayların kurak geçtiği belirlenmiştir. AKİ-6 değerlerinin zamansal değişimi incelendiğinde ise AKİ-3 zaman periyoduna benzer bir sonuç elde edilmiştir. 1.Dönem neredeyse tüm aylar nemli geçmiş, 2.Dönem'in ilk yarısına kadar nemlilik gözlenmiştir. 2.Dönem'in ikinci yarısından itibaren 3.Dönem'in sonuna kadar neredeyse tüm ayların kurak geçtiği belirlenmiştir.



Şekil 4. 13. AKİ-3'e göre E19A007 istasyonuna ait kurak ve nemli dönem yüzdeleri

Şekil 4. 13.'te AKİ-3'e göre kurak ve nemli dönem yüzdeleri verilmiştir. AKİ-3 değerlerine göre, 1954-2019 arası tüm ayların %50,9'u kurak geçerken %49,1'i ise nemli geçmiştir. Kurak geçen ayların %64,7 oranında hafif kurak, %22,7'si orta kurak, %9,3'ü çok kurak, %3,4'ü ise aşırı kurak geçmiştir. Bu dönemde nemli geçen ayların %69,2 oranında hafif nemli, %20,4'ü orta nemli, %6,5'i çok nemli, %4 oranında ise aşırı nemli geçmiştir.



Şekil 4. 14. AKİ-6'ya göre E19A007 istasyonuna ait kurak ve nemli dönem yüzdeleri

Şekil 4. 14.'teki AKİ-6 değerlerine göre, 1954-2019 arası tüm ayların %50.2'si nemli geçen ayların %49.8'i ise kurak geçmiştir. Kurak geçen ayların %63'ü hafif kurak, %23.2'si orta kurak, %11.7'si çok kurak, %2 oranında ise aşırı kurak geçmiştir. Bu dönemde nemli geçen ayların %66.6 oranında hafif nemli, %22 oranında orta nemli, %7.3'ü çok nemli, %4.1'lik kısmı ise aşırı nemli geçmiştir.

4.3.2. Gidişler Analizi

Çizelge 4. 13.'de Gidişler analiziyle elde edilmiş kuraklık parametre değerleri yer almaktadır. AKİ-3 için, 1954- 1976 yılları arası 1.Dönem olarak tanımlanmıştır. 1.Dönem'de genellikle nemli dönemlerin yaşandığı görülmektedir. 1.Dönem'de en uzun kurak süre, Ocak 1974'te başlayıp 9 ay sürmüş, bu kurak sürede kuraklık şiddeti 2.8 olarak hesaplanmıştır. Kuraklığın pik değeri 0.8 olarak 1974 yılının Mart ayında meydana gelmiştir.

Çizelge 4. 13. Maksimum kuraklık parametrelerinin dönemsel değişimleri

İstasyon	Parametre	AKİ-3			AKİ-6		
		1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem
E19A007	Maks Süre	9 (Oca-74)	61 (Tem-98)	95 (Nis-05)	8 (Oca-61)	58 (Kas-93)	106 (Mar-05)
	Maks.Şiddet	2.8	59.19	113.69	2.6	32.05	116.5
	Pik	0.80 (Mar-74)	2.09 (Oca-02)	2.64 (Haz-15)	0.55 (Haz-74)	1.39 (Oca-92)	2.50 (Eyl-11)

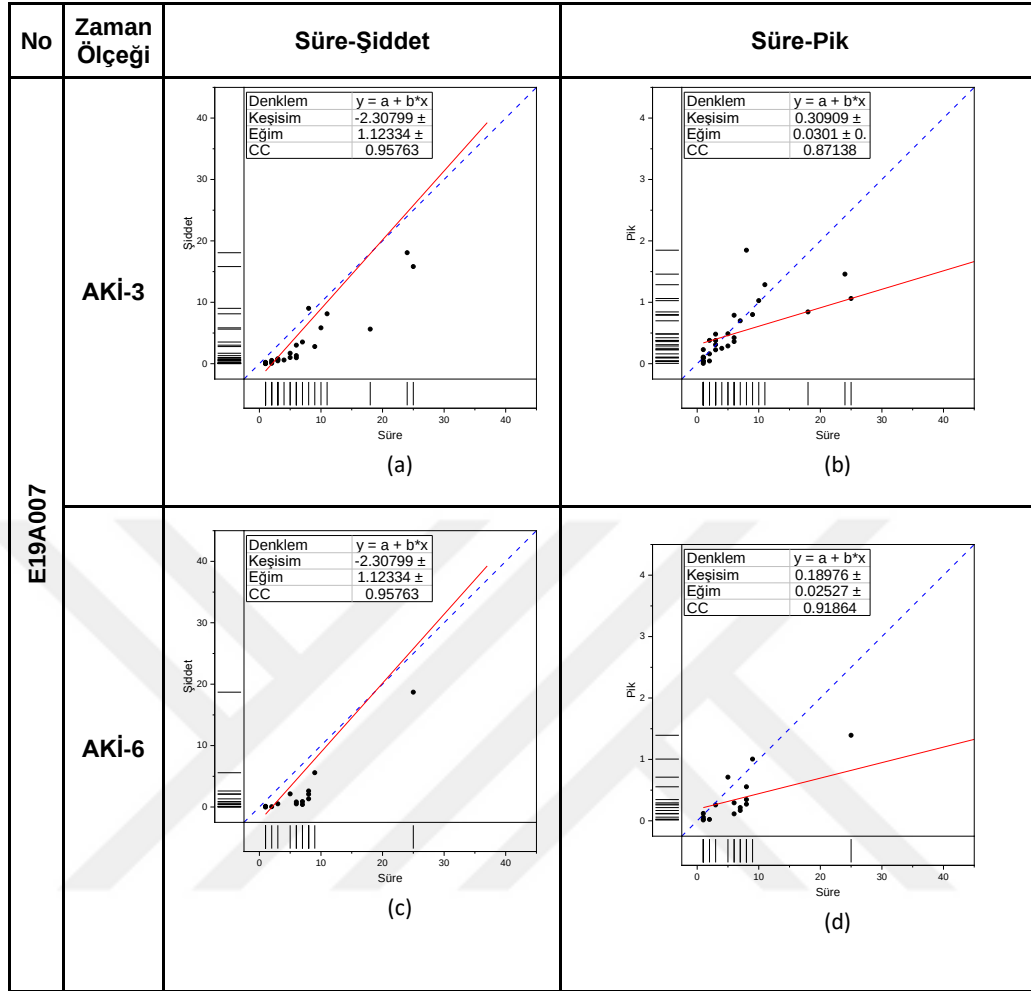
AKİ-3 için, 2.Dönem'in ikinci yarısından itibaren kuraklığın daha sık yaşandığı görülmektedir. 2.Dönem'de en uzun kurak süre, Temmuz 1998'de başlayıp 61 ay sürmüş, sürede kuraklık şiddeti 59.19 olarak hesaplanmıştır. Kuraklığın pik değeri 2.09 olarak 2002 yılının Ocak ayında meydana gelmiştir.

AKİ-3 değerlerine göre; 1998-2019 yılları arası ise, 3.Dönem olarak tanımlanmıştır. Bu dönemin tümüyle kurak geçtiği söylenebilir. Nisan 2005'te başlayıp 95 ay süren kuraklığın şiddeti 113.69 olarak meydana gelmiştir. Pik kuraklık değeri 2.64 olarak 2015 yılının Haziran ayında görülmüştür.

AKİ-6 değerlerine göre; 1954-1976 yılları arası olarak tanımlanan 1.Dönemin neredeyse tamamında nemli ayların yaşandığı bariz şekilde görülmektedir. 1.Dönem'de en uzun kurak süre, Aralık 1961'de başlayıp 8 ay sürmüş, bu kurak sürede kuraklık şiddeti 2.6 olarak hesaplanmıştır. Kuraklığın pik değeri 0.55 olarak 1974 yılının Haziran ayında meydana gelmiştir.

AKİ-3 periyodun 2.Dönemine benzer şekilde, AKİ-6'nın 2.Dönem'in ikinci yarısından itibaren kuraklığın daha sık yaşandığı görülmektedir. 2.Dönem'de en uzun kurak süre, Kasım 1993'te başlayıp 58 ay sürmüş, bu kurak sürede kuraklık şiddeti 32.05 olarak hesaplanmıştır. Kuraklığın pik değeri 1.39 olarak 1992 yılının Ocak ayında meydana gelmiştir.

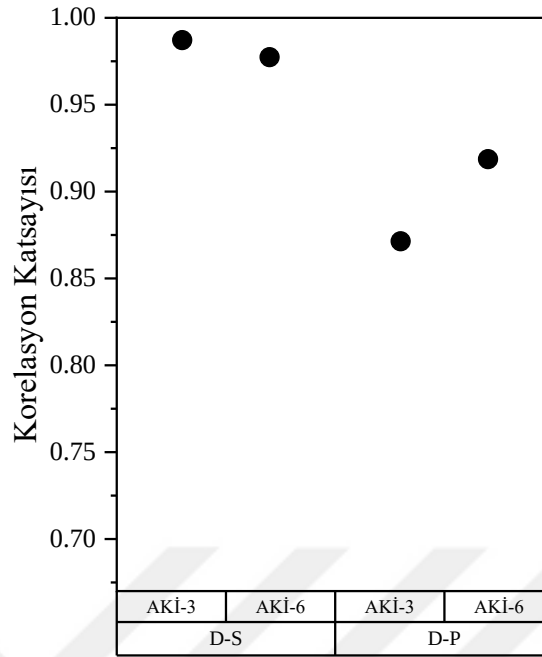
AKİ-6 değerlerine göre; 1998-2019 yılları arası ise, 3.Dönem olarak tanımlanmıştır. Bu dönemin tümüyle kurak geçtiği söylenebilir. Aralık 2005'te başlayıp 106 ay süren en uzun kuraklığın şiddeti 116.5 olarak meydana gelmiştir. Pik kuraklık değeri 2.50 olarak 2011 yılının Eylül ayında görülmüştür.



Şekil 4. 15. E19A007 istasyonuna ait kuraklık süre ve şiddet değerlerinin saçılım grafikleri

Şekil 4. 15.'te E19A005 istasyonuna ait AKİ-3 ve AKİ-6 zaman ölçeklerinde hesaplanmış kuraklık süre ve şiddet değerlerinin saçılım grafikleri verilmiştir. Şekil 4. 16. (a); AKİ-3 için süre - şiddet saçılım grafiğini göstermektedir. Şekil 4.15. (b); AKİ-3 için süre - pik saçılım grafiğini göstermektedir. Şekil 4. 15. (c) AKİ-6 için süre - şiddet saçılım grafiğini, Şekil 4. 15. (d) ise, AKİ-6 için süre - pik saçılım grafiğini göstermektedir.

E19A007 istasyonu için AKİ-3'te, ortalama kuraklık süresi, 7,54 ay, kuraklık şiddeti 6,16 ve kuraklık pik değeri ise 0.87 olarak belirlenmiştir. AKİ-6'da ortalama kuraklık süresi, 11.57 ay, kuraklık şiddeti 9.23 ve kuraklık pik değeri ise 0.92 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. 16. E19A007 istasyonuna ait kuraklık süre- şiddet ve kuraklık süre-pik değerlerinin korelasyonu.

