

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



METEOROLOJİK KURAKLIK ANALİZİNDEKİ
BELİRSİZLİK YARATAN UNSURLARIN
İRDELENMESİ

GÖKHAN SARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Umut OKKAN (Tez Danışmanı)
Doç. Dr. Atilla MUTLU
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Ali KUMANLIOĞLU

BALIKESİR, OCAK - 2023

KABUL VE ONAY SAYFASI

Gökhan SARI tarafından hazırlanan “**METEOROLOJİK KURAKLIK ANALİZİNDEKİ BELİRSİZLİK YARATAN UNSURLARIN İRDELENMESİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 16 Ocak 2023 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Doç. Dr. Umut Okkan
Balıkesir Üniversitesi

Üye

Doç. Dr. Atilla Mutlu
Balıkesir Üniversitesi

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Ali Kumanlıoğlu
Celal Bayar Üniversitesi

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Dilek TÜRKER

.....

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Meteorolojik Kuraklık Analizindeki Belirsizlik Yaratan Unsurların İrdelenmesi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Gökhan SARI

ÖZET

**METEOROLOJİK KURAKLIK ANALİZİNDEKİ BELİRSİZLİK
YARATAN UNSURLARIN İRDELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
GÖKHAN SARI
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. UMUT OKKAN
BALIKESİR, OCAK – 2023**

Küresel ısınmanın gelecekteki etkilerinin öngörülüp su ihtiyacı açısından önlemlerin alınabilmesi için kullanılan hesap yöntemlerinin gerçekçiliğinin matematiksel olarak sorgulanma ihtiyacı duyulmaktadır. Bu nedenle, meteorolojik kuraklık analizinde kullanılan PET(Potansiyel Evapotranspirasyon), GCM(Genel Döngü Modeli) , RCP(Temsili Kotasyon Rotaları) modellerinin oluşturduğu belirsizliklerin belirlenmesi gerekmektedir. Aksi durumda bir ya da birden fazla havza üzerinde yapılacak gelecek senaryolarının ne denli hatalı olabileceği öngörülemezdir. İşbu çalışmada söz konusu model ve yöntemlerin oluşturduğu sonuçlar varyans analizine(ANOVA) tabi tutulmuş ve ortaya çıkan sonuçlar incelenmiştir. Belirsizliği yaratan her bir unsurun ne ölçüde belirsizlik yarattığı belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmada öncelikle Gördes havzasının tüm ölçüm istasyonlarının sıcaklık(T) ve yağış(P) verileri alınmış, bu veriler havzayı modelleyecek şekilde optimize edilmiştir. Sonrasında havzanın tümünün yükselti, enlem ve boylam değerleri tüm havzayı modelleyecek şekilde optimize edilmiştir. Ardından 12 adet PET modeli MATLAB programı yardımıyla oluşturulmuştur. PET modellerinden alınan potansiyel evapotranspirasyon değerleri yağış değerleriyle birlikte Standartlaştırılmış Yağış ve Evapotranspirasyon Endeksine(SPEI) tabi tutulmuştur. Bölgenin kuraklık analizi yapıldıktan sonra GCM modellerinin ölçek indirgemeleri yapılmış ve Gördes Havzasını modelleyecek hale getirilmiştir. 1980-2006 yılı takvim verileri 1981-2005 yılı su verilerine dönüştürülmüş ve her modelin aynı veriyle çalıştığından emin olunmuştur. Sonrasında GCM ve RCP modellerinin projeksiyonları 2020-2050 su yılları arasında yine MATLAB programı yardımıyla programlanarak 2 Adet RCP, 12 Adet GCM ve 12 Adet PET modelinin sonuçları alınmıştır. Daha sonra bu sonuçlara yine aynı program yardımıyla varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Varyans analizinden çıkan sonuçlar yardımıyla önce meteorolojik kuraklığa etki eden faktörler bulunmuş daha sonra bu faktörlerin tarımsal kuraklığa olan etkileri de araştırılmıştır. Çalışmada PET hesaplarının gözle görülür bir belirsizlik yaratmadığı GCM verilerinin ise belirsizliği asıl oluşturan unsur olduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Küresel ısınma, meteorolojik kuraklık, belirsizlikler, hidrolojik kuraklık, tarımsal kuraklık, havza modelleme, su yönetimi

Bilim Kodları: 91106, 91114, 91122

Sayfa Sayısı: 77

ABSTRACT

**EXAMINING THE UNCERTAINTIES OF THE FACTORS IN
METEOROLOGICAL DROUGHT ANALYSIS
MS CIVIL ENGINEERING THESIS
GOKHAN SARI
BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
CIVIL ENGINEERING
SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. UMUT OKKAN
BALIKESIR, JAN – 2023**

In order to predict the future effects of global warming, mathematical analysis of drought and hydrological calculation methods are essential to estimate water needs accurately. Therefore, in this study, Potential Evapotranspiration (PET), General Circulation Model(GCM), Representative Concentration Pathway(RCP) are questioned to provide mathematical approach to all uncertainties they cause. Otherwise, it would be wrong to estimate future drought without knowing how much offset the estimate could be. In this study, the results of every model and method are taken into the variance analysis test (ANOVA) and examined the results to provide a mathematical approach to uncertainties these models create. As a result, uncertainties of meteorological droughts are provided not just in historical data, but the future projections as well.

In this study the temperature (T) and precipitation (P) data are taken from various measurement stations and optimized for modelling the basin which is one of the Midwestern basins of Turkey, Gordes. In order to calculate PET uncertainty, 12 PET models are created using MATLAB program. Conjuring the PET and P data Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index (SPEI) is created for comparing results for different models. After the drought assessments of Gordes basin, downscaling for GCM data is provided. Then, 1980-2005 calendar data are changed into 1981-2005 water year data to ensure every data is used respectively at the same time. Afterwards, projection of GCM and RCP data are created using MATLAB program for the water years of 2020-2050. This projection included 12 PET models, 12 GCM data, and 2 RCP data. The results of these 288 combination are tested using ANOVA. The results from variance analysis provided uncertainty factors for meteorological drought. After examining meteorological drought, for comparison, uncertainties of agricultural droughts are also calculated. The varieties of PET results were thought to cause the uncertainty in the beginning. However, in result GCM data is found to be the main reason for uncertainty in both Agricultural and Meteorological drought projections.

KEY WORDS: Global warming, meteorological drought, uncertainties, hydrological drought, agricultural drought, water management, basin modelling

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	v
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel Literatür	1
1.2 Amaç	3
1.3 Kapsam	4
2. MATERYAL VE YÖNTEM	7
2.1 Çalışmada Kullanılan PET Eşitlikleri.....	7
2.2 Çalışmada Kullanılan Meteorolojik Kuraklık Modelleme Yöntemi	10
2.3 Çalışmada Kullanılan Küresel İklim Verileri (GCM)	10
2.4 Çalışmada Kullanılan Temsili Kotasyon Rotaları (RCP)	12
2.5 Çalışmada Kullanılan Belirsizlik Ayırıştırma Yöntemi (ANOVA)	12
2.6 CMIP5 ve Re-Analiz Verileri	15
2.7 Uygulanan İstatistiksel Ölçek İndirgeme Stratejisi	20
3. BULGULAR	23
3.1 PET Modellerinin Oluşturduğu Belirsizliğin Yorumlanması	24
3.2 GCM Modellerinin Oluşturduğu Belirsizliğin Yorumlanması	28
3.3 RCP Modellerinin Oluşturduğu Belirsizliğin Yorumlanması	30
3.4 Kombinasyonların Oluşturduğu Belirsizliğin Yorumlanması	30
3.5 Belirsizliğin Genelleştirilmesi	31
3.6 Ölçek İndirgeme Modellerinin Kalibrasyon ve Validasyon Performansları	32
4. SONUÇ	37
4.1 Sıcaklık Tabanlı ve Radyasyon Tabanlı PET Modellerinin Etkisinin Tartışılması	37
4.2 GCM Belirsizliğinin İrdelenmesi	38
4.3 RCP Belirsizliğinin İrdelenmesi	39
4.4 Meteorolojik Kuraklıkta Değişkenlerin Öneminin Tartışılması	39
5. KAYNAKLAR (APA)	40
EKLER	46
EK A: GCM Senaryolarının Sonuçlarının Tüm Gösterimleri	46
EK B: Tüm PET Modellerinin GCM Senaryoları Altında Sonuçlarının Gösterimleri	59
EK C: Farklı GCM Modellerinin Yoğunluk Ve Frekans Analizleri	72
ÖZGEÇMİŞ	77

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1:	Gördes havzası ve akım gözlem istasyonlarının konumları.....	5
Şekil 2.1:	Kombine edilen varyansların gösterimi.....	12
Şekil 2.2:	Adımsal regresyon ile seçilen açıklayıcı tahminleyicileri.....	17
Şekil 2.3:	MI ve K_Tau için belirlenen ortanca rank değerlerinin saçılımı ve K-ortalama algoritması ile elde edilen..... küme merkezlerinin diyagram üzerindeki konumları.	20
Şekil 2.4:	Farklı iklim senaryoları kapsamındaki GCM çıktılarının..... istatistiksel ölçek indirgenmesinde izlenecek adımlar.	22
Şekil 3.1:	Üç faktörlü zincir birleşim.....	23
Şekil 3.2:	Tüm pet modellerinin yıllık ortalama buharlaşma sonuçları.....	26
Şekil 3.3:	Penman Monteith GCM – RCP karşılaştırılması.....	27
Şekil 3.4:	Belirsizliği oluşturan öğelerin belirsizlik yüzdeleri.....	27
Şekil 3.5:	Her üç faktörün karşılaştırıldığı varyans analizi sonuçları.....	25
Şekil 3.6:	Sadece PET faktörünün varyans analizinin gösterimi.....	25
Şekil 3.7:	Sıcaklık tabanlı Thornthwaite Modelinin tüm GCM-RCP sonuçları.....	29
Şekil 3.8:	Radyasyon tabanlı Mcguinnes-Bordne Modeli'nin..... tüm GCM-RCP sonuçları	29
Şekil 3.9:	Gördes Baraj Havzasında uygulanan hibrit istatistiksel..... ölçek indirgeme modeli kalibrasyon dönemi	34
Şekil 3.10:	Gördes Baraj Havzasında uygulanan hibrit istatistiksel..... ölçek indirgeme modeli validasyon dönemi	35

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1:	Hidro meteorolojik gözlemlere ilişkin temsili istatistikler.....	3
Tablo 1.2:	Kullanılan ampirik PET yöntemlerinin formülleri.....	4
Tablo 2.1:	Kullanılan PET yöntemlerinin genel görünümü.....	7
Tablo 2.2:	Kullanılan empirik PET yöntemlerinin formülleri.....	8
Tablo 2.3:	Çalışmada kullanılan GCM'ler ve ilgili kurumlar.....	11
Tablo 2.4:	PET numaralarına karşılık gelen ilgili modeller.....	12
Tablo 2.5:	GCM numaralarına karşılık gelen ilgili modeller.....	13
Tablo 2.6:	NCEP/NCAR tahminleyicileri ile ilgili CMIP5-hist..... senaryosu çıktıkları arasında hesaplanan (a) K_Tau ve (b) MI ölçütlerince GCM'lerin derecelendirilmesi.	19
Tablo 3.1:	Minimum ve maksimum buharlaşmayı veren PET'lerin gösterimi.....	25
Tablo 3.2:	Hibrit istatistiksel ölçek indirgeme modellerinin..... eğitim ve validasyon dönemi performansları	33

SEMBOL LİSTESİ

ANOVA	: Varyans Analiz Yöntemi
Bl_Cl	: Blaney-Criddle PET Metodu
CPR	: Caprio PET Metodu
GCM	: Küresel İklim Verileri
Ham	: Hamon PET Metodu
Harg	: Hargreaves PET Metodu
IRM	: Irmak PET Metodu
J_H	: Jensen-Haise PET Metodu
Mak	: Makkink PET Metodu
Mc_G	: McGuinness-Bordne PET Metodu
Pen_Mon	: Penman-Monteith PET Metodu
PET	: Potansiyel Evapotranspirasyon (mm)
Prs_Tyl	: Priestley-Taylor PET Metodu
P	: İlgili Yükseklikteki Atmosferik Yüzey Basıncı (kPa)
RCP	: Temsili Kotasyon Rotaları
R_n	: Zemin Yüzeyindeki Net Radyasyon (MJ/m ²)
R_s	: Aylık Solar Radyasyon (MJ/m ²)
SPEI	: Standartlaştırılmış Yağış ve Evapotranspirasyon Endeksi
T	: Ortalama Sıcaklık (°C)
T_{dew}	: Ortalama Çiğ Noktası Sıcaklık (°C)
THW	: Thornthwaite PET Metodu
T_{max}	: Maksimum Sıcaklık (°C)
T_{min}	: Minimum Sıcaklık (°C)
W_z	: Deniz Seviyesinden z Metre Yükseklikteki Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)

ÖNSÖZ

Dünya üzerinde hakkında şaraptan fazla yazı yazılan bir madde varsa o da sudur. Varlığı da yokluğu da afet olarak tanımlanabilmektedir. Tüm bu karmaşık sarmalın içerisinde hikâyesi değişmeyen de yalnızca sudur. İnsanoğlunun ömrü, birikimi, öğrendikleri ve öğrettikleri suyun kararlılığının yanında acizdir. Su ise bir dağda üşüyen buluttan doğar. Önce Karadeniz’de akan bir çaya, oradan derelere, oradan da deniz ve okyanuslara karışmak ister. Ebedi istirahat diye bir derdi yoktur suyun. En olmak istediği yerdeyken bile yok olup yeniden doğma hayaliyle var olur. Bu döngü o kadar kararludur ki tüketilmek, hapsedilmek ve kirletilmek onun kadim yolculuğundaki süreci yalnızca geciktirmeye sebep olur. Tarih boyunca felsefecilerin hidrolojik döngüyü açıklamakta kullandığı su ve güneşin ilişkisi, bugün bile ne olduğu tam olarak açıklanamayan, aşktan başka bir şey değildir. Anaksagoras’ın dediği gibi güneş, suyu denizden çalmaz bilakis onu özlediği için yanına almak ister. Aşk tam bu anda devreye girer. Çünkü su güneşe asla kavuşamaz. Dolayısıyla suyun kadim, özgür ve durdurulamaz olan bu hikâyesi yalnızca aşkla mümkündür. Aşk ise yakar, üzer, perişan eder. Aşkın meyvesi denilen ancak gözyaşındır, yani sudur.

Su ile Güneş’in aşkı ile yazdığım bu tez çalışmamda bana öğrettikleri için danışmam hocam Doç. Dr. Umut Okkan’a; neşem, hüznüm ve yalnızlığımda yanımda olan Dr. Erkan Töre’ye; bu süreçte bana verdikleri fikirlerle yardımcı olan Beril Ersoy ve Umut Kırdemir’e; tezimin büyük bir bölümünü yazdığım Bozcadaya; Bozcada Ada Kamping çalışanlarına; tezimi yazdığım dönem içerisinde bana anlattığı hikâyelerle gönül ufkumu açan Nuran Güner’e; Balıkesir’in havasını, yağmurunu, rüzgarını, sıcaklığını ve melankolisini birlikte paylaştığımız Amin Amini’ye (Emin Azer); Profesyonel mühendislik hayatımın ilk aşamasında çalışmaya başladığım Vardar Beton Sanayi, Adam & Venüs kurucusu, su ve aşkın çalışanı Ercan Sürenkök’e; yaşamımın her dönemimde beni destekleyen teyzem Hatice Kurt’a; beni ben yapan tüm duygu ve fikirleri bana aşıl原因an su ve aşka sonsuz teşekkür ederim.

Gökhan SARI

1. GİRİŞ

1.1 Genel Literatür

İnsanlık tarihinde hidrolojik döngünün hesaplanma çabası M.Ö. 1000’li yıllardaki Homer’in şiirlerinden başlamaktadır. Antik Yunanda Thales, Plato ve Aristo; Roma’da Lucretius, Seneca ve Pliny hidrolojik döngüyü açıklayabilmek adına kafa yormuşlardır. Bu döngüyü bilimsel olarak açıklayabilme çabası tarihte ilk olarak bugün İzmir’in 38 km batısında Urla ilçesi sınırları içerisinde olan Klazomenai kentinde filozof Anaksagoras (M.Ö. 500-428) tarafından güneşin, suyu denizden çalıp dağlara bıraktığı teori üzerinden yapılmıştır. Bu teori yine aynı topraklarda yaşayan Midillili Theophrastus (M.Ö. 371-287) tarafından nehirler ve yer altı sularının da eklenmesiyle bugünkü haline en yakın haline getirilmiş ve hocası Aristo’nun Meteoroloji kitabında yerini almıştır (Chow vd. 1987). Aristo tarafından yazılan Meteoroloji kitabında belirsizlik olarak görülen bulutların oluşum döngüsü bugün hidrolojik döngü içerisinde çok daha detaylı açıklanabilmektedir, değişmeyen ise bugün bile açıklamakta eksik kaldığımız belirsizliklerdir (Koutsoyiannis ve Mamassis 2021). Kuraklık ise uzun süre boyunca az yağış oluşması yahut kısa süreli hiç yağış oluşmaması olarak tanımlanmıştır. Küresel ısınmanın bilim camiasında kabul görmesinden sonra kuraklık hesap ve analizleri çok değer görmeye başlamıştır. Halen daha en yıkıcı sonuçlara sebep olan afetler arasında gelmektedir (Duan ve Mei 2014). Kuraklık üç aşamada incelenmektedir bunlar; meteorolojik kuraklık, hidrolojik kuraklık ve tarımsal kuraklıktır. Bu üç tip kuraklık için de yağış, sıcaklık, akış ve zemin nemi verileri kullanılmaktadır (McKee vd. 1993). Bununla birlikte kuraklık öngörülerinin hesaplanmasında değişmeyen tek unsur belirsizlik olmuştur. Küresel ısınma etkilerinin hidrolojik, meteorolojik ve tarımsal kuraklık üzerine etkilerinin güncel hesaplarda ve projeksiyonlarda nasıl olacağını belirlemek adına içerdikleri belirsizliklerin doğru saptanması ve sonuçlarının öngörülebilir olması gerekmektedir(Shi vd. 2022).

Kuraklığa sebep olan unsurlar incelendiğinde görülmektedir ki kuraklık modelleri, kuraklık senaryoları ve bunların oluşturduğu içsel değişkenlikler belirsizliğin bu üç değişkenin doğasından kaynaklanmaktadır (Yip vd. 2011). Buradan yola çıkarak yapılan araştırmalarda görülmüştür ki yağış ve sıcaklık ölçümleri de veri belirsizliği olarak literatüre girmiştir.(Brunner vd. 2012) Ayrıyeten yapılan birçok çalışmada da veri düzeltmede kullanılan metot ve yöntemlerin de belirsizlik oluşturduğu görülmüştür.

Veri derlemenin içerisinde bulunan ölçek küçültme (downscaling) yönteminin de belirsizliğe ciddi katkılar yaptığı görülmüştür (Wu vd. 2016). Ayrıca hidrolojik hesaplarda bulunan yöntemlerin kalıcı ve sadeleştirilemez olması sebebiyle bölgesel ölçek küçültmelerin belirsizliğe neden olduğu yapılan birçok çalışmada görülmüştür (Ficklin, 2014; Huang vd. 1997; Li vd. 2013; Chen vd. 2015). Normalde belirsizliğin GCM seçimlerinden kaynaklandığı, her GCM'nin farklı senaryo koşullarında oluşturulduğunu öne süren çalışmalar da vardır. Bu çalışmaları yapan araştırmacıların vardığı ortak sonuç senaryolardan kaynaklanan ölçek indirgemelerin birbirinden farklı karmaşık sonuçlara öncülük ettiği sonucuna varılmıştır (Cai vd. 2007; Rowell, 2016; Kay vd. 2009; Prudhomme ve Davies, 2009; Ahmed vd. 2013).

Standartlaştırılmış yağış ve buharlaşma indeksi (SPEI) her ne kadar meteorolojik kuraklık hesaplarında en çok kullanılan yöntem olsa da yapılan birçok çalışmada hangi potansiyel evapotranspirasyon (PET) modelinin sonucuyla birleştirildiğinde daha efektif sonuç verdiği tam olarak belirlenememiştir (Begueria vd. 2014; Svoboda vd. 2012). Buna karşın 1951 ve 2010 yılları arasında Çin Halk Cumhuriyetinde yapılan çalışmada 59 yılda ülkede bulunan yarı kurak ve kurak alanların %4 arttığı belirlenmiştir. Bu çalışmada farklı PET modellerinin farklı sonuçlar verdiği görülmüş ve belirsizliklerin azaltılması gerektiği sonucuna varılmıştır (Yu vd. 2014). Konu ile ilgili yapılan bir başka çalışmada ayrıca yağış ve sıcaklık verilerinin yarattığı hidrolojik model belirsizliklerinin GCM belirsizlikleri yanında ihmal edilecek boyutlarda olduğu görülmüştür (Shi vd. 2020). Konu ile ilgili en güncel çalışmalarda farklı PET model sonuçlarının hidrolojik belirsizlikler üzerine hassaslık göstermediği, GCM ve RCP belirsizliklerinin yüzdesel olarak 35-70 aralığında kaldığı görülmüştür. Ayrıca bu belirsizliklerin azaltılması için veri belirsizliğinin azaltılması gerektiği sonucuna varılmıştır (Shi vd. 2022). Veri analiz yöntemlerinin gelişmesi ve hidrolojik hesaplarda kullanılmaya başlanmasıyla birlikte belirsizliği yaratan unsurların sürekli değiştiği gözlemlenmiştir. 2000'li yılların başlarında PET belirsizliğinin hidrolojik süreçte etkisinin fazla olduğu düşünülürken son yıllarda bunun model belirsizliğinden, veri belirsizliğine kaydığı açıkça görülmektedir. Her ne kadar belli bir PET modelinin meteorolojik kuraklıktaki belirsizliğe etkisinin araştırıldığı çalışmalar olsa da farklı PET modellerinin meteorolojik kuraklıktaki etkisinin ne olacağına dair çalışma bulunmamaktadır (Westerhoff, 2015). Hidrolojik süreçteki belirsizliğe fazla katkısı olmadığı düşünülen PET indisinin meteorolojik kuraklıktaki etkisine dair ayrıntılı bir çalışma bulunmamaktadır. Bununla birlikte incelenen tüm belirsizlikler yöntem ve belirsizlik tipini gösteren bir biçimde aşağıda bulunan Tablo 1.1'de gösterilmiştir.

Tablo 1.1: Genel literatürde incelenen belirsizlik unsurları.

İncelenen Süreç	Belirsizlik Unsurları	Kaynak	Belirsizlik Ayırıştırma	Veri Tipi
Meteorolojik Kuraklık	RCP,GCM,PET	Shi vd. 2020	✓	P, T, PET
Meteorolojik Kuraklık	PET	Westerhoff 2015	✗	T
Hidrolojik Kuraklık	Hidrolojik Model	Yip vd. 2011	✓	T
Hidrolojik Kuraklık	Hidrolojik Model	Rowell 2006	✗	T
Meteorolojik Kuraklık	GCM, RCP, PET	Shi vd. 2022	✓	P, T, PET
Meteorolojik Kuraklık	GCM, RCP, PET	Duan ve Mei 2014	✗	P, T, PET
Hidrolojik Kuraklık	GCM, RCP, PET	Duan ve Mei 2014	✗	P, T, PET
Tarimsal Kuraklık	GCM, RCP, PET	Duan ve Mei 2014	✗	P, T, PET
Hidrolojik Kuraklık	GCM, RCP	Giuntoli vd. 2015	✓	P, T, PET
Bu Çalışmada İncelenen Belirsizlik Unsurları				
Meteorolojik Kuraklık	GCM, RCP, PET	Sari, 2022	✓	P, T, PET

1.2 Amaç

Bu çalışmanın amacı ölçüm ve ölçek indirgeme sonucu oluşan belirsizlikleri bağımsız tutarak yapılan en güncel belirsizlik çalışmalarına da katkıda bulunmak amacıyla PET, GCM, RCP ve bunların kombinasyonlarının ortaya çıkardığı belirsizliklerin kuraklık sürecine olan etkilerinin araştırılmasıdır. Bu tez kapsamında meteorolojik kuraklığın analizinde belirsizliği yaratan unsurların nelerden ve ne kadar olduğunu saptamak amacıyla buharlaşma öngörülerini yapılmıştır. Bu öngörülerde Temsili Konsantrasyon Rotaları(Representative Concentration Pathways(RCP)) 4,5 ve 8,5 verileri kullanılarak altında çalışan 12 adet Genel Döngü Modeli(General Circulation Model(GCM)) kullanılmıştır. Standartlaştırılmış yağış ve buharlaşma indeksi Bu amaçla bu çalışmada yer alan kuraklık analizleri kullanılarak yapılmıştır. Bu bağlamda öncelikle Gediz Havzası için geçmiş ölçüm verileri (1980-2010) kullanılarak teorik gerçekler bulunmuş, bu veriler ölçeği indirgenmiş GCM verileriyle karşılaştırılmıştır. Daha sonra gelecek yılların öngörülerini RCP senaryoları altında GCM verileri kullanılarak 2020 yılından 2050 yılına kadar hesaplanmıştır. Burada potansiyel evapotranspirasyon (PET) 12 farklı model kullanılarak yapılmış ve her bir model için tüm RCP, GCM sonuçları çıkartılmıştır. Çalışmanın son aşamasında ise tüm bu PET, RCP ve GCM verilerinden elde edilen sonuçlara varyans analizi(ANOVA) yapılarak incelenmiştir. Bu yöntemde farklı istasyonların verilerinin yarattığı belirsizliğin havzaya yansımaması için

tek bir havza modellenmiş ve istasyonların kendi içerisindeki veriler ayrı ayrı incelenmemiştir. Dolayısıyla irdelenen belirsizlik ölçümünün oluşturduğu belirsizlik değil PET ve GCM modellerin, RCP senaryolarının ve bunların birleştirilmesiyle oluşan belirsizliklerdir.

1.3 Kapsam

Çalışılan havzalar Türkiye'nin Ege Bölgesi'nin kuzey kısımlarında bulunmaktadır. Ayrıca 1054 km² drenaj alanına sahiptir. Bu havzayı temsilen yedi(7) meteorolojik gözlem istasyonunun geçmiş verileri kullanılmıştır. Bu meteorolojik gözlem istasyonları(MGİ) sırasıyla Gölarmara, Yukarı Poyraz, Kıranşih, Hanya, Kavakalan, Demirci ve Gördes olup bunlardan Gördes, Hanya, Kavakalan ve Yukarı Poyraz ile alanın yaklaşık %95'i temsil edilebilmektedir. Şekil 1.1'deki MGİ istasyonlarında düzenli yağış ölçümleri mevcut olmasına karşın yalnızca Gölarmara, Demirci, Gördes, Köprübaşı ve Akhisar istasyonlarında sağlıklı ortalama sıcaklık rasatları tutulmuştur. Bunların Akhisar istasyonu hariç dördü ile Gördes havzası için aylık alansal ortalama sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Çağlayan baraj havzasını temsil eden istasyon adedi ise nispeten daha az olup, Kavakalan, Gördes ve Sarılar istasyonları ile alansal ortalama yağış değerleri, Gördes, Akhisar ve Gölarmara istasyonlarıyla ise alansal ortalama sıcaklık değerleri hazırlanmıştır. Tüm bu değerler 1980-2010 referans iklim dönemi için derlenmiştir. Şekil 1.1 de ilgili havzanın haritalanması ve akım gözlem istasyonlarının konumları gösterilmektedir. Ayrıca Tablo 1.1 de ilgili istasyonların geçmiş verilerine ilişkin temel istatistiksel bilgiler verilmiştir. Bu istatistiksel bilgiler çalışma kapsamında kullanılmamıştır; sadece genel görünümü temsilen koyulmuştur.

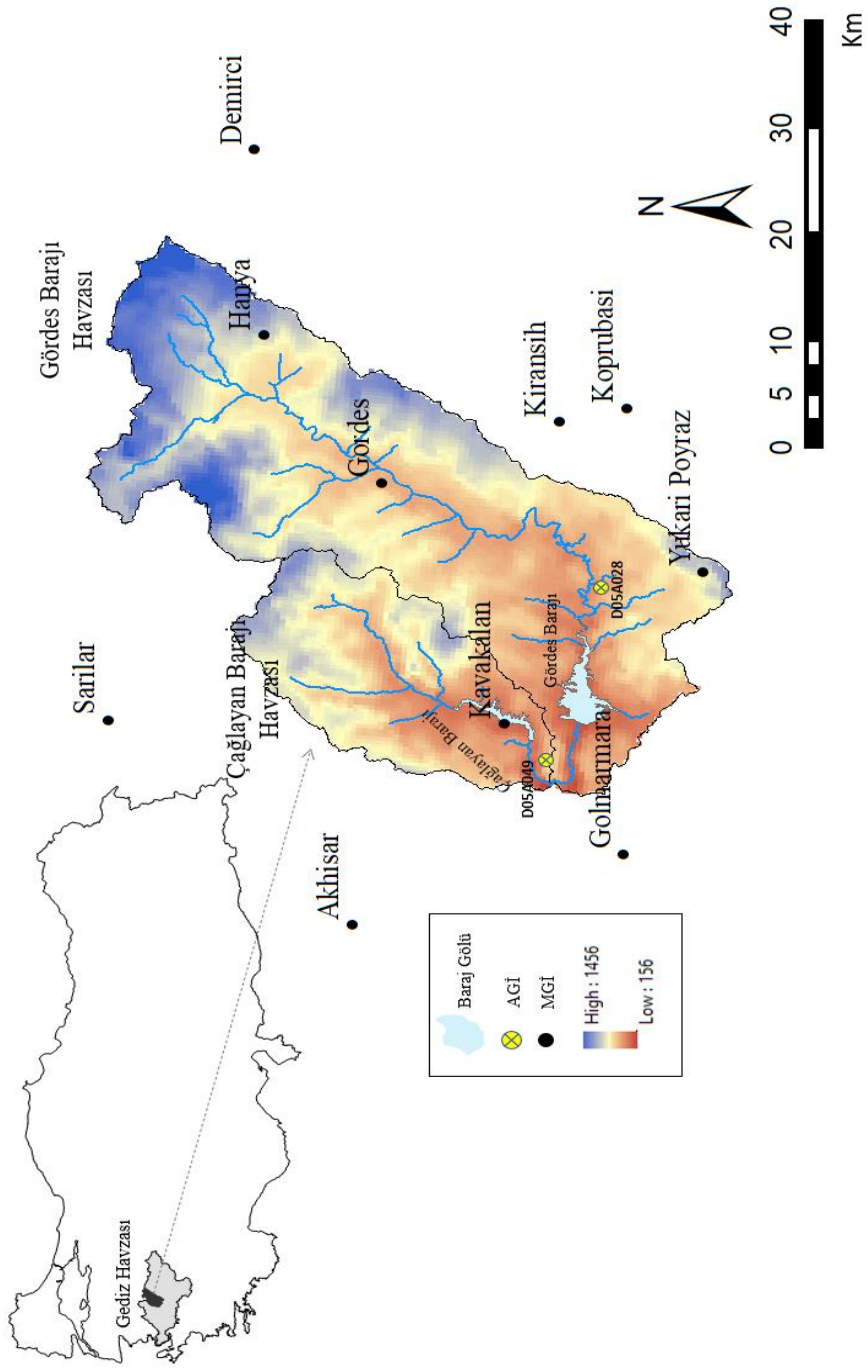
Tablo 1.1: Hidro meteorolojik gözlemlere ilişkin temsili istatistikler.

Havza	Değişken	Medyan	Ortalama	Std. Sapma	CoV	Max	Min	Çarpıklık
GÖRDES	P:	32.29	47.76	50.39	1.05	324.64	0.00	1.68
	T:	13.57	13.96	7.5	0.54	27.20	0.75	0.07
	E _{Pan} :	102.69	125.20	95.44	0.76	311.65	1.54	0.40
	Q:	2.12	11.27	20.72	1.84	135.82	0.00	3.27

Tablo 1.1'de medyan, ortalama, standart sapma, maksimum değer (Max) ve minimum değer (Min) istatistikleri yağış (P) ve Epan için mm/ay biriminde, ortalama sıcaklık için oC/ay biriminde, baraj yeri akımları (Q) için ise hm³/ay birimindedir. Standart sapmanın ortalamaya

oranı şeklinde tanımlanan değişkenlik katsayısı (CoV) değerleri incelendiğinde en yüksek değişkenliğin yağış ve baraj akımlarında gözlendiği söylenebilir. Benzer durum çarpıklık katsayıları için de göze çarpmaktadır. Elbette akımlardaki çarpıklığın çok daha dominant olduğu da açıktır. Akımlara ait medyan ve ortalamalar arası uzaklığın göreceli büyük oluşu değişkenin pozitif çarpık karakteristiğini doğrular niteliktedir.

