

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVZALAR ARASI SU TRANSFERİNİN İSTATİSTİKSEL
YÖNTEMLERLE DEĞERLENDİRİLMESİ

İlke SİNAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Hidrolik Programı

Danışman
Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU

Ocak, 2021

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAVZALAR ARASI SU TRANSFERİNİN İSTATİSTİKSEL
YÖNTEMLERLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

İlke SİNAN tarafından hazırlanan tez çalışması 21.01.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üye. Cihan ŞAHİN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Cüneyd DEMİREL, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Havzalar Arası Su Transferinin İstatistiksel Yöntemlerle Değerlendirilmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

İlke SİNAN

İmza



Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü' nn 117Y384 numaralı Tübitak projesi ile desteklenmiştir.

Değerli bilim insanı Prof.Dr. Ahmet Doğan anısına...

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi, destek ve anlayışını benden hiç esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU'na vermiş olduğu emek ve yardımları için teşekkür ederim.

İstatistik analiz çalışmalarımda kullanmış olduğum bilgi ve verilerin elde edilmesinde büyük pay sahibi olan TÜBİTAK 177Y384 no'lu proje ekibinde görev alan tüm arkadaşlara ve sağlamış olduğu maddi destekten ötürü Tübitak'a teşekkür ederim.

Her şartta yanımda olan ve benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili aileme minnetlerimi sunarım.

İlke SİNAN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.1.1 İstatistik Yöntemlerle İlgili Literatür Araştırması.....	1
1.1.2 Havzalar Arası Su Transferinin Değerlendirilmesi İle İlgili Literatür Araştırması.....	3
1.1.3 Havzalar Arasındaki Etkileşimin Değerlendirilmesi İle İlgili Literatür Araştırması.....	5
1.2 Tezin Amacı.....	6
1.3 Hipotez.....	7
2 HAVZALAR ARASI SU TRANSFER UYGULAMALARI	8
2.1 Genel Bilgiler.....	8
2.1.1 Transfer Çeşitleri.....	8
2.1.2 Sınıflandırma.....	10
2.2 Havzalar Arası Su Transferinin Dünyadaki Uygulamaları.....	10
2.3 Türkiye’de Havzalar Arası Su Transferi Uygulamaları.....	13
2.3.1 İstanbul Su Transferi Projeleri.....	14
2.3.2 Konya Ovası Projesi.....	15
2.3.3 Zamantı Derivasyon Tüneli.....	17
2.3.4 Kıbrıs Su Temin Projesi.....	17
2.3.5 Harran Ovası Sulaması.....	18
3 GEMBOS DERİVASYON KANALI’NIN DEĞERLENDİRİLMESİ	19
3.1 Genel Bilgiler.....	19
3.2 Çalışma Alanı.....	21
3.2.1 Beyşehir Gölü Havzası.....	21
3.3.2 Gembos Kapalı Havzası.....	23
2.3.3 Manavgat Çayı Havzası.....	23

3.3	Çalışmada Kullanılan İstatistiksel Yöntemler	26
3.3.1	Bağımsız Örneklem T-Testi.....	26
3.3.2	Mann-Whitney U testi	27
3.3.3	Ardışık Mann- Kendall Testi ve Değişim Noktası Yöntemi	29
3.3.4	Segmenter Yazılımı.....	30
3.3.5	Korelasyon Analizi.....	32
3.3.6	Regresyon	33
3.3.7	Regresyon Modelinde Yapılan Varsayımlar	35
4	GEMBOS DERİVASYON KANALI'NIN BEYŞEHİR GÖLÜ'NE VE MANAVGAT ÇAYI'NA OLAN ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	37
4.1	Beyşehir Gölü Hidrolojisi.....	37
4.1.1	Yağış.....	38
4.1.2	Buharlaşma	40
4.1.3	Göle Ulaşan Akarsular	41
4.1.4	Gölden Su Çekimi.....	42
4.2	Beyşehir Gölü'ndeki Değişimlerin İncelenmesi	42
4.2.1	Beyşehir Gölü'nün 2008 Yılı Öncesi ve Sonrası Verileri için Bağımsız Örneklem T-Testi ve Mann-Whitney U Testinin Uygulanması.....	44
4.2.2	Ardışık Mann Kendall Testi ve Değişim Noktası	49
4.2.3	Göl Seviyesindeki Değişimin Segmenter Yazılımı ile Belirlenmesi.....	51
4.2.4	Korelasyon Analizi.....	53
4.3	Manavgat Çayı'ndaki Değişimlerin İncelenmesi.....	54
4.3.1	Taban Akışının Elde Edilmesi.....	55
4.3.2	Yağış.....	58
4.3.3	Manavgat Çayı 2008 Yılı Öncesi ve Sonrası Verileri için Bağımsız Örneklem t-Testi ve Mann-Whitney U Testinin Uygulanması	59
4.3.4	Ardışık Mann-Kendall Trend Analizi	60
4.3.5	Korelasyon Analizi.....	63
5	HAVZALAR ARASI İLİŞKİNİN BELİRLENMESİ	65
5.1	Çapraz Korelasyon Analizi.....	68
5.2	Manavgat Taban Akışı (Q _b) Regresyon Modeli.....	69
5.2.1	Regresyon Modeli Varsayımlarının Kontrolü.....	72
6	SONUÇ VE ÖNERİLER	75
	KAYNAKÇA	78
	A GEMBOS POLYESİ JEOMORLOJİSİ	85
	TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	89

SİMGE LİSTESİ

α	Anlamlılık düzeyi
Q	Debi
ha	Hektar
hm ³	Hektometreküp
H	Su Derinliği
m ³	Metreküp
p	Olasılık
N	Veri Sayısı
P	Yağış



KISALTMA LİSTESİ

AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
Buh.	Buharlaşma
DSİ	Devlet Su İşleri
Der	Derivasyon
GDK	Gembos Derivasyon Kanalı
KOP	Konya Ovası Projesi
KKTC	Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti
Reg	Regülatör
SYİ	Standartlaştırılmış Yağış İndeksi
VIF	Varyans Artış Faktörü



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Büyük ölçekli su transferi projelerinin küresel dağılımı.....	13
Şekil 2.2	Büyük Melen Projesi	15
Şekil 2.3	Konya Ovası Projesi.....	17
Şekil 3.1	a.) Gembos Derivasyon Kanalı b.) Derebucak Barajı.....	20
Şekil 3.2	Gembos Derivasyon Kanalı'yla Beyşehir Gölü'ne aktarılan akım.....	21
Şekil 3.3	Beyşehir Gölü'nden çekilen suyun dağılımı.....	23
Şekil 3.4	Çalışma alanının harita üzerindeki konumu	25
Şekil 3.5	Çalışma alanı alt havza sınırlarını gösteren harita (Soyaslan, 2020).....	26
Şekil 3.6	Parçalara ayrılmış bir zaman serisi	31
Şekil 3.7	Segmenter yazılımında regresyon seçimi.....	32
Şekil 3.8	Regresyon modeli varsayımları ve varsayımların kontrolü	36
Şekil 4.1	Beyşehir standartlaştırılmış yağış indeksi	39
Şekil 4.2	Beyşehir Gölü uzun yıllar yağış ortalama haritası.....	40
Şekil 4.3	Beyşehir aylık toplam buharlaşma ve yağış değerleri.....	41
Şekil 4.4	Beyşehir Gölü'nü besleyen önemli akarsular a.)Soğuksu-Yeşildağ b.)Ozan Deresi c.)Sarısu-Eylikler d.)Üstünler Deresi e.)Gölyaka	42
Şekil 4.5	Beyşehir Göl Kotu ve Beyşehir Yağış grafiği.....	43
Şekil 4.6	Beyşehir Göl hacmi, gölden salınan (regülatör) debi ve Gembos Derivasyonu akımı grafiği	44
Şekil 4.7	Gembos Derivasyon Kanalı öncesi (1996-2008) ve sonrası (2008-2016) dönemlerde istatistik testler sonucu ortalamaları farklı olan değişkenlere ait kutu grafikleri a.)Göl Kotu b.)Göl Hacmi c.)Soğuksu- Yeşildağ d.)Kocadere e.)Beyşehir Buharlaşama f.)Regülatör.....	48
Şekil 4.8	Gembos Derivasyon Kanalı öncesi (1996-2008) ve sonrası (2008-2016) dönemlerde istatistik testler sonucu ortalamaları farklı olan değişkenlerin aylık değerleri a.)Göl Kotu b.)Göl Hacmi c.)Soğuksu- Yeşildağ d.)Kocadere e.)Beyşehir Buharlaşama f.)Regülatör.....	49
Şekil 4.9	Beyşehir yağışı Ardışık Mann-Kendall Trend Analizi grafiği	50
Şekil 4.10	Beyşehir buharlaşma verilerine Ardışık Mann-Kendall Trend Analizi grafiki.....	50
Şekil 4.11	Segmenter yazılımına ait çıktı	52
Şekil 4.12	Beyşehir Gölü kotunun Segmenter Yazılımı ile analizi.....	52
Şekil 4.13	Göl kotu otokorelasyon fonksiyonu	54
Şekil 4.14	Sinanhoca AGİ'ye ait toplam ve taban akışı grafiği.....	56
Şekil 4.15	Şelale AGİ'ye ait toplam ve taban akışı grafiği	56
Şekil 4.16	Sinanhoca AGİ ve Manavgat meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama akış ve yağış grafiği (1992-2016)	57
Şekil 4.17	Şelale AGİ ve Manavgat meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama akış ve yağış grafiği (1992-2016)	57
Şekil 4.18	Manavgat standartlaştırılmış yağış indeksi	58
Şekil 4.19	Manavgat yağış verilerine Ardışık Mann-Kendall Trend Analizi.....	61
Şekil 4.20	Manavgat sıcaklık verilerine Ardışık Mann-Kendall Trend Analizi.....	61

Şekil 4.21	Sinanhoca taban akışı verilerine Ardışık Mann-Kendall Trend Analizi..62
Şekil 4.22	Şelale taban akışı verilerine Ardışık Mann-Kendall Trend Analizi63
Şekil 5.1	Manavgat taban akışı ve Beyşehir Göl Seviyesi Standartlaştırılmış Değerleri.....67
Şekil 5.2	Çapraz korelasyon fonksiyonları (a) Derebucak yağışı-Sinanhoca taban akışı (b) İbradı yağışı-Sinanhoca taban akışı (c) Beyşehir Göl Seviye-Sinanhoca taban akışı (d) Manavgat sıcaklık -Sinanhoca taban akışı68
Şekil 5.3	Taban akışı regresyon modeli P-P grafiği.....73
Şekil 5.4	Taban akışı regresyon modeli için eş varyanslılık.....73
Şekil 5.5	Taban akışı regresyon modeli için hata terimleri grafiği.....74
Şekil A.1	Gembos Polyesi ve çevresinin jeomorfoloji haritası86
Şekil A.2	a.)Gembos Polyesi'nin kuzeyden güneye doğru görünümü b.) Gembos Polyesi'nin güneyden kuzeye doğru görünümü c.)Gembos Polyesi'nin 2006 yılında gölova halini aldığı dönem.....87
Şekil A.3	Gembos Polyesi üzerinde bulunan düdenler88

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Su transferi projelerinin sınıflandırılması.....	10
Tablo 2.2	İran’da bazı su transferi projeleri.....	12
Tablo 2.3	Kıtaların planlama veya yapım aşamasında olan büyük ölçekli su transferi projeleri	13
Tablo 3.1	Derebucak Prof. Dr. Yılmaz Muslu Barajı Teknik Özellikleri (DSİ, 2013)	20
Tablo 4.1	Çalışmada kullanılan günlük verilere ait tanımlayıcı istatistikler	37
Tablo 4.2	Beyşehir Gölü etrafındaki istasyonlara ait uzun yıllar ortalama yağış değerleri	38
Tablo 4.3	Standartlaştırılmış yağış indeksi değerlerinin sınıflandırılması	39
Tablo 4.4	Beyşehir Gölü etrafındaki istasyonlara ait uzun yıllar ortalama buharlaşma değerleri.....	40
Tablo 4.5	Beyşehir Gölü’ne ait anahtar eğrisi (DSİ, 2019)	44
Tablo 4.6	Beyşehir Gölü Havzası su transferi öncesi ve sonrası dönemler için tanımlayıcı istatistikler	46
Tablo 4.7	Beyşehir Gölü Havzası su transferi öncesi ve sonrası için bağımsız örneklem T-testi	46
Tablo 4.8	Beyşehir Gölü Havzası su transferi öncesi ve sonrası için bağımsız örneklem T-testi (devamı).....	47
Tablo 4.9	Beyşehir Gölü Havzası su transferi öncesi ve sonrası için Mann-Whitney U Testi	47
Tablo 4.10	Çalışmada kullanılan yıllık verilere ait korelasyon katsayıları (1992-2016).....	53
Tablo 4.11	Manavgat Çayı’na ait akış değerleri	55
Tablo 4.12	Manavgat Havzası su transferi öncesi ve sonrası için tanımlayıcı istatistikler	59
Tablo 4.13	Manavgat Havzası su transferi öncesi ve sonrası için bağımsız örneklem T-Testi.....	59
Tablo 4.14	Manavgat Havzası su transferi öncesi ve sonrası için Mann Whitney U-Testi	60
Tablo 4.15	Manavgat Havzası hidrometeorolojik veriler arasındaki korelasyon katsayıları	64
Tablo 5.1	Su transferi öncesi hidrometeorolojik değişkenlere ait korelasyon katsayıları (1992-2008)	65
Tablo 5.2	Su transferi sonrası hidrometeorolojik değişkenlere ait korelasyon katsayıları (2008-2016)	66
Tablo 5.3	Taban akışı modelinde yer alan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler	69
Tablo 5.4	Taban akışı modelindeki değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları	70
Tablo 5.5	Taban akışı modeli özeti	70
Tablo 5.6	Regresyon modeline ait varyans analizi.....	71

Tablo 5.7	Taban akışı modeline ait regresyon katsayıları.....	71
Tablo 5.8	Taban akışı regresyon modeli bağımsız değişkenlere ait varyans artış faktörü (VIF) değerleri.....	72



Havzalar Arası Su Transferinin İstatistiksel Yöntemlerle Değerlendirilmesi

İlke SİNAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU

Günümüzde artan nüfus, sosyo-ekonomik gelişmeler ve küresel iklim değişikliği gibi sebeplerden dolayı su kaynaklarına olan talep her geçen gün artmaktadır. Bu talebi karşılamak için alternatif çözüm yöntemi olarak havzalar arası su transferi kavramı ortaya çıkmıştır. Havzalar arası su transferi; bir boru hattı veya kanalla herhangi bir havzadan bir başka havzaya suyun yapay yollarla nakledilmesi olarak tanımlanmaktadır. Havza içerisinde diğer doğal kaynaklarla birlikte bir bütünü oluşturan su kaynaklarının yapay yollarla bir bölgeden bir başka bölgeye transfer edilmesi, ilgili havzalar arasında ciddi hidrolojik ve ekolojik değişimlere sebep olmaktadır. Doğal kaynakların korunup gelecek nesillere aktarılabilmesi için bu değişimlerin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, havzalar arası su transferi uygulamalarına güzel bir örnek olan Gembos Derivasyon Kanalı (GDK) Projesi'nin etkileri istatistiksel metotlar kullanılarak incelenmiştir. Türkiye'nin en büyük tatlı su gölü olan ve Konya Ovası'nın su ihtiyacının karşılanmasında ana kaynak olan Beyşehir Gölü'nün su

seviyesini korumak için güneyindeki Gembos Kapalı Havzası'nın suyu inşa edilen derivasyon kanalıyla 2008 yılından itibaren Beyşehir Gölü'ne aktarılmaya başlanmıştır. 2008 yılı sonrası göl seviyesinde meydana gelen artışın ne kadarının iklimsel değişimden ne kadarının havzalar arası su transferinden kaynaklandığı istatistiksel olarak incelenmiştir. Önceki çalışmalardan Manavgat Çayı'nın debisinin drenaj alanına düşen ortalama yağışın 3-4 katına eşit olduğu bilinmektedir. Gembos Kapalı Havzası'nın su transferi öncesinde bölgedeki düdenler aracılığıyla güneyindeki Manavgat Çayı'nı beslediği tahmin edilmektedir. Öte yandan geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarda Beyşehir Gölü su seviyesinde artış olması halinde, göldeki karstik boşluklardan su kaçağı olduğu ve bu su kaçaklarının yeraltı suyu akımı olarak Manavgat Çayı'nı beslediği ileri sürülmüştür. Çalışmada Derebucak Barajı'nın ve Gembos Derivasyon Kanalı'nın etkisi göz önüne alınarak Manavgat Çayı'nın taban akışındaki değişimler ve Beyşehir Gölü su seviyesiyle olan ilişkisi belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda havzalara ait hidrometeorolojik verilere trend analizi, korelasyon ve regresyon analizleri uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beyşehir Gölü, su transferi, Gembos, karstik bölge, taban akışı.

Assesment Of Interbasin Water Transfer Using Statistical Methods

İlke SİNAN

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU

Freshwater demand is highly increased due to current growing population, socio-economic development and climate change etc. Hence, the concept of interbasin water transfer was developed to meet that demand as a alternative solution. Interbasin transfer of water can simply be described as the transfer of water artificially from one basin to another through a pipeline or a canal. Artificial redistribution of water resources in neighboring basins may cause serious alterations in the hydrological and ecological balance of the basins. These changes should be analysed and evaluated carefully to protect our naturel resources and pass to the next generations.

In this study, the effects of GDC Project, which is a significant example of inter-basin water transfer, were investigated by using statistical methods. Beyşehir Lake is one of the most important and largest freshwater resources of Turkey and it's the main source to meet irrigation water requirement of Konya Plain. In order to stop decreasing water level below the critical level of Beyşehir Lake the water of Gembos Closed Basin located in the south of Beyşehir Lake Basin has been diverted to the

lake via GDC since 2008. How much of the increase in the lake level after year 2008 resulted from the climate change and the inter-basin water transfer from Gembos Closed Basin is tried to be investigated with the statistical methods. Previous studies showed that the discharge of Manavgat River is equal to 3-4 times the average annual precipitation incident to it's drainage basin. It is supposed that Gembos Closed Basin was feeding the Manavgat River in the south by way to dolines before the water transfer. Besides that since the past years, the Beyşehir lake has been thought to be source of excess flow occuring in Manavgat Basin assuming that when the lake water level of lake increase water leak occurs, because of the karstic ponors and dolines, which is feeding the Manavgat River. This study aims at determining to alteration of Manavgat baseflow and it's relation with water level of Lake Beyşehir by considering the effect of Derebucak Dam and Gembos Derivation Tunnels. For this purpose trend analysis, corelation and regression analysis were applied to numerical hydrometeorological data of the neighboring basins.

Keywords: Lake Beyşehir, water transfer, gembos, karst region, baseflow.

1.1 Literatür Özeti

Son yıllarda nüfus artışı ve iklim değişikliği nedeniyle kırsal ve kentsel su ihtiyacının karşılanması, ayrıca mevcut su temin sisteminin verimliliğinin artırılması gibi sebeplerle birçok ülkede havzalar arası su transferi projeleri uygulanmaktadır. Havzalar arası su transferinde, transfer öncesi ve sonrası dönemler için havzadaki su kaynaklarının değişimi kapsamlı bir şekilde değerlendirilmeli; çevresel, sosyal ve ekonomik yönden detaylı analizler yapılmalıdır. Aksi takdirde, transfer projeleri fayda getirmek yerine mevcut ekolojik dengenin bozulmasına neden olabilir bu da havza halkı için ciddi sosyal, çevresel ve ekonomik problemleri beraberinde getirir. Özellikle karstik bölgelerde bulunan havzaların su kaynaklarının birbiriyle yeraltı suyu etkileşimi halinde olmaları bu tartışmayı kaçınılmaz kılmaktadır. Türkiye akarsu havzalarının üçte birinin karstik bölgelerde bulunduğu bilinmektedir. Mevcut su kaynaklarının önemli bir kısmının bu akarsu havzaları üzerinde bulunduğu dikkate alındığında Türkiye'nin gelecek nesillere sağlıklı ve yeterli su bırakabilmesi için su transferi projelerinin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

1.1.1 İstatistik Yöntemlerle İlgili Literatür Araştırması

Hidrolojide uzun bir geçmişi bulunan istatistiksel yöntemler çok sayıda araştırma ve uygulamaya konu olmaktadır. Hidrolojik süreçlerin karmaşıklığı karşısında deterministik yaklaşımların doğal olarak yetersiz kalması bu süreçlerin istatistiksel olarak tanımlanmalarını zorunlu kılmıştır. Hidrolojik uygulamalarda birbirine alternatif olabilen çeşitli istatistiksel yaklaşımlar vardır. Aynı amaca hizmet eden yaklaşımlardan hangisinin en iyi sonuç verebileceği mevcut hidrolojik ve meteorolojik verilerin analizi ile belirlenir.

Pavlić ve Parlov (2019) yaptıkları çalışmada Hırvatistan'ın karstik kuzey bölgesinde yer alan Kupa ve Dobra Nehri havzalarına ait hidrolojik ve meteorolojik verilere iki farklı dönem için (1986–1994, 2001–2009) korelasyon ve spektrum

analizleri yaparak karst akiferlerinin davranışını incelemişlerdir. Akım verileri üzerinde yapılan analizler sonucunda akışın önemli bir kısmının taban akışından meydana geldiğini belirlemişlerdir. İncelenen dört akım gözlem istasyonunun da aynı akifer sistemine ait oldukları ancak havzaların hangi ölçüde etkileşim halinde oldukları bölgenin karmaşık tektonik yapısı nedeniyle ortaya çıkarılamamıştır. Çalışma sonucunda karst akiferlerinin hidrojeolojik karakterlerinin karstik bölge akarsu rejimi üzerindeki etkilerinin iklimsel faktörlere kıyasla çok daha büyük olduğu sonucuna ulaşmışlardır [1].

Kadic' ve diğ. (2018) yaptıkları çalışmada komşu karst kaynakları arasındaki hidrolojik ilişkiyi akış verileri ve meteorolojik veriler arasında kısmi korelasyon analizleri yaparak açığa çıkarmışlardır. Kurak ve yağışlı dönem olmak üzere iki farklı dönemde yapılan analizler sonucunda Žrnovnica kaynağının Jadro kaynağının akışı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu tespit etmişlerdir. Bağıl nemin ve yağışın karst kaynaklarının oto-korelasyon fonksiyonları üzerinde herhangi bir etkisi olmadığını; sıcaklığın ise özellikle yağışlı dönemde önemli bir parametre olduğu sonucuna ulaşmışlardır [2].

Arıkan ve Ekmekçi (1985) Manavgat Nehri Havzası yağış-akış ilişkilerini çoklu korelasyon-regresyon teknikleriyle analiz etmişler ve buradan elde ettikleri bulgularla üç aşamalı deterministik bir model oluşturmuşlardır [3].

Zaifloğlu (2013) taban akışını elde etme yöntemleri arasında literatürde sıkça başvurulan İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi (İHEY)'ni akış verileri üzerinde uygulayarak taban akışını hesaplamış ve çok değişkenli regresyon denklemiyle elde edilen taban akışı tahminleri ile kıyaslamada kullanmıştır [4].

Acar (2013) "Çoruh Hidrolojik Havzasında Yıllık Yağış Verilerinin İstatistiksel Modellemesi" adlı çalışmasında, Çoruh hidrolojik havzasındaki 34 adet yağış gözlem istasyonuna ait yıllık toplam yağış değerlerinin, model olarak en uygun olasılık dağılım fonksiyonlarını belirlemiştir. Modelin uygunluğu hem nonparametrik testler olan Kolmogorov-Smirnov ve Ki-kare testi, hem de grafik yöntemlerle analiz edilmiştir. Bazı istasyonların en iyi normal dağılıma, bazılarının ise en iyi log-normal dağılıma uyduğu görülmüştür. Yağış miktarı nispeten fazla olan istasyonların çoğunlukla log-normal dağılıma daha iyi uyduğu görülürken, az yağış alan istasyonlar normal dağılıma daha iyi uymuştur [5].

Namlı (2019) yaptığı çalışmada, Fırat- Dicle ve Yeşilirmak havzalarında 1986-2011 yılları aralığında taşkın trend analizi yaparak bu yıllar arasında trendin başladığı noktayı belirlemiştir. Trend analizi ve değişim noktasını belirlemek için Ardışık Mann- Kendall yöntemi kullanılmıştır [6].

Xu ve diğ. (2018) tarafından, Çin'in Hutuo Havzasında yıllık, mevsimsel ve aylık bazda taşkın trend analizi yapılmıştır. 1956-2011 yılları arasındaki sıcaklık, yağış, nem, akış, rüzgâr gibi pek çok veriyi ele alarak iklim değişikliği ile ilgili bir değişim olup olmadığı incelenmiştir. Bu analizde Mann Kendall ve benzer yöntemler kullanarak çeşitli trendler gözlemlenmiştir. Ayrıca Ardışık Mann Kendall yöntemi ile bir değişim noktası bulunarak bu değişim noktasına göre kıyas yapılmıştır [7].

Fan ve diğ. (2013) Çin'in en büyük iç nehir havzası olan Tarım Nehri Havzası üzerinde yaptıkları çalışmada nehrin büyük bir kısmını oluşturan dört kaynak akıntısının 50 yıllık bir zaman diliminde değişimlerini incelemiştir. Taban akışını ayırmak için dijital filtreleme metodunun kullanılan çalışmada akımlara ait trendler Mann-Kendall yöntemiyle belirlenmiştir. Çalışma sonucunda büyük taban akışı indekslerinin yağışlı dönemlerde oluştuğunu, taban akımlarının 3-5, 10-15 ve 25 yıllık döngülere sahip olduklarını, yüzeysel akış üzerinde yağışın büyük bir etkisi olmasına karşın taban akışı üzerinde sıcaklığın etkili olduğunu açığa çıkarmışlardır [8].

1.1.2 Havzalar Arası Su Transferinin Değerlendirilmesi ile İlgili Literatür Araştırması

Wilson ve diğ. (2017) yaptığı çalışmada Çin'de inşası devam eden Kuzey-Güney Su Transferi Projesi'nin ekonomik, sosyal ve çevresel etkilerini sürdürülebilirlik açısından değerlendirmiştir. Çalışma sonunda projenin suyun temin edildiği havzada büyük çevresel zarara sebep olduğunu; suyun ulaştığı havzada ise belirli bir çevresel faydanın sağlanamayacağını, sosyal açıdan yüzbinlerce insanın taşınmasına ve su kaynaklarını yöneten kurumlar arasında anlaşmazlıkların çıkmasına sebep olacağını, projenin ekonomik gelirinin ise hedeflenen gelirden farklılık gösterdiğini ve ulusal düzeyde bir ekonomik faydayı garantilemediğini belirtmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar periyodik ve kapsamlı bir değerlendirme yapılmadıkça projenin uzun vadede sürdürülebilir olamayacağı yönündedir [9].

Bonacci ve Andri'c (2010) yaptıkları çalışmada Hırvatistan'ın karstik kuzey bölgesinde yapılan havzalar arası su transferinin hidrolojik etkilerini ortaya çıkarmayı amaçlamışlardır. Çalışmada su transferi için inşa edilen rezervuarlar üzerinde yer alan Dobra ve Mreznica nehirlerinin akımları su transferi öncesi ve sonrası olmak üzere iki farklı dönem için incelenmiştir. Çalışma sonunda su transferinin nehirlerin rejimi üzerinde ani ve güçlü bir değişikliğe neden olduğunu göstermişlerdir. Rezervuarların karst polyelerinin yeraltı suyu seviyesinin değişmesine sebep olduğunu bunun da Dobra Nehri'nin debisinin azalmasına yol açtığını öne sürmüşlerdir [10].

Bharati ve diğ. (2008) yaptığı çalışma ile Hindistan'daki Ulusal Nehir Bağlantı Projesi'nin bir parçası olan Godavari Nehri ve Krishma Nehri bağlantısını WEAP (Water Evaluation and Planning System) hidrolojik modeli kullanarak değerlendirmiştir. Model çıktılarından suyun transfer edildiği havzada tarımsal sulamadan kaynaklanan baskının azaldığını fakat Godavari Havzası'nın su bütçesinde açık olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca muson yağmurlarından kaynaklanan büyük mevsimsel değişimim proje planlamasında göz ardı edildiğini belirtmişlerdir [11].

Bui ve diğ. (2020) yaptıkları çalışmada İran'da bulunan Urmia Gölü'nün su seviyesini korumak amacıyla yapılan su transferinin etkilerini değerlendirmek üzere suyun ulaştığı havzadaki akış değişimini incelemişlerdir. Transfer sonucunda Gadar Nehri'nin akışının yaklaşık 3 katına çıktığı ve su seviyesinin 1 metre yükseldiği bunun bahar aylarında taşkına sebep olduğu görülmüştür. Projenin çevresel hasara sebep olduğu belirtilmiştir [12].

Karakaya (2006) yaptığı çalışmada iki farklı su havzası arasında su transferinin yapılıp yapılamayacağını, transfer yapılacak ise ne kadar suyun transfer edilebileceği hakkında karar verilebilmesine yardımcı olabilecek, konuyu sadece çevresel boyutu ile ele alan güvenilir, basit ve ülkemizin koşullarına uyarlanabilecek uygun bir karar destek sistemini geliştirmiştir. Geliştirilen karar destek sistemi bir örnek olmak üzere Büyük Melen Su Transfer Projesi için uygulanmıştır [13].

1.1.3 Havzalar Arasındaki Etkileşimin Değerlendirilmesi ile İlgili Literatür Araştırması

Günay 1985'te Manavgat Nehir Havzası ile komşu havzaları karst hidrojeolojisi açısından incelemiştir. Çalışmalar Manavgat Çayı'ndaki boşalımın drenaj alanına düşen yıllık ortalama yağışın üç-dört katı olduğunu göstermiştir. Bu durum Manavgat Nehri ile diğer havzalar arasında bir ilişkinin olduğunu ortaya çıkarmıştır. Yeraltı suyu inceleme tekniklerinin uygulanması sonucu Manavgat Nehri ile Gembos, Eynif, Sobuca polyeleri ve Değirmenlik alanı arasında bağlantı olduğunu göstermiştir. Manavgat Nehri ile Beyşehir Gölü arasındaki ilişki için pahalı ve detaylı bir çalışma gerektiğinden araştırma yapılamamıştır [14].

Yurtsever (1978) Dumanlı kaynağı ile Beyşehir Gölü arasında bir ilişki olamayacağını; Dumanlı kaynağının Manavgat Havzası'nın batısında yer alan havzalardan ve Suğla Havzası'ndan beslendiğini iddia etmiştir [15].

Ekmekçi (1987), Beyşehir Gölü ile yakın havzalarda oluşan akış arasındaki etkileşimi araştırmak için hidrometeorolojik veri analizi yapmış ve istatistiksel bir yaklaşım kullanmıştır. Gölden karstik alanlara sızan su miktarı hakkında bir fikir elde etmek amacıyla 23 yıllık bir periyot için aylık olarak su bütçesi hesaplaması yapmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar sızmanın $5 \text{ m}^3/\text{s}$ olduğu ve göl su seviyesinin yükseldiği yağışlı periyotlar boyunca $29 \text{ m}^3/\text{s}'ye$ ulaştığı şeklindedir. Verinin istatistiksel analizi Beyşehir Gölü'nün su seviyesi ile Manavgat ve Köprüçay havzalarının akışı arasında çok zayıf bir korelasyon olduğunu göstermiştir. Göldeki su seviyesi ile boşalım arasındaki ilişki yağışlı mevsimlere karşılık gelen periyotlar boyunca önemli oranda arttığı açıklanmıştır [16].

Doğan ve diğ. (2013) Beyşehir Gölü yüzey suyu toplama alanındaki yeraltı suları drenaj alanının, güneyden Gembos ve Eynif Polyelerini de içine aldıktan sonra Manavgat ve Köprüçay havzalarına kadar uzandığını belirtmişlerdir. Hatta bu alan içine Suğla Ovası ve onunla yakın ilişkisi nedeniyle Akseki Havzası da dahil edilebileceğini; bu durumda yeraltı suyu drenaj alanı, yüzey suyu drenaj alanının en az 2-3 katı büyüklüğünde bir alanı içerdiğini öne sürmüşlerdir [17].