Şekil 4. 16 ise kuraklık süre-şiddet ile süre-pik değerlerinin birbirleri ile olan Pearson korelasyon katsayılarını göstermektedir. AKİ-3 için belirlenmiş kuraklık süre-kuraklık şiddeti arasındaki korelasyon katsayısı 0.99 olduğu belirlenmiştir. Kuraklık süre- Kuraklık pik değeri arasındaki korelasyon ise 0.87 olduğu belirlenmiştir. AKİ-6 için belirlenmiş kuraklık süre-kuraklık şiddeti arasındaki korelasyon katsayısı 0.98 olduğu, kuraklık süre-kuraklık pik değeri arasındaki korelasyon ise 0.92 olduğu belirlenmiştir

Elde edilen bu korelasyon katsayılarına göre, hem AKİ-3'te hem de AKİ-6'da kuraklık süre ve kuraklık şiddet arasında daha güçlü bir korelasyon elde edilmiş olup, ayrıca kuraklık süre- kuraklık pik değerleri arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmüştür.

4.3.3. Kuraklık Bileşenlerinin Marjinal Dağılımları

E19A007 istasyonunun her bir değişken için en uygun marjinal dağılımı ve dağılımlara ait parametreler Şekil 4. 14'te verilmiştir. E19A007 istasyonunda, Süre için hem AKİ-

3, hem de AKİ-6 için Inverse Gaussian, en uygun marjinal dağılım olarak ortaya çıkmıştır. Şiddet için için hem AKİ-3, hem de AKİ-6 için Log-normal en uygun marjinal dağılım olarak belirlenmiştir. Pik için ise, AKİ-3 ve AKİ-6 için, en uygun marjinal dağılım Exponential olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4. 14. AKİ-3 ve AKİ-6 için en uygun marjinal dağılımlar ve parametreler

İstasyon	Zaman Ölçeği	Süre	Şiddet	Pik
E19A005	AKİ-3	inverse gaussian ($\mu = 12.12, \lambda = 3.17$)	Lognormal ($\mu = 0.009, \sigma = 2.41$)	Exponential ($\mu = 0.674$)
	AKİ-6	inverse gaussian ($\mu = 19.6, \lambda = 3.83$)	Lognormal ($\mu = 0.27, \sigma = 2.71$)	Exponential ($\mu = 0.685$)

4.3.4. İki Değişkenli Kuraklık Bileşenlerinin Kopula ile Değerlendirilmesi

Farklı marjinal dağılımlara sahip kuraklık bileşenlerinin (örneğin, kuraklık süre, kuraklık şiddeti, kuraklık pik değeri vb.) ortak değerlendirmesi amacıyla kopula fonksiyonları kullanılmıştır. Bu amaçla, Asi havzasındaki kuraklık süre-şiddet ve kuraklık süre- pik değerlerinin ortak değerlendirmesi amacıyla farklı kopula fonksiyonları tercih edilmiştir. Bunlar, Archimedyan ailesinden Clayton, Frank ve Joe'ın, Extrem value'dan Galambos'un yanında, AMH ve Gumbel kopula fonksiyonlarıdır. Kuraklık karakteristikleri arasındaki ilişkiyi ve bağımlılığı tanımlamak için en uygun kopula modeli AIC ve BIC değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Seçilmiş olan altı farklı kopula fonksiyonu kullanılarak Süre-Şiddet ve Süre-Pik için elde edilmiş olan kopula parametresi, AIC ve BIC değerleri Çizelge 4. 15. 'de verilmiştir. E19A007 istasyonu için hem Süre-Şiddet için, hem de Süre-Pik için, AKİ-3 ve AKİ-6'da tüm kriterlere göre en uyumlu kopula Galambos olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4. 15. Kopulalar için hesaplanan AIC, BIC ve Parametre değerleri

No	Kopula	Süre-Şiddet						Süre-Pik					
		AKİ-3			AKİ-6			AKİ-3			AKİ-6		
		AIC	BIC	Par	AIC	BIC	Par	AIC	BIC	Par	AIC	BIC	Par
E19A007	AMH	-134.5	-133	1	-87.1	-86.1	1	-139.6	-138.2	1	-89.4	-88.4	1
	Clayton	-175	-173.5	4.4	-102.9	-101.9	4	-168.8	-167.3	3	-100.5	-99.5	2.5
	Frank	-191.3	-189.8	22.2	-107	-106	17.5	-188	-186.5	14.5	-106.4	-105.4	10.5
	Galampos	-195.8	-194.4	26.3	-107.3	-106.3	26.6	-197.6	-196.1	22.1	-109	-108.1	35
	Gumbel	-187.6	-186.1	5.6	-106.6	-105.6	5.4	-184	-182.5	3.8	-106.1	-105.1	3.4
	Joe	-195.2	-193.8	35	-107.2	-106.2	35	-197.2	-195.7	35	-109	-108	35

*En iyi değerler kalın işaretlenmiştir

E19A007 istasyonu için kuraklığın dönüş periyotları tek değişkenli olarak hesaplanıp sonuçlar Çizelge 4. 16.'da gösterilmektedir. AKİ-3'te, hesaplanan Süre değeri 10 yıllık dönüş periyotunda 15.40 aydır. AKİ-3 ve AKİ-6 için 20 yıllık dönüş periyotunda hesaplanan Süre değerleri sırasıyla 29.95 ve 32.25 olup birbirine yakın değerler hesaplanmıştır. Değişim aralıkları yüksek olmuştur. 100 yıllık ve 200 yıllık dönüş periyotlarına doğru AKİ-3 ile AKİ-6 için hesaplanan süre değerleri arasındaki farkın büyüdüğü belirlenmiştir.

AKİ-3'de, 5 yıllık dönüş periyodu için hesaplanan kuraklık şiddeti 1.96, aynı dönüş periyodunda AKİ-6 için bu değer 0.77 olarak hesaplanmıştır. 20 yıllık dönüş periyotlarında AKİ-3 ve AKİ-6 için şiddet değerleri sırasıyla 22.91 ve 23.16 olarak yakın değerler hesaplanmıştır. 200 yıllık dönüş periyodu için hesaplanan şiddet değerleri ise her iki zaman skalası için (AKİ-3 ve AKİ-6) sırasıyla yaklaşık olarak 282 ve 486 değeri bulunmuştur.

5 yıllık dönüş periyotunda AKİ-3 için pik değer 0.63 olarak hesaplanırken, aynı dönüş periyodunda AKİ-6 için bu değer 0.38 olarak hesaplanmıştır. 200 yıllık dönüş periyodunda ise, pik değer; AKİ-3 ve AKİ-6 için sırasıyla 3.13 ve 3.32 olarak hesaplanmıştır. AKİ-3 için hesaplanan pik değerler neredeyse tüm dönüş periyotlarında, AKİ-6 değerlerinden daha büyüktür.

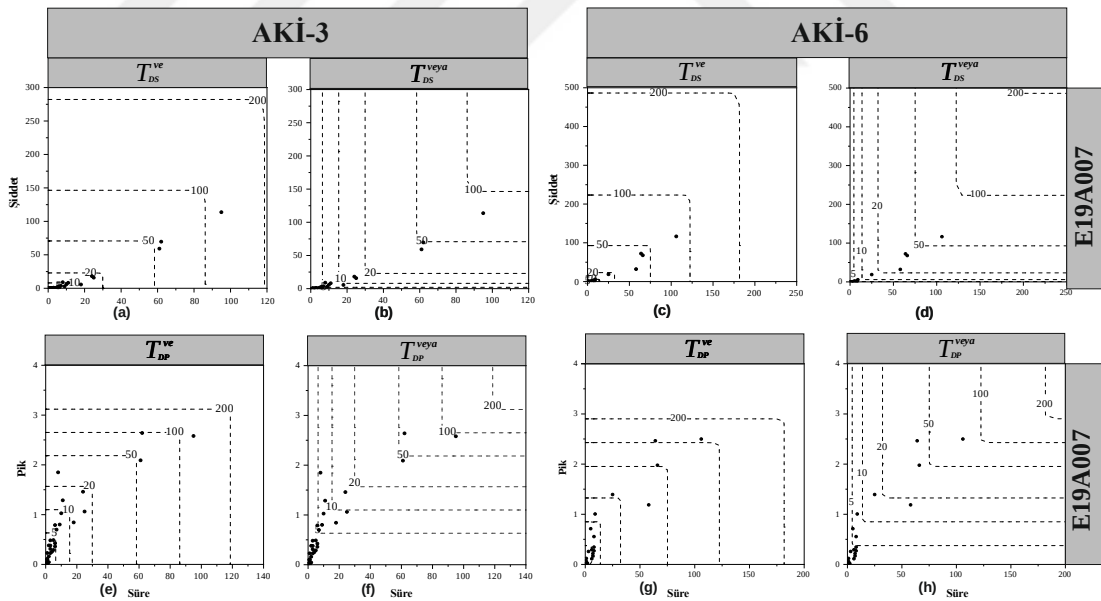
Çizelge 4. 16. AKİ-3 ve AKİ-6 için Tek değişkenli Dönüş Periyotları

	Tek Değişkenli Dönüş Periyotları			
	Parametre	Dönüş Periyodu	AKİ-3	AKİ-6
E19A007	Süre	5 Yıl	6.42	4.4
		10 Yıl	15.4	13.8
		20 Yıl	29.95	32.25
		50 Yıl	58.3	75.13
		100 Yıl	86.13	122.47
		200 Yıl	118.64	181.66
	Şiddet	5 Yıl	1.96	0.77
		10 Yıl	7.98	5.92
		20 Yıl	22.91	23.16
		50 Yıl	70.67	92.94
		100 Yıl	146.46	223.27
		200 Yıl	282.19	486.44
	Pik	5 Yıl	0.63	0.38
		10 Yıl	1.56	1.17
		20 Yıl	2	1.67
		50 Yıl	2.49	2.32
		100 Yıl	2.83	2.82
		200 Yıl	3.13	3.32

E19A007 İstasyonu için, AKİ-3 ve AKİ-6 için tek değişkenli dönüş periyotlarına karşılık gelen İki değişkenli dönüş periyotları Şekil 4. 17.'de verilmiştir.

Şekil 4.17.(a) AKİ-3 periyodu için, Süre ve şiddet parametrelerinin dönüş periyodunu, Şekil 4. 17.(b) AKİ-3'te süre veya şiddetinin dönüş periyodunu, Şekil 4. 17.(c) AKİ-3 periyodu için, Süre ve pik parametrelerinin dönüş periyodunu, Şekil 4.17.(d) AKİ-3'te süre veya pik değerlerinin dönüş periyodunu temsil etmektedir. Ayrıca Şekil 4.17.(e) AKİ-6 periyodu için, Süre ve şiddet parametrelerinin dönüş periyodunu, 4.17.(f) AKİ-6'da süre veya şiddetinin dönüş periyodunu, Şekil 4. 17.(g) AKİ-6 periyodu için, Süre ve pik parametrelerinin dönüş periyodunu, Şekil 4. 17.(h) ise AKİ-6'da süre veya pik değerlerinin dönüş periyodunu temsil etmektedir. Şekil 4. 17.(a) AKİ-3 periyodu için, 3.16 aylık süre ve 1.96 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu, 5 ay olarak hesaplanırken, 15,39 aylık süre ve 1.96 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu ise 10 ay olarak hesaplanmıştır. Şekil 4. 17.(b) AKİ-3 periyodu için, 3.16 aylık süre veya 1.96 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu 5 ay olarak hesaplanırken, 15,39 aylık süre veya 1.96 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu ise 10 ay olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4. 17.(c) AKİ-6 periyodu için, 13 aylık süre ve 23 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu, 19 ay olarak hesaplanırken, 30 aylık süre ve 23 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu ise 20 ay olarak hesaplanmıştır. Şekil 4. 17.(d) AKİ-6 periyodu için, 13 aylık süre veya 23 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu yaklaşık 9.5 ay olarak hesaplanırken, 30 aylık süre veya 23 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu ise yaklaşık 19 ay olarak hesaplanmıştır. Şekil 4. 17.(e) AKİ-3 periyodu için, 12 aylık süre ve 1 pik değerinin dönüş periyodu, 10 ay olarak hesaplanırken, 30 aylık süre ve 1 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu ise 20 ay olarak hesaplanmıştır. Şekil 4. 17.(f) AKİ-3 periyodu için, 12 aylık süre veya 1 pik değerinin dönüş periyodu, 8.22 ay olarak hesaplanırken, 30 aylık süre veya 1 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu ise 8.57 ay olarak hesaplanmıştır. Şekil 4. 17.(g) AKİ-6 periyodu için, 12 aylık süre ve 0.5 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu 9.45 ay olarak hesaplanırken, 200 aylık süre ve 0.5 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu ise 248 ay olarak hesaplanmıştır. Şekil 4. 17.(h) AKİ-6 periyodu için, 12 aylık süre veya 0.5 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu yaklaşık 6 ay olarak hesaplanırken, 200 aylık süre veya 0.5 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu ise 6.3 ay olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. 17. AKİ-3 ve AKİ-6 için tek değişkenli dönüş periyotlarına karşılık gelen iki değişkenli dönüş periyotları