Bu çalışmanın amacı ölçüm ve ölçek indirgeme sonucu oluşan belirsizlikleri bağımsız tutarak yapılan en güncel belirsizlik çalışmalarına da katkıda bulunmak amacıyla PET, GCM, RCP ve bunların kombinasyonlarının ortaya çıkardığı belirsizliklerin kuraklık sürecine olan etkilerinin araştırılmasıdır. Bu tez kapsamında meteorolojik kuraklığın analizinde belirsizliği yaratan unsurların nelerden ve ne kadar olduğunu saptamak amacıyla buharlaşma öngörülerini yapılmıştır. Bu öngörülerde Temsili Konsantrasyon Rotaları(Representative Concentration Pathways(RCP)) 4,5 ve 8,5 verileri kullanılarak altında çalışan 12 adet Genel Döngü Modeli(General Circulation Model(GCM)) kullanılmıştır. Standartlaştırılmış yağış ve buharlaşma indeksi Bu amaçla bu çalışmada yer alan kuraklık analizleri kullanılarak yapılmıştır. Bu bağlamda öncelikle Gediz Havzası için geçmiş ölçüm verileri (1980-2010) kullanılarak teorik gerçekler bulunmuş, bu veriler ölçeği indirgenmiş GCM verileriyle karşılaştırılmıştır. Daha sonra gelecek yılların öngörülerini RCP senaryoları altında GCM verileri kullanılarak 2020 yılından 2050 yılına kadar hesaplanmıştır. Burada potansiyel evapotranspirasyon (PET) 12 farklı model kullanılarak yapılmış ve her bir model için tüm RCP, GCM sonuçları çıkartılmıştır. Çalışmanın son aşamasında ise tüm bu PET, RCP ve GCM verilerinden elde edilen sonuçlara varyans analizi(ANOVA) yapılarak incelenmiştir. Bu yöntemde farklı istasyonların verilerinin yarattığı belirsizliğin havzaya yansımaması için tek bir havza modellenmiş ve istasyonların kendi içerisindeki veriler ayrı ayrı incelenmemiştir. Dolayısıyla irdelenen belirsizlik ölçümün oluşturduğu belirsizlik değil PET ve GCM modellerin, RCP senaryolarının ve bunların birleştirilmesiyle oluşan belirsizliklerdir.



Şekil 1.1: Gördes Havzası ve Akım Gözlem İstasyonlarının Konumları (Okkan vd. 2022).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Çalışmada Kullanılan PET Eşitlikleri

Belirsizliği oluşturabilecek model girdilerinden birisi olan evapotranspirasyonun ne derece etki ettiğini hesaplayabilmek için literatürde en fazla kullanılan 12 adet PET yöntemi bu tez kapsamında Gördes Havzası için incelenmiştir. Kullanılan yöntemler arasında sıcaklık tabanlı hesap yöntemlerinin yanı sıra radyasyon tabanlıları da mevcuttur. Öyle ki, sıcaklık tabanlı PET yöntemlerinin radyasyon tabanlı PET yöntemleriyle sonuçları yönünden belirsizliklerinin karşılaştırılması seçilen yöntemlerin çeşitliliği sebebiyle mümkündür. Tablo 2.1’de de görüldüğü üzere PET hesap yöntemlerinden Thornthwaite, Blaney-Criddle ve Hamon hesap yöntemleri sıcaklık tabanlı hesap yöntemleri olup, Hargreaves, Turc, Makkink, Penman-Monteith, Caprio, Priestley-Taylor, Jensen-Haise, Irmak ve McGuinness-Bordne hesap yöntemleri radyasyon tabanlıdır. Seçilen PET hesap yöntemleri literatürde en çok kullanılan yöntemler olup, oluşturacakları belirsizlik meteorolojik ve hidrolojik hesap yapan araştırmacıların en fazla karşılaşacakları belirsizliği belirleyecektir. Tüm PET modellerinin verileri ilgili havzayı tam temsil edebilmek için havzada yer alan ölçüm istasyonlarının alansal ortalaması seçilmiştir. Buna ek olarak havzanın enlemi ve yükseltisi yalnızca alansal ortalama düşünülerek hesaplanmıştır.

Tablo 2.1: Kullanılan PET yöntemlerinin genel görünümü.

Yöntem Adı	Kısaltması	Girdiler	Hesap Yöntemi
Thornthwaite	THW	T – Enlem	Sıcaklık
Blaney-Criddle	Bl_Cl	T – Enlem	Sıcaklık
Hamon	Ham	T – Enlem	Sıcaklık
Hargreaves	Harg	T – R_s	Radyasyon
Turc	Turc	T – T_{dew} – R_s	Radyasyon
Makkink	Mak	T – P – R_s	Radyasyon
Penman-Monteith	Pen_Mon	T – T_{dew} – W_z – P – R_n	Radyasyon
Caprio	CPR	T – R_s	Radyasyon

Tablo 2.1: Devamı.

Yöntem Adı	Kısaltması	Girdiler	Hesap Yöntemi
Priestley-Taylor	Prs_Tyl	$T - P - R_s$	Radyasyon
Jensen-Haise	J_H	$T - R_s$	Radyasyon
Irmak	IRM	$T - T_{max} - T_{min} - R_s$	Radyasyon
McGuinness-Bordne	Mc_G	$T - R_s$	Radyasyon

Bu yöntemlerde sıcaklık T aylık ortalama sıcaklığı (°C), T_{max} aylık maksimum sıcaklığı (°C), T_{min} aylık minimum sıcaklığı (°C), T_{dew} aylık ortalama çığ noktası sıcaklığını (°C), W_z deniz seviyesinden z metre yükseklikteki ortalama rüzgâr hızını (m/s), P ilgili yükseklikteki yüzey basıncını (kPa), R_s Aylık gelen solar radyasyonu (MJ/m^2), R_n zemin yüzeyindeki aylık net radyasyonu (MJ/m^2) temsil etmektedir. Her ne kadar çalışılan PET yöntemleri birbirlerinden farklı yöntemler olsa da gerek sıcaklık gerekse solar radyasyon hesabı olarak aynı girdileri kabul etmektedirler. Diğer bir bölümde anlatıldığı üzere radyasyon tabanlı PET modelleri için gerekli R_s için gerekli hesaplamalar ilgili havzada yer alan ölçümlerin ölçek indirgenmesi yöntemiyle alansal ortalamaları alınarak yapılmıştır. Tablo 2.1 de yer alan yöntemlerin formül ve yöntem ayrıntıları referanslarıyla birlikte Tablo 2.2 de belirtilmiştir.

Tablo 2.2: Kullanılan ampirik PET yöntemlerinin formülleri.

Metot	Formül	Referanslar
	$PET=16K_i(10T_i/J)^c$	Xu and Singh
Thw	$J=\sum(T_i/5)^{1.514}$ $i=Ekim$ ayından $Eylül$ ayına $c=0.000000675J^3 - 0.0000771J^2 + 0.01792J + 0.4924$	(2001) Pandey et al. (2016)

Tablo 2.2: Devamı.

<i>Metot</i>	<i>Formül</i>	<i>Referanslar</i>
	$PET = k \times phr \times (0.46T + 8.13)$	
<i>Bl-Cr</i>	Xu and Singh (2002) çalışmasından, k katsayıları Nisan ayından Eylül ayına 0.85, Ekim ayından Mart ayına kadar 0.45 alınmıştır.	Xu and Singh (2002)
	$PET = 0.6915N_m(D_L/12)^2 \exp(0.062T)$	
<i>Ham</i>	Buradaki gün uzunluğu(D_L) her ayın ortasındaki güne denk gelen gün seçilmiştir.	Xu and Singh (2001), Rosenberry et al. (2004)
	$DL(Ay) =$ [15;46;75;105;135;165;196;227;258;288;319;348]	
<i>Turc</i>	$PET = N_m 0.013 C_t (T/(15+T))(23.8846 R_s / N_m + 50)$ Eğer $RH > 50\%$, $C_t = 1$; Eğer $RH \leq 50\%$, $C_t = 1 + (50 - RH) / 70$	Xu and Singh (1998)
<i>Harg</i>	$PET = 0,0135(1000R_s/\lambda\rho)(T+17,8)$	Xu and Singh (2000)
<i>Mak</i>	$PET = N_m(0.249(\Delta/(\Delta+\gamma))(R_s/N_m)-0.12)$	Xystrakis and Matzarakis(2011)
<i>Pen-Mon4.8</i>	$PET = N_m \times \frac{[0.408\Delta \frac{(R_n - G_i)}{N_m} + 120\gamma W_2(e_s - e_a)/(T + 273)]}{\Delta + \gamma(1 + 0.34W_2)}$	Xu and Singh (2002), Allen et al. (1998)
<i>Prs-Tyl</i>	$PET = 0.514 R_n (\Delta/(\Delta+\gamma))$	Xu and Singh (2002)
<i>Cpr</i>	$PET = (6.1/10^6)(1000R_s)(1.8T+1)$	Xystrakis and Matzarakis (2011)
<i>J-H</i>	$PET = (1000R_s/\lambda\rho)(0.025T+0.08)$	Xystrakis and Matzarakis (2011)
<i>Irm</i>	$PET = N_m(-0.478+0.156R_s/N_m)$ $0.0112T_{max}+0.0733T_{min}$	- Tabari et al.(2013), Pandey et al.(2016)
<i>McG-Bor</i>	$PET = (0.0082(1.8T+32)-0.19)(23.8846R_s/1500)25.4$	Xu and Singh (2000)

2.2 Çalışmada Kullanılan Meteorolojik Kuraklık Modelleme Yöntemi

Kuraklık kavramı aşırı doğa olaylarından birisidir. Tanımlarının çoğunda kısa süreli aşırı yağış azalması veya uzun süreli yağış azlığı olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla kuraklık hesapları yapılırken yağış(P) ve sıcaklık(T) verileri incelenmektedir. Birçok çalışmada yalnızca yağış ya da yalnızca sıcaklığın kullanıldığı modeller yerine, hem yağış hem de sıcaklığa bağlı evapotranspirasyonun kullanıldığı SPEI endeksi kullanılmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada yağış ve potansiyel evapotranspirasyonun birlikte kullanıldığı Standartlaştırılmış Yağış ve Evapotranspirasyon Endeksi (Standardized Precipitation Potentialevaporation Index(SPEI)) (Vicente-Serrano vd., 2010), tercih edilmiştir. Bu yöntemin formül ve referansları aşağıda görüldüğü gibidir.

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3} \quad (2.1)$$

Standartlaştırılmış Yağış ve Evapotranspirasyon Endeksi (SPEI)

$$W = -2\ln(P) \quad P \leq 0.5 \quad (2.2)$$

$$W = -2\ln(1 - P) \quad P > 0.5 \quad (2.3)$$

Yağışa Bağlı Ampirik W Katsayısı

Burada $C_0=2.5155$, $C_1= 0.8029$, $C_2=0.0103$, $d_1=1.4328$, $d_2=0.1893$, $d_3=0.0013$ ve W katsayısı yağışın bir fonksiyonu olarak yukarıdaki formülde belirtildiği şekilde gösterilmiştir. Ayrıca P olarak tanımlanan buradaki log logistik dağılım fonksiyonunun aşılma olasılığıdır.

2.3 Çalışmada Kullanılan Küresel İklim Verileri (GCM)

Geçmişteki verilerin derlenip geleceğe yönelik projeksiyonlar yapılabilmesi için küresel olarak iklim karakersizliklerinin ortaya koyulması amacıyla Dünya Meteoroloji Örgütü(WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı(UNEP) tarafından Hükümetler Arası İklim Değişikliği Panelleri(IPCC) kurulmuştur. Bu paneller şu ana kadar 1990-1996-2001-2007-2014 yıllarında olmak üzere beş adet rapor yayınlamıştır. Son değerlendirme raporu olan ve 2014 yılında yayımlanan AR5 kapsamında değinilen iklim senaryoları (sıcaklık, yağış, radyoaktif zorlama) verileri dikkate alınmıştır. Önceki yıllarda yayımlanmış olan AR4,AR2,A1B,B1 ve B2 senaryoları radyoaktif zorlamayı içermedikleri için bu çalışmada kullanılmamıştır. Bölgenin modellenmesi açısından geçmiş (historical) verileri kullanıldığı

için söz konusu GCM'ler yalnızca 2020-2050 yılları arasında yapılan projeksiyonlar için kullanılmıştır. Kullanılan GCM ve çalışmayı yapan kurumlar Tablo 2.3 de belirtilmiştir.

Tablo 2.3: Çalışmada kullanılan GCM'ler ve ilgili kurumlar.

GCM ADI	ENSTİTÜ	MODEL MERKEZ	ÇÖZÜNÜRLÜK		
			ENLEM °	x	BOYLAM °
BCC-CSMI	Çin Meteoroloji Merkezi	BCC	1.12	x	1.12
CCSM4	ABD Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi	NCAR	0.94	x	1.12
CESMI(CAM5)	ABD Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi	NCAR	0.94	x	1.12
GFDL-CM3	Amerikan Jeofiziksel Laboratuvarı	NOAA	2.00	x	2.50
GFDL-ESM2M	Amerikan Jeofiziksel Laboratuvarı	NOAA	2.02	x	2.50
GISS-E2-H	NASA Goddard Enstitüsü	NASA GISS	2	x	2.5
GISS-E2-R	NASA Goddard Enstitüsü	NASA GISS	2	x	2.5
HadGEM2-ES	Met Hadley Merkezi	MOHC	1.5	x	1.88
IPSL-CM5A-LR	Pierre Simon Laplace Enstitüsü	IPSL	1.89	x	3.75
MIROC – ESM	Atmosfer ve Okyanus Araştırmaları Enstitüsü	MIROC	2.79	x	2.81
MRI – CGCM3	Meteorolojik Araştırma Enstitüsü	MRI	1.12	x	1.13

2.4 Çalışmada Kullanılan Temsili Kotasyon Rotaları (RCP)

Radyoaktif zorlamaların temel alındığı RCP'ler arasında 2100 yılındaki radyoaktif zorlamanın 4.5 (W/m²) ve 8.5 (W/m²) olacağını öngören RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryolarına sahip olan iklim modelleri seçilmiştir. Bu bağlamda Tablo 2.3'de belirtilen BCC-CSMI, CCSM4, CESMI-CAM5, CSIRO-Mk3.6, GFDL-CM3, GFDL-ESM2M, GISS-E2-H, GISS-E2-R, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC-ESM ve MRI – CGCM3 iklim verileri kullanılmıştır.

2.5 Çalışmada Kullanılan Belirsizlik Ayrıştırma Yöntemi

Kullanılan hesap yöntemlerinden GCM, RCP ve PET'ın yarattığı belirsizlikleri belirleyebilmek için sadece bu yöntemlerin değil bu yöntemlerin birbirleriyle olan kombinasyonlarının da belirsizliğe olan katkısını hesaplayabilmek için varyans analizi kullanılmıştır. Varyans Analizi Yöntemi (ANOVA) şema 2.1'de belirtilen aşamalarda gerçekleştirilmektedir. İlgili pet numaralarının yöntem karşılıkları aşağıdaki Tablo 2.4'te verilmiştir. İlgili GCM numaralarının yöntem karşılıkları aşağıdaki Tablo 2.5'te verilmiştir.

Kombine Edilen Varyansların Gösterimi									
RCP 4.5					RCP 8.5				
GCM ₁	GCM ₁₂	GCM ₁	GCM ₁₂
PET ₁				PET ₁	PET ₁				PET ₁
...
...	
...
PET ₁₂				PET ₁₂	PET ₁₂				PET ₁₂

Şekil 2.1: Kombine edilen varyansların gösterimi.

Tablo 2.4: PET numaralarına karşılık gelen ilgili modeller.

PET NUMARASI	İLGİLİ MODEL
PET 1	Thornthwaite
PET 2	Blaney-Criddle
PET 3	Hamon
PET 4	Hargreaves
PET 5	Turc
PET 6	Makkink
PET 7	Penman-Monteith
PET 8	Caprio
PET 9	Priestley-Taylor
PET 10	Jensen-Haise
PET 11	Irmak
PET 12	McGuinness-Bordne

Tablo 2.5: GCM numaralarına karşılık gelen ilgili modeller.

GCM NUMARASI	İLGİLİ YÖNTEM
GCM 1	BCC-CSMI
GCM 2	CCSM4
GCM 3	CESMI(CAM5)
GCM 4	CSIRO-Mk3.6
GCM 5	GFDL-CM3
GCM 6	GFDL-ESM2M
GCM 7	GISS-E2-H
GCM 8	GISS-E2-R
GCM 9	HadGEM2 –ES
GCM 10	IPSL-CM5A-LR
GCM 11	MIROC – ESM
GCM 12	MRI – CGCM3

Varyans analizi yönteminde toplam hata kareler her bir ilgili hesabın hata karelerine bölünerek yarattığı katkı bulunur. Burada toplam hata karelerin içerisinde RCP, GCM ve PET’ler bulunmaktadır. Bunların birbiriyle kombinasyonları da kesişim analizini oluşturur. Dolayısıyla aşağıdaki formülasyonda görüldüğü gibi, SST toplam hata karelerin matematiksel gösterimini, SSA RCP’den gelen hata karelerin matematiksel gösterimini, SSB GCM’den gelen hata karelerin matematiksel gösterimini, SSC PET’den gelen hata karelerin matematiksel gösterimini, SSI toplam etkileşimden gelen hata karelerin matematiksel ifadesini göstermektedir. Bu yöntemdeki amaç bütüne yayılan belirsizliğe her bir unsur tarafından yapılan katkının bulunmasıdır. Bu yöntem sayesinde kombinasyonlar, katsayılar, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin sonuca etkisi tarafsız bir biçimde görülebilir.

Toplam Hata Karelerin Matematiksel Gösterimi

$$SST_i = \sum_{RCP=1}^2 \sum_{GCM=1}^{12} \sum_{PET=1}^{12} (M^{g(RCP,i),GCM,PET} - M^{g(0,i),0,0})^2 \quad (2.3)$$

RCP’lerin Oluşturduğu Hata Karelerin Gösterimi

$$SSA_i = GCM * PET \sum_{RCP=1}^2 (M^{g(RCP,i),0,0} - M^{g(0,i),0,0})^2 \quad (2.4)$$

GCM'lerin Oluşturduğu Hata Karelerin Gösterimi

$$SSB_i = RCP * PET \sum_{GCM=1}^{12} (M^{g(GCM,i),0,0} - M^{g(0,i),0,0})^2 \quad (2.5)$$

PET'lerin Oluşturduğu Hata Karelerin Gösterimi

$$SSC_i = RCP * GCM \sum_{PET=1}^{12} (M^{g(PET,i),0,0} - M^{g(0,i),0,0})^2 \quad (2.6)$$

Toplam Etkileşimden Gelen Hata Karelerin Gösterimi (2.7)

$$SSI_i = \sum_{RCP=1}^2 \sum_{GCM=1}^{12} \sum_{PET=1}^{12} (M^{g(RCP,i),GCM,PET} - M^{g(RCP,i),0,0} - M^{g(0,i),GCM,0} - M^{g(0,i),0,PET} + 2 * M^{g(0,i),0,0})^2$$

Tüm bu formüllerde gösterilen 0 sembolü ilgili formüldeki ortalamayı göstermektedir. Buradan yola çıkarak varyans analizi aşağıdaki formüllerde belirtilen matematiksel yöntemlerle Null hipotezi kullanılarak 0-1 arasında değişen μ^2 hesaplanır. Bu hesap RCP, GCM, PET ve katkıları için aşağıda gösterildiği gibidir.

RCP Katkı Oranı

$$\mu_{RCP}^2 = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^2 \frac{SSA_i}{SST_i} \quad (2.8)$$

GCM Katkı Oranı

$$\mu_{GCM}^2 = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^{12} \frac{SSB_i}{SST_i} \quad (2.9)$$

PET Katkı Oranı

$$\mu_{PET}^2 = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^{12} \frac{SSC_i}{SST_i} \quad (2.10)$$

Etkileşimlerin Katkı Oranı

$$\mu_{Etkileşim}^2 = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^2 \frac{SSI_i}{SST_i} \quad (2.11)$$

2.6 CMIP5 ve Re-Analiz Verileri

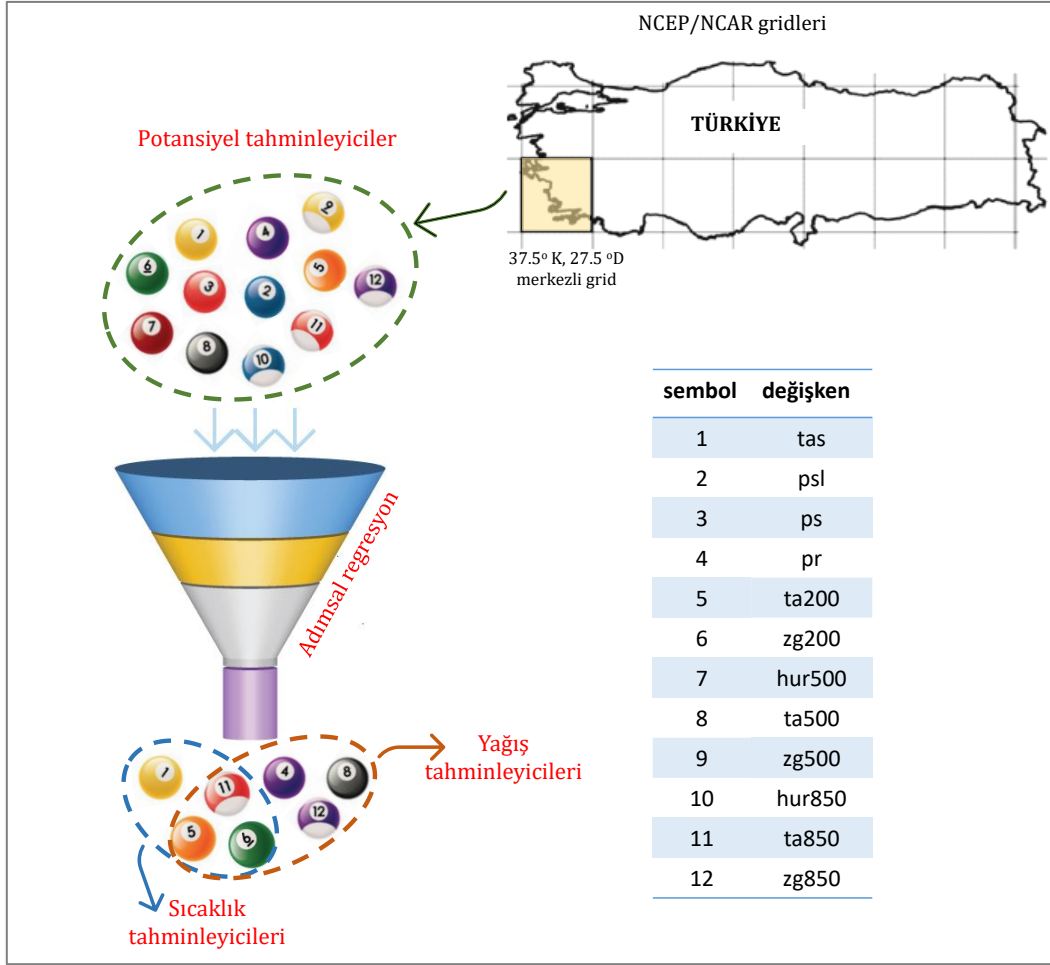
Yukarıda bahsedilen gözlenmiş hidro-meteorolojik verilere ilaveten, havzaların 2021-2050 dönemine ait alansal ortalama yağış, sıcaklık tahminlerini elde etmek için IPCC tarafından yayımlanan 5. Değerlendirme Raporu (AR5) kapsamındaki iklim senaryoları ve bu senaryolar altında çalıştırılan çeşitli CMIP5 iklim modelleri değerlendirilmiştir. AR5'in içeriğindeki senaryolar radyatif zorlamanın zaman içinde değişim şekli dikkate alınarak tanımlanmakta ve bu senaryolara RCP (Temsili Konsantrasyon Rotaları) denilmektedir. Çalışmada mevcut RCP senaryoları içerisinde RCP_{4.5} ve RCP_{8.5} senaryoları kullanılmıştır. Bunlardan RCP_{4.5} nispeten iyimser bir eğilim sergilerken, RCP_{8.5} 2100 yılında radyatif zorlamanın yeryüzünde yaklaşık 8.5 W/m² değerine erişeceğini ve daha sonra 2200'li yıllara kadar artan bir eğilim göstereceğini varsayan kötümser bir senaryodur (Meinshausen vd., 2011). Bir diğer senaryo olan RCP_{6.0} yüzyıl ortasına kadar RCP_{4.5} ile benzer radyatif zorlama eğiliminde olduğundan çalışmaya dahil edilmemiştir. Çalışmada iklim modellerinin geçmiş emisyon koşullarını temsil edeceği öngörülen geçmiş senaryo da referans kıyas senaryosu (hist) olarak kullanılmıştır. Geçmiş ve gelecek iklim senaryoları altında farklı iklim araştırma enstitülerince çalıştırılmış birçok iklim modeli içerisinde Tablo 2.5'de listelenen 12 tanesi kullanılmıştır.

CMIP5 kapsamında Tablo 3.2'de değinilen bu modellerin kaba çözünürlüklü (yerel ölçeğe indirgenmemiş) çıktıları temsili coğrafi hücreler (gridler) için <http://pcmdi9.llnl.gov> bağlantı adresinden temin edilmiştir. Söz konusu çıktılar “.nc” uzantılı formatta arşivlendikten sonra tarafımızca hazırlanan bir Matlab kodu ile ayıklanmış ve kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Kaba çözünürlüklü GCM çıktılarının yerel ölçeğe indirgenmesi için öncelikle bölgesel atmosferik değişkenler ile havzalardaki alansal ortalama aylık toplam yağış (P) ve aylık ortalama sıcaklık (T_{ort}) gözlemleri arasında istatistiksel bağıntıların (transfer fonksiyonlarının) geliştirilmesi gerekmektedir. “İstatistiksel ölçek indirgeme modellemesi” olarak anılan bu yaklaşım Bölüm 3 altında ayrıca anlatılmıştır. Çalışmada bölgesel atmosferik değişkenler olarak 2.5°x2.5° alan çözünürlüğündeki NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Centers for Atmospheric Research) (Kalnay vd., 1996) re-analiz veri setlerinden yararlanılmıştır. 1981-2010 ortak referans iklim dönemini kapsayan ilgili veriler

<http://www.cdc.noaa.gov/> adresinden “.nc” uzantılı formatta elde edilmiş ve uygulama alanını temsil eden 37.5° K, 27.5° D merkezli grid verileri Matlab ortamında düzenlenmiştir.

Çalışmada NCEP/NCAR veri setleri ve CMIP5 modellerinin RCP ve hist senaryoları kapsamında servis edilen ortak bazı potansiyel değişkenler de belirlenmiştir. Bunlar 200 mb, 500 mb, 850 mb atmosferik seviyelerindeki sıcaklık (ta200, ta500, ta850), geopotansiyel yükseklik (zg200, zg500, zg850), rölatif nem değişkenleri (hur500, hur850) ve ayrıca yüzey sıcaklık (tas), basınç (ps), deniz seviyesi basıncı (psl) ve alansal yağış (pr) değişkenleridir. İstatistiksel ölçek indirgeme modellemesi öncesinde uygulama havzalarının gözlenmiş alansal ortalama yağış ve sıcaklıklarını temsil eden dominant NCEP/NCAR tahminleyicilerinin seçimi ise adımsal (stepwise) regresyon analizi (SRA) ile gerçekleştirilmiştir. SRA'nın ölçek indirgeme kapsamındaki uygulamaları ve metodolojik detayları Huth (1999), Linderson vd. (2004) ve Yang vd. (2017) çalışmalarında mevcuttur. Her iki uygulama havzasında Thiessen ağırlıklı alansal ortalama yağışlar için yapılan SRA işlemi sonrasında pr, ta200, ta500, ta850, zg200 ve zg850 olmak üzere 6 adet açıklayıcı tahminleyici değişkende karar kılınmıştır. Bu aşamada, bağımlı değişkene katkı koymayan değişkenler iteratif olarak elenmiş ve varyansı açıklama miktarı bakımından yeterli görülen kombinasyon seçilmiştir. Benzer analizler alansal ortalama sıcaklık için de tekrarlanmış ve bu sefer tas, zg200, ta200 ve ta850 olmak üzere 4 adet açıklayıcı değişkenin her iki uygulama havzasında söz konusu bağımlı değişkenin tahminleyicileri olarak kullanılması uygun bulunmuştur. Şekil 3.5'te SRA işleminin uygulanışı şematik olarak özetlenmiştir.



Şekil 2.2: Adımsal regresyon ile seçilen açıklayıcı tahminleyicileri(Okkan vd. 2022).

SRA uygulaması ile belirlenen tahminleyicilerin Tablo 3.2’de bahsedilen CMIP5 modellerinin kaba çözünürlüklü çıktılarındaki karşılıklarını direkt kullanmadan önce hangi modeller ile ansambl setler oluşturulacağına karar verilmiştir. Bu aşamada Nourani vd. (2019) ve Anandhi vd. (2008) gibi araştırmacıların önerdiği üzere ortak (mutual) enformasyon (MI) ve Kendall Tau (K_Tau) ölçütlerinden yararlanılmıştır. Non-parametrik sıra korelasyonu veren K_Tau ile alakalı hesaplama adımları Anandhi vd. (2008) çalışmasında mevcuttur. Ayrıca MI ölçütü iki rassal değişken arasındaki doğrusal olmayan bağımlılığı da yakalayabilmesi özelliği yönünden çalışmada tercih edilmiştir. MI algoritması işletilirken Sharma (2000) Bowden vd. (2005) çalışmalarında tavsiye edildiği üzere Gaussian kernel fonksiyonu kullanılmış ve fonksiyonun referans bant genişliği seçiminde Scott (1992) esas alınmıştır. Tahminleyici ve GCM seçimi için önerilen strateji aşağıdaki adımlarda özetlenmiştir.

- **Adım 1:** SRA ile potansiyel NCEP/NCAR tahminleyicileri seçilir.
- **Adım 2:** Seçilen NCEP/NCAR tahminleyicilerinin her bir CMIP5 modelinin *hist* senaryosundaki karşılıkları arasında MI ve K_Tau ölçütlerinin çıkarılmasını sağlar.
- **Adım 3:** İklim modellerinin MI ve K_Tau ölçütleri bakımından değişken özelinde derecelendirilmesi (rank hesabı) yapılır.
- **Adım 4:** İklim modeli özelinde tahminleyicilere atanan sıra numaralarının ortanca (medyan) değeri alınır.
- **Adım 5:** Hem MI hem de K_Tau için derlenen bu sonuçlar *K*-ortalamalar algoritması ile kümelenir ve çoklu GCM üyeleri hakkında karar verilir.

Yukarıdaki adımlara göre, tas, pr, ta200, ta500, ta850, zg200 ve zg850 değişkenlerinin 12 adet iklim modelinin hist senaryosu çıktıları ile ilgili NCEP/NCAR gridi değerleri arasında K_Tau korelasyon katsayıları ve MI skorları hesaplanmıştır (GCM'lerin hist senaryo çıktıları 2005 yılına kadar servis edildiğinden bu işlem 1980-2005 dönemi verileri ile gerçekleştirilmiştir). Daha sonra her bir değişken için hesaplanan ölçütlere göre GCM'lerin sıralanması yapılmıştır (bkz. Tablo 2.6). Bu aşamada ölçütler iki basamak yuvarlatılmış ve aynı sayılar için aynı rank değerleri atanmıştır. Burada MI veya K_Tau ölçütleri ile rank numaraları ters orantılıdır. Değerlendirmede aynı sayıların varlığı sonraki sayıların derecelendirmelerini de etkilemiştir. Adım 4'e göre ise iklim modelinin seçilen değişkenlerdeki rank skorlarının ortanca (2. Kartil: Q2) değer istatistiği hesaplanmıştır. Örneğin CSIRO-Mk3.6.0 iklim modelinin MI için hesaplanan rank değerleri tas, pr, ta200, zg200, ta500, ta850 ve zg850 için sırasıyla 4, 1, 4, 2, 2, 6 ve 2 olup bunların medyanı 2'dir. Benzer hesaplar tüm varyasyonlar için de tekrarlanmış ve MI ve K_Tau istatistiklerinin oluşturduğu iki boyutlu sonuç seti bir denetimsiz sınıflandırma metodu olan *K*-ortalamalar algoritması ile irdelenmiştir (Şekil 2.3). MATLAB platformunda ve Öklid mesafe fonksiyonu kullanılarak uygulanan bu algoritmada küme adedi üç olarak seçildiği durumda, CSIRO-Mk3.6.0, HadGEM2-ES, CESM1(CAM5) ve MIROC-

ESM modelleri iki numaralı merkeze ait kümeye eklenmiştir. Görüldüğü üzere, bu dört iklim model diğer 8 modele kıyasla çok daha düşük rank değerleri arz etmiş ve dolayısı ile ansambl oluştururken bu model çıktılarından faydalanılmıştır. Çalışmada bu model çıktıları ile oluşturulan set ENS4 olarak anılmıştır. GCM seçiminin hazne işletme optimizasyonu sürecine etkisini irdeleyebilmek adına tüm GCM çıktılarının değerlendirildiği bir alternatif de içeriğe alınmış ve bu çalışma metninde ENS12 olarak atfedilmiştir.