Eriş ve Wittenberg (2015) karstik yapıya sahip Akdeniz Bölgesi akarsularında çekilme eğrisi parametrelerinin ve taban akışının belirlenmesi için çeşitli çalışmalar yapmıştır. Çalışma sonucunda, Manavgat Nehri'nin özellikle kuzey ve

kuzeybatısından geldiği düşünölen yeraltı suyunun gecikme süresinin yaklaşık olarak 1-1,5 ay olduğu belirtmişlerdir. Sinanhoca yeraltı suyu havzası alanının, Şahapköprü ve kuzeyi ile Bolasan Havzası'nın bir kısmını kapsayacak şekilde, yerüstü drenaj alanından yaklaşık üç kat daha büyük olduğunu ileri sürmüşlerdir [18].

Birleşmiş Milletler 'in (1983) yeraltı suyu araştırma çalışmaları ile ilgili hazırlanan raporda [19] Beşkonak Çayı'nın Beyşehir Gölü'ndeki düdenler vasıtasıyla gerçekleşen su kaçaklarından beslendiği, Gembos Polyesi'ndeki akımın ise Beyşehir Gölü'ne ulaştığı ifade edilmiştir.

Çultu ve Altınbilek (1971) Manavgat Nehri beslenme karakteristikleri ile ilgili yaptıkları istatistiksel analizler sonucunda Manavgat Havzası'nın Akseki, Gembos, Eynif, Çobankara ve Suğla gibi komşu havzalardan beslendiğini ortaya koymuşlardır [20].

1.2 Tezin Amacı

Gembos Kapalı Havzası'nda inşa edilmiş olan Derebucak Barajı'ndan, GDK ile Beyşehir Gölü'ne su aktarılması, ölkemizde havzalar arası su transferi projelerinin ilklerindedir. Gembos Kapalı Havzası'nın kuzeyinde ölkemizin en büyük 3. gölü aynı zamanda en büyük tatlı su gölü olan Beyşehir Gölü, güneyinde ise ölkemizde doğan ve karasularımızda denize dökölen, kamuoyunda çokça gündeme gelen akarsularımızdan Manavgat Nehri su toplama havzası bulunmaktadır. Hem Beyşehir Gölü hem de Manavgat Nehri, önemi her geçen yıl artan tatlı su kaynaklarımızdandır.

Su transferinin gerçekleştiği bölge Türkiye'nin en önemli karst bölgelerinden biri olan Batı Toroslar içinde yer almaktadır. Nitekim Gembos Kapalı Havzası'na düşen yağış sularının bölgedeki düdenler vasıtasıyla güneyindeki yüzey karstının yoğun olarak geliştiği bir alanda yer alan Manavgat Çayı'nı beslediği bilinmektedir. Öte yandan geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarda Beyşehir Gölü su seviyesinde artış olması halinde, gölün güneydeki karstik boşluklardan su kaçağı olduğu ve bu su kaçaklarının yeraltı suyu akımı olarak Manavgat Çayı'nı beslediği ileri sürölmüştür.

Bu çalışmada; Gembos Havzası'ndan Beyşehir Gölü'ne su transferi öncesi ve sonrası dönemler için Beyşehir Gölü Havzası ve Manavgat Çayı Havzası'ndaki hidrometrik

ve meteorolojik verilerin istatistik analizleri yapılarak su transferinin Beyşehir Gölü'ne ve Manavgat Çayı'na olan etkisinin belirlenmesi ve bu havzalar arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Havzalar arası ilişkiyi belirlemek için Manavgat Çayı üzerinden bulunan Sinanhoca ve Şelale AGİ'nin toplam akış verileri ile nehrin taban akışı dijital filtreleme yöntemi ile belirlenmiş ardından havzalara ait hidrometeorolojik verilere trend analizi, korelasyon ve regresyon analizi uygulanmıştır.

1.3 Hipotez

Su transferinin gerçekleştiği Gembos Kapalı Havzası bir polye olup havzaya düşen yağış geçmişte düdenler ve karstik jeolojik yapısı sayesinde yeraltına sızmakta, oradan da Manavgat Çayı Havzası'na veya Beyşehir Gölü'ne ulaşmaktaydı. 2008 yılında faaliyete geçen GDK ile bu sular yeraltına sızmadan Beyşehir Gölü'ne doğrudan aktarıldığı için bu su transferinde iki havza değil üçüncü bir havza olan Manavgat Çayı Havzası'nın da etkilenebileceği düşünülmektedir. Öte yandan geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarda Beyşehir Gölü su seviyesinde artış olması halinde, göldeki karstik boşluklardan su kaçağı olduğu ve bu su kaçaklarının yeraltı suyu akımı olarak Manavgat Çayı'nı beslediği ileri sürülmüştür. Bu nedenle yeraltından hidrolik etkileşim halinde olduğu ileri sürülen Manavgat Çayı, Beyşehir Gölü ve Gembos Havzası'nın su transferinin başladığı 2008'den günümüze kadar olan süreçte ilgili havzalarda nasıl hidrolojik değişikliklerin gerçekleştiğinin incelenmesi bu çalışmaya özgünlük katmaktadır.

2.1 Genel Bilgiler

Havzalar arası su transferi; bir boru hattı veya kanalla herhangi bir havzadan bir başka havzaya suyun yapay yollarla iletilmesi olarak tanımlanabilir. Gereksinim duyulan yerde ve/veya havza içinde mevcut su kaynaklarının endüstriyel, tarımsal ve kentsel su ihtiyacını karşılayamaması, su kaynaklarının restorasyonu, kuraklık, mevcut su temin sisteminin performansını ve esnekliğini artırmak, enerji üretimi vb. gerekçelerle dünyanın birçok bölgesinde çeşitli su transfer projeleri hayata geçirilmiştir. Ancak büyük ölçekli su transferi projelerine teknolojik kısıtlamalar nedeniyle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren başlanmıştır [13].

2.1.1 Transfer Çeşitleri

Su transferi çeşitleri aşağıdaki şekilde gruplandırılmaktadır:

1. Kalıcı/sürekli transfer,
2. Şarta bağlı transfer/kurak dönem alternatifi,
 - Uzun dönem (20-50 yıl),
 - Orta vadeli dönem (3-10 yıl),
 - Kısa dönem (1-2 yıl),
3. Anlık su transferi,
4. Su bankası uygulaması çerçevesinde su transferi,
5. Geri kazanılmış suyun transferi ve
6. Su değişimi çerçevesinde su transferi

Kalıcı veya sürekli transferde alıcı satıcıdan su kullanım hakkını kalıcı/sürekli olacak şekilde satın alır. Su mülkiyeti devletin hüküm ve tasarrufu altındaysa kaynak sürekli kullanılmak üzere su ihtiyacı olan bölgeye tahsis edilebilir. Tarım alanlarında bu tür bir transfer;

- Kuru tarıma dönüşü,
- Toprağın uzun süreli nadasa bırakılmasını,
- Sulamada düşük kaliteli suyun kullanılmasını,

beraberinde getirmektedir. Genellikle su kullanım hakkını sürekli olacak şekilde satın almak tercih edilen bir durum değildir. Özellikle; kuraklık, doğal afetler nedeniyle şebekede veya rezervuarlarda meydana gelen büyük tahribatlar, mevcut su kaynaklarının kirlenmesi ve beklenmeyen büyük su talebi ve benzeri özel durumlarda şarta bağlı antlaşmalar tercih edilmektedir. Şarta bağlı transferin süresi ihtiyaç sahibinin beklentilerine ve amacına bağlı olarak değişebilmektedir [13].

Anlık su transferi uygulaması deprem, sel, toprak kayması vb. felaketler nedeniyle mevcut su temin sisteminin çökmesi durumunda gündeme gelen geçici uygulamalardır.

Su Bankası uygulaması ilk defa Kaliforniya’da denenmiştir. 1987–1992 yılları arasında süren kuraklık nedeniyle Kaliforniya’da kuraklıkla mücadele etmek amacıyla bir ekip oluşturulmuştur. Bu ekip kuraklığa karşı alternatif bir çözüm olarak su bankası sistemini tasarlayıp uygulamışlardır. Çok sayıda özel kuruluş (ekim yapmayan çiftçiler, ihtiyaç fazlası suya sahip olan kişi ve kuruluş, vb.) bankaya su satmış 12 kurum ve kuruluş da su satın almıştır. “Satın alınan suyun %90’ı kentsel ve endüstriyel amaçlar için kullanılmıştır. 1992 ve 1994 yıllarında banka yeniden faaliyete geçirilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu deneyimden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir (Karakaya, N., 2006; [21] [22])”:

- Tek bir merkezi bankanın olması çeşitli avantajları beraberinde getirmektedir. Suyu taşımanın maliyeti oldukça azalmaktadır. Alıcılar ile satıcılar arasındaki antlaşma daha kolay gerçekleşmektedir. Alıcı ve satıcılar kolay iletişim kurmakta ve terminolojide zorluk yaşamamaktadır,
- Tüm sektörler su satın alarak ihtiyaçlarını karşılama yoluna gidebilmektedir. Özellikle kurak dönemlerde çiftçiler çok yüksek meblağlar ödeyerek su almaktadır,
- Su satışı kurak dönemlerde ilgi ile karşılanmaktadır,
- Depolama ve taşıma transferin iki önemli konusudur,
- Özel yasal düzenlemeler gerekebilir,

- Su bankası su transferini kabul edilebilir hale getirmektedir.

Kentsel atık sular geri kazanılarak tarımsal sulama suyu olarak kullanılabilir. Bu nedenle geri kazanılan kentsel atık suyun tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak sürdürüldüğü ve su ihtiyacı olan havzalara transfer edilmesi söz konusu olabilmektedir.

Su değişim uygulamasında, havzada bulunan daha iyi kalitede su diğer havzadaki düşük kaliteli su ile anlaşmalar çerçevesinde takas edilebilmektedir (Karakaya, N., 2006; [21] [22]).

2.1.2 Sınıflandırma

Su transferi projelerinin en önemli parametreleri “transfer edilen su miktarı” ile “iletim mesafesidir”. Her iki parametre de transferin maliyetini, çevresel, sosyal ve kültürel etkilerini belirlemektedir. Bu nedenle iki parametreyi birlikte ele alarak bu tür projeleri sınıflandırmak için Tablo 2.1’de verilen bir indeks geliştirilmiştir. Kanada’da büyük su transferi projelerinin indeksi 1000–2000 km³-km/yıl arasında değişirken Amerika Birleşik Devletleri’nde 4000–4500 km³-km/yıl arasında değişmektedir [23].

Tablo 2.1 Su transferi projelerinin sınıflandırılması [23]

Kategori	Transfer Edilen Su, W (km ³ /yıl)	Mesafe, L(km)	İndeks, WL (km ³ -km/yıl)
Küçük	<1	<100	<100
Orta	1-2,5	100-400	100-1000
Büyük	2,5-5	400<1000	1000-5000
Çok Büyük	5,1	1000<2500	5000-25000
En Büyük	>10	>2500	>25000

2.2 Havzalar Arası Su Transferinin Dünyadaki Uygulamaları

Amerika Birleşik Devletleri’ndeki büyük ölçekli su transferi projelerinin çoğu, ülkenin batı yarısındaki nehir sistemleri boyunca yer almaktadır. Kentsel kullanım ve sulama amacıyla hayata geçirilen bu projelerde Colorado, Columbia, Missouri, ve Snake gibi yüksek debili nehirlerden kurak bölgelere su aktarılmıştır. Ayrıca sulu tarım ve çiftlik faaliyetleri maksadıyla çöl alanlarının ıslahı için 1902 yılında İçişlerine bağlı bir Islah Dairesi (USBR) kurulmuştur. Dairenin 1936’ta tamamlanan ilk büyük transfer projesi tarım, kentsel ve endüstriyel kullanım için su sağlamanın

yanı sıra Hoover barajıyla ayrıca yıllık 4 milyar kilowatt-saat hidroelektrik enerji üretmektedir. Ulusal su transfer projelerinin çoğundan sorumlu olan Islah Dairesi (USBR) Mayıs 2002 itibariyle 302,2 milyar m³ su kapasiteli 348 rezervuarı işletmiştir [24].

Çin her ne kadar su kaynakları açısından zengin bir ülke olsa da kaynakların dengesiz dağılımı ülkenin ana problemlerinden biridir. Çin'in kuzey bölgesinde kuraklık ve su sıkıntısı yaşanırken güney bölgesi ülkenin su kaynaklarının %81'ne sahiptir. Bu sebeple Çin Güney-Kuzey Su Transferi Projesi ile yıllık 44,8 milyar m³ suyu güneydeki Yangtze Nehri'nden daha kurak ve sanayinin gelişmiş olduğu Kuzey bölgesine transfer etmeyi amaçlamıştır. 2050 yılında tamamlanması planlanan projenin maliyetinin yaklaşık 62 milyar dolar olacağı tahmin edilmektedir. Tamamlandığında Yangtze, Yellow, Huahe ve Haihe nehirlerini birbirine bağlayacak olan projenin doğu, merkez ve batı olmak üzere 3 hattı bulunmaktadır. 1.156 km uzunluğundaki Doğu Hattı ile yıllık 14,8 milyar m³ suyu Grand Kanal aracılığıyla Hangzhou'dan Beijing'e ulaşacaktır. 1267 km uzunluğundaki Orta Hat Projesi ile Danjiangkou su alanından çekilen su Beijing-Guangzhou demiryolu boyunca kuzeye yönelerek doğrudan Beijing ve Tianjin kentlerine ulaşacak, bu hat yaklaşık 333.000 kişinin taşınmasına sebep olacaktır. 450 km uzunluğundaki batı hattının ise yıllık 17 milyar m³ suyu kuzey bölgesine ulaştırması planlanmıştır [25].

İspanya'da 1978 yılında tamamlanan Tagus-Segura transfer projesiyle Tagus Nehri'nden temin edilen su 286 km uzunluğundaki kanal aracılığıyla Segura, Jucar ve Guadiana havzalarına aktarılmaktadır. Ana amacı Alicante, Murcia ve Almeria bölgelerinin yıllık 0,5 km³ olarak hesaplanan su gereksimini karşılamak olan projeye 147000 hektar alan sulanmaktadır ve 76 kente su sağlanmaktadır. Proje sonucunda nihai olarak kentsel su kullanımı ve tarım ürünlerinde artış gerçekleşmiştir [26].

Afrika'nın su kaynakları yönetimi açısından en önemli gelişmelerinden biri olan Lesoto Highlands Su Projesi hidroelektrik enerji ve endüstriyel kullanım amaçlı devam eden bir su temini projesidir. Lesoto ve Güney Afrika hükümetleri arasında ortaklaşa geliştirilen proje ile Lesoto'da inşa edilen altı büyük baraj ve tüneller aracılığıyla Afrika'daki Vaal Nehri Havzası'na su transfer edilecektir. 4 ana

bölümden oluşan proje tamamlandığında Lesoso'nun elektrik ihtiyacının neredeyse tamamının karşılanması öngörülmektedir [26].

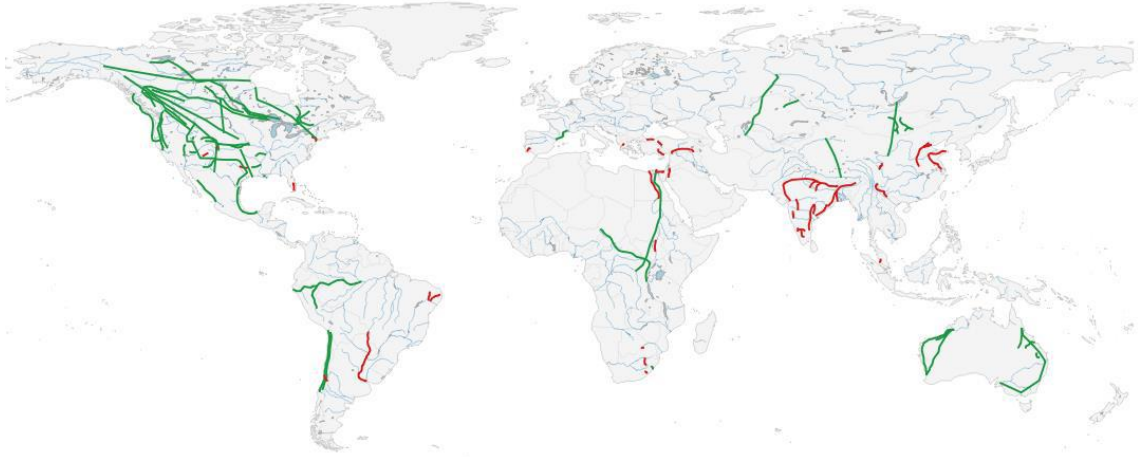
Hindistan dünya nüfusunun %18'ne sahip olmasına karşın su kaynaklarının yaklaşık %4'üne sahiptir. Bu doğrultuda Hindistan'da su kaynaklarının etkin kullanımı için Nehirler Arası Bağlantı Projesi planlanmıştır. Proje kuzey Himalaya bölgesinde 14 bağlantı ve Hindistan yarımadasında 16 bağlantı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Proje ile yıllık 174 milyar m³ su 19.000 km'lik uzunluğundaki kanal ağıyla transferi sağlanacaktır. 120 milyar dolara mal olacak projenin tamamlanmasıyla 34 milyon hektar alanın sulanması ve 34.000 megavat elektrik üretimi mümkün olacaktır [11].

İran bulunduğu coğrafya itibariyle kurak bir bölgede yer almaktadır. Yıllık yağış yüksekliği ortalama 250 mm'dir ve bu yağış miktarı bölgeler arasında önemli derecede farklılık göstermektedir. Daha yağışlı olan kuzey bölgesinde yağış yüksekliği ortalama 1000 mm iken iç kesimler ve güneyde bu yükseklik 100 mm'ye kadar düşmektedir. Hızlı nüfus artışı, gelişen endüstri, tarımsal su ihtiyacı ve uzun yıllardır süren kuraklık nedeniyle İran'da birçok su transferi projesi hayata geçirilmiştir. Tablo 2.2'de bu projelerin bazıları ile ilgili özet bilgiler verilmiştir [27].

Tablo 2.2 İran'da bazı su transferi projeleri [27]

Proje	Uzunluk (km)	Debi (milyon m ³ /yıl)
Yazd Şehri	335	90
Zahedan Şehri	200	27
Bandarabbas Şehri	97	60
Tabriz Şehri	180	150
Mahshahr Şehri	744	15
Kashan Şehri	190	42
Ahvaz Şehri	85	39

Farklı coğrafyalardan örnekleri sunulan bu projelerin yanı sıra yakın gelecekte tamamlanacak olan birçok su transferi projesi planlama ve/veya yapım aşamasındadır. Şekil 2.1'de büyük ölçekli su transferi projelerinin küresel dağılımı görülmektedir. Bu projelerin kıtalar ayrımında özet bilgileri Tablo 2.3'te yer almaktadır.



Şekil 2.1 Büyük ölçekli su transferi projelerinin küresel dağılımı [28]

¹Yeşil hatlar yapım aşamasında ve kırmızı hatlar planlama aşamasında olan toplam 76 projeyi göstermektedir.

Tablo 2.3 Kıtaların planlama veya yapım aşamasında olan büyük ölçekli su transferi projeleri [28]

Kıta	Proje Sayısı	Toplam Transfer Mesafesi (km)	Toplam Su Transferi Hacmi (km ³ /a)	Toplam Maliyet (milyar dolar)
Kuzey Amerika	34	30.240	1346	1.936
Asya	17	28.450	321	522
Afrika	9	6.600	233	130
Avustralya	7	8.720	12,9	72
Güney Amerika	6	11.780	8,2	36
Avrupa	3	2.350	1,9	12
Toplam	76	88.140	1923	2.708

2.3 Türkiye’de Havzalar Arası Su Transferi Uygulamaları

Türkiye’de su potansiyelleri birbirinden önemli derecede farklı olan 26 adet havza bulunmaktadır. Su kaynaklarının yanı sıra bu havzalarda sosyo-ekonomik ve demografik yapı da büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Bu farklılıklar sebebiyle kimi havzalarda su gibi doğal kaynaklar sosyo-ekonomik sistemin ihtiyacını karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple, su sıkıntısı çeken havzaların su talebini karşılamak maksadıyla büyük ölçekli su transfer projeleri son yıllarda Türkiye’de de gündeme gelmiş ve birçok proje uygulamaya konmuştur [13]. Endüstriyel ve kentsel su ihtiyacını karşılamının yanı sıra tarımsal su ihtiyacını karşılamak amacıyla da transfer projeleri gerçekleştirilmiştir Aşağıdaki bölümlerde

Türkiye'deki önemli havzalar arası su transferi projeleri hakkında kısa bilgiler sunulmuştur.

2.3.1 İstanbul Su Transferi Projeleri

İstanbul kentinin artan su talebini karşılamak amacıyla büyük ölçekli su transfer projeleri planlanmıştır. Bu projeler hakkında özet bilgiler aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

2.3.1.1 Istranca Projesi

Istranca projesi ile Yıldız Dağları'nın kuzeyinden Karadeniz'e dökülen dereler üzerinde kurulan Düzdere, Kuzuludere, Büyükdere, Sultanbahçedere ve Elmalidere barajlarında toplanan su Terkos Gölü'ne aktarılmaktadır. Aktarılan su ile İstanbul'un yıllık 200 milyon m³ su ihtiyacı karşılanmaktadır.

2.3.1.2 Yeşilçay Projesi

Yeşilçay Projesi, Büyük Melen Sistemi devreye girmeden önce İstanbul'un orta vadeli içme suyu gereksinimi bir an önce karşılamak amacıyla planlanmıştır. Ömerli'ye 60 km uzaklıkta bulunan Ağva bölgesinde yer alan Göksu ve Çanak dereleri üzerine yapılan Sungurlu ve İsaköy regülatörleri ile toplanan su İsaköy'deki pompa istasyonu ve 2 560 m uzunluğundaki terfi hattı ile denge bacasına, oradan da cazibe ile Darlık ve Kömürlük tünellerini de geçerek Emirli'de yapımı tamamlanan arıtma tesisine iletilmektedir. Yeşilçay Projesi ile 145 milyon m³ su İstanbul içme suyu sistemine kazandırılmıştır [29].

2.3.1.3 Büyük Melen Projesi

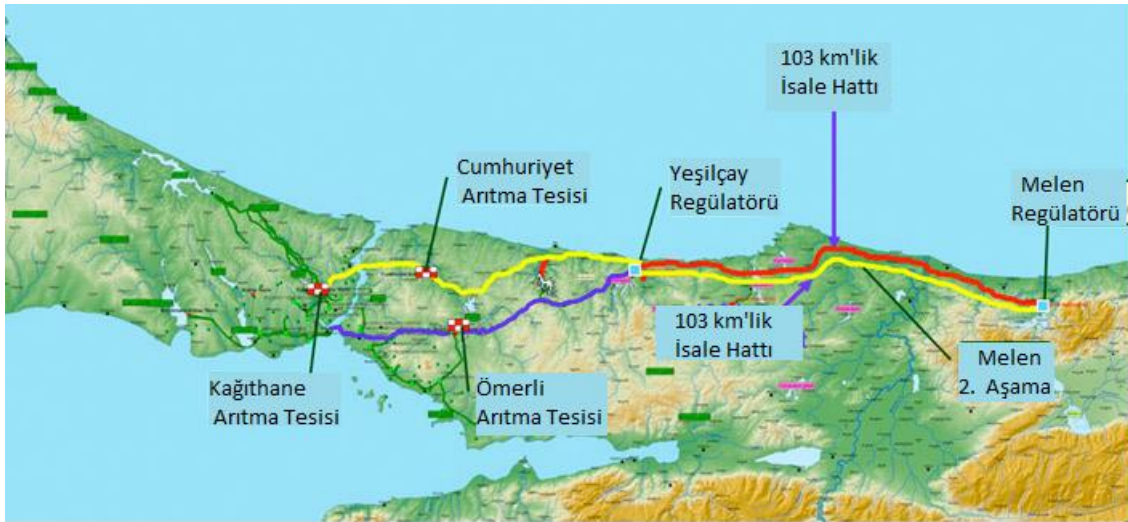
Melen Sistemi; endüstrinin hızla büyüdüğü ve nüfus artışının fazla olduğu İstanbul'da suyun arz ve talep dengesinde meydana gelen su eksikliğini gidermeye yönelik geliştirilen bir projedir (Şekil 2.2). Bu proje ile kentsel tüketimin yanında büyüyen sanayinin su talebinin karşılanmasına ve belli dönemlerde yaşanan kuraklık sebebiyle ortaya çıkan su krizine Karadenize dökülen Melen Çayı ile kalıcı bir çözüm bulunması amaçlanmıştır.

İstanbul'un 170 km doğusunda Karadeniz'e dökülen yıllık su potansiyeli 51 m³/s olan Melen Çayı'nın; 34 m³/s kısmı ile yılda 1 milyar 77 milyon m³ suyun İstanbul'a getirilmesini temin edecek Melen Sistemi ile halen su temin eden kaynaklarla

İstanbul'un 2060 yılına kadar içme ve kullanma suyu ihtiyacı karşılanmış olacaktır [30].

Proje ile yapılacaklar:

- Boğaziçi Su Tüneli; Melen'den aktarılan suyun İstanbul'un Avrupa yakasına ulaştırmak amacıyla İstanbul Boğazının 135 m altına inşa edilen tüneldir. Dünyada ilk kez iki kıtayı birleştiren bir tünel olma özelliği taşıyan bu yapı yaklaşık 5,5 km uzunluğunda olup 4 m çapındaki borular ile döşenmiştir.
- Cumhuriyet İçme Suyu Arıtma Tesisi: Melen Çayı'ndan alınan ham suyun arıtılması için İstanbul'un 30 km kuzeydoğusundaki 400 dönümlük bir arazide yapılan tesistir.
- Melen Regülatörü: Melenden barajından önce inşa edilen su çevirme yapısıdır. 2007'de tamamlanan regülatörün kapasitesi 8,5 m³/s'dir (yılda 268 milyon m³).
- Melen Barajı: Melen Çayı' üzerinde inşası devam etmekte olan baraj. Barajın öncelikli amacı İstanbul için suyu depolamaktır; ikincil fayda olarak elektrik üretimi yapılacaktır.



Şekil 2.2 Büyük Melen Projesi

*Mor hat: Yeşilçay hattı

2.3.2 Konya Ovası Projesi

Konya Ovası Sulama Projesi (KOP) (Şekil 2.3), Türkiye'nin ilk sulama projesi olmanın yanında GAP'tan sonra en büyük sulama projesi yatırımı olma özelliğini de taşımaktadır. Bu sistemin toplam su potansiyeli yaklaşık 1 milyar m³'tür. Bu suyun

700 milyon m³ kısmı Yukarı Göksu Havzasının Akdeniz'e tahliye olan dış havza sularının Konya Kapalı Havzasına aktarılması ile temin edilmektedir.

2.3.2.1 Derebucak-Gembos Derivasyonu

KOP kapsamındaki en önemli tesislerden biri olan GDK vasıtasıyla zirai araziler suyla buluşturulduğu gibi Beyşehir Gölü'ne su takviyesi yapılmıştır. Kocaçay üzerine inşa edilen Derebucak Prof. Dr. Yılmaz Muslu Barajı ile Gembos Havzasının Akdeniz'e akan sularının bir kısmı Konya Kapalı Havzasına yönlendirilmektedir. 3,5 km tünel 16 km derivasyon kanalı ile Beyşehir Gölü'ne aktarılan su, Beyşehir Gölü'nden 68,5 km boyunca uzanan BSA Kanalı ile Suğla Depolamasına, buradan Mavi Boğaz Kanyonu'na, oradan da Apa Barajına ulaşmaktadır.

2.3.2.2 Beyşehir Suğla Apa (BSA) Kanalı

Beyşehir Suğla Apa (BSA) Kanalı, Beyşehir Gölü Havzasındaki yağış sularının güvenli ve en az kayıpla Suğla Depolaması ve Apa Barajlarına iletilmesini sağlamaktadır. BSA kanalı Beyşehir Gölü regülâtöründen başlayıp Mavi Boğaz'a kadar uzanan bir hatta yer almaktadır. Proje çok amaçlı olup Beyşehir-Suğla kapalı havzasındaki su kaynaklarını optimum bir şekilde değerlendirip Beyşehir, Seydişehir ve Çumra ovaları sulamalarının ve Beyşehir-Mavi Boğaz arasında taşkın önleme görevini yerine getirecek başlangıç debisi 131 m³/s olan ve taşkın anında 405 m³/s debiyi taşıyabilecek kapasite Türkiye'nin en önemli projelerinden birinin ana kanalıdır.

2.3.2.3 Suğla Depolaması

Orta Akdeniz Havzası'ndan Konya Havzası'na 100 milyon m³/yıl Suğla düdenlerinden Akdeniz'e akan 100 milyon m³ su biriktirilmiş, terfi merkeziyle birlikte Suğla depolaması 2003 tarihinde işletmeye açılmıştır. Suğla Depolaması ile Beyşehir Gölü'nün ve Suğla Havzası'nın fazla sularını depolayarak Çumra Ovasında 26.000 ha sulamaktadır.

2.3.2.4 Mavi Tünel ve Göksu Derivasyonu

Mavi Tüneli, Bağbaşı Barajı ile Mavi Boğaz arasında yer almaktadır. Akdeniz'e boşa akan 700 milyon m³ suyu 3 barajda depolayarak (Bozkır, Afşar ve Bağbaşı Barajları) Mavi Tünel ve Göksu derivasyonu vasıtasıyla Doğu Akdeniz Göksu Havzası'ndan Konya Kapalı Havzası'na yıllık yaklaşık 414 Milyon m³ su, Türkiye'nin Şanlıurfa

tünelinden sonra ikinci büyük sulama tüneli olan 4 m çapında ve 17 km uzunluğundaki Mavi Tünel ile sulama ve içme suyu amaçlı aktarılmaktadır.



Şekil 2.3 Konya Ovası Projesi [31]

2.3.3 Zamantı Derivasyon Tüneli

Son yıllarda artan kuraklıktan dolayı Kızılırmak alt havzası olan Develi Kapalı Havzası'ndaki Sultan Sazlığında tarımsal üretim olumsuz etkilenmiştir. Havzadaki su eksikliğini gidermek için Seyhan Nehrinin bir kolu olan Zamantı Nehrinden 103 milyon m³ su Develi Kapalı Havzası'na aktarılmaktadır. Zamantı Nehri üzerindeki 187 hm³ depolama kapasitesine sahip Sulama-Enerji amaçlı Gümüşören barajı, yılda 103 hm³ su düzenli olarak Zamantı tüneline verilerek Develi Ovası'ndaki 22.546 ha arazi sulanmaktadır.

2.3.4 Kıbrıs Su Temin Projesi

Toros Dağları'nın suyunun Akdeniz'den geçirilen boru hattı aracılığıyla KKTC topraklarına taşınması projesidir. Proje kapsamında KKTC'nin yaklaşık 50 yıl boyunca içme ve kullanma suyu ihtiyacının karşılanması için Dragon Çayı (Mersin, Anamur) üzerinde kurulan Alaköprü Barajı'ndan alınan yıllık 75 milyon metreküp su Girne yakınlarında inşa edilen Geçitköy Barajı'na aktararak KKTC'nin kullanımına sunulmuştur.

2.3.5 Harran Ovası Sulaması

Şanlıurfa – Harran ovalarının sulama ihtiyacını karşılayan ana kaynak Atatürk Barajı'dır. Atatürk Barajı'ndan Harran Ovası'na kadar suyun iletimi Şanlıurfa tünelleri ile sağlanmaktadır. Şanlıurfa tünelleri paralel 2 tünelden oluşmaktadır. Her bir tünel 7,62 m çapında ve 26 km uzunluğundadır. Güneydoğu Anadolu Projesi'nin en önemli yapılarından biri olan tüneller, yaklaşık 358.000 ha cazibeyle ve 118 000 ha pompajla olmak üzere 476.000 ha araziye sulayacak şekilde planlanmıştır. Bir tünelin göl seviyesine bağlı olarak kapasitesi $164 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Tünelden suyun iletimi Ana İsale Kanalı ile sağlanmaktadır. Ana isale Kanalı'nın uzunluğu 3.826 m olup debisi $328 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Ana İsale Kanalı'ndan iletilen su Şanlıurfa – Harran ovalarına hayat veren 3 ana kanal ile buluşmaktadır. Bu ana kanallar: Mardin Ana Kanalı, Harran Ana Kanalı ve Şanlıurfa Ana Kanallarıdır [32].