Bu çalışmada, tek değişkenli dönüş periyotları ile iki değişkenli dönüş periyotlarının karşılaştırmasını yapabilmek amaçlanmıştır. Bunun için, tek değişken için 5, 10, 20, 50, 100 ve 200 yıllık dönüş periyotları için hesaplanmış olan kuraklık

bileşen (kuraklık süresi, şiddeti ve pik) değerlerinin'göre karşılık gelen dönüş periyotları (T_{DS}^{ve} ve T_{DS}^{veya} için) Çizelge 4. 17. ve Çizelge 4. 18'de verilmiştir. Kuraklık süre ve kuraklık şiddet parametreleri için, tek değişkenli dönüş periyotlarına karşılık gelen iki değişkenli dönüş periyotları hem AKİ-3 hem de AKİ-6 zaman ölçeğinde verilmiştir. AKİ-3 zaman ölçeğinde, 100 yıllık dönüş periyodu için, süre ve şiddetin değeri 103. iken, aynı ölçek ve dönüş periyodu için, süre veya şiddet değeri yaklaşık 97 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4. 17. Süre Şiddet İçin İki Değişkenli Dönüş Periyotları

	Zaman Ölçeği	Dönüş Periyodu	İki değişkenli Dönüş Periyotları	
			E19A007	
			T_{DS}^{ve}	T_{DS}^{veya}
Süre-Şiddet	AKİ-3	5	5.12	4.89
		10	10.27	9.74
		20	20.57	19.46
		50	51.49	48.6
		100	103	97.17
		200	206.04	194.3
	AKİ-6	5	5.06	4.94
		10	10.17	9.84
		20	20.37	19.64
		50	50.97	49.07
		100	101.97	98.1
		200	203.97	196.18

Çizelge 4. 18'de kuraklık süre ve kuraklık pik parametreleri için, tek değişkenli dönüş periyotlarına karşılık gelen iki değişkenli dönüş periyotları hem AKİ-3 hem de AKİ-6 zaman ölçeğinde verilmiştir. AKİ-3 zaman ölçeğinde, 5 yıllık dönüş periyodu için, süre ve pik değeri 5.08 iken, aynı ölçek ve dönüş periyodu için, süre veya pik değeri 4.93 olarak hesaplanmıştır. AKİ-6 zaman ölçeğinde, 5 yıllık dönüş periyodu için, süre ve pik değeri 5.08 iken, aynı ölçek ve dönüş periyodu için, süre veya pik değeri 4.93 olarak hesaplanmıştır.

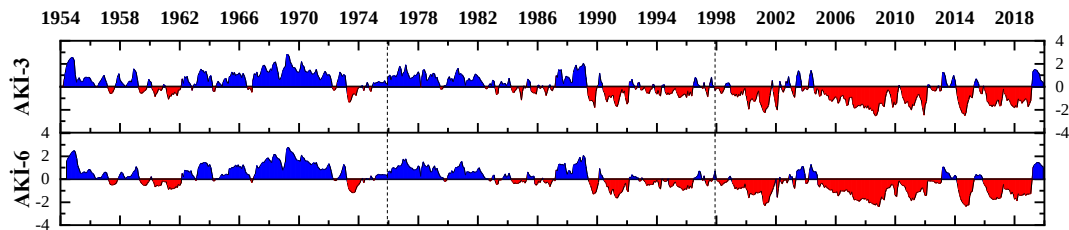
Çizelge 4. 18. Süre Pik İçin İki Değişkenli Dönüş Periyotları

	Zaman Ölçeği	Dönüş Periyodu	İki değişkenli Dönüş Periyotları	
			E19A007	
			T_{DS}^{ve}	T_{DS}^{veya}
Süre-Pik	AKİ-3	5	5.08	4.93
		10	10.18	9.83
		20	20.38	19.63
		50	50.98	49.06
		100	101.98	98.09
		200	203.99	196.17
	AKİ-6	5	5.08	4.93
		10	10.2	9.81
		20	20.45	19.57
		50	51.18	48.87
		100	102.4	97.71
		200	204.83	195.39

4.4. E19A008 İstasyonu Analiz Sonuçları

4.4.1. Kuraklık Analizi

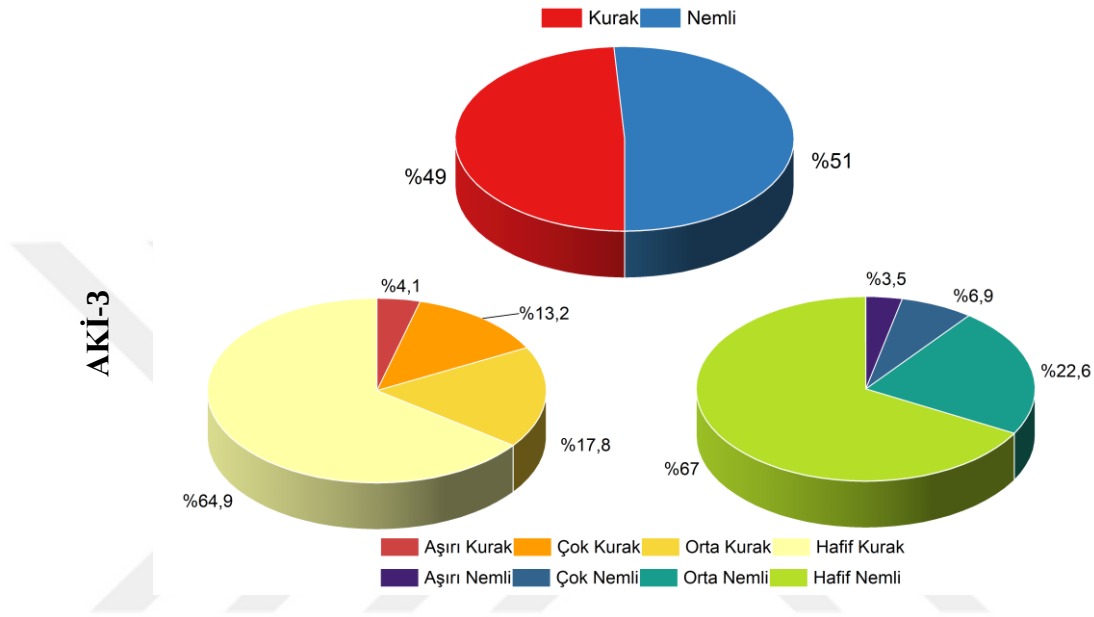
E19A008 numaralı Asi Nehri Antakya akım gözlem istasyonunun kuraklık analizi için 1954-2019 yılları arası sürekli olarak ölçülmüş akım verileri kullanılmıştır. Aylık ortalama akım değerleri kullanılarak, 3 aylık (AKİ-3) ve 6 aylık (AKİ-6) zaman ölçeklerinde elde edilen AKİ değerlerinin değişimi değerlendirilmiştir



Şekil 4. 18. E19A008 istasyonu AKİ-3 ve AKİ-6 değerlerinin zamansal değişimi

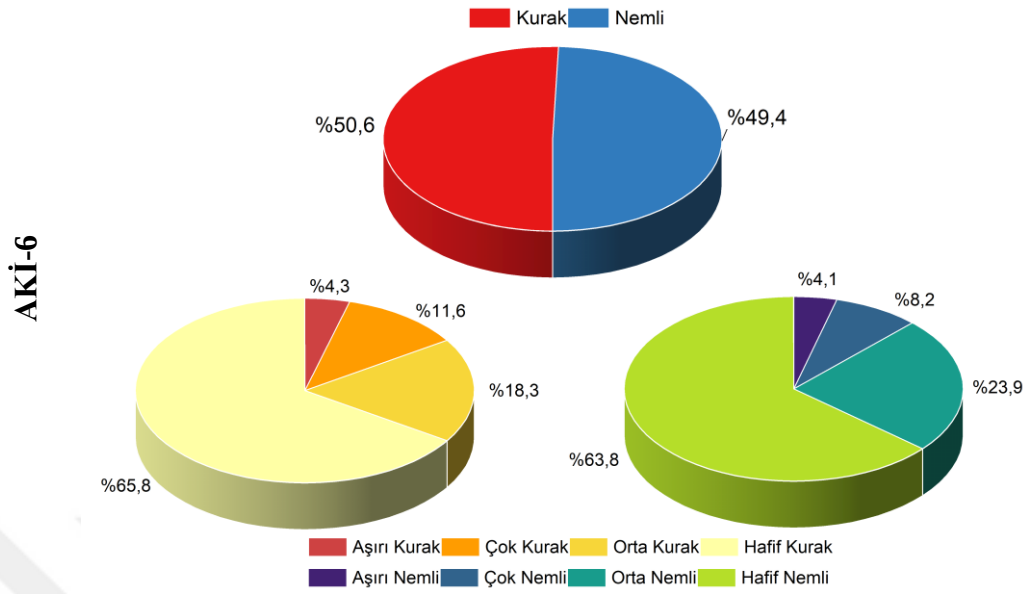
Şekil 4. 18.'de, AKİ-3 ve AKİ-6 değerlerinin zamansal değişimi gösterilmektedir. E19A008 istasyonunun AKİ-3 zaman periyodunda 1954-2019 yılları arasında (3 farklı dönem için) ayrı ayrı yapılan incelemelerde; 1.Dönem'de birkaç kurak dönemin dışında genellikle nemli ayların meydana geldiği, 2.Dönem'in

ortalarına kadar nemli dönemin devam ettiği belirlenmiştir. 2.Dönem'in ikinci yarısından itibaren kurak ayların daha sık yaşandığı tespit edilmiştir. 3.Dönem'de ise daha uzun süreli kuraklıkların meydana geldiği ve nemli dönemlerin daha kısa sürdüğü gözlemlenmiştir. Aşırı kuraklığın son dönemde arttığı ayrıca, kuraklık şiddetinin son dönemde en büyük değerini aldığı görülmüştür.



Şekil 4. 19. AKİ-3'e göre E19A008 istasyonuna ait kurak ve nemli dönem yüzdeleri

Şekil 4. 19.'da, AKİ-3'e göre kurak ve nemli dönem yüzdeleri verilmiştir. AKİ-3 değerlerine göre, 1954-2019 arası tüm ayların %49'u kurak geçerken, %51'i ise nemli geçmiştir. Kurak geçen ayların %64,9'u hafif kurak, %17,8'i orta kurak, %13,2'si çok kurak, %4,1'i ise aşırı kurak geçmiştir. Bu dönemde nemli geçen ayların %67 oranında hafif nemli, %22,6 oranında orta nemli, %6,9 oranında çok nemli, %3,5 oranında ise aşırı nemli geçmiştir.