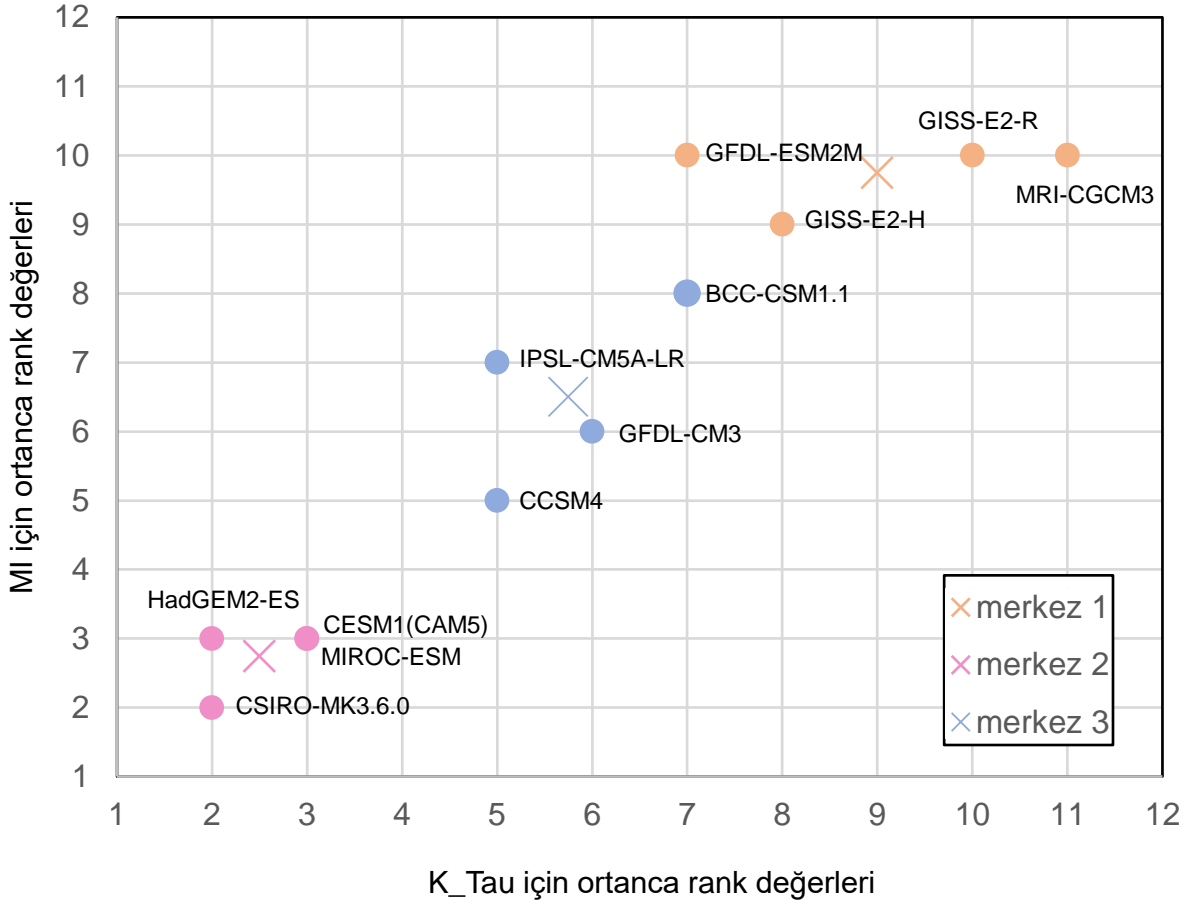
Tablo 2.6: NCEP/NCAR tahminleyicileri ile ilgili CMIP5-hist senaryosu çıktıları arasında hesaplanan (a) K_Tau ve (b) MI ölçütlerince GCM'lerin derecelendirilmesi.

(a)

GCM	K_Tau için rank değerleri							ortanca rank
	tas	pr	ta200	zg200	ta500	ta850	zg850	
BCC-CSM1.1	1	7	5	7	8	6	11	7
CCSM4	6	4	2	7	5	3	10	5
CESM1(CAM5)	6	3	4	1	1	1	8	3
CSIRO-Mk3.6.0	3	1	8	2	2	6	1	2
GFDL-CM3	6	6	12	3	5	6	4	6
GFDL-ESM2M	6	10	6	6	8	9	7	7
GISS-E2-H	12	9	8	3	8	12	5	8
GISS-E2-R	10	11	10	10	11	9	8	10
HadGEM2-ES	1	4	1	10	2	1	6	2
IPSL-CM5A-LR	5	7	6	7	5	3	2	5
MROC-ESM	3	2	3	3	2	3	3	3
MRI-CGCM3	10	12	11	12	11	11	12	11

(b)

GCM	M için rank değerleri							ortanca rank
	tas	pr	ta200	zg200	ta500	ta850	zg850	
BCC-CSM1.1	3	7	2	8	8	8	11	8
CCSM4	7	4	5	5	4	5	8	5
CESM1(CAM5)	5	3	5	1	1	1	8	3
CSIRO-Mk3.6.0	4	1	4	2	2	6	2	2
GFDL-CM3	8	6	12	6	6	7	4	6
GFDL-ESM2M	8	11	11	6	9	11	10	10
GISS-E2-H	12	9	7	9	11	12	4	9
GISS-E2-R	11	9	10	12	12	9	6	10
HadGEM2-ES	1	5	2	4	3	2	6	3
IPSL-CM5A-LR	6	8	7	10	7	3	1	7
MROC-ESM	1	2	1	3	5	4	3	3
MRI-CGCM3	10	11	9	11	9	10	12	10



Şekil 2.3: MI ve K_Tau için belirlenen ortanca rank değerlerinin saçılımı ve K-ortalamlar algoritması ile elde edilen küme merkezlerinin diyagram üzerindeki konumları.

2.7 Uygulanan İstatistiksel Ölçek İndirgeme Stratejisi

Kaba alansal çözünürlüğe sahip olan GCM'lerin kaba çıktılarını yerel ölçeğe indirmek için fiziksel tabanlı dinamik ve istatistiksel olmak üzere iki farklı ölçek indirgeme (downscaling) tekniği kullanılmaktadır. Bunlardan dinamik modeller topografya özelliklerinin de yansıtıldığı yüksek çözünürlüklerde sonuç verse de kurulumları ve performanslarının test edilmesi zahmetlidir. Ayrıca Trzaska ve Schnarr (2014) istatistiksel ölçek indirgeme modellemesinin daha fazla GCM'e uygulanabilme esnekliğine sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Bu bakımdan hazırlanan çalışmada yerel ölçekteki aylık toplam yağış (P) ve ortalama sıcaklık (T_{ort}) değişkenleri için transfer fonksiyonu esaslı bir istatistiksel ölçek indirgeme modellemesinin geliştirilmesinde karar kılınmıştır. Aylık yağış-akış modelleri bu iki değişkene ait gözlemler ile kurulabildiğinden daha fazla meteorolojik değişkene ölçek indirgeme yapılmasına da ihtiyaç duyulmamıştır. İstatistiksel ölçek indirgeme

modellemesinin hazırlanması aşamasında hem çok katmanlı yapay sinir ağı (FFNN) modeli, hem de radyal tabanlı sinir ağı (RBF) kullanılmıştır. Modellerin kurulum, kalibrasyon (eğitim) ve test aşamaları için literatürde gerekli bilgiler mevcuttur (bkz., Lin vd. 2004; Fıstıkoğlu ve Okkan 2011; Okkan ve Kirdemir 2016). Kalibrasyon için ayrılan dönemde RMSE minimizasyonu sağlayan model mimarileri ve parametreleri (ağırlıklar ve bias terimleri vb.) belirlendikten sonra, modellerin eğitim ve validasyon dönemi performansları çeşitli kriterlerce sınanmıştır. Bu dönemlerde ilgili modelin çıktılarında hesaplanan Nash-Sutcliffe (NS) katsayısı, RMSE'nin standart sapmaya oranı olan RSR ve yanlışlık yüzdesi (PBIAS) değerlerinin Moriasi vd. (2007) çalışmasına göre aşağıdaki gibi derecelendirilmesi sağlanmıştır.

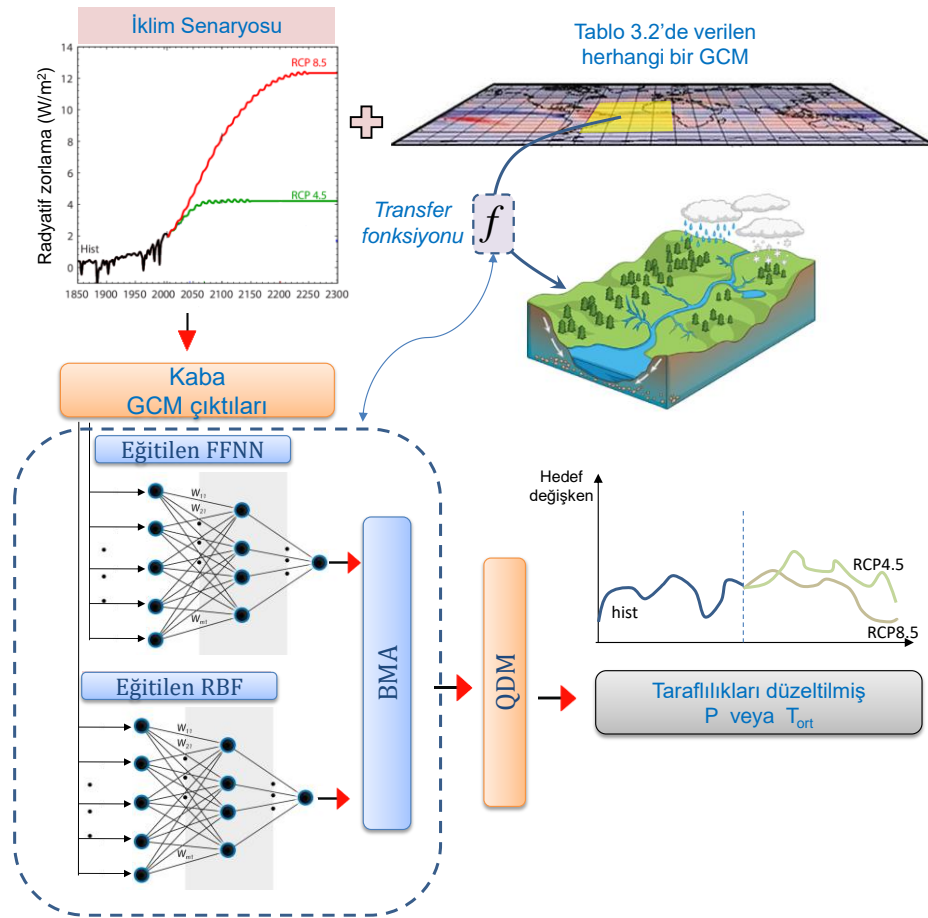
$$\text{Çok İyi (VG): } NS > 0.75; \quad RSR \leq 0.5; \quad PBIAS(\%) < \pm 10 \quad (2.11)$$

$$\text{İyi (G): } 0.65 < NS \leq 0.75; \quad 0.65 < RSR \leq 0.5; \quad \pm 10 \leq PBIAS(\%) < \pm 10 \quad (2.12)$$

Her iki modelde de gizli katmandaki hücre sayıları deneme-yanılma ile belirlenmiştir. Ayrıca FFNN'de gizli katmanda ve çıkış katmanında sırasıyla sigmoid ve lineer aktivasyon fonksiyonları uygun sonuç verirken, RBF modelinde girdi katmanından gizli katmana geçişte Gauss tipi aktivasyon fonksiyonu tercih edilmiştir. Veri standardizasyon işlemleri ise Okkan ve Kirdemir (2016) çalışmasındaki ile aynıdır. 1980-2010 referans dönemine ait verilerin yaklaşık yarısı ile eğitilen ve geri kalan kısmıyla test edilen sinir ağı tabanlı ölçek indirgeme modellerinin performanslarının yeterli görülmesi kabulüyle, her bir GCM'in uygulama alanlarını temsil eden en yakın gridlerindeki standardize edilmiş kaba senaryo çıktıları (hist senaryosu çıktıları ve 2021-2050 gelecek dönemini kapsayan RCP senaryo çıktıları) eğitilmiş FFNN ve RBF modellerinin ağırlıkları ile yerel ölçekteki alansal ortalama P ve Tort tahminlerine dönüştürülmüştür. Daha sonra bu iki makine öğrenmesi algoritması ile türetilen çıktılar paralel hibritleme mantığıyla Bayes model ortalaması (Bayesian Model Averaging: BMA) yaklaşımıyla ağırlıklandırılmıştır. BMA tekniği model tahminleri arasındaki varyansı hesaba katmakta ve tahmin belirsizliğinin azaltılması yönünde tutarlı sonuçlar üretebilmektedir (Duan vd., 2007). BMA'da ağırlıklar pozitif ve toplamı 1 olacak şekilde iteratif olarak belirlenmekte ve bu ağırlıklar modellerin göreceli performanslarını temsil etmektedir.

Makine öğrenmesi-BMA entegrasyonlu ölçek indirgeme modellemesi akabinde, GCM'lerin referans dönem hist senaryo tahminlerine ait dağılımlar ile gözlemlerin dağılımları arasındaki

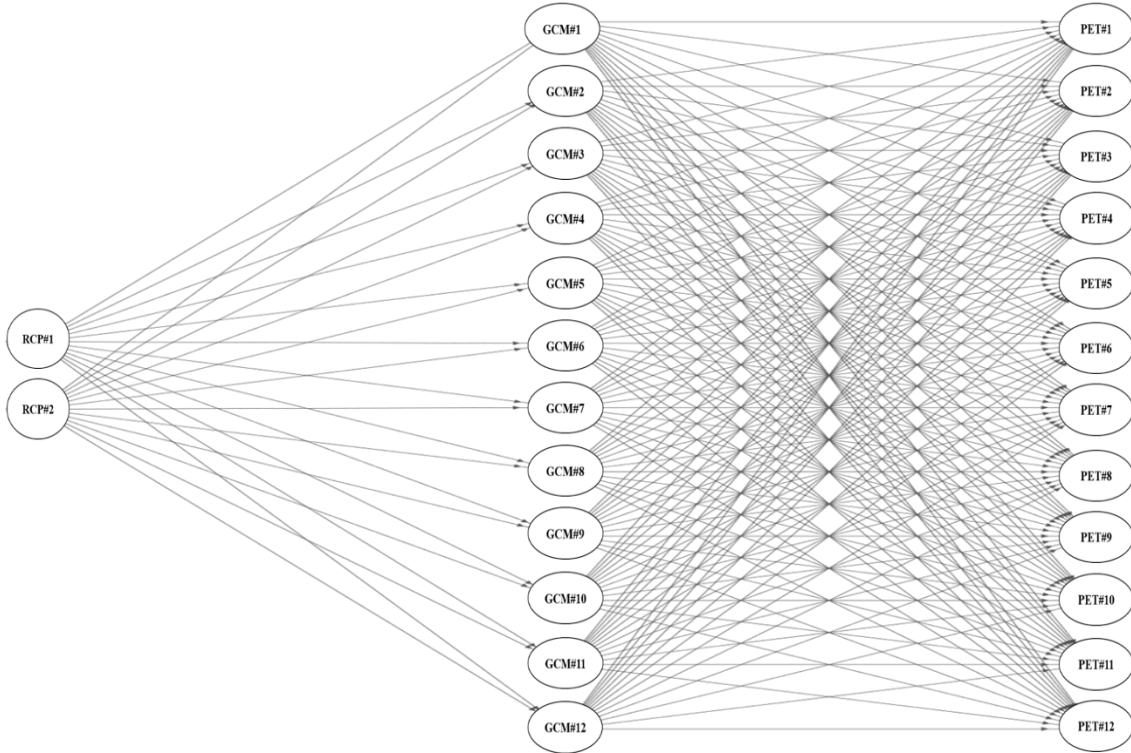
uyum ve dolayısıyla çıktılardaki sistematik yanlışlıklar da irdelenmiştir. Bu yanlışlıkların gelecek projeksiyonlara yayılma ihtimali gözetilerek çalışmada daha güvenilir tahminler elde etmek için “yanlılık düzeltme” tekniklerinden yararlanılmıştır. Bilinen en temel dağılım tabanlı düzeltme işlemi “kantil haritalama” olup, GCM’lerin ölçeğe indirgenmiş senaryo tahminlerine ait dağılımların gözlenmiş dağılımların üzerine haritalanması esasına dayanmaktadır (Cannon vd. 2015). Ancak düzeltme işlemi öncesi ölçeğe indirgenmiş hist senaryosuna ilişkin çıktılar ile gelecek senaryo çıktıları arasındaki rölatif değişim ve zamansal trend yapısı klasik kantil haritalama (quantile mapping) sonrası korunamamakta ve çıktılarda aşırı büyüme gözlenebilmektedir. Çalışmada söz konusu rölatif değişimin azami şekilde korunmasını sağlayan kantil delta haritalama (quantile delta mapping: QDM) yönteminden yararlanılmıştır. Yöntemin detayları Cannon vd. (2015) çalışmasında mevcuttur. Çalışmada esas alınan istatistiksel ölçek indirgeme ve meteorolojik projeksiyon üretme aşamaları Şekil 2.4’de şematik olarak özetlenmiştir.



Şekil 2.4: Farklı iklim senaryoları kapsamındaki GCM çıktıların istatistiksel ölçek indirgenmesinde izlenecek adımlar. (Okkan vd. 2022)

3. BULGULAR

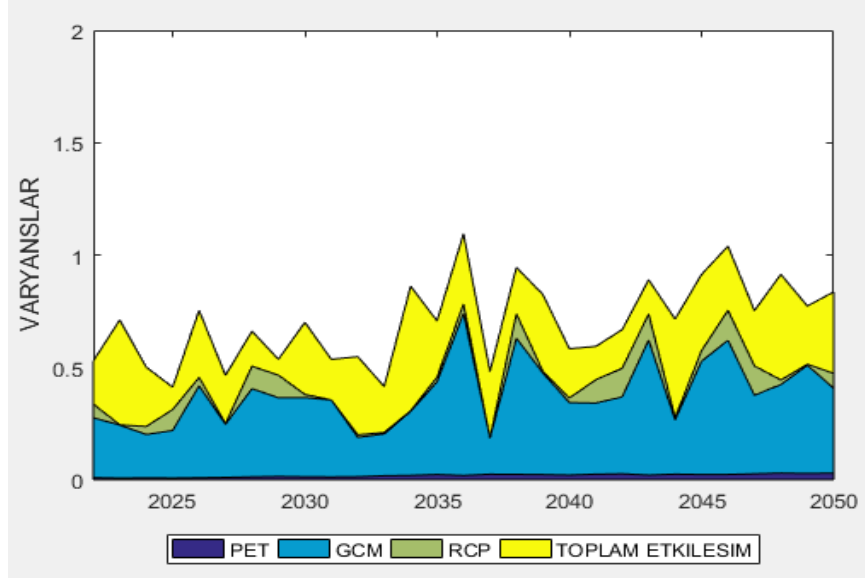
Birçok faktörün sonuca etki ettiği modeller ve hesaplamalar için varyans analizi (ANOVA), faktör etkilerinin tarafsızlığını sağladığı için çokça kullanılmaktadır. Ayrıca ilgili faktörlerin oluşturduğu belirsizliğin belirlenmesinde de kritik rol oynamaktadır. Bununla birlikte bu çalışmada alansal ortalama kullanıldığı için, alan ortalamalarından gelen belirsizliği her bir faktöre dağıttığı için varyans analizi belirsizliklerin bu yönde de tarafsızca incelenmesini sağlamaktadır (Giuntoli vd. 2015). Bu sebeple bu çalışmanın kapsamında yer alan PET, GCM ve RCP belirsizlikleri varyans analizi kullanılmak suretiyle yapılmış ve yorumlanmıştır. Sonuç olarak herhangi bir pet altında buharlaşma verileri aşağıda verilen üç faktörlü zincir birleşimini oluşturmaktadır. Buradaki sonuca etki eden her bir faktörün zincir içerisinde temsil edilmesidir. Genel olarak bu çalışmanın amacı farklı RCP, GCM ve PET modellerinin genel olarak kuraklık analizindeki belirsizliğe etkisinin bulunması olduğu için ayrıca PET modelleri içerisindeki katsayıların etkisi araştırılmamıştır. Lakin, birbirinden farklı modellerin etkisi genel olarak analizde belirlenebileceği için daha derin bir çalışmaya gerek duyulmamıştır.



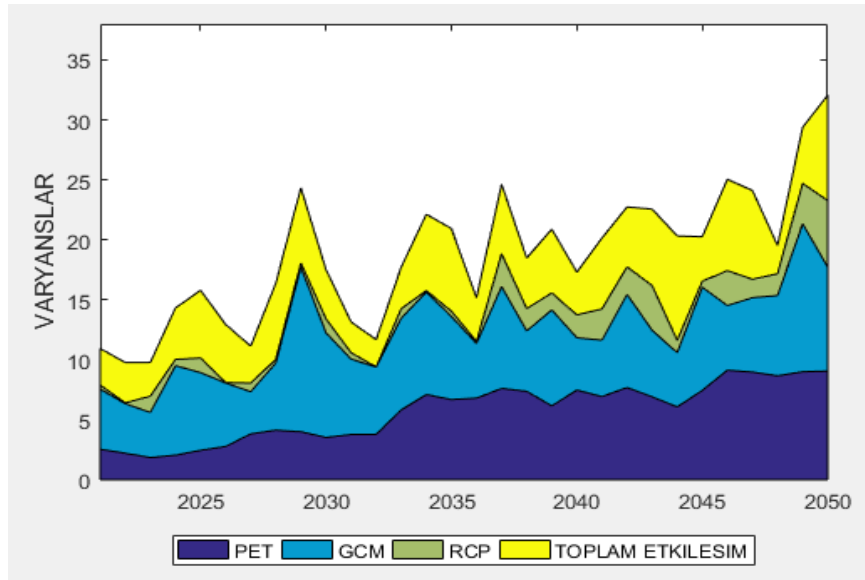
Şekil 3.1: Üç faktörlü zincir birleşim.

3.1 PET Modellerinin Oluşturduğu Belirsizliğin Yorumlanması

Meteorolojik belirsizliklerin incelendiği bu çalışmada meteorolojik olarak kritik bir rol oynayan sıcaklığa bağlı türetilen PET, öngörülerin aksine aşırı kurak dönemler haricinde anlamlı bir belirsizlik oluşturmamaktadır. Her bir PET modeli yıllık ortalama 700 mm ile 1500 mm arasında buharlaşma oluşturmaktadır. Birbirinin iki katı kadar buharlaşma oluşturmaya rağmen sonuca etkisi çalışma başında öngörüldüğü kadar olmamaktadır. Şekil 3.3 de görüldüğü gibi PET, yalnızca aşırı kurak dönemlerde anlamlı sayılabilecek bir belirsizlik oluşturmaktadır. Sıcaklık tabanlı modellerden Thornthwaite ve Hamon ile radyasyon tabanlı Irmak ve McGuinness – Bordne modelleri yıllık en az buharlaşmayı veren modeller olmasına karşın; sıcaklık tabanlı Blaney-Cridde ve radyasyon tabanlı Jensen-Haise yıllık ortalama en fazla buharlaşmayı vermektedir. Bu nedenle bir PET modelinin sıcaklık ya da radyasyon tabanlı olmasının buharlaşma ortalamasına bir etkisi bulunmamaktadır. Tablo 3.1 de tüm PET modellerinin GCM verileriyle ortaya çıkardığı minimum ve maksimum buharlaşma miktarını veren PET modelleri gösterilmiştir. Tüm PET modelleri arasında minimum buharlaşma verileri Irmak ve Hamon modelleri arasında gibi görünse de Thornthwaite ve McGuinness – Bordne modelleri de çok benzer sonuçları vermektedir. Maksimum buharlaşmayı veren PET modellerinde ise yalnızca Penman-Monteith ve Jensen-Haise birbirine yakın sonuçlar vermekte, onun dışındaki veriler mm 700 mm ile 1500 mm arasında değişmektedir. Tablo 3.1 ve Şekil 3.2 birlikte incelendiğinde PET modellerinin tamamının tutarlı sonuç verdiği ve özgün olduğu görülebilmektedir. PET modellerinin oluşturduğu meteorolojik belirsizlik diğer üç faktörle birlikte karşılaştırıldığında yok denecek kadar azdır; lakin sırf PET modelleri incelendiğinde 2020-2050 yılları öngörülerinde PET'in oluşturduğu belirsizlik artış sergilemektedir. Bu sonuç yalnızca PET modellerinin kendi belirsizliğinin hesaplandığı varyans analizi yönteminde görülebilir. Şekil 3.5 ve 3.6 da her iki hesaplama için de belirsizliklerin sonuçları verilmiş ve PET belirsizliğinin diğer modellerin yanında daha az belirsizlik oluşturduğu fakat tek başına incelendiğinde öngörülerdeki belirsizliğin arttığı gösterilmiştir.



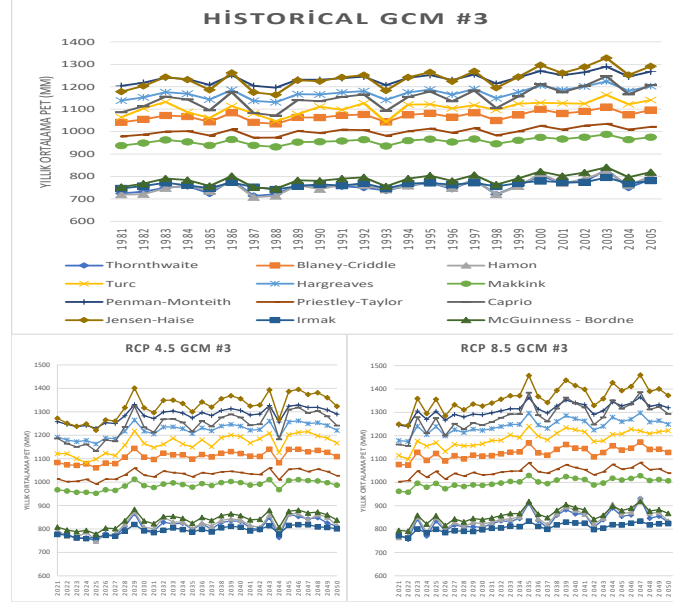
Şekil 3.5: Her üç faktörün karşılaştırıldığı varyans analizi sonuçları.



Şekil 3.6: Sadece PET faktörünün varyans analizinin gösterimi.

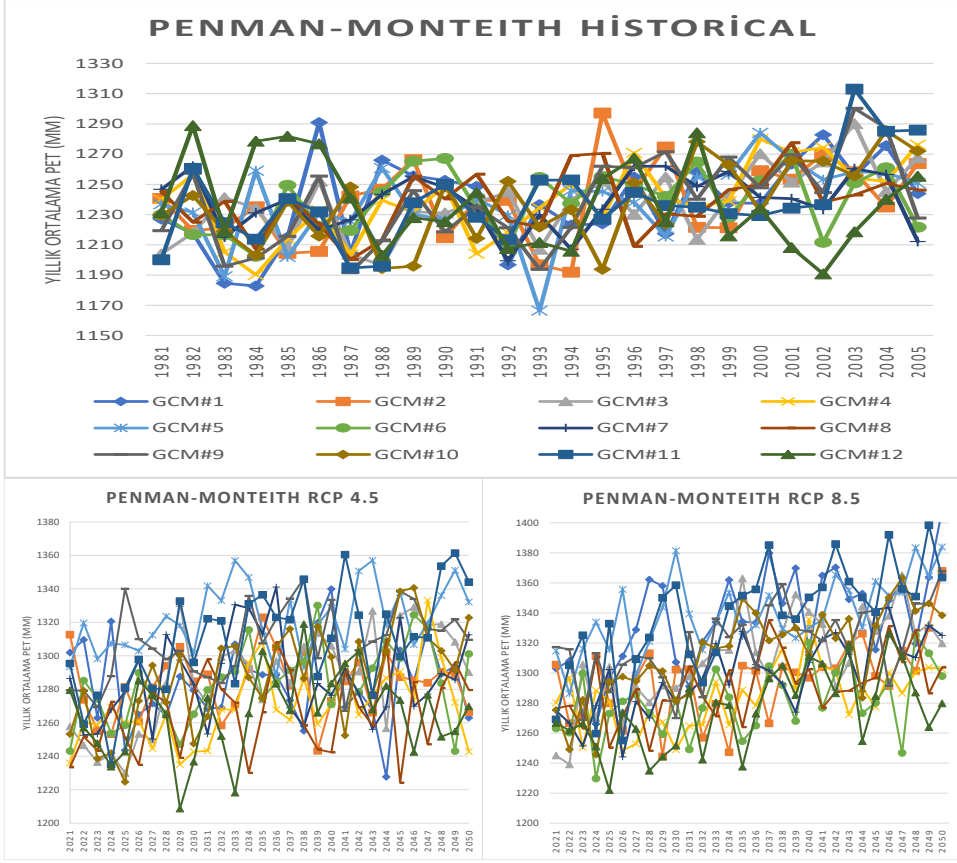
Tablo 3.1: Minimum ve maksimum buharlaşmayı veren PET'lerin gösterimi.

		GCM#1	GCM#2	GCM#3	GCM#4	GCM#5	GCM#6	GCM#7	GCM#8	GCM#9	GCM#10	GCM#11	GCM#12
Minimum	Historical	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H
Yıllık	RCP 4.5	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H
PET	RCP 8.5	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H	J_H
Maksimum	Historical	Ham	Ham	Ham	Ham	Ham	Ham	Ham	Ham	Ham	Ham	Ham	Ham
Yıllık	RCP 4.5	IRM	IRM	IRM	IRM	IRM	IRM	IRM	Ham	IRM	IRM	IRM	Ham
PET	RCP 8.5	IRM	IRM	IRM	IRM	IRM	IRM	IRM	IRM	IRM	IRM	IRM	IRM

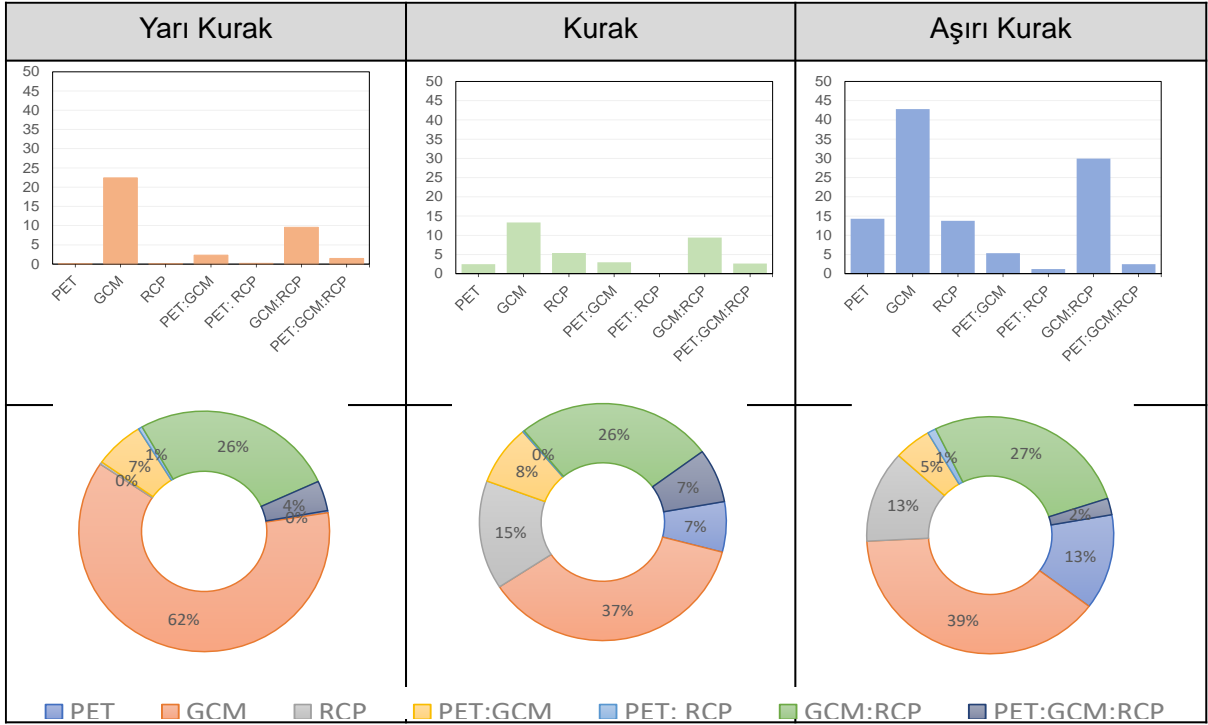


Şekil 3.2: Tüm PET modellerinin yıllık ortalama buharlaşma sonuçları.