GEMBOS DERİVASYON KANALI'NIN DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1 Genel Bilgiler

Türkiye'nin en önemli ve en büyük tatlı su kaynaklarından biri olan Beyşehir Gölü'nün su seviyesinin aşırı seviyede düşmesinin engellemek için Gembos Kapalı Havzası'nın suyu inşa edilen Derebucak Barajı (Şekil 3.1 b) ve GDK ile (Şekil 3.1 a) 2008 yılından itibaren Beyşehir Gölü'ne aktarılmaya başlanmıştır.

Gembos Kapalı Havzası'nın suyunu toplayan Derebucak Barajı Konya İlinin güney batısında Derebucak İlçesi sınırları içerisinde bulunan, Kocaçay üzerinde inşa edilmiştir. 37°36"43' Kuzey enlemi- 31°54"27' Doğu boylamı koordinatlarında yer alan barajın akarsu yatağından yüksekliği 52 m, normal su kotunda göl hacmi 13.80 hm³tür. Baraj, güneyindeki düdenler (Şekil A.3) vasıtasıyla Akdeniz Havzası'na boşalan Gembos Havzası'nın sularını GDK ile Beyşehir Gölü'ne aktarmak için regülatör görevi yapmaktır. Derebucak Prof. Dr. Yılmaz Muslu Barajı bugüne kadar 1 milyar 325 milyon m³ suyu Beyşehir Gölü'ne ulaştırmıştır. Su transferinin yanı sıra baraj sulama amacıyla da kullanılmaktadır. Gembos Cazibe Sulaması ile 1.520 hektar ve Yeşildağ Sulaması ile 1.520 hektar olmak üzere toplam 3.040 hektar arazinin sulanması sağlanmıştır.

Gembos Havzası'ndan Beyşehir Gölü'ne su aktarımı için kullanılan kanal ise 3,5 km uzunluğundaki tünelden ve 16 km uzunluğunda teşkil edilen derivasyon kanalından oluşmaktadır. Kanal ile göle ortalama 135 milyon m³/ yıl, yağışlı yıllarda ise 180 milyon m³/ yıl su aktarılmaktadır [33].

Tablo 3.1 Derebucak Prof. Dr. Yılmaz Muslu Barajı Teknik Özellikleri (DSİ, 2013)

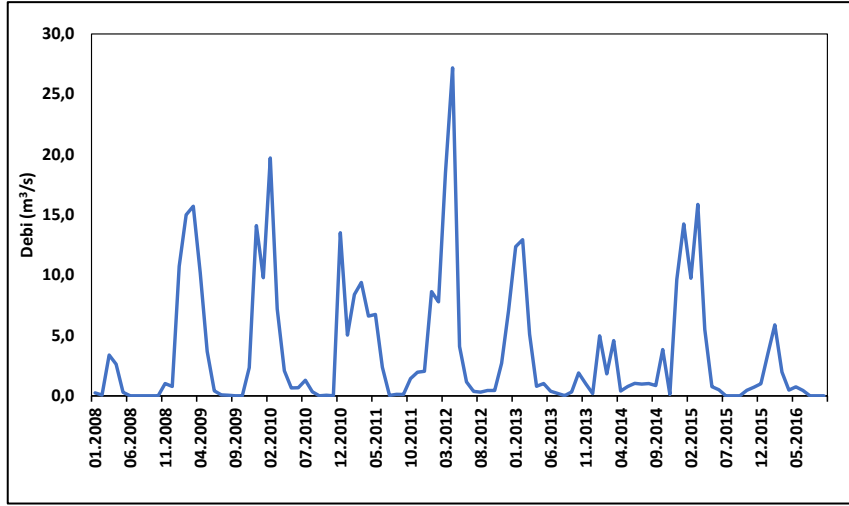
Yapım Bilgileri	
İhale Tarihi:	29.12.1994
Fiilen Başlama Tarihi:	1995
İşin Bitiş Tarihi:	2006
Toplam Maliyeti:	48.500.000 TL
Baraj	
Gövde Tipi:	Kaya Dolgu
Kret Kotu:	1263,80 m
Kret Uzunluğu:	40,8 m
Talvegden Gövde Yüksekliği:	51,8 m
Dolgu Hacmi:	665.475 m ³
Depolama Hacmi:	12,9 milyon m ³
Kullanım Maksadı:	Derivasyon ve Sulama
Sulama Şebekesi	
Tipi:	Borulu
Sulama Alanı:	3.040 ha
Şebeke Uzunluğu:	236,569 km



a.)

b.)

Şekil 3.1 a.) Gembos Derivasyon Kanalı b.) Derebucak Barajı (DSİ, 2019)



Şekil 3.2 Gembos Derivasyon Kanalıyla Beyşehir Gölü'ne aktarılan akım (DSİ, 2019)

3.2 Çalışma Alanı

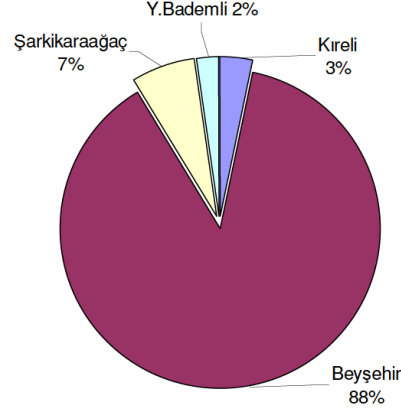
3.2.1 Beyşehir Gölü Havzası

Bu çalışmanın konusu olan 3 havzadan en kuzeyde bulunana Beyşehir Gölü Havzası, Anadolu'nun en büyük kapalı havzası olan Konya Havzası'nın güneyinde, 31°17'-31°44' D boylamları ile 37°34'-37°59' K enlemleri arasında yer almaktadır (Şekil 3.4). Göl, yaklaşık 656 km² yüzeysel alanına ve 5 m ortalama derinliğe sahiptir [34].

Göl alanının yaklaşık olarak %80'i Konya il sınırlarında ve geriye kalan %20'si ise Isparta il sınırları içinde yer almakta olup, Beyşehir Gölü çevresindeki yerleşim alanlarının içme suyu ihtiyacını karşılayan bölgenin önemli tatlı su kaynağıdır. Beyşehir Gölü havza sınırları, gölün doğusunda kalan ovalık alan hariç dağlar ile çevrilidir. Gölün kuzeyinde yer alan ve tektonik süreçlerle bölgeye gelen Kızıldağ, kuzeydoğuda Sultandağları'nın uzantısı, batısı Anamas Dağları ve güneyi ise Gidengelmiz Dağları ile sınırlandırılmıştır. Doğu tarafı nispeten tarımsal faaliyetlerin yoğunlaştığı penepren bir topoğrafik özelliğe sahip alüvyonal ovalık alanlarla kaplıdır. Beyşehir Gölü, Sultandağları ve Anamas Dağlarının arasında, kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda bulunan iki fay grubu arasındaki grabende oluşmuş tektonik bir göldür. Jeomorfolojik yapısı karstik arazi şekillerinden, çok sayıda düden ve dolinlerin birleşmesi sonucu oluşan polye karakterindedir. Havza Türkiye'nin en önemli karst bölgelerinden biri olan Batı Toroslar içinde yer almaktadır [35].

Gölün beslenmesi yağıştan, yüzeysel akıştan, yeraltı suyu akışı, dağ yamaçlarından boşalan pınarlar ve GDK ile olmaktadır. BGH, 9 ayrı alt havzadan oluşmaktadır: Beyşehir-Suğla Ara Havzası, Karadiken, Üstünler, Soğuksu- Yeşildağ, Yenişarbademli, Gedikli, Şarkikaraağaç, Kireli ve Sarısu Havzaları. Gölü besleyen toplam 27 adet çay ve dereden en önemlileri; kuzeyde Çarıksaray Deresi, batıda Ozan Çayı, güneyde Eflatun Pınarı (Sarıöz Çayı), Termiye Çayı, Karadiken, Soğuksu Irmağı ve Üstünler Deresidir. Gölden çıkış ise regülatör aracılığıyla Konya Ovası' na aktarılan akımdır (Şekil 3.4). Bunun yanında gölden Yenişarbademli, Kireli ve Şarkikaraağaç'ta bulunan pompa istasyonları aracılığıyla da su çekilmektedir (Şekil 3.3) [36]. Yaklaşık hacmi 5,4 milyar m³ olan Beyşehir Gölü'nün güvenilir su verimi IECO-AKNIL tarafından hazırlanan su kaynakları mastır planında 293 milyon m³ olarak hesaplanmıştır [37].

Havzanın yeraltı suyu drenaj alanının karstik jeolojik yapısı nedeniyle gölün güneyindeki Gembos ve Eynif polyelerini de içine alacak şekilde Manavgat ve Köprüçay havzalarına kadar ulaştığı öngörülmektedir. Bunun yanında gölün güneyinde yer alan ve yeraltı suyu akışlarıyla Manavgat Çayı 'na bağlanan obruklarla su kayıpları olmaktadır. Göl, yağışlı ve kurak mevsimlere bağlı olarak yeraltı sularıyla beslenmekte ya da su kaybetmektedir. Beyşehir Gölü yüzey alanı açısından Van ve Tuz Göllerinden sonra Türkiye'nin 3. en büyük gölü ve en büyük tatlı su kaynağıdır. Göller yöresi içerisinde bulunan irili ufaklı birçok göl içerisinde, ekonomik değeri ve doğal güzelliğiyle göze çarpan göllerden biridir. Beyşehir Gölü Havzası, İç Anadolu, Toroslar ve Batı Anadolu dağlarının kesişim noktasında bulunması ve çok farklı habitat tiplerini kapsaması sebebiyle zengin bir biyoçeşitliliğe sahiptir. Göl yüzeyinde farklı boyutlarda 33 ada bulunmaktadır. Büyük adalar çoğunlukla gölün batı kısmında yer alır ve bunlardan en önemlileri Mada, İğdeli, Orta, Aygır, Hacıakif ve Keçi adalarıdır [38].



Şekil 3.3 Beyşehir Gölü'nden çekilen suyun dağılımı [36]

3.3.2 Gembos Kapalı Havzası

Gembos Havzası 524 km² bir alanı kaplamakta ve batısında Köprüçay Havzası güneyinde Manavgat Havzası, doğusunda Beyşehir-Suğla Ara Havzası, kuzeyinde ise Beyşehir Gölü Havzası bulunmaktadır (Şekil 3.5). Gembos Kapalı Havzası'nın suyunu toplayan Derebucak Barajı güneyindeki düdenler vasıtasıyla Akdeniz Havzası'na boşalan Gembos Havzası'nın sularını GDK ile Beyşehir Gölü'ne aktarmak için regülatör görevi yapmaktadır. Su transferinin yanı sıra baraj sulama amacıyla da kullanılmaktadır. Sulanan tarım arazileri Derebucak Barajı'nın batısından başlayarak hilal biçiminde güneye doğru yönelen dar ve uzun bir ova olan Gembos Ovasında bulunmaktadır. Gembos Ovası karstik jeolojik yapısı ile polye özelliği göstermektedir (Şekil A.1). Gembos Polyesi hidrolojik olarak yüzeyden kapalıdır ve yüzeysel drenaj alanı 700 km²'den fazladır. Kuzey-Güney doğrultusunda uzanan polyenin uzunluğu 13,7 km, genişliği ortalama 1,3 km ve deniz seviyesinden yüksekliği 1210 m'dir. Gembos Ovası, Batı Torosların Beyşehir Gölü'ne bakan güney tarafında yer almakta ve yüksek miktarda yağış alan bir bölgede bulunmaktadır (Şekil A.2). Gembos Ovası'nın bulunduğu bu bölgeden gelen yağış sularının Beyşehir Gölü'ne katkısı oldukça önemli miktardadır [17].

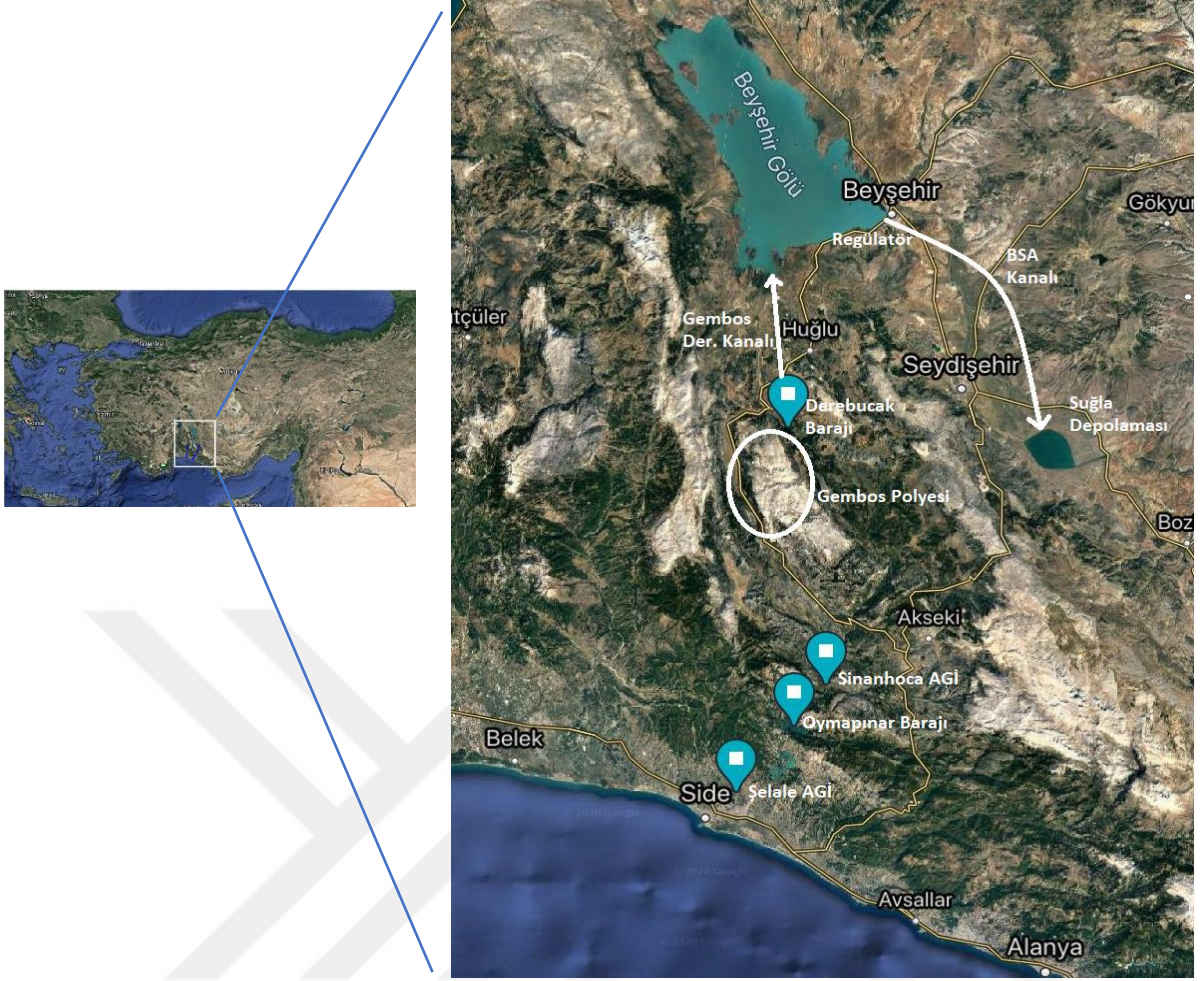
2.3.3 Manavgat Çayı Havzası

Manavgat Çayı Havzası, Antalya ilinin doğusunda, 31°20'-32°00' doğu boylamları, 36°45'-37°20' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Kuzeyde Toros Sıradağları ile güneyde Akdeniz arasında yer alır. Manavgat Çayı'nın havza yüzeyi yaklaşık 900 km² olup, akarsuyu hem yağışlar hem de karstik formasyon beslenmektedir. Havza, batıda Köprüçay, kuzeyde Beyşehir ve Suğla kapalı havzaları, doğuda Karpuz ve

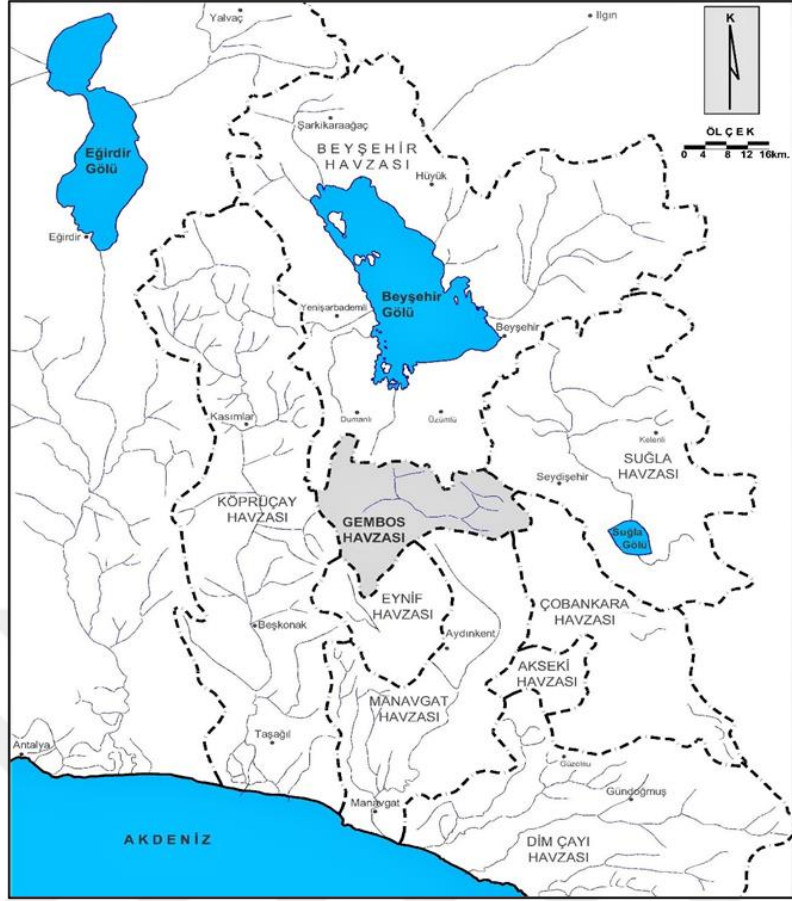
Alara çayı havzaları ile çevrilidir. Havza, Antalya'nın Manavgat, Akseki ve İbradı ilçelerinin büyük bölümünü içine almaktadır. Yerleşim birimleri ve turizm işletmeleri kıyıdaki dar, alüvyal arazide yoğunlaşmıştır. Kuzeye doğru uzanan geniş dağlık alanlar ise daha az yerleşim barındırır ve büyük bir kısmı ormanlık ve kayalık örtüye sahiptir.

Manavgat Çayı'nın başlangıcı, Beyşehir Gölü'nün 30 km güneyinde yer alan Akdağ'dır. Ancak bu başlangıç kısmında suların çoğunlukla yeraltına sızdığı bir dere görünümündedir. Buradan 10-15 km güneyden itibaren gür karstik pınarların katılmaya başlamasıyla çay görünümünü alan su ardı ardına uzanan dar ve derin sarp yamaçlı vadilerden geçer. Ancak, çok sayıdaki bu gür kaynakların suları ile kabaran Manavgat Çayı, yolu boyunca kalker arazide sızmalara uğrayarak önemli bir miktar su kaybeder, burada suları yazın azalır, hatta Akseki ile Aydıncık arasında düşen kesiminde Süzekkaya denilen yerde su dibe batar. Tekrar yüze çıkan su kısa bir mesafeden sonra gür kaynaklarla beslenir. Bu kaynakların Gembos Ovası'ndan dibe sızmış suların buradan çıktığı sanılmaktadır [39].

Manavgat Çayı ortalama akımının, yaklaşık üçte ikisinin karstik pınarlardan geldiği, nehir üzerinde bulunan Oymapınar Baraj gölü altında kalan Dumanlı pınarının ortalama akımının 50 m³/s olduğu, Dumanlı dışında kalan ve debileri 1-10 m³/s arasında değişen 40 kadar pınarın nehri beslediği bilinmektedir [40]. Türkiye'nin akım rejimi en düzenli nehri olan Manavgat Çayı üzerinde iki tane baraj inşa edilmiş olup (Oymapınar Barajı ve Manavgat Barajı), enerji üretimine büyük katkılar sağlamaktadır.



Şekil 3.4 Çalışma alanının harita üzerindeki konumu



Şekil 3.5 Çalışma alanı alt havza sınırlarını gösteren harita (Soyaslan, 2020)

3.3 Çalışmada Kullanılan İstatistiksel Yöntemler

3.3.1 Bağımsız Örneklem T-Testi

Bu test iki grubun ortalamaları arasındaki farkın anlamlılığını test etmek için kullanılan parametrik bir testtir. Analizi yapılacak olan iki zaman dilimine ait ortalamalar \bar{X}_1 , \bar{X}_2 elde edilir. Her zaman dilimine ait uzunluklar 1.zaman diliminin uzunluğu n_1 , 2.zaman diliminin uzunluğu n_2 olmak üzere belirlenir. Gözlenmiş serinin t değeri aşağıdaki denklemler kullanılarak bulunur.

Varsayımlar;

- İki örneklem grubu birbirinden bağımsızdır.
- Bağımlı değişken aralıklı veya oranlı ölçek düzeyinde ölçülmüş olmalıdır.
- Her örneklemin temsil ettiği evrenin ham puanları normal dağılım göstermektedir.
- Örneklem tarafından temsil edilen evrenlerin varyansları homojendir [41].

Hipotezler

$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$ Null Hipotezi

$H_1: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$ Alternatif Hipotez

Bağımsız Örneklem için t testi formülü;

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\left(\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}\right) \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (3.1)$$

Farkın standart hatası,

$$S_{X_1 - X_2} = \sqrt{(S^2_{ortak}) + \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \quad (3.2)$$

Örneklem varyanslarının ağırlıklı ortalaması,

$$S^2_{ortak} = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)} \quad (3.3)$$

Gözlenmiş seriye ait t değeri (3.1) eşitliği yardımıyla hesaplandıktan sonra n veri sayısına bağlı olarak, (n-2) serbestlik derecesi ve 0.05 anlam düzeyinde tablodan okunan kritik t değeriyle karşılaştırılır. Hesaplanan t değeri tablodan belirlenen kritik değerden küçük ise Ho hipotezi kabulüne; sonuç olarak gözlem verilerinin ortalamasının zamanla değişmediğine karar verilir [42].

3.3.2 Mann-Whitney U testi

Mann-Whitney U testi, bağımsız iki grubun karşılaştırılması için kullanılan parametrik olmayan bir testtir. Parametrik test varsayımları yerine getirilmeden, iki ortalama arasındaki farkın önemlilik testinin uygulanması varılan kararın hatalı olmasına neden olabilir. Parametrik test varsayımları yerine gelmediğinde kullanılabilir en güçlü test: Mann-Whitney U testidir.

Varsayımlar

- Örneklem değerleri bağımsız olmalıdır.

- Her iki örneklem, ait oldukları popülasyonlardan elde edilen rasgele örneklemelerdir.
- Her bir örneklem içindeki bağımsızlığın yanında, iki ölçüm arasında da karşılıklı bağımsızlık vardır.
- Ölçüm değişkeni en azından sıralı (ordinal) olmalıdır [43].

Mann-Whitney U testi, gözlemlerin tümünün tek bir örneklemde elde edilmiş gibi sıraya dizilmesini gerektirir. Daha sonra, elde edilen sıra numarası değerleri kullanılarak her bir grup bazında hesaplamalar yapılır; test adımları aşağıda sırasıyla gösterilmiştir. n eleman sayılı x_i örneği ile, m eleman sayılı y_j örnekleri birleştirilerek $N = n+m$ elemanlı yeni örnek elemanları büyüklük sırasına göre düzenlenir.

Düzenlenmiş örnekte bulunan x_i 'den gelmiş her bir elemanın sırası bulunur. Bu sıralar yardımıyla teste ait W istatistiği aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır.

$$W = \sum_{i=1}^n R_i \quad (3.4)$$

n ve m'nin 10'dan büyükse aşağıdaki asimptotik dağılım kullanılabilir.

$$\mu_w = \frac{n(N+1)}{2} \quad (3.5)$$

$$\sigma_w = \sqrt{\frac{nm(N+1)}{12}} \quad (3.6)$$

Gözlenmiş seriye ait z değeri ise aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanır.

$$W > \mu_w \text{ ise } z = \frac{W - 0.5 - \mu_w}{\sigma_w} \quad (3.7)$$

$$W = \mu_w \text{ ise } z = 0 \quad (3.8)$$

$$W < \mu_w \text{ ise } z = \frac{W + 0.5 - \mu_w}{\sigma_w} \quad (3.9)$$

Gözlenmiş verinin z değeri hesaplandıktan sonra belirlenen anlam düzeyinde standart normal dağılım tablosundan okunan kritik değerle karşılaştırılarak H_0 hipotezi için ret ya da kabul kararı verilir. Hesaplanan z değeri tablodan okunan kritik değerden küçükse H_0 hipotezi kabul edilir; aksi takdirde hipotez reddedilir [42]. Bu çalışmada testler için α anlam düzeyi 0.05 seçilmiştir. Bu değere karşı gelen kritik t değeri 1.96'dır.

3.3.3 Ardışık Mann- Kendall Testi ve Değişim Noktası Yöntemi

Zaman serileri için trend analizi yapmak ve değişim noktasını tespit etmek oldukça sık kullanılan analiz araçlarından. Değişim noktası tespiti, dağıtım ya da yapısal değişikliklerden dolayı süreç davranışındaki ani değişimin belirlenmesidir. Trend, geçmiş normlardan aşamalı olarak ayrılmanın tahmini olarak tanımlanabilir [44].

Ardışık Mann-Kendall testi [45] parametrik olmayan bir testtir. Bu test bize serideki trendi yani seride zamanla olan artma veya azalmayı göstermektedir. Bu testin sonuçları grafiksel olarak ifade edilmektedir. Bu grafiklerde, trend diğer yöntemlere göre daha ayrıntılı bir şekilde görülebilmektedir. Trendin hangi yıllar aralığında arttığı veya hangi yıllar aralığında azaldığı net bir şekilde görülebilmektedir. Bu test ile ayrıca değişim noktası yılı da tespit edilebilmektedir. Bu ise Değişim Noktası (Change Point) olarak ifade edilebilir. Değişim noktaları, zaman serisi verilerindeki ani değişimler anlamına gelmektedir. Bu ani değişiklikler, durumlar arasında gerçekleşen ani geçişlerdir denilebilir. Değişim noktalarının tespiti, zaman serilerinin modellenmesinde ve tahmininde faydalıdır ve iklim değişikliği tespiti, konuşma ve görüntü analizi ve insan etkinliği analizi gibi uygulama alanlarında kullanılabilir [46].

Bu testte verilerin gerçek değeri yerine, seri içindeki mertebeleri (y_i) kullanılmaktadır. Her bir y_i , ($i=1,2,3,\dots,n$) y_j 'ler ile ($j=1,2,3,\dots,i-1$) kıyaslanır. Her bir kıyaslamada $y_i > y_j$ olduğu durumlar sayılır ve bu, n_i olarak tanımlanır. n_i 'lerin toplamları ile test istatistiği olan t_i değeri bulunur.

$$t_i = \sum_{j=1}^i n_i \quad (3.10)$$

Bu istatistiğin ortalaması;

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (3.11)$$

Varyansı;

$$Var(t) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (3.12)$$

şeklindedir. Mann Kendall test istatistiği $u(t)$;

$$u(t) = \frac{t - E(t)}{\sqrt{var(t)}} \quad (3.13)$$

olarak hesaplanır [45].

Test istatistiği $u(t)$ 'nin pozitif değerleri artan bir trendin olduğunu, negatif değerleri ise zamanla azalan bir trendin olduğunu gösterir. $u(t)$ 'nin anlamlılık seviyesine karşılık gelen kritik değer olan $\pm 1,96$ 'ya ulaşması trendin önemlilik seviyesinin %95'lere ulaştığını gösterir. Grafik üzerinde $u(t)$ ve geriye doğru test istatistiği olarak hesaplanan $u'(t)$ 'nin birbirlerini kestiği ve bu kesim noktasından itibaren eğrilerin belirgin bir biçimde ayrıldığı nokta değişim noktası olarak kabul edilir. Eğer seri içerisinde herhangi bir trend yok ise $u(t)$ ve $u'(t)$ birbirlerine birçok defa yaklaşarak yakın salınımlar yaparlar [6].

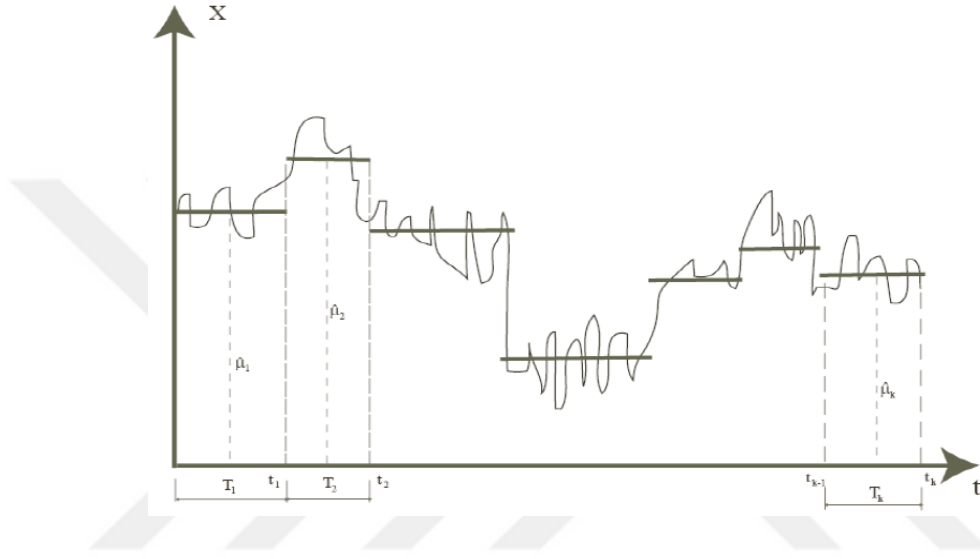
3.3.4 Segmenter Yazılımı

Zaman serileri bir olayın gözlenen değerlerinin eşit zaman aralıklarında kronolojik olarak sıralanmasıyla elde edilir. Mühendislik alanında yapılan çalışmalarda bu veriler birçok amaçla analiz edilmektedir. Özellikle yağış, buharlaşma, sıcaklık gibi hidrolojik etmenlerin rastgele yapısı nedeniyle incelenen veri kümesinde (zaman serisinde) eğilimler veya ani değişimler olması oldukça muhtemeldir [47]. Hidrolojik verilerde gerçekleşen değişimler iklimsel değişikliklerden veya yapay müdahalelerden kaynaklanabilir. İstatistik testler yardımı ile bu değişiklikler belirlenmektedir.

SEGMENTER yazılımıyla zaman serilerinde gerçekleşen değişimlerin (eğilim/sıçrama) belirlenmesi için bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma zaman serisi içinde benzer istatistik karakterde olan alt dizeleri birbirinden ayırır. Bu parçalanmış zaman serisinde her bir segment farklı bir trend yansıtabilir ve

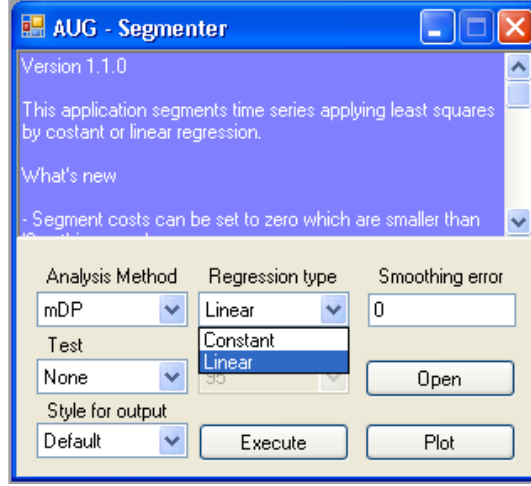
segmentleri birbirinden ayıran noktalarda seride ani bir değişim meydana geldiği söylenebilir. Zaman serisini parçalama noktasında birbirinden farklı geliştirilmiş algoritmalar bulunmaktadır. Bunlardan biri de Aksoy ve diğ., [48] tarafından geliştirilen AUG-SEGMENTER adlı yazılımdır.