Şekil 4. 20. AKİ-6'ya göre E19A008 istasyonuna ait kurak ve nemli dönem yüzdeleri

Şekil 4. 20.'de ki AKİ-6 değerlerine göre, 1954-2019 arası tüm ayların %50.6'sı kurak geçerken %49.4'ü ise nemli geçmiştir. Kurak geçen ayların %65.8'si hafif kurak, %18.3'ü orta kurak, %11.6'sı çok kurak, %4.3 oranında ise aşırı kurak geçmiştir. Bu dönemde nemli geçen ayların %63.8 oranında hafif nemli, %23.9'u orta nemli, %8.2'si çok nemli, %4.1'lik kısmı ise aşırı nemli geçmiştir.

4.4.2. Gidişler Analizi

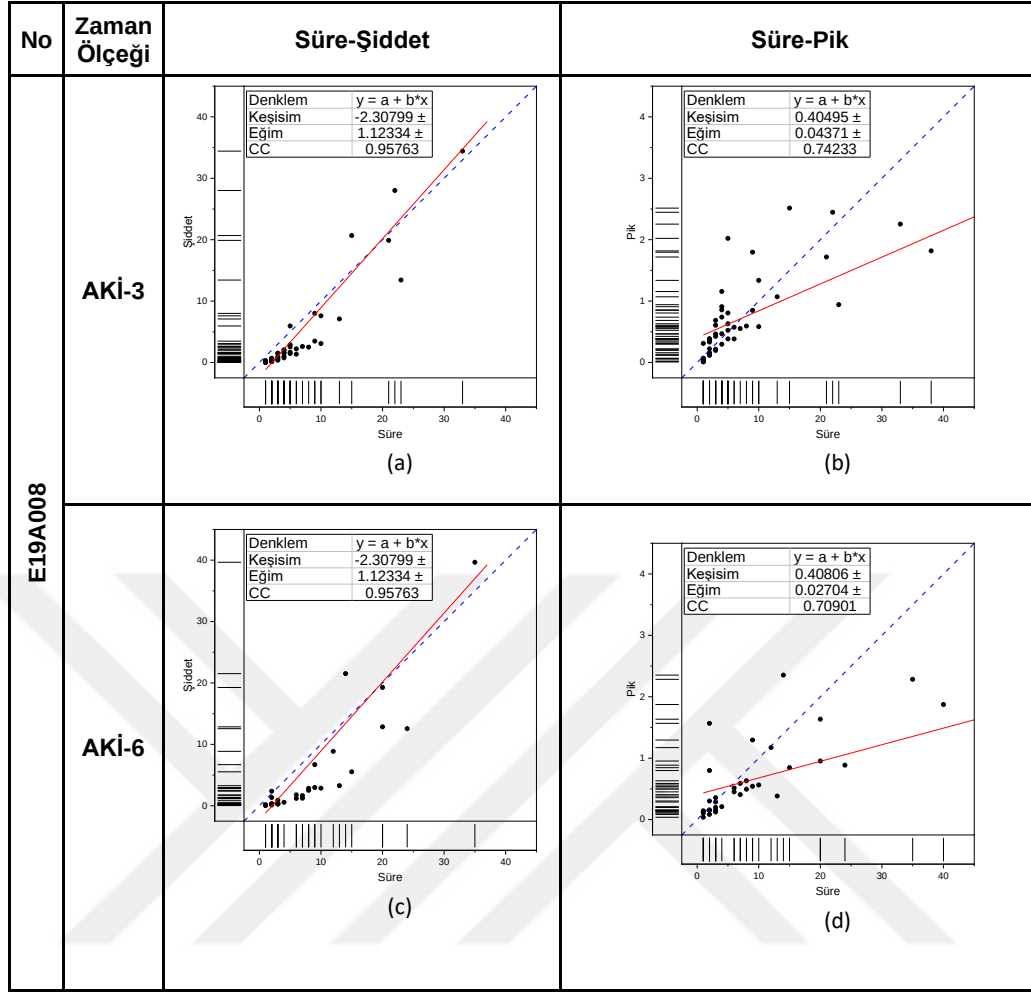
Gidişler analiziyle elde edilen kuraklık değerleri Çizelge 4. 19.'da verilmiştir. AKİ-3 için, 1954- 1976 yılları arası 1.Dönem olarak tanımlanmıştır. 1.Dönem 'de kurak ve yağışlı dönemlerin ardışık olarak yaşandığı ve dönemin sonlarına doğru kurak dönemlerin bariz şekilde arttığı görülmektedir

Çizelge 4. 19. Maksimum kuraklık parametrelerinin dönemsel değişimleri

İstasyon	Parametre	AKİ-3			AKİ-6		
		1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem
E19A005	Maks Süre	13 (Kas-61)	23 (May-95)	68 (May-05)	24 (Ara-60)	20 (Nis-91)	100 (Ağu-05)
	Maks.Şiddet	7.6	19.89	84.3	12.55	19.27	111.93
	Pik	1.34 (Mar-74)	1.80 (Ağu-90)	2.53 (Haz-09)	1.17 (May-74)	1.64 (Şub-92)	2.36 (Eyl-09)

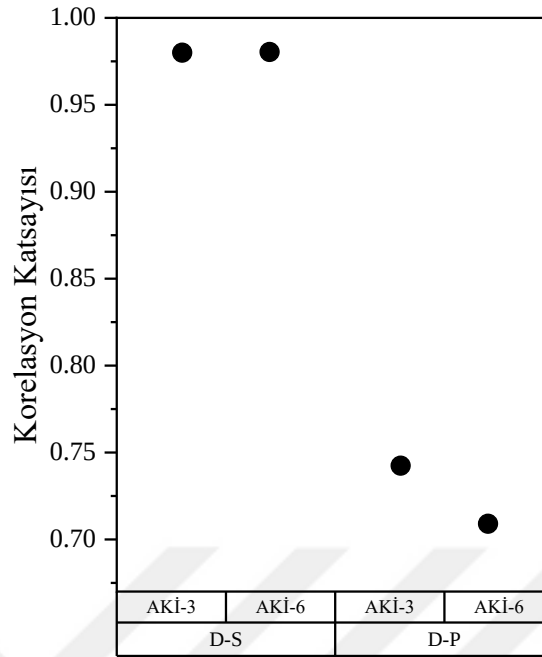
Çizelge 4. 19.'da, AKİ-3 için, 1954-1976 yılları arası 1.Dönem olarak tanımlanmıştır. 1.Dönem'de en uzun kurak süre, Kasım 1961'de başlayıp 13 ay sürmüş, bu kurak sürede kuraklık şiddeti 7.6 olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde kuraklığın pik değeri 1.34 olarak 1974 yılının Mart ayında meydana gelmiştir. 2.Dönem'de en uzun kurak süre, Mayıs 1995'te başlayıp 23 ay sürmüş, bu kurak sürede kuraklık şiddeti 19.89 olarak hesaplanmıştır. Kuraklığın pik değeri 1.80 olarak 1990 yılının Ağustos ayında meydana gelmiştir. AKİ-3 değerlerine göre; 1998-2019 yılları arası ise, 3.Dönem olarak tanımlanmıştır. Bu dönemde, kurak dönemin yağışlı dönemlere kıyasla daha uzun sürdüğü ve bu dönemin yağışlı dönemden daha büyük şiddette yaşandığı söylenebilir. Mayıs 2005'te başlayıp 68 ay süren kuraklığın şiddeti 84.3 olarak meydana gelmiştir. Pik kuraklık değeri 2.53 olarak 2009 yılının Haziran ayında görülmüştür.

AKİ-6 değerlerine göre; 1954-1976 yılları arası olarak tanımlanan 1.Dönem'de en uzun kurak süre, Aralık 1960'ta başlayıp 24 ay sürmüş, bu kurak sürede kuraklık şiddeti 12.55 olarak hesaplanmıştır. Kuraklığın pik değeri 1.17 olarak 1974 yılının Mayıs ayında meydana gelmiştir. AKİ-6'nın 2.Dönemi'nde en uzun kurak süre, Nisan 1991'de başlayıp 20 ay sürmüş, bu kurak sürede kuraklık şiddeti 19.27 olarak hesaplanmıştır. Kuraklığın pik değeri 1.64 olarak 1992 yılının Şubat ayında meydana gelmiştir. AKİ-6 değerlerine göre; 1998-2019 yılları arası ise, 3.Dönem olarak tanımlanmıştır. Ağustos 2005'te başlayıp 100 ay süren en uzun kuraklığın şiddeti 111.93 olarak meydana gelmiştir. Pik kuraklık değeri 2.36 olarak 2009 yılının Eylül ayında görülmüştür.



Şekil 4. 21. E19A008 istasyonuna ait kuraklık süre ve şiddet değerlerinin saçılım grafikleri

Şekil 4. 21.'de E19A005 istasyonuna ait AKİ-3 ve AKİ-6 zaman ölçeklerinde hesaplanmış kuraklık süre, şiddet ve pik değerlerinin saçılım grafikleri verilmiştir. Şekil 4.21.(a); AKİ-3 için süre - şiddet saçılım grafiğini göstermektedir. Şekil 4.21.(b), AKİ-3 için süre - pik saçılım grafiğini göstermektedir. Şekil 4. 21.(c) AKİ-6 için süre - şiddet saçılım grafiğini, Şekil 4. 21.(d) ise, AKİ-6 için süre - pik saçılım grafiğini göstermektedir. AKİ-3 için ortalama kuraklık süresi 7,54 ay, kuraklık şiddeti 6,16 ve kuraklık pik değeri ise 0.87 olarak belirlenmiştir. AKİ-6'da ortalama kuraklık süresi, 11.57 ay, kuraklık şiddeti 9.23 ve kuraklık pik değeri ise 0.92 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. 22. E19A008 istasyonuna ait kuraklık süre ve şiddet değerlerinin korelasyonu

Şekil 4. 22.'de kuraklık süre-şiddet ile süre-pik değerlerinin birbirleri ile olan Pearson korelasyon katsayılarını göstermektedir. AKİ-3 için belirlenmiş kuraklık süre-kuraklık şiddeti arasındaki korelasyon katsayısı 0.98 olduğu belirlenmiştir. Kuraklık süre- Kuraklık pik değeri arasındaki korelasyon ise 0.74 olduğu belirlenmiştir. AKİ-6 için belirlenmiş kuraklık süre-kuraklık şiddeti arasındaki korelasyon katsayısı 0.98 olduğu, kuraklık süre-kuraklık pik değeri arasındaki korelasyon ise 0.71 olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu korelasyon katsayılarına göre, hem AKİ-3'te hem de AKİ-6'da kuraklık süre ve kuraklık şiddet arasında daha güçlü bir korelasyon elde edilmiş olup, ayrıca kuraklık süre-kuraklık pik değerleri arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmüştür.

4.4.3. Kuraklık Bileşenlerinin Marjinal Dağılımları

E19A008 istasyonunun her bir değişken için en uygun marjinal dağılımı ve dağılımlara ait parametreler Çizelge 4. 20.'de verilmiştir. E19A008 istasyonunda, Süre için AKİ-3 ve AKİ-6'da Inverse Gaussian en uygun marjinal dağılım olarak ortaya çıkmıştır. Şiddet için, AKİ-3 ve AKİ-6'da, Log-normal en uygun marjinal dağılım

olarak belirlenmiştir. Pik için ise hem AKİ-3'te hem de AKİ-6'da Exponential en uygun marjinal dağılım olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4. 20. AKİ-3 ve AKİ-6 için en uygun marjinal dağılımlar ve parametreler

İstasyon	Zaman Ölçeği	Süre	Şiddet	Pik
E19A008	AKİ-3	inverse gaussian ($\mu = 8.23, \lambda = 4.62$)	Lognormal ($\mu = 0.28, \sigma = 2$)	Exponential ($\mu = 0.76$)
	AKİ-6	inverse gaussian ($\mu = 11.37, \lambda = 4.65$)	Lognormal ($\mu = 0.48, \sigma = 1.96$)	Exponential ($\mu = 0.716$)

4.4.4. İki Değişkenli Kuraklık Bileşenlerinin Kopula İle Değerlendirilmesi

Çizelge 4. 21.'de E19A008 istasyonu için hem Süre-Şiddet için, hem de Süre-Pik için en başarılı kopulanın tüm kriterlere göre (AIC, BIC ve Par) ve her iki periyota göre (AKİ-3 ve AKİ-6) Galambos olmuştur.