PET modellerinin analizlerinin GCM ve RCP verileriyle birlikte kıyaslanması sonucu PET modellerinin meteorolojik kuraklıkta yalnızca çok kurak dönemlerde anlamlı bir belirsizlik yarattığı diğer dönemlerde ise etkisinin olmadığı söylenebilir. Bunun sebebinin GCM ve RCP verilerinin PET model sonuçlarına göre çok daha fazla belirsizlik içerdiği kabul edilebilir. Öyle ki, Şekil 3.3 de açıkça görüldüğü gibi 12 adet GCM verisi birbirine çok farklı sonuçlar vermektedir. Aynı PET modeli kullanıldığı, değişkenin yalnızca GCM ve RCP senaryolarının olduğu Şekil 3.3 de görüldüğü üzere artış ya da azalış trendi görülmemekte ve sonuçlar çok kaotik çıkmaktadır. Bu da PET belirsizliğinin GCM ve RCP belirsizliğinin yanında daha az belirsizlik yaratmasını açıklamaktadır.



Şekil 3.3: Penman Monteith GCM – RCP karşılaştırılması.



Şekil 3.4: Belirsizliği oluşturan öğelerin belirsizlik yüzdeleri.

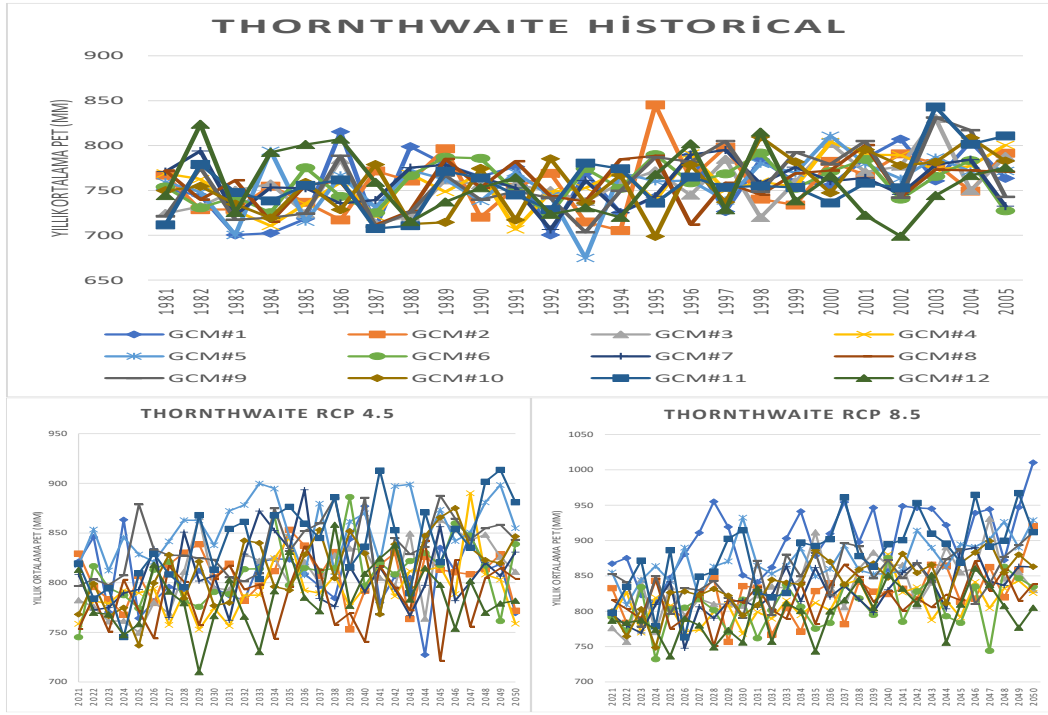
3.2 GCM Modellerinin Oluşturduğu Belirsizliğin Yorumlanması

Dünya Meteoroloji Örgütü'nün(WMO) birçok kurum ve kuruluşu bir araya getirerek küresel iklim krizi ile mücadeleye yönelik veri oluşturması için ilgili kurumların oluşturduğu küresel iklim verileri (GCM), her kurumun çalıştığı kendi havzalarında oluşturduğu projeksiyonları dünya genelindeki hemen her havzaya indirgedikleri için bu verilerin oluşturduğu meteorolojik kuraklık belirsizlikleri çok fazla olmaktadır. Bu çalışma kapsamında Tablo 2.3'de belirtilen 12 adet GCM kullanılmıştır. Bu veriler ilgili kurumların yayınladığı sıcaklık ve yağış öngörülerine göre Gediz Havzasına denk gelen koordinatlara ait katsayılar kullanılarak yapıldığı için öngörüler farklı GCM'ler için farklı olmaktadır. Şekil 3.2'de açıkça görülebilmektedir ki aynı PET modeli dahi kullanılsa farklı GCM verileri bir yılı kurak olarak öngörürken bir başka GCM verisi aynı yılı görece sulak olarak gösterebilmektedir. GCM verileriyle sonuç alınan tüm PET modelleri incelendiğinde yıllık buharlaşma ortalaması yaklaşık %20 farklılıktadır. Fakat bununla beraber GCM verileri birbirlerine kıyasla artış ya da azalış trendi sergilememekte ve aşırı kaotik sonuçlar çıkarmaktadır.

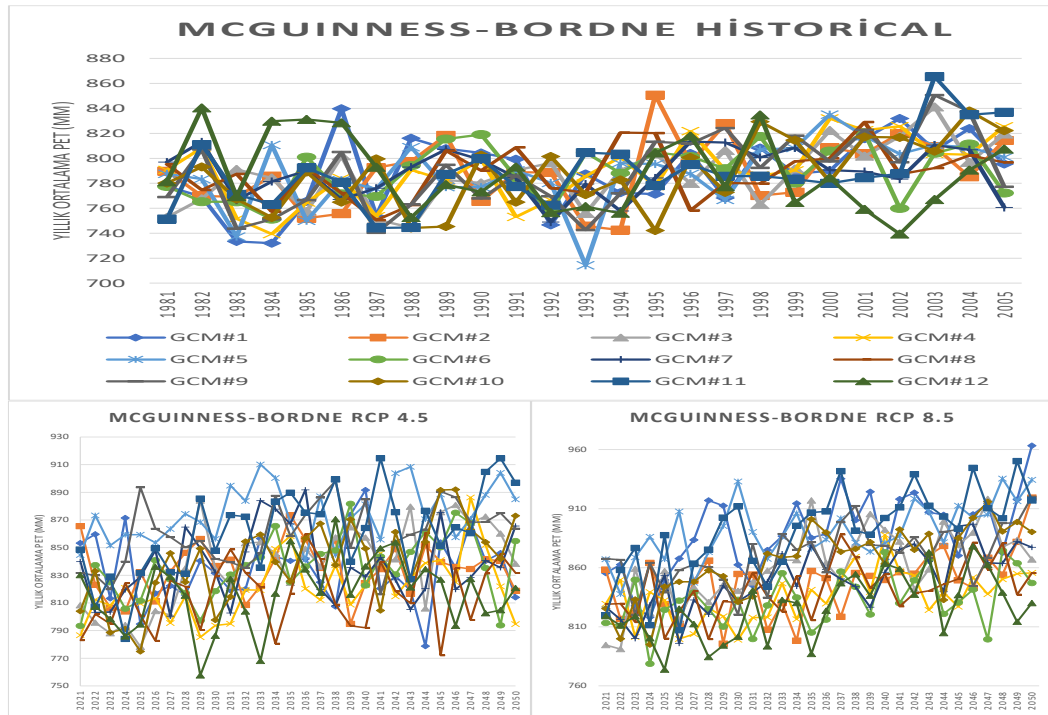
Küresel iklim verileri üç farklı temsili radyoaktif zorlama rotaları(RCP) kullanılarak yapılmaktadır. Bu üç farklı RCP içerisinden bu çalışmada yalnızca 2100 yılındaki radyoaktif zorlamanın 4.5 (W/m^2) ve 8.5 (W/m^2) olacağını öngören RCP_{4.5} ve RCP_{8.5} senaryolarının oluşturduğu GCM'ler kullanılmıştır. Bu çalışmada ilgili GCM senaryolarının oluşturduğu belirsizlikte RCP_{4.5} ve RCP_{8.5} senaryolarının da bir payının olup olmadığı da araştırılmıştır. Ayrıca PET modellerinin sıcaklık yahut radyasyon tabanlı olmalarının GCM verilerinin sonuçlarına etkileri de sorgulanmıştır. Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de sıcaklık ve radyasyon tabanlı PET modelinin oluşturduğu tüm GCM ve RCP verilerinin sonuçları verilmiştir. Bu şekillerde görüldüğü üzere PET modellerinden bağımsız olarak yalnızca GCM verileri kaotik sonuçlar yaratmaktadır. Aynı şekillerde RCP_{4.5} ve RCP_{8.5} karşılaştırılması yapıldığında ise pek fazla fark olmadığı gözlenmiştir.

İlgili GCM verilerinin diğer değişkenlerle varyans analizi (ANOVA) sonuçlarında ise gerek yarı kurak gerekse aşırı kurak dönemlerde %40 ile %60 arasında değişen belirsizlik oluşturduğu görülmüştür. Diğer değişkenlerle kombine edildiğinde ise oluşturduğu belirsizlik %80 ile %97 arasında değişmektedir. Bu da PET, RCP ve GCM değişkenlerinin arasında meteorolojik kuraklık belirsizliğini yaratan ögenin GCM verileri olduğunu göstermektedir.

Bunun nedeninin birçok GCM verisinin birbirinden farklı bölgeler için elde edildiği ve bir başka bölgeye katsayılar yoluyla aktarılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.7: Sıcaklık tabanlı Thornthwaite Modeli'nin tüm GCM-RCP sonuçları.



Şekil 3.8: Radyasyon tabanlı Mcguinness-Bordne Modeli'nin tüm GCM-RCP sonuçları.

3.3 RCP Modellerinin Oluşturduğu Belirsizliğin Yorumlanması

Küresel iklim verileri ile yaratılan öngörülerin meteorolojik verilere etkisinin çalışmanın başında çok fazla olduğu öngörülmekteydi. Lakin bir önceki bölümde anlatıldığı gibi GCM verilerinin oluşturduğu belirsizlik matematiksel olarak o kadar fazladır ki farklı RCP modellerinin sonuca etkisi neredeyse yok düzeyindedir. Buna rağmen RCP modellerinin oluşturduğu belirsizlik tek başına fazla olmamasına karşın GCM verileriyle birlikte değerlendirildiğinde etkisi azımsanmayacak derecede vardır. Örneğin, Şekil 3.3’de görüldüğü gibi yarı kurak dönemlerde RCP belirsizliği %1 civarındayken aynı dönemde GCM:RCP ilişkili belirsiz %26 civarındadır. Bir başka deyişle RCP modelleri tek başına belirsizlik taşımamakta lakin belirsizliği oluşturan bir başka değişkene katkı sunmaktadır. Meteorolojik kuraklığın analiz edildiği durumlarda ilk akla gelen, sıcaklıkta yaşanacak olan aşırı değişkenliklerin kuraklık üzerinde doğrudan ve çok fazla etkili olması düşünülebilir. Fakat, RCP modellerinde 4.5 (W/m²) ve 8.5 (W/m²) arasında radyoaktif zorlamanın sıcaklık üzerine yaptığı etkiler aynı zamanda yağış üzerinde de etkili olmuştur. Bu senaryolarda öngörülebilirlik değişse de bu çalışmanın yapıldığı Gördes havzası üzerinde RCP belirsizliği hesaplandığında çok fazla değildir.

3.4 Kombinasyonların Oluşturduğu Belirsizliğin Yorumlanması

Bu çalışmada ele alınan PET, GCM ve RCP model ve verilerinin varyans analizinde en önemli kısımlarından birisi tüm bu modellerin birbiriyle ilişkilerinin oluşturduğu belirsizliklerdir. Her bir modeli bir diğeriyle yahut tamamını kombine ederek analiz edildiğinde çıkan sonuçlar tüm çalışmanın amacı olan meteorolojik kuraklığı daha iyi temsil edecektir. Bu bağlamda yapılan çalışmada model birleşimlerinin tüm belirsizlik üzerinde %40 ile %50 arasında etki yaptığı görülmüştür. Bu etki tekil olarak da belirsizliğe katkısı fazla olan GCM verilerinin diğer tüm verilerle etkileşiminde daha fazla olmaktadır. Bunun sebebinin GCM verilerinin diğer model çıktılarına nazaran daha kaotik olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 3.3 de görülmektedir ki kombinasyonlar arasında en fazla belirsizliği üreten ikili RCP-GCM kombinasyonudur. Buna rağmen yarı kurak dönemlerden aşırı kurak dönemlere kadar bu belirsizlik değişkenlik göstermemektedir; sabittir. Buna karşın yarı kurak dönemlerde belirsizliği %1 civarında olan PET:RCP, kurak dönemlerde %7’ye, aşırı kurak dönemlerde de %13’e yükselmektedir. Dolayısıyla PET:RCP belirsizliği kuraklığın yaşandığı döneme göre değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada PET ’in oluşturduğu belirsizliğin kuraklıkla

bağlantılı olduğu anlaşılmaktadır. GCM belirsizliğinden ayrılarak hesaplanan PET, RCP ve PET-RCP kombinasyonlarının oluşturduğu belirsizlik göstermektedir ki kuraklık dönemlerine göre bu değişkenlerin belirsizliği arttırdığıdır. Buna göre hesabı yapılan bölgede, hesap yapılan döneme göre analizler gerçekleştirildiğinde bu etkinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Öyle ki kuraklık durumu bilinen veya öngörülen bir bölgede bir analiz yapıldığında, kuraklık durumunu en iyi temsil eden PET modeli kullanılmalıdır. Ya da çıkan sonuçlar üzerinde bölgeye uyarılama yapılması gerekir. Zira zemin nemi ölçümleri bölgesel olarak çok meşakkatli olduğundan PET model sonuçlarına güvenmek gerekir. Bu sonuçların da farklı kuraklık dönemlerde farklı belirsizlikler gösterdiğinin belirlendiği bu çalışma, PET seçimine dolaylı olarak katkı sağlamaktadır.

3.5 Belirsizliğin Genelleştirilmesi

Çalışma kapsamında kullanılan veri ve modellerin belirsizlik analizlerinin sonuçları göstermiştir ki birbirine bağlı veri ve modeller belirsizliği arttırmaktadır. Ayrıca diğer diğer model ve veriler ile içsel bağımlılığı bulunmayan PET modellerinin yarattığı meteorolojik belirsizlik diğer modellerin yarattığına nazaran çok daha azdır. Buradan hareketle içsel bağımlılığı bulunan modellerin yarattığı belirsizliklerin diğer modellerden daha fazla olduğu söylenebilir. Öyle ki, Bölüm 3.3'te belirtilen RCP senaryolarının belirsizliğe bizatihi katkısı fazla olmasa da RCP senaryoları altında türetilen GCM modellerinin oluşturdukları kombine belirsizlik, PET modellerinin oluşturduğu belirsizlikten fazladır. Bu alanda yapılan birçok çalışma da bu çalışmanın sonuçlarında ortaya çıkan sonuçlara benzer sonuçlar vermiştir. Öyle ki belirsizlik incelenirken ortalama sıcaklıkların yükseleceğini öngören iki senaryoda da (RCP_{4.5}, RCP_{8.5}) GCM bağımlılığı sebebiyle buharlaşmanın artış trendi belirsizlikte gözlenememektedir (Mingxi Shen vd. 2017). Yıllık yağış ortalamasının 500mm'nin üzerinde olduğu bölgeler için evapotranspirasyon ve PET modellerinin etkinliği projeksiyonlarda zamana bağlı olarak artış göstermesinin nedeni Shi vd. tarafından senaryolardaki yağışın azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonuç olarak PET modellerinin belirsizliğinin projeksiyonlarda zaman içerisinde artması bile dolaylı olarak GCM verilerinin zaman içerisinde yağışı azaltmasına bağlanabilmektedir. Tam da bu nedenle, meteorolojik kuraklık analizlerindeki belirsizliği yaratan asıl unsurun GCM verilerinin belirsizliği olduğu söylenebilir.

3.6 Ölçek İndirgeme Modellerinin Kalibrasyon ve Validasyon Performansları

Projenin ilk aşamasında Tablo 2.3'teki her bir GCM'in tarihsel ve RCP senaryoları çıktılarının yapay sinir ağları ve BMA ortak kullanımına dayalı istatistiksel ölçek indirgeme modelleriyle aylık toplam yağış (P) ve aylık ortalama sıcaklık (T_{ort}) değerlerine dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Bu maksatla öncelikle Bölüm 2.7'de açıklanan ve transfer fonksiyonu vazifesi görebilecek istatistiksel ölçek indirgeme modellerinin kurulumu gerçekleştirilmiştir. Bölüm 2.6'da belirtilen Ocak 1980-Aralık 2010 dönemi dominant NCEP/NCAR tahminleyicileri ve havza ölçeğinde gözlenmiş veriler standardize edildikten sonra, bunların ilk 16 yıllık kısmı eğitimde, geri kalan 15 yıllık kısmı ise validasyonda değerlendirilmiştir. Şekil 2.4'teki paralel hibrit modelleme şeması içerisinde FFNN'nin gizli katman nöron sayısı (gkns) ve RBF'in hem gkns hem de Gauss aktivasyon fonksiyonu yayılım parametresi σ eğitim dönemi RMSE değerini minimum kılacak şekilde belirlenmişlerdir. Modellerin aşırı öğrenmesini önlemek adına optimal jenerasyon büyüklükleri ile eğitilmeleri sağlanmıştır. Kullanılan iki makine öğrenmesi modelinin çıktılarını BMA ile ağırlıklandırırken Raftery vd. (2005) tarafından önerilen logaritmik-olabilirlik fonksiyonunun maksimizasyonu esas alınmıştır. Bu işlemin basit analitik yöntemler ile gerçekleştirilmesi güç olup, bu aşamada E-M (expectation-maximization) algoritmasına ilişkin prosedür tatbik edilmiştir. Şekil 2.6'da belirtilen NCEP/NCAR tahminleyici setleri ile sırasıyla P ve T_{ort} hedef değişkenleri için kalibrasyonu yapılan hibrit modellere ait eğitim ve validasyon dönemi performansları Tablo 3.2'de verilmiştir. Tabloda modelleme sürecinde seçilen optimal parametreler ve Moriasi vd. (2007) kriterlerine göre performans derecelendirmeleri de ayrıca belirtilmiştir. Bulgular T_{ort} için kurulan ölçek indirgeme modellerinin eğitim ve validasyon dönemlerinde tüm indislerce *çok iyi* (VG) sınıfında olduğunu göstermektedir. Diğer yandan, P için kurulan ölçek indirgeme modelleri NS ve RSR bakımından *iyi* (G) olarak derecelendirilirken, PBIAS indisi özelinde VG sınıfında performans sergilemişlerdir. Sonuçların her iki baraj havzası için de oldukça benzer olduğu göze çarpmakta olup, modellerin validasyon dönemi tahminleri Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da gidiş grafikleri ve saçılım diyagramları ile verilmiştir. T_{ort} için elde edilen sonuçlar daha tatmin ediciyken, P için elde edilen performansların bir miktar düşük çıkması değişkenin simüle edilebilmesindeki karmaşıklık düşünüldüğünde olağan durmaktır. Hatta çalışmada edinilen performansların benzer iklim karakteristiğine sahip havzalarda vurgulananlarla benzer olduğu da ifade edilebilir (bkz. Fistikoglu ve Okkan 2011; Okkan ve Fistikoglu 2014; Okkan ve Inan 2015a). Netice itibari ile, kurulan hibrit model yapıları GCM çıktılarının havza ölçeğine indirgenmesi sürecinde güvenle kullanılabilir düzeyde bulunmuşlardır.

Tablo 3.2. Hibrit istatistiksel ölçek indirgeme modellerinin eğitim ve validasyon dönemi performansları.

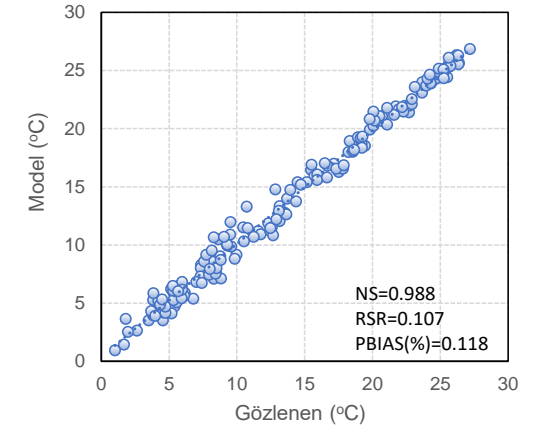
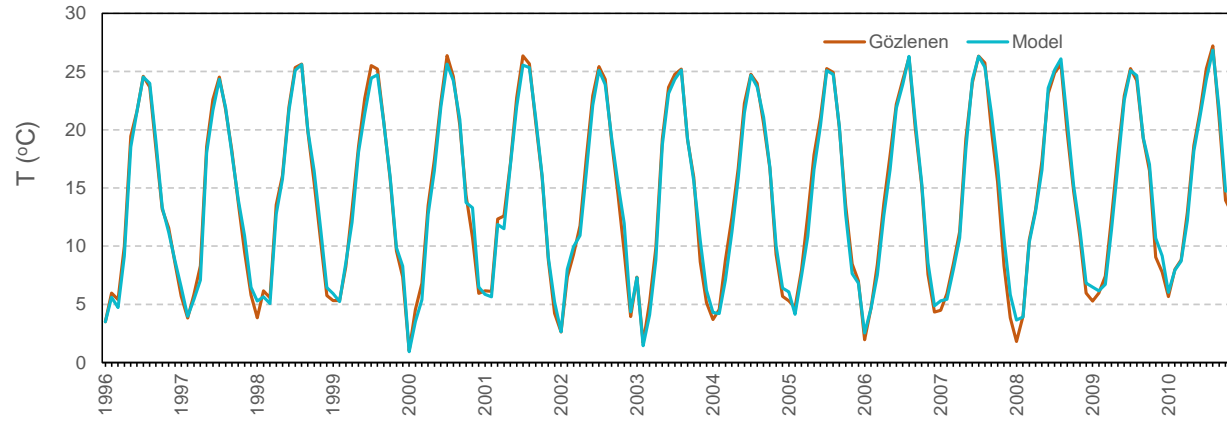
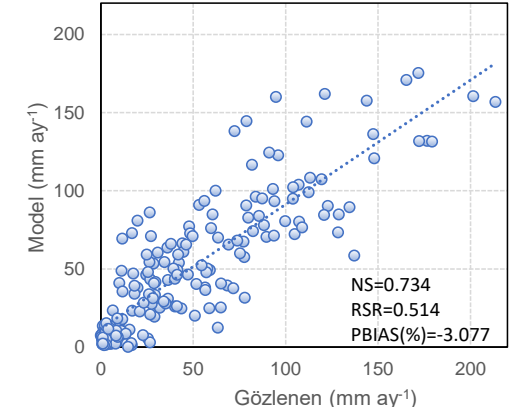
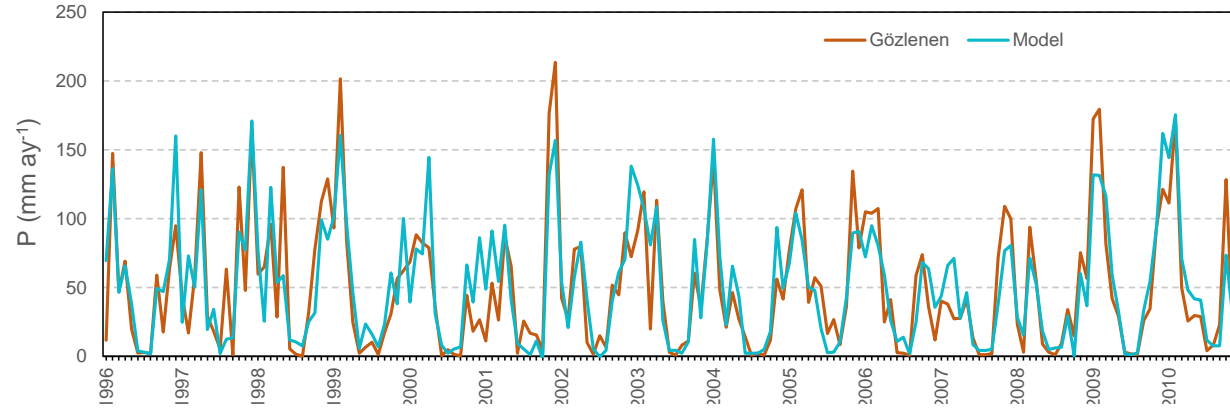
Hedef Değişken	Baraj Havzası	Eğitim						Validasyon					
		NS		RSR		PBIAS (%)		NS		PBIAS (%)			
P	Gördes ^a	0.738	(G)	0.511	(G)	-0.226	(VG)	0.734	(G)	0.514	(G)	-3.077	(VG)
	Çağlayan ^b	0.712	(G)	0.535	(G)	1.063	(VG)	0.721	(G)	0.526	(G)	-2.558	(VG)
T _{ort}	Gördes ^c	0.994	(VG)	0.079	(VG)	-0.892	(VG)	0.988	(VG)	0.107	(VG)	0.118	(VG)
	Çağlayan ^d	0.994	(VG)	0.077	(VG)	-1.145	(VG)	0.987	(VG)	0.116	(VG)	0.233	(VG)

^a FFNN için gkns=6, RBF için gkns=30, $\sigma=1.50$, BMA'da $W_{FFNN}=0.503$, $W_{RBF}=0.497$

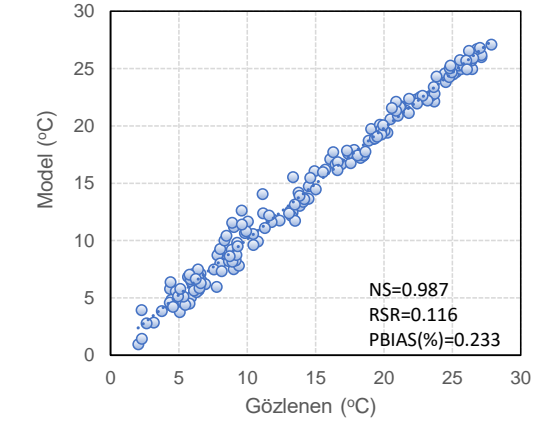
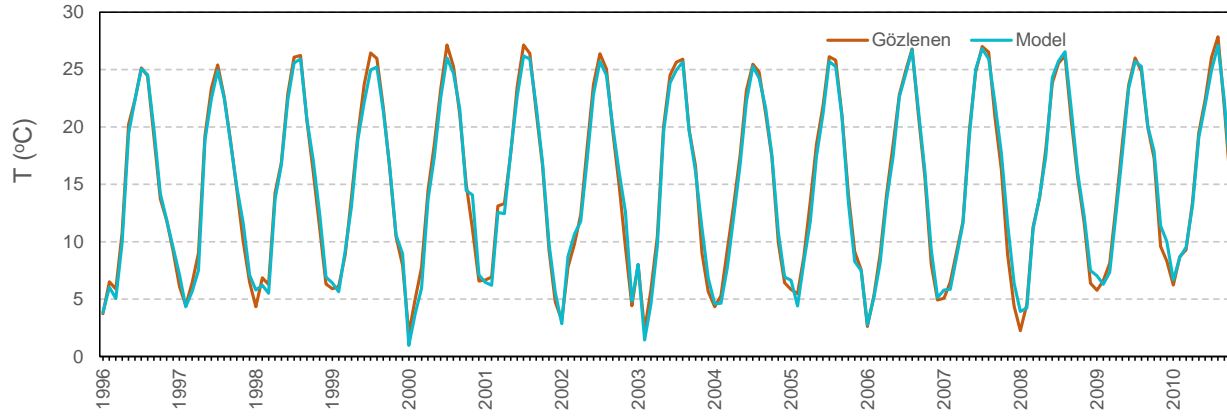
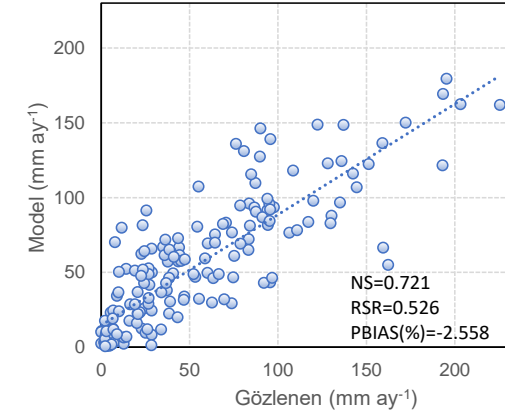
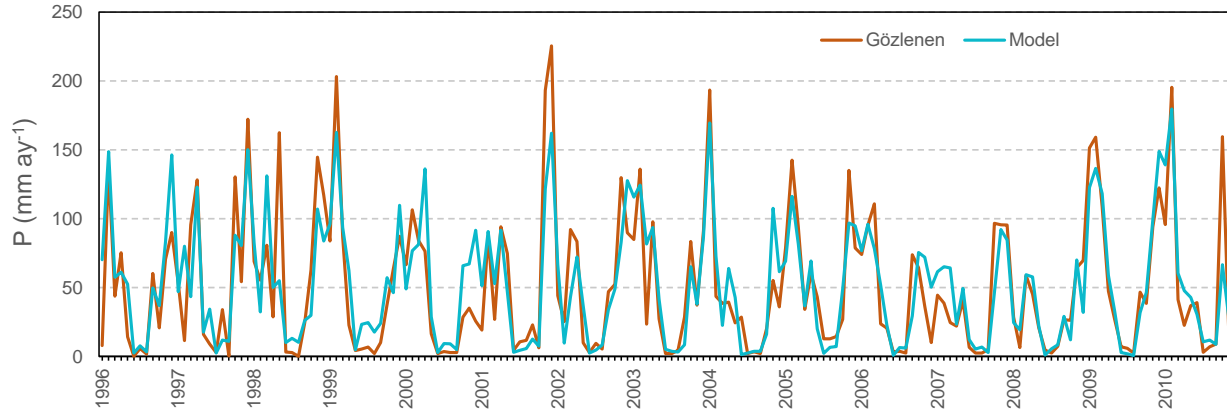
^b FFNN için gkns=6, RBF için gkns=30, $\sigma=1.30$, BMA'da $W_{FFNN}=0.467$, $W_{RBF}=0.533$

^c FFNN için gkns=10, RBF için gkns=15, $\sigma=3.30$, BMA'da $W_{FFNN}=0.534$, $W_{RBF}=0.466$

^d FFNN için gkns=3, RBF için gkns=10, $\sigma=4.60$, BMA'da $W_{FFNN}=0.516$, $W_{RBF}=0.484$



Şekil 3.9. Gördes baraj havzasında uygulanan hibrit istatistiksel ölçek indirgeme modelinin kalibrasyon dönemi tahminlerinin gözlemlere karşı zamansal gidişi ve saçılımı (yukarıda yağış, aşağıda ise ortalama sıcaklık sonuçları paylaşılmıştır).



Şekil 3.10. Çağlayan baraj havzasında uygulanan hibrit istatistiksel ölçek indirgeme modelinin validasyon dönemi tahminlerinin gözlemlere karşı zamansal gidişi ve saçılımı (yukarıda yağış, aşağıda ise ortalama sıcaklık sonuçları paylaşılmıştır).

4. SONUÇ

4.1 Sıcaklık Tabanlı ve Radyasyon Tabanlı PET Modellerinin Etkisinin Tartışılması

Üç adet sıcaklık dokuz adet radyasyon tabanlı modellerinin arasından sıcaklık tabanlı PET modellerinden Blaney_Criddle yöntemi haricindeki yöntemler birbirlerine çok yakın buharlaşma sonucu vermektedir. Radyasyon tabanlı yöntemler içinse aynı durum söz konusu değildir. IRMAK PET modeli haricindeki tüm radyasyon tabanlı pet modelleri kendilerine özgün sonuçlar vermektedir. IRMAK modeli sonuçları ise sıcaklık tabanlı Hamon modelinin sonuçlarına çok benzemektedir. Blaney_Criddle yönteminin mevsimsellik katsayıları ilgili havzaya göre manuel kalibre edildiği için tüm diğer PET modelleriyle kıyaslanması yanlış olur. Fakat Gediz Havzası için düşünüldüğünde Blaney_Criddle yönteminin radyasyon tabanlı PET modelleri gibi yıllık ortalama 1000 mm'nin üzerinde buharlaşma verisi verdiği söylenebilir. Bu çalışmada kullanılan radyasyon tabanlı modellerin tamamı radyasyon verisini sıcaklık (T) ile kalibre ettiği için dolaylı olarak yalnızca sıcaklık verisi kullanılarak ilgili havza için ortalama 700 ile 1400 mm arasında ortalama yıllık buharlaşma elde edebilmek mümkündür. Birbirinin neredeyse iki katı yıllık ortalama buharlaşma veren modellerin matematiksel olarak belirsizliklerinin fazla çıkmaması tartışılması gereken bir unsurdur. Öngörülmektedir ki her modelin kendi içerisinde tutarlı oluşu ve sıcaklık değişimlerine benzer oranda tepkiler vermesi, fazla beklenen belirsizliğin az çıkmasına sebep olabilmektedir. Daha yakından incelenmek istenirse GCM ve RCP senaryolarından bağımsız olarak meteorolojik değil hidrolojik kuraklığın incelendiği bir çalışmada ayrıyeten PET modellerinin oluşturacağı belirsizlik incelenebilir. Bu çalışma için PET modelleri meteorolojik kuraklık belirsizlikleri üzerine anlamlı bir belirsizlik oluşturmamaktadır. Tarımsal kuraklık içinse PET modellerinin sonuçları aşırı kurak dönemler için anlamlı bir belirsizlik oluşturmakta, diğer dönemlerde anlamlı bir belirsizlik oluşturmamaktadır.