Zaman serisini alt dizelere ayırmak amacıyla yazılım üzerinde üç farklı yöntem vardır. Üç yöntem de zaman serisini 1. mertebe istatistik moment (ortalama) kullanılarak tanımlanan veriyi parçalara ayırır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Parçalara ayrılmış bir zaman serisi [47]

Algoritmanın sonraki aşamasında parçalara ayrılmış segmentlerin ortalama değerlerinin birbirinden istatistiksel olarak farklı olup olmadıklarının kontrolü yapılır. Bu kontrol için yazılımda Scheffe testi kullanılmaktadır. Regresyon tipi olarak yazılımda iki farklı seçenek bulunmaktadır. Sabit regresyon tipinde segmentlerin ortalamalarında istatistiksel anlamda farklılık olduğu varsayılır. Doğrusal regresyon tipi segmentler üzerinde belirlenen trendlerin anlamlı derecede farklı olduğu kabulüne dayanır [47]. Bu çalışmada doğrusal regresyon kullanılarak her bir segmentin kendi içinde trendinin belirlenmesi ve dönemsel karşılaştırma için kullanılması amaçlanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Segmenter yazılımında regresyon seçimi

3.3.5 Korelasyon Analizi

İki ya da daha fazla rastgele değişken arasındaki ilişkinin yönü ve derecesini belirlemek için korelasyon analizi uygulanır. Değişkenler rastgele karakterde oldukları için aralarındaki ilişki de fonksiyonel (deterministik) değildir yani bir bağımsız değişkenden bir bağımlı değişkenin alacağı değer kesin olarak bilinemez. Değişkenler arasındaki ilişkinin derecesine göre aralarındaki bağıntı bir uçta fonksiyonel bağımlılık ile diğer uçta tam bağımsızlık halleri arasında değişik görünüşler alabilir. Bu gibi bağıntılara hidrolojide birçok örnek verilebilir. Birbirine yakın iki akarsuda aynı andaki akışlar, bir havzaya düşen yağış sonucu oluşan yüzeysel akış gibi. Bu bağıntıların belirlenmesi durumunda bir değişkenin alacağı değer diğer değişkenin gözlenen verisinden tahmin edilebilir [49].

Korelasyon katsayısı (r) kovaryansın standartlaştırılmış versiyonudur ve +1 ile -1 arasındaki değerleri alır. Uçlara doğru çıkan değerler iki değişkeninin arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu gösterir; sifıra yaklaştıkça da ilişkinin zayıfladığı anlaşılır. Pozitif (+) değerler, iki değişken arasındaki ilişkinin doğru orantılı, negatif (-) değerler ise ilişkinin ters orantılı olduğunu ifade eder. Çalışmada değişkenler arasındaki ilişki belirlenirken normal dağılıma sahip veriler için Pearson Korelasyon Katsayısı, verilerin normal dağılıma uymadığında ise Spearman Rank Korelasyon Katsayısı kullanılmıştır.

3.3.4.1 Çapraz Korelasyon

İki zaman serisi değişkeninin değerleri zaman içinde aynı noktada birlikte hareket edebilir veya bir değişkendeki hareketin başka bir değişkendeki hareketten önce gelmesi veya onu takip etmesi olabilir. Çapraz korelasyon analizi, zaman serilerinde, veri setleri arasındaki eş zamanlı ve gecikmeli(lag) değerlerdeki benzerliği göstermede kullanılır.

3.3.4.2 Otokorelasyon

Otokorelasyon katsayısı, zaman serisiyle bu serinin gecikmeli serileri arasındaki ilişkileri verir. Rastgele karakterli bir serinin populasyon fonksiyonu, $lag \neq 0$ için sıfır veya sıfıra yakındır.

3.3.6 Regresyon

Regresyon analizi, iki ya da daha fazla rastgele değişken arasında korelasyon bağıntısı bulunduğunda bu bağıntıyı ifade eden matematik denklemini bulmayı amaçlar. Eğer tek bir değişken kullanılarak analiz yapılıyorsa buna basit regresyon, birden çok değişken kullanılıyorsa çok değişkenli regresyon analizi olarak isimlendirilir. Basit regresyon modeli bazı durumlar için yeterli olsa da istatistik analiz çalışmalarında daha iyi tahmin denklemleri elde etmek için genellikle birden daha fazla bağımsız değişkene ihtiyaç vardır. Bu çalışmada da çok değişkenli regresyon analizi ile Manavgat Çayı taban akışının tahmini amaçlanmıştır. Çok değişkenli regresyon analizinde değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu kabul edilir ve regresyon modeli genel olarak;

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_mX_m + \varepsilon \quad (3.14)$$

denklemleriyle gösterilir. Burada Y tahmini yapılan bağımlı değişken, $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$ bağımsız değişkenler, a regresyon sabiti, $b_1, b_2, b_3, \dots, b_m$ regresyon katsayıları ve ε hata terimidir. a regresyon sabitiyle denkleminde yer alan bağımsız değişkenlerin sıfır olması durumunda bağımlı değişkenin alacağı değer gösterilir. b_i regresyon katsayılarına kısmi regresyon katsayısı da denir bu katsayılar bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi diğer bağımsız değişkenlerin etkilerini sabit tutarak ortaya koyarlar. ε hata terimi hata terimi, bağımlı değişkenin gözlemlenen değeri ile beklenen değeri arasındaki farka eşittir. Bu fark

$$\varepsilon = Y_r - Y_g \quad (3.15)$$

denklemlerle ifade edilir. Hata terimi, regresyon denkleminde dahil olmayan ancak bağımlı değişken Y 'yi etkileyebilen bütün bağımsız değişkenleri temsil eden bir ifade olarak modelde yer alır. Regresyon modeliyle elde edilen tahmin değerlerini gerçek değerlere yaklaştırmak için b_j regresyon katsayıları elde edilen n adet gözlem kullanılarak hataların kareleri toplamını en küçük yapacak şekilde belirlenir [51]. Denkleminde parametre sayısı $p=m+1$ 'dir. Gözlemlerin sayısı n ise serbestlik derecesi $s.d=n-p$ olur. Hataların çok büyük olmaması için $n > (3-4)p$ olmalıdır.

Çok değişkenli bir regresyon modelinde değişkenlerin ve modelin anlamlılığını kontrol etmek için hipotez testleri uygulanır. İlk olarak denklem 3.14'te gösterilen regresyon denkleminin istatistiksel anlamda kullanılabilirliğini belirlemek için varyans analizi yapılır. m adet bağımsız değişkene sahip karmaşık bir modelin bağımsız değişken sayısı n olan daha basit bir modele kıyasla bağımlı değişkendeki değişikliği açıklama performansı kontrol edilir. Burada elde edilen tüm regresyon katsayılarının sıfır olduğu ($H_0=b_1=b_2=b_n=0$) hipotezi, regresyon katsayılarında 0'dan farklı değer olduğu karşıt hipotez ile test edilir.

$$F = \frac{(SSE_s - SSE_c)/(m - k)}{SSE_s/[n - (m + 1)]} \quad (3.16)$$

Denklem 3.16 ile belirlenen F istatistiği ile regresyon modelinin bir bütün olarak anlamlılığı değerlendirilir. Denklem 3.16'da SSE_s basit modelin kalıntı kareleri toplamı iken; SSE_c karmaşık modelin kalıntı kareleri toplamını göstermektedir. Elde edilen F istatistiği, F dağılımı tablosundan okunan kritik değerden büyük ise H_0 hipotezinin kabul edilemeyeceğini yani karmaşık modelden alınan sonucun daha tutarlı olduğu anlaşılır [50].

Aynı test, k ve $m=k+1$ değişkenli denklemler üzerinde uygulandığında X_{k+1} değişkeninin k değişkenli model içindeki uygunluğu görülebilir. Burada $t^2=F$ olmak üzere serbestlik derecesi olan t dağılımı da kullanılabilir [50].

$$t = \frac{b_i}{s(b_i)} \quad (3.17)$$

olarak da hesaplanan t istatistiği t dağılımı tablosundan bulunan kritik değerden küçük ise regresyon modelinin ilgili regresyon katsayısına bağlı değişkenden istatistiksel anlamda etkilemediğini ve istenirse denklemden çıkarılabileceği

anlaşılır. Burada b_i kısmi regresyon katsayısını, $s(b_i)$ ise b_i 'nin standart hatasını göstermektedir [4].

Regresyon denkleminde bulunan değişkenlerinin önem derecesinin karşılaştırılması için standart beta ($St\beta$) değerleri bakılır. Standartlaştırılmış regresyon katsayısı Denklem 3.18 ile;

$$St\beta = b_i \frac{s_i}{s_y} \quad (3.18)$$

olarak elde edilir. Burada, s_i bağımsız değişkene ait standart sapma, s_y ise bağımlı değişkene ait standart sapmayı ifade eder. Büyük standart beta ($St\beta$) değeri değişkenin model üzerindeki etkisinin de büyük olduğunu gösterir. Determinasyon katsayısı, R^2 , bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler tarafından hangi oranda açıklandığını ifade eder. R^2 değeri 0 ile 1 arasında değer alır ve 1'e yaklaştıkça regresyon modelinin daha iyi tahminlerde bulunacağını gösterir [4]. Çok değişkenli regresyonda determinasyon katsayısı,

$$SSE = \sum \varepsilon_i^2 \quad (3.19)$$

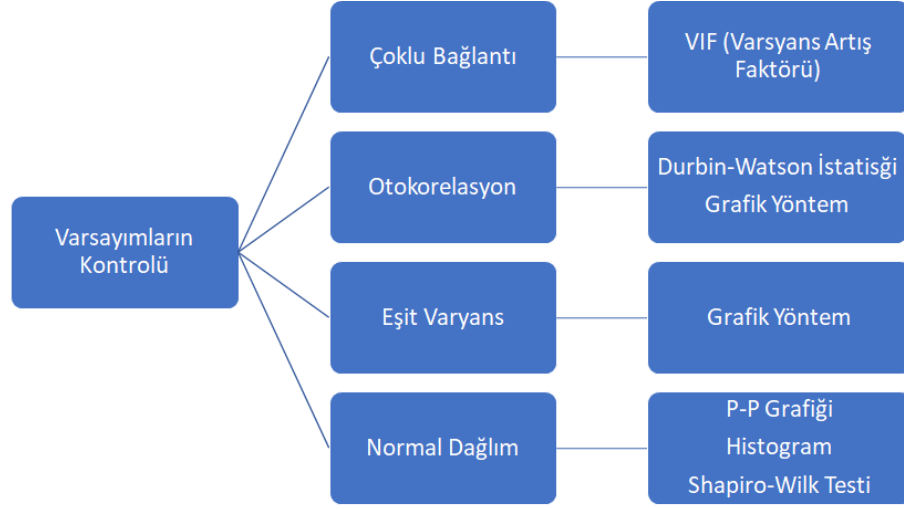
$$SS_y = \sum (Y_i - Y_i')^2 \quad (3.20)$$

olmak üzere şu şekilde tanımlanır:

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SS_y} \quad (3.21)$$

3.3.7 Regresyon Modelinde Yapılan Varsayımlar

Regresyon modeli varsayımları yerine getirilmeden yapılan tahminlerde gerçek değerlerden uzak sonuçlar elde edilir. Regresyon modellerinde önemli olan bu varsayımların hepsini sağlayıp istatistiksel anlamda kullanılabilir bir tahmin denklemi elde etmektir. Şekil 3.8'de bu varsayımlar ve çalışmada kullanılan varsayım kontrolleri şematik olarak gösterilmiştir. Varsayım kontrollerinin sağlanamaması kurulan modelin değişmesine veya yeni veri kaynakları aranmasına sebep olabilmektedir.



Şekil 3.8 Regresyon modeli varsayımları ve varsayımların kontrolü

GEMBOS DERİVASYON KANALI'NIN BEYŞEHİR GÖLÜ'NE VE MANAVGAT ÇAYI'NA OLAN ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Beyşehir Gölü Hidrolojisi

Beyşehir Gölü su seviyesindeki değişimleri incelemeye başlamadan önce çalışma alanı hidrolojisinin ve göl üzerindeki baskı unsurlarının bilinmesi gerekmektedir. Bölgede son 30 yıldır düzensiz ve azalma yönlü bir yağış tablosu olmasının yanı sıra gölden yıllık 300–360 milyon m³ su çekimi yapılması ve bölgede binden fazla açılmış kuyunun varlığı Beyşehir Gölü için su yönetiminin ele alınması ihtiyacını oluşturmuştur. Çoğu yazın kuruyan derelerle beslenen gölün minimum işletme kotu olan 1221,03 m seviyesinin altına düşmesini önlemek için regülatörle Konya Ovası'na aktarılan su zaman zaman azaltılmış veya tamamen durdurulmuştur; bununla birlikte 2008 yılında devreye giren GDK'tan sonraki süreçte Beyşehir Gölü seviyesinde belirgin bir değişim gözlenmiştir. Göl seviyesi üzerinde etkili olan hidrometeorolojik verilere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 4.1'de sunulmuştur.

Tablo 4.1 Çalışmada kullanılan günlük verilere ait tanımlayıcı istatistikler

Hidrometeorolojik Veriler	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma	Veri Aralığı
Beyşehir Yağış(mm)	0,00	90,50	1,34	4,79	1992-2016
Beyşehir Buharlaşma(mm)	0,00	13,80	3,39	3,44	1992-2016
Beyşehir Göl Kotu(m)	1121,03	1124,61	1122,55	0,80	1998-2016
Beyşehir Göl Hacmi(hm ³)	2411,35	4775,46	3386,00	525,69	1998-2016
Üstünler D. (m ³ /s)	0,00	36,4	1,43	2,07	1996-2016
Sarısu-Eylikler(m ³ /s)	0,00	56	2,24	2,87	1996-2016
Ozan D. (m ³ /s)	0,00	7,30	0,13	0,38	1996-2016
Soğuksu-Yeşildağ	0,00	79,4	3,61	6,10	1996-2016
Kocadere(m ³ /s)	0,00	142	2,10	5,94	1996-2016
Gembos Derivasyon(m ³ /s)	0,00	27,19	3,69	5,33	2008-2016
Regülatör(m ³ /s)	0,00	126,00	8,07	12,66	1992-2016

4.1.1 Yağış

Beyşehir Gölü su toplama alanı ve yakın çevresindeki yağışlar genellikle kış ve ilkbahar aylarında düşer ve kış aylarında çoğunlukla kar şeklindedir. Uzun yıllar ortalama yağış haritası Şekil 4.2’de verilmiştir. Bu haritaya göre Beyşehir Gölü’nün güney batı kısımlarının daha fazla yağış aldığı görülmektedir. Gembos Ovası’nın da bulunduğu bu bölgeden gelen yağış sularının Beyşehir Gölü’ne katkısı oldukça önemli miktardadır. Göl, havzanın kuzey doğu kısmından nispeten daha az beslenmektedir. Beyşehir Gölü etrafındaki meteoroloji istasyonlarına ait uzun yıllar aritmetik ortalama yağış değerleri Tablo 4.2’de sunulmuştur.

Tablo 4.2 Beyşehir Gölü etrafındaki istasyonlara ait uzun yıllar ortalama yağış değerleri [17]

Meteoroloji İstasyonu	Ortalama Yıllık Toplam Yağış (mm)
Beyşehir	483
Yenişarbademli	747
Tolca	471
Gedikli	657
Yeşildağ	609
Gölyaka	705

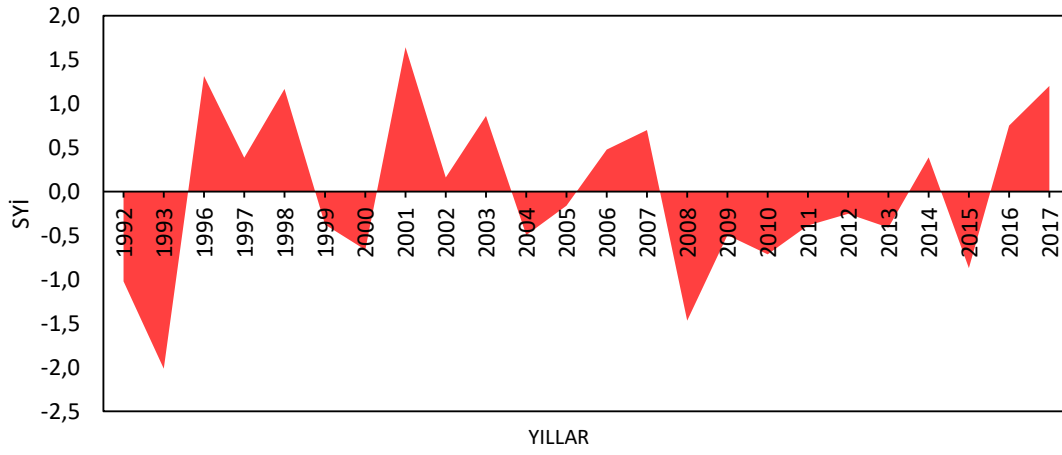
Ayrıca Beyşehir istasyonu için yıllık toplam ortalama değerlerinden hazırlanan standartlaştırılmış yağış indeksi (SYİ) grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir. SYİ metodu Denklem 4.1’de verildiği gibi aylık yağışlar ve uzun dönemli yağış ortalamaları arasındaki farkın standart sapmaya bölünmesi ile normalize edilerek elde edilmektedir. Burada; x_{ij} , i. yağış istasyonundaki j. gözlemdaki aylık yağışı, x_{im} , uzun dönemli yağış ortalamasını ve σ standart sapmayı ifade etmektedir.

$$SYİ = \frac{x_{ij} - x_{im}}{\sigma} \quad (4.1)$$

Burada; x_{ij} , i. yağış istasyonundaki j. gözlemdaki yağışı, x_{im} , uzun dönemli yağış ortalamasını ve σ standart sapmayı ifade etmektedir. Grafiğe bakılarak hangi dönemlerin yağışlı, kurak ya da normal dönem olduğu görülebilir.

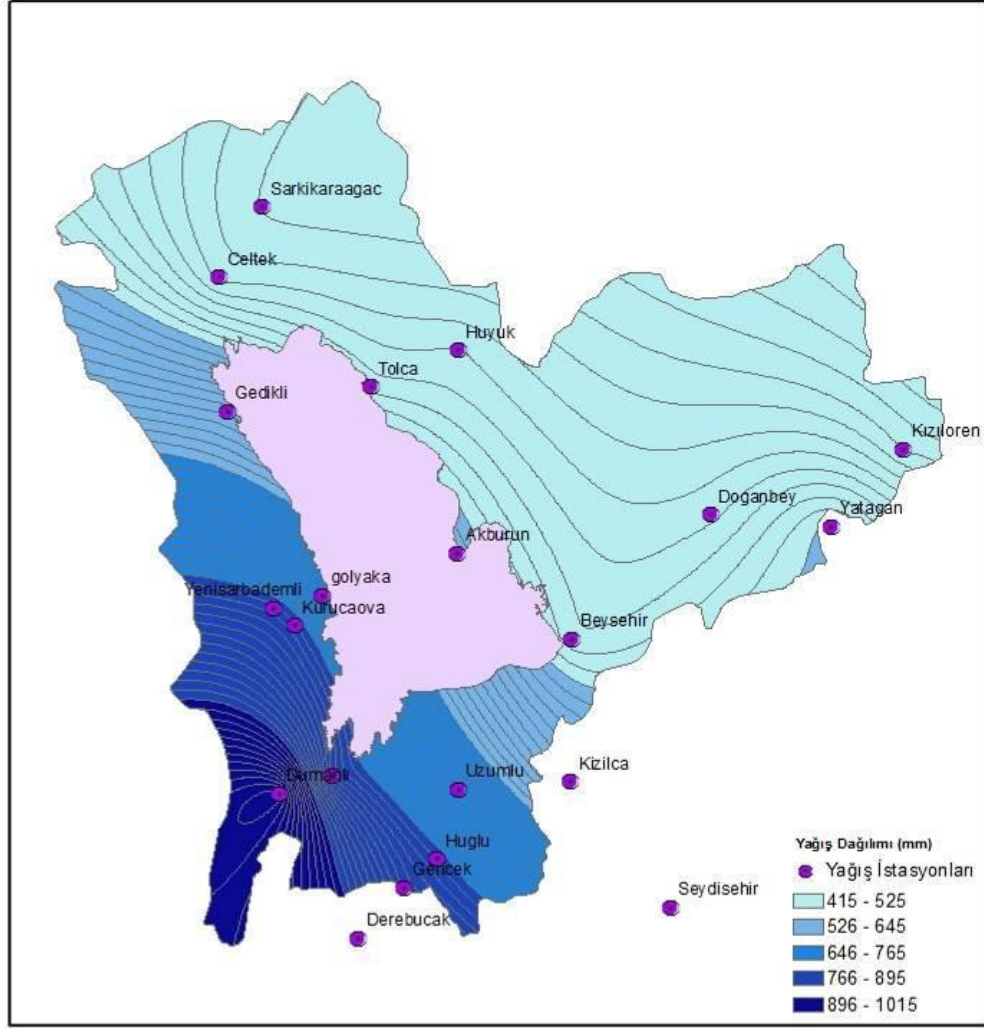
Tablo 4.3 Standartlaştırılmış yağış indeksi değerlerinin sınıflandırılması

SYİ Değerleri	Kuraklık Sınıflandırılması
$2,0 > SYİ$	Aşırı Yağışlı
$1,5 < SYİ < 2,0$	Çok Yağışlı
$1,0 < SYİ < 1,5$	Orta Yağışlı
$0 < SYİ < 1,0$	Hafif Yağışlı
$-1 < SYİ < 0$	Hafif Kurak
$-1,5 < SYİ < -1,0$	Orta Kurak
$-2,0 < SYİ < -1,5$	Çok Kurak
$-2,0 < SYİ$	Aşırı Kurak



Şekil 4.1 Beyşehir standartlaştırılmış yağış indeksi

Grafik incelendiğinde göle su transferinin başladığı 2008 yılından itibaren 6 yıllık hafif bir kurak dönem gerçekleştiği görülmektedir. 1992'den 2016'ya kadar geçen süreçte bir kez çok kurak dönem (1993) görülmüştür.



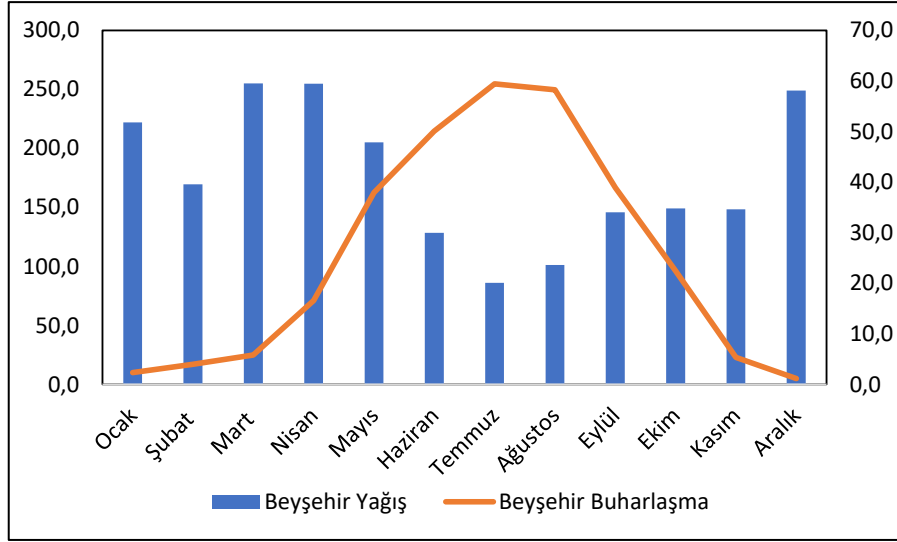
Şekil 4.2 Beyşehir Gölü Havzası uzun yıllar yağış ortalama haritası [17]

4.1.2 Buharlaşma

Beyşehir Gölü etrafındaki istasyonlara ait ortalama yıllık toplam buharlaşma değerleri ise Tablo 4.4'te sunulmuştur. Beyşehir istasyonundan alınan aylık toplam buharlaşma grafiği Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4 Beyşehir Gölü etrafındaki istasyonlara ait uzun yıllar ortalama buharlaşma değerleri [17]

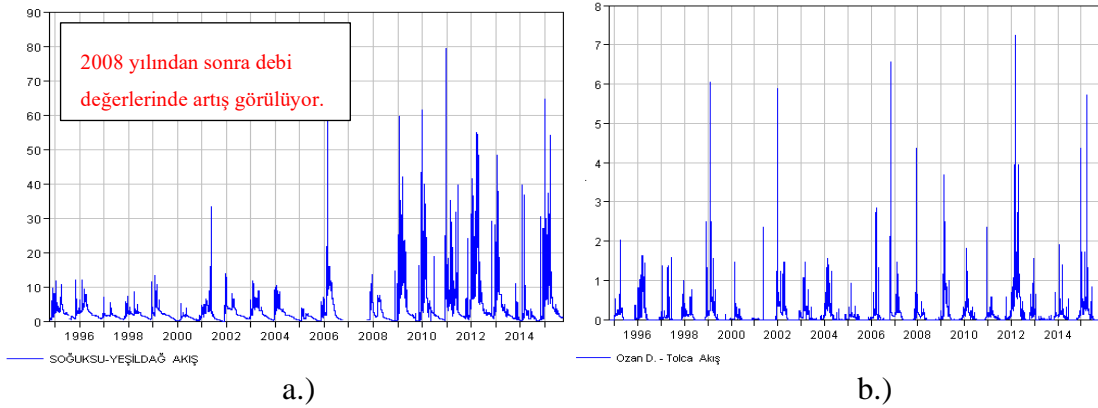
Meteoroloji İstasyonu	Ortalama Yıllık Toplam Buharlaşma (mm)
Beyşehir	683
Tolca	1386
Gedikli	964
Gölyaka	946
Yeşildağ	1049

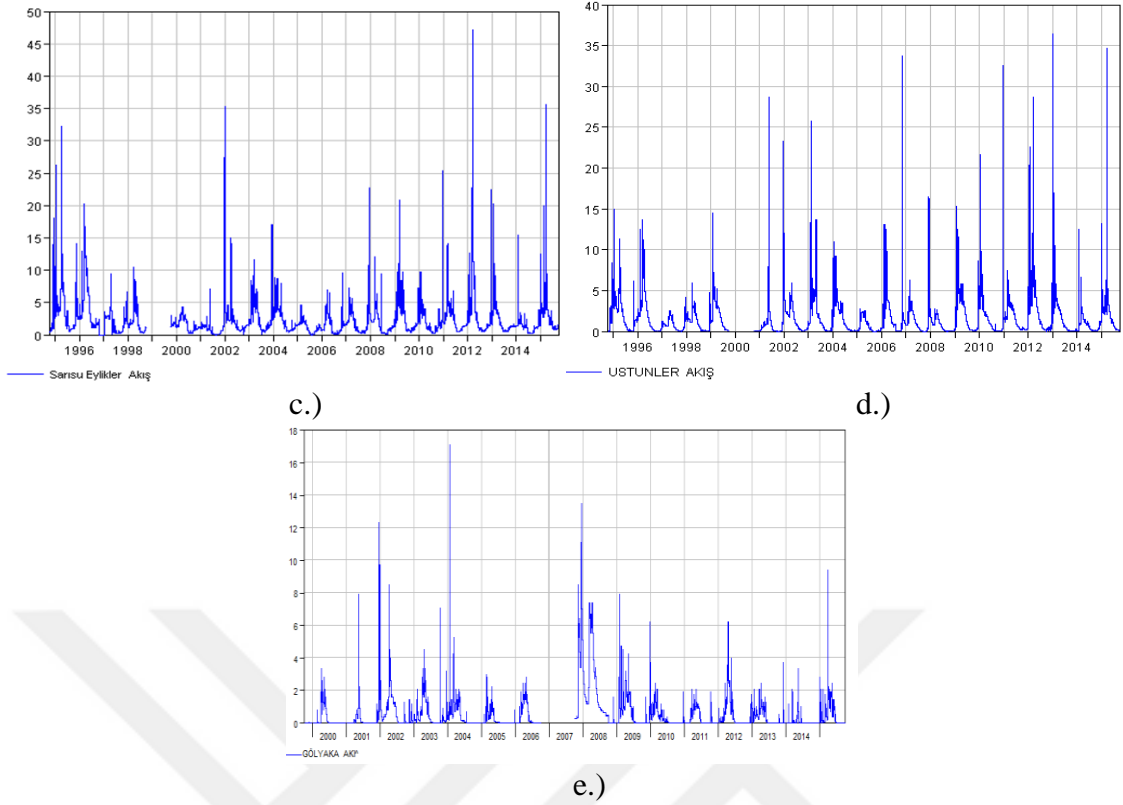


Şekil 4.3 Beyşehir Havzası aylık toplam buharlaşma ve yağış değerleri

4.1.3 Göle Ulaşan Akarsular

Beyşehir Gölü Havzasının beslenimi yüzeysel akış, yeraltı suyu beslenimi, göl yüzeyine düşen yağışlar ve GDK ile olmaktadır. Gölü besleyen önemli akarsular; kuzeyde Çarıksaray Deresi, batıda Ozan Çayı, güneyde Eflatun Pınarı (Sarıöz Çayı), Termiye Çayı, Karadiken, Soğuksu Irmağı ve Üstünler Deresidir. Derecek Barajının suları 2008 yılından itibaren GDK ile Soğuksu Irmağı'na mansaplanmaktadır (Şekil 4.4 a). Beyşehir Gölü'ne ulaşan önemli akarsuların bir kısmına ait zaman serileri Şekil 4.4'te sunulmuştur.





Şekil 4.4 Beyşehir Gölü'nü besleyen önemli akarsular a.)Soğuksu-Yeşiladağ b.)Ozan Deresi c.)Sarısu-Eylıklar d.)Üstünler Deresi e.)Gölyaka

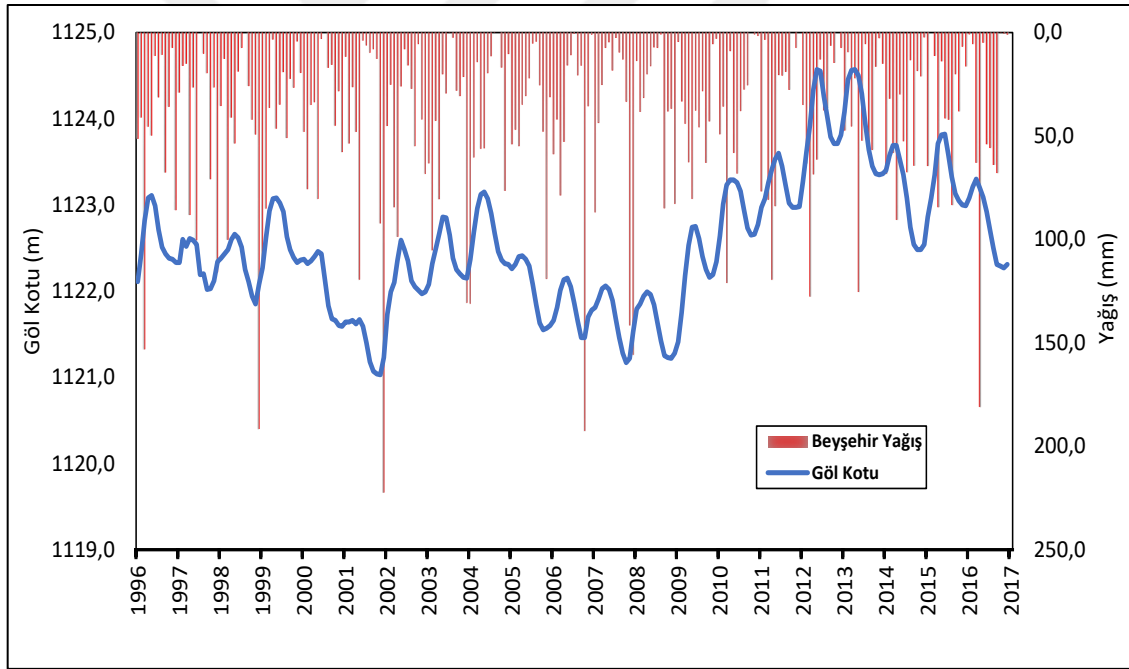
4.1.4 Gölde Su Çekimi

Çoğu yağışlar ve yazın kuruyan derelerle beslenen Beyşehir Gölü'nden Konya Ovası için yıllık 300–360 milyon m³ su çekimi yapılması yağış azlığı ile gölü su açısından en fazla tehdit eden unsur niteliğindedir. İçme suyu temini (Beyşehir İlçesi ve 7 kasaba) ve tarımsal sulama (Konya Ovası, Şarkıkaraağaç ve Kireli pompaj sulaması) gibi amaçlarla gölden su çekimi yapılarak faydalanılmaktadır. Bölgedeki binden fazla açılmış sığ kuyuya ek olarak kamu kuruluşlarının açmış olduğu çok sayıda kuyunun sulamada kullanımı yer altı su varlığını tehdit etmektedir [52].