Çizelge 4. 21. Kopulalar için hesaplanan AIC, BIC ve Parametre değerleri

No	Kopula	Süre-Şiddet						Süre-Pik					
		AKİ-3			AKİ-6			AKİ-3			AKİ-6		
		AIC	BIC	Par	AIC	BIC	Par	AIC	BIC	Par	AIC	BIC	Par
E19A008	AMH	-197	-195.1	1	-158	-156.4	35	-222.7	-220.9	1	-182.7	-181.1	1
	Clayton	-254.1	-252.2	4.1	-201.6	-200.1	3.8	-269.6	-267.7	2.8	-207.6	-206.1	1.9
	Frank	-284	-282.2	18.4	-219.2	-217.6	16.4	-288.3	-286.5	10	-217.9	-216.4	9.4
	Galambos	-296.2	-294.4	35	-226.5	-225	14.1	-303.9	-302	8.4	-218.8	-217.2	3.5
	Gumbel	-277.5	-275.7	4.7	-214.1	-212.5	1	-271	-269.1	2.6	-211	-209.4	2.6
	Joe	-294.6	-292.7	35	-225.8	-224.2	35	-301.9	-300.1	35	-211.1	-209.6	15.3

*En iyi değerler kalın işaretlenmiştir

E19A008 istasyonu için kuraklığın dönüş periyotları tek değişkenli olarak hesaplanıp sonuçlar Çizelge 4. 22.'de gösterilmektedir. AKİ-3 ve AKİ-6 için, 5 yıllık dönüş periyotunda hesaplanan süre değeri birbirine yakın olup, sırasıyla 8.98 ve 8.70 aydır. AKİ-3 ve AKİ-6 için 200 yıllık dönüş periyoduna ait süre ise sırasıyla 62.17 ve 93.57 ay olarak hesaplanmaktadır. 200 yıllık dönüş periyodu için hesaplanan şiddet değerleri AKİ-3 ve AKİ-6 için sırasıyla 186.04 ve 170.84 olarak hesaplanmıştır.

AKİ-3'te kuraklık süresi boyunca hesaplanan pik değerleri Çizelge 4.22'de gösterilmektedir. 5 yıllık dönüş periyotunda AKİ-3 için pik değer 1 olarak hesaplanırken, aynı dönüş periyodunda AKİ-6 için bu değer 0.76 olarak hesaplanmıştır. 200 yıllık dönüş periyodunda ise, pik değer; AKİ-3 ve AKİ-6 için sırasıyla 2.9 ve 3.4 olarak hesaplanmıştır. AKİ-3 için hesaplanan pik değerler 5 yıllık dönüş periyodu hariç geriye kalan tüm dönüş periyotlarında, AKİ-6 değerlerinden daha küçüktür.

Çizelge 4. 22. AKİ-3 ve AKİ-6 için Tek değişkenli Dönüş Periyotları

Tek Değişkenli Dönüş Periyotları				
E19A008	Parametre	Dönüş Periyodu	AKİ-3	AKİ-6
	Süre	5 Yıl	8.98	8.7
		10 Yıl	15.75	17.69
		20 Yıl	24.26	30.23
		50 Yıl	37.81	51.89
		100 Yıl	49.49	71.57
		200 Yıl	62.17	93.57
	Şiddet	5 Yıl	4.54	3.54
		10 Yıl	12.1	10.28
		20 Yıl	26.46	23.36
		50 Yıl	62.77	56.81
		100 Yıl	110.89	101.31
		200 Yıl	186.04	170.84
	Pik	5 Yıl	1	0.76
		10 Yıl	0.85	1.26
		20 Yıl	1.33	1.75
		50 Yıl	1.95	2.41
		100 Yıl	2.43	2.9
		200 Yıl	2.9	3.4

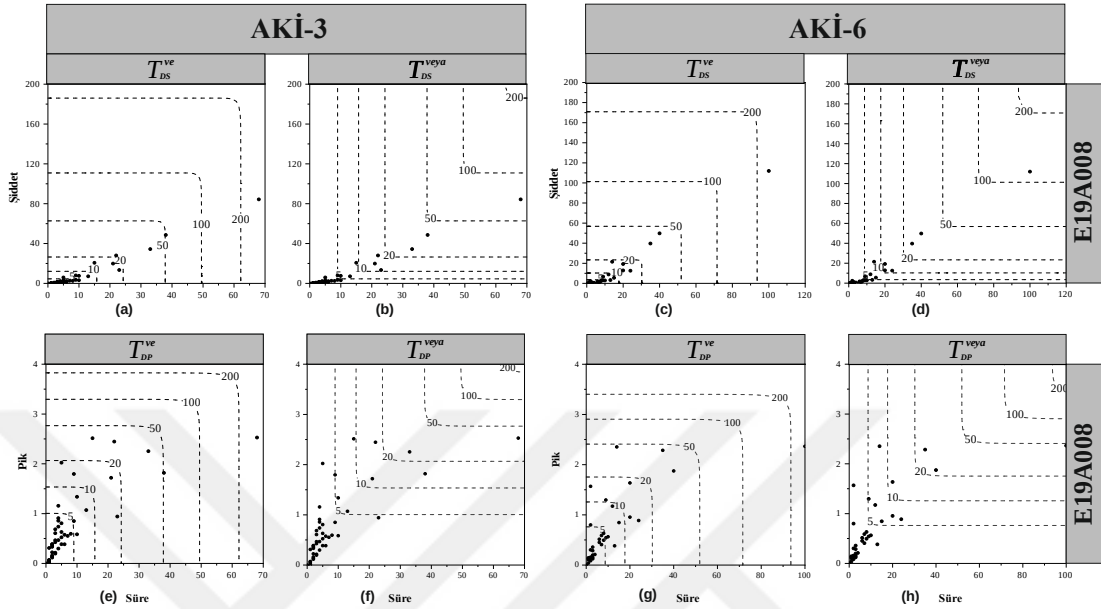
Kuraklık, karmaşık bir yapıya sahiptir ve bileşenlerinin birbirleri ile olan etkilerinin inceleyebilmek için ortak değerlendirme ihtiyacı vardır. Bu nedenle tek değişkenli dönüş periyodunun yanında Asi havzası için iki değişkenli dönüş periyodunu hesaplamak için havzayı en iyi temsil eden kopula olan Galambos kopulası kullanılmıştır.

Kopula fonksiyonu ile elde edilen dönüş periyotları Süre-Şiddet ve Süre-Pik için Şekil 4. 23.'de, E19A005 istasyonuna ait 8 farklı grafik verilmiştir. Bu Şekillerde T_{DS}^{ve} ve T_{DS}^{veya} için hesaplanan 5, 10, 20, 50, 100 ve 200 yıllık dönüş periyotları için

hesaplanmış olan kuraklık bileşen (kuraklık süresi, şiddeti ve pik) değerlerinin dönüş periyoduna ait grafikler ayrı ayrı görülmektedir. Bu grafiklerde yer alan T_{DS}^{ve} iki kuraklık bileşeninin aynı anda olmasıyla, T_{DS}^{veya} ise iki kuraklık bileşeninin ayrı ayrı olmasıyla ortaya çıkacak dönüş periyotlarını temsil etmektedir. Şekil 4.23.(a) AKİ-3 periyodu için, Süre ve şiddet parametrelerinin dönüş periyodunu, Şekil 4.23.(b) AKİ-3'te süre veya şiddetinin dönüş periyodunu, Şekil 4.23.(c) AKİ-6 periyodu için, Süre ve pik parametrelerinin dönüş periyodunu, Şekil 4.23.(d) AKİ-6'da süre veya pik değerlerinin dönüş periyodunu temsil etmektedir. Ayrıca Şekil 4.23.(e) AKİ-3 periyodu için, Süre ve pik parametrelerinin dönüş periyodunu, Şekil 4.23.(f) AKİ-3'te süre veya şiddetinin dönüş periyodunu, Şekil 4.23.(g) AKİ-6 periyodu için, Süre ve pik parametrelerinin dönüş periyodunu, Şekil 4.23.(h) ise AKİ-6'da süre veya pik değerlerinin dönüş periyodunu temsil etmektedir.

Şekil 4.23.(a) AKİ-3 periyodu için, 6 aylık süre ve 1 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu, 3.51 ay olarak hesaplanırken, 12 aylık süre ve 1 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu ise 6.96 ay olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.23.(b) AKİ-3 periyodu için, 6 aylık süre veya 1 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu, 2.4 ay olarak hesaplanırken, 12 aylık süre veya 1 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu ise aynı şekilde 2.41 ay olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.23.(c) AKİ-6 periyodu için, 12 aylık süre ve 2 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu, 7 ay olarak hesaplanırken, 24 aylık süre ve 2 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu ise 15 ay olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.23.(d) AKİ-6 periyodu için, 12 aylık süre veya 2 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu, 3.8 ay olarak hesaplanırken, 24 aylık süre veya 2 kuraklık şiddetinin dönüş periyodu ise yine 3.8 ay olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.23.(e) AKİ-3 periyodu için, 6 aylık süre ve 1 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu, 5 ay olarak hesaplanırken, 12 aylık süre ve 1 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu ise 7 ay olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.23.(f) AKİ-3 periyodu için, 6 aylık süre veya 1 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu, yaklaşık 3.5 ay olarak hesaplanırken, 12 aylık süre veya 1 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu ise 4.93 ay olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.23.(g) AKİ-6 periyodu için, 12 aylık süre ve 1.75 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu 20 ay olarak hesaplanırken, 52 aylık süre ve 1.75 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu ise 50 ay olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.23.(h) AKİ-6 periyodu için, 12 aylık süre veya 1.75 kuraklık pik değerinin dönüş

periyodu 7 ay olarak hesaplanırken, 52 aylık süre veya 1.75 kuraklık pik değerinin dönüş periyodu ise 20 ay olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. 23. AKİ-3 ve AKİ-6 için tek değişkenli dönüş periyotlarına karşılık gelen İki değişkenli dönüş periyotları

Bu çalışmada, tek değişkenli dönüş periyotları ile iki değişkenli dönüş periyotlarının karşılaştırmasını yapabilmek amaçlanmıştır. Bunun için, tek değişken için 5, 10, 20, 50, 100 ve 200 yıllık dönüş periyotları için hesaplanmış olan kuraklık bileşen (kuraklık süresi, şiddeti ve pik) değerlerine karşılık gelen dönüş periyotları (T_{DS}^{ve} ve T_{DS}^{veya} için) Çizelge 4. 23. ve Çizelge 4. 24.'de verilmiştir.

Çizelge 4. 23'te kuraklık süre ve kuraklık şiddet parametreleri için, tek değişkenli dönüş periyotlarına karşılık gelen iki değişkenli dönüş periyotları hem AKİ-3 hem de AKİ-6 zaman ölçeğinde verilmiştir.