4.2 GCM Belirsizliğinin İrdelenmesi

On iki farklı GCM verisinin incelendiği bu çalışmada her bir GCM gesi birbirinden farklı ve özgün geçmiş ve projeksiyon sonuçları vermektedir. Bu verilerin gerek ölçek indirgemelerinde gerekse veri kalibrasyonlarında ortaya çıkmayan kaotik sonuçlar, yıllık ortalama buharlaşma modellerinde ortaya çıkmaktadır. Meteorolojik kuraklığın incelendiği bu çalışmada her ne kadar tüm modellerin yıllık ortalama minimum ve maksimum buharlaşma sonuçlarında yalnızca 300mm fark olmasına rağmen, gerek dönemsel gerekse yıllık kaotik sonuçlar belirsizliğin yaratılmasına sebep olmaktadır. Ayrıca PET modeliyle kıyaslandığında tüm pet modellerinin dolaylı olarak sıcaklık verisine bağlı olduğu için sonuçları tutarlı çıkarmaktadır. GCM verilerinde ise yaratılan modellerin içsel bağlılığı bulunmamaktadır. Bu nedenle yapılan varyans analizinde(ANOVA) en büyük belirsizliğin GCM verileri ve onun kombinasyonlarında çıktığı grlmektedir. Bununla birlikte GCM verileri projeksiyon verilerini ortaya çıkardığı için yarattığı belirsizlik doğrudan veri belirsizliği olarak değerlendirilebilir. Veri belirsizlikleri ile yapılacak çalışmalar doğrudan yanlış öngörüye sebep olabileceğinden bu çalışmanın bir çıktısı olarak gelecek projeksiyonu yapılan verilerin ilgili havzanın verileriyle yapılması gerekmektedir. Her ne kadar GCM verilerine sorunsuz ölçek indirgeme uygulanabilmekteyse bile çıktılar aşırı belirsizlik içermektedir. Bu belirsizliği azaltmak için ilgili havzada ve ilgili bölgede projeksiyon çalışması gerekmekte ve bu çalışmaların sonucunda elde edilen verilerle bölgenin uzun yıllık ngrleri yapılmalıdır.

4.3 RCP Belirsizliğinin İrdelenmesi

Küresel ısınmanın en kritik öngörü modeli olarak değerlendirilen RCP modelleri, 2100 yılındaki radyoaktif zorlamanın tahminlenmesi esasına dayanır. Bu nedenle en iyi ve en kötü senaryonun esas alındığı bu çalışmada tüm aralığın gözlenebileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca GCM verilerinin öngörü tahminleyicisi olarak görev yapan RCP modellerinin oluşturacağı belirsizliklerin fazla olacağı düşünölmüştür. Fakat varyans analizi hesabı yapıldığında radyoaktif zorlamanın esas alındığı bu yöntemin oluşturduğu belirsizliğin RCP'nin altında çalışan GCM belirsizliğinin altında kaldığı görölmüştür. Buna rağmen ikili belirsizlikler yahut tüm kombinasyonlar düşünöldüğünde RCP belirsizliği en yüksek belirsizliği oluşturan GCM belirsizliğini destekleyen belirsizlikleri oluşturmaktadır. Meteorolojik kuraklık düşünöldüğünde en yüksek kombinasyon belirsizliği RCP:GCM ikilisinde görölmektedir. Lakin tarımsal kuraklık ele alındığında kurak ve aşırı kurak dönemlerde PET ile birlikte en yüksek belirsizliği göstermekte ve kuraklık arttıkça RCP belirsizliği artmaktadır. RCP belirsizliği dolaylı olarak GCM verilerinin oluşturduğu belirsizliğe etki ettiği için hesaplarda azımsanmayacak değere sahiptir.

4.4 Meteorolojik Kuraklıkta Değişkenlerin Öneminin Tartışılması

Yapılan tüm hesaplamaların sonucunda tarafsızca göröldüğü üzere herhangi bir meteorolojik analiz yapıldığında kullanılan yöntem fark etmeksizin PET modellerinin oluşturduğu belirsizlik, diğer tüm değişkenlerin oluşturduğu model belirsizliğinin altında kalmaktadır. Bu nedenle, meteorolojik analiz yapılırken eğer elimizde kullanabileceğimiz bir herhangi bir PET modeli var ise sonuçlarda gözle görölür bir değişkenlik yaratmayacağı kabul edilerek kullanılabilir. Pennmann Monteith, Blaney-Cridde, ya da herhangi özelliğli bir modelin kullanılması projeksiyon sonuçlarına etki etmeyecektir. Bunun yerine, o havza için geğmiş verilerde daha az belirsizlik oluşturduğu görölen doğru bir GCM modelinin seğilmesi daha az hatalı öngörüde bulunulmasına sebep olacaktır. Diğer bölümlerde de anlatıldığı üzere kuraklık modellenirken ortaya çıkan en büyük belirsizliğin kaynağı GCM verilerinin geleceği doğru öngörememesidir. Bu öngörüde oraya çıkan kusurlar, modellere çok ciddi ölçüde yansımaktadır. Her ne kadar bu çalışma kapsamında kullanılan downscaling yönteminin hatasızlığı matematiksel olarak ortaya konmuş olsa da, oluşturduğu belirsizliğin önüne geçilebilmesi için yöntemin değil gelecek veri öngörülerinin doğru yapılabilmesi gerekmektedir.

Türkiye Cumhuriyetinde kullanılan meteorolojik kuraklık öngörülerinin hemen hemen tamamında hesapların Penmann Monteith PET hesaplama yöntemiyle yapıldığı görülmektedir. Hesaplarının tek bir yöntem ile yapılması standartlar açısından daha kolay gözükse de, Türkiye’de bulunan havzalar birbirlerine yakın yağış almamakta ve sıcaklık ortalamaları da birbirinden farklıdır. Bu çalışma göstermiştir ki aşırı kurak bölgelerde Penmann Monteith PET hesaplama modeli kullanmak PET belirsizliği açısından daha realist sonuçlar verse de kurak ve yarı kurak bölgelerde daha az belirsizlik yaratan başka modellerin kullanılması gerektiği öngörülmektedir. Havzasal olarak projeksiyon yapılması gereken yerlerde kurak ve sulak dönemler birbirinden ayrılabilir ve ortalama yağış miktarındaki değişimlere göre farklı bir PET modeli kullanılarak o bölge için senaryolarda PET’in zamana bağlı artış gösteren belirsizliğinin önüne geçilebilir. Böylelikle meteorolojik kuraklık projeksiyonları yapılırken yalnız GCM verilerinin belirsizlik oluşturduğu öngörüsünde bulunulabilir. GCM verilerinin ve ölçek indirgeme yöntemlerinde ortaya çıkan belirsizliklerin ise havzaya düzenli olarak uygulanacak hidrolojik model simülasyonlarıyla bu belirsizlikler en aza indirilebilir ve havza özelliklerinin yağış ve sıcaklık rejimlerine karşı olan değişimleri gözlemlenebilir. Böylelikle 50-100 yıllık projeksiyonların oluşturduğu öngörülerdeki hatalar en azından her iki senede bir güncellenerek daha sağlıklı sonuçlar ile hidrolojik hesap yapmaya yardımcı olur. Mevcut kullanılan yöntemler ve projeksiyonlar belirsizlikler ile dolu olduğu için, hesaplar havzaları tam olarak modelleyememektedir. Ayrıyeten Türkiye’de kullanılan Penmann Monteith modeli gerçekten çok fazla parametre içeren ve verdiği sonuç itibariyle pek de gerçek evapotranspirasyonu doğası gereği temsil etmeyen bir yöntem olduğu için, bunun yerine uygulanabilecek daha basit yöntemler seçilebilir.

5. KAYNAKLAR

- Ahmed, K.F., Wang, G., Silander, J., Wilson, A.M., Allen, J.M., Horton, R., and Anyah, R. (2013). Statistical downscaling and bias correction of climate model outputs for climate change impact assessment in the U.S. northeast. *Global Planet. Change*, 100, 320-332. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.11.003>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and drainage paper*, Paper No 56, FAO, Rome, 300.
- Bass, B., Huang, G., & Russo, J. (1997). Incorporating climate change into risk assessment using Grey Mathematical Programming. *Journal of Environmental Management*, 49(1), 107–123. <https://doi.org/10.1006/jema.1996.0119>
- Beguiría, S., Vicente-Serrano, S. M., Reig, F., & Latorre, B. (2013). Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: Parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, 34(10), 3001–3023. <https://doi.org/10.1002/joc.3887>
- Blaney, H. F. and Criddle, W. D. (1950). *Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data*. Washington, D.C.: U.S. Soil Conservation Service.
- Brunner, P., Doherty, J., & Simmons, C. T. (2012). Uncertainty assessment and implications for data acquisition in support of Integrated Hydrologic Models. *Water Resources Research*, 48(7). <https://doi.org/10.1029/2011wr011342>
- Cai, Y., Huang, G. H., Nie, X. H., Li, Y. P., and Tan, Q. (2007). Municipal solid waste management under uncertainty: a mixed interval parameter fuzzy-stochastic robust programming approach. *Environ. Eng. Sci.*, 24(3), 338-352. <https://doi.org/10.1089/ees.2005.0140>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill Interamericana.

- Duan, K., & Mei, Y. (2014). Comparison of meteorological, hydrological and agricultural drought responses to climate change and uncertainty assessment. *Water Resources Management*, 28(14), 5039–5054. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0789-6>
- Fan, Y. R., Shi, X., Duan, Q. Y., & Yu, L. (2022). Towards reliable uncertainty quantification for hydrologic predictions, part II: Characterizing impacts of uncertain factors through an iterative factorial data assimilation framework. *Journal of Hydrology*, 612, 128136. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128136>
- Ficklin, D. L., & Barnhart, B. L. (2014). SWAT hydrologic model parameter uncertainty and its implications for hydroclimatic projections in snowmelt-dependent watersheds. *Journal of Hydrology*, 519, 2081–2090. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.082>
- Fistikoglu, O., & Okkan, U. (2011). Statistical downscaling of monthly precipitation using NCEP/NCAR reanalysis data for Tahtali River Basin in Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(2), 157-164.
- Giuntoli, I., Vidal, J.-P., Prudhomme, C., & Hannah, D. M. (2015). Future hydrological extremes: The uncertainty from multiple global climate and global hydrological models. *Earth System Dynamics*, 6(1), 267–285. <https://doi.org/10.5194/esd-6-267-2015>
- Hamon, W. R. (1961). Estimating potential evapotranspiration. *Journal of the Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers*, 87 (3), 107–120.
- Jensen, M. E. and Haise, H. R. (1963). Estimating evapotranspiration from solar radiation *Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 89, 15-41.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., ... & Joseph, D. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American meteorological Society*, 77(3), 437-472.
- Kırdemir U. (2017). *İklim değişikliğinin baraj havzası hidrolojisi üzerindeki olası etkilerinin modellenmesi: Ar5-rcp senaryoları ve Demirköprü Barajı örneği* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 482532).

- Kıymaz H. (2018). *Kavramsal hidrolojik modellere uygun potansiyel evapotranspirasyon eşitliklerinin araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 530105).
- Koutsoyiannis, D., & Mamassis, N. (2021). From mythology to science: The development of scientific hydrological concepts in greek antiquity and its relevance to modern hydrology. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(5), 2419–2444. <https://doi.org/10.5194/hess-25-2419-2021>
- Liu, D., Wang, D., Wang, Y., Wu, J., Singh, V. P., Zeng, X., Wang, L., Chen, Y., Chen, X., Zhang, L., & Gu, S. (2016). Entropy of hydrological systems under small samples: Uncertainty and variability. *Journal of Hydrology*, 532, 163–176. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.11.019>
- Makkink, G. F. (1957). Testing the Penman formula by means of lysimeters. *Journal of the Institution of Water Engineering*, 11 (3), 277–288.
- Marquardt, D. W. (1963). An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 11 (2), 431-441.
- McKee TB, Doesken, NJ, Kleist, J, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, in: *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. Boston, pp. 179–183.
- Nourani, V., Elkiran, G., & Abdullahi, J. (2019). Multi-station artificial intelligence based ensemble modeling of reference evapotranspiration using pan evaporation measurements. *Journal of Hydrology*, 577, 123958.
- Okkan, U., & Fistikoglu, O. (2014). Evaluating climate change effects on runoff by statistical downscaling and hydrological model GR2M. *Theoretical and applied climatology*, 117(1), 343-361.
- Okkan, U., Fıstıkoğlu, O., Ersoy, Z. B., & Noori, T. (2022). (rep.). *Parametrik İşletme Kuralları ile İklim Değişikliği Senaryoları Altında Hazne İşletme Optimizasyonu* (pp. 7–19). Ankara, Balıkesir: TÜBİTAK.

- Okkan, U., & Kirdemir, U. (2016). Downscaling of monthly precipitation using CMIP5 Climate Models operated under rcps. *Meteorological Applications*, 23(3), 514–528. <https://doi.org/10.1002/met.1575>
- Okkan, U., & Kiyamaz, H. (2019). Questioning of empirically derived and locally calibrated potential evapotranspiration equations for a lumped water balance model. *Water Supply*, 20(3), 1141–1156. <https://doi.org/10.2166/wcc.2019.292>
- Ouyang, F., Lü, H., Zhu, Y., Zhang, J., Yu, Z., Chen, X., & Li, M. (2013). Uncertainty analysis of downscaling methods in assessing the influence of climate change on hydrology. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28(4), 991–1010. <https://doi.org/10.1007/s00477-013-0796-9>
- Ouyang, F., Zhu, Y., Fu, G., Lü, H., Zhang, A., Yu, Z., & Chen, X. (2015). Impacts of climate change under CMIP5 RCP scenarios on streamflow in the Huangnizhuang catchment. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29(7), 1781–1795. <https://doi.org/10.1007/s00477-014-1018-9>
- Pandey, P. K., Dabral, P. P. and Pandey, V. (2016). Evaluation of reference evapotranspiration methods for the northeastern region of India. *International Soil and Water Conservation Research*, 4 (1), 52-63.
- Prudhomme, C., and Davies, H. (2009). Assessing uncertainties in climate change impact analyses on the river flow regimes in the UK. Part 2: future climate. *Clim. Change*, 93(1), 197-222. <http://doi.org/10.1007/s10584-008-9461-6>
- Published in *Remote Sensing of Drought: Innovative Monitoring Approaches*, edited by Brian D. Wardlaw, Martha C. Anderson, & James P. Verdin (CRC Press/Taylor & Francis, 2012).
- Rosenberry, D. O., Stannard, D. I., Winter, T. C. and Martinez, M. L. (2004). Comparison of 13 equations for determining evapotranspiration from a prairie wetland, Cottonwood Lake Area, North Dakota, USA. *Wetlands*, 24 (3), 483-497. Xu, C. and

- Rowell, D.P. (2006). A demonstration of the uncertainty in projections of UK climate change resulting from regional model formulation. *Clim. Change*, 79(3), 243-257. <http://doi.org/10.1007/s10584-006-9100>
- Scott, D. F., & Schulze, R. E. (1992). The hydrological effects of a wildfire in a eucalypt afforested catchment. *South African Forestry Journal*, 160(1), 67–74. <https://doi.org/10.1080/00382167.1992.9630412>
- Shen, M., Chen, J., Zhuan, M., Chen, H., Xu, C. Y., & Xiong, L. (2018). Estimating uncertainty and its temporal variation related to global climate models in quantifying climate change impacts on hydrology. *Journal of Hydrology*, 556, 10-24.
- Shi, L., Feng, P., Wang, B., Li Liu, D., Cleverly, J., Fang, Q., & Yu, Q. (2020). Projecting potential evapotranspiration change and quantifying its uncertainty under future climate scenarios: A case study in southeastern Australia. *Journal of Hydrology*, 584, 124756. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124756>
- Singh, V. P. (1998). Dependence of evaporation on meteorological variables at different time-scales and intercomparison of estimation methods. *Hydrological Processes*, 12 (3), 429-442.
- Tabari, H., Grismer, M. E. and Trajkovic, S. (2013). Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. *Irrigation Science*, 31 (2), 107-117.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscale drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation Evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009jcli2909.1>
- Westerhoff, R. S. (2015). Using uncertainty of Penman and Penman–Monteith Methods in combined satellite and ground-based evapotranspiration estimates. *Remote Sensing of Environment*, 169, 102–112. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.07.021>
- Xu, C. and Singh, V. P. (2002). Cross comparison of empirical equations for calculating potential evapotranspiration with data from Switzerland. *Water Resources Management*, 16 (3), 197-219.

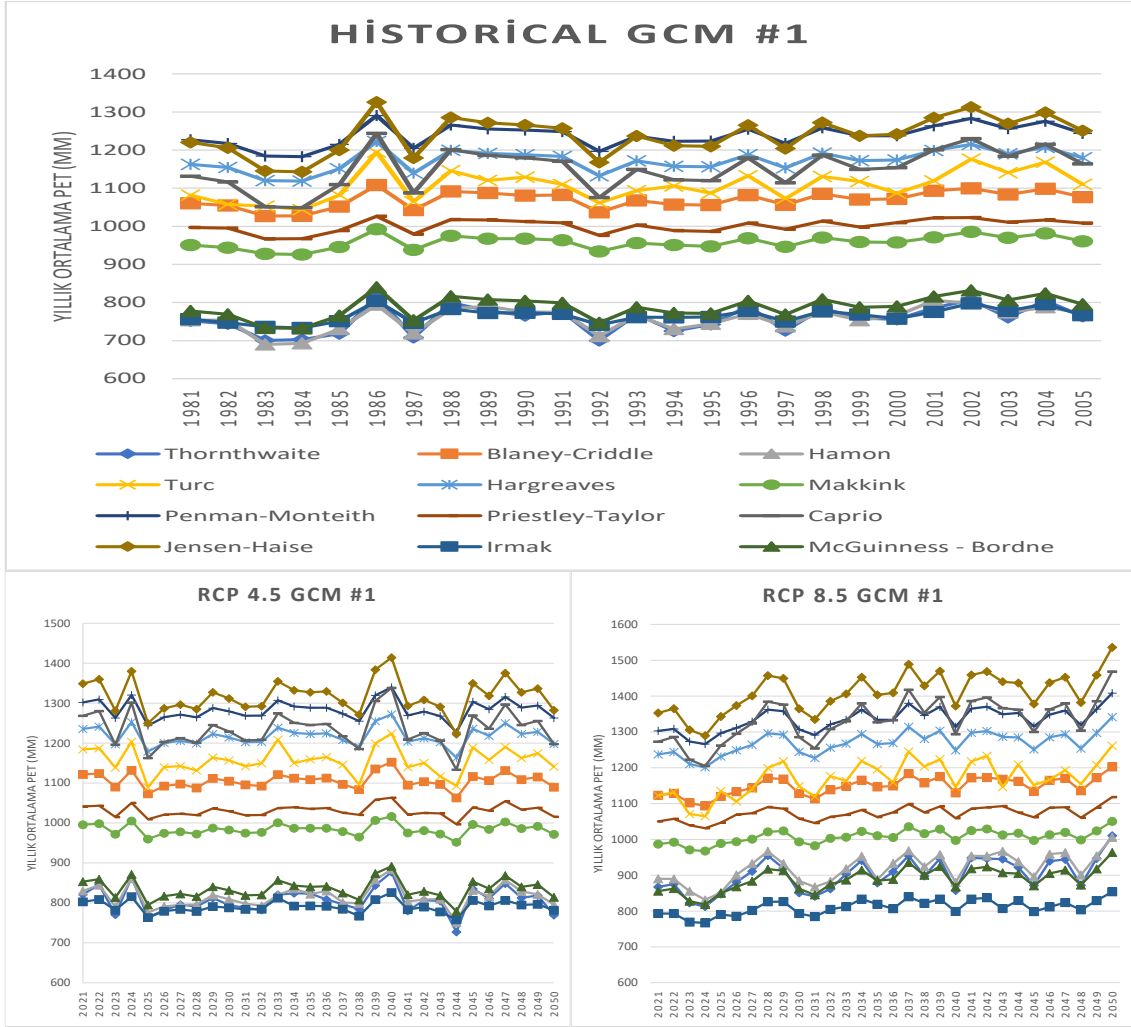
- Xu, C. and Singh, V. P. (2000). Evaluation and generalization of radiation-based methods for calculating evaporation. *Hydrological Processes*, 14 (2),339-349.
- Xu, C. and Singh, V. P. (2001). Evaluation and generalization of temperaturebased methods for calculating evaporation. *Hydrological Processes*, 15 (2), 305-319.
- Xystrakis, F. and Matzarakis, A. (2011). Evaluation of 13 empirical reference potential evapotranspiration equations on the island of Crete in Southern Greece. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 137 (4), 211-222.
- Yip, S., Ferro, C. A., Stephenson, D. B., & Hawkins, E. (2011). A simple, coherent framework for partitioning uncertainty in climate predictions. *Journal of Climate*, 24(17),4634–4643. <https://doi.org/10.1175/2011jcli4085.1>
- Yu, M., Li, Q., Hayes, M. J., Svoboda, M. D., & Heim, R. R. (2013). Are droughts becoming more frequent or severe in China based on the standardized precipitation Evapotranspiration index: 1951-2010? *International Journal of Climatology*, 34(3), 545–558. <https://doi.org/10.1002/joc.3701>

EKLER

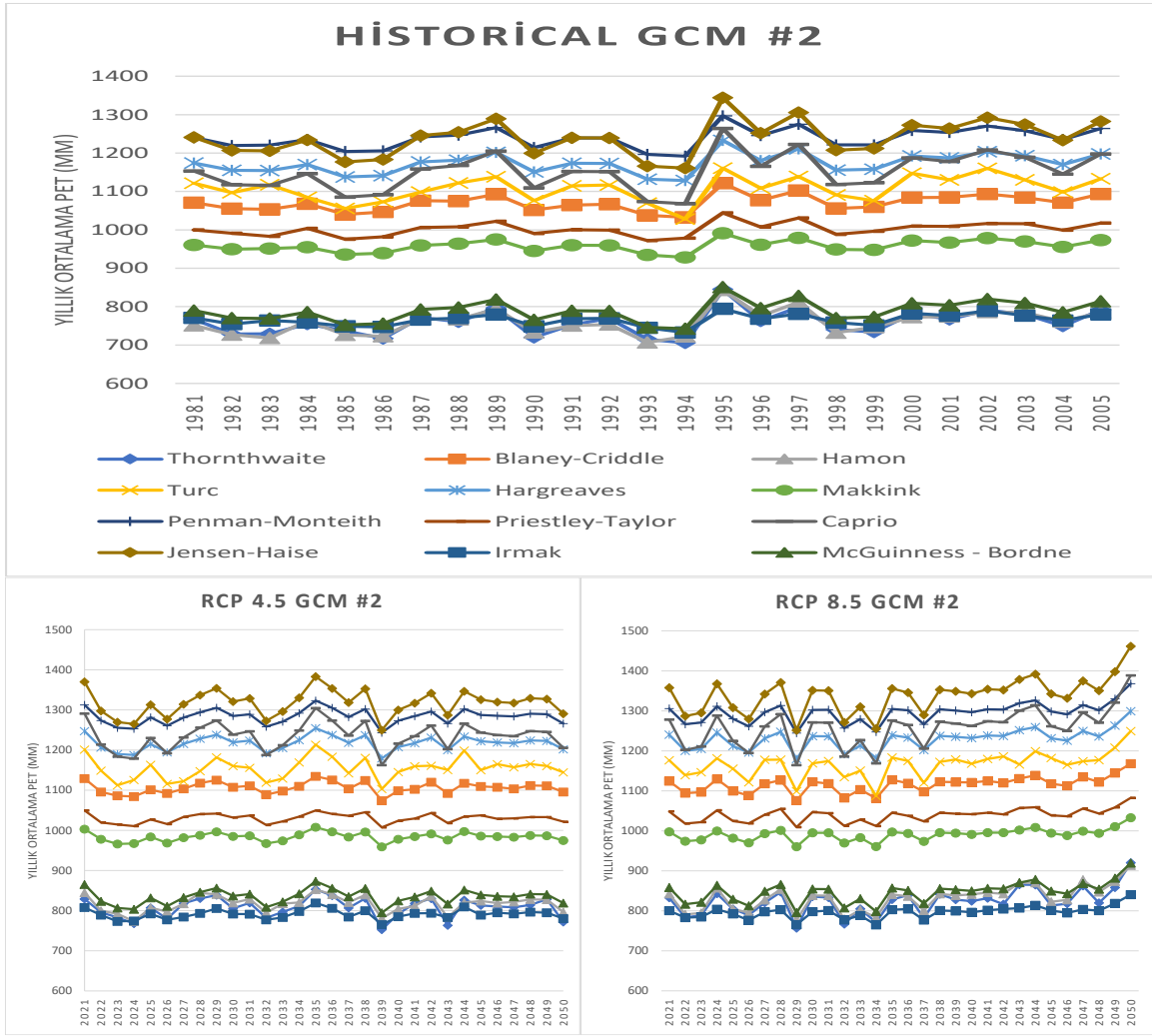
EKLER A: GCM Senaryolarının Sonuçlarının Tüm Gösterimleri

GCM Numarası	İlgili Yöntem	Sayfa Numarası
GCM 1	BCC-CSMI	47
GCM 2	CCSM4	48
GCM 3	CESMI(CAM5)	49
GCM 4	CSIRO-Mk3.6	50
GCM 5	GFDL-CM3	51
GCM 6	GFDL-ESM2M	52
GCM 7	GISS-E2-H	53
GCM 8	GISS-E2-R	54
GCM 9	HadGEM2 –ES	55
GCM 10	IPSL-CM5A-LR	56
GCM 11	MIROC – ESM	57
GCM 12	MRI – CGCM3	58

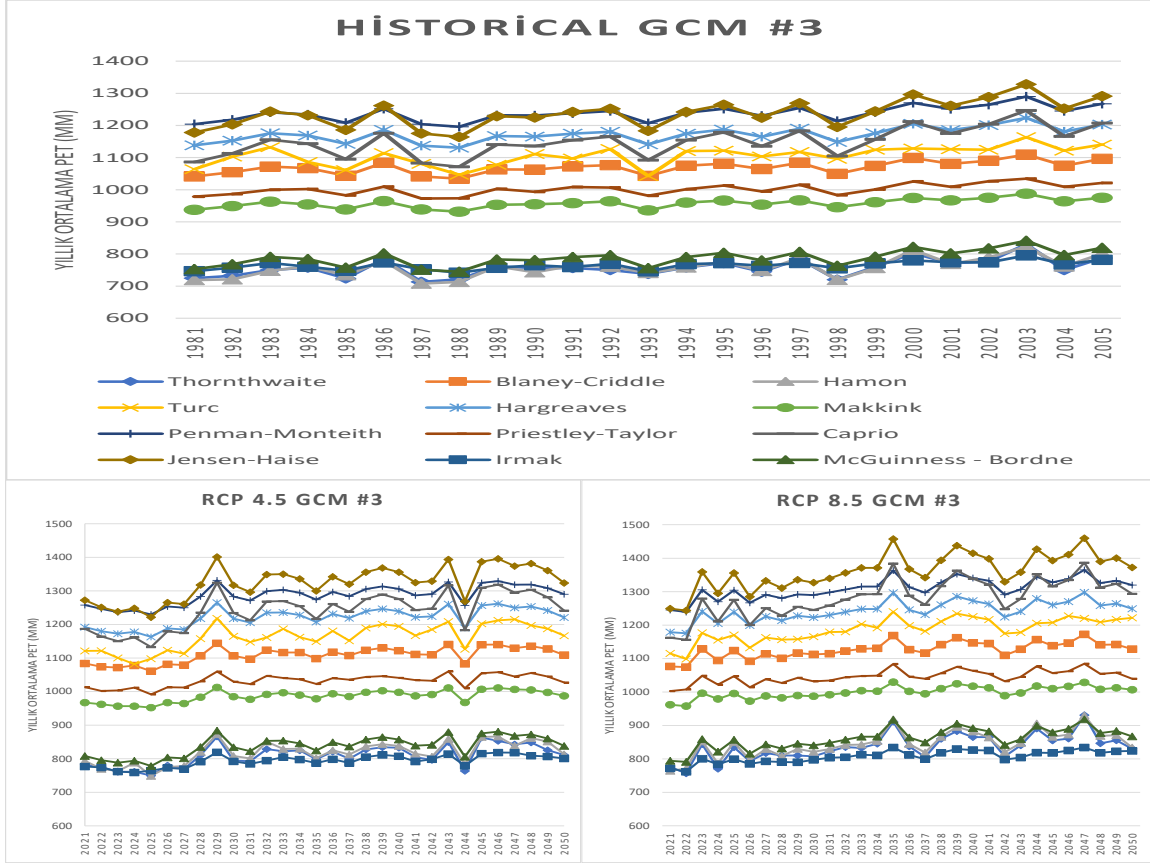
Tablo EK A: Tüm GCM Modellerine Ait PET Sonuçlarının Ayrı Ayrı Gösterimleri



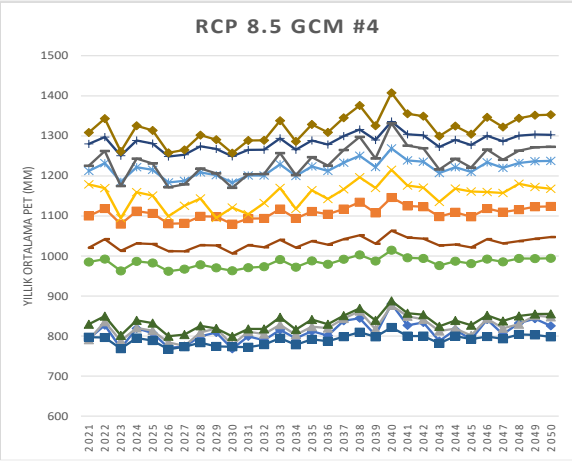
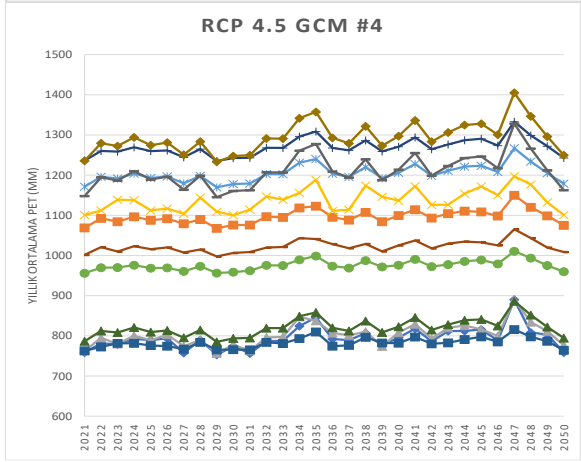
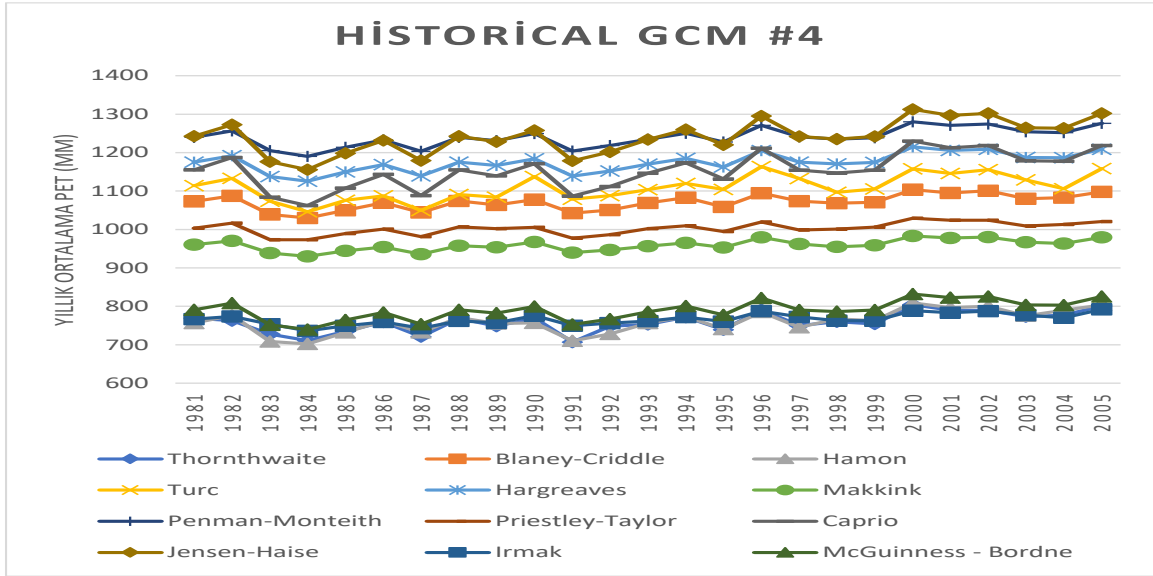
BCC-CSMI Modeline Ait Tüm PET Sonuçlarının Gösterimi