4.2 Beyşehir Gölü'ndeki Değişimlerin İncelenmesi

Beyşehir Gölü her ne kadar tabii bir göl olsa da Beyşehir ilçesinde bulunan regülatörlerin varlığı göl su seviyesi değişimlerine insan etkisini mümkün kılmaktadır. Nitekim göle ait istatistik veriler incelendiğinde gölün minimum işletme kotu olarak kabul edilen 1221,03 m seviyesinin [17] altına düşmesini önlemek için regülatörle Konya Ovası'na aktarılan suyun zaman zaman azaltılmış veya tamamen durdurulmuş olduğu görülmüştür. 2008 yılında devreye giren GDK ile Beyşehir Gölü su seviyesindeki azalmanın önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

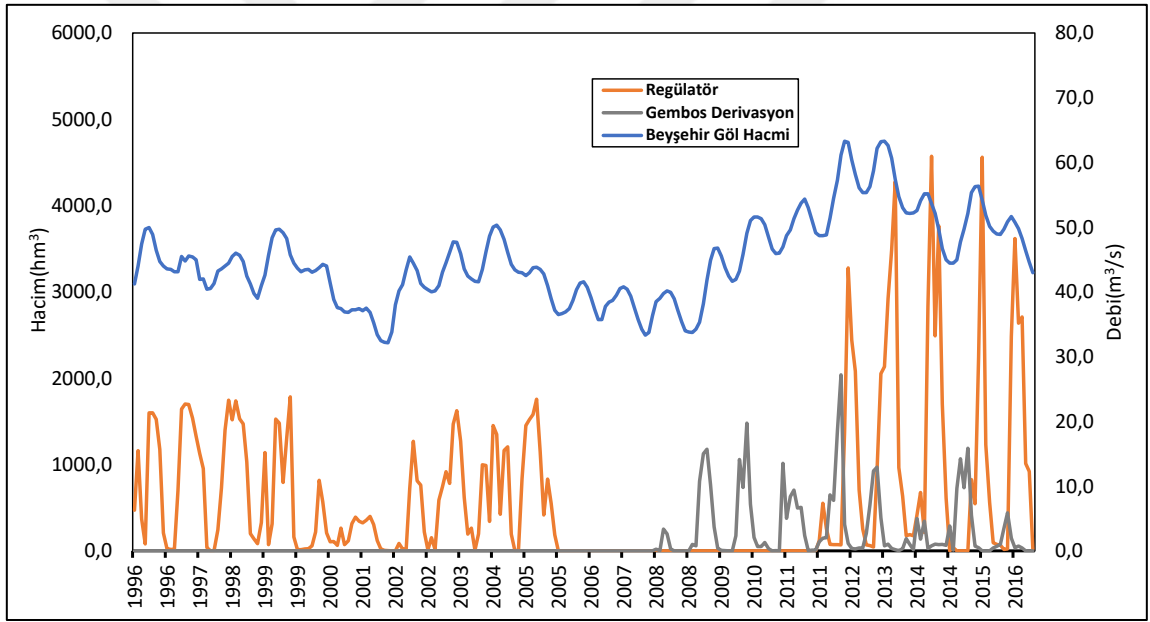
Gölün anahtar eğrisi ve aylık ortalama göl kotu verileri kullanılarak elde edilen göl hacmi, regülatörle salınan su ve GDK ile göle ulaşan su verileri Şekil 4.6'da, yağış ve göl seviyesi grafiği ise Şekil 4.5'te sunulmuştur. Havzadaki meteorolojik verilerin trendleri Ardışık Mann-Kendall yöntemi ile belirlenmiştir. Göl üzerindeki yapay müdahaleler göz önüne alınarak su seviyesinde meydana gelen ani değişimler ve eğilimler SEGMENTER adlı yazılım ile belirlenmiştir. Çalışmada, göl gözlemlerinin GDK devreye girdiği 2008 yılından önceki (1996-2008) ve sonraki (2008-2016) ortalamalarında anlamlı bir fark olup olmadığı Bağımsız Örneklem t-testi ve Mann-Whitney U testi ile incelenmiştir. Ayrıca, göl seviyesinde bahsedilen iki farklı dönemde meydana gelen herhangi bir değişikliğin iklimsel farklılıktan da kaynaklanabileceği düşünülerek Beyşehir Havzası'na ait yağış, buharlaşma ve gölü besleyen nehirlere verileri için de iki farklı dönemde istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5 Beyşehir Göl Kotu ve Beyşehir Yağış grafiği

Tablo 4.5 Beyşehir Gölü'ne ait anahtar eğrisi (DSİ, 2019)

Göl Kotu (m)	Göl Alanı (km ²)	Göl Hacmi (hm ³)
1120,0	576,3	1799,3
1120,5	593,7	2095,9
1121,0	611,2	2392,5
1121,5	625,8	2706,4
1122,0	640,5	3020,3
1122,5	651,3	3346,5
1123,0	662,1	3672,8
1123,5	675,4	4010,6
1124,0	688,7	4348,3
1124,5	700,9	4698,4
1125,0	713,0	5048,6
1125,5	722,0	5409,9
1126,0	731,0	5771,3



Şekil 4.6 Beyşehir Göl hacmi, gölden salınan (regülatör) debi ve Gembos Derivasyonu akımı grafiği

4.2.1 Beyşehir Gölü'nün 2008 Yılı Öncesi ve Sonrası Verileri için Bağımsız Örneklem T-Testi ve Mann-Whitney U Testinin Uygulanması

Bu bölümde göl gözlemlerinin su transferinden önceki (1996-2008) ve sonraki (2008-2016) ortalamalarında anlamlı bir fark olup olmadığı Bağımsız Örneklem t-testi ve Mann-Whitney U testi ile incelenmiştir. Ayrıca, göl seviyesinde bahsedilen iki farklı dönemde meydana gelen herhangi bir değişikliğin iklimsel farklılıktan da kaynaklanabileceği düşünülerek Beyşehir'e ait yağış, buharlaşma ve gölü besleyen

nehir verileri için de testler uygulanmıştır. Tablo 4.6'da değerlendirilen iki dönem için tanımlayıcı istatistikler, Tablo 4.7'de ise Bağımsız Örneklem t testinin sonuçları sunulmuştur.

2008 öncesi ve sonrası dönemlerinde Beyşehir Göl seviyesinin ve hacminin ortalamasına bakıldığında Levene Eşit Varyans Testi'ne göre F istatistiği %95 güven seviyesinde anlamlı çıkmıştır ($p < 0,05$) ve varyansların eşitliğini kabul eden null hipotez reddedilir. Bu nedenle farklı varyans satırındaki t-istatistiğine göre (-9,59 ve -9,62) ortalamaların eşitliği reddedilir ($p < 0,05$). Buna göre su transferinden sonraki dönemde gerçekleşen göl seviyesindeki 0.84 m, göl hacminde 551,56 hm³ artış istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde anlamlıdır. Benzer şekilde Derebucak Barajıyla akımı Soğuksu-Yeşildağ nehrine aktarılan Kocadere debisinde GDK'nın mansaplandığı Soğuksu-Yeşildağ akımlarında da iki farklı dönem için varyans ve ortalamalar istatistiksel olarak farklı çıkmıştır ($p < 0,05$). Kocadere akımında 2,91 m³/s'lik azalma buna karşın Soğuksu-Yeşildağ ortalama akımında 3,16 m³/s'lik bir artış meydana gelmiştir. Beyşehir Gölü'nü besleyen Ozan Deresi, Üstünler Deresi, Sarısu-Eylikler akımlarında; regülatörle salınan su debisinde ve Beyşehir Yağış verilerinde 2008 öncesi ve sonrası için istatistiksel olarak anlamlı bir değişim gerçekleşmemiştir ($p > 0,05$). Beyşehir aylık toplam buharlaşma ortalamasında ise 2008-2016 yılında gerçekleşen 30,93 mm'lik artış %95 güven düzeyinde anlamlıdır ($p < 0,05$).

Bağımsız örneklem t-testinin nonparametrik alternatifi olan Mann-Whitney testinin sonuçları da regülatör değişkeni dışında bağımsız örneklem t testi ile aynı sonuçları vermektedir (Tablo 4.8). Yapılan ön incelemeler sonucunda regülatör akımının normal dağılıma uymadığı görülmüştür bu yüzden değerlendirme Mann-Whitney testi sonucu kabul edilmiştir buna göre regülatör akımında gerçekleşen 1,90 m³/s'lik artış istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,05$). Bu doğrultuda değerlendirilen iki farklı dönemde istatistiksel testlere göre ortalamaları anlamlı olarak farklı olan değişkenlerin kutu grafikleri (box plot) ve aylık değişim grafikleri Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de sunulmuştur.

Elde edilen test sonuçlarına göre su transferi sonrası dönemde buharlaşmadaki artışa rağmen Beyşehir Göl seviyesinde ve hacminde meydana gelen artışın iklimsel sebeplerden değil göl üzerindeki yapay müdahalelerden kaynaklandığı

görülmektedir. Göl seviyesi üzerinde gerçekleşen değişimde GDK'nın ve regülatör aracılığıyla Konya Ovası'na aktarılan akımın etkisinin daha iyi değerlendirilmesi için göl seviyesi üzerinde Segmentasyon programı kullanılmıştır. Ayrıca Beyşehir Gölü havza karakterinin daha iyi anlaşılabilmesi için sonraki bölümde hidrometeorolojik verilerin de trendleri belirlenmiştir.

Tablo 4.6 Beyşehir Gölü Havzası su transferi öncesi ve sonrası dönemler için tanımlayıcı istatistikler

Değişkenler	Dönem	Veri Sayısı	Ortalama	Standart Sapma
Göl Kotu(m)	1996-2008	144	1122,18	0,49
	2008-2016	108	1123,02	0,80
Göl Hacmi(hm ³)	1996-2008	144	3142,28	313,71
	2008-2016	108	3693,74	530,48
Beyşehir Yağış(mm)	1996-2008	144	43,50	41,90
	2008-2016	108	37,95	34,04
Beyşehir Buharlaşma(mm)	1996-2008	144	89,95	96,41
	2008-2016	108	120,88	110,09
Regülatör(m ³ /s)	1996-2008	144	7,05	7,95
	2008-2016	105	8,95	15,7
Sarısu-Eylikler(m ³ /s)	1996-2008	144	2,10	2,07
	2008-2016	105	2,26	2,17
Ozan D. (m ³ /s)	1996-2008	144	0,12	0,20
	2008-2016	105	0,20	0,55
Soğuksu-Yeşiladağ(m ³ /s)	1996-2008	144	2,36	2,14
	2008-2016	105	5,51	6,44
Üstünler D. (m ³ /s)	1996-2008	144	1,36	1,54
	2008-2016	105	1,46	1,59
Kocadere(m ³ /s)	1996-2008	144	3,27	4,41
	2008-2016	105	0,36	0,41

Tablo 4.7 Beyşehir Gölü Havzası su transferi öncesi ve sonrası için bağımsız örneklem T-testi

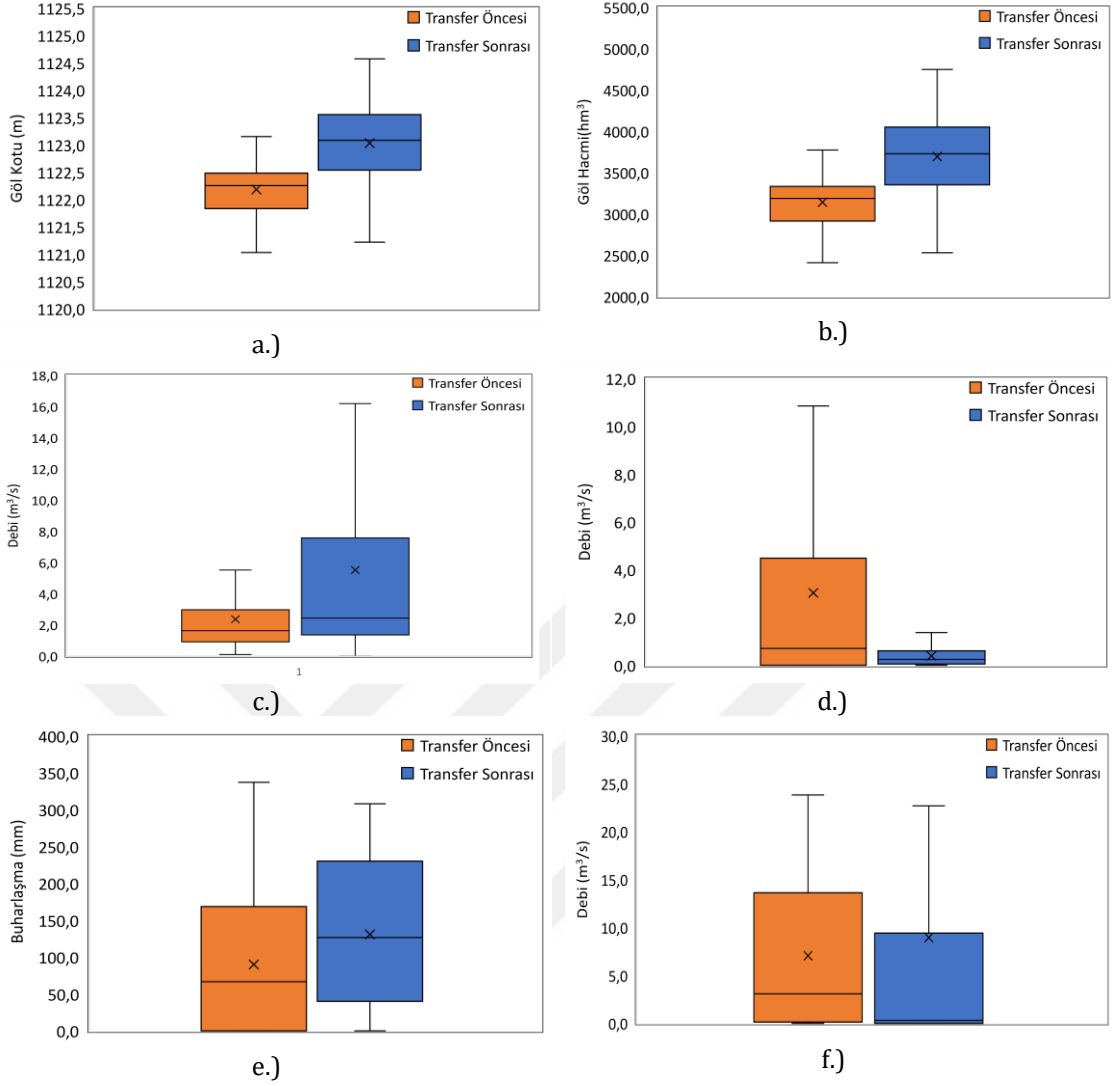
Değişkenler	Levene Eşit Varyans Testi			Ortalamaların Eşitliği İçin T Testi		
	Varyans	F	Olasılık,p	T İstatistiği	Çift Yönlü Olasılık,p	Ortalama Farkı
Göl Kotu(m)	Eşit Varyans	22,70	0,00	-10,24	0,00	-0,84
	Farklı Varyans			-9,59	0,00	
Göl Hacmi(hm ³)	Eşit Varyans	25,45	0,00	-10,31	0,00	-551,46
	Farklı Varyans			-9,62	0,00	
Beyşehir Yağış(mm)	Eşit Varyans	1,53	0,22	1,13	0,26	5,55
	Farklı Varyans			1,16	0,25	
Beyşehir Buharlaşma(mm)	Eşit Varyans	4,47	0,04	-2,37	0,02	-30,93
	Farklı Varyans			-2,33	0,02	

Tablo 4.8 Beyşehir Gölü Havzası su transferi öncesi ve sonrası için bağımsız örneklemeler T-testi (devamı)

Sarısu-Eylikler (m ³ /s)	Eşit Varyans	0,11	0,74	-0,60	0,55	-0,16
	Farklı Varyans			-0,60	0,55	
Ozan D.(m ³ /s)	Eşit Varyans	6,61	0,01	-1,66	0,10	-0,08
	Farklı Varyans			-1,47	0,14	
Soğuksu-Yeşilıdağ (m ³ /s)	Eşit Varyans	73,22	0,00	-5,49	0,00	-3,16
	Farklı Varyans			-4,83	0,00	
Üstünler D.(m ³ /s)	Eşit Varyans	0,13	0,72	-0,50	0,62	-0,10
	Farklı Varyans			-0,50	0,62	
Kocadere (m ³ /s)	Eşit Varyans	129,38	0,00	6,73	0,00	2,91
	Farklı Varyans			7,87	0,00	
Regülatör (m ³ /s)	Eşit Varyans	25,63	0,00	-1,25	0,21	-1,90
	Farklı Varyans			-1,14	0,26	

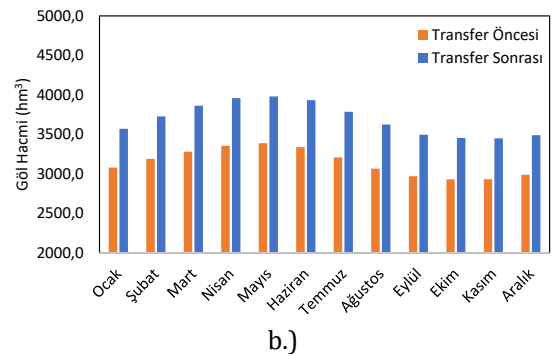
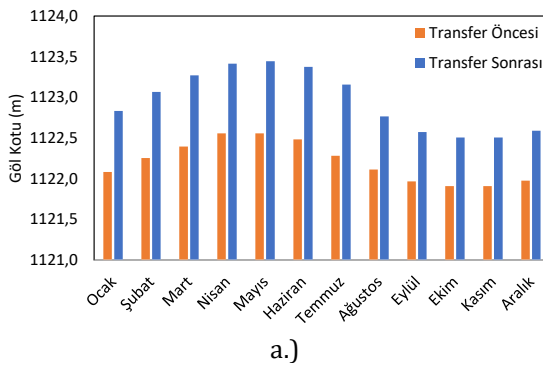
Tablo 4.9 Beyşehir Gölü Havzası su transferi öncesi ve sonrası için Mann-Whitney U Testi

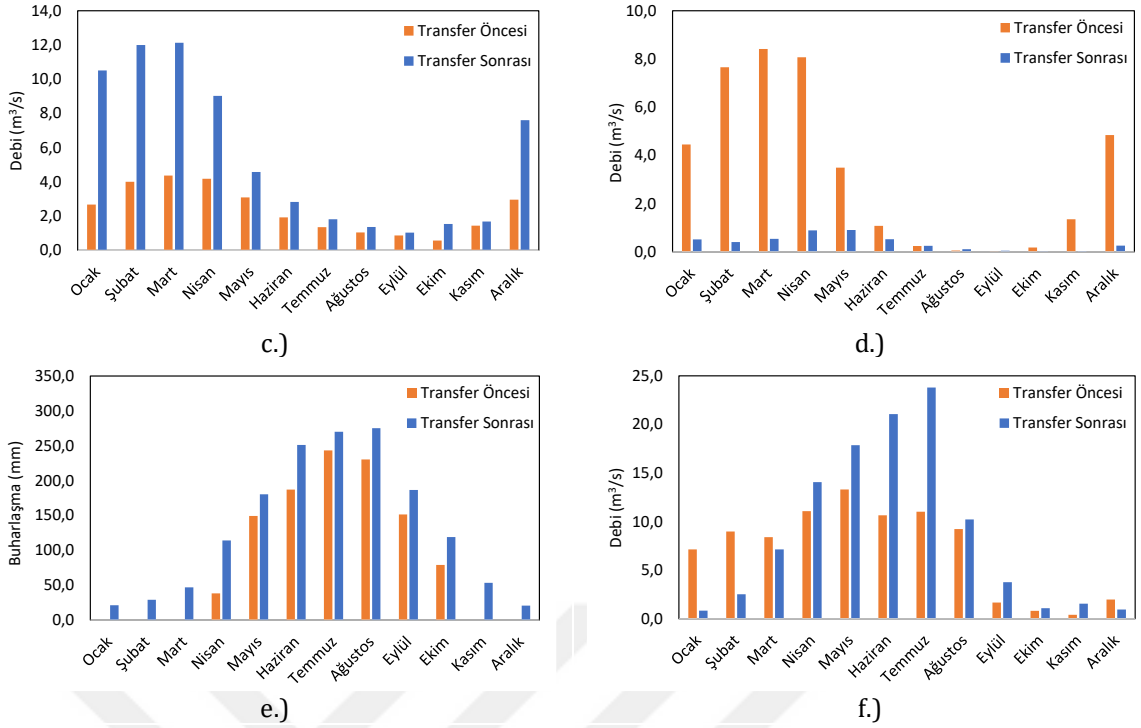
Değişkenler	Mann-Whitney U	Wilcoxon W	Z	Olasılık,p (Çift Yönlü)
Göl Kotu(m)	2888,50	13328,50	-8,54	0,00
Göl Hacmi(hm ³)	2888,50	13328,50	-8,54	0,00
Beyşehir Yağış(mm)	7359,50	13245,50	-0,73	0,47
Beyşehir Buharlaştırma(mm)	6491,00	16931,00	-2,32	0,02
Regülatör(m ³ /s)	6097,00	11662,00	-2,65	0,01
Sarısu-Eylikler(m ³ /s)	7094,00	17534,00	-0,83	0,41
Ozan D.(m ³ /s)	6774,50	17214,50	-1,41	0,16
Soğuksu-Yeşilıdağ(m ³ /s)	5268,00	15708,00	-4,08	0,00
Üstünler D.(m ³ /s)	7052,00	17492,00	-0,91	0,37
Kocadere(m ³ /s)	5129,00	10694,00	-4,34	0,00



Şekil 4.7 Gembos Derivasyon Kanalı öncesi (1996-2008) ve sonrası (2008-2016) dönemlerde istatistik testler sonucu ortalamaları farklı olan değişkenlere ait kutu grafikleri a.)Göl Kotu b.)Göl Hacmi c.)Soğuksu-Yeşiladağ d.)Kocadere e.)Beyşehir Buharlaşma f.)regülatör

¹ Kutu grafiğinde ;
x, ortalama değeri
Kutu içindeki çizgi medyanı (ortanca değer)
Kutu dışında uzanan çizgiler aykırı olmayan en büyük ve en küçük değerleri göstermektedir.

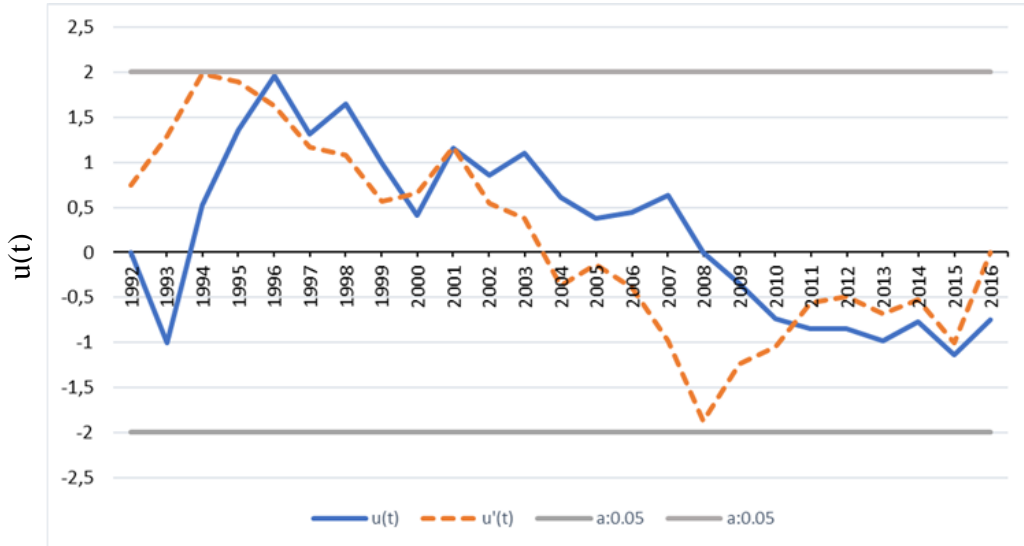




Şekil 4.8 Gembos Derivasyon Kanalı öncesi (1996-2008) ve sonrası (2008-2016) dönemlerde istatistik testler sonucu ortalamaları farklı olan değişkenlerin aylık değerleri a.)Göl Kotu b.)Göl Hacmi c.)Soğuksu-Yeşildağ d.)Kocadere e.)Beyşehir Buharlaşma f.)Regülatör

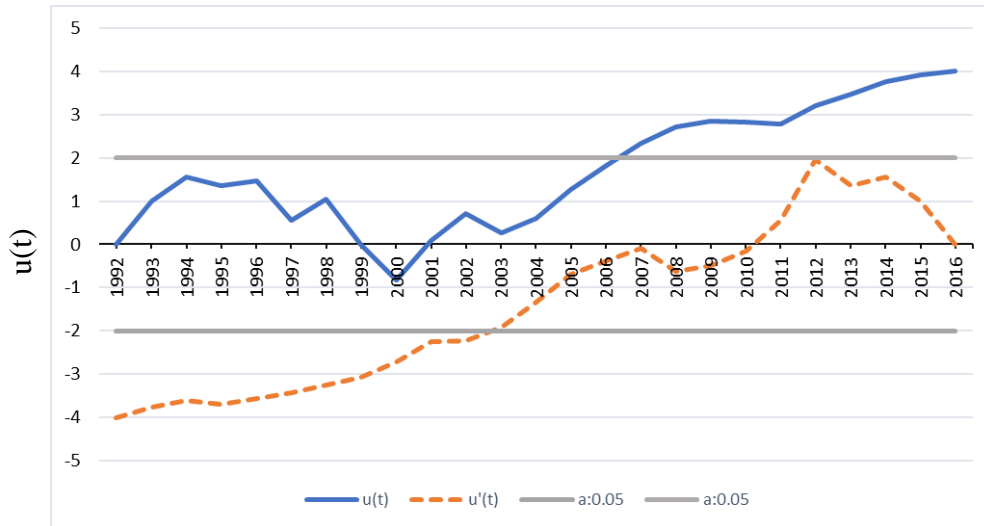
4.2.2 Ardışık Mann Kendall Testi ve Değişim Noktası

Beyşehir istasyonuna ait yağış ve buharlaşma verilerine uygulanan Ardışık Mann Kendall trend testi grafikleri Şekil 4.9 ve 4.10'da sunulmuştur. Bu grafik analiz edilirken trend ve değişim noktası incelenir. Trend incelenirken kriter olarak $\pm 1,96$ alınmıştır. $\pm 1,96$ 'dan büyük $u(t)$ ve $u'(t)$ değerlerinde önemli bir trend vardır demektir. Değişim noktası incelenirken $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrilerinin kesişim noktaları incelenir. $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrilerinin birbirlerini kestikten sonra belirgin bir ayrılma yaşadığı yerlerde değişim noktası aranmalıdır. Değişim noktasının önemli olup olmadığını görebilmek için $\alpha=0,05$ için önem aralığında $u(t)$ ve $u'(t)$ değerlerinin $\pm 1,96$ 'dan büyük veya eşit olmasına dikkat edilmiştir. Eğer $u(t)$ ve $u'(t)$ değerlerinin kesişim noktası $\pm 1,96$ 'dan büyükse; değişim noktası olarak önemlenecek bir durum var demektir.



Şekil 4.9 Beyşehir yağışı Ardışık Mann-Kendall Trend Analizi grafiği

Şekil 4.9 incelendiğinde $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrilerinin birbirlerini birçok defa kesmiş olduğu görülmektedir. Aynı zamanda $u(t)$ ve $u'(t)$ değerlerinin $\pm 1,96$ 'dan küçük olduğu görülmektedir. İstatistiki açıdan bu hareketliliğe benzer, birbirini kısa sürede birçok defa kesen eğrilerde düzenli bir trendden söz edilemeyeceği kabul edilmektedir. 2001 yılında gerçekleşen keşişimden sonra grafiklerde belirgin bir ayrılma yerine benzer bir düşüş eğilimi vardır bu yüzden bu keşişim değişim noktası olarak değerlendirilememektedir.



Şekil 4.10 Beyşehir Buharlaştırma Ardışık Mann-Kendall Trend Analizi Grafiği

Beyşehir Meteoroloji istasyonu verileri kullanılarak elde edilen Şekil 4.10 grafiği bize trende dair net sonuçlar göstermektedir. $u(t)$ ve $u'(t)$ değerlerinde 1,96'dan büyük değerler bulunmaktadır. $u(t)$ değerlerinde 2000-2016 yılları arasında, $u'(t)$

de ise 1992-2003 yılları arasında $\pm 1,96$ 'dan büyük değerler mevcuttur. Burada istatistiki anlamda önemli derecede artan bir trend vardır denilebilmektedir. Bundan farklı olarak bu grafikte $u(t)$ ve $u'(t)$ değerleri birbirini hiçbir şekilde kesmemektedir. Bu durum buharlaşma verilerinde, herhangi bir değişim noktasının varlığından bahsedilemeyeceğini göstermektedir. İncelenen 1992-2016 yılları arasında genel olarak artan bir trend vardır.

4.2.3 Göl Seviyesindeki Değişimin Segmenter Yazılımı ile Belirlenmesi

Segmenter yazılımı ile elde edilen dördüncü mertebe segmentasyon ile Beyşehir Göl kotunun eğilim bileşenleri ve ani değişimleri tespit edilmiştir. Segmentasyon mertebesinin dört seçilmesinin nedeni, değerlendirilen Beyşehir Gölü üzerinde 1996-2016 yılları arasında regülatörle Konya Ovası'na aktarılan suyun duraklatıldığı, GDK'nın devreye girdiği ve regülatörün tekrar açıldığı 3 farklı müdahale ve buna bağlı olarak 4 farklı dönem oluşmasıdır. Programa ait çıktılar Şekil 4.11'de değişimi gösteren grafik ise Şekil 4.12'de bulunmaktadır.

Buna göre çalışma kapsamında, 1996-2016 yılları arasındaki 252 aylık ortalama göl kotu verisi programa tanımlanmıştır. Analiz sonucuna göre 75.(Mart 2002) 158.(Şubat 2009) ve 210.(Haziran 2013) aylarda ani değişimler olduğu gözlenmiştir. Beyşehir Gölü'nden Konya Ovası'na regülatör aracılığıyla su aktarımının durdurulduğu 2002 (Ocak) yılı, GDK'nın hizmete açıldığı 2008 yılı ve regülatörün devreye girdiği 2012 yılını takip eden yıllar içerisinde ise değişimler (sıçrama ve düşüş) yaşanmıştır. Buna göre gölden sulama amaçlı faydalanılması ve derivasyon ile su transferi edilmesi göl seviyesinde önemli değişimlere sebep olmaktadır.