AKİ-3 zaman ölçeğinde, 5 yıllık dönüş periyodu için, süre ve şiddetin değeri 5.19 iken, aynı ölçek ve dönüş periyodu için, süre veya şiddet değeri 4.83 olarak hesaplanmıştır. AKİ-6 zaman ölçeğinde, 100 yıllık dönüş periyodu için süre ve şiddet değeri 103.56 iken, süre veya şiddet değeri ise 96.67 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4. 23. Süre-Şiddet için İki Değişkenli Dönüş Periyotları

	Zaman Ölçeği	Dönüş Periyodu	İki Değişkenli Dönüş Periyotları	
			E19A008	
			T_{DS}^{ve}	T_{DS}^{veya}
Süre-Şiddet	AKİ-3	5	5.19	4.83
		10	10.41	9.62
		20	20.86	19.21
		50	52.2	47.97
		100	104.44	95.92
		200	208.92	191.81
	AKİ-6	5	5.14	4.87
		10	10.32	9.7
		20	20.69	19.36
		50	51.76	48.35
		100	103.56	96.67
		200	207.16	193.32

Çizelge 4. 24.'te, E19A008 istasyonuna ait kuraklık süre ve kuraklık pik için hesaplanan iki değişkenli dönüş periyotları gösterilmektedir. AKİ-3 zaman ölçeğinde, 20 yıllık dönüş periyodu için, süre ve pik değeri 2.71 iken, aynı ölçek ve dönüş periyodu için, süre veya pik değeri 17.87 olarak hesaplanmıştır. AKİ-3 zaman ölçeğinde, 100 yıllık dönüş periyodu için süre ve pik değeri yaklaşık 114 iken, süre veya pik değeri ise yaklaşık olarak 89 olarak belirlenmiştir. AKİ-6 zaman ölçeğinde, 100 yıllık dönüş periyodu için, süre ve pik değeri 114.61 iken, aynı ölçek ve dönüş periyodu için, süre veya pik değeri 79.07 olarak hesaplanmıştır. AKİ-3 zaman ölçeğinde, 200 yıllık dönüş periyodu için süre ve pik değeri 272.52 iken, süre veya pik değeri ise 88.7 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4. 24. Süre-Pik için İki Değişkenli Dönüş Periyotları

	Zaman Ölçeği	Dönüş Periyodu	İki değişkenli Dönüş Periyotları	
			E19A008	
			T_{DP}^{ve}	T_{DP}^{veya}
Süre-Pik	AKİ-3	5	5.58	4.53
		10	11.29	8.97
		20	22.71	17.87
		50	56.95	44.56
		100	114.03	89.04
		200	228.18	178.01
	AKİ-6	5	5.56	4.54
		10	11.31	8.96
		20	22.79	17.82
		50	57.22	44.4
		100	114.61	88.7
		200	229.38	177.29

4.5. Genel Değerlendirme

4.5.1. Dönüş Periyotları

Kuraklığın dönüş periyotları tek değişkenli olarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4. 25'te sunulmuştur. AKİ-3'te, tüm istasyonların hesaplanan kuraklık süre değeri 10 yıllık dönüş periyotlarında yaklaşık olarak 15 aydır. 100 yıllık dönüş periyoduna ait Süre ise 49.49-86.13 ay arasında değişmektedir. AKİ-6'da 20 yıl dışındaki dönüş periyotlarında hesaplanan Süre değerlerinin değişim aralıkları yüksek olmuştur. En fazla değişim aralığı ise 200 yıllık dönüş periyodunda meydana gelmiştir. Şiddet için ise AKİ-3 ve AKİ-6'da tüm dönüş periyotlarında değişim aralığı yüksek olmuştur. Ancak, özellikle 200 yıllık dönüş periyodu için hesaplanan Şiddet değerleri arasında önemli bir farklılık ortaya çıkmıştır. Örneğin, 200 yıllık dönüş periyodunda, E19A005 için 65 olarak hesaplanan Şiddet değeri, E19A007 istasyonunda 486.44 olmuştur. Pik değerlerde ise hem AKİ-3, hem de AKİ-6 için 10 yıllık dönüş periyodunda ciddi bir risk görülmemiştir. Ancak, 20 yıllık ve üzeri dönüş periyodunda şiddetli kuraklık ya da aşırı kuraklık meydana gelme durumunun ortaya çıkacağı görülmektedir.

Çizelge 4. 25.AKİ-3 ve AKİ-6 için hesaplanan tek değişkenli dönüş periyotları

		AKİ-3				AKİ-6			
		E19A005	E19A006	E19A007	E19A008	E19A005	E19A006	E19A007	E19A008
Süre	5 Yıl	8.68	8.10	6.42	8.98	12.20	6.42	4.40	8.70
	10 Yıl	15.53	16.00	15.40	15.75	20.22	15.27	13.80	17.69
	20 Yıl	24.36	26.97	29.95	24.26	28.24	29.47	32.25	30.23
	50 Yıl	38.67	45.83	58.30	37.81	38.84	56.92	75.13	51.89
	100 Yıl	51.16	62.90	86.13	49.49	46.86	83.72	122.47	71.57
	200 Yıl s	64.82	81.96	118.64	62.17	54.88	114.94	181.66	93.57
Şiddet	5 Yıl	6.90	4.30	1.96	4.54	7.98	2.31	0.77	3.54
	10 Yıl	13.90	12.33	7.98	12.10	17.06	10.02	5.92	10.28
	20 Yıl	22.87	28.42	22.91	26.46	27.30	30.20	23.16	23.36
	50 Yıl	37.54	71.12	70.67	62.77	41.82	98.17	92.94	56.81
	100 Yıl	50.64	129.90	146.46	110.89	53.27	210.42	223.27	101.31
	200 Yıl s	65.37	224.44	282.19	186.04	65.00	417.90	486.44	170.84
Pik	5 Yıl	1.22	0.97	0.63	1.00	1.04	0.67	0.38	0.76
	10 Yıl	1.82	1.10	1.56	0.85	1.51	1.53	1.17	1.26
	20 Yıl	2.42	1.57	2.00	1.33	2.05	2.07	1.67	1.75
	50 Yıl	3.22	2.18	2.49	1.95	2.77	2.77	2.32	2.41
	100 Yıl	3.82	2.65	2.83	2.43	3.31	3.30	2.82	2.90
	200 Yıl s	4.42	3.12	3.13	2.90	3.85	3.83	3.32	3.40

Kuraklık, karmaşık bir yapıya sahiptir ve bileşenlerinin birbirleri ile olan etkilerinin inceleyebilmek için ortak değerlendirme ihtiyacı vardır. Bu nedenle tek değişkenli dönüş periyodunun yanında Asi havzası için iki değişkenli dönüş periyodunu hesaplamak için havzada başarılı sonuç veren Galambos kopulası kullanılmıştır. Kopula fonksiyonu ile elde edilen dönüş periyotları Süre-Şiddet ve Süre-Pik için verilmiştir. T_{DS}^{ve} ve T_{DS}^{veya} için hesaplanan dönüş periyoduna ait grafikler ayrı ayrı görülmektedir. Bu grafiklerde yer alan T_{DS}^{ve} iki kuraklık bileşeninin aynı anda olmasıyla, T_{DS}^{veya} ise iki kuraklık bileşeninin ayrı ayrı olmasıyla ortaya çıkacak dönüş periyotlarını temsil etmektedir. Bu çalışmada, tek değişkenli dönüş periyotları ile iki değişkenli dönüş periyotlarının karşılaştırmasını yapabilmek amaçlanmıştır. Bunun için, tek değişken için 5, 10, 20, 50, 100 ve 200 yıllık dönüş periyotları için hesaplanmış olan kuraklık bileşen (kuraklık süresi, şiddeti ve pik) değerlerine karşılık gelen dönüş periyotları (T_{DS}^{ve} ve T_{DS}^{veya} için) hesaplanmıştır.

D-S için tek değişkenli dönüş periyoduna karşılık gelen iki değişkenli dönüş periyodu değerleri karşılaştırıldığında, T_{DS}^{ve} için dönüş periyodunun tek değişkenli e göre AKİ-3'e için yaklaşık olarak %2.5-%7 aralığında, AKİ-6 için ise %1.2-%5 aralığında değişim göstermiştir. AKİ-3 ve AKİ-6 ortak değerlendirildiğinde tek

değişkenli dönüş periyoda karşılık gelen Süre ve Şiddet değerlerinin aynı anda meydana gelme olasılıkları, tek değişkenli dönüş periyodun yaklaşık %3-4 daha yüksek değerde olduğu görülmektedir. Bu da iki kuraklık bileşenin aynı anda olma riskinin tek bir değişkene göre az da olsa daha düşük olduğunu ortaya koymaktadır.

T_{DS}^{veya} değerleri değerlendirildiğinde, bu değerlerin AKİ-3 için ortalama %3.8, AKİ-6 için ise ortalama %2.9 daha düşük bir dönüş periyodu ortaya çıktığı görülmektedir. Bu durum da tek değişkenli dönüş periyoda karşılık gelen Süre ve Şiddet değerlerinin ayrı ayrı meydana gelme olasılıklarının tek değişkenli dönüş periyoda göre yüksek olduğunu ifade etmektedir. Böylece Süre ve Şiddet değerlendirmesinde tek değişkenli dönüş periyotun T_{DS}^{veya} 'ya göre daha düşük bir meydana gelme olasılığı verdiği anlaşılmaktadır.

Tek değişkenli dönüş periyotlara karşılık gelen Süre-pik değerlerinin iki değişkenli dönüş periyotları incelendiğinde ise, T_{DS}^{ve} 'de elde edilmiş dönüş periyot değerlerinin tek değişkenli dönüş periyotlara göre AKİ-3 için ortalama %16, AKİ-6'da ise ortalama %14 daha yüksek çıktığı görülmüştür. Ayrıca, T_{DS}^{veya} değerlerinin, AKİ-3'te %11, AKİ-6'da ise ortalama %10 daha düşük çıktığı görülmüştür.

Süre-Şiddet için tek değişkenli ile iki değişkenli arasında ortaya çıkan fark düşük iken, Süre-pik değerlerinde oldukça yüksek olmuştur. Literatürde, çoğunlukla meteorolojik kuraklığın Süre-Şiddet arasındaki iki değişkenli ve tek değişkenli dönüş periyotları ile ilgili yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Tosunoğlu ve Can (2016)'da Türkiye'nin toplam yedi bölgesinde yapmış oldukları çalışmada, ülkenin meteorolojik kuraklığın süre-şiddeti'nin tek değişkenli ve iki değişkenli dönüş periyotlarını karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında Asi havzasının olduğu bölgeyi kapsayan III numaralı bölgede, T_{DS}^{ve} dönüş periyotlarının tek değişkenli dönüş periyotlara kıyasla yaklaşık %40-50 daha yüksek, T_{DS}^{veya} dönüş periyotlarının ise yaklaşık %20-25 daha düşük olduğunu göstermişlerdir. Bu çalışmada ise hidrolojik kuraklık indis değerlerine göre hesaplanan iki değişkenli Süre-Şiddet dönüş periyotlarının tek değişkenli değerleri ile aralarındaki farkın ortalama yaklaşık %4 olduğu görülmüştür. Böylece, Asi havzasında Süre-Şiddet için, tek değişkenli dönüş

periyotlar ile iki değişkenli dönüş periyotlar arasında ciddi bir fark olmadığı ve zorunlu durumlarda tek değişkenli dönüş periyotların da bölgedeki risk analizlerinde kullanılabilir olduğu değerlendirilmektedir. Ancak, bölgede Süre-pik'te tek değişkenli ile iki değişkenli dönüş periyotlar arasındaki farkın yüksek olması nedeniyle, Süre-pik'in değerlendirileceği risk analizlerinde iki değişkenli dönüş periyotların kullanılması önerilmektedir.