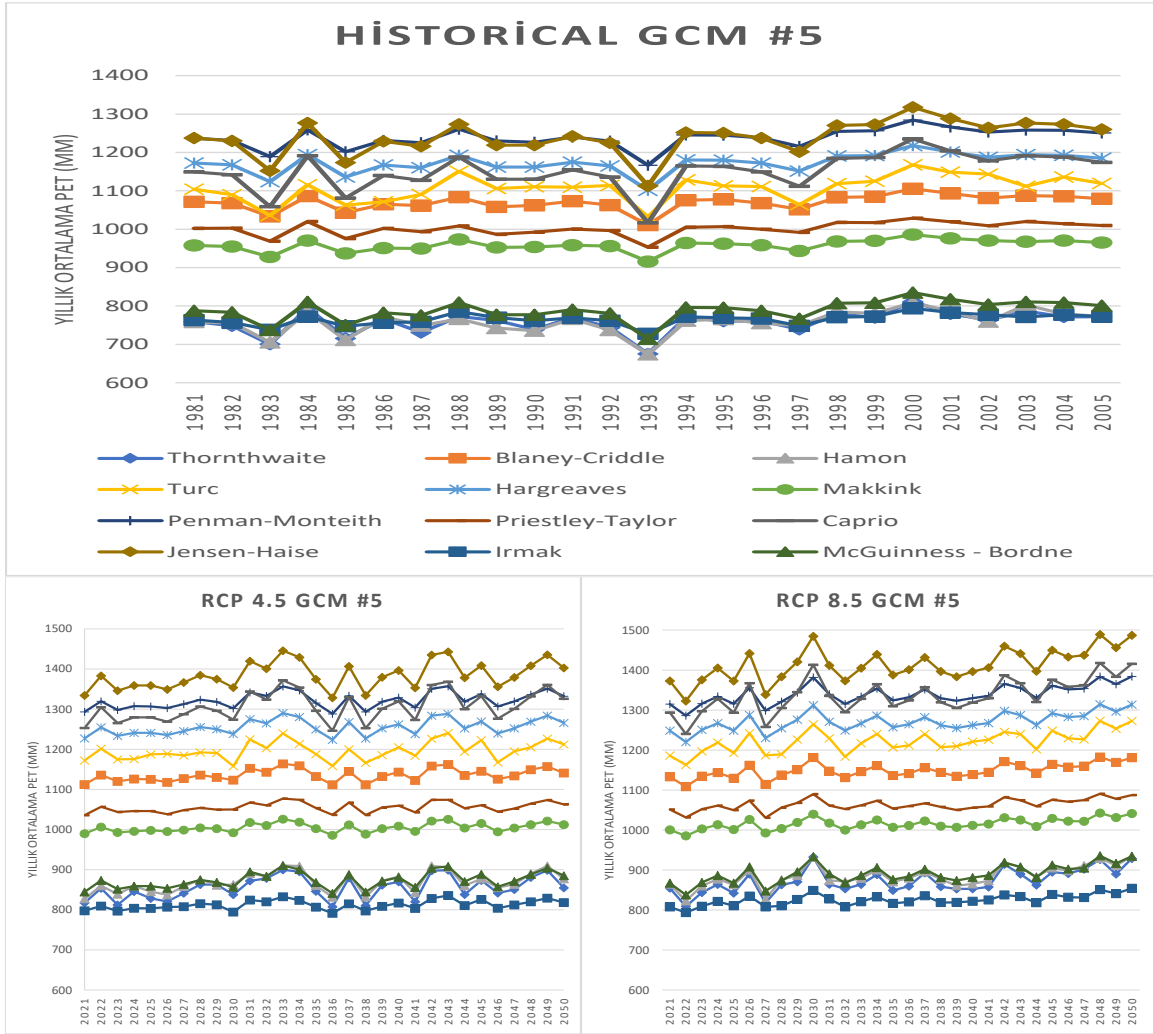
CCSM4 Modeline Ait Tüm PET Sonuçlarının Gösterimi



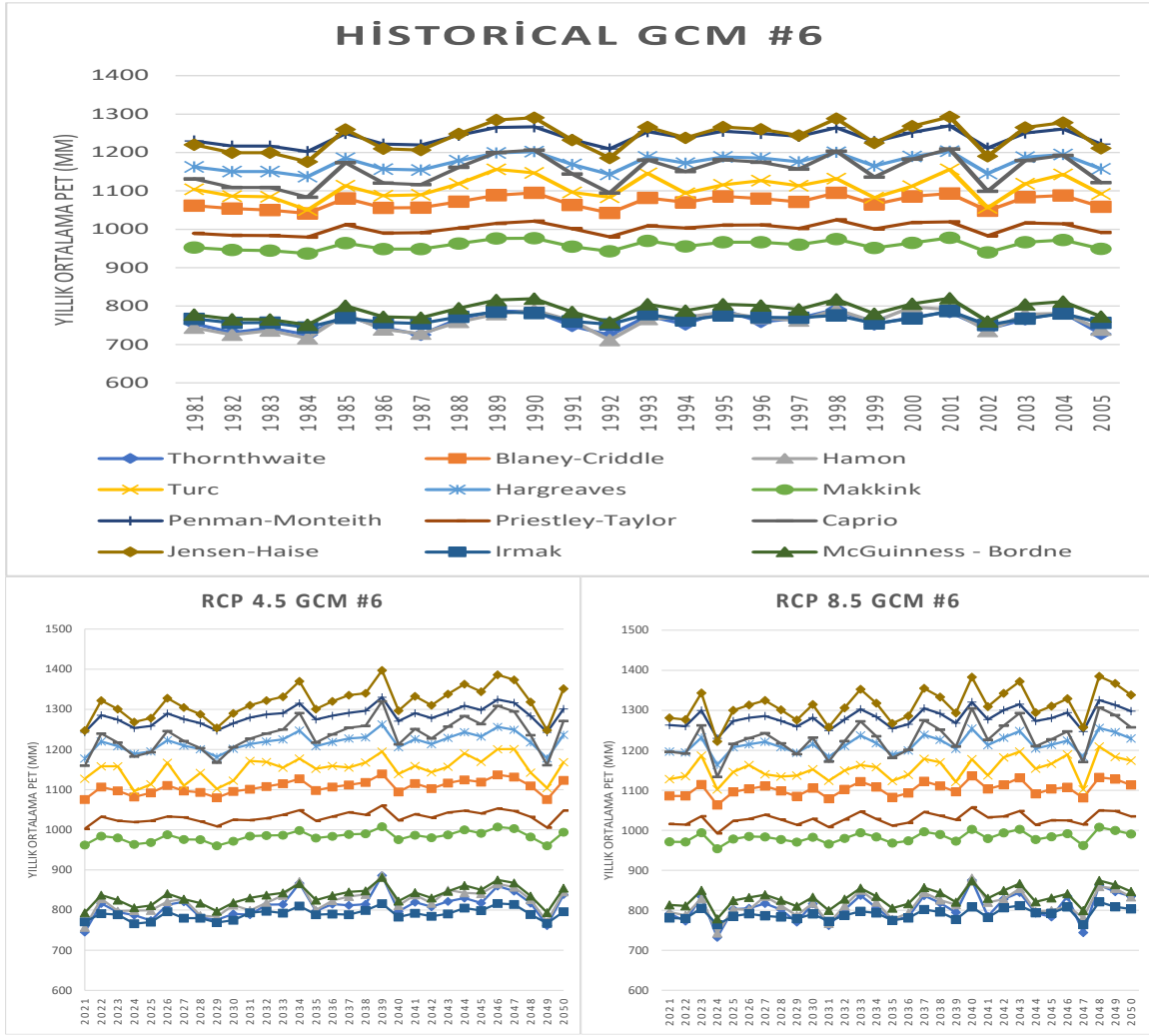
CSIRO-Mk3.6 Modeline Ait Tüm PET Sonuçlarının Gösterimi



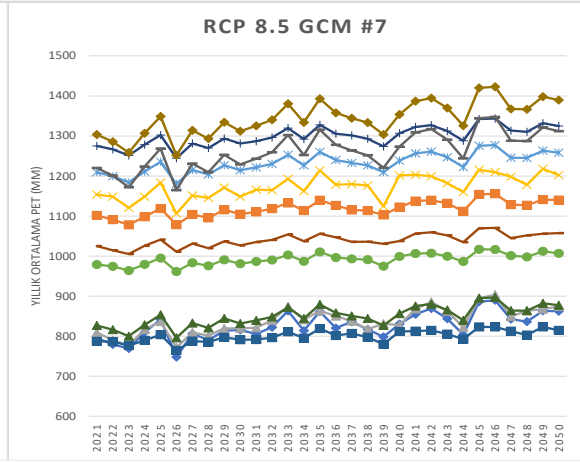
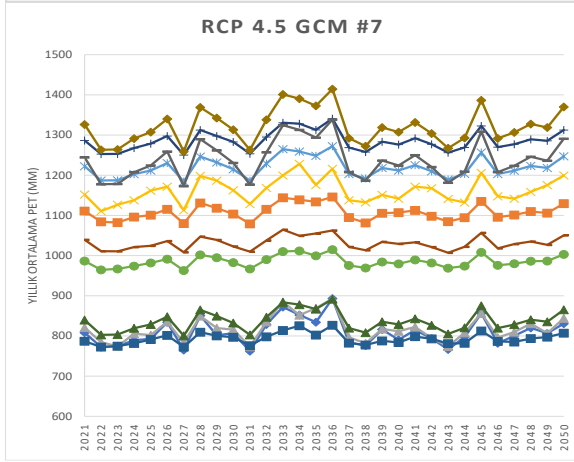
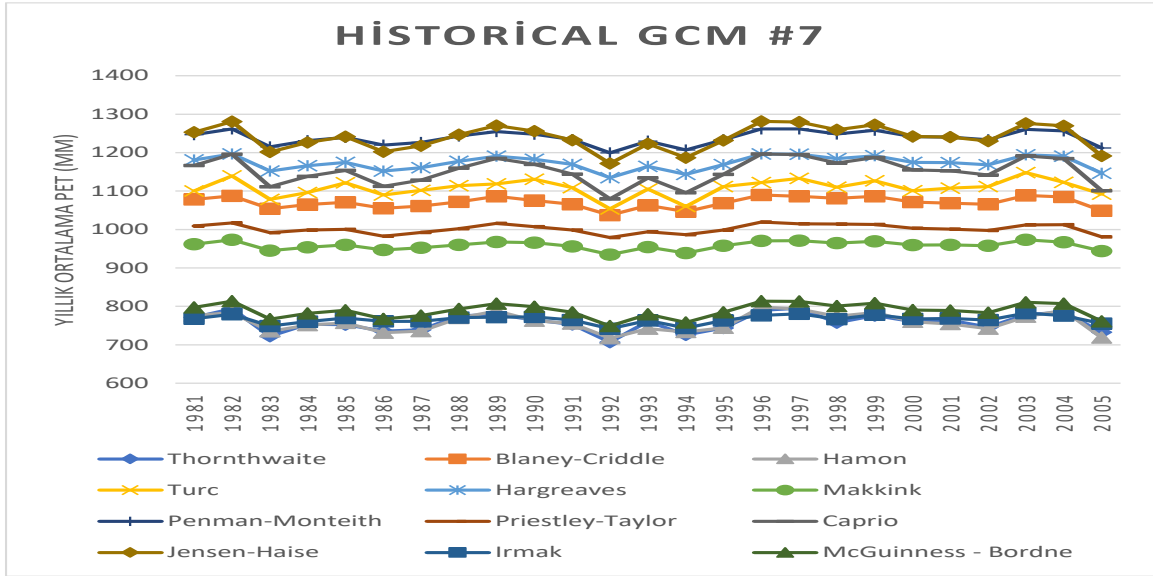
CESMI(CAM5) Modeline Ait Tüm PET Sonuçlarının Gösterimi



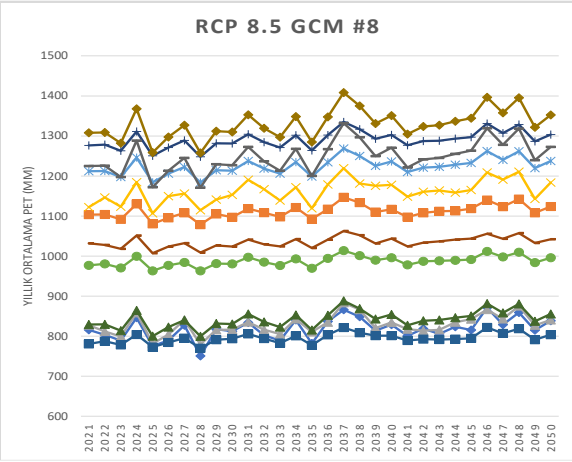
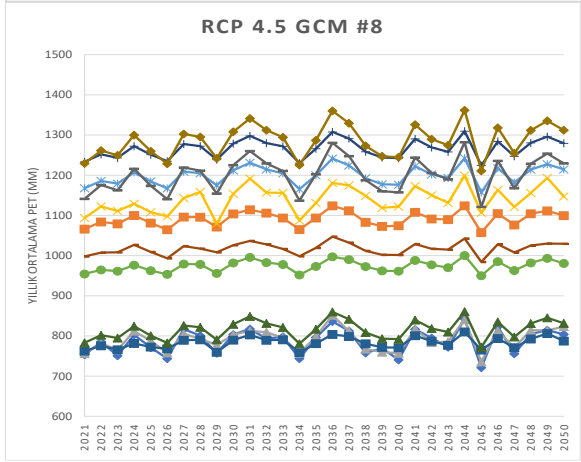
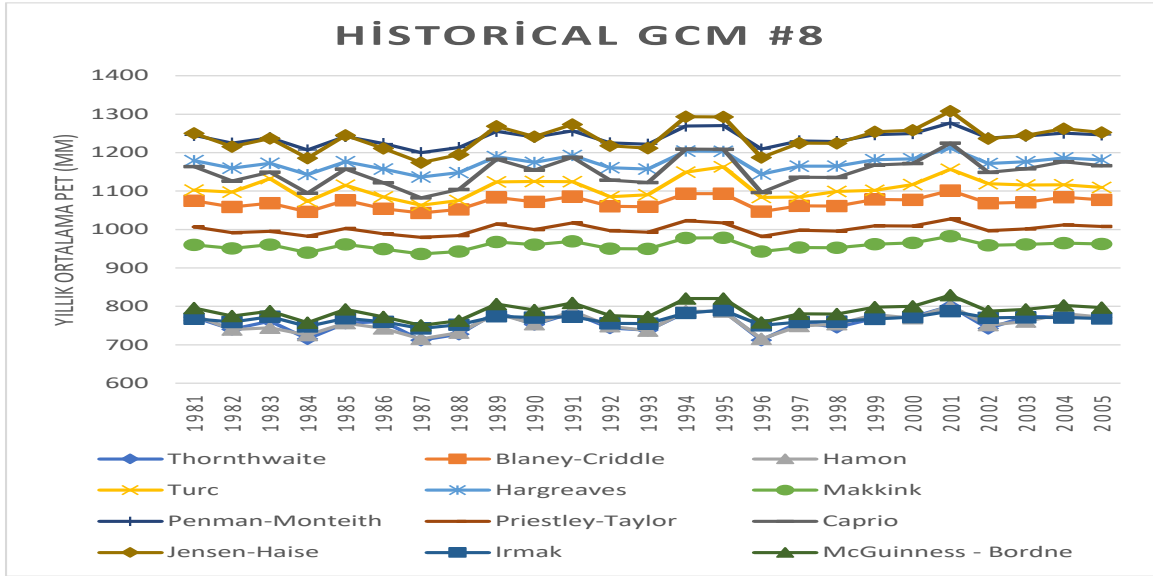
GFDL-CM3 Modeline Ait Tüm PET Sonuçlarının Gösterimi



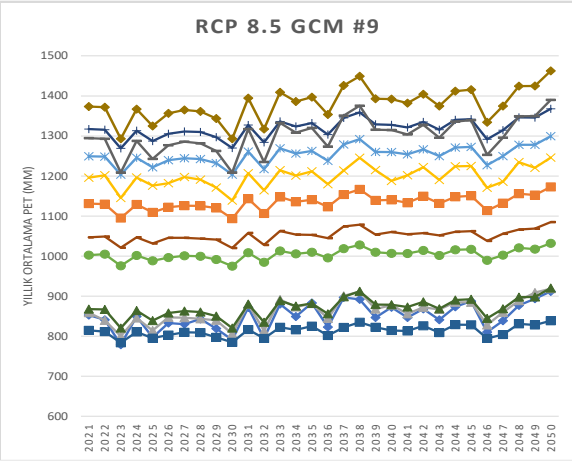
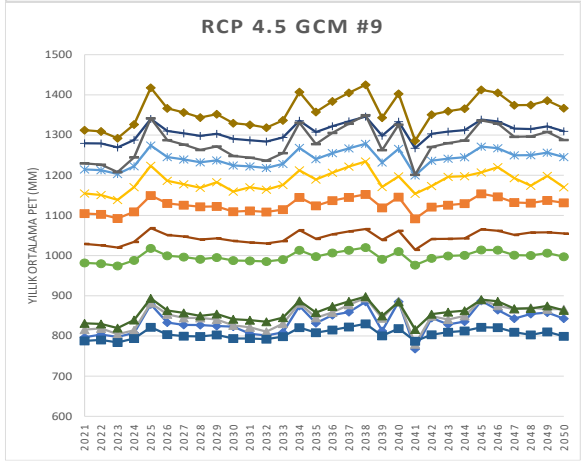
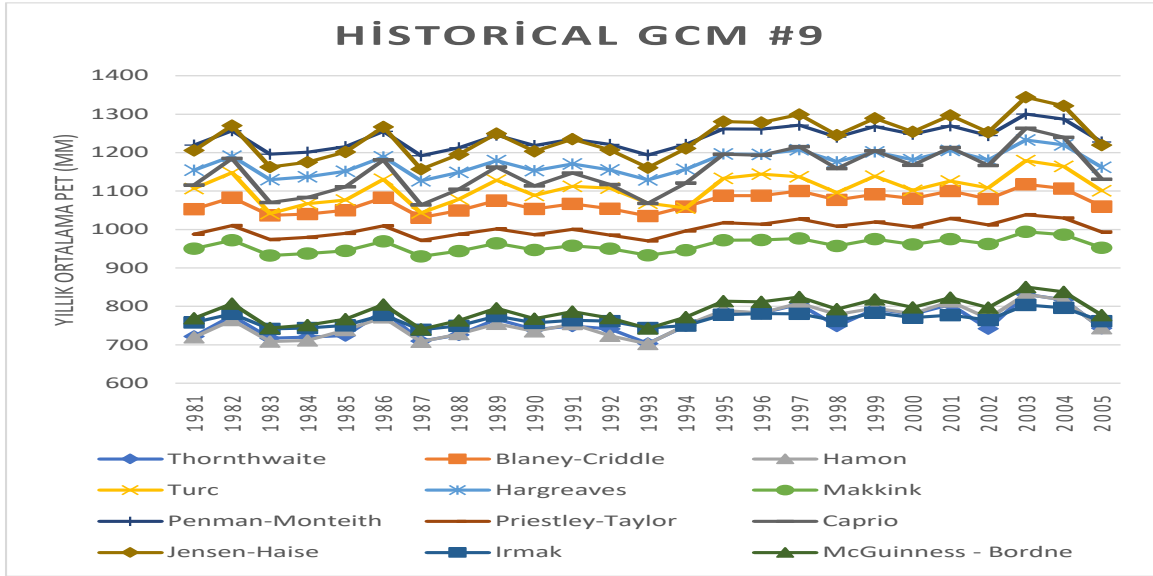
GFDL-ESM2M Modeline Ait Tüm PET Sonuçlarının Gösterimi



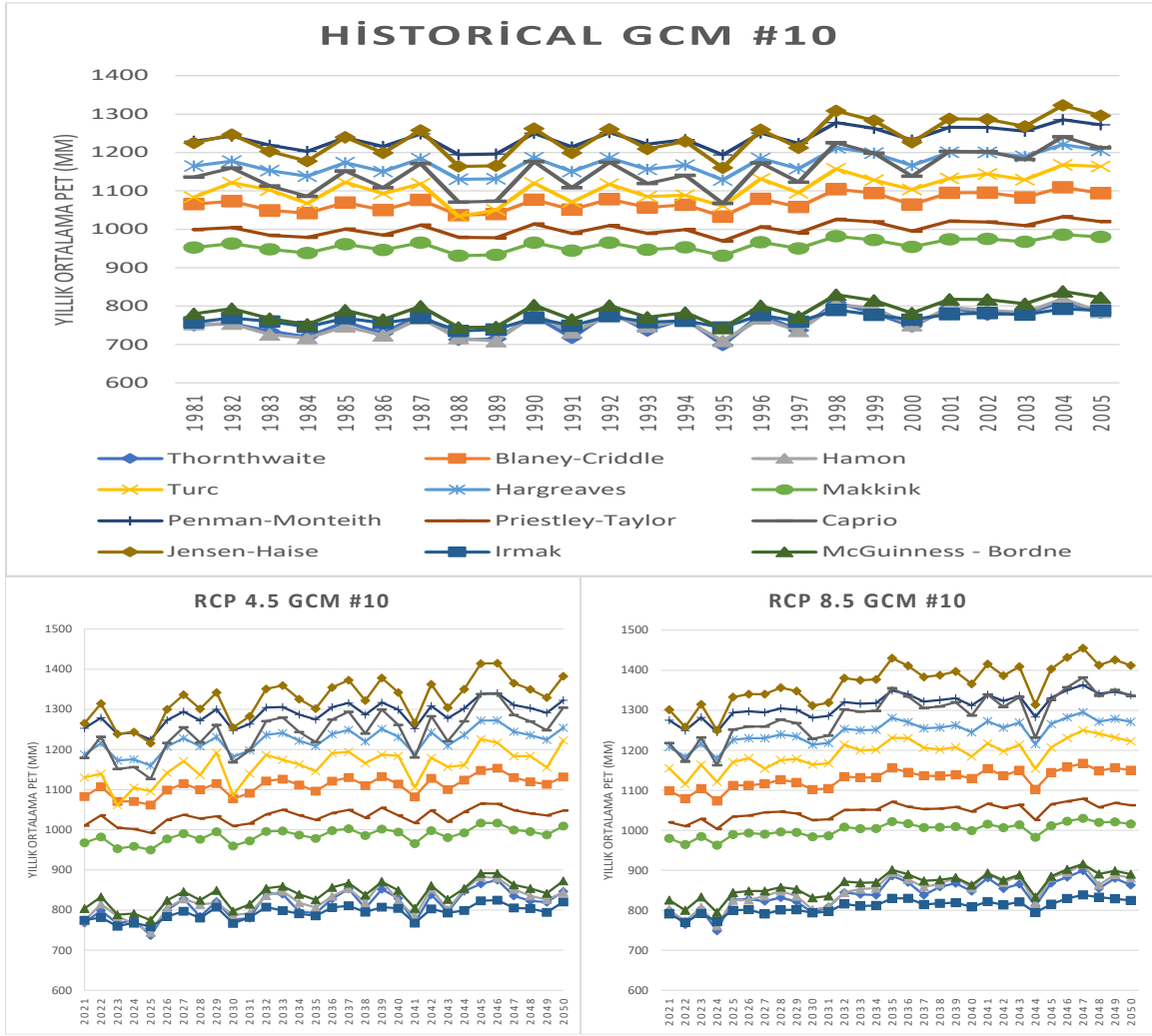
GISS-E2-H Modeline Ait Tüm PET Sonuçlarının Gösterimi



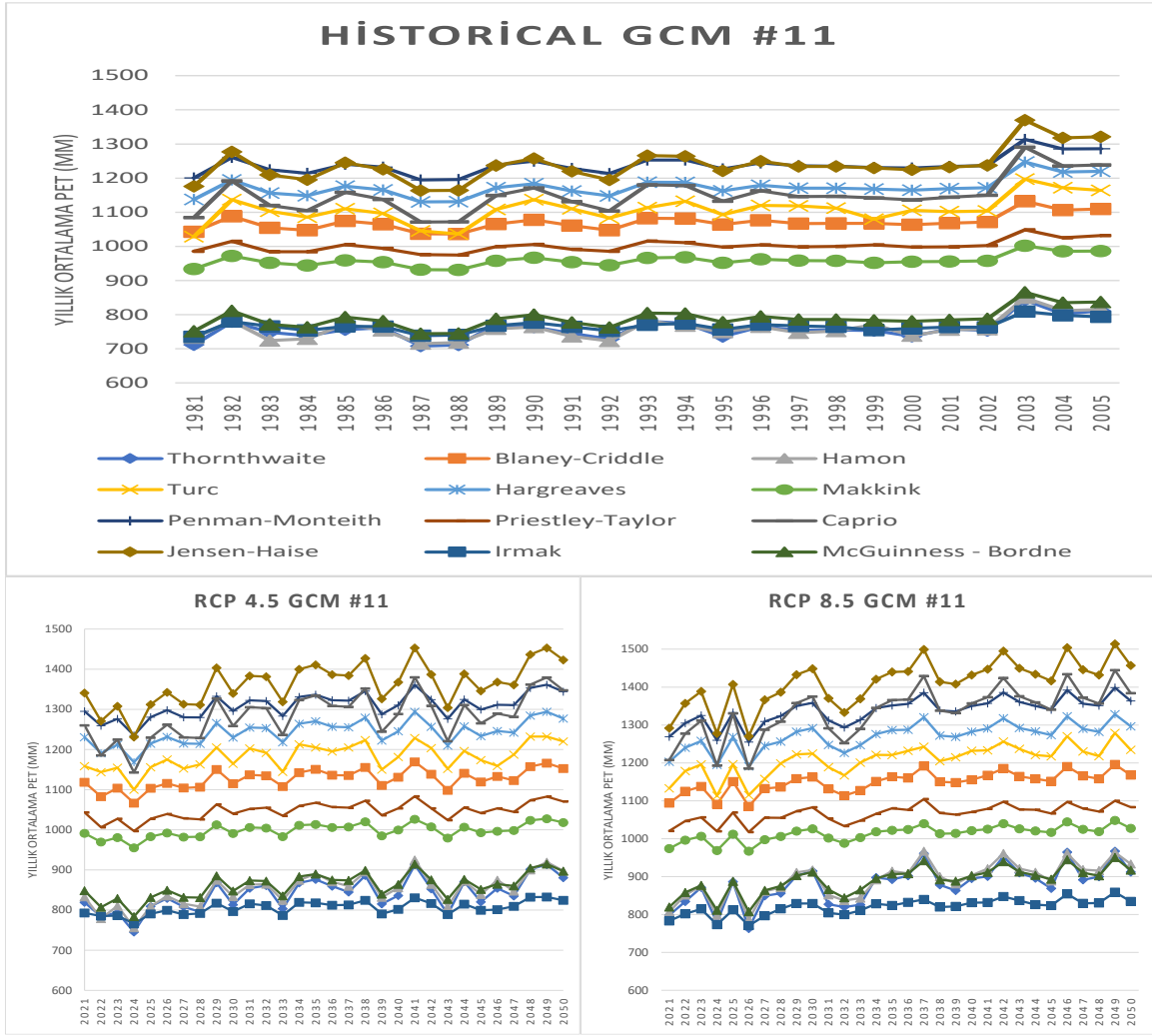
GISS-E2-R Modeline Ait Tüm PET Sonuçlarının Gösterimi



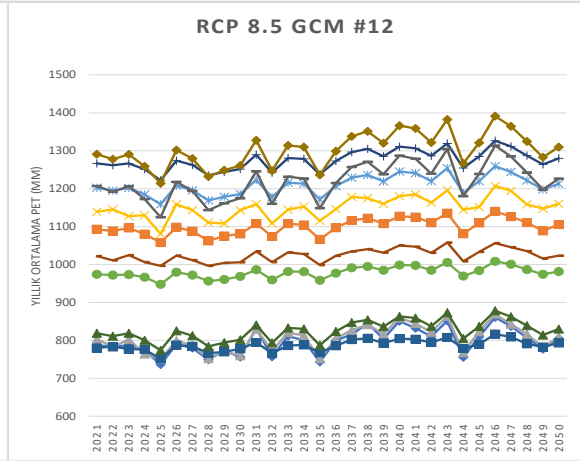
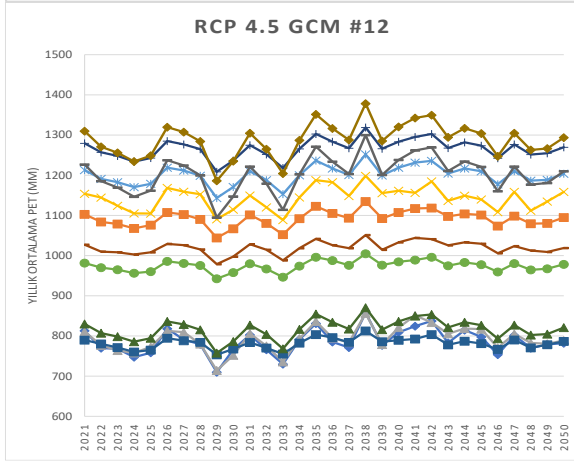
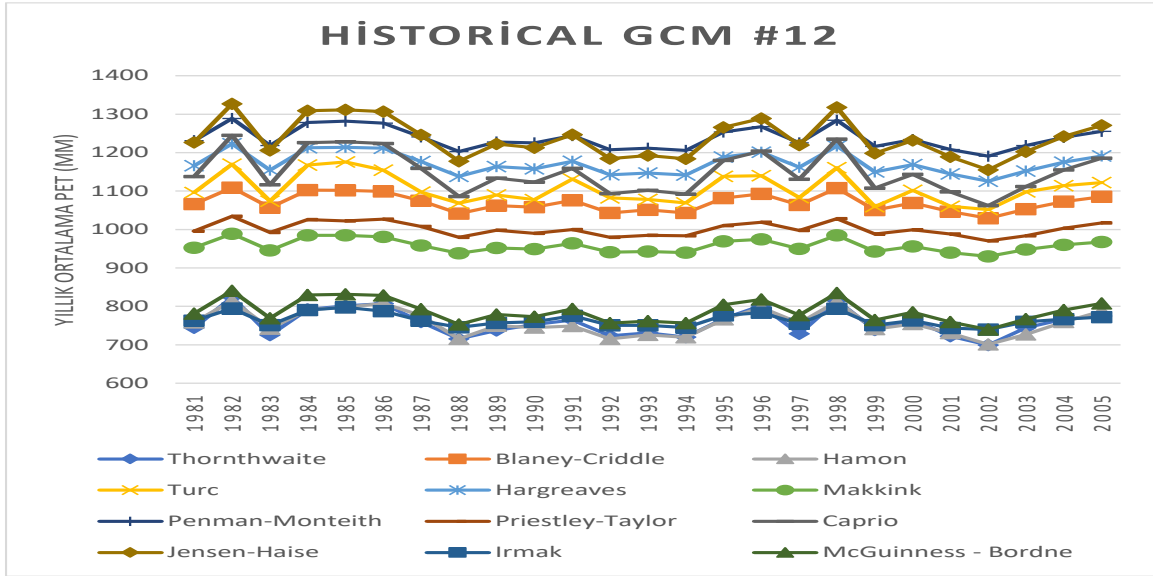
HadGEM2 –ES Modeline Ait Tüm PET Sonuçlarının Gösterimi