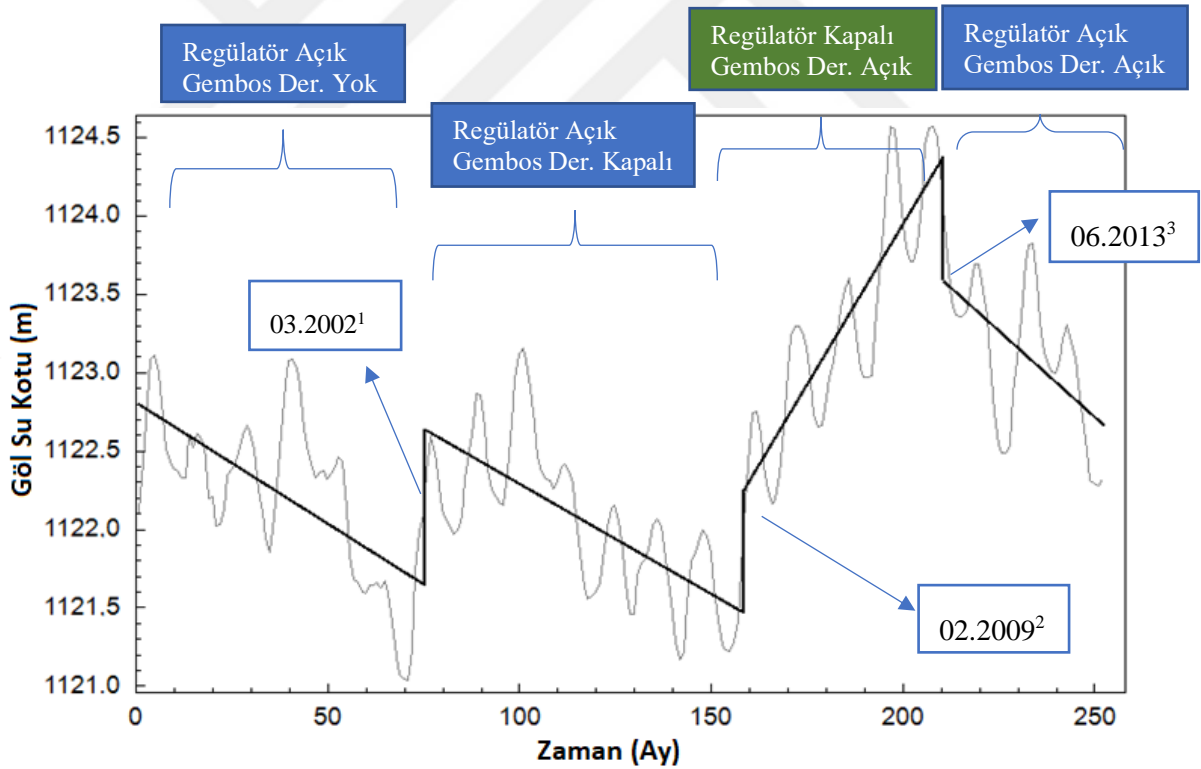
Değerlendirilen zaman aralığında göl su seviyesindeki artma eğilimi sadece GDK'nın devreye girmesinden regülatörle Konya Ovası'na tekrardan su aktarılmasına kadar geçen sürede gerçekleşmiş olup diğer üç dönemde göl su seviyesi azalma eğilimindedir.

GDK kurak dönemlerde (2008-2013) dahi göl seviyesine belirgin bir şekilde olumlu katkı sağlamıştır. Bununla birlikte Konya Ovası'na su aktarımına devam edildiği takdirde göl seviyesinde düşüşün devam ettiği görülmektedir.

Bütün bu sonuçlar beraber değerlendirildiğinde GDK ile Beyşehir Gölü'nün beslenmesi göl üzerindeki baskıyı azaltsa da göl su seviyesinin korunmasında ana etkenin regülatör aracılığıyla Konya Ovası'na aktarılan su olduğu görülmektedir.

Order	Cost	Change points
1	1,1398729642534676E+002	0 252
2	6,0944878158781648E+001	0 169 252
3	4,2184981291677872E+001	0 158 210 252
4	3,2465533355297467E+001	0 75 158 210 252
5	2,6272003318044039E+001	0 37 73 158 210 252
6	2,2027065360537918E+001	0 37 72 104 158 210 252
7	1,8235499308421815E+001	0 37 72 104 158 195 230 252
8	1,6509169433610623E+001	0 37 72 104 158 195 204 230 252
9	1,5094577973046887E+001	0 37 72 98 121 158 195 204 230 252
10	1,4207921855469204E+001	0 6 38 72 98 121 158 195 204 230 252
11	1,3355049736498701E+001	0 6 38 72 98 121 158 169 194 205 230 252
12	1,2474213812844667E+001	0 6 38 72 98 121 158 188 199 210 223 231 252
13	1,1620962587900733E+001	0 6 38 72 98 121 158 169 194 205 217 226 234 252
14	1,0884730484648934E+001	0 6 38 72 98 121 158 169 176 188 199 210 223 231 252
15	1,0198366811010915E+001	0 6 38 72 98 121 158 169 182 192 198 205 217 226 234 252
16	9,6107978233560551E+000	0 6 38 72 87 97 121 158 169 182 192 198 205 217 226 234 252
17	9,0149689273390248E+000	0 6 38 72 79 91 98 121 158 169 182 192 198 205 217 226 234 252
18	8,4471415095911535E+000	0 6 38 72 87 97 115 139 150 158 169 182 192 198 205 217 226 234 252
19	7,8771082657480447E+000	0 6 38 72 79 91 98 121 139 150 158 169 182 192 198 205 217 226 234
20	7,3741081905153996E+000	0 6 38 72 79 91 98 121 140 147 155 162 169 182 192 198 205 217 226

Şekil 4.11 Segmenter yazılımına ait çıktı



Şekil 4.12 Beyşehir Gölü kotunun Segmenter Yazılımı ile analizi

Grafik üzerinde bulunan tarihler:

¹2002 Yılı Mart ayında sulama amaçlı kullanılan regülatör kapatılmıştır.

²2009 Yılı Şubat ayında hem sulama amaçlı kullanılan regülatör kapatılmış hem de GDK devreye girmiştir.

³2013 Yılı Haziran ayında sulama amaçlı kullanılan regülatörler tekrar devreye sokulmuştur.

4.2.4 Korelasyon Analizi

Çalışmada kullanılan yıllık verilere ait korelasyon tablosu 4.9'da sunulmuştur. Tabloda verilen değerler Pearson korelasyon katsayısı olmak üzere tüm değerler çift-yönlü %95 güven düzeyinde anlamlıdır. Korelasyon tablosu incelendiğinde Beyşehir Göl kotu ile GDK'nın bağlı olduğu Soğuksu-Yeşildağ Nehri ve regülatörle Konya Ovası'na salınan su verileri arasında yüksek korelasyon olduğu görülmektedir. Buna karşın göl kotu ile yağış ve buharlaşma arasındaki korelasyon oldukça düşüktür. Bu sonuçlar önceki bölümde elde edilen sonuçlara benzer şekilde göl seviyesinde yaşanan değişimin iklimsel sebeplerden ziyade insan kaynaklı olduğunu göstermektedir. Su seviyesi arttığı takdirde regülatörle salınan su miktarı arttırıldığından dolayı göl kotu ile regülatör akım verilerinin korelasyonu pozitif çıkmıştır. Bunun yanında GDK'nın mansaplandığı ve gölü besleyen en önemli kaynak olan Soğuksu-Yeşildağ Nehri ve göl kotu arasındaki korelasyon göle ulaşan diğer nehirlerden yüksektir.

Tablo 4.10 Çalışmada kullanılan yıllık verilere ait korelasyon katsayıları (1992-2016)

Değişkenler	Göl Kotu	Göl Hacim	Bey. Yağış	Bey. Buh.	Regülatör	Üstünler D.	Sarısu D.	Ozan D.	Soğuksu-Yeşildağ
Göl Kotu	1,00	1,00	-0,17	0,00	0,52	0,34	0,35	0,47	0,61
Göl Hacim	1,00	1,00	-0,17	0,01	0,52	0,34	0,35	0,48	0,61
Beyşehir Yağış	-0,17	-0,17	1,00	-0,02	0,07	0,02	0,04	-0,11	-0,29
Bey. Buh.	0,00	0,01	-0,02	1,00	-0,10	-0,28	-0,14	0,16	0,21
Regülatör	0,52	0,52	0,07	-0,10	1,00	-0,15	0,05	0,06	-0,07
Üstünler D.	0,34	0,34	0,02	-0,28	-0,15	1,00	0,79	0,54	0,57
Sarısu D.	0,35	0,35	0,04	-0,14	0,05	0,79	1,00	0,42	0,34
Ozan D.	0,47	0,47	-0,11	0,16	0,06	0,54	0,43	1,00	0,70
Soğuksu-Yeşildağ	0,61	0,61	-0,29	0,21	-0,07	0,57	0,34	0,70	1,00

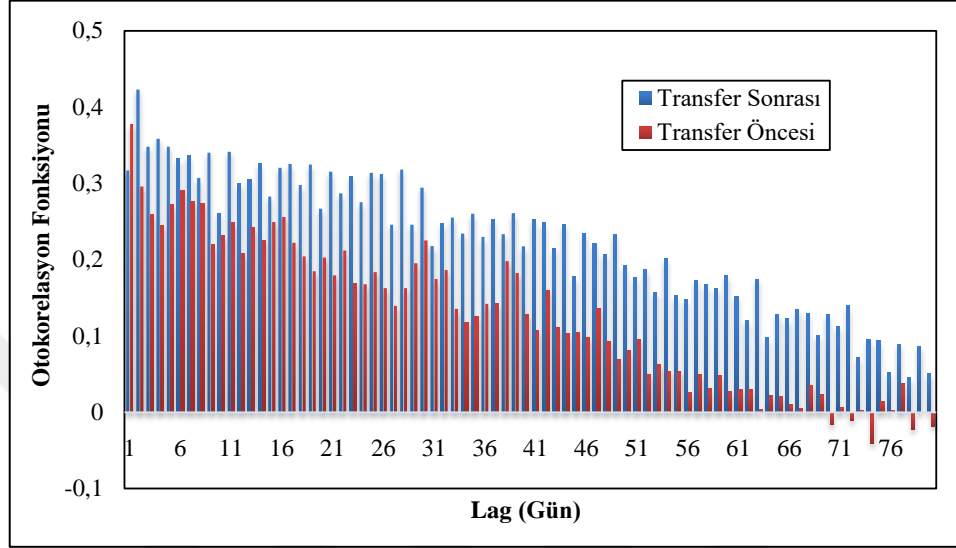
¹Tabloda verilen değerler Pearson korelasyon katsayısı olmak üzere tüm değerler çift-yönlü %95 güven düzeyinde anlamlıdır.

² Soğuksu-Yeşildağ Nehrine 2008 yılında Gembos Derivasyon Kanalı mansaplanmıştır.

4.2.4.1 Otokorelasyon

Otokorelasyon katsayısı, zaman serisiyle bu serinin gecikmeli serileri arasındaki ilişkileri verir. Şekil 4.13'te GDK öncesi (2006-2008) ve sonrası (2008-2011) sonrası dönemler için günlük göl su seviyelerinin otokorelasyon fonksiyonları sunulmuştur.

Değerlendirilen iki farklı dönemde belirgin bir fark vardır. GDK sonrası dönemde ötelemeye(lag) bağlı olarak otokorelasyon katsayıları arasındaki fark daha küçüktür. Buna göre GDK'nın devreye girmesiyle göl su seviyesinin varyansı artmış ve durağanlığı bozulmuştur. Bu sonuç bize GDK tek başına değerlendirildiğinde dahi göl seviyesi üzerinde anlamlı bir değişime sebep olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.13 Göl kotu otokorelasyon fonksiyonu

¹Değerlendirilen tarihlerde regülatör kapalıdır.

4.3 Manavgat Çayı'ndaki Değişimlerin İncelenmesi

Çalışmanın bu bölümünde, Gembos Havzası'ndan Beyşehir Gölü'ne su transferi yapılmasının Manavgat Çayı üzerinde etkisi olup olmadığının açığa çıkartılması hedeflenmiştir. Manavgat Çayı yüzey karstının yoğun olarak geliştiği Batı Toroslar bölgesinde yer almaktadır. Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarda Beyşehir Gölü su seviyesinde artış olması halinde, gölün güneydeki karstik boşluklardan su kaçağı olduğu ve bu su kaçaklarının yeraltı suyu akımı olarak Manavgat Çayı'nı beslediği ileri sürülmüştür. Bunun yanında Gembos Kapalı Havzası'nın su transferi öncesinde bölgedeki düdenler aracılığıyla güneyindeki Manavgat Çayı'nı beslediği öngörülmektedir. Bu doğrultuda GDK'nın etkisini belirlemek için Manavgat Çayı Havzası'ndaki hidrometeorolojik değişkenlere istatistik testler uygulanmıştır. Bu amaçla ilk olarak Manavgat Çayı'nın günlük akım verileri kullanılarak akarsuyun taban akışı belirlenmiştir.

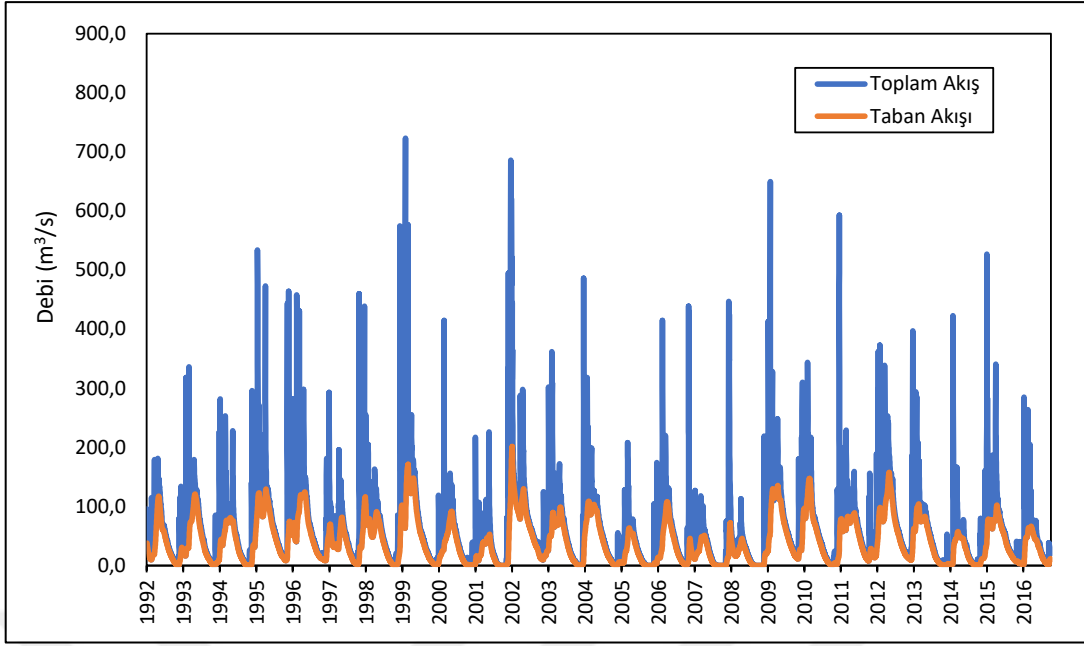
4.3.1 Taban Akışının Elde Edilmesi

Akarsudaki toplam akış dolaysız ve dolaylı olmak üzere ikiye ayrılabilir. Dolaysız akış, yüzeysel akış ve yüzey altı akışının gecikmeyen kısmı, dolaylı akış ise yeraltı suyu akımı ile gecikmeli yüzey altı akışı olan taban akışı olarak tanımlanmaktadır. Özellikle yaz aylarında taban akışı toplam akışın önemli bir kısmını oluşturur. Taban akışının tahmini, hidroloji ve su kaynaklarını ilgilendiren pek çok konu ile doğrudan ilişkilidir [18].

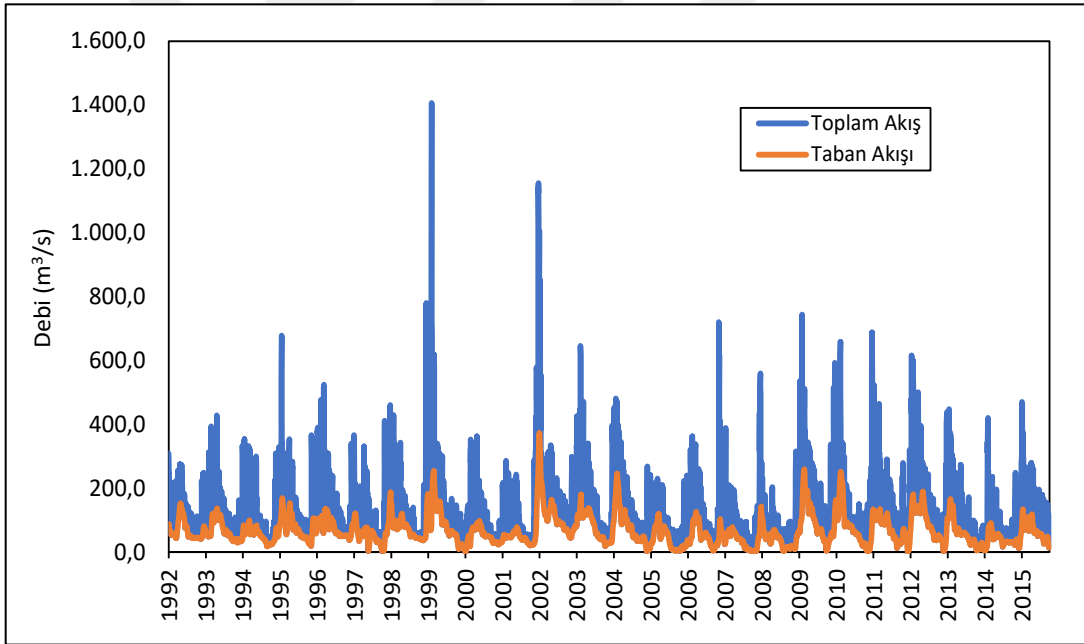
Çalışma kapsamında taban akışının ayrılmasında literatürde çok sayıda çalışmanın mevcut olduğu dijital filtreleme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin tercih edilmesinde günlük akım verilerine uygulanabilirliği, kalibrasyona ihtiyaç duymaması ve taban akışına yüzey altı akışını dahil etmeyip sadece yeraltı suyu akışı olarak değerlendirilmesi etkili olmuştur. Böylece Manavgat Çayı'nın özellikle kuzeyinde bulunan havzalardan geldiği düşünülen yeraltı suyu katkısının belirlenmesi ve Gembos Havzası'ndan Beyşehir Gölü'ne su transferi neticesinde Manavgat Çayı akışında gerçekleşen değişimin analiz edilmesi hedeflenmiştir. Çalışmalar Manavgat Çayı üzerinde bulunan Sinanhoca ve Şelale Akım Gözlem istasyonları kullanılarak yapılmıştır. Filtreleme sonucunda elde edilen taban akışına ait genel bilgiler Tablo 4.10'da, Sinanhoca ve Şelale AĞ taban akışına ilişkin grafikler Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te, bu iki istasyon için elde edilen taban akışı ile yağış değerlerinin karşılaştırması Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de sunulmuştur.

Tablo 4.11 Manavgat Çayı'na ait akış değerleri

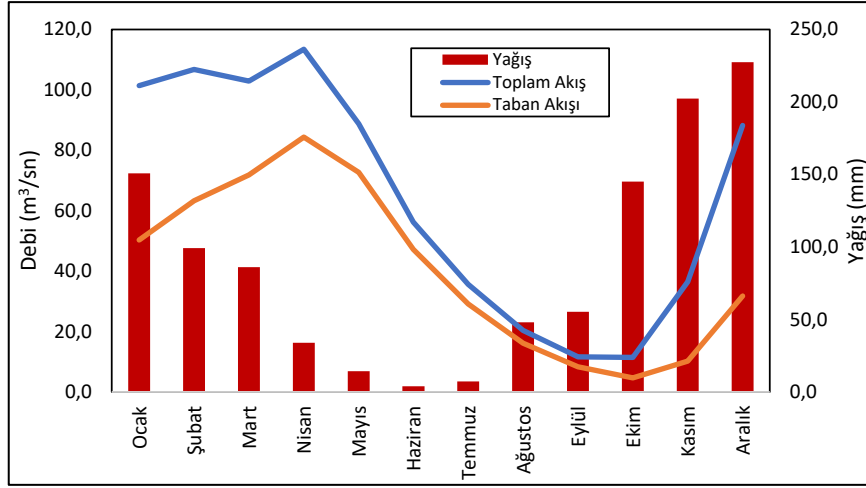
İstasyon Adı	Sinanhoca (Manavgat)	Şelale (Manavgat)
İstasyon No	E09A012	E09A018
Drenej Alanı(km ²)	645.6	1324.4
Yükseklik(m)	245	4
Veri Aralığı	1992-2016	1992-2016
Ort. Toplam Akış(m ³ /sn)	64,42	127,07
Maks. Toplam Akış(m ³ /sn)	723	1406
Min. Toplam Akış(m ³ /sn)	0	1,21
Ort. Taban Akışı(m ³ /sn)	40,96	66,49
Maks. Taban Akışı(m ³ /sn)	201,32	373,02
Min. Taban Akışı(m ³ /sn)	0	1,21
Taban Akışı İndeksi ($Q_{\text{taban}}/Q_{\text{toplam}}$)	0.64	0.52



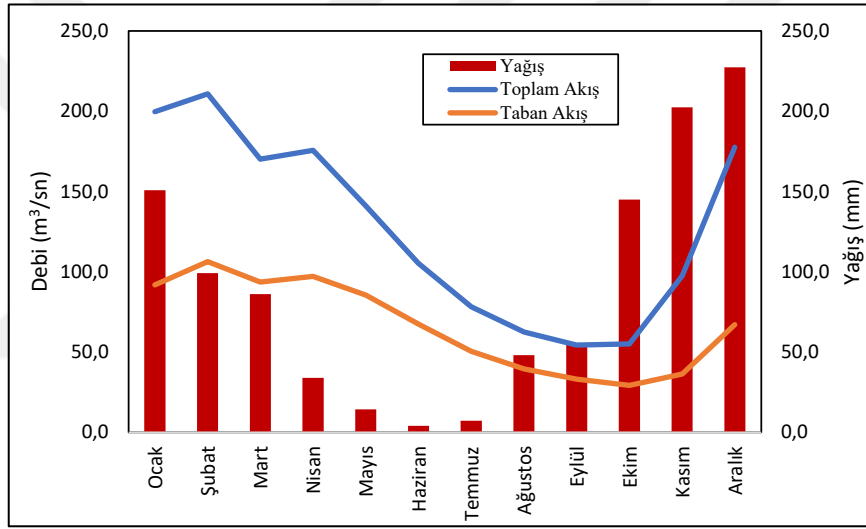
Şekil 4.14 Sinanhoca AGI'ye ait toplam ve taban akışı grafiği



Şekil 4.15 Şelale AGI'ye ait toplam ve taban akışı grafiği



Şekil 4.16 Sinanhoca AGİ ve Manavgat meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama akış ve yağış grafiği (1992-2016)



Şekil 4.17 Şelale AGİ ve Manavgat meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama akış ve yağış grafiği (1992-2016)

Sinanhoca ve Şelale akım gözlem istasyonlarına ait günlük verileri kullanılarak belirlenen taban akışına ait sonuçlar ve grafikler incelendiğinde önemli bulgular elde edilmiştir. Buna göre drenaj alanına bağlı olarak Şelale AGİ'ye ait ortalama toplam akışın ($127,07 \text{ m}^3/\text{s}$) Sinanhoca AGİ ortalama toplam akışının ($64,42 \text{ m}^3/\text{s}$) yaklaşık 2 katı olduğu görülmüştür. Bununla birlikte Şelale AGİ ortalama taban akışıyla ($66,49 \text{ m}^3/\text{s}$) Sinanhoca ortalama taban akışının ($40,96$) oransal fark daha azdır. Bu durum akımın farklı noktalarında yeraltı suyu drenajı alanı ile yerüstü drenaj alanının farklı olabileceğini göstermektedir. Özellikle Sinanhoca Havzası'nın karstik yapısı nedeniyle taban akışı indeksinin, 0.64, hayli büyük olmasının Sinanhoca yeraltı suyu havzasının yerüstü drenaj alanından çok daha büyük

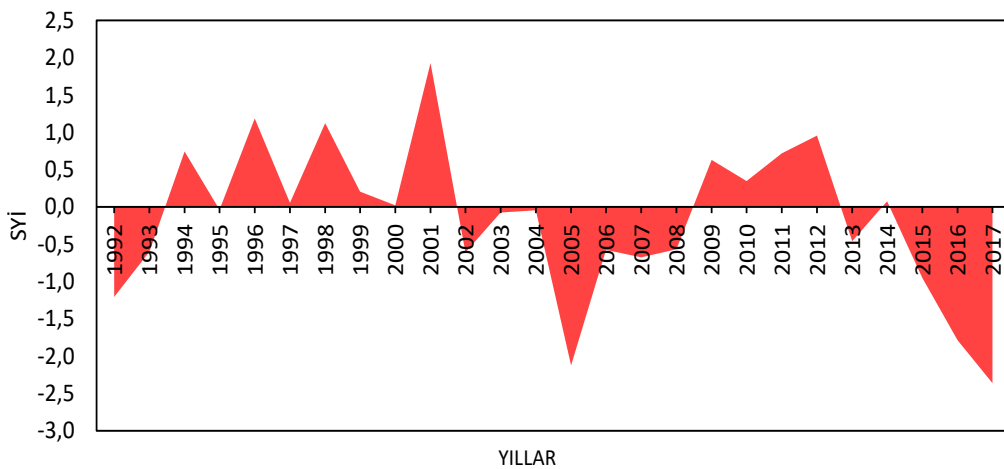
olduğunu göstermektedir. Söz konusu yeraltı suyu beslenmesinin nereden kaynaklandığını tahmin etmek için sonraki adımlarda taban akışı ile komşu havzaların meteorolojik ve hidrometrik veriler arasında korelasyon analizi yapılmıştır.

4.3.2 Yağış

Manavgat Havzası'nda sıcak, yağışsız ve nemli yaz ayları ile ılıman ve yağmurlu kış aylarının görüldüğü Akdeniz iklimi hüküm sürmektedir. Ortalama yağış miktarı havza genelinde 1000 mm/yıl iken Sinanhoca AGİ'nin bulunduğu İbradı'da ise 1700 mm/yıl dolaylarındadır.

Şekil 4.18'de Manavgat Meteoroloji İstasyonu'na ait kuraklık grafiği sunulmuştur. Buna göre söz konusu grafik incelendiğinde;

- Manavgat Havzası'nda 1992'den 2017 yılına kadar geçen sürede ikisi aşırı ve biri çok kurak olmak üzere 11 yılda kuraklık görüldüğü sonucuna ulaşılmaktadır.
- Manavgat Havzası'nın yapılan kuraklık sınıflandırmasına göre orta yağışlı rejime sahip olduğu anlaşılmakta olup, hesaplama aralığında bulunan hiçbir yılda çok yağışlı sınıflandırmaya geçilmemiştir.
- GDK'nın faaliyete geçtiği 2008 yılından önceki 7 yıllık periyot kurak dönem olarak geçmiştir. Transferden sonraki 4 yıllık süreç ise yağışlı dönem olarak geçmiştir ardından tekrar kurak dönem başlamıştır.



Şekil 4.18 Manavgat standartlaştırılmış yağış indeksi

4.3.3 Manavgat Çayı 2008 Yılı Öncesi ve Sonrası Verileri için Bağımsız Örneklem t-Testi ve Mann-Whitney U Testinin Uygulanması

Çalışmada, Manavgat Çayı'nın taban akışında su transferinden önceki (1996-2008) ve sonraki (2008-2016) ortalamalarında anlamlı bir fark olup olmadığı Bağımsız Örneklem t-testi ve Mann-Whitney U testi ile incelenmiştir. Ayrıca olası herhangi bir değişikliğin iklimsel değişimde de kaynaklanabileceği düşünülerek havzaya ait yağış ve sıcaklık verileri için de istatistik testler uygulanmıştır.

Aşağıda sunulan Tablo 4.11'de su transferi öncesi ve sonrası için tanımlayıcı istatistikler verilmiş, Tablo 4.12'de için bağımsız örneklem t-testi sonuçları verilmiş, Tablo 4.13'te ise su transferi öncesi ve sonrası için Mann Whitney U-Testi sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 4.12 Manavgat Havzası su transferi öncesi ve sonrası için tanımlayıcı istatistikler

Değişkenler	Dönem	Veri Sayısı	Ortalama	Standart Sapma
Şelale Taban Akışı(m ³ /s)	1996-2008	144	66,86	45,01
	2008-2015	93	66,91	46,03
Sinanhoca Taban Akışı(m ³ /s)	1996-2008	144	39,92	36,80
	2008-2016	105	41,76	35,95
Manavgat Yağış(mm)	1996-2008	144	89,16	119,11
	2008-2016	108	81,40	107,32
Manavgat Sıcaklık (°C)	1996-2008	144	19,38	5,99
	2008-2016	108	20,02	5,14

Tablo 4.13 Manavgat Havzası su transferi öncesi ve sonrası için bağımsız örneklem T-Testi

Değişkenler	Levene Eşit Varyans Testi			Ortalamaların Eşitliği İçin T Testi		
	Varyans	F	Olasılık, p	T istatistiği	Çift Yönlü Olasılık, p	Ortalama Farkı
Şelale Taban Akışı(m ³ /s)	Eşit Varyans	22,70	0,624	-0,01	0,99	-0,05
	Farklı Varyans			-0,01	0,99	
Sinanhoca Taban Akışı(m ³ /s)	Eşit Varyans	0,02	0,882	-0,39	0,69	-1,84
	Farklı Varyans			-0,40	0,69	
Manavgat Yağış(mm)	Eşit Varyans	0,16	0,692	0,53	0,59	7,76
	Farklı Varyans			0,54	0,59	
Manavgat Sıcaklık (°C)	Eşit Varyans	5,90	0,016	-0,89	0,37	-0,64
	Farklı Varyans			-0,91	0,36	

Tablo 4.12'de sunulan değişkenlere ait *F* istatistiğinin olasılığının(p) 0.05'ten büyük olması nedeniyle her iki dönemde eşit varyans kabulü yapılır; bu nedenle eşit varyans

satırındaki t-istatistiği değerlerine göre her bir değişkenin ortalamaların eşitliği kabul edilir ($p>0,05$). Değerlendirilen su transferi öncesi ve sonrası dönemlerde taban akışı ve meteorolojik verilerin ortalamalarında anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. Buna göre GDK'nın Manavgat Çayı akımı üzerinde olumsuz bir etkisi olmamıştır.

Bağımsız örneklem t-testinin nonparametrik alternatifi olan Mann-Whitney testinin sonuçları da aynı sonuçları vermektedir (Tablo 4.13). Elde edilen p olasılık değerlerine göre her bir değişkenin ortalamaların eşitliği kabul edilir ($p>0,05$). GDK'nın taban akışının trendinde bir değişime sebep olabileceği düşünülerek bir sonraki adımda trend analizi gerçekleştirilmiştir.