Çizelge 4. 26. Tek değişkenli dönüş perioduna karşılık gelen iki değişkenli dönüş periyodu

		Tek değişkenli Dönüş Periyotları	Tek değişkenli dönüş perioduna karşılık gelen iki değişkenli dönüş periyodu							
			E19A005		E19A006		E19A007		E19A008	
			T _{DS} ^{ve}	T _{DS} ^{veya}	T _{DS} ^{ve}	T _{DS} ^{veya}	T _{DS} ^{ve}	T _{DS} ^{veya}	T _{DS} ^{ve}	T _{DS} ^{veya}
D-S	AKİ-3	5	5.29	4.74	5.14	4.87	5.12	4.89	5.19	4.83
		10	10.63	9.44	10.31	9.71	10.27	9.74	10.41	9.62
		20	21.31	18.84	20.65	19.39	20.57	19.46	20.86	19.21
		50	53.35	47.05	51.66	48.44	51.49	48.60	52.20	47.97
		100	106.74	94.06	103.34	96.87	103.00	97.17	104.44	95.92
		200	213.53	188.09	206.71	193.71	206.04	194.30	208.92	191.81
	AKİ-6	5	5.09	4.91	5.21	4.81	5.06	4.94	5.14	4.87
		10	10.21	9.80	10.48	9.56	10.17	9.84	10.32	9.70
		20	20.44	19.58	21.03	19.06	20.37	19.64	20.69	19.36
		50	51.13	48.92	52.67	47.59	50.97	49.07	51.76	48.35
		100	102.28	97.82	105.41	95.12	101.97	98.10	103.56	96.67
		200	204.59	195.62	210.87	190.19	203.97	196.18	207.16	193.32
D-P	AKİ-3	5	5.94	4.31	6.09	4.24	5.08	4.93	5.58	4.53
		10	12.11	8.52	12.51	8.33	10.18	9.83	11.29	8.97
		20	24.43	16.93	25.35	16.51	20.38	19.63	22.71	17.87
		50	61.38	42.18	63.86	41.08	50.98	49.06	56.95	44.56
		100	122.96	84.26	128.04	82.03	101.98	98.09	114.03	89.04
		200	246.13	168.43	256.41	163.94	203.99	196.17	228.18	178.01
	AKİ-6	5	6.27	4.16	5.22	4.80	5.08	4.93	5.56	4.54
		10	13.10	8.09	10.51	9.54	10.20	9.81	11.31	8.96
		20	26.76	15.97	21.09	19.01	20.45	19.57	22.79	17.82
		50	67.72	39.63	52.83	47.45	51.18	48.87	57.22	44.40
		100	135.99	79.07	105.73	94.86	102.40	97.71	114.61	88.70
		200	272.52	157.96	211.53	189.66	204.83	195.39	229.38	177.29

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Asi havzasında dört akım gözlem istasyonunda 1954-2020 yıllarına ait aylık ortalama akım verileri yardımıyla AKİ yöntemi ile bölgenin hidrolojik kuraklığı değerlendirilmiştir. Ayrıca, kuraklık bileşenlerinin tek değişkenli (süre, şiddet ve pik) ve kopula fonksiyonları ile iki değişkenli (süre-şiddet ve süre-pik) dönüş periyotları değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Asi havzasında, 1998-2020 yılları arasında kuraklık süre, kuraklık şiddet ve kuraklık pik değerleri diğer zaman aralıklarına göre ciddi bir artış göstermiştir. Ayrıca, 3. Dönem’de, meydana gelen aşırı kurak veya şiddetli kurak ay sayısı da önceki dönemlere göre artmıştır. 1998-2020 yılları arasında kuraklık süre, kuraklık şiddet ve kuraklık pik değerleri diğer zaman aralıklarına göre ciddi bir artış göstermiştir. Ayrıca, 3. Dönem’de, meydana gelen aşırı kurak veya şiddetli kurak ay sayısı da bu zaman aralığında artmıştır. Böylece, Asi havzasında üç farklı zaman aralığı için iki farklı zaman ölçeği için (AKİ-3 ve AKİ-6) yapılmış olan kuraklık analizi sonucunda, bölgenin akım değerleri açısından ciddi bir kuraklık riski altında olduğu görülmüştür.

Bölgenin kuraklık bileşenlerinin kopula ile değerlendirilmesi amacıyla, bu bileşenlerin marjinal dağılımları belirlenmiştir. Bölgede AKİ değerleri ile hesaplanan Süre, Şiddet ve pik değerlerinin marjinal dağılımları sırasıyla, Inverse Gaussian, Lognormal ve Exponential olarak belirlenmiştir.

Havzada kuraklıkların iki değişkenli olarak değerlendirilmesinde en uygun kopula AKİ-3 ve AKİ-6’da Süre-Şiddet ve Süre-Pik (AKİ-6’da bir istasyon hariç) için AIC ve BIC parametresine göre Galambos olarak belirlenmiştir.

Süre-Şiddet için tek değişkenli dönüş periyoduna karşılık gelen iki değişkenli dönüş periyodu karşılaştırıldığında, , TDSve için dönüş periyodunun tek değişkenliye göre %1.2-%7 daha yüksek, , TDSveya ise %3 civarında düşük olduğu görülmüştür.

Süre-Pik için ise , T_{DS}^{ve} ve , T_{DS}^{veya} ile elde edilmiş dönüş periyot değerlerinin tek değişkenli dönüş periyotlara göre sırasıyla yaklaşık %14-%16 daha yüksek çıktığı, T_{DS}^{veya} değerlerinin ise yaklaşık %10 daha düşük çıktığı görülmüştür.

Süre-Şiddet ve Süre-Şiddet için tek değişkenli dönüş periyoduna karşılık gelen iki değişkenli dönüş periyodu karşılaştırıldığında çalışılan istasyonlar arasında en çok risk barındıran istasyon hem AKİ-3 hem de AKİ-6 için E19A007 istasyonu olmuştur.

Kuraklık dönüş periyotlarını dikkate alan risk analizlerinde, kopulalar yardımıyla hesaplanan çok değişkenli dönüş periyotlarının dikkate alınması kuraklığın doğru değerlendirilmesi açısından önemlidir. Ayrıca, bölgede özellikle son 20 yıllık süre içerisinde kuraklık şiddetinin ve süresinin ciddi bir artış gösterdiği, bu nedenle bölgenin su kaynaklarının planlanmasında bu durumun dikkate alınması önerilmektedir.

İki değişkenli analiz sonuçlarının, kuraklıkla mücadelede, su kaynaklarının etkin planlamada yararlı olabileceğinden, ayrıca gelecekte hidrolojik kuraklığa karşı araştırmaların sürdürülmesi ve gelecek için olası senaryoları analiz edilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Afshar, M. H., Şorman, A. Ü., Tosunoğlu, F., Bulut, B., Yılmaz, M. T., & Danandeh Mehr, A. (2020). Climate Change Impact Assessment on Mild and Extreme Drought Events Using Copulas over Ankara, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 141(3-4), 1045-1055.
- Akaike, H. (1974). A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE transactions on automatic control*, 19(6), 716-723.
- Akar, Ö., Oğuz, İ., & Kadri, Y. (2015). İkikara Havzasının Kurak Ve Islak Dönemlerinin Bazı Kuraklık İndisleri Yardımıyla Karşılaştırılması. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 32(2), 9-13.
- Aksoy, H., Önöz, B., Çetin, M., Yüce, M., Eriş, E., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H., Eşit, M., & Orta, S. (2018). Edirne İçin Kuraklık Şiddet-Süre-Frekans Eğrileri. *Ulusal Hidrojeoloji ve Su Kaynakları Sempozyumu*, 27-29.
- Albaqoull, A. A. A. (2022). *Meteorological and Hydrological Drought Analysis of Sinop, Kastamonu, Bartın Provinces in the Western Black Sea* (Tez No 724327) Institute of Graduate Programs Department of Civil Engineering.
- Ali, M. M., Mikhail, N. N., & Haq, M. S. (1978). A Class of Bivariate Distributions Including the Bivariate Logistic. *Journal of Multivariate Analysis*, 8(3), 405-412. [https://doi.org/10.1016/0047-259x\(78\)90063-5](https://doi.org/10.1016/0047-259x(78)90063-5)
- Avsaroglu, Y., & Gumus, V. (2022). Assessment of Hydrological Drought Return Periods with Bivariate Copulas in the Tigris River Basin, Turkey. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 134(6), 95.
- Ayantobo, O. O., Li, Y., Song, S., Javed, T., & Yao, N. (2018). Probabilistic Modelling of Drought Events in China Via 2-Dimensional Joint Copula. *Journal of Hydrology*, 559, 373-391. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.022>
- Bacanlı, G., Aksan, Ü., & Nur, G. (2019). Drought Analysis in Mediterranean Region. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences-Pamukkale*.
- Bayazıt, M., & Önöz, B. (2008). *Taşkın Ve Kuraklık Hidrolojisi*. Nobel Yayın Dağıtım.
- Cavus, Y., & Aksoy, H. (2019). Spatial Drought Characterization for Seyhan River Basin in the Mediterranean Region of Turkey. *Water*, 11(7), 1331.
- Clayton, D. G. (1978). A Model for Association in Bivariate Life Tables and Its Application in Epidemiological Studies of Familial Tendency in Chronic Disease Incidence. *Biometrika*, 65(1). <https://doi.org/10.2307/2335289>
- Çetin, B. (2023). *Küresel İklim Modelleri İle Havzaların Kuraklık Analizlerinin Yapılması* (Tez No 777490) Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Das, J., Jha, S., & Goyal, M. K. (2020). Non-Stationary and Copula-Based Approach to Assess the Drought Characteristics Encompassing Climate Indices over the Himalayan States in India. *Journal of Hydrology*, 580, 124356.
- Dehghani, M., Saghafian, B., & Zargar, M. (2019). Probabilistic Hydrological Drought Index Forecasting Based on Meteorological Drought Index Using Archimedean Copulas. *Hydrology Research*, 50(5), 1230-1250.
- Dikici, M. (2019). Asi Havzası'nda (Türkiye) Kuraklık Analizi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(1), 22-40. <https://doi.org/10.21324/dacd.426784>
- Dixit, S., & Jayakumar, K. (2022). Spatio-Temporal Analysis of Copula-Based Probabilistic Multivariate Drought Index Using Cmp6 Model. *International Journal of Climatology*, 42(8), 4333-4350.