IPSL-CM5A-LR Modeline Ait Tüm PET Sonuçlarının Gösterimi



MIROC – ESM Modeline Ait Tüm PET Sonuçlarının Gösterimi

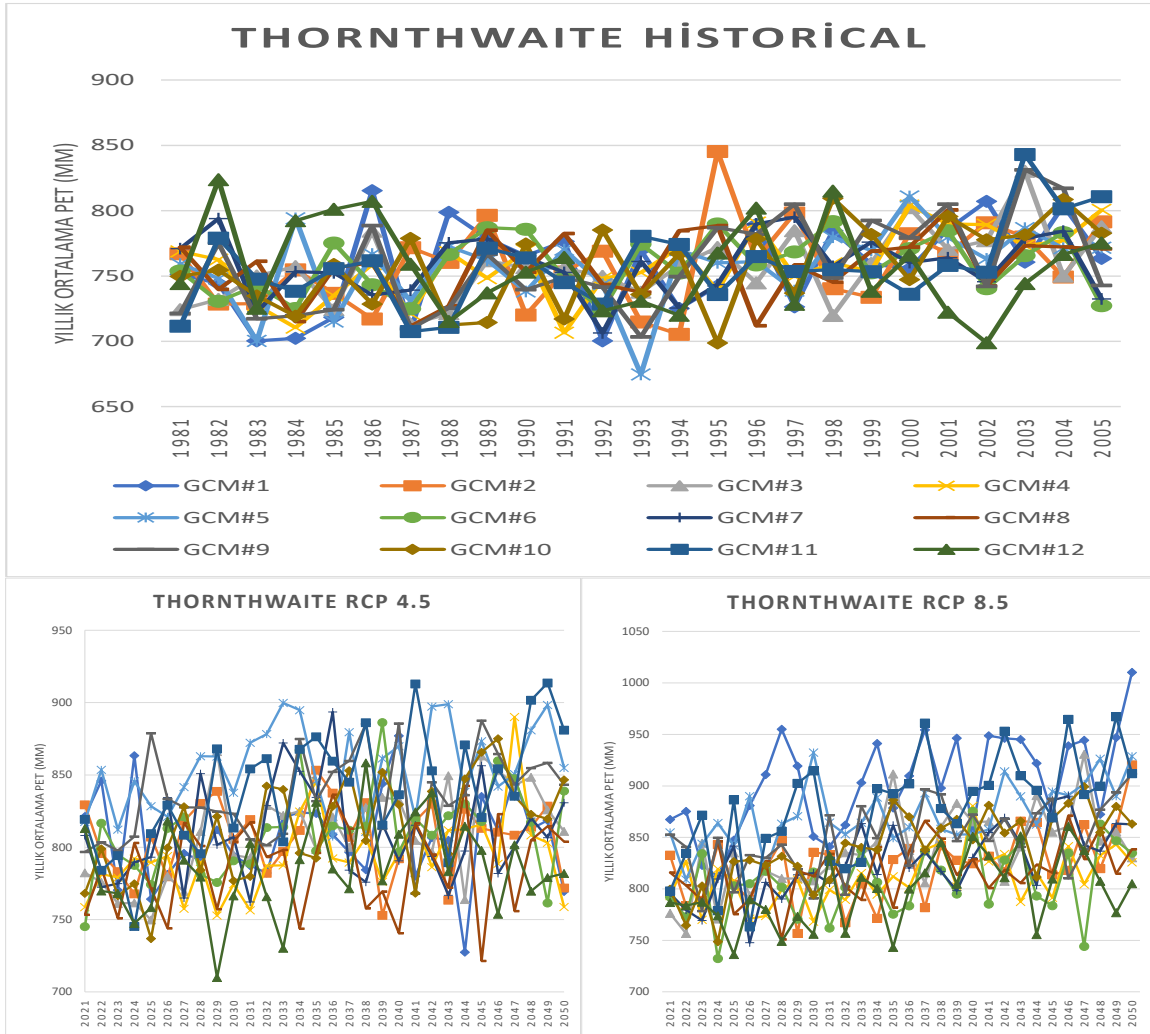


MRI – CGCM3 Modeline Ait Tüm PET Sonuçlarının Gösterimi

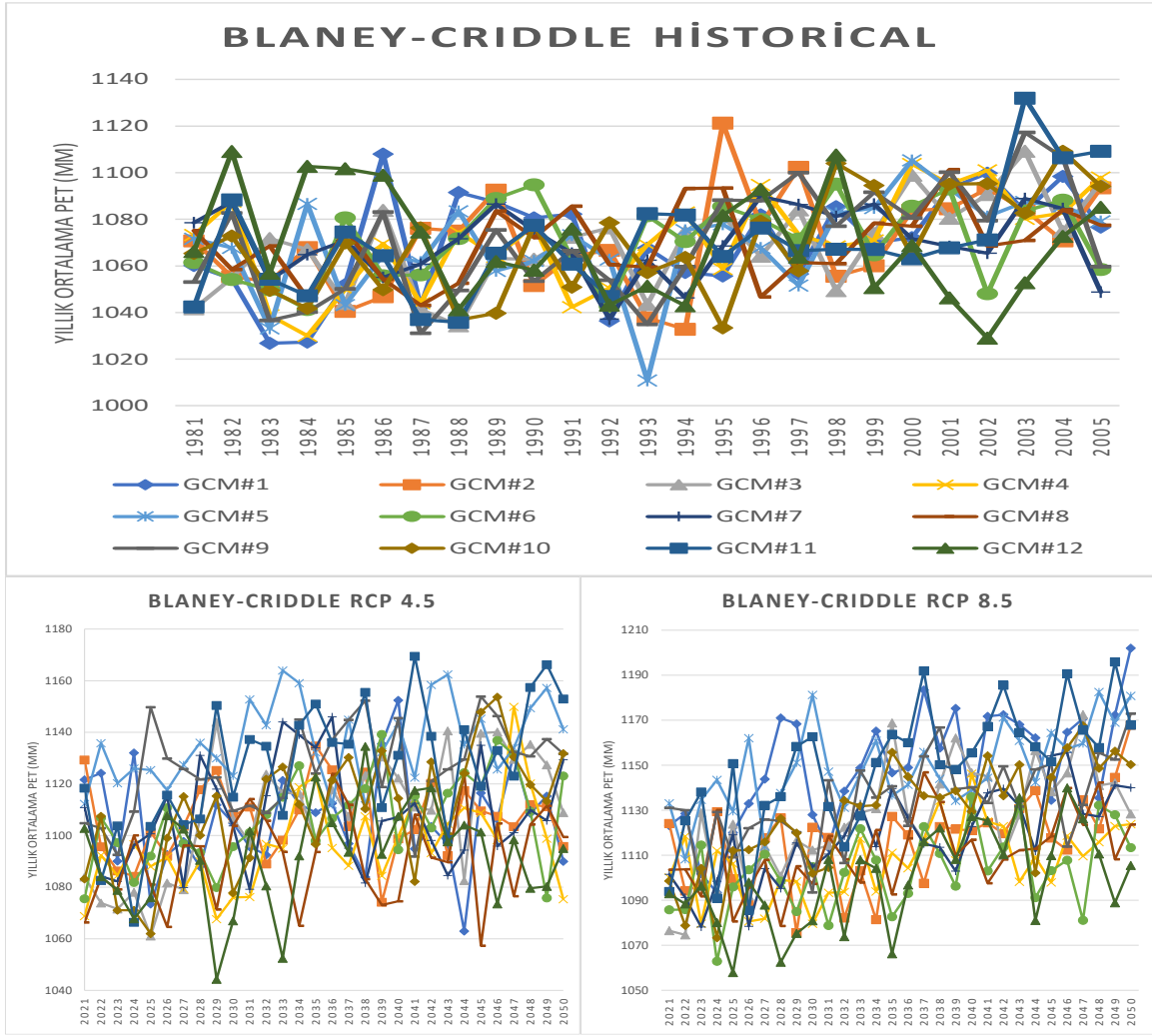
EKLER B: Tüm PET Modellerinin GCM Senaryoları Altında Sonuçlarının Gösterimleri

PET Numarası	İlgili Yöntem	Sayfa Numarası
PET 1	Thornthwaite	60
PET 2	Blaney - Criddle	61
PET 3	Hamon	62
PET 4	Turc	63
PET 5	Hargreaves	64
PET 6	Makkink	65
PET 7	Penman - Monteith	66
PET 8	Priestley - Taylor	67
PET 9	Caprio	68
PET 10	Jensen - Haise	69
PET 11	Irmak	70
PET 12	McGuinness - Bordne	71

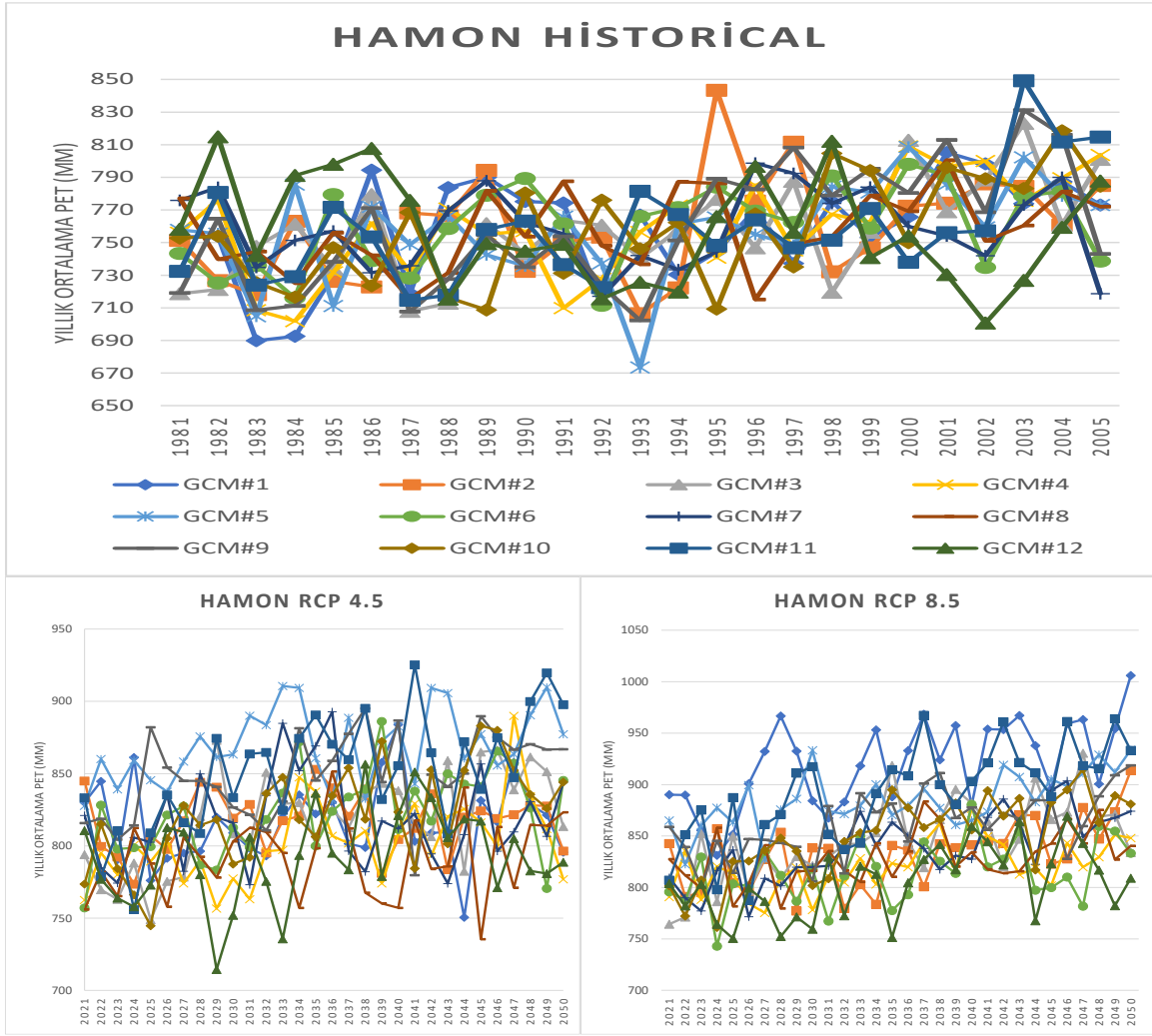
Tablo EK B: Tüm PET Modellerine ait GCM sonuçlarının ayrı ayrı gösterimleri.



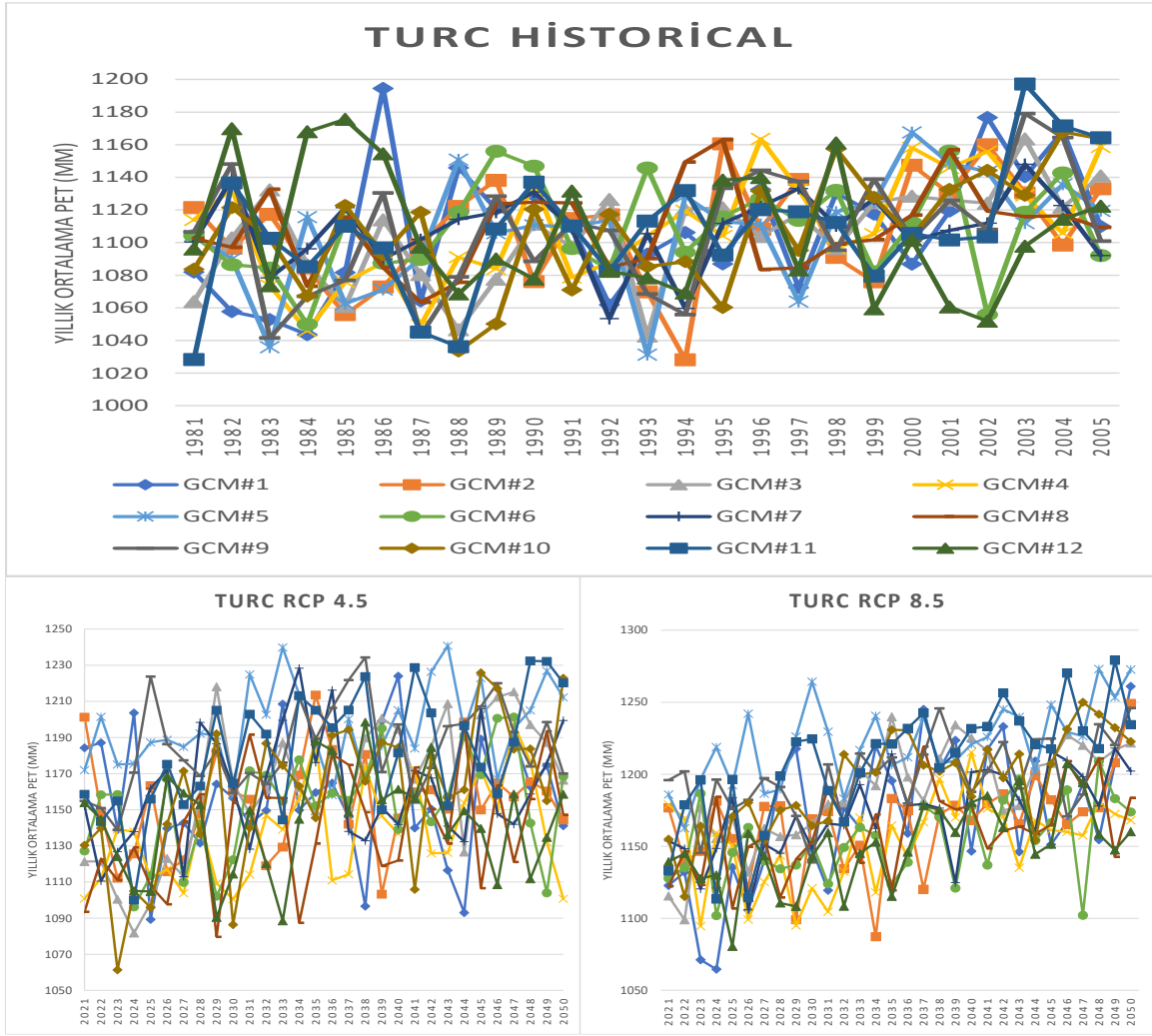
Thornthwaite PET Modelinin Tüm GCM Sonuçlarının Gösterimleri



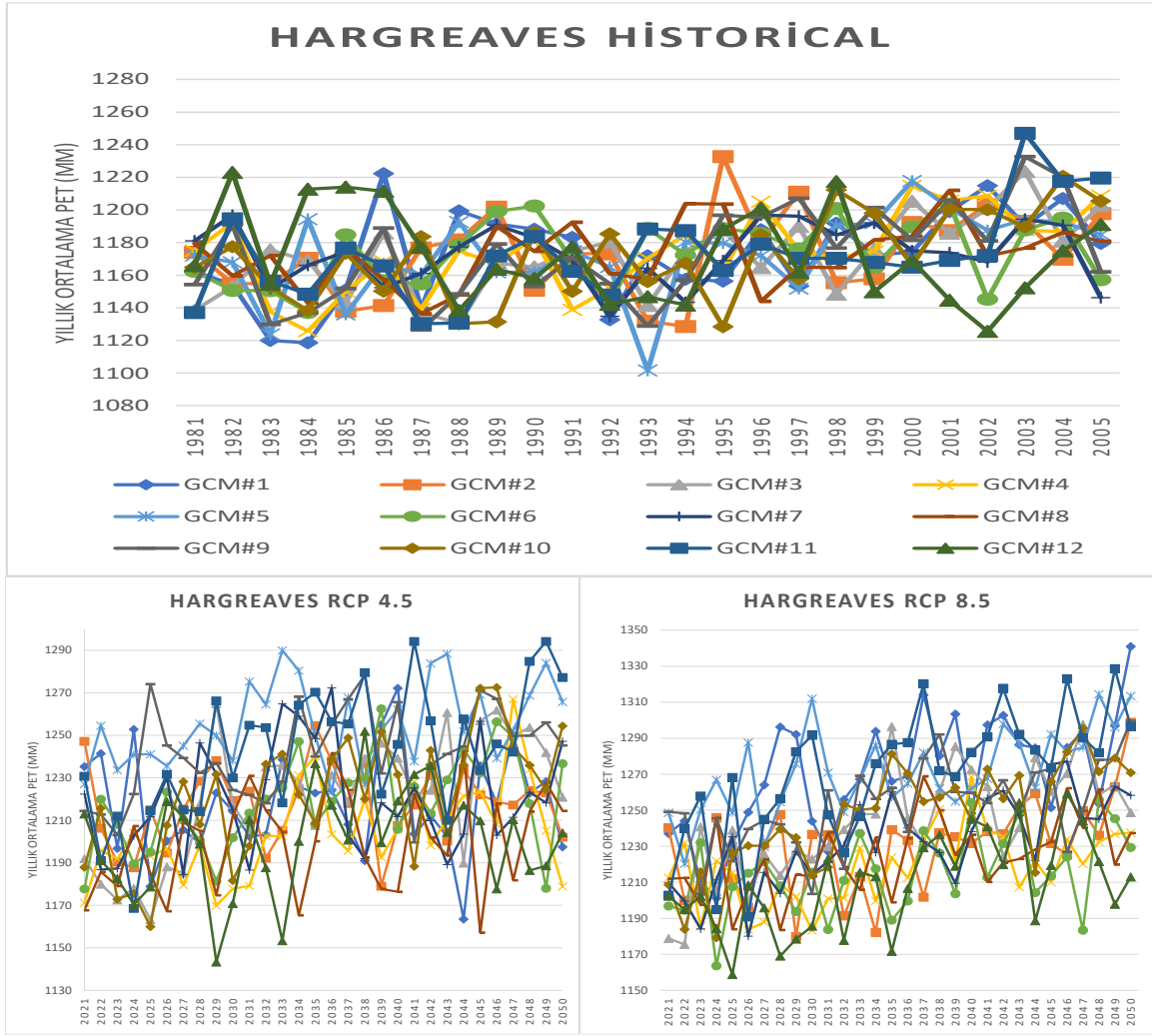
Blaney - Criddle PET Modelinin Tüm GCM Sonuçlarının Gösterimleri



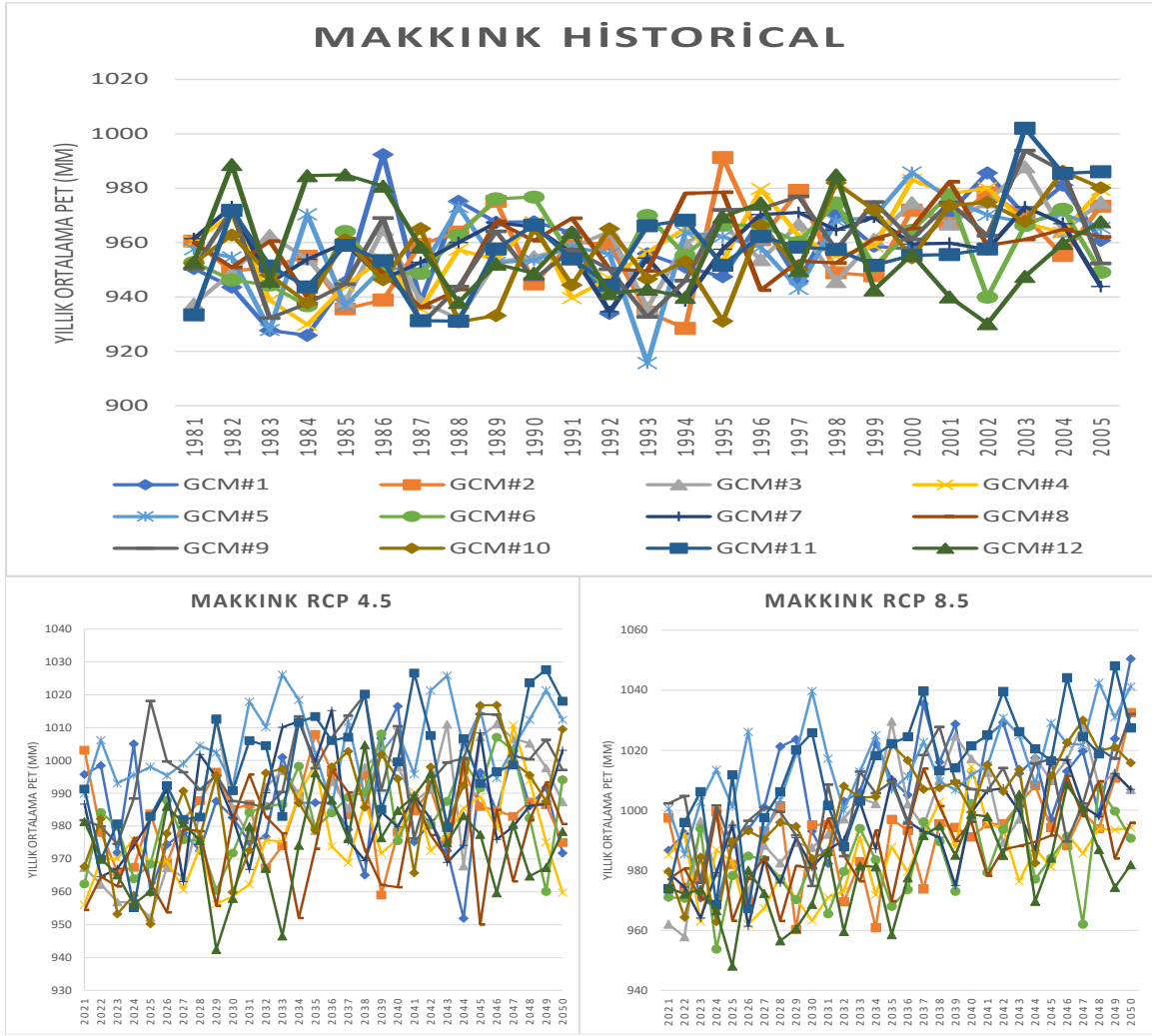
Hamon PET Modelinin Tüm GCM Sonuçlarının Gösterimleri



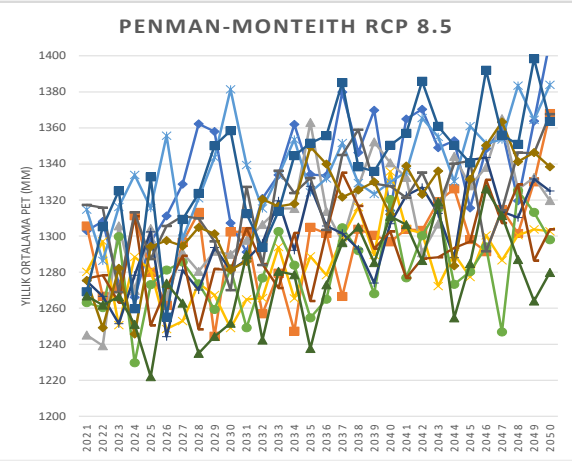
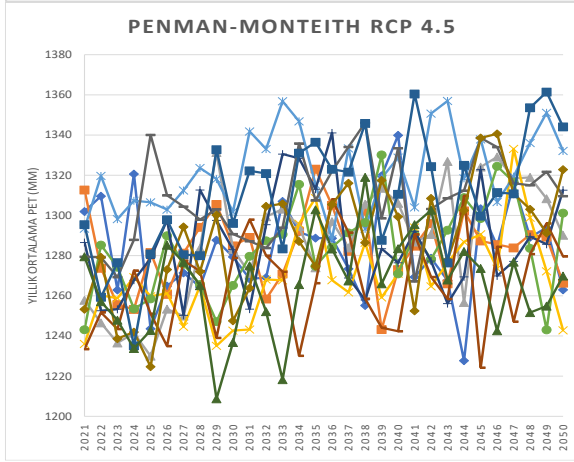
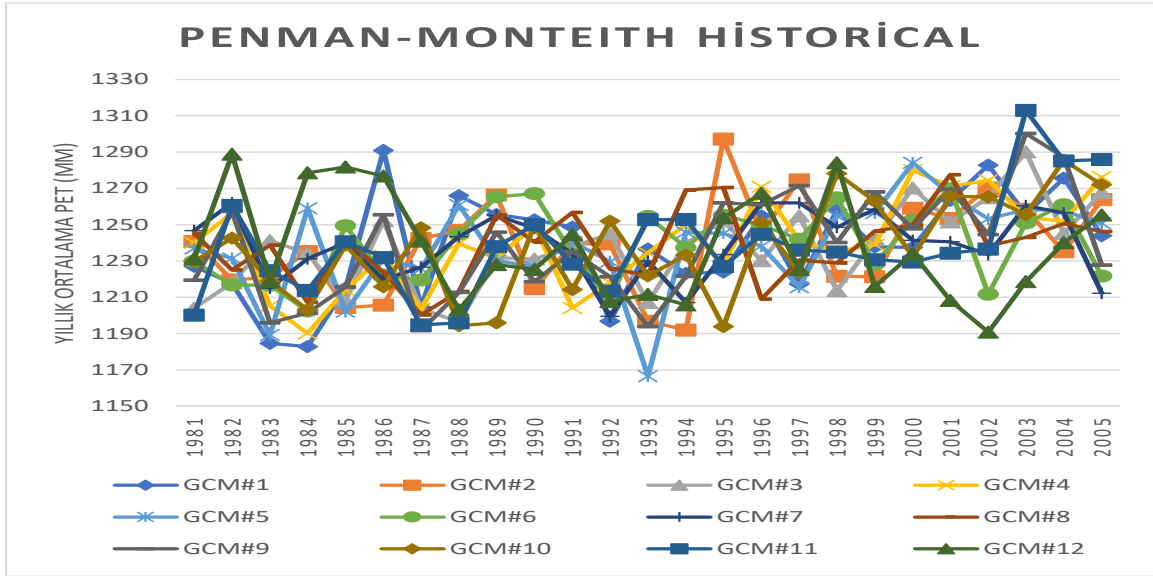
Turc PET Modelinin Tüm GCM Sonuçlarının Gösterimleri



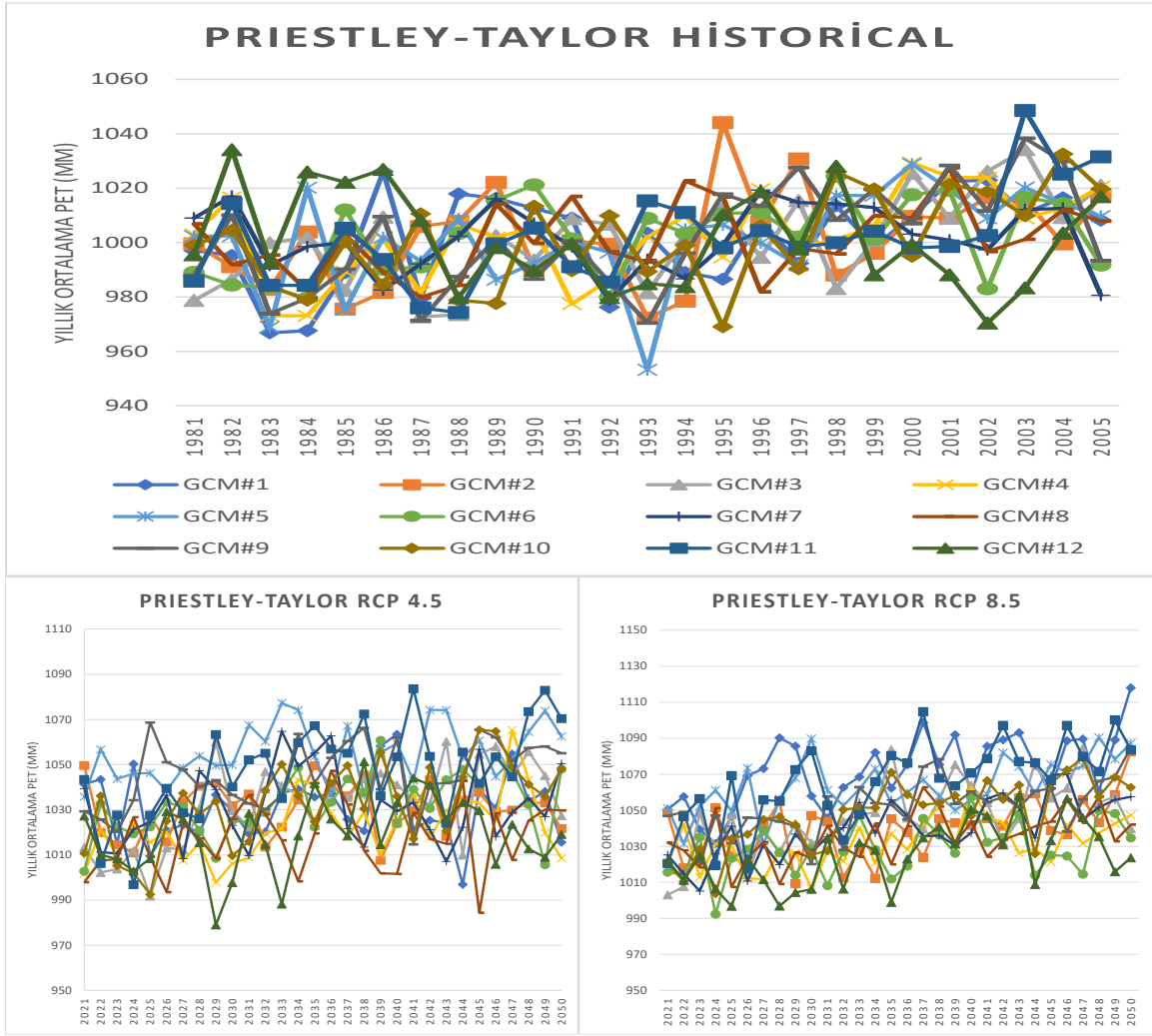
Hargreaves PET Modelinin Tüm GCM Sonuçlarının Gösterimleri



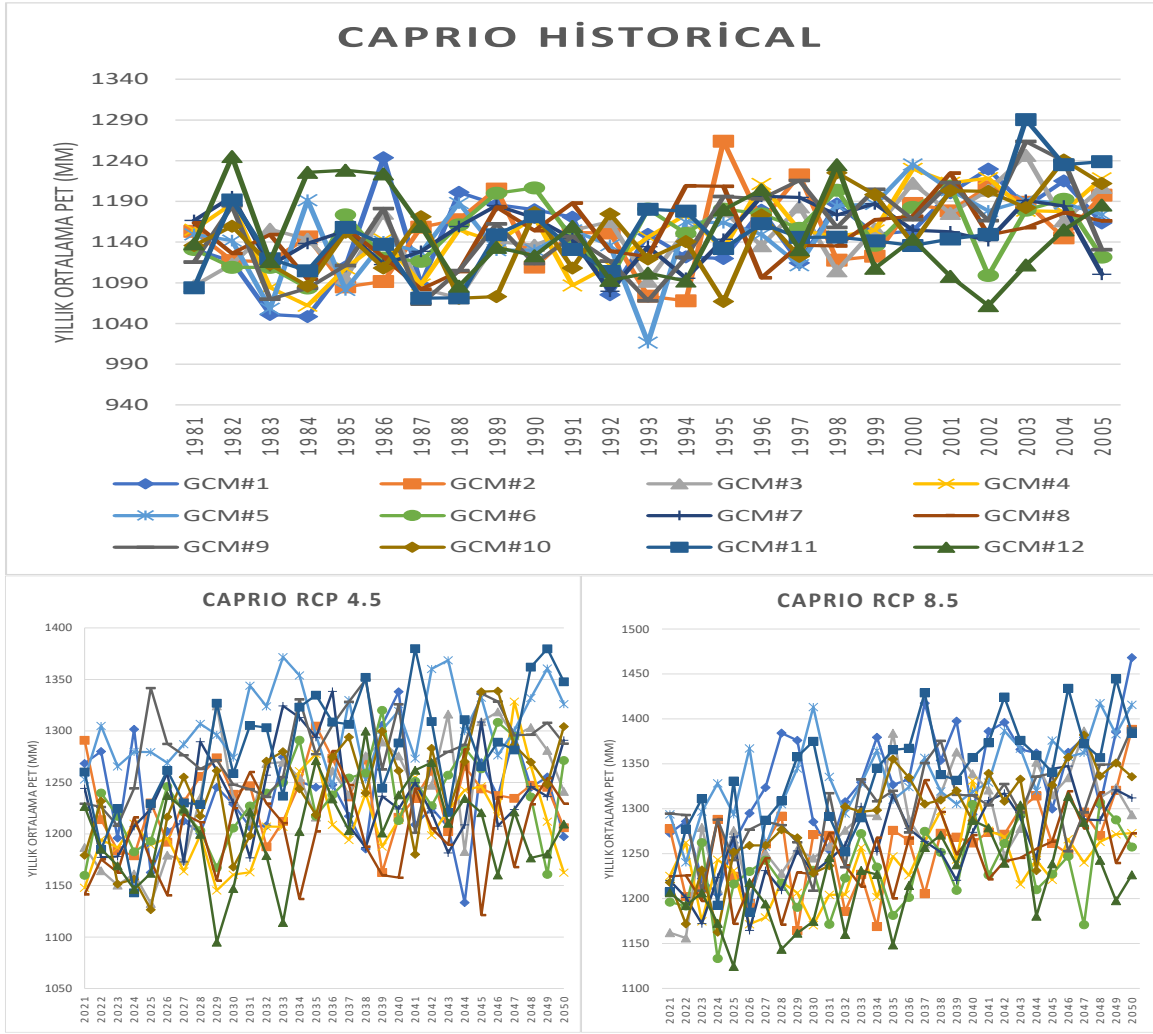
Makkink PET Modelinin Tüm GCM Sonuçlarının Gösterimleri