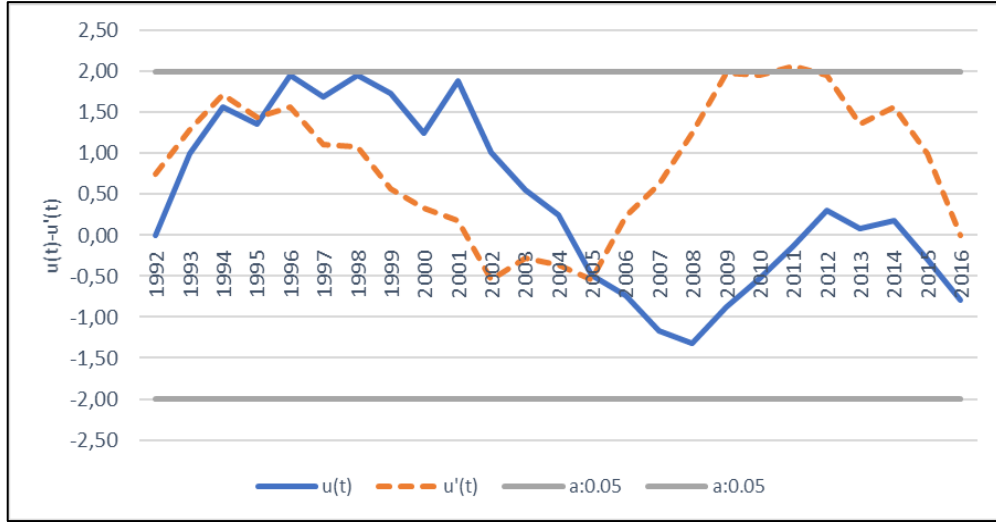
Tablo 4.14 Manavgat Havzası su transferi öncesi ve sonrası için Mann Whitney U-Testi

Değişkenler	Mann-Whitney U	Wilcoxon W	Z	Çift Yönlü Olasılık, p
Şelale Taban Akışı	6639,00	11010,00	-0,11	0,91
Sinanhoca Taban Akışı	7233,00	17673,00	-0,58	0,56
Manavgat Yağış	7519,00	13405,00	-0,45	0,65
Manavgat Sıcaklık	7133,00	17573,00	-1,12	0,26

4.3.4 Ardışık Mann-Kendall Trend Analizi

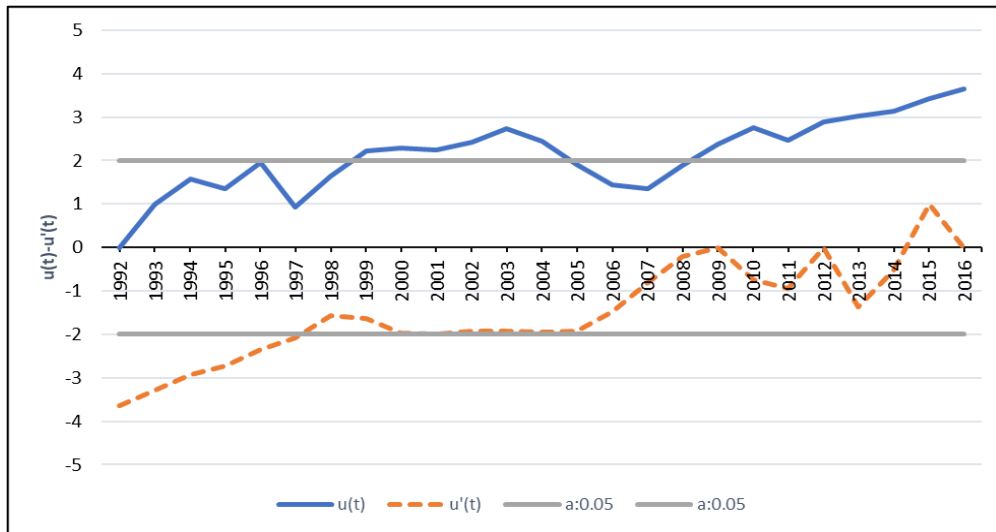
Manavgat Meteoroloji İstasyonu'na ait yağış ve buharlaşma ve elde edilen taban akışı verilene uygulanan Ardışık Mann Kendall trend testi grafikleri aşağıdaki şekillerde sunulmuştur. Bu grafik analiz edilirken trend ve değişim noktası incelenir.

Değişim noktasının önemli olup olmadığı için $\alpha=0,05$ için önem aralığında $u(t)$ ve $u'(t)$ değerlerinin $\pm 1,96$ 'dan büyük veya eşit olmasına dikkat edilmiştir. $\pm 1,96$ 'dan büyük $u(t)$ ve $u'(t)$ değerlerinde trend olarak önemli bir trend vardır demektir. Ayrıca eğer $u(t)$ ve $u'(t)$ değerlerinin kesişim noktası $\pm 1,96$ 'dan büyükse; değişim noktası olarak da önemlenecek bir durum var demektir. Bu noktada bir trend başladığı anlamına gelmektedir. Aşağıda her bir değişkene ait grafik ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.



Şekil 4.19 Manavgat yağış verilerine Ardışık Mann-Kendall Trend Analizi

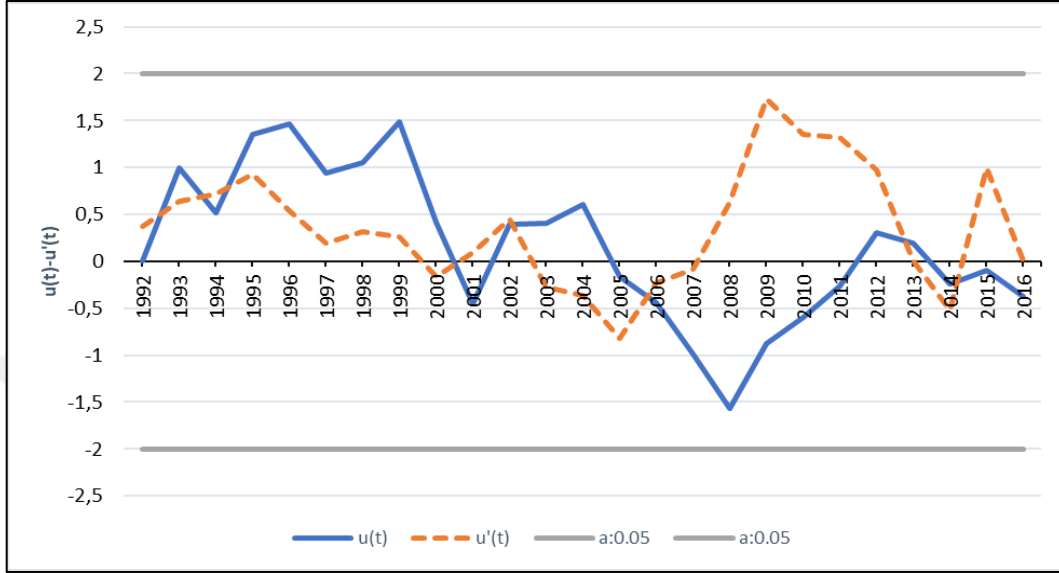
Şekil 4.19’da 2005 yılında gerçekleşen kesişim dikkat çekmektedir. Bu kesişimden sonra bir $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrileri birbirinden belirgin şekilde ayrılmakta olup, $u'(t)$ değeri anlamlılık seviyesi olan 1,96’ya kadar ulaşmıştır. Bu da bize 2005 yılı itibariyle Manavgat yağışın trendinde bir değişimin olduğunu göstermektedir. Bu kesim noktasındaki $u(t)$ ve $u'(t)$ değerleri -0,5 civarındadır. Bu değer kriter olarak kabul ettiğimiz 1,96 değerinden küçüktür fakat bu kesişimden sonra bir belirgin bir ayrılma olmuştur. Manavgat Yağışın 1992’den 2005 yılına kadar olan değerlerinde azalma trendi görülürken bu yıldan sonraki dönemde artan trend görülmektedir.



Şekil 4.20 Manavgat sıcaklık verilerine Ardışık Mann-Kendall Trend Analizi

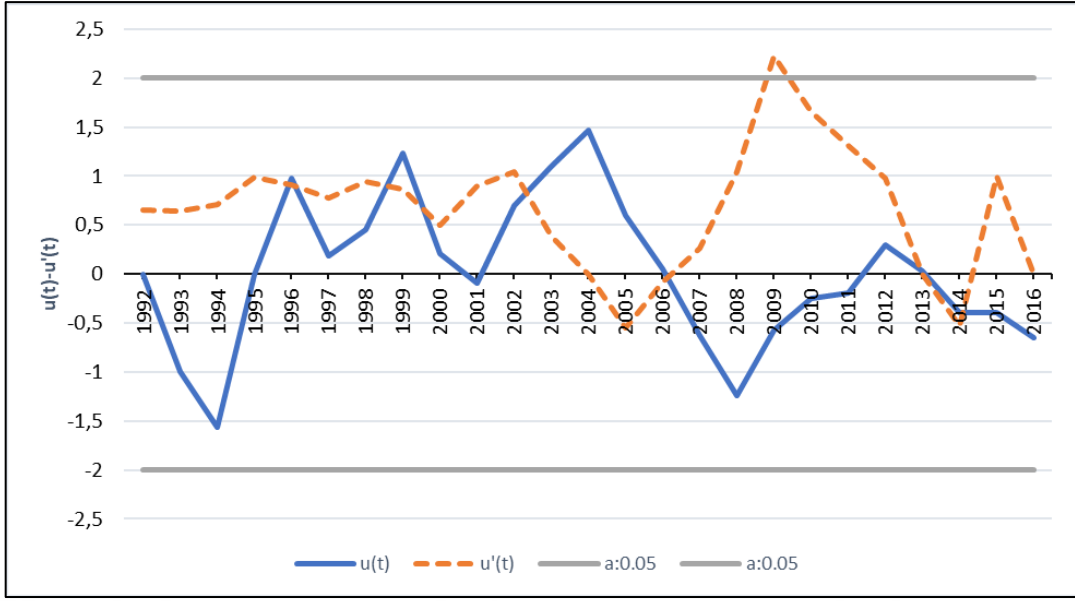
Şekil 4.20’de bulunan sıcaklık analiz grafiği, trende dair belirgin sonuçlar göstermektedir. $u(t)$ ve $u'(t)$ değerlerinde anlamlılık değeri olan $\pm 1,96$ ’dan büyük değerler bulunmaktadır.

Değerlendirilen 1992-2016 yılları arasında genel olarak artan bir trend vardır. Grafikte $u(t)$ ve $u'(t)$ değerleri birbirini hiçbir şekilde kesmemektedir bu yüzden herhangi bir değişim noktasının varlığından bahsedilemez. Manavgat sıcaklık değerlerinde 1992-2016 yılları arasında düzenli bir artış vardır.



Şekil 4.21 Sinanhoca taban akışı verilerine Ardışık Mann-Kendall Trend Analizi

Şekil 4. 20’de $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrileri birbirlerini pek çok noktada kesmektedir. Buna benzer birbirini kısa sürede birçok defa kesen eğrilerde düzenli bir trendden söz edilemez. Bununla birlikte kesim noktalarından en önemlisi 2006 yılında gerçekleşen kesişimdir. Bu kesişimden sonra bir $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrileri birbirinden belirgin şekilde da ayrılrsa da kesişim noktası istatistiksel olarak kabul edilen anlamlılık sınırının altındadır. Buradan 2008 devreye giren GDK’nın Sinanhoca AGİ taban akışı trendine önemli bir etkisinin olmadığını söyleyebiliriz.



Şekil 4.22 Şelale taban akışı Ardışık Mann-Kendall Trend Analizi

Şekil 4.22’de verilmiş olan Şelale taban akışı grafiği incelendiğinde Sinanhoca taban akışı grafiğiyle oldukça benzer olduğu görülmektedir. $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrileri birbirlerini pek çok noktada kesmektedir. Bu grafik için de düzenli bir trendden söz etmek mümkün değildir. 2006 yılındaki kesişimden sonra bir $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrileri birbirinden belirgin şekilde ayrılrsa da kesişim noktasındaki $u(t)$ ve $u'(t)$ değerleri 0 civarındadır. Bu değer de bize Şelale taban akışının trenddeki değişimin önemsiz olduğunu ve GDK’nın Manavgat taban akışı üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

4.3.5 Korelasyon Analizi

Manavgat Havzası’nda bulunan hidrometeorolojik verilere ait korelasyon katsayıları tabloda sunulmuştur. Spearman Rank yöntemi ile elde edilen korelasyon katsayılarında aylık ortalama veriler kullanılmıştır. Nonparametrik testin seçilmesinin temel sebebi, yapılan ön incelemeler sonucunda aylık ortalama verilerin parametrik test için gerekli koşul olan normal dağılıma sahip olmamasıdır.

Tablo 4.15 Manavgat Havzası hidrometeorolojik veriler arasındaki korelasyon katsayıları

Değişkenler	Şelale Toplam Akış	Şelale Taban Akışı	Sinanhoca Toplam Akış	Sinanhoca Taban Akışı	Manavgat Yağış	Manavgat Sıcaklık
Şelale Toplam Akış	1,00	0,88	0,97	0,88	0,36	-0,35
Şelale Taban Akışı	0,88	1,00	0,89	0,92	0,12	-0,08
Sinanhoca Toplam Akış	0,97	0,89	1,00	0,93	0,27	-0,23
Sinanhoca Taban Akışı	0,88	0,92	0,93	1,00	0,06	-0,02
Manavgat Yağış	0,36	0,12	0,27	0,06	1,00	-0,82
Manavgat Sıcaklık	-0,35	-0,08	-0,23	-0,02	-0,82	1,00

Verilere ait korelasyon katsayıları incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır.

Tablo 4.14 incelendiğinde beklenildiği üzere Manavgat Çayı üzerinde bulunan Sinanhoca ve Şelale AGİ akış değerleri arasında yüksek korelasyon olduğu görülmektedir.

Meteorolojik değişken olan yağış ve sıcaklık ile akış verileri arasındaki korelasyon ise düşük çıkmıştır. Burada göze çarpan sonuç toplam akış verileri ile meteorolojik veriler arasında nispeten ilişki varken taban akışı verileri ile meteorolojik verileri arasındaki korelasyonun çok zayıf çıkmış olmasıdır.

Buna göre bu durum taban akışının özellikle karstik bölgelerde komşu havzaların yeraltı suyu akımından ve karstik kaynaklardan beslenen sürekli bir akış olduğunu ve iklimsel faktörlerden çok fazla etkilenmediği göstermiştir. Bununla birlikte geçmiş yıllara ait çalışmalar Manavgat Çayı'ndaki boşalmanın drenaj alanına düşen yıllık ortalama yağışın üç-dört katı olduğunu göstermiştir. Bu doğrultuda sonraki bölümde GDK'nın etkisi göz önünde bulundurularak havzalara ait hidrometeorolojik veriler analiz edilerek havzalar arası ilişkinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

HAVZALAR ARASI İLİŞKİNİN BELİRLENMESİ

Önceki bölümlerde 2008 yılında devreye giren GDK'nın etkisi göz önüne alınarak Beyşehir Gölü ve Manavgat Çayı'ndaki değişimler istatistiksel yöntemlerle incelenmiştir. Çalışmanın bu bölümünde ise Manavgat Çayı'nın Gembos Kapalı Havzası ve Beyşehir Gölü ile arasındaki ilişki araştırılmaktadır. Bu bağlamda havzalarda bulunan meteoroloji istasyonlarının ve akım gözlem istasyonlarının verileri kullanılarak korelasyon ve regresyon analizi yapılmıştır. Manavgat Çayı'nın diğer havzalarla ilişki belirlenirken yapılan analizlerde taban akışı değerleri kullanılmıştır bunun sebebi diğer havzalarla olası bir etkileşimin yeraltı suyu akımı sebebiyle gerçekleşiyor olması ve bunun da taban akışını etkilemesidir. Ayrıca yapılan korelasyon analizi sonucunda Manavgat Çayı'ndaki taban akışının havzadaki iklimsel faktörlerden çok fazla etkilenmediği önceki bölümlerde detaylıca açıklanmıştır. Yıllık ortalama hidrometeorolojik verilere ait korelasyon matrisi su transferi öncesi (1992-2008) ve sonrası (2008-2016) dönemler olmak üzere aşağıda Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de sunulmuştur.

Tablo 5.1 Su transferi öncesi hidrometeorolojik değişkenlere ait korelasyon katsayıları (1992-2008)

Değişkenler	Şelale Taban Akışı	Sinanhoca Taban Akışı	Beyşehir Göl Seviye	Beyşehir Yağış	Manavgat Yağış	Derebucak Kocadere
Şelale Taban Akışı	1	0,87	0,53	0,01	0,23	0,7
Sinanhoca Taban Akışı	0,87	1	0,55	0,04	0,24	0,65
Beyşehir Göl Seviye	0,53	0,55	1	-0,14	-0,01	0,44
Beyşehir Yağış	0,01	0,04	-0,14	1	0,6	0,2
Manavgat Yağış	0,23	0,24	-0,01	0,6	1	-0,24
Derebucak Kocadere	0,7	0,65	0,44	0,2	-0,24	1

Tablo 5.2 Su transferi sonrası hidrometeorolojik değişkenlere ait korelasyon katsayıları (2008-2016)

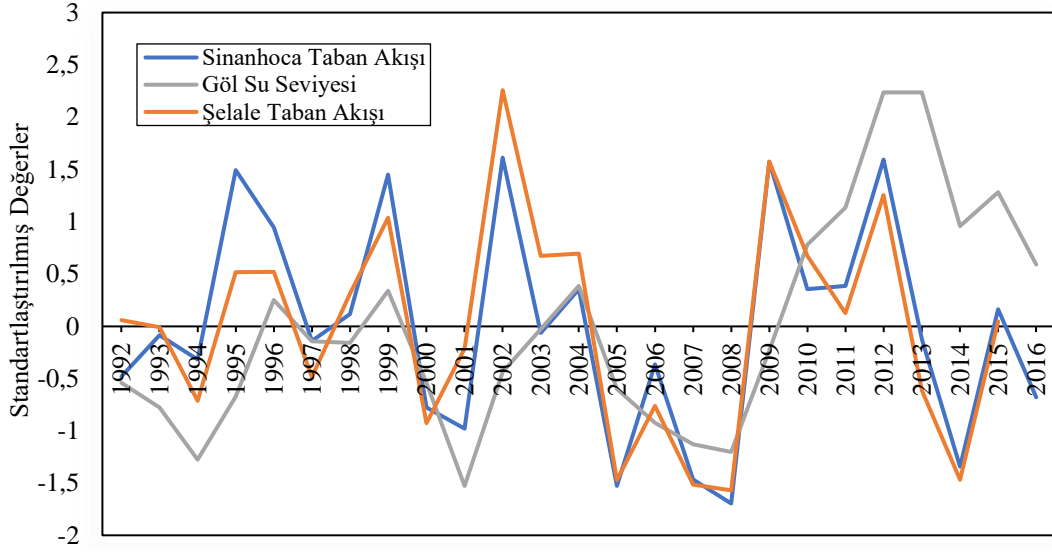
Değişkenler	Şelale Taban Akışı	Sinanhoca Taban Akışı	Beyşehir Göl Seviye	Beyşehir Yağış	Manavgat Yağış
Şelale Taban Akışı	1	0,98	0,24	0,08	0,63
Sinanhoca Taban Akışı	0,98	1	0,4	-0,01	0,63
Beyşehir Göl Seviye	0,24	0,4	1	0,38	0,16
Beyşehir Yağış	0,08	-0,01	0,38	1	0,47
Manavgat Yağış	0,63	0,63	0,16	0,47	1

¹Derebucak Barajı 2008'de Kocadere AGİ'nin membasında işletmeye açıldı. Bu tarihten itibaren AGİ'ye barajdaki fazla sular bırakılmıştır.

Verilere ait korelasyon matrisi incelendiğinde GDK'nın devreye girmesi öncesinde Manavgat Çayı taban akışı ile Kocadere akımı arasındaki korelasyonun (0,7-0,65) yüksek olduğu görülmektedir. Bu ilişki Gembos Kapalı Havzası'nın su transferi öncesinde güneyindeki Manavgat Çayı'nı beslediğini desteklemektedir. Bu doğrultuda daha detaylı analiz için aylık Derebucak yağış verileri ile taban akışı verileri arasında çapraz korelasyon analizi yapılmıştır.

Transfer öncesi dönemde göl seviyesi ve Manavgat taban akışı değerleri arasında ise orta seviyede korelasyon görülmektedir. Derebucak Barajı ile Gembos Havzası'na gelen suyun doğrudan Beyşehir Gölü'ne aktarılmasına başlanmasından sonraki dönemde göl Seviyesi ile Manavgat taban akışı değerleri arasındaki korelasyon değerleri düşmüştür. Önceki bölümde yapılan testler sonucunda görülmüştür ki GDK tek başına değerlendirildiğinde, Beyşehir Gölü seviyesinde anlamlı bir artışa sebep olurken Manavgat Çayı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişim yaratmamıştır. Taban akışı ile göl seviyesi arasındaki ilişkinin zayıflaması GDK ile açıklanabilir.

Göl seviyesi ile Manavgat taban akışının değişimlerinin birlikte incelenmesi için standartlaştırılmış değerlerin zaman serileri Şekil 5.1'de sunulmuştur. Standartlaştırma işlemi sonucunda farklı birimlerde olan verilerimiz birbirleriyle karşılaştırılabilir duruma gelmiştir.



Şekil 5.1 Manavgat taban akışı ve Beyşehir Göl Seviyesi standartlaştırılmış değerleri

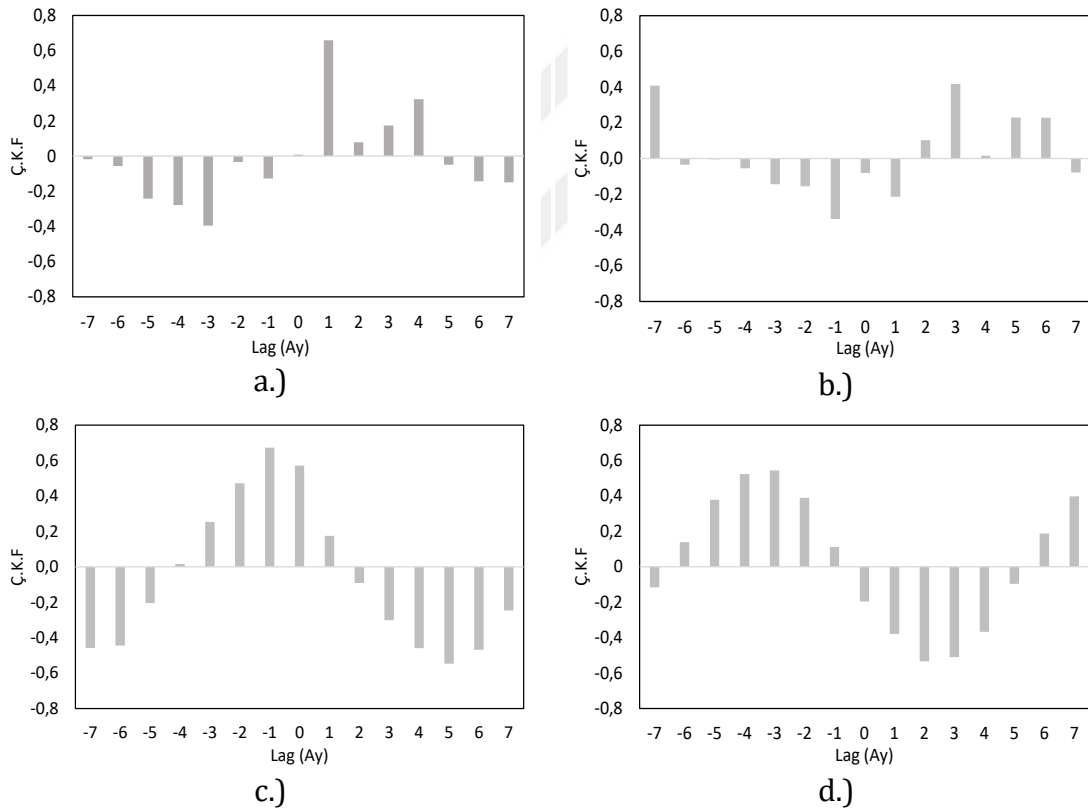
Zaman serisi grafiği incelendiğinde Manavgat taban akışı değerleri ile göl su seviyesinin benzer artış ve azalışların gerçekleştiği göze çarpmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre su transferi öncesinde düdenler ve karstik boşluklar vasıtasıyla Manavgat Havzası'nı beslediği düşünülen Gembos Polyesi'ndeki yağışın bir kısmının doğrudan Beyşehir Gölü'ne aktarılması Manavgat Çayı'nın akımına olumsuz bir etkisi olmamıştır. Bu durum 2008 yılında GDK'nın hizmete girmesinin ardından Beyşehir Gölü su seviyesinde görülen belirgin artışın gölden su kaçaklarının arttırdığını bu kaçakların da tekrar Manavgat Çayı'nı beslemesiyle açıklanabilir. Bunun yanında Gembos Polyesi'nin toplam drenaj alanı 700 km²'den fazla olup Derebucak Barajı'nın inşa edildiği Kocadere AĞI'nin drenaj alanından (73 km²) oldukça büyüktür. Bu doğrultuda Derebucak barajına rağmen Gembos Ovası'na düşen yağışın Manavgat Havzası'nı beslemeye devam etmekte olduğu değerlendirilmektedir. Bu sebeplerle GDK'nın kullanıma açılmasının Manavgat Çayı taban akışında istatistiksel anlamda önemli bir değişime sebep olmamıştır.

Sonuç olarak yıllık verilerin korelasyon katsayıları ve zaman serisi grafikleri Manavgat taban akışının Gembos Havzası ve Beyşehir Göl Seviyesi ile ilişkide olduğunu göstermiştir. Bu doğrultuda çalışmanın son bölümünde Manavgat taban akışının tahmini için etkileşim halinde olduğu belirlenen söz konusu havzaların hidrometeorolojik verilerini kullanarak regresyon modeli kurulması amaçlanmıştır. Bunun için öncelikle Manavgat taban akışı üzerinde etkili olan hidrometeorolojik

değişkenleri belirlemek ve regresyon denkleminde kullanmak için Sinanhoca AGİ'ye ait aylık ortalama taban akışı verileri üzerinde çapraz korelasyon analizi yapılmıştır. Çalışmada Sinanhoca AGİ'ye ait taban akışının kullanılmasının sebebi her iki dönemde de göl seviyesi ile olan korelasyon değerlerinin Şelale AGİ'ye kıyasla daha yüksek çıkmasıdır. Bunun yanında Şelale AGİ'den önce Manavgat ve Oymapınar barajları bulunduğu için akım üzerinde insan etkisi söz konusu olabilmektedir.

5.1 Çapraz Korelasyon Analizi

Çapraz korelasyon analizi, zaman serilerinde, veri setleri arasındaki benzerliği göstermede kullanılır. Aylık veriler üzerinde uygulanan analiz sonucunda elde edilen çapraz korelasyon fonksiyonları aşağıdaki grafiklerde sunulmuştur; burada lag sayısı aylık olarak zamanın ötelenmesini ifade etmektedir.



Şekil 5.2 Çapraz korelasyon fonksiyonları (a) Derebucak yağışı-Sinanhoca taban akışı (b) İbradı yağışı-Sinanhoca taban akışı (c) Beyşehir Göl Seviye-Sinanhoca taban akışı (d) Manavgat sıcaklık -Sinanhoca taban akışı

Veri setlerine ait çapraz korelasyon fonksiyonları incelendiğinde Derebucak Yağış ile Sinanhoca taban akışı +1 ay gecikmeli korelasyon değeri belirgin bir şekilde yüksek çıkmıştır. Eriş ve Wittenberg (2015) [18] karstik yapıya sahip Akdeniz Bölgesi akarsularında çekilme eğrisi parametrelerinin ve taban akışının belirlenmesi için çeşitli çalışmalar yapmıştır. Çalışma sonucunda, Manavgat Nehrinin özellikle kuzey ve kuzeybatısından geldiği düşünülen yeraltı suyunun gecikme süresinin yaklaşık olarak 1-1,5 ay olduğu belirtmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre Gembos Polyesine düşen yağış 1 ay sonra düdenler vasıtasıyla yeraltısu akımı olarak Manavgat taban akışını beslemektedir. Zaman serileri arasındaki benzerliğin kuvvetli olduğu diğer grafik ise Beyşehir Gölü seviyesi ile taban akışı arasında görülmektedir.

Elde edilen istatistiki sonuçlara göre Beyşehir Gölü seviyesi ile Manavgat Çayı taban akışı zaman serilerinde anlamlı benzerlik vardır. Geçmiş yıllarda yapılan bazı araştırmalar [53] Beyşehir Gölü ile Manavgat Nehri arasında yeraltından bir ilişkinin var olabileceğini, ancak bu ilişkinin, nehri besleyen diğer büyük yeraltı ve yerüstü havzalarına göre zayıf olduğunu belirtmişlerdir.

Korelasyon analizi sonucunda taban akışı regresyon modelinde bağımsız değişkenler olarak Beyşehir Göl Seviyesi ve Derebucak Yağış kullanılmıştır. Gembos Polyesi'ne düşen yağışın bir ay sonra Manavgat taban akışını beslediği öngörülerek yağış verileri bir ay ötelenerek modele dahil edilmiştir.

5.2 Manavgat Taban Akışı (Q_b) Regresyon Modeli

Yapılan korelasyon analizi sonucunda taban akışını tahmin etmek için oluşturulan modelde Derebucak Yağış, Beyşehir Göl Seviyesi bağımsız değişkenleri yer almıştır bağımlı değişken olarak Sinanhoca taban akışı değeri kullanılmıştır. Aylık ortalama değerlerin kullanıldığı Q_b modelinde yer alan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 5.3'te görülmektedir.

Tablo 5.3 Taban akışı modelinde yer alan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler

Değişkenler	Ortalama	Standart Sapma
Taban Akışı (Q_b)	31,21	27,48
Derebucak Yağış (mm)	65,64	55,74
Göl Seviyesi (m)	2,03	0,41

Tablo 5.4'te ise model değişkenleri arasındaki korelasyon katsayıları görölmektedir. Korelasyon katsayıları incelendiğinde taban akışının Derebucak Yağış ve Göl Seviye değişkeni ile yüksek derecede korelasyon içinde olduğu görölmüştür. Göl su seviyesi ile Derebucak yağış korelasyonu ise daha zayıftır. Burada bağımsız değişkenler arasında yüksek korelasyon değerlerinin görölmesi istenmeyen bir durumdur. Yüksek korelasyon durumunda çoklu regresyon denkleminde yer alan değişkenler benzer yönden katkıda bulunur ve model performansının iyileşmesinde etkili olamazlar. Bağımsız değişkenlerin korelasyon değeri 0,80'den büyük ise bu çoklu bağlantı problemine sebep olabilir. Bu durumda bazı değişkenler modelden çıkarılabilir [54].

Tablo 5.4 Taban akışı modelindeki değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları

	Taban Akışı	Derebucak Yağış	Göl Seviye
Taban Akışı	1,00	0,73	0,67
Derebucak Yağış	0,73	1,00	0,19
Göl Seviye	0,67	0,19	1,00

Tablo 5.5'te Q_b modelinin korelasyon katsayısı (R) determinasyon katsayısı (R^2), düzeltilmiş determinasyon katsayısı ve tahminin standart hatası görölmektedir. Burada $R^2=0,82$ hesaplanmıştır. Bu değer bağımlı değişken olan taban akışının %82'sinin modele dahil olan bağımsız değişkenlerce açıklandığını ifade eder. Geriye kalan %18'lik kısım modelde yer almayan değişkenlerin hata terimi olarak ortaya çıkan kısımdır. Düzeltilmiş R^2 değeri bağımsız değişken sayısının çok olduğu durumlarda kullanılır.

Tablo 5.5 Taban akışı modeli özeti

R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahminin Standart Hatası
0,91	0,82	0,81	12,02

Daha önce belirtildiği gibi Tablo 5.6'da yer alan F istatistiği modelin bir bütün olarak anlamlılığını kontrolü için kullanılır. Tablo 5.6'da yer alan 60,14 değerindeki F istatistiğinden modelin %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu saptanmıştır ($p<0,05$).

Tablo 5.6 Regresyon modeline ait varyans analizi

Model	Kareler Toplamı	Serbestlik Der.	Kareler Ort.	F İstatistiği	Anlamlılık (p)
Regresyon	17379,45	2	8689,72	60,14	0,00
Kalıntı	3757,09	26	144,50		
Toplam	21136,53	28			

Tablo 5.7’de, regresyon modeline dahil olan değişkenlerin regresyon katsayısı, beta, t istatistiği ve anlamlılık(p) değerleri sunulmuştur. t istatistiği F istatistiğinden farklı olarak değişkenlerin model içinde anlamlı olup olmadıklarını belirlemek için kullanılır [54]. Tablo 5.7 incelendiğinde p değerleri değişkenlerin %95 güven düzeyinde anlamlı olduklarını göstermektedir ($p < 0,05$).

Modelde bulunan değişkenlerin önem derecesini karşılaştırmak için standart beta (StB) değerlerine bakıldığında Derebucak yağışın Beyşehir göl seviyesinden daha önemli bir parametre olduğu görülmektedir (Tablo 5.7).

Tablo 5.7 Taban akışı modeline ait regresyon katsayıları

Regresyon Değişkenleri	Standartlaştırılmamış Katsayılar		Standartlaştırılmış Katsayılar	t İstatistiği	Anlamlılık (p)
	B	Standart Hata	Beta		
Sabit	-63,33	11,40		-5,56	0,00
Derebucak Yağış	0,31	0,04	0,62	7,41	0,00
Göl Seviye	36,63	5,60	0,55	6,54	0,00

Tablo 5.7’de B katsayısı regresyon modelinde yer alan katsayıları göstermektedir. Bu katsayılar kullanılarak taban akışı denklemi aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$Q_b = -63,33 + 36,63xH + 0,31xP \quad (5.1)$$

Burada;

Q_b : Sinanhoca aylık ortalama taban akışı (m^3/s)

P: Derebucak (Gembos) aylık toplam yağış (mm)

H: Aylık ortalama göl seviyesi (m)

5.2.1 Regresyon Modeli Varsayımlarının Kontrolü

Gerçeğe en yakın değerleri verecek olan bir regresyon modelinin elde edilmesi için bütün varsayımların modelde sağlanması gerekmektedir. Model üzerindeki istatistik testlerin geçerliliği aşağıda açıklanan bu varsayımların sağlanmasına bağlıdır.