- Eroğlu, A. T. (2022). *Beyşehir Gölü Havzasında Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Kuraklık Tahmini Ve Yönetimi* (Tez No 768108) [Doktora Tezi]. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı.
- Eşit, M., & Yüce, M. (2021). Kopula Yöntemi İle Osmaniye Bölgesinin İki Değişkenli Kuraklık Frekans Analizi. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 9(3), 388-396.
- Eşit, M., & Yüce, M. İ. (2022). Çok Değişkenli Kuraklık Frekans Analizi Ve Risk Değerlendirmesi: Kahramanmaraş Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(2), 368-382.
- Evkaya, O., Yozgatligil, C., & Sevtap Selcuk-Kestel, A. (2019). Drought Analysis Using Copula Approach: A Case Study for Turkey. *Communications in Statistics: Case Studies, Data Analysis and Applications*, 5(3), 243-260.
- Gumus, V., & Algin, H. M. (2017). Meteorological and Hydrological Drought Analysis of the Seyhan– Ceyhan River Basins, Turkey. *Meteorological Applications*, 24(1), 62-73.
- Gümüş, V. (2017). Akim Kuraklık İndeksi İle Asl Havzasinin Hidrolojik Kuraklık Analizi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 5(1), 65-73.
- Hao, Z., & Singh, V. (2013). Entropy-Based Method for Bivariate Drought Analysis. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(7), 780-786.
- Hong, X., Guo, S., Zhou, Y., & Xiong, L. (2015). Uncertainties in Assessing Hydrological Drought Using Streamflow Drought Index for the Upper Yangtze River Basin. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29, 1235-1247.
- Huang, S., Hou, B., Chang, J., Huang, Q., & Chen, Y. (2014). Copulas-Based Probabilistic Characterization of the Combination of Dry and Wet Conditions in the Guanzhong Plain, China. *Journal of Hydrology*, 519, 3204-3213.
- Huard, D., Evin, G., & Favre, A.-C. (2006). Bayesian Copula Selection. *Computational Statistics & Data Analysis*, 51(2), 809-822.
- Huynh, V.-N., Kreinovich, V., & Sriboonchitta, S. (2014). *Modeling Dependence in Econometrics* (Vol. 85). Springer.
- IPCC. (2007). *Intergovernmental Panel on Climatic Change 2007*. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>
- IPCC. (2009). *Intergovernmental Panel on Climatic Change October 2009* (A Reporting Service for Environment and Development Negotiations, Issue. <http://www.iisd.ca/climate/ipcc31>
- Jahangir, M. H., & Yarahmadi, Y. (2020). Hydrological Drought Analyzing and Monitoring by Using Streamflow Drought Index (Sdi)(Case Study: Lorestan, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-12.
- Katipoğlu, O. M. (2020). *Firat Havzasi'ndaki Meteorolojik Ve Hidrolojik Kuraklıkların Analizi* (Tez No 654113) [Doktora Tezi]. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Khan, M. A., Faisal, M., Hashmi, M. Z., Nazeer, A., Ali, Z., & Hussain, I. (2021). Modeling Drought Duration and Severity Using Two-Dimensional Copula. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 214, 105530.

- Kiafar, H., Babazadeh, H., Sedghi, H., & Saremi, A. (2020). Analyzing Drought Characteristics Using Copula-Based Genetic Algorithm Method. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-13.
- Kim, T.-W., Valdés, J. B., & Yoo, C. (2003). Nonparametric Approach for Estimating Return Periods of Droughts in Arid Regions. *Journal of Hydrologic Engineering*, 8(5), 237-246.
- Li, C., Singh, V. P., & Mishra, A. K. (2013). A Bivariate Mixed Distribution with a Heavy-Tailed Component and Its Application to Single-Site Daily Rainfall Simulation. *Water Resources Research*, 49(2), 767-789.
- Ma, M., Song, S., Ren, L., Jiang, S., & Song, J. (2013). Multivariate Drought Characteristics Using Trivariate Gaussian and Student T Copulas. *Hydrological processes*, 27(8), 1175-1190.
- Madadgar, S., & Moradkhani, H. (2013). Drought Analysis under Climate Change Using Copula. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(7), 746-759.
- Malik, A., Kumar, A., Salih, S. Q., & Yaseen, Z. M. (2021). Hydrological Drought Investigation Using Streamflow Drought Index. *intelligent data analytics for decision-support systems in Hazard mitigation: theory and practice of hazard mitigation*, 63-88.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology,
- Mellak, S., & Souag-Gamane, D. (2020). Spatio-Temporal Analysis of Maximum Drought Severity Using Copulas in Northern Algeria. *Journal of Water and Climate Change*, 11(S1), 68-84.
- Mirabbasi, R., Fakheri-Fard, A., & Dinpashoh, Y. (2012). Bivariate Drought Frequency Analysis Using the Copula Method. *Theoretical and Applied Climatology*, 108, 191-206.
- Mortuza, M. R., Moges, E., Demissie, Y., & Li, H.-Y. (2019). Historical and Future Drought in Bangladesh Using Copula-Based Bivariate Regional Frequency Analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, 135, 855-871.
- Nabaei, S., Sharafati, A., Yaseen, Z. M., & Shahid, S. (2019). Copula Based Assessment of Meteorological Drought Characteristics: Regional Investigation of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology*, 276, 107611.
- Nalbantis, I. (2008). Evaluation of a Hydrological Drought Index. *European water*, 23(24), 67-77.
- Nalbantis, I., & Tsakiris, G. (2009). Assessment of Hydrological Drought Revisited. *Water Resources Management*, 23, 881-897.
- Nikbakht, J., Tabari, H., & Talaee, P. H. (2013). Streamflow Drought Severity Analysis by Percent of Normal Index (Pni) in Northwest Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 112, 565-573.
- ORSAM. (2023). *Ortadoğu Araştırmaları Merkezi*. <https://orsam.org.tr/>
- Otkur, A., Wu, D., Zheng, Y., Kim, J.-S., & Lee, J.-H. (2021). Copula-Based Drought Monitoring and Assessment According to Zonal and Meridional Temperature Gradients. *Atmosphere*, 12(8), 1066.
- Ozkaya, A., & Zerberg, Y. (2019). A 40-Year Analysis of the Hydrological Drought Index for the Tigris Basin, Turkey. *Water*, 11(4), 657.

- Özfidaner, M. (2018). *Türkiye Ölçeğinde Yağış Ve Akım Kuraklık İndeksi İle Kuraklık Analizi Ve Kurak Olma Olasılıklarının Belirlenmesi* (Tez No 636971) [Doktora Tezi]. Adana.
- Özfidaner, M., Şapolyo, D., & Topaloğlu, F. (2018). Seyhan Havzası Akım Verilerinin Hidrolojik Kuraklık Analizi. *Toprak Su Dergisi*, 7(1), 57-64.
- Palmer, W. C. (1965). Meteorological Drought. *Us. Weather Bureau Res. Paper*, 45, 1-58.
- Poonia, V., Jha, S., & Goyal, M. K. (2021). Copula Based Analysis of Meteorological, Hydrological and Agricultural Drought Characteristics across Indian River Basins. *International Journal of Climatology*, 41(9), 4637-4652.
- Sadegh, M., Ragno, E., & AghaKouchak, A. (2017). Multivariate Copula Analysis Toolbox (Mvcat): Describing Dependence and Underlying Uncertainty Using a Bayesian Framework. *Water Resources Research*, 53(6), 5166-5183.
- Sahana, V., Sreekumar, P., Mondal, A., & Rajsekhar, D. (2020). On the Rarity of the 2015 Drought in India: A Country-Wide Drought Atlas Using the Multivariate Standardized Drought Index and Copula-Based Severity-Duration-Frequency Curves. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 31, 100727.
- Schwarz, G. (1978). Estimating the Dimension of a Model. *The annals of statistics*, 461-464.
- Schweizer, B., & Wolff, E. F. (1981). On Nonparametric Measures of Dependence for Random Variables. *The annals of statistics*, 9(4), 879-885.
- Shafer, B., & Dezman, L. (1984). Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to Assess the Severity of Drought Conditions in Snowpack Runoff Areas.
- Shiau, J. (2006). Fitting Drought Duration and Severity with Two-Dimensional Copulas. *Water Resources Management*, 20, 795-815.
- Shiau, J., & Modarres, R. (2009). Copula-Based Drought Severity-Duration-Frequency Analysis in Iran. *Meteorological Applications: A journal of forecasting, practical applications, training techniques and modelling*, 16(4), 481-489.
- Shiau, J. T., Feng, S., & Nadarajah, S. (2007). Assessment of Hydrological Droughts for the Yellow River, China, Using Copulas. *Hydrological Processes: An International Journal*, 21(16), 2157-2163.
- Shukla, S., & Wood, A. W. (2008). Use of a Standardized Runoff Index for Characterizing Hydrologic Drought. *Geophysical Research Letters*, 35(2).
- Simsek, O. (2021). Hydrological Drought Analysis of Mediterranean Basins, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(20), 2136.
- Sklar, A. (1959). Distribution Functions of N Dimensions and Margins. *Publications of the Institute of Statistics of the University of Paris*, 8, 229-231.
- Şen, Z. (2009). *Kuraklık Afet Ve Modern Hesaplama Yöntemi* (Vol. 248). Su Vakfı Yayınları No:975-978-6455-38-8.
- Tabari, H., Nikbakht, J., & Hosseinzadeh Talaee, P. (2013). Hydrological Drought Assessment in Northwestern Iran Based on Streamflow Drought Index (Sdi). *Water Resources Management*, 27, 137-151.
- Topçu, E. (2018). *Doğu Akdeniz, Seyhan, Ceyhan Ve Asil Havzalarında Farklı Yöntemler Kullanılarak Kuraklık Analizi* (Tez No 486770) [Doktora Tezi].

- Tosunoglu, F., & Can, I. (2016). Application of Copulas for Regional Bivariate Frequency Analysis of Meteorological Droughts in Turkey. *Natural Hazards*, 82, 1457-1477.
- Tosunoglu, F., & Kisi, O. (2016). Joint Modelling of Annual Maximum Drought Severity and Corresponding Duration. *Journal of Hydrology*, 543, 406-422.
- Tosunoğlu, F. (2014). *Türkiye'deki Meteorolojik Ve Hidrolojik Kuraklıkların Atmosferik Salınımlarla Olan İlişkilerinin İncelenmesi* (Tez No 352146) [Doktora Tezi]. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tosunoğlu, F., & Can, İ. (2015). Erzurum İli Kuraklıkların İki Değişkenli Frekans Analizi: Kopula Fonksiyonlarının Kullanımı. In.
- Turhan, E., Çulha, B. D., & Değerli, S. (2022). Akım Kuraklık İndeksi Yönteminin Farklı Zaman Ölçekleri İçin Hidrolojik Olarak Değerlendirilmesi: Arsuz Ovası Örnek Çalışması. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(1), 25-36.
- Wang, F., Wang, Z., Yang, H., Di, D., Zhao, Y., & Liang, Q. (2020). A New Copula-Based Standardized Precipitation Evapotranspiration Streamflow Index for Drought Monitoring. *Journal of Hydrology*, 585, 124793.
- Weghorst, K. (1996). The Reclamation Drought Index: Guidelines and Practical Applications. North American water and environment congress & destructive water,
- Won, J., Choi, J., Lee, O., & Kim, S. (2020). Copula-Based Joint Drought Index Using Spi and Eddi and Its Application to Climate Change. *Science of The Total Environment*, 744, 140701.
- Wu, P.-Y., You, G. J.-Y., & Chan, M.-H. (2020). Drought Analysis Framework Based on Copula and Poisson Process with Nonstationarity. *Journal of Hydrology*, 588, 125022.
- Xu, Y., Zhang, X., Hao, Z., Hao, F., & Li, C. (2022). Systematic Assessment of the Development and Recovery Characteristics of Hydrological Drought in a Semi-Arid Area. *Science of The Total Environment*, 836, 155472.
- Yanmaz, A. M., & Usul, N. (2006). *Kavramsal Su Mühendisliği*. <https://www.odtuyayincilik.com.tr/kavramsal-su-muhendisligi-215>
- Yılmaz, M. U., & Yılmaz, H. (2022). Çok Değişkenli Kuraklık İndeksi Kullanılarak Kuraklık Değerlendirmesi: Kırklareli İli Örneği. 11. *Ulusal Hidroloji Kongresi*. utkuyilmaz@klu.edu.tr
- Yüceerim, G. (2021). *Farklı İndekslere Göre Kocadere Havzasının Kuraklık Analizi* (Tez No 699180) [Doktora Tezi]. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zhao, Z., Wang, H., Yu, C., Deng, C., Liu, C., Wu, Y., Yan, J., & Wang, C. (2020). Changes in Spatiotemporal Drought Characteristics over Northeast China from 1960 to 2018 Based on the Modified Nested Copula Model. *Science of The Total Environment*, 739, 140328.