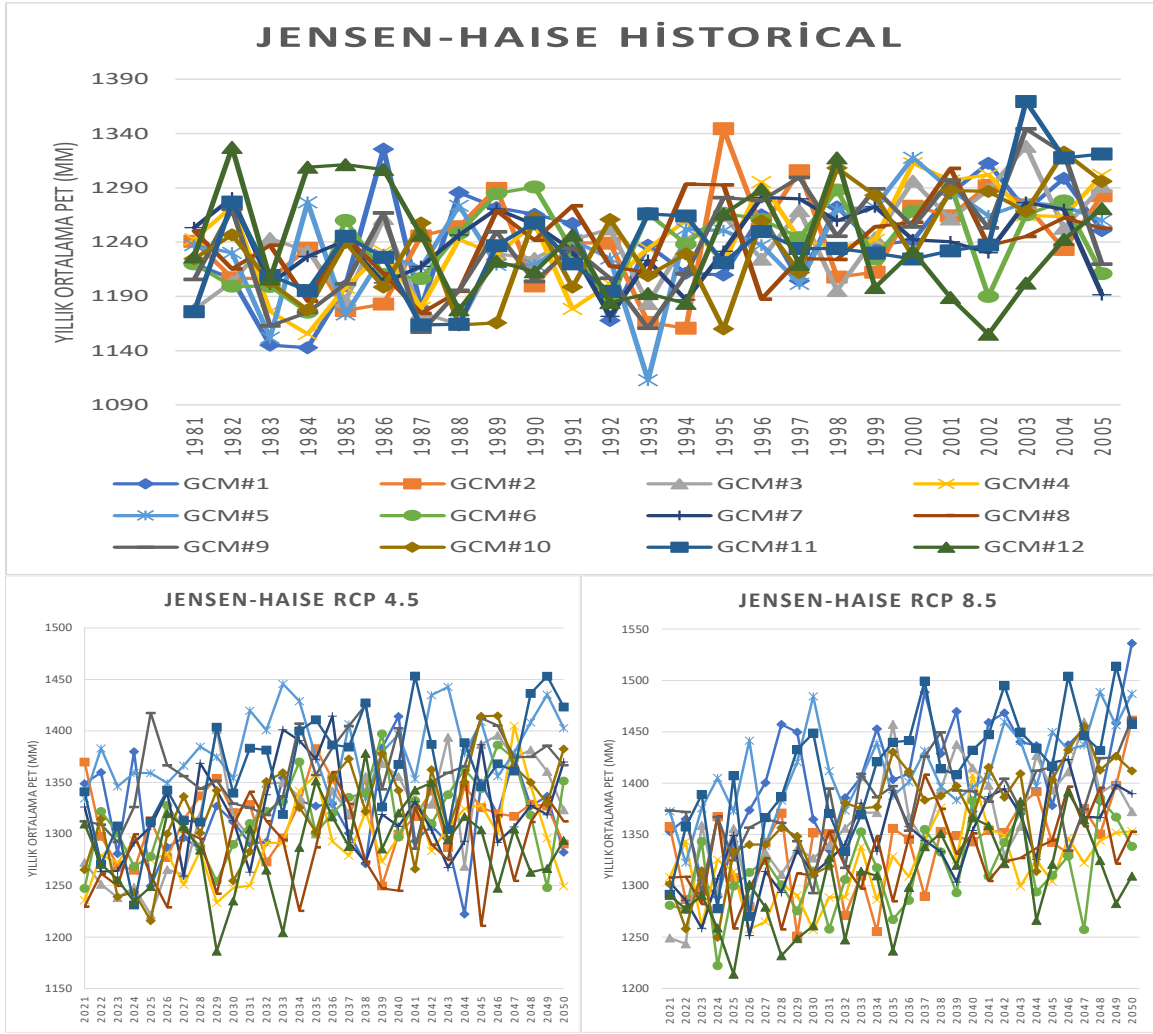
Penman-Monteith PET Modelinin Tüm GCM Sonuçlarının Gösterimleri



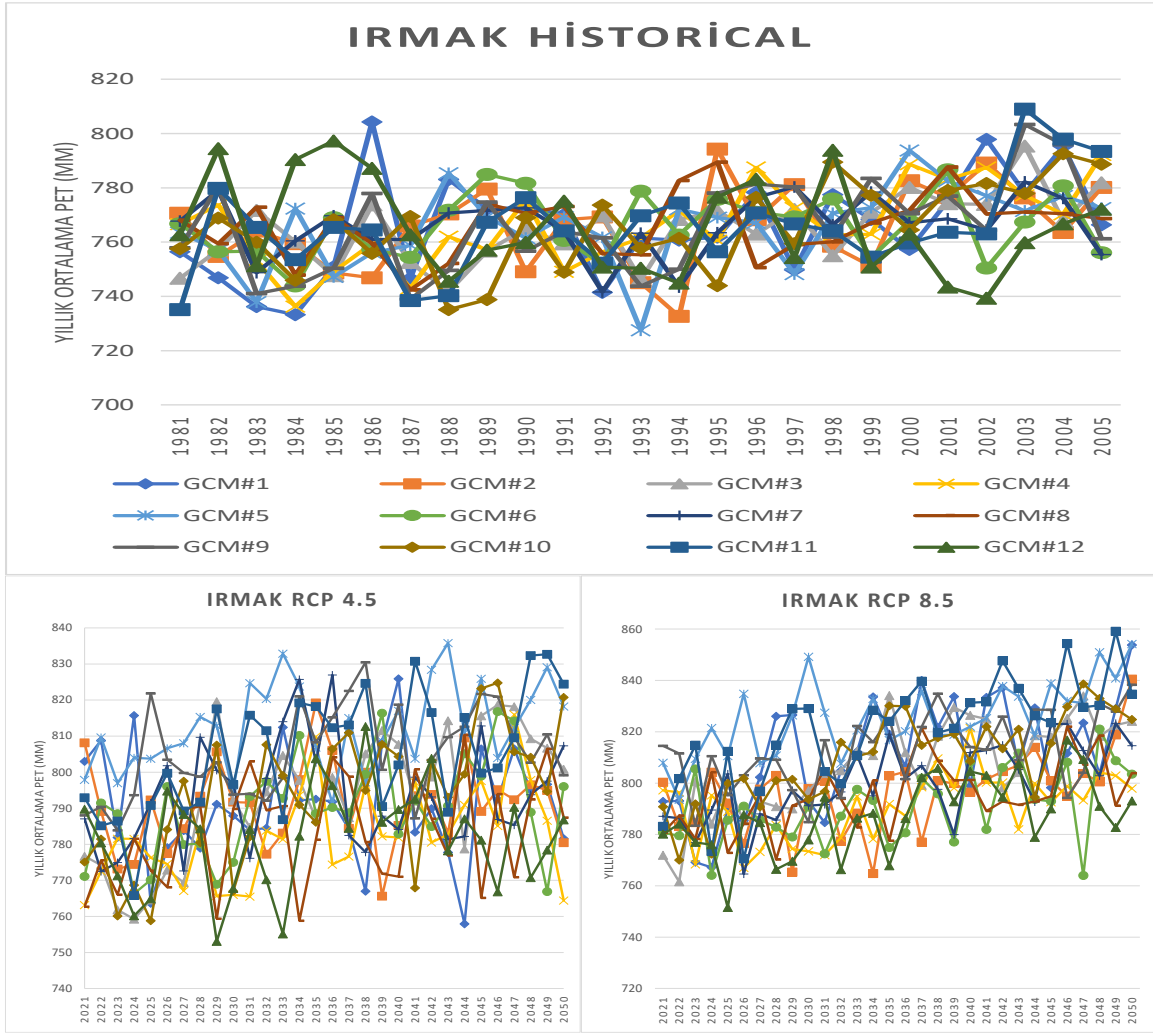
Priestley – Taylor PET Modelinin Tüm GCM Sonuçlarının Gösterimleri



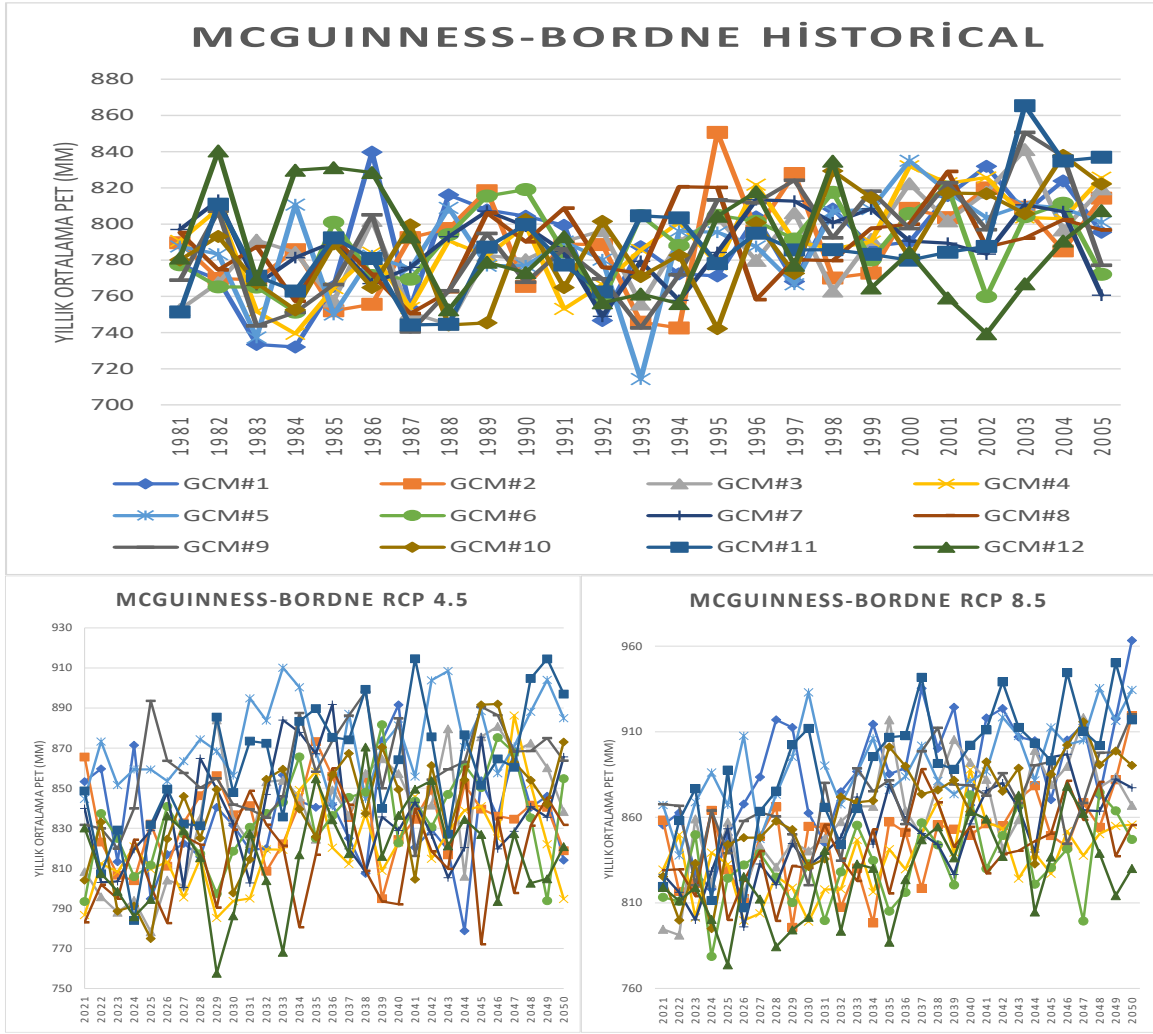
Caprio PET Modelinin Tüm GCM Sonuçlarının Gösterimleri



Jensen - Haise PET Modelinin Tüm GCM Sonuçlarının Gösterimleri

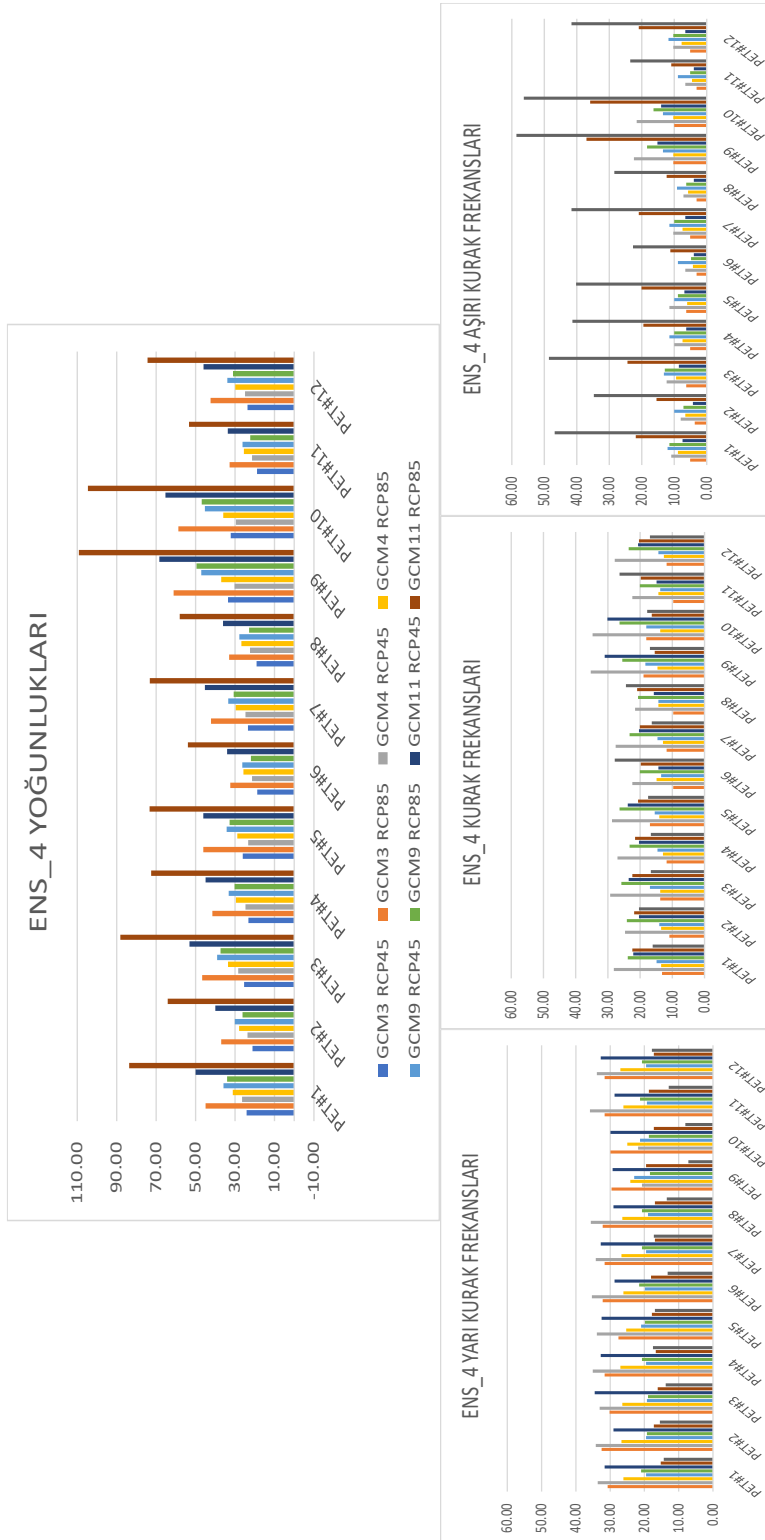


Irmak PET Modelinin Tüm GCM Sonuçlarının Gösterimleri



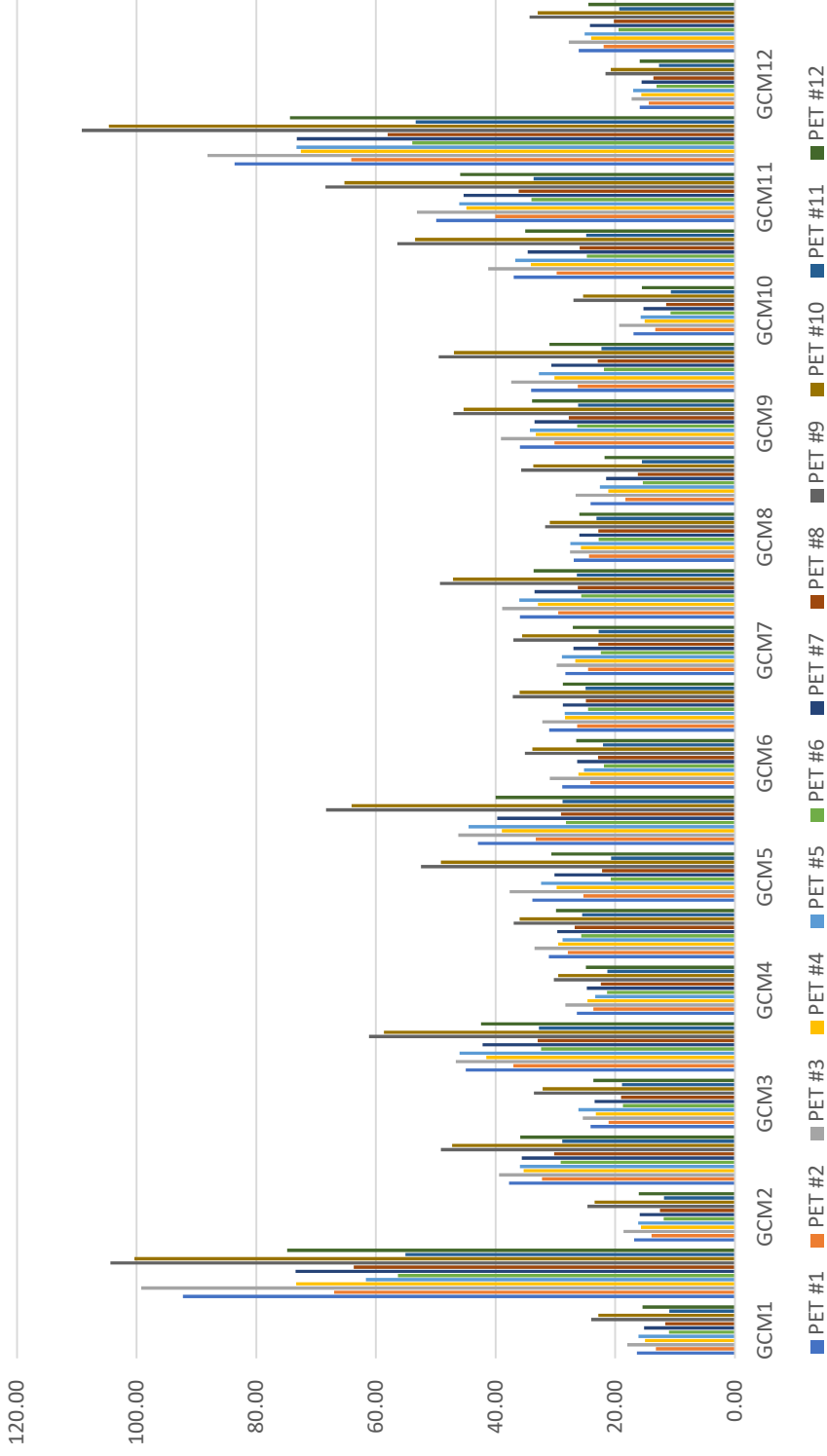
McGuinness – Bordne PET Modelinin Tüm GCM Sonuçlarının Gösterimleri

EKLER C: Farklı GCM Modellerinin Yoğunluk Ve Frekans Analizleri



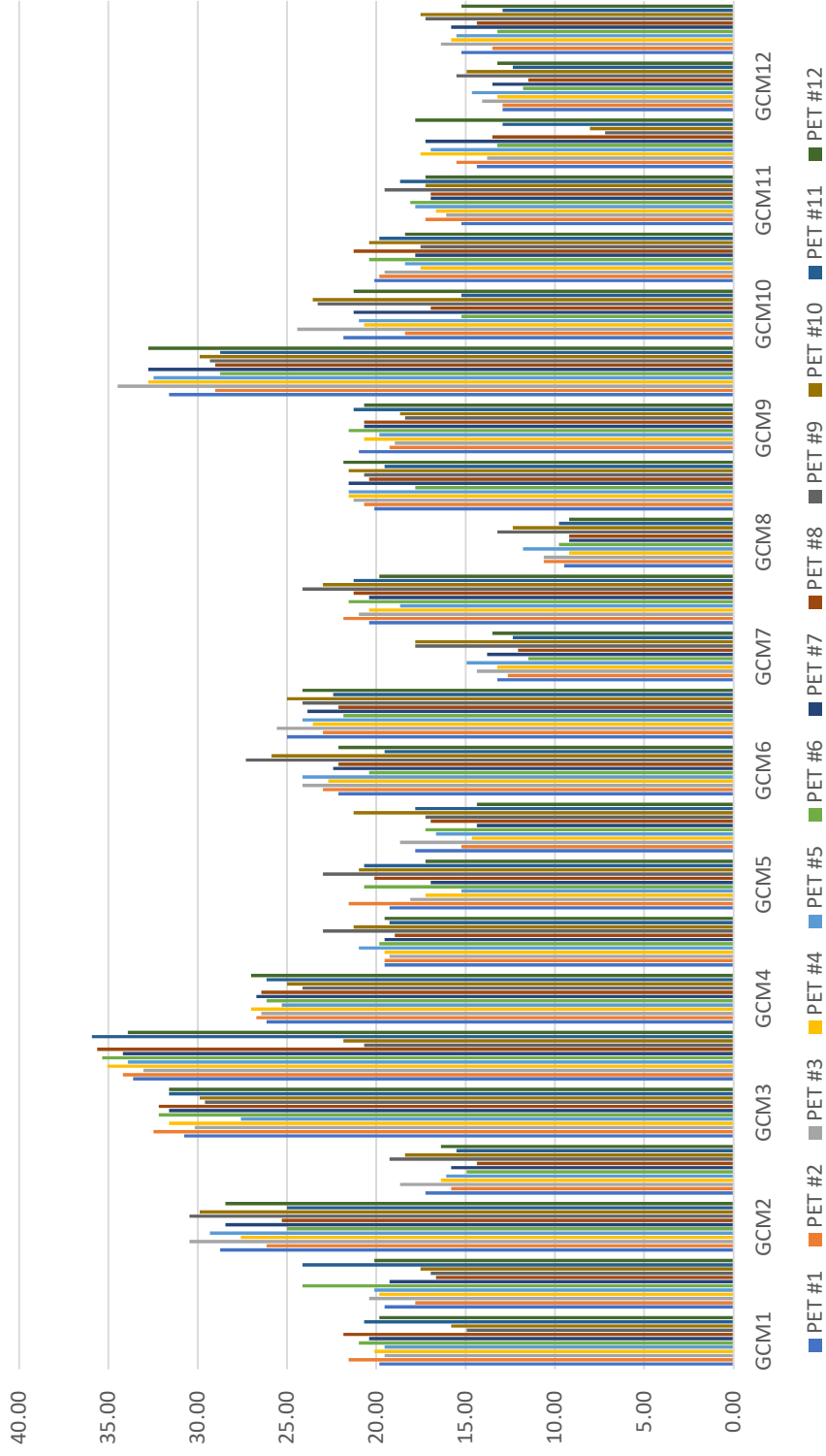
LİTERATÜRDE EN ÇOK KULLANILAN 4 MODELİN YOĞUNLUK EFREKANS ANALİZLERİ

ENS 12 YOĞUNLUKLARI



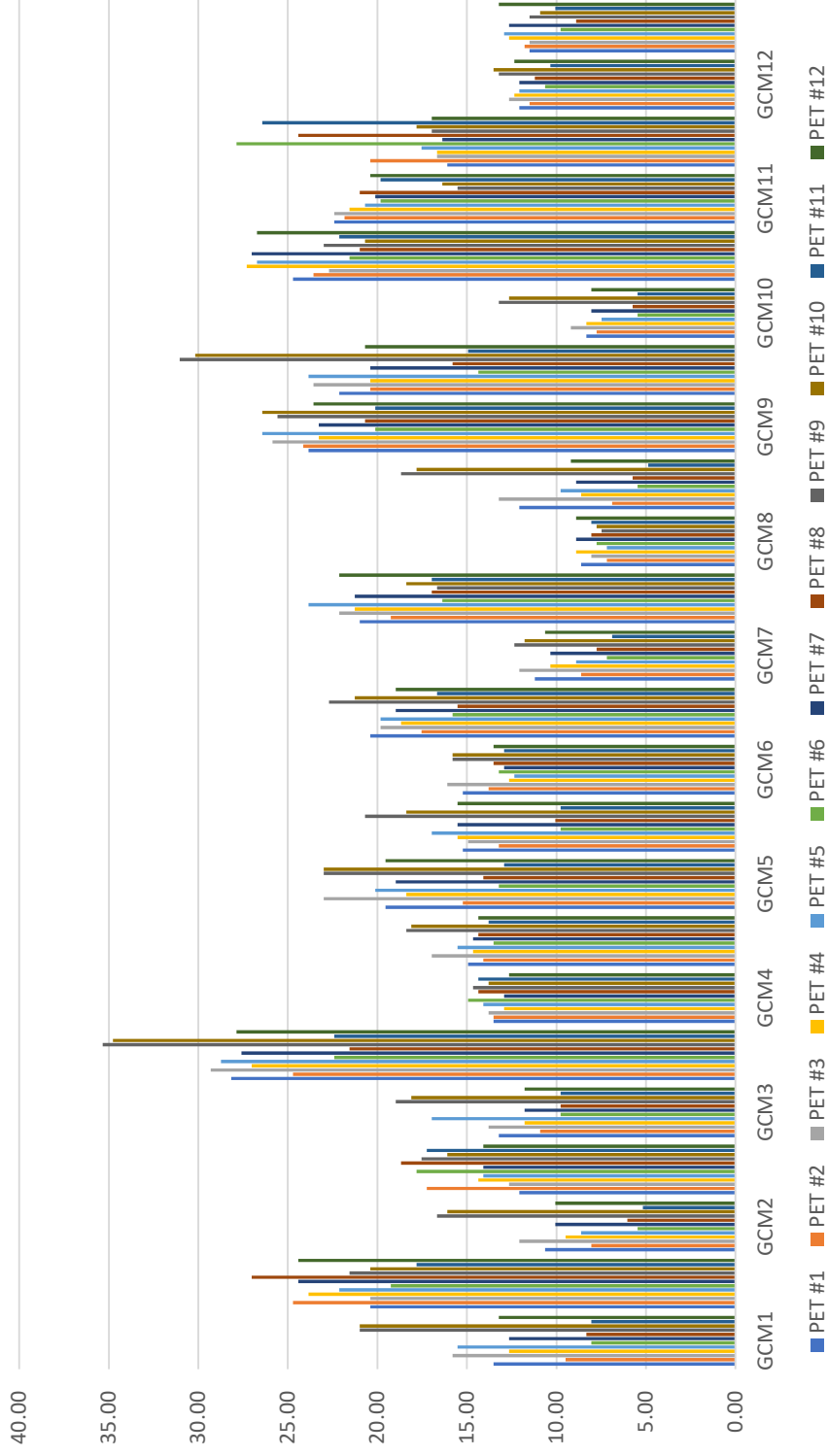
TÜM GCM MODELLERİNİN YOĞUNLUK ANALİZLERİ

ENS 12 YARI KURAKLIK FREKANSLARI



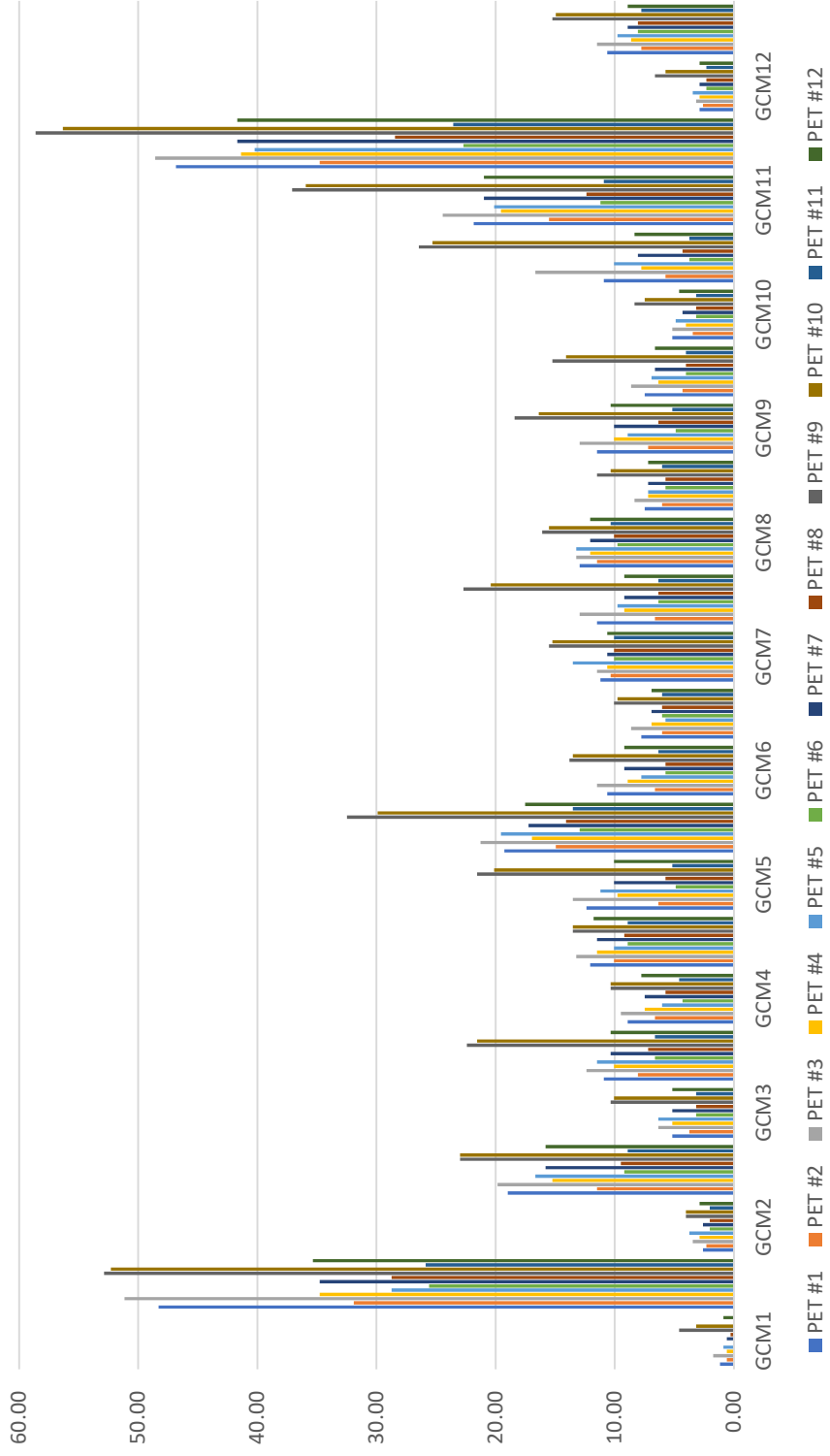
TÜM GCM MODELLERİNİN YARI KURAKLIK FREKANS ANALİZLERİ

ENS 12 KURAKLIK FREKANSLARI



TÜM GCM MODELLERİNİN KURAKLIK FREKANS ANALİZLERİ

ENS 12 AŞIRI KURAKLIK FREKANSLARI



TÜM GCM MODELLERİNİN AŞIRI KURAKLIK FREKANS ANALİZLERİ

ÖZGEÇMİŞ:

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Gökhan SARI
Doğum Yeri ve Tarihi : Üsküdar / 22.11.1991
Telefon : +90-536-470-2594
E-Posta : gokhansari.1991@gmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Yüksek Lisans	Balıkesir Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2023
Lisans	Balıkesir Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2019
Ön Lisans	Century Com. And Tech. College /	2014
Lise	Özel Üsküdar Doğan Anadolu Lisesi	2009