5.2.1.1 Çoklu doğrusallık kontrolü

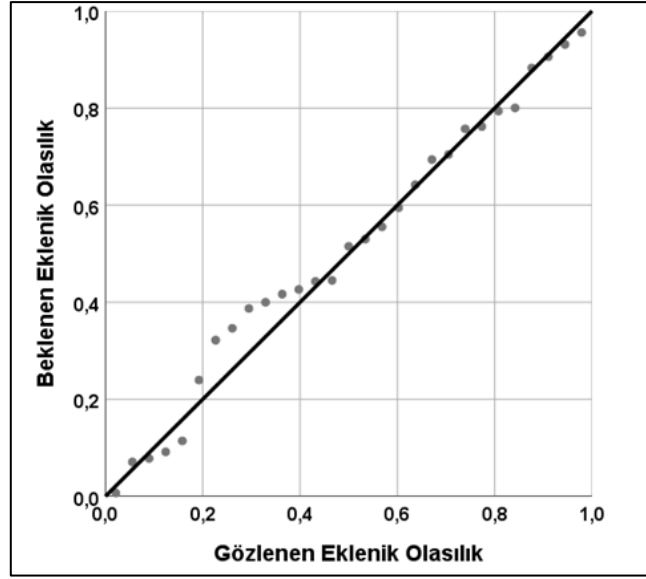
Bağımsız değişkenlerin kendi aralarında belli bir seviyenin üzerinde ilişki içinde olması çoklu bağlantı (multicollinearity) problemine yol açar. Bu ifade doğrusal regresyon modelinden bir sapmayı ifade eder ve modelin güvenilirliğini azaltır. Bu çalışmada Tablo 5.8’de sunulduğu üzere, geliştirilen modelde değişkenler için (VIF) elde edilmiş ve çoklu bağlantı probleminin kontrolü sağlanmıştır. Literatürde VIF değeri 7,5’tan büyükse çoklu bağlantı problemi olduğu belirtilir. Modeldeki bağımsız değişkenlerin VIF değerlerinden çoklu doğrusallık kontrolünün sağlandığı görülmektedir.

Tablo 5.8 Taban akışı regresyon modeli bağımsız değişkenlere ait varyans artış faktörü (VIF) değerleri

Değişkenler	VIF
Derebucak Yağış	1,02
Göl Seviye	1,02

5.2.1.2 Hata terimlerinin normal dağılımı

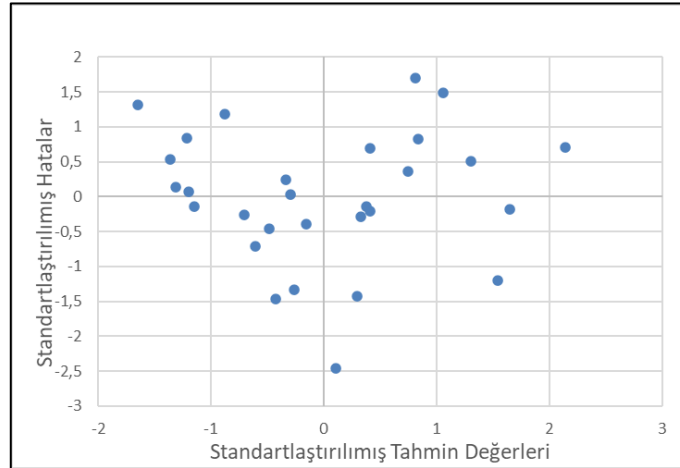
Normallik varsayımı parametrelerin güven aralıklarının kurulması ve anlamlılık testleri için gerekmektedir. Hataların normal dağılıma sahip olduğunu sınamak için artıkların histogramı, kutu çizitleri (box-plot) ve normal olasılık grafiği gibi yöntemler vardır. Çalışmada bu varsayım P-P (probability – probability) grafiği ile test edilmiştir. Bu grafikte veriler diyagonal çizgiye yakınsa, hata terimlerinin normal dağılıma uygun olduğu söylenebilir. Şekil 5.3 incelendiğinde hataların bu doğru çevresinde toplandığı görülmektedir buna göre normallik varsayımı sağlanmıştır.



Şekil 5.3 Regresyon modeline ait P-P grafiği

5.2.1.3 Eş varyanslılık (Homoskedastisite)

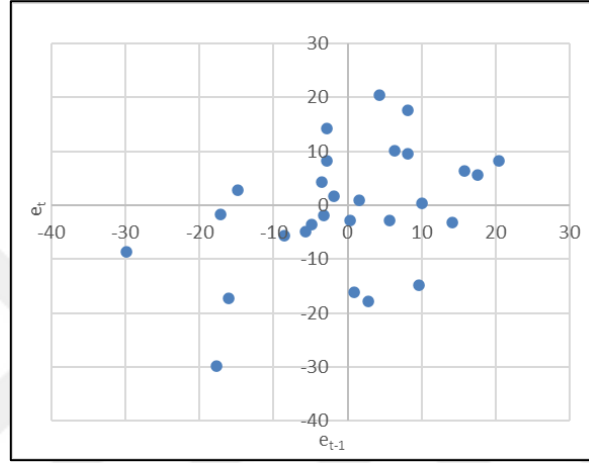
Bu varsayım bağımlı değişkendeki her bir gözlemin eşit ağırlıkta olduğunu ifade etmektedir. Sabit varyans varsayımı kontrolü için y ekseninde hata değerlerinin x ekseninde ise tahmin değerlerinin olduğu saçılım grafiği kullanılır. Grafikte gözle görülür bir kümeleşme yoksa varyansın homojen olduğu sonucuna varılır. Şekil 5.4 incelendiğinde eş varyanslılık varsayımının sağlandığı görülmektedir.



Şekil 5.4 Regresyon modeline ait eş varyanslılık grafiği

5.2.1.4 Otokorelasyon

Hatalar arasında otokorelasyon olması tahminlerin hassasiyetinde kayba neden olmaktadır. Otokorelasyonun kontrolü hata terimi (e_t) değerlerinden faydalanarak grafik yoluyla tespit edilebilir. Bunun için ya zaman ile e_t değerleri ya da e_t ile e_{t-1} değerleri alınarak elde edilen grafiklerin durumu değerlendirilir. Şekil 5.5'te noktalar rastgele düzensiz bir görünüm sergilediklerinden dolayı hata terimleri arasında otokorelasyon olmadığını söyleyebiliriz.



Şekil 5.5 Taban akışı regresyon modeli için hata terimleri grafiği

Yapılan kontroller sonucunda regresyon modelinin dört varsayımı da sağladığı görülmüştür buna göre elde edilen regresyon denklemi (5.1) istatistiki anlamda kullanılabilir bulunmuştur.

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; Gembos Derivasyonu'nun etkisi göz önüne alınarak Beyşehir Gölü su seviyesinde yaşanan değişim ve bu su transferi projesinin Manavgat Çayı'nın beslenimini azaltıp azaltmadığı istatistik yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca geçmiş yıllardan beri birçok çalışmaya konu olan Manavgat Çayı'nın Beyşehir Gölü ve Gembos Kapalı Havzası ile ilişkisini ortaya çıkarmak için havzalara ait hidrometeorolojik veriler analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki gibi özetlenmiştir;

- Çalışmada, su transferinden sonraki dönemde, (2008-20016) gerçekleşen göl seviyesindeki 0,84 m ve göl hacmindeki 551,56 hm³ artış istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Benzer şekilde GDK'nın mansaplandığı Soğuksu-Yeşildağ ortalama akımında 3,16 m³/s'lik, regülatörle Konya Ovası'na aktarılan su debisinde 1,90 m³/s'lik bir artış meydana gelirken; suyu transfer edilen Kocadere akımında 2,91 m³/s'lik azalma meydana gelmiştir.
- Gölü besleyen derelerde ve Beyşehir yağış verilerinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişim gerçekleşmemiştir. Buna karşın Beyşehir aylık toplam buharlaşma ortalamasında ise 2008-2016 yılında 30,93 mm'lik artış gerçekleşmiştir. Buharlaşmadaki artış trend analizinde de net bir şekilde görülmektedir.
- Elde edilen bu sonuçlara göre; su transferi sonrası dönemde buharlaşmadaki artışa rağmen Beyşehir Gölü su seviyesinde ve hacminde meydana gelen artış iklimsel sebeplerden değil göl üzerindeki yapay müdahalelerden kaynaklandığı görülmüştür. Göl su seviyesi üzerinde gerçekleşen değişimde GDK'nın ve regülatör aracılığıyla Konya Ovası'na aktarılan suyun etkisinin belirlenmesi için Segmenter yazılımı ile göl seviyesinin trend bileşenleri ve ani değişimleri belirlenmiştir.
- Segmenter yazılımında değerlendirilen zaman aralığında göl su seviyesindeki artma eğilimi sadece GDK'nın devreye girmesinden regülatörle Konya Ovası'na tekrardan su aktarılmasına kadar geçen sürede gerçekleşmiş olup,

diğer dönemlerde göl su seviyesi azalma eğilimindedir. Bütün bu sonuçlar beraber değerlendirildiğinde GDK Beyşehir Gölü su seviyesine belirgin bir biçimde olumlu katkı yapsa da göl su seviyesinin korunmasında ana etkenin sulama amaçlı Konya Ovası'na aktarılan akım olduğu görülmektedir.

- GDK ile Beyşehir Gölü su seviyesinde belirgin bir artışın gerçekleşmesi su transferi öncesinde Gembos Havzası suyunun büyük kısmının doğal yollarla Beyşehir Gölü'ne ulaşmadığını göstermektedir.
- Manavgat Çayı'nda Şelale AGİ'ye ait ortalama toplam akışın (127,07 m³/s) Sinanhoca AGİ ortalama toplam akışının (64,42 m³/s) yaklaşık 2 katı olduğu görülmüştür. Bununla birlikte Şelale AGİ ortalama taban akışıyla (66,49 m³/s) Sinanhoca ortalama taban akışının (40,96) oransal fark daha azdır. Bu durum akımın farklı noktalarında yeraltı suyu drenajı alanı ile yerüstü drenaj alanının farklı olabileceğini göstermektedir. Özellikle Sinanhoca AGİ'nin taban akışı indeksi(0,64) Manavgat Çayı'nın yeraltı suyu havzasının yerüstü drenaj alanından daha büyük olabileceğini göstermektedir.
- Korelasyon analizleri taban akışının özellikle karstik bölgelerde komşu havzaların yeraltı suyu akımından ve karstik kaynaklardan beslenen sürekli bir akış olduğunu ve iklimsel faktörlerden çok fazla etkilenmediği göstermiştir.
- Değerlendirilen su transferi öncesi (1996-2008) ve (2008-2016) sonrası dönemlerde Manavgat taban akışı ve meteorolojik verilerin ortalamalarında anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. Ayrıca yapılan trend analizleri grafikleri de taban akışındaki değişimlerin anlamlılık seviyesinin altında olduğunu göstermiştir. Buna göre GDK'nın Manavgat Çayı akımı üzerinde olumsuz bir etkisi olmamıştır.
- Havzaların hidrometeorolojik verilerinin analizi Gembos Polyesi'ne düşen yağışın yaklaşık 1 ay sonra düdenler vasıtasıyla yeraltı suyu akımı olarak Manavgat taban akışını beslediği düşüncesini desteklemektedir.
- Manavgat (Sinanhoca AGİ) taban akışı ile Beyşehir Gölü su seviyesinin standartlaştırılmış zaman serisi grafiği incelendiğinde oldukça benzer artış ve azalışların gerçekleştiği göze çarpmaktadır. Ayrıca taban akışı ve göl seviyesi arasındaki korelasyon değerleri de Manavgat Çayı ve Beyşehir Gölü havzaları

arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ve karstik bölgede yer alan bu havzalar arasında yeraltı suyu etkileşimi olabileceğini göstermektedir.

- Beyşehir Gölü ile Manavgat Çayı taban akışı arasında görülen ilişkinin nehrin mansap yönüne doğru ilerledikçe (Şelale AGİ) azalmakta olduğu görülmektedir. Manavgat Çayı'nın mansap doğrultusunda Duman kaynaklarının akıma katılmasının yanı sıra Eynif ve Akseki gibi komşu havzalardan da beslenmenin gerçekleşmesi ilişkinin zayıflamasına sebep olmaktadır. Ayrıca Şelale AGİ'den membasında yer alan Manavgat ve Oymapınar barajlarından salınan düzensiz sular da ilişkiye zayıflatıcı bir etkidir. Bu sebeple çalışmada regresyon analizi için kuzeyde yer alan Sinanhoca AGİ'ye ait taban akışı değerleri kullanılmıştır.
- Manavgat Çayı'nın kuzeyinde yer alan Beyşehir Gölü ve Gembos Kapalı Havzası'yla ilişkisinin belirlenmesinin ardından Manavgat Çayı taban akışının regresyon modeli oluşturulmuştur. Regresyon modelinde bağımsız değişkenler olarak Beyşehir Gölü su seviyesi ve Derebucak yağışı kullanılmış ve modelin determinasyon katsayısı (R^2) 0,82 olarak hesaplanmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmada elde edilen sonuçlar dikkate alınarak ileride yapılabilecek çalışmalar için aşağıdaki öneriler tavsiye edilmektedir;

- Çalışmanın alanının bulunduğu havzalar karst yapısının yoğun olarak geliştiği Batı Toroslar içerisinde yer aldığı bilinmektedir. Karstik bölgelerdeki düden, obruk gibi jeolojik formasyonların komşu havzalar arasındaki su kaynakları arasında beklenilmeyen etkileşime sebep olabilmektedir. Bu yüzden Manavgat Çayı akımının daha detaylı analizi için Akseki, Eynif ve Suğla gibi komşu havzaları da kapsayacak şekilde disiplinler arası bir çalışmanın yürütülmesi faydalı olacaktır.
- Gembos Ovası'nda transfer öncesi ve sonrası dönemler için taşkın riskinin nasıl değiştiği araştırılmalıdır.
- Beyşehir Gölü'nün korunup gelecek nesillere sağlıklı bir biçimde aktarılması için özellikle gölden sulama amaçlı Konya Ovası'na gönderilen suyun olumsuz etkisini azaltacak optimizasyon çalışmaları yapılmalıdır.

- [1] Pavli'c, K. and Parlov, P. (2019). Cross-Correlation and Cross-Spectral Analysis of the Hydrographs in the Northern Part of the Dinaric Karst of Croatia. *Geosciences*, vol.9, pp. 9-86, 2019.
- [2] Kadic, A., Jukic, V. D. and Jukic, D. (2018) Revealing hydrological relations of adjacent karst springs by partial correlation analysis. *Hydrology Research*, vol. 3, no. 49, pp. 616-633.
- [3] Ekmekçi, M. ve Arıkan, A. (1985). A Multidimensional Approach To Rainfall-Streamflow Relationship In Manavgat River Basin, Turkey. *Karst Water Resources-Proceedings of a symposium held Antalya/Ankara*.
- [4] Zaifoğlu, H. (2013). Fırat akarsu havzası için topoğrafik ve hidrometeorolojik veriye dayanan taban akışı ayırma modeli. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Acar, R. (2003) Çoruh Hidrolojik Havzasında Yıllık Yağış Verilerinin İstatistiksel Modellemesi, Pamukkale Üniv. Mühendislik Fak. Mühendislik bilimleri Dergisi, 9, 313.
- [6] Namlı, Y. (2019). Fırat-Dicle Ve Yeşilırmak Havzalarında Taşkın Trend Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Xe, F., Jia, Y., Niu, C., Liu, J. and Hao, C. (2018). Changes in annual, seasonal and monthly climate and its impacts on runoff in the Hutuo River Basin, China. *Water*, vol 3, no. 10, p. 278.
- [8] Fan, Y., Chen, Y., Liu, Y. and W. Li, (2013). Variation of baseflows in the headstreams of the Tarim River Basin during 1960–2007. *Journal of Hydrology*, vol. 487, pp. 98-108.

- [9] Wilson, M.C., Li, X.-Y., Ma, Y.-J., Smith, A.T., and Wu, J. (2017). A Review of the Economic, Social, and Environmental Impacts of China's South-North Water Transfer Project: A Sustainability Perspective. *Sustainability*, 9, no. 1489.
- [10] Bonacci, O. and Andrić, I. (2010). Impact of an inter-basin water transfer and reservoir operation on a karst open streamflow hydrological regime: An example from the Dinaric karst (Croatia). *Hydrological Processes*. 24. 3852 - 3863. 10.1002/hyp.7817.
- [11] Bharati, L., Smakhtin, V., and Anand, B. (2008). Analysis of the Inter-basin Water Transfer Scheme in India: a case study of study of the Godavari-Krishna link. International Water Management Institute, Sri Lanka.
- [12] Bui, T. D., Talebpoor, D., Ghanavati, E., Al-Ansari, N., Khezri, S., Chapi, K., Amini, A. (2020). Effects of Inter-Basin Water Transfer on Water Flow Condition of Destination Basin. *Sustainability* 12(1), 338.
- [13] Karakaya, N. (2006). Havzalar Arası Su Transferine Sistematik Bir Yaklaşım. Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] Günay, G. (1985). Karst groundwater studies in Manavgat River Basin. Turkey: Karst Water Resources, Proceedings of the Ankara-Antalya Symposium.
- [15] Yurtsever, M. (1978). Tabii izotopların hidrolojide kullanılması esaslan ve Antalya civarı karstik bölgede yerüstü - yeraltı suyu ilişkilerinin tabii izotoplarla araştırılması sonuçları. Tübitak; VI. Bilim Kongresi, Mühendislik Araştırma Grubu, Ankara.
- [16] Ekmekçi, M. (1987). Beyşehir Gölü'nün Komşu Havza Akımlarına Olan Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [17] Doğan, A., Başayığit, L., Soyaslan İ. İ. ve Nas, B. (2013). Göl-Yeraltısu-İklim İlişkisinin Yeraltısu Akım Modeli ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Yardımla Belirlenerek Gölün Optimum Dinamik İşletme Modelinin Oluşturulması: Beyşehir Gölü Modeli Sonuç Raporu, İstanbul.

- [18] Eriş, E. and Wittenberg, H. (2015). Estimation of baseflow and water transfer in karst catchments in Mediterranean Turkey by nonlinear recession analysis. *Journal of Hydrology*, no. 530, pp. 500-507.
- [19] United Nations Development Programme, (1983). Strengthening DSI groundwater investigative capability, phase II, karst waters of southern Turkey, report no. DP/UN/TUR-77-015/1, United Nations Development Program, New York.
- [20] Çultu, L. and Altınbilek, D. (1971). Statistical analysis of Manavgat River basin recharge characteristics,» M.E.T.U. Civil Eng. Dept, Water Operations Lab., Technical Publ, no. 2, p. 106.
- [21] Israel, M. and Lund, J. (1995). Water transfers in water resources systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, no. 121, pp. 193-204.
- [22] Lund, J.R., M. Israel and R. Kanazawa (1992). Recent California water transfers: emerging options in water management. Center for Environmental and Water Resources Engineering Report, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis.
- [23] Shiklomanov, I. (1999). Water transfer as one of the most important ways to eliminate water resources deficits and to solve water management problems. *Interbasin Water Transfers, Proceedings of the International Workshop, Paris*.
- [24] Water Diversion Projects, 7.11.2020. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.encyclopedia.com/environment/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/water-diversion-projects>.

- [25] Easa, S. and Han, Y.C. (2017). China's Mega South-North Water Transfer Project: Opportunities and Challenges. 52nd Central Canadian Symposium on Water Quality, Toronto.
- [26] Pittock, J., Meng, J.H. and Chapagain, A. K. (2009). Interbasin water transfers and water scarcity in a changing world - a solution or a pipedream?. WWF Germany.
- [27] Homayoun, M. (2002). The study of impacts of transferring water from wet regions to dry regions in Iran. Riversyposium , Australia.
- [28] Shumilova, O., Thieme, M., Koska, A., Zarfl, C. (2018). Global Water Transfer Megaprojects: A Potential Solution for the Water-Food-Energy Nexus?. Frontiers in Environmental Science. 6. 10.3389/fenvs.2018.00150.
- [29] Akbaş, A. (2005). İstanbul Su Kaynaklarının İncelenmesi Yeşilçay ve Melen Sistemlerinin Ekonomik Yönden Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [30] DSİ, (2012) [Çevrimiçi]. Available: <http://www.dsi.gov.tr/haberler/2012/04/10/melendesonageliniyor>. [Erişildi: 28 2 2020].
- [31] DSİ, Asırlık Rüya Konya Ovası Projesi, Ankara: DSİ, 2013.
- [32] DSİ, (2019). [Çevrimiçi]. Available: <http://www.dsi.gov.tr/engelsiz-dsi-haberler/2019/09/16/harran-ovalar%C4%B1-ve-suru%C3%A7-ovas%C4%B1-sulamas%C4%B1-son-h%C4%B1zla-devam-ediyor>.
- [33] DSİ, (2018) [Çevrimiçi]. Available: <http://bilgi.dsi.gov.tr/dijital/suvedsi/files/assets/basic-html/page285.html>. [Erişildi: 15 01 2020].

- [34] Nas, B., Berktay, A., Aygun, A., Karabork, H. and S. Ekercin. (2009). Seasonal and spatial variability of metals concentrations in Lake Beyşehir, Turkey. *Environmental Technology*, vol. 4, no. 30, pp. 345-353.
- [35] Hoşafcıoğlu, S. (2007). Beyşehir Gölü Havzası'nda Noktasal ve Noktasal Olmayan Kirletici Kaynakların Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [36] Mercan, D.E. (2006). Beyşehir Gölünün Hidrodinamik Modellemesi. Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [37] IECO-AKNIL, (1966). Konya-Çumra Havzası, Su Kaynaklarının Geliştirilmesi Master Planı, Ankara: DSİ Genel Müdürlüğü.
- [38] Yavuz, F. (2011). Katılımcı Havza Planlaması Ve Yönetimi: Beyşehir Gölü Havzası'nda Kritik Başarı Faktörlerinin Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [39] R. İzbirak, «Wikipedia,» 11 Mayıs 2020. [Çevrimiçi]. Available: https://tr.wikipedia.org/wiki/Manavgat_Nehri#cite_ref-0_2-2.
- [40] Karanjac, J. and Günay, G. (1980). Dumanlı spring, Turkey-The largest karstic spring in the World ?. *Journal of Hydrology*, no. 45, pp. 219-231.
- [41] Doğan, C. D. Ankara Üni. Açık Ders., (2020). [Çevrimiçi]. Available: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/13905/mod_resource/content/0/6.%20Ba%C4% F%C4%B1ms%C4%B1z%20%C3%96rneklemler%20t-Testi.pdf.
- [42] İtibar, M. (2005). Ege Bölgesi Akarsularına Ait Yapısal Karakteristiklerin Olasılık Yöntemleri Yardımıyla Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İstanbul.

- [43] Doğan, C. D. Ankara Üni. Açık Ders., (2020). [Çevrimiçi]. Available: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/30763/mod_resource/content/0/10_Mann%20Whitney%20U%20Testi.pdf.
- [44] Sharma, S., Swayne D. and Obimbo, C. (2016). Trend analysis and change point techniques: a survey,» *Energy, Ecology and Environment*, vol 1, no. 3, pp. 123-130.
- [45] Sneyers , R. (1990). *On The Statistical Analysis of Series of Observations*. World Meteorological Organisation, Geneva, Switzerland.
- [46] Aminikhanghahi, S. and Cook, D. J. (2017). A survey of methods for time series change point detection. *Knowledge and Information Systems*, 51(2), 339–367. <https://doi.org/10.1007/s10115-016-0987-z>, *Knowledge and Information Systems*, vol 2, no. 51, p. 339–367.
- [47] Teltik, İ. (2008). *Van Gölü Su Seviyesinin Stokastik Modellenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İstanbul.
- [48] Aksoy, H., Gedikli, A. and Erdem, U. N. (2008). Fast segmentation algorithms for long hydrometeorological time series. *Hydrological Processes*, vol. 22, pp. 4600-4608, 2008.
- [49] Bayazıt, M. (2013). *Hidroloji*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [50] Bayazıt, M. (1996). *İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri*, İstanbul: İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.
- [51] Kayan, G. (2014). *Sakarya ve Batı Karadeniz Akarsu Havzaları için Taban Akışı Ayırma Modeli*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İstanbul.
- [52] Babaoğlu, M. (2007). *Beyşehir Gölü'nün Sorunları ve Alınması Gereken Önlemler*. Konya İl Genel Meclisi Beyşehir Gölü Araştırma Komisyonu Raporu, Konya.

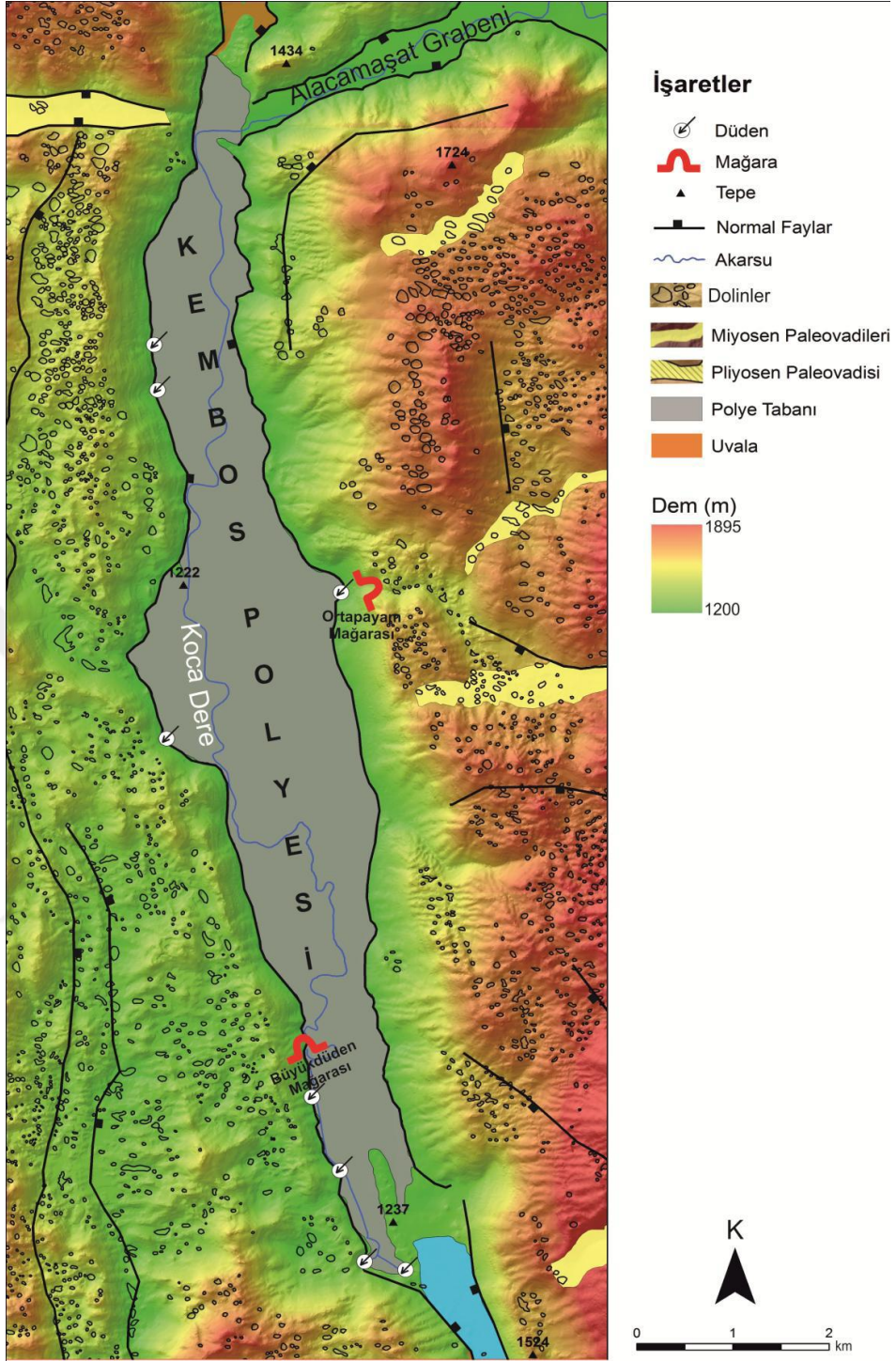
- [53] Nazik, L. (1992). Beyşehir Gölü Güneybatısı İle Kembos Polyesi Arasının Karst Jeomorfolojisi. Doktora Tezi, Deniz Bilimleri Ve Coğrafya Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- [54] Kalaycı, S. (2010). SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri, Ankara: Asil Yayınları.
- [55] Gökkaya, E. (2016). Manavgat Nehri Yukarı Havzasının Jeomorfolojik Evrimi: Kembos Ve Eynif Polyelerinin Jeomorfoloji. Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü , Ankara Üniversitesi, Ankara.



Gembos Polyesi Jeomorfolojisi

Polye, çözünebilen kayaların çözünmesiyle meydana gelen ve yüksek dağlar arasında bulunan karstik ovadır. Polyelerin oluşumunda etkili olan birçok faktör vardır ve arazinin yerel su tablası bunların başında gelir. Tektonik yükselmeden dolayı hidrolik eğimin arttığı yerde kör vadi gelişir bu durum akarsuların yüzeysel akışını engeller ve kapalı karstik depresyonların oluşmasına yol açar.

Gembos Polyesi'nin oluşumunda da Kuvaterner'de meydana gelen bölgesel yükselme ve graben oluşumu doğrudan etkilidir. "Pliyosen'de bugünkü Manavgat Çayı'na doğru kuzeybatı-güneydoğu yönünde, doğrultu atımlı faylara uyum sağlayarak akışa geçmiştir. Kuvaterner başlarında ise doğrultu atımlı faylar düşey atımlı faylar olarak çalışmaya başlamış ve grabenler oluşmuştur. Graben oluşumunun yanı sıra bölgenin tektonik yükselmesi sonucu hidrolik eğim artmış, düdenler oluşmuş, Manavgat Nehri paleo-yan kolları karstlaşmış ve önce kör vadi sonra polye karakteri kazanmış olmalıdır. Çalışma alanındaki karst depresyonlarının kuzey kuzeybatı-güney güneydoğu yönünde muntazam olarak sıralanması, Gembos Polyesi güneyindeki eşikle ayrılan paleovadi ve uvala Gembos Polyesi kuzeyindeki uvala eski Manavgat Nehri kolunun karstlaşması ile ilişkili olmalıdır. Ayrıca Gembos Polyesi'nin güney ucundaki eşik paleovadinin aktif olduğu dönemde vadisinin korunabilmiş en yüksek taban seviyesini göstermektedir. Polye oluşmadan önce Gembos Paleonehri, Polyenin güney kesimindeki paleovadiyi takip ederek bugünkü Sobuca Polyesi'ne oradan da Ürünlü Grabenini izleyerek Manavgat Çayı'na ulaşmış olmalıdır. [55]"



Şekil A.1 Gembos Polyesi ve çevresinin jeomorfoloji haritası [55]



a.)



b.)



c.)

Şekil A.2 a.)Gembos Polyessi'nin kuzeyden güneye doğru görünümü b.) Gembos Polyessi'nin güneyden kuzeye doğru görünümü c.)Gembos Polyessi'nin 2006 yılında gölova halini aldığı dönem [55]



Şekil A.3 Gembos Polyesi üzerinde bulunan düdenler [55]

Konferans Bildirileri

1. Sinan, İ., Ağa ıoğlu, H., Őanlı, A.S., Kesgin, E. (2020). Havzalar Arası Su Transferinin Karstik Bölge Akarsularındaki Akıma Etkisi: Gembos Derivasyon Kanalı Örneği. 1.Uluslararası Palandöken Bilimsel Araştırmalar Kongresi, s. 259-272